

Matti Mustonen

Raepuhalluksen työttehokkuustutkimus Blastman B20S -robotilla

Opinnäytetyö

Kajaanin ammattikorkeakoulu

Yhteiskuntatieteiden, liiketalouden ja hallinnon ala

Liiketalouden koulutusohjelma

Syksy 2012



Koulutusala Yhteiskuntatieteiden, liiketalouden ja hallinnon ala	Koulutusohjelma Liiketalouden koulutusohjelma
Tekijä(t) Matti Mustonen	
Työn nimi Raepuhalluksen työtehokkuustutkimus Blastman B20S -robotilla	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Tuotantotalous ja logistiikka	Ohjaaja(t) Jarmo Happonen ja Sami Räsänen
	Toimeksiantaja Blastman Robotics Oy
Aika Syksy 2012	Sivumäärä ja liitteet 45 + 1
<p>Opinnäytetyön tilaaja oli Blastman Robotics Oy. Opinnäytetyön tarkoituksena oli suorittaa raepuhallus tietylle kappaleelle kahta eri menetelmää käyttäen ja mitata raepuhallukseen kuluva aika. Tutkimus suoritettiin Blastman B20S -mallin raepuhallusrobotilla. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, kumpaa menetelmää käyttäen kappale on nopeampi raepuhaltaa. Tavoitteena oli selvittää myös, kumpaa menetelmää kannattaa käyttää tietyn kokoisten sarjojen raepuhalluksessa huomioimalla raepuhalluksen vaatima aika.</p> <p>Raepuhalluksella tarkoitetaan metallipinnan puhdistamista epäpuhtauksista esimerkiksi ruosteesta. Raepuhalluksesta muodostuu huomattavia kustannuksia, joten on tärkeää pyrkiä mahdollisimman taloudelliseen toimintaan. Raepuhalluksen kustannukset ovat suoraan verrattavissa raepuhalluksessa käytettyyn aikaan. Siksi on tärkeää, että raepuhallus voidaan suorittaa mahdollisimman pienellä ajankäytöllä. Opinnäytetyössä suoritettu raepuhallus tehtiin kahdella eri menetelmällä käyttäen robotin käsiajoa ja automaattiajoa. Tutkimuksen tuloksia verrattiin keskenään, jotta taloudellisempi menetelmä voitiin selvittää.</p> <p>Opinnäytetyön viitekehys koostuu kahdesta pääluvusta, jotka ovat robotiikka ja suihkupuhdistus. Opinnäytetyön tutkimustehtävät olivat:</p> <ul style="list-style-type: none">– Kuinka suuria sarjoja kannattaa raepuhaltaa käsiajolla? (manipulaattoriajo)– Kuinka suuria sarjoja kannattaa raepuhaltaa automaattiajolla? (ohjelmoitu ajo) <p>Opinnäytetyö toteutettiin laadullisena tutkimuksena työntutkimusmenetelmää käyttäen. Työntutkimuksessa mitataan työhön kuluva aika. Ennen tutkimuksen tekemistä raepuhallusrobotin toiminnot opeteltiin huolellisesti. Tutkimus toteutettiin puhdistamalla tiettyä kappaletta raepuhalluksella. Tutkimuksessa käytetty kappale oli valmistettu raepuhallusrobotin testaamista varten erilaisista teräsrakenteista. Kappale oli monimuotoinen, jotta siitä voitiin tehdä erilaisia tutkimuksia.</p> <p>Tutkimuksesta saatujen tulosten mukaan raepuhallusrobotin käsiajoa kannattaa käyttää ainoastaan pienillä sarjoilla. Tulosten perusteella 7:ää suuremmat sarjat kannattaa raepuhaltaa automaattiajolla. Tutkimuksessa ei ollut tarvetta saada täysin tarkkoja mittaustuloksia, koska useat eri tekijät voivat vaikuttaa tuloksiin suuntaan tai toiseen.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	suihkupuhdistus, raepuhallus, robotiikka
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Verkkokirjasto Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto



School Business	Degree Programme Business Administration
Author(s) Matti Mustonen	
Title Work Efficiency Survey of Blast Cleaning Using the Blastman B20S Robot	
Optional Professional Studies Production Economics	Instructor(s) Jarmo Happonen and Sami Räsänen
	Commissioned by Blastman Robotics Oy
Date Autumn 2012	Total Number of Pages and Appendices 45 + 1
<p>Blastman Robotics Oy commissioned this thesis. The purpose of the work was to carry out blast cleaning to a particular piece utilizing two different methods, as well as to measure the time used. This study was conducted with the Blastman model B20S blast cleaning robot. The objective was to find out which method should be used for certain size series by taking into account the time of cleaning.</p> <p>Blast cleaning means cleaning metallic surfaces, for example, to remove rust from the surface. Blast cleaning is expensive and it is important to take into consideration also financial issues. In this study blast cleaning was dealt with concerning two different methods: hand driving and automatic driving.</p> <p>The frame of reference of this thesis consisted of two chapters: robotics and blast cleaning. The research tasks were as follows:</p> <ul style="list-style-type: none">– How large series should be blast cleaned using hand driving? (manipulator)– How large series should be blast cleaned using automatic driving? (code driving) <p>This thesis is a qualitative study. The focus is on the time elapsed to finish the work. Before commencing the study blast cleaning robots and their technology were studied in detail. The study was carried out by cleaning certain pieces using blast cleaning. The piece was diverse and it allowed different types of testing.</p> <p>The research showed that hand driving of blast cleaning should be used only in small series. The results also indicated that larger series than seven should be blast cleaned by automatic driving. Different factors can affect the results in various ways.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	blast cleaning, robotics
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Electronic library Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 ROBOTIIKKA	2
3 SUIHKUPUHDISTUS	7
3.1 Esikäsittelyn valintaan vaikuttavat tekijät	7
3.2 Esikäsittelyasteet	9
3.3 Raepuhallusmateriaalit	10
3.4 Raepuhalluslaitteet	12
3.5 Raepuhallusnopeuteen vaikuttavat tekijät	13
4 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TAVOITE JA TUTKIMUSTEHTÄVÄT	15
5 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS	16
5.1 Blastman B20S -raepuhallusrobotti	16
5.2 Toimenpiteet ennen tutkimusta	19
5.3 Tutkimusprosessi	21
5.4 Vertailun suorittaminen	25
6 TULOKSET	26
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	31
8 POHDINTA	33
8.1 Tulosten pohdintaa	33
8.2 Opinnäytetyöprosessi	36
8.3 Luotettavuus	40
8.4 Oma ammatillinen kasvu	42
8.5 Jatkotutkimusaiheet	42
LÄHTEET	44
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tuotantolaitoksen toimintaa täytyy kehittää jatkuvasti ja pyrkiä taloudellisuuteen sekä tehokkuuteen. Yksi keskeisimmistä tekijöistä tuotannon edistämässä on työajan mahdollisimman tehokas hyödyntäminen. Tuotannossa muodostuu häviöaikaa, joka täytyy saada mahdollisimman pieneksi. Häviöajalla tarkoitetaan niin sanottua hukka-aikaa, joka voi johtua esimerkiksi konerikosta tai asetusten muutoksista. Häviöaikaa muodostuu sekä ihmisten työskentelyssä että koneiden toiminnassa.

Raepuhalluksesta muodostuu huomattavia kustannuksia, jotka ovat suoraan verrattavissa raepuhalluksessa käytettyyn aikaan. Opinnäytetyössä tutustuttiin raepuhallusrobotin toimintaan ja tehtiin vertaileva tutkimus raepuhallukseen kuluvasta ajasta. Blastman B20S -robotilla raepuhallus voidaan suorittaa kahdella menetelmällä – robotin käsiajolla ja automaattiajolla. Tutkimuksessa verrattiin käsiajon ja automaattiajon välisiä eroja ajan säästämisen näkökulmasta. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, kuinka suuria sarjoja kannattaa raepuhaltaa käsiajolla ja kuinka suuria sarjoja kannattaa raepuhaltaa automaattiajolla.

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Blastman Robotics Oy. Yritys suunnittelee raepuhallusrobotteja ja yrityksen toimipaikka sijaitsee Oulussa. Aikaisempaa tutkimusta robotilla suoritettavasta raepuhalluksen työtehokkuudesta ei ollut tehty, joten aihe nähtiin tarpeelliseksi. Toimeksiantaja voi hyödyntää tutkimuksen tuloksia omissa toiminnoissaan ja tehdä mahdollisia jatkotutkimuksia opinnäytetyötä hyödyntäen.

Opinnäytetyön viitekehykseen kuuluu kaksi päälukua, jotka ovat robotiikka ja suihkupuhdistus. Viitekehyksessä käsitellään robotiikkaa yleisellä tasolla ja suihkupuhdistusmenetelmään paneudutaan syvällisemmin. Opinnäytetyön toteutusosiossa käsitellään tutkimusprosessia ja perehdytään tutkimuksen luonteeseen. Tutkimus toteutettiin laadullisena tutkimuksena työntutkimusmenetelmää käyttäen. Työntutkimusmenetelmän tavoitteena on parantaa työn tuottavuutta ajankäyttöä tehostamalla. Tuottavuuden parantuessa yrityksen kilpailukyky ja taloudellinen tila paranee. Tutkimuksen tulokset- ja johtopäätökset-osioissa tarkastellaan tutkimuksesta saatuja mittaustuloksia. Viimeisenä osiona on pohdinta, jossa pohditaan tutkimuksen tuloksia, tulosten luotettavuutta ja yleistettävyyttä sekä opinnäytetyöprosessia omasta näkökulmasta.

2 ROBOTIIKKA

Robotti-sana esiintyi ensimmäisen kerran vuonna 1923 tsekkiläisen Karel Capekin näytelmässä. Robotti-sana on liittynyt tsekinkielessä maaorjiin ja työntekoon. (Keinänen, Kärkkäinen, Metso & Putkonen 2001, 304.) Robotteja alettiin suunnitella ja valmistaa kaupallisesti 1960-luvun alussa ja ne yleistyivät 1970-luvulla teollisuuskäytössä. Robotteja kehitettiin ja niiden älykkyyttä sekä aistitietoja parannettiin 1980-luvulla. (Aaltonen & Torvinen 1997, 139.)

Nykytekniikka on mahdollistanut sen, että robotti-käsite liittyy jokapäiväiseen tuotantoautomaatioon. Robottiautomaatio on mahdollisuus ihmistyön ja kiinteän automaation ohella suunniteltaessa tuotannon uudelleenjärjestelyä. Teollisuuden tavoitellessa tasaisempaa laatua pienemmillä yksikkökustannuksilla on robottiautomaatio yksi huomioonotettava vaihtoehto. (Keinänen ym. 2001, 304.)

Robottityypit

Kansainvälisen robottiyhdistyksen määritelmän mukaan robotti on monipuolinen, uudelleen ohjelmoitavissa oleva vähintään kolminivelinen laite. Robotti on suunniteltu liikuttamaan kappaleita, työkaluja, osia tai erikoislaitteita ohjelmoitavin liikkein monenlaisten tehtävien suorittamiseksi teollisuuden sovelluksissa. (Kuivanen 1999, 13.) Keskeisinä tekijöinä robotin määrittämisessä ovat ohjelmoitavuus ja monipuolinen mekaaninen liike (Keinänen ym. 2001, 305). Robotiksi ei voida kutsua yksinkertaista toimilaitetekäsvartta ellei sitä voida ohjelmoida uudelleen toiseen tehtävään (Aaltonen & Torvinen 1997, 142).

Japanilaisen määritelmän mukaan robotit jaetaan kuuteen eri alaryhmään:

- 1) Manuaaliset manipulaattorit ovat ihmisen ohjaamia.
- 2) Kiinteästi ohjelmoidut robotit suorittaa tehtävät peräkkäin, liikkeen rajat on ennalta asetettu ja ohjelmamuutokset ovat vaikeita.
- 3) Joustavasti ohjatut robotit suorittaa tehtävät peräkkäin, mutta muutosten teko on joustavaa.
- 4) Numeerisesti ohjatuissa roboteissa manipulaattori toistaa numeeriseen muotoon koodattuja liikeohjelmia.
- 5) Opetettavissa roboteissa manipulaattori toistaa samaa liikeohjelmaa, joka on tallennettu käsiohjauksen aikana.
- 6) Älykkäissä roboteissa robotti pystyy päättämään toiminnastaan monipuolisen aistitiedon ja päättelyn avulla. (Keinänen ym. 2001, 305.)

Erilaisten ohjelmoitavissa olevien, monipuolisten laitteiden määrittely on toisinaan melko vaikeaa. Tästä huolimatta laitteelle, joka suorittaa vaikeimpiakin toimintoja ohjelman avulla, käytetään nimitystä robotti. (Keinänen ym. 2001, 306.)

Robotit tuotannossa

Robotisoinnilla varmistetaan tuotteiden tasalaatuisuus ja robotin käyttöä tuotannossa puoltaa sen erehtymättömyys ja ahkeruus. Robotti voi tehdä työtä miehittämättömänä tuotannon laadun pysyessä tasaisena. Kalliit robotti-investoinnit edellyttävät koneiden käyttöä myös iltaisin, öisin ja viikonloppuisin. Miehittämättömien tuotantojaksojen käyttö on monessa yrityksessä ollutkin robotisointi-investoinnin tavoite. Tuottavuuden ja sitä kautta yrityksen kilpailukyvyn parantaminen nähdään tärkeimpänä tavoitteena. (Aaltonen & Torvinen 1997, 151–153; Keinänen ym. 2001, 308.)

Robottien avulla on pystytty poistamaan sellaisia ihmistyön alaisuudessa olevia työtehtäviä, jotka ovat ihmiselle vaarallisia. Tällaisia työtehtäviä ovat esimerkiksi pölyiset, kuumat tai yksitoikkoiset työtehtävät. (Keinänen ym. 2001, 307.) Monissa yrityksissä terveydelle vaaralliset työvaiheet voivat aiheuttaa esimerkiksi nivelvaurioita rasitusvammoina. Näitä työvaiheita pitäisi pyrkiä korvaamaan roboteilla. Robotit soveltuvat myös sellaisiin työtehtäviin, joissa on vaara altistua säteilylle tai terveydelle vaarallisille kemikaaleille. Tällaisia robottien käyttökohteita voivat olla suihkupuhdistus, valutuotteiden puhdistus, tuotteiden kiillotus, ruisku- ja jauhemaalaus sekä jäysteiden poisto. (Aaltonen & Torvinen 1997, 151.)



KUVIO 1. ABB IRB4400 -mallin teollisuusrobotti (ABB Oy n.d.).

Teollisuudessa on paljon erilaisia mekanisoitavia sovelluksia, joihin robotti on ylimitoitettu toiminnaltaan ja liian kallis hankittavaksi. Yksinkertaistamalla ja vähentämällä toimintoja saadaan moneen teollisuuden kohteeseen tarkoituksenmukainen tuotannon väline.

Robottitoimintaa rajoittaa usein muun muassa tuotannon volyymin puute ja mekaaniset rajoitukset kuten kappaleen koko tai paino. Robotti on mahdollista korvata muunlaisilla toimintoilla esimerkiksi perinteinen käsityö ja siihen sisältyvät mekaaniset apuvälineet tai varta vasten tehtävään hankittu automaatio-sovellus. (Keinänen ym. 2001, 306–307.)

Robotit voidaan luokitella niiden käyttötarkoituksen mukaan siirtotehtäviin ja prosessitehtäviin (Keinänen ym. 2001, 309). Siirtotehtäviin kuuluvat robotit siirtävät kappaleen tai työkalun paikasta toiseen. Siirtorobotit ovat varsin halpoja, eikä niille aseteta kovin suuria tarkkuusvaatimuksia. Siirtorobottien käyttökohteita ovat paletointi ja siirrot kuljettimelta toiselle. Prosessitehtäviin kuuluvat robotit nostavat kappaleen jalostusarvoa käsittelyn aikana. Prosessiroboteille on tyypillistä suuri tarkkuusvaatimus ja robottien hinta on myös merkittävästi siirtorobotteja korkeampi. Prosessirobottien käyttökohteita ovat esimerkiksi pinnoitus, hitsaus, leikkaus, hionta ja poraus. (Aakkula, Erkinharju, Mieskonen & Spolander 1985, 11.)

