

Jukka Teittinen

# Manuaalisorvin modernisointi Fanuc 0i -ohjauksella

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinööriytyö

10.4.2014

Tekijä(t) Otsikko	Jukka Teittinen Manuaalisorvin modernisointi Fanuc Oi -ohjauksella
Sivumäärä Aika	38 sivua + 2 liitettä 10.4.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Kappaletavara-automaatio
Ohjaaja(t)	Varatoimitusjohtaja Pertti Heikkinen Lehtori Kai Virta
<p>Tämän opinnäytetyön aiheena on muuttaa vanha manuaalinen telasorvi nykyaikaiseksi NC-sorviksi. Modernisointityössä sorviin asennetaan Fanucin Oi -ohjaus ja muu koneen sähköistys uusitaan lähes kokonaan. Työ vaati myös paljon mekaanisia muutoksia. Työn tilaajana toimii Valmet Oy:n Shanghaiin tehdas ja toimittajana on CNC Maint-tech Vantaalta.</p> <p>Opinnäytetyössä esitellään sorvin rakennetta ja sen sisältämää tekniikkaa yleisellä tasolla. Tässä käsitellään sitä, miten modernisaatio vaikuttaa koneen elinkaareen. Lisäksi pureudutaan hieman numeerisen koneen tekniikkaan ja työstötarkkuuteen. Myös Fanucin ohjausta käsitellään pintapuolisesti.</p> <p>Toteutusvaihe alkoi työn laajuuden kartoittamisella paikanpäällä Kiinassa, minkä jälkeen tehtiin alustavat suunnitelmat toteuttaa sorvin modernisaatio. Suomesta löytyi varaosana telasorviin sopiva teräkelkka. Tämä kelkka purettiin osiin Vantaalla, jonka jälkeen kelkan mekaanisia osia koneistettiin ja uusia osia teetettiin alihankkijoilla. Työhön liittyi myös uuden sähkökaapin rakentaminen, servomootorien sovittaminen kuularuuvien päähän ja Fanucin ohjauksen asentaminen ja ohjelmointi. Lopuksi kaikki testattiin ennen kuin ne lähetettiin Kiinaan. Telasorvin muita osia kunnostetaan ja modernisoidaan myöhemmin paikanpäällä, jolloin myös modernisoitu teräkelkka sovitetaan johteille. Tarkoituksena on myös saada sorvin seisokkiaika Kiinassa mahdollisimman lyhyeksi.</p> <p>Lopputuloksena saadaan toimiva nc-työstökone, jonka käytettävyys ja tuottavuus paranee merkittävästi. Lopuksi Kiinassa tehdään mittauspöytäkirja, josta selviää koneen uudet ominaisuudet ja tarkkuudet.</p>	
Avainsanat	työstökone, modernisointi, sorvi

Author(s) Title	Jukka Teittinen Modernization of a manual lathe with a FANUC Oi-control
Number of Pages Date	38 pages + 2 appendices 10 April 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Specialisation option	Manufacturing Automation
Instructor(s)	Pertti Heikkinen, Vice President Kai Virta, Principal Lecturer
<p>The subject of this thesis is to change an old manual roll-lathe to a modern NC-lathe. As part of the modernization work the FANUC Oi-control is mounted and the rest of the electrics are renewed almost completely. The work also requires a lot of mechanical changes. The client is the Valmet plant in Shanghai and the supplier is CNC Maint-tech in Vantaa.</p> <p>The thesis presents the structure of the lathe and its technology in general. How modernization affects the machine life cycle is discussed. In addition some focus is placed on numerical machinery technics as well as processing accuracy. Also the FANUC control is discussed.</p> <p>The implementation phase began with defining the scope of the work in China. Based on this preliminary plans were made to modernize the lathe. A suitable replacement part for the tool rest was found in Finland. This tool rest was taken apart in Vantaa, after which the sled was mechanized and new parts were made by subcontractors. The work also involved the construction of a new electrical cabinet, the fitting of the servo motor to the ball screw as well as the installation and programming of the FANUC control. Finally everything was tested before it was shipped to China. The other parts of the lathe are repaired and modernized later on site. At this point in time also the modernized tool rest will be put in place. The aim is also to make the down-time for the lathe in China as short as possible.</p> <p>The end result is a functional NC machine tool with a significant increase in usability and productivity. Finally in China a measurement record is made showing the new features of the machine and its accuracy.</p>	
Keywords	machinetool, modernization, lathe

## Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	CNC Maint-tech Oy	1
1.2	Metso Oy	2
2	Modernisointi	2
2.1	Syyt modernisoinnin taustalla	2
2.2	Kiinan sorvi	3
2.3	Lähtötiedot työlle	5
2.3.1	Suunnittelu	8
2.3.2	Alustava toteutus	9
3	Elinkaari	11
3.1	LCC-menetelmä	12
3.2	Elinjaksokustannus	13
4	Sorvaus	14
4.1	Sorvauskappaleet	15
4.2	Sorvin rakenne	15
5	NC-kone ja sen sisältämä tekniikka	16
5.1	Mekaniikka	17
5.1.1	Johteet	17
5.1.2	Laakerointi	18
5.2	Sähkötekniikka	19
5.2.1	Servomoottorit	20
5.2.2	Ohjaus	22
5.3	Työstökoneen tarkkuus	24
6	Fanuc	26
6.1	Fanucin tiedonkulku	29
6.2	Työstökoneen koordinaatisto	30
7	Toteutus	30
8	Yhteenveto	36

## Liitteet

Liite 1. Johdevoitelun logiikkaohjelma

Liite 2. Kelkan päävirtakaavio

## 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö kertoo manuaalisen Poreba -merkkisen telasorvin modernisoinnista cnc-koneeksi. Modernisoinnista ja opinnäytetyöstä vastaa vantaalainen CNC Maint-tech Oy, joka on lähinnä teollisuudessa toimiva työstökoneiden ja tuotantolaitteiden kunnossapitoon ja huoltoon keskittynyt yritys. Telasorvin omistaja on Kiinan Shanghaissa toimiva Valmet Oy, joka valmistaa ja huoltaa paperikoneen teloja.

Tämä työ lähti liikkeelle keväällä 2013 sorvin omistajan havaitessa tarpeen tehdä jotain koneen huonon kunnan, kasvaneiden ylläpitokustannusten ja heikentyneen tuotteen laadun suhteen. Tehtaan tuotannon kannalta sorvi on tärkeä sen sisäSORVAUSPUOMIN vuoksi. SisäSORVAUSPUOMI mahdollistaa telojen sisäpuolisen sorvauksen. Sorvi on vuosimallia 1982 ja siten melko iäkäs, mutta koneen 14 metrin pituus tekee siitä kannattavan kunnostaa. Aluksi konetta tutkittiin kartoittamalla kunnostustarve paikanpäällä Kiinassa. Neuvotteluissa päätettiin modernisoida sorvi Fanucin ohjauksella ja servoilla eli käytännössä muuttaa manuaalikone tietokoneohjatuksi koneeksi (cnc-kone).

Tavoitteena on tehdä sorvista luotettava cnc-kone, jonka tarkkuus ja käytettävyys olisi myös mahdollisimman hyvä. Kunnostustyöt tulevat lisäämään koneen tuottavuutta ja samalla sen elinkaari pitenee vuosikymmeniä. Tehtäväni oli olla mukana suunnittelemassa ja toteuttamassa työn eri vaiheita. Työn edistymistä auttoi tekijöiden vahva ammattitaito ja aikaisemmat onnistuneet modernisointityöt esimerkiksi Järvenpään Metso Oy:llä.

Koska Sorvissa on paljon liikkuvia osia ja tekniikkaa niin työn edetessä piti suunnitelmia usein tarkentaa ja korjata. Valmet Oy oli myös vahvasti mukana rakentamassa tätä sorvia valvomalla työn etenemistä suunnitelmien mukaan. Sähköisesti kone rakennettiin täysin uudestaan ja mekaaniset muutoksetkin olivat mittavat.

### 1.1 CNC Maint-tech Oy

CNC Maint-tech Oy on entisen ABB Service työntekijöiden vuonna 2010 perustama yritys Vantaan Koivuhaassa. Yritys on muuttamassa keväällä 2014 Vantaalta Keravalle. Yrityksen toimitusjohtajana toimii Timo Silvennoinen ja varatoimitusjohtaja on Pertti Heikkinen. Yritys on lyhyen historiansa aikana kasvanut vuosittain ja tällä hetkellä sillä

on 16 työntekijää. Yritys toimii eniten konepajateollisuuden yritysten kanssa, mutta palvelee myös monia muita teollisuusalan yrityksiä.

## 1.2 Metso Oy

Metso Oy on globaali pörssinoteerattu yhtiö, joka syntyi Valmet Oy:n ja Rauma Oy:n fuusioituessa vuonna 1999. Vuoden 2013 lopulla Metso jakautui kahteen eri yhtiöön. Jakautumisen jälkeen Metson massa, paperi ja voimantuotanto -liiketoiminnat muodostivat uuden yhtiön Valmet Oy:n, kun taas kaivos ja maarakennus sekä automaatio -liiketoiminnat muodostivat Metso Oy:n. Toimintaa näillä yrityksillä on yli 50 maassa ja yli 300 yksikössä ja yhdessä ne työllistävät yli 30 000 henkeä. Valmetin Shanghain tehdas on pinta-alaltaan suurikokoinen ja työntekijöitä siellä on noin 350.

## 2 Modernisointi

Sen sijaan että asiakas investoisi uuteen koneeseen, ikääntyneitä mekaanisesti käyttökelpoisia koneita kunnostetaan yhä enemmän. Usein varsinkin pitkäikäisten työstökoneiden sähköjärjestelmät tulevat nopeammin elinkaarensa päähän kuin mekaaniset komponentit. Modernisoinnissa koneen sähköjärjestelmä uusitaan nykyaikaiseksi ja samalla koneen kuluneet mekaaniset osat kunnostetaan tai vaihdetaan uusiin. Kun modernisointi tehdään huolellisesti ja ammattitaidolla asiakkaan kanssa, räätälöity lopputulos on usein kokonaisuudeltaan parempi ja merkittävästi edullisempi kuin uuden koneen hankinta. Lisäksi tällaiset projektit kerryttävät aina uutta tietotaitoa tekijöilleen, mistä asiakkaat hyötyvät nopeampina huoltotoimenpiteinä.

### 2.1 Syyt modernisoinnin taustalla

Järvenpään Metson tehtaalla modernisoitiin 2010–2012 välisenä aikana kolme Poreba merkkistä telasorvia CNC Maint-tech:n toimesta. Nämä sorvit ovat toimineet hyvin luotettavasti uudistamisen jälkeen ja se on varmasti edesauttanut neljännen sorvin modernisointipäätöstä. Näihin kaikkiin manuaalisorveihin on asennettu Fanucin servot ja Oi -ohjaus ja siten niistä on tehty cnc-koneita. Kunnostustyöt kattoivat koko koneen sekä sähköisesti että mekaanisesti.

Kuvan 1 keltaisessa laatikossa olevilla käyttökytkimillä ja nc-ohjauspaneelilla ohjataan koneen eri toimintoja ja saman kuvan etualalla oleva iso sininen laatikko on uusi sähkökaappi.



Kuva 1. Järvenpään modernisoidun telasorvin kelkka.

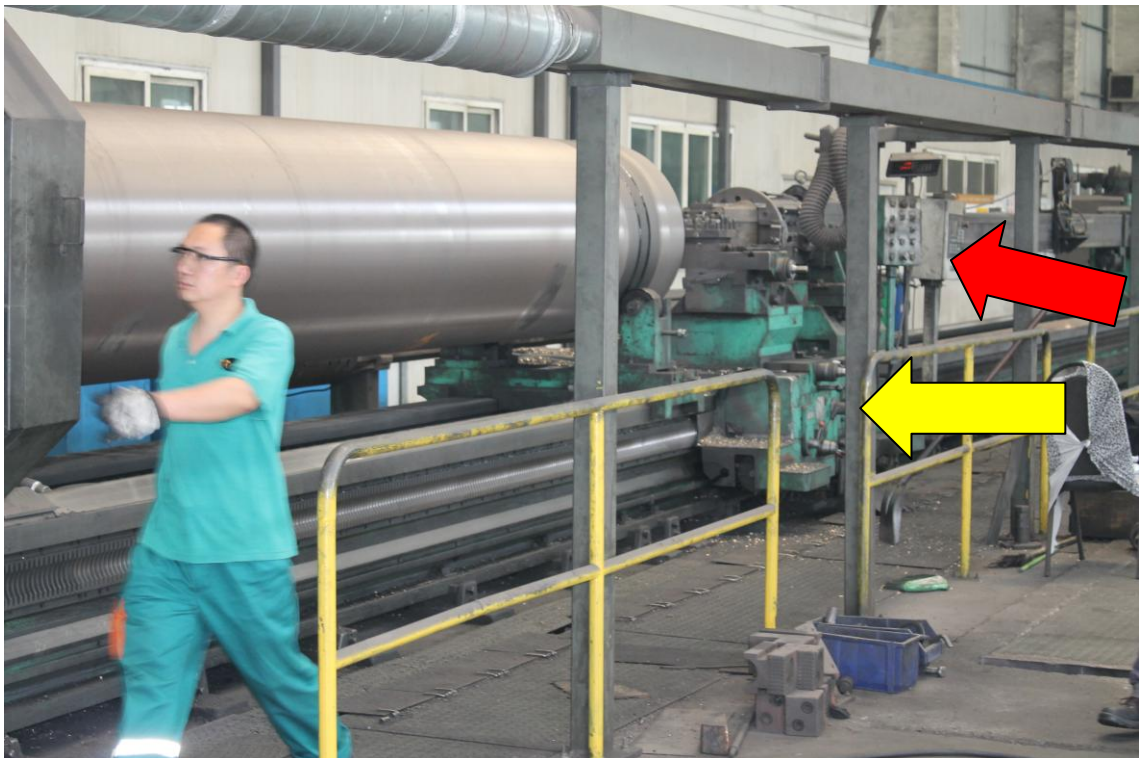
Tässä ratkaisussa ohjauspaneelin ja sähkökaapin välinen kaapelointietäisyys on lyhyt ja täten mahdolliset kaapeliongelmia on minimoitu. Kuvan 1 punainen nuoli osoittaa kokonaisuudessaan sinistä teräkelkkaa, joka liikkuu johteilla sekä pitkittäissuuntaisesti että poikittaissuuntaisesti. Kirjoissa näitä pitkittäis- ja poikittaissuunnan kelkkoja kutsutaan myös luisteiksi ja tätä pitkittäiskelkan alaosaa kutsutaan myös satulaksi. Yhden-suuntainen liike nuolen kanssa on z-liike ja poikittainen liikerata on x-liike.

