



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

RUNKOKAPPALEIDEN JÄYSTEENPOISTON AUTOMATISOINTI

Jani Lindfors

Opinnäytetyö
Toukokuu 2018
Konetekniikka
Tuotantotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Tuotantotekniikka

LINDFORS JANI:

Runkokappaleiden jäysteenpoiston automatisointi

Opinnäytetyö 42 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Toukokuu 2018

Tämä opinnäytetyö on tehty Sandvik Mining and Construction Oy:lle. Työn aiheena oli tutkia erilaisia automatisoituja jäysteenpoistomenetelmiä ja niiden sopivuutta hydraulisten porakoneiden runkokappaleille. Tarkoituksena oli kartoittaa ja arvioida jäysteenpoiston automatisoinnin mahdollisuudet ja vaihtoehdot. Työn tavoitteena on havainnollistaa toimeksiantajalle, minkälaisia mahdollisuuksia on olemassa käytössä olevan manuaalisen jäysteenpoiston korvaamiseksi. Jäysteenpoisto käsin tehtynä on ihmiselle raskas ja epämiellyttävä työvaihe, joten se halutaan korvata kokonaan tai osittain koneella tehtäväksi.

Työn alkuvaiheessa määritettiin tarkka kuvaus nykytilanteesta, joka saavutettiin tutustumalla porakonetehtaan toimintaan, itse tuotteisiin sekä käytössä olevaan manuaaliseen jäysteenpoistomenetelmään. Menetelmätutkimus aloitettiin määrittämällä menetelmän valintaan vaikuttavat tekijät, joita olivat esimerkiksi runkokappaleiden muotojen suuri vaihtelevuus sekä sisäisten pintojen jäysteet ja niiden saavutettavuus. Kehittämistyössä lähteinä käytettiin pääasiassa laitteiden valmistajia ja niiden maahantuojia, kirjallisuutta sekä Konepaja-messuja.

Onnistuneen menetelmätutkimuksen tuloksena toimeksiantajalle esitetään sopivimmat menetelmät manuaalisen jäysteenpoiston korvaamiseksi. Jäysteenpoiston automatisointi vähentää ihmisen taakkaa sekä lyhentää läpäisyajoja ja parantaa tuottavuutta. Miellyttävämpi työvaihe kasvattaa myös työntekijöiden motivaatiota ja vähentää rasitusvammoista aiheutuvia sairauspoissaoloja. Luottamuksellinen aineisto on poistettu julkisesta raportista.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Production Engineering

LINDFORS JANI:
Automatization of Deburring Complex Parts

Bachelor's thesis 42 pages, appendices 2 pages
May 2018

This thesis was written for Sandvik Mining and Construction Oy. The theme of the thesis was to study automated deburring methods that can be used for hydraulic rock drill parts. The purpose of this study was to gather information and demonstrate alternative deburring methods that can eventually replace manual deburring at the rock drill factory. The employer wishes to replace hand deburring entirely or partly due to it being a hard and disliked work task.

The study was started by exploring the rock drill factory, products, and the manual deburring method in use. The first step of the methods study was to define the key factors that determine if a method can be used in deburring the rock drill parts. For example, the thickness, attainability and the location of internal burr were crucial in determining the suitability of the method. In addition to these, taking into account the various drill models and numerous different sizes of parts was also essential for the process. In the course of studying the different methods, manufacturers, importers, literature, and Engineering Works Trade Fair were used as sources of information.

As a result of the methods study, the deburring methods best suited for this application will be demonstrated for the employer. An automated deburring method will reduce the burden on employees and improve lead time as well as productivity in the production. A more likable work task will increase motivation and decrease sick leaves due to lack of repetitive strain injuries. Confidential material has been removed from the public report.

Key words: automatization of deburring, methods study

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	YRITYSESITTELY	7
	2.1 Sandvik AB.....	7
	2.2 Sandvik Mining and Construction Oy	8
	2.3 Porakonetehtas	9
3	NYKYTILANTEEN KUVAUS.....	10
	3.1 Kohteen esittely	10
	3.2 Jäyste.....	11
	3.3 Manuaalinen jäysteenpoisto.....	12
4	MENETELMÄTUTKIMUS	15
	4.1 Kehittämisen tarpeellisuus	15
	4.2 Menetelmän valintaan vaikuttavat tekijät	16
	4.2.1 Runkokappaleiden koot ja muodot.....	16
	4.2.2 Jäysteen sijainti ja saavutettavuus.....	17
	4.3 Soveltuvimmat menetelmät	18
5	JÄYSTEENPOISTO ROBOTILLA.....	20
	5.1 Robotisointi.....	20
	5.1.1 Käyttökohteet	22
	5.1.2 Menetelmän rajoitukset.....	22
	5.1.3 Menetelmän hyödyt.....	24
	5.2 Mekaaninen jäysteenpoisto	25
	5.3 Jäysteenpoisto vedellä.....	26
6	TERMINEN JÄYSTEENPOISTO.....	28
	6.1 Prosessin toimintaperiaate	28
	6.1.1 Menetelmän rajoitukset.....	30
	6.1.2 Menetelmän hyödyt.....	31
	6.2 Käyttökohteet.....	32
	6.3 Prosessin jälkeinen pesu	33
7	JATKOSUUNNITELMAT	35
	7.1 Termisen menetelmän materiaalitekniset tutkimukset.....	35
	7.2 Robotisoidun menetelmän valinta	36
8	POHDINTA.....	37
	LÄHTEET.....	38
	LIITTEET	41
	Liite 1. Vaihteistopesien 3D-mallit	41
	Liite 2. Runkosylintereiden 3D-mallit.....	42

LYHENTEET JA TERMIT

CAM	Computer-Aided Manufacturing, tietokoneavusteinen valmistus
FMS	Flexible Manufacturing System, joustava automaattinen valmistusjärjestelmä
HPWD	High Pressure Waterjet Deburring, korkeapainevesisuihkua käyttävä jäysteenpoistomenetelmä
HRC	Rockwell-kovuusmittaus C-asteikko
IFR	International Federation of Robotics, kansainvälinen robotiikan järjestö
TEM	Thermal Energy Method, terminen jäysteenpoistomenetelmä

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on tutkia hydraulisten runkokappaleiden jäysteenpoistoon sopivia automatisoituja jäysteenpoistomenetelmiä. Työn toimeksiantajana on Sandvik Mining and Construction Oy Tampereelta. Selvitys jäysteenpoiston mahdollisuuksista tehdään tehtaan porakonevalmistukseen, jossa jäysteenpoisto suoritetaan tällä hetkellä käsin. Manuaalinen jäysteenpoisto on yksi yleisimmistä jäysteenpoistomenetelmistä, mutta työvaiheena erittäin rasittava ja epämieluisa. Työn tarkoituksena on selvittää, minkälaisia automatisoituja jäysteenpoistomenetelmiä on nykyään tarjolla sekä tutkia, mitkä niistä sopivat parhaiten runkokappaleille. Työn tavoitteena on esitellä sopivimmat automatisoidut jäysteenpoistomenetelmät toimeksiantajalle, jotta yrityksellä on paremmat lähtökohdat manuaalisen jäysteenpoiston korvaamiseksi lähitulevaisuudessa. Opinnäytetyössä keskittään menetelmätutkimukseen ja siihen vaikuttaviin tekijöihin sekä esitellään sopivimmat jäysteenpoistomenetelmät.

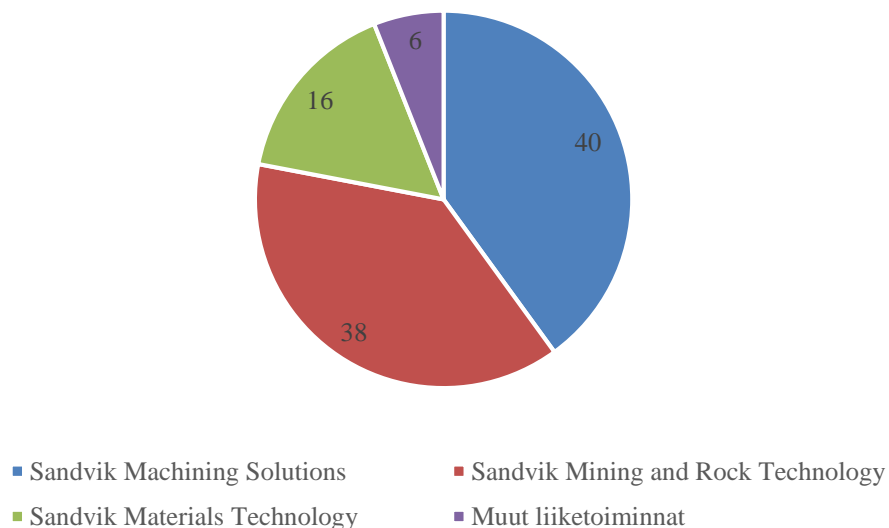
2 YRITYSESITTELY

2.1 Sandvik AB

Sandvik AB on kansainvälinen korkean teknologian metalli-, kaivos- ja maanrakennusalan teollisuuskonserni. Ruotsissa vuonna 1862 perustetun yrityksen kolme tärkeintä liiketoimialuetta ovat Sandvik Machining Solutions, Sandvik Materials Technology ja Sandvik Mining and Rock Technology. Konsernilla on työntekijöitä noin 43 000 maailmanlaajuisesti sekä toimintaa yhteensä noin 150 eri maassa. Yrityksen tuotteita ovat metallintyöstämisessä käytettävät työkalut ja järjestelmät, kaivos- ja urakointiteollisuudessa käytettävät laitteet ja koneet sekä erilaiset erikoisseosmateriaalit. (Sandvik 2018a)

Sandvik tunnetaan jatkuvista investoinneista tutkimukseen ja tuotekehitykseen, mikä mahdollistaa yrityksen erinomaisen aseman teollisten prosessien alalla. Vuoden 2016 tilipäätöksen mukaan investoinnit tutkimukseen ja tuotekehitykseen olivat noin 3,5 miljardia kruunua, liikevaihdon ollessa noin 82 miljardia. Kuviossa 1 on havainnollistettu liikevaihdon jakauma toimialueittain. (Sandvik Group 2017)

Osuus liikevaihdosta 2016



KUVIO 1. Vuoden 2016 liikevaihdon jakauma toimialueittain

2.2 Sandvik Mining and Construction Oy

Sandvik Mining and Construction Oy:n Tampereen tehdas valmistaa poraus- ja louhintalaitteita asiakkailleen maailmanlaajuisesti. Tuotantolaitoksen toiminta kuuluu Sandvik Mining and Rock Technology toimialueeseen. Tampereen Myllypuron tehtaalla (kuva 1) valmistettavia tuotteita ovat tunnelinporaus- ja avolouhintalaitteet, kaivos- ja tuotantoporauslaitteet sekä pultituslaitteet. Laitteet jaetaan karkeasti maan alla ja maan pinnalla toimiviin laitteisiin. Tuotteiden testaus suoritetaan tehdasalueen omalla koekaivoksella asiakasvaatimusten mukaisessa ympäristössä. Tampereen tehdas on Sandvikin konsernille tärkeä sen tuotannon ja testikaivoksen lisäksi myös tehtaassa tapahtuvan tuotekehityksen vuoksi. Taitava tuotekehitys ja uudet innovaatiot yhdessä nopean tuotannon ylösajon kanssa mahdollistavat asiakastarpeisiin ja muuttuviin markkinatilanteisiin reagoimisen. (Sandvik 2018b)



