



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# HYDRAULISEN ISKUPORAKONEEN MÄNNÄN VALMISTUKSEN VIIMEISTELYVAIHEIDEN AUTOMATISOINTI

Valtteri Hanhijoki

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2018  
Insinööri  
Sähkövoimatekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Insinööri,  
Sähkövoimatekniikka

HANHIJOKI VALTTERI:

Hydraulisen iskuporakoneen männän valmistuksen viimeistelyvaiheiden automatisointi

Opinnäytetyö 58 sivua, joista liitteitä 1 sivu  
Toukokuu 2018

---

Tämä opinnäytetyö on tehty Sandvik Mining and Construction Oy:n Myllypuron tehtaan Rock Drills -liiketoimintayksikön toimeksiannosta. Työ toimii esiselvityksenä hydraulisen iskuporakoneen männänvalmistuksen viimeistelyvaiheiden automatisoinnin toteuttamiselle. Tällä työllä tuotettiin perusteellinen selvitys uuden viimeistelysolun automatisointiratkaisuista ja sen mahdollisesta layoutista. Vaikka viimeistelyprosessi itsessään ei automatisoinnin myötä muutu juuri ollenkaan, sen avulla päästään eroon aikaisemmin manuaalisesti toteutetuista työvaiheista, joka oli samalla isoin juurisyy automatisoinnin tarpeelle.

Männän viimeistely on Myllypuron tehtaalla toteutettu ennen täysin manuaalisesti aiheuttaen lukuisia kappaleiden nostoja ja siirtelyitä männänvalmistussolun sisällä. Sandvik-teollisuuskonserni päätti tehdä Myllypuron tehtaalle 18 miljoonan euron investoinnin, jonka tarkoituksena on uudistaa ja kehittää hydraulisten iskuporakoneiden tuotantomenetelmiä. Männän viimeistelyn automatisoinnin on suunniteltu olevan osa tätä investointiprojektia.

Männän viimeistelyn nykytilanne kartoitettiin perusteellisesti. Alkukartoitusta tehtiin haastatteleamalla työntekijöitä, heidän esimiehiään ja suunnittelun toimihenkilöitä. Samalla tutustuttiin nykyisiin viimeistelymenetelmiin ja -laitteisiin. Näihin menetelmiin pyrittiin löytämään automatisoidut ratkaisut pääosin robotiikan ja konenäön kautta. Ratkaisuehdotuksia käytiin läpi säännöllisesti toimeksiantajien kanssa pidetyissä yhteisissä palavereissa, joissa heränneisiin kysymyksiin pyrittiin löytämään mahdolliset ratkaisut aina seuraavaan palaveriin mennessä.

Lopulta päädyttiin ratkaisuun, jossa viimeistelylaitteet olisivat aseteltu kiertyvänivelisen 6-akselirobotin ympärille. Robotti toimii yhdessä konenäön kanssa, jonka avulla erilaiset viimeisteltävät mäntätyypit tunnistetaan. Viimeistelysolun keskiössä toimivan robotin pääasiallinen tarkoitus on kuljettaa kappaleita läpi viimeistelyprosessin samalla, kun viimeistelylaitteistoja ohjaa ohjelmoitava logiikka. Lopulta viimeistelysolusta luotiin layoutsuunnitelma, joka pitää sisällään laitteiden sijainnin ja viimeistelyprosessin kulun. Tällä esiselvityksellä tuotiin esiin myös muita männän viimeistelyssä huomioon otettavia asioita, minkä myötä myöhemmin tapahtuvalle käytännön toteutukselle on luotu hyvät lähtökohdat.

---

Asiasanat: automatisointi, kallioporakone, mäntä, robotisointi

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Engineer  
Electrical power engineering

VALTTERI HANHIJOKI:  
Automatization of Impact Piston Finishing of Hydraulic Rock Drill

Bachelor's Thesis 58 pages, appendices 1 page  
May 2018

---

The Rock Drills business unit of Sandvik Mining and Construction Oy commissioned this Thesis. The purpose of the Thesis was to act as a prerequisite for the automation of the finishing stages of the impact piston manufacturing of a hydraulic rock drill. The aim was to provide an in-depth study of the new finishing cell automation solutions and its possible layout.

Piston finishing at the Myllypuro manufacturing plant was done earlier fully manually, causing numerous lifting and moving of parts inside the piston cell. Sandvik's Myllypuro manufacturing plant was commissioned by the Sandvik Industrial Group for an investment of 18 million euros aimed at modernizing production methods and the automation of piston finishing has been designed to be part of this investment project.

First, the current state of piston finishing was thoroughly mapped. Initial mapping was done by interviewing employees, their supervisors and design staff. In addition, the existing finishing methods and devices were explored. Automated solutions for these methods were applied using robotics and machine vision. The solutions were also discussed in joint meetings with the commissioners, where these possible solutions were discussed.

The result of the thesis recommend that the finishing equipment would be set around a 6-axis robot. The robot works in conjunction with the machine vision, which allows the various types of pistons to be identified. The main purpose of the robot in the center of the finishing cell is to carry the pieces through the finishing process while the finishing equipment is controlled by the programmable logic. Finally, a layout plan was created from the finishing cell, which included the locations of the devices and the description of the finishing process. This preliminary study also highlighted other issues to be considered in the finishing of the piston, which led to a good starting point for subsequent practical implementation.

---

Key words: automatization, impact piston, rock drill, robotization

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	YRITYSESITTELY .....	9
2.1	Tamrock.....	9
2.2	Sandvik Group.....	9
2.3	Sandvik Mining and Rock Technology .....	10
2.4	Investointiprojekti.....	11
3	HYDRAULINEN ISKUPORAKONE.....	12
3.1	Iskuprosessi.....	12
3.2	Iskevän voiman synnyttäminen kallioporakoneen sisällä.....	13
3.3	Pyörimisliike.....	15
4	ISKUPORAKONEEN MÄNNÄN TEORIAA .....	16
5	MÄNNÄN VALMISTUS YLEISESTI .....	18
5.1	Sorvaus.....	18
5.2	Lämpökäsittely.....	19
5.3	Hionta.....	19
5.4	Laaduntarkastus .....	20
5.5	Viimeistely.....	21
6	MÄNNÄN VIIMEISTELY .....	22
6.1	Pinnan laatutarkastelu – Barkhausenin kohina .....	22
6.1.1	Mittauksen toimintaperiaate.....	22
6.1.2	Mittalaitteiston rakenne.....	24
6.1.3	Mittaus käytännössä ja mittaustulosten analysointi .....	25
6.2	Terävien reunojen pyöristäminen, kiillotus ja päiden hionta.....	27
6.3	Demagnetointi.....	27
6.4	Pesu.....	29
6.4.1	Ruiskutusmenetelmä .....	29
6.4.2	Ultraäänipesu.....	30
6.5	Suojaus.....	30
6.6	Pakkaus .....	31
7	AUTOMATISOINNIN TARVE JA TURVALLISUUS .....	32
7.1	Työturvallisuus .....	32
7.2	Säköturvallisuus.....	32
7.3	Koneturvallisuus .....	33
8	LAITTEIDEN VALINTA JA NIIDEN VAATIMUKSET.....	35
8.1	Robotti ja konenäköjärjestelmä .....	36
8.1.1	Männän tunnistus- ja syöttö .....	37

8.1.2	Männän kuljettaminen.....	38
8.1.3	Viimeistelysolusta valmistuva mäntä.....	38
8.2	Pinnanlaaduntestaus .....	38
8.3	Kiillotuskone.....	39
8.4	Demagnetointilaite.....	40
8.5	Pesukone .....	42
8.6	Suojaus ja pakkaus.....	42
8.7	Yhteenvedo laitevalinnoista ja niiden mitoituksesta .....	45
9	SOLUN OHJAUS .....	47
9.1	Viimeistelyprosessin kuvaus.....	47
9.1.1	Pääprosessi .....	49
9.1.2	Osaprosessi.....	50
9.2	Solun ohjaamisen käyttöliittymä .....	50
10	LAYOUT.....	52
11	JATKOTOIMENPITEET .....	53
12	YHTEENVETO .....	54
	LÄHTEET.....	56
	LIITTEET .....	58
	Liite 1. Viimeistelysolun layoutpiirustus .....	58

## LYHENTEET JA TERMIT

Austeniitti	Ferriitti muuttuu kuumentaessa austeniitiksi
Demagnetointi	Kappaleen jäännösmagneettisuuden poistamiseen käytettävä menetelmä
Faasi	Metallin kiderakenne koostuu faaseista
Ferriitti	Puhtaan raudan kiderakenne
Hz	Taajuuden yksikkö
Martensiitti	Austeniitti muuttuu nopean jäähtyksen seurauksena martensiitiksi
Puristusjännitys	Kappaleen pinta-alayksikköön kohdistuva voima, joka vähentää materiaalin väsymistä
RMS-arvo	Neliöllinen keskiarvo
SPC	Tilastollinen prosessinohjaus
V	Jännitteen yksikkö
W	Tehon yksikkö
Vetojännitys	Kappaleen pinta-alayksikköön kohdistuva voima, joka aiheuttaa materiaalin väsymistä
<i>B</i>	Magneettivuon tiheys
<i>E</i>	Energia
<i>H</i>	Magneettikentän voimakkuus
<i>P</i>	Teho
<i>f</i>	Taajuus
<i>m</i>	Massa
<i>v</i>	Nopeus
$\sigma$	Jännitys

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Sandvik Mining and Construction Oy:n Tampereen tehtaan Rock Drills -liiketoimintayksikön toimeksiannosta. Opinnäytetyön pohjalta tehtyä suunnitelmaa on tarkoitus käyttää apuna suunnitteilla olevan robottisolun varsinaiseen toteutukseen ja sen pyrkimyksenä on antaa hyvät lähtökohdat myöhemmin tapahtuville käytännön toimille. Opinnäytetyö on tehty osana Sandvikin porakonetehtaalla käynnissä olevaa investointiprojektia, jonka myötä tehtaasta on tarkoitus luoda täysin uudenlainen osaamis- ja kehityskeskus.

Opinnäytetyön lopputuotteena on tarkoitus tuottaa jouheva ratkaisumenetelmä hydraulisen iskuporakoneen männän valmistuksen viimeistelyvaiheiden automatisoinniksi, sekä luoda karkea layoutsuunnitelma viimeistelysolusta ja sen toiminnasta. Viimeistelyvaiheiden automatisoinnilla pyritään ensisijaisesti vähentämään kappaleiden nostoja ja siirteilyä tuotantosolun sisällä, sekä modernisoimaan nykyisiä tuotantojärjestelmiä.

Männän elinkaari on hyvin pitkä ja viimeistelyprosessilla on hyvin suuri merkitys männän eliniän kannalta. Männän viimeistely on tarkka ja moniosainen prosessi, joka asettaa viimeistelylaitteistolle paljon vaatimuksia. Viimeistely koostuu männän pinnan laatutarkastelusta Barkhausenin kohina -ilmiön avulla, terävien reunojen pyöristämisestä, pintojen kiillotuksesta, männänpään hionnasta, demagnetoinnista, pesusta, suojauksesta ja pakkaamisesta. Aikaisemmin viimeistely on toteutettu täysin manuaalisesti ja viimeistelylaitteistot on ollut sijoitettu ympäri männänvalmistussolua. Uudelle viimeistelysolulle on varattu 7500 mm x 3800 mm kokoinen tila uuden porakonetehtaan layoutista, jonka sisällä tämän viimeistelyprosessi olisi tarkoitus toteuttaa.

Haasteita automaattiselle männän viimeistelylle asettaa erityisesti tuotanto-olosuhteet. Mäntävalmistus ei ole millään tavalla massatuotantomaista ja erilaisia valmistettavia mäntätyyppejä on useita. Mäntien pituus ja paino vaihtelevat paljon, joten viimeistelysolun laitteistojen on kyettävä mukautuvaan tähän epäsäännölliseen tuotantoympäristöön. Solun on myös kyettävä käsittelemään useita mäntiä samanaikaisesti, sillä mäntiä saapuu viimeisteltäväksi kahdelta eri mäntähiomakoneelta. Männän pinnanlaadulle on asetettu myös hyvin korkeat vaatimukset, jonka takia viimeistelyprosessi on suunniteltava hyvin tarkasti.

Opinnäytetyö koostuu kolmesta pääosiesta. Ensimmäisessä osiossa tutustutaan hydraulisen porakoneen ja sen männän rakenteeseen, sekä männän valmistukseen yleisesti. Toisessa osiossa käydään läpi männän eri viimeistelyvaiheiden funktioita, sekä niille asetettuja vaatimuksia, ja pyritään löytämään näille soveltuvat ratkaisut vaiheiden automatisointia silmällä pitäen. Kolmannessa osiossa perehdytään viimeistelysolun ohjaamiseen ja sen layoutin rakentamiseen.



## 2 YRITYSESITTELY

Sandvikin Tampereen Myllypuron tehtaalla on pitkä historia. Kaikki sai alkunsa konepajateollisuutta harjoittavan Tampellan jakautuessa eri liiketoiminta-alueiksi, joista Myllypuroon perustettiin kaivoskoneita valmistava Tamrock. Lopulta Tampellan joutuessa taloudellisiin vaikeuksiin, teollisuusjätti Sandvik osti Tamrockin.

### 2.1 Tamrock

Tamrock sai alkunsa vuonna 1856 perustetun konepajateollisuutta harjoittavan pörssiyrityksen, Oy Tampella Ab:n laajentaessa liiketoimintaansa kallioporakoneisiin. Tampella joutui taloudellisiin vaikeuksiin 1989-vuoden lopulla, jonka seurauksena Tampella velkaantui rajusti. Tästä alkoi Tampellan jakaminen osiin jakaminen, jotta näitä osia voitaisiin myydä. Yksi näistä osista oli kaivoskoneyhtiö Tamrock. Vuonna 1997 Sandvik-konserni osti osan Tamrockista ja loput vuonna 2005. (Tampella, 2017.) Tamrock ja Sandvik Rock Tools muodostivat yhdessä Sandvik Mining and Construction -liiketoiminta-alueen, joka on nykyisin maailman johtava poraus- ja louhintakoneiden ja laitteiden, työkalujen ja palvelujen toimittaja kaivos- ja maarakennusteollisuudelle (Sandvik AB).

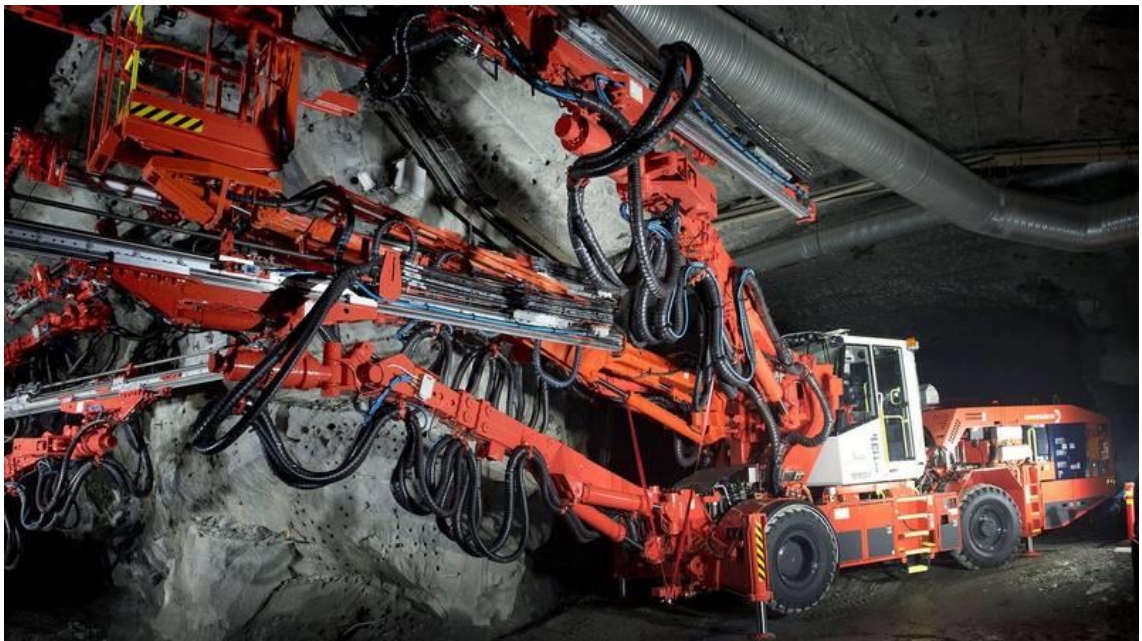
### 2.2 Sandvik Group

Sandvikin perusti vuonna 1862 Göran Fredrik Göransson. Hän osti vuonna 1855 pienen rautaruukin nimeltä Högbo Bruk ja onnistui pian sen jälkeen ensimmäisenä soveltamaan Bessemer-menetelmää korkealaatuisen teräksen tuotantoon. Myöhemmin hän osti oikeudet menetelmän käyttöön tavattuun Sir Henry Bessemerin liikematkallaan Englannissa. Sandvik laajensi toimintaansa vähitellen lopputuotteisiin, kuten sahoihin ja muihin työkaluihin, reiälliseen porateräkseen ja teräsputkiin. Nykyisin Sandvik koostuu kolmesta vahvasta liiketoiminta-alueesta: Sandvik Mining and Rock Technology, Sandvik Machining Solutions ja Sandvik Materials Technology. (Sandvik AB.)

Sandvik on kansainvälinen korkean teknologian teollisuuskonserni, joka vaikuttaa monella kaivos- ja metalliteollisuuden liiketoiminta-alueella. Vuonna 2016 Sandvikilla työsken-  
teli noin 43 000 henkeä ja sen myynti oli 82 miljardia Ruotsin kruunua. Sandvik-te-  
ollisuuskonsernin toimitusjohtajana toimii Björn Rosengren ja konsernin pääkonttori si-  
jaitsee Tukholmassa. (Sandvik AB.)