## 2.2 Kiinan sorvi

Tämä neljäs manuaalisorvi on hankittu Järvenpään Metson tehtaalle vuonna 1982, josta se erinäisten vaiheiden jälkeen siirrettiin Kiinan Shanghaihin vuonna 2007. Tämä

sorvi on vielä osittain alkuperäiskunnossa ja kaipaa kipeästi kunnostusta jatkaakseen elinkaartaan. Vuonna 2003 konetta uudistettiin asentamalla ABB:n ACS-600 taajuusmuuttaja ohjaamaan karamootoria. Shanghaiin muuton yhteydessä sisäSORVAUSPUOMILLE asennettiin Siemensin 800:n ohjaus. Tulevassa modernisaatiossa karamootorin taajuusmuuttaja jää ennalleen, mutta sisäSORVAUSPUOMIA tullaan ohjaamaan Fanucin uudella ohjauksella.

Kuvan 2 punainen nuoli näyttää nykyisen sorvin ohjaustaulun ja keltainen nuoli osoittaa lukkolaatikkoon eli vaihdelaatikkoon, jonne tehdään mittavat muutokset.



Kuva 2. Shanghaiin Poreba.

Tämän vaihdelaatikon etupuolella on uuden sähkökaapin paikka. Punaisen nuolen takana näkyy pitkä sisäSORVAUSPUOMI, jolla telan sisäpinta sorvataan annettuihin mittoihin.

Näillä kuvan 3 vaihdelaatikon vivuilla saadaan valittua esimerkiksi erilaisia syöttönopeuksia x- ja z-liikkeille.



Kuva 3. Vaihdelaatikko lähikuvassa.

Käytännössä vivun kääntäminen aktivoi vaihteiston sisällä olevan magneettikytkimen, joka taas lukitsee akselillaan olevan hammaspyörän ja siten veto siirtyy hammaspyörän kautta halutulle toiminnolle. Näitä vaihteistoöljyssä uivia magneettikytkimiä on neljä kappaletta ja vuosien käytön myötä ne vikaantuvat ja tarvitsevat uusimisia.

### 2.3 Lähtötiedot työlle

Ylimääräinen kokonainen ulkosorvauskelkka löytyi modernisoitavaan Porebaan Oulusta. Selvityksissä kävi ilmi, että tämä varastoitu kelkka on yhteensopiva Kiinan sorvin kanssa. Tarkoituksena on tehdä varastokelkasta Kiinan sorviin uusi teräkelkka ja varastoida modernisoinnin yhteydessä nyt käytössä oleva teräkelkka. Modernisaatiosta aiheutuva seisokkiaika sorville lyhenee huomattavasti, kun koko kelkka sähkökaapeineen ja vaihdelaatikkoineen voidaan tehdä etukäteen Suomessa.

Kuvassa 4 näkyy kärkipylkkä z-akselin johteiden päässä. Tämän kärkipylkän moottori saa vedon johteen alapuolella sijaitsevasta hammastangosta.



Kuva 4. CNC Maint-tech arvioimassa kunnostustarvetta Shanghaissa.

Kesäkuussa 2013 tutkittiin paikanpäällä koneen nykykuntoa ja modernisoinnin laajuutta. Tästä koneen takaa otetusta kuvasta näkee sorvin pituuden, joka on 14 metriä. Kuvan 4 etualalla näkyy sisäSORVAUSPUOMI ja kuvan alalaidan telaketju on lastunkuljetin.

Kuvassa 5 on sorvin suurikokoinen sähkökaappi. Tämän vanhan sähkökaapin sisäpuolinen kalustus pääosin puretaan. Ainoastaan pääkytkin ja kärkipylkän ohjauksen kontaktorit jäävät jäljelle.



Kuva 5. Nykyinen sähkökaappi.

Tämä sähkökaappi on tyypillinen esimerkki reletekniikalla toteutetusta manuaalisesta työstökoneesta. Sulakkeet ovat perinteisiä tulppasulakkeita. Vianhaku tällaisessa tapauksessa voi joskus olla hieman työläämpää releiden ja kontaktorien koskettimien loppuunkuluneisuuden vuoksi. Sähkökaapelit sorville kulkevat lattiassa olevien kaapelikanavien kautta.

### 2.3.1 Suunnittelu

Erittäin suuren haasteen tälle projektityölle asettaa se, että sorvi on kaukana toisessa maassa. Pitkä välimatka, jonkinasteinen kielimuuri ja kulttuurierot asettavat lisähaasteita saada kaikki toimimaan suunnitelmallisesti. Hyvä suunnittelu on erityisen tärkeää tämän tapaisissa uniikkitoissa, koska virheet voivat pilata koko työn tai tulevat muuten kalliiksi. Tämä projekti on suuritöinen, minkä vuoksi ihan kaikkea ei voi etukäteen suunnitella, vaan täytyy myös luottaa tekijöiden näkemykseen, kokemukseen ja ammattitaitoon. Kuitenkin huolellinen työ ja viimeistelty kädenjälki mainostavat aina tekijää, ja useimmiten ne palkitaan lisätöillä tulevaisuudessa. Tärkeää on myös saada vastapuolen luottamus, jotta projekti etenee mutkattomasti.

Järvenpään kolmen Poreban modernisoinnista saatu tietotaito ja kokemus ovat nopeuttaneet paljon tätä projektin läpivientiä. Kuitenkin kaikki nämä sorvit ovat olleet yksilöitä ja siten eroavat myös teknisesti toisistaan.

Kuvan 6 suurin kappale laatikon vasemmalla puolella on x-akselin uusi sovittelappi, jonka avulla Fanucin servomoottori saadaan kytkettyä suoraan uuden kuularuuvien päähän välyksettömäksi. Laatikon edessä oleva toinen iso kappale on x-akselin kuularuuvien mutteripesä, johon kiinnittyy x-akselin kelkka.

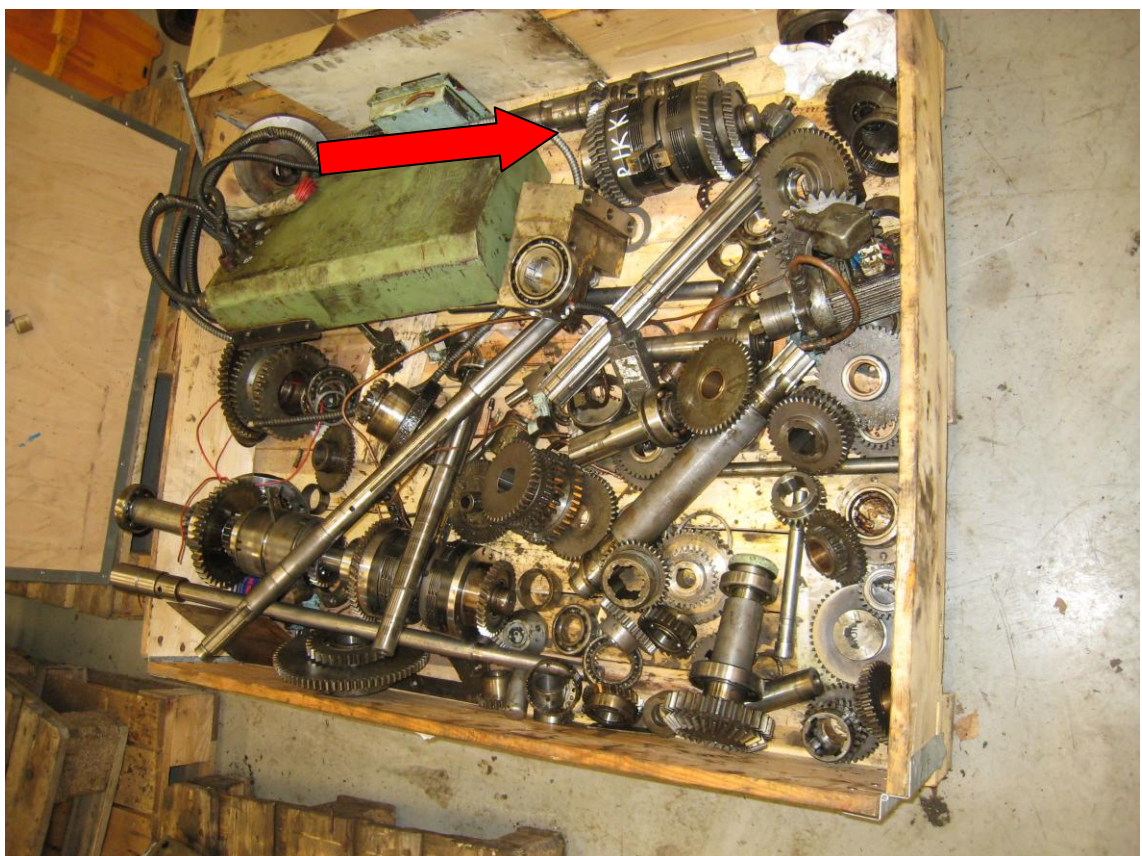


Kuva 6. Laatikossa on osa uusista teetetyistä osista.

Muita teetettyjä osia ovat mm. kaksi uutta akselia vaihdelaatikkoon, z-akselin pinionpyörä ja sisäSORVAUSYKSİKÖN moottorin asennusalusta. Pienempiä osia teimme itse työn edetessä.

### 2.3.2 Alustava toteutus

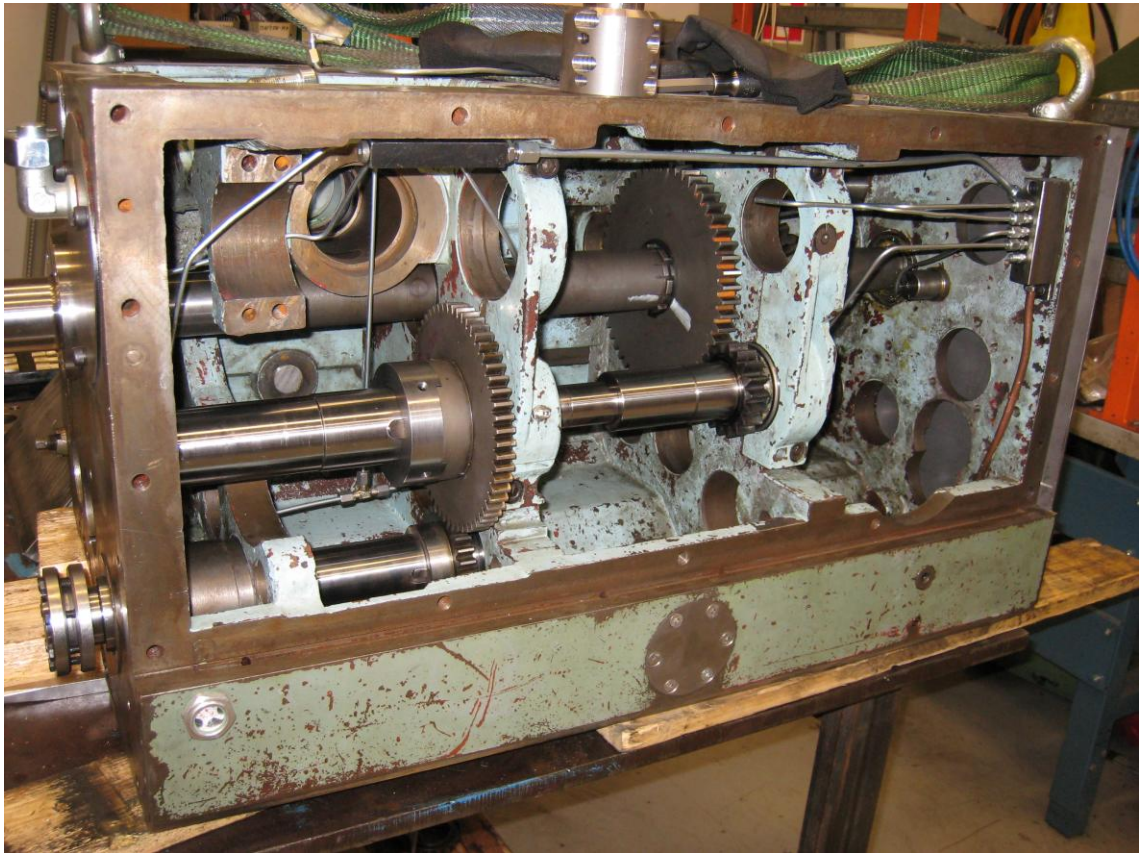
Projektin esivalmisteluja ja toteutusta tehdään hankkimalla tarvikkeita ja koneistamalla uusia osia. Fanucin osilla ja kuularuuvilla oli pitkät toimitusajat, mikä osaltaan myös hidasti kokoonpanovaihetta.



Kuva 7. Vaihdelaatikon ylimääräisiä osia.

Vaihdelaatikon radikaalimuutos muutti nämä osat tarpeettomiksi. Kuvan 7 punainen nuoli osoittaa kahta magneettikytkintä, joista toinen on rikki.

Kuvan 8 vaihdelaatikosta veto välittyy enää z-akselille. Laatikko on erittäin selkeä ja helppo huoltaa.



Kuva 8. Modernisoitu vaihdelaatikko.

Tässä kuvan 8 avonaisen osan kannessa sijaisivat aikaisemmin kuvan 3 vipukytkimet, jotka poistettiin tarpeettomina ja tilalle teetettiin umpilaippa. Vaihdelaatikon muut ylimääräiset ulkopuoliset akselireiät tulpattiin. Vasemmalla alhaalla olevan akselin kautta z-akselin servomoottorin veto välittyy eteenpäin. Väliytssuhde tällä vaihdelaatikolla on 16:1. Ohuet neljän millimetrin teräsputket ovat laakereiden ja hammaspyörien keskusvoitelua varten.



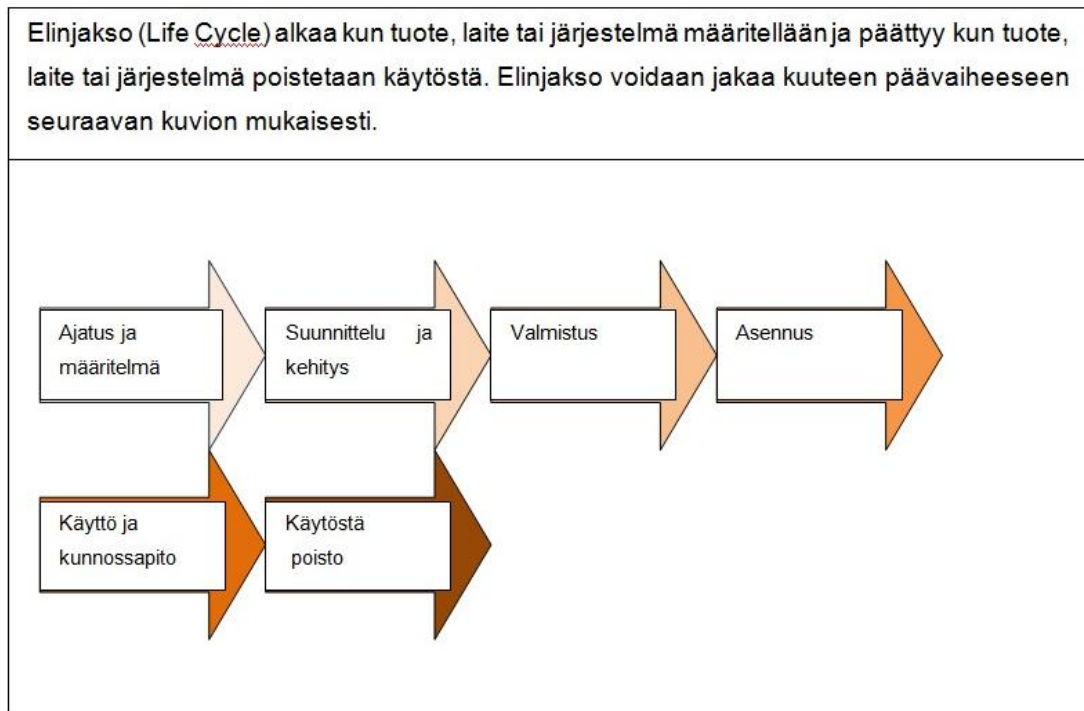
Kuva 9. X-akselin kelkka nurinpäin.

