



Ossi Aho

# W31-MOOTTORILOHKON AUTOMATI- SOIDUN JÄYSTEENPOISTON MENE- TELMÄOHJEET

Tekniikka  
2020

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Ossi Aho
Opinnäytetyön nimi	W31-moottorilohkon automatisoidun jäysteenpoiston menetelmäohjeet
Vuosi	2020
Kieli	suomi
Sivumäärä	41 + 1 liite
Ohjaaja	Mika Billing

---

Wärtsilä Finland Oy aikoo automatisoida Wärtsilä 31 -moottorilohkon (W31) jäysteenpoistoprosessin Vaasan Smart Technology Hubissa. Menetelmäohjeet on kirjoitettu tätä prosessia varten.

Tutkimuksen teoreettisena viitekehyksenä käytetään jäysteenpoistoon liittyvää kirjallisuutta. Keskeisinä käsitteinä käytetään Wärtsilän jargonia (eli ammattisanastoa), jota jäysteenpoiston yhteydessä käytetään. Jargonin käyttö selkeyttää tekstin sisältöä huomattavasti. Tutkimustietoa on haettu työntekijöiden haastattelusta, moottorilohkon 3D-mallista, moottorilohkon valokuvista, käytännön jäysteenpoistosta ja kirjoittajan jäysteenpoistokokemuksista.

Suurin osa Wärtsilä 31 -moottorilohkosta voidaan jäystää automaattisesti. Opinnäytetyössä tuodaan esille jäysteenpoiston teoriaa, Wärtsilä 31 -moottorilohkon jäysteenpoiston työkalut, menetelmäohjeiden sisältö yleisellä tasolla, jäysteenpoistossa vastaan tulleita ongelmia ja pohdintaa tulevaisuuden jäysteenpoistosta.

## ABSTRACT

Author	Ossi Aho
Title	Procedure Instructions for Automated Deburring of W31 Engine Block
Year	2020
Language	Finnish
Pages	41 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Mika Billing

---

Wärtsilä Finland Oy is going to automate the deburring process of Wärtsilä 31 (W31) engine block in Smart Technology Hub located in Vaasa, Finland. Procedure instructions have been written for the deburring process.

Deburring-related literature is used as a theoretical framework of this thesis. Wärtsilä jargon is used as central definitions in this thesis as it simplifies the contents of the text. Interviews with workers, 3D model of the engine block, photographs of the engine block, practical deburring and the writer's deburring experiences are used as research information.

Most of Wärtsilä 31 engine block can be deburred automatically. This thesis contains information about deburring theory, deburring tools used in the Wärtsilä 31 engine block deburring process, procedure instructions on a general level, problems occurred during the practical deburring process and speculations regarding the future of deburring.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	10
1.1	Erytishuomiota.....	10
1.2	Tietolähteet ja tutkimusmenetelmä.....	10
1.3	Yleistä Wärtsilästä.....	11
2	KESKEISET MÄÄRITELMÄT.....	12
2.1	Jäysteen määritelmä.....	12
2.2	Ammattisanojen ja lyhenteiden määritelmät.....	12
3	JÄYSTEENPOISTON TEORIAA.....	14
3.1	Jäysteen syntyminen.....	14
3.2	Jäysteen tyypit.....	14
3.2.1	Poisson-jäyste.....	14
3.2.2	Rollover-jäyste.....	15
3.2.3	Sisääntulojäyste.....	15
3.2.4	Repeymäjäyste.....	16
3.3	Ulkonemien ja purseiden muodostuminen.....	17
3.4	Keskeiset syyt jäysteenpoistoon.....	17
3.5	Jäysteenpoiston metodeja.....	17
3.6	Jäysteen muodostumisen estäminen ja ehkäisy.....	18
4	WÄRTSILÄ 31 -MOOTTORILOHKON NYKYINEN JÄYSTEENPOISTO	
	19	
4.1	Esimerkkejä työjärjestyksistä.....	19
4.2	Työkalut.....	19
4.3	Työkalujen voitelu ja arvioitu työkalujen kesto.....	24
4.4	Riittävä jäysteenpoiston laatu.....	25
4.5	Ongelmia ja vaaroja nykyisessä jäysteenpoistossa.....	25
5	AUTOMATISOIDUN JÄYSTEENPOISTON VAATIMUKSIA.....	26
5.1	Jäysteenpoistossa käytettävä robotti ja jäysteenpoistosolu.....	26

5.2	Lohkon positio .....	26
5.3	Käytettävät työkalut .....	26
5.4	Erytishuomioita työkaluista .....	27
6	YLEISOHJEITA JÄYSTÄMISEEN .....	28
6.1	Jäystämiskerrat ja hiomarullalla jäystäminen .....	28
6.2	Lärpällä jäystäminen.....	28
6.3	Jäystämisenopeudet ja -voimat .....	29
7	MENETELMÄOHJEET YLEISESTI.....	30
7.1	Menetelmäohjeiden sisältö yleisesti .....	30
7.2	Menetelmäohjeiden esimerkkejä .....	31
7.2.1	Hiomakivellä jäystettävä kohde .....	31
7.2.2	Hiomarullalla jäystettävä kohde.....	32
7.2.3	Lärpällä ja teholarpällä jäystettävä reikä.....	33
7.2.4	Koneviilalla jäystettävä kohta .....	34
7.2.5	Ahtaassa paikassa oleva, kulmalarpällä jäystettävä reikä .....	35
7.2.6	Pallokivellä jäystettävä reikä .....	36
7.2.7	Senkkarilla jäystettävä reikä .....	36
7.2.8	Teräsharjattava reikä .....	37
7.3	Työn tulokset .....	38
8	ONGELMAT W31-MOOTTORILOHKON JÄYSTÄMISESSÄ.....	39
8.1	Pyöristykseen yhtyvät kohdat.....	39
8.2	Ahtaat ja mutkien takana sijaitsevat kohdat.....	40
8.3	Monimutkaiset reunat .....	41
8.4	Yksityiskohdat .....	42
8.5	Työkappaleen sisällä sijaitsevat kohdat.....	42
8.6	Kohdat, joita ei saa naarmuttaa.....	43
8.7	Suorat ja terävät kulmat .....	43
8.8	Eryttypiset lärpättävät reiät .....	44
8.8.1	Porrastetut, lärpättävät reiät .....	44
8.8.2	≤ Ø 10 mm lärpättävät reiät .....	45
8.8.3	Ei-pyöreät, lärpättävät reiät.....	45
8.9	Työkalujen ongelmat .....	46

9	ROBOTISOIDUN JÄYSTEENPOISTON HYÖTYJÄ JA HAITTOJA .....	47
9.1	Hyötyjä.....	47
9.2	Haittoja.....	47
10	POHDINTAA TULEVAISUUDEN JÄYSTEENPOISTOSTA.....	49
11	YHTEENVETO .....	50
	LÄHTEET.....	51

## LIITTEET

## KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuva 1.</b> Havainnollistava kuva Poisson-jäysteestä.	15
<b>Kuva 2.</b> Havainnollistava kuva rollover-jäysteestä.	15
<b>Kuva 3.</b> Havainnollistava kuva sisääntulojäysteestä.	16
<b>Kuva 4.</b> Havainnollistava kuva repeymäjäysteestä.	16
<b>Kuva 5.</b> Tavallinen karahiomakone (Kärkkäinen 2020 a).	20
<b>Kuva 6.</b> Kulmalärppään ja senkkariin tarkoitettu karahiomakone (Kärkkäinen 2020 b).	20
<b>Kuva 7.</b> Koneviila (kaksi alimmaista) ja pallokivi (toinen ylhäältä) (Tooloutlet 2020).	21
<b>Kuva 8.</b> Havainnollistava kuva lärpästä.	21
<b>Kuva 9.</b> Kumilaikka ja hiomarengas (Esan paja 2020).	22
<b>Kuva 10.</b> Kärkiupotin (Combitecno 2020).	23
<b>Kuva 11.</b> Teräslankainen tupsuharja (IKH 2020).	24
<b>Kuva 12.</b> Hiomakivi (Motonet 2020).	24
<b>Kuva 13.</b> Havainnollistava kuva jäystämiskerroista hiomarullalla.	28
<b>Kuva 14.</b> Esimerkkityökappale.	31
<b>Kuva 15.</b> Hiomakivellä hiottavat tasot.	32
<b>Kuva 16.</b> Kappaleen sivu.	32
<b>Kuva 17.</b> Kappaleen etupääty. Takapäätty on samanlainen.	33
<b>Kuva 18.</b> Lärpällä jäystettävät reiät.	34
<b>Kuva 19.</b> Koneviilalla jäystettävät reunat.	35
<b>Kuva 20.</b> Takapäädyn ratasaukon voitelureikä.	35
<b>Kuva 21.</b> Kaapelien läpivientien reiät kappaleen sisäpuolelta kuvattuna.	36
<b>Kuva 22.</b> Senkattavat reiät.	37
<b>Kuva 23.</b> Teräsharjattavat reiät.	38
<b>Kuva 24.</b> Pyöritykseen yhtyviä kohtia.	39
<b>Kuva 25.</b> Ahdas, hiomarullalla jäystettävä kohta.	40
<b>Kuva 26.</b> Voitelureikä kulman takana ahtaassa paikassa.	41
<b>Kuva 27.</b> Esimerkki monimutkaisesta reunasta.	42
<b>Kuva 28.</b> Kappaleen sisällä sijaitsevia reikiä.	43
<b>Kuva 29.</b> Suorakulmia hiomarullattavassa reunassa.	44

<b>Kuva 30.</b> Porrastettuja, lärpättäviä reikiä.	44
<b>Kuva 31.</b> $\leq \text{Ø} 10$ mm lärpättäviä reikiä.	45
<b>Kuva 32.</b> Ei-pyöreä, teholärpällä jäystettävä reikä.	46



**LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Haastattelu nykyisestä W31-moottorilohkon jäysteenpoistosta Vaasan Wärtsilässä.

# 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö sisältää menetelmäohjeet Wärtsilä 31 -moottorin lohkon (ts. W31) automatisoituun jäysteenpoistoon. Menetelmäohjeissa kerrotaan, millä työkaluilla, millä tavalla ja mitä ongelmakohtia W31-lohkon jäystämässä on. Opinnäytetyössä jäystettiin W10V31-lohkoa. Lohkon nimessä W tarkoittaa Wärtsilää, 10V kymmensylinteristä V-moottoria ja 31 sylinteriaukon halkaisijaa senttimetreinä, josta moottorin mallinimi tulee.

Tässä opinnäytetyössä kerrotaan menetelmäohjeiden lisäksi jäysteenpoiston teoriasta, käytännön jäysteenpoistosta Wärtsilässä opinnäytetyön kirjoitushetkellä, käytettävistä työkaluista ja niihin kohdistuvista vaatimuksista sekä automatisoidun jäysteenpoiston työjärjestyksistä ongelmakohtineen. Lopuksi on mainintoja automatisoidun jäysteenpoiston hyödyistä ja haitoista sekä kirjoittajan pohdintaa tulevaisuuden jäysteenpoistosta Wärtsilässä.

Tarve tälle opinnäytetyölle syntyi, kun Wärtsilä päätti automatisoida moottorilohkojen jäysteenpoiston vuonna 2020 rakennettavassa Vaasan Vaskiluodon Smart Technology Hub -tehtaassa. Vaskiluodon Smart Technology Hub on 200 miljoonan euron investointi, jonne kaikki Vaasan Wärtsilä siirtää toimintansa vuonna 2020 (Wärtsilä 2018).

## 1.1 Erityishuomiota

Opinnäytetyön julkisessa versiossa ei käytetä W10V31-lohkon valokuvia, W10V31-lohkon 3D-malleja, käytössä olevien työkalujen tarkkoja teknisiä tietoja tai käytössä olevien työkalujen kuvia. Menetelmäohjeita ei kerrota yksityiskohtaisesti ja 3D-mallin sijaan kirjoittaja käyttää 3D-esimerkkityökappaletta.

## 1.2 Tietolähteet ja tutkimusmenetelmä

Tietolähteinä käytetään aiheeseen liittyvää kirjallisuutta, Wärtsilän työntekijöiden haastatteluita, W10V31-lohkon 3D-mallia ja W10V31-lohkon jäystämisen muisiinpanoja, joita tehtiin opinnäytetyön kirjoittamisen ja jäysteenpoiston ohessa. Kirjoittaja on ollut Wärtsilällä töissä koko- ja osa-aikaisesti kolmen vuoden ajan,

joten kirjoittaja hyödyntää myös omaa tietoaan käytännön jäysteenpoistosta. Työssä on käytetty kvalitatiivista tutkimusmenetelmää.

### **1.3 Yleistä Wärtsilästä**

Wärtsilä toimittaa erilaisia ratkaisuja merenkulku- ja energiamarkkinoille. Wärtsilä keskittyy ”kestäviin innovaatioihin, data-analytiikkaan ja kokonaishyötysuhteeseen.” Wärtsilä työllistää n. 19 000 ihmistä 80 eri maassa. Wärtsilän liiketoiminta jakautuu Marine- ja Energy-divisioniin. Wärtsilä on toimittanut ratkaisuja 180 maahan. Wärtsilän liikevaihto oli vuonna 2019 5,17 miljoonaa euroa ja liiketulos 457 miljoonaa euroa. (Wärtsilä 2020)

## **2 KESKEISET MÄÄRITELMÄT**

Tässä luvussa kerrotaan jäysteen ja opinnäytetyössä käytettävien ammattisanojen keskeiset määritelmät.

