

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Teknillinen tiedekunta
Konetekniikan osasto
BK10A0400 Kandidaatintyö ja seminaari

FANUCIN TYÖSTÖKONEOHJAUKSIEN UUDET OMINAISUUDET

Lappeenrannassa 25.3.2008
Matti Karvonen

SISÄLLYSLUETTELO

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

2 NUMEERINEN OHJAUS.....	1
2.1 Numeerisen ohjauksen tehtävät	1
2.2 Ohjauksen rakenne.....	2
2.2.1 Fanuc ohjausten rakenne.....	3
2.3 NC-koneen toimintojen ohjaus	5
2.3.1 Työstökoneen akselit	6
2.3.2 Aseman säätö	8
2.3.3 Mittausjärjestelmä.....	8
2.3.4 Asetusmitat ja työkalukorjaimet	9
2.3.5 Työstöradan interpolointi.....	10
3 FANUCIN KÄYTTÄMIÄ MALLIMERKINTÖJÄ	11
4 FANUC OHJAUSTEN OMINAISUUKSIA.....	12
4.1 Fanuc 16i/18i/ 21i-sarjan esittely.....	12
4.2 Fanuc 30i/31i/32i-sarjan esittely.....	14
4.3 Usean työstöradan ohjaus	16
4.4 Viisiakselinen työstö.....	17
4.5 Tarkat Nano CNC ohjaukset.....	19
4.6 Avoimet järjestelmät.....	20
4.6.1 Fanucin avoimien järjestelmien i-versiot.....	21
4.6.2 Fanucin avoimien järjestelmien is-versiot	22
4.6.3 Ulkopuolisen tietokoneen liittäminen ohjaukseen.....	23
4.7 Focas	24
4.8 Manual Guide työstökoneen käytön apuna.....	25
4.9 Turvallisuutta lisäävät toiminnot	25
5 FANUCIN UUSIA OHJAUKSIA KÄYTÄNNÖN SOVELLUSKOHTEISSA.....	26
6 FANUCIN MUITA TUOTTEITA TYÖSTÖKONEISIIN	28
7 TYÖSTÖKONEOHJAUSTEN KEHITYS TULEVAISUUDESSA	29
8 OMINAISUUKSIEN VERTAILU.....	30
9 JOHTOPÄÄTÖKSET	32
10 YHTEENVETO.....	33
LÄHTEET	

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

CAD	Computer-aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu.
CAM	Computer-aided manufacture, tietokoneavusteinen valmistus.
CNC	Computerized numerical control, tietokoneohjattu numeerinen ohjaus. Termillä tarkoitetaan numeerisia ohjauksia, joihin kuuluu pientietokone ja ohjelmamuisti.
CompactFlash	CompactFlash on muistikortti jota käytetään kannettavissa elektroniikkalaitteissa.
Ethernet	Tässä työssä ethernet termiä käytetään lähiverkkoyhteyksistä.
Interpolointi	Työstökoneohjausten yhteydessä interpoloinnilla tarkoitetaan servojen liikenopeuksien laskentaa halutun liikeradan saavuttamiseksi. Interpoloinnin suorittaa ohjauksen yhteydessä oleva interpolointiohjelma.
LCD	Liquid crystal display, nestekidenäyttö.
Logiikkaohjelma	Logiikkaohjelma koostuu loogisista kaavoista. Logiikkaohjelmalla saadaan ohjattua laitteiden toimintoja halutulla tavalla matemaattisia ehtoja käyttäen.
MDI	Manual data input, käsinsyöttö. Termiä käytetään NC-koneiden yhteydessä tietojen käsinsyöttämisestä.
NC	Numerical control, numeerinen ohjaus. Käytetään peruskäsitteenä puhuttaessa numeerisesti ohjatuista laitteista.
NURBS	Non-uniform rational B-spline. NURBS on matemaattinen malli kaarevien muotojen mallintamiseen. NURBS-käyriä ja -pintoja voidaan muodostaa tukipisteiden avulla. Haluttu käyrä tai pinta asettuu jouhevasti tukipisteiden väliin.
Open CNC	Open CNC on Fanucin käyttämä nimitys avoimesta järjestelmästä. Open CNC:ssä ohjauksen yhteyteen on liitetty tietokone. Tietokoneen toimintojen ansiosta järjestelmässä on mahdollista käyttää laajemmin lisälaitteita ja -ohjelmistoja

PMC	Programmable machine control, sovitussosa. Toimii rajapintana numeerisen ohjauksen ja työstökoneen sisään ja ulostulojen välillä.
Systeemiohjelma	Systeemiohjelma ohjaa tietokoneen omaa toimintaa. Työstökoneissa systeemiohjelman toimittaa yleensä työstökonevalmistaja. Systeemiohjelma mahdollistaa samanlaisen ohjauksen käytön erityyppisissä työstökoneissa.
Tikapuuohjelmointi	Tikapuuohjelmointi on graafinen ohjelmointimenetelmä, jota käytetään logiikkaohjauksen ohjelmointiin. Ohjelmointi tapahtuu tikapuukaaviolla, jolla voidaan määrittää ehtoja haluttujen toimintojen suorittamiseksi.
Työkalukara	Työkalukaralla tarkoitetaan tässä työssä jyrskoneiden tai monitoimisovien karaa, jossa on pyörivä työkalu.
USB	Universal serial bus on sarjaväylä arkkitehtuuri, joka mahdollistaa oheislaitteiden liittämisen tietokoneeseen. Sorvauskara Sorvauskaralla tarkoitetaan tässä työssä karaa, jota käytetään työstettävän kappaleen pyörittämiseen.

.

.

1 JOHDANTO

Lähes kaikki konepajojen nykyaikaiset työstökoneet ovat numeerisesti ohjattuja. Erilaisille työstökoneille on saatavana juuri niille ominaisuuksiltaan soveltuvia ohjauksia. Markkinoilla on useita eri valmistajien ohjauksia ja mallisarjoja. Tietotekniikan kehitys näkyy myös työstökoneiden ohjausten monipuolistumisena. Tarjolla on paljon erilaisia ominaisuuksia, joilla saadaan tehostettua työstöä. Viimevuosina työstökoneiden ohjauksiin on lisätty tietokoneen ominaisuuksia ja niistä on saatu käyttäjäystävällisempiä. Tietokoneen toimintojen myötä ohjauksien tiedonsiirto on helpottunut ja työstökoneohjauksiin on saatavilla useita kaupallisia apuohjelmistoja.

Kandidaatintyö on rajattu käsittelemään jyrsinkoneille ja sorveille tarkoitettuja Fanucin 16i/18i/21i- ja 30i/31i/32i-sarjojen ohjausten ominaisuuksia. Tässä työssä käsitellään Fanucin ohjauksia, koska Fanuc on yksi johtavista ohjausten valmistajista ja sillä on laaja valikoima erilaisia ohjauksia. Työn tavoitteena on olla selvitys Fanucin 16i/18i/21i- ja 30i/31i/32i-ohjausten uusista ominaisuuksista, kuinka niitä voitaisiin hyödyntää konepajoissa ja mitä käytännön hyötyä niillä saavutetaan. Lähdeaineistona työssä on käytetty alan kirjallisuutta, Fanucin ohjausten ohjekirjoja ja esitteitä.

2 NUMEERINEN OHJAUS

2.1 Numeerisen ohjauksen tehtävät

Numeerisesti ohjattu työstökone eroaa käsinohjatusta koneesta siten, että se suorittaa liikkeit kappaleen valmistamiseksi automaattisesti. Työstökone seuraa ohjelmaa, joka antaa koneelle käskyt kuinka toimia. Numeerinen ohjaus laskee kappaleen työstöradat, tarkkailee työstöä ja antaa käskyjä luistien liikuttamiseen. Lastuamistekniikan kannalta käsinohjatulla ja NC-työstökoneella ei ole oleellista eroa. Perusrakenteeltaan työstökoneet ovat hyvin samankaltaiset. Varsinainen ero on ohjaustavassa. (Vesämäki 2007, s. 10.)

Numeerisesti ohjattuja koneita on ollut käytössä jo useita kymmeniä vuosia. Ensimmäisissä ohjauksissa ei ollut muistia, vaan ohjelma luettiin reikänauhalla koneistuksen edetessä. 1970-

luvulla transistorien ja mikropiirien kehityksen myötä siirryttiin tietokoneeseen perustuviin ohjauksiin. Nykyiset tuotantokoneet ovat lähes kokonaan mikrotietokoneperustaisia, numeerisesti ohjattuja koneita. (Vesämäki 2007, s. 8-9.)

Koska NC-työstökoneessa sen toiminnot tapahtuvat automatisoidusti, työstöohjelma sisältää kaiken sen tiedon, mitä tarvitaan kappaleen valmistamiseksi. Työstökoneen ohjauksen tyypillisiä tehtäviä ovat

- työkalujen liikeratojen ohjaus, liikeratojen interpolointi
- karan käynnistys, pysäytys, pyörimisnopeuden säätö
- työkalujen vaihto
- työkalun aseman ja nirkonsäteen kompensointi
- asema-anturien arvojen tulkinta
- käyttäjäliityntä. (Vesämäki 2007, s. 10-25; Pikkarainen 1999, s. 56.)

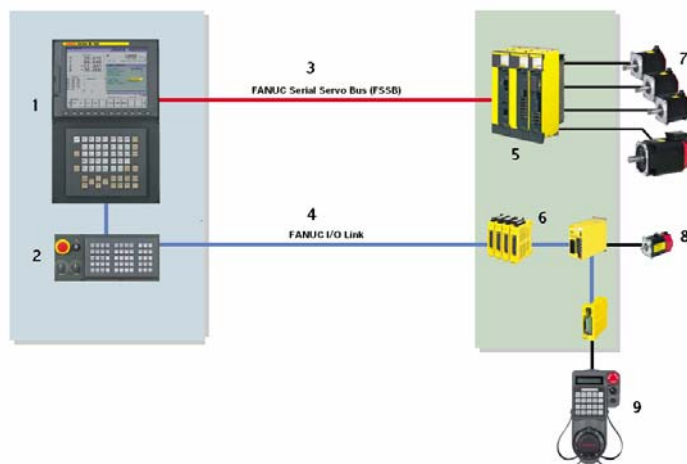
2.2 Ohjauksen rakenne

NC-työstökoneiden ohjaukset perustuvat nykyään mikrotietokoneisiin. Ohjaus rakentuu mikroprosessoritekniikalla toteutetun mikrotietokoneen ympärille. Mikrotietokone toimii automaattisesti sen muistissa olevien ohjeiden mukaisesti. (Vesämäki 2007, s. 21.)

Ohjaus koostuu laitteistosta ja ohjelmistosta. Laitteisto koostuu fyysisistä rakenneosista: muistista, keskusyksiköstä, näytöstä, näppäimistöä, jne. Käyttöjärjestelmä, ohjelmoitava logiikka ja työstöohjelmat muodostavat ohjaimen ohjelmiston. Systeemiohjelma ohjaa mikrotietokoneen toimintaa. Se antaa ohjeet kuinka työstöohjelman tiedot saadaan muutettua koneen toiminnoiksi. Systeemiohjelman toimittaa koneen valmistaja ja sen ansiosta samaa ohjainta on mahdollista käyttää erityyppisissä työstökoneissa. Työstöohjelman tekee ohjelmoija ja se sisältää geometriset ja teknologiset tiedot valmistettavasta kappaleesta. (Vesämäki 2007, s. 22.) Nykyaikaisissa CNC-koneissa työstöohjelma on koneen muistissa ja mikrotietokone noudattaa sen ohjeita kappaletta työstettäessä (Pikkarainen 1999, s. 60).

2.2.1 Fanuc ohjausten rakenne

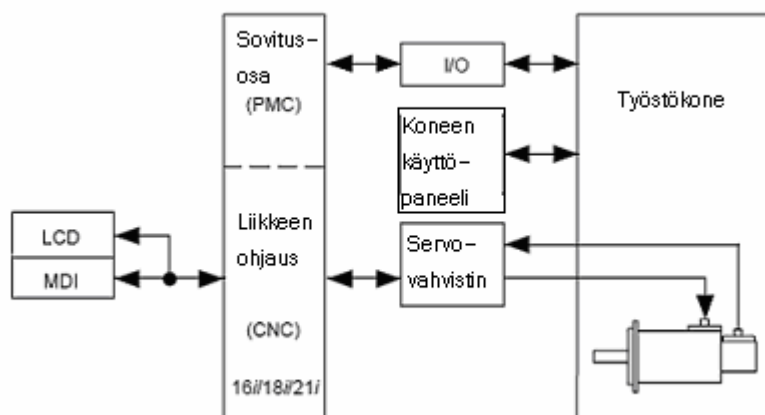
Kuvassa 1 on esitelty Fanuc 16i-ohjauksen rakenne, mutta se on myös muissa ohjauksissa samankaltainen. CNC-yksikkö on sisäänrakennettuna kuvaruudun ja käyttöpaneelin taakse (kuvassa 1 nro 1). Ohjausyksikkö antaa käskyjä sarjavyölyn (kuvassa 1 nro 3) kautta servovahvistimille (kuvassa 1 nro 5). Servovahvistin on yhteydessä työstökoneen servomoottoreille (kuvassa 1 nro 7), jotka liikuttavat työkalun luisteja ja karaa. Koneen ohjauspaneeli (kuvassa 1 nro 2) on yhteydessä ohjainyksikköön sekä koneen toimilaitteiden sisään- ja ulostuloihin (kuvassa 1 nro 4). Toimilaitteiden (kuvassa 1 nro 8 ja 9) välillä on sisään- ja ulostulovahvistin (kuvassa 1 nro 6). (Fanuc 16i/18i/21i/160i/180i/210i - Model B esite.)



Kuva 1. Ohjauksen rakenne (Fanuc 16i/18i/21i/160i/180i/210i - Model B esite).

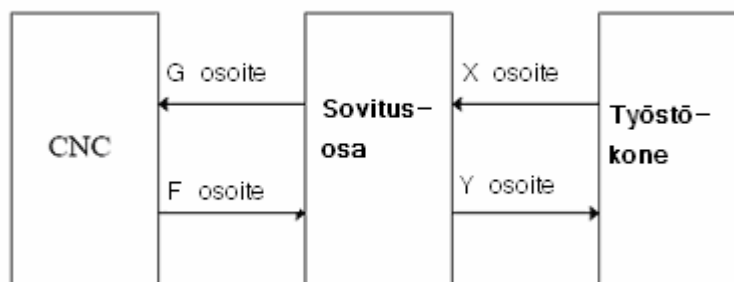
Ohjaus itsessään koostuu kahdesta osasta: liikkeenohjauksesta ja koneenohjauksesta, josta käytetään myös yleisesti nimeä sovitusosa. Liikkeenohjaus muodostaa signaalit liikkeiden käskyille ja tulkitsee takaisinkytkennän signaalit. Tämä tunnetaan paremmin nimellä tietokoneohjattu numeerinen ohjaus eli CNC. Käyttäjä kommunikoi ohjaimen kanssa käyttöpaneelin (kuvassa 2 MDI) ja näytön välityksellä (kuvassa 2 LCD). Liikkeenohjaus ohjaa servomoottoreita servovahvistimen kautta. Se ei voi kuitenkaan antaa suoraan käskyjä työstökoneen apulaitteille, vaan toimii sovitusosan kautta. Liikkeenohjaus ja sovitusosa ovat jatkuvassa vuorovaikutuksessa keskenään. Sovitusosa toimii rajapintana numeerisen

ohjauksen ja työstökoneen sisään- ja ulostulojen välillä. Esimerkiksi kaikki näppäimet, kytkimet, varoitusvalot ynnä muut mitä tarvitaan konetta käytettäessä, hallitaan sovitusosan kautta. Sovitusosan toiminnot voidaan ohjelmoida tikapuuohjelmointia käyttäen. (Series 16i/18i/160i/180i, 21i / 210i-Model A. 2000, s. 3-2.)



Kuva 2. Fanuc 16i/18i/21i-ohjauksen rakenne (Series 16i/18i/160i/180i , 21i / 210i-Model A. 2000, s. 3-2).

Kuvasta 3 nähdään että liikkeenohjaus ei voi suoraan antaa käskyjä työstökoneen apulaitteille, vaan se keskustelee niiden kanssa sovitusosan välityksellä. Liikkeenohjaus, sovitusosa ja työstökone lähettävät tietoa eri osoitteisiin. (Series 16i/18i/160i/180i, 21i / 210i-Model A. 1997, s. 8.) Osoitteet vastaavat rekisterissä yhtä bittiä ja ovat siten kaksitilaisia (ON/OFF) (Vesamäki 2007, s. 20).



Kuva 3. Ohjauksen osoitteet (Series 16i/18i/160i/180i, 21i / 210i-Model A. 2000, s. 3-4).

Numeerinen ohjaus ei voi suoraan käyttää työstökoneen toimilaitteilta tulevaa tietoa. Numeerinen ohjaus tarvitsee sovitusosan, jotta se voi tulkita työstökoneen antureilta tulevia signaaleja. Otetaan sovitusosan toiminnasta selvennyksen vuoksi esimerkkitalanne, jos johonkin työstökoneen toimilaitteeseen tulee vuoto ja öljynpaine laskee alle sallitun: Öljynpaineanturilta lähtee varoitussignaali X-osoitteeseen sovitusosalle. X-osoite on vain yksi bitti sovitusosan rekisterissä. Sovitusosa tunnistaa X-osoitteen tilan muutoksen ja lähettää varoitussignaalin G-osoitteeseen liikkeenohjaukselle. Liikkeenohjaus reagoi varoitukseen siten kuin se on ohjelmoitu ja antaa ohjelman mukaisen käskyn F-osoitteen kautta sovitusosalle ja sovitusosa edelleen Y-osoitteen kautta työstökoneelle. Liikkeenohjaus voi käskä esimerkiksi pysäyttää koneen toiminnot öljynpaineen laskiessa liian alas. (Series 16i/18i/160i/180i, 21i / 210i-Model A. 2000, s. 3-4.)

2.3 NC-koneen toimintojen ohjaus

Työstöohjelmat on siirrettävä ohjauksen ohjelmamuistiin, ennen kuin niitä voidaan käyttää. Ohjelmat voidaan tavallisesti siirtää sähköisesti kaapelia pitkin tai ne voidaan tallentaa jollekin tiedonsiirtovälineelle. Tiedonsiirtoväline voi olla esimerkiksi levyke, CompactFlash-muistikortti tai USB-muistitikku. Jos ohjelmat on tallennettu järjestelmää ohjaavan tietokoneen muistiin, silloin ei erillistä tiedonsiirtovälinettä tarvita. Ohjelman koodaus on mahdollista tehdä myös käsin näppäimistön kautta. Silloin ohjelma syötetään koneelle koodikieltä käyttäen. Työstöohjelma koostuu kahdenlaisista käskyistä. KytKentätiedoilla M ohjataan koneen aputoimintoja. (Vesamäki 2007, s. 20.) G-koodeilla annetaan valmistelevat tiedot ja ohjataan terän liikerataa. (Vesamäki 2007, s. 20; Pikkarainen 1999, s. 81).

Liikekäskyt sisältävät terän liikenopeuden ja päätepisteen sekä liikeradan muodon. Ohjaus antaa ohjelman mukaiset käskyt servojen käyttöyksikölle, joka ohjaa käyttömootoreita ohjelman mukaisesti. Käyttömootorit liikuttavat kuularuuvien välityksellä luisteja. Mittausjärjestelmä tarkkailee työkalun asemaa ja lähettävät tietoa ohjaukselle. Koska ohjauksen määräämän aseman ja työkalun oikean aseman välillä on aina jonkin verran virhettä, pitää koneen mittausjärjestelmän lähettää ohjaukselle tietoa työkalun oikeasta sijainnista. Mittaustulosten perusteella ohjaus muuttaa käskyä siten, että työkalu saadaan liikkumaan oikeaa rataa pitkin.

Koneen jokaiselle akselille on omat servolaitteistot. Työkalun oikea liikenopeus saadaan säätämällä käyttömootorin pyörimisnopeutta. Myös karalle on oma servolaitteistonsa, koska sen pyörimisnopeuden pitää olla hallittavissa. (Vesamäki 2007, s. 20.)

Kytkentätiedot, joita ohjataan M koodeilla, ovat kaksitilaisia. Tämä tarkoittaa, ettei niissä ole portaatonta säätöä, kuten akseleiden käyttömootoreilla, vaan pelkästään ON/OFF-kytkentä. Näillä käskyillä saadaan käskettyä esimerkiksi lastuamismestettä päälle ja pois. Kytkentätiedon käsky lähetetään ohjauksen sovitussuoraan. Se toimii tulkkina työstökoneen ja ohjauksen välillä. Sovitusosa on ohjelmoitava ja se ohjaa koneen toimintoja antureiden ja toimilaitteiden avulla. Tämän ansiosta ohjain on mahdollista sovittaa erityyppisiin koneisiin. (Vesamäki 2007, s. 20.)

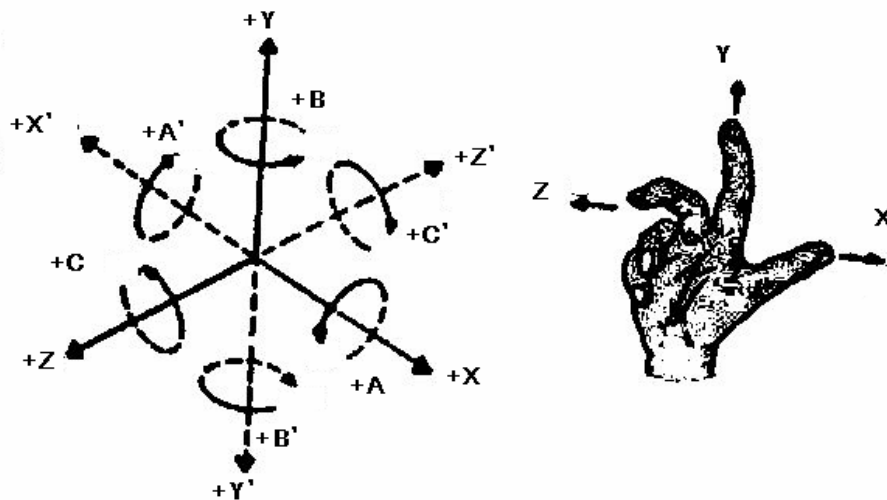
2.3.1 Työstökoneen akselit

Työstökoneesta riippuen siinä on tietty määrä akseleita ja karoja. Akseleiden määrästä ja työstökoneen tyypistä riippuu millaisia kappaleita sillä on mahdollista valmistaa. Ohjauksen mallista puolestaan riippuu kuinka montaa akselia ja karaa sillä on mahdollista ohjata. Uusissa NC-koneissa on perinteisiin koneisiin verrattuna enemmän toimintoja ja ne vaativat kehittyneemmän ohjauksen. Ohjauksessa on oltava riittävä määrä ohjattuja akseleita ja karoja, jotta työstökoneita on mahdollista käyttää. Ohjaus antaa servomootoreille käskyt liikuttaa akseleita. Työstökoneen akselit on nimetty, jotta tiedetään minkä suuntaisesta liikkeestä on kyse. (Pikkarainen 1999, s. 39.)

Työstökoneiden akselit nimetään ISO-standardin mukaisesti. Akseleiden nimeäminen tapahtuu seuraavasti. Perus lineaariakseleita ovat X, Y ja Z. Z-akseli on sen karan suuntainen, jolta saadaan lastuamisteho. Tavanomaisissa sorveissa Z-akseli on siis sorvauskaran suuntainen ja jyrsinkoneissa työkalukaran suuntainen. Kun karoja on useita, on niistä yksi valittava pääkaraksi. Akseleiden nimeäminen riippuu siis työstökoneen tyypistä. Monitoimisorveissa paikoitettavaa sorvauskaranakselia nimetään C:ksi. Lineaaristen akseleiden ympäri tapahtuvia kiertoliikkeitä kuvataan seuraavasti. X-akselin ympäri kiertyy akseli A, Y-akselin ympäri kiertyy akseli B ja Z-akselin ympäri kiertyy akseli C. Apuakseleiden nimeämiseen käytetään aakkosten loppupään kirjaimia. (Pikkarainen 1999, s. 39; MET Tekninen Tiedotus 1984, s. 25.)

Perinteisissä sorveissa on kaksi lineaariakselia X ja Z sekä yksi sorvauskara. Tällaisilla sorveilla voidaan käyttää yhtä työkalua kerrallaan. Sorveissa joissa kahdella työkalulla lastutaan yhdenaikaisesti, on neljä ohjattua akselia sorvauskaran lisäksi. Monitoimisorveissa on sorvauskaran lisäksi työkalukara pyöriviä työkaluja varten. Monitoimisorveissa, joissa kappaletta voidaan myös porata ja jyrsiä, on poraukset ja jyrsinät toteutettu useimmiten X- tai Z-akselin liikkeillä. Sorvauskaralla työstettävä kappale voidaan paikoittaa haluttuun asemaan ja sitä voidaan pyörittää tietyllä nopeudella. Sorvauskaran paikoitus mahdollistaa reikien poraukset ja jyrsinän oikeisiin kohtiin kappaleessa. Koneistuskeskuksissa on puolestaan perinteisesti kolme kohtisuoraan toisiaan vastaan olevaa liikeakselia X, Y ja Z. Vaaka- ja pystykaraiden koneiden akseleiden liikkeiden toteutustavat poikkeavat hieman toisistaan. Pystykaraisessa koneessa pöytä yleensä suorittaa X- ja Y-liikkeet ja karalaatikko pylväässä Z-liikkeen. Erilaisia rakenteita esiintyy koneen tyypistä riippuen. (Vesamäki 2007, s. 11-16; MET Tekninen Tiedotus 1984, s. 18-35.)

Kuvassa 4 on esitelty lineaariakselien ja niiden ympäri tapahtuvien kiertoliikkeiden nimeäminen. Akseleiden nimeämisessä apuna voidaan käyttää oikean käden kolmen sormen sääntöä. Akseleiden suunnat riippuvat työstökoneen tyypistä. Z-akseli on sen karan suuntainen, jolta saadaan lastuamisteho. Y- ja X-akselien suunnat määräytyvät Z-akselin mukaan. Akseleiden positiivinen suunta on sormen suunta. (Pikkarainen 1999, s. 39.)



Kuva 4. NC-koneen akselit ja oikean käden kolmen sormen sääntö (Pikkarainen 1999, s. 39).

2.3.2 Aseman säätö

Työstökoneen luistien siirtämiseksi käytetään suljetun piirin säätöä, jossa on aseman takaisin kytkentä. Mittausjärjestelmä mittaa jatkuvasti luistien hetkellistä asemaa. Mittausjärjestelmän tulosta verrataan aseman ohjearvoon. Aseman ohjearvo on ohjauksen laskema ohjeellinen arvo, jossa luistin pitäisi olla. Jos mitattu arvo ja ohjeellinen arvo eivät vastaa toisiaan, saadaan aseman poikkeama. Servojen käyttöyksikölle annetaan käsky siirtää luistia ohjearvoon, jotta poikkeama saataisiin nolnaan. Tämä kierto toteutetaan pienin väliajoin, jotta poikkeama saataisiin pidettyä mahdollisimman pienenä. Myös luistien liikenopeutta tarkkaillaan suljetun piirin säädön avulla. Luistin oikea liikenopeus mitataan, verrataan sitä ohjearvoon ja korjataan tarvittaessa. (Vesamäki 2007, s. 23.)

2.3.3 Mittausjärjestelmä

NC- työstökone tarvitsee mittausjärjestelmän, jotta luistien hetkellinen asema saadaan mitattua. Asemaa voidaan mitata joko suorasti tai epäsuorasti. Suorassa mittausjärjestelmässä mittauslaite on lineaarinen ja se mittaa välittömästi luistin aseman koneen rungon suhteen. Siinä mittauslaite siirtyy luistin mukana, eikä kuularuuvien välykset vaikuta mittatarkkuuteen. Etuna on hyvin luotettava paikoitustarkkuus. Epäsuorassa mittauksessa mittauslaite on kuularuuvien mukana pyörivä ja asema saadaan laskettua kuularuuvien nousun perusteella. Epäsuoramittaus ei ole niin tarkka kuin suoramittaus, koska nousuvirhe, välykset ja lämpötila vaikuttavat tulokseen. (Vesamäki 2007, s. 24.)

Mittausmenetelmät ovat joko inkrementaalisia tai absoluuttisia. Inkrementaalisessa menetelmässä luistin asemaa tarkkaillaan pienten yksikköaskelien perusteella. Mittauslaite antaa jokaisen yksikköaskeleen jälkeen pulssin, joiden perusteella saadaan laskettua luistin aseman muutokset. Etuna on, että nollapisteen siirtäminen on laskennallisesti helppoa. Absoluuttisessa menetelmässä mittauslaitteen nollapiste on asetettu kiinteästi koneen järjestelmään. Tämän ansiosta ollaan koko ajan selvillä luistin asemasta nollapisteen suhteen. Absoluuttisessa menetelmässä nollapisteen siirtäminen on laskennallisesti vaikeampaa. (Pikkarainen 1999, s. 27.)

Mittausjärjestelmä voi olla toteutettu joko digitaalisesti tai analogisesti. Digitaalisessa menetelmässä asema käsitellään pulsseina. Analogisessa menetelmässä mittauslaite mittaa jotain välillistä suuretta, esimerkiksi jännitettä. Analoginen signaali saadaan muutettua digitaaliseen muotoon A/D-muuntimella. Tavallisesti luisteja liikuttavien servomoottoreiden päähän on asennettu mittauselin, joka on yleensä pulssianturi tai resolveri. (Pikkarainen 1999, s. 28.)

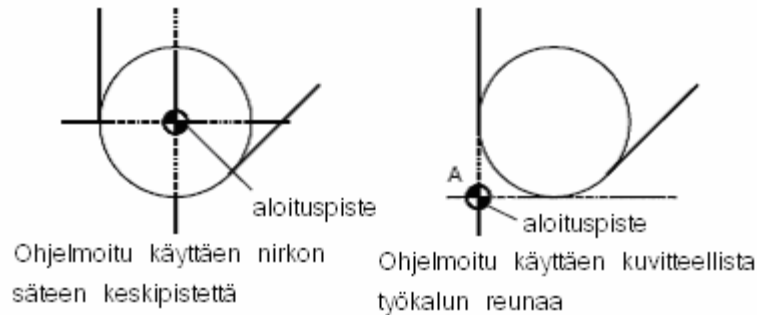
2.3.4 Aetusmitat ja työkalukorjaimet

Työkalujen mitat vaihtelevat. Jotta työkalu saataisiin kulkemaan haluttua rataa pitkin, pitää ohjauksen tietää työkalun oikea asema. Terän asema määritetään asetusmittojen ja työkalun pituuskorjaimien avulla. Aetusmittojen perusteella työkalun pituutta ei pystytä määrittämään valmistustoleranssien vaatimalle tasolle. Työkalun kulumisen, joustot ja työkalun mittaus aiheuttavat epätarkkuutta. Tästä syystä virheellisyyksien korjaamiseen tarvitaan pituuden kompensointia, joka toteutetaan työkalukorjaimilla. Työkalun korjausarvot ilmoittavat sen, kuinka paljon mitatut asetusmitat poikkeavat todellisesta työkalun mitasta. Sorveilla ja koneistuskeskuksilla on erityyppiset korjaimet. Sorveissa on työkalun pituudenkompensointi, X- ja Z-suunnassa, sekä nirkonsäteen kompensointi. Koneistuskeskuksilla on työkalun pituuden kompensointi ja jyrsimen säteen kompensointi. Työkalun tuottama todellinen mitta verrattuna ohjelmoituun mittaan voidaan mitata erilaisia mittauslaitteita käyttäen. (Pikkarainen 1999, s. 48; Vesämäki 2007, s. 34-35.)

Työkaluilla on omat paikat ohjaimen muistissa. Niitä voidaan kutsua T-koodeilla. Jokaiselle työkalulle voidaan antaa omat korjauskertoimet pituudesta ja nirkon säteestä. Ohjaimen muistissa olevat työkalut vastaavat työstökoneessa olevia työkaluja. Fanucin ohjauksissa työkaluille voidaan syöttää tiedot työkalun paikan poikkeamasta ja työkalun kulumisen kompensointi. Fanucilla on kaksi tapaa poikkeamien kompensointiin. Poikkeamien perusteella työkalulle voidaan laskea uusi työstörata tai koordinaatisto voidaan siirtää vastaamaan oikeaa paikkaa. (Fanuc Series 30i/31i/32i –Model A For Lathe System.)

Nirkon säteen kompensoinnilla saadaan korjattua nirkon pyöristyksen aiheuttama poikkeama kuvitteellisesta pisteestä ”A” (kuvassa 5). Kompensointia tarvitaan, koska kuvassa 5 näkyvä

kuvitteellinen piste ”A” on helpompi määrittää kuin nirkon säteen keskipiste. Ilman nirkonsäteen kompensointia tulisi työstettävään pintaan mittavääristymä. Kun nirkon säde on määritelty työkalulle, ei sitä tarvitse ottaa enää erikseen huomioon työstörataa ohjelmoidessa. Vastaavasti jyrsimien terille tarvitaan säteen kompensointi, jotta työkalu saadaan kulkemaan oikeaa rataa pitkin. (Fanuc Series 30i/31i/32i –Model A For Lathe System.)



Kuva 5. Nirkon säteen kompensointi (Fanuc Series 30i/31i/ 32i-Model A For Lathe System).

2.3.5 Työstöradan interpolointi

Kun rataohjauksessa työstökoneen työkalua halutaan siirtää suoraviivaista tai käyräviivaista rataa, eikä liike ole työstökoneen akselin suuntainen, joudutaan kahden tai useamman akselin liikettä ohjaamaan yhdenaikaisesti. Halutun liikeradan saavuttamiseksi, pitää akseleiden liikenopeus sovittaa yhteen. Ohjauksen systeemiohjelma sisältää interpolointiohjelman, jonka avulla ohjauksen mikrotietokone pystyy ohjaamaan akseleita halutusti. (Vesämäki 2007, s. 23.) Tärkeimmät interpolointilajit ovat lineaari-interpolointi ja ympyräkaari-interpolointi. Interpolointiohjelman kaksi päätehtävää ovat interpoloida tukipisteiden välille haluttu muoto ja jakaa pulssit eri akseleille. (Pikkarainen 1999, s. 58.)

Lineaari-interpoloinnilla (koodi G01) saadaan työkalu liikkumaan suoraviivaisesti alkupisteestä loppupisteeseen. Se voidaan suorittaa kaikissa päätasoissa XY, XZ ja YZ tai tarvittaessa X-, Y-, ja Z- akseleilla yhdenaikaisesti. Ympyränkaari-interpoloinnilla (koodit G02/G03) saadaan työkalu liikkumaan ympyränkaarta pitkin alkupisteestä loppupisteeseen tietyllä ympyrän säteellä. Ympyränkaariliike on ohjaukselle lineaariliikettä haasteellisempi, koska akseleiden liikenopeutta joudutaan muuttamaan koko ajan. Interpolointiohjelma laskee

lyhyin väliajoin työkalulle uuden liikesuunnan, eli akseleiden uuden liikenopeuden. Ympyrän kaari muodostuu hyvin lyhyistä suoraviivaisista osista, muodostaen ehjän ympyrän kaaren. Akseleiden liikenopeuden laskentavälin ajasta riippuu, kuinka tasaisesti ympyränkaari muodostuu. (Vesamäki 2007, s. 23.)

3 FANUCIN KÄYTTÄMIÄ MALLIMERKINTÖJÄ

Fanucin ohjaukset on julkaistu sarjoina 16i/18i/21i ja 30i/31i/ 32i. Mallien välillä on sarjojen sisällä pieniä eroavaisuuksia ominaisuuksien määrässä, mutta sarjojen väliset erot ovat suurempia. Nolla sarjan mallinumeron perässä (esim. 160i, 180i, 210i) tarkoittaa Open CNC-ohjausta. Niissä on yhdistetty numeerinen ohjaus ja tietokone toimimaan keskenään. Pelkkä 0-sarjan ohjaus on kaikkein vaatimattomin toimintojen osalta. (i Series CNC 2005.)

Mallit on eritelty julkaisujärjestyksen mukaan kirjaimilla (A, B, C). Perusmalli on A, josta seuraavia ovat B ja C. Seuraaviin malleihin on lisätty uusia toimintoja. Sarjasta 16i/18i/21i on tähän mennessä esitelty mallit A ja B, mutta sarjasta 30i/31i/32i on esitelty vain malli A. 0i-sarjan ohjaimista on olemassa mallit A, B ja C, mutta niitä ei tässä työssä käsitellä yksityiskohtaisesti. (i Series CNC 2005.)

Kirjain i tarkoittaa, että ohjaus on digitaalinen. Merkintä otettiin käyttöön, kun ohjaukset muuttuivat digitaalisiksi vuodesta 1997 alkaen. Sarjan numeron perässä olevat kirjaimet T ja M kuvaavat sitä, että onko ohjain tarkoitettu sorville vai jyrsimelle. T-kirjain tulee sanasta ”Turning”, eli ohjaimet on tarkoitettu sorveille. M-kirjain tulee sanasta ”Milling”, eli ohjaimet on tarkoitettu jyrsimille. Yhdistelemällä termejä saadaan esimerkiksi ohjauksen mallimerkintä 16i-MA, joka tarkoittaa sarjan 16 A-mallin digitaalista ohjainta jyrsinkäyttöön. (i Series CNC 2005.)

Muita Fanucin käyttämiä termejä ovat ”Manual Guide”, joka on ohjaimen sisäänrakennettu käyttöliittymä. Se sisältää tärkeimmät toiminnot, mitä käyttäjä tarvitsee. ”Open CNC” tarkoittaa avointa tietokoneohjattua numeerista ohjausta, johon on lisätty myös tietokoneen ominaisuuksia ja kaupallisten ohjelmistojen käyttö on mahdollista. (i Series CNC 2005.)

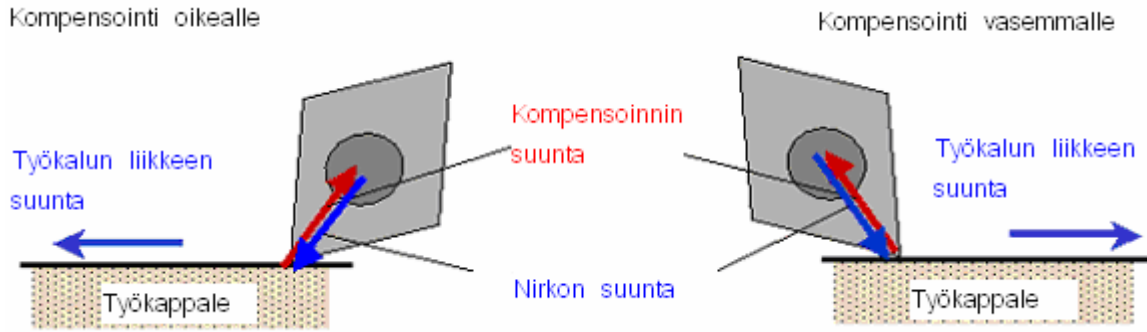
4 FANUC OHJAUSTEN OMINAISUUKSIA

4.1 Fanuc 16i/18i/ 21i-sarjan esittely

Sarjan 16i/18i/21i-ohjauksia voidaan pitää Fanucin perusohjauksina. Niissä on tarvittavat perustoiminnot ja niihin on saatavilla myös lisäominaisuuksia. 16i/18i/21i-sarjojen ohjauksia on mahdollista käyttää lukuisten erilaisten koneiden ohjaukseen. Tavallisimmin niitä käytetään sorveissa, jyrsimissä ja koneistuskeskuksissa. Sarjan 16i/18i/21i Open CNC-versioita ovat 160i/180i ja 210i. Niissä työstökoneen ohjaukseen on liitetty tietokoneen toiminnot. Ohjausten Open CNC-versiot sisältävät muuten samat toiminnot kuin perusmallitkin. (Alpha Machinex.)

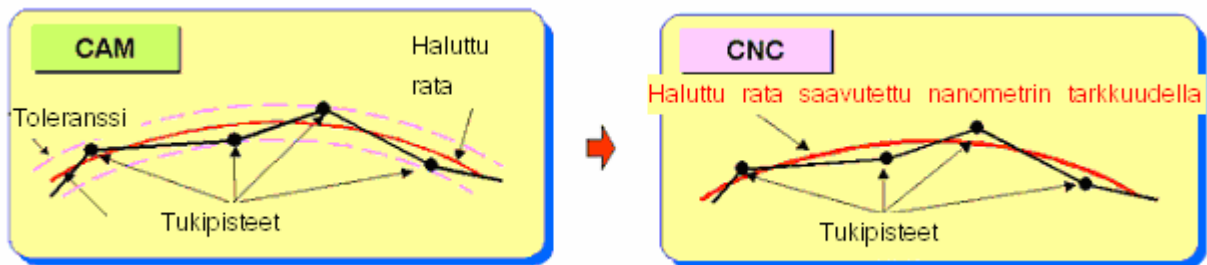
Fanucin mukaan ohjainten komponentit on suunniteltu erittäin luotettaviksi, jotta ne kestävät hyvin teollisen ympäristön. B-mallin ohjausten servovahvistimien ja CNC-yksikön välinen tiedonsiirto (FSSB) on toteutettu valo-kaapelilla, jotta tiedonsiirto saadaan hyvin nopeaksi. Näin saadaan minimoitua tiedonsiirrosta aiheutuva viive. (Fanuc Model B.) Ethernet-yhteys on ollut B-mallin ohjauksista lähtien vakiovarusteena. Ohjauksissa on verkkoyhteydenmahdollisuus myös sarjaväylää pitkin. Ohjauksia on mahdollista kontrolloida ja seurata niiden toimintoja tietokoneelta verkkoyhteyden kautta. (Alpha Machinex.)

Fanuc 16i/18i/21i-TB-malleista lähtien ohjauksissa on automaattinen nirkonsäteen kompensointi, joka tunnistaa työkalun liikkeen suunnan ja tekee kompensointia siten oikeaan suuntaan (kuva 6). Tällöin työstöohjelmassa ei tarvitse käyttää koodeja G41/G42, jotka määrittävät työkalun liikkeen suunnan. Automaattisen nirkonsäteen kompensoinnin ansiosta virheellisen ohjelmoinnin riski pienenee. (Automatical Tool Nose Radius Compensation 2006.)



Kuva 6. Automaattinen nirkonsäteen kompensointi (Automatic Tool Nose Radius Compensation 2006).

Fanuc 16i/18i/21i-malleista B lähtien ohjauksissa on tuki myös NURBS-käyrille. CAD/CAM-ohjelmissa voidaan luoda kaarevia NURBS-käyriä, joissa käyrä asettuu tukipisteiden väliin (kuva 7). Näin saadaan luotua monimutkaisia käyriä muutaman tukipisteen avulla. Tällä tavoin saadaan luotua monimutkainen käyrä ilman, että käyrän reitiltä pitäisi määrittää useita eri pisteitä. Kun käyrän tukipisteet siirretään ohjauksen muistiin, osaa ohjaus luoda CAD/CAM-ohjelmalla piirretyn työstöradan kontrollipisteiden väliin. Etuna ohjauksen NURBS-tuessa on se, että käyrän jokaista pistettä ei tarvitse siirtää ohjauksen muistiin, vaan se osaa itse laskea niiden väliin asettuvan käyrän muodon. Näin säästetään aikaa työstöohjelman siirrossa ja se vie vähemmän tilaa ohjelmamuistissa. (Fanuc Series 16i/18i/21i - Model B Expanded Functions.)



Kuva 7. NURBS-käyrän interpolointi (Fanuc Series 16i/18i/21i - Model B Expanded Functions).

Fanucin koneistuskeskus ohjauksissa 16i-MB ja 18i-MB/MB5 on nykimisenhallintaominaisuus (engl. Jerk Control). Sana ”Jerk” kuvaa kiihtyvyyden muutosta ajan suhteen. Kappaleen reunat aiheuttavat värähtelyä työkaluun, mistä aiheutuu pinnanlaadun ja mittatarkkuuden heikkenemistä. Varsinkin jos työstökoneen rakenne ei ole tarpeeksi jäykkä suorituskykyyn nähden, aiheuttaa työstöradan muodonmuutokset värähtelyä. Nykimisenhallintaominaisuudella ohjaus muuttaa työkalun syöttönopeutta, kun se on lähestymässä kappaleen reunaa. Tällä tavalla saadaan vakaa työstötahtuma ilman värinöitä. Nykimisenhallinnalla saadaan parannettua kappaleen pinnanlaatua sekä mittatarkkuutta. Kappaleen työstöaikaa voidaan myös saada alennettua, mikäli työstönopeutta voidaan lisätä ilman värinöitä. (Jerk Control.)

4.2 Fanuc 30i/31i/32i-sarjan esittely

Fanuc 30i/31i/32i-sarjan ohjaukset ovat kehittyneempiä kuin 16i/18i/21i. Niillä voidaan ohjata useampia akseleita ja suorituskyky on tehokkaampi. 30i/31i/32i-sarja on suunniteltu 16i/18i/21i-sarjan korvaajaksi. Fanuc 30i/31i/32i-ohjaukset soveltuvat parhaiten kehittyneempiin työstökoneisiin. Fanuc suosittelee ohjauksia erityisesti yhdistelmätyöstökoneisiin, joissa on käytössä useita akseleita ja työstöratioja yhdenaikaisesti. Ensimmäinen 30iA-malli esiteltiin vuonna 2003 ja koko sarja 30i/31i/32i-Model A esiteltiin vuonna 2004. Sarjan 30i/31i/32i Open CNC-versioita ovat 300i/310i/320i. (CNC Series 30i/31i/32i.)

Fanuc mainosti vuonna 2003 30i-ohjausta maailman tehokkaimmaksi työstökoneohjaukseksi. Sillä on tehokas laskentakyky ja työstöohjelmia on mahdollista suorittaa yhdenaikaisesti jopa 10. Interpolointi on kahdeksan kertaa nopeampaa vanhempiin ohjauksiin verrattuna. Työstökoneen sovitussosan suorituskyky on myös nopea. Sillä voidaan suorittaa kolmea logiikkaohjelmaa yhtä aikaa. Logiikkaohjelman suoritusnopeus on 25 nanosekuntia/askel. Tehokkaan suorituskyvyn sekä ohjattujen akselien ja karojen suuren määrän ansiosta 30i-ohjaus soveltuu hyvin kaikkein vaativimpiin kohteisiin. Ohjaus soveltuu erityisesti yhdistelmäkoneille ja nopeaan moniakseliseen usean työstöradan ohjaukseen. Ohjauksia on mahdollista käyttää muun muassa yhdistelmäkoneissa, joissa on yhdistetty sorvi, jyrsinkone ja kappaleenkäsittelylaitteisto. (CNC Controls; World's fastest CNC controls 2003.)

Taulukosta 1 nähdään, että 30i/31i/32i-sarjan ohjauksilla on mahdollista ohjata huomattavasti useampia akseleita ja karoja kuin 16i/18i/21i-ohjauksissa. Kaikkia akseleita ei kuitenkaan voida ohjata yhdenaikaisesti. Taulukosta nähdään kuinka montaa akselia voidaan yhdenaikaisesti ohjata. Esimerkiksi ohjauksessa 30i on kaiken kaikkiaan 40 ohjattua akselia, mutta vain 24:ää on mahdollista ohjata yhdenaikaisesti. (CNC Controls.)

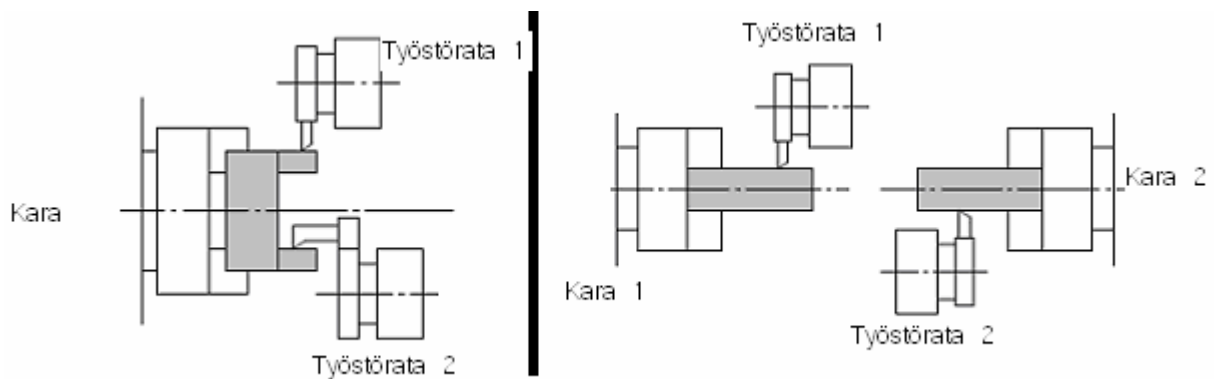
Taulukko 1. Ohjattujen akselien ja karojen määrä eri ohjauksissa (CNC Controls).

CNC	Ohjatut akselit	Ohjatut karat	Yhdenaikaisesti ohjatut akselit
16i	8	4	6
18i	8	3	4
21i	5	2	4
30i	40	8	24
31i	20	6	4
32i	9	2	4

Fanuc 30i/31i/32i-ohjauksissa on ohjelmoitavassa koneen sovitussosassa niin sanottu ”Multi-Path CNC Function”. Sen ansiosta koneen sovitussosa voi suorittaa kolmea logiikkaohjelmaa samanaikaisesti. Tikapuuohjelmoinnilla voidaan tehdä logiikkaohjelma työstökoneen oheislaitteille. Käytännössä tämä ominaisuus mahdollistaa kappaleenkäsittelylaitteiston ja muiden oheislaitteiden liittämisen helpommin ohjaukseen. Ominaisuuden ansiosta oheislaitteiden ohjaus voidaan toteuttaa työstökoneen ohjelmoitavalla sovitussosalla, eivätkä ne tarvitse omaa erillistä logiikkaohjausta. (Multi Path PMC-Function 2007.) Sovitussosan tikapuuohjelmien luontiin Fanucilla on ”Ladder III”-ohjelma, jota käytetään tietokoneella. Tikapuuohjelmat voidaan koeajaa tietokoneella simulointiohjelmalla ilman, että tarvitsee käyttää numeerista ohjausta. (PMC Simulator 2005.)

4.3 Usean työstöradan ohjaus

Jos ohjain tukee usean työstöradan ohjausta, voidaan sillä ohjata useaa työkalua toