



Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Konetekniikka

Koneistusprosessin optimointi parannelluilla voitelu- ja jäähdy- tystekniikoilla

Alexi Timonen

Opinnäytetyö, maaliskuu 2024

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2024
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 Joensuu
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä(t)
Aleksi Timonen

Nimeke
Koneistusprosessin optimointi parannelluilla voitelu- ja jäähdytystekniikoilla

Toimeksiantaja
Abloy Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää vaihtoehtoisten voitelu- ja jäähdytysmenetelmien soveltuvuus Abloy Oy:n avainprofilointikoneelle. Käytössä oleva öljysumuvoitelu tuo haasteita koneen puhtaanapitoon ja öljysumun sekä koneistuslastun sekoitus aiheuttaa ylimääräistä kunnossapitoa työstökoneelle. Leikkuuöljyn kertyminen koneen ilmanvaihtoon aiheuttaa turvallisuusriskejä koneen ulkopuolelle öljyvuo-tojen muodossa.

Työssä analysoitiin pääasiassa kolmea eri voitelu- ja jäähdytysmuotoa, jotka olivat kiviakoneistus, öljysumu sekä ionisoitu kylmäilmahuuhallus. Tavoitteena oli, että saatuja lopputuloksia voitaisiin käyttää valitun voitelun tai jäähdytyksen jatkotestauksiin muilla koneilla. Lähtötilanteessa selvitettiin käytössä olevan öljysumuvoitelun vahvuudet ja heikkoudet. Testien aikana kerättiin dataa työkalujen kestoista ja pyrittiin parantamaan tuloksia pienillä muutoksilla. Lopuksi valittiin työkalun tuottavuuden kannalta tehokkain menetelmä, sekä menetelmää verrattiin vaihtoehtoisiin voitelu- ja jäähdytysmenetelmiin. Työn aikana suoritettiin lisäksi värinämittauksia tutkittavalle työstöasemalle sen kunnan todentamiseksi. Tehtyjä mittauksia voisi hyödyntää tulevaisuudessa työstökoneiden kunnossapitoseurantaan.

Opinnäytetyön päätuloksena havaittiin, että vaihtoehtoisilla voitelu- ja jäähdytysmuodoilla työkalujen tuottavuudet eivät ole toivotulla tasolla. Testatut voitelu- ja jäähdytysmenetelmät vaativat jatkotestauksia edistyneemmillä muutoksilla. Värinämittaukset antoivat hyvän kuvan siitä, että työstöprosessissa ei ollut merkittäviä ylimääräisiä värinöitä, jotka olisivat voineet vaikuttaa testien tuloksiin.

Kieli Suomi

Sivuja 56
Liitteet 4
Liitesivumäärä 7

Asiasanat
lastuava työstö, voitelu, jäähdytys, optimointi, tuottavuus



THESIS
March 2024
Degree Programme in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
FI 80200 Joensuu
FINLAND
+358 13 260 600

Author(s)
Aleksi Timonen

Title
Optimizing Machining Process with Improved Lubrication and Cooling Techniques

Commissioned by
Abloy Oy

Abstract

The aim of the thesis was to investigate the suitability of alternative lubrication and cooling methods for Abloy Oy's key profiling machine. The currently used oil mist lubrication presents challenges in maintaining the cleanliness of the machine, and the mixture of oil mist and machining chips causes additional maintenance for the machining equipment. Accumulation of cutting oil in the machine's ventilation system poses safety risks outside the machine in the form of oil leaks.

The thesis primarily analyzed three different lubrication and cooling methods: dry machining, oil mist, and ionized cold air blowing. The objective was to use the obtained results for further testing of the selected lubrication or cooling method on other machines. Initially, the strengths and weaknesses of the current oil mist lubrication were identified. Data on tool lifetimes were collected during the tests, and attempts were made to improve the results with minor adjustments. Finally, the most efficient method in terms of tool productivity was selected, and this method was compared to alternative lubrication and cooling methods. Vibration measurements were also conducted during the study to assess the condition of the machining station. The collected measurements could be utilized in future maintenance monitoring of the machining equipment.

The main finding of the thesis was that the productivity of tools with the alternative lubrication and cooling methods was not at the desired level. The tested lubrication and cooling methods may require further testing with more advanced modifications. Vibration measurements provided a good indication that there was no significant additional vibration in the machining process that could have affected the test results.

Language Finnish

Pages 56
Appendices 4
Pages of Appendices 7

Keywords
chip removal, lubrication, cooling, optimisation, productivity

Sisältö

1	Johdanto	6
1.1	Abloy Oy	6
1.2	Työn kuvaus ja rajaus	7
2	Koneistuksen perusteita	8
2.1	Lastuava työstö	8
2.2	CNC-koneistus	8
2.3	Lastuavan työstön työstöliikkeet	9
2.4	Terämateriaalit ja pinnoitteet	11
2.5	Jäähdytys- ja voitelumenetelmät	12
2.5.1	Leikkuuöljy	12
2.5.2	Paineilmajäähdytys	14
2.5.3	Ionisoitu kylmäilmapuhallus	15
3	Tuotannon tunnuslukuja	18
3.1	Toimitusvarmuus	18
3.2	Prosessin läpimenoaika	19
3.3	Tuottavuus	19
4	Projektin kannattavuus ja takaisinmaksu	20
5	Työn toteutus	21
5.1	Aloitus	21
5.2	Lähtötilanne	23
5.3	Työolosuhteet	29
5.4	Menetelmät	29
6	Käytännön kokeet	30
6.1	Kokeiden valmistelu	30
6.2	Öljysumu	30
6.3	Ionisoitu kylmäilmapuhallus	31
6.4	Paineilma	38
6.5	Karan värinämittaus	38
6.5.1	Värinämittausten valmistelu	38
6.5.2	Värinämittausten suorittaminen	44
7	Tulokset ja johtopäätökset	45
7.1	Jäähdytys- ja voitelutestit	45
7.2	Värinämittaus	50
8	Pohdinta	54
	Lähteet	55

Liitteet

Liite 1	Ohjeistus työntekijälle.
Liite 2	Tiedonkeruupohja.
Liite 3	Värinämittausten ohjeistus.
Liite 4	Täytetty tiedonkeruupohja.

Kuvat

Kuva 1	MQL laitteisto.
Kuva 2	Paineilmajärjestelmä työstökoneessa.
Kuva 3	Silvent AB:n tarjoama SILVENT F1 -paineilmasuutin.
Kuva 4	Ionisaattorin toimintaperiaate 1.
Kuva 5	Ionisaattorin toimintaperiaate 2.

- Kuva 6 Kappale A, ympyröitynä koneistustapahtuma 8.
Kuva 7 Työstöasema, jossa testit suoritetaan.
Kuva 8 Koneistusasema ennen muutosten tekoa.
Kuva 9 Öljysumuvoitelun suutin, joka atomisoi öljyn paineilman sekaan.
Kuva 10 Työstettävä aihio.
Kuva 11 Testeissä käytettävä työkalu.
Kuva 12 Kylmälaite jäähdyttää puhallettavan ilman.
Kuva 13 Ionisaattorin tehtävä on ionisoida läpi kulkeva paineilma.
Kuva 14 Työstöasema ilman peittävää suojalevyä.
Kuva 15 Ionisoitu paineilma suunnattiin leikkuupisteeseen itsevalmisteisella suuttimella.
Kuva 16 Erytisvalmisteinen suutin voisi parantaa voitelua prosessissa.
Kuva 17 Adapterit värinämittaustantureiden kiinnitykseen.
Kuva 18 Mitta-anturi, IEPE Accelerometer sensor, IMI – 621B51, sn. 5636.
Kuva 19 Vahvistin, Measuring Amplifier, HBM – MX840B, sn. 9E50072F7.
Kuva 20 Adapterit liimattuna työstökoneeseen.
Kuva 21 Mittausanturit kiinnitettiin magneeteilla.

Kuviot

- Kuvio 1 Työkalujen kesto havainnollistettuna kuvioon.

Taulukot

- Taulukko 1 Työkalujen kesto ennen kokeita.
Taulukko 2 Työkalun kesto ennen testejä öljysumulla.
Taulukko 3 Työkalun kesto testeissä öljysumulla.
Taulukko 4 Työkalun kesto kuivakoneistuksena.
Taulukko 5 Työkalun kesto ionisoidulla kylmäilmapuhalluksella.
Taulukko 6 Värinän RMS-arvot, paineilma päällä.
Taulukko 7 Värinän RMS-arvot, paineilma pois päältä.
Taulukko 8 Mitattu data X-, Y- ja Z-akseleiden antureilta.
Taulukko 9 Yksi avain, paineilma.
Taulukko 10 Yksi avain, ionisoitu paineilma.
Taulukko 11 Yksi avain, öljysumu.
Taulukko 12 Eri jäähdytysten tulokset yhdessä taulukossa.

Lyhenteet

CAD	Computer-Aided Design
CAM	Computer-Aided Manufacturing
CNC	Computer Numerical Control
DC	Direct Current
DLC	Diamond-Like Carbon
KPI	Key Performance Indicator
MQL	Minimum Quantity Lubrication
NC	Numerical Control
ROI	Return on Investment
RMS	Root Mean Square

1 Johdanto

Kasvavilla kansainvälisillä markkinoilla kilpailu on kovaa ja yritysten kilpailukykyä koetellaan jatkuvasti. Yrityksiltä vaaditaan entistä enemmän nopeutta sekä tehokkuutta, joka johtaa siihen, että jatkuvaa parannusta tulee tehdä kaikkiin tuotantoprosesseihin liittyen. Suomalaisten yritysten kilpailu maailmalla on kovaa, sillä suomessa valmistettujen tuotteiden laatuvaatimukset ovat korkeita johtuen vankasta osaamisesta sekä ammattitaidosta. Tuotteen haluttavuuteen vaikuttaa lisäksi imago, markkinointi, toimitusvarmuus, ekologisuus sekä palveluiden luotettavuus.

1.1 Abloy Oy

Abloy Oy:n tarina lähti Emil Henrikssonin ajatuksesta haittalevyillä toimivasta lukosta vuonna 1907. Henriksson haki keksinnölleen patentin vuonna 1918 ja pian myöntämisen jälkeen perustettiin Aktiebolaget Låsfabriken – Lukkotehdas osakeyhtiö. Myöhemmin yritys sai nykyään tunnetun nimen, Abloy Oy. Abloy Oy on yksi suomen tunnetuimmista ja arvostetuimmista lukitusratkaisuihin erikoistuneista yrityksistä. Yhtiöllä on pitkä historia sekä vahva asema lukitusalan edelläkävijänä ja se on tullut tunnetuksi huippuluokkaisista ja innovatiivisista lukitusratkaisuistaan niin sähköisissä, kuin mekaanisissa lukostoissa. Abloy Oy:n päätoimipaikkana toimii 1968 Joensuuhun perustettu tehdas, joka työllistää noin 800 henkilöä. Tehtaan järjestelmiin kirjataan päivittäin 1000 tilausriviä ja sieltä toimitetaan asiakkaille 3,4 miljoonaa tuotetta vuosittain. (Abloy Oy 2024.)

Abloy Oy:n toiminta kattaa laajan valikoiman tuotteita sekä palveluita. Tuotteisiin kuuluu mekaaniset lukostot, sähköiset lukitusjärjestelmät sekä digitaaliset turvallisuusratkaisut. Yrityksen huippuluokkainen mekaaninen- sekä sähkömekaaninenlukitus perustuu ainutlaatuiseen ja patentoituun avainprofiiliteknologiaan. Huipputurvallisten lukitusratkaisujen ansiosta yritys on erittäin arvostettu brändi niin Suomessa kuin ympäri maailmaa. (Abloy Oy 2024.)

1.2 Työn kuvaus ja rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella ja optimoida jyrinnässä käytettävää jäähdytys- tai voitelumenetelmää. Nykyinen työstöprosessi käyttää jäähdytys- ja voitelumuotoa, joka tuo prosessiin leikkuuöljyä sumun muodossa (MQL). Öljysumu tuo mukanaan haasteita koneen puhtaanapitoon, sekä koneen muovi- ja kumiosien keston. Työstökoneella oleva lastunpoistoimuri imee myös mukansa lastun lisäksi öljyä, jota ei saisi tapahtua. Öljysumun ja lastun sekoitus imurin kanavistossa aiheuttaa pitkällä aikavälillä lisäkustannuksia laitteiston ylläpitoon, sekä altistaa koneen öljyvuodoille. Öljyvuodot työympäristössä ovat turvallisuusriski, ja pahimmassa tapauksessa ne voivat johtaa työtaturmiin ja loukkaantumisiin. Lisäksi öljysumun hengittäminen voi aiheuttaa terveyshaittoja. Työn aikana vertaillaan valittuja voitelu- ja jäähdytysmenetelmiä.

Opinnäytetyön aihe jakaantuu teoriaosaan, käytännön testauksen suorittamiseen, tulosten arviointiin sekä pohdintaosuuteen. Työssä vertaillaan työkalujen käyttöikää eri voitelu- aja jäähdytysmenetelmillä sekä kappaleiden läpimenoaikoja menetelmän vaihtuessa. Valituista menetelmistä tehdään karkea taloudellinen arviointi sekä niiden välittömät vaikutukset työympäristöön, työntekijöiden työhyvinvointiin ja työstöprosessin tehokkuuteen huomioidaan.

Aihe rajataan koskemaan yhtä työstökoneetta. Koneessa on kymmenen asemaa, joista kahdeksan on työstäviä koneistusasemia. Voitelu- ja jäähdytystestit tapahtuvat näistä ainoastaan yhdessä asemassa. Muiden koneistusasemien jäähdytyksiin tai voiteluihin ei tehdä muutoksia. Testaukset suoritetaan ainakin kolmella eri menetelmällä, joita ovat kuiva-ajo, öljysumu sekä ionisoitu kylmäilmapuhallus. Testeihin lisätään vielä pelkkä paineilmapuhallus, jos se nähdään tarpeelliseksi.

2 Koneistuksen perusteita

2.1 Lastuava työstö

Lastuavalla työstöllä tarkoitetaan tuttavallisemmin koneistusta, jossa työstettävästä kappaleesta poistetaan materiaalia lastuamalla koneellisesti. Koneistuksessa työkalun terä leikkaa, poraa tai kaivertaa materiaalia, jolloin syntyvä lastu irtaana ja haluttu koneistuspinta saadaan aikaiseksi. Lastuamalla tapahtuvaa työstöä on muun muassa jyrsintä, sorvaus sekä poraus. Koneistettuja osia löytyy esimerkiksi jokaisesta polttomoottorilla toimivasta laitteesta, sillä se on yleisin tapa valmistaa mittatarkkoja osia. (Manve Oy 2024.)

2.2 CNC-koneistus

CNC-koneistuksella tarkoitetaan koneistusprosessia, jossa työstökone ajaa ennalta ohjelmoitua G-koodia automaattisesti ilman käyttäjän tarvetta puuttua koneen toimintaan ohjelmoinnin jälkeen. NC-koneet ovat näistä alkeellisempi versio, jossa työstökoneen ohjauksena käytetään reikänauhaa tai reikäkorttia, johon koneella tapahtuvat työstövaiheet kirjoitetaan. (Heinonen & Kalliolahti 2020, 87.)

CNC-työstökoneiden historia juontaa juurensa jo 1940-luvulle, kun John T. Parsons aikoi ensimmäisten joukossa valmistaa työstökoneen, jota ohjattiin reikänauhalla. Reikänauhaohjauksen kehityksen avulla Parsons neuvotteli yritykselleen sopimuksen rakentaa Yhdysvaltain ilmavoimille ensimmäisen NC-työstökoneen vuonna 1949. (Lee 1995.)

NC-tekniikan kehittyttyä vuosikymmenien ajan tietokoneohjatut CNC-koneet yleistyivät 1960-luvun loppupuolella. Tämän myötä ohjelmien tekeminen ja muokkaaminen helpottuivat tekstimuotoisen G-koodin yleistyttyä. Myöhemmin 1970-luvulla CNC-koneiden ohjelmointi mullistui, kun CAD/CAM-ohjelmointi mahdollisti koneiden ohjelmoinnin tietokoneella. Sen myötä pystyttiin tekemään monipuolisempia työstötapahtumia koneille. (Heinonen & Kalliolahti 2020, 87.)

CNC-tekniikkaa hyödyntävät koneet ovat mahdollistaneet monimutkaisempien kappaleiden valmistuksen kustannustehokkaasti. Hyviä puolia CNC-koneissa on, että niiden tuotantotehokkuus on omaa luokkaansa verrattuna perinteisiin manuaalikoneisiin. CNC-koneelle voidaan yhdistää monta eri työvaihetta ja valmistaa samaan aikaan monta kappaletta kopioiden työvaiheet toisesta kappaleesta. Nykyiset työstökoneet tuottavat tehokkaasti tasalaatuista jälkeä, jonka myötä monimutkaisetkin kappaleet pystytään valmistamaan täysin automaattisesti. (Heinonen & Kalliolahti 2020, 87–88.)