### **2.1 Jäysteen määritelmä**

Gillespien käyttämän määritelmän mukaan jäyste on ”ohut harjanne tai karhea alue, joka muodostuu metallia leikatessa tai muotoillessa” (Gillespie 1999, 1). Jäyste sijaitsee yleensä kohdassa, josta koneistuskeskuksen työkalu aloittaa koneistuksen ja kohdassa, jossa pyörivä työkalu irtautuu työkappaleesta. Jäyste on haitallinen muodostuma, josta voi pahimmassa tapauksessa irrota metallilastuja moottorilohkon sisään.

Jäysteen kooksi katsotaan välimatka jäysteen ulomman reunan ja koneistetun reunan tai pinnan välillä. Jäyste ei ole välttämättä samankokoinen koneistetun pinnan reunan koko pituudella. Tämän vuoksi menetelmäohjeiden materiaalimenekkejä on pyöristetty ylöspäin. Esim. jos kaksimetrisen reunan jäystämisessä on kulunut vain osa hiomarengasta, se lasketaan yhdeksi hiomarenkaaksi materiaalimenekkilistassa.

Otetaan huomioon, että jäysteellä, ulkonemalla ja purseella on eroja. Wärtsilässä moottorilohkon jäysteenpoistossa ulkonemat ja purseet poistetaan moottorilohkosta, jos niiden arvioidaan haittaavan moottorin toimintaa. Esimerkki tällaisesta purseesta on kriittisiin paikkoihin juuttuneet hiekkapuhalluskuulat.

Tässä opinnäytetyössä poistettavien jäysteiden, ulkonemien ja purseiden poistamista kutsutaan jäystämiseksi ja jäysteenpoistoksi sekaannuksien välttämiseksi.

### **2.2 Ammattisanojen ja lyhenteiden määritelmät**

Ammattisanojen käyttö ja niiden määrittely ovat tarpeellisia tässä opinnäytetyössä, koska ammattisanoja on runsaasti ja niiden käyttö selventää tekstin sisältöä. Tekstissä käytetään myös verbejä, jotka liittyvät suoraan käytettäviin työkaluihin.

Kaikki tässä listassa luetellut työkalut ovat paineilmatyökaluja, joissa on pyörivät kärjet.

Hiomarulla; ”mikkihiiri”	Karahiomakone, johon on liitetty sylinterinmuotoinen kumilaikka ja hiomarengas.
Iso lärppä; teholärppä	Suurtehoinen karahiomakone, jonka kärjessä on 60 mm terästanko. Tangon 20 mm halkioon laitetaan taitettu pala hiomapaperia.
Koneviila	Karahiomakone, jonka kärjessä on piikinmuotoinen teräsviila.
Kulmalärppä	Karahiomakone, jonka kärki on 90° kulmassa runkoon verraten. Kärjessä on 165 mm pitkä terästanko. Tangon 20 mm halkioon laitetaan taitettu pala hiomapaperia.
lp/mm	<i>Line pairs per millimetre</i> . Resoluution mittayksikkö, joka tarkoittaa linjaparia millimetriä kohden.
Lärppä	Karahiomakone, johon on liitetty 500 mm pitkä terästanko. Tangon 20 mm halkioon laitetaan taitettu pala hiomapaperia.
Pallokivi	Karahiomakone, jonka kärjessä on pallonmuotoinen karalaikka.
Senkkari	Karahiomakone, jonka kärjessä on kärkiupotin.
Teräsharja	Karahiomakone, johon on liitetty teräslankainen tupsuharja.

### 3 JÄYSTEENPOISTON TEORIAA

Tässä luvussa kerrotaan, miten jäyste syntyy, mitä erityyppisiä jäysteitä on, keskeiset syyt jäysteen poistamiseen ja jäysteenpoiston metodeja.

#### 3.1 Jäysteen syntyminen

Työkappaleen materiaalin ulospäin työntymiselle on määritelty kuusi tapaa (Gillespie 1999, 53):

1. Sivusuuntainen materiaalin liike (*”lateral flow of material”*),
2. Materiaalin taipuminen (*”bending of material”*),
3. Palan repeytyminen työkappaleesta (*”tearing of chip from workpiece”*),
4. Materiaalin siirtyminen muualle (*”redemption of material”*),
5. Epätäydellinen sulkutila (*”incomplete cutoff”*),
6. Materiaalin kulku työkappaleen halkeamiin (*”flow of material into cracks”*).

Ensimmäiset kolme tapaa ovat keskeisiä jäysteiden syntytapoja ja liittyvät työkappaleen materiaalin plastiseen muodonmuutokseen. Muut kolme syntytapaa johtaa (järjestyksessä) uudelleenvalannassa syntyvään kuplaan materiaalissa, ulkonemaan ja purseeseen. (Gillespie 1999, 53)

Poisson-, rollover- ja repeymäjäysteiden yhteneväisyys on säde, joka muodostuu jäysteiden takapuolelle. Kaikkien neljän jäysetyyppin yhteneväisyys on se, että ne ovat jatkeita työkappaleen materiaalista ja kiderakenne on samanlainen kuin työkappaleen materiaalissa. (Gillespie 1999, 54)

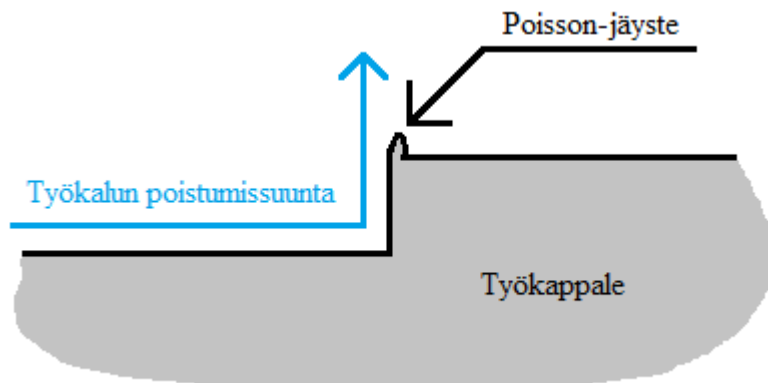
#### 3.2 Jäysteen tyypit

Seuraavaksi kerrotaan neljästä eri jäysetyyppistä ja niiden muodostumisesta.

##### 3.2.1 Poisson-jäyste

Poisson-jäyste, *”Poisson burr”* (kuva 1), on sivusuuntainen jäyste, joka syntyy puristuksen voimasta siihen kohtaan työkappaletta, jossa leikkuuterä nousee työ-

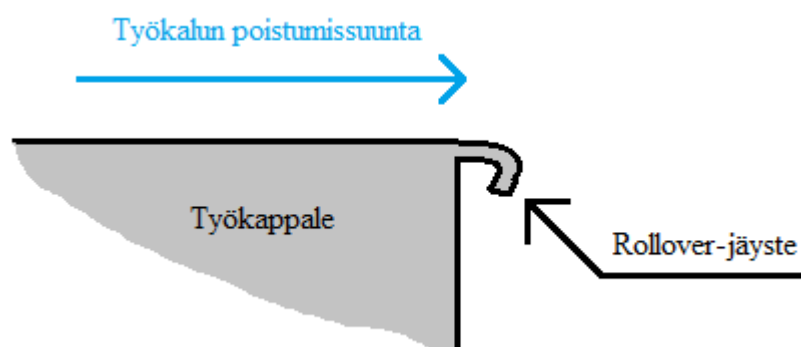
kappaleen reunan yli. Poisson-jäyste on yleensä pieni korkeudeltaan. Poisson-jäyteen koko on suhteellinen työkalun pintapaineeseen ja leikkuuterän säteeseen. (Gillespie 1999, 53)



**Kuva 1.** Havainnollistava kuva Poisson-jäysteestä.

### 3.2.2 Rollover-jäyste

Rollover-jäyste, ”*Rollover burr*” (kuva 2), syntyy, kun työkalu irtautuu työkappaleesta ja jatkaa kulkuaan. Rollover-jäyste kääntyy mutkalle, joka osoittaa työkalun poistumissuuntaan. (Gillespie 1999, 54–55)

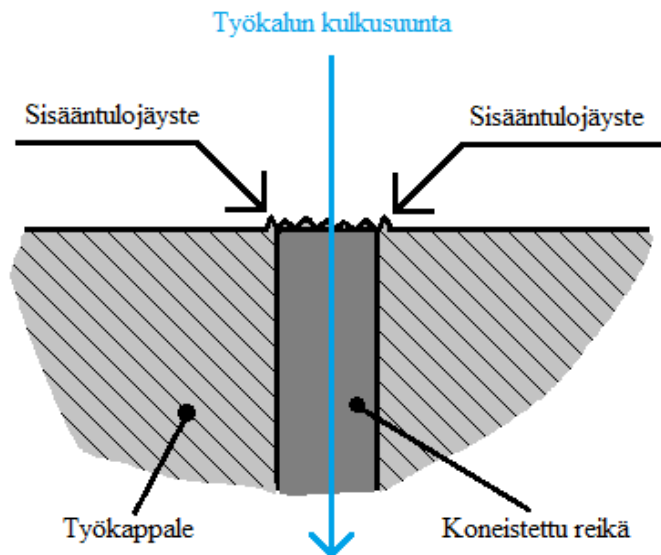


**Kuva 2.** Havainnollistava kuva rollover-jäysteestä.

### 3.2.3 Sisääntulojäyste

Sisääntulojäyste, ”*entrance burr*” (kuva 3), muodostuu päinvastaiseen suuntaan työkalun kulkusuuntaan nähden. Sisääntulojäyste ei muodostu aina, vaan sen muodostuminen riippuu työkalun muodosta ja työkappaleen materiaalin ominai-

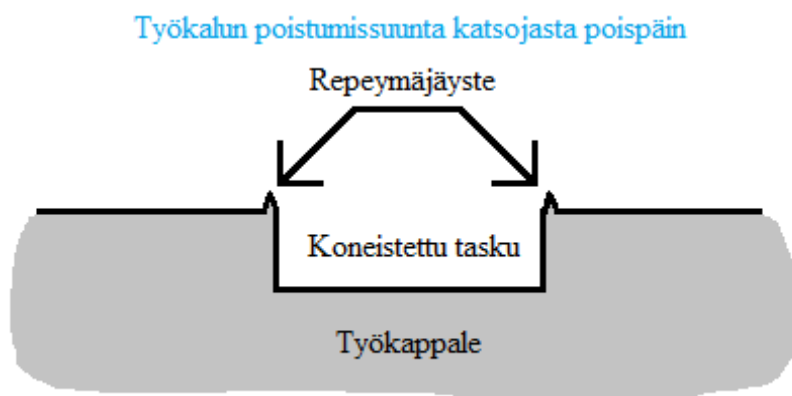
suuksista. Sisääntulojäyste muodostuu työkalun sisääntulokohdan reunoille. (Gillespie 1999, 53)



**Kuva 3.** Havainnollistava kuva sisääntulojäysteestä.

### 3.2.4 Repeymäjäyste

Repeymäjäyste, ”tear burr” (kuva 4), syntyy kun materiaalia repeytyy työkappaleesta leikkautumisen sijaan. Repeymäjäyستettä syntyy monissa leikkausprosesseissa, mutta se syntyy hyvin helposti taso-otsajyrsimellä kappaletta työstettäessä. Työkappaleeseen jäävä jäyste osoittaa ylöspäin ja eteenpäin työkalun kulkusuuntaan verraten. (Gillespie 1999, 54)



**Kuva 4.** Havainnollistava kuva repeymäjäysteestä.



### 3.3 Ulkonemien ja purseiden muodostuminen

Ulkonemat syntyvät, kun työkappale irrotetaan alkuperäisestä materiaalista ja sen annetaan pudota. Ulkonemat voivat syntyä lähes missä tahansa leikkaavassa tai erittelevässä operaatiossa. (Gillespie 1999, 54, 58)

Purse on ”valusaumasta t. puristimen muotin välistä tunkeutuneen aineen muodostama särmä” (Kielitoimiston sanakirja 2020). Purse muodostuu valun aikana, jos keernat eivät ole tarpeeksi hyvin toisissaan kiinni (Gillespie 1999, 58). Purse on yleensä yhtä kovaa kuin työkappaleen materiaali ja se sijaitsee yleensä tasolla, ei työkappaleen kulmassa jäysteen tavoin. (Gillespie 1999, 58). Purseen poistaminen voi olla vaikeaa sijaintinsa vuoksi (Gillespie 1999, 58). Purse voi muodostua myös muovia leikatessa (Gillespie 1999, 58), mutta tämä ei ole olennaista opinäytetyön kannalta.

### 3.4 Keskeiset syyt jäysteenpoistoon

Moottorilohkosta poistetaan jäysteitä monesta eri syystä. Syitä ovat esimerkiksi käsiin aiheutuvat haavat kokoonpanon ja purun aikana, osien huono istuvuus kokoonpanovaiheessa, ylimääräiset kitkavoimat, suodattimien ja liittimien tukkeutumisen estäminen ja tiivisteiden repeytymisen estäminen (Gillespie 1999, 1).

Kirjoittaja lisää, että moottorin suorituskyvyn säilyttäminen tarkoituksenmukaisena on myös yksi keskeinen jäysteenpoiston syy em. syihin vedoten. Jäysteistä voi irrota lastuja, jotka voivat tukkia voitelukanavia ja aiheuttaa ylimääräistä kitkaa jäädessään liikkuvien osien väliin. Näistä ongelmista voi seurata konerikko.

### 3.5 Jäysteenpoiston metodeja

Jäysteenpoistometodeja on useita. Tässä aliluvussa käydään läpi kolme metodia.