### 2.3 Sandvik Mining and Rock Technology

Sandvik Mining and Rock Technology -liiketoiminta-alue tarjoaa pitkälle kehitettyjä kai-  
voskoneita ja -ratkaisuja erilaisiin tarkoituksiin (Sandvik AB). Kuvassa 1 on esitetty  
Sandvikin tunnelijumbo, joka on samalla yksi suurimmista ja kompleksisimmista Sand-  
vikin Myllypuron tehtaalla valmistettavista kallioporolaitteista. Esimerkiksi Tampereen  
Rantatunnelihankkeessa käytettiin kyseistä laitetta (Tykki, 2016).

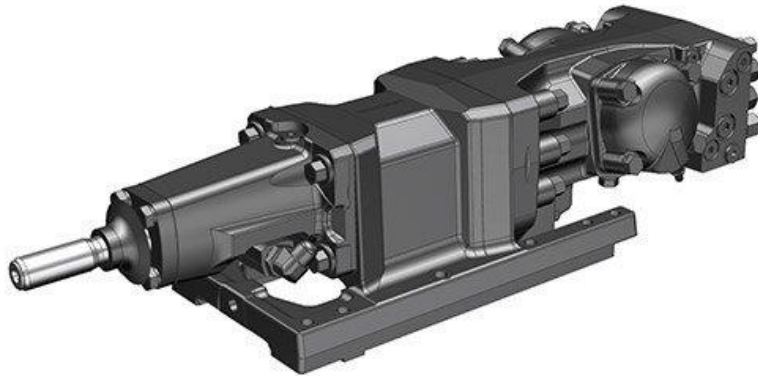


KUVA 1. Sandvikin tunnelijumbo (Tykki, 2016)

Tampereen Myllypuron tehdas työllisti vuoden 2017 toukokuussa noin 1000 henkeä ja luku on hieman kasvanut kysynnän piristymisen ja tehtaalle myönnetyn 18 miljoonan euron investointirahan myötä (Rautiainen, 2017).

## 2.4 Investointiprojekti

Toukokuussa 2017 koettiin historiallinen hetki Sandvik-teollisuuskonsernin investoimassa 18 miljoonaa euroa uuteen osaamis- ja kehityskeskukseen, joka perustetaan Tampereen Myllypuron nykyisen toimipaikan yhteyteen. Uudessa keskuksessa keskitytään porauslaitteiden ydinkomponenttien, eli porakoneiden (kuva 2) kehittämiseen siten, että ne kestävät pidempään ja että poraaminen on entistäkin nopeampaa ja tarkempaa. (Rautanen, 2017.)



KUVA 2. Porakonemalliston myydyin porakone, HLX5 (Sandvik AB)

Sandvikin markkinaosuus maanalaisissa porauslaitteissa on 35-40 prosentin luokkaa ja porakoneliiketoimintayksikön johtaja Timo Laitinen arvioi, että 18 miljoonan euron investointi auttaa lisäämään markkinaosuutta entisestään pidemmällä aikavälillä. Suuri osa myynnistä tulee myös varaosabisneksen kautta, sillä porakoneen iskiessä elinkaarensa aikana miljardeja kertoja teräskangen päähän, osat luonnollisesti kuluvat. (Rautanen, 2017.) Asiakkaan on mahdollista ostaa varaosia näiden kuluneiden osien tilalle, joka on asiakkaan kannalta paljon edullisempaa, kuin kokonaan uuden porakoneen hankkiminen.

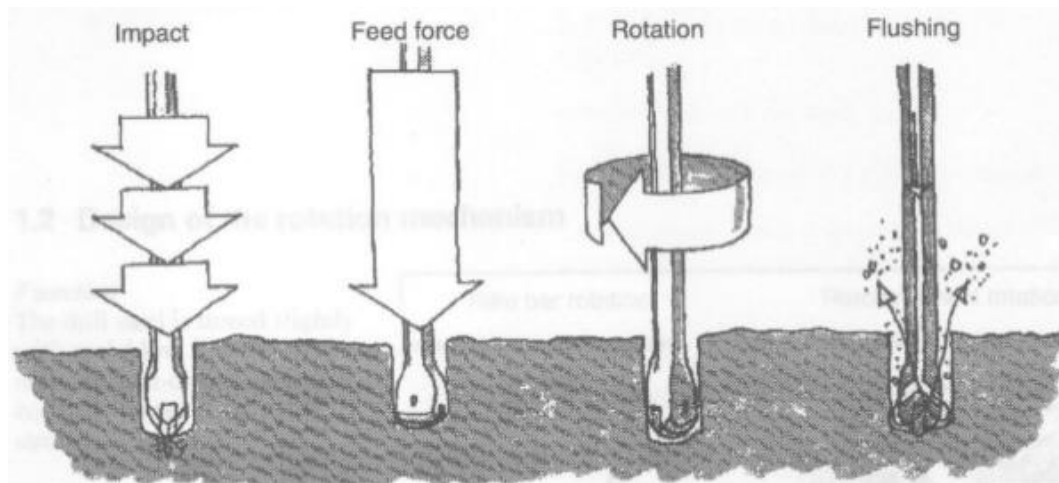
### 3 HYDRAULINEN ISKUPORAKONE

Hydraulisen iskuporakoneen pääsääntöisenä käyttötarkoituksena on tehdä kallioon reikiä. Näillä rei'illä voi olla monia eri funktioita, kuten

- reiän panostus ja kiven irrotus räjäyttämällä
- kallion lujitus pulttaamalla
- infran rakentaminen
- erilaiset kallioperän tutkimukset
- kallion tiivistäminen, eli injektointi. (Rautanen, M. 2016.)

#### 3.1 Iskuprosessi

Iskuporauksessa (kuva 3) kiveä rikotaan välittämällä kallioporakoneessa tapahtuvia mällän iskuja porakoneen niskakappaleeseen ja siinä kiinni olevaan kankeeseen, ja siitä edelleen kiven kanssa kosketuksissa olevaan porakruunuun (*Impact*). Samaan aikaan porakruunuun kohdistetaan syöttövoimaa, jonka avulla se pysyy jatkuvasti kontaktissa kiven kanssa (*Feed force*). Jotta jokainen isku olisi mahdollisimman tehokas, kallioporakoneessa sijaitseva hydraulimoottori pyörittää kankea, jonka päässä porakruunu sijaitsee. Pyörittämällä kankea, porakruunu kohtaa reiän pohjan aina uudella tavalla, joka tehostaa poraamista (*Rotation*). Poratessa on käytettävä myös tilannekohtaisesti suunniteltua huuhtelujärjestelmää, jotta porakalusto ei jumiudu reikään, ja että porakruunun tunkeutumisnopeus pysyy hyvänä (*Flushing*). (Rautanen, M. 2016.)

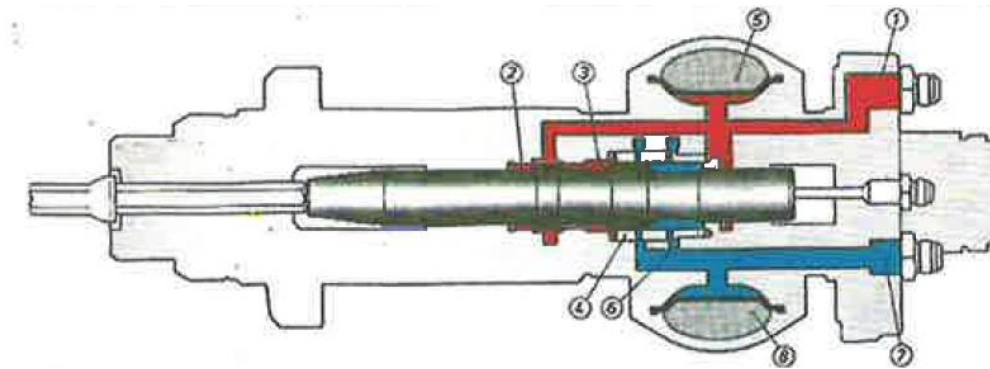


KUVA 3. Iskemisprosessi (Roy & Rao, 2013)

### 3.2 Iskevän voiman synnyttäminen kallioporakoneen sisällä

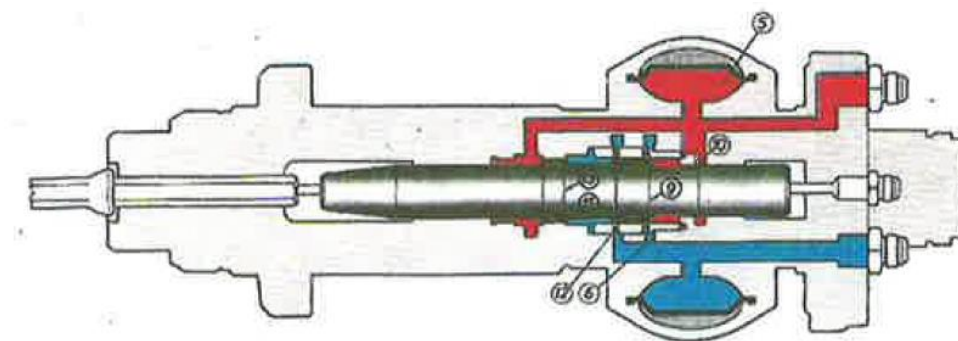
Yksinkertaisuudessaan mäntä saadaan iskemään ohjailemalla korkeapaineista hydraulioöljyä jakokappaleen avulla vuorotellen iskumännän etu- ja takaosaan. Kuvasarjassa 4-7 on havainnollistettu porakoneen yksittäisen iskun vaiheet. Punainen väri kuvastaa porakoneeseen korkealla paineella syötettävää hydraulioöljyä ja sininen porakoneesta poistuvaa matalapaineisempaa hydraulioöljyä.

Kuvassa 4 mäntä on esitetty iskukohdassaan. Iskukohdassa paineöljy vaikuttaa ainoastaan männän etupuolella, joka aikaansaa männän paluuliikkeen alkamisen sen taka-asentoon. Paineöljy pääsee samalla myös jakoventtiilin etuosaan aiheuttaen jakokappaleen siirtymisen taka-asentoon. (Sandvik Mining and Construction.)



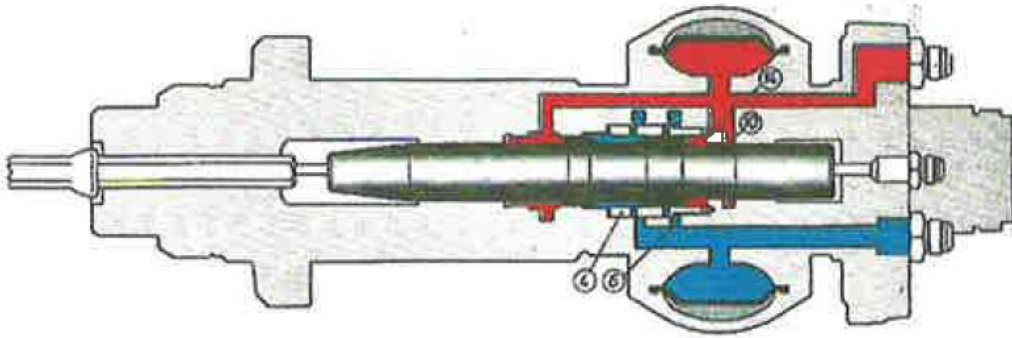
KUVA 4. Mäntä iskukohdassaan (Sandvik Mining and Construction)

Kuvassa 5 mäntä on palaamassa takaisin alkuasentoonsa. Mäntä saadaan pysäytettyä paluuliikkeen aikana avautuneiden öljykanavien ohjatessa paineöljyä männän takaosaan. Tämän pysäytyksen seurauksena syntyy korkeita painehuippuja, jotka varastoidaan porakoneen paineakkuihin. (Sandvik Mining and Construction.)



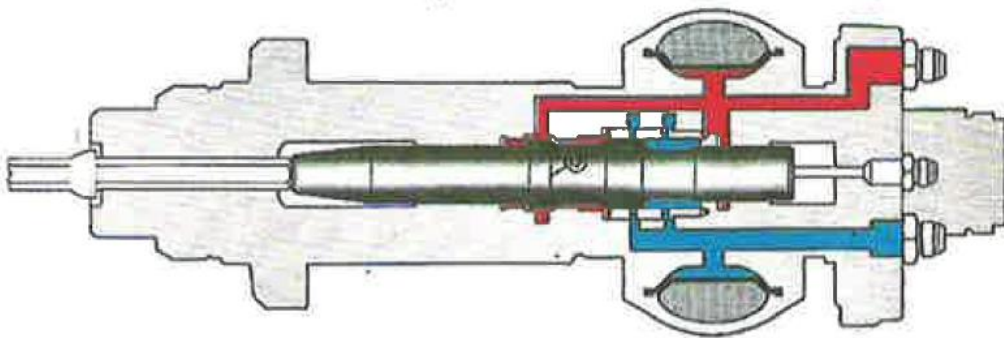
KUVA 5. Männän paluu taka-asentoon (Sandvik Mining and Construction)

Kuvassa 6 öljy ohjautuu uuden iskun aloittamiseksi. Paineen laskettua jakoventtiilin etupuolella, alkaa jakoventtiili liikkua kohti etuasentoaan sen takaosassa vaikuttavan painevoiman ansiosta. Samalla poistuvaa öljyä ohjailevat paluukanavat sulkeutuvat ja paineöljy pääsee suoraan virtaamaan männän takaosaan. (Sandvik Mining and Construction.)



KUVA 6. Uuden iskun lähtötilanne (Sandvik Mining and Construction)

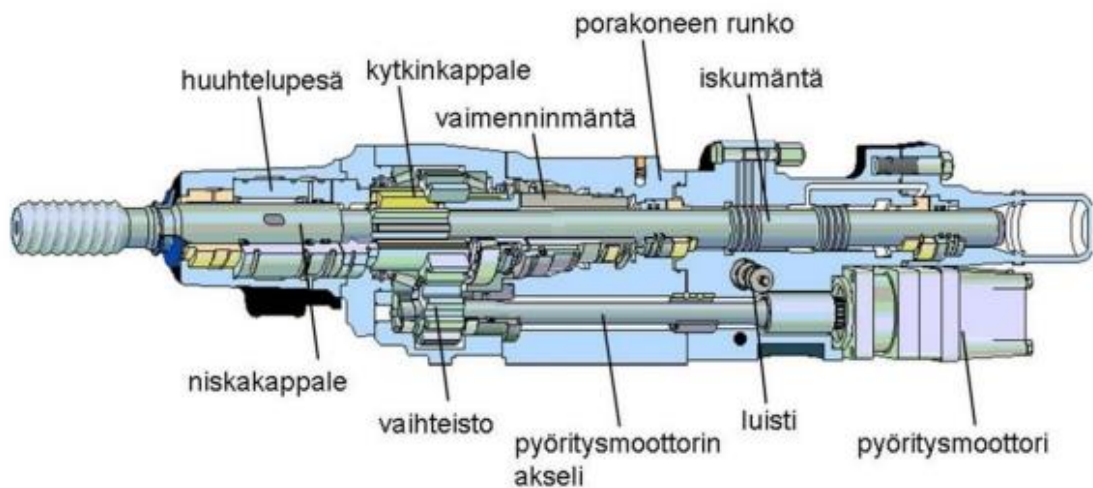
Paineöljyn suoraan virratessa männän takaosaan, mäntä saadaan iskemään. Hieman ennen iskukohtaa öljy kuitenkin ohjataan jakoventtiilin etupuolelle, jolloin se alkaa siirtymään taka-asentoonsa. Samalla jakoventtiili sulkee öljyn pääsyn männän takapuolelle, joka aikaansaa kuvassa 7 esitetyn männän paluuliikkeen alkamisen. (Sandvik Mining and Construction.)



KUVA 7. Männän iskeminen (Sandvik Mining and Construction)

### 3.3 Pyörimisliike

Kangen pyörimisliike saadaan porakoneessa (kuva 8) aikaan hydrauliikkamoottorilla. Pyöritysmoottori pyörittää akselia, joka puolestaan pyörittää runkoholkia. Runkoholkin sisälle on asennettu kytkinkappale, joka pyörii runkoholkin pyöriessä. Kytinkappale puolestaan pyörittää niskakappaletta, joka on lopulta yhteydessä kankeen, jonka päässä kiveä iskevä porakruunu sijaitsee. (Rautanen, M. 2016.)



KUVA 8. Kallioporakoneen poikkileikkauskuva (Rautanen, M. 2016)

## 4 ISKUPORAKONEEN MÄNNÄN TEORIAA

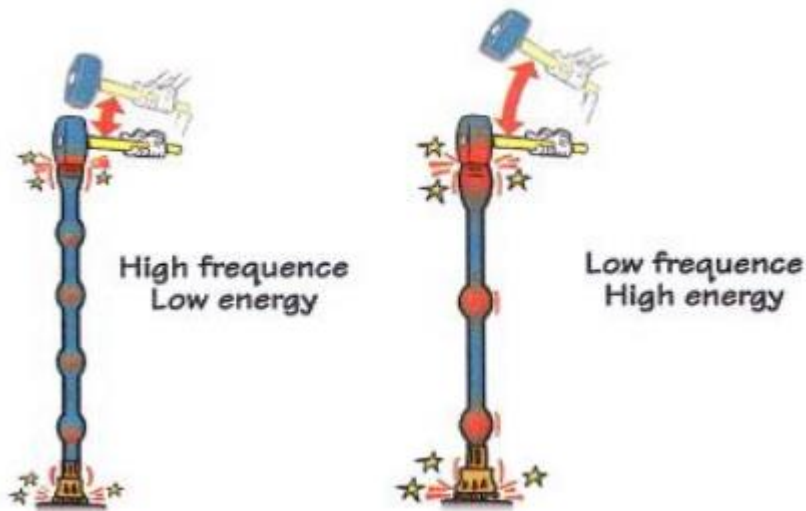
Eri käyttöolosuhteisiin luodut kallioporakonetyypit varioivat pitkälti männän suhteen. Männän koolla, painolla, pituudella ja dimensioilla on erittäin suuri vaikutus siihen, miten se käyttäytyy porakoneen sisällä. Eri kallioporakonevariantit keskittyvät periaatteessa kolmen eri ominaisuuden vaihteluun, jotka ovat

- iskutaajuus
- iskuvoima
- pyörimisnopeus.