Kuvan 9 kelkan johdepinnoilta ja kiilasta koneistettiin 2,5 mm pois ja tilalle liimattiin lähes saman paksuiset siniset shambanliuskat. Tämä kelkka sovitetaan vielä värin avulla suoraksi z-akselin satulan päälle. Mahdolliset värin paljastamat pienet epätasaisuudet shambanliuskoilla poistetaan käsin kaavaamalla. Kuvasta näkee myös johdeliuskoihin jyrskityt johdevoitelu-urat. Samanlaiset siniset johdeliuskat ovat z-akselin satulan alapuolella. Viikolla 40/2014 sorvin modernisointi alkaa Kiinassa purkamalla koko kone pienempiin osiin. Johteet kaavataan ja vialliset ja kuluneet osat uusitaan tai korjataan. Kone on myös tarkoitus siirtää ja asentaa paikalleen viereiseen halliin. Ennen uudelleen asennusta se pestään ja maalataan.

### 3 Elinkaari

Elinkaarella (Life Cycle) voidaan kuvata myös koneiden ja laitteiden syntymän ja romuttamisen välistä aikaa. Aluksi tämä kaari on voimakkaasti kasvava kunnes se puolenvä-

lin jälkeen alkaa laskemaan. Tätä elinkaarta voidaan jatkaa teoreettisesti loputtomiin, mutta käytännössä elinikä on kuitenkin rajallinen (kuva 10).



Kuva 10. Kaaviokuva elinkaaresta.

Työstökoneiden, kuten sorvien keskimääräiseksi käyttöiäksi arvioidaan 15–20 vuotta, jonka jälkeen näitä koneita täytyy uudistaa tai investoida kokonaan uusiin koneisiin. Koneen elinikään vaikuttaa suuresti ympäröivät olosuhteet, huolto ja käyttö. Esimerkiksi hienojakoinen valurautapöly tunkeutuu pienimmistäkin raoista suojien sisäpuolelle aiheuttaen toimintahäiriöitä. Myös hakkaava työstämisprosessi lyhentää koneen elinikää merkittävästi.

### 3.1 LCC-menetelmä

Suuremmissa investoinneissa on oleellista tehdä päätökset yrityksen tulevaisuutta silmällä pitäen. Investointipäätöstä voi selkeyttää käyttämällä jotakin useista erilaisista analyyttisistä elinjaksokustannus menetelmistä. LCC-menetelmä (Life Cycle Costs) on yksi niistä ja se kehitettiin USA:n puolustusvoimissa 1960-luvulla parantamaan hankintojen tehokkuutta ja korjaamaan aiemmin käytetyn alhaisimman hankintahinnan aiheuttamia epäkohtia. Vuosien varrella menetelmää on kehitetty lisää ja nykyisin sitä sovel-

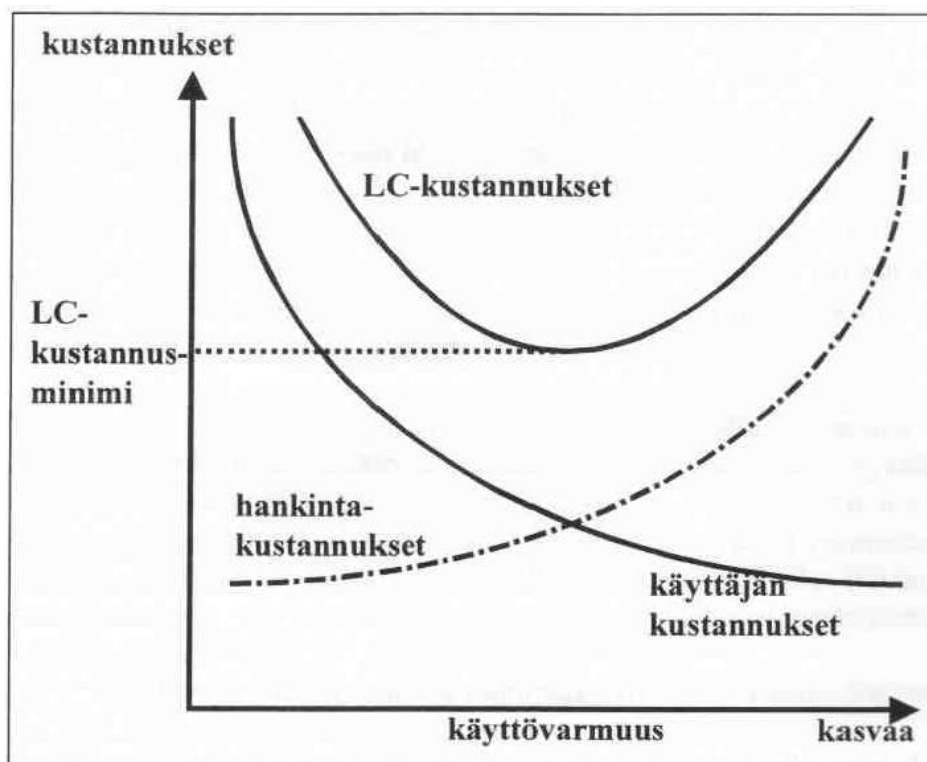
letaan myös teollisuuden koneisiin ja laitteisiin. Menetelmä on standardoitu 1996, IEC 60300-3-3.

### 3.2 Elinjaksokustannus

Koneiden, laitteiden ja tuotteiden elinjaksokustannukset koostuvat seuraavasti:

- hankintaan sidotusta pääomasta
- käyttökustannuksista
- kunnossapitokustannuksista
- häiriö- ja seisokkikustannuksista
- seisokeista aiheutuneista menetetyistä tuotoista
- käytöstä poistamiseen liittyvistä kustannuksista.

Käytöstä poistosta voi olla myös tuloja, mikäli kohteella on myynti- tai romutusarvoa.

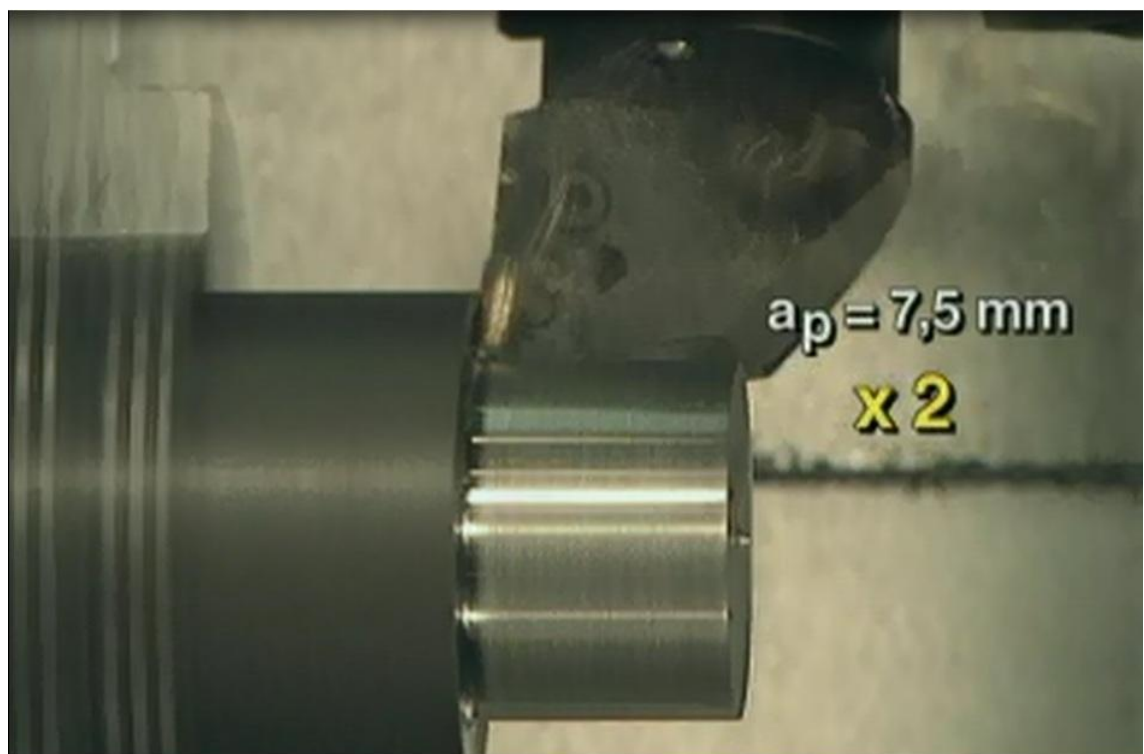


Kuva 11. Elinjaksokustannukset käyttövarmuuden funktiona.

Kuvan 11 LCC-menetelmän avulla haetaan kohteelle edullisinta ratkaisua saavuttaa taloudellinen optimi elinjaksokustannusten (LC) suhteen ja tämä menetelmä toimii erityisen hyvin pitkän eliniän tuotteille. Useimmiten elinjaksokustannuksista suurin osa koostuu tuotteen käytöstä, epäkäytettävyydestä ja kunnossapidosta. Erilaisia koneita, laitteita ja modernisaatiota vertailtaessa tulee myös huomioida, että suurin osa tulevista kustannuksista määräytyy jo laitteen suunnitteluvaiheen aikana. Siksi tuotteen tai laitteen lopputuloksen pitäisi olla käytettävyydeltään hyvä ja tekniset ratkaisut onnistuneita. Hankintahinnaltaan halvin laite ei usein ole kokonaistaloudellisin vaihtoehto.

#### 4 Sorvaus

Lastuaminen on työmenetelmä ja tärkeä valmistusmenetelmä, jossa työkappaleesta irrotetaan ainetta. Yleisin lastuamismenetelmä on sorvaaminen (kuva 12).



Kuva 12. Kuvan yläpuolinen terä sorvaa tankoa.

Kuvassa 12 tämä aine on terästä ja sitä poistetaan yhdellä työkierrolla lastuna 7,5 mm. Näitä rouhinta työkiertoja on kaksi kappaletta ja yhteensä tangon halkaisija pienenee 30 mm. Viimeistelyvaiheessa työkappaleesta eli aihioista on tavoitteena saada mitta-

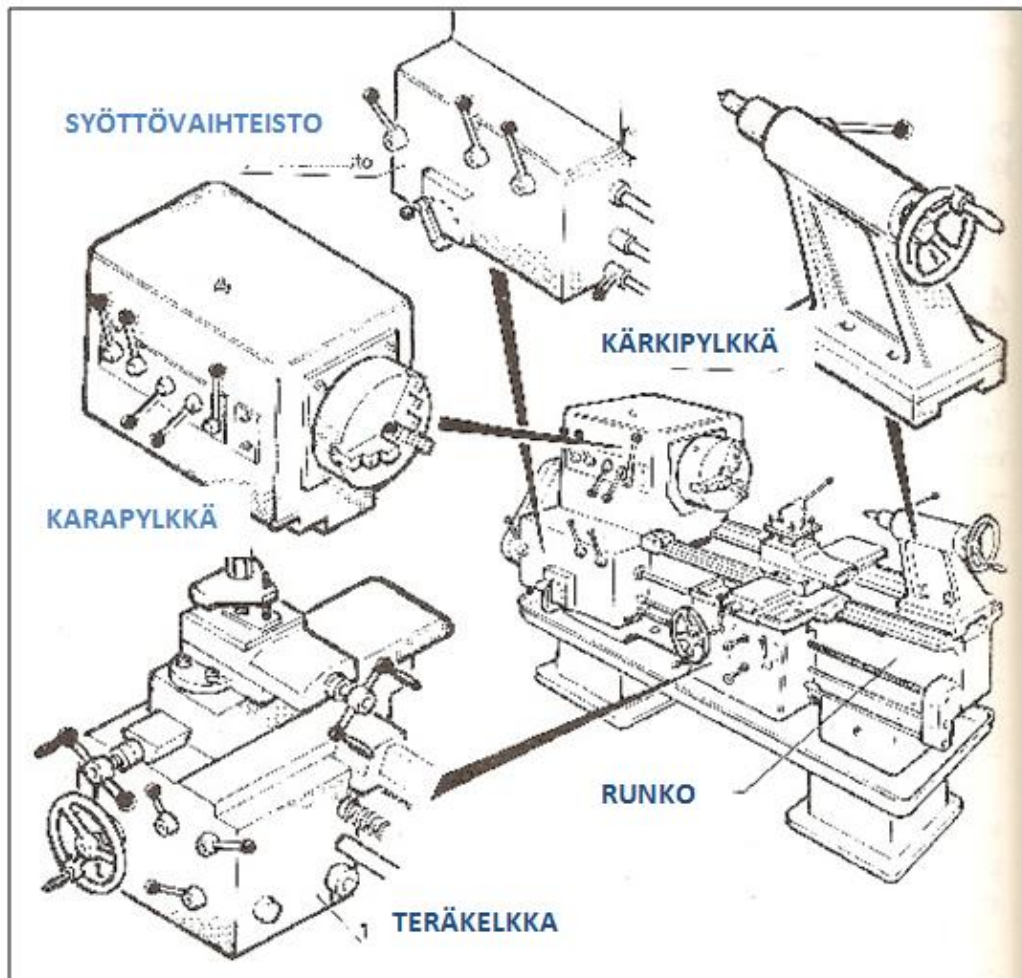
tarkka ja pinnanlaadusta hyvä. Tähän lopputulokseen päästään käyttämällä viimeistelyterää, pienempää syöttöä, korkeampaa pyörimisnopeutta ja leikkuunestettä. Lastuavan terän perusteella voidaan lastuaminen jakaa geometrisesti määrämuotoisella terällä tehtävään työstöön (esim. sorvaus ja jysintä) ja geometrisesti epämääräisellä terällä tehtävään työstöön (esim. hionta). Nimitystä työstökone käytetään silloin, kun työstö tapahtuu koneessa.

#### 4.1 Sorvauskappaleet

Sorvin istukkaan kiinnitetty työkappale pyörii sorvausakselinsa ympäri. Teräkelkan työkalulla lastutaan kappaleesta materiaalia pois siten, että tavoiteltu kappaleen muoto saavutetaan. Yleisimmät sorvauskappaleet ovat erilaiset akselit, laipat, kartiot, muut pyörähdyskappaleet ja kierteet.

#### 4.2 Sorvin rakenne

Yleisimmät sorvimallit ovat perinteiset kärki- ja revolverisorvit. Telasorvin suurimmat eroavaisuudet kärkisorviin nähden ovat suurempi koko, mahdollinen sisäsorvauspuomi ja z-akselin pituus. Revolverisorvin suurimmat eroavaisuudet kärkisorviin nähden ovat suljettu työstötila, nc-ohjaus, helppous tehdä monimutkaisia osia ja työkalurevolveri, johon mahtuu useita työkaluja. Kärkisorvin karkea rakenne (kuva 13) voidaan mieltää koostuvan valurautarungosta, jonka vasempaan päähän on kiinnitetty karapyykkä, ja jonka oikeaan päähän on laitettu kärkipylkkä. Lisäksi z-akselin johteille on asennettu teräkelkka, jonka työkalupitimeen asetetaan käsin kulloinkin tarvittava työkalu kiinni kappaleen muokkaamiseksi. Työstettävä kappale kiinnitetään karapyykkäessä olevaan pyörivään istukkaan, jota yleisesti kutsutaan myös pakaksi. Kärkipylkän tehtävä on tarvittaessa tukea työstettävän kappaleen toista päätä, jotta työstettävyyttä olisi mahdollisimman hyvä. Telasorvissa kärkipylkkä on välttämätön, koska siinä käsitellään pitkiä kappaleita.



Kuva 13. Manuaalinen karkisorvi

Kuvan 13 karapylkän edessä näkyy pyörivä istukka, johon työkalupaleet kiinnitetään. Syöttömoottori liikuttaa vaihteiston välityksellä teräkelkan x- ja z-akselia.

## 5 NC-kone ja sen sisältämä tekniikka

Numeerisesti ohjattu (NC) työstökone suorittaa kappaleen koneistamiseksi tarvittavat liikkeet automaattisesti. Tällöin kone toimii ennalta laaditun ohjelman mukaisesti. Teollisuus on käyttänyt ja kehittänyt vuosikymmeniä automatisointia myös lastuavan työstön alueella. Suomeen ja samalla koko Eurooppaan hankittiin ensimmäinen nc-kone vuonna 1962 Valmetin lentokonetehtaalle. Kun näihin nc-koneisiin lisättiin mikroprosessori ja muistia 1970-luvun lopulla niin nimi nc muuttui cnc:ksi (computerized numerical control). Kehitys jatkui ja pian kaikki uudet koneiden ohjaukset olivat mikroproses-

soriohjattuja ja tarkentava lyhenne cnc menetti tärkeytensä. Viime vuosikymmenillä on palattu takaisin nimitykseen nc-työstökone, koska sekaantumisen vaaraa ei enää ole.

Ajan myötä Suomeen kertyi tietotaitoa työstökoneista ja täällä alettiin valmistamaan myös erilaisia työstökoneita. Teknologiateollisuuden tilaston mukaan vuonna 2008 Suomessa valmistettiin työstökoneita 205 miljoonan euron arvosta. Lisäksi samana vuonna ulkomailta tuotiin Suomeen 217 miljoonan euron arvosta työstökoneita. Modernisointien osalta ei ole tilastotietoa, mutta todennäköisesti senkin osuus on joitakin miljoonia euroja koko Suomen mittakaavassa.

## 5.1 Mekaniikka

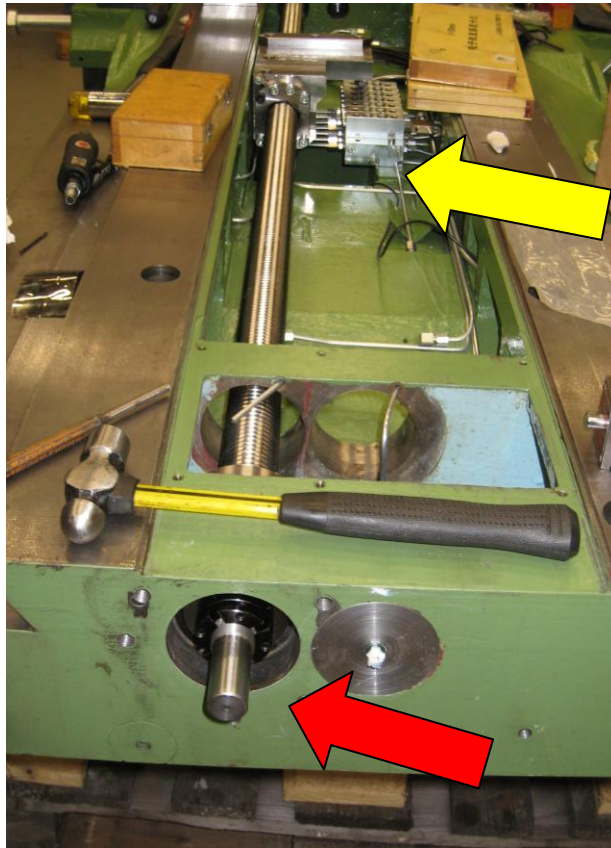
Koneiden ja laitteiden mekaaninen rakenne kertoo paljon sen tulevasta elinkaaresta. Hyvään, tukevaan ja toimivaan työstökoneen runkoon voidaan aina rakentaa uutta sähkötekniikkaa vanhan tilalle. Tukevalla työstökoneella voidaan koneistaa suuremmilla syöttöarvoilla laadun kärsimättä ja koneistustarkkuuskin voi olla parhaimmillaan vain muutamia tuhannesosamillimetrejä. Hyvässä koneessa automaatio ja mekaniikka toimivat saumattomasti yhdessä ilman nykimisiä ja muita ongelmia.

### 5.1.1 Johteet

Tässä Porebassa on z-akselilla manuaalisorveille tyypillisesti rinnakkain tasojohde ja V-johde. Tämä V-johde varsinaisesti ohjaa teräkelkan liikettä ja tasojohde ottaa lastuamisesta ja muusta kuormituksesta aiheutuvat voimat vastaan. Poikittaisliike taas on varustettu tavanomaisesti kahdella rinnakkaisella tasojohdeella. Näissä hydrostaattisissa liukujohteissa on kelkan ja johteen välissä johdevoiteluöljyä. Tämä ohut öljykalvo poistaa lähes kokonaan johdepintojen kulumisen, vähentää merkittävästi liikekitkaa ja vaimentaa johteisiin kohdistuvia iskuja. Hydrostaattisia liukujohteita käytetään suuremmissa nc-koneissa, kun taas pienemmissä nc-koneissa vierintäjohteet ovat yleisempiä. Vierintäjohteisissa koneissa luistit liikkuvat kuulin tai rullin laakeroitujen johdevaunujen avulla.

### 5.1.2 Laakerointi

Modernisointiprojektiin kuuluu myös uusien laakerien vaihto. Z-akselin vaihteiston laakerit vaihdettiin Suomessa ja karalaatikon laakerit vaihdetaan muun asennustyön ohessa Kiinassa.

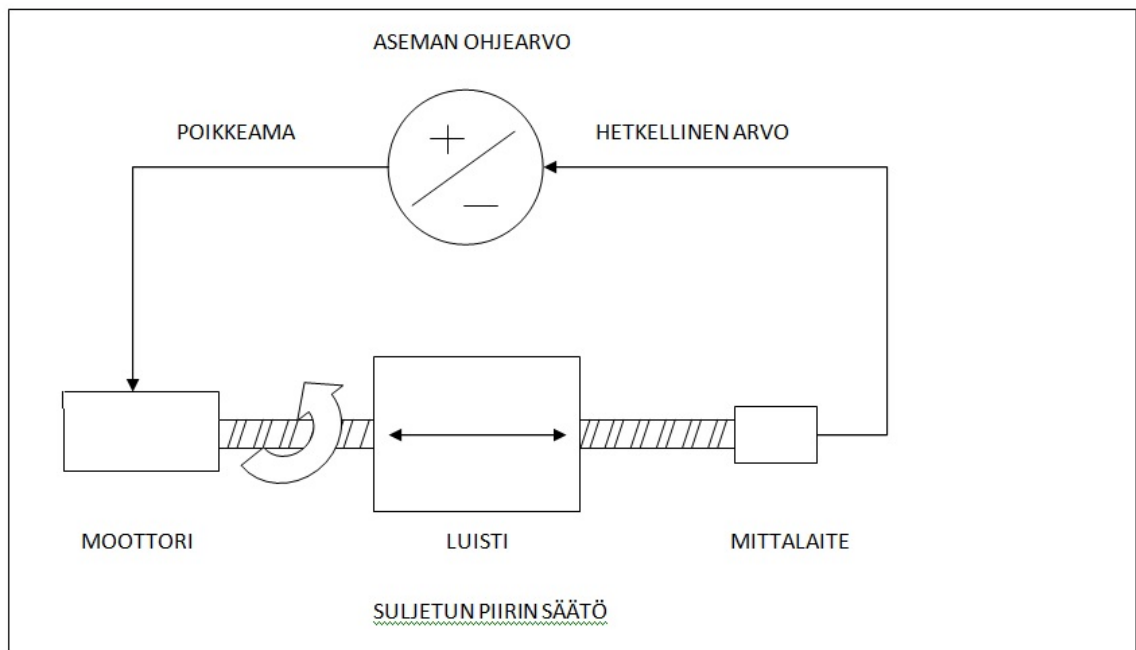


Kuva 14. Satula ja x-akselin kuularuuvi.

Kuvan 14 keltainen nuoli osoittaa johdevoiteluannostelijoita, jotka jakavat säädetyn määrän öljyä joka paikkaan. Annostelijoiden takana näkyy kuularuuvien mutteriosa, joka tulee kiinnittymään x-akselin kelkan alapintaan. Tämä kuularuuvi on laakeroitu molemmista päistä samalla tavalla; neulalaakeri on keskellä ja painelaakerit ovat sen molemmien puolin. Kuularuuvi on myös laitettu 0,03 mm esijännitykseen ohjeen mukaisesti. Tähän kuularuuvien päähän tulee myös asennettavaksi x-akselin servomootori sovitinlaipan ja kytkimen avulla (punainen nuoli).

## 5.2 Sähkötekniikka

Suljetun piirin säädössä mittalaite mittaa joka hetki luistien hetkellisen aseman ja mittauksesta verrataan aseman asetusarvoon (kuva 15). Aseman asetusarvo on ohjauksen laskema koordinaattiarvo, jossa luistin pitäisi määrätyllä hetkellä olla. Jos aseman asetusarvo ja mitattu hetkellisarvo eivät vastaa toisiaan niin saadaan poikkeama. Tällöin ohjaus antaa kyseisen akselin servoyksikölle ohjearvon, millä moottori ajaa poikkeaman nollaksi eli siirtää luistin oikeaan paikkaan. Ohjearvon suuruus riippuu poikkeaman suuruudesta; mitä suurempi poikkeama niin sitä suurempi korjaava ohjearvo. Myös liikenopeutta säädetään samalla tavalla suljetun piirin säädön avulla. Tyypillisesti ohjaus tarkistaa/säätää poikkeamaa 100–200 kertaa sekunnissa. Kun poikkeama on nolla, moottori pysähtyy.



Kuva 15. Luistin aseman mittaaminen.

Kuvassa 15 moottori pyörittää kuularuuvia ja luistin alle kiinnitetty kuularuuvin mutteriosa liikuttaa luistia (kelkkaa). Tässä rakenteessa pitäisi olla mahdollisimman vähän välystä, jotta kone olisi mahdollisimman tarkka. Mittalaite, joka usein on pulssianturi, antaa pulsseja esimerkiksi 10000 pulssia yhdellä kierroksella. Tavallinen kuularuuvin nousu eli etenemä on 5 mm yhdellä kierroksella ja täten luistin laskennalliseksi paikointustarkkuudeksi saadaan 0,0005 mm, kun 5 mm jaetaan 10000:lla. Tämä 0,5  $\mu\text{m}$  tarkkuus riittäisi jo vähän vaativampaankin työstöön. Fanucin  $\alpha$ -sarjan pulssianturit antavat

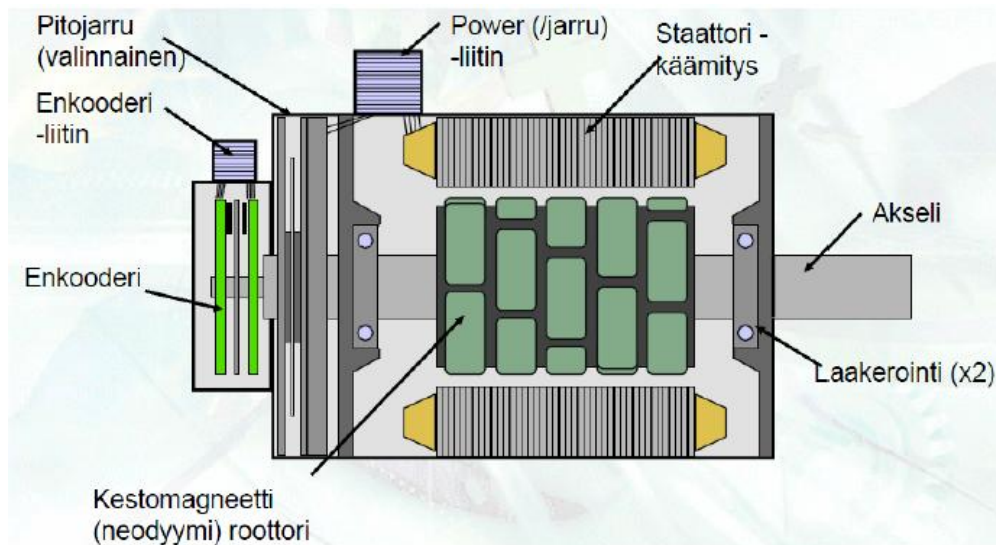
1 000 000 pulssia yhdellä kierroksella, mikä mahdollistaa tarvittaessa erittäin tarkan takaisinkytkennän.

### 5.2.1 Servomootorit

Servomootorin erona tavallisiin sähkömoottoreihin on sen pieni hitausmomentti, mikä mahdollistaa suuret kiihtyvyydet ja hidastuvuudet ja siten nopean toiminnan. Näiltä moottoreilta vaaditaan myös hyvää vääntömomenttia ja dynaamista käyttäytymistä. Aikaisemmin servomootorit olivat yleisimmin dc-moottoreita niiden hyvien virransäätöominaisuuksien vuoksi. Kun transistorit kehittyivät suurien ja korkeataajuisempien virtojen säätöön soveltuvaksi niin se auttoi ac-servomootorit yleistymään ja syrjäyttämään dc-moottoreiden suosion. Vaihtovirtaservomoottori koostuu tyypillisesti kolmivaihe-moottorista, tarkasta takaisinkytkentäanturista, taajuusmuuttajasta sekä itse ohjaus- ja säätöyksiköstä. Tämä moottorin akselin päässä oleva takaisinkytkentäanturi on useimmiten pulssianturi tai resolveri. Vaihtosähkökoneiden toiminta perustuu pyörivään magneettikenttään. Riippuen siitä, pyöriikö koneen roottori magneettikentän kanssa eri vai samalla nopeudella, nimitetään vaihtosähkökonetta epätahti- tai tahtikoneeksi (tai asynkroni- ja synkronikoneeksi).

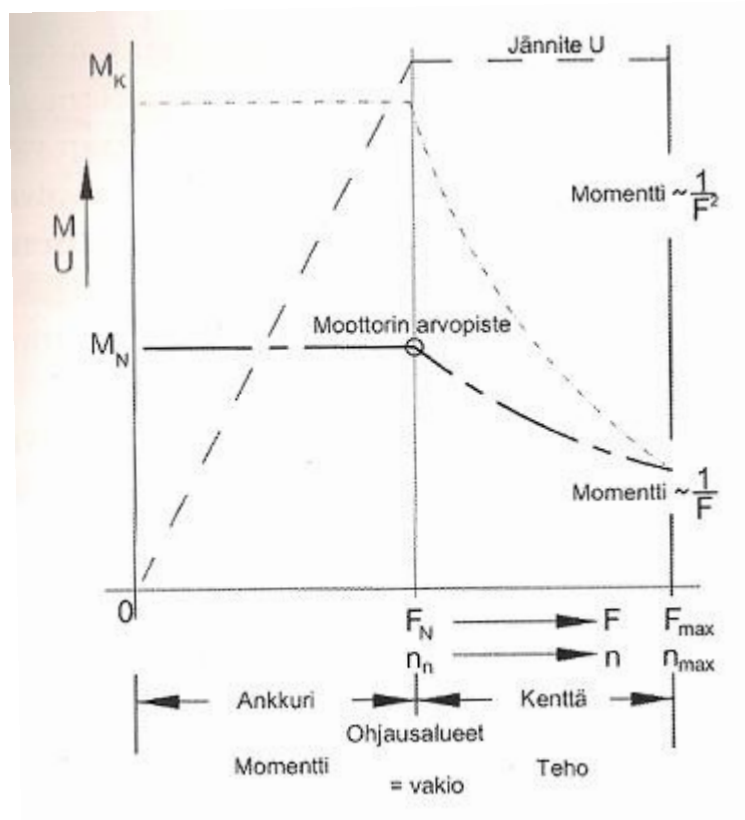
Epätahti- eli asynkronimoottori toimii oikosulkumoottoriperiaatteella. Kun staattorikämmitykseen kytketään 3-vaiheinen jännite, synnyttää käänitys koneen ilmaväliin magneettikentän, jonka pyörimisnopeus (tahtinopeus) riippuu taajuudesta ja moottorin napariluvusta. Moottorin roottorissa on oikosuljettu häkkikäänitys, johon staattorin magneettikenttä indusoi toisen pyörivän magneettikentän. Nämä kaksi pyörivää magneettikenttää luovat vääntömomentin ja saavat roottorin pyörimään. Magneettikentän ja roottorin pyörimisen välillä on aina jättämä ja tästä tulee epätahtinimitys.

Tahtimoottorissa (kuva 16) kestopagnetoitu roottori pyörii staattorikämmityksen aikaansaamassa magneettikentässä. Moottorin staattorikämmeyhin syötetään sinimuotoista kolmivaihejännitettä ja nopeus säädetään taajuusmuuttajalla syöttöjännitteen taajuutta muuttamalla. Yleisemmin käytetään synkronisia servomoottoreita niiden paremman säädettävyyden (ovat lineaarisempia kuin asynkroniset) ja hyötysuhteen vuoksi.



Kuva 16. Tahtimoottorin rakenne.

Kuvan 16 tahtimoottorin pyörimisnopeus on vakio kuormasta riippumatta. Sen hyötysuhde ja vääntömomentti on hyvä. Lisäksi moottori soveltuu käytettäväksi pienilläkin pyörimisnopeuksilla suuren ilmavälinsä ja erillisen magnetointinsa ansioista.



Kuva 17. Moottorin säätö taajuusmuuttajalla.

Taajuusmuuttajalla (kuva 17) voidaan säätää moottoria kahdella eri tavalla, ankkuri- ja kenttäsäädöllä. Ankkurisäädössä teho kasvaa lineaarisesti taajuuden ja jännitteen kasvassa vakiosuhteessa. Ankkurisäätöaluetta kutsutaan myös vakiovoalueeksi, koska moottorin ilmavälivuo pysyy likimain vakiona. Kenttäsäätöaluetta taas kutsutaan myös kentänheikennysalueeksi, koska moottorin ilmavälivuo pienenee jännitteen pysyessä vakiona. Toisin sanoen kun saavutetaan nimellisjännite ja taajuus ylittää tietyn rajan, alkaa moottorin teho laskea ja momentti alkaa pudota suhteessa taajuuden neliöön. Jos kuormittava vastamomentti ylittää moottorin huippumomentin niin moottori pysähtyy. Tätä ilmiötä kutsutaan kippaukseksi ja se estetään rajoittamalla kuormitusmomentin määrä noin 2/3 huippumomentista.

Kolmivaihesynkronimoottoreilla voidaan saavuttaa jopa nopeudensäätösuhde 1:100 taajuutta muuttamalla. Pienemmille moottoreille tyypillinen taajuusalue on 0-200 Hz ja suuremmille moottoreille 0-100 Hz.

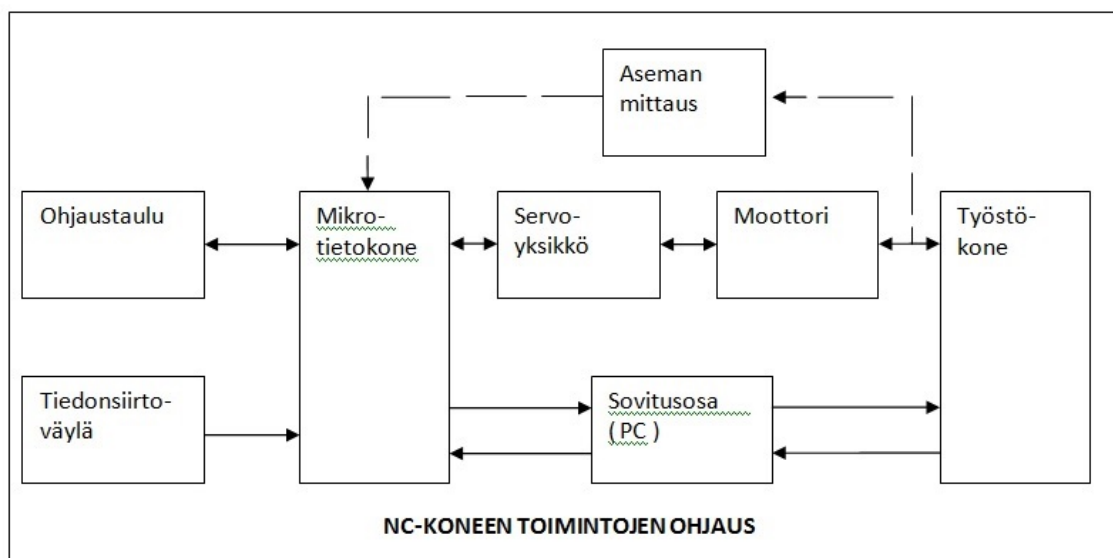
### 5.2.2 Ohjaus

NC-koneen ohjauksella tarkoitetaan sitä järjestelmää, joka ohjaa itse työstävän koneen toimilaitteita. Järjestelmä koostuu mikrotietokoneesta (cnc), ohjaustaulusta, ohjelmoitava logiikasta, aseman mittauksesta ja tiedonsiirtoyhteyksistä. Nämä ovat usein sijoitettu erilliseen kaappiin tai pulpettiin, koska on haluttu minimoida vahvasähkön aiheuttamia häiriöitä heikkovirtapuolen tiedonkulkuun.

Ohjaus (kuva 18) voidaan jakaa myös laitteistoon (hardware) ja ohjelmistoon (software). Fyysiset rakenneosat kuten keskusyksikkö, logiikka, muistit jne. muodostavat laitteiston. Se on mikrotietokoneen ”rauta”. Ohjelmiston muodostaa systeemiohjelma (käyttöjärjestelmä ja ohjelmoitava logiikka) ja työstöohjelmat. Systeemiohjelma ohjaa numerikan mikrotietokoneen toimintaa ja sen avulla osataan liikuttaa luisteja (kelkkoja) hallitusti, tehdä laskutoimituksia, interpoloida liikkeet ja suorittaa käyttäjän laatimaa työstöohjelmaa. Interpoloinnilla tarkoitetaan kahden tai useamman akselin samanaikaista liikettä kohti tiettyä päätepistettä. Näiden akselien keskinäinen liikenopeus on suhteutettu toisiinsa, jotta teräkelkka kulkee koko ajan halutussa pisteessä.

Ohjaus käsittelee työstöohjelmaa lause kerrallaan ja toimii toimintamuistissa olevan ohjelmalauseen tietojen mukaisesti. Samanaikaisesti luetaan seuraava (yksi tai useampi) lause puskurimuistiin. Kun toimintamuistissa oleva ohjelmalause on toteutettu,

niin puskurimuisti antaa nopeasti seuraavan lauseen toimintamuistin käsiteltäväksi. Tämä prosessi edesauttaa jouhevaan työstöön, ilman merkittäviä keskeytyksiä.



Kuva 18. Kaaviokuva nc-koneen toiminnallisuudesta.

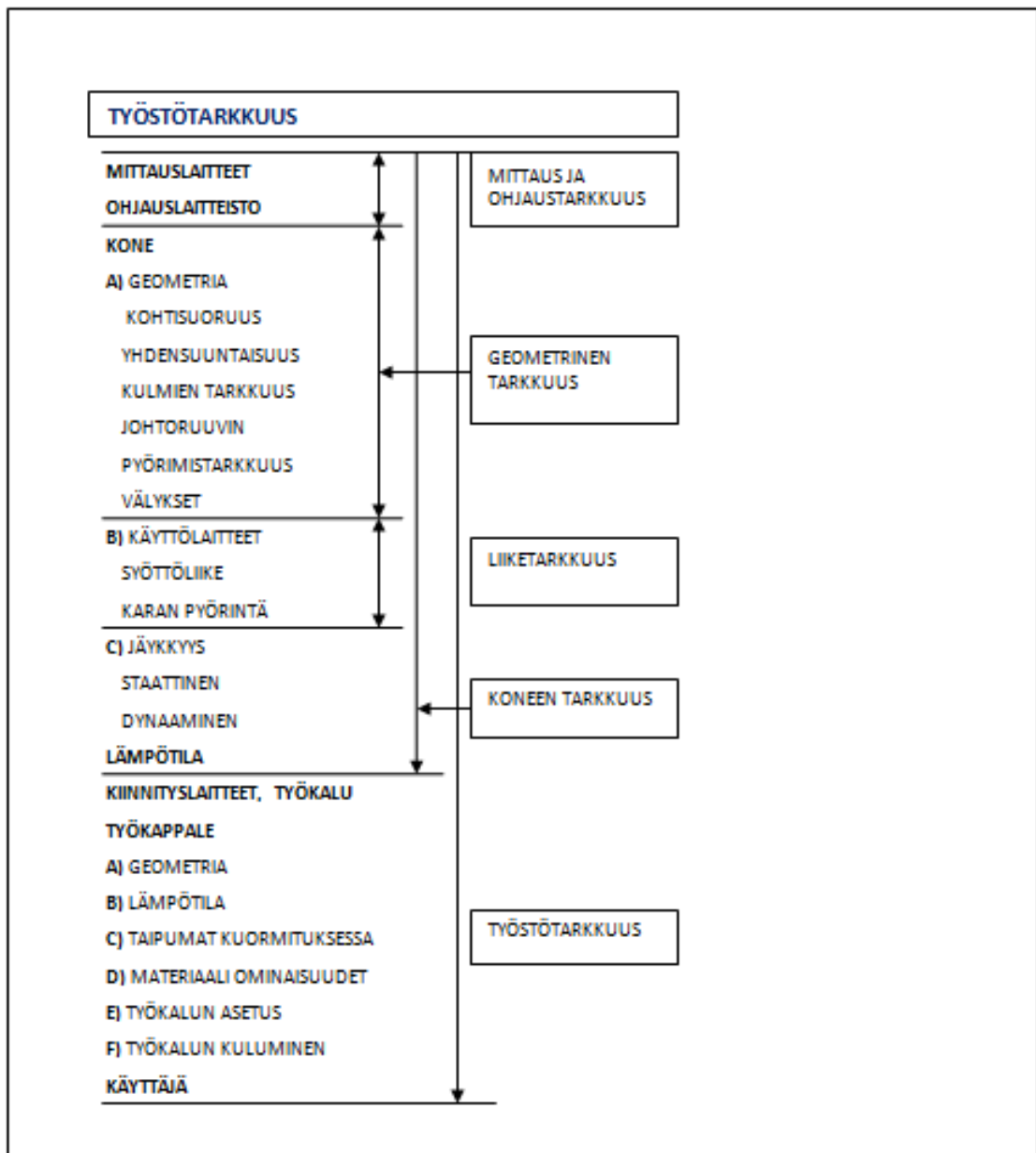
Kaaviokuva 18 pätee pääpiirteittäin valtaosaan nc-työstökoneista. Kaavion vasemmas- ta ohjaustaulusta koneenkäyttäjä ohjaa työstökoneen toimintoja. Tiedonsiirtoväylän avulla saadaan uusia työstökoneohjelmia koneen muistiin tai vaikka yhdistettyä kone tehtaan omaan tietoverkkoon. Tiedonsiirtoväylänä voi olla usb-liitäntä, sarjaliikenne- portti, ethernet-liitäntä tai pcmcia-liitäntä. Sovitusosat ovat ohjelmoitavia logiikoita (PC tai PMC). Tämä mahdollistaa työstökonekohtaisen kytkentälogiikan ohjelmoinnin ja numerii- kan sovittamisen työstökoneisiin. Usein myös osa ohjaustaulun toiminnoista kytke- tään numerii- kalle sovitussosan kautta. Mikro- tietokoneen muistiin on tallennettu ohjauksen valmistajan ohjelmat ja työkierrat, työstökonevalmistajan ohjelmat sekä työs- tökonekäyttäjän ohjelmat. Työstökoneen käyttöönoton yhteydessä ohjauksen muistiin talletetaan erilaisia koneparametrejä ohjaimen yhteensovittamiseksi. Tälläisiä paramet- rejä ovat mm. liikeakseleiden kompensoinnit, välysten kompensoinnit, systeemipara- metrit, akseleiden suunnat, akselien vahvistukset ja kiihdytys- ja hidastusrampit.

Suurimmat nc-ohjauksien valmistajat ovat Fanuc ja Heidenhain. Näiden lisäksi muita merkittäviä tekijöitä ovat Siemens, Mazak, Bosch Rexroth, Haas ja Okuma. Työstöko- neen valmistaja usein valitsee ja suosittelee jotakin tiettyä ohjausta koneeseensa, vaik- kakin eri ohjauksien toiminnalliset erot kapenevat koko ajan. Jos ohjauksen pääsee itse valitsemaan, kannattaa pitää mielessä koneen käyttötarkoitus eikä hankkia kaikkia

mahdollisia lisävarusteita. Myös aikaisempi kokemus ohjauksesta ja varaosien saata-  
vuus ovat tärkeitä tekijöitä hankintahetkellä.

### 5.3 Työstökoneen tarkkuus

NC-koneen työstötarkkuus ( kuva 19) riippuu useista eri tekijöistä. Mittaus- ja ohjau-  
laitteiden tarkkuus on vain pieni osa työstötarkkuudesta.



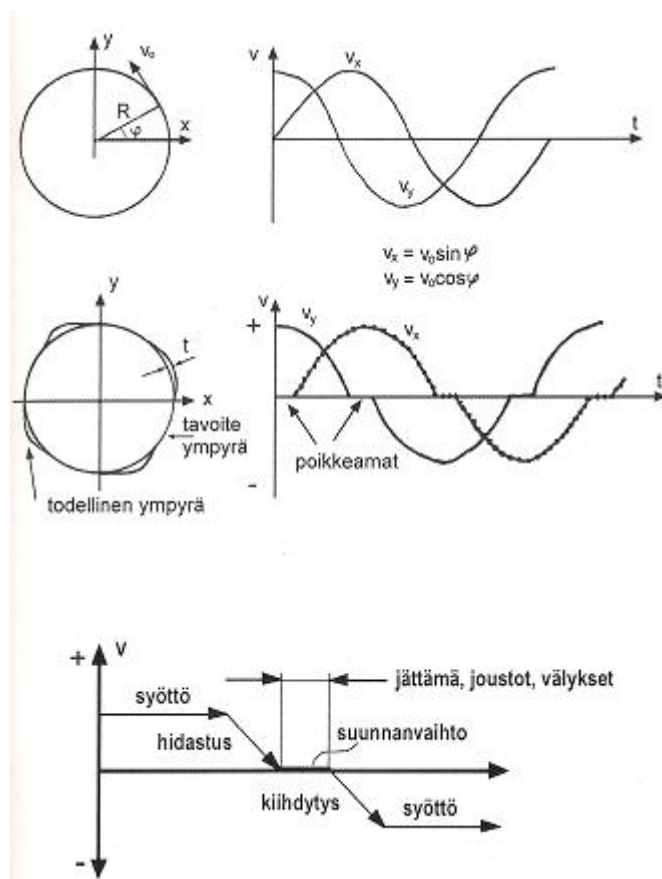
Kuva 19. Työstökoneen tarkkuuteen vaikuttavat tekijät.

NC-koneen kuntoa ja ominaisuuksia arvioidessa vastaan tulee neljä eri tarkkuuskäsitettä.

- **Erotustarkkuus** on pienin inkrementti, mihin kone pyrkii reagoimaan. Se nähdään ohjauksen näyttämän position desimaalinumeroiden määrästä. Normaaleilla NC-koneilla se on 0,001 mm.
- **Paikoitustarkkuus** on se tarkkuus, millä kone varmasti paikoittaa akselinsa koko liikealueella. Se voi olla esimerkiksi 0,003 mm.
- **Toistotarkkuus** on koneen saavuttama tarkkuus tietylle asemalle, kun liikettä toistetaan useampia kertoja. Tämä voi olla esimerkiksi +/- 0,002 mm.
- **Suunnanvaihtotarkkuus** on koneen saavuttama tarkkuus tietylle pisteelle, kun se lähestyy sitä eri suunnilta. Tämä voi olla esimerkiksi 0,002 mm.

Nykyisissä nc-ohjauksissa on mahdollista korjata ohjelmallisesti johteiden ja kuularuuvien virheitä siten, että ohjaukseen voidaan tallentaa esimerkiksi noin 200 mm:n välein korjausarvoja. Virheellisissä kohdissa ohjaus antaa akseliservolle tarvittavan määrän ylimääräisiä korjauspulsseja, jotta kelkka seuraisi oikein ohjelmoitua rataa. Tällä menettelyllä vanhalla koneellakin on mahdollista tehdä tuotantoa toleranssien puitteissa. Ammattitaitoinen koneistaja (kuva 19) pystyy myös tekemään laadukasta työtä heikommallakin koneella, kun hän on ensin oppinut tuntemaan käyttämänsä koneen ominaisuudet. Yhteenvedona tarkkuuksista voi todeta, että erotus- ja paikoitustarkkuuden ollessa muutamia tuhannesosa millimetrejä, niin muista epätarkkuuksista johtuen koneistustarkkuus on normaalisti noin 0,03 mm.

Keskimmäisessä kuvassa 20 on ympyränkaari-interpoloinnilla valmistettu laakeripesä, jossa on suunnanvaihtovirheestä aiheutuvia poikkeamia. Alimmaisessa kuvassa näytetään miten tämä virhe syntyy.



Kuva 20. Suunnanvaihtovirhe.

Suunnanvaihdon (kuva 20) yhteydessä välykset vaihtavat puolta ja kelkka pysyy paikoillaan virheen pulssituksen ajan. Tätä virhettä voidaan korjata ohjelmallisesti siten, että mitataan virheen määrä ja tämä saatu lukuarvo syötetään parametriarvona ohjaukselle. Täten ohjaus osaa antaa akseliservolle virheen verran lisäpulsseja tarvittaessa.

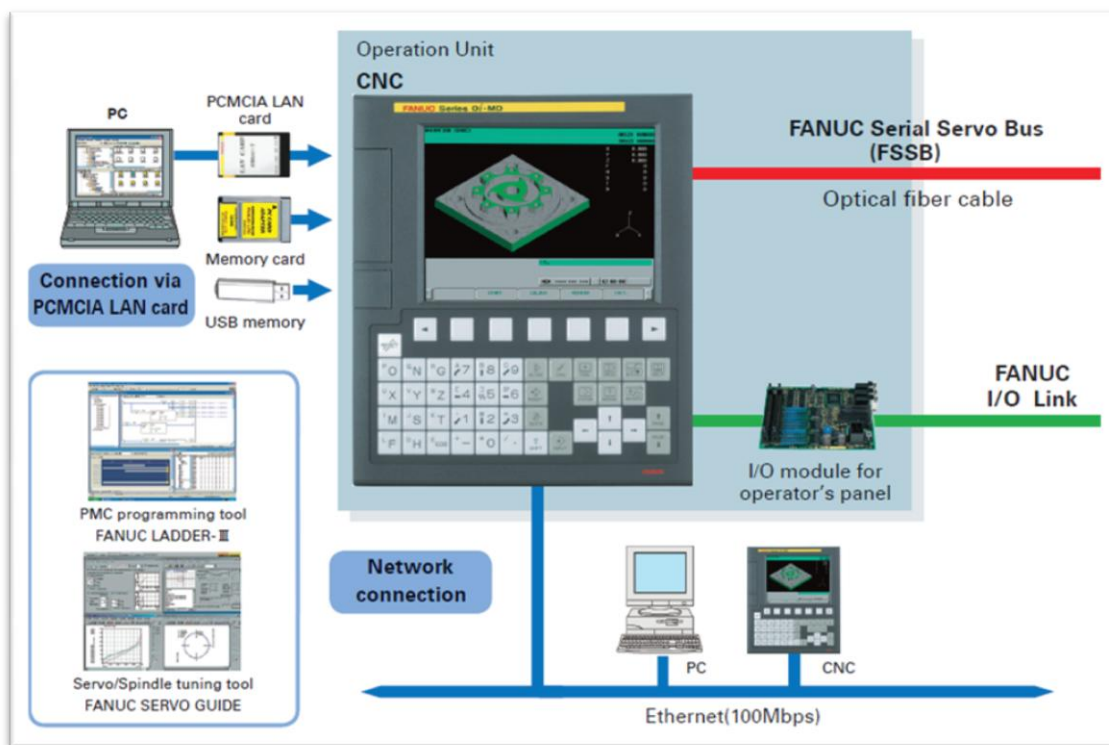
## 6 Fanuc

Fanuc (factory automation numerical control) oli aluksi osa Fujitsu konsernia, kunnes se vuonna 1972 itsenäistyi omaksi yritykseksi. Yritys on yksi suurimmista cnc-ohjauksien, servojen ja robottien valmistajista maailmalla ja sen cnc-ohjauksia on jo nyt

eri puolilla maailmaa noin 2,4 miljoonaa kappaletta. Näitä ohjauksia on paljon eri tyyppimerkinnällä ja osalla tyypeistä on vielä useita eri versioita. Esimerkiksi Fanucin 0 A-versiota valmistettiin vuonna 1985–1986 ja nykyisen 0 D-version valmistus alkoi vuonna 1999, josta on myös useita päivitysversioita. Vuonna 1997 tyyppimerkintään tuli kirjain i (0i) lisää, ja se tarkoittaa ohjauksen olevan digitaalinen.

Fanuc 0i-TD ohjaus on tarkoitettu sorvauskäyttöön (turning) ja se pystyy ohjaamaan neljää akselia samanaikaisesti. Tämän ohjauksen kapasiteetti riittää mainiosti kaikkiin tavanomaisiin sorveihin. Tarvittaessa ohjaukseen on saatavilla optioina erilaisia lisätoimintoja, joiden avulla koneen käytettävyyttä voidaan muokata halutuksi.

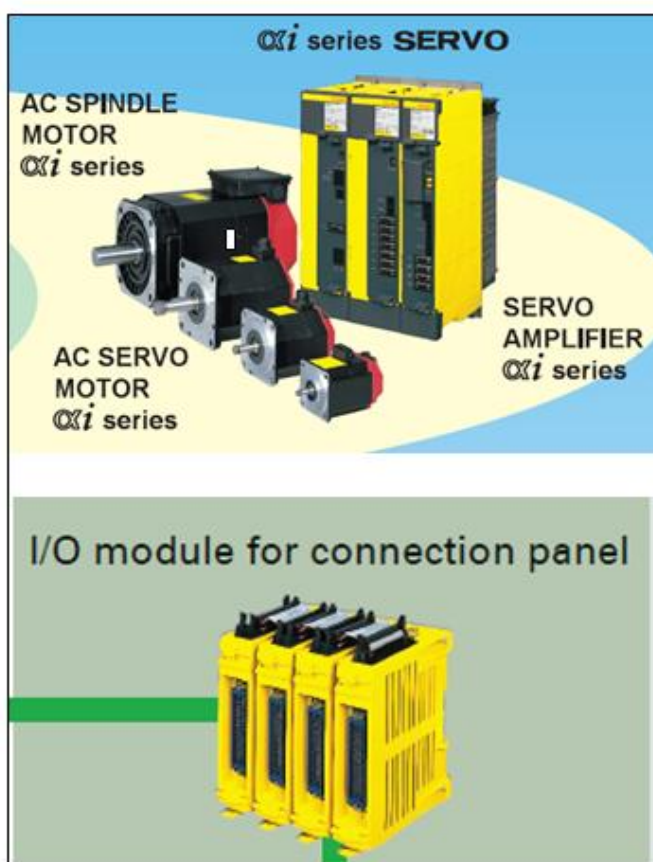
Fanucilla on tarjota erittäin vaativiin kohteisiin esimerkiksi 30i -ohjaus, joka on yksi heidän suorituskykyisimpiä ohjauksiaan. Tämä ohjaus pystyy ohjaamaan 24 akselia samanaikaisesti ja siihen voi liittää myös kahdeksan karaa. Lähes aina tarve on reilusti vähäisempi ja siten edullisempi ja vaatimattomampi ohjaus pystyy hoitamaan koneen kaikki toiminnot.



Kuva 21. Fanuc 0i ohjaus.

Kuvasta 21 nähdään, että ohjauksen ja servovahvistimien välillä on valokuitu, joka toimii sarjaliikenteellä ja joka on vahvistimien päässä ketjutettu. Kuituyhteys on nopea ja sähköisiltä häiriöiltä vapaa, mikä lisää käytettävyyttä ja tuottavuutta. Kone voidaan tarvittaessa kytkeä ethernet -liitännällä esimerkiksi tehtaan omaan verkkoon ja optioiden avulla FL-net-, Profibus-, DeviceNet- ja Modbus -verkot ovat myös käytettävissä. Logiikan ohjelmointi tapahtuu ”tikapuukielellä” pc:n ja pcmcia lan -kortin avulla.

Ylemmässä kuvassa 22 on  $\alpha$  -sarjan servoja ja moottoreita, joita myös modernisoitavaan telasorviin asennetaan.



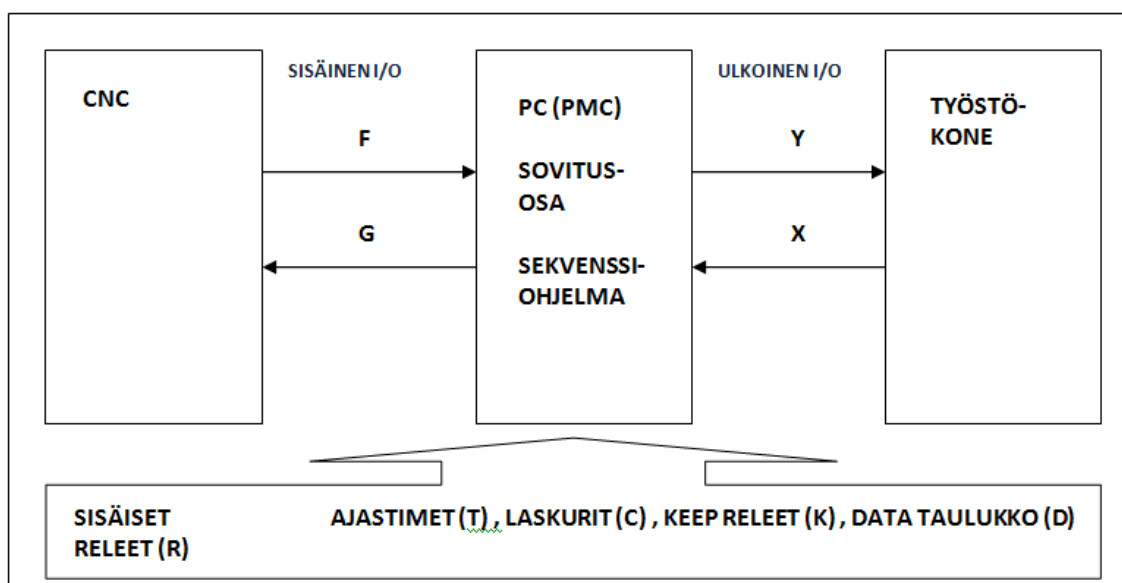
Kuva 22. Servovahvistimia ja i/o -moduleita.

Nämä  $\alpha$ -sarjan tuotteet ovat jonkin verran laadukkaampia ja suorituskykyisempiä kuin valmistajan halvemmat  $\beta$ -sarjan tuotteet. Eron voi huomata vaikka pulssianturien pulssimäärästä, joka  $\alpha$ -sarjalla on 1 000 000 pulssia/kierros ja  $\beta$ -sarjalla se on 128 000 pulssia/kierros.

Alemmassa kuvassa 22 oleviin i/o -moduleihin kytketään koneen sisään- ja ulostulot, kuten rajakytkimet, käyttökytkimet, merkkilamput, venttiilien ja toimilaitteiden ohjaukset.

### 6.1 Fanucin tiedonkulku

NC-koneessa (kuva 23) tarvitaan tietty sovitusosa itse työstökoneen ja varsinaisen ohjauksen välillä. Sovitusosa voi olla erillinen ohjelmoitava logiikka (PC) tai se voi olla myös integroituna ohjauksen sisälle.



Kuva 23. Fanucin osoitteet.

Sovitusosa (kuva 23) tulkitsee työstökoneen antureilta ja toimilaitteilta tulevia tietoja. Selvennykseksi kuvitellaan sellainen tilanne, että johdevoitelujärjestelmään tulee vuoto ja öljynpaine ei nouse riittävästi: Öljynpaineanturi antaa varoituksen sovitusosan X-osoitteeseen. Tämä varoitus on vain yksi bitti sovitusosan X-rekisterissä. Sovitusosan sekvenssiohjelma tulkitsee ja käsittelee asian siten kuin se on ohjelmoitu ja antaa tiedon cnc:n G-osoitteeseen. Näytölle ilmestyy hälytys öljynpaineesta ja syötön lukituksesta, jolloin ohjelmallinen ajo on estetty. Tämän jälkeen tieto menee F-osoitteen kautta sovitusosalle, josta se jatkaa matkaa Y-osoitteena työstökoneelle. Työstökoneella mahdolliset erilliset varoitusmerkkilamput syttyvät ja palavat kunnes vika on saatu korjattua.

Ajastimet, laskurit, keep-releet ja data-taulukot ovat lähinnä logiikkaohjelmoijan tarpeita varten, mutta myös koneenkäyttäjä voi hyödyntää näitä. Esimerkiksi jokin satunnaisesti tarvittava erillinen koneenosa voidaan kytkeä päälle ja pois keep-releen yhdellä bitillä. Sisäiset releet (R) on tarkoitettu vain Fanucin ja logiikkaohjelmoijan omaan käyttöön eikä niihin kannata koskea.

## 6.2 Työstökoneen koordinaatisto

NC-työstökoneella on useita eri koordinaatistoja, joissa on sekä kiinteitä että siirrettäviä pisteitä. Näitä pisteitä käytetään hyväksi ohjelmoinnissa ja koneen luistien aseman paikantamisessa.

- Koneen nollapiste on rakenteellinen kiinteä nollapiste, johon perustuu muut koneen koordinaattijärjestelmät. Akselien mittausjärjestelmät rakentuvat myös tämän nollapisteen varaan. Koneen valmistaja määrittää tämän paikan ja hyvin usein se on sama paikka kuin referenssipiste.
- Koneen liikealueella oleva kiinteä piste on referenssipiste, johon koneen luistit voidaan aina tarvittaessa ajaa. Referenssipiste toimii mittausjärjestelmän tarkistuspisteenä. Jännitekatkos saa akselit unohtamaan sijaintinsa ilman paristovarmennettua asemamuistia. Kun akselit käyvät resetoitumassa referenssipisteessä, niin tämän jälkeen ohjaus pystyy taas laskeamaan akselien etäisyyttä referenssipisteen suhteen. Modernisoidussa Poreban telasorvissa akseleilla on paristovarmennetut absoluuttianturit, jotka muistavat aina positionsa, eikä näin ollen referenssiajtoa tarvitse suorittaa jännitekatkokkien jälkeen.
- Ohjelman nollapisteen suhteen annetaan ohjelman muut mitat. Tämän nollapisteen asettaa ohjelmoija tai koneenkäyttäjä. Lähes poikkeuksetta tämä piste asetetaan työkappaleen pyörähdysakselille kärkipylkän puoleiseen päähän. Tämä menettely helpottaa ohjelman rakentamista järkeväksi.
- Lisäksi työkalutiedostoon on kirjattu käytettyjen työkalujen mitat. Näiden mittojen avulla kone tietää koko ajan teräpalan kärjen paikan.

## 7 Toteutus

Tämä projekti on ollut suuritöinen ja se on sisältänyt paljon eri työvaiheita. Huomioitavaa kuitenkin on se, että projekti eteni koko ajan eteenpäin, vaikkakin osien pitkät toimitusajat ja paljon käsityötä vaativat työvaiheet hidastivat kelkan uudelleen kokoamista. Mittavat mekaaniset muutokset vaativat paljon mekaanista työtä, jota on sen vuoksi

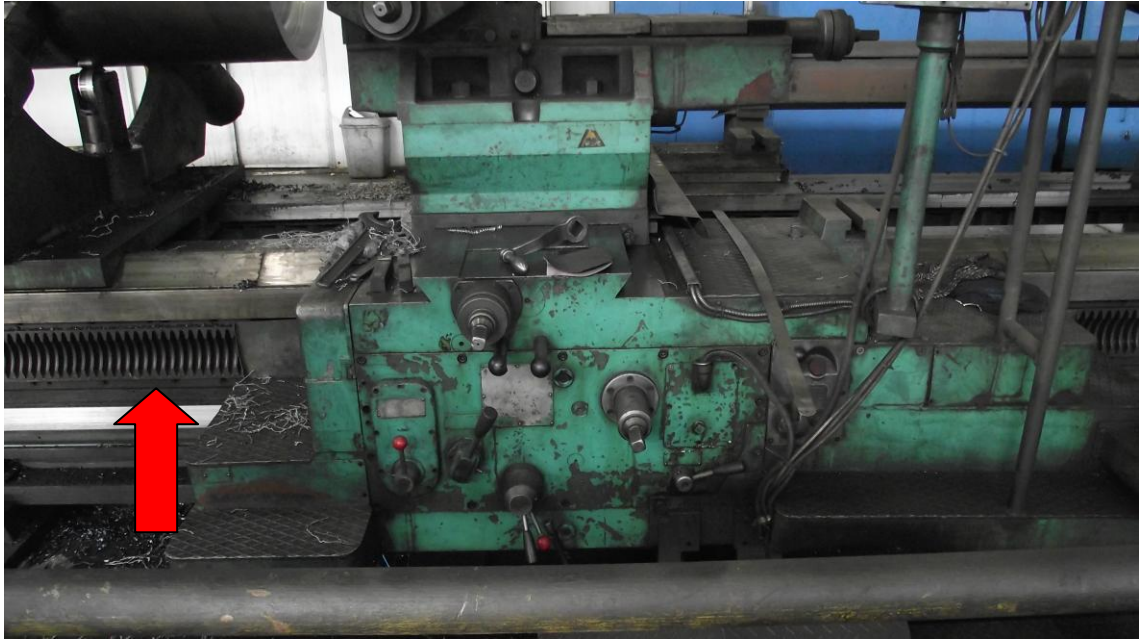
myös esitelty pintapuolisesti tässä opinnäytetyössä. Yleisesti huolellisuuden tärkeyttä kuvaa esimerkiksi se, että ensimmäinen uusi x-akselin kuularuuvi osoittautui asennuksen jälkeisessä mittauksessa vialliseksi. Onneksi tämä paljastui jo Suomessa eikä vastata asiakkaalla Kiinassa. Uusi x-akselin kuularuuvi oli ok.

Aikaisemmin modernisoitujen Poreba -sorvien dokumentaatio auttoi huomasti tämän projektin läpivientiä. Useat mekaaniset ratkaisut ovat lähes identtisiä edellisistä projekteista. Muissa teknisissä kohdissa oli helppo katsoa, miten aikaisemmin tietty kohta on ratkaistu ja sen pohjalta soveltaa uusi toimiva ratkaisu tähän projektiin. Sorvin uudelleen sähköistyksessä ja ohjelmoinnissa käytettiin myös hyväksi aikaisemmin tehtyjä kuvia. Tämä menettelytapa nopeutti ja helpotti työtä, vaikkakin muutoksia piti tehdä edellisiin tapauksiin verraten melko paljon. Esimerkiksi sisäSORVAUSPUOMIN servon ja isokokoisen jarruvastuksen takia sähkökaappi piti kalustaa kahteen eri tasoon. Fanucin ohjelmasta on hyvä esimerkki liitteessä 1, jossa on kuvattu koneen johdevoitelun toiminta.



Kuva 24. Koneen nykyiset ohjaustaulut.

Nämä kuvan 24 ohjaustaulut poistetaan käytöstä modernisoinnin yhteydessä. Ehkä näistä ohjauksista tulee varaosia muihin koneisiin.



Kuva 25. Nykyinen teräkelkka.

Modernisaation yhteydessä tämä kelkka varastoidaan tulevaa käyttöä varten. Kuvan 25 punainen nuoli osoittaa z-akselin hammastusta, josta servomoottorin pronssinen pinnionpyörä ottaa vedon.



Kuva 26. Shanghain telasorvi.

Kuvassa 26 vasemmalla näkyvään karalaatikkoon vaihdetaan modernisaation yhteydessä laakerit ja samalla karalaatikon muiden osien kunto tarkastetaan.



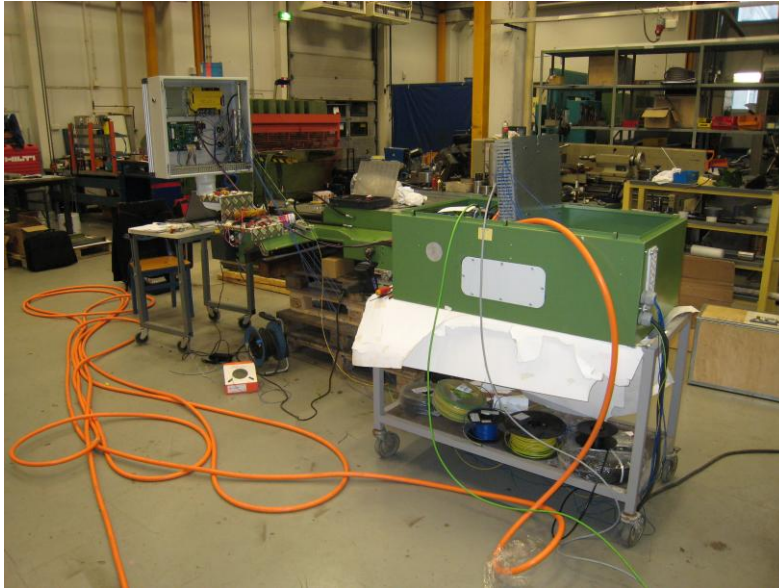
Kuva 27. Modernisoidun vaihdelaatikon toinen puoli.

Kuvassa 27 näkyy uusi pronssinen pinionpyörä, jonka välityksellä z-akseli liikkuu. Tämän vaihdelaatikon toiselle puolelle kiinnitetään uusi sähkökaappi.



Kuva 28. Servovahvistimet ja jarruvastus.

Kuvan 28 kytkennät ja johdotukset on tehty koeajoa ja testausta varten. Oranssit kaapelit ovat tehonsyöttöä varten ja vihreät kaapelit ovat pulssianturikaapeleita.



Kuva 29. Koeajo- ja testausjärjestelyt.

Projektien testausympäristö (kuva 29) on usein nopeasti rakennettu ja näyttää ulospäin kaaosmaiselta. Tämä on kuitenkin tilapäinen järjestely ja tarkoituksena on vain testata laitteiden toimivuus.



Kuva 30. Sovellusosan ohjelmointia.

Kuvassa 30 koneen sovellusosaa ohjelmoidaan ja samalla testataan toimiiko ohjelma ja toimilaitteet. Vasemmalla näkyy x-akselin servomoottorin punainen pulssianturi.



Kuva 31. Sovellusosan G-osoitteiden bittejä.

Ohjelman tarkastus bittitasolla (kuva 31). Näytön alapuolella olevien kahden painonapin avulla x- ja z-liikettä voidaan ajaa käsipyörällä ilman ohjelmankeskeytystä. Tämä on hyvä ominaisuus pitkien telojen sorvauksessa.

Toteutusvaihe jatkuu näillä näkymin viikolla 40 Kiinassa, jossa työ suoritetaan loppuun. Perillä työtä on vielä useaksi viikoksi usealle henkilölle. Loppuvaihe sisältää ainakin seuraavat toimet: Koneen siirto uuteen paikkaan, sisäSORVAUSPUOMIN moottorin siirtäminen puomin alapuolelta yläpuolelle, karalaatikon laakereiden vaihto, sähköistyksen uusiminen, z-akselin johteiden kunnostus, modernisoidun kelkan asennus, mittauspöytäkirjojen tekeminen ja käyttökoulutus.

## 8 Yhteenveto

Itselläni on noin 20 vuoden kokemus konepajateollisuuden koneista. Oma kokemus ja CNC Maint-tech:n vahva tietotaito erityisesti Fanucin osalta helpottivat projektin läpiviientä ilman suurempia ongelmia. Ohjelmoitaessa huomasin Fanucin nykyisen käyttöliittymän hyvät ominaisuudet ja helppokäyttöisyyden. Blokkien käyttö vuorovaikutteisena toimintona on hyvä ja nopea tapa tehdä toimiva ohjelma. Opinnäytetyönä tämä on ollut mielenkiintoinen projekti ja samalla se on antanut uusia kansainvälisiä näkökulmia asioihin.

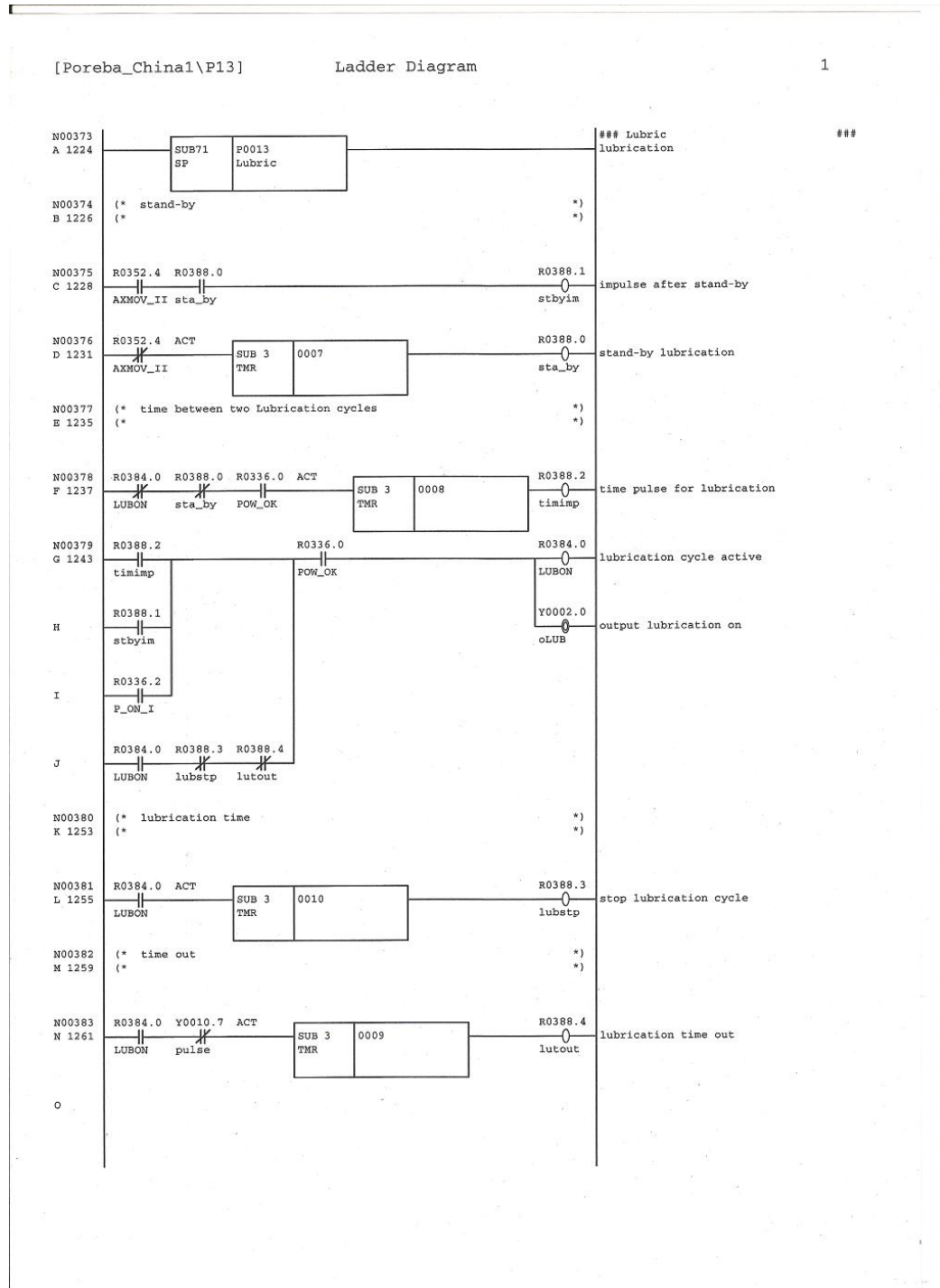
Alkuperäinen tarkoitukseni oli sisällyttää lopputyöhöni projektin kaikki vaiheet sisältäen myös Kiinassa tehtävät työvaiheet. Projektin aikataulumuutoksista (osien pitkät toimitusajat sekä organisaatiomuutokset) johtuen lopputyöni sisältää työvaiheet Suomessa. Olisin halunnut sisällyttää tähän työhön myös sorvin mittauspöytäkirjan (Kiinassa tehtävä), joka olisi todentanut lopullisesti projektin onnistumisen.

## Lähteet

- 1 Pikkarainen, Eero. 1999. NC -tekniikan perusteet. Hakapaino Oy, Helsinki.
- 2 Ansaharju, Tapani – Maaranen, Keijo. 1997. Koneistus. WSOY kirjapainoyksikkö, Porvoo.
- 3 Ansaharju, Tapani – Ilomäki, Osmo – Maaranen, Keijo. 1989. Lastuava työstö. WSOY:n graafiset laitokset, Porvoo.
- 4 Vesämäki, Hannu. 2007. Lastuavan työstön nc -ohjelmointi. Teknologiateollisuus ry. 3. Uudistettu painos, Helsinki.
- 5 Pikkarainen, Eero – Mustonen, Mika. 2010. Numeerisesti ohjatut työstökoneet. Opetushallitus. 2. Uudistettu painos, Helsinki.
- 6 Järvenpää, Pertti – Hänninen, Jorma. 2011. Paranna liiketoiminnan tuottavuutta tietotekniikalla. Teknologiateollisuus ry, Helsinki.
- 7 Keinänen, Toimi – Kärkkäinen, Pentti – Lähetkangas, Markku - Sumujärvi, Matti. 2007. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjausjärjestelmät. WSOY Oppimateriaalit Oy. 1. painos, Helsinki.
- 8 Illikainen, Kimmo. 2006. AutoCad 2006. Docendo Finland Oy, Jyväskylä.
- 9 Ansaharju, Tapani. 2009. Koneenasennus ja kunnossapito. WSOY Oppimateriaalit Oy. 1. painos, Helsinki.
- 10 Siirilä, Tapio. 2009. Koneturvallisuus - Ohjausjärjestelmät ja turvalaitteet. Inspecta Oy. 2. Uudistettu painos, Keuruu.
- 11 Ammatinedistämislaitoksen kurssimateriaali. 1989. Säädetty oikosulkumoottori-käyttö / taajuusmuuttaja. Vantaa.
- 12 Maaranen, Keijo. 2004. Koneistustekniikat. WSOY Oppimateriaalit Oy. 5. Uudistettu painos, Helsinki.
- 13 Ansaharju, Tapani – Ilomäki, Osmo – Maaranen, Keijo. 1984. Työstötekniikka 2. WSOY:n graafiset laitokset. 2. painos, Porvoo.

- 14 Valitse nc-ohjaus tarpeen mukaan. Verkkodokumentti. 2009. Tekniikka & talous. <http://www.tekniikkatalous.fi/metalli/metallitekniikka/valitse+ncohjaus+tarpeen+mukaan/a318288>. Luettu, 17.12.2013.
- 15 Fanuc. Verkkodokumentti. 2013. Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/FANUC>. Luettu, 12.11.2013.
- 16 Fanucin työstökoneohjauksien uudet ominaisuudet. Verkkodokumentti. 2008. Matti Karvonen, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/36536/fanuc2.pdf?sequence=1>. Luettu, 10.1.2013.
- 17 Lastuavien työstökeskusten elektroniikka. Verkkodokumentti. 2008. Janne Ruohonen, Helsingin teknillinen korkeakoulu. <http://lib.tkk.fi/Dipl/2008/urn012155.pdf>. Luettu, 16.12.2013.
- 18 Työstökoneiden käytönaikaisten elinjaksokustannusten tarkastelu. Verkkodokumentti. 2011. Jari Suikkanen, Saimaan ammattikorkeakoulu. [https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/38682/Suikkanen\\_Jari.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/38682/Suikkanen_Jari.pdf?sequence=1). Luettu, 27.11.2013.
- 19 FANUC Series 0i-MODEL D/0i Mate-MODEL D MAINTENANCE MANUAL. B-64305EN/04. Add. info B-64305EN/04.
- 20 FANUC Series 0i-MODEL D/0i Mate-MODEL D PARAMETER MANUAL. B-64310EN/03. Add. info B-64310EN/03.
- 21 FANUC AC SERVO MOTOR Alpha i series, AC SPINDLE MOTOR Alpha i series, SERVO AMPLIFIER Alpha i series MAINTENANCE MANUAL. B-65285EN/04. Add. info B-65285EN/04.
- 22 Metso Oy. – Valmet Oy. Verkkodokumentti. 2014. [http://www.metso.com/fi/corporation/about\\_fin.nsf/WebWID/WTB-041026-2256F-55957?OpenDocument](http://www.metso.com/fi/corporation/about_fin.nsf/WebWID/WTB-041026-2256F-55957?OpenDocument). Luettu, 18.1.2014.

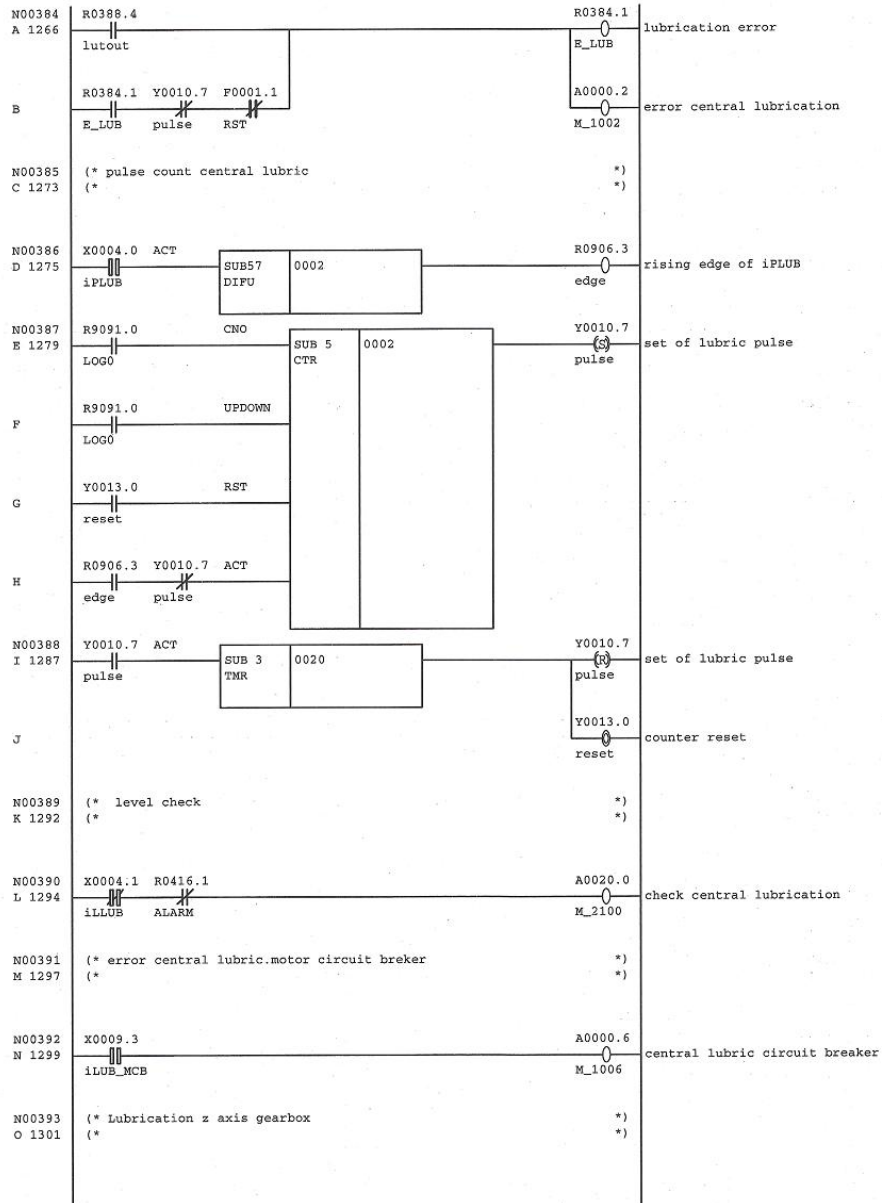
## Johdevoitelun logiikkaohjelma



[Poreba\_Chinal\F13]

Ladder Diagram

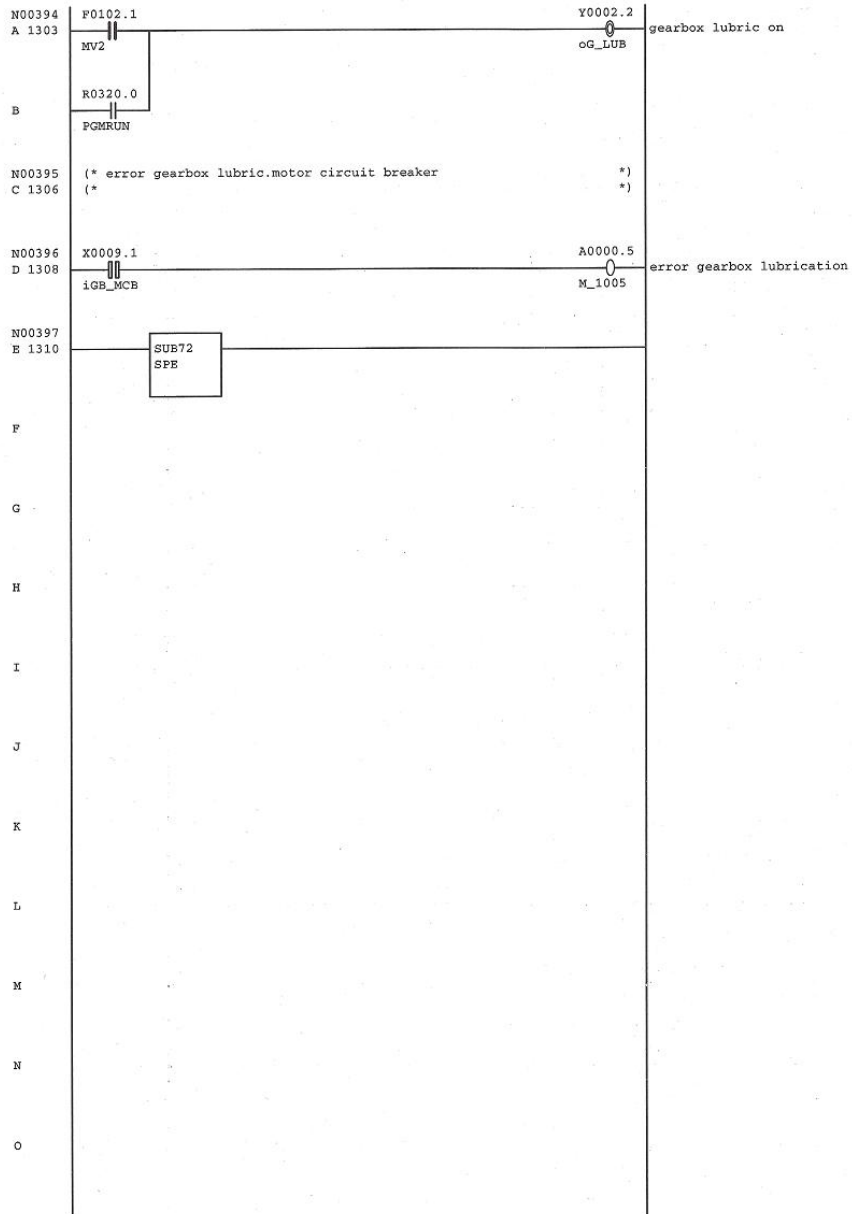
2



[Poreba\_China1\P13]

Ladder Diagram

3



# KELKAN PÄÄVIRTAKAAVIO