Manuaalinen jäysteenpoisto, ”*manual deburring*”, on yleisin jäysteenpoistometodi Gillespien (1999, 8–10) kirjan kirjoitushetkellä. Manuaalinen jäysteenpoisto on yleisin metodi, koska siinä hyödynnetään halpoja työkaluja, vähää määriä tekno-

logiaa ja ko. metodilla voidaan jäystää eri määriä työkappaleita. (Gillespie 1999, 11)

Harjaaminen, ”*brushing*”, on toiseksi yleisin jäysteenpoistometodi Gillespien kirjan kirjoitushetkellä (1999, 8–10). Harjauksessa voidaan käyttää esim. Xebecin valmistamia keraamisia harjoja, joissa harjojen Ø 1,5–11 mm ja harjasten pituudet ovat 50–60 mm (FMS-Tools, 2020). Harja voidaan kiinnittää pyörivään työkaluun, jonka jälkeen työkappale harjataan jäysteistä puhtaaksi (FMS-Tools, 2020).

Hiominen, ”*sanding*”, on kolmanneksi yleisin jäysteenpoistometodi Gillespien (1999, 8–10) kirjan kirjoitushetkellä.

### **3.6 Jäysteen muodostumisen estäminen ja ehkäisy**

Jäysteen muodostumisia voidaan ehkäistä mm. valamalla työkappale koneistuksen sijaan käyttämällä muototyökaluja leikkauksessa ja todella suurilla työstönopeuksilla (3 048 m/min). (Gillespie 1999, 39–41)

Kirjoittaja arvioi, että näitä menetelmiä ei voida käyttää W10V31-moottorilohkon jäysteenpoistossa. Valamisella ei päästä tarpeeksi tarkkoihin mittoihin, joita moottori vaatii toimiakseen. Muototyökalut toimisivat, mutta silloin hukkamateriaalia syntyy enemmän, kriittisten lohkon kohtien mitat voivat vääristyä ja moottorin kestävyys käytön aikana voi vaarantua. Todella suurilla työstönopeuksilla työstökeskusten energiankulutus kasvaa ja lastuja lentää nopeasti eri suuntiin.

## 4 WÄRTSILÄ 31 -MOOTTORILOHKON NYKYINEN JÄYSTEENPOISTO

Tässä luvussa kerrotaan W31-moottorilohkon nykyisestä jäysteenpoistosta. Kerrotaan esimerkkejä työjärjestyksistä, työkaluista, riittävästä jäysteenpoiston laadusta Wärtsilän työntekijöiden mukaan ja avataan hieman nykyisen jäysteenpoiston ongelmia ja vaaroja. Tietolähteinä käytetään haastatteluita, joita käytiin Wärtsilän jäystäjien kanssa, kirjoittajan omia kokemuksia ja opinnäytetyön kirjoittamisen aikana tehtyä työkaluselvitystä.

### 4.1 Esimerkkejä työjärjestyksistä

Lohko tuodaan hallinosturilla jäysteenpoistopaikalle alustojen päälle. Lohko voidaan jäystää monessa eri järjestyksessä ja jäystämiseen ei ole yhtä tiettyä tapaa. Lopputuloksella on jäystämisen kannalta suurin merkitys. Kaikki moottorilohkojen jäysteenpoisto tehdään Wärtsilässä käsin (*”manual deburring”*).

Esim. Wärtsilän työntekijä A jäystää lohkon ”osasto” kerrallaan, mikä tarkoittaa, että ensin jäystetään lohkon alaosan kohteet. Tämän jälkeen jäystetään lohkon yläosan kohteet seisaaltaan ja lopuksi siirrytään jäystämään sylinteritasoa. Toinen haastateltu työntekijä, B, jäystää lohkon sivu kerrallaan. (Liite 1)

Kirjoittaja jäystää lohkon yksi työkalu kerrallaan oheisessa järjestyksessä. Sulkuihin on merkitty esimerkkejä käyttökohteista.

Lohkoon on asennettava hienoajon kannalta tärkeitä osia ennen lohkon kääntöä. Lohkoa käännettäessä on varmistuttava, että lohkon alustat ovat ehjiä, puhtaita ja oikeissa asennoissa.

### 4.2 Työkalut

Wärtsilän manuaalisessa jäysteenpoistossa käytetään pääosin paineilmatyökaluja. Työkalut kartoitettiin, jotta työkalujen vaatimukset saadaan selville automaattiseen jäysteenpoistoon. Työkalujen tehoksi riittää 350 W. Alla olevat kuvat ovat esimerkkejä työkaluista, joiden vastineita Wärtsilässä käytetään. Senkkarina ja

kulmalärppänä käytetään karahiomakonetta, jonka pää on 90° kulmassa (kuva 6), muissa työkaluissa käytetään tavallista karahiomakonetta (kuva 5), ellei toisin mainita.



**Kuva 5.** Tavallinen karahiomakone (Kärkkäinen 2020 a).



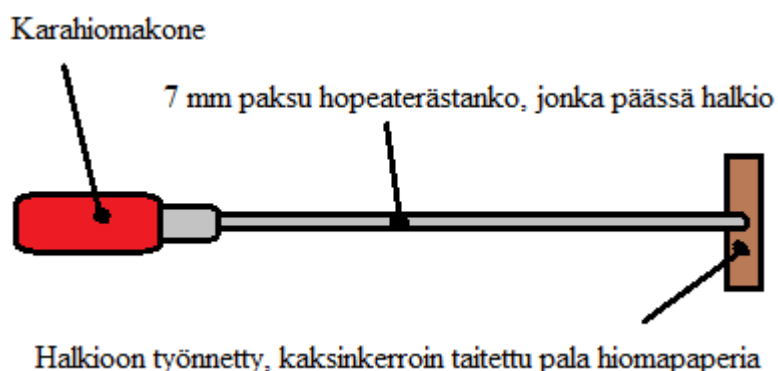
**Kuva 6.** Kulmalärppään ja senkkariin tarkoitettu karahiomakone (Kärkkäinen 2020 b).

Luetellaan seuraavaksi karahiomakoneisiin liitettäviä päitä, joista työkalut koostuvat.



**Kuva 7.** Koneviila (kaksi alimmaista) ja pallokivi (toinen ylhäältä) (Tooloutlet 2020).

Koneviilalla (kuva 7) jäystetään alustavasti reikiä, joita ei saada jäystettyä vain lärpällä. Tällaisia reikiä voivat olla reikä, jossa on suuria jäysteitä tai reikä, joka on pintaan nähden vinossa. Pallokiveä (kuva 7) käytetään epätasaisuuksien ja suurien jäysteiden alustavaan poistamiseen maalipinnasta lärpättävien reikien sululta. Koneviila ja pallokivi koostuvat karhiomakoneesta (kuva 5) ja em. työkalun päistä.



**Kuva 8.** Havainnollistava kuva lärpästä.

Lärpällä jäystetään koneistettuja reikiä. Lärpistä on kolme eri versiota: Lärppä (kuva 8), kulmalärppä ja teholarppä. Nämä ovat karhiomakoneita, joihin on liitetty tietynmittainen hopeaterästanko. Lärpässä on pitkä tanko, kulmalärpässä

keskipitkä ja teholarpässä lyhyt. Terästangossa on halkio, johon laitetaan jäystettävän reiän tarvitsema, kaksinkerroin taitettu pala hiomapaperia (lisätietoja luvussa 6.2).

Kulmalärppää käytetään ahtaissa paikoissa olevien pienten ja keskisuurten koneistettujen reikien jäystämiseen. Lärppää käytetään helposti jäystettävissä olevien pienten ja keskisuurten koneistettujen reikien jäystämiseen. Teholarpällä jäysetään suuria koneistettuja reikiä.



**Kuva 9.** Kumilaikka ja hiomarengas (Esan paja 2020).

Hiomarullaa (tai ”mikkihiirtä”) käytetään työkappaleen reunojen jäystämiseen. Hiomarulla koostuu karahiomakoneesta (kuva 5), johon on liitetty kumilaikka ja hiomarengas (kuva 9).



**Kuva 10.** Kärkiupotin (Combitecno 2020).

Senkkari koostuu kulmapäisestä karhiomakoneesta (kuva 5) ja kärkiupottimesta (kuva 10). Senkkarilla jäystetään suurimmat jäysteet pois lärpättävistä rei'istä ennen lärpäystä ja tarvittaessa tehdään reikään määrätyn kokoinen viiste. Senkkari liitetään kulmapäiseen karhiomakoneeseen.



**Kuva 11.** Teräslankainen tupsuharja (IKH 2020).

Teräsharja koostuu pitkävartisesta karahiomakoneesta (kuva 5) ja teräslankaisesta tupsuharjasta (kuva 11). Teräsharjaa käytetään kierrereikien kierteiden puhdistamiseen. Teräsharjaa suositellaan käytettäväksi lärppäämisen jälkeen.

Hiomapaperia käytetään ilman muita työkaluja ja lärpissä. Lärppäyksessä käytettävässä, kapeassa hiomapaperissa on parempi liimaus kuin tavallisessa, leveässä hiomapaperissa. Paremman liimauksen ansiosta ko. hiomapaperia voidaan käyttää lärppäyksessä paperin repeämättä suurissa kierrosnopeuksissa.



**Kuva 12.** Hiomakivi (Motonet 2020).

Hiomakivi (kuva 12) on tarkoitettu herkkien ja mittatarkkojen pintojen hienovaraiseen puhdistamiseen ja jäystämiseen. Hiomakivi on oma työkalunsa.

### **4.3 Työkalujen voitelu ja arvioitu työkalujen kesto**

Kirjoittaja kävi Vaasan Wärtsilän Etrassa 13.3. haastattelemassa erästä työntekijää työkalujen arvioidusta kestosta ja voitelusta. Henkilö nimetään C:ksi.

Työkaluilla on kaksi eri voitelutapaa: Voitelu paineilmajärjestelmän kautta tai työkalukohtainen voitelu. Voiteluväli on 500–1000 käyttötuntia työkalukohtaisessa voitelussa. (Henkilö C 2020)



Wärtsilässä on paineilmatyökaluja, jotka ovat kestäneet yli 20 vuotta. Pitkällä aikavälillä paineilmatyökalut ovat sähköisiä työkaluja halvempia. (Henkilö C 2020)

#### **4.4 Riittävä jäysteenpoiston laatu**

Haastatteluiden mukaan jäysteenpoiston laatu on riittävä käytännössä, kun lohossa ei ole irtoavia tai teräviä kappaleita, joista voi tulla haavoja, ja jäystämisen aikana lohkoon ei ole tehty millimetrin suuruisia pyörityksiä jäystettyihin kohtiin. (Liite 1) Näiden vastausten ja omien kokemusten pohjalta kirjoittaja ehdottaa, että ohjeellinen pyörityksen arvo  $\leq 0,5$  mm.

#### **4.5 Ongelmia ja vaaroja nykyisessä jäysteenpoistossa**

Joissakin hiomarenkaissa on ollut heikko liimaus. Tämän seurauksena rulla on revennyt auki kesken jäysteenpoiston ja lähtenyt irti työkalun kärjestä. Jos näin käy, jäystäminen on keskeytettävä, ettei työkalun kumilaikka vaurioidu.

Joskus yli 60 cm pitkät lärppätangot menevät mutkalle työkalun ollessa käynnissä. Jos lärppätanko menee mutkalle, siitä tulee käyttökelvoton. Uudet lärppätangot tehdään 7 mm paksusta hopeaterästangosta. Mutkalla oleva lärppätanko voi pyöriessään vahingoittaa jäystettävän reiän sisäpintoja ja pitkälle jatkuessaan aiheuttaa henkilövahinkoja. Työkalu tärisee voimakkaasti ja otteen irrottaminen liipaisimesta voi olla vaikeaa.

Korkeissa kierrosnopeuksissa lärppätankojen halkio voi levetä niin paljon, että hiekkapaperi irtoaa työkalun ollessa käynnissä. Halkio puristetaan ruuvipenkissä millimetrin levyiseksi.

Haastatteluissa esiin tulleet ongelmat ovat työn aikana sattuvat kolhut, metallipöly, usein huono ergonomia, käytettävät aineet (kuten monitoimi- ja ruostesuojaöljy), stressi ja työn jatkuva keskeytyminen esim. esimiesten kanssa käytävien keskusteluiden takia. Suoranaisia vaaroja ovat horjahtaminen, kaatuminen, korkealta tasolta putoaminen ja kompastuminen.

## **5 AUTOMATISOIDUN JÄYSTEENPOISTON VAATIMUKSIA**

Tässä luvussa kerrotaan Wärtsilän automatisoidussa jäysteenpoistossa käytettävistä solusta, robottivaihtoehdoista, robotin työkaluista ja työkalukohtaisista huomioista. Pyritään hyödyntämään Wärtsilän olemassa olevia työkaluja ja luvussa 4 esiintuotuja seikkoja.

### **5.1 Jäysteenpoistossa käytettävä robotti ja jäysteenpoistosolu**

Opinnäytetyön kirjoitushetkellä Wärtsilällä on kaksi robottivaihtoehtoa: Fanucin ja ABB:n robotti. Jäysteenpoistosolussa moottorilohko on paikallaan ja robotit liikkuvat. Robotteja on kaksi jäystettävän moottorilohkon A- ja B-sivun vieressä. (Koivisto & Laulaja 2020)

### **5.2 Lohkon positio**

Lohko on käyntiasennossa ja ylösalaisin hienoajoa edeltävässä jäysteenpoistossa. Lohko on ylösalaisin hienoajon jälkeisessä jäysteenpoistossa. Runkokäytävän ja lohkon sisäreunojen hienoajoa edeltävä jäysteenpoisto on mahdollista tehdä lohkon ollessa sivuttain. Käyntiasentoa ja ylösalaista asentoja suositellaan, sillä niiden on todettu toimiviksi käytännössä.

### **5.3 Käytettävät työkalut**

Robotisoidussa jäystämisessä voidaan käyttää monien muiden jäysteenpoistomenetelmien työkaluja (Gillespie 1999, 347). Lähtökohtana on, että nykyisen, manuaalisen jäysteenpoiston työkalut korvataan robotin varianteilla Wärtsilässä. Joissakin lohkon kohteissa on hyvin rajallinen määrä tilaa.