CNC-koneelle voidaan siirtää myös raskaita tai toistavia työvaiheita, joka lisää työmuukavuutta ja vähentää työstä aiheutuvaa turhaa fyysistä rasitusta. Myös vaarallisia työvaiheita voidaan automatisoida, joka parantaa työturvallisuutta. Uusimmat työstökoneet on voitu koteloida paremmin, sillä koneistajan ei tarvitse työstöprosessin aikana päästä kappaleeseen käsiksi. Tämä vähentää merkittävästä terveellisyysriskejä, kun lastuamisnesteet, öljyt, lastut ja prosessista syntyvät epäpuhtaudet pysyvät koneen sisällä. Koneet on varustettu myös turvakytkimillä, jotka valvovat, että suojia käytetään oikein. (Heinonen & Kalliolahti 2020, 87–88.)

2.3 Lastuavan työstön työstöliikkeet

Lastuavan työstön keskeisiä käsitteitä ovat erilaiset työstöarvot. Oikeiden työstöarvojen avulla varmistetaan työn tehokkuus ja työkalujen kesto. Työstöarvoilla on myös suuri merkitys prosessin mittatarkkuuteen sekä työstöjälkeen. Tärkeimmät näistä ovat lastuamisliike, syöttöliike sekä asetusliike. (Maaranen 2012, 16–18.)

Lastuamisliikkeellä tarkoitetaan lastuamisnopeutta (v), jolla teräsärmä liikkuu työstettävän kappaleen pintaan nähden. Lastuamisnopeus lasketaan työkalun tai sorvattavan kappaleen halkaisijasta. Yksikkönä käytetään m/s tai m/min. (Maaranen 2012, 16.) Laskentaan on Sandvik Coromant Finland Oy:n (2024) mukaan olemassa yksinkertainen kaava, jolla saadaan selville asetettava lastuamisnopeus (kaava 1).

$$v_c = \frac{\pi * DC_{ap} * n}{1000} \quad (1)$$

jossa

v_c	Lastuamisnopeus
DC_{ap}	Lastuamishalkaisija lastuamissyvydessä
n	Kierrokset minuutissa

Maarasen (2012, 16–17) mukaan syöttöliike (s) tarkoittaa jyrsiessä pöydän syöttöliikkeen nopeutta terään nähden, yksikkönä mm/min. Sorvatessa taas syöttöliike käsittää matkan, jonka terä kulkee kappaleen pinnalla yhden pyörähdysten aikana yksikkönä mm/r. Laskentaan on Sandvik Coromant Finland Oy:n (2024) mukaan olemassa yksinkertainen kaava, jolla saadaan selville asetettava pöytäsyöttö (kaava 2).

$$v_f = f_z * n * ZEFF \quad (2)$$

jossa

v_f	Pöytäsyöttö
f_z	Hammassyöttö
n	Kierrosnopeus
$ZEFF$	Tehollinen lastunsyvyys

Asetusliikkeellä määritetään lastuamissyvyys (a), eli kuinka syvällä kappaleessa työkalu lastuaa. Leikkuun syvyys vaikuttaa syntyvän lastun poikkileikkauspinta-alaan, joka vaikuttaa terään kohdistuviin leikkausvoimiin, sekä lastuamisnopeuden valintaa. Lastuamissyvyys on olennainen tekijä mittatarkkoja työstöjä tehtäessä. (Maaranen 2012, 16–18.)

2.4 Terämateriaalit ja pinnoitteet

Koneistuksessa käytetään yleisesti kolmea eri teräaineesta valmistettua työkalutyyppeä, jotka ovat kovametalli, pikateräs sekä keraamiset teräaineet. Jokaisella materiaalilla on omat erikoisominaisuutensa, joten terävalinta tehdään käyttötarkoituksen mukaan. (Maaranen 2012, 25–29.)

Kovametalliterät valmistetaan sintraamalla kovien aineiden sekoituksia. Yleisimmin käytettyjä materiaaleja ovat volframinkarbidit ja erilaiset sideaineet, kuten koboltti. Sekoitukset kuumennetaan noin 1500 celsiusasteeseen ja puristetaan paineen alla aihiksi, minkä jälkeen aihio hiotaan haluttuun muotoon. Kovametalli kestää kulumista, sekä lastuamisominaisuudet säilyvät vielä liki 1000 celsiusasteen lämpötiloissa. Tämän ansiosta kovametalliterät sallivat suuria lastuamistehoja ja -nopeuksia ja ovat siksi useinten käytetty terämateriaali teollisuudessa. Kovametalliterän lastuavuutta voidaan parantaa vielä alumiinioksidija titaanikarbidipinnoituksella. (Maaranen 2012, 25–28.) Kovametallityökaluilla lastuamisnopeudet voivat olla jopa kaksin- tai kolminkertaiset HSS terään nähden (MacDougall 2020).

Pikateräs (HSS) on toinen yleinen lastuavassa työstössä käytetty terämateriaali, jonka ominaisuudet poikkeavat kovametallista. Metalliseos on sitkeämpää ja sen muotoilu haluttuun terämuotoon on helpompaa. Pikateräs ei kuitenkaan kestä lämpöä kovametallin lailla, joten siitä valmistettujen työkalujen lastuamisnopeudet ovat huomattavasti heikommät, noin 40–60 metriä minuutissa. (Heinonen & Kalliolahti 2020, 36.)

Keraamiset teräaineet ovat lämmönkestäviä ja koostuvat usein alumiinioksidin, titaanin ja hiilen yhdisteistä. Seoksissa käytetään myös eri metalleja kuten nikkeliä, molybdeeniä, kobolttia ja kromia. Isojen kehitysaskelien vuoksi keraamiset teräaineet ovat lisääntyneet kovien terästen ja valurautojen sarjatuotannossa. Keraamiset teräaineet mahdollistavat jopa kaksin- tai kolminkertaisen lastuamisnopeuden kovametalliin nähden. (Maaranen 2012, 29.)

2.5 Jäähdytys- ja voitelumenetelmät

Oikean jäähdytys- sekä voitelumenetelmän käyttö koneistusprosessissa on tärkeää, sillä se vaikuttaa merkittävästi työkalun käyttöikään sekä työstettävän pinnan laatuun. Menetelmiä on useita, mutta niistä yleisimpiä ovat paineilma, leikkuuneste sekä öljysumu. Työstötapahtumassa syntyy kitkaa ja lämpöä, kun terää syötetään materiaaliin. Ylimääräinen lämpö saa työstökappaleessa aikaan odottamattomia muodonmuutoksia, joita on hankala ennustaa. Liiallinen lämpö aiheuttaa myös ennen aikaisen työkalun rikkoutumisriskin. (Heinonen & Kallio-lahti 2020, 16.)

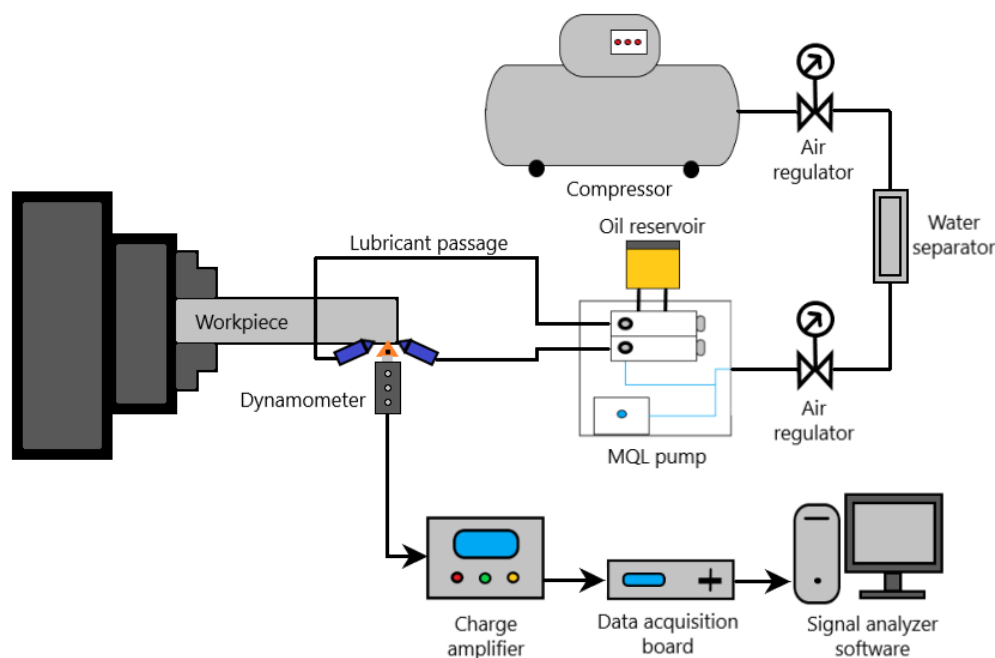
Lastujen mukana poistuu noin 75 % prosessissa syntyvästä lämmöstä ja noin 15 % siirtyy työkaluun. Loput lämmöstä johtuu työkaluun. Siksi lastujen poissaanti työstöalueelta on tärkeää lämmönhallinnan kannalta. Erilaisille lastuamisprosesseille on kehitetty niitä parhaiten vastaavia jäähdytysmenetelmiä. Enemmän jäähdytystä tarvitsevat prosessit käyttävät yleensä leikkuunestettä, joka on veden ja leikkuuemulsion sekoitus. Rungas leikkuunesteen käyttö on tehokas tapa poistaa lastut työstöalueelta. Vähemmän jäähdytystä, mutta enemmän voitelua kaipaavat prosessit käyttävät öljyjä, jotka vähentävät kitkaa lastuamisprosessissa. (Ashmawy, Elsheikh & Elkassas 2023, 23.)

2.5.1 Leikkuuöljy

Leikkuuöljyt ovat emulgoitumattomia mineraaliöljyjä, jotka on valmistettu jalostamalla raakaöljyjä. Leikkuuöljyihin lisätään eläin- sekä kasviöljyjä parantamaan lämmönjohtumista sekä voitelua. Alun perin eläin- ja kasviöljyjä käytettiin pelkänään voiteluaineena leikkausprosessissa, mutta biohajoavuuden takia niiden käyttöikä ei ole yhtä pitkä kuin perinteisillä mineraaliöljyillä. Toisaalta biohajoavuuden takia ne ovat ympäristöystävällisiä, mutta tiheämpi vaihtoväli tekee niistä kalliimpia käyttää. Tämän takia niiden käyttö on siirtynyt lähinnä mineraaliöljyyn sekoitettaviksi lisäaineiksi parantamaan voitelua. (Xometry Europe GmbH. 2019.)

Öljyvoitelussa yleensä päätarpeena on voitelun parantaminen, eikä niinkään terän tai kappaleen jäähdytys. Leikkuuöljy soveltuu niin kevyiden kuin raskaiden koneistusprosessien voiteluun varsinkin kovia materiaaleja käyttäessä. Soveltuvia koneistusprosesseja ovat esimerkiksi sorvaus, hoonaus, avennus ja poraus. (HAI LU JYA HE Co. 2024.) Leikkuuöljyä käytetään kuitenkin useinten raskaissa työstökohteissa, kuten hammaspyörien hampaiden valmistuksessa. (Heinonen & Kalliolahti 2020, 17.)

Öljyä käytetään myös öljysumun muodossa, jota kutsutaan myös lyhenteellä MQL, eli Minium Quantity Lubrication. Öljysumu puhalletaan terän ja kappaleen kontaktipintaan atomisoituneena sumuna. Sen osuessa pintoihin, muodostuu ohut suojakalvo kappaleen ja työkalun väliin vähentäen työstössä aiheutuvaa kitkaa ja lämpöä. Öljysumu on suunniteltu jäähdyttämään tiettyä pienempää aluetta ja siksi öljysumu soveltuukin parhaiten pienten ja tarkkojen koneistusten voiteluun. (Ashmawy ym. 2023, 25–26.) Kuvassa 1 on havainnollistettu öljysumulaitteisto.



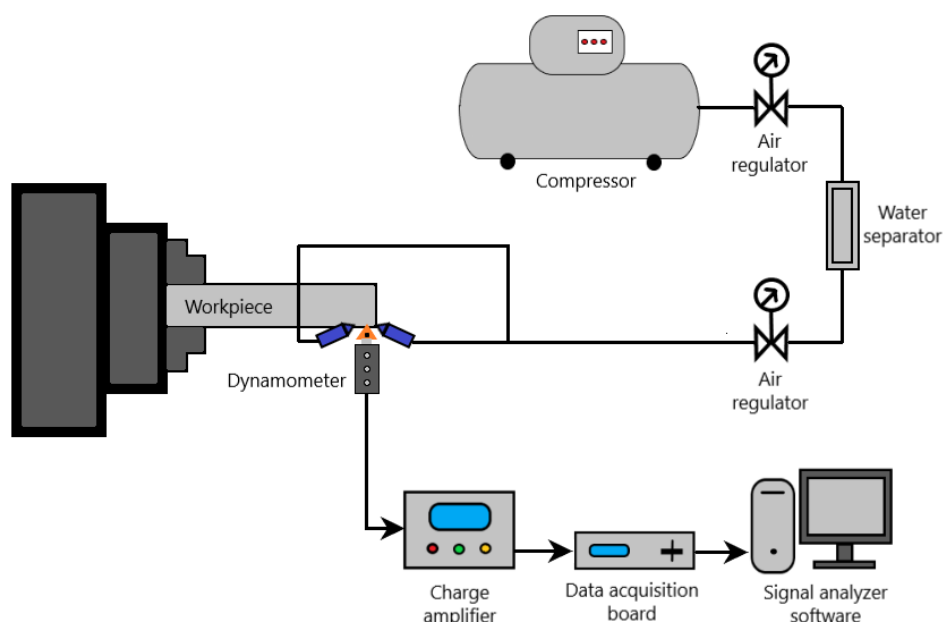
Kuva 1. MQL laitteisto (Kuva: Ashmawy ym. 2023, 25 mukailten).

Öljysumussa on kuitenkin terveysriskejä, sillä koneistustapahtuman aikana atomisoitunut öljysumu voi kuumuuden seurauksena höyrystyä hengitysilmaan.

Siksi tehokas ilmanvaihto on tärkeää kyseistä jäähdytysmuotoa käyttäessä. (Ashmawy ym. 2023, 25–26.)

2.5.2 Paineilmajäähdytys

Paineilmajäähdytystä on pidetty toissijaisena leikkuunesteiden ollessa laajalti saatavilla. Kuitenkin ekologisten sekä taloudellisten valintojen teko yrityksissä on suunnannut katseita myös paineilmajäähdytykseen. Kun jäähdytykseen käytetään pelkkää paineilmaa, ei muodostu minkään laista loppujätettä eikä jäähdytyksestä synny juoksevia kuluja. Paineilmalaitteisto on myös yksinkertainen, joten sen ylläpito on helpompaa. Kuvassa 2 on laitteisto yksinkertaistettuna. (Boswell 2008, 62–63.)



Kuva 2. Paineilmajärjestelmä työstökoneessa (Kuva: Ashmawy ym. 2023, 25 mukaillen).

Paineilmajäähdytystä käyttäessä koneistus muuttuu niin sanotuksi kuivakoneistukseksi. Etuna pelkän paineilman käytössä on, että leikkuuprosessi on puhdas, mikä vähentää ympäristöön joutuvaa leikkuuneste- tai öljysumua. Tämä vähentää myös työntelijöiden altistumista mahdollisesti vaarallisille kemikaaleille. Esimerkiksi lääketieteelle valmistettävien tekonivelten kohdalla materiaalin on oltava äärimmäisen puhdasta, joten paineilmajäähdytys on välttämätön. (Boswell

2008, 23.) Paineilmajäähdytyksen toimivuuteen vaikuttaa suuttimen rakenne, josta yksi esimerkki kuvassa 3.



Kuva 3. Silvent AB:n tarjoama SILVENT F1 -paineilmasuutin (Kuva: Aleksii Timonen).

Nestemäisen jäähdytyksen puuttuessa on kehitetty erilaisia pinnoitteita työkaluihin, jotka vähentävät kitkaa lastuamisessa ja kestävät enemmän lämpöä. Pinnoitteiden avulla myöskään materiaalista irtoava lastu ei pääse tarttumaan työkalun pintaan niin helposti. Aihiomateriaalilla on myös iso vaikutus kuivakoneistuksen onnistumiseen. Esimerkiksi alumiinien ja hiiliterästen kuivakoneistus onnistuu lastujen mukana poistuvan lämmön vuoksi. (Boswell 2008, 23.)

2.5.3 Ionisoitu kylmäilmapuhallus

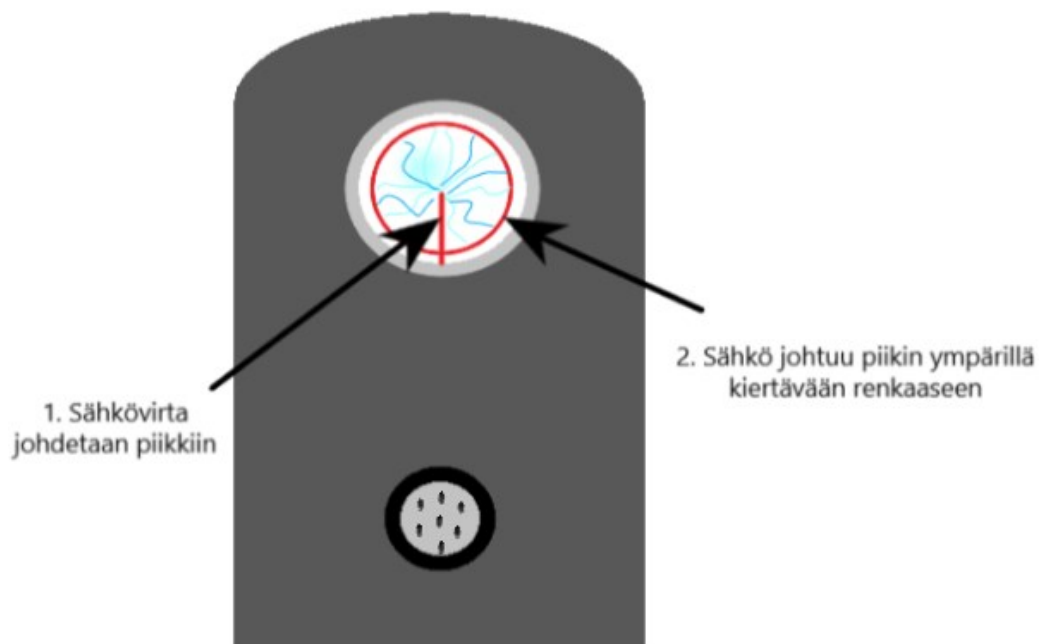
Kaasumaisella jäähdytyksellä leikkuuprosessissa on samat vaikutukset kuin leikkuunesteillä. Ilman ionisointi on prosessi, jossa ionisaation seurauksena ilmaan muodostuu sekä positiivisesti että negatiivisesti varautuneita ioneja. Positiivisesti varautuneet ionit voivat tarttua negatiivisesti varautuneisiin pinta-alueisiin ja päinvastoin, luoden ohuen suojakalvon työkalun ja työkappaleen välille.

Neutraalissa tilassa paineilma ei johda sähköä johtuen siitä, ettei vapaita elektroneja ole. (Vasilko & Matija 2019, 150.)

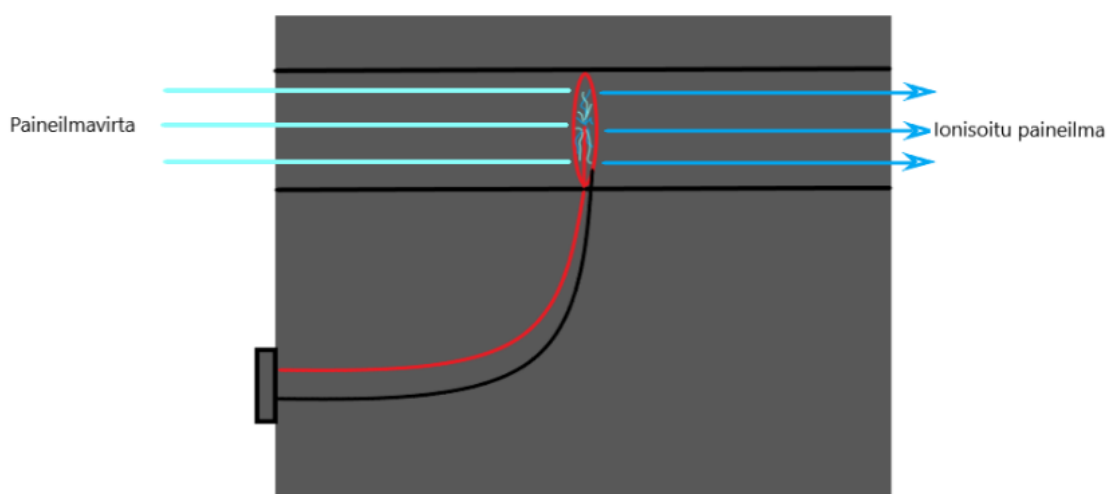
Ilman ionisointi voidaan suorittaa pääasiassa kolmella eri menetelmällä. Yksi näistä on radioaktiivinen alfasäteilijä. Tässä prosessissa elektronille annetaan tarpeeksi alfasäteilyä syntyvää energiaa. Suuren energiamäärän takia elektroni irtoaa atomista. (ARPANSA 2024.) Radioaktiivisen aineen käyttö ionisoinnissa voi kuitenkin altistaa työntekijöitä ionisoivalle säteilylle, mikä voi aiheuttaa terveydellisiä vaikutuksia. Siksi alfasäteilijä on näistä kolmesta vähiten käytetty. (Vasilko & Matija 2019, 150.)

Toinen tapa ionisoida ilmaa on nimeltään ”Lenard efekti,” jossa negatiivisia ilmahiuksia saadaan vedestä. Iskugeneraattorin avulla vesi hajotetaan minimaaliseksi pisaroiksi, joka vapauttaa negatiivisesti varautuneita ioneja ilmaan. (Suzuki 2023.)

Kolmas ja näistä yleisin tapa on corona-ionisaatio, jossa sähkövirtaa johdetaan metallipiikkiin. Virtalähteenä prosessille voidaan käyttää tasavirta- tai vaihtovirtalähdettä riippuen käyttötarkoituksesta. Kun korkea jännite virtaa piikkiin, negatiivisesti varautuneet elektronit irtoavat ja kiinnittyvät ilmassa oleviin happimolekyyleihin muodostaen negatiivisia ioneja (kuvat 4 ja 5). Prosessissa syntyy myös samanaikaisesti positiivisesti varautuneita ioneja (Meadows 2013.)



Kuva 4. Ionisaattorin toimintaperiaate 1 (Kuva: Aleksi Timonen).



Kuva 5. Ionisaattorin toimintaperiaate 2 (Kuva: Aleksi Timonen).

Kyseinen ionisointiprosessi saa nimensä espanjan kielestä sanasta "kruunu."
Nimi viittaa ionisaation aikana tapahtuvan ilmiön ulkonäköön. (Meadows 2013.)

3 Tuotannon tunnuslukuja

Tuotannon suorituslukumittareina käytetyt KPI:t (Key Performance Indicators) ovat suosittuja tapoja arvioida yrityksen tuotannon tehokkuutta. Mittareiden avulla pystytään seuraamaan yrityksen pitkän ja lyhyen aikavälin suoriutumista tunnuslukuja mittaavissa prosesseissa. Yritys voi käyttää KPI:lle ominaisia mittareita datapohjaiseen päätöksen tekoon, mikä tehostaa tuotantoa sekä auttaa ennakoimaan tuotannon suunnittelussa. Saatua dataa käytetään myös olennaisena työkaluna päivittäisjohtamisessa, sekä usein myös työntekijöiden tulospalkkioiden määrittämisessä. (Arkkola 2024, 3–6.)

3.1 Toimitusvarmuus

Toimitusvarmuutta mitatessa voidaan se jakaa kahteen eri mittariin, jotka ovat ulkoinen ja sisäinen toimitusvarmuus. Ulkoinen toimitusvarmuus kuvaa varmuutta, jolla yritys voi luvata asiakkaalle tuotteen tai palvelun määräaikaan mennessä. Asiakkaalle myöhässä toimitetut tilaukset laskevat siis toimitusvarmuutta, joka hankaloittaa asiakkaan kykyä suunnitella tuotteen käytön ajankohdtaa. Toimitusvarmuusprosentti saadaan laskettua yksinkertaisella kaavalla (kaava 3). Laskemalla saatu suhde kuvaa ajoissa toimitettujen tilausten, sekä kaikkien tilausten suhdetta. Arkkolan (2024, 8) mukaan toimitusvarmuusprosentti voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$\textit{Toimitusvarmuus} - \% = \frac{L}{K} * 100\% \quad (3)$$

jossa

<i>L</i>	Ajoissa toimitetut tilaukset
<i>K</i>	Kaikki jakson aikana olleet tilaukset

Sisäinen toimitusvarmuus mittaa tuotannon kykyä vastata suunniteltua tuotantoa. Tuotteen valmistukselle määritetään etukäteen suunniteltu aloitus- sekä lopetusajankohta ja verrataan, onko tähän tavoitteeseen päästy. Mitä tarkemmin

tuotteen sisäinen toimitusvarmuus voidaan määrittää, sitä tarkemmin tuotteen saapuminen asiakkaalle voidaan luvata. (Arkkola 2024, 9.)

3.2 Prosessin läpimenoaika

Prosessin läpimenoaika (Cycle time) kuvaa tietyn työvaiheen läpimenoaikaa, jossa mitataan prosessiin tarvittavaa aikaa ilman siirtymiä tai odotusaikoja. Prosessin läpimenoaika kuvaa aikaa, kun tietty prosessi tehdään alusta alkuun. Toisin sanoen, kun suorittaminen alkaa ja tämän jälkeisen samanlaisen tehtävän suorittaminen samalla koneella tai samassa prosessissa alkaa uudelleen. Tätä ei tule kuitenkaan sotkea läpimenoaikaan (Lead time), joka normaalisti sisältää odotusaikoja prosessia ennen, aikana ja jälkeen. (Arkkola 2024, 10; Lean Thinking Oy, 2024)

3.3 Tuottavuus

Tuottavuus tarkoittaa tuotosten ja niihin vaadittavien panostusten suhdetta. Suhde saadaan yksinkertaisesta laskukaavasta ja se on yksi keskeisimmistä tuotannon mittareista (kaava 4). Tuottavuutta seuraamalla saadaan selville, miten tehokkaasti tuotannontekijäpanokset ovat käytössä. Tuottavuudelle ei ole tiettyä mittayksikköä, vaan se voi olla esimerkiksi tunti, raha, kappale tai henkilö. (Arkkola 2024, 12.)

$$Tuottavuus = \frac{T}{P} \quad (4)$$

jossa

<i>T</i>	Tuotosten määrä
<i>P</i>	Panoksen määrä

Tuottavuutta kannattaa arvioida vain silloin, kun on olemassa vertailukelpoista dataa. Tuottavuusmittari toimii siis hyvänä lisätyökaluna, kun halutaan verrata yrityksen tuotantoketjuihin tehtyjen muutosten vaikutusta. (Arkkola 2024, 10.)

4 Projektin kannattavuus ja takaisinmaksu

Projektin kannattavuuden määrittäminen on tärkeää projektin onnistumisen kannalta (Tehos Oy 2023). Sijoituksen kannattavuutta projekteissa voidaan mitata monilla eri mittareilla, kuten esimerkiksi laskemalla takaisinmaksuaika (Payback period) tai sijoitetun pääoman tuotto prosentti (ROI). Näiden ja monien muun mittarin avulla yritys voi arvioida projektin kannattavuutta ja sitä, miten nopeasti yritys saa sijoitetun pääoman takaisin. (Docquin 2020.)

Takaisinmaksuaika tarkoittaa aikaa vuosissa, jonka kuluessa sijoitettu pääoma maksaa itsensä takaisin. Sen avulla voidaan arvioida, onko projekti kannattava halutussa aikamääreessä tai onko projekti ylipäättään kannattava sijoitus. Mitä lyhyempi takaisinmaksuaika on, sitä houkuttelevampi projekti on sijoituksena. Yritys voi käyttää tätä yleismittaria monien eri kilpailevien projektien kannattavuuksien vertailussa (kaava 5). Takaisinmaksuajalla kuvataan projektikustannusten ja kustannussäästöjen suhdetta. (GoCardless Ltd 2022.)

$$\textit{Takaisinmaksuaika} = \frac{\textit{Kokonaissijoitus}}{\textit{Vuotuinen takaisinmaksu}} \quad (5)$$

jossa

<i>Kokonaissijoitus</i>	Projektiin käytetty pääoma
<i>Vuotuinen takaisinmaksu</i>	Positiivinen kassavirta vuodessa

5 Työn toteutus

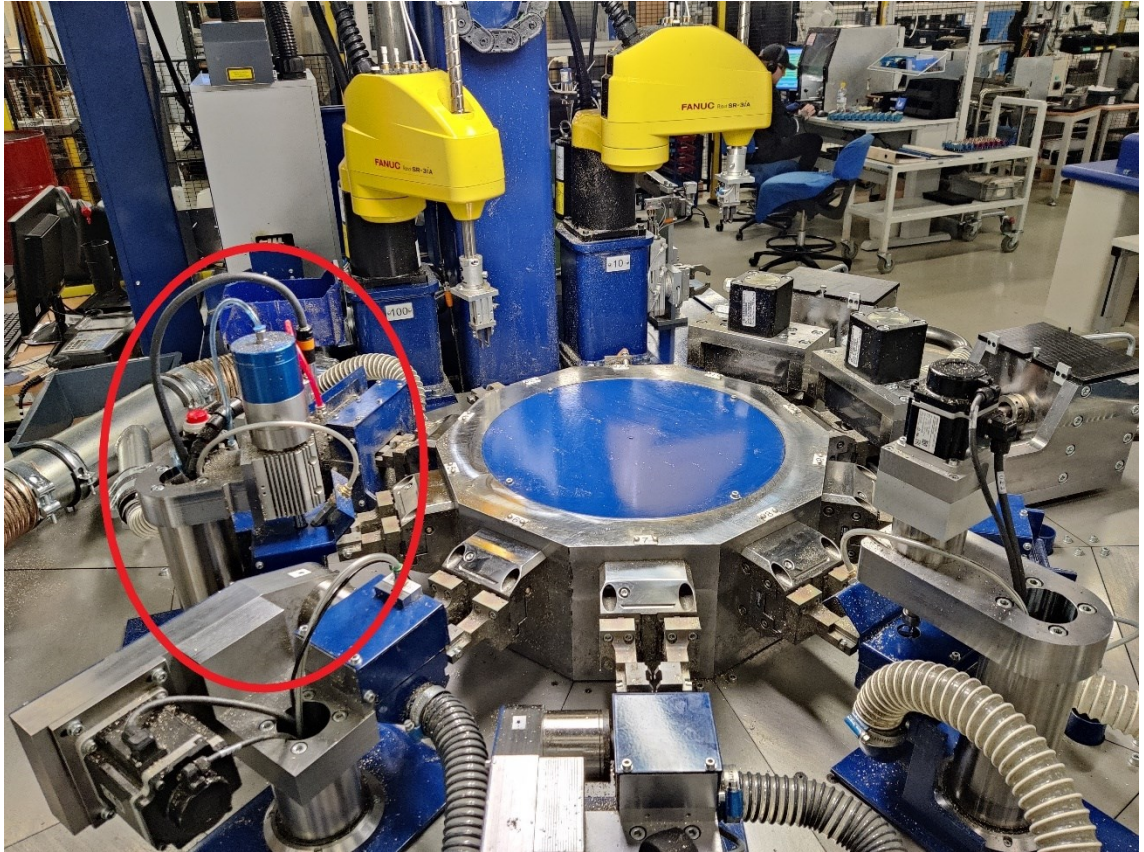
5.1 Aloitus

Opinnäytetyön toteutusvaiheessa (luku 5) viitataan omaan tutkimustyöhön ja toteutusvaiheen aikana kerättyyn tietoon. Toteutusvaiheessa on viitattu myös yritykseltä ja sen työntekijöiltä saatuun tietoon, joka perustuu vuosikymmenien kokemukseen koneistuksen parissa.

Opinnäytetyö on tarpeellinen yritykselle, sillä nykyinen jäähdytysprosessi ei välttämättä vastaa parhaiten prosessin tarpeita. Opinnäytetyössä tarkastellaan ja optimoidaan kappaleen A (kuva 6) työstövaiheessa 7 (kuva 7) tapahtuvaa koneistustapahtumaa. Saatujen tulosten perusteella koneistusprosessille valitaan optimaalisin jäähdytys- ja voitelumuoto.



Kuva 6. Kappale A, ympyröitynä koneistustapahtuma 8 (Kuva: Aleksii Timonen).



Kuva 7. Työstöasema, jossa testit suoritetaan (Kuva: Aleksi Timonen).

Kokeet tehdään vähintään kolmella eri jäähdytysmuodolla ja mahdollisuuksien mukaan lisätään vielä yksi valinnainen. Kokeisiin valitut puhallusmuodot ovat kuiva-ajo, öljysumu, sekä ionisoitu kylmäilmapuhallus. Lisäksi testeihin otetaan mukaan paineilmapuhallus, joka testataan, jos ionisoitu kylmäilmapuhallus toimii odotetusti. Kuiva-ajo suoritetaan, jotta saadaan hyvä kuva siitä, miten työkalu kestää ilman jäähdytystä tai voitelua.