Iskuprosessissa männän iskuenergia välitetään niskakappaleen, porakangen ja porakruunun kautta kiveen. Mäntä iskee niskakappaleeseen tyypillisesti 60 Hz taajuudella. Iskuenergia [J] riippuu männästä, sen massasta ja iskunopeudesta, eli se noudattaa täysin liikeenergian kaavaa,  $E = \frac{1}{2}mv^2$ . Teho [W] sen sijaan kuvaa energiaa aikayksikköä kohden [J/s], joten se saadaan energian ja iskutaajuuden tulona  $P = E \cdot f$ . (Ul Haq 2010, 10-11.)

Eri iskutehoja ei kuitenkaan voi suoraan verrata keskenään, vaikka suurienerginen ja matalataajuinen iskeminen voi olla teholtaan yhtä suuri, kuin matalatehoinen ja suuritaajuinen iskeminen. Suuren iskutehon saavuttamiseksi kallioporakoneessa halutaan korkea iskutaajuus samalla, kun männällä vaikuttavan paineen ja virtauksen on oltava riittävä. Lyhyesti tämä tarkoittaa siis sitä, että iskuenergian tarve tulee pitkälti porattavan kiven ominaisuuksista ja porattavan reiän halkaisijasta. Karkeasti voidaan siis ajatella, että korkeataajuisella ja matalatehoisella iskemisellä saavutetaan suuri tunkeutumisnopeus, kun taas matalataajuinen ja suuritehoinen iskeminen antaa mahdollisuuden porata isomman halkaisijan reikiä (kuva 9). (Ul Haq 2010, 11.)





KUVA 9. Iskutaajuuden ja -tehon vaikutukset poraamisessa (Ul-Haq, 2010)

Männän iskutaajuuteen ja iskutehoon voidaan siis vaikuttaa sen fyysisillä ominaisuuksilla, sille varatulla liikeradalla ja männällä vaikuttavan öljynpaineen suuruudella. Jos männälle on varattu suuri liikerata ja sillä on suuri massa, mäntä saavuttaa suuren nopeuden, ja suuren massansa ansiosta iskuteho on tällöin myös suuri. Suuren liikeradan vuoksi iskutaajuus on kuitenkin pienempi. Jos taas männälle varattu liikerata on pieni, kasvaa iskutaajuus sen mukaisesti. Tässä tilanteessa ei kuitenkaan saavuteta yhtä suuria nopeuksia, kuin suurella liikeradalla, joten iskuenergia jää pienemmäksi.

## 5 MÄNNÄN VALMISTUS YLEISESTI

Mäntä on valmistusprosessinsa alussa vain umpinainen metalliseosputki. Metallin seostuksella pyritään vaikuttamaan männän kestävyyteen ja lujuuteen. Seostuksia on paljon erilaisia, riippuen lopputuotteen käyttötarkoituksesta. Mäntäaihiosta lopullinen mäntä saadaan valmistettua sorvaamalla, lämpökäsittelmällä ja hiomalla.

### 5.1 Sorvaus

Sorvaus on työstötapa, jota käytetään poikkileikkaukseltaan ympyrän muotoisille kappaleille. Sorvatussa työstettävä kappale pyörii ja sitä työstetään stationäärisellä terällä. Sorvaus on monipuolinen työstötapa ja se mahdollistaa lukuisten eri muotojen tuottamisen. (Kalpakjian & Schmid 2008, 467.) Männän valmistuksessa kappale sorvataan pääsääntöisesti kaksi kertaa, pehmeänä ja kovana.

Pehmeäsorvauksella tarkoitetaan valmistusvaihetta, jossa mäntä sorvataan aihioista muotoonsa ennen lämpökäsittelyä. Pehmeäsorvauksessa mäntään jätetään yleensä hieman työstövaraa, jotta lämpökäsittelyn aiheuttamat dimensiomuutokset kappaleessa saadaan työstettyä pois. Termi *pehmeä* tulee siitä, kun kappaleella ei ole vielä lämpökäsittelyn aikaansaamia kovuus- ja sitkeysominaisuuksia. (Sandvik Mining and Construction.)

Kovatorvauksella tarkoitetaan valmistusvaihetta, jossa mäntä sorvataan tietyistä paikoista lämpökäsittelyn jälkeen. Kovatorvausta ei kuitenkaan tehdä kappaleen kaikille pinnoille, sillä se aiheuttaa kappaleen pintaan vetojännitystä. Vetojännitykset puolestaan aiheuttavat kappaleen väsymistä ja sen seurauksena se voi esimerkiksi haljeta. Pinnan vetojännitys saadaan poistettua hiomalla, jolloin jännitys myös muuttuu kappaleen kannalta edullisemmaksi puristusjännitykseksi. (Sandvik Mining and Construction.)

## 5.2 Lämpökäsittely

Metallin lujuus, sitkeys sekä muut mekaaniset ominaisuudet perustuvat metallin seostuksen lisäksi sen kiderakenteeseen (Kivivuori & Härkönen 2004, 11). Metallin lämpökäsittelyllä pyritään vaikuttamaan tähän kiderakenteeseen. Kiderakenne voidaan karkeasti jaotella lujuutensa mukaan kolmeen eri faasiin: ferriitiksi, austeniitiksi ja martensiitiksi (Kivivuori & Härkönen 2004, 25-29). Lämpökäsittelyssä pyritään saavuttamaan martensiittinen kiderakenne (Kivivuori & Härkönen 2004, 50).

Lämpökäsittelyprosessi koostuu pääsääntöisesti karkaisusta ja hehkutuksesta. Karkaisulla tarkoitetaan prosessia, jossa kappale ensin kuumennetaan korkeaan lämpötilaan, niin sanotulle austeniittialueelle (750 – 1500 °C), jonka jälkeen se jäähdytetään hyvin nopeasti. Jäähdytysprosessissa osa austeniitista muuttuu martensiitiksi ja osa jää niin sanotuksi jäännösausteniitiksi. Jäännösausteniitti voi kuitenkin muuttaa martensiitiksi mangan kovanorvaus- ja hiontavaiheissa. (Kivivuori & Härkönen 2004, 49-50, 56.)

Jäähdytetty kappale on rakenteeltaan hyvin kova, mutta hauras. Kappaleen sitkeys saadaan palautettua hehkuttamalla sitä välittömästi jäähdytyksen jälkeen. Myös karkaisun aiheuttamia jännityksiä saadaan vähennettyä hehkuttamalla. Hehkutus on prosessi, jossa kappaletta lämmitetään askelmaisesti reilusti karkaisulämpötilaa alhaisemmilla lämpötiloilla (80-400 °C). (Kivivuori & Härkönen 2004, 56.)

## 5.3 Hionta

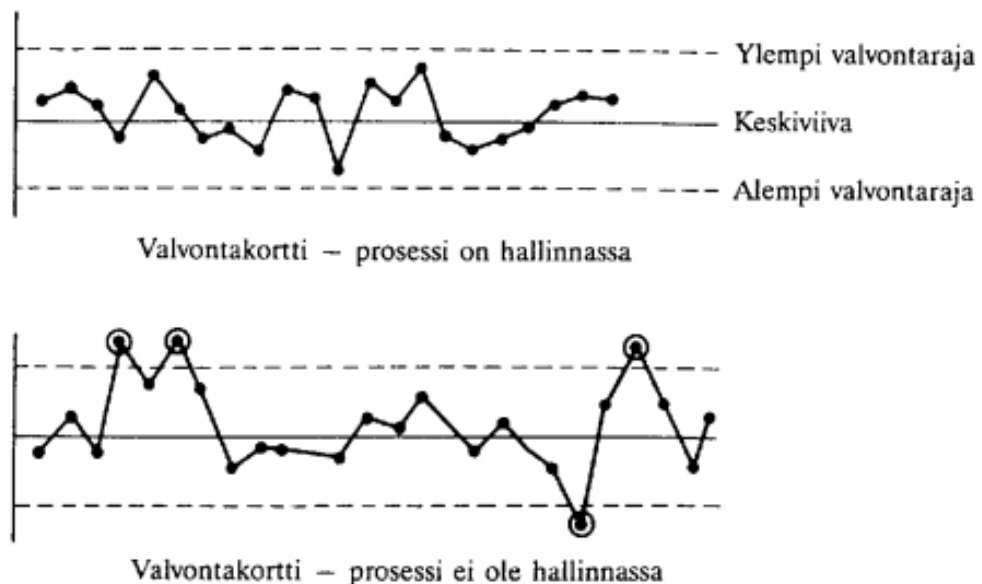
Työstömenetelmänä hionta muistuttaa siltä osin sorvausta, että myös hionnassa työstettävä kappale pyörii ja samalla sitä työstetään hiontatyökalulla. Hiontaa käytetään pääsääntöisesti tarkkuustyöstömenetelmänä, jossa irtoava materiaali on kooltaan muutamien mikrometrien luokkaa (Klocke 2009, 3). Hiontalaikassa käytetään kiteistä ja terävää, hiottavaa kappaletta kovempaa materiaalia, kuten timanttia (Klocke 2009, 4, 17). Hionta on kuitenkin hyvin hidas työstömenetelmä, jonka takia sorvausvaiheessa jätettävä työstövara pyritään minimoimaan. Pitkät yhtäjaksoiset hionta-ajat altistavat kappaleen pinnat myös lämpövaurioille (Klocke 2009, 135).

Hionnan pääsääntöinen tarkoitus männän valmistuksessa on lopullisten dimensioiden ja hyvä pinnanlaadun saavuttaminen. Hionta työstömenetelmänä myös poistaa vetojännitystä ja samalla se luo mäntään puristusjännitystä. Vetojännitys voi ajan saatossa johtaa jännitysmurtumiin ja jännityskorroosiosäröilyyn (Kalpakjian & Schmid 2008, 61). Puristusjännitys puolestaan on enemmänkin toivottua, sillä se kasvattaa kappaleen väsymislujutta (Kalpakjian & Schmid 2008, 61).

#### 5.4 Laaduntarkastus

Ennen viimeistelyä jokaiselle männälle suoritetaan laatutarkastus. Laatutarkastuksessa männän kriittiset dimensiot mitataan ja niiden on pysyttävä niille asetettujen rajojen sisällä. Laatutarkastelun yhteydessä on pyritty myös lisäämään tilastollisen prosessinohjauksen eli SPC:n käyttöä.

SPC perustuu niin sanottujen valvontakorttien käyttöön (kuva 10). Valvontakorttiin on asetettu jotkin ylä- ja alavalvontarajat, joiden ylittämisestä seuraa tilanne, jossa prosessi ei ole hallinnassa ja ongelman lähde täytyy lähteä tutkimaan. (Lähteenmäki & Leiviskä 1998, 21.)



KUVA 10. Valvontakortti (Lähteenmäki & Leiviskä 1998, 25)

Vaikka prosessin tulokset pysyisivätkin asetettujen rajojen sisällä, voi niistä silti päätellä lukuisia eri asioita. Jos trendi on esimerkiksi nouseva tai selvästi syklinen, on herättävä ajattelemaan niiden mahdollisia syitä. (Lähteenmäki & Leiviskä 1998, 25-26.)

## **5.5 Viimeistely**

Viimeistelyllä tarkoitetaan pääsääntöisesti männän terävien reunojen pyöristämistä, kiillotusta ja sen päiden hiontaa. Viimeistely pitää sisällään kuitenkin myös muita tärkeitä vaiheita, kuten pinnan laatutarkastelu, demagnetointi, pesu, suojaus ja pakkaus, jotka ovat käsitelty tarkemmin luvussa 5.

## 6 MÄNNÄN VIIMEISTELY

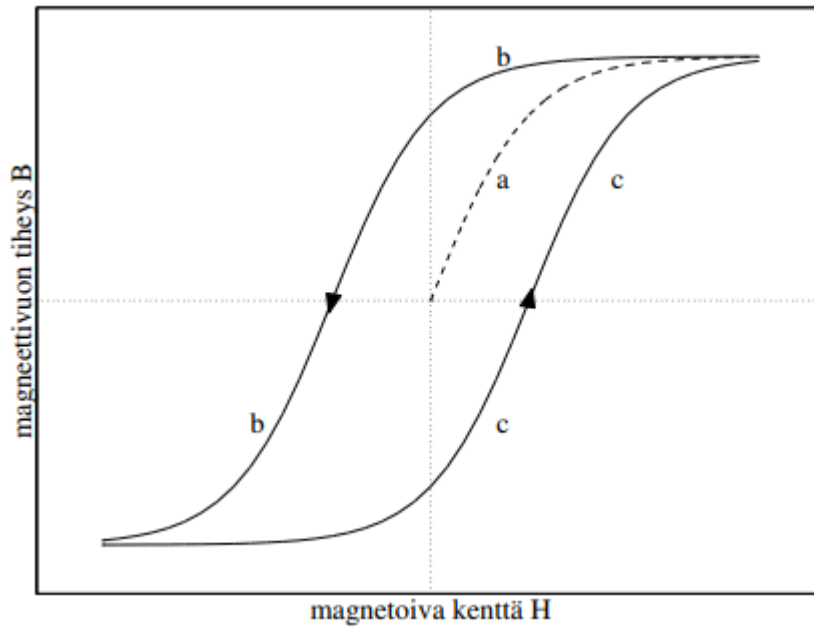
### 6.1 Pinnan laatutarkastelu – Barkhausenin kohina

Männän pinnan laatutarkastelu on ehdottoman tärkeää sen ollessa iskuporakoneen kriittisin komponentti. Mäntä välittää voimaa iskuporakoneen sisällä parhaimmillaan kymmenien kilowattien suuruisella teholla ja pienikin mikrovaurio tai vääränlainen jännitys männän rakenteessa voi aiheuttaa esimerkiksi sen halkeamisen. Tämän perusteella onkin hyvin kriittistä, että männän laatutarkastelumenetelmä ei aiheuta vaurioita männän pintaan.

Barkhausenin kohina -mittaus on ferromagneettisille materiaaleille soveltuva pinnanlaaduntestausmenetelmä, joka ei vaurioita tutkittavaa materiaalia. Mittauksella voidaan analysoida tutkittavan kappaleen kovuutta sekä sen pintajännityksiä, jotka ovat hyvin olennaisia materiaalin kunnosta kertovia indikaattoreita. (Sorsa ym. 2013, 2.)

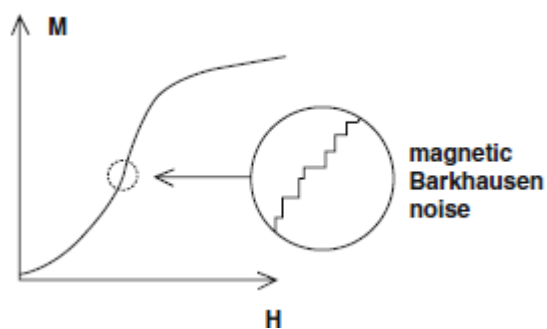
#### 6.1.1 Mittauksen toimintaperiaate

Mittauksessa tutkittava kappale asetetaan ulkoiseen, muuttuvaan magneettikenttään. Ulkoisen magneettikentän vaikuttaessa kappaleen sisäisten atomien välinen vuorovaikutus pyrkii suuntaamaan magneettimomentit samansuuntaisiksi niiden samalla muodostaen atomien kokoon nähden suuria magneettisia alkeisalueita (Viljanen 2004, 86). Ulkoinen magneettikenttä kasvattaa näitä alueita entisestään ja pyrkii kääntämään kaikkien alueiden magneettimomentit samansuuntaiseksi (Viljanen 2004, 86). Mittaus perustuu siis ferromagneettisen materiaalin hystereesikäyrän (kuva 10) ja sen käyttäytymisen seuraamiseen.

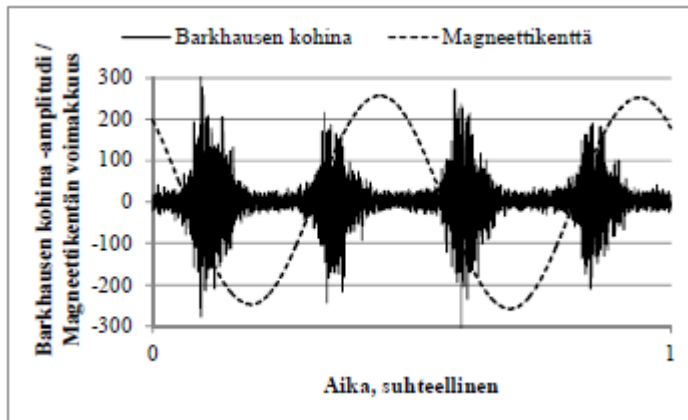


KUVA 10. Hystereesikäyrä (Viljanen 2004, 87)

Kun nämä magneettisten alueiden väliset rajapinnat alkavat liikkua, materiaalissa olevat esteet, kuten raerajat ja dislokaatiot, rajoittavat rajapintojen liikettä. Rajapinnat ikään kuin takertuvat näiden esteiden taakse, mutta ulkoisen magneettikentän ollessa riittävän voimakas, ne pääsevät irtoamaan. Rajapintojen äkilliset irtoamiset aiheuttavat hetkellisiä muutoksia tutkittavan materiaalin magneettisuuteen (kuva 11). Nämä muutokset muodostavat kohinamaisen signaalin, jota kutsutaan Barkhausenin kohinaksi (kuva 12). (Sorsa ym. 2013, 2.)



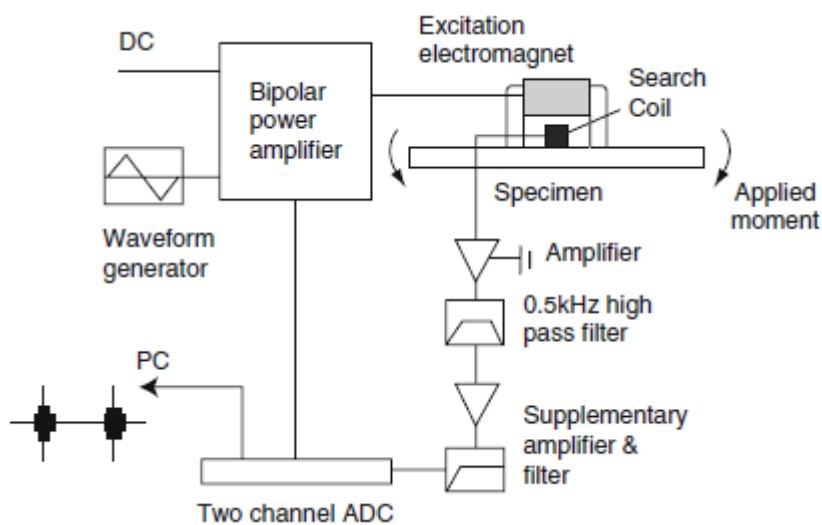
KUVA 11. Barkhausenin kohina hystereesikäyrällä (Stefanita 2008, 20)



KUVA 12. Barkhausenin kohina (Sorsa ym. 2013, 3)

### 6.1.2 Mittalaitteiston rakenne

Barkhausenin kohina -mittauslaitteisto koostuu yleensä kuvan 13 mukaisesta kokonaisuudesta. Teräskappaletta (*specimen*) magnetoidaan ulkoisella muuttuvalla magneettikentällä (*excitation electromagnet*), jolloin magneettivuon muutos seuraa kappaleessa hystereesikäyrää. Magneettivuon muutos kappaleessa on epätasaista, ja kun kappaleen pinnan lähelle asetetaan suuren johdinkierroslukumäärän omaava käämi (*search coil*), indusoituu käämiin jännite. Indusoitunut jännitesignaali vahvistetaan (*amplifier*) ja suodatetaan (*0.5 kHz high pass filter, supplementary amplifier & filter*), jonka jälkeen tuloksena on Barkhausenin kohina -signaali. (Stefanita 2008, 20-21.)



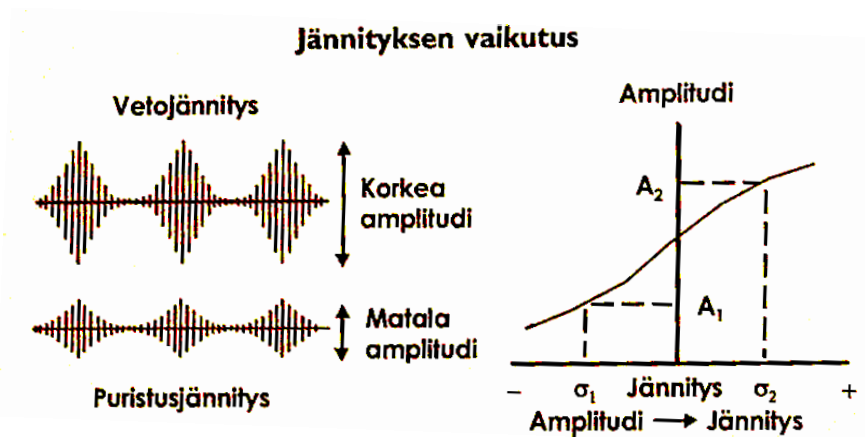
KUVA 13. Tyypillinen Barkhausenin kohina -mittauslaitteisto (Stefanita 2008, 21)



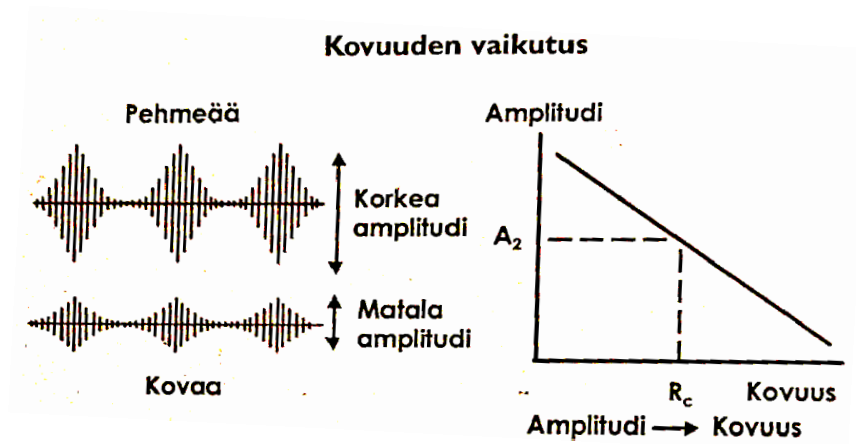
### 6.1.3 Mittaus käytännössä ja mittaustulosten analysointi

Barkhausenin kohina -mittausmenetelmän huono puoli on se, että mittaustulokset ovat lähinnä kvalitatiivisia, eikä niitä voi suoraan pitää absoluuttisina totuuksina. Mittaustulos antaa siis ennemminkin vastauksen kysymykselle: onko materiaalin pinnassa vaurioita tai vääranlaisia jännityksiä? (Sorsa ym. 2013, 2.) Tämä tieto on kuitenkin kaikki se mitä halutaan ja huolellisella kalibroinnilla mittaustuloksista saadaan hyvinkin tarkkoja. Eri koh-teissa käytettävien mittalaitteistojen tuloksia ei kuitenkaan voi suoraan verrata toisiinsa kyseisen ongelman takia.

Barkhausen kohina -signaalista halutaan tuoda esiin yleensä jokin tietty piirre, riippuen ominaisuuksista, joita tutkittavasta materiaalista halutaan saada selville. Näitä piirteitä ovat muun muassa RMS-arvo, Barkhausenin energia sekä Barkhausenin profiilin leveys, huipun korkeus ja paikka. (Sorsa ym. 2013, 2.) Männän pinnanlaatua tarkasteltaessa kiin-nitetään erityisesti huomiota Barkhausenin kohina -signaalin amplitudiin ja paikkaan. Signaalin amplitudista saadaan selville männän pinnan jännitykset (kuva 14) sekä sen kovuus (kuva 15).

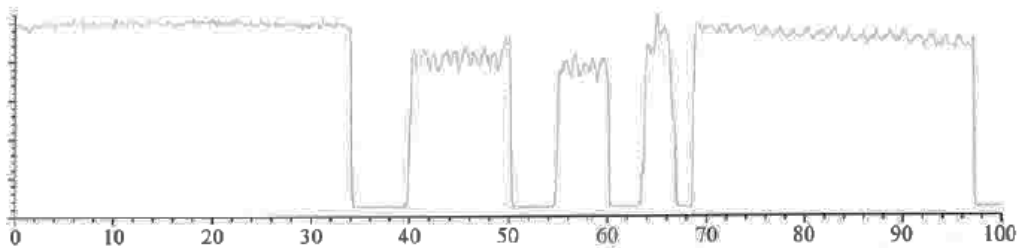


KUVA 14. Jännitysten vaikutus Barkhausenin kohina -mittaustuloksessa (Stresstech)

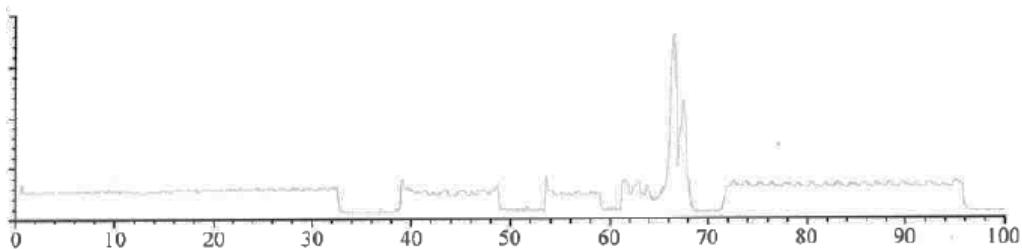


KUVA 15. Kovuuden vaikutus Barkhausenin kohina –mittaustuloksessa (Stresstech)

Mittauksessa mittauskäämi kulkee hitaasti männän pintaa pitkin alusta loppuun asti, jolloin koko männän profiili saadaan mitattua. Mittaustuloksena saadaan Barkhausen kohina -profiilin amplitudi ajan suhteen. Amplitudin halutaan olevan mahdollisimman matala. Tällöin on selvää, että männän pintajännitykset koostuvat puristusjännityksestä ja pinnan rakenne on kova. Alla on esitetty kahden eri tavalla käsitellyn männän Barkhausenin kohina -mittaustulokset. Ensimmäisessä mäntä on mitattu suoraan kovasorvauksen jälkeen (kuva 16) ja toisessa kovasorvauksen ja hionnan jälkeen (kuva 17).



KUVA 16. Barkhausenin kohina -mittaustulos kovasorvatulle kappaleelle (Vestman, 2012)



KUVA 17. Barkhausenin kohina -mittaustulos kovasorvatulle ja hiotulle kappaleelle (Vestman, 2012)

Kuvissa x-akselilla on siis aika ja y-akselilla signaalin amplitudi, jonka yksikkönä voidaan pitää jännityksen yksikköä, eli Pascalia. Kuvissa matalat tasaiset kohdat syntyvät siitä, kun mittauskäämi nostetaan männältä pois niiltä kohdilta, joita ei tarvitse mitata. Kuvista käy hyvin ilmi esimerkiksi kovatorvauksen vaikutus kappaleen jännityksiin. Kovatorvatun ja hiotun kappaleen kuvasta taas nähdään selvästi pieni häiriö noin 66 sekunnin kohdalla. Barkhausenin kohina -mittauksen profiilin avulla voidaan tämä häiriö helposti paikantaa ja tutkia sen laatu.

## 6.2 Terävien reunojen pyöristäminen, kiillotus ja päiden hionta

Terävät reunat männän rakenteessa tulee pyöristää, jotta se ei aiheuta vaurioita männänvarrentiivisteisiin ja o-renkaisiin liikkeessään iskuporakoneen sisällä. Kiillotus tehdään männälle, jotta sen pinnasta saadaan tasaisempi. Aivan täysin tasaista pintaa ei kuitenkaan haeta, sillä männän pintaan halutaan jättää niin sanottuja öljypusseja. Näiden öljypussien funktio on voidella mäntää sen liikkeessä.

Männänpään hionnalla tarkoitetaan sen iskupään hiontaa. Hionnalla pyritään saamaan päästä mahdollisimman kohtisuora, jotta männän iskiessä voima välittyisi eteenpäin mahdollisimman korkealla hyötysuhteella. Mäntään kohdistuu myös ei-toivottuja voimavaiikutuksia, mikäli iskupää ei ole kohtisuora.

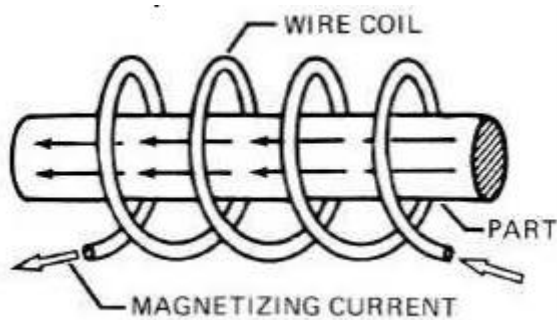
## 6.3 Demagnetointi

Männänvalmistukseen käytetyt työstömenetelmät, kuten hionta ja kiillotus, aikaansaavat mäntään magneettisia ominaisuuksia. Männän magnetoituessa se vetää puoleensa pieniä metallipartikkeleita, jotka vaurioittavat männän pintaa ja tiivisteitä sen liikkeessä porakoneen sisällä. Kun mäntä on demagnetoitu, metallipartikkelit ja epäpuhtaudet saadaan perusteellisesti poistettua männän pinnasta pesuvaiheessa.

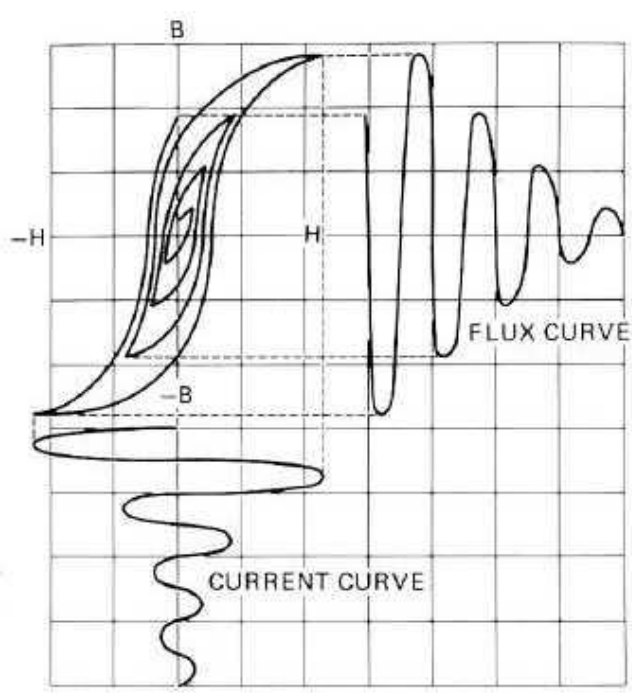
Demagnetointi voidaan toteuttaa kappaleille kahdella eri tavalla. Kappaletta voidaan lämmittää sen ominaiseen Curie-pisteeseen, jossa ferromagneettinen aine muuttuu paramagneettiseksi (Knuuti-Lehtinen J, 2009). Puhtaalle raudalle tämä lämpötila on noin 770 °C

(Knuuti-Lehtinen J, 2009). Vaadittavat Curie-pisteen lämpötilat ovat kuitenkin liian korkeita, jotta niitä voitaisiin hyödyntää männän viimeistelyssä.

Toinen vaihtoehto on viedä mäntä käämityksen läpi (kuva 18), jossa sähkömagnetismin avulla saadaan aikaan magneettivuon nopea vaihtelu. Sen lisäksi, että magneettivuon vaihtelun tulee olla tarpeeksi nopeaa, täytyy myös sen voimakkuuden tasaisesti laskea. Magneettivuon vaihtelu seuraa männän hystereesikäyrää, ja sen voimakkuuden tasaisesti laskeessa myös männän magneettisuus laskee (kuva 19). Tämän prosessi ei kuitenkaan poista magneettisuutta kappaleesta aivan kokonaan, mutta jäännösmagneettisuus saadaan laskettua riittävän alhaiselle tasolle, jotta se ei ole enää haitallista. (Integrated publishing, 182.)



KUVA 18. Kappaleen demagnetointi (Integrated publishing, 178)



KUVA 19. Demagnetoinnin periaate ulkoista magneettikenttää hyväksikäyttäen (Integrated publishing, 182)

## 6.4 Pesu

Männän peseminen on hyvin olennainen osa viimeistelyketjua, sillä likainen mäntä on hyvin korroosioherkkä ja myöskään suoja-aine ei tartu likaiseen mäntään. Pesun tärkeä tehtävä on myös poistaa mahdolliset metallipartikkelit männän pinnalta, joista puhuttiin alaluvussa 5.3.

### 6.4.1 Ruiskutusmenetelmä

Pesuratkaisuja on olemassa monenlaisia, joista tällä hetkellä on käytössä ruiskutusmenetelmä. Ruiskutusmenetelmässä kappaleet on asetettu isoon pesualtaaseen, johon ruiskutetaan vaiheittain pesu- ja huuhteluaineita lukuisilla suuttimilla eri suunnilta (kuva 20) (Jokinen, I).



KUVA 20. Ruiskutusmenetelmää hyödyntävä Idea Machine -teollisuuspesukone sisältä (Idea Machine Oy)

Menetelmän hyviä puolia ovat sen tarjoama suuri kapasiteetti ja puhdas lopputulos, mutta se tarvitsee suuren tilan ja myös sen investointi- ja huoltokustannukset ovat suuria (Jokinen, I). Ruiskutusmenetelmästä halutaankin siis päästä eroon ja kompaktimman ja kustannustehokkaamman ratkaisun tarjoaa esimerkiksi ultraäänipesutekniikka.

## 6.4.2 Ultraäänipesu

Ultraääntä on käytetty pesutarkoitukseen jo varhain 1940-luvulla, mutta se on Suomessa edelleen varsin huonosti tunnettu tekniikka. Ultraääni mekaanista värähtelyä, jonka taajuus on ihmiskorvan kuuloalueen yläpuolella. Ultraäänipesussa kappale puhdistetaan upottamalla se pesunesteeseen, johon syötetään ultraäänitaajuista värähtelyä. Värähtely aiheuttaa kappaleen pintaan kavitaatiokuplia, jotka poistavat likaa kappaleen pinnalta. (FinnSonic, 2014.)

Ultraäänilaitteisto koostuu kolmesta pääkomponentista, jotka ovat ultraäänigeneraattori, värähtelijä ja pesuallas. Generaattori muuntaa normaalin 230 V 50 Hz vaihtojännitteen suurjännitteiseksi- ja taajuiseksi sähköenergiaksi. Jännite nostetaan tyypillisesti noin 600-700 V suuruiseksi ja taajuus 30 kHz suuruiseksi. Kun tekniikka ei vielä ollut kunnolla kehittynyt, generaattoreiden iso koko asetti paljon rajoituksia laitteistoille. Nykyään generaattorit ovat kuitenkin pienikokoisia ja pesuratkaisuista saadaan sitä kautta hyvinkin kompakteja. (FinnSonic, 2014.)

Värähtelijä muuttaa generaattorin tuottaman suuritaajuisen sähköenergian mekaaniseksi värähtelyksi, joka lopulta johdetaan pesualtaassa olevaan nesteeseen (FinnSonic, 2014). Mekaaninen värähtely saadaan aikaan värähtelijän sisältämien pietsosähköisten kiteiden avulla (Weckström, 2012). Pietsosähköinen materiaali laajenee tai supistuu, kun siihen johdetaan sähkövirtaa (Tekniikka & talous, 2004). Kun virta taas katkaistaan, palaa materiaali entiseen muotoonsa (Tekniikka & talous, 2004).

## 6.5 Suojaus

Männän suojauksen funktio on puhtaasti korroosionesto. Nykyään suoja-aineena käytetään öljypohjaista AT-2 suoja- ja voiteluainetta. Suoja-aineen tehtävänä on luoda männän pinnalle öljypohjainen suojakerros, joka estää kosteuden kertymistä ja männän altistumista hapelle.

Mäntien korroosiokestävyyttä pyritään Sandvikilla kehittämään jatkuvasti. Erilaisia suoja-aineita ja mäntäpakkausten vesitiivyyttä on tutkittu lähiaikoina esimerkiksi suola-

sumutestien avulla Tampereen teknillisellä yliopistolla. Testituloksia analysoidaan edelleen ja ne saattavat vaikuttaa tällä hetkellä käytössä olevien suoja-aineiden ja pakkausratkaisujen käytettävyyteen tulevaisuudessa. Seuraavassa alaluvussa kerrottavista pakkausmenetelmistä on kuitenkin tehty jo jonkinlaisia päätöksiä, eikä niiden pitäisi enää suuresti muuttua.

## **6.6 Pakkaus**

Pakkauksen pääasiallinen käyttötarkoitus on suojata määntää kolhuilta ja estää kosteutta kertymästä määntän pinnalle. Pakkauksen tarkoitus on tehdä myös positiivinen ensivaikutelma asiakkaalle, ja pakkauksen brändäys onkin erittäin suuressä roolissa, jotta nämä vaikutukset olisivat erittäin mieleenpainuvat.

Aikaisemmin määntät vahattiin suojauksen jälkeen paksulla suojavahalla, mutta hiljattain tehtyjen suolasumutestien jälkeen kävi ilmi, että suojavaha ei ole riittävän hyvä pakkaus- ja suojauskeino, jotta kaikki pakkaamisen kriteerit täyttyisivät. Nyt ollaankin siirtymässä uuteen pakkausratkaisuun, jossa määntät aseteltaisiin pitkittäisiin muoviputkiin, jotka kierretään keskeltä kiinni. Muoviputkissa on vaahtomuovisovitteet määntälle, jotta ne pysyvät stabiilisti putken sisällä. Putken kierrekohta teipataan Sandvikin logolla varustetulla teipillä tiiviisti kiinni. Suolasumutestejä tehtiin kyseisellä pakkausratkaisulla pakatuille määntälle, ja tulokset olivat erittäin hyviä, jonka takia pakkausratkaisuun lopulta päädyttiin.

## 7 AUTOMATISOINNIN TARVE JA TURVALLISUUS

Mäntien viimeistely on jo pitkään toteutettu Sandvikin porakonetehtaalla täysin manuaalisesti. Manuaaliset viimeistelymenetelmät aiheuttavat vuosittain liki 100 000 kg:n edestä nostoja ja nämä mäntänostot ovat ergonomisesti hyvin epäedullisia tapaturmatodennäköisyyksiä ajatellen. Viimeistelysolun automatisoinnilla pyritään siis ensisijaisesti poistamaan nämä manuaalisista työvaiheista aiheutuvat nostot, ja samalla se antaa tehtaasta paljon modernimman kuvan. Viimeistelysolun suunnittelussa täytyy kuitenkin ottaa huomioon se, että suuri määrä uusia liikkuvia koneita ja laitteita aiheuttavat omanlaisiansa turvallisuusriskejä.

### 7.1 Työturvallisuus

Työskentelyn tulee olla turvallista olosuhteista huolimatta. Toisin sanoen kaikki turvallisuuteen vaikuttavat riskitekijät pitää huomioida ja poistaa. Käyttäjä ei esimerkiksi saa missään tilanteessa joutua kosketuksiin pyöriviin osiin tai kosketussuojaamattomiin sähköliitännöihin. SFS-EN 13857:2008 standardi määrittelee turvaetäisyyksien lukuarvoja koneiden vaaravyöhykkeille ulottumisen estämiseksi (METSTA, 2016). Etäisyyksiä sovelletaan kuitenkin vain silloin, kun riittävä turvallisuus voidaan saavuttaa pelkästään niiden avulla (METSTA, 2016). Lisäksi standardin SFS-EN 614-1+A1 hyödyntäminen koneiden suunnittelussa takaa sen, että koneet on rakennettu ergonomisesti (METSTA, 2016). Standardi ottaa huomioon fyysisen ympäristön, käyttäjän henkiset kyvyt sekä antropometrian ja biomekaniikan (METSTA, 2016).

### 7.2 Sähköturvallisuus

Koneiden sähkölaitteistojen pitää täyttää niille standardeissa asetetut vaatimukset. Tässä voidaan hyödyntää standardia SFS-EN 60204-1:2006, joka sisältää vaatimuksia liittyen esimerkiksi syöttöjohtimien liitännöihin, erotus- ja katkaisulaitteisiin ja vikatilannesuojaukseen. Muita keskeisiä sähkölaitteistojen turvallisuutta koskevia standardeja ovat

- SFS-EN 60529+A1, sähkölaitteistojen kotelointiluokat.
- SFS-EN 61310:2008, merkinantaminen ja koneiden merkitseminen.

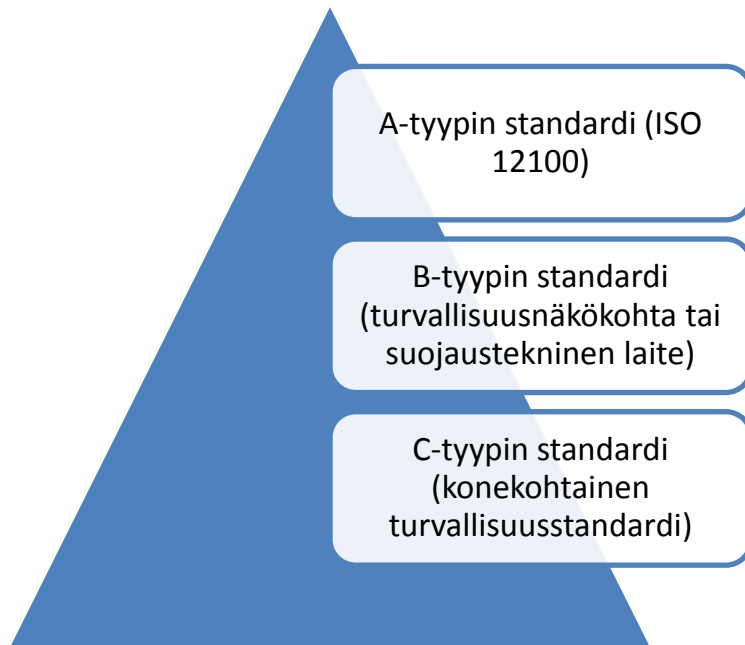


- SFS-EN 60073:2003, ihmisen ja koneen välisen rajapinnan perus- ja turvallisuusperiaatteet. Merkinantolaitteiden ja ohjelmien koodaus.
- SFS-EN 60447:2004, perus- ja turvallisuusperiaatteet ihmisen ja koneen väliselle rajapinnalle, merkinnöille ja tunnistamiselle. Ohjausperiaatteet.
- SFS-EN 60947-5-5, ohjauspiirin laitteet ja kytkelementit. Mekaanisella lukitus-toiminnolla varustetut sähköiset hätäpysäytyslaitteet. (METSTA, 2016.)

### 7.3 Koneturvallisuus

Koneiden valmistajia koskee EU:n konedirektiivi 2006/42/EY. Se on Suomessa saatettu voimaan valtioneuvoston asetuksella koneiden turvallisuudesta 400/2008. Tässä koneasetuksessa annetaan olennaiset turvallisuutta koskevat vaatimukset ja konevalmistajan on tavalla tai toisella osoitettava, että kone täyttää konedirektiivin vaatimukset. Tämä osoitus voidaan tehdä käyttämällä konesuunnittelussa siihen tarkoitettuja turvallisuusstandardeja. (METSTA, 2016.)

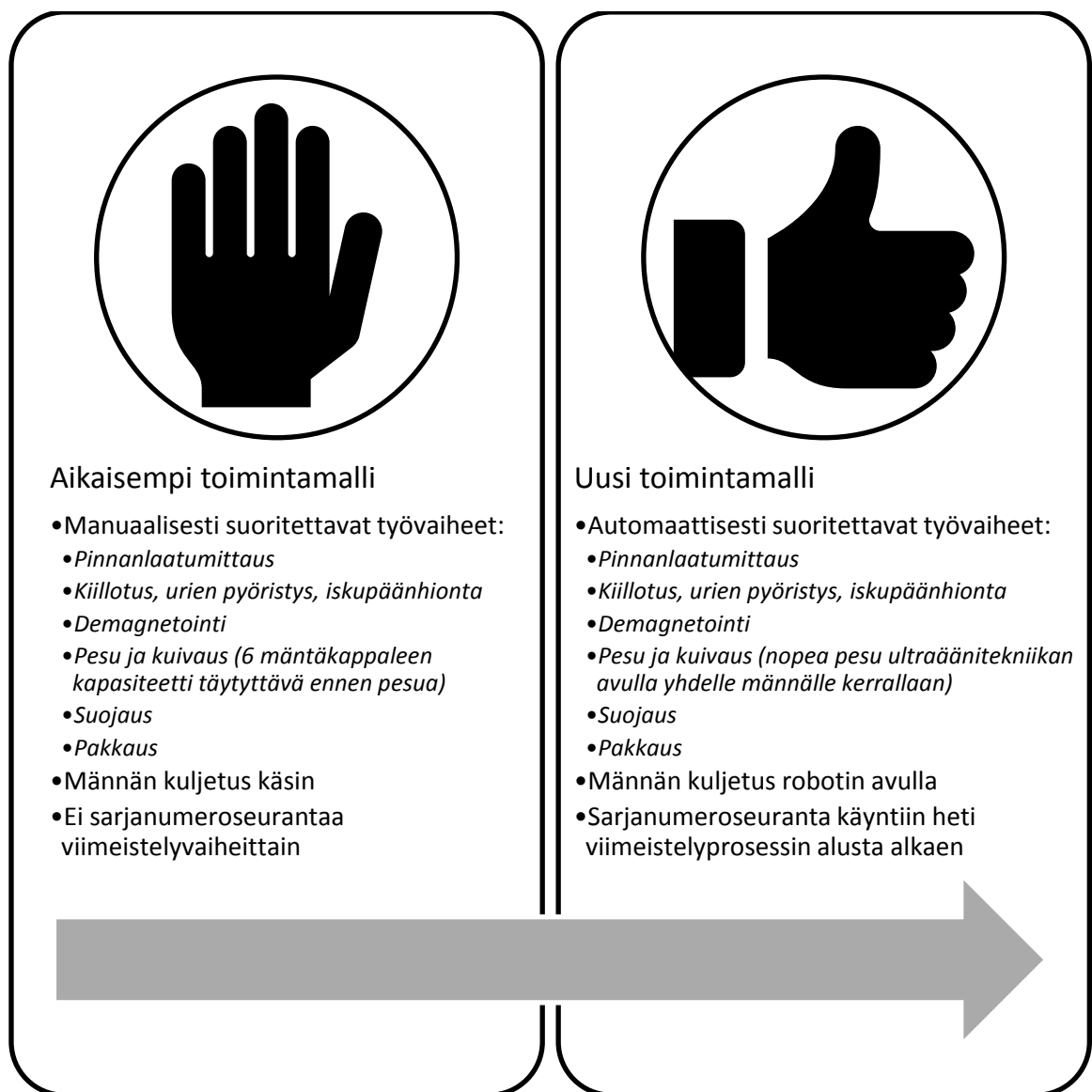
Standardien tyypit voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan, A-, B-, ja C-tyyppin standardeihin (kuva 21). Koneturvallisuuden perusstandardina, eli niin sanottuna A-tyyppin standardina toimii SFS-EN ISO 12100, joka pitää sisällään terminologian, perusteet ja tekniset periaatteet sekä SFS-EN ISO 14121-1, joka pitää sisällään riskien arvioinnin. Turvallisuuden ryhmästandardit, eli niin sanotut B-tyyppin standardit käsittelevät koneen yksittäistä turvallisuusnäkökohtaa tai suojausteknistä laitetta. Konekohtaiset turvallisuusstandardit, eli C-tyyppin standardit koskevat koneen tai koneryhmän yksityiskohtaisia turvallisuusvaatimuksia, erimerkiksi maansiirtokoneet, pakkauskoneet, kuljettimet, pumput. (METSTA, 2016.)



KUVA 21. Koneturvallisuuden standardien hierarkia (METSTA, 2016)

## 8 LAITTEIDEN VALINTA JA NIIDEN VAATIMUKSET

Viimeistelysolun automatisoinnin suurimpana hyötynä on ihmisvoimin tehtävien nostojen minimoiminen. Männyt painavat parhaimmillaan monia kymmeniä kiloja, jonka takia niiden nostelussa käsin on lukuisia eri riskitekijöitä. Suurin osa näistä nostoista tapahtuu juurikin männän viimeistelyn aikana sen koostuessa niin monesta eri työvaiheesta. Kun nämä vaiheet toteutetaan robotisoidusti omassa solussaan, poistaa se nämä terveydelliset riskitekijät, sekä tekee tuotannosta myös esteettisempää ja modernimpaa. Viimeistelyn automatisoinnin mukanaan tuomat muutokset aikaisempiin toimintamalleihin on havainnollistettu tarkemmin kaaviossa 1.



KAAVIO 1. Uuden toimintamallin mukanaan tuomat muutokset männän viimeistelyprosessiin

## 8.1 Robotti ja konenäköjärjestelmä

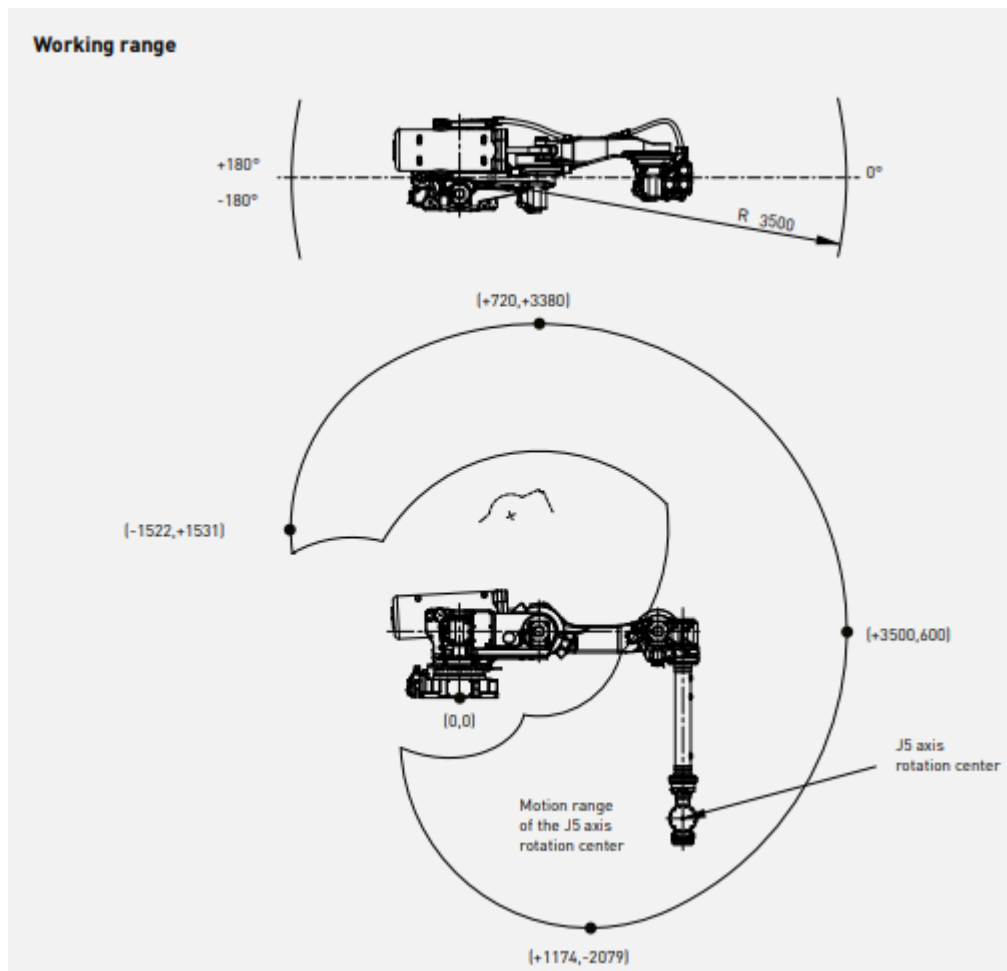
Koko viimeistelysolun keskiössä toimii robotti, joka kuljettaa viimeisteltävää mäntää työvaiheelta toiselle. Mäntien koon ja painon varioidessa käytetään apuna konenäköä, jonka avulla viimeisteltävän männän tyyppi tunnistetaan. Robotille ja konenäkölle asettaa vaatimuksia muun muassa seuraavat asiat:

- mäntien vaihtelevat dimensiot
- mäntien vaihteleva koko ja paino
- mäntien valmistuminen viimeisteltäväksi kahdelta eri hiomakoneelta
- tarkat männän käsittely- ja laatuvaatimukset
- epäsäännöllinen tuotantorytmi.

Robotin valinta näiden vaatimusten pohjalta kallistuu pitkälti kiertyväniveliseen 6-akselirobottiin (kuva 22). 6-Akselirobotti mukautuu hyvin monimutkaiseenkin ympäristöön sen laajojen liikeratamahdollisuuksien vuoksi (kuva 23). Robotti on myös mahdollista varustella erilaisilla tartuntakäsillä ja työkaluilla, joita se vaihtelee tarpeen tullen. Robotin valinnassa täytyy ottaa huomioon myös viimeistelysolun layout. Robotin työskentelyetäisyyksien tulee siis olla riittävän suuret. Esimerkiksi kuvissa 22 ja 23 esitetty robotti voisi soveltua tähän tehtävään hyvin. Robotti asennetaan jalustalle, jonka avulla se voi mutkattomasti liikkua pituussuunnassa solun sisällä. Lisäksi sitä voidaan datalehden mukaan kuormittaa 100 kilon kappaleilla, joka on mäntien viimeistelyyn täysin riittävä.



KUVA 22. FANUC R-2000iB/100P -teollisuusrobotti (Fanuc)



KUVA 23. FANUC R-2000iB/100P -teollisuusrobotin työskentelyetäisyydet (Fanuc, 2017)

### 8.1.1 Männän tunnistus- ja syöttö

Viimeistelysoluun menevä mäntä asetetaan syöttöpaletille, johon mahtuu kaksi mäntää vierekkäin. Paletilla tarkoitetaan tässä tapauksessa viimeistelysolusta ulos vedettävää alustaa, johon männät voi kätevästi asettaa. Syy, minkä takia mäntiä tulee mahtua soluun kerrallaan kaksi, on se, että mäntiä valmistuu samanaikaisesti kahdelta eri hiomakoneelta. Paletti voisi olla rakenteeltaan joustava matto, tällöin männän dimensioilla ei olisi vaikutusta ja ne pysyisivät paletilla hyvin paikoillaan sisään syötettäessä. Ainut huomioon otettava asia on syöttöpaletin pituus, joka pitää mitoittaa pisimmän valmistettavan männän mukaisesti.

Männän tunnistaminen tapahtuisi pääsääntöisesti konenäön avulla. Syöttöpaletin kummallakin puoliskolla sijaitseisi myös paineanturit, joiden avulla järjestelmä saa heti tiedon

siitä, kummalle puolelle syöttöpalettia mäntä on asetettu. Paineanturin avulla saataisiin samalla tietoon männän paino, joka pelkästään riittäisi jo rajaamaan suuren osan mahdollisista mäntävariaatioista pois. Lopullinen tunnistaminen tapahtuisi konenäön avulla. Ennen kun männän viimeistelyprosessi alkaa, käyttäjä kirjaa tietokantaan viimeisteltävän männän sarjanumeron. Samalla käyttäjä voi määrittellä, tehdäänkö männälle koko viimeistelyprosessi, vai vain osa siitä.

### **8.1.2 Männän kuljettaminen**

Mäntää kuljetetaan pääsääntöisesti vaaka-asennossa siten, että robotin tartuntakohta on männän keskellä. Robotin tartuntakäsimalleja valitessa täytyy kiinnittää erityisesti huomiota tartuntakäden materiaaliin, sillä mäntään ei saa kuljetettaessa jäädä mitään jälkiä tai epäpuhtauksia. Samalla tartuntakäden on kyettävä toimimaan eri kokoisten ja eri painoisten mäntien kanssa. Tartuntakäsiä voi olla myös erilaisia, joita robotti vaihtelee käyttötarkoituksen mukaisesti.

### **8.1.3 Viimeistelysolusta valmistuva mäntä**

Kun mäntä on käynyt viimeistelyprosessin läpi, siirtää robotti sen sille määrättyyn lokaatioon. Lokaatio voi olla esimerkiksi eurolava tai jonkinlainen ulos vedettävä paletti, josta pakatun männän saa kätevästi siirrettyä eteenpäin. Männän asettelun olisi hyvä olla sellainen, että pakkausputken toinen puolikas olisi helposti kierrettävissä pois ilman männän ylimääräistä nostelua. Näin voitaisiin tarvittaessa tutkia vielä valmistunutta mäntää, jos sille on tarvetta.

## **8.2 Pinnanlaaduntestaus**

Pinnanlaaduntestaukseen käytetään Barkhausenin kohina -ilmiötä hyödyntävää laitteistoa. Ilmiötä hyödyntävä mittauslaitteisto on ollut käytössä mäntäsolussa jo aikaisemmin, mutta sen käyttö on ollut täysin manuaalista. Nykyään on kuitenkin olemassa automatisoituja ratkaisuja, jotka voitaisiin integroida robottisoluun. Tämänlainen automati-

soitu mittauslaitteisto löytyy Sandvikin Lahden tehtaalta ja saman tapaista voitaisiin hyödyntää tässä viimeistelysolussa. Aikaisemmassa laitteistossa mäntä on mitattu horisontaalasti, joka vie monin kerroin enemmän tilaa, kuin jos se mitattaisiin vertikaalisesti. Uudessa laitteistossa mäntä mitattaisiin siis vertikaalisesti ja samalla säästettäisiin tilaa muille viimeistelysolun laitteistoille.

Pinnanlaaduntestaus on hyvin merkittävä osa männänvalmistusprosessia ja mittaustulokset on käytävä aina huolellisesti läpi. Ennen viimeistelyprosessin jatkumista on siis varmistettava, että mittaustulos on tarkastettu ja kuitattu. Mittaustulos voisi tulla tarkastettavaksi operaattorille esimerkiksi solun ulkopuolella sijaitsevalle näytölle, josta viimeistelysolua muutenkin ohjataan.

### 8.3 Kiillotuskone

Kiillotuskoneen tarkoitus on kiillottaa männän pinnat, hioa männän pää ja pyöristää terävät urat ja reunat. Tähän tarkoitukseen on saatu jo tarjous CNC-ohjatusta *MeteCNC Erikoiskone* -laitteesta, jolla tämä kaikki onnistuisi täysin automaattisesti. Samalla laite olisi hyvin integroitavissa robottisoluun.

Kone koostuu kolmesta eri työkalusta; hiontakivestä, kiillotuslaikasta ja muotoviilasta. Hiontakivi suorittaa männän päätyhionnan ja siihen on integroitu myös automaattivoitelu, jotta mäntään ei synny vaurioita. Terävät reunat viilataan jousikuormitteisella muotoviilalla. Ideana on se, että viila tuodaan uran nimelliskohdalle ja sitä poikkeutetaan siitä sivuille tarvittava määrä. Jousikuormitus tulee esille siinä, kun viila poikkeutettaessa törmää uran reunaan. Tällöin joustava pidin antaa periksi, eikä uran paikan tällöin tarvitse olla kuin  $\pm 0,2$  mm toleranssilla tiedossa.

Koneen CNC-ohjaus perustuu saksalaiseen Beckhoff TwinCAT -järjestelmään ja kone on ohjelmoitu ISO 6983-standardin mukaisella G-koodilla. Koneturvallisuus on otettu huomioon EN ISO 13849 standardin turvakategorian 3 mukaan. Koneen ovet lukittuvat käytön ajaksi ja aukeavat vasta, kun liikettä ei enää tapahdu. Häätä-seis painike on myös sijoitettu koneen välittömään läheisyyteen. Koneen sähkökeskus ja sen koeistus tehdään standardin EN 60204-1 mukaan. Toimiakseen kone vaatii 400 V 3-vaiheiliitännän, 6 bar paineliitännän ja RJ45-ethernetliitännän, mikäli kone halutaan liittää verkkoon.

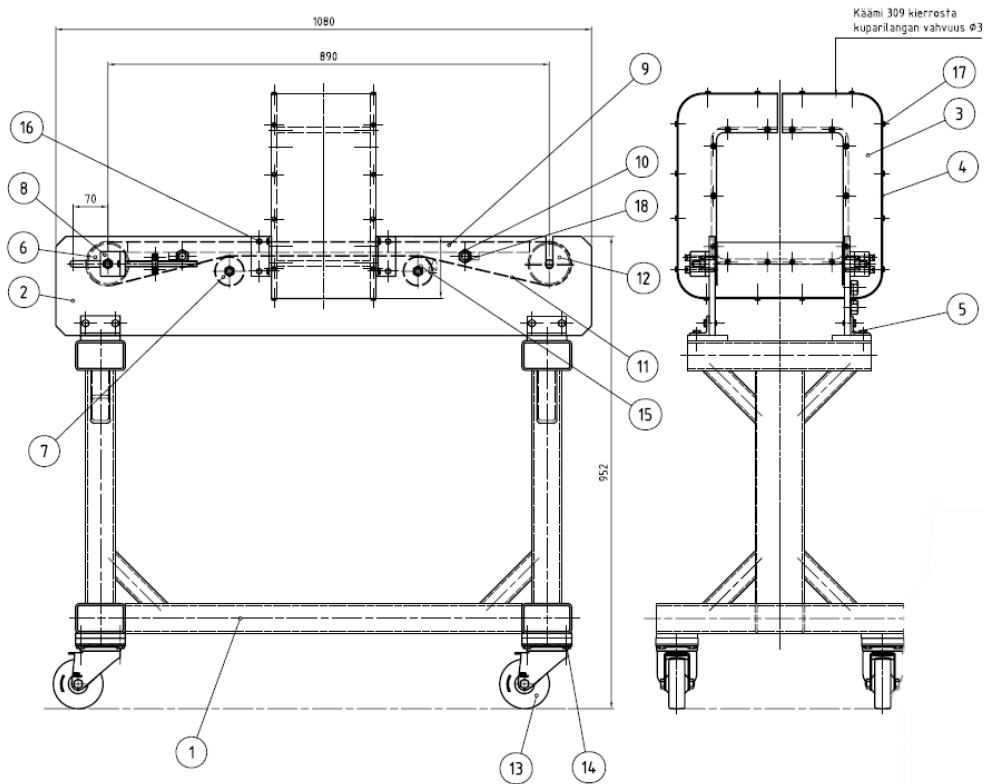
## 8.4 Demagnetointilaitte

Demagnetointilaitteella pyritään luomaan riittävän voimakas, heikkenevä magneettikenttä, jotta männän magneettisuus saadaan lähelle nollaa. Demagnetointi saadaan toteutettua siten, että mäntä viedään hitaalla vakionopeudella käämin lävitse, johon syötetään yksivaiheista vaihtovirtaa. Tällöin käämi aikaan saa mututuvan magneettivuon, joka kulkee männän suuntaisesti. Magneettivuonvaihtelun ollessa kuitenkin vakio, täytyy sen heikentyminen saada aikaan jollain konstilla. Männän kulkiessa hitaalla nopeudella käämin lävitse, saadaan täytettyä myös heikkenevän magneettikentän kriteeri. Kriteerin täyttymistä voidaan perustella seuraavasti:

Ajatellaan männästä jokin mielivaltainen piste. Tässä pisteessä magneettivuon tiheys on suurimmillaan, kun se sijaitsee keskellä käämiä. Männän liikkua hitaasti eteenpäin, piste loittonee käämistä samaa tahtia. Piste loitontuessa käämistä, magneettivuon tiheys pisteen kohdalla heikkenee. Tämä voidaan ajatella mille vain mielivaltaiselle pisteelle männässä.

Demagnetointi on jo pitkään toteutettu kuvan 24 mukaisella laitteella. Laitteessa on hitaalla vakionopeudella kulkeva matto, johon demagnetoitava kappale asetetaan. Laite käynnistetään manuaalisesti vaihtokytkimestä, jolloin matto (*numero 11 kuvassa 24*) kuva alkaa liikkua ja käämiin (*numero 3 kuvassa 24*) kytkeytyy 230 V 50 Hz vaihtojännite. Laite sammutetaan samaisesta vaihtokytkimestä, kun kappale on kokonaan kulkenut käämin lävitse.





KUVA 24. Nykyisin käytössä olevan demagnetointilaitteen piirustus (EM, 2007)

Laite aiheuttaa riskejä käyttäjälle sen aiheuttaman voimakkaan magneettikentän vuoksi. Tästä syystä laitteen läheisyyteen ei saa mennä esimerkiksi henkilöt, joilla on sydämentahdistin. Laitteesta löytyy varoituskyltit kyseisistä vaaroista, mutta minkäänlaisia turvaväistöjä ei ole määritelty. Demagnetoinnin siirtyessä kokonaan viimeistelysoluun, saadaan rajattua näitä vaaratekijöitä, kun asiattomilla ei ole pääsyä viimeistelysolun sisälle. Toinen vaihtoehto olisi luoda jonkinlainen Faradayn häkki -sovellus demagnetointilaitteen ympärille, jolloin sähkömagneettinen säteily ei vaikuttaisi häkin ulkopuolella.

Kuvan 24 mukainen demagnetointilaitte ei kuitenkaan sovi sellaisenaan viimeistelysoluun. Liikkuva matto on aivan liian lyhyt pisimmille valmistettaville männille, ja jos maton pituutta lisättäisiin, tulisi demagnetointilaitteesta turhan leveä. Tämä ongelma saataisiin ratkaistua sillä, että maton sijaan laitteessa liikkuisi käämitys. Rakenne olisi siis pitkälti sama, mutta käämi sijaitsisi laitteen toisessa päässä, josta se käskyn saatuaan liikkuisi hitaasti männän toiseen päähän. Alkuasentoonsa käämitys palaisi sitten, kun demagnetoitu mäntä on nostettu seuraavalle vaiheelle.

## 8.5 Pesukone

Aikaisemmin mäntien pesu on toteutettu isolla teollisuuspesukoneella, jossa on pesty monta mäntää kerrallaan. Kustannusmielessä mäntiä ei olisi yksittäin järkeä pestä kyseisellä pesukoneella. Suunnitteilla olevassa viimeistelysolussa männän viimeistelyprosessi on kuitenkin suunniteltu yhdelle, tai korkeintaan kahdelle männälle kerrallaan, joten pesukoneenkin olisi hyvä olla nopea ja kustannustehokas yhden männän pesua varten suunniteltu ratkaisu.

Tähän käyttötarkoitukseen ultraäänipesu olisi ihanteellinen ratkaisu, mutta sen soveltuvuutta männille ei ole nykypäivänä juurikaan tutkittu. Joskus historiassa ultraäänipesua on kylläkin testattu mäntien pesumenetelmänä, mutta se aiheutti vaurioita männän pintaan, jonka perusteella tehtiin johtopäätökset, että pesumenetelmä ei sovi männille. On kuitenkin epäselvää, oliko pesuaineet ja olosuhteet männille suotuisia. Lisäksi tekniikka on niistä ajoista rutkasti kehittynyt, joten uudet ultraäänipesutestit voisivat olla kohdallaan.

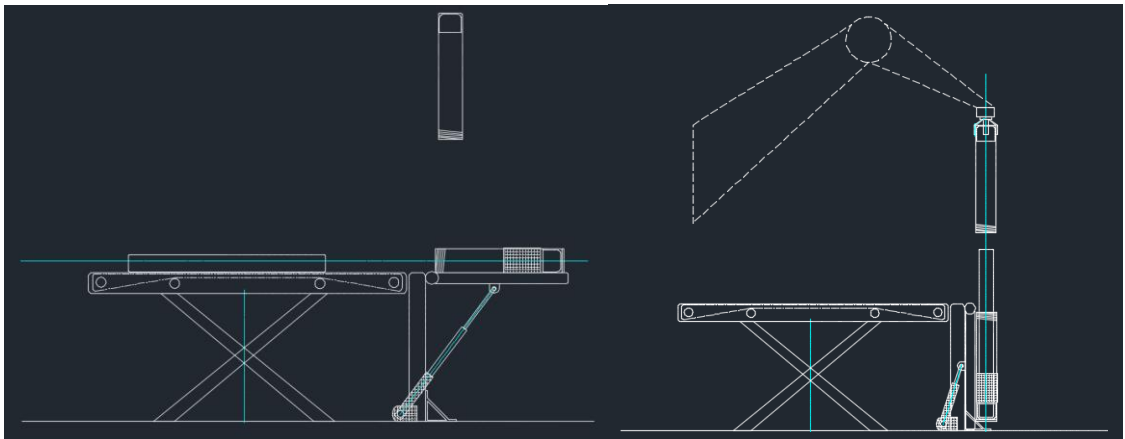
## 8.6 Suojaus ja pakkaus

Pesun jälkeen mäntä suojataan öljypohjaisella suoja-aineella. Suoja-aineen tarkoitus on estää korroosiota ja eristää männän pinta ulkoilmasta ja sitä kautta estää kosteuden kertyminen sen pinnalle. Samalla suoja-aine toimii voiteluaineena männälle, kun sitä asennetaan porakoneeseen. Männän suojaaminen voidaan toteuttaa monella erilaisella ratkaisulla, kuten upottamalla mäntä kauttaaltaan suoja-aineeseen, tai suihkuttamalla suoja-aine suoraan männän pintaan.

Kummassakin ratkaisussa on kuitenkin huonot puolensa. Upottamisen jälkeen ylimääräisellä suoja-aineella kestää kauan valua ja se aiheuttaa sotkua. Suihkuttamisessa taas on oltava olemassa jonkinlainen imuri, jotta suoja-ainetta ei ilman välityksellä leviä pitkin tehdasta. Suihkuttamisessa on myös oltava tarkka, että jokainen männän pinta tulee suojattua. Mikäli männälle annetaan tarpeeksi aikaa valua, olisi upottaminen kaikin puolin kätevämpi ratkaisu. Pakkauslaitteiston on tällöin myös sijaittava suojauspaikan välittömässä läheisyydessä, jotta suojattua mäntää ei tarvitse liikutella enää pitkiä matkoja.

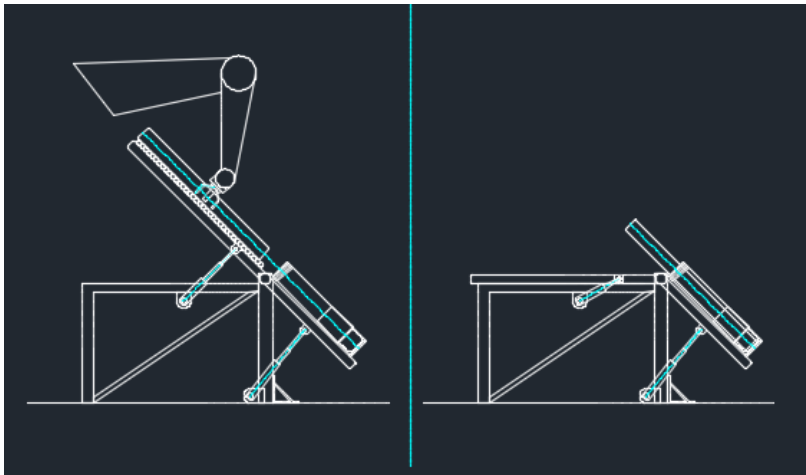
Suojatut männät pakataan muoviputkiin, jotka kierretään keskeltä kiinni. Osassa pakkausista kierteet teipataan tiiviisti, jotta estetään kosteuden kertyminen pakkausputken sisälle. Syy miksi vain osa teipataan, on se, että osa männistä lähtee varaosiksi maailmalle ja osa saman tehtaan sisällä sijaitsevaan porakonekokoontaan. Omaan kokoontaan lähteviä mäntäpakkausia ei siis ole järkeä teipata, koska ne kuitenkin ennen pitkää joudutaan avaamaan. Teippauksen funktio on muutenkin estää kosteuden kerääntymistä pakkausputken sisälle, eikä sitä aiheudu niin lyhyessä ajassa, mitä ne tehtaan sisällä odottavat. Teippaus suoritettaisiin siis mäntäkohtaisesti viimeistelysolun ulkopuolella, mutta putkeen pakkaaminen suoritettaisiin vielä viimeistelysolun sisällä.

Kuvasarjoissa 25 ja 26 on esitetty kaksi erilaista pakkausratkaisua ja kuvassa 27 esimerkki siitä, minkälainen pakkausteline voisi mahdollisesti olla. Kuvat ovat vain hahmotelmia.



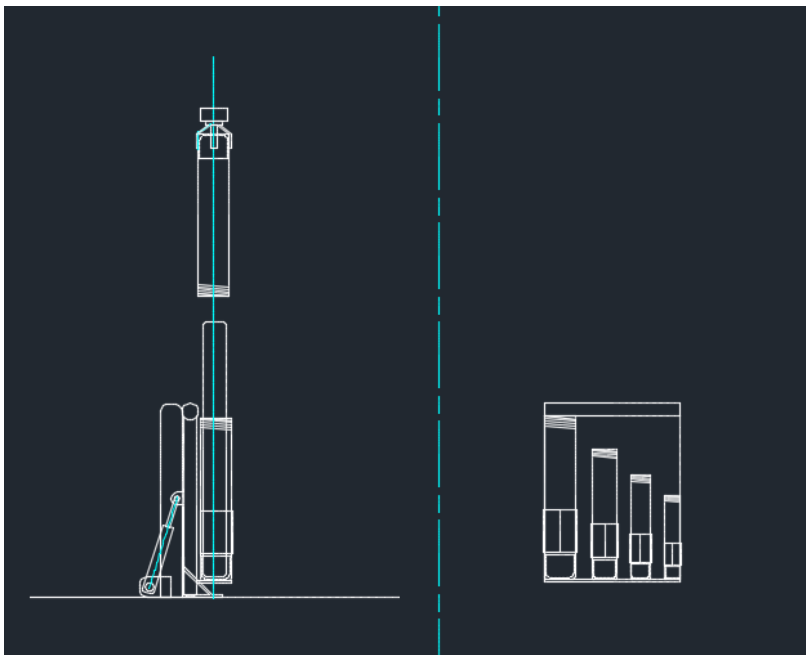
KUVA 25. Liukuhihnalla toteutettu pakkausratkaisu

Kuvan 25 hahmotelmassa mäntä asetettaisiin liukuhihnalle, joka työntäisi männän putken puolikkaaseen. Putken puolikas sijaitsee telineessä, joka on liikuteltavissa pysty- tai vaaka-asentoon. Kun mäntä on työnnetty putken puolikkaaseen, pakkausteline asettuu pystyasentoon. Tässä kohtaa robotti hakee putken vastakappaleen ja kiertää sen kiinni.



KUVA 26. Painovoimaa hyväksikäyttävä pakkausratkaisu

Kuvan 26 hahmotelmassa hyödynnettäisiin männän painoa ja painovoimaa. Mäntä asetettaisiin pienistä rullista koostuvalle alustalle, jota pitkin se vierisi pakkausputken puolikkaaseen. Tässä on kiinnitettävä suurta huomiota telineiden asetuskulmiin, jotta männän nopeus ei kasva liian suureksi. Pakkaus suoritettaisiin loppuun samalla tavalla, kuin kuvan 25 hahmotelmassa.



KUVA 27. Pakkaustelineen hahmotelma

Kuvassa 27 on hahmoteltu pakkaustelineen mahdollinen rakenne. Telineessä olisi jokaiselle eri putkikoolle oma paikkansa, jota täydennettäisiin aina kun edellinen putki on käytetty. Täydennys voisi tapahtua jonkinlaisella automaattisella täydennysratkaisulla, tai robotti voisi hakea välivarastosta uuden putken puolikkaan sille tarkoitettuun paikkaan.

Pakkausta varten ei välttämättä tarvitsisi kuitenkaan olla ollenkaan erillistä pakkauspis-tettä, vaan pakkausmateriaalit voitaisiin asetella soluun siten, että robotti voisi nostaa suo-jatun männän suoraan pakkausputken puolikkaaseen, ja kiertää vastakappaleen siihen kiinni. Ongelmaksi kaikissa pakkausvaihtoehdoissa koituu se, että suojauksen jälkeen mäntä on öljyinen ja sen pinnat ovat liukkaita. Tätä varten robotilla on siis oltava erillinen tartuntatyökalu, jolla männästä saa tukevan otteen eikä sen tartunta vaikuta suojauksen laatuun. Suojattu mäntä myös sotkee kaikkea ympäristöä, johon se on kontaktissa, joten suojatun männän liikeradat tulee suunnitella hyvin, jotta tältä vältytään.

## **8.7 Yhteenveto laitevalinnoista ja niiden mitoituksesta**

Taulukossa 1 on listattuna kaikki viimeistelysoluun tarvittavat laitteet ja huomioita niiden hankintaan liittyen. Laitevalmistajien kanssa olisi hyvä pitää yhteinen palaveri, jossa kaikkien valmistajien myyntiedustajat olisivat paikalla. Samalla voitaisiin konkreettisesti näyttää, minkä tyyppisiä kappaleita solussa tullaan käsittelemään. Tällä tavoin laitteistot juuri tähän käyttötarkoitukseen olisi helppo mitoittaa.

TAULUKKO 1. Laitevalinnat

Laite	Huomioitavaa
6-Akselirobotti	Yhteyttä toimittajiin, joiden kanssa on ollut jo aikaisempaa yhteistyötä. Huomioitava erityisesti männän fyysiset ominaisuudet, kuten pituus ja paino. Erilaiset kuljetustilanteet ja niihin vaaditut tartuntavälineet huomioitava.
Konenäköjärjestelmä	Tilataan mielellään robotin valmistajalta.
Pinnanlaaduntestauslaitteisto	Tiedustellaan saman valmistajan tuotetta, jolta aikaisempikin laitteisto on aikanaan tilattu. Hankintakriteereinä ovat männän fyysiset ominaisuudet, sekä laitteiston ohjattavuus ohjelmoitavalla logiikalla.
Kiillotuskone	Tarjous saatu koneratkaisusta. Ollaan yhteydessä tarjouksenantajaan.
Demagnetointilaite	Valmistetaan ratkaisu itse / valmistutetaan halutuilla ominaisuuksilla (vanhasta laitteesta mallia). Olisi mahdollisesti hyvä tehdä myös tutkimuksia männän demagnetoinnin vaatimuksista, kuten vaadittavan magneettikentän voimakkuuden ja magneettivuon tiheyden suuruudesta, koska niitä ei ole ennen määritelty.
Pesukone	Yhteyttä toimittajiin, joiden kanssa on ollut jo aikaisempaa yhteistyötä. Kiinnitettävä erityistä huomiota männän materiaaliin ja laatuvaatimuksiin. Ultraäänipesutestit tehtävä ennen laitehankintaa.
Suojauslaitteisto	Valmistetaan ratkaisu itse / valmistutetaan halutuilla ominaisuuksilla. Suojatun männän kuljettamisessa otettava huomioon tartuntatavat- ja välineet, jotta suojaainetta ei leviä muualle ympäristöön.
Pakkauslaitteisto	Valmistetaan ratkaisu itse / valmistutetaan halutuilla ominaisuuksilla. Pakkausmateriaalivaraston ja pakkauslaitteiston välillä on oltava hyvä kommunikaatio.

## 9 SOLUN OHJAUS

Solun ohjaus tapahtuu pitkälti sen mukaan, miten mäntähiomakoneilta valmistuu viimeisteltäviä kappaleita. Viimeistelysolu pyritään toteuttamaan siten, että se kykenee viimeistelemään männän aina sen ajan sisällä, kun seuraava mäntä hiomakoneelta valmistuu. Näin tuotannosta tulee sujuvaa, eikä synny pullonkauloja.

Viimeistelysolun toimintoja ohjataan ohjelmoitavalla logiikalla, jonka on myös kyettävä ohjaamaan usean männän samanaikaista viimeistelyä. Logiikalla tulee olla mäntätyypin lisäksi tiedossa muun muassa seuraavanlaisia tilatietoja, joiden perusteella ohjaaminen tapahtuu:

- Viimeistelylaitteiden tilat
  - Turvalaitteiden tilat
- Viimeistelyprosessin tilat kullakin männällä
- Palettien tilat
- Syöttöjen ja liitäntöjen tilat
  - Sähkö, verkkoyhteys, paineilma, vesi, voiteluaineet ym.
- Pakkausraaka-aine varaston tila.

### 9.1 Viimeistelyprosessin kuvaus

Viimeistelyprosessi koostuu joko kokonaisesta prosessista, tai vain sen osista. Viimeistelysolussa on oltava mahdollista tehdä männälle esimerkiksi vain demagnetointi ja pesuvaiheet, jos näin halutaan. Kaaviossa 2 on kuvattu viimeistelyprosessi, sekä muut mahdolliset prosessit.

Prosessi rakentuu kolmen eri paletin ympärille, jotka ovat viimeisteltävän männän sisään- syöttöpaletti (paletti1), viimeistellyn männän ulossyöttöpaletti (paletti 2), sekä tarkastus- paletti (paletti 3). Jokaisella paletilla on rajakytkimet, jotka tunnistavat paletin tilan (solussa/solun ulkopuolella). Näillä rajakytkimillä ilmoitetaan ohjelmistologiikalle tilatiedot sitä varten, jotta robotti ei esimerkiksi yritä laskea valmista mäntää alustalle, jota ei solussa sillä hetkellä edes ole.





### 9.1.1 Pääprosessi

Pääprosessi tehdään jokaiselle hiomakoneelta valmistuvalle männälle, ja se pitää sisällään jokaisen viimeistelyvaiheen. Pääprosessin kulku kaikkine välivaiheineen on seuraavanlainen:

- 1 Viimeistelyprosessi alkaa siitä, että viimeisteltävä mäntä lasketaan syöttöpaletille (paletti 1) ja paletti työnnetään takaisin soluun.
- 2 Männän tunnistamisen ja sarjanumeron syöttämisen jälkeen robotti tarttuu mäntää keskeltä kiinni ja kuljettaa sen pinnanlaatumittauslaitteistolle. Laitteistoon robotti asettaa männän pituussuunnassa keskiöistänsä kiinni. Laitteisto suorittaa mittauksen ja lähettää mittaustuloksen tarkastettavaksi solun operaattorille. Mittaustulos tulee tarkastaa, ennen kuin prosessi voi jatkuu.
- 3 Tarkastuksen jälkeen robotti tarttuu mäntää keskeltä kiinni ja kuljettaa sen kiillotuskoneelle. Kiillotuskoneeseen robotti asettaa männän vaakatasoon keskiöistänsä kiinni. Kiillotuskone hoitaa männän kiillotuksen, terävien reunojen pyöristyksen sekä päätyhionnan.
- 4 Robotti tarttuu mäntää keskeltä kiinni ja kuljettaa sen demagnetointilaitteelle, johon mäntä asetetaan vaakatasossa. Demagnetointilaitteen käämitys kulkee männän päästä sen toiseen päähän ja palaa takaisin aloituspositioonsa.
- 5 Robotti tarttuu mäntää keskeltä kiinni ja kuljettaa sen pesulaitteistolle. Pesulaitteistoon mäntä asetetaan vaakatasossa. Pesulaitteistossa mäntä pestään, huuhdellaan ja kuivataan.
- 6 Robotti tarttuu mäntää keskeltä kiinni ja kuljettaa sen suojauspisteelle. Suojauspisteellä mäntä suojataan kauttaaltaan. Tässä kohtaa robotti vaihtaa tartuntatyökälunsa, jotta prosessin alkuvaiheessa käytettävä työkalu ei sotkeennu suoja-aineesta.
- 7 Robotti kuljettaa männän pakkaustelineelle ja asettaa sen pystyasennossa oikeanlaiseen pakkausputken puolikkaaseen. Robotti vaihtaa taas tartuntakätensä prosessin alkuvaiheessa käytettyyn tartuntakäteen. Robotti hakee välivarastosta toisen pakkausputken puolikkaan ja kiertää sen kiinni.
- 8 Robotti siirtää pakatun männän sille tarkoitettulle ulossyöttöpaletille.

Pääprosessilla on myös vaihtoehtoinen kulkutie, joka on esitetty kaaviossa 2 punaisella katkoviivalla. Lyhykäisyydessään tämä tarkoittaa siis sitä, että satunnaisesti mäntä vie-

dään pesun jälkeen tarkastuspisteelle, jossa sen laatu tarkastetaan ja kuitataan. Koska viimeistely mäntä pakataan jo solun sisällä, ei sen laatua pysty tarkastelemaan ilman, että purkaa sen pakkauksestaan. Tällä tarkastusmenetelmällä varmistetaan se, että viimeistelyprosessi toimii ja männän laatu on hyvä, ennen kuin se pakataan. Tarkastustiheyden on kuitenkin hyvä olla säädettävissä, sillä tiheällä tarkastusfrekvenssillä ei ole enää mitään hyötyä siinä kohtaa, kun prosessi on todettu kaikin puolin toimivaksi. Kokonaan näitä silmämääräisiä tarkastuksia ei kuitenkaan kannata lopettaa.

### **9.1.2 Osaprosessi**

Männille on oltava mahdollista suorittaa myös vain jotkin tietyt vaiheet prosessista. Voi olla olemassa esimerkiksi tilanne, jossa männän pinnanlaatu halutaan tarkastaa uudelleen. Tässä tilanteessa käyttäjä määritteli männän osaprosessiksi vain pinnanlaatumittauksen, jonka jälkeen mäntä syötetään ulos solusta. Osaprosessit on merkitty kaavioon 2 sinisellä katkoviivalla. Tässä prosessissa mäntä syötettäisiin samaan tapaan viimeistelysolun sisälle paletilla 1. Operaattorin on edelleen syötettävä sarjanumero ennen prosessin alkua, jolloin järjestelmään tallentuu tieto siitä, että jotkin vaiheet tullaan tekemään kyseiselle männälle toisen kerran. Tällä tavoin saadaan tilastoitua entistäkin enemmän dataa männänvalmistusprosessista, joka puolestaan tukee tuotannonkehitystä ja laadunseurantaa.

## **9.2 Solun ohjaamisen käyttöliittymä**

Syöttöpaletin paineanturit ja konenäkö tunnistavat männän tyypin, ja tarjoavat sitä solun ulkopuolella toimivalle operaattorille. Operaattori ohjaa solua siis tietokoneelta käsin, jossa on jonkinlainen käyttöliittymä robottisolun ohjaamiseen. Käyttöliittymä voisi olla esimerkiksi kuvan 28 tapainen.

ID: BG00422622		Matto 1	
HF820T	S.nro:		
L = 575	Koko prosessi		Osa-prosessi
W = 8.6			
Vaihda tyyppi	Vie		

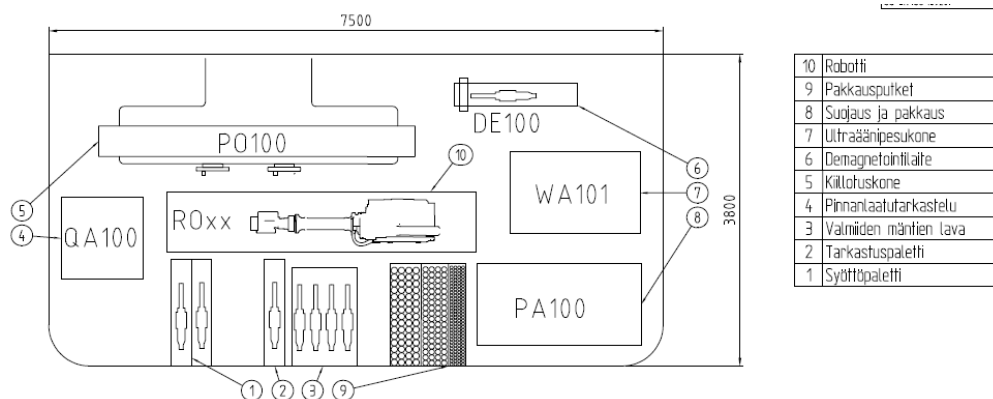
BG00488404 RD525	S.nro: A18 11 Tila: Kuljetus, Stresstech
BG00422622 HF820T	S.nro: A18 05 Tila: Kuljetus, Stresstech
BG00422622 HF820T	S.nro: A18 05 Tila: Stresstech
BG00422622 HF820T	S.nro: A18 05 Tila: Demagnetointi
BG00488404 RD525	S.nro: A18 11 Tila: Pakkaus

KUVA 28. Käyttöliittymä

Kuvassa männäksi on tunnistettu HF820T porakoneen mäntä, ja siitä on listattu alas olen-  
naiset tiedot, kuten sen pituus ja paino. Tässä kohtaa käyttäjä kirjaa järjestelmään männän  
sarjanumeron, sekä valitsee, tehdäänkö sille kokonainen prosessi, vai osa-prosessi. Myös  
männän tyyppi on tässä kohtaa vielä mahdollista muuttaa, mikäli sille on tarvetta (esi-  
merkiksi jos kyseessä on prototyypimäntä, jonka tietoja ei vielä järjestelmästä löydy).  
Tämän jälkeen mäntä viedään viimeistelyjonoon muiden mahdollisten viimeistelyssä ole-  
vien mäntien kanssa. Jonossa olisi selvät indikaattorit siitä, missä vaiheessa mikäkin  
mäntä menee. Vihreä indikoisi siitä, että männälle tehdään parhaillaan jotain tiettyä pro-  
sessia. Oranssi indikoisi siitä, että mäntä odottaa seuraavan viimeistelyvaiheen vapautu-  
mista. Keltainen indikoisi siitä, että männällä on pinnanlaadun mittaustulos tarkastamatta,  
tai että se on tarkastuspisteellä odottamassa silmämääräistä tarkastusta.

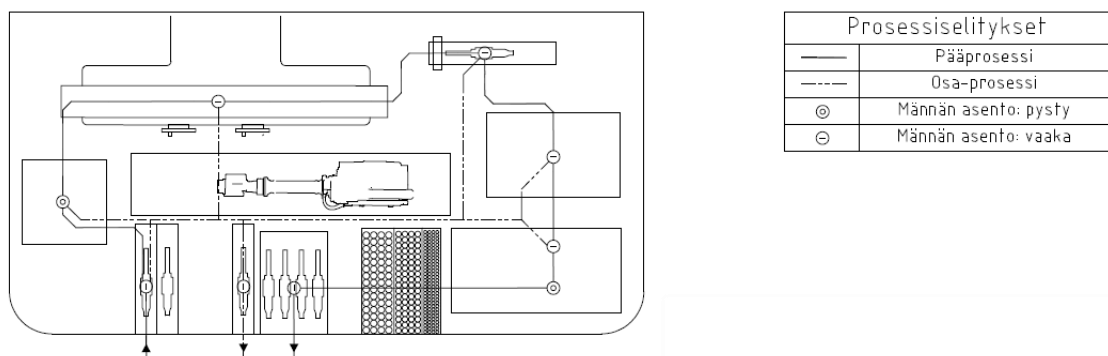
## 10 LAYOUT

Männän viimeistelyn ollessa hyvinkin lineaarinen siinä mielessä, että jokainen viimeistelyvaihe suoritetaan männälle vain kerran, on laitelayout hyvä toteuttaa myös lineaarisesti. Tämä tarkoittaisi siis sitä, että viimeistelysolun laitteet olisivat asetettu niin, että prosessin suunta pysyisi koko ajan samana. Edestakaisia liikkeitä viimeistelysolun sisällä ei siis tarvitsisi tehdä. Viimeistelysolulle on varattu tehtaalta 7500 mm x 3800 mm tila. Viimeistelysolun layout on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 1, mutta tarkastellaan sitä hieman yksityiskohtaisemmin kuvissa 29 ja 30.



KUVA 29. Laitteasettelut layoutpiirustuksessa

Kuvassa 29 on siis niin sanottu palikkamalli siitä, miten viimeistelysolun layout voitaisiin toteuttaa. Solun keskiössä on robotti ja viimeistelylaitteistot on sijoitettu järkevästi sen ympärille. Syöttöpaletti ja tarkastuspaletti on sijoitettu toistensa lähelle, jotta operaattorille ei synny turhaa kävelyä prosessin aikana. Solua ohjaava tietokone, jota operaattori käyttää, sijaitsee siis syöttöpaletin ja tarkastuspaletin välissä. Pakkausputkivarasto sijaitsee myös samalla puolella solua, tällöin varaston täydentäminen onnistuu kätevästi myös ilman ylimääräistä kävelyä. Kuvassa 30 on esitetty männän viimeistelyprosessin kulku, sekä männän asennot laitekohtaisesti.



KUVA 30. Prosessin kulku layoutpiirustuksessa

## 11 JATKOTOIMENPITEET

Viimeistelysolun käytännön toteutus tapahtuu vasta tulevaisuudessa. Tämä opinnäyte-työ on luotu toimimaan esiselvityksen kaltaisena apuvälineenä solun käytännön toteutusta varten. Ennen käytännön toteutusta täytyy tehdä selvitys mahdollisista laite- ja robotisoluvalmistajista ja kilpailuttaa näitä keskenään. Kilpailutuksen ideana on löytää parhaat ja kustannustehokkaimmat valmistajat solun onnistuvaksi toteuttamiseksi. Kilpailutuksen myötä käydään palavereita valmistajien kanssa ja sitä kautta pyritään keksimään yhteinen ja lopullinen ratkaisu siitä, miten solu rakennettaisiin. Palavereista on hyötyä sitäkin kautta, että esimerkiksi robotti- ja konenäköjärjestelmiä tarjoavalla yrityksellä voi olla paljonkin erilaisia vartenotettavia ehdotuksia siitä, miten solu olisi vielä järkevämpi toteuttaa.

Suurin osa mahdollisista laitevalmistajista on kuitenkin jo tiedossa. Robotti- ja konenäköjärjestelmiä on hankittu tehtaaseen jo aikaisemminkin, joten näiltä yhtiöiltä ratkaisun tilaaminen olisi varmasti hyvinkin mutkatonta. Pinnanlaadunmittauslaitteisto olisi hyvä hankkia samalta valmistajalta, kuin aiemmin käytössä ollut laitteisto. Kiillotuskoneesta oltiin jo saatu tarjous modifioituja koneratkaisuja tarjoavalta yritykseltä, jonka kautta se suurella todennäköisyydellä tullaan hankkimaan. Ultraäänipesukoneen hankinnasta ei vielä ole varmaa tietoa, koska ultraäänipesutestejä ei ole tehty. Ultraäänipesua käytetään tehtaassa kuitenkin monen muun valmistettavan kappaleen kohdalla, joten riippuen testien lopputuloksesta, ultraäänipesukoneen hankinnassa voitaisiin lähestyä samaa valmistajaa. Muille viimeistelysolun laitteille ei ole toistaiseksi tiedossa mitään varsinaista valmistajaa. Mahdollista olisi valmistuttaa kyseiset laitteet esimerkiksi jollain yrityksen tarpeisiin kustomoituja ratkaisuja myyvällä yrityksellä. Hyviä ideoita voi kuitenkin ilmetä myös edellä mainittujen laitevalmistajien palavereiden aikana.

Kun laitehankinnat ja solun viimeisin layout ovat selvillä, alkaa käytännön toteutus. Tässä kohtaa on varmistettava, että viimeistelysolulle tarkoitettuun tilaan on tuotu tarvittavat syötöt ja liitännät, kuten paineilma ja sähkö. On myös hyvä ennalta merkitä eri laitteiden paikat, jotta ei koidu ylimääräistä laitteiden siirtelyä enää siinä kohtaa, kun ne saadaan tehtaaseen.

## 12 YHTEENVETO

Sandvikin Tampereen hydraulisia iskuporakoneita valmistavalle tehtaalle myönnetyn investointirahan myötä, tehtaasta pyritään luomaan täysin uudenlainen ja moderni kehitys- ja osaamiskeskus. Investointiprojektin aikana tuotannon konekanta uudistetaan täysin ja tuotantotekniikoita parannetaan huipputasolle. Osana tätä projektia iskuporakoneen männänvalmistuksen viimeistelyprosessi pyritään automatisoimaan. Automatisoinnilla saavutettuja hyötyjä ovat muun muassa ne, että aikaisemmin manuaalisesti toteutetun prosessin aiheuttamat kappaleiden nostot saadaan poistettua ja sitä kautta tuotannosta saadaan myös modernimpaa.

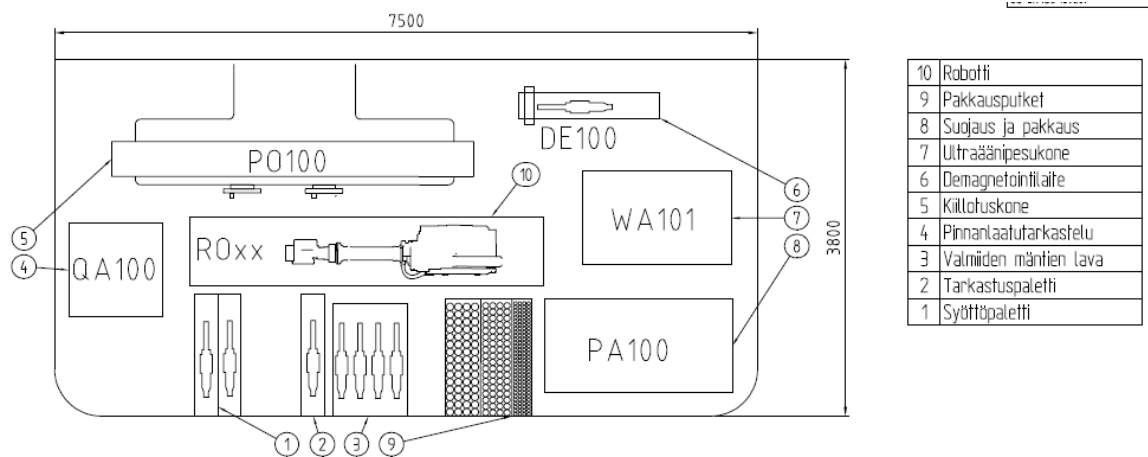
Automatisoidun viimeistelysolun suunnittelu lähtee liikkeelle hyvällä pohjakartoituksella, ja se oli tämän opinnäytetyön perimmäinen tarkoitus. Ensin selvitettiin aikaisemmin käytössä olleet viimeistelymenetelmät ja pyrittiin kartoittamaan näiden etuja ja haittoja. Kartoitusta on tehty niin tuotannon työntekijöiden kuin suunnittelijoidenkin kanssa, jotta tilanteesta saatiin paras mahdollinen kuva.

Viimeistelyprosessin vaiheet eivät automatisoinnin myötä muutu, mutta niiden robotisointi aiheuttaa paljon haasteita. Männän viimeistely koostuu pinnanlaatutarkastelusta, männän kiillotuksesta, sen terävien urien pyöristämisestä ja päätyhionnasta, demagne-toinnista, pesusta, suojauksesta ja pakkauksesta. Haasteita näiden vaiheiden robotisoinnille aiheuttaa se, että tuotanto ei ole millään tavalla massatuotantomaista. Mäntien koko ja paino vaihtelevat, ja niitä valmistuu viimeisteltäväksi kahdelta hiomakoneelta samanaikaisesti. Viimeistelylaitteiden on siis pystyttävä mukautumaan olosuhteisiin, joissa viimeisteltävien kappaleiden koko ja paino vaihtelevat.

Olosuhteista huolimatta männän kuljettaminen solun sisällä saadaan onnistumaan kiertyvänivelisellä 6-akselirobotilla, joka sijaitsee solun keskiössä. Robotille voidaan ohjelmoida käytännössä minkälainen liikerata tahansa, jonka takia viimeisteltävien kappaleiden eroavaisuudet eivät juurikaan haittaa robotin toimintaa. Männän kummassakin päässä on keskiöt, jotta se saadaan kiinnitettyä esimerkiksi sorviin ja hiomakoneelle. Näistä samaisista keskiöistä mäntä voidaan kiinnittää viimeistelylaitteisiin.

Viimeistelyprosessi voidaan toteuttaa joko kokonaisena, tai vain osaprosessina. Osaprosessin tarve voi tulla esimerkiksi silloin, jos männälle halutaan tehdä vain pinnanlaatutarkastelu. Jokaisen hiomakoneelta valmistuvan männän on kuitenkin käytävä koko prosessi kerran läpi. Prosessi pitää sisällään muutamia huomioitavia kohtia. Pinnanlaatutarkastelun jälkeen viimeistelyprosessi ei saa jatkua, ennen kuin tarkastuksen tulos on kuitattu. Mikäli tulos ei täytä laatuvaatimuksia, ei männän viimeistelyä ole järkeä jatkaa. Männällä on oltava myös välitarkastuspiste, koska viimeistelyprosessin jälkeen mäntä on siistissä paketissa, eikä sitä enää pääse näkemään ilman paketin aukaisemista. Näitä välitarkastuksia olisi hyvä olla pistokoemaisesti, jotta huomataan heti, jos prosessiin tulee vikoja.

Viimeistelysolun layout on suunniteltu siten, että männän kulkureitti on looginen. Kuvassa 29 on esitetty hahmotelma mahdollisesta layoutista, jossa mäntä kulkee ympyrän muotoisen prosessin. Layoutissa kaikki operaattorin kannalta olennaiset pisteet on myös sijoitettu samalle puolelle viimeistelysolua, jolloin operaattorille ei synny ylimääräistä kävelyä tai kappaleiden siirtelyä.



KUVA 29. Laiteasettelut layoutpiirustuksessa

Tämän esiselvityksen pohjalta siirrytään neuvotteluvaiheeseen laitevalmistajien kanssa, josta edelleen viimeistelysolun toteutusvaiheeseen. Neuvotteluissa pyritään löytämään lopullinen ratkaisu solun toteuttamiseksi. Toteutusvaihe alkaa vasta siinä kohtaa, kun kaikki laitehankinnat ovat selvillä. Toteutusvaiheen jälkeen on olemassa moderni robotisoitu männän viimeistelysolu, josta maailman ykkösluokan porakoneen männät lopulta valmistuvat.

## LÄHTEET

EM, 2007. Demagnetointilaite. Sandvik Mining and Construction Oy. Kokoonpanopii-  
rustus.

Fanuc. 2017. Robots. R-2000iB/100P. <https://www.fanuc.eu/uk/en/robots/robot-filter-page/r-2000-series/r-2000ib-100p>.

FinnSonic. 2014. Ultraäänipesu. <http://www.rpcase.fi/Portals/0/PDF/Finnsonic/Ultra%20perusteita%20FinnSonic%20Oy.pdf>.

Goudsmit magnetics. 2018. Demagnetization. <http://www.goudsmitmagnets.com/industrial-magnetic-systems/demagnetization>.

Idea Machine Oy. Products. Single stage front-loading. <http://www.ideamachine.fi/products/>.

Integrated publishing. Nondestructive Inspection Methods Manual. TM-1-1500-335-23. [http://chemical-biological.tpub.com/TM-1-1500-335-23/css/TM-1-1500-335-23\\_209.htm](http://chemical-biological.tpub.com/TM-1-1500-335-23/css/TM-1-1500-335-23_209.htm).

Jokinen, I. Opetushallitus. <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/metallituotemaalaus/osa2.pdf>.

Kalpakjian, S. & Schmid, S R. 2008. Manufacturing processes for engineering materials. New Jersey: Pearson education inc.

Kivivuori, S. & Härkönen, S. 2004. Lämpökäsittelyoppi. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy.

Klocke, F. 2009. Manufacturing processes 2. Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Knuuti-Lehtinen, J. 2009. Aineen magneettinen luonne ja lämpötilan vaikutus magne-  
toitumaan. [http://www.helsinki.fi/~www\\_sefo/LuKseminaarit/kl2009/Knuuti-seminari.pdf](http://www.helsinki.fi/~www_sefo/LuKseminaarit/kl2009/Knuuti-seminari.pdf).

Lähtenmäki, M. & Leiviskä, K. 1998. Tilastollinen prosessinohjaus: perusteet ja menetelmät. Oulun yliopisto. <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9514275209.pdf>.

METSTA. 2016. Koneturvallisuuden standardit. Metalliteollisuuden standardisointiyhdistys ry.

Rautanen, M. 2016. Maanalaisessa louhinnassa käytettävien nykyaikaisten päättälyövien kallioporolaitteiden poraushydrauliikka. Oulun yliopisto. Kandidaatintyö. <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201605251889.pdf>.

Rautanen, S. 2017. Johto lupasi Tampereella toimivalle yritykselle miljoonia euroja rahaa: ”Asiakkaiden pitää pystyä takomaan meidän vehkeillä rahaa”. <https://www.aamulehti.fi/kotimaa/jattimainen-kaivosalan-teollisuuskonserni-nakee-mahdollisuuksia-tampereella-investoi-miljoonia-euroja-200126625/>.



- Roy, P. & Rao M. S. 2013. Hydraulic drill jumbos an overview. <https://www.slideshare.net/pinaki50/hydraulic-drill-jumbos-an-overview>.
- Sandvik AB. History. <https://www.home.sandvik/en/about-us/our-company/history/>.
- Sandvik AB. Sandvik Group. <https://www.home.sandvik/en/change-country-and-language/finland/>.
- Sandvik AB. Top hammer rock drills for underground and surface. HLX5 Rodck drill. <https://www.rocktechnology.sandvik/en/products/rock-drills/top-hammer-rock-drills-for-underground-and-surface/hlx5-rock-drill/>.
- Sandvik Mining and Construction. 2018. Asiantuntijoiden haastattelu. Tampere.
- Sandvik Mining and Construction. Porakonetehtaan materiaali. 4. Toimintaperiaate.
- Sorsa, A. & Leiviskä, K. & Santa-aho, S. & Vilppola, M. & Lepistö, T. 2013. Barkhausen kohina -mittauksen hyödyntäminen materiaaliominaisuuksien ennustamisessa.
- Stefanita, C. -G. 2008. From Bulk to Nano. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Stresstech. Barkhausenin kohina. Kehystetty esite Sandvikin tuotantotiloissa.
- Tekniikka & talous. 2004. Mikä pietsosähkö?. <https://www.tekniikkatalous.fi/arkisto/2004-03-03/Mik%C3%A4-pietsos%C3%A4hk%C3%B6-3289519.html>.
- Tykki, E. 2016. Iloinen talousuutinen Tampereelta: Sandvik palkkaa kymmeniä – ”Hakemuksia on tullut tolkkuttomasti”. <https://www.aamulehti.fi/raha/iloinen-talousuutinen-tampereelta-sandvik-palkkaa-kymmenia-hakemuksia-on-tullut-tolkuttomasti-24168493/>.
- Ul Haq, N. 2010. Design and Modelling of a Piston Accumulator for Rock Drill and its Fatigue Strength. Master Thesis. Linköpings universitet. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:398895/fulltext01>.
- Vestman, M. 2012. Viimeistelykoneistuksen vaikutukset porakonemäntien jäännösjännityksiin. Tutkimusraportti. Sandvik.
- Viljanen, A. 2004. Magneettikenttä väliaineessa. Finnish Meteorological Institute. [http://space.fmi.fi/~viljanea/ed2004/ed2004\\_06.pdf](http://space.fmi.fi/~viljanea/ed2004/ed2004_06.pdf).
- Weckström, O. 2012. Ultraäänipesurin kehittäminen ja pesutuloksen parantaminen. Satakunnan ammattikorkeakoulu. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/46863/Weckstrom\\_Ossi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/46863/Weckstrom_Ossi.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