Työkaluihin voidaan lukea myös offline-ohjelmoinnin ja jäystämisen 3D-simulointiin tarvittavat ohjelmistot.

#### **5.4 Erityishuomioita työkaluista**

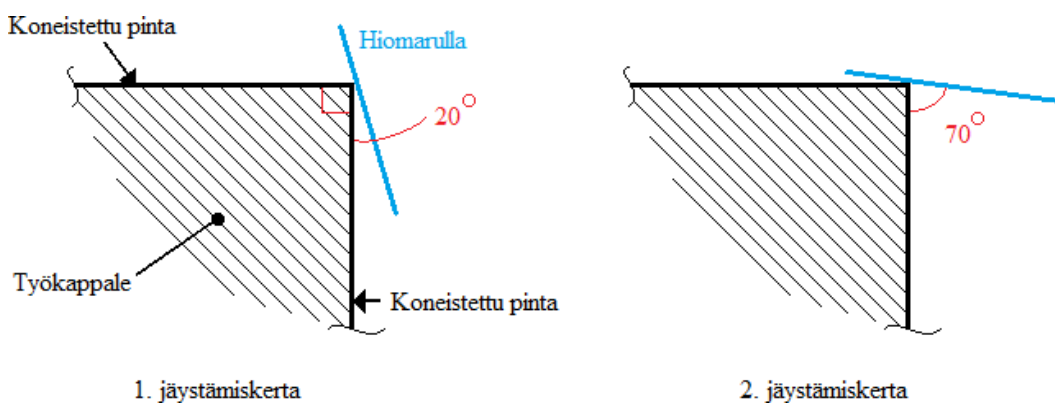
Luvussa 4.5 mainitut hiomarenkaiden heikko liimaus, lärppätankojen mutkalle meneminen ja lärppätangon halkion leviäminen on otettava huomioon automaattisessa jäysteenpoistossa. Kirjoittaja katsoo, että työntekijän on ehdottomasti valvottava automaattista jäysteenpoistoa näiden ongelmien vuoksi.

## 6 YLEISOHJEITA JÄYSTÄMISEEN

Tässä luvussa kerrotaan yleisohjeita jäystämiseen, jotka on todettu toimiviksi manuaalisessa jäysteenpoistossa. Näitä tapoja käytetään esimerkkityökappaleen jäystämisessä, ellei toisin sanota.

### 6.1 Jäystämiskerrat ja hiomarullalla jäystäminen

Reunat, joissa on  $90^\circ$  kulma ja kohdan kummallakin puolella on koneistettu pinta, jäystetään kahdessa kulmassa kahteen kertaan. Ensimmäisen jäystämiskerran kulma on  $20^\circ$  pystysuoraan koneistettuun pintaan nähden ja toisen  $70^\circ$  (kuva 13).



**Kuva 13.** Havainnollistava kuva jäystämiskerroista hiomarullalla.

Loivemmissa reunoissa, joissa pintojen välinen kulma on  $\leq 90^\circ$  tai reunan toisella puolella on maalipinta, yksi jäystämiskerta hiomarullalla riittää. Yleisesti kaksi jäystämiskertaa riittää niin läppäyksessä, koneviilaamisessa, teräsharjaamisessa, hiomapaperilla hiotessa, rullaamisessa ja pallokivellä jäystämisessä.

Jos jäystetään kohtia, joissa on suuria repeymä- ja/tai rollover-jäysteitä, kannattaa varautua neljään jäystämiskertaan. Suuria repeymä- ja/tai rollover-jäysteitä muodostuu yleisesti paikkoihin, joissa työkalu irtautuu lohkosta leikattuaan  $n. \geq 1$  mm materiaalia.

### 6.2 Lärpällä jäystäminen

Reikien läppäykseen on seuraavanlainen yleispätevä ohje:

1. Lärppää pidetään reiän sisääntulon suulla 1–2 s.
2. Lärppä kulkee reiän läpi ulos asti.
  - Jos kyseessä ei ole läpireikä, lärppä kulkee 5 mm päähän reiän pohjasta.
3. Jos lärpätään läpireikää, lärppää liikutetaan edestakaisin reiän ulostulon suulla 2–3 s.
  - Jos kyseessä ei ole läpireikä, lärppä palaa välittömästi takaisin päästyään 5 mm päähän reiän pohjasta.
4. Lärppä palaa takaisin lähtöpisteeseen.
5. Lärppä kulkee vielä kerran reiän läpi (tai 5 mm päähän reiän pohjasta) ja takaisin.

Lärppäämiseen tarkoitetun hiomapaperin leveys on yleisesti 20 mm enemmän kuin jäystettävän reiän halkaisija. Poikkeuksena on  $\leq 15$  mm reiät, joissa käytetään n. 2 mm jäystettävää reikää leveämpää hiomapaperia. Poikkeavat reiät mainitaan erikseen.

### **6.3 Jäystämisenopeudet ja -voimat**

Manuaalisessa jäysteenpoistossa hyväksi jäystämisenopeudeksi on todettu 100 mm/s sekä rullatessa että lärpätessä. Hyväksi jäystämisvoimaksi kertaa kohden on todettu puolitoistakertainen kädenpaino (n. 30 N) kaikilla työkaluilla. Jäystettäessä käytetään työkalun puolitehoa ja täyttä tehoa.

Senkkarilla jäystettäviä reikiä jäysetään 2–3 sekunnin ajan em. mainitulla voimalla hyväksyttävän tuloksen saamiseksi.

## 7 MENETELMÄOHJEET YLEISESTI

Tässä luvussa kerrotaan menetelmäohjeista yleisellä tasolla. Kerrotaan esimerkiksi työkappaletta apuna käyttäen mitä työkaluja käytetään ja miten kappale jäysetään. Tässä luvussa kerrotaan myös yleisellä tasolla menetelmäohjeiden sisällöstä ja ohjeiden kirjoitusasu. Työn tulokset esitetään omassa aliluvussa.

### 7.1 Menetelmäohjeiden sisältö yleisesti

Menetelmäohjeita pohjustettiin teorialla, tiedoilla Wärtsilän nykyisestä W31-moottorilohkon jäysteenpoistosta, jäysteenpoiston automatisoinnin vaatimuksista ja jäystämisen yleisohjeilla. Em. asiat on kirjoitettu samassa järjestyksessä kuin julkisessa versiossa.

Menetelmäohjeet jaettiin kolmeen pääosaan: Jäysteenpoiston ensimmäinen osa, toinen osa sekä ongelmaluku, johon on koottu jäysteenpoiston aikana kohdatut ongelmat. Ohjeet on kirjoitettu siinä järjestyksessä, missä lohko jäysetään.

Ongelmaluvussa mainitut kohteet on kirjoitettu siinä järjestyksessä, missä ne havaittiin käytännön jäysteenpoiston aikana. Ongelmaluvussa kerrotaan tarkemmin jäysettävän kohdan ongelmista ja niiden välttämisestä. Jäysteenpoiston ensimmäinen osa, toinen osa ja ongelmat kirjoitettiin omiin lukuihinsa, jotta ohjeista ei tulisi liian vaikeaselkoisia.

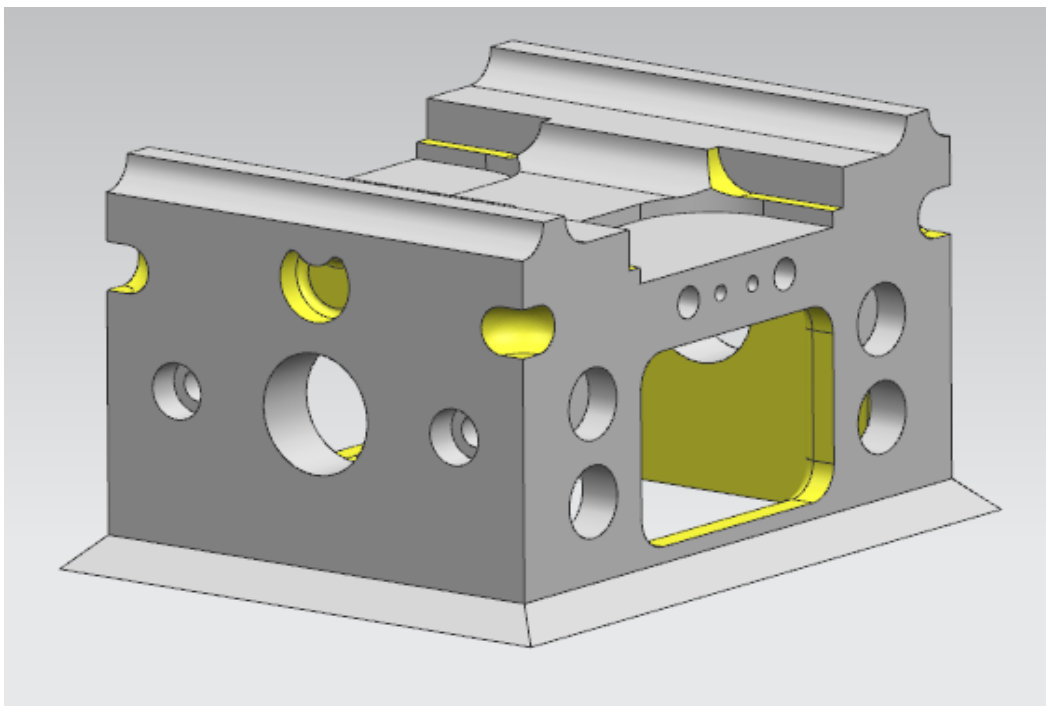
Jäysteenpoisto-ohjeet on kirjoitettu seuraavassa järjestyksessä:

1. Jäysettävä kohde ja työkalu.
2. Jäysteen tyyppi ja koko.
3. Jäystötapa, jos se poikkeaa yleisohjeissa mainitusta tavasta.
4. Nimetään vaikeat jäysettävät kohteet. Viittaus ongelmaluvun alilukuun, jos tarvitaan.
5. Kuva jäysettävästä kohteesta.
  - a. Sinisellä värillä merkataan jäysettävät kohdat.
  - b. Keltainen väri tarkoittaa valumateriaalia.
  - c. Punaisella värillä merkitään vaikeat jäysettävät kohdat.

6. Materiaalimenekki ja jäystämiseen kulunut aika.

## 7.2 Menetelmäohjeiden esimerkkejä

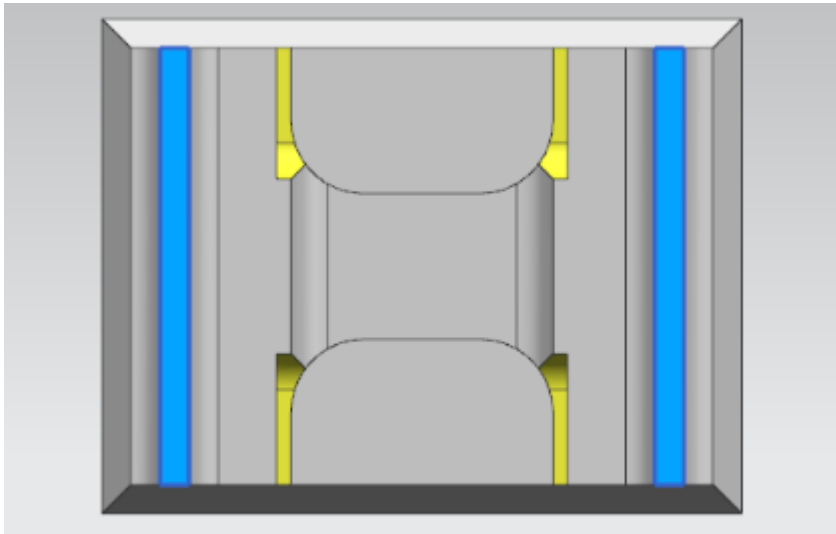
Tässä aliluvussa on esimerkkejä eri työkaluilla jäystettävistä kohteista. Nämä ohjeet on kirjoitettu tavalla, joka käytiin läpi edellisessä aliluvussa. Ohjeissa jäystetään esimerkkityökappale (kuva 14).



**Kuva 14.** Esimerkkityökappale.

### 7.2.1 Hiomakivellä jäystettävä kohde

Kuvaan merkityt tasot (kuva 15) hiotaan hiomakiven hienolla puolella. Hiomakiveä pidetään  $45^\circ$  kulmassa kappaleen pituussuuntaan nähden. Pinnat hiotaan neljään kertaan vetämällä hiomakiveä työkappaleen leveysuuntaan.

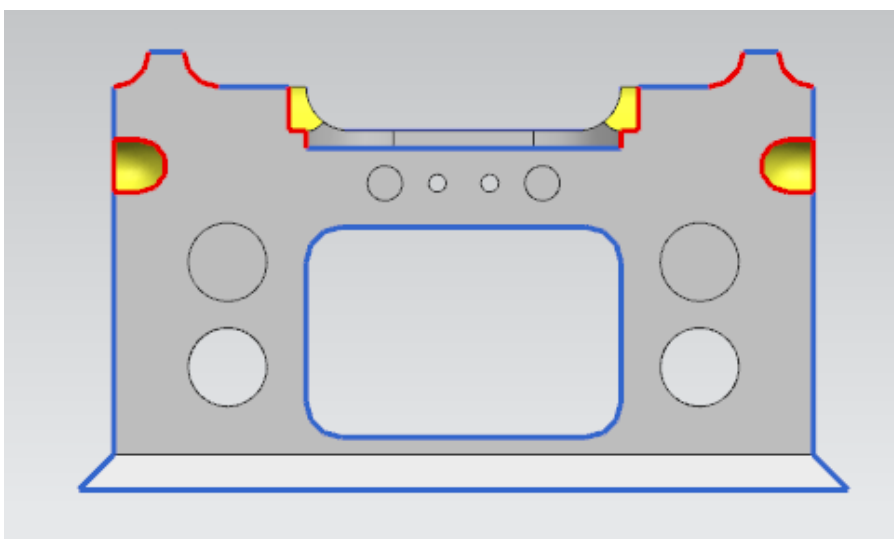


**Kuva 15.** Hiomakivellä hiottavat tasot.

Hiomisessa kuluu noin 10 minuuttia.