KUVA 1. Tampereen toimipiste (Sandvik Mining and Construction 2018, muokattu)

Tampereen tehtaalla valmistettavista maanalaisista laitteista käytetään termiä UG eli underground ja pinnalla toimivista SF eli surface. Maanpäälliset ja maanalaiset laitteet ovat komponenteiltaan hyvin samanlaisia. Laitteet eroavat siinä, miten poraus- ja puomihydrauliikan energia tuotetaan. Maanpäällisissä laitteissa käytetään yleensä energian tuottamiseen dieselmoottoria. Maanalaisissa laitteissa käytetään pakokaasujen välttämiseksi sähkömoottoria. (Tuominen 2012, 14)

2.3 Porakonetehtas

Porakonetehtas on oma yksikkönsä Myllypuron tehtaalla. Siellä suunnitellaan sekä valmistetaan kivenlouhinnassa käytettävät kallioporakoneet. Porakoneiden osat tulevat alihankinnasta, Sandvikin muista toimipisteistä tai ne valmistetaan itse omassa tehtaassa. Porauslaitteen tärkeimpänä komponenttina voidaan pitää syöttölaitteella sijaitsevaa kallioporakonetta (kuva 2), jolla saadaan tuotettua kiven rikkomiseen tarvittava jännitysaal-topulssi. Pulssi johdetaan poratankoa pitkin sen päässä olevaan porakruunuun, jonka tehtäväksi jää rikkoa kivi mahdollisimman tehokkaasti. (Tuominen 2012, 16)



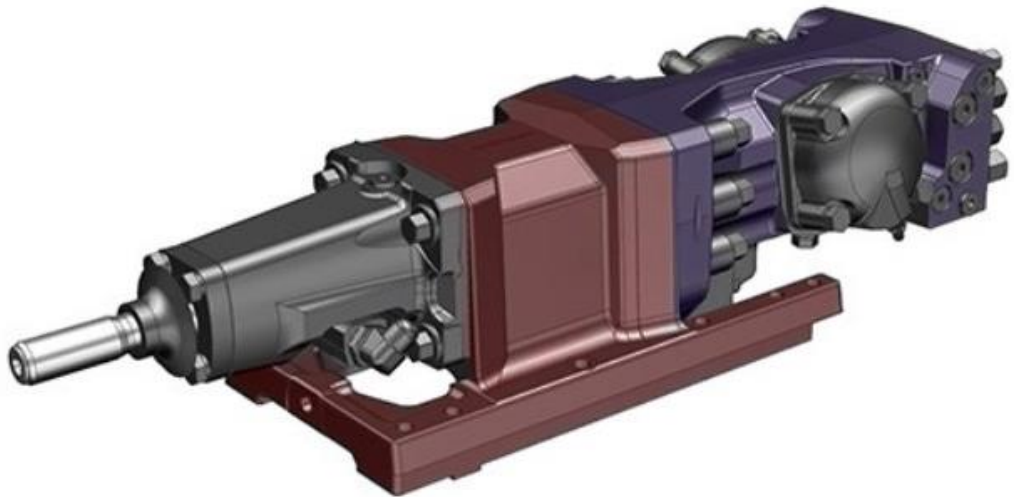
KUVA 2. DT821 Tunnelijumbo, jossa kallioporakoneen sijainti esitetty nuolella (Sandvik Mining 2018, muokattu)

Sandvik julkisti toukokuussa 2017 suunnitelman investoida 18 miljoonaa euroa uuteen kehityskeskukseen Tampereen toimipisteeseen. Uuden kehityskeskuksen tarkoituksena on kehittää porakoneiden elinikää sekä niiden ydinkomponentteja ja ominaisuuksia. Kehitettäviä ominaisuuksia ovat muun muassa entistä nopeampi ja tarkempi poraus. (Suojanen 2017)

3 NYKYTILANTEEN KUVAUS

3.1 Kohteen esittely

Kallioporakone koostuu useasta osasta, sen runko voidaan kuitenkin jakaa kolmeen pääosaan, jotka ovat havainnollistettu kuvassa 3. Porakoneen päässä oleva huuhtelupesä on esitetty kuvassa harmaalla, vaihteistopesä punaisella ja runkosylinteri violetilla värillä. Huuhtelupesät toimitetaan valmiina, joten jäysteenpoisto suoritetaan vain vaihteistopesille ja runkosylintereille. Tehtaan tuotteisiin kuuluu yli kymmenen erikokoista kallioporakonetta, joten vaihteistopesien ja runkosylintereiden koko sekä muoto vaihtelevat suuresti.



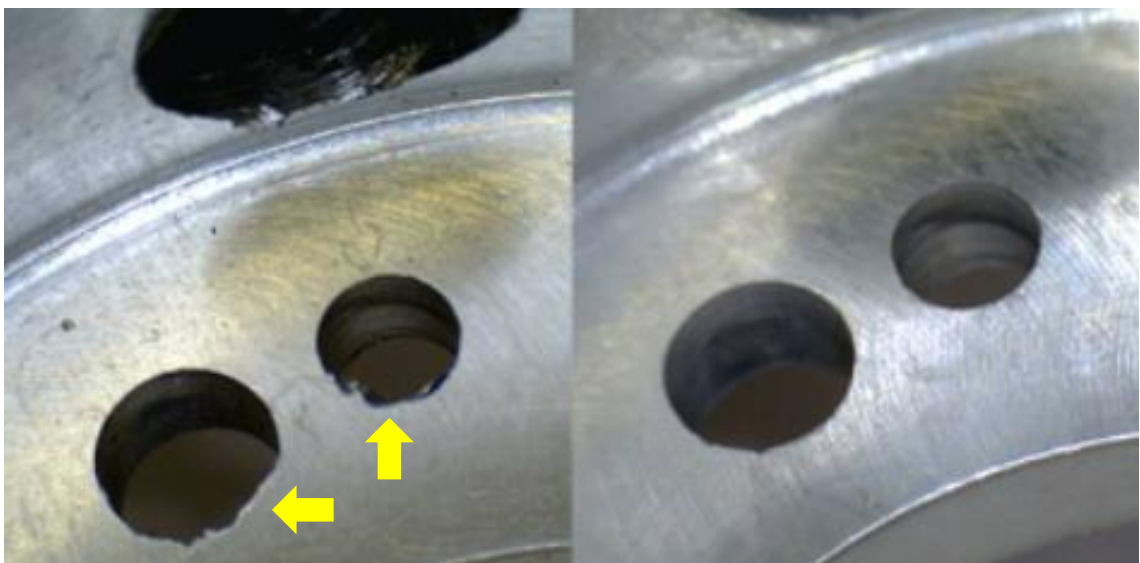
KUVA 3. HLX5 kallioporakone, jonka runko on jaettu kolmeen pääosaan (Sandvik Mining and Rock Technology, muokattu)

Osat ovat joko rauta- tai teräsvaluja, ja niiden jäysteenpoisto suoritetaan manuaalisesti. Opinnäytetyön tarkoituksena on löytää automatisoituja ratkaisuja kyseisten runkokappaleiden jäysteenpoistolle. Työn alkuvaiheessa määritettiin tarkka kuvaus nykytilanteesta, joka saavutettiin tutustumalla porakonetehtaan toimintaan, itse runkokappaleisiin sekä käytössä olevaan jäysteenpoistomenetelmään. Tämän jälkeen siirryttiin työn varsinaiseen tiedonhakuosuuteen sekä menetelmätutkimukseen. Tiedonhakuun käytettiin kirjallisuuden lisäksi laitevalmistajia ja niiden toimittajia sekä maaliskuussa Tampereella järjestettäviä Konepaja-messuja.

Nykytilanteen kuvauksessa selvitettiin, miten runkokappaleiden jäysteenpoisto tehdään, mitä työkaluja siihen käytetään sekä mitä menetelmiä porakonetehtas on jo mahdollisesti aikaisemmin kokeillut. Manuaalinen jäysteenpoisto on menetelmänä joustava, mutta samalla myös hyvin raskas ja epämiellyttävä tehdä. Menetelmälle halutaan korvaaja, joka vähentää ihmisen tekemää raskasta työsuutta. Menetelmän tulee tuottaa tasaista laatua sekä nopeuttaa työvaihetta ja tuotantoa.

3.2 Jäyste

Jäyste on karhea alue tai ohut materiaalista ulkoneva osa, joka muodostuu materiaalia työstäessä. Se voi muodostua esimerkiksi poran läpäistessä pinnan, jolloin pora tekee reiän reunaan jäysteen (kuva 4), mikä yleensä ei ole suotavaa ja se on erikseen poistettava. Jäyste on koneistuksen luonnollinen sivuvaikutus, joka otetaan huomioon jo tuotannon-suunnittelussa sekä itse työstöohjelmaa tehtäessä. Sorvatessa jäysteen muodostumiseen voivat vaikuttaa esimerkiksi huono lastunhallinta, väärä terävalinta tai kulunut terä sekä liian pienet tai suuret työstöarvot. Jäystettä ei tule sekoittaa purseeseen, joka on valamisessa valumuottien väliin eli jakopintaan muodostuvaa teräväreunaista epätasaisuutta. Purse poistetaan useimmiten talttaamalla tai hiomalla. Tarkoituksena on tasoittaa valukappaleen pinta, jotta kappale voidaan kiinnittää hyvin työstämistä varten sekä välttyä epätasaisuuden aiheuttamilta toiminnallisilta häiriöiltä. (Gillespie 1999, 2)



KUVA 4. Porauksessa reiän reunaan muodostunut jäyste (Deburring Centre Ltd 2018, muokattu)

Jäysteenpoistolla tarkoitetaan koneistuksen jälkeistä työmenetelmää, jolla puhdistetaan koneistuksen jättämät jäysteet kappaleesta. Jäysteenpoistomenetelmän valintaan vaikuttaa muun muassa kappaleen ominaisuudet sekä tuotantovolyymi. Menetelmän valintaa voi rajata huomattavasti myös kappaleen sisäiset puhdistuspinnat sekä niiden aiheuttamat vaikeudet, esimerkiksi saavutettavuuden näkökulmasta. Jäysteen muodostuminen on yksilöllistä, mikä tuo omat haasteensa sen poistamiseen.

Jäyste ja huonosti viimeistellyt reunat voivat:

- Aiheuttaa turbulenttista virtausta
- Vahingoittaa tiivisteitä ja o-renkaita
- Jumittaa mekanismeja ja aiheuttaa oikosulkuja
- Aiheuttaa tukkeutuneita suodattimia ja liittimiä
- Kasvattaa tai muuttaa kappaleiden välistä kitkaa
- Vaikuttaa kappaleen sähkö- ja magneettikenttiin
- Vaikeuttaa osien yhteensopivuutta kokoonpanossa
- Nopeuttaa liikkuvien tai paineenalaisten osien kulumista
- Aiheuttaa haavoja käsiin kokoonpanon tai purkamisen yhteydessä
- Aiheuttaa naarmuja pintoihin, jotka johtavat liitoksien vuotamiseen
- Vahingoittaa tai katkaista sähköjohtimia ja letkuja. (Gillespie 1999, 1)

3.3 Manuaalinen jäysteenpoisto

Manuaalisella jäysteenpoistolla tarkoitetaan menetelmää, jossa viimeistely suoritetaan käsin, joko liikuttamalla jäysteenpoistotyökalua kappaleen pinnalla tai liikuttamalla itse kappaletta työkalua vasten. Menetelmä työllistää paljon erilaisia työkaluja ja välineitä. Manuaalinen jäysteenpoisto on kaikista laajalti käytetyin menetelmä jäysteen poistamiseen ja menetelmää voi joutua suorittamaan ensisijaisen jäysteenpoistajan lisäksi myös koneistajat, tarkastajat, huoltotyöntekijät ja kokoonpanijat. (Gillespie 1999, 355)

Vaikka manuaalinen jäysteenpoisto tuottaa ruumiillista työtä ja epätasaista laatua, se on yleisin jäysteenpoiston menetelmistä, koska se on monipuolinen eikä vaadi suurta lattia-pinta-alaa tai pääoman sijoittamista. Riippuen käyttökohteesta, manuaalinen jäysteenpoisto voi olla edullisin ja tehokkain vaihtoehto kappaleen viimeistelyyn. Sopivimman

menetelmän valintaan vaikuttavat kuitenkin useat tekijät, esimerkiksi pelkästään kappa-
leiden tuotantomäärä ei välttämättä edellytä koneellista jäysteenpoistoa. Yleensä mene-
telmän valintaan vaikuttavat eniten jäysteen saavutettavuus ja paksuus, reuna- ja pinta-
vaatimukset, työvälineiden saatavuus sekä kustannus. Usein koneellinen jäysteenpoisto
yhdistettynä manuaaliseen työhön on taloudellisin vaihtoehto. (Gillespie 1999, 355)

Miksi valita manuaalinen jäysteenpoisto:

- Vaaditaan lyhyttä läpimenoaika
- Jäysteisiin ei yletytä muilla menetelmillä
- Kappaletta valmistetaan vain pieni määrä
- Samanaikainen kappaleen silmäily ja tarkastus
- Jäysteiden paksuus ja sijainnit vaihtelevat suuresti
- Kappaleen koko ei ole sopiva muihin menetelmiin
- Edullinen ja helposti muunneltavissa oleva menetelmä
- Halutaan välttyä muiden menetelmien sivuvaikutuksilta
- Kappalet ovat herkkiä tai vaaditaan poikkeava viimeistely
- Joustava ja monipuolinen työmenetelmä. (Gillespie 1999, 355)

Vaihteistopesien ja runkosylintereiden jäysteenpoistoon käytetään useita työkaluja, joista
yleisimmät ovat erilaiset hiomakoneet ja paineilmakäyttöiset suorahiomakoneet sekä eri-
laiset viilaustyökalut. Paineilmakäyttöisissä suorahiomakoneissa käytetään joko metalli-
sia viilateriä (kuva 5) tai hioma-ainetta sisältäviä kumiteriä. Työpisteissä on käytössä
kääntyvät työalustat ja säädettävät pöydät, jotka helpottavat työn tekemistä. Runkokap-
paleet nostetaan pöydälle työpistenosturilla magneettia, kappaleelle suunniteltua nos-
toapuvälinettä tai liinaa hyödyntäen. Kuitenkin työkappaleen käännöt varsinaisen jäys-
teenpoiston aikana tehdään lihasvoimin, mikä lisää ihmisen räsytystä erityisesti painavien
osien kohdalla.



KUVA 5. Manuaalisessa jäysteenpoistossa käytettäviä viilateriä (Mascoutech 2018, muokattu)

Runkokappaleiden jäysteenpoisto on hyvin tarkkaa, sillä pienikin naarmu kriittisessä kohdassa voi aiheuttaa esimerkiksi tiivisteiden vuodon. Ulkomuodot ovat suhteellisen helpoja, mutta hankaluus piilee työkappaleiden sisällä. Hydrauliset runkokappaleet ovat sisältä erittäin muodokkaita ja hankalia. Kappaleilla on sisäisiä reikiä ja taskuja, joihin ei välttämättä näe, joten jäysteenpoisto on välillä tehtävä käsituntumalla. Sisäisissä muodoissa on myös ongelmana jäysteiden saavutettavuus, varsinkin isoimmista kappaleista. Jäysteenpoistotyökaluihin on tätä varten teetetty erikoispitkiä varsia, jotka helpottavat työtä. Pitkät varret kuitenkin usein verottavat tarkkuudesta. Jäysteenpoiston yhteydessä myös runkokappaleen reunat pyöristetään kevyesti. Lopuksi kappale tarkistetaan silmämääräisesti sekä tunnustellaan sormin onko jäysteet poistettu. Jäysteenpoiston jälkeen kappale suuntaa pesun kautta kokoonpanoon.

Runkokappaleiden manuaalisen jäysteenpoiston huonoja puolia ovat:

- Menetelmän melu- ja pölyhaitat
- Työasennot ja kappaleen käännöt
- Raskas ja epämiellyttävä työvaihe
- Sisäisiin muotoihin ei välttämättä yletä
- Vaihteleva laatu voi aiheuttaa susituksia
- Voi aiheuttaa haavoja jäysteenpoistajalle
- Työn monotonisuus heikentää motivaatiota
- Hidas työvaihe, mikä voi rajoittaa tuotantoa
- Työnjälki on silmämääräisesti tarkistettava lopuksi.

4 MENETELMÄTUTKIMUS

4.1 Kehittämisen tarpeellisuus

Menetelmätutkimus on työvaiheeseen kohdistuvaa tutkimusta ja suunnittelua, jonka tarkoituksena on kehittää työtavat mahdollisimman yksinkertaisiksi ja taloudellisiksi. Menetelmätutkimus on systemaattista materiaalien, tarvikkeiden, laitteiden sekä työn yhteistoiminnan kehittämistä tutkimuksen perusteella niin, että saavutetaan parempi tuottavuus, mahdollisimman alhaiset tuotantokustannukset sekä parantunut työympäristö ja työturvallisuus. Onnistuneen kehitystyön tuloksena työtehtävät koetaan miellyttävänä ja kannustavina sekä motivaatio lisääntyy. Samalla läpäisyajat lyhenevät, tuottavuus paranee ja ohjattavuus helpottuu. (Hillman 2018)

Yleisimpiä syitä miksi työmenetelmää on kehitettävä:

- Tuotantomäärä ei ole riittävä
- Työ tai kappale ei täytä laatuvaatimuksia
- Materiaali- tai työkustannukset ovat korkeat
- Työ on raskasta, vaikeaa tai epämiellyttävää tehdä
- Tilanpuute tai vaikea ohjattavuus. (Hillman 2018, 124)

Jatkuva valmistajien välinen kilpailu on aikaansaanut jäysteenpoiston sekä muiden valmistamiseen liittyvien osa-alueiden perusteellisen tutkimisen sekä kehittämisen. Kilpailukyvyyn ylläpitäminen vaatii muun muassa keskittymistä laatuun ja kustannuksiin. Jäysteenpoiston kustannus voi olla vain muutamia prosentteja kappaleen kustannuksista, mutta on myös mahdollista, että sopimaton jäysteenpoistomenetelmä voi jopa kumota tuotteen taloudellisen hyödyn. Maassa, jossa on tarjolla edullista ruumiillista työtä, valmistaja pystyy tarjoamaan hyvää käsintehtyä viimeistelyä hintaan, jota on vaikea päihittää teollistuneiden maiden koneilla. Tämä haaste saa jokaisen valmistajan etsimään kaikista kustannustehokkaimpia menetelmiä. Valmistaja, joka keskittyy jäysteenpoiston kehittämiseen, pystyy ylläpitämään kilpailukykyä. (Gillespie 1999, 20)

4.2 Menetelmän valintaan vaikuttavat tekijät

Jäysteenpoistomenetelmän valintaan vaikuttavat useat osatekijät, joiden tunnistamiseksi opinnäytetyö aloitettiin perehtymällä tarkasti runkokappaleisiin ja työympäristöön. Työmenetelmän valintaan vaikuttavat eniten vaihteistopesien ja runkosylintereiden sisäiset jäysteet sekä mallien suuri vaihtelevuus. Menetelmätutkimuksessa on tärkeää huomioida materiaalit sekä tutkia, mitä vaikutuksia eri menetelmillä voi olla työkappaleelle ja sen rakenteelle. Menetelmällä voi myös olla rajoituksia esimerkiksi materiaalin ominaisuuksien suhteen. Vaihteistopesät ja runkosylinterit ovat materiaaleiltaan onneksi hyvin yleisiä rauta- ja teräsvaluja.

Menetelmätutkimuksessa tulee huomioida, mitä vaatimuksia valittu työmenetelmä asettaa työympäristölle. On otettava huomioon, mitä kaikkea menetelmä vaatii ympärilleen toimiakseen halutulla tavalla. Menetelmä voi olla hyvinkin vaativa muun muassa lattiapinta-alan, lisälaitteiden sekä energialähteen suhteen. Porakonetehtaan käyttökohteessa, automatisoitu jäysteenpoistomenetelmä tulee osaksi FMS-linjaa. Ympäristö- ja työturvallisuus on aina huomioitava esimerkiksi kemikaalien ja kaasujen sekä robottien kanssa toimiessa. Työturvallisuuteen kuuluu myös työntekijöiden kattava perehdytys uudelle menetelmälle.

Lopulliseen valintaan vaikuttaa huomattavasti menetelmän kustannusarvio ja taloudelliset tekijät, vaikka kehittämisen periaatteena on, että parannus, joka aikaansaadaan uudella menetelmällä, maksaa muutoksen. Automatisointihankkeessa on tehtävä tarkat kustannuslaskelmat, joissa on huomioitu automatisoitujen menetelmien erityispiirteet, joita ovat esimerkiksi jatkuva ja miehittämätön tuotanto sekä energiankulutus. Merkittävimmät jäysteenpoistomenetelmän valintaan vaikuttavat osatekijät käydään tarkemmin läpi seuraavissa luvuissa.

4.2.1 Runkokappaleiden koot ja muodot

Runkokappaleet ovat isokokoisia ja sisältävät useita muotoja, mikä asettaa omat rajoitensa menetelmätutkimukselle. Automatisoidulla jäysteenpoistolla halutaan nopeuttaa työvaihetta ja tuotantoa, joten isojen ja muodokkaiden runkokappaleiden jäysteenpoisto

ei saa viedä liikaa aikaa. Runkokappaleiden sisälle ei saa jäädä mitään ylimääräistä materiaa, mikä täytyy ottaa huomioon menetelmissä, jotka käyttävät esimerkiksi hiomara-keita tai kuulia.

Vaihteistopesät (liite 1) ja runkosylinterit (liite 2) ovat muodoiltaan hyvin erilaisia toisiinsa nähden, mikä vaikuttaa suuresti menetelmän valintaan, varsinkin kun kappaleille halutaan suorittaa jäysteenpoisto käyttäen samaa menetelmää. Tämä vaihtelu asettaa haasteita menetelmätutkimukselle, koska työkappaleita on yhteensä yli kahtakymmentä erilaista, joiden ominaispaino voi vaihdella kahdestakymmenestä yli sataan kilogrammaan ja pituus 200–700 millimetrin välillä. Kokojen suuri vaihtelu ei vielä tutkimusvaiheessa rajaa menetelmän valintaa, koska uusi jäysteenpoistomenetelmä voi silti olla kannattava, vaikka sen avulla pystyttäisiinkin puhdistamaan esimerkiksi vain 80 prosenttia osista.

4.2.2 Jäysteen sijainti ja saavutettavuus

Jäysteen sijainti ja sen saavutettavuus vaikuttavat erittäin paljon jäysteenpoistomenetelmän valintaan. Ulkoiset jäysteet ovat yleensä helposti puhdistettavissa esimerkiksi hio- makoneella ja paineilmakäyttöisillä työkaluilla. Tällaisia työkappaleita on myös hel- pompi soveltaa esimerkiksi robotilla puhdistettavaksi. Vaihteistopesien ja runkosylinte- reiden mallit koostuvat useista muodoista ja kriittisimmät jäysteiden sijainnit sijaitsevat sisämuodoissa. Jäysteiden saavutettavuus on välillä niin hankala, että jäysteenpoisto on tehtävä jatkovarsilla tai jopa sormituntumalla ilman näköyhteyttä.

Parhaimman tuloksen saavuttamiseksi on myös huomioitava jäysteen tiheys, jotta uusi menetelmä on riittävän tehokas jäysteen poistamiseen. Koska runkokappaleissa on pää- asiassa enemmän sisäisiä kuin ulkoisia jäysteitä, menetelmät, jotka eivät tarjoa sisäistä jäysteenpoistoa rajataan ulos. Myös menetelmät, jotka eivät pääse tarpeeksi syvälle run- kokappaleen sisälle karsitaan pois menetelmätutkimuksesta.

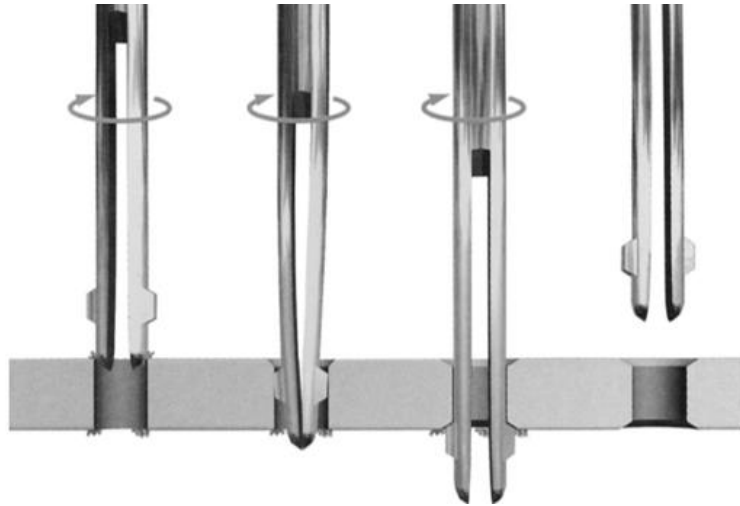
4.3 Soveltuvimmat menetelmät

Menetelmätutkimuksessa on tärkeää tutkia ja vertailla menetelmiä avoimin mielin, jotta kaikki vaihtoehdot tulee perusteellisesti tutkittua. Menetelmiä vertaillaessa esiin nousi suuria eroja esimerkiksi hinnassa sekä prosessin tehokkuudessa, tarkkuudessa ja nopeudessa. Kaikista tutkituista menetelmistä käyttökohteelle soveltuvimmat esiteltiin toimeksiantajalle havainnollistavien videoiden ja materiaalien avulla projektipalaverissa. Koska runkokappaleiden jäysteet sijaitsevat pääasiassa sisäpinnoilla, esiteltävissä menetelmissä oli myös vain sisäiselle jäysteenpoistolle tarkoitettuja menetelmiä.

Runkokappaleille soveltuvimmat menetelmät:

- Hiova virtaus (Abrasive Flow Deburring)
- Terminen räjäytys (Thermal Energy Method)
- Jäysteenpoisto robotin avulla (Robotic Deburring)
- Jäysteenpoisto työstökoneella jäysteenpoistotyökaluilla
- Sähkökemiallinen jäysteenpoisto (Electro-Chemical Deburring)
- Jäysteenpoisto paineistetulla vesisuihkulla (High Pressure Waterjet Deburring).

Soveltuvimmista menetelmistä valitsimme opinnäytetyön ohjaajien kanssa kolme parasta vaihtoehtoa, joihin tuli syventyä tarkemmin. Tutkituista menetelmistä käyttökohteelle soveltuivat parhaiten terminen jäysteenpoistomenetelmä ja jäysteenpoisto robotilla. Myös jäysteenpoistotyökalujen (kuva 6) käytön lisäämistä työstökoneella pidettiin hyvänä vaihtoehtona, koska se voidaan yhdistää esimerkiksi robotisoidun jäysteenpoiston kanssa. Jäysteenpoisto työstökoneella kuitenkin nostaa koneistusaikaa, mikä vaikuttaa kappalevirtaan. Riippuen tuotannon kapasiteetista, jäysteenpoistotyökaluja voidaan käyttää työstökoneella esimerkiksi vaikeimpien muotoja varten, mikä nopeuttaisi jäysteenpoistoa. Robotisoitu jäysteenpoisto ja terminen menetelmä esitellään seuraavissa luvuissa.



KUVA 6. Esimerkki työstökoneella käytettävistä jäysteenpoistotyökaluista (Direct Industry 2018)

5 JÄYSTEENPOISTO ROBOTILLA

5.1 Robotisointi

Teollisuusrobotit (kuva 7) voivat tehdä jäysteenpoistoa käytännössä koko päivän ilman valvontaa, ja ne pystyvät työskentelemään pölyisessä ja meluisassa ympäristössä, joka olisi vaarallista tai ergonomisesti haastavaa ihmiselle. Roboteilla voidaan toistaa samat liikeradat tarkasti, ja ne pystyvät prosessoimaan työkappaleita nopeammin kuin ihmiset. Jäysteenpoiston sovelluksissa robotit ovat vähentäneet kustannuksia huomattavasti sekä parantaneet laatua useissa yrityksissä. (Gillespie 1999, 338)

Robotisoituja järjestelmiä käytetään yleensä työkappaleille, joiden tuotantomäärät ovat suuret. Prosessin ohjelmointi sekä suunnittelu yksittäiselle pienelle tuotantomäärälle ei yleensä ole taloudellisesti kannattavaa. Verrattuna perinteisempiin jäysteenpoistomenetelmiin kuten manuaaliseen menetelmään, robotisoidut järjestelmät vaativat huomattavasti enemmän suunnittelua optimaalisen tuloksen saavuttamiseksi. (Gillespie 1999, 338)

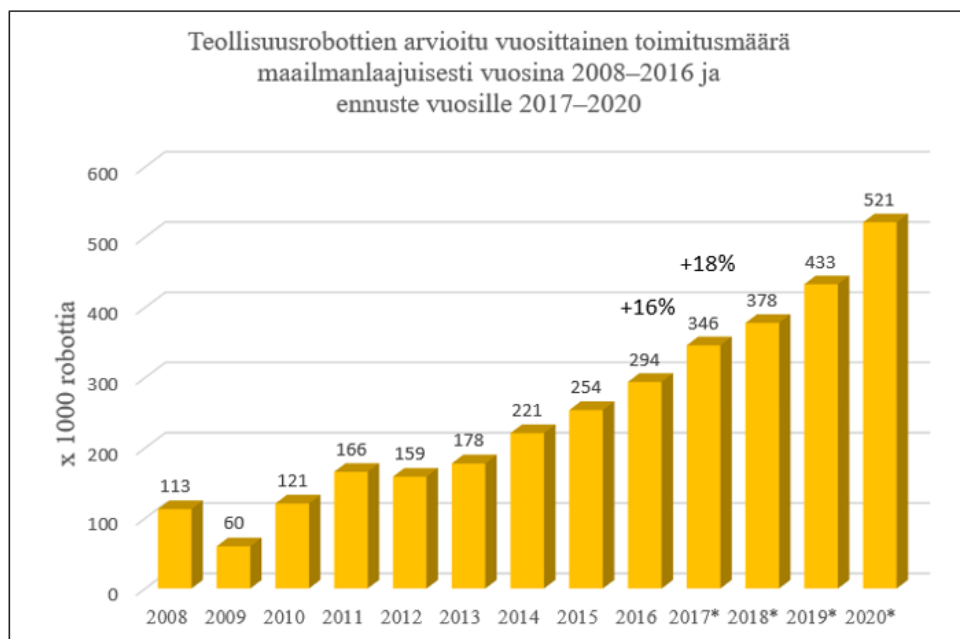


KUVA 7. Esimerkkejä teollisuuden tuotantotehtävissä käytettävistä teollisuusroboteista (RobotWorx 2018)

Suomalaisessa konepajateollisuudessa tehdyn kyselyn mukaan robotisointiin vaikuttavia syitä ovat:

- Laadun parantaminen
- Koneiden käyttösuhteen parantaminen
- Ammattitaitoisten työntekijöiden puute
- Imagon nostattaminen uuden teknologian avulla
- Mahdollisuus miehittämättömiin tuotantokausiin
- Tarve poistaa turvallisuutta vaarantavat työtehtävät
- Tuotannon tehostaminen ja kilpailukyvyyn lisääminen
- Asiakkaan vaatimusten myötäileminen alihankintayrityksessä
- Mahdollisuus käyttää vähemmän koulutettuja työntekijöitä tuotantotehtävissä
- Pelko kilpailijoiden mahdollisesti saavuttamasta tuotantoteknisestä etumatkasta
- Raskaiden työtehtävien ja kappaleensiirtojen rationalisointi. (Aaltonen 1992, 171)

TAULUKKO 1. Teollisuusrobottien arvioitu vuosittainen toimitusmäärä maailmanlaajuisesti (IFR 2018, muokattu)



Taulukossa 1 on havainnollistettu teollisuusrobottien arvioidut vuosittaiset toimitusmäärät vuosina 2008–2016 sekä ennusteet vuosille 2017–2020. Vaikka International Federation of Robotics -järjestön tilastoihin ei ole vielä päivitetty vuoden 2017 toimitusmääriä,

voidaan kuitenkin taulukon perusteella todeta automatisoinnin lisääntyvän kokoajan teollisuudessa. IFR:n ennustuksen mukaan teollisuusrobottien määrä kasvaa noin 1,7 miljoonalla vuoteen 2020 mennessä. (IFR 2018)

5.1.1 Käyttökohteet

Teollisuusrobotteja löytyy nykyään kaikilta teollisuuden osa-alueilta. Kuitenkin merkittävimmät osa-alueet ovat autoteollisuus sekä elektroniikka- ja metalliteollisuus. Teollisuusrobottien kymmenen suosituinta käyttökohdetta ovat kaarihitsaus, pistehitsaus, kappaleenkäsittely, koneenkäyttö, maalaaminen, pakkaaminen, kokoonpano, mekaaninen työstäminen, liimaaminen ja tarkastus. Mekaaniseen työstämiseen kuuluvat esimerkiksi leikkaaminen, hiominen, kiillottaminen sekä jäysteenpoisto. (Jabil 2014)

Teollisuusrobottia käytetään jäysteenpoistossa siten, että se liikuttaa joko työkalua tai itse työkappaletta työkalua vasten. Robotisoitu jäysteenpoisto voidaan toteuttaa joko mekaanisen työkalun tai korkeapainevesisuihkun avulla. Useimmissa jäysteenpoistosovelluksissa robotti on omistautunut vain yhdelle, yleensä isolle työkappaleelle, jonka muoto pysyy samana tai vaihtelee vain vähän. Materiaalinpoistolla robotiikassa tarkoitetaan esimerkiksi valukappaleiden purseiden tai koneistuksessa syntyvien jäysteiden poistoa, sekä pinnan kiillotusta. Jäysteenpoisto on yksi potentiaalisimmista alueista tuotannon tehostamiseksi, muun muassa sen takia, että jäysteenpoisto suoritetaan usein manuaalisesti. Jäysteenpoisto robotilla voi nostaa työn tehokkuutta jopa 70 prosenttia verrattuna manuaaliseen menetelmään. (Glaser 2008)

5.1.2 Menetelmän rajoitukset

Runkokappaleiden mallien vaihtelevuus sekä jäysteiden sijainti tekevät jäysteenpoistosta robotilla haasteellisen. Tällaisissa tilanteissa ihminen on usein joustavampi. Jäysteiden saavutettavuus on runkokappaleissa ongelma, joten tietyissä tilanteissa jouduttaisiin turvautumaan jatkovarsiin, mikä taas voi vaikuttaa robotin tarkkuuteen. Jäysteenpoiston laatu on riippuvainen terän tai suuttimen kohdistamisen tarkkuudesta. Robotisoidussa jäysteenpoistossa työkappaleen huolellinen alkuasennus on kriittinen tekijä, mikä vaikuttaa suoraan työn laatuun ja kappalevirtaan (Odham 2007).

Runkokappaleen sisäinen jäysteenpoisto voi aiheuttaa molemmissa menetelmissä jäysteiden jäämisen kappaleen sisälle, joten työkappaleet ovat puhdistettava paineilmalla prosessin jälkeen. Turvallisuuden kannalta katsottuna, varsinkin jäysteenpoisto vesisuihkulla aiheuttaa jäysteiden ja veden lentämistä ympäriinsä, joten robotin ympärille on suunniteltava solu (kuva 8). Jäysteenpoistosolu vaatii toimiakseen tarvittavat turva- ja lisälaitteet, joita ovat esimerkiksi valoverhot, turvamatot, robottiohjaimet ja työtasot sekä telit neet työkaluille ja tarttujille. Jäysteenpoisto vedellä vaatii myös vesijärjestelmän, joka sisältää muun muassa vesipumpun ja vedenpoiston. (Kukkonen 2018)



KUVA 8. Esimerkki robottisolusta (Blumenbecker 2018, muokattu)

Vesijäysteenpoiston kannattavuuteen vaikuttaa suuresti jäysteen paksuuden lisäksi jäysteiden sijainti. Koska vaihteistopesän ja runkosylintereiden jäysteet sijaitsevat pääasiassa kappaleen sisällä, on huomioitava vesisuihkun kohdistettavuuden mahdollisuudet. Jäysteen irtoamiseksi vesisuihku on kohdistettava erittäin tarkasti, joten joidenkin runkokappaleiden sisämuodoissa on käytettävä pitkäkartista suutinta. Vesijäysteenpoistossa haasteena ovat jäysteiden vaihteleva sijainti ja pieniin porauksiin ylettäminen sekä veden taipumus aiheuttaa ruostumista. (Kukkonen 2018)

Verrattuna manuaaliseen jäysteenpoistoon, vesijäysteenpoiston huonona puolena on myös se, että vesisuihku ei pysty vaikuttamaan kappaleen teräviin reunoihin. On myös huomioitava, että koska vesisuihkun voima painaa jäysteen itse kappaleeseen kiinni, ei voida varmuudella aina sanoa onko jäyste irronnut. Vesijäysteenpoiston tulosta pitäisi

tarkastella prosessin jälkeen laadun varmistamiseksi. Jäysteiden vaihteleva paksuus ja sijainti voivat aiheuttaa myös sen, että vesijäysteenpoiston jälkeen on turvauduttava vielä manuaaliseen jäysteenpoistoon. (Kukkonen 2018)

5.1.3 Menetelmän hyödyt

Robotteja valmistavat muun muassa KUKA, FANUC ja ABB. Näistä muun muassa FANUCilla on nimenomaan jäysteenpoistoon kehitettyjä robotteja. Myös KUKA ja ABB tarjoavat ratkaisuja jäysteenpoiston robotisointiin. On myös yrityksiä, kuten esimerkiksi Fastems, jotka tarjoavat yrityksille valmiita automatisoituja ratkaisuja sekä jäysteenpoistojärjestelmiä. Robotisoituun jäysteenpoistomenetelmään tuo joustavuutta sen uudelleenohjelmoitavuus. Verrattuna termiseen menetelmään työmenetelmällä voidaan suorittaa jäysteenpoisto myös muihin porakoneosiin tarvittaessa. Termisen menetelmän korkea lämpötila rajaa pois herkimvät ja ohuita muotoja sisältävät kappaleet. Robotisoitu jäysteenpoisto ei myöskään aseta yhtä vaativia rajoituksia kappaleille kuin terminen menetelmä.

Laitevalmistajat tarjoavat valmiita ohjelmia työkappaleille sekä koulutusta ohjelmien tekemiseen. Taloudellisin vaihtoehto on tilata valmiit ohjelmat, esimerkiksi pienimmälle ja isoimmalle runkokappaleelle, joita jäljittelemällä pystytään tekemään loput ohjelmat itse. Esimerkiksi RobotStudiolla, robotit voidaan ohjelmoida ja simuloida toimistossa tietokoneella tuotantoa pysäyttämättä. Ohjelmointiohjelmiston avulla robotin käyttökohdettakin voidaan tarvittaessa muuttaa. (Kukkonen 2018)

Robotisoidun jäysteenpoiston hyötyjä:

- Vähentää pullonkauloja tuotannossa
- Parempi työkalun käyttö vähentää sen kulumista
- Nostaa yrityksen imagoa sekä parantaa kilpailukykyä
- Robotti uudelleenohjelmoitavissa myös uusille työkappaleille
- Vähentää manuaalisesta jäysteenpoistosta aiheutuvia terveyshaittoja
- Nostaa työn tehokkuutta, parantaen näin läpimenoaikaa ja tuottavuutta
- Mahdollistaa suuremman tuotantomäärän ja jatkuvan tuotannon ilman taukoja
- Parempi laaduntuottokyky ja tasalaatuisuus vähentävät susituksia. (Bogue 2009)

5.2 Mekaaninen jäysteenpoisto

Jäysteenpoistoon robotilta vaaditaan monipuoliset liikemahdollisuudet, jotta runkokappaleen vaikeatkin muodot voidaan viimeistellä tarkasti. Mekaanisella jäysteenpoistolla tarkoitetaan menetelmää, jossa robotti liikuttaa joko jäysteenpoistotyökalua kappaleen pinnalla tai kuten, kuvassa 9, liikuttamalla itse kappaletta työkalua vasten. Tarkoituksena on matkia ihmisen käsivarsi- ja ranneliikkeitä. Työkaluina voidaan käyttää esimerkiksi jyrsintätyökaluja, hiomalaikkoja, harjoja ja pyöriviä viilateriä. (Aaltonen 1992, 178)



KUVA 9. Esimerkki jäysteenpoistosolusta, jossa on käytössä erilaisia pyöriviä viilateriä sekä pöytähiomakone (Methods Machine 2018, muokattu)

Jäysteenpoistosolun liittäminen porakonetehtaan FMS-järjestelmän hyllystöhissiin helpottaisi materiaalivirran kulkua ja sen varastointia. Yhteistoiminnalla saavutetaan korkea automaation aste ja maksimoidaan tuotantokyky sekä itse työntekijälle jäisi vain prosessin valvominen. Hyllystöhissiin integroitua robottisolua voidaan ohjata ja tarkkailla etänä, mikä mahdollistaa runkokappaleiden jäysteenpoiston myös yöllä (Fastems 2018).

Kuvassa 10 on esimerkki mekaanisessa jäysteenpoistossa käytettävästä työkalusta, jonka kärkeen on liitetty pyörivä viilaterä. Joustavan varren ansiosta työkalua voidaan käyttää kaikista suunnista sekä suorittaa jäysteenpoisto pitkin ympyröitä ja kulmia vaihtamatta työkalun asentoa. Terän kohdistamisvoima määritetään robotin ohjelmassa ja ylläpidetään voima-anturin avulla. Jäysteenpoistotyökalu voidaan kiinnittää joko robotin käsivar-

teen tai kiinteästi työkalualustalle. Robotisoidussa jäysteenpoistosovelluksessa on parhaan tuloksen saavuttamiseksi yleensä käytössä useampia jäysteenpoistotyökaluja, joita robotti vaihtelee prosessin aikana. Työkalujen kuntoa voidaan tarkkailla silmämääräisesti tai konenäöllä ohjelman yhteydessä. (Amtru Business AG 2018)



KUVA 10. Flexicut 1020 jäysteenpoistotyökalu mekaaniseen robottisovellukseen (Amtru Business AG 2018)

5.3 Jäysteenpoisto vedellä

Korkeapainevesisuihkulla (HPWD) tehtävä jäysteenpoisto on yksi uusimmista jäysteenpoistomenetelmistä. Menetelmä on toteutettavissa ohjelmoitavalla teollisuusrobotilla, joka kontrolloi vesipumppua, veden painetta ja suuttimen liikettä. Vesijäysteenpoisto on saanut suurta suosiota ympäristö- ja kappaleystävällisen teknologiansa ansiosta. Jäysteenpoisto perustuu vesisuihkun aiheuttamaan törmäysvoimaan, joka kohdistetaan pienen suuttimen läpi jäysteeseen. Jäysteeseen kohdistuva korkeapainevesisuihku on yleensä suuruudeltaan 35–70 MPa. Kovemmille materiaaleilla vesisuihkun voimakkuus voi olla jopa yli 200 MPa. Törmäysvoiman suuruus määräytyy veden virtauksen, paineen ja suuttimen halkaisijan mukaan, esimerkiksi 500 baarin paine ohjattuna 0,9 millimetrin suuttimen läpi tuottaa 4,7 kilogramman voiman. (Bertsche 2009)

Menetelmä soveltuu parhaiten pehmeille metalleille kuten valuraudalle ja alumiinille. Jäysteenpoiston tehokkuuteen vaikuttaa tuotettu vesimäärä ja paine sekä jäysteen paksuus. Tuotettu vesimäärä luo tarvittavan voiman jäysteen katkaisemiseen ja tuotettu paine antaa vesimäärälle riittävän kiihtyvyyden. Työkappaleen pienet jäysteet irtoavat helposti, mutta paksut jäysteet voivat vaatia enemmän voimaa. (Knapp 2007)



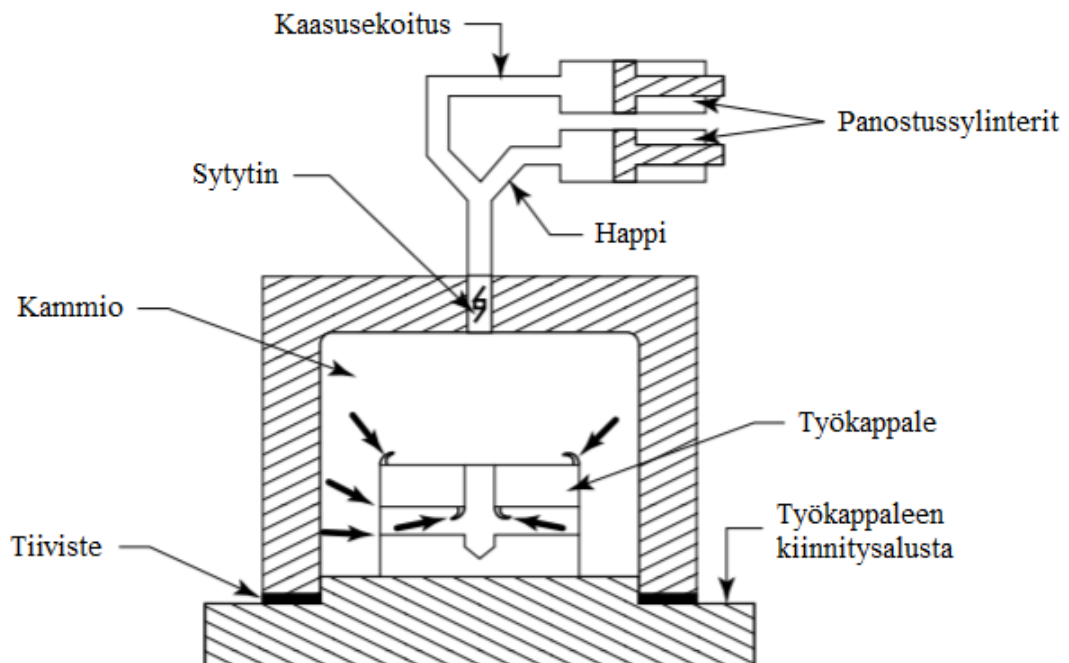
KUVA 11. Esimerkki vesijäysteenpoiston solusta, jossa suutin on asennettu kiinteästi. Kuvassa on käytössä 245 MPa:n vesisuihku (Sugino 2018, muokattu)

Kuten mekaanisessa menetelmässä, vesijäysteenpoisto saadaan aikaiseksi joko liikuttamalla suutinta kappaleen pinnalla tai itse kappaletta vesisuihkua vasten (kuva 11). Yleensä työkappaleen liikuttaminen vesisuihkua vasten on parempi vaihtoehto, koska suutin on kiinteästi asennettu ja laitteisto vaatii näin vähemmän huoltamista. Verrattuna liikkuvaan suuttimeen, kiinteästi asennettu suutin ei vaadi joustavia letkuja, joten korkeapaineisen veden kuljettamiseen voidaan käyttää pitkäikäisempiä putkia. Riippumatta kumpi robotisoiduista menetelmistä on käytössä, jäysteenpoistosoluun voidaan yhdistää varsinaisen jäysteenpoiston lisäksi myös työkappaleen pesu ja kuivaus. (Advanced Manufacturing 2018)

6 TERMINEN JÄYSTEENPOISTO

6.1 Prosessin toimintaperiaate

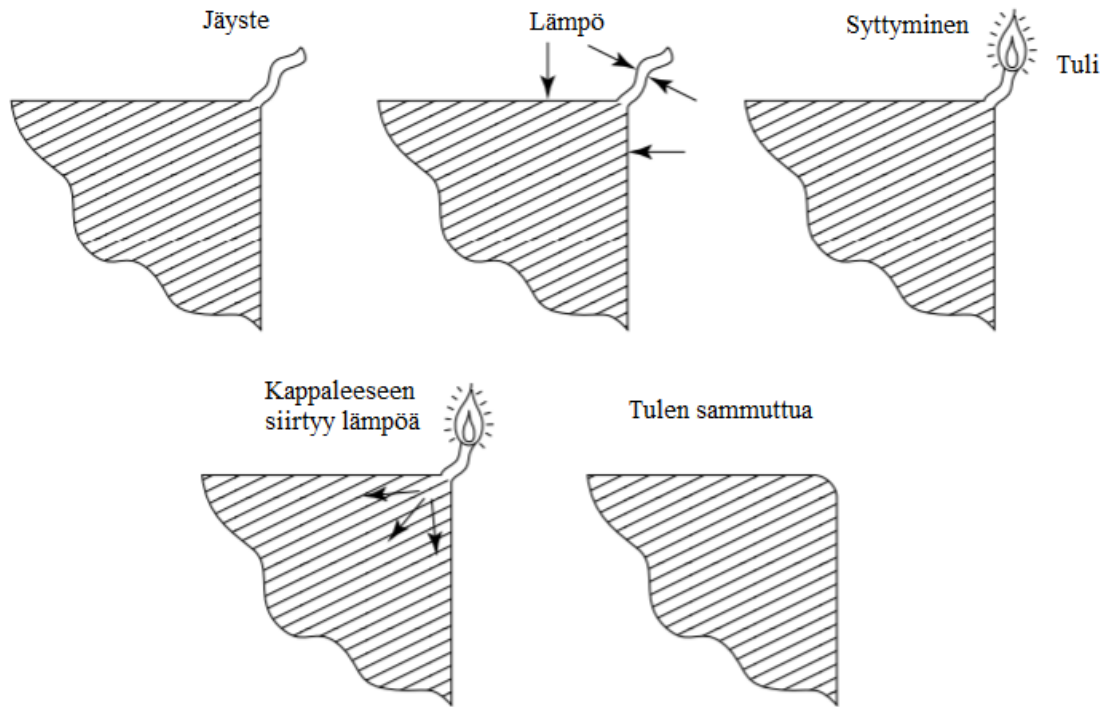
Terminen jäysteenpoistomenetelmä (TEM) on ollut käytössä jo 1970-luvun alusta lähtien. Menetelmä poistaa jäysteet jopa vaikeista paikoista jättäen koneistetut piirteet koskemattomiksi. Terminen jäysteenpoisto käyttää korkeaa lämpöä höyrystääkseen jäysteet ja epäpuhtaudet kappaleesta. Terminen räjäytys saadaan aikaiseksi sytyttämällä hapetta ja tulenarkaa kaasua sisältävä sekoitus. Riittävän energiamäärän takaamiseksi kaasusekoitus paineistetaan ennen kuin se vapautetaan tiiviiseen ja paineistettuun kammioon (kuva 12). Mitä enemmän kaasusekoitusta paineistetaan, sitä enemmän räjähdyksellä on vaikutusta. Kaasusekoitus jakautuu tasaisesti kammion sisällä täyttäen räjäytettävän kappaleen reiät ja syvennykset. (Gillespie 1999, 323)



KUVA 12. Laitetta havainnollistava piirros, jossa jäysteet ovat merkitty paksuilla nuolilla (Gillespie 1999, 323, muokattu)

Räjähdys kestää vain 2–3 millisekuntia nostaen lämpötilan hetkellisesti 2,499–3,499 celsiusasteeseen. Räjähdysen jälkeen sekä kappaleen sisäiset että ulkoiset jäysteet syttyvät tuleen ja palavat ylimääräisessä hapessa, lopulta höyrystyen pois kappaleesta (kuva 13). Räjähdys höyrystää pois vain jäysteet eikä itse kappaletta, koska lämpö saavuttaa jäysteen

nopeammin kuin räjäytettävän kappaleen. Jäysteeseen kohdistuva lämpö ei kerkeä kunnolla siirtymään itse kappaleeseen jäysteen alhaisen syttymislämpötilan ansiosta. Periaate on samankaltainen kuin kynttilässä, jossa sydänlanka palaa sytyttämättä ympärillä olevaa vahaa. (Gillespie 1999, 323)



KUVA 13. Termisen räjäytysprosessin vaiheet (Gillespie 1999, 325, muokattu)

Tehokas termisen räjäytys saadaan aikaseksi noudattamalla kolmea sääntöä:

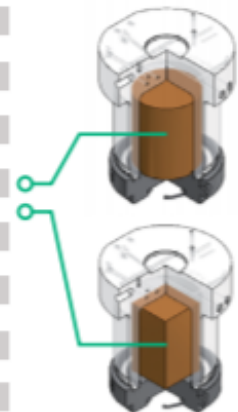
1. Jäysteiden tulee olla kosketuksessa kaasun kanssa. Öljy ja vesi kappaleen pinnalla eristävät kaasun
2. Työkappaleen ohuet muodot tulee olla vähintään 10–15 kertaiset jäysteen tiheyteen nähden tai suojattuna lämpöä absorboivalla eristeellä
3. Halutessa kappale voidaan kiinnittää. Räjähdyksessä lennättää irtonaiset osat ympäri kammiota, mikä aiheuttaa kolhuja ja naarmuja. (Gillespie 1999, 324)

6.1.1 Menetelmän rajoitukset

Markkinoilla on tällä hetkellä jäysteenpoistouuneja, joissa on standardina sylinterin muotoinen kammio. Kammioiden mitat vaihtelevat halkaisijaltaan 250–450 millimetrin ja korkeudeltaan 300–600 millimetrin välillä. Vaihteistopesän ja runkosylinterin näkökulmasta katsottuna, menetelmän huonona puolena ovat pienet kammiot. Tarkastellessa standardimittaisia kammioita voidaan todeta, että useimmat runkokappaleiden malleista eivät mahtuisi kammioihin sisälle. Koska kammio on sylinterinmuotoinen, on huomiotava suorakulmaisen särmiön muotoisen kappaleen mahtuvuus (kuva 14). Ruotsalaisen laitetoimittajan mukaan laitevalmistajalta on mahdollista tilata jäysteenpoistouuni, jonka kammiot ovat tehty mittatilaustyönä, mutta se nostattaa jo valmiiksi kalliin menetelmän hintaa huomattavasti. (Fedorov 2018)

ITEM400/600

Mitat	
Pituus	3,800 mm
Leveys	2,500 mm
Korkeus	2,850 mm
Paino	17,000 kg
Työkappaleen maksimit	
Sylinterinmuotoinen	Ø 395 x H 580 mm
Suorakulmainen särmiö	275 x 275 x 580 mm
Virtalähde	
Sähköntarve	approx. 30 kVA
Verkojännite	400 V/N/PE ~ 50 Hz
Kammion mitat	
Halkaisija	400 mm
Korkeus	600 mm
Kaasun maksimipaine	16 bar



KUVA 14. ITEM400/600 jäysteenpoistouunin tekniset tiedot (ATL 2018, muokattu)

Useimpien työkappaleiden lämpötila harvoin nousee yli 150 celsiusasteen prosessin aikana, eikä näin vaikuta kappaleeseen mitoituksellisesti. Alumiiniset kappaleet lämpenevät prosessin aikana 60–90 asteeseen ja teräksiset 150–180 asteeseen. Menetelmä voi kuitenkin vaikuttaa ohuisiin työkappaleisiin. Työkappaleeseen muodostuvat reunojen pyöristykset määräytyvät materiaalin ja jäysteen mukaan – mitä isompi jäyste sitä isompi pyöristys. Jäysteen ollessa pientä pyöristystä ei muodostu juuri ollenkaan. (Gillespie 1999, 326)

Terminen jäysteenpoisto ei ole täysin sopiva kaikille materiaaleille. Esimerkiksi teräsoksinen työkappale voidaan tehokkaasti prosessoida vain jos sen kovuus on alle 40 HRC. Menetelmän äärimmäisen korkea lämpötila voi vaikuttaa joihinkin työkappaleisiin metallurgisesti tai molekulaarisesti. Räjätys vaikuttaa kappaleen pintaan ja varsinkin nurkkiin, joista jäyste poistetaan. Nurkat voivat tapauskohtaisesti kuumentua suhteellisen korkeaksi, mikä puolestaan voi vaikuttaa kappaleen mikrorakenteeseen. Vaikutusalue on kuitenkin hyvin lähellä kappaleen pintaa. Riippuen materiaalista ja mikrorakenteesta räjäytys voi aiheuttaa esimerkiksi faasimuutoksia tai jopa halkeiluja. Työkappaleet jotka sisältävät vähintään 0,1 prosenttia titaania ovat alttiita haurastumiselle. Suuren lämpötilan ja palamisreaktion tuloksena prosessissa muodostuva hiili vaikuttaa haitallisesti martensiittiin ruostumattomiin teräsoksiin johtaen materiaalin korroosionkestävyyden kaatumiseen. (Gillespie 1999, 326)

Termiselle jäysteenpoistomenetelmälle soveltuvat materiaalit:

- Teräs
- Alumiini
- Valurauta
- Sinkkipainevalu
- Messinki/pronssi
- Ruostumaton teräs
- Muovi. (ATL 2018)

6.1.2 Menetelmän hyödyt

Termisen jäysteenpoistomenetelmän laitteita tarjoavat muun muassa yhdysvaltalainen Extrude Hone ja saksalainen Anlagentechnik Luhden GmbH (ATL). Menetelmää käyttävät Suomessa muun muassa Parker Tampereella, ST-Koneistus Ylöjärvellä sekä Konepaja Seppo Suomi Hartolassa. Verrattuna robotisoituun menetelmään termisen räjäytyksen merkittävin etu on siinä, että prosessi poistaa kerralla kaikki ei-toivotut materiaalit kappaleesta sisältä sekä ulkoa.

Termisen jäysteenpoiston hyötyjä:

- Ei ole riskiä kriittisten alueiden naarmuttamisesta
- Erittäin pienet kustannukset kaasun ja sähkön käytössä
- Tehokas ja nopea prosessi sekä helppokäyttöinen laitteisto
- Tarkka ja tasainen laatu vähentää reklamaatioita ja susituksia
- Uusia jäysteitä ei muodostu niin kuin manuaalisessa menetelmässä
- Mahdollistaa suuren tuotantomäärän ja jatkuvan tuotannon ilman taukoja
- Ei vaadi silmämääräistä tarkastusta vaikka jäysteiden sijainnit vaihtelevat
- Perusteellinen jäysteenpoisto poistaa jäysteet riippumatta niiden sijainnista
- Verrattuna esimerkiksi manuaaliseen tai vesisuihkumenetelmään prosessi ei vaadi kosketusta, eikä näin paina tai taita jäysteitä kappaleen pintaan. (Extrude Hone 2018)

6.2 Käyttökohteet

Termistä räjäytystä käytetään laajalti monille erilaisille työkappaleille. Näillä työkappaleilla on yleensä yhteistä sisäpuolella olevat risteävät reiät ja muodot. Menetelmää käytetään myös silloin kun muut menetelmät eivät sovi työkappaleelle tai pyritään suuriin tuotantomääriin. Melkein kaikkien metallien jäysteenpoisto voidaan suorittaa termisellä räjäytyksellä, kuitenkin jotkut metallit ovat muita haasteellisempia prosessoida. Esimerkiksi ruostumaton teräs vaikeuttaa prosessin onnistumista, koska se kestää hapettumista korkeissa lämpötiloissa. Metallit, joilla on alhainen lämmönjohtokyky, kuten teräkset ja sinkin seosmetallit, tuottavat parhaimmat tulokset. (Gillespie 1999, 325)

Tyypilliset sovelluskohteet ovat valukappaleet, pumppujen ja autojen osat, pneumaattiset ja hydrauliset osat sekä erilaisten poralaitteiden osat. Raudan ja teräksen valukappaleet ovat yleisimpiä käyttökohteita termiselle räjäytykselle. Menetelmä on erityisen sopiva ja tarjoaa merkittävimmän säästön hydraulisille ja pneumaattisille venttiilirungoille sekä valukappaleille, joissa on sisäisiä risteäviä porauksia sekä vaikeasti yletettäviä muotoja. (Gillespie 1999, 325)



KUVA 15. Extrude Hone T350 jäysteenpoistouuni (Extrude Hone 2018)

Terminen räjäytys on parhaimmillaan tuotannossa, jossa tuotetaan suuria määriä samanmuotoisia tai -kokoisia kappaleita, jolloin nopea menetelmä pääsee täyteen potentiaaliinsa. Työkappaleita voidaan räjäyttää useampia samassa kammiossa kappaleen koon sen salliessa. Kammioon voidaan valmistaa hyllyä tai koria muistuttava kiinnitin, joka mahdollistaa useamman työkappaleen samanaikaisen prosessoinnin ja estää pienempien kappaleiden liikkumisen. Vaikka menetelmä tarjoaa nopeaa jäysteenpoistoa jopa useammalle kappaleelle kerralla, on menetelmän huonona puolena laitteiston hinta. Vaadittava laitteisto (kuva 15) on huomattavasti kalliimpi kuin perinteisemmät jäysteenpoistomenetelmät. (Gillespie 1999, 326)

6.3 Prosessin jälkeinen pesu

Räjäytettävän kappaleen ollessa metallia höyrystymisen aikana jäysteistä muodostuu kyseisen metallin oksideja. Esimerkiksi alumiinisen työkappaleen jäysteistä tulee alumiinioksideja. Nämä oksidit jäävät kappaleen pinnalle pulverimaisena jäämänä, ja näin aiheuttavat kappaleen värjäytymisen prosessin aikana. Itse työkappaletta ei kuitenkaan ole oksidoitu. Jäämien värjäämät kappaleet voidaan pestä pois sopivalla laitteistolla. (Gillespie 1999, 323)

Terminen jäysteenpoisto on pohjoismaalaisittain harvinainen menetelmä, ja tämä näkyy myös laitteen hinnassa. Investointia suunniteltaessa tulee myös huomioida, että terminen menetelmä vaatii sen yhteyteen myös pesulinjaston. Räjähätyksessä muodostuvien oksidijäämien takia kappaleet joudutaan pesemään prosessin jälkeen huolellisesti. Pesu vaatii tehokkaan pesulinjan, jossa on pesu-, huuhtelu- ja kuivausvaiheet sekä tarvittavat lisälaitteet. Pesulinjaston hinta määräytyy karkeasti kappaleiden painon, koon sekä materiaalin mukaan. Hintaan vaikuttaa myös se, kuinka tiukasti jäämät ovat kiinni kappaleessa, koska se lisää pesuvaiheiden määrää. Hydraulisille runkokappaleille pesulinjaston hinnaksi tulisi arviolta 300 000–400 000 euroa. Iso jäysteenpoistouuni yhdessä noin kymmenen metrin pesulinjaston kanssa vaativat myös paljon lattiapinta-alaa. (Wiik 2018)



KUVA 16. FinnSonic Optima ultraäänipesulinjasto (FinnSonic 2018)

Kuvassa 16 on ultraäänipesulinjasto, jolla voidaan pestä alle 100 kilogramman kappaleet räjähtäyksen jälkeen. Aikaisemmin tekstissä mainitut kolme yritystä, jotka käyttävät Suomessa termistä jäysteenpoistomenetelmää, käyttävät FinnSonic Oy:n ultraäänipesulinjastoja räjähtettyjen kappaleiden puhdistamiseen. (Wiik 2018)

7 JATKOSUUNNITELMAT

7.1 Termisen menetelmän materiaalitekniset tutkimukset

Terminen jäysteenpoistomenetelmä on erittäin hyvä vaihtoehto hydraulisille runkokappaleille, koska se poistaa kerralla sekä sisäiset että ulkoiset jäysteet. Nopea ja tasaista laatua tuottava menetelmä on laajalti käytetty vastaavanlaisille monia muotoja sisältäville kappaleille. On kuitenkin otettava huomioon korkean lämpötilan mahdolliset haittavaikutukset runkokappaleisiin sekä menetelmän kustannus. Ennen lopullista menetelmän valintaa on hyvä suorittaa kattavampia materiaalitekniisiä jatkotutkimuksia. (Saarinen 2018)

Materiaalitekniistä tutkimusta varten on selvitettävä työkappaleen materiaali mikrorakennetta myöten. Työkappaleen valmistuksen työvaiheet kuten esimerkiksi koneistus ja lämpökäsittely on huomioitava, koska ne vaikuttavat materiaaliin. Jotta materiaalitekniistä puolta voidaan tarkemmin tutkia, on tiedettävä tarkalleen mihin räjäytysprosessi voi vaikuttaa sekä kehittää sen mukaan sopiva testaustapa. Mahdollinen vaikutusalue on todennäköisesti hyvin lähellä pintaa, joten on päästävä tutkimaan kappaleen pintaa maksimisaan mikrometrin syvyydeltä, todennäköisesti vielä lähempää pintaa. Mahdollisia tutkimusmenetelmiä ovat muun muassa pyyhkäisyelektronimikroskopia, röntgendiffraktio ja Barkhausen menetelmä. Jatkotutkimuksessa voidaan varmentaa myös vaikuttaako äärimmäisen korkea lämpötila runkokappaleisiin mitoituksellisesti. Menetelmän tehokkuus on myös todennettava esimerkiksi tutkimalla paksuimpia jäysteitä sekä ohuimpia muotoja ennen räjäytysprosessia ja verrata niitä tuloksiin. (Saarinen 2018)

Jo ennen varsinaisten kustannusarvioiden tekemistä voidaan varmaksi todeta, että termisen menetelmän hankintakustannukset tulevat olemaan huomattavasti korkeammat kuin robotisoidun menetelmän. Koska osa runkokappaleista on hyvinkin kookkaita, joudutaan jäysteenpoistouuni kustomoida yrityksen tarpeisiin, joka nostaa lisää jo ennestään korkeaa hankintahintaa. Termisen menetelmän ehdottomat hyödyt, eli menetelmän tehokkuus, tarkkuus ja jäysteiden loistava saavutettavuus, puoltavat kuitenkin menetelmän valintaa suurista hankintakustannuksistaan huolimatta. Kertainvestointina termisen menetelmä on kallis, mutta sen käyttökustannukset ovat pienet. Termisen järjestelmän valinnassa on kuitenkin huomioitava myös pesulinjastosta aiheutuvat hankinta- ja käyttökustannukset.

7.2 Robotisoidun menetelmän valinta

Robotisoitu jäysteenpoistomenetelmä on hyvä vaihtoehto hydraulisille runkokappaleille, koska se mahdollistaa jatkuvan tuotannon sekä on menetelmänä joustava ohjelmien uudelleenohjelmoitavuuden ansiosta. Ideaalitulanteessa robottisolu liitetään osaksi FMS-järjestelmän hyllystöhissiä, joka hoitaisi työkappaleiden vaihdot. Tällöin työntekijän tehtäväksi jäisi vain prosessin valvominen. Ennen varsinaista menetelmän valintaa on kuitenkin tutkittava, kumpi robotisoiduista menetelmistä soveltuu runkokappaleille paremmin.

Soveltuvuuden tutkimiseen voidaan käyttää apuna robottien valmistajia ja runkokappaleiden 3D-malleja. Koska runkokappaleiden mallit vaihtelevat suuresti ja niiden jäysteenpoisto halutaan suorittaa yhdellä robotilla, on valittava jäysteenpoistorobotti, mikä sopii sekä pienimmälle että isoimmalle runkokappaleelle. 3D-mallien perusteella laitevalmistaja pystyy määrittämään runkokappaleille soveltuvamman robotisoidun menetelmän sekä käytettävän robotin. 3D-malleja voidaan käyttää myös yhdessä CAMin kanssa, mikä helpottaa huomattavasti robotin ohjelmointia. Valitun menetelmän soveltuvuutta runkokappaleille tulisi myös kokeilla käytännössä ennen hankintaa. (Kukkonen 2018)

Verrattuna termiseen menetelmään robotisoitu menetelmä on hankintakustannuksiltaan halvempi. Myöskin robotisoidun jäysteenpoistomenetelmän käyttökustannukset ovat matalat, tosin robotti vaatii joko valmiin työstöohjelman esimerkiksi laitetoimittajalta tai ohjelmiston, jolla robotti voidaan itse ohjelmoida yrityksen tarpeisiin. Myöskin mahdollisesta ohjelmistolisenssin hankinnasta aiheutuu vuosittaisia kustannuksia. Muuten itse robotin käyttöön ei liity mitään huomattavia kustannuskohteita.

8 POHDINTA

Opinnäytetyön aiheena oli tutkia hydraulisten runkokappaleiden jäysteenpoistoon sopivia automatisoituja jäysteenpoistomenetelmiä. Tutkittuja menetelmiä oli aluksi useita, näistä parhaimmat erottuivat vertailemalla menetelmiä toisiinsa. Opinnäytetyö saavutti tavoitteensa ja onnistui kokonaisuudessaan erittäin hyvin. Onnistuneen menetelmätutkimuksen tuloksena käyttökohteelle soveltuvimmat jäysteenpoistomenetelmät esitellään työn avulla toimeksiantajalle.

Työssä vaikeinta oli itse tiedonkeruu, koska aiheeseen sopivaa kirjallisuutta on rajoitusti. Jäysteenpoiston automatisointi on trendinä suhteellisen uusi, joten siitä ei vielä löydy kattavaa tutkimushistoriaa. Automatisoitujen menetelmien valmistajia ei juuri ole Suomessa, joten lähdemateriaalina olen käyttänyt pääasiassa ulkomaalaisia laitevalmistajia. Jäysteenpoisto on olennainen työvaihe metallikappaleiden valmistuksessa ja sitä kehittämällä voidaan luoda kilpailuetua muihin yrityksiin nähden. Kehitystyön tuloksia ei yleensä kuitenkaan julkaista, koska ei haluta tehdä ilmaista tutkimusta muita varten.

Haasteensa työlle asetti se, että tutkimuksessa onnistuminen edellytti tutustumista itselle ennalta tuntemattomaan työympäristöön ja sen lisäksi tehtaan toimintatapojen perinpohjaista ymmärtämistä. Myös aikataulu vaikutti menetelmätutkimuksen laajuuteen esimerkiksi rajaamalla pois termisen jäysteenpoistomenetelmän kattavat jatkotutkimukset. Opinnäytetyön pohjalta Sandvik Mining and Construction Oy:n porakonetehtas voi kuitenkin ryhtyä menetelmien laajempiin jatkotutkimuksiin ja kustannuslaskelmiin manuaalisen jäysteenpoistomenetelmän korvaamiseksi.

LÄHTEET

Aaltonen, K. Airila, M. Andersin, H. Ekman, K. Kauppinen, V. Liukko, T. Pohjala, P. 1992. Tuotantoautomaatio. Toinen muuttumaton painos. OTATIETO OY.

Advanced Manufacturing. 2018. Why Use Waterjet Deburring. Luettu 13.4.2018. <http://advancedmanufacturing.org/>

Amtru Business AG. 2018. Robot Applications. Tools. Flexicut 1020. Luettu 9.4.2018. <http://www.amtru.com/deburring-fettling-deflashing-tool-flexicut1020>

ATL Anlagentechnik Luhden GmbH. 2011. Thermal Deburring. ATL Catalog. Luettu 20.2.2018. https://www.ykt.co.jp/english/products/atl/pdf/atl_catalog.pdf

Bertsche. 2009. High Pressure Water Deburring. High Pressure Water Jet Deburring Machines and Systems. Luettu 18.3.2018. <http://www.bertsche.com/high-pressure-water-deburring/>

Blumenbecker. 2018. Robot Welding Cell. Luettu 12.4.2018. <https://www.robotics.blumenbecker.com/>

Bogue, R. 2009. Finishing Robots: A Review of Technologies and Applications. Emerald Group Publishing Limited. <https://www.emeraldinsight.com/doi/full/10.1108/01439910910924611>

Deburring Centre Ltd. 2006. TEM. Luettu 1.3.2018. <http://www.deburr.co.uk/>
Direct Industry. 2018. Products. Cross-hole Deburring Tool. Luettu 10.4.2018. <http://www.directindustry.fr/prod/mack-werkzeuge-ag/product-98189-1342893.html>

Extrude Hone. 2018. Thermal Deburring (TEM). Luettu 20.2.2018. <https://extrudehone.com/extrude-hone-new-thermal-deburring-solution>

Fastems. 2018. Automated Value-Adding Operations. Luettu 13.4.2018. <https://www.fastems.com/robotic-automation-solutions/>

Fedorov, A. Päällikkö. Puhelinhaastattelu 5.3.2018. Haastattelija Lindfors, J. FinnSonic. 2018. Tuotteet. Ultraäänipesulinjat. Luettu 22.3.2018. <https://www.finnsonic.com/tuotteet/ultraaanipesulinjat/finnsonicoptima>

Gillespie, L. 1999. Deburring and Edge Finishing Handbook. Luettu 20.2.2018. <http://allaboutmetallurgy.com/wp/wp-content/uploads/2017/06/Deburring.pdf>

Glaser, A. 2008. Industrial Robotics: How to Implement the Right System for your Plant. Industrial Press Inc. New York.

Hillman, L. Mattila, M. 2018. Työväline- ja menetelmäsuunnittelu kurssi. Menetelmäsuunnittelu luentomoniste. Luettu 23.2.2018. Tampereen ammattikorkeakoulun sisäinen tietokanta.

International Federation of Robotics. 2017. Executive Summary World Robotics 2017 Industrial Robots. Luettu 8.4.2018. <https://ifr.org/P12>

- Jabil. 2014. Ten Popular Industrial Robot Applications. Luettu 8.4.2018. <https://www.jabil.com/insights/blog-main/ten-popular-industrial-robot-applications.html>
- Knapp, J. 2007. The Truth about Hydro Deburring in the Parts Cleaner Process. Luettu 18.3.2018. <http://ezinearticles.com/?The-Truth-about-Hydro-De-Burring-in-the-Parts-Cleaner-Process&id=885617>
- Kukkonen, P. Tuotepäällikkö. 2018. Haastattelu 21.3.2018. Haastattelija Lindfors, J. Konepaja-messut Tampere.
- Mascoutech. 2018. Products. Karnasch. Luettu 4.4.2018. <http://www.mascoutech.com/en/products/karnasch/>
- Methods Machine. 2018. Automation Solutions. Luettu 11.4.2018. <http://www.methodsmachine.com/engineering-automation/automation/>
- Odham, A. 2007. Robotic Deburring: Making Choices. ATI Industrial Automation. Luettu 1.4.2018. https://www.ati-ia.com/Library/documents/ATI_Robotic_Deburring_Making_Choices.pdf
- RobotWorx. 2018. What Are The Main Parts Of An Industrial Robot. Luettu 12.4.2018. <https://www.robots.com/faq/what-are-the-main-parts-of-an-industrial-robot>
- Saarinen, T. Materiaali-insinööri. 2018. Haastattelu 9.4.2018. Haastattelija Lindfors, J. Sandvik Group. 2017. Annual Report 2016. Luettu 17.1.2018. <https://www.home.sandvik/globalassets/annual-report-2016/home/sandvik-annual-report-2016.pdf>
- Sandvik Mining and Construction. 2018. Tampere site. Luettu 11.3.2018. Sandvik sisäinen tietokanta.
- Sandvik Mining and Rock Technology. 2018. Top Hayer Rock Drills for Underground and Surface Applications. HLX5 Rock Drill. Luettu 20.3.2018. <https://www.rocktechnology.sandvik/en/products/rock-drills/top-hammer-rock-drills-for-underground-and-surface/hlx5-rock-drill/>
- Sandvik Mining. 2018. Underground Drill Rigs and Bolters. DT821 Tunneling Jumbo. Luettu 13.2.2018. <https://www.rocktechnology.sandvik/en/products/underground-drill-rigs-and-bolters/tunneling-jumbos/dt821-tunneling-jumbo/>
- Sandvik. 2018a. Our Company. Luettu 10.3.2018. <https://www.home.sandvik/en/about-us/our-company/>
- Sandvik. 2018b. Products. Luettu 10.3.2018. <https://www.home.sandvik/en/products/>
- Sugino. 2018. JCC 603 Robo: CNC Robot Hand Type Deburring and Washing Machine. Luettu 14.4.2018. <http://www.sugino.com/site/washing-deburring-machine-e/jm-type-jcc-603-robo.html>
- Suojanen, S. 14.9.2017. Uutiset. Aamulehti. Luettu 15.1.2018. <https://www.aamulehti.fi/uutiset/sandvikilta-hyva-talouisuutinen-palkkasi-tampereelle-200-lisaa-niinkauan-kuin-minun-vahtivuoroni-tassa-yrityksessa-jatkuu-jatkamme-talla-tavalla-200393107/>

Tuominen, S. 2012. Porakoneen kytkinkappaleen konstruktion optimointi. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Wiik, E. Myyntipäällikkö. Haastattelu 21.3.2018. Haastattelija Lindfors, J. Konepajamessut Tampere.

LIITTEET

Liite 1. Vaihteistopesien 3D-mallit

Luottamuksellinen aineisto on poistettu julkisesta raportista.

Liite 2. Runkosylintereiden 3D-mallit

Luottamuksellinen aineisto on poistettu julkisesta raportista.