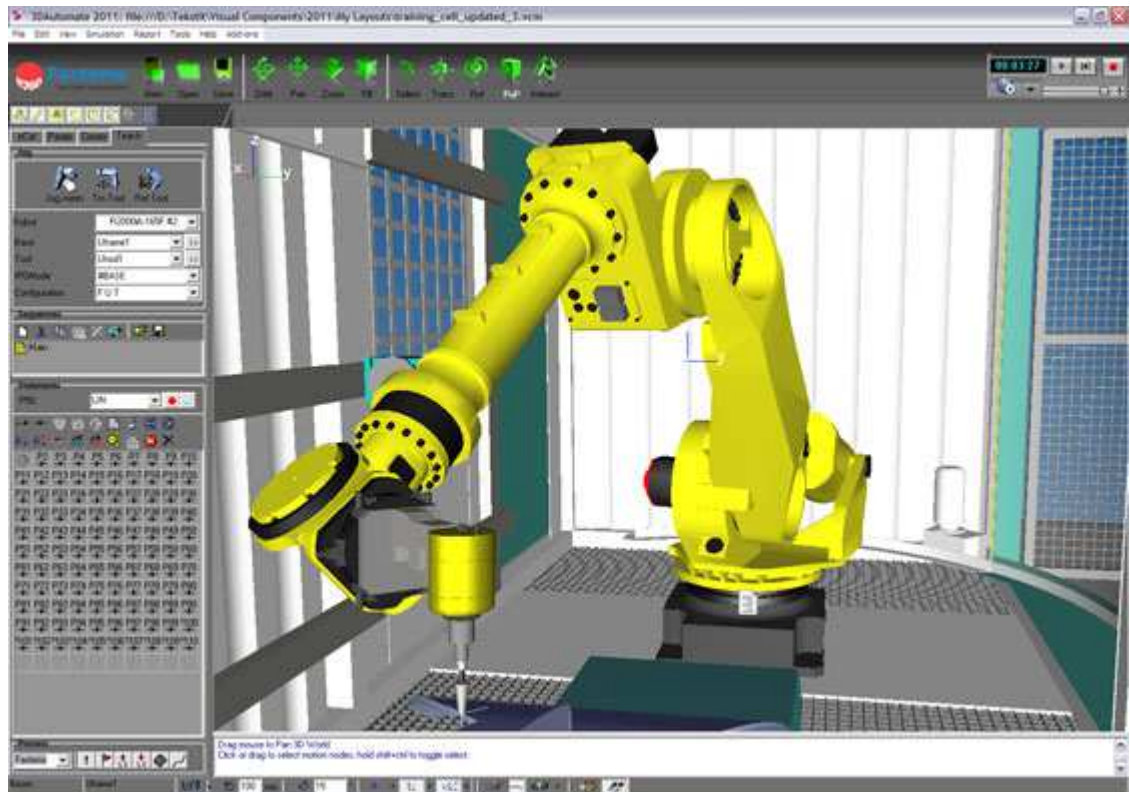
Käyttökohteesta riippuen robotilta vaaditaan eri määrä liikkeiden vapausasteita ja erilaista rakenteellista jäykkyyttä. Yksinkertaiset kappaleiden siirrot voidaan suorittaa suorakulmaisella käsivarsirakenteella. Monimutkaiset liikkeet vaativat robotilta puolestaan nivelkäsivarren ja useita liikeakseleita. (Aaltonen & Torvinen 1997, 155.)

Robottien ohjaus ja ohjelmointi

Ohjelmoinnin tehtävä on saada robotin tarttumaan, elin tai tapauksesta riippuen työkalu liikkumaan halutulla tavalla. Ohjelmoinnin toinen tärkeä tehtävä on tahdistaa robotin liikkeet muiden laitteiden kanssa. Tämä tapahtuu antamalla robotille liikettä vastaava numeerinen liikeinformaatio, jonka robotin mekaniikka muuttaa liikeradoiksi. Tavanomaisimmin robotin ohjelmointi tehdään ohjaamalla robottia käsipaneelilla, ohjainyksiköllä tai tietokoneeseen asettun ohjelman avulla. (Keinänen ym. 2001, 313, 316; Kuivanen 1999, 78.)

Ohjausmenetelmät voidaan jakaa toimintatapansa mukaan neljään perustyyppiin. Mekaanis-rakenteellisessa tyypissä liikkeet, rajat ja toimintajärjestys asetetaan käsin. Johdattamismenetelmässä robotti kuljetetaan käsiohjauksella työvaiheet läpi, jolloin robotti on vapaasti liikuteltavissa. Opettamismenetelmässä robotti opetetaan liikkumaan haluttu reitti pisteestä pisteeseen, jotka tallennetaan osana robotin kokonaisuohjelmaa. Tekstiparametreihin perustuvassa ohjelmoinnissa käytetään ohjelmointipäätettä ja tiettyä ohjelmointikieltä. (Keinänen ym. 2001, 316.)

Robottien ohjelmointia luokiteltaessa käytetään myös offline ja online luokittelua. Online ohjelmoinnissa robottia käytetään apuna ohjelmoinnissa, jolloin robotti ei voi olla samaan aikaan tuotantokäytössä. (Keinänen ym. 2001, 316.) Offline eli mallipohjainen ohjelmointi tarkoittaa robotin ohjelmointia ilman tuotantorobottia tuotannon ulkopuolisessa tietokoneessa. Tällöin käytetään graafista käyttöliittymää, robotin ja sen oheislaitteiden simulointimalleja sekä hyödynnetään valmistettavan tuotteen 3D-muototietoa. (Kuivanen 1999, 81.)



KUVIO 2. Fastemsin offline-ohjelmointiohjelmiston käyttöliittymä (Fastems Oy Ab n.d.).

3 SUIHKUPUHDISTUS

Metallipinnan mekaanisen esikäsitteilyn tarkoituksena on valssihilseen, ruosteen tai mahdollisesti vanhan maalin poistaminen ja pinnan karhentaminen, jotta metallipinnalle saadaan hyvä tartuntapohja. Mekaanisia esikäsitteilymenetelmiä ovat teräsharjaus, hakkaus, kaavinta ja suihkupuhdistus. (Häkka-Rönholm 2008, 572.) Opinnäytetyössä perehdytään käsittelemään ainoastaan paineilma-avusteista suihkupuhdistusta. Suihkupuhdistuksesta käytetään myös nimitystä raepuhallus, samoin käytetään tässä opinnäytetyössä.

Raepuhalluksessa puhdistusrae saatetaan paineilman avulla nopeaan liikkeeseen ja suunnataan puhdistettavaa pintaa kohti. Puhdistusrakeen osuessa metallipintaan suurella nopeudella, irrottaa rae pinnalla olevia epäpuhtauksia. Raepuhallus on mekaanisista ruosteenpoistomenetelmistä tehokkain. Raepuhalluksella ruostetta saadaan poistettua nopeasti teräksen pinnalta. Valssihilse saadaan poistettua myös raepuhalluksella, jota ei voida poistaa esimerkiksi koneellisella teräsharjalla. (Jokinen, Kuusela & Nikkari 2001, 62.)

Maalauksen onnistumisen perusedellytys on, että maalattava pinta puhdistetaan huolellisesti. Jos pinnan puhdistus laiminlyödään, menetetään samalla maalikalvon suojakyky ja pintakäsittelyyn käytetty tuotantopanos menee hukkaan. Tutkittaessa maalauksen epäonnistumisen syitä, on todettu, että suuri osa virheistä johtuu puutteellisesta pinnan puhdistuksesta tai vääristä esikäsitteilyistä. (Ihalainen, Aaltonen, Aromäki & Sihvonen 2005, 405.)

3.1 Esikäsitteilyn valintaan vaikuttavat tekijät

Ennen mekaanista esikäsitteilyä metallipinnalta on poistettava öljy, rasva ja lika, koska ne eivät häviä kokonaan raepuhalluksella. Öljy pilaa myös raepuhalluksessa käytetyt kierrätettävät puhdistusrakeet. Öljyn, rasvan ja lian poistamisessa käytetään yleisesti kemiallisia esikäsitteilymenetelmiä. Kemiallisia esikäsitteilymenetelmiä on lukuisia erilaisia ja menetelmä valitaan esimerkiksi sen mukaan, täytyykö metallipinta puhdistaa raepuhalluksella. (Jokinen ym. 2001, 30.)

Metallipinnan mekaanisella esikäsitteilyllä metallien pinnoilta poistetaan epäpuhtaudet, jotka eivät poistu kemiallisilla esikäsitteilymenetelmillä. Metallipinnalle voidaan joutua tarpeen

mukaan tekemään sekä kemiallinen että mekaaninen esikäsittely. Esimerkiksi rasvainen ja ruosteinen teräs joudutaan ensin käsittelemään kemiallisesti, jotta rasva saadaan poistettua. Tämän jälkeen teräs käsitellään mekaanisella esikäsittelymenetelmällä esimerkiksi raepuhalluksella ruosteen poistamiseksi. Mekaanisen esikäsittelyn valintaan vaikuttavat puhdistettava materiaali, puhdistettavan materiaalin paksuus, tarvittava puhdistusaste ja tarvittava pintaprofiili. (Jokinen ym. 2001, 60.)

Mekaanisesti puhdistettavia metallimateriaaleja ovat yleisimmin kylmävalssattu teräs, kuuma- valssattu teräs, sinkitty teräs, ruostumaton teräs ja alumiini. Osalle metallimateriaaleista raepuhallus sopii paremmin kuin toisille. Se johtuu esimerkiksi siitä, että metallimateriaaleja on käsitelty eri tavalla. (Jokinen ym. 2001, 60.)

Ohuita teräslevyjä ei voida puhdistaa raepuhalluksella, koska ne menettävät muotonsa. Ohut seinämäiset putket menettävät myös jäykkyyttään raepuhalluksessa. Teräslevyjen ja putkien muodonmuutosherkkyys riippuu muun muassa puhdistettavan kappaleen muodosta, raepuhalluksessa käytetystä raemateriaalista, raepuhallusetäisyydestä ja puhalluspaineesta. Puhdistettavan kappaleen muoto vaikuttaa siten, että suuret levyypinnat vääntyvät helposti ja tavallisesti alle 2 mm:n levyateriaalia ei voida puhdistaa raepuhalluksella. Puhdistuksessa suuret teräsrakeet saavat helpommin aikaan muodonmuutoksia kuin pienet rakeet. Myös liian läheltä tai liian suurella paineella tehty puhdistus saa helposti aikaan muodonmuutoksia metallipinnassa. (Jokinen ym. 2001, 61.)

Metallipinnoilta pyritään yleensä ruoste ja muut epäpuhtaudet poistamaan huolellisesti ennen maalausta. Metallipinta voidaan puhdistaa raepuhalluksella täysin puhtaaksi, mutta näin ei aina tehdä kustannussyistä. Tavallisesti maalit vaativat hyvin puhdistetun alustan toimiakseen, mutta tiettyjä maaleja voi käyttää myös puutteellisesti puhdistettujen metallipintojen päällä. Maalivalinnalla voidaan siis vaikuttaa pinnan puhdistusasteeseen tai päinvastoin. (Jokinen ym. 2001, 61.)

Maali tarttuu paremmin karhennettuun metallipintaan kuin sileään, koska karhennetussa pinnassa on enemmän tartuntapinta-alaa. Karheaan pintaan on kuitenkin levitettävä runsaammin maalia, jotta lopullinen maalaustulos saadaan tasaiseksi ja profiilin huippujenkin kohdalle saadaan riittävä kalvonpaksuus. Maalilaaduilla on eroja ja toisia maalityyppejä voi käyttää hyvin myös sileään pintaan. (Jokinen ym. 2001, 61.)

3.2 Esikäsitteilyasteet

Metallipinnan esikäsitteilyn pääasiallinen tehtävä on varmistaa haitallisten aineiden poistaminen ja saada aikaan pinta, joka mahdollistaa pohjamaalin tyydyttävän tartunnan teräkseen. Puhdistettavat pinnat ovat monesti kunnoltaan hyvin vaihtelevia. Tämä koskee erityisesti jo pinnoitettujen rakenteiden huoltoa. Vaadittavan esikäsitteilyn määrään vaikuttavat rakenteen ikä, sijainti, aikaisemman pinnan kunto ja olemassa oleva pinnoiteyhdistelmän toimivuus. Esikäsitteilyn määrään vaikuttavat myös vaurioiden laajuus, aikaisemman ja tulevan korroosioympäristön ankaruus ja haluttu pinnoiteyhdistelmä. (SFS-käsikirja 68-1. 2008, 84.)

Valittaessa pinnan esikäsitteilymenetelmää on otettava huomioon esikäsitteilyaste. Esikäsitteilyasteella saavutetaan tietty pinnan puhtaus ja haluttu karheus, mikä on sopiva teräspinnalle levitettävälle pinnoitteelle. Teräspinnan esikäsitteilykustannukset ovat tavallisesti suhteessa puhtausasteeseen. Siksi olisi tarpeen valita sopiva esikäsitteilyaste pinnoiteyhdistelmän tyyppin ja tarkoituksen mukaan. Toinen vaihtoehto olisi valita sopiva pinnoiteyhdistelmä esikäsitteilyasteen mukaan. (SFS-käsikirja 68-1. 2008, 86.)

Metallipinnan esikäsitteilyä on kahdentyyppistä. Täydellinen pinnan esikäsitteily tarkoittaa, että koko metallipinta käsitellään puhtaaseen teräkseen saakka. Tämän tyyppisessä pinnan esikäsitteilyssä poistetaan ruoste, valssihilse, esiintyvät pinnoitteet ja epäpuhtaudet. Täydellisen pinnan esikäsitteilyn jälkeen metallipinta on puhdasta terästä. Osittaisessa pinnan esikäsitteilyssä ehjä metallipinta jätetään käsittelemättä. Tämän tyyppisessä pinnan esikäsitteilyssä ruoste ja epäpuhtaudet poistetaan, mutta vahingoittumaton maali ja metallipinnoite jätetään pintaan. (SFS-käsikirja 68-1. 2008, 92.) Opinnäytetyön tutkimuksessa metallipinta käsiteltiin ainoastaan täydellisellä esikäsitteilymenetelmällä.

Raepuhalluksen esikäsitteilyaste merkitään tunnuksella Sa. Raepuhalletun pinnan täydellisen esikäsitteilyn esikäsitteilyasteet ovat standardin SFS-EN ISO 8501-1 mukaan seuraavat:

- Kevyt suihkupuhdistus (Sa 1). Paljain silmin tarkasteltaessa pinnalla ei saa olla näkyvää öljyä, rasvaa, likaa, eikä heikosti kiinni tarttunutta valssihilsettä, ruostetta, maali-pinnoitteita tai vieraita aineita.
- Huolellinen suihkupuhdistus (Sa 2). Paljain silmin tarkasteltaessa pinnalla ei saa olla näkyvää öljyä, rasvaa tai likaa, ja siinä saa olla vain vähän valssihilsettä, ruostetta, maalia tai vieraita aineita. Jäljellä olevien epäpuhtauksien tulee olla tiukasti kiinni tarttuneita.
- Hyvin huolellinen suihkupuhdistus (Sa 2½). Paljain silmin tarkasteltaessa pinnalla ei saa olla näkyvää öljyä, rasvaa tai likaa, eikä valssihilsettä, ruostetta, maalia tai vieraita aineita. Jäljellä olevat epäpuhtauksien jäämät saavat näkyä ainoastaan lievinä pisteinä tai raitamaisina tahroina.
- Suihkupuhdistus metallin puhtaaksi (Sa 3). Paljain silmin tarkasteltaessa pinnalla ei saa olla näkyvää öljyä, rasvaa tai likaa, eikä valssihilsettä, ruostetta, maalia tai vieraita aineita. Pinnalla tulee olla yhtenäinen metallinen väri. (SFS-käsikirja 68-2. 2008, 36.)

Raepuhalluksen jälkeen pinnalta poistetaan pöly, roskat ja puhdistusmateriaali. Monet maalityypit edellyttävät puhdistusta esikäsitteilyasteeseen Sa 2½, joka on nykyään eniten käytetty esikäsitteilyaste. Yleensä kallista ja työlästä puhdistusastetta Sa 3 käytetään ainoastaan, jos raeritusolosuhteet ovat erittäin vaativat. (Flink ym. n.d., 16.)

3.3 Raepuhallusmateriaalit

Raepuhalluksessa raemateriaaleina käytetään joko kertakäyttörakeita tai useampaan kertaan käytettäviä rakeita. Kertakäyttörakeita käytetään yleensä paikoissa, joissa rakeiden talteenotto ei ole helposti järjestettävissä. Kun käytetään useampaan kertaan käytettäviä rakeita, tarvitaan erillinen rakeiden talteenotto- ja kierrätysjärjestelmä. (Kuittinen & Häkkinen 1989, 11.) Uudelleen käytettäviä raemateriaaleja ovat valurauta- ja teräsrakeet, teräslankakatko, alumiinioksidi ja lasikuulat. Kertakäyttöisiä raemateriaaleja ovat kvartsihiekkä, luonnonhiekkä ja erilaiset

kuonatuotteet. (Flink, Killström, Kilpinen, Kotilainen & Tuisku n.d., 16.) Raemateriaali valitaan raepuhalluslaitteiston, puhdistettavan kappaleen ja halutun lopputuloksen perusteella (Häkki-Rönholm 2008, 572; Ihalainen ym. 2005, 407).

Rakeet voivat olla metallisia tai ei-metallisia. Ei-metallisia rakeita käytetään silloin, kun metalliset rakeet voisivat aiheuttaa ruostepilkkuja tai ne ovat liian kovia käsiteltävälle pinnalle. Metallisia puhdistusrakeita ovat esimerkiksi valurauta- ja teräsrakeet sekä teräslankakatko. (Niemi 2010, 27.)

Teräsrakeita käytetään raepuhalluksessa pyöreinä tai särmikkäinä. Pyöreällä rakeella saadaan metallipinnalle melko pyöreä ja särmikkäällä terävä pintaprofiili. (Flink ym. n.d., 17.) Pyöreät teräsrakeet ovat kulutusta kestäviä ja ne säilyvät pyöreinä koko käyttöikänsä. On kuitenkin huomioitava, että mitä tahansa raemateriaalia käytettäessä rakeet vaurioituvat osuessaan pintaan ja niiden muoto muuttuu. (Niemi 2010, 27.)

Raepuhalluksessa yleisimpiä raemateriaaleja ovat valurautarakeet, teräsrakeet, teräslankakatko ja luonnonhiekkä. Valurautarakeet ovat uudelleen kierrätettäviä ja kestävät noin 1000–2 500 puhalluskertaa. (Jokinen ym. 2001, 62–63.) Valurautarakeet ovat hauraita, joten niiden kulutus on suuri. Teräsrakeet ovat sitkeämpiä kuin valurautarakeet ja ne kestävät 4–10 kertaa kauemmin. Teräsrakeiden kulutus on myös vastaavasti pienempi. (Niemi 2010, 28.)

Teräslankakatko voi kestää jopa 4 300 puhalluskertaa. Teräslankakatko on arka kosteudelle ja se jumittaa puhalluslaitteet helposti. Puhallus on suoritettava myös suljetussa tilassa. Rakeiden koko teräslankakatkoissa on normaalisti välillä 0,4–0,8 mm. Luonnonhiekkä on kertakäyttöistä eikä se kuluta puhallettavaa pintaa tehokkaasti, koska hiekkä on suhteellisen kevyttä. Hiekkä hajoaa pölyksi osuessaan pintaan ja aiheuttaa siksi pölyongelmia ympäristöön. Hiekan pöly on vaarallista hengitettynä, koska se aiheuttaa kivipölykeuhkoa ja hiekan käyttö on sen vuoksi vähenemässä. Raekoko luonnonhiekkässa on välillä 0,5–1,2 mm. (Jokinen ym. 2001, 62.)

3.4 Raepuhalluslaitteet

Paineilma-avusteisessa raepuhalluksessa raesuihku kappaleeseen ohjataan joko manuaalisesti käsin tai robotin avulla (Ihalainen ym. 2005, 407). Raepuhalluksessa rakeiden nopeus on erittäin suuri ja puhalluksesta lähtevä pöly on terveydelle vaarallista. Käsin puhallettaessa on siksi käytettävä suoja-asua, joka suojaa koko vartalon ja raitisilmanaamaria. Käsin puhallusta voidaan tehdä ulko- ja sisätiloissa. (Jokinen ym. 2001, 63–64.)

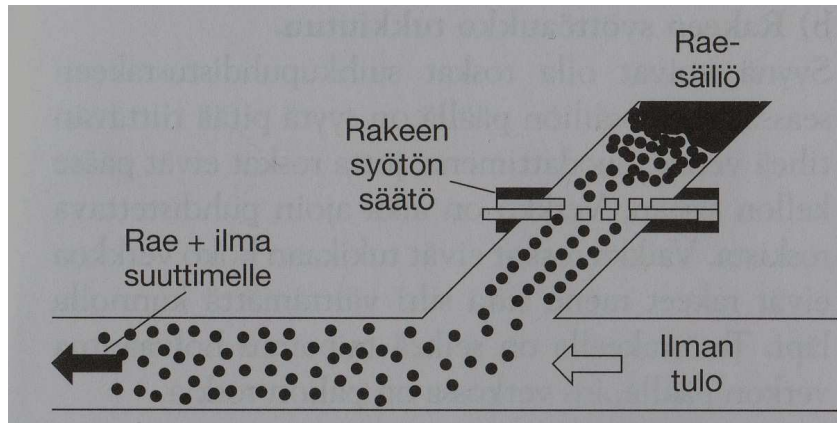
Robotilla suoritettava raepuhallus tehdään erillisessä puhalluskammiossa. Tällöin ei tarvitse käyttää suoja-asua, koska käyttäjä työskentelee suljetussa ohjaamossa. Ohjaamosta robottia voidaan ohjata manipulaattorilla ja seurata raepuhalluksen etenemistä. Puhalluskammioiden avulla voidaan työskennellä sisätiloissa haittaamatta muuta tuotantoa ja kammioissa voidaan järjestää rakeiden uudelleenkierrätys sekä puhalluspaikan ilmanvaihto. Puhalluskammioissa käytetään yleensä ritilälattiaa, jonka alla sijaitsee kolakuljettimet. Puhalletut rakeet tippuvat ritilän lävitse kolakuljettimiin, jotka siirtävät rakeet uudelleen käytettäväksi. (Kuittinen & Häkkinen 1989, 12.)

Raepuhalluslaitteisiin kuuluu raepuhdistuskello, josta syötetään ilmavirran mukaan puhdistusraetta letkun kautta suuttimelle. Raepuhalluksen alkaessa raepuhalluskellon pääventtiili avautuu ja puhallusletkussa alkaa virrata ilmaa. Tällöin raepuhalluskellon pop-up venttiili sulkeutuu ja raepuhalluskellon sisälle tulee painetta, joka työntää raetta ulos alaosaan olevan raeventtiilin kautta letkuun. Raeventtiili on säädettävä, joten rakeiden syöttömäärää voidaan säätää. Rakeen syöttö säädetään sellaiseksi, että rakeelle saadaan suuri nopeus. Sopiva säätö saadaan aikaan kokeilemalla rakeen syötön vaikutusta metallipintaan. (Jokinen ym. 2001, 64.)

Kierrätettävää raemateriaalia käytettäessä rakeet täytyy palauttaa käytön jälkeen raepuhdistuskelloon. Rakeesta on myös poistettava hienontunut rae, roskat ja pöly. Tavallisesti rakeet palautetaan raepuhdistuskelloon imemällä ne tehokkaalla imurilla. Rakeiden imeminen vaatii erittäin suuria ilmamääriä, eikä niiden sisältämiä epäpuhtauksia voida päästää ulkoilmaan. Tämän vuoksi samaa ilmaa kierrätetään koko ajan järjestelmässä. (Jokinen ym. 2001, 67.)

Raepuhalluksen tehokkuus perustuu puhdistusrakeen liike-energiaan. Mitä suurempi on rakeen liike-energia, sitä tehokkaammin se puhdistaa pintaa. Liike-energiaan vaikuttavat rakeen massa ja nopeus. Rakeen nopeus on sen syötön kohdalla lähes nolla, joten sitä täytyy

kiihdyttää raepuhallusletkussa suuren nopeuden aikaansaamiseksi. Suuri rakeen nopeus saadaan aikaan suurella ilmavirtauksella raepuhallusletkussa. Ilman virtausnopeus riippuu lähes kokonaan paineesta. (Jokinen ym. 2001, 66.)



KUVIO 3. Rakeen syötön havainnekuva (Jokinen ym. 2001, 65).

Raepuhallussuuttimen halkaisija on kooltaan hyvin suuri ja siksi siitä virtaa paljon ilmaa läpi. Jotta paine raepuhallusletkussa saadaan pysymään korkeana, on ilman tuotonkin oltava suuri. Tämän vuoksi raepuhalluksessa käytettävältä kompressorilta vaaditaan erittäin suurta tuottoa ja korkeaa painetta. Kompressorin on pystyttävä tuottamaan niin paljon ilmaa, että paine ei laske alle 0,7 MPa:n raepuhallusletkun päässä. (Jokinen ym. 2001, 66.)

3.5 Raepuhallusnopeuteen vaikuttavat tekijät

Raepuhallusnopeuteen voidaan vaikuttaa useilla eri tekijöillä. Näitä tekijöitä ovat poistettava materiaali, suuttimen työpaine, suuttimen koko ja muoto, raemateriaali, rakeiden määrä ja puhalluskulma sekä -etäisyys. Mitä tehokkaammin metallipinta saadaan puhdistettua, sitä pienemmäksi muodostuvat raepuhalluksesta aiheutuneet kustannukset. (Jokinen ym. 2001, 69–71.)

Ruosteenpoiston nopeuteen vaikuttavat metallipinnan ruosteen määrä ja vaadittava puhdistusaste. Kustannukset nousevat merkittävästi puhdistusasteen noustessa, joten on epätaloudellista pyrkiä vaadittua korkeampaan puhdistusasteeseen. Raesuihkun puhalluskulmaa muuttamalla voidaan nopeuttaa tai hidastaa metallipinnan puhdistamista. Liian loiva puhalluskulma ei kuluta metallipintaa tarpeeksi tehokkaasti. Sopiva puhalluskulma saadaan aikaan kokeilemalla puhdistuksen vaikutusta metallipintaan. Paras puhdistusteho saavutetaan puhalluskulman ollessa 45–90 astetta. Puhallusetäisyys tulisi olla 55–75 cm poistettavan materiaalin ja rakeen laadusta riippuen. (Jokinen ym. 2001, 69–71.)

Tehokas raepuhallus vaatii 0,7 MPa:n paineen suuttimessa. Raepuhallusnopeus laskee huomattavasti paineen laskiessa. Jos paine laskee 10 %, se alentaa työskentelynopeutta 15 %. Suuttimen halkaisijalla on oleellinen vaikutus puhdistusnopeuteen. Puhdistusteho on sen parempi, mitä pienempää suutinta käytetään. Isompi suutin vaatii enemmän painetta tuottavan kompressorin. (Jokinen ym. 2001, 70–71.)

Letkut ja liittimet aiheuttavat myös painehäviöitä. Tämän vuoksi kompressorilta puhalluslaitteeseen tulevan letkun tulisi olla mahdollisimman lyhyt ja suuri halkaisijaltaan. Rakeiden syöttömäärä säädetään venttiilistä. Puhdistusteho pienenee, jos venttiiliä avataan liikaa, jolloin rakeiden määrä letkussa kasvaa. (Jokinen ym. 2001, 70–71.)

Raepuhalluksessa rakeen liike-energiaa käytetään epäpuhtauksien irrottamiseen ja pinnan profiilin muodostamiseen metallipintaan. Mitä kovempia puhdistusrakeet ovat, sitä suurempi osa liike-energiasta saadaan hyödynnettyä. Painava raemateriaali iskeytyy voimakkaammin metallipintaan kuin kevyt raemateriaali. Pienemmillä rakeilla on parempi peittokyky, joka kasvattaa puhdistusnopeutta. Pienet rakeet poistavat nopeasti helposti irtoavia aineita. Suuret rakeet irrottavat puolestaan tehokkaasti valssihilsettä ja maalikerroksia. Pyöreä raemateriaali antaa tasaisemman jäljen kuin teräväsärmäinen, mutta teräväsärmäiset rakeet vaikuttavat voimakkaasti metallipintaa kalvaen. (Jokinen ym. 2001, 70–71.)

4 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TAVOITE JA TUTKIMUSTEHTÄVÄT

Opinnäytetyön tarkoituksena oli raepuhaltaa testikappaletta ja mitata testikappaleen puhdistamiseen kuluva aika sekä robotin käsiajolla että automaattiajolla. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, kuinka suuria sarjoja kannattaa raepuhaltaa käsiajolla ja kuinka suuria sarjoja kannattaa raepuhaltaa automaattiajolla huomioimalla raepuhalluksen vaatima aika. Mitä pienempi raepuhalluksen vaatima kokonaisaika on, sitä pienemmät ovat raepuhalluksesta aiheutuneet kustannukset.

Opinnäytetyön tutkimustehtävät olivat:

- Kuinka suuria sarjoja kannattaa raepuhaltaa käsiajolla? (manipulaattoriajo)
- Kuinka suuria sarjoja kannattaa raepuhaltaa automaattiajolla? (ohjelmoitu ajo)

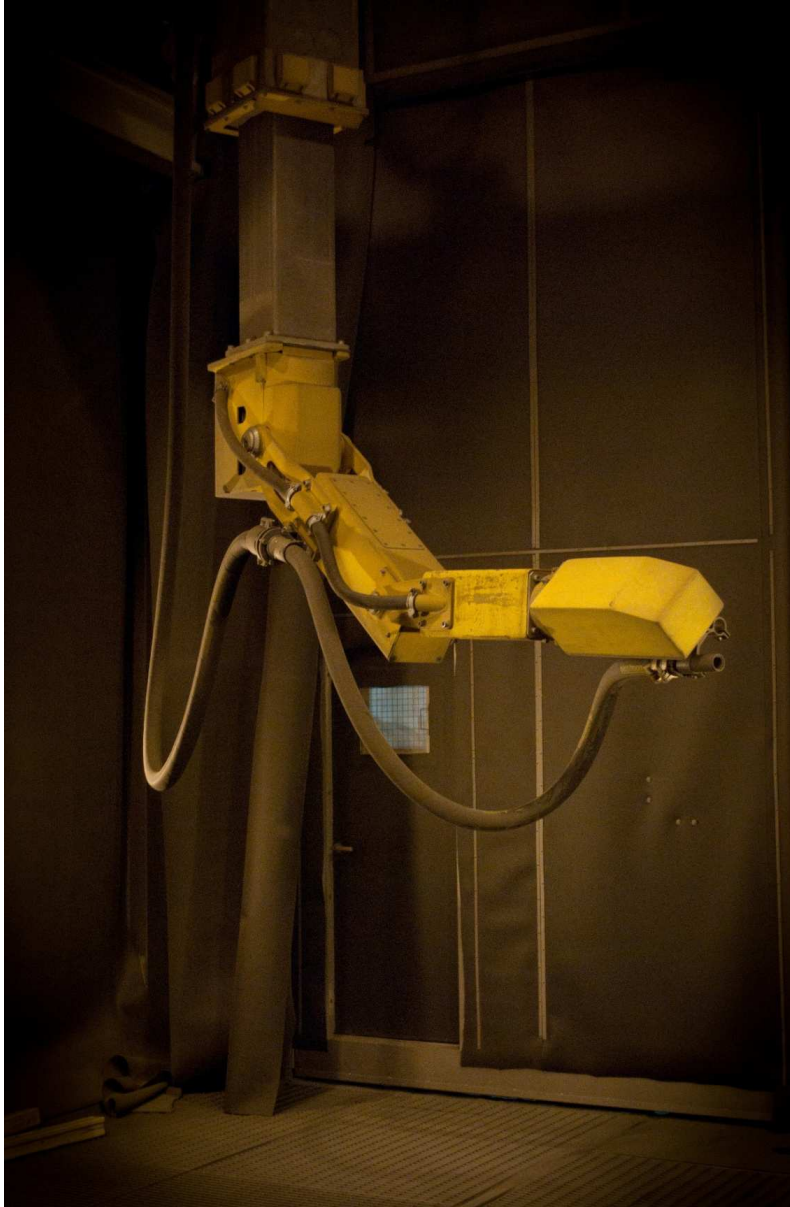
5 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS

Opinnäytetyö toteutettiin laadullisena eli kvalitatiivisena tutkimuksena. Laadullinen tutkimus on luonteeltaan kokonaisvaltaista tiedon hankintaa ja aineisto kootaan todellisissa tilanteissa. Apuna täydentävän tiedon hankinnassa käytetään monesti lomakkeita ja testejä, ja lähtökoh- tana aineiston hankinnassa on monitahoinen ja yksityiskohtainen tarkastelu. Tutkimussuun- nitelma muodostuu yleensä tutkimuksen edetessä, tutkimus toteutetaan joustavasti ja suunni- telmia muutetaan olosuhteiden mukaisesti. Laadullisessa tutkimuksessa tapauksia käsitellään ainutlaatuisina ja tulkitaan aineistoa sen mukaisesti. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2007, 160.)

Tutkimuksessa aineiston keruu pohjautui havainnointimenetelmään. Havainnoinnin avulla voidaan saada välitöntä, suoraa tietoa yksilöiden, ryhmien tai organisaatioiden toiminnasta ja käyttäytymisestä. Havainnoinnin avulla päästään luonnollisiin ympäristöihin ja tilanteisiin. Voidaan sanoa, että havainnointi on todellisen elämän ja maailman tutkimista. Se välttää kei- notekoisuuden, joka on monien muiden menetelmien rasitteena. Havainnointimenetelmän käyttö vie paljon aikaa. Suunnittelemalla havainnointia tarkasti etukäteen ajan tarvetta voi- daan vähentää. Havainnoinnin avulla voidaan kerätä mielenkiintoista ja monipuolista aineis- toa. (Hirsjärvi ym. 2007, 208–209.)

5.1 Blastman B20S -raepuhallusrobotti

Raepuhalluksen työttehokkuustutkimus toteutettiin Blastman B20S -mallin raepuhallusrobo- tilla. Robotti sijaitsee Katera Steel Oy:n tuotantotiloissa Kajaanissa. Raepuhallusrobotti on Kajaanin ammattikorkeakoulun omistuksessa ja se on hankittu lähinnä opetuskäyttöä varten. Katera Steel Oy käyttää raepuhallusrobotia myös omassa tuotannossaan.



KUVIO 4. Blastman B20S -raepuhallusrobotti (Karlsson, Mikkonen & Heikkinen 2011, 3).

Raepuhallusrobotti on sijoitettu suljettuun raepuhalluskammioon, jossa teräsrakeiden uudelleenkierrätys ja puhalluskammion ilmanvaihto on automatisoitu. Raepuhallusrobotin puhallusmateriaalina käytetään särmikkäitä teräsrakeita. Robotin ohjaamo on sijoitettu raepuhalluskammion välittömään läheisyyteen ja ohjaamosta on näköyhteys puhalluskammioon. Raepuhallusrobotti liikkuu vaakatasossa puhalluskammion seinällä olevia kiskoja pitkin. Pysyvuuntaiset liikkeet saadaan aikaan teleskooppipuomilla. (Blastman Robotics Ltd 2010, 2.5.)

Raepuhallusrobotilla voidaan suorittaa kahdeksaa erilaista liikettä. Jokainen liike saadaan aikaan sähkömoottorilla. Paineilmaa käytetään ainoastaan raepuhalluksessa.

Robotin akseleiden liikealueet ja liikkeen pituudet:

- 1. Akseli. Robotin runko, pituussuunta ~4000 mm.
- 2. Akseli. Ajokelkka, leveysuunta ~2750 mm.
- 3. Akseli. Teleskooppipuomin kääntö ~180 °
- 4. Akseli. Teleskooppipuomin pystyliike 2200 mm.
- 5. Akseli. Vaakapuomi 1, nosto ja lasku 180 °
- 6. Akseli. Vaakapuomi 2, nosto ja lasku 180 °
- 7. Akseli. Vaakapuomin pään kierto 360 °
- 8. Akseli. Suutin 270 °

(Blastman Robotics Ltd 2010, 2.4.)

Raepuhallusrobotissa on kolme toimintatapaa robotin ohjaamista varten, jotka ovat käsiajo, opetusajo ja automaattiajo. Käsiajossa käyttäjä liikuttaa robotin akseleita ohjaamossa sijaitsevilla ohjaussauvoilla. Opetusajossa raepuhallusrobotti ohjelmoidaan tekemään liikkeet automaattisesti. Tällöin ohjelmointi tehdään raepuhalluskammiossa robottiin kuuluvalla käsi-paneelilla. Valmis ohjelma suoritetaan automaattiajolla, jolloin robotti suorittaa valmiin ohjelman automaattisesti. (Blastman Robotics Ltd 2010, 2.4.) Opinnäytetyössä käytetään nimityksiä käsiajo, opetusajo ja automaattiajo. Käsiajolla tarkoitetaan manipulaattorilla suoritettavaa raepuhallusta ja automaattiajolla tarkoitetaan ohjelmoitua raepuhallusta.



KUVIO 5. Robotin ohjaamo (Karlsson ym. 2011, 8).

5.2 Toimenpiteet ennen tutkimusta

Ennen varsinaisen tutkimuksen tekemistä raepuhallusrobotin toimintaan täytyi tutustua huolellisesti. Aikaisempaa kokemusta raepuhallusrobotin toiminnasta ja käyttämisestä ei ollut, joten raepuhallusrobotin toiminnot täytyi opetella perusteellisesti. Aluksi opeteltiin ohjaamaan raepuhallusrobotin liikkeitä käsiäjolla ja ohjelmoimaan raepuhallusrobotia automaattiajaja varten. Robotin toimintojen opettelua harjoiteltiin useana päivänä ennen varsinaisen tutkimuksen aloittamista. Robotin toimintojen opetteluun käytettiin yhteensä noin 10 työtuntia.

Raepuhallusrobotin toimintojen oppiminen oli käsiäjolla aika helppoa. Käsiäjolla robotin erilaiset liikkeet saadaan aikaan kahdella ohjaussauvalla. Ohjaussauvoilla voidaan aloittaa ja lopettaa raepuhallus, vaikuttaa robotin liikkeiden nopeuteen ja valita suuttimen vaaputuskulma.

Opetusajossa robotin ohjelmoinnin oppiminen oli jonkin verran monimutkaisempi prosessi kuin käsiäjon oppiminen. Robotin ohjelmointi tehdään pisteestä pisteeseen ohjelmointina eli niin sanottuna point-to-point -ohjelmointina. Robotille määritetään tietty aloituspiste, josta

puhallusohjelma alkaa. Aloituspisteen määrittämisen jälkeen robotille määritetään seuraava piste, johon robotin halutaan liikkuvan. Näin jatketaan niin kauan, kunnes puhallusohjelma saadaan kokonaan valmiiksi. Ohjelmointipisteissä voidaan määrittää raepuhalluksen haluttu alkamis- tai lopetuspiste, pisteiden välinen aika ja vaaputuskulma.

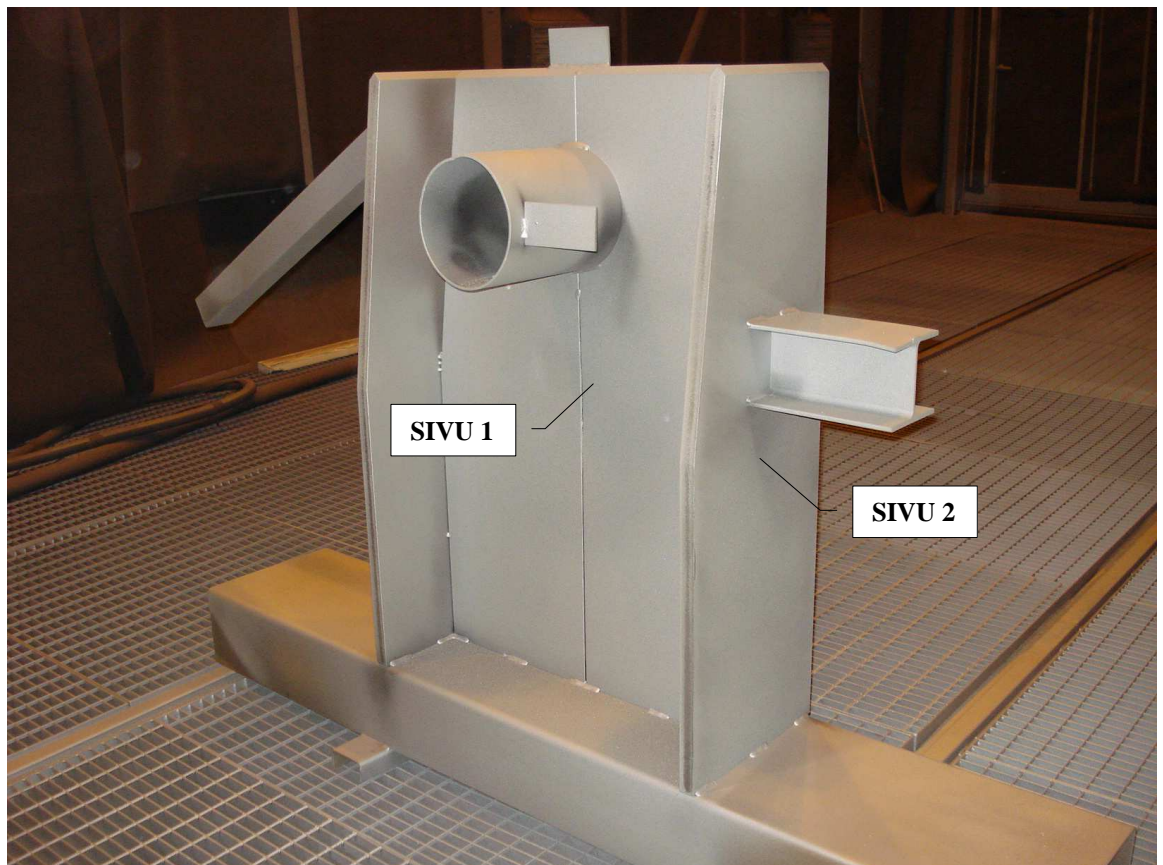
Raepuhalluksen aikana raesuutin voidaan ohjelmoida tekemään vaaputusliikettä. Vaaputusliike voidaan suorittaa sekä käsiajolla että automaattiajolla. Yleensä raepuhalluksessa käytetään vaaputusliikettä, jotta puhdistustuloksesta saadaan tasaisempi. Vaaputuskulman suuruus vaikuttaa robotin liikkeiden nopeuteen. Opetusajolla robotin käsivarren liikenopeus lasketaan suhteessa vaaputuskulmaan, koska suurempi vaaputuskulma vaatii hitaamman liikkeen. Ohjelmoinnissa käytetään apuna ohjetaulukkoa robotin oikean liikenopeuden määrittämiseksi. Robotin oikea liikenopeus määritetään siten, että vaaputusliikkeen pituus ja pisteiden välinen matka mitataan mittanauhalla ja ohjetaulukosta katsotaan pisteiden välinen aika sekunteina. Tutkimuksessa käytettiin kyseistä taulukkoa jokaisessa robotin liikkeen määrittämisessä, jotta varmistettiin oikea raepuhallusnopeus.

Opetusajossa ohjelmoinnin apuna käytettiin taskulamppua kuvastamaan raesuihkua. Taskulamppu kiinnitettiin raesuuttimeen, joten taskulampun valo kuvasti raesuihkun osumiskoh-
taa. Ilman taskulampun valoa ohjelmointi olisi ollut todella vaikeaa.

5.3 Tutkimusprosessi

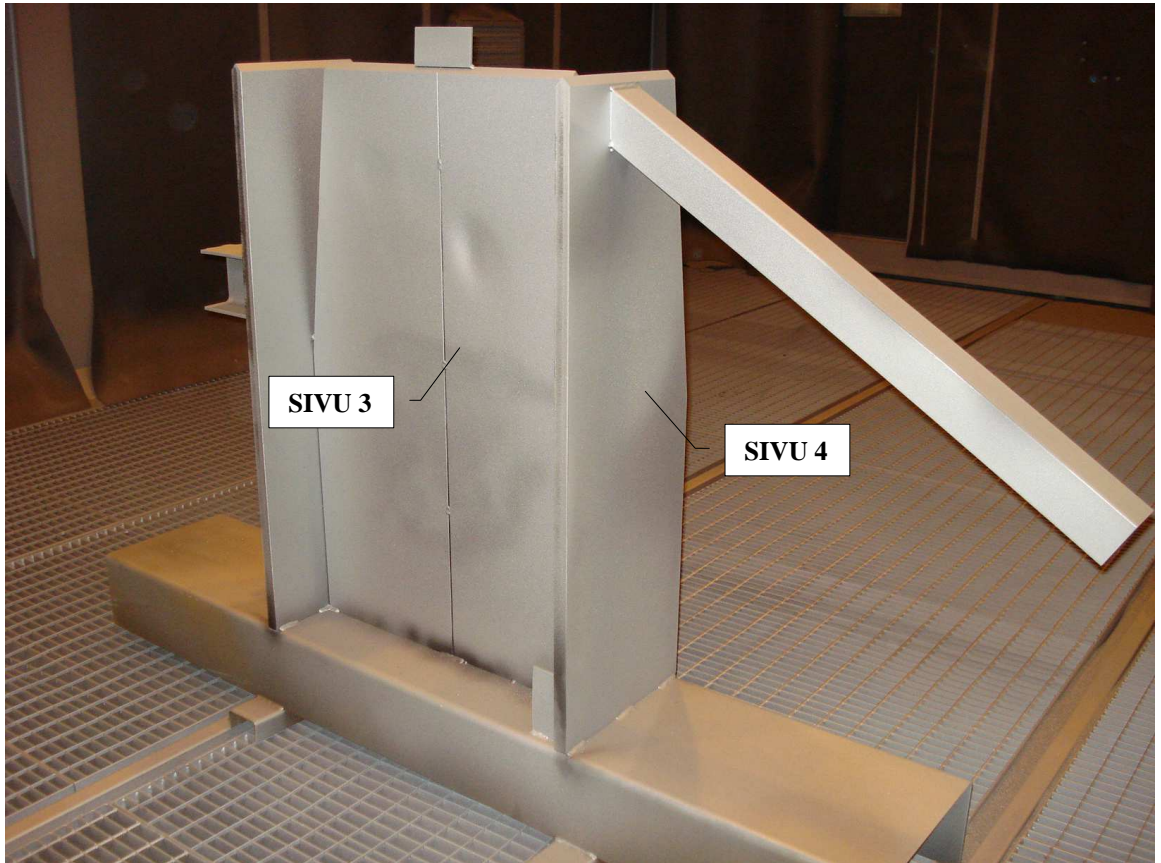
Tutkimusprosessi toteutettiin työntutkimusmenetelmää käyttäen. Työntutkimusmenetelmässä mitataan työhön kuluva aika. Opinnäytetyön tutkimus suoritettiin puhdistamalla testikappaletta raepuhalluksella ja mittaamalla raepuhallukseen sekä ohjelmointiin kuluva aika sekuntikellolla. Testikappale puhdistettiin käsiajolla ja automaattiajolla useita kertoja. Saatuja mittaustuloksia vertaamalla tehtiin tutkimus, kuinka suuria sarjoja kannattaa raepuhaltaa käsiajolla ja kuinka suuria sarjoja kannattaa raepuhaltaa automaattiajolla huomioimalla raepuhalluksen vaatima aika. Tutkimuksen tekemiseen käytettiin yhteensä noin 30 työtuntia.

Tutkimuksessa käytetty testikappale oli valmistettu raepuhallusrobotin testaamista varten. Testikappale oli valmistettu erilaisista teräsrakenteista, jotka oli hitsattu kiinni toisiinsa. Testikappaleen mitat: korkeus 130 cm, leveys 80 cm ja syvyys 40 cm.



KUVIO 6. Testikappaleen 1. sivu ja 2. sivu.

Testikappale luokiteltiin tutkimuksessa neljäksi eri kappaleeksi, jotta siitä voitiin tehdä neljä yksittäistä tutkimusta. Lisäksi testikappaleelle tehtiin kokonaistutkimus yhdistämällä yksittäiset mittaustulokset. Testikappale oli valmistettu siten, että kaikki sen sivut olivat erimuotoisia.



KUVIO 7. Testikappaleen 3. sivu ja 4. sivu.

Testikappaleen jokaisesta yksittäisestä sivusta tehtiin oma tutkimus. Jokainen sivu puhdistettiin sekä käsiajolla että automaattijolla yhtä monta kertaa. Näin voitiin vertailla raepuhallukseen ja ohjelmointiin kuluvaan aikaan erimuotoisilla teräspinoilla. Sekä käsiajo että automaattiajo suoritettiin eri tavalla kaikille testikappaleen sivuille, koska pinnat olivat erimuotoisia. Näin ollen testikappaleen yksittäisistä sivuista pyrittiin saamaan erilaisia mittaustuloksia.

Testikappaleen 1. sivun raepuhallus aloitettiin 80 cm leveällä vaaputusliikkeellä ylhäältä alas, jotta koko sivu saatiin puhdistettua yhdellä liikkeellä. Tämän jälkeen puhdistettiin teräsputken ulkopuoli viistolla sivuttaisella vaaputusliikkeellä. Pienen teräslevyn takaosa puhdistui teräsrakeiden kimpoilun ansiosta samalla liikkeellä. Viimeisenä puhdistettiin teräsputken sisäpuoli suuntaamalla raesuihku kohtisuoraan putken sisään.

Testikappaleen 2. sivun raepuhallus aloitettiin viistosti vasemmalta 40 cm leveällä vaaputusliikkeellä ylhäältä alas, ja samalla puhdistettiin vaakatasossa oleva teräspinta. Lyhyen teräspalkin kohdalta raesuihku täytyi suunnata myös alhaalta ylös, jotta piiloon jäänyt kohta saatiin puhdistettua. Sama toimenpide toistettiin teräspalkin toiselle puolelle.

Testikappaleen 3. sivun raepuhallus suoritettiin 80 cm leveällä vaaputusliikkeellä ylhäältä alas. Koko sivu saatiin puhdistettua ainoastaan yhdellä hitaalla liikkeellä, koska pinta oli tasainen.

Testikappaleen 4. sivun raepuhallus aloitettiin viistosti oikealta 40 cm leveällä vaaputusliikkeellä ylhäältä alas ja samalla puhdistettiin vaakatasossa oleva teräspinta. Tämän jälkeen puhdistettiin pitkän teräspalkin alapuoli ja oikea sivu yhdellä liikkeellä alhaalta ylös. Viimeiseksi robotti siirrettiin toiselle puolelle teräspalkkia ja puhdistettiin teräspalkin yläpuoli ja vasen sivu yhdellä liikkeellä alhaalta ylös.

Tutkimuksessa käytettiin pinnan täydellistä esikäsitteilymenetelmää eli testikappaleen sivut puhdistettiin jokaisella raepuhalluskerralla kokonaan. Testikappale myös puhdistettiin jokaisella raepuhalluskerralla esikäsitteilyasteeseen Sa 2½ (hyvin huolellinen suihkupuhdistus) SFS-standarditaulukon mukaan.

Koko tutkimusprosessin ajan käytettiin samaa testikappaletta. Testikappaleen kaikille sivuille suoritettiin käsiajo ja automaattiajo keskimäärin viisi kertaa, jotta voitiin selvittää mahdolliset mittaustulosten muutokset tutkimuksen edetessä. Jos testikappaleen sivut olisi puhdistettu ainoastaan yhden kerran, ja tutkimus olisi tehty niiden tulosten perusteella, mittaustuloksista ei olisi saatu kovin luotettavia. Automaattiajolla testikappaleelle tehtiin uusi ohjelma jokaisen puhdistuskerran jälkeen, joten samaa ohjelmaa käytettiin ainoastaan yhden kerran. Kaikki mittaustulokset kirjattiin muistiin. Tutkimuksen tarkat mittaustulokset ovat opinnäytetyön liitteenä.

Tutkimuksessa käytetty testikappale maalattiin jokaisen puhdistuskerran jälkeen uudestaan, jotta testikappaletta voitiin käyttää koko tutkimusprosessin ajan. Tutkimuksessa tutkittiin ainoastaan raepuhalluksen vaatimaa aikaa maalin poistamiseen. Mittaustulokset saattaisivat olla erilaisia, jos tutkimuksessa olisi vertailtu esimerkiksi ruosteenpoiston tehokkuutta. Tällaista tutkimusta ei ollut kannattavaa tehdä, koska tutkimuksessa käytettiin vain nimenomaisesti testikappaletta.

Tutkimuksen luotettavuuden kannalta paras tapa selvittää tutkimustehtävä oli laskea mittaustulosten aritmeettinen keskiarvo. Tutkimuksessa käytettiin yhtä testikappaletta, jotta puhdistettavien pintojen koko ja muoto olivat samoja koko tutkimusprosessin ajan. Kaikista mittaustuloksista laskettiin aritmeettinen keskiarvo ja tutkimus tehtiin keskiarvoja vertailemalla. Yksittäisiä mittaustuloksia ei huomioitu lopullisissa tuloksissa.

Robotin opetusajo käsipaneelilla oli alkuvaiheessa haastavaa. Robottia ohjattiin käsipaneelissa olevalla ohjausvivulla, jonka käytön oppiminen vaati harjoittelua. Ohjausvivulla pystyi suorittamaan robotin jokaista liikettä ja liikkeiden sujuvuuden hallitseminen vei aikaa. Tutkimuksen alkuvaiheessa huomattiin, että ohjausvivun poikkeava käyttö vaikutti ohjelmointiin kuluvaan aikaan. Aluksi täytyi miettiä, mihin suuntaan robotin käsivarsi siirtyy ohjausvipua liikuttaessa.

Opetusajossa täytyi mitata vaaputusliikkeen ja raesuuttimen liikkeen pituus mittanauhalla, jotta robotille saatiin oikea liikenopeus. Liikenopeuden mittaaminen lisäsi myös ohjelmointiin kuluvaan aikaan. Mitä enemmän robotin ohjelmointia harjoitteli, sitä vähemmän aikaa ohjelman tekemiseen kului. Tämä näkyi mittaustulosten muutoksena ja opetusajoon kuluvan ajan pienenemisenä. Suurimmat poikkeamat mittaustuloksissa syntyivät ensimmäisillä ohjelmointikerroilla, joten niitä aikoja ei huomioitu tutkimustulosten keskiarvossa.

Tutkimuksessa opetusajo pyrittiin tekemään aina samalla tavalla, jotta mittaustulokset olivat mahdollisimman lähellä toisiaan. Pieniä eroavaisuuksia ohjelmointikertojen välillä kuitenkin syntyi, koska täysin samanlaista ohjelmaa oli mahdoton tehdä jokaisessa ohjelmoinnissa. Käyttäjän ammattitaidolla ja totumuksilla on vaikutusta ohjelmointitekniikkaan, joka vaikuttaa myös ohjelmointiaikaan. Jokainen käyttäjä voi suorittaa opetusajon ja käsiajon haluamallaan tavalla.

Robotin käsiajolla ei syntynyt yhtä suuria mittaussvaihteluita kuin opetusajolla. Robotin käsiajo oli helppoa kahden ohjaussauvan vuoksi. Kummallakin ohjaussauvalla ohjataan neljää akselia ja robotin käsivarsi liikkuu loogisesti ohjaussauvojen kääntämään suuntaan. Raepuhalluksen aikana robottia tarvitsi liikuttaa ainoastaan toisella ohjaussauvalla. Käsiajolla robotin liikenopeus havaittiin silmämääräisesti, joten liikenopeuden määrittämiseen ei kulunut aikaa.

Testikappale oli haastavaa puhdistaa käsiajolla, koska näköyhteys raepuhalluskammioon oli huono raepölyn vuoksi. Myös raesuuttimen tarkka sijainti oli vaikea määrittää silmämääräisesti testikappaleeseen nähden. Testikappaleen jokaista kohtaa ei nähnyt ohjaamosta

testikappaleen kuolleiden kulmien vuoksi. Käsiäjon aikana raesuuttimella tehtiin hieman suurempaa vaaputusliikettä kuin automaattiajolla, jotta teräspinta saatiin varmasti kokonaan puhdistettua. Sekä käsiajo että opetusajo tehtiin samalla tavalla koko tutkimusprosessin ajan, jotta robotin liikkeiden suoritusjärjestys pysyi samanlaisena kummassakin tapauksessa. Näin saatuja mittaustuloksia voitiin verrata luotettavasti keskenään.

5.4 Vertailun suorittaminen

Automaattiajo aloitettiin ohjelman tekemisellä. Ohjelmoidussa raepuhalluksessa puhallusohjelma tehdään opetusajolla, jonka jälkeen valmis ohjelma suoritetaan automaattiajolla. Robotti suorittaa valmiin raepuhallusohjelman automaattisesti. Opetusajo tehtiin testikappaleen kaikille sivuille erikseen, jonka jälkeen sivut puhdistettiin automaattiajolla. Sama toimenpide toistettiin testikappaleen kaikille sivuille keskimäärin viisi kertaa.

Opetusajoon kulunut aika täytyi ottaa huomioon tutkimuksen kokonaisajassa, joten ohjelmointiin kulunut aika lisättiin automaattiajon puhdistusaikaan. Raepuhallettaessa samanlaisia sarjoja ohjelmointiaikaa ei tarvinnut ottaa huomioon kuin yhden kerran mittaustuloksissa, koska samaa ohjelmaa käytettiin jokaisessa automaattiajossa. Automaattiajolla tutkimuksen kokonaisaika saatiin, kun kaikista opetusajon ja automaattiajon mittaustuloksista laskettiin keskiarvo. Keskiarvo laskettiin koko testikappaleelle ja sen yksittäisille sivuille erikseen.

Käsiajo suoritettiin ohjaamosta ohjaamalla robotin liikkeitä ohjaussauvoilla. Käsiäjolla opetusajoa ei tarvitse tehdä, joten aikaa ei kulunut ohjelmointiin. Käsiäjolla säästetään näin ohjelmointiin kuluva aika. Käsiäjo tehtiin myös testikappaleen kaikille sivuille erikseen ja sama toimenpide toistettiin keskimäärin viisi kertaa. Käsiäjolla tutkimuksen kokonaisaika saatiin, kun kaikista käsiajon mittaustuloksista laskettiin keskiarvo. Myös käsiajon keskiarvo laskettiin koko testikappaleelle ja sen yksittäisille sivuille erikseen.

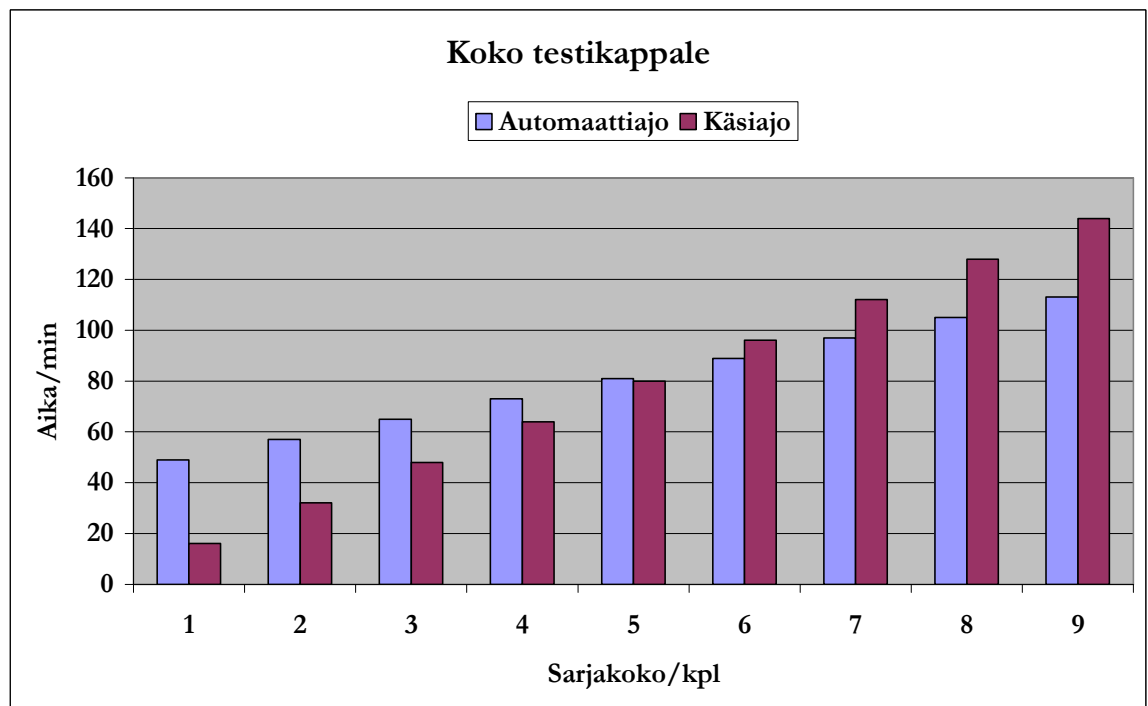
Robotin käsiajon ja automaattiajon suorittamisen jälkeen voitiin todeta, kumpaa tapaa käyttäen koko testikappale ja sen yksittäiset sivut olivat nopeampia puhdistaa. Kaikkien mittaustulosten ja keskiarvon laskemisen jälkeen voitiin tehdä vertailu siitä, kuinka suuria sarjoja kannattaa raepuhaltaa käsiajolla ja kuinka suuria sarjoja kannattaa raepuhaltaa automaattiajolla huomioimalla raepuhalluksen vaatima aika.

6 TULOKSET

Tutkimuksen tulokset-osiossa käsitellään tutkimuksesta saatuja mittaustuloksia. Koko testikappaleen raepuhallukseen kuluneesta ajasta tehtiin tutkimus, lisäksi kaikista testikappaleen sivuista tehtiin yksittäinen tutkimus. Tulokset-osiossa tarkastellaan ainoastaan mittaustulosten keskiarvoja. Yksittäiset mittaustulokset ovat opinnäytetyön liitteenä. Opinnäytetyössä tutkittiin: kuinka suuria sarjoja kannattaa raepuhaltaa käsiäjolla ja kuinka suuria sarjoja kannattaa raepuhaltaa automaattiajolla huomioimalla raepuhalluksen vaatima aika. Mittaustulosten havainnoinnissa käytettiin minuutin tarkkuutta.

Koko testikappaleen tutkimustulokset

Koko testikappaleen tutkimustulokset saatiin laskemalla testikappaleen yksittäisten sivujen mittaustulokset ja niiden keskiarvot yhteen. Ohjelmointiaika oli 41 minuuttia.



KUVIO 8. Koko testikappaleen tutkimustulokset.

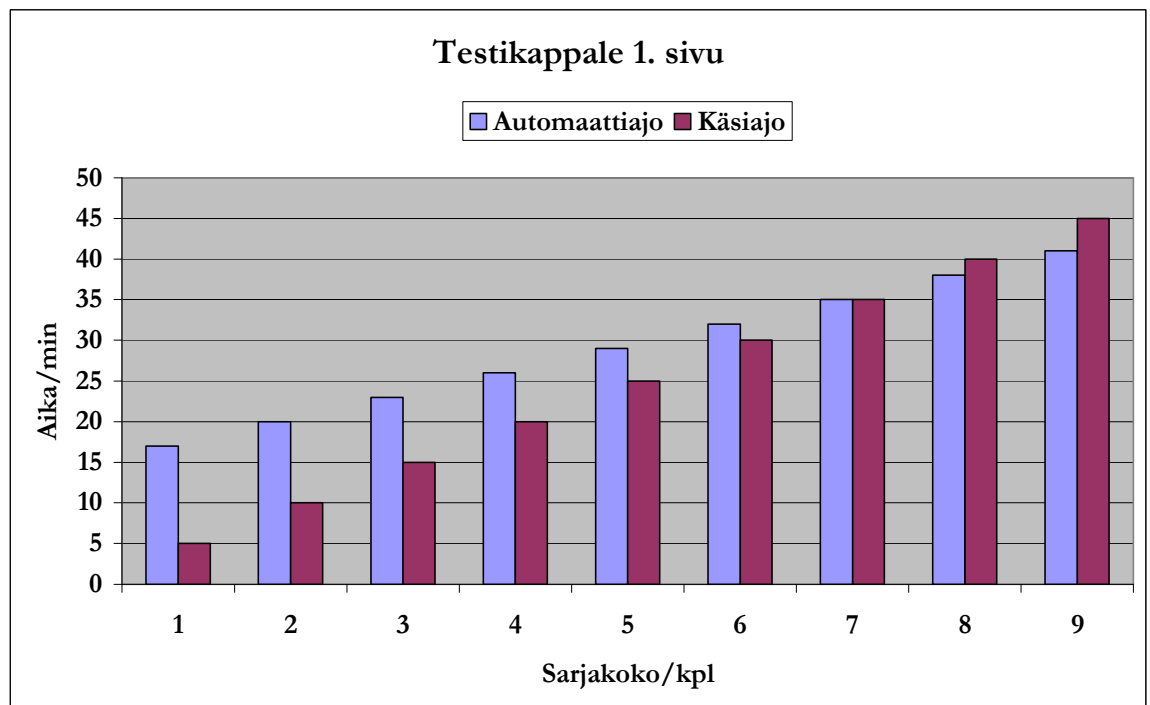
- Käsiäjoa kannattaa käyttää sarjakoon ollessa 5 tai pienempi.
- Automaattiajoa kannattaa käyttää sarjakoon ollessa 6 tai suurempi.

Käsiäjolla koko testikappaleen puhdistusaika oli 16 minuuttia. Sarjakoon ollessa 6, puhdistusaika oli 96 minuuttia.

Automaattiajolla koko testikappaleen puhdistusaika oli 49 minuuttia. Sarjakoon ollessa 6, puhdistusaika oli 89 minuuttia.

Testikappaleen 1. sivun tutkimustulokset

Tutkimustulokset saatiin laskemalla 1. sivun mittaustulokset yhteen ja laskemalla niistä keskiarvo. Ohjelmointiaika oli 14 minuuttia.



KUVIO 9. Testikappaleen 1. sivun tutkimustulokset.

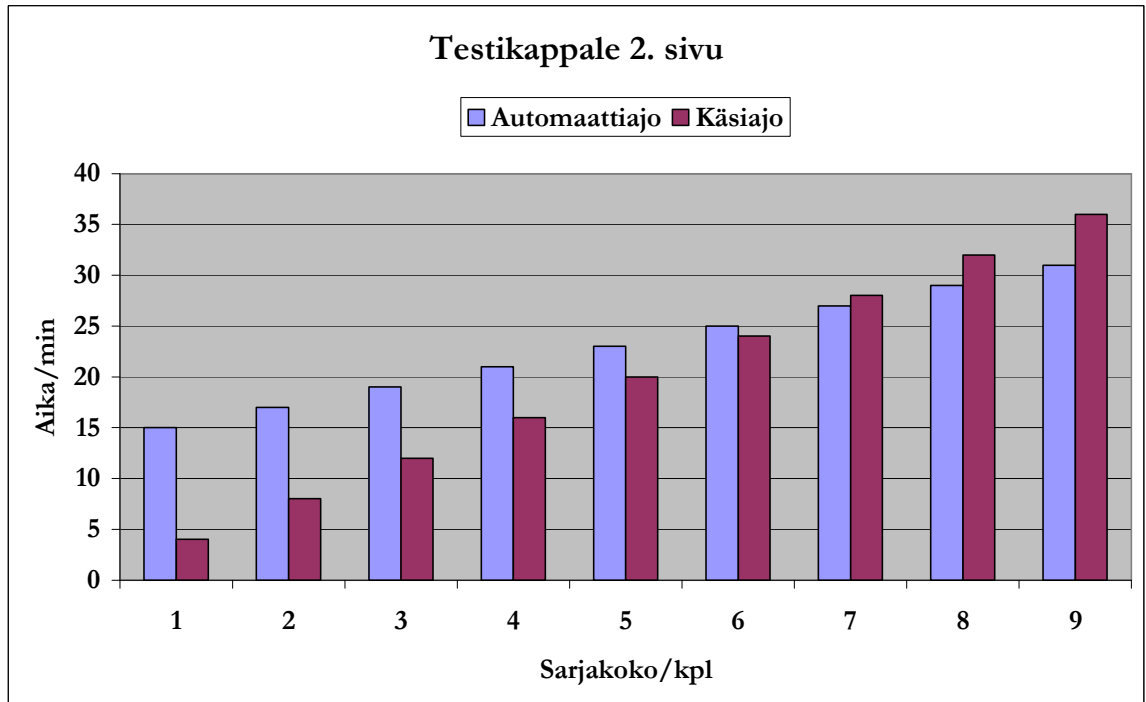
- Käsiäjoa kannattaa käyttää sarjakoon ollessa 7 tai pienempi.
- Automaattiajoa kannattaa käyttää sarjakoon ollessa 7 tai suurempi.

Käsiäjolla 1. sivun puhdistusaika oli 5 minuuttia. Sarjakoon ollessa 7, puhdistusaika oli 35 minuuttia.

Automaattiajolla 1. sivun puhdistusaika oli 17 minuuttia. Sarjakoon ollessa 7, puhdistusaika oli 35 minuuttia.

Testikappaleen 2. sivun tutkimustulokset

Tutkimustulokset saatiin laskemalla 2. sivun mittaustulokset yhteen ja laskemalla niistä keskiarvo. Ohjelmointiaika oli 13 minuuttia.



KUVIO 10. Testikappaleen 2. sivun tutkimustulokset.

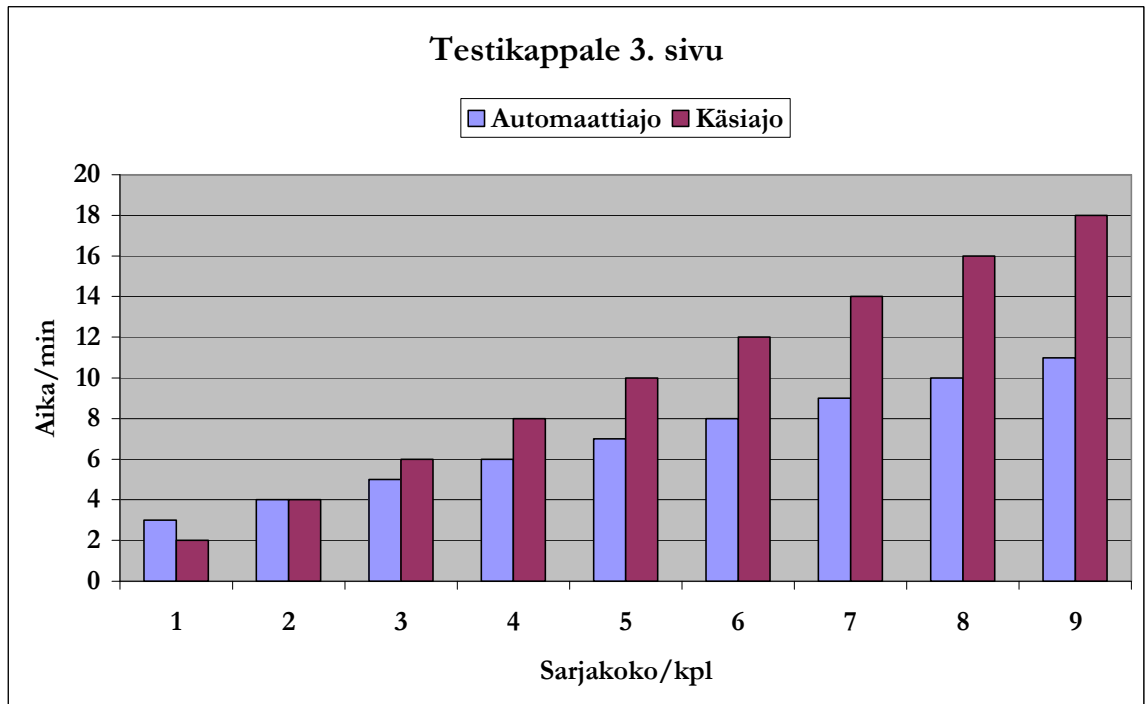
- Käsiäjoa kannattaa käyttää sarjakoossa 6 tai pienempi.
- Automaattiajoa kannattaa käyttää sarjakoossa 7 tai suurempi.

Käsiäjolla 2. sivun puhdistusaika oli 4 minuuttia. Sarjakoossa 7, puhdistusaika oli 28 minuuttia.

Automaattiajolla 2. sivun puhdistusaika oli 15 minuuttia. Sarjakoossa 7, puhdistusaika oli 27 minuuttia.

Testikappaleen 3. sivun tutkimustulokset

Tutkimustulokset saatiin laskemalla 3. sivun mittaustulokset yhteen ja laskemalla niistä keskiarvo. Ohjelmointiaika oli 2 minuuttia.



KUVIO 11. Testikappaleen 3. sivun tutkimustulokset.

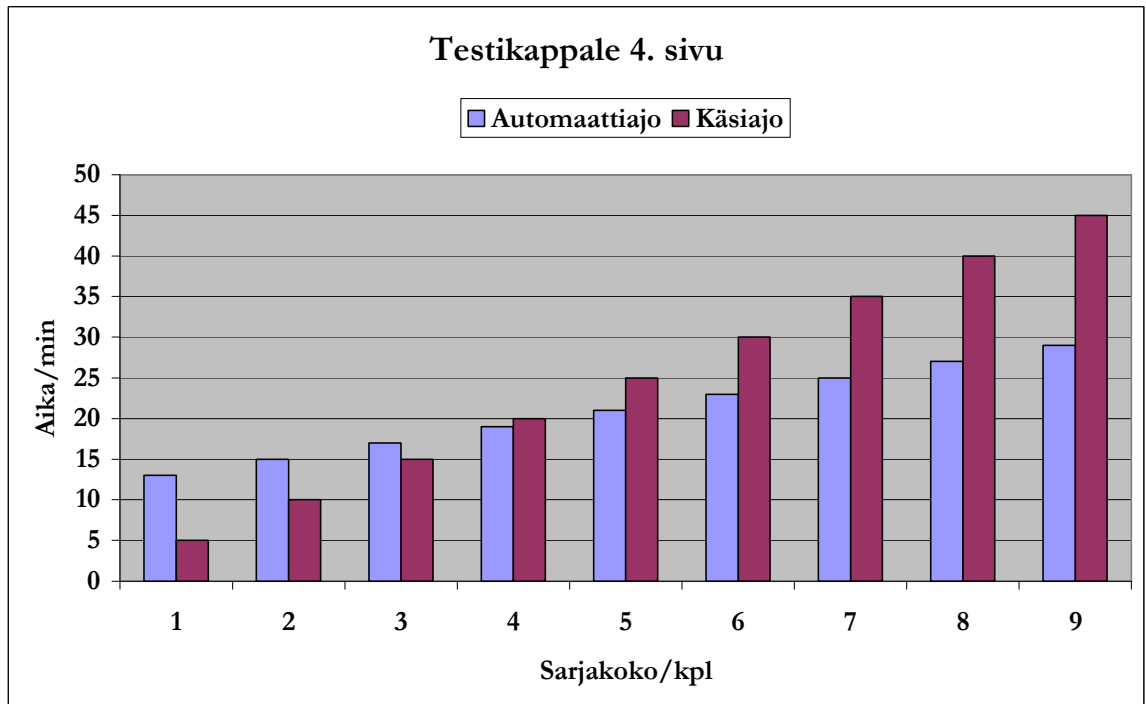
- Käsiajoa kannattaa käyttää sarjakoon ollessa 2 tai pienempi.
- Automaattiajoa kannattaa käyttää sarjakoon ollessa 2 tai suurempi.

Käsiajolla 3. sivun puhdistusaika oli 2 minuuttia. Sarjakoon ollessa 2, puhdistusaika oli 4 minuuttia.

Automaattiajolla 3. sivun puhdistusaika oli 3 minuuttia. Sarjakoon ollessa 2, puhdistusaika oli 4 minuuttia.

Testikappaleen 4. sivun tutkimustulokset

Tutkimustulokset saatiin laskemalla 4. sivun mittaustulokset yhteen ja laskemalla niistä keskiarvo. Ohjelmointiaika oli 11 minuuttia.



KUVIO 12. Testikappaleen 4. sivun tutkimustulokset.

- Käsiäjoa kannattaa käyttää sarjakoossa 3 tai pienempi.
- Automaattiajoa kannattaa käyttää sarjakoossa 4 tai suurempi.

Käsiäjolla 4. sivun puhdistusaika oli 5 minuuttia. Sarjakoossa 4, puhdistusaika oli 20 minuuttia.

Automaattiajolla 4. sivun puhdistusaika oli 13 minuuttia. Sarjakoossa 4, puhdistusaika oli 19 minuuttia.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen päätarkoitus oli suorittaa raepuhallus testikappaleelle ja mitata testikappaleen puhdistamiseen kuluva aika sekä robotin käsiajolla että automaattiajolla. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, kuinka suuria sarjoja kannattaa raepuhaltaa käsiajolla ja kuinka suuria sarjoja kannattaa raepuhaltaa automaattiajolla huomioimalla raepuhalluksen vaatima aika.

Tutkimuksen ajatuksena ei ollut saada täysin tarkkoja tutkimustuloksia, vaan verrata käsiajoa ja automaattiajoa yleisellä tasolla. Raepuhallettavat kappaleet ovat monesti erilaisia, joten raepuhallukseen kuluvan ajan kesto vaihtelee kappaleen koon, monimutkaisuuden ja ruostumisasteen mukaan. Tutkimuksessa tutkittiin ainoastaan raepuhalluksen vaatimaa aikaa maalin poistamiseen, joten ruosteisia teräspintoja ei tutkimuksessa raepuhallettu. Jokainen robotin käyttäjä voi suorittaa opetusajon ja automaattiajon omalla tavallaan, joka voi myös vaikuttaa raepuhalluksen vaatimaan aikaan.

Testikappaleelle suoritettujen tutkimusten perusteella voidaan sanoa, että automaattiajoa kannattaa käyttää sarjakoon ollessa 8 tai suurempi puhdistettavasta sivusta riippumatta. Robotin käsiajoa ei kannata käyttää 7:ää suuremmille sarjoille, koska muutoin työaikaa kuluu hukkaan. Opinnäytetyön liitteenä olevista tutkimustuloksista nähdään, että käsiajolla puhdistusaika oli noin kaksinkertainen automaattiajolla suoritettuun puhdistukseen verrattuna riippumatta testikappaleen puhdistettavasta sivusta.

Testikappaleen, ja sen yksittäisten sivujen tutkimustuloksia vertaamalla voidaan todeta, että suuria vaihteluita tutkimustulosten välillä ei esiinny. Automaattiajoa kannattaa siirtyä käyttämään sarjakoon ollessa 4:n ja 8:n välillä, ja niitä suurempia. Testikappaleen 3. sivun tulokset poikkeavat jonkin verran muista tuloksista, koska 3. sivun pinta oli hyvin yksinkertainen ja puhdistus voitiin suorittaa yhdellä robotin käsivarren liikkeellä. Sen vuoksi opetusajoon kuluva aika ja käsiajoon kuluva puhdistusaika olivat samat.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että ohjelmointiin kuluva aika on ratkaiseva tekijä valittaessa käsiajon ja automaattiajon välillä. Käsiajoon kuluva aika ei juuri muuttunut, vaikka mittauksia tehtiin useaan kertaan. Yksittäiset mittaustulokset olivat käsiajolla lähes samat jokaisessa tutkimuksessa. Yksittäisissä opetusajon mittaustuloksissa esiintyi puolestaan suuriakin vaihteluita. Mittaustulosten vaihteluiden syyt johtuivat ohjelmoinnin sujuvuuden hallitsemisen ja robotin käsipaneelin käytön hallitsemisen muutoksista tutkimusprosessin edetessä. Opetusajolla ohjelmointiin kulunut aika laski huomattavasti myöhemmässä vaiheessa.

8 POHDINTA

Opinnäytetyössä tutustuttiin raepuhallusrobotin toimintaan ja tehtiin vertaileva tutkimus raepuhallukseen kuluva ajasta. Tutkimuksessa vertailtiin raepuhallukseen kuluva aikaa maalin poistamiseen kahdella tavalla – robotin käsiajolla ja automaattiajolla. Pohdinta-osiossa pohditaan tutkimuksen tuloksia, tutkimuksen ja tulosten luotettavuutta ja tulosten yleistettävyyttä. Osiossa kerrotaan opinnäytetyöprosessin eri vaiheista, omasta ammatillisesta kasvusta ja lopuksi käsitellään tutkimusprosessin aikana ilmaantuneita jatkotutkimusaiheita.

8.1 Tulosten pohdintaa

Koko testikappaleen tutkimustulokset saatiin laskemalla yksittäisten sivujen mittaustuloksista keskiarvo. Koko testikappaleen käsiajoon kuluva aika oli 16 minuuttia ja opetusajoon kuluva aika oli 41 minuuttia. Automaattiajoon kuluva aika oli 8 minuuttia. Sarjakoossa 1, raepuhallusaika automaattiajolla oli 49 minuuttia ja käsiajolla 16 minuuttia.

Automaattiajoon kuluva aika 1 kappaleen sarjakoossa oli noin kolminkertainen käsiajon aikaan verrattuna koko testikappaleessa. Kuitenkin jo 6 kappaleen sarjakoossa automaattiajoon kuluva aika oli pienempi kuin käsiajoon kuluva aika. Sarjakoossa 20, automaattiajon kesto oli 3 tuntia 20 minuuttia. Käsiajon kesto oli puolestaan 5 tuntia 20 minuuttia. Menetelmien välinen aikaero 20 kappaleen sarjakoossa oli näin ollen 2 tuntia. Sama aikaero 15 kappaleen sarjakoossa oli 1 tunti 20 minuuttia.

Opinnäytetyön liitteenä olevista tutkimustuloksista selviää, kuinka sarjakoossa suureneminen vaikutti mittaustuloksiin. Raepuhallettaessa monimutkaisia kappaleita suurilla sarjoilla, valinta käsiajon ja automaattiajon välillä muodostuu tärkeäksi tekijäksi ajan säästämisen näkökulmasta. Näin ollen, monimutkaisilla ja suurilla kappaleilla käsiajoon ja automaattiajoon kuluvan ajan erot muodostuvat todella suuriksi. Raepuhallukseen kuluva aikaero kasvaa todella nopeasti, mitä suurempia sarjoja raepuhalletaan.

Yksinkertaisilla kappaleilla käsiajoon ja automaattiajoon kuuluvien aikojen erot eivät muodostu kovin suuriksi, jos käsiajoon ei kulu huomattavasti aikaa. Yksinkertaisia kappaleita raepuhallettaessa kovin suurta aikaeroa käsiajon ja automaattiajon välille ei näin ollen pääse syntymään.

Tutkimuksen tuloksista kävi ilmi, että jo pienillä sarjoilla automaattiajota kannattaa siirtyä käyttämään, vaikka ohjelmointiin kuluisi kauan aikaa. Testikappaleelle tehtyjen kaikkien mitaustulosten perusteella sarjakoot 8, ja sitä suuremmat kannattaa raepuhaltaa automaattiajolla. Tutkimuksen tuloksista ilmeni myös se, kuinka paljon nopeammin ohjelmoitu raepuhallusroboti pystyy suorittamaan kappaleen puhdistamisen verrattuna käyttäjän suorittamaan manipulaattorilla tapahtuvaan puhdistukseen. Käsiajoon kuuluva puhdistusaika oli noin kaksinkertainen automaattiajon puhdistusaikaan verrattuna kaikissa mittauksissa. Tutkimuksen perusteella voidaan huomata se tosiasia, että hyvin tehdyllä raepuhallusohjelmalla roboti voittaa ihmisen ajassa mitattuna. Automaattiajolla robotin ei tarvitse käyttää aikaa miettimiseen toisin kuin manipulaattorin käyttäjä joutuu tekemään.

Opetusajoon kuuluva aika laskee vähintään kaksinkertaisesti verrattaessa ensimmäisen ja viimeisen ohjelmointikerran aikaeroa kaikissa mittauksissa. Suurimmat poikkeamat syntyivät ensimmäisillä ohjelmointikerroilla, joten niitä aikoja ei huomioitu mitaustulosten keskiarvossa.

Tutkittaessa käsiajoon kuluva aikaa, ensimmäisen ja viimeisen raepuhalluskerran välillä aikaeroa ei juuri syntynyt. Voidaan siis olettaa, että käsiajon raepuhallusaikaan ei voida juuri vaikuttaa. Opetusajoon kuluvaan aikaan pystytään puolestaan vaikuttamaan suuresti lisäämällä harjoittelua. Toisaalta, vaikka ohjelmointiin kuluisi huomattavan kauan aikaa, monimutkaisilla kappaleilla ja suurilla sarjoilla sillä ei ole suurta merkitystä. Se johtuu siitä, että automaattiajolla kappale voidaan puhdistaa noin kaksi kertaa nopeammin kuin käsiajolla käyttäjän suorittamalla raepuhalluksella. Monimutkaisilla kappaleilla ja suurilla sarjoilla ohjelmoinnissa hävitty aika voitetaan raepuhallusvaiheessa.

Tutkimustuloksissa testikappaleen yksittäisistä sivuista tehtyjen mitausten välillä ei ilmennyt suuria eroja. Testikappaleen yksittäisten sivujen tuloksia vertaamalla huomataan, että kaikkien yksittäisten sivujen opetusajoon kului lähes saman verran aikaa lukuun ottamatta 3:tta sivua. Myös raepuhallukseen kulunut aika kaikilla sivuilla sekä käsiajolla että automaattiajolla oli lähes sama. Saadut mitaustulokset voivat johtua siitä, että testikappaleen yksittäiset sivut olivat monimutkaisuudeltaan hyvin paljon samanlaisia. Kuvasta katsottuna testikappale

näyttää erilaiselta kaikilta sivuilta, mutta sivujen monimuotoisuuksien erot eivät ole tarpeeksi suuria, jotta niillä olisi merkittävää vaikutusta opetusajon, automaattiajon ja käsiajon vaatimaan aikaan.

Tutkimuksessa vertailtiin ainoastaan raepuhalluksen vaatimaa aikaa maalin poistamiseen teräspinnalta. Tutkimuksessa käytettiin koko ajan samaa kappaletta, joka maalattiin uudestaan. Tämän vuoksi tutkimustuloksia ei voida yleistää koskemaan myös ruostuneiden metallipintojen raepuhallusnopeuksia. Tutkimuksesta saadut tulokset ovat kuitenkin hyvin suuntaa antavia. Suurilla sarjoilla kappaleet eivät välttämättä ole tasaisesti ruostuneita ja enemmän ruostuneet kappaleet voivat vaatia hitaampaa suuttimen liikettä, mikä vaikuttaa raepuhalluksen vaatimaan aikaan. Käsiajolla on helppo muuttaa suuttimen liikenopeutta vastaavissa tilanteissa. Automaattiajolla suuttimen liikenopeutta voidaan hidastaa ainoastaan liikusäätimellä, jolloin koko ohjelman nopeus hidastuu.

Raepuhallusohjelman tekemiseen kuluva aika, kappaleiden monimutkaisuus ja koko ovat ratkaisevan tärkeitä tekijöitä selvitetessä, kannattaako sarjat raepuhaltaa käsiajolla vai automaattiajolla. Käyttäjän ammattitaidolla ja työskentelynopeudella on myös suuri merkitys, kumpaa menetelmää kannattaa käyttää.

Pohdittaessa, kumpaa menetelmää raepuhalluksessa on taloudellisempaa käyttää, kannattaa seuraavia asioita ottaa huomioon: Opetusajoon käytetyllä ajalla on sitä vähemmän merkitystä, mitä monimutkaisempia ja suurempia ohjelmoitavat kappaleet ovat. Pieniä sarjoja raepuhallettaessa ohjelmointi täytyy suorittaa nopeasti, jotta se olisi kannattavaa.

Käsiajoon kuluvaan aikaan ei voida juuri vaikuttaa. Käsiajoa kannattaa käyttää, jos yhden kappaleen raepuhaltamiseen ei kulu huomattavaa aikaa. Tällöin raepuhallettavien kappaleiden täytyy olla mahdollisimman yksinkertaisia. Raepuhalluksen vaatima aika kannattaa testata raepuhaltamalla yksi kappale sarjasta käsiajolla ja mitata kappaleen puhdistamiseen kuluva aika. Jos kappaleen puhdistamiseen kuluu vain vähän aikaa, käsiajoa voidaan käyttää. Tällöin käsiajon ja automaattiajon välinen aikaero jää pieneksi suuremmillakin sarjoilla. Jos kappaleen puhdistamiseen kuluu käsiajolla kymmeniä minuutteja, automaattiajoa kannattaa ehdottomasti käyttää.

Yleistettävää vastausta tutkimustehtävään ei tämän tutkimuksen perusteella voida antaa. Tutkimuksessa käytetty testikappale oli melko yksinkertainen raepuhallusrobotilla suoritettavaan puhdistukseen. Sen vuoksi testikappaleelle tehtyjen mittausten väliset aikaerot sarjakoon

muuttuessa yhdellä olivat melko pieniä. Opinnäytetyössä tutkittiin ainoastaan testikappaleelle suoritettuja mittauksia, joita vertailtiin keskenään. Tulokset saattaisivat olla erilaisia tutkittaessa monimutkaisempien kappaleiden esimerkiksi junavaunujen raepuhallusta, joiden opetusajoon, automaattiajoon ja käsiajoon menisi paljon kauemmin aikaa. Saatuja tutkimustuloksia ei näin ollen voida yleistää koskemaan kaikenkokoisia kappaleita ja kaikkensuuruisia sarjoja. Tutkimuksessa ilmaantuneiden asioiden perusteella voidaan kuitenkin todeta, että automaattiajoa kannattaa käyttää sarjakoon ollessa useita kymmeniä kappaleiden koosta riippumatta.

8.2 Opinnäytetyöprosessi

Opinnäytetyön tekeminen oli erittäin mielenkiintoinen, mutta pitkäjänteinen prosessi. Opinnäytetyöprosessin aikana opitut asiat olivat entuudestaan vieraita. Tutkimusprosessin aikana kehittymistä tapahtui monella osa-alueella. Tutkimustyössä opittiin joustavaan työskentelyyn, suunnittelemaan omaa aikataulua ja asettamaan itselle tavoitteita.

Opinnäytetyöprosessi alkoi syksyllä 2011, jolloin aihe valittiin. Aihe löydettiin Kajaanin ammattikorkeakoulun kautta ja aiheen toimeksiantaja oli Blastman Robotics Oy. Yritys suunnittelee raepuhallusrobotteja Oulun toimipisteessä. Mielenkiinto opinnäytetyön aiheeseen heräsi, kun saatiin tietää aiheen liittyvän raepuhallusrobottiin ja sen käyttämiseen. Opinnäytetyön aihe ei ollut tavanomainen kirjallinen tutkimus, vaan käytännössä suoritettava työ.

Opinnäytetyön ensimmäinen ohjauspalaveri pidettiin syyskuussa. Tuolloin päätettiin opinnäytetyön ohjaajat, joiksi valittiin Jarmo Happonen ja Sami Räsänen. Ohjauspalaverissa käsiteltiin opinnäytetyön toteutusta, sisältöä ja tutkimustehtävää. Aihe oli jo tuolloin tiedossa, joten keskustelimme miten tutkimustehtävän pystyisi luotettavasti selvittämään. Tutkimuksen toteutustapa käytiin tarkkaan läpi, koska aikaisempaa kokemusta raepuhalluksesta ei ollut. Opinnäytetyön teoriaosuuden sisällöstä sovittiin, että siinä käsitellään robotiikkaa ja raepuhallusta. Sovittiin myös, että raepuhallusta käsitellään laajemmin kuin robotiikkaa, koska itse tutkimuksessa tutkitaan raepuhalluksen tehokkuutta. Näin aihe onnistuttiin rajaamaan oikein.

Syys-, loka- ja marraskuussa tutustuttiin Blastman B20S -raepuhallusrobottiin opinnäytetyön ohjaaja Sami Räsäsen opastuksella. Raepuhallusrobotti sijaitsee Katera Steel Oy:n tiloissa Kajaanissa. Alkuvaiheessa tutustuttiin raepuhallusrobotin toimintoihin ja harjoiteltiin robotin

käyttämistä käsiajolla. Oli mielenkiintoista huomata robotin toimintojen yksinkertaisuus käsiajolla. Ohjaussauvojen liikkeet opittiin nopeasti, koska robotin käsivarsi liikkuu loogisesti ohjaussauvojen liikuttamaan suuntaan. Myöhemmässä vaiheessa harjoiteltiin ohjelman tekemistä testikappaleelle opetusajolla.

Lokakuussa alettiin etsiä tutkimuskirjallisuutta aiheesta ja aloitettiin teoriaosuuden kirjoittaminen opinnäytetyöhön. Robotiikasta löytyi paljon lähdekirjallisuutta kirjastoista, mutta raepuhalluksesta löytyi tietoa huomattavasti vähemmän. Robotiikka on paljon laajempi ja tunnetumpi käsite kuin raepuhallus, mikä varmasti vaikutti lähdekirjallisuuden määrään.

Lokakuussa pidettiin toinen opinnäytetyön ohjauspalaveri. Tuolloin sovittiin opinnäytetyön alustava nimi ja paneuduttiin tarkemmin teoriaosuuden sisältöön sekä tutkimustehtävän toteuttamiseen. Opinnäytetyön alustavaksi nimeksi sovittiin Raepuhalluksen tehokkuustutkimus Blastman B20S -robotilla. Myöhemmin nimi muutettiin opinnäytetyötä paremmin kuvaavaksi, jolloin nimeksi vaihdettiin Raepuhalluksen työtehokkuustutkimus Blastman B20S -robotilla.

Ohjauspalaverissa sovittiin seuraavista asioista: Tutkimus toteutetaan mittaamalla raepuhallukseen kuluva aika maalin poistamiseen testikappaleesta. Raepuhallukseen kuluva aika täytyy mitata käsiajolla, opetusajolla ja automaattiajolla, jotta vertailu näiden välillä voidaan tehdä. Tutkimustehtävän luotettavan selvittämisen kannalta kuluva aika täytyy pyrkiä saamaan mahdollisimman pieneksi. Mittausvaiheessa ei saa muodostua hukka-aikaa, joka voisi vääristää tutkimuksen tuloksia.

Ohjauspalaverissa sovittiin myös, että tutkimuksessa mitataan ainoastaan raepuhalluksen vaatimaa aikaa maalin poistamiseen. Ennen tutkimuksen tekemistä raepuhallusrobotin toiminnot käsiajolla ja opetusajolla täytyy opetella huolellisesti. Robotin toiminnot täytyy pystyä tekemään rutiinilla, jotta opetteluun ei tutkimusvaiheessa kulu enää aikaa. Raepuhallukseen kuluva aika on tärkeä tekijä kustannusten muodostumisessa. Käsiajon ja automaattiajon mitaustulosten vertailu edellyttää, että raepuhallettavat pinnat ovat täysin samanlaisia molemmissa tapauksissa.

Raepuhallusrobotin toimintojen opettelu oli mielenkiintoista, mutta aika hidasta, koska robottia pystyi käyttämään ainoastaan yhtenä päivänä viikossa. Muu robotin käyttöaika oli varattu Katera Steel Oy:n tuotantokäyttöön. Robottia opittiin käyttämään paremmin ja sujuvammin ajan kanssa. Raepuhallusrobotin toimintojen opetteluvaiheessa ei tehty vielä mittauksia raepuhallukseen kuluva ajasta.

Kolmas opinnäytetyön ohjauspalaveri pidettiin marraskuussa, jolloin tehtiin muutoksia tutkimusprosessiin. Ohjauspalaverissa sovittiin opinnäytetyön ohjaaja Jarmo Haposen kanssa, että testikappaleen jokaisesta sivusta tehdään yksittäinen tutkimus. Näin päätettiin, jotta voidaan verrata raepuhallukseen kuluva aikaa erimuotoisilla metallipinnoilla, jolloin tutkimuksesta saadaan myös luotettavampi. Tätä ennen oli sovittu, että testikappaleelle tehdään ainoastaan yksi kokonaistutkimus. Muita muutoksia tutkimusprosessiin ei tämän jälkeen tehty. Opinnäytetyön teoriaosuus saatiin valmiiksi marraskuussa.

Varsinaisen tutkimuksen tekeminen aloitettiin myös marraskuussa, jolloin alettiin tehdä mittauksia opetusajoon kuluva ajasta. Tutkimusta tehtiin yhtenä päivänä viikossa. Tutkimusprosessi suunniteltiin siten, että ensin tutkittiin opetusajoon ja automaattiajoon kuluva aikaa, jonka jälkeen tutkittiin käsiajoon kuluva aikaa.

Ensimmäistä opetusajoa suoritettaessa huomattiin, että aikaa kului todella kauan ohjelmointiin. Alkuvaiheessa hitaus johtui käsipaneelin käytön hallitsemattomuudesta. Huomattavan paljon aikaa käytettiin alussa myös ohjelmointipisteiden paikkojen suunnitteluun. Tuolloin täytyi miettiä huolellisesti, mihin kohtaan ohjelmointipiste kannattaa sijoittaa, missä asennossa robotin käsivarren täytyy olla, ja kuinka suuri vaaputuskulman tulee olla. Ohjelmointi tehtiin jatkossa aina samalla tavalla, joten ohjelmointipisteiden sijoittelua ei tarvinnut enää pohdita. Näin opetusajoon kuluva aika väheni, mutta automaattiajoon kuluva aika pysyi lähes samana.

Useiden ohjelmointikertojen jälkeen huomattiin, miten paljon opetusajoon kuluva aika väheni ensimmäiseen opetusajoon verrattuna. Lähes jokaisessa opetusajossa ohjelmointiin kulunut aika väheni edelliseen opetusajoon verrattuna. Automaattiajoon kulunut aika pysyi kuitenkin samana jokaisella kerralla, joka osoitti sen, että ohjelmat tehtiin samalla tavalla.

Opetusajon ja automaattiajon tutkimusprosessi oli pitkäjänteistä toimintaa, jota kesti useita kuukausia. Testikappaleesta maalattiin yksi sivu kerrallaan, jolle tehtiin raepuhallusohjelma, jonka jälkeen ohjelma testattiin automaattiajolla. Testikappaleen jokaiselle sivulle jouduttiin tekemään oma ohjelma. Ohjelma testattiin vain yhden kerran, jonka jälkeen se poistettiin. Seuraavalla tutkimuskerralla ohjelma tehtiin uudestaan.

Robotin käsiajon tutkimusprosessi aloitettiin tammikuussa 2012, jolloin automaattiajon tutkimustulokset oli saatu selville. Testikappaleen puhdistus oli haastavaa suorittaa käsiajolla yhtä tarkasti kuin automaattiajolla, koska suuttimen tarkka sijainti oli vaikea määrittää ohjaimosta katsottuna. Käsiajolla tutkimuksen suorittaminen oli kuitenkin paljon nopeampaa kuin automaattiajolla. Käsiajon tutkimusprosessi kesti noin kuukauden.

Koko tutkimusprosessi saatiin päätökseen helmikuussa. Tutkimusprosessin jälkeen tehtiin vertailu käsiajon ja automaattiajon välillä ja selvitettiin vastauksia tutkimustehtävään. Vertailu tehtiin sijoittamalla tutkimustulokset Excel-taulukon ja muodostamalla kuviot testikappaleen jokaisen sivun tuloksista. Samaan aikaan tehtiin opinnäytetyön toteutus- ja tulokset-osiota.

Opinnäytetyön viimeinen ohjauspalaveri pidettiin maaliskuussa. Ohjauspalaverissa pohdittiin mahdollisia parannusehdotuksia opinnäytetyöhön. Tuolloin opinnäytetyö oli edennyt jo hyvään vaiheeseen, jolloin viitekehys ja empiria oli saatu valmiiksi. Huhti- ja toukokuussa tehtiin pohdinta-osiota opinnäytetyöhön. Kesän aikana opinnäytetyötä viimeisteltiin ja tehtiin joitakin parannuksia. Opinnäytetyö saatiin lopullisesti valmiiksi elokuussa 2012.

Opinnäytetyö ei aina edennyt säännöllisesti. Toisinaan oli pitkiäkin taukoja, jolloin opinnäytetyön tekemiseen ei ollut aikaa muiden opiskelujen vuoksi. Toisinaan taas opinnäytetyötä tehtiin viikon jokaisena päivänä. Opinnäytetyön teoriaosuuden valmistumisen jälkeen opinnäytetyötä ei voinut tehdä eteenpäin tutkimusprosessin ollessa kesken. Tutkimusprosessi oli työläämpi vaihe kuin alun perin ajateltiin. Raepuhallusrobotin toimintojen opetteluun ja tutkimuksen tekemiseen käytettiin noin 40 työtuntia, joka on suuri määrä ainoastaan tutkimuksen tekemiseen. Opinnäytetyötä jaksettiin kuitenkin tehdä positiivisin mielin. Koko ajan opittiin uusia asioita ja haasteista selviydyttiin yhteistyössä opinnäytetyön ohjaajien kanssa.

8.3 Luotettavuus

Tutkimuksen luotettavuuden arvioimiseksi ei ole olemassa yhtä selkeää sääntöä. Tämän tutkimuksen luotettavuus ja tulosten yleistettävyyys perustuu moneen eri tekijään. Testikappaleelle suoritettua tutkimusta voidaan pitää luotettavana. Testikappaleelle suoritettun tutkimuksen luotettavuus voidaan perustella monilla tavoin.

Robotin toiminnot, sekä ohjelmointi että manipulaattorin käyttö opeteltiin huolellisesti ennen kuin tutkimusta alettiin tehdä. Opetusajolla robotin liikkeiden nopeuksien laskemiseen käytettiin siihen tarkoitettua ohjetaulukkoa, jotta robotin liikkeiden nopeudet saatiin pysymään samoina. Tutkimusprosessissa noudatettiin SFS-standardin mukaista täydellistä esikäsitteilymenetelmää. Testikappale puhdistettiin aina esikäsitteilyasteeseen Sa 2½ (hyvin huolellinen suihkupuhdistus) tasaisen laadun takaamiseksi.

Koko tutkimusprosessin ajan käytettiin samaa testikappaletta ja mittauksia tehtiin moneen kertaan. Samaa testikappaletta käytettiin, jotta saatuja mittaustuloksia voitiin verrata keskenään. Mittauksia tehtiin useaan kertaan, jotta voitiin vertailla mittaustulosten vaihteluita tutkimusprosessin edetessä.

Tutkimuksen tuloksissa huomioitiin ainoastaan mittaustulosten aritmeettinen keskiarvo, koska ajat muuttuivat pienemmiksi tutkimuksen edetessä. Tulosten keskiarvon huomioimisen johdosta mittaustulosten vaihteluiden vaikutusta saatiin pienennettyä, jolloin myös mittaustulosten ääripäät saatiin poistettua. Tutkimuksen luotettavuuden kannalta ei ollut järkevää tehdä tutkimusta ainoastaan yhdestä mittaustuloksesta, ja suorittaa vertailua sen pohjalta, koska opetusajolla mittaustulosten vaihtelut olivat todella suuria. Muuten tutkimustulokset olisivat poikenneet jonkin verran tässä opinnäytetyössä esitetyistä tuloksista.

Automaattiajolla samaa ohjelmaa käytettiin ainoastaan yhdessä raepuhalluksessa, jonka jälkeen ohjelma poistettiin. Tekemällä ohjelma uudestaan jokaisella kerralla, voitiin vertailla opetusajoon kuluvan ajan vaihteluita. Automaattiajolla saatiin myös selville, tehtiinkö ohjelma samalla tavalla jokaisessa opetusajossa mittaamalla automaattiajoon kuluva aika. Opetusajossa ohjelmointipisteet pyrittiin sijoittamaan samalla tavalla ja käyttämään saman verran ohjelmointipisteitä. Käsiäjossa pyrittiin käyttämään samaa puhdistusjärjestystä testikappaleelle.

Tutkimusprosessiin käytettiin paljon aikaa. Suuri ajan tarve johtui siitä, että testikappaleen kaikille sivuille tehtiin useita erillisiä mittauksia ja opetusajo sekä käsiajo tehtiin useita kertoja. Testikappale täytyi myös maalata jokaisen puhdistuskerran jälkeen uudestaan.

Testikappaleelle tehdyn tutkimuksen luotettavuutta voi heikentää se, että opetusajolla mittaustulosten väliset vaihtelut olivat huomattavan suuria. Opetusajoon kuluva aika laski sitä pienemmäksi, mitä pidemmälle tutkimusprosessi eteni. Käsiajolla mittaustulosten välisiä vaihteluita ei juuri ilmennyt. Robotin käyttäjä voi vaikuttaa opetusajoon käytettyyn aikaan sijoittamalla ohjelmointipisteet haluamaansa kohtaan, mikä vaikuttaa opetusajoon ja automaattiajoon kuluvaan aikaan laskevasti tai nostavasti. Käyttäjä voi suorittaa myös käsiajon omalla tavallaan.

Testikappaleelle suoritettussa tutkimuksessa tutkittiin ainoastaan raepuhalluksen vaatimaa aikaa maalin poistamiseen, joten tuloksia ei voida luotettavasti yleistää koskemaan ruosteisten metallipintojen vaatimia puhdistusaikoja. Tällainen tutkimus olisi ollut vaikea toteuttaa, koska tutkimusprosessissa käytettiin yhtä testikappaletta. Periaatteessa vastaava tutkimus olisi ollut mahdollinen toteuttaa samalla testikappaleella, mutta tutkimusprosessi olisi venynyt paljon pidemmäksi, koska testikappaleen ruostumista olisi täytynyt odottaa.

Tutkimuksen tuloksia ei välttämättä voi hyödyntää monimutkaisten kappaleiden ja suurten sarjakokojen ollessa kyseessä. Esimerkkinä monimutkaisesta ja suuresta kappaleesta voidaan käyttää junavaunua. Jos vastaavanlainen tutkimus tehdään junavaunuille, ei voida varmuudella tietää, kuinka paljon tulokset poikkeavat tässä tutkimuksessa esitetyistä tuloksista.

Opinnäytetyössä käytettyjen lähdeiteoksien valinnassa käytettiin harkintaa. Lähdeiteoksien etsimisessä muodostui ongelmia raepuhalluksen osalta, koska lähteitä oli niukasti saatavilla. Robotiikasta löytyi lähdeiteoksia huomattavasti enemmän. Suurin osa käytetyistä lähdeiteoksista oli tieteiskirjallisuutta. Internet-lähteisiin suhtauduttiin kriittisesti ja niitä käytettiin vähän, koska Internet-lähteiden alkuperää ei voida varmuudella todentaa.

8.4 Oma ammatillinen kasvu

Opinnäytetyöprosessi antoi loistavia valmiuksia työelämään. Opinnäytetyössä käytettiin niitä menetelmiä, joita ammattiopinnoissa oli harjoiteltu teorian avulla. Tutkimusprosessissa käytettiin keskeisimpänä menetelmänä työntutkimusta. Menetelmässä tutkitaan työhön kuluva aikaa ja työntutkimuksen tavoitteena on parantaa työn tuottavuutta. Menetelmää voidaan käyttää sekä yksittäisen ihmisen että erikokoisten työryhmien työajan tutkimiseen.

Tradenomin ammattitaitoon tutkimus- ja kehitystyö kuuluu olennaisena osana. Tradenomin täytyy ymmärtää yritystoiminnan kannattavuuden ja tuloksellisuuden merkitys sekä pystyä soveltamaan uusinta tietoa yhteisöjen kehittämiseen. Raepuhalluksen työtehokkuustutkimus luokitellaan tutkimustyöksi. Tutkimuksen avulla selvitettiin, voidaanko toimintaa saada taloudellisemmaksi, kun käytetään erilaista menetelmää. Raepuhallusrobotin käytöstä muodostuu paljon kustannuksia, joten tutkimus oli ajankohtainen. Mitä pienemmällä ajankäytöllä raepuhallus voidaan suorittaa, sitä pienemmäksi muodostuvat myös kustannukset.

Tutkimusprosessi opetti ennen kaikkea pitkäjänteisyyttä. Tutkimuksen aikana huomattiin, kuinka haastavaa ja aikaa vievää työntutkimuksen tekeminen voi parhaimmillaan olla. Näin suuresta tutkimuksesta ei ollut aikaisempaa kokemusta. Opinnäytetyön tekeminen paransi ammatillista osaamista käytännön tasolla ja antoi vinkkejä työelämään. Ammatillista kehittymistä tapahtui niin tutkimustyössä kuin uuden tiedon soveltamisessakin. Opinnäytetyöprosessi oli erittäin mielenkiintoinen oppimiskokemus.

8.5 Jatkotutkimusaiheet

Opinnäytetyöprosessi oli hyvin suunniteltu ja tutkimus toteutettiin huolellisesti. Vastaavalaista tutkimusta ei ollut aikaisemmin tehty raepuhallusrobotilla, joten tutkimus nähtiin tarpeelliseksi. Tämän tutkimuksen luotettavuuden yleistettävyyttä jäi myös sen vuoksi epävarmaksi. Opinnäytetyöprosessin aikana heräsi kysymyksiä, joiden perusteella voidaan tehdä erilaisia jatkotutkimuksia.

Raepuhallusrobotilla voidaan suorittaa monipuolisempi tutkimus, jossa mitataan monimutkaisten ja suurten kappaleiden puhdistusnopeuksia. Tehdyssä tutkimuksessa käytetty testikappale oli yksinkertainen raepuhallusrobotilla suoritettavaan puhdistukseen. Opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää jatkotutkimuksessa. Jatkotutkimuksen avulla voidaan saada yleistettävämpi vastaus siihen, kuinka suuria sarjoja kannattaa raepuhaltaa käsiajolla ja kuinka suuria sarjoja kannattaa raepuhaltaa automaattiajolla. Varmuudella ei voida sanoa, saadaanko monimutkaisilla ja suurilla kappaleilla erilaisia tuloksia aikaan.

Laaja yleistutkimus on puolestaan monimutkaisempi toteuttaa kuin tässä opinnäytetyössä suoritettu tutkimus. Tällainen tutkimus täytyy tehdä erikokoisille kappaleille, joiden monimutkaisuus ja kokoerot ovat todella suuria, ja suorittaa vertailu saatujen tulosten kesken. Näin voidaan huomata todella se, onko mittaustulosten välillä eroja, kun raepuhalletaan todella haastavia ja yksinkertaisia kappaleita samankokoisia sarjoja. Vastaavassa tutkimuksessa kannattaa käyttää käytössä olleita jo ruostuneita kappaleita. Tällöin tietyn esikäsittelyasteen huomioon ottaminen on ehdottoman tärkeää, jotta kaikille kappaleille saadaan tasainen puhdistustulos. Toteutus voi olla vaikeaa lyhyellä aikavälillä johtuen siitä, onko puhdistettavia kappaleita juuri tiettyyn aikaan saatavilla.

Laajassa tutkimuksessa tutkimuksen suorittajan on hyvä olla kokenut raepuhallusrobotin käyttäjä. Näin mittaustulosten välillä ei pääse syntymään suuria poikkeamia, koska työskentelyn nopeus pysyy tasaisena. Mittauskertojen lukumäärä voidaan pitää pienenä ja tutkimus voidaan suorittaa vähemmällä ajankäytöllä kuin tässä opinnäytetyössä suoritettu tutkimus. Tutkimus on mahdollista suorittaa myös useiden raepuhallusrobotin käyttäjien toimesta ja vertailla käyttäjien välisiä tuloksia. Tällöin voidaan selvittää, kuinka paljon käyttäjien väliset tulokset poikkeavat keskenään. Tällainen tutkimus vie puolestaan paljon aikaa toisin kuin kokeneen käyttäjän tekemä tutkimus.

LÄHTEET

- Aakkula, J., Erkinharju, A., Mieskonen, J. & Spolander, M. 1985. Robotiikka & Tuotantoautomaatio. Espoo: Konepajatalouden kerho, KOTA.
- Aaltonen, K. & Torvinen, S. 1997. Konepaja-automaatio. Helsinki: WSOY.
- Blastman Robotics Ltd. 2010. Blastman B20S huolto-ohje.
- Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2007. Tutki ja kirjoita. Keuruu: Tekijät ja Kirjayhtymä Oy.
- Häkki-Rönnholm, E. 2008. Korroosioikäkirja. Helsinki: KP-Media Oy.
- Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M. & Sihvonen, P. 2005. Valmistustekniikka. Helsinki: Otatieto Oy.
- Jokinen, I., Kuusela, A. & Nikkari, T. 2001. Metallituotteiden maalaus. Jyväskylä: Opetushallitus.
- Karlsson, S., Mikkonen, A. & Heikkinen, T. 2011. Blastman raepuhallusrobotin käyttö-ohje. Kajaanin ammattikorkeakoulu.
- Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Metso, T. & Putkonen, K. 2001. Logiikat ja ohjausjärjestelmät. Koneautomaatio 2. Vantaa: WSOY.
- Kuittinen, H & Häkkinen, O. 1989. Korroosionestomaalauksen laitetekniikka. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
- Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Vantaa: Talentum Oyj/MetalliTekniikka.
- SFS-käsikirja 68-1. 2008. Metallien korroosionestomaalaus. Osa 1: Teräsrakenteiden korroosio suojamaaliyhdistelmillä ja termistandardit. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- SFS-käsikirja 68-2. 2008. Metallien korroosionestomaalaus. Osa 2: Kenttätestausmenetelmät I. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

INTERNET-LÄHTEET

ABB Oy. n.d. IRB 4400. Viitattu 5.5.2012.

<http://www.abb.fi/product/seitp327/d891cb5c242fe889c1256efc002871f3.aspx?productLanguage=fi&country=FI>

Fastems Oy Ab. n.d. Fastems Fastsimu - tehokas offline-ohjelmointiohjelmisto.

Viitattu 5.5.2012. <http://www.e-fastems.com/magazine/index.php/2/11/FI/2011/01/fastsimu/>

Flink, R., Killström, T., Kilpinen, J., Kotilainen, P. & Tuisku, L. n.d. Metallipintojen teollinen maalaus. Tikkurila Oy, Industrial Coatings. Viitattu 1.11.2011.

<http://www.digipaper.fi/coatings/33461/index.php?pgnumb=3>

Niemi, P. 2010. Valunpuhdistusmenetelmät. Viitattu 4.11.2011.

http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_jalkikasittely_A.pdf

TUTKIMUSTULOKSET

KOKO TESTIKAPPALE

Kaikki ajat ovat minuutteja.

Automaattiajo

Ohjelmointiaika Koko testikappale	Puhdistus aika Koko testikappale	Kokonais kesto
41	8	49
Keskiarvo		

Käsiajo

Puhdistus aika Koko testikappale	Kokonais kesto
16	16
Keskiarvo	

Kokonaiskesto sarjakoossa	Sarjakoossa/kpl	Kokonais kesto	Sarjakoossa/kpl	Kokonaiskesto
	1	49	1	16
	2	57	2	32
	3	65	3	48
	4	73	4	64
	5	81	5	80
	6	89	6	96
	7	97	7	112
	8	105	8	128
	9	113	9	144
	10	121	10	160
	11	129	11	176
	12	137	12	192
	13	145	13	208
	14	153	14	224
	15	161	15	240
	16	169	16	256
	17	177	17	272
	18	185	18	288
	19	193	19	304
	20	201	20	320
	21	209	21	336
	22	217	22	352

TUTKIMUSTULOKSET

TESTIKAPPALE 1. SIVU

Kaikki ajat ovat minuutteja.

Automaattiajo

Tutkimusnumero	Ohjelmointiaika 1. sivu	Puhdistusaika 1. sivu	Kokonais kesto
Tutkimus 1	24,0	3,0	
Tutkimus 2	17,0	3,0	
Tutkimus 3	14,5	2,5	
Tutkimus 4	15,5	3,0	
Tutkimus 5	10,5	3,0	
Keskiarvo	14	3	17

Käsiajo

Tutkimusnumero	Puhdistusaika 1. sivu	Kokonaiskesto
Tutkimus 1	5,5	
Tutkimus 2	5,5	
Tutkimus 3	5,0	
Tutkimus 4	5,0	
Tutkimus 5	5,0	
Keskiarvo	5	5

Kokonaiskes to sarjako on mukaan	Sarjako/kpl	Kokonais kesto	Sarjako/kpl	Kokonais kesto
	1	17	1	5
	2	20	2	10
	3	23	3	15
	4	26	4	20
	5	29	5	25
	6	32	6	30
	7	35	7	35
	8	38	8	40
	9	41	9	45
	10	44	10	50
	11	47	11	55
	12	50	12	60
	13	53	13	65
	14	56	14	70
	15	59	15	75

Automaattiajolla tutkimuksen 1 aikaa ei laskettu keskiarvoon suuren poikkeaman vuoksi.

TUTKIMUSTULOKSET

TESTIKAPPALE 2. SIVU

Kaikki ajat ovat minuutteja.

Automaattiajo

Tutkimus numero	Ohjelmointiaika 2. sivu	Puhdistus aika 2. sivu	Kokonais kesto
Tutkimus 1	40,0	1,5	
Tutkimus 2	15,0	1,5	
Tutkimus 3	16,5	1,5	
Tutkimus 4	11,5	2,0	
Tutkimus 5	9,0	2,0	
Keskiarvo	13	2	15

Käsiajo

Tutkimus numero	Puhdistus aika 2. sivu	Kokonais kesto
Tutkimus 1	5,0	
Tutkimus 2	4,0	
Tutkimus 3	4,0	
Tutkimus 4	4,5	
Tutkimus 5	3,5	
Keskiarvo	4	4

Kokonaiskesto sarjakoolla mukaan	Sarjako/kpl	Kokonais kesto	Sarjako/kpl	Kokonais kesto
	1	15	1	4
	2	17	2	8
	3	19	3	12
	4	21	4	16
	5	23	5	20
	6	25	6	24
	7	27	7	28
	8	29	8	32
	9	31	9	36
	10	33	10	40
	11	35	11	44
	12	37	12	48
	13	39	13	52
	14	41	14	56
	15	43	15	60

Automaattiajolla tutkimuksen 1 aikaa ei laskettu keskiarvoon suuren poikkeaman vuoksi.

TUTKIMUSTULOKSET

Kaikki ajat ovat minuutteja.

TESTIKAPPALE 3. SIVU

Automaattiajo

Tutkimus numero	Ohjelmointiaika 3. sivu	Puhdistusaika 3. sivu
Tutkimus 1	6,0	1,0
Tutkimus 2	3,0	1,0
Tutkimus 3	2,0	1,0
Tutkimus 4	2,0	1,0
Keskiarvo	2	1
Kokonais kesto		3

Käsiajo

Tutkimusnumero	Puhdistusaika 3. sivu
Tutkimus 1	2,5
Tutkimus 2	2,0
Tutkimus 3	2,0
Tutkimus 4	1,5
Keskiarvo	2
Kokonais kesto	

Kokonaiskesto sarjakoossa	Sarjako/kpl	Kokonais kesto
1	1	2
2	2	4
3	3	6
4	4	8
5	5	10
6	6	12
7	7	14
8	8	16
9	9	18
10	10	20
11	11	22
12	12	24
13	13	26
14	14	28
15	15	30

Automaattiajoilla tutkimuksen 1 aikaa ei laskettu keskiarvoon suuren poikkeaman vuoksi.

TUTKIMUSTULOKSET

TESTIKAPPALE 4. SIVU

Kaikki ajat ovat minuutteja.

Automaattiajo

Tutkimusnumero	Ohjelmointiaika 4. sivu	Puhdistus-aika 4. sivu	Kokonais kesto
Tutkimus 1	17,5	1,5	
Tutkimus 2	12,5	2,0	
Tutkimus 3	13,5	2,0	
Tutkimus 4	10,0	2,5	
Tutkimus 5	9,5	2,0	
Keskiarvo	11	2	13

Käsiajo

Tutkimusnumero	Puhdistus-aika 4. sivu	Kokonais kesto
Tutkimus 1	5,0	
Tutkimus 2	4,5	
Tutkimus 3	5,0	
Tutkimus 4	4,5	
Tutkimus 5	4,0	
Keskiarvo	5	5

Kokonaiskes to sarjako on mukaan	Sarjako/kpl	Kokonais kesto	Sarjako/kpl	Kokonais kesto
	1	13	1	5
	2	15	2	10
	3	17	3	15
	4	19	4	20
	5	21	5	25
	6	23	6	30
	7	25	7	35
	8	27	8	40
	9	29	9	45
	10	31	10	50
	11	33	11	55
	12	35	12	60
	13	37	13	65
	14	39	14	70
	15	41	15	75

Automaattiajoilla tutkimuksen 1 aikaa ei laskettu keskiarvoon suuren poikkeaman vuoksi.