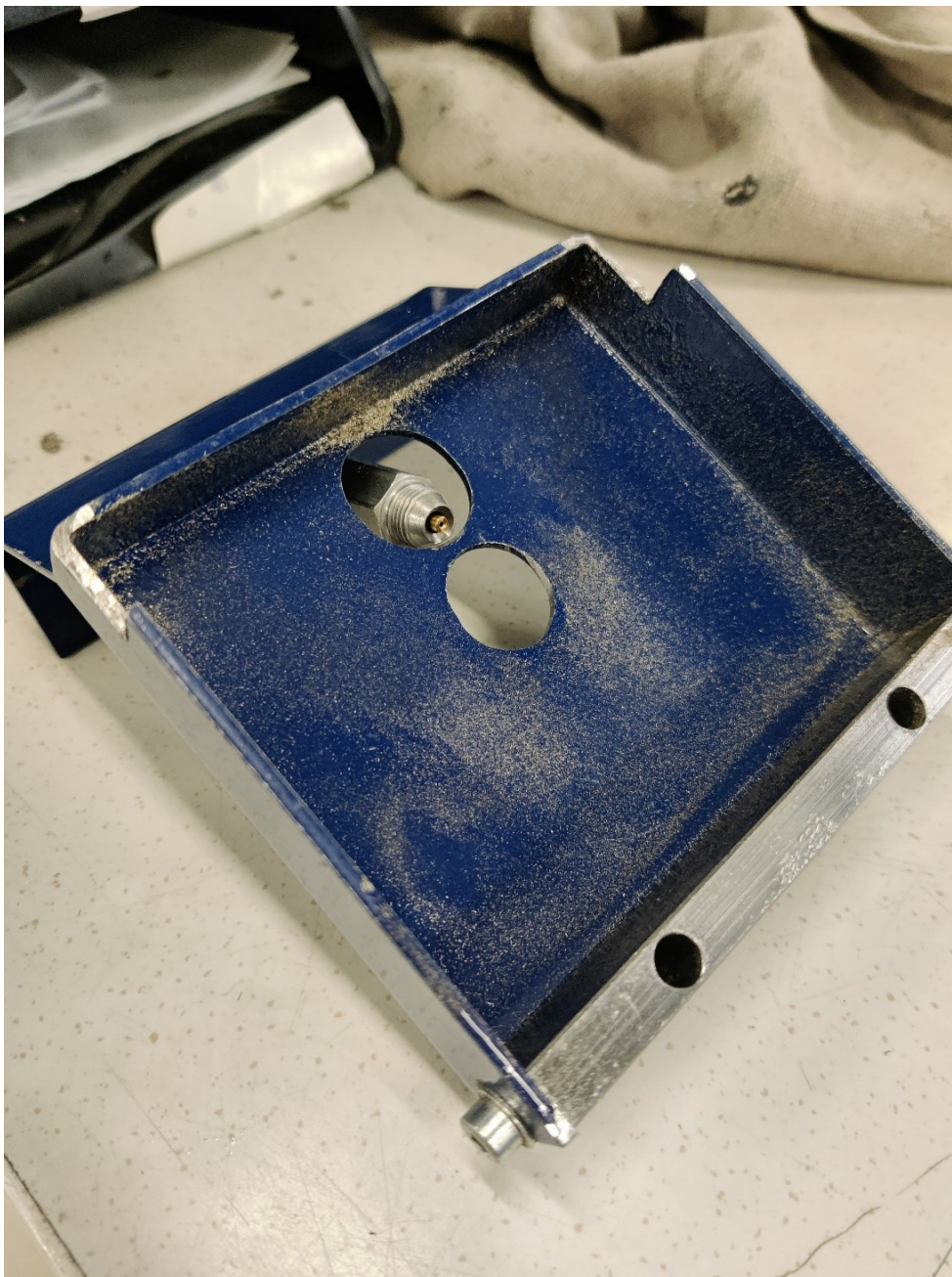
Kustannussäästöjen tavoittelu on olennainen syy jäähdytysmuodon mahdolliseen muutokseen, sillä vaihtoehtoisilla jäähdytys- ja voitelumenetelmillä voitaisiin päästä tilanteeseen, jossa juoksevia kustannuksia ei ole. Jäähdytyksen ekologisuus ja vaikutukset työympäristöön ovat lisäksi tarkastelussa menetelmää valitessa.

5.2 Lähtötilanne

Koneistusprosessissa on ollut käytössä öljysumu, joka tuo mukanaan haasteita, joista yksi on öljyn kertyminen koneen ilmanvaihtoputkiin ja muihin osiin. Öljy pääsee ajan kanssa imeytymään muovi- sekä kumiosiin, mikä lyhentää niiden käyttöikä. Koneeseen on jouduttu tästä syystä viimeisen 3 vuoden aikana vaihtamaan satunnaisesti arviolta 5 kertaa erinäisiä muoviputkia ja -letkuja, joka aiheuttaa aina seisokin työstökoneelle. Teoriassa ilman öljyä muovi- ja kumiputkien käyttöikä olisi loputon tässä käyttötarkoituksessa. Puhtaana pito on myös haastavaa öljysumun päästessä koneen eri pinnoille, sekä jäädessä työstettävän kappaleen pintaan. Työstettyjä kappaleita joudutaan siis pesemään öljyjäämien poistamiseksi. Öljysumussa on ulkoisten raporttien mukaan joitain terveysriskejä, sillä koneistustapahtuman aikana atomisoitunut öljysumu voi työstöstä johtuvan kuumuuden seurauksena höyrystyä. Höyrystyminen aiheuttaa sen, että öljy voi päätyä hengitysteihin aiheuttaen hengitysteiden ärsytystä. Iholle joutuessa öljystä ja sen lisäaineista voi saada jopa allergisen reaktion. Tämän takia työstökoneille tarvitaan erittäin tehokas ilmanvaihto pitämään ilma puhtaana. Kuvissa 8 ja 9 esitetty koneistusaseman lähtötilanne ennen muutosten tekoa.



Kuva 8. Koneistusasema ennen muutosten tekoa (Kuva: Aleksi Timonen).



Kuva 9. Öljysumuvoitelun suutin, joka atomisoi öljyn paineilman sekaan (Kuva: Aleksi Timonen).

Kaikissa testeissä koneistetaan samaa tuotetta, sekä samaa työstösykliä (kuva 10). Työkalu työstää ahiomateriaalia ramppimaisella lähestymisellä. Tuotteen metalliseos pysyy testien aikana vakiona (Wieland N22 CUNI12ZN24). Kyseinen materiaali on erittäin koneistettava ja se koostuu kuparista (Cu), nikkelistä (Ni) ja sinkistä (Zn). Tämä seos tarjoaa hyvän työstettävyyden ja mekaanisen lujuuden yhdistelmän.



Kuva 10. Työstettävä aihio (Kuva: Aleksi Timonen).

Prosessissa käytettävä työkalu on sveitsiläisen yrityksen Applitec Moutier SA:n tarjoama jysintappi, malliltaan 3271-3-1.30-DLC (kuva 11). Työkalu on 2-leikkuinen kovametallitappi, jossa on timanttipinnoite (DLC). Timanttipinnoite tekee siitä erittäin kestävä ja sopivan monenlaisiin työstösovelluksiin.



Kuva 11. Testeissä käytettävä työkalu (Kuva: Aleksi Timonen).

Työkalujen käyttöikä on ollut ennen testien alkua hyvä ja testeissä pyritään samaan, tai parempaan käyttöikään (taulukko 1). Keskiarvallisesti yksi työkalu on kestänyt vuoden 2023 historian mukaan noin 16091 työstösykliä.

Työkalu numero	Ajettu kappalemäärä
1	21605
2	20226
3	20121
4	18000
5	14250
6	20574
7	15430
8	15830
9	25133
10	14869
11	9241
12	7866
13	14924
14	4581
15	13951
16	18004
17	18948

Taulukko 1. Työkalujen kesto ennen kokeita.

Kappaleiden tahtiaika pyritään lähtökohtaisesti pitämään samana. Testauksen alussa aika, jossa kappale työstettiin työstöasemassa valmiiksi ja tilalle vaihtui uusi aihio, oli noin 3,8 sekuntia. Koneistusta tästä ajasta oli noin 2,7 sekuntia. Prosessille laskettiin käytössä oleva pöytäsyöttö, joka vaikuttaa koneistusaikaan (kaava 6).

$$v_f = f_z * n * ZEFF$$

(6)

jossa

v_f	Pöytäsyöttö
f_z	Hammassyöttö
n	Kierrosnopeus
$ZEFF$	Tehollinen lastunsyvyys

saadaan pöytäsyötöksi $0.48\text{mm} * 50\,000\text{rpm} * 0.4 = 960\text{mm/min}$

Työstöprosessin tuottavuuden arvioinnissa arvioitiin tilanne ennen muutosten tekoa. Tuottavuuden laskentaan päätettiin ottaa mukaan aiemmin taltioidusta

datasta koneistettujen aihoiden määrä, sekä miten monta työkalua on käytetty näiden työstöön. Tästä saadaan suhde, joka kertoo miten monta koneistettua kappaletta yksi työkalu tuottaa keskimäärin (kaava 7). Työssä sovelletaan tuotavuuden laskukaavaa tuoton laskuun.

$$Tuotto = \frac{T}{P} \quad (7)$$

jossa

<i>T</i>	Tuotosten määrä
<i>P</i>	Panoksen määrä

saadaan työkalun tuotoksi $\frac{273553 \text{ (tuotetta)}}{17 \text{ (työkalua)}} = 16091 \text{ tuotetta/työkalu}$

5.3 Työolosuhteet

Työ toteutettiin Abloy Oy:n toimeksiannosta yrityksen tiloissa. Työpiste oli hyvin valaistu ja turvallinen, ja työskentelyolosuhteet olivat hyvät. Koneen turvarajat sekä suojat pitivät huolen, ettei liikkuviin osiin pääse koskemaan koneen liikkuessa. Työskentelyasennot pystyttiin pitämään ergonomisina hyvästä koneen suunnittelutavan takia. Apuna työssä toimii ohjaaja ja työstökoneen työntekijät sekä vaihtoehtoisia jäähdytyksiä tarjoavien yritysten yhteyshenkilöt. Ulkoisten palvelujen toimihenkilöstö toimi myös osana työtä.

5.4 Menetelmät

Testit suoritetaan työstökoneella, jossa käytetään vuorotellen valittuja voitelu- sekä puhallusmuotoja. Työstökoneeseen asennetaan väliaikaisesti vaihtoehtoiset puhallukset rinnakkain, jotta niiden keskenään vaihto olisi sujuvaa.

Työkalu vaihdetaan, kun työstetty kappale ei mene enää sille valmistetusta tulokista läpi, tai kun terä katkeaa. Vaihdetut terät taltioidaan sekä numeroidaan.

Terille tehdään visuaalinen tarkastus, jotta saadaan paras kuva kunkin jäähdytysmuodon toimivuudesta sekä vaikutuksista työkaluun. Tulosten seurantaan käytetään määrättyä Excel-pohjaa, johon merkitään pyydettyt tiedot prosessiin liittyen.

6 Käytännön kokeet

6.1 Kokeiden valmistelu

Opinnäytetyön toiminnallinen osuus alkoi toimeksiantajan tiloissa, jossa käytiin läpi tavoitteet ja hyödyt mitä opinnäytetyön pohjalta tavoitellaan. Toimeksiantajalla oli jo valmiiksi mietittynä joko ennalta toisaalla käytössä olleita voiteluvaihtoehtoja, tai vielä kokeilemattomia uusia sellaisia. Voitelumuotojen asennusmahdollisuudet kartoitettiin työstökoneella ja työstökoneen käyttäjiä informoitiin testeistä. Heille kerrottiin mitä vaihtoehtoisilla voitelumuodoilla tavoitellaan sekä miten ne eroavat nykyisistä. Testien karkea kulku käytiin läpi, sekä miten eri tilanteissa tulisi toimia (liite 1). Työntekijöille selvennettiin myös mitä dataa prosessin varrelta tulee kerätä ja mihin kerätty data merkitään, sekä miten se merkitään mainittuun tietopohjaan (liite 2).

Pitkien koneistusaikojen takia vuorossa oleva työntekijä joutui täyttämään tiedot lomakkeelle itsenäisesti, kuitenkin niin että jokaisen jäähdytykseen tehdyn muutoksen yhteydessä opinnäytetyön tekijä tuli paikalle varmistamaan projektin oikean kulun. Työntekijöille painotettiin, että kaikki, myös työntekijöiden tekemät havainnot huomioidaan lopullisen päätöksen teossa.

6.2 Öljysumu

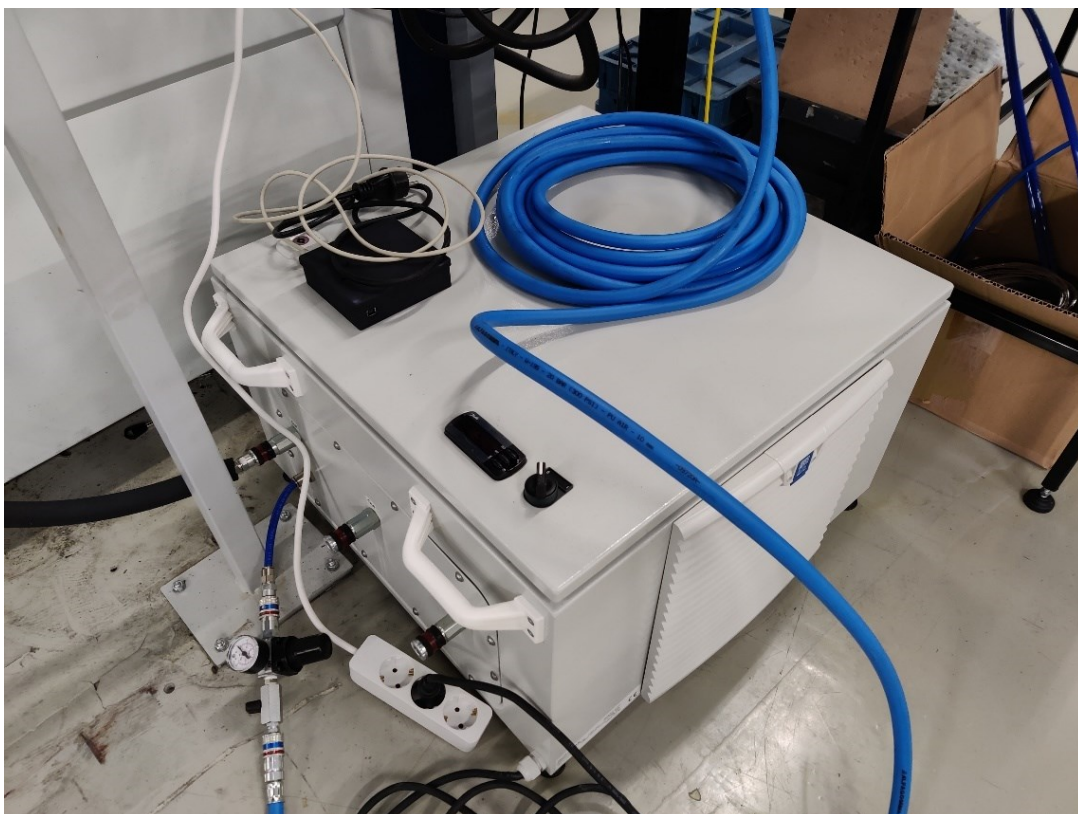
Koneistusprosessista on jo aiemmin kerätty tietoa työkalujen kestosta, ja tämä data taltioitiin aluksi, josta saatiin hyvä kuva siitä, minkä kokoisilla koe-erillä jäähdytyksiä tulee testata ja minkälaiseen työkalun keston tulee pyrkiä. Ko-

neella ajettiin ensimmäinen erä vanhalla, jo toimivaksi todetulla öljysumupuhalluksella ilman mitään muutoksia. Tämän avulla voitiin todeta, että terän kesto on samaa luokkaa kuin aikaisemmin kerätty data antaa ymmärtää.

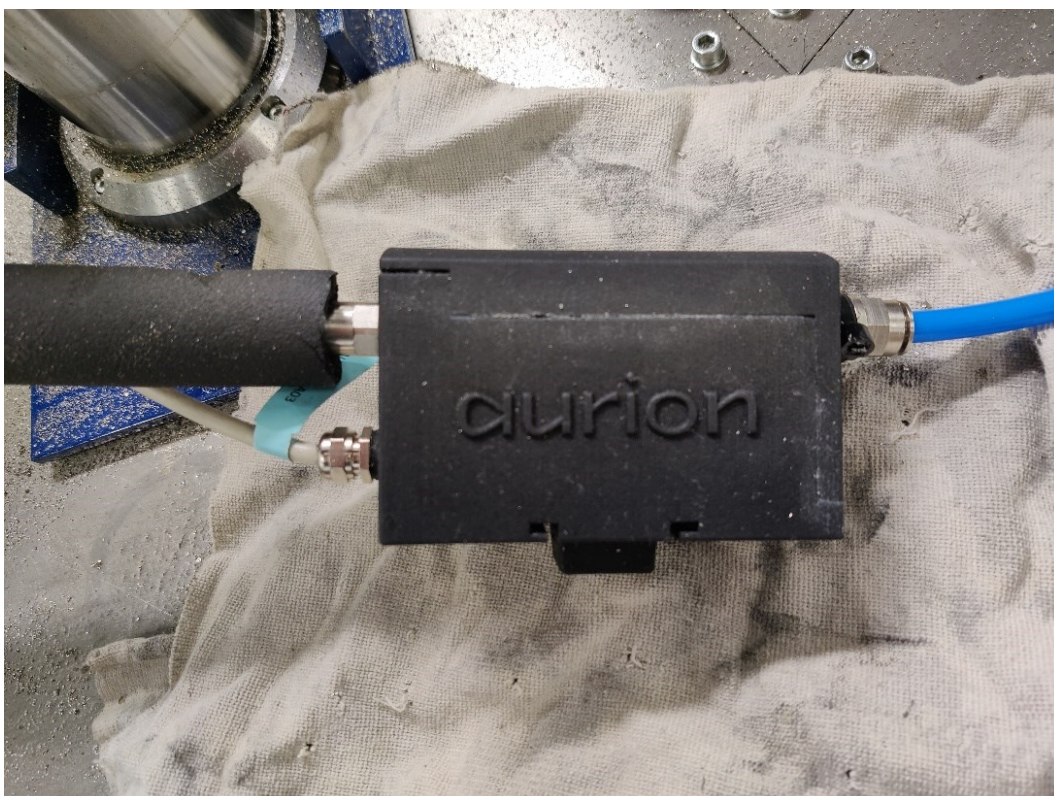
Öljysumulla ajettavia testejä suunniteltiin käytettäväksi muiden koeajojen välissä varmistusajoina, joilla varmistetaan, että perusasetus ei ole muuttunut jäähdytysmuotojen vaihtojen välillä.

6.3 Ionisoitu kylmäilmapuhallus

Työstökoneelle asennettiin laitteiston toimittajan, eli Aurion Machining Technologies Oy:n työntekijöiden kanssa vaihtoehtoinen puhallusmuoto, joka oli ionisoitu kylmäilmapuhallus. Asennukseen kuului kylmälaite, joka jäähdyttää ilman jopa -30°C lämpötilaan (kuva 12). Lisäksi paineilmalinjan väliin asennettiin ionisaattori, joka ionisoi kappaleelle ja terälle puhallettavan paineilman (kuva 13). Laitetoimittajan mukaan mitä kylmempää ionisaattorin läpi tuleva ilma on, sitä enemmän ioneja saadaan ionisoinnin seurauksena. Laitteisto saatiin asennettua siististi rinnakkain vanhan öljysumuvoitelun vierelle, joten puhalluksen vaihto olisi mahdollisimman helppoa. Paineilmasuuttimen päästä tarkistettiin vielä paineilman mukana tulevien ionien määrä siihen suunnitellulla laitteella ja todettiin että laitteisto toimii toivotusti.



Kuva 12. Kylmälaite jäähdyttää puhallettavan ilman (Kuva: Aleksi Timonen).



Kuva 13. Ionisaattorin tehtävä on ionisoida läpi kulkeva paineilma (Kuva: Aleksi Timonen).

Haasteena asennuksessa oli työstökoneen erikoinen suunnittelutapa, sillä jokainen työstöasema oli koteloitu niin että terä ja kappale ovat omassa pienessä koteloidussa tilassaan (kuva 14). Kotelon tarkoituksena pitää työstötapahetusta syntyvä lastu sekä öljysumu omassa tilassaan, jotta tehokas imuilma imee kaiken työstöstä syntyvän lastun. Tämän takia ylimääräistä tilaa ei juurikaan ollut paineilmasuuttimen hienosäätöön ja suuttimen rakennetta jouduttiin muokkaamaan (kuva 15). Mitä lähemmäs työstötapahetusta suutin saatiin, sitä paremmin ionisoitu paineilma voitelee työstöä. Lopulta puhallus saatiin kuitenkin suunnattua ionisoidun paineilman toimivuuden kannalta kriittiseen pisteeseen, eli mahdollisimman lähelle työkalun ja kappaleen kontaktipistettä.



Kuva 14. Työstöasema ilman peittävää suojalevyä (Kuva: Aleksi Timonen).



Kuva 15. Ionisoitu paineilma suunnattiin leikkuupisteeseen itsevalmisteisella suuttimella (Kuva: Aleksi Timonen).

Testit käynnistettiin ionisoidulla kylmäilmapuhalluksella ja alkuun ajettiin pieni testierä, jolla todettiin prosessin karkea toimivuus. Prosessia hienosäädettiin niin, että kylmälaitteisto jäähdyttää lähtevän paineilman noin -12°C lämpötilaan, sekä paineilman paine asetettiin 1.75bar laitetoimittajan ohjeistuksen mukaan. Lisäsäätöjen jälkeen koneistettiin pieni, noin 200 kappaleen testisarja, jolla päästiin todentamaan asennetun puhalluksen toimivuus. Työstöarvoja ei muutettu, sillä laitetoimittajan mukaan työstöarvot pitäisi pystyä pitämään samana. Laitteisto toimi suunnitellusti ja testit päästiin aloittamaan.

Testisarjojen edetessä tehtiin pieniä muutoksia paineilman lämpötilaan, sekä puhallettavaan paineeseen. Näillä muutoksilla kokeiltiin, olisiko niillä vaikutusta työkalujen keston. Laitetoimittajan ohjeistuksella kokeiltiin pudottaa lähtevän paineilman lämpötilaa jopa kylmimmilleen, eli -25°C sekä paineilman paine 3bar asti. Ilman lämpötilaa säädettiin kokeiden aikana myös toiseen suuntaan, eli niin että puhallettava ilma on $+5^{\circ}\text{C}$, joka tarkoittaa, että verkosta saatavaa paineilmaa ei juurikaan jäähdytetty. Näin voitiin todeta, oliko puhallettavan ilman lämpötilalla merkitystä terän keston. Muutoksia tehdessä täytyi huomioida myös

se, että kylmempi ilma lisää ioneja ilmassa, joten työstöprosessin voitelu voisi kärsiä liian lämpimästä paineilmasta. Suurin osa testeistä ajettiin kuitenkin arvoilla, jotka olivat jotain näiden ääripäiden väliltä.

Voitelumuotojen vaihtuessa todettiin, että öljysumujäähdytykseen suunniteltu suutin ei sovellu välttämättä ionisoidulle paineilmalle johtuen sen rakenteesta. Suuttimen sisällä on pieni neula, joka hajottaa paineilmaan johdettavan öljytipan atomisoiduksi sumuksi. Tämä todettiin todennäköisesti rajoittavan ionien johtumista kriittiseen pisteeseen. Ionisoidulle paineilmalle valmistettiin siis korvaava suutinpaketti, joka saatiin helposti vaihdettua paikoilleen.

Testisarjojen aikana kokeiltiin muuttaa ionisoidulle paineilmalle rakennetun suuttimen suuntausta, josko ionit eivät osuisikaan täydellisesti työstöprosessin kriittisiin pisteisiin. Suuttimen suuntaus osoittautui kuitenkin tässä tapauksessa jo niin hyväksi kuin se saataisiin näillä muutoksilla ja sen uudelleen suuntauksella ei ollut vaikutusta.

Testien lopussa tuli vielä uusia ideoita parantaa ionisoidun ilman osuvuutta kriittiseen pisteeseen. Ionisoitu paineilma tuotaisiin työstöprosessiin tarkemmin, puhaltamalla se terän suuntaisesti erityisvalmisteisella suuttimella (kuva 16). Suuttimen avulla saataisiin puhallettua voitelu 360° terän ympäri, eikä puhallus tulisi enää siis vain yhdestä suunnasta. Tämä voisi parantaa terän kestoa testeissä saatuihin tuloksiin nähden.



Kuva 16. Erityisvalmisteinen suutin voisi parantaa voitelua prosessissa (Kuva: Aurion Machining Technologies Oy).

Uutta suunniteltua suutinta ei kuitenkaan saatu toimintavalmiuteen opinnäytetyön aikana ja se vaatii pitemmän aikavälin kokeiluja. Suuttimessa olisi kuitenkin potentiaalia parantamaan prosessin toimivuutta.

6.4 Paineilma

Testeihin haluttiin ottaa mukaan myös pelkkä paineilma, jotta nähdään ionisoinnin lisäämisen hyödyt. Tähän valikoitui Silvent AB:n tarjoama SILVENT F1 -paineilmasuutin (kuva 3). Suutin liitetään perinteiseen paineilmalinjastoon ja sen sisällä olevan kanavoinnin ansiosta voidaan ulos virtaavan ilman lämpötilaa sekä virtausnopeutta säätää helposti. Ionisointi laitteisto on myös kustannuksiltaan kalliimpi, joten paineilman käyttö olisi vartenotettava vaihtoehto, jos suurta eroa näillä kahdella ei ole. Pelkkä paineilma on kuitenkin valinnainen lisäys siinä vaiheessa, jos ionisoitu kylmäilmapuhallus toimii välttävästi.

6.5 Karan värinämittaus

6.5.1 Värinämittausten valmistelu

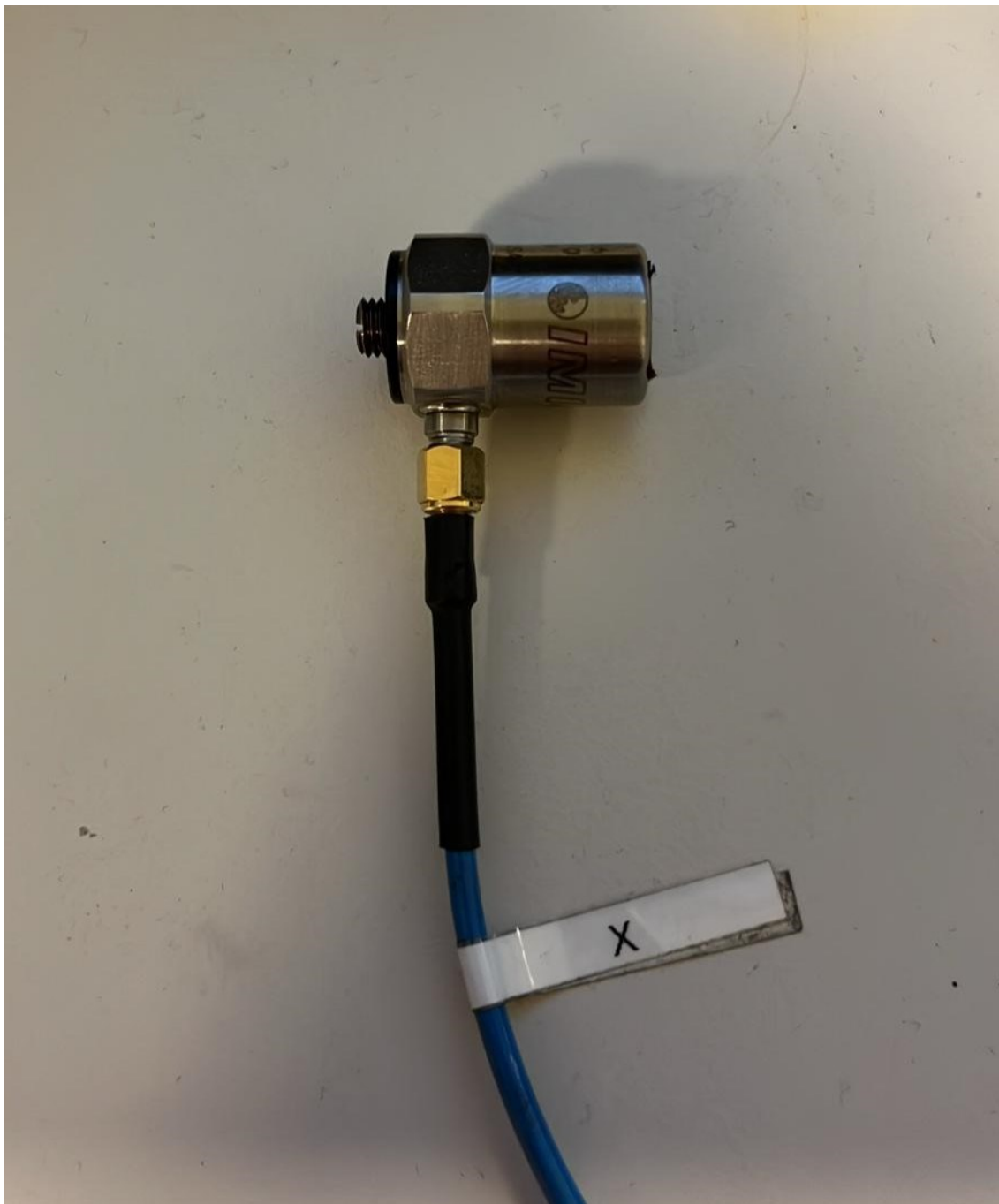
Karalle päädyttiin suorittamaan värinämittaus, jolla haluttiin tutkia työstöaseman karan kuntoa, sekä mahdollisia ulkoisia värähtelyn aiheuttajia, jotka voisivat vaikuttaa negatiivisesti työstöprosessiin ja työkalun kestoon. Mittauksia tarjoavan yrityksen kanssa sovittiin prosessin tarpeellisuudesta, sekä siitä miten mittaukset tulisi suorittaa.

Mittauksiin opinnäytetyön tekijä laati karkean ohjeistuksen, jonka mukaan mittaukset tulisi tehdä (liite 3). Ohjeistuksessa huomioitiin yrityksen toiveet mittaus-ten suorittamisesta. Värinämittausten suorittamiseksi mittausantureiden väliin tuli koneistaa adapterit, jotta anturit saadaan kiinni mitattavan karaan (kuva 17). Antureiden kiinnitys oli mahdollista tehdä myös kierteellä, mutta anturissa olevan erikoiskierteen takia adapterin valmistaminen oikealla kierteellä oli haastavaa.

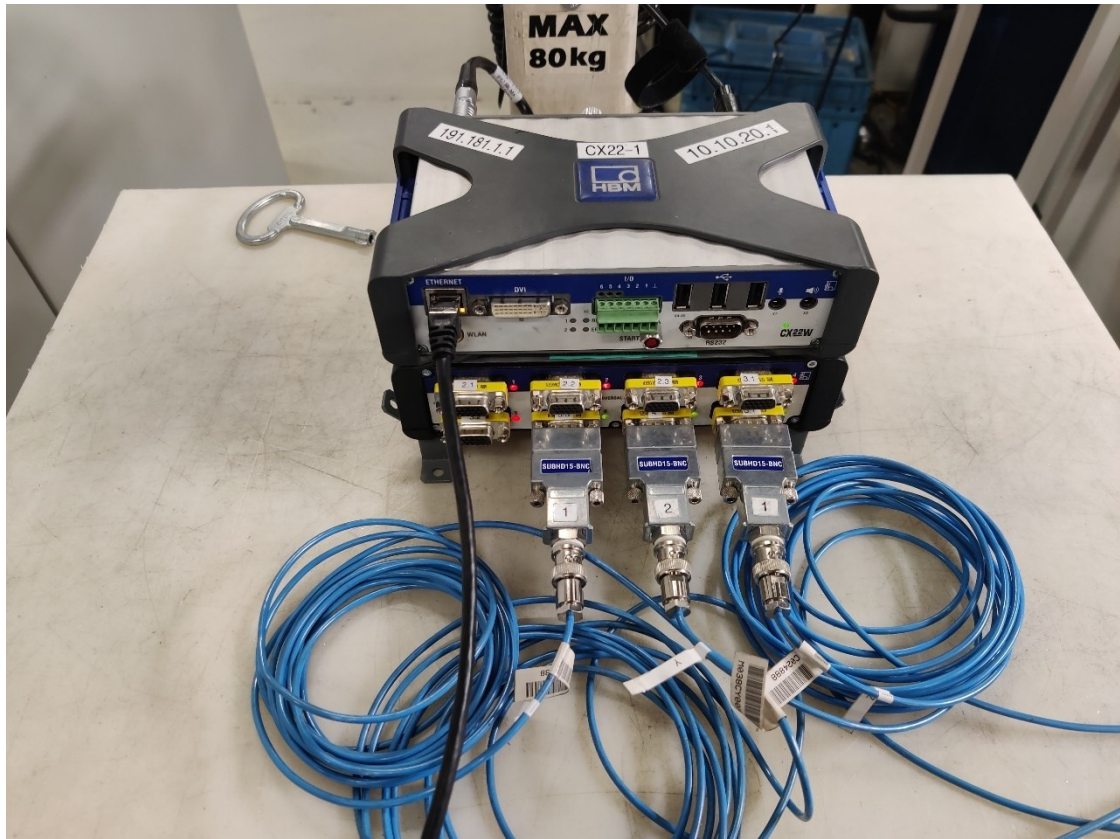


Kuva 17. Adapterit värinämittausantureiden kiinnitykseen (Kuva: Aleksi Timonen).

Mittauksissa käytettävän laitteiston tietoja selvitettiin etukäteen, jotta sen herkkyys riittää kyseisten mittausten suorittamiseen. Karan kierrosnopeuden ollessa 30 000–50 000 rpm, anturin on oltava tarpeeksi herkkä pienten värähtelyjen mittaamiseen. Anturit (kuva 18) ja vahvistin (kuva 19) valittiin ja niiden asennukset toteutettiin.

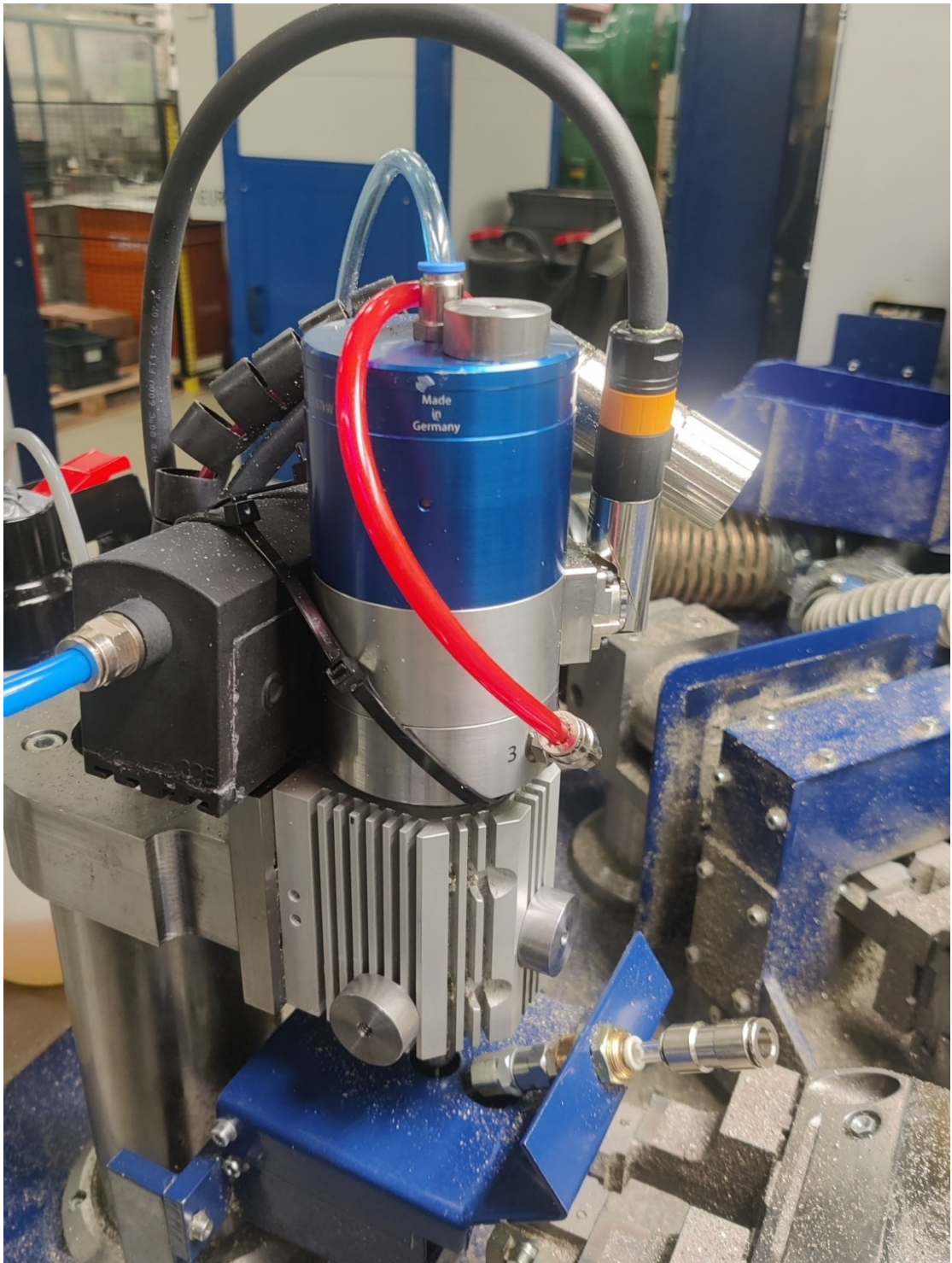


Kuva 18. Mitta-anturi, IEPE Accelerometer sensor, IMI – 621B51, sn. 5636
(Kuva: Aleksi Timonen).



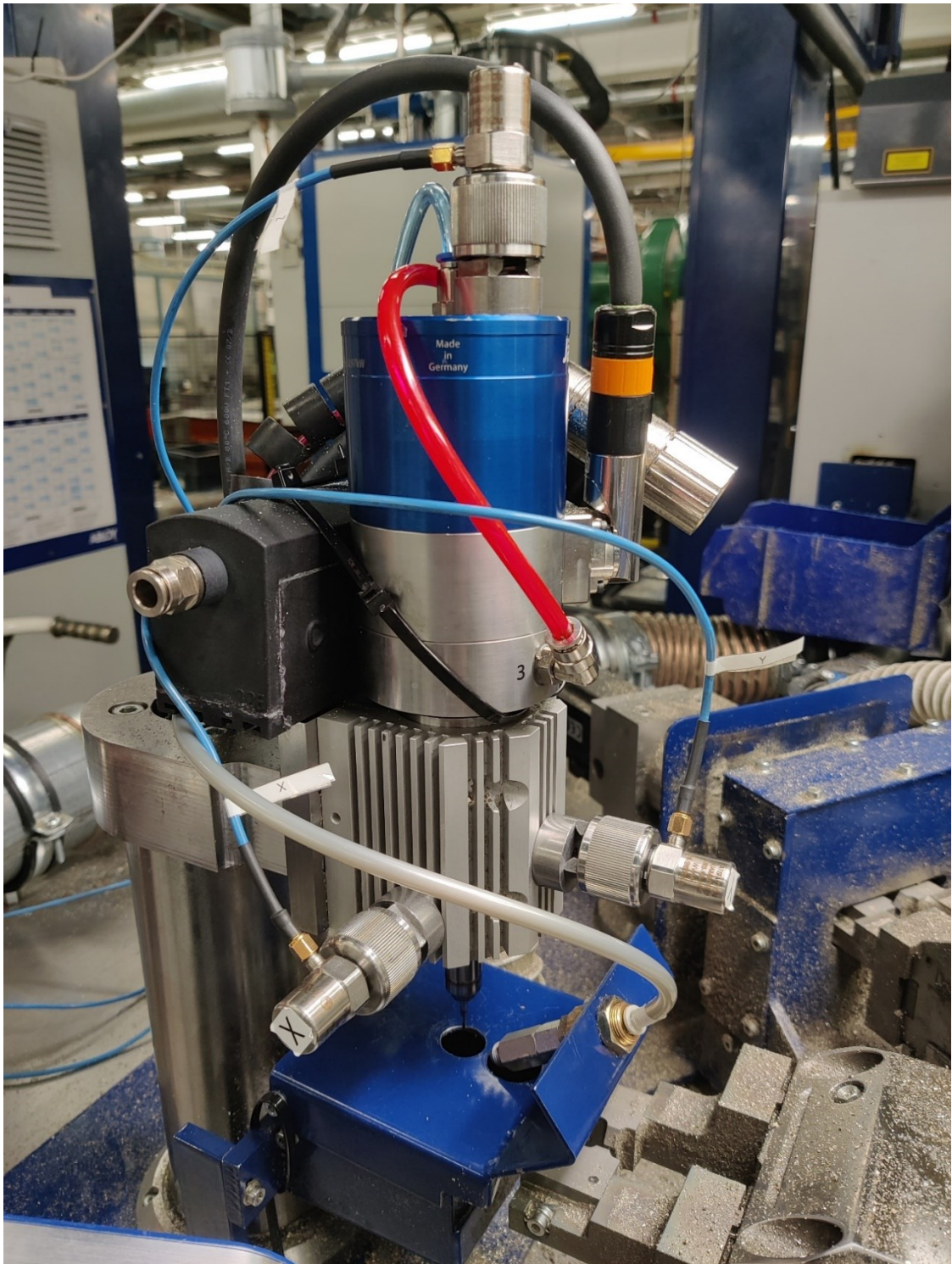
Kuva 19. Vahvistin, Measuring Amplifier, HBM – MX840B, sn. 9E50072F7 (Kuva: Aleksi Timonen).

Adapterit kiinnitettiin liimaamalla ne karan kylkeen mahdollisimman lähelle karan tukipisteitä, jotka sijaitsevat karan laakeroinnissa (kuva 20). Mitä lähemmäs tukipisteitä anturit saadaan, sitä voimakkaampi saatava signaali on. Kiinnityksessä kannattaa välttää myös ylimääräisiä rajapintoja, joita syntyy, kun adaptereita käytetään. Tässä tapauksessa ne olivat kuitenkin välttämättömiä, sillä karan kiinnityspisteet eivät olleet magneettisia.



Kuva 20. Adapterit liimattuna työstökoneeseen (Kuva: Aleksi Timonen).

Anturit kiinnitettiin karan kylkeen X-, Y- sekä Z-akseleiden suuntaisesti, jotta jokaisesta suunnasta saadaan oma data (kuva 21). Eri mittaussuunnista saadun tiedon avulla pystyttiin arvioimaan työstökoneen kuntoa, sekä mahdollisia värinöitä tai värinän aiheuttajia työstöprosessissa.



Kuva 21. Mittausanturit kiinnitettiin magneeteilla (Kuva: Aleksi Timonen).

Mitta-antureiden sekä adaptereiden kiinnitys varmistettiin, jotta anturit eivät pääse irtoamaan testien aikana liimauksistaan.

6.5.2 Väriämittausten suorittaminen

Mittadatan kerääminen aloitettiin suunnitelmien mukaisesti pyörittämällä karaa ilman työstöä, jotta saadaan tietoa karasta ja sen laakeroinnin kunnosta. Mittalaitteiston ollessa erittäin herkkä, datan joukosta jouduttiin erittelemään ulkoiset värähtelyt sekä prosessissa syntyvät värähtelyt.

Mittauksia jatkettiin koneistamalla 1 avain kerrallaan, sillä kun kone ajaa vain yhden avaimen, muut työstöasemat eivät liiku samanaikaisesti. Näin saatiin talteen pelkästään mitattavan työstöaseman värähtelyt. Tämän pohjalta voitiin arvioida, onko aseman toiminnassa itsessään jotain työstöön vaikuttavia värähtelyjä.

Yksittäisten avaimien lisäksi haluttiin tallentaa dataa koneella tapahtuvasta perustyöstöstä, jossa kaikki asemat työskentelevät samanaikaisesti. Näin voitiin taltioida muista työstöprosesseista mitattavaan karaan johtuvat värähtelyt. Näitä värähtelyjä oletettiin olevan muiden työstöasemien liikkeet, sekä rouhivien työstövaiheiden työstöstä aiheutuva värähtely.

7 Tulokset ja johtopäätökset

7.1 Jäähdytys- ja voitelutestit

Testien lopputuloksena saatiin dataa terien kestosta (liite 4) ja sen pohjalta voitiin tehdä selkeät johtopäätökset. Saadusta datasta poistettiin poikkeamat, jotka johtuvat todennäköisesti käyttäjävirheistä. Näitä oli esimerkiksi ionisoidulla kylmäilmahuurolluksella saatu 1 kappaleen kesto terää kohden.

Öljysumulla koneistettaessa työkalun tuotto on aikaisemmassa historiassa ollut keskimäärin noin 16 091 työstettyä kappaletta terää kohden (taulukko 2). Testien aikana öljysumulla koneistaessa työkalujen tuotto oli noin 11 703 työstettyä kappaletta työkalua kohden (taulukko 3). Vaikka kesto on keskimäärin pienempi verrattuna aiemmin kerättyyn dataan, on vaihtelu silti samaa luokkaa. Työkalujen tuotto laskettu alla olevalla kaavalla 8.

$$Tuotto = \frac{T}{P}$$

(8)

jossa

<i>T</i>	Tuotosten määrä
<i>P</i>	Panoksen määrä

Työkalu nro	Työkalun kesto (kpl)
1	21605
2	20226
3	20121
4	18000
5	14250
6	20574
7	15430
8	15830
9	25133
10	14869
11	9241
12	7866
13	14924
14	4581
15	13951
16	18004
17	18948
Keskiarvo:	16091

Taulukko 2. Työkalun kesto ennen testejä öljysumulla.

Työkalu nro	Työkalun kesto (kpl)
1	14051
2	12710
3	4101
4	15948
Keskiarvo:	11703

Taulukko 3. Työkalunkesto testeissä öljysumulla.

Ilman jäähdytys- tai voitelupuhallusta koneistaessa terän kesto oli odotetun kaltaisen, tuotto noin 445 työstettyä kappaletta työkalua kohden (taulukko 4). Työkalun ollessa todella pieni, tarvitsee se jonkinlaisen puhalluksen lastun poistoon, jotta työkalun leikkuu ei täyty lastusta. Leikkuiden tukkeutuminen johtaa työkalun ennenaikaiseen hajoamiseen.

Työkalu nro	Työkalun kesto (kpl)
1	410
2	541
3	385
Keskiarvo:	445

Taulukko 4. Työkalunkesto kuivakoneistuksena.

Ionisoidulla kylmäilmapuhalluksella koneistaessa terän kesto oli kohtalainen ja sillä saavutettiin keskimäärin 4 240 kappaleen tuotto työkalua kohden, joka on noin 36 % verrattuna öljysumulla saavutettuun tulokseen testeissä (taulukko 5). Ionisoitua paineilmaa verratessa ennen testejä taltioituun öljysumun tuottoon, on sama arvo noin 26 %.

Ionisoidulle paineilmalle haettiin testeissä parempaa kestoja muuttamalla eri arvoja. Muutettavia arvoja olivat lähtevän paineilman paine, sekä paineilman lämpötila. Testien aikana ei kuitenkaan havaittu, että arvojen muuttaminen suuntaan tai toiseen olisi tuonut merkittävää eroa työkalun keston. Ionisoitua paineilmasuihkua pyrittiin myös kohdistamaan tarkemmin työstötapahtumaan, jotta ionit pääsisivät voitelemaan työstön kriittistä pistettä. Tehdyillä muutoksilla ei kuitenkaan ollut selkeää vaikutusta lopputulokseen.

Työkalu nro	Työkalun kesto (kpl)	Paine (bar)	Lämpötila (°C)
1	5894	1,75	-12
2	1825	1,75	-12
3	4455	3	-25
4	5801	2	-10
5	1530	2	-10
6	4700	2	5
7	5475	2	5
Keskiarvo:	4240		

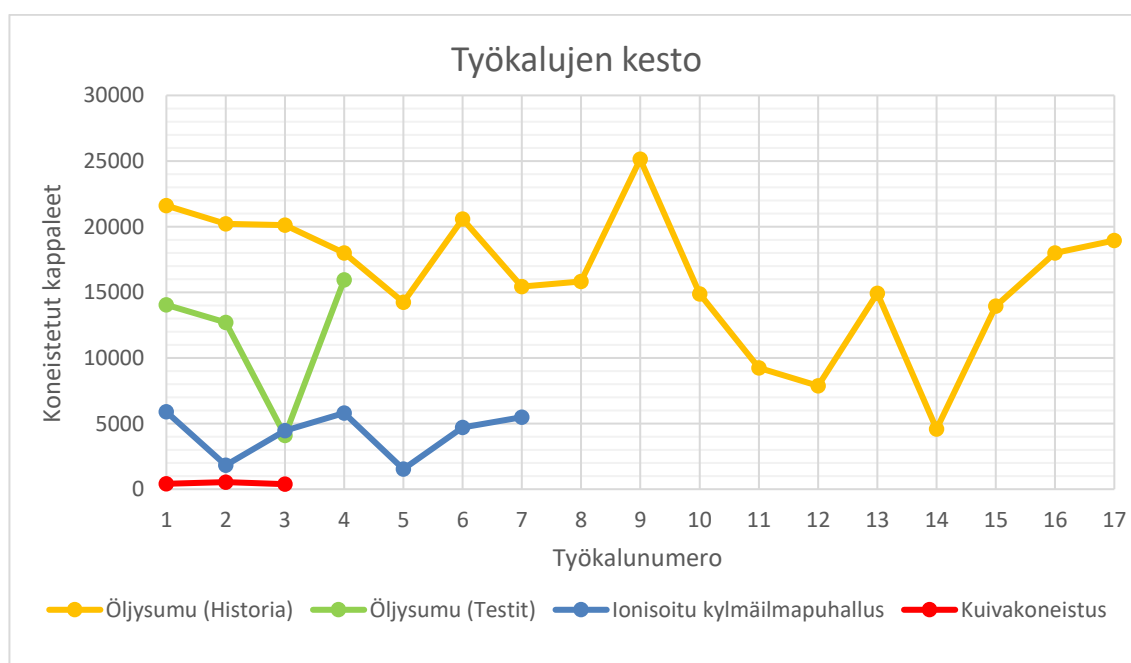
Taulukko 5. Työkalunkesto ionisoidulla kylmäilmapuhalluksella.

Ionisoidun paineilman kohdalla tutkittiin myös tilannetta, jossa liian kylmä paineilma voisi aiheuttaa lämpöshokin työstössä lämpenevään työkaluun. Lämpöshokki voisi siten aiheuttaa haurastumia työkaluun, vaikuttaen negatiivisesti sen käyttöikänsä. Prosessissa ei kuitenkaan pitäisi syntyä paljoa lämpöä johtuen pie-

nestä työstettävän materiaalin poistomäärästä, joten tilanne on epätodennäköinen. Tätä ei myöskään tue samankaltainen työkalun käyttöikä lämpimämmillä +-asteisilla lämpötiloilla. Liian kylmä ilma korkean paineen kanssa altisti kuitenkin laitteiston rikkoutumiselle, sillä lämpötilan ollessa -25°C ionisaattori pääsi petteämään liimauksistaan.

Johtuen testeihin käytettävästä aikarajoitteesta sekä aihoiden rajallisesta koneistusmäärästä, ajatuksena testeissä oli, että jos ionisoitua paineilmaa saadaan toimimaan halutulla tavalla, otetaan testeihin mukaan pelkkä paineilma (kuva 3). Näin olisi voitu verrata miten paljon ionisointi paineilman joukossa auttaa työstöprosessia. Ionisoidun paineilman tulokset eivät kuitenkaan tukeneet tätä ajatusta testeissä.

Työkalujen tuotto vaihteli suuresti eri voitelu- ja jäähdytysmuotojen välillä (kuvio 1). Tilanteessa työstettävä materiaali ja suuret työkalun kierrosnopeudet lisäsivät todennäköisesti vaativuutta.



Kuvio 1. Työkalujen kesto havainnollistettuna kuvioon.

Lisämuutoksilla terän kestoa olisi voitu mahdollisesti parantaa, kuten valmistamalla ionisoidulle paineilmalle erityissuutin, jolla ionit olisi saatu varmimmin voitelemaan työstötapahtumaa (kuva 16). Tämä ei kuitenkaan aikataulurajoitteiden

takia ollut mahdollista opinnäytetyön aikana. Kappaleiden läpimenoaika pysyi voitelu- tai jäähdytysmuodosta riippumatta samana, sillä työstöarvoihin ei tehty muutoksia.

Toimitusvarmuuteen ei tulisi suuria muutoksia, vaikka voitelu- tai jäähdytysmuotoa päädyttäisiin vaihtamaan. Ionisoidussa kylmäilmapuhalluksessa ja pelkässä paineilmassa olisi kuitenkin se hyöty, että juoksevia materiaalikustannuksia ei tulisi työstöprosessin jäähdytykseen tai voiteluun liittyen. Tämä johtaisi tilanteeseen, jossa mahdolliset leikkuuöljyn toimitusvaikeudet voisivat vaikuttaa yrityksen toimitusvarmuuteen. Tämä tilanne on kuitenkin erittäin epätodennäköinen, sillä leikkuuöljyjen saatavuus nykyään on laajaa.

Voitelu- ja jäähdytysmuotojen takaisinmaksuaikoja on haastava arvioida, sillä laitetoimittajilta saadut laitteistot olivat kokeilussa, joten hintoja laitteistoille ei saatu. Kuitenkin jo työkalukustannusten osalta voidaan tehdä karkea taloudellinen arvio verraten kokeiluja voitelu- ja jäähdytysmuotoja. Työstöprosessi on käyttänyt öljysumulla koneistaessa tietojen mukaan 17 työkalua seurantajakson aikana ja näillä työkaluilla on saatu 273 553 kappaletta valmista aihiota. Testeissä yhden työkalun kesto ionisoidulla paineilmalla on ollut keskimäärin 4 240 työstettävää kappaletta. Näistä tiedoista saadaan selville, että ionisoitua kylmäilmapuhallusta käyttäessä samalla seurantajaksolla olisi kulunut keskimäärin noin 65 työkalua saman kappalemäärän koneistamiseksi. Tämä todistettu alla laskemalla:

$$\text{Käytetyt työkalut} = \frac{\text{Koneistetut kappaleet}}{\text{Työkalun tuotto}} \quad (9)$$

saadaan kuluvien työkalujen määrä $\frac{273\,553}{4\,240} = 64,5$

Kun ionisoidun paineilman työkalumenekki suhteutetaan öljysumun työkalumenekkiin, voidaan todeta, että työkalumenekki nousisi noin 282,3 % ionisoidulla paineilmalla. Tämän johdosta työkalukustannukset nousisivat siis suhteessa liki kolminkertaisiksi:

$$Kulutuksen\ nousu - \% = \frac{Kulutus_I - Kulutus_{\ddot{o}}}{Kulutus_I} * 100\% \quad (10)$$

jossa

Kulutus_I Työkalujen kulutus ionisoidulla paineilmalla

Kulutus_ö Työkalujen kulutus öljysumulla

saadaan työkalukulutuksen nousu-%: $\frac{65-17}{17} * 100\% = 282,3\%$

Työkalukustannusten lisäksi huomioidaan laitteiston todennäköisesti korkea hankintakustannus, voidaan olettaa, että öljysumulla päästään taloudellisesti kannattavimpaan tilanteeseen. Ekologisinta voitelu- ja jäähdytysmuotoa valitessa ionisoitu kylmäilmahuuhallus olisi kestävä kehityksen kannalta paras, sillä siitä ei synny ylimääräistä jätettä leikkuun sivutuotteena.

Työn tavoitteena oli kartoittaa vaihtoehtoisten voitelu- sekä jäähdytysmenetelmien soveltuvuus koneistusprosessiin. Tehtyjen testien pohjalta löytyi myös muuta selvitystä vaativaa työtä, kuten terien jo ennestään vaihteleva tuotto, joka vaatii seurantaa ja lisäselvitystä. Ionisoidun paineilman kokeilua jatketaan kuitenkin pitemmällä aikavälillä. Testeissä saatujen tulosten perusteella päädyttiin tilanteeseen, jossa jo työstökoneella käytössä oleva öljysumu (MQL) on tehokkain terän tuoton kannalta.

7.2 Värinämittaus

Mittauksissa saatujen arvojen yksikkö on RMS (Root Mean Square), joka kuvaa signaalin tehollista arvoa, toisin sanoen sitä, kuinka suuri virta tai jännite vastaisi samaa tehonkulutusta suhteessa suoraviivaiseen (DC) signaaliin. Molemmissa tyhjäkäyntimittauksissa (taulukko 6 ja 7) Z-suunnassa oli jonkin verran matalataajuista värähtelyä. Tämän pystyi aiheuttamaan jokin ulkoinen voima, kuten viereinen koneistuskeskus. Kiihtyvyyden muutokset olivat kuitenkin hyvin pieniä, joten niillä ei ollut merkittävää vaikutusta terän keston.

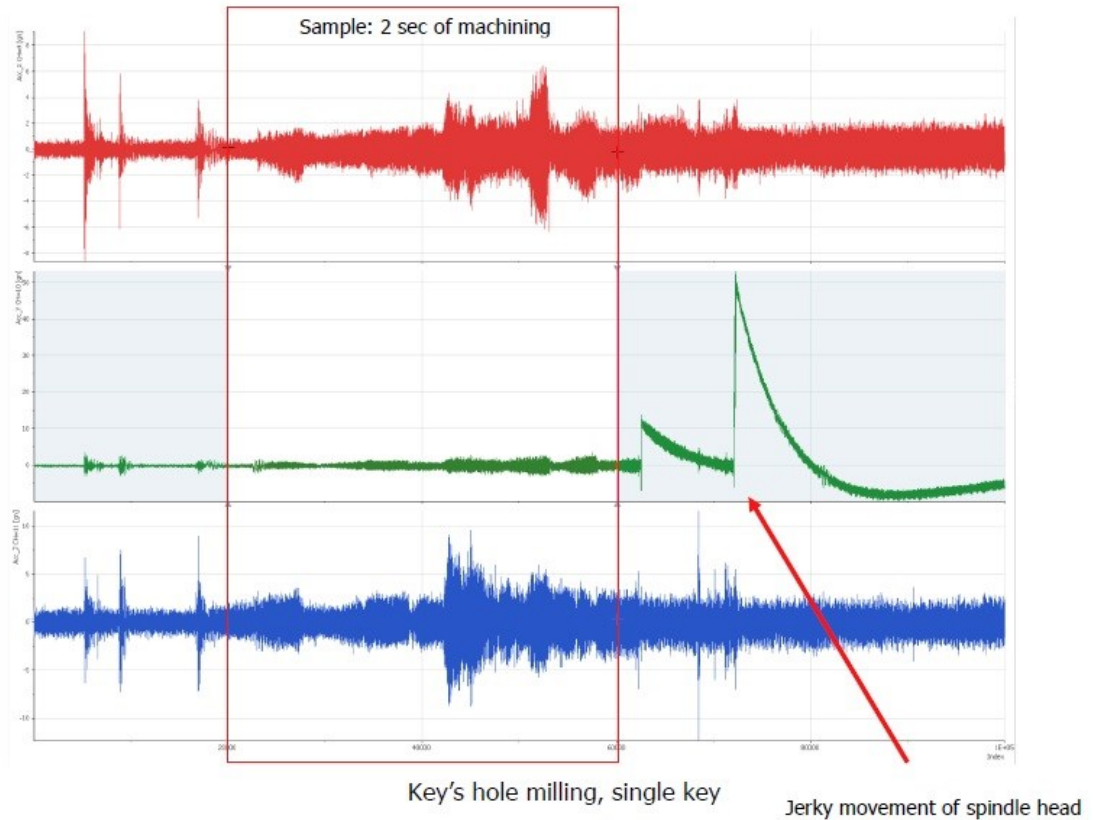
Direction	g (RMS)
X	0,49
Y	0,37
Z	0,48

Taulukko 6. Värinän RMS-arvot, paineilma päällä.

Direction	g (RMS)
X	0,62
Y	0,36
Z	0,59

Taulukko 7. Värinän RMS-arvot, paineilma pois päältä.

Yhden avaimen koneistuksissa ei ollut merkittävää eroa eri voiteluiden välillä., sillä ohjelman piirtämät taajuuskäyrät (taulukko 8) olivat visuaalisesti saman näköisiä ja värähtelyarvot samaa luokkaa. Kuvioista selvisi, että Y-suunnassa tapahtuva työstösuunnan vaihto aiheuttaa värähdyksen, mutta värähdys ei ole suuri, eikä siis vaikuta koneistusprosessiin. Suunnanvaihto työstäessä voisi kuitenkin olla sulavampi, eli on mahdollista että työstöasemaa Y-suunnassa liikuttavassa ruuvissa on likaa tai muuta, joka aiheuttaa takertelun. Värinämittauksissa huomattiin myös, että karan pyöriessä tyhjäkäynnillä kierrokset ovat noin 30 000 rpm, kun taas työstön alkaessa kara kiihdyttää 50 000 rpm nopeuteen. Tämä poikkesi työstökoneelta saadusta tiedosta, jonka mukaan kierrokset olisivat olleet työstäessä 40 000 rpm. Tämä vaatii kuitenkin lisäselvitystä laitevalmistajan kanssa, joka voi arvioida toimiiko kone suunnitellusti.



Taulukko 8. Mitattu data X-, Y- ja Z-akseleiden antureilta (Taulukko: Konecranes Oyj)

Eri jäähdytysmuodoilta eriteltiin data (taulukot 9, 10 ja 11) ja siitä suodatettiin pois taustahälyt. Datan pohjalta luotiin taulukko 12, jossa näkyy eri jäähdytysten värähtelyjen suuruudet verrattuna toisiinsa.

Direction	g (RMS)		
	1. Sample	2. Sample	Average
X	0,95	0,94	0,95
Y	0,68	0,62	0,65
Z	1,53	1,97	1,75

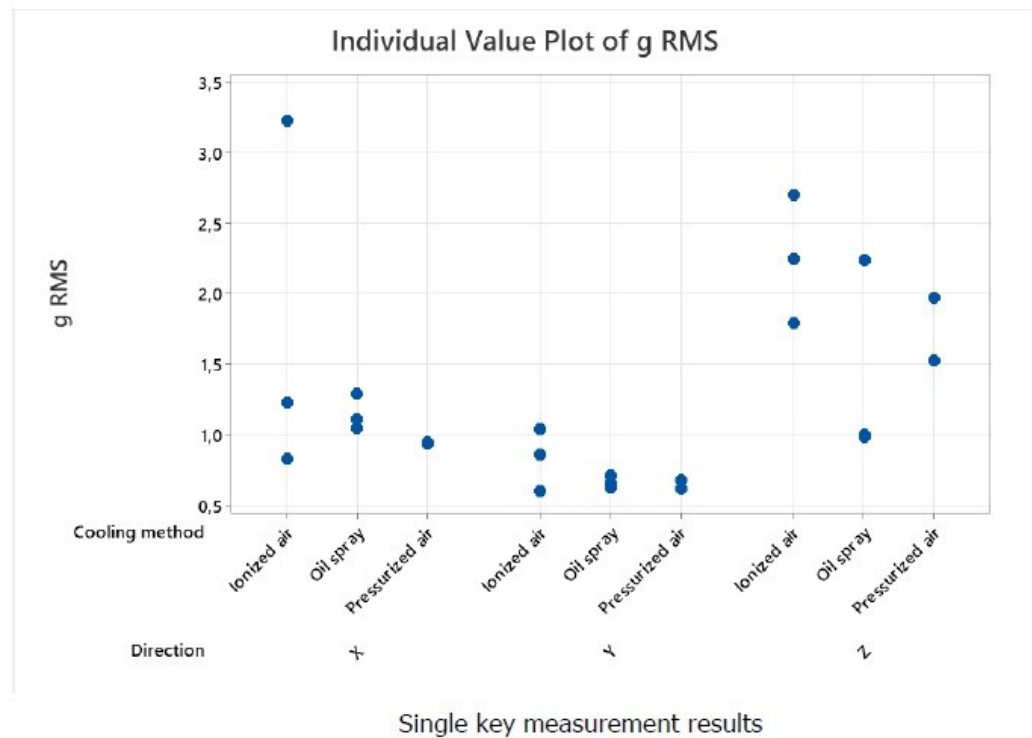
Taulukko 9. Yksi avain, paineilma.

Direction	g (RMS)			
	1. Sample	2. Sample	3. Sample	Average
X	3,23	0,83	1,23	1,76
Y	0,86	0,60	1,04	0,83
Z	1,79	2,70	2,25	2,25

Taulukko 10. Yksi avain, ionisoitu paineilma.

Direction	g (RMS)			
	1. Sample	2. Sample	3. Sample	Average
X	1,29	1,11	1,05	1,15
Y	0,71	0,66	0,63	0,67
Z	0,99	2,24	1,00	1,41

Taulukko 11. Yksi avain, öljysumu.



Single key measurement results

Taulukko 12. Eri jäähdytysten tulokset yhdessä taulukossa. (Taulukko: Konecranes Oyj)

Datan pohjalta pystyttiin päättämään, että jäähdytyksen tai voitelun muodolla ei ollut suurta merkitystä värähtelyihin. Mittaustuloksissa oli kuitenkin mukana epävarmuutta, sillä mittausten aikana kone pysähtyi ja kara jumiintui. Mitatessa ei voitu olla varmoja vaikuttiko karan mahdollinen mekaaninen hajoaminen aiemmin mitattuihin värinämittauksiin. Mittauksien aikana ei kuitenkaan havaittu värähtelyjä, jotka viittaisivat tapahtuneeseen vikaantumiseen. Kyseiselle työstökoneelle ei ollut myöskään aikaisemmin tehty värinämittauksia, joten mittaustuloksia ei pystytty vertaamaan aiempiin mittaustuloksiin.

8 Pohdinta

Opinnäytetyön aihetta valitessa kävimme toimeksiantajan kanssa läpi ajankoh-
taisia projekteja ja tämä aihe valikoitui ensimmäisten joukosta. Heti alussa tun-
nistettiin, että koneistajan työtehtävissä saamani työkokemus oli hyvää taustaa
kyseisen opinnäytetyön tekemiseen. Aihe oli toimeksiantajalle ajankohtainen,
sillä ionisoitua kylmäilmapuhallusta oli kokeiltu jo aiemmin tehtaassa muissa pro-
sesseissa. Testatussa prosessissa kyseinen voitelumuoto oli toiminut hyvin ja
nyt oli mielenkiintoa kokeilla, toimisiko se myös avainvalmistuksessa.

Haasteita opinnäytetyön aikana toi testien aikatauluttaminen niin, että kaikki tar-
vittavat testit saatiin ajettua. Testit olivat pitkäkestoisia, sillä yhdellä terällä ko-
neistettavien aihoiden määrä oli parhaillaan liki 16 000 kappaletta. Tämä tar-
koitti, että samalla työkalulla voitiin työstää jopa yli 6 kokonaista työpäivää.
Alussa myös terien kestoa oli hankala arvioida ionisoidun kylmäilmapuhalluksen
osalta, joka lisäsi haasteita aikataulujen suunnitteluun. Opinnäytetyöhön oli tar-
koitus alun perin sisällyttää myös uusi, mahdollisesti käyttöön tuleva aihiomate-
riaali. Uusi materiaali ei kuitenkaan kerennyt testeihin mukaan, mikä olisi taas
tuonut työhön lisää tuloksia.

Opinnäytetyön lopussa kerättiin palautteita, joiden pohjalta voitiin päätellä tes-
tien sujumuuden ja saatujen lopputulosten olleen miellyttäviä. Työn toteutus on-
nistui hyvin, sillä kaikki välttämättömät testit saatiin ajettua ja työssä päästiin
selkeään lopputulokseen. Opinnäytetyöstä saatu data on arvokasta tietoa toi-
meksiantajalle jatkotesteihin.

Lähteet

- Abloy Oy. 2024. Turvallisuuden ja lukituksen suunnannäyttäjä. <https://www.abloy.com/global/fi>. 11.1.2024.
- Aurion Machining Technologies Oy. 2024. New clean-tech era in industrial machining. <https://www.aurion.fi/>. 12.2.2024.
- Arkkola, J. 2024. 5 Yleisintä tuotannon mittaria. <https://urly.fi/3oFR>. 11.1.2024.
- Ashmawy, M., Elsheikh, A. & Elkassas, A. 2023. A Review of Cooling and Lubrication Techniques for Machining Difficult-to-cut Material. Tanta University, Faculty of Engineering. https://erjeng.journals.ekb.eg/article/280158_d63111d6eb8023bdc06239c7a585b69f.pdf. 23.2.2024.
- Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA). 2024. What is ionising radiation. <https://www.arpansa.gov.au/understanding-radiation/what-is-radiation/ionising-radiation>. 11.1.2024.
- Boswell, B. 2008. Use of Air Cooling and its Effectiveness in Dry Machining Processes. Curtin University of Technology, Department of Mechanical Engineering. https://espace.curtin.edu.au/bitstream/handle/20.500.11937/157/18869_Boswell%20B%202008%20full.pdf?sequence=2&isAllowed=y. 15.12.2023.
- Docquin, C. 2020. 10 KPIs for Achieving Successful PPM Outcomes. <https://www.sciforma.com/blog/10-kpis-measure-project-roi/>. 12.1.2024.
- GoCardless Ltd. 2022. How to calculate the payback period. <https://gocardless.com/guides/posts/how-to-calculate-payback-period/>. 2.2.2024.
- HAI LU JYA HE Co. 2024. Exploring Neat Cutting Oil: Advantages And Applications. https://www.hai-lu-oil.com/en/faq/HLJH_faq-02.html. 18.12.2023.
- Heinonen, M. & Kalliolahti, J. 2020. Koneistustekniikka. Helsinki: Sanoma Pro.
- Lean Thinking Oy. 2024. Lean sanasto. <https://leanthinking.fi/sanasto/prosesin-lapimenoaika-cycle-time/#LEAN-sanasto>. 23.2.2024
- Lee, J.A.N. 1995. Computer Pioneers. Washington: IEEE Computer Society Press. <https://history.computer.org/pioneers/parsons.html>. 27.11.2023.
- Maaranen, K. 2012. Koneistus. Helsinki: Sanoma Pro.
- MacDougall, M. 2020. Carbide VS HSS End Mills. 9.11.2020. Blogi. <https://cuttingtoolpickers.com/blogs/blog/carbide-vs-hss-end-mills>. 21.12.2023.
- Manve Oy. 2024. Kattavasti infoa koneistamisesta, jauhemaalauksesta sekä hitsauksesta. <http://manve.fi/koneistaminen/>. 18.12.2023.
- Meadows, M. 2013. Air Ionization: How it works. <https://blog.gotopac.com/2013/04/17/air-ionization-how-it-works/>. 2.12.2023.
- Sandvik Coromant Finland Oy. 2024. Jyrsinnän laskukaavoja ja määritelmiä. <https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/machining-formulas-definitions/milling-formulas-definitions>. 27.12.2023.
- Stobierski, T. 2020. How to calculate ROI to justify a project. <https://online.hbs.edu/blog/post/how-to-calculate-roi-for-a-project>. 18.1.2024.
- Suzuki, Y. 2023. 6 Ion Generator Manufacturers in 2023. <https://us.metoree.com/categories/3563/>. 15.12.2023.
- Tehos Oy. 2024. Projektin johtaminen – näin onnistut. <https://tehos.fi/projektin-johtamisen-opas/>. 27.12.2023.

- Vasilko, K. & Matija, R. 2019. Ionized Air as a Process Medium for Machining. Technical University of Košice, Faculty of Manufacturing Technologies. <https://journalmt.com/pdfs/mft/2019/01/26.pdf>. 12.12.2023.
- Xometry Europe GmbH. 2019. Cutting fluids for CNC machining processes. <https://xometry.eu/en/cutting-fluids-for-cnc-machining-processes/>. 5.12.2023.

Jäähdytystestit

Koneella ajetaan testit uusille jäähdytysmenetelmille liittyen tehtävään opinnäytetyöhön. Nykyään käytössä oleva öljysumu pyritään korvaamaan vähemmän liikaavalla ja kustannustehokkaammalla menetelmällä. Testin aikana koeajetaan myös uusi avainaihiomateriaali.

Ehdotuksena korvaaviksi jäähdytysmenetelmiksi:

- Silvent AB:n tarjoama "Paineilmasuutin Silvent F1." Käyttää siis perinteistä paineilmapuhallusta yhdistettynä suuttimen patentoituun multi Laval-teknologiaan.
- Aurion Machining Technologies Oy:n tarjoama Ionisoitu paineilmajäähdytys. Ionisoitu paineilma yrityksen mukaan voitelee ja jäähdyttää kappaletta sekä työkalua perinteistä paineilmaa paremmin.

Testausten kulku

Testaukset ajetaan niin, että jokaisella jäähdytysmenetelmällä tulee vähintään 1–2 työkalun vaihtoa. Testaus aloitetaan alkuperäisellä materiaalilla. Kun testit alkuperäiselle materiaalille kaikilla jäähdytysmuodoilla on tehty, voidaan materiaali vaihtaa uuteen lyijyttömään versioon. Samat testit toistetaan tähän.

Testauksen kulku:

1. Kuiva-ajo
2. Öljysumu
3. Kylmäilmapuhallus Silvent
4. Ionisoitu kylmäilmapuhallus Aurion

Tiedon keruu

Työkalunvaihdoissa merkitään Tiedonkeruupohjaan

- työstöarvot
- ajettu kappalemäärä
- tahtiaika (jos muuttunut edellisestä)
- muut huomiot, jos niitä tullut

Käytetty työkalu omaan rasiaansa ja juokseva numerointi rasioihin (1,2,3,4→) jotta tapin kunto voidaan lopuksi dokumentoida.

ABLOY

Jäähdytyskokeilu

Täytä taulukko aina terän vaihdon yhteydessä!

Jäähdytysnumero - Työkäluvaihto	Työkälu nro.	Työstöarvo: Syöttö	Työstöarvo: Kierrosnopeus	Ajettu kappalemäärä	Koneistusaika	Muut huomiot
Ei jäähdytystä - 1	1	___ mm/min	___ fpm	___ kpl	___ sek	
Ei jäähdytystä - 2	2	___ mm/min	___ fpm	___ kpl	___ sek	
Ei jäähdytystä - 3	3	___ mm/min	___ fpm	___ kpl	___ sek	
Ei jäähdytystä - 4	4	___ mm/min	___ fpm	___ kpl	___ sek	
Ei jäähdytystä - 5	5	___ mm/min	___ fpm	___ kpl	___ sek	
Öljysurnu - 1	6	___ mm/min	___ fpm	___ kpl	___ sek	
Öljysurnu - 2	7	___ mm/min	___ fpm	___ kpl	___ sek	
Öljysurnu - 3	8	___ mm/min	___ fpm	___ kpl	___ sek	
Öljysurnu - 4	9	___ mm/min	___ fpm	___ kpl	___ sek	
Öljysurnu - 5	10	___ mm/min	___ fpm	___ kpl	___ sek	

ABLOY

Jäähdytyskokeilu

Täytä taulukko aina terän vaihdon yhteydessä!

Jäähdytysmuoto - Työkaluvalinta	Työkalu nro.	Työstöarvo: Syöttö	Työstöarvo: Kierrosnopeus	Aleettu kappalemäärä	Paine	Lämpötila	Koneistusaika	Muut huomiot
Kylmäilmapuhallus - 1	11	_____mm/min	_____rpm	_____kpl	_____bar	_____°C	_____sek	
Kylmäilmapuhallus - 2	12	_____mm/min	_____rpm	_____kpl	_____bar	_____°C	_____sek	
Kylmäilmapuhallus - 3	13	_____mm/min	_____rpm	_____kpl	_____bar	_____°C	_____sek	
Kylmäilmapuhallus - 4	14	_____mm/min	_____rpm	_____kpl	_____bar	_____°C	_____sek	
Kylmäilmapuhallus - 5	15	_____mm/min	_____rpm	_____kpl	_____bar	_____°C	_____sek	
<hr/>								
Ionisoitu	16	_____mm/min	_____rpm	_____kpl	_____bar	_____°C	_____sek	
Kylmäilmapuhallus - 1		_____mm/min	_____rpm	_____kpl	_____bar	_____°C	_____sek	
Ionisoitu	17	_____mm/min	_____rpm	_____kpl	_____bar	_____°C	_____sek	
Kylmäilmapuhallus - 2		_____mm/min	_____rpm	_____kpl	_____bar	_____°C	_____sek	
Ionisoitu	18	_____mm/min	_____rpm	_____kpl	_____bar	_____°C	_____sek	
Kylmäilmapuhallus - 3		_____mm/min	_____rpm	_____kpl	_____bar	_____°C	_____sek	
Ionisoitu	19	_____mm/min	_____rpm	_____kpl	_____bar	_____°C	_____sek	
Kylmäilmapuhallus - 4		_____mm/min	_____rpm	_____kpl	_____bar	_____°C	_____sek	
Ionisoitu	20	_____mm/min	_____rpm	_____kpl	_____bar	_____°C	_____sek	
Kylmäilmapuhallus - 5		_____mm/min	_____rpm	_____kpl	_____bar	_____°C	_____sek	

Väri­mittaukset Abloy Oy:lle

Ohjeistus väri­mittauksen suorittamiseksi työ­stökoneella 13–14

Mittausten tarkoitus

Mittausten tarkoituksena on tunnistaa karan ja työkalun mahdolliset heitot sekä havaita mahdolliset ulkoiset värähtelyt työ­stöprosessin aikana. Jäähdytysmuodon vaihtuessa saadaan myös tarkempi tieto, miten työkalu käyttäytyy. Mittaukset auttavat myös varhaisessa vikadiagnoosissa ja ennaltaehkäisevässä kunnossapidossa.

Mittauksissa käytetään karan kierrosnopeutena 40 000rpm (tarvittaessa lisämittaukset +/-10 % rpm.)

Testausten kulku:

1. Tyhjän karan väri­mittaus
 - a. Aloita mittaus tyhjällä karalla.
 - b. Tarkoituksena on havaita laakereista mahdollinen vällys
 - c. Tallenna ja dokumentoi saadut värähtelytiedot.
2. Työkalun lisääminen karalle:
 - a. Kiinnitä työkalu karalle huolellisesti.
 - b. Väri­mittaus työkalulla varustetulla karalla.
 - c. Tarkoituksena on havaita mahdolliset työkalun heitot ja varmistaa työkalun asianmukainen kiinnittyminen karalle.
 - d. Tallenna ja dokumentoi saadut värähtelytiedot.
3. Normaali työ­stöprosessi
 - a. Ajetaan normaalisti työ­stöprosessi läpi, jotta nähdään tuleeko työ­stön aikana ulkoisia värähtelyjä
 - b. Tarkoituksena on tunnistaa mahdolliset ulkoiset värähtelyt, jotka voivat vaikuttaa työ­stön laatuun ja terän keston.
 - c. Tallenna ja dokumentoi saadut värähtelytiedot.
4. Vaihtoehtoisilla jäähdytysmuodoilla (vaihtoehtoinen)
 - a. Toistetaan kohdan 3 vaiheet muilla jäähdytysmuodoilla

Väri­mittauksen tulokset taltioidaan ja tehdään tulosten pohjalta arvio:

- a. Karan laakeroinnin kunnosta
- b. Miten työkalu paikottuu karalle
- c. Miten ulkoiset tekijät vaikuttavat työ­stön aikana terän värähtelyyn
- d. Mitkä vaikutukset eri jäähdytyksillä on työkalun väri­nään

ABLOY**Jöähdytyskokeilu**

Täytä taulukko aina terän vaihdon yhteydessä!

Jöähdytysmuoto - Työkaluvaihto	Työkalu nro.	Työstiäro: Syöttö	Työstiäro: Kierrosnopeus	Aleffu kappalemäätä	Koneistusalka	Muut huomiot
Ei jöähdytystä - 1	1	900 ___mm/min	50 000 ___rpm	410 ___kpl	2,7 ___sek	Terä poikki
Ei jöähdytystä - 2	2	900 ___mm/min	50 000 ___rpm	541 ___kpl		Terä poikki
Ei jöähdytystä - 3	3	___mm/min	___rpm	___kpl		
Ei jöähdytystä - 4	4	___mm/min	___rpm	___kpl		
Ei jöähdytystä - 5	5	___mm/min	___rpm	___kpl		
Öljysumu - 1	6	900 ___mm/min	50 000 ___rpm	14051 ___kpl	2,7 ___sek	Terä poikki
Öljysumu - 2	7	900 ___mm/min	50 000 ___rpm	12710 ___kpl		Terä poikki
Öljysumu - 3	8	900 ___mm/min	50 000 ___rpm	4101 ___kpl		Terä poikki
Öljysumu - 4	9	900 ___mm/min	50 000 ___rpm	15948 ___kpl		Terä poikki
Öljysumu - 5	10	___mm/min	___rpm	___kpl		

ABLOY**Jäähdytyskokeilu**

Täytä taulukko aina terän vaihdon yhteydessä!

Jäähdytysmuoto - Työkaluvaihto	Työkalu nro.	Työstöarvo: Syöttö	Työstöarvo: Kierrosnopeus	Alehtu kappalemäärä	Paine	Lämpötila	Koneistusajka	Muut huomiot
Ionisoitu kylmäilmapuhallus - 1	16	900 mm/min	50 000 rpm	5894 kpl	1,75 bar	-12 °C	2,7 sek	Terä poikki
Ionisoitu kylmäilmapuhallus - 2	17	900 mm/min	50 000 rpm	1825 kpl	1,75 bar	-12 °C		Terä poikki
Ionisoitu kylmäilmapuhallus - 3	18	900 mm/min	50 000 rpm	4455 kpl	3,00 bar	-25 °C		Terä poikki
Ionisoitu kylmäilmapuhallus - 4	19	900 mm/min	50 000 rpm	1 kpl	2,00 bar	-10 °C		Terä poikki
Ionisoitu kylmäilmapuhallus - 5	20	900 mm/min	50 000 rpm	5801 kpl	2,00 bar	-10 °C		Terä poikki
Ionisoitu kylmäilmapuhallus - 6	21	900 mm/min	50 000 rpm	1530 kpl	2,00 bar	-10 °C		Terä poikki
Ionisoitu kylmäilmapuhallus - 7	22	900 mm/min	50 000 rpm	4700 kpl	2,00 bar	+5 °C		Terä poikki
Ionisoitu kylmäilmapuhallus - 8	23	900 mm/min	50 000 rpm	5475 kpl	2,00 bar	+5 °C		Terä kulunut