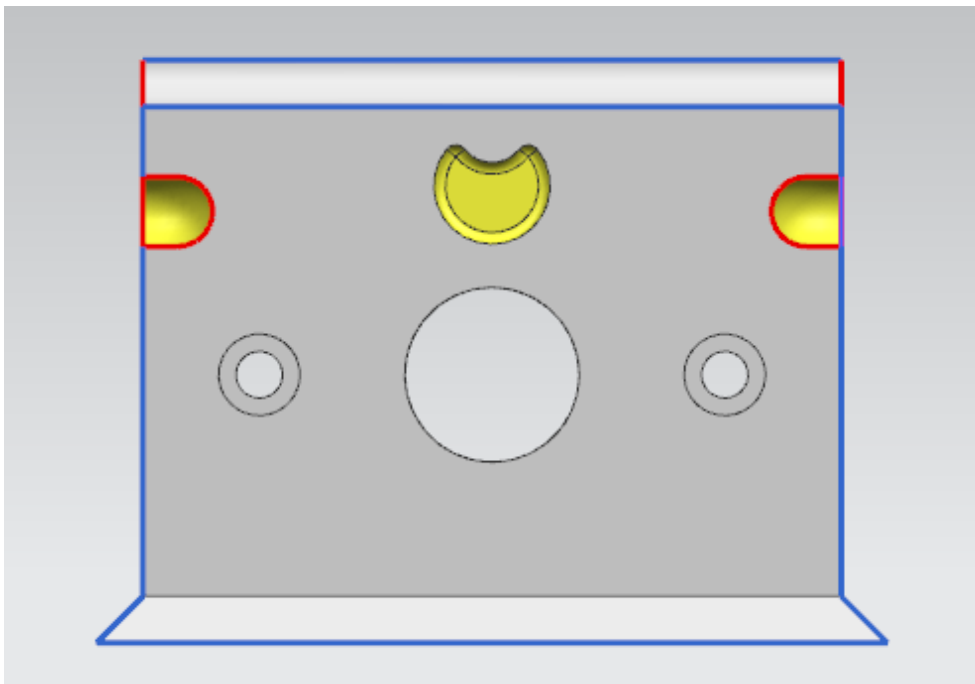
### 7.2.2 Hiomarullalla jäystettävä kohde

Kappaleen vasemman, oikean, etupäädyn ja takapäädyn reunat (kuva 16 ja kuva 17) jäystetään hiomarullalla. Reunoista löytyy  $\leq 1$  mm rollover-jäysteitä. Kappale jäystetään ylhäältä alas ja vasemmalta oikealle. Reunoista löytyy suorakulmia, ahtaita koloja ja pyöristykseen yhtyviä kohteita, joista on vaikea poistaa jäysteitä, lisätietoja **luvussa 8.1, 8.2 ja 8.7.**



**Kuva 16.** Kappaleen sivu.



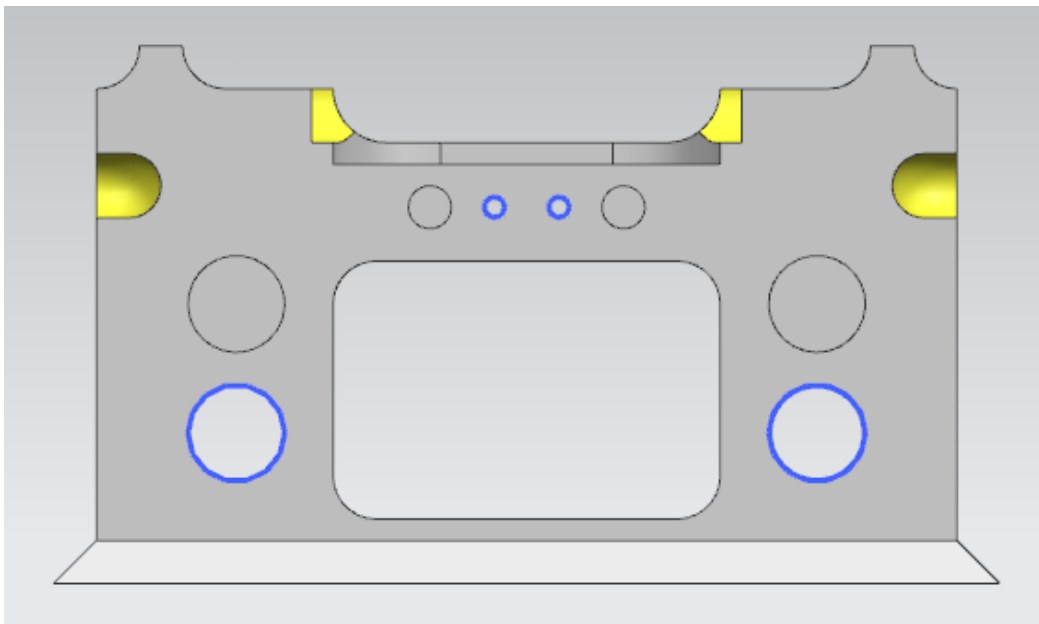


**Kuva 17.** Kappaleen etupääty. Takapääty on samanlainen.

Hiomarenkaita kuluu yksi ja aikaa 20 minuuttia.

### **7.2.3 Lärpällä ja teholärpällä jäystettävä reikä**

Kummallakin sivulla olevien aukkojen vieressä on kaksi reikää, jotka jäystetään lärpällä (kuva 18). Reikiä on yhteensä neljä. Aukoista löytyy  $\leq 0,5$  mm sisääntulojäystettä ulkopuolelta ja  $\geq 1$  mm rolover-jäystettä sisäpuolelta.

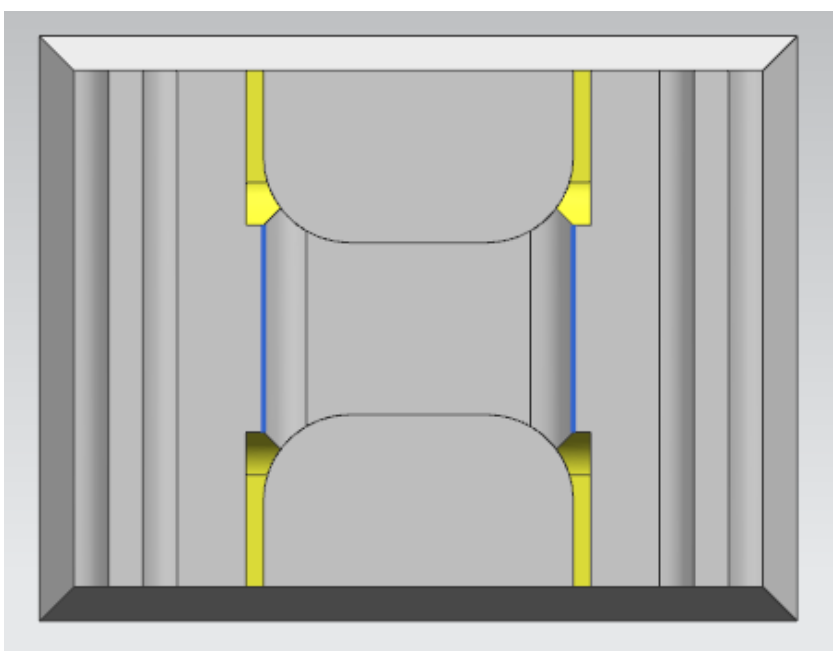


**Kuva 18.** Lärpällä jäystettävät reiät.

Lärppäykseen tarkoitettua hiomapaperia kuluu 4 kpl 65 mm ja aikaa 15 minuuttia.

#### 7.2.4 Koneviilalla jäystettävä kohta

Kuvaan merkatut reunat kappaleen ylätasolla (kuva 19) jäystetään koneviilalla ennen hiomarullalla jäystämistä. Kohdista löytyy  $\geq 1$  mm rollover-jäystettä, jotka osoittavat työkappaleesta pois päin.

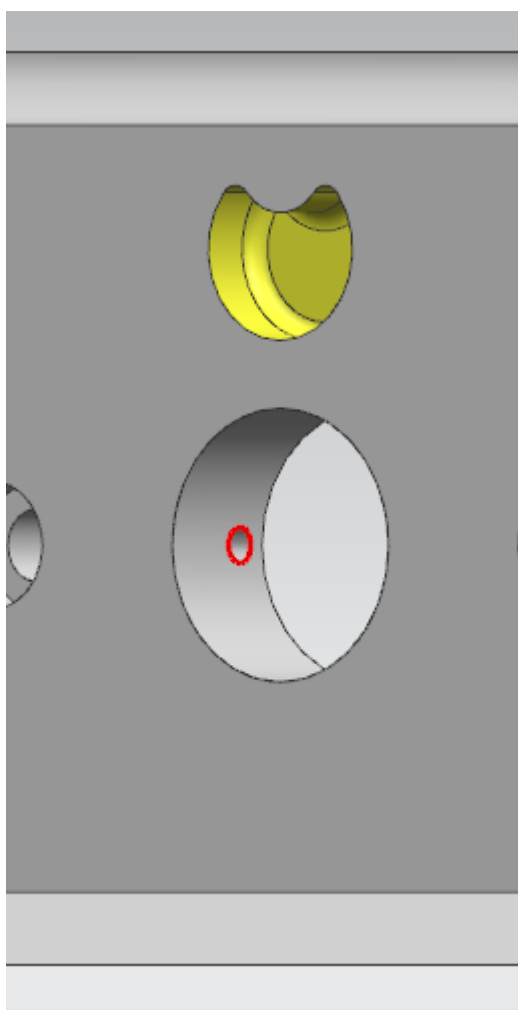


**Kuva 19.** Koneviilalla jäystettävät reunat.

Aikaa kuluu 10 minuuttia.

### 7.2.5 Ahtaassa paikassa oleva, kulmalärpällä jäystettävä reikä

Ratasreiän voitelureikä (kuva 20) jäystetään kulmalärpällä. Voitelureikiä on vain yksi kappaleen takapäädyn ratasreiässä. Voitelureiän sisääntulossa on  $\leq 0,5$  mm sisääntulojäystettä ja ulostulossa  $\leq 1$  mm rollover-jäystettä. Ratasreikä on  $\varnothing 75$  mm, joten tilaa voitelureiän jäystämiseen on rajallisesti. Lisätietoja **luvussa 8.2**.

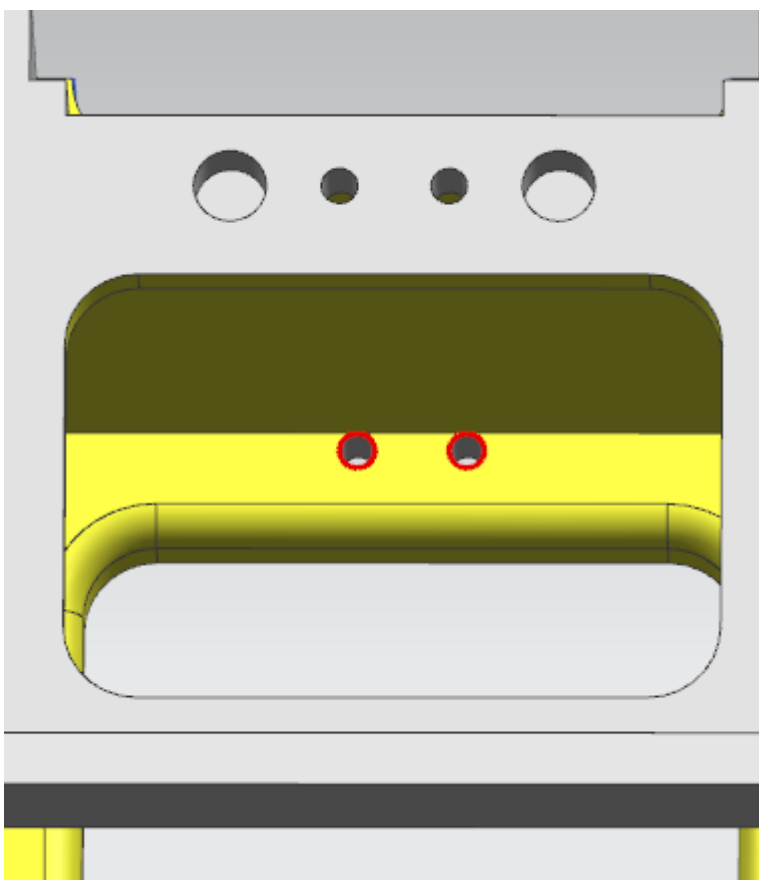


**Kuva 20.** Takapäädyn ratasaukon voitelureikä.

Lärppäämiseen tarkoitettua hiomapaperia kuluu 1 kpl 15 mm ja aikaa viisi minuuttia.

### 7.2.6 Pallokivellä jäystettävä reikä

Pallokivellä jäystetään kaapeleiden läpivientien reiät (kuva 21) kappaleen sisäpuolelta. Tämä tehdään ennen reikien lärppäämistä. Kaapeleiden läpivientien reikiä on yhteensä neljä, kaksi per kappaleen sivu. Rei'issä on  $\geq 1$  mm rollover-jäysteitä. Reikien jäystäminen voi olla ongelmallista tilanpuutteen vuoksi, lisätietoja on **luvussa 8.2**.

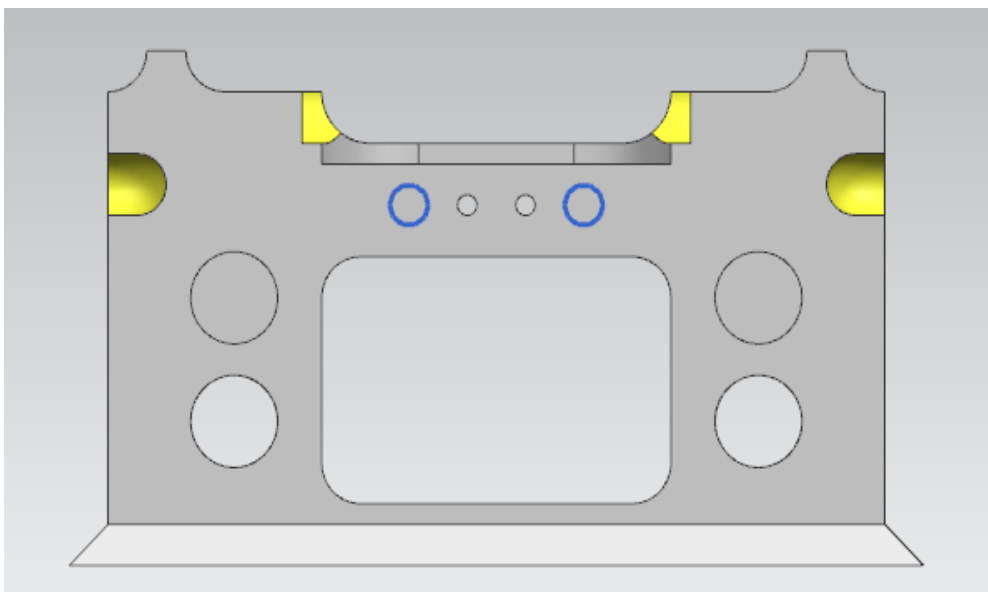


**Kuva 21.** Kaapelien läpivientien reiät kappaleen sisäpuolelta kuvattuna.

Jäystämisessä kuluu 10 minuuttia.

### 7.2.7 Senkkarilla jäystettävä reikä

Apulaitteiden kiinnikkeiden kierrereiät (kuva 22) jäystetään senkkarilla. Reikiä on yhteensä neljä, kaksi per kappaleen sivu. Rei'istä löytyy joko yleistä terävyyttä tai  $\leq 0,5$  mm sisääntulojäystettä.

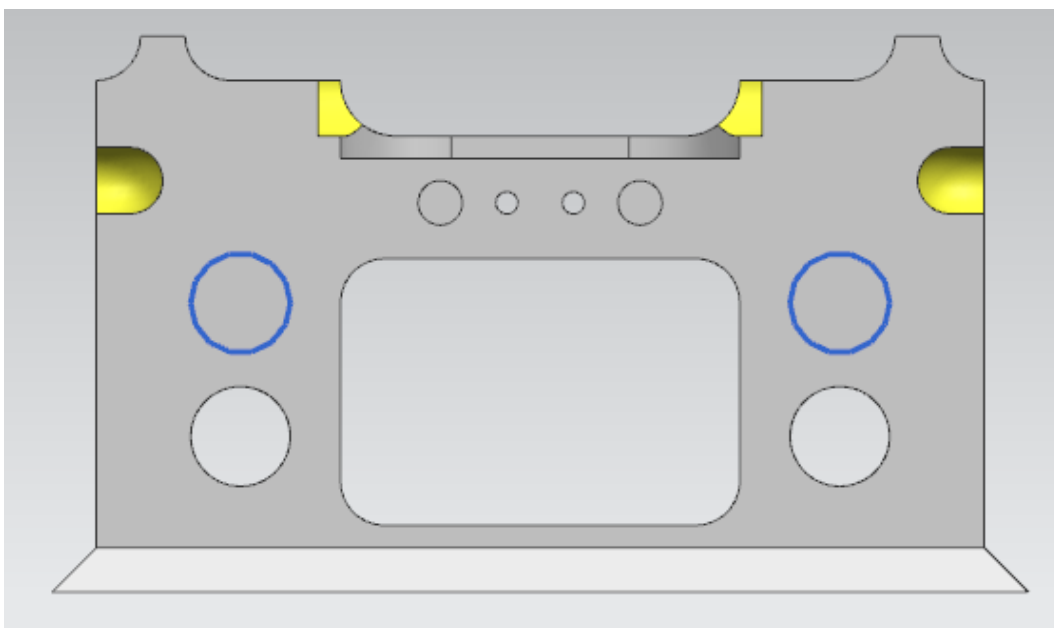


**Kuva 22.** Senkattavat reiät.

Jäystämisessä kuluu viisi minuuttia.

### 7.2.8 Teräsharjattava reikä

Suuret kierrereiät kappaleen sivuilla (kuva 23) puhdistetaan teräsharjalla. Reikiä on yhteensä neljä, kaksi per kappaleen sivu. Rei'istä löytyy ainoastaan metallipölyä.



**Kuva 23.** Teräsharjattavat reiät.

Reikien puhdistamisessa kuluu viisi minuuttia.

**7.3 Työn tulokset**

Työhön kirjoitettiin tässä dokumentissa olevat teoria-, työkalu- ja pohdintaosuudet. Työn suurimmat tulokset ovat itse menetelmäohjeet, ja jäystämisaika- ja materiaalimenekkilista.

Seuraavaksi kerrotaan jäystämisaika- ja materiaalimenekkilistasta. Kellotettuihin aikoihin sisältyy:

- Jäysteenpoisto,
- Lohkon imurointi,
- Hiomapaperin ja hiomarenkaiden vaihdot,
- Työkalujen vaihdot.

Listan materiaaliosioon sisältyy:

- Käytetyn lärppäämiseen tarkoitetun hiomapaperin määrä,
- Käytetyn leveän hiomapaperin määrä,
- Käytettyjen hiomarenkaiden kappalemäärä.

Laskuista on jätetty pois seuraavat asiat:

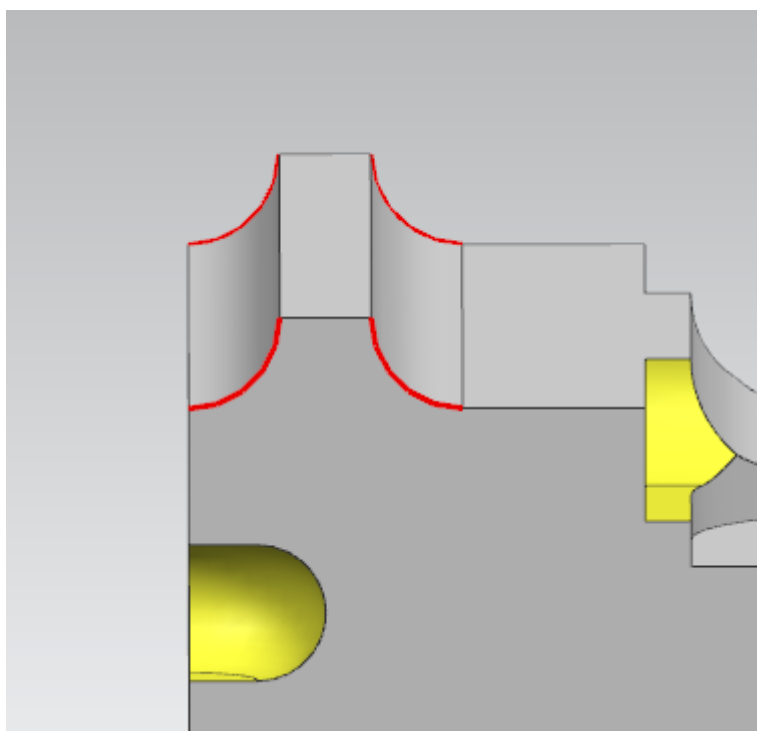
- Tauot,
- Työkalujen korjaaminen,
- Moottorilohkon kääntäminen,
- Jäysteenpoiston aikana käydyt keskustelut,
- Muut jäysteenpoistoon suoraan kuulumattomat asiat.

## 8 ONGELMAT W31-MOOTTORILOHKON JÄYSTÄMISESSÄ

Tähän lukuun on koottu W31-lohkon jäysteenpoiston ongelmat, joita voidaan löytää muista jäystettävistä työkappaleista. Nämä ongelmat havaittiin käytännön jäysteenpoistossa opinnäytetyön kirjoittamisen aikana. Kaikki tämän luvun alla mainitut ongelmat voivat korjaamattomina lisätä materiaalimenekkiä, jäysteenpoistoaikaa ja jäysteenpoiston laadun tarkastamiseen kuluvaan aikaan. Ongelmalliset kohdat on merkitty punaisella huomiovärillä.

### 8.1 Pyöristyksiin yhtyvät kohdat

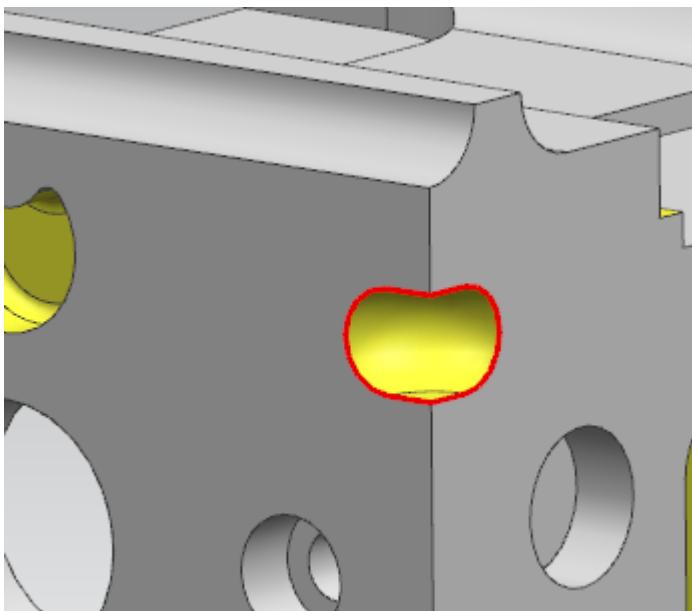
Pyöristyksiin yhtyvissä kohteissa (kuva 24) hiomarullan on pystyttävä kääntymään jäystettävän muodon mukaan, jotta jäysteenpoisto onnistuu. Jos ko. kohta löytyy esimerkiksi työkappaleen alaosasta ja robotin työkalu ei yllä, on harkittava manuaalista jäysteenpoistoa.



**Kuva 24.** Pyöristykseen yhtyviä kohtia.

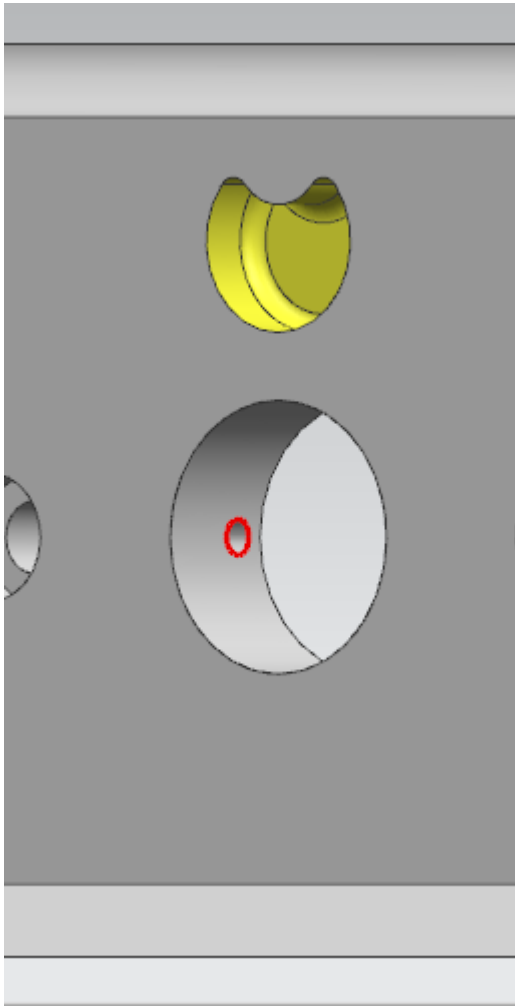
## 8.2 Ahtaat ja mutkien takana sijaitsevat kohdat

Hiomarullalla voi olla ongelmallista jäystää kohtia, jotka ovat lähes samankokoisia kuin hiomarenkaan halkaisija (kuva 25). Tilanpuute voi koitua ongelmaksi, jos jäystettävä kohta on ahtaassa paikassa mutkan takana (kuva 26). Tällöin on tarkastettava, onko kohtaa mahdollista jäystää toisesta kulmasta, esim. yläpuolelta. Jos automatisoitu jäysteenpoisto toisesta kulmasta ei ole mahdollista, kohta on jäystettävä manuaalisesti. Myös työkalun ja robotin käsivarren kokoon on kiinnitettävä huomiota.



**Kuva 25.** Ahdas, hiomarullalla jäystettävä kohta.

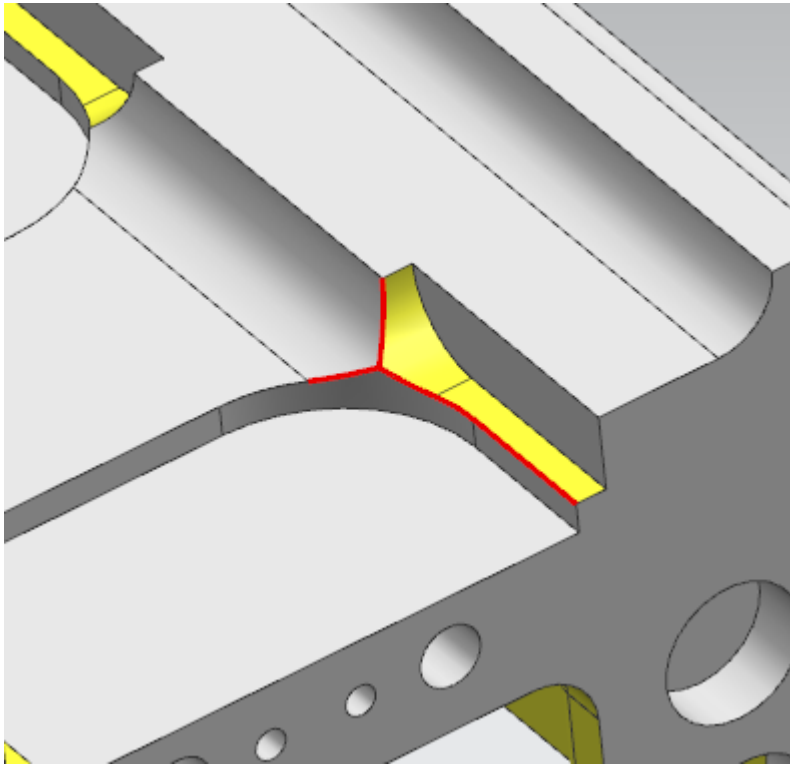




**Kuva 26.** Voitelureikä kulman takana ahtaassa paikassa.

### 8.3 Monimutkaiset reunat

Monimutkaisia reunoja (kuva 27) jäystettäessä hiomarullan on seurattava reunaa tarkoin. Jäysteenpoistossa on varmistettava, että tilaa on riittävästi. Jos reuna sijaitsee lähellä pintaa, jota ei saa naarmuttaa, kohdan jäystimistä käsin on harkittava.



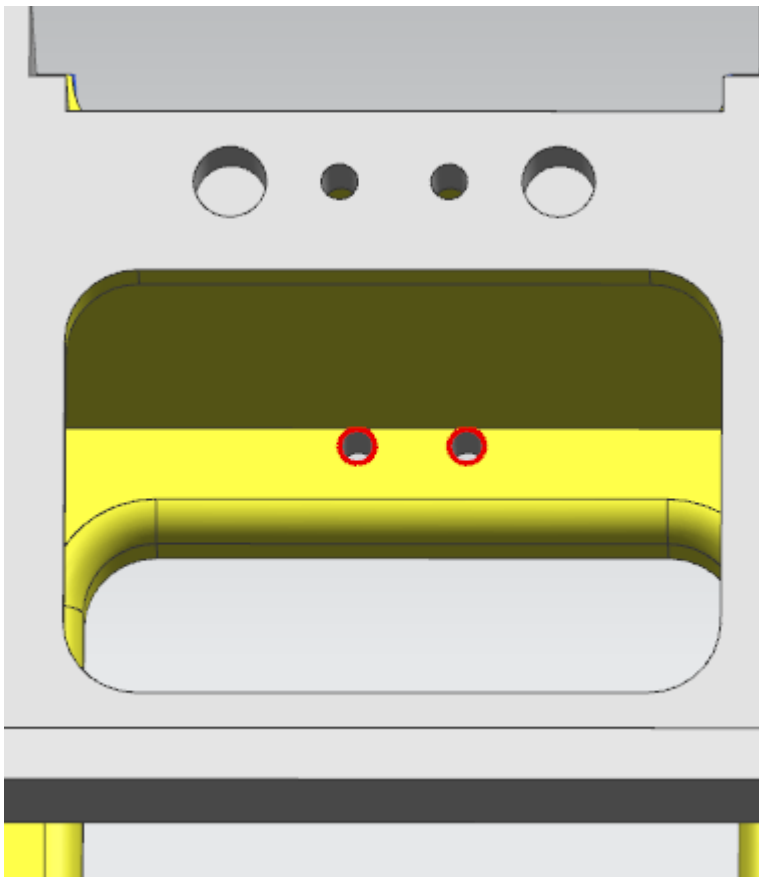
**Kuva 27.** Esimerkki monimutkaisesta reunasta.

#### **8.4 Yksityiskohdat**

Hiomarullalla voi olla vaikeaa jäystää yksityiskohtia, koska rullan yläreuna kuluu nopeasti tasaiseksi. Yksityiskohdaksi voidaan katsoa esim. 1 x 1 mm viiste ja/tai kirjaimet työkappaleessa. Tällaisissa kohdissa on harkittava hiomapaperin ja viilan käyttöä, jos toleransseilla on työkappaleen toiminnan kannalta merkittävä rooli.

#### **8.5 Työkappaleen sisällä sijaitsevat kohdat**

Työkappaleen sisällä sijaitsevia kohteita voi olla vaikeaa jäystää varsinkin silloin, kun kohta sijaitsee mutkan takana (kuva 28). Näitä kohtia jäystettäessä on kiinnitettävä huomiota robotin työkalun kokoon ja kohdan sijaintiin.



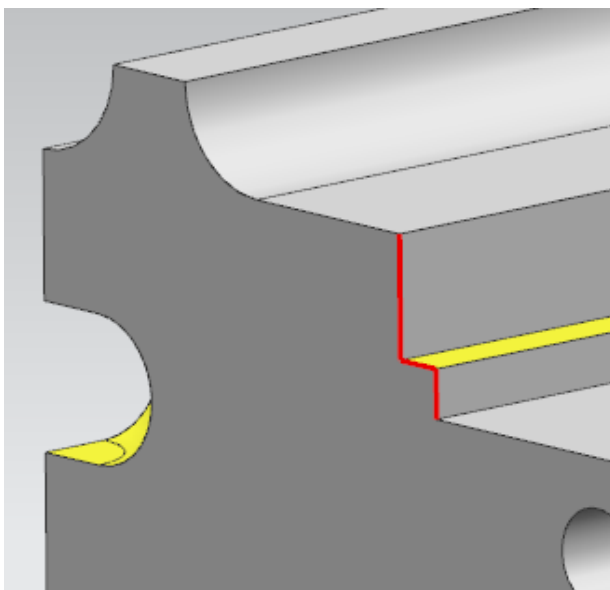
**Kuva 28.** Kappaleen sisällä sijaitsevia reikiä.

### **8.6 Kohdat, joita ei saa naarmuttaa**

Jos jäystettävässä kappaleessa on kohtia, joita ei saa naarmuttaa, on harkittava kohdan jäystämistä käsin. Automaattisessa jäysteenpoistossa lärppäämiseen tarkoitettu hiomapaperi saattaa irrota lärpästä tai hiomarengas repeytyä auki kesken jäysteenpoiston. Näissä tapauksissa lähettyvillä olevat kohdat voivat naarmuuntua.

### **8.7 Suorat ja terävät kulmat**

Suoria ja teräviä kulmia (kuva 29) on vaikeaa jäystää hiomarullalla. Kulmaa ei saada jäystettyä kokonaan kääntämättä rullaa pitkittäin jäystettävään reunaan nähden. Näitä kulmia jäystettäessä on varmistettava, että robotin käsivarrella ja työkalulla on tarpeeksi tilaa jäystää ko. kohdat. Muussa tapauksessa kohdat on jäystettävä käsin.



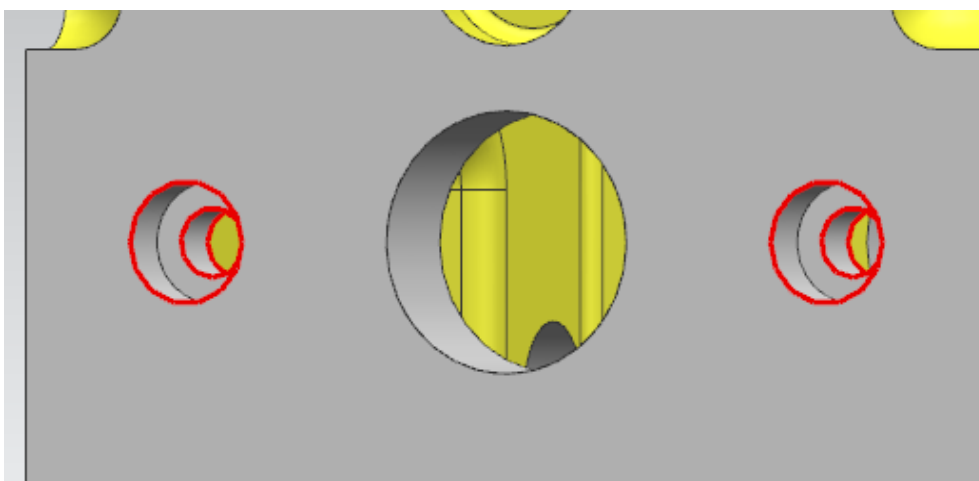
**Kuva 29.** Suorakulmia hiomarullattavassa reunassa.

## 8.8 Erityyppiset lärpättävät reiät

Tähän alilukuun on koottu erityyppisten lärpättävien reikien ongelmia.

### 8.8.1 Porrastetut, lärpättävät reiät

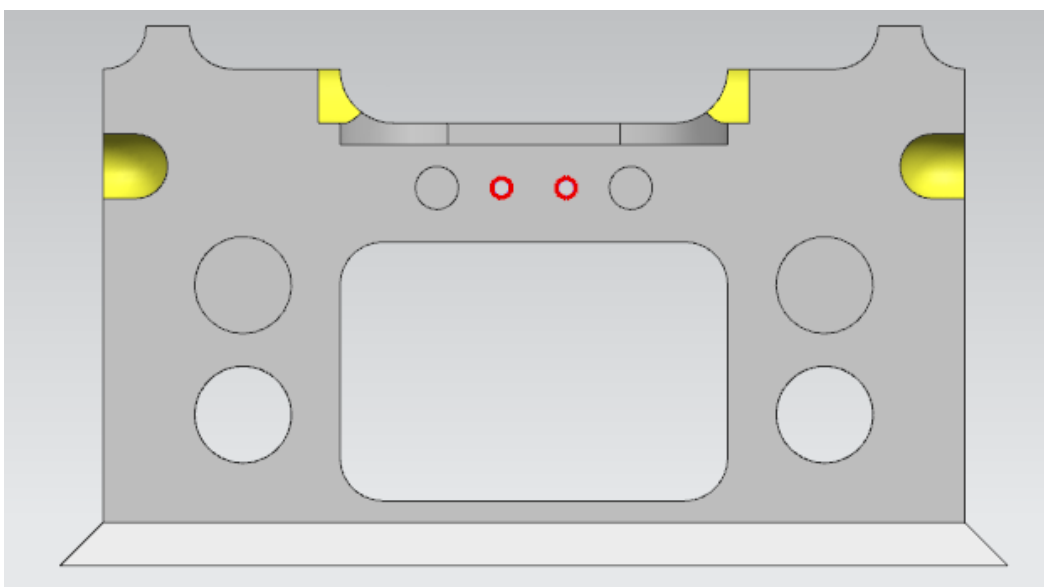
Porrastetuissa, lärpättävissä rei'issä (kuva 30) hiomapaperi voi irrota lärpästä helposti. Hiomapaperi irtoaa todennäköisesti silloin, kun lärppää vedetään pienemmästä reiästä ulos.



**Kuva 30.** Porrastettuja, lärpättäviä reikiä.

### 8.8.2 $\leq \text{Ø} 10 \text{ mm}$ läppättävät reiät

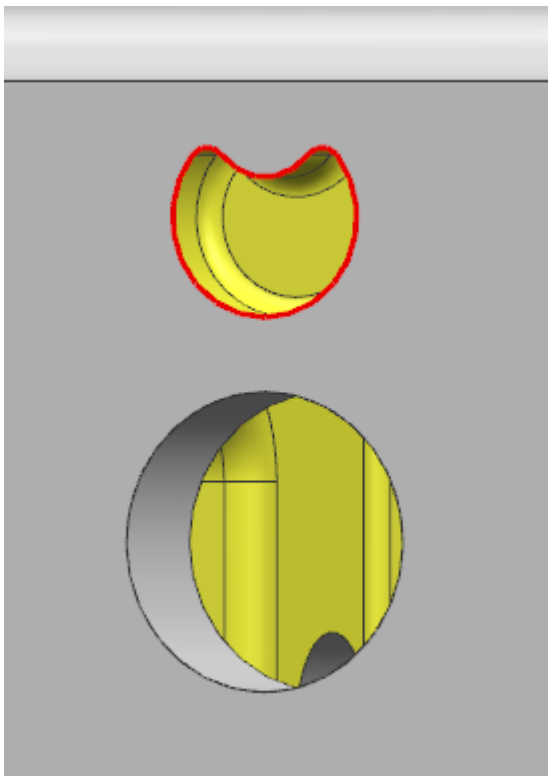
Näissä rei'issä (kuva 31) hiomapaperi voi irrota lärpästä helposti, koska hiomapaperi ja läppätanko eivät ole paljon jäystettävää reikää leveämpiä. Laaduntarkistuksessa näihin reikiin on kiinnitettävä erityistä huomiota.



**Kuva 31.**  $\leq \text{Ø} 10 \text{ mm}$  läppättäviä reikiä.

### 8.8.3 Ei-pyöreät, läppättävät reiät

Ei-pyöreitä, läppättäviä reikiä (kuva 32) on jäystettävä varoen. Muodon vuoksi näitä reikiä ei välttämättä saada jäystettyä tasalaatuisesti. Lärppään kiinnitetty hiomapaperi kuluu voi kulua hyvin nopeasti ei-pyöreän muodon vuoksi. Alla olevassa esimerkkikuvassa reiän yläreuna osuu hiomapaperin reunaan jatkuvasti aiheuttaen hiomapaperin kulumista.



**Kuva 32.** Ei-pyöreä, teholärpällä jäystettävä reikä.

### **8.9 Työkalujen ongelmat**

Työkalujen ongelmat on otettava huomioon jäysteenpoistossa. Työkalujen ongelmat on kerrottu luvussa 4.5.

## 9 ROBOTISOIDUN JÄYSTEENPOISTON HYÖTYJÄ JA HAITTOJA

Tässä luvussa kerrotaan automatisoidun jäysteenpoiston hyötyjä ja haittoja. Myös edellisessä luvussa esiteltyjä ongelmia avataan enemmän tässä luvussa.

### 9.1 Hyötyjä

Robotisoitu jäystäminen on halvempaa ja nopeampaa kuin manuaalinen jäystäminen, kun jäysetään suuria määriä työkappaleita. Robotit voivat käyttää raskaampia ja tehokkaampia työkaluja kuin ihmiset ja jäysteenpoisto on laadultaan parempaa. Roboteilla voidaan jäystä paikkoja, jotka ovat ihmiselle vaarallisia ja ergonomisesti epäedullisia. (Gillespie 1999, 338–339) W31-lohkon tapauksessa vaarallisia paikkoja ovat korkeat paikat horjahtamis- ja putoamisvaarojen vuoksi (liite 1). Myös työntekijöiden ergonomia on epäedullista jäysettäessä matalalla sijaitsevia kohteita (liite 1).

### 9.2 Haittoja

Ohjelmointi ja muut käytännön järjestelyt vievät liikaa aikaa yksittäisten kappaleiden jäystämiseksi (Gillespie 1999, 338). Kirjoittaja väittää myös, että koko moottorilohkon jäysteenpoistoa ei pystytä automatisoimaan. Esimerkkinä on työkappaleen  $\leq 0,5$  mm korkuinen tiivistepinta ja kohdat, joissa jäysettävä reuna yhtyy koneistettuun seinämään. Automatisoitu työkalu ei mahdu jäystämään näitä kohteita osumatta ei-jäysettävään pintaan (Gillespie 1999, 352).

Opinnäytetyössä on esitetty monia automaattisen jäysteenpoiston ongelmakohtia, joita ovat mm. työkalujen kestävyys ja kunto, ahtaissa paikoissa jäystäminen ja laaduntarkkailu. Automaattista jäysteenpoistoprosessia ja jäysteenpoiston laatua on valvottava manuaalisesti työkalujen rikkoontumisen ja onnettomuuksien takia.

Muita robotisoidun jäysteenpoiston rajoitteita ovat robotin riistäytyminen hallinnasta, suuret työkalun syöttöarvot, tahaton ihmiskontakti robottiin, yhtäkkinen työkalun sinkoutuminen ja lentävät kappaleet yleisesti (kuten jäysteenpoistossa irtoavat lastut) (Gillespie 1999, 351). Rajoitteiksi mainitaan myös suuret karano-

peudet ja melutasot (Gillespie 1999, 351), mutta nämä ovat ongelmia myös nykyisessä, manuaalisessa jäysteenpoistossa haastateltujen työntekijöiden mukaan (liite 1).



## 10 POHDINTAA TULEVAISUUDEN JÄYSTEENPOISTOSTA

Wärtsilässä on harkittu Wärtsilä 32 -lohkojen automaattista jäystämistä. Esim. vuonna 2006 Wärtsilälle tehtiin opinnäytetyö, jossa tehtiin Wärtsilä 32 -moottorilohkojen robotisoidun jäysteenpoistosolun simulointi ja työkaluselvitys (Liikaoja, 2006). Voidaan olettaa, että Wärtsilä aikoo automatisoida moottorilohkojen jäysteenpoiston mahdollisimman pitkälle.

Lärppä on toimiva työkalu manuaalisessa jäysteenpoistossa, mutta ongelmallinen automatisoidussa jäysteenpoistossa. Lärpän suurimmat ongelmat ovat  $\leq 20$  mm leveiden hiomapapereiden vaihto ja lärpän mutkalle meneminen. Jatkokehityksessä voidaan miettiä vaihtoehtoja lärpälle automaattisessa jäysteenpoistossa.

Konenäköä voidaan hyödyntää jäysteenpoistossa. Konenäöllä voidaan paikantaa valmiiksi jäysteettömät kohdat lohkosta ja näin pienentää hiomapaperimenekkiä pitkällä aikavälillä. Esimerkiksi Ricohin yhdeksän ja 12 megapikselin linseillä voidaan paikantaa kohteita 147 lp/mm tarkkuudella (RICOH 2020), mikä riittää  $\leq 1$  mm jäysteiden havaitsemiseen.

Kirjoittaja ehdottaa, että koneoppimista voidaan hyödyntää jäysteenpoistossa. Käyttökohteita voivat olla jäystettävien kohteiden ja jäysteiden tunnistaminen, ja vähiten jäystämisaikaa kuluttavan työkaluradan laskeminen.

## 11 YHTEENVETO

Tuotteesta poistetaan jäysteitä turvallisuuden, ulkonäön ja suorituskyvyn takia. Manuaalinen jäysteenpoisto on hyvin yleinen tapa poistaa jäysteitä. Monissa tapauksissa automaattisessa jäysteenpoistossa voidaan käyttää työkaluja, jotka ovat robotin käyttöön suunniteltuja variantteja manuaalisen jäysteenpoiston työkaluista (Gillespie 1999, 347).

Myös W10V31-moottorilohkon automaattisessa jäysteenpoistossa voidaan käyttää robottiin tarkoitettuja versioita nykyisen jäysteenpoiston työkaluista. Eniten huomiota kiinnitetään työkaluun, jolla jäystetään ahtaat tilat ja kohteet, jotka ovat naarmuuntumisherkkien alueiden läheisyydessä. Varovaisuutta on noudatettava myös niiden kohteiden läheisyydessä, joita ei saa naarmuttaa lainkaan. 350 W on riittävä teho työkaluille.

Työhön kirjoitettiin tässä dokumentissa olevat teoria-, työkalu- ja pohdintaosuudet. Työn suurimmat tulokset olivat menetelmäohjeet itsessään, ja jäystämisaika- ja materiaalimenekkilista. Suuri osa W10V31-moottorilohkosta voidaan jäystää automaattisesti lähes ongelmitta. Lärpätessä ongelmallisia paikkoja ovat mm. ahtaat tilat, porrastetut reiät ja  $\leq \varnothing 10$  mm reiät hiomapaperin helpon irtoamisen vuoksi. Hiomarullalla jäystettäessä ongelmallisia kohteita ovat mm. niiden reunojen päät, jotka päättyvät suoriin ja teräviin kulmiin, ja kohteet, jotka ovat hiomarengasta leveämpiä tai lyhyempiä.

Kirjoittaja ehdottaa, että jatkokehityksessä voidaan keskittyä lärpän hiomapaperin vaihtoon ja hienoajon jälkeisen jäysteenpoiston korvaamista automaatiolla. Hienoajon jälkeisessä jäysteenpoistossa hiotaan paljon tarkkuutta vaativia kohtia vauhti- ja vapaassa päässä ja leveää hiomapaperia kuluu vaihtelevia määriä näissä kohteissa. Toistaiseksi nämä kohteet ovat järkevintä jäystää käsin.

## LÄHTEET

Amtru Business AG. 2020. Solidcut 240. Viitattu 12.3.2020.  
<https://www.amtru.com/deburring-fettling-deflashing-tool-solidcut240/81>

Combitecno. 2020. Kärkiupotin 90° HSS. Viitattu 27.4.2020.  
<https://www.combitecno.com/shop/kaerkiupottimet/225-2351-kaerkiupotin-90-hss.html>

Esan paja. 2020. HIOMARENGAS GSB 2220 Z-COOL 50 ZIRCON. Viitattu 24.4.2020.  
[https://kauppa.esanpaja.fi/fin/hiomarengas\\_gsb\\_2220\\_z\\_cool\\_50\\_zircon-p-21799-0](https://kauppa.esanpaja.fi/fin/hiomarengas_gsb_2220_z_cool_50_zircon-p-21799-0)

FMS-Tools. 2020. Xebec keraamiset harjat sisäpuoliseen jäysteenpoistoon ja vii-meistelyyn. Viitattu 21.1.2020. <https://www.fms-tools.fi/tuotteet/lastuavat-tyokalut/jaysteenpoisto-ja-viimeistely/xebec-keraamiset-harjat-sisapuoliseen-jaysteenpoistoon-ja-viimeistelyyn.html>

Henkilö C. 2020. Työkalujen voitelu ja kesto [haastattelu]. 13.3.2020. Wärtsilä. Vaasa.

Gillespie, L. K. 1999. Deburring and Edge Finishing Handbook. Amerikan Yhdysvallat. Society of Manufacturing Engineers.

IKH. 2020. TUPSUHARJA 6MM KARA 30MM TERÄSLANKA 0,25MM. Viitattu 27.4.2020. <https://www.ikh.fi/fi/tupsuharja-6mm-kara-30mm-teraslanka-0-25mm-ob012>

Kärkkäinen. 2020 a. MR-tuote karahiomakone / paineilmavinku. Viitattu 27.4.2020. <https://www.karkkainen.com/verkkokauppa/mr-tuote-karahiomakone-paineilmavinku>

Kärkkäinen. 2020 b. Chicago Pneumatic CP9106Q 240w karahiomakone. Viitattu 27.4.2020. <https://www.karkkainen.com/verkkokauppa/chicago-pneumatic-cp9106q-240w-karahiomakone>

Kielitoimiston sanakirja. 2020. Purse. Viitattu 30.4.2020.  
<https://www.kielitoimistonsanakirja.fi/#/purse>

Liikaoja, J. 2006. *Robotisoidun jäysteenpoistosolun simulointi ja työkaluselvitys*. Vaasan tiedekirjasto Tritonia.

Koivisto, S. Laulaja, J. 2020. Opinnäytetyön seurantalaveri 1 [palaveri]. 21.2.2020. Wärtsilä. Vaasa.

Motonet. 2020. Hiomakivi 2-karkeuksinen. Viitattu 27.4.2020. <https://www.motonet.fi/fi/tuote/781508/Hiomakivi-2-karkeuksinen>

RICOH. 2020. 9 Megapixel (1”) Lenses, 12 Megapixel (1.1”) Lenses. Viitattu 7.4.2020. <https://www.ricoh-iosd.eu/en/9-Megapixel-Lenses.html>

Tooloutlet. 2020. Koneviilasarja, pitkät, HSS, 4-osainen. Viitattu 27.4.2020. <https://www.tooloutlet.fi/fi/Kaikki+tuotteet/Ter%C3%A4t/Py%C3%B6riv%C3%A4t+viilat/385/Koneviilasarja%2C+pitk%C3%A4t%2C+HSS%2C+4-osainen/4214>

Wärtsilä. 2018. Wärtsilä makes significant investment in Finland – the Smart Technology Hub, next-generation innovation and production centre, will be built in Vaasa. Viitattu 5.3.2020. <https://www.wartsila.com/media/news/21-08-2018-wartsila-makes-significant-investment-in-finland-the-smart-technology-hub-next-generation-innovation-and-production-centre-will-be-built-in-vaasa-2251771>

Wärtsilä. 2020. Tietoa Wärtsilästä. Viitattu 16.4.2020. <https://www.wartsila.com/fi/wartsila>

## LIITE 1.

### HAASTATTELU NYKYISESTÄ W31-MOOTTORILOHKON JÄYSTEENPOISTOSTA VAASAN WÄRTSILÄSSÄ.

Tämä on puhtaaksikirjoitettu versio.

#### HAASTATTELU 1

Nimi	B
Asema	Jäystäjä
Kokemus jäystämisestä	19 vuotta
Haastattelupaikka ja -pvm	DCV, 13.1.2020

**1. Mikä on jäysteenpoiston riittävä laatu käytännössä?**

Lohkossa ei ole irtoavia tai teräviä kappaleita eikä millimetrin suuruisia pyöristyksiä.

**2. Missä järjestyksessä jäystät lohkon?**

Senkkaus, koneviilaus, hiomakivellä hiominen, pyöristys pallokivellä (jos tarpeen), hiomarullaus, lärppäys.

**3. Mitkä ovat kriittiset jäystettävät kohdat lohkossa?**

Laakeripesät, öljyreikien yhtymäkohdat, reiät, joihin tulee tiivisterenkaat. Toissijaisia tärkeitä kohtia ovat lohkon terävät ulkoreunat turvallisuussyistä.

**4. Mitä ongelmia ja vaaroja nykyisessä jäysteenpoistossa on?**

Horjahtaminen, kaatuminen, (metalli)pöly, käytettävät aineet (esim. Multi-spray ja suojaöljy), ergonomia on usein huono.

## HAASTATTELU 2

Nimi	A
Asema	Jäystäjä
Kokemus jäystämisestä	15 vuotta
Haastattelupaikka ja -pvm	DCV, 13.1.2020

### **1. Mikä on jäysteenpoiston riittävä laatu käytännössä?**

Lohko on tarpeeksi hyvin jäystetty, kun mikään kohta ei aiheuta ranteseen haavaa.

### **2. Missä järjestyksessä jäystät lohkon?**

”Osastoittain”. Esim. ensin jäystetään pitkällä lärpällä moottorilohkon alaosassa olevat reiät ja siirrytään ylöspäin. Jäystetään yksi lohkon puoli kerrallaan.

### **3. Mitkä ovat kriittiset jäystettävät kohdat lohkossa?**

Moottorin toiminnan kannalta kriittiset reiät.

### **4. Mitä ongelmia ja vaaroja nykyisessä jäysteenpoistossa on?**

Palkka on huono, kompastumisvaara, putoamisvaara, kolhut, (metalli)pöly, stressi ja työn jatkuva keskeytyminen (mm. esimiesten kanssa käytävät pitkätköt keskustelut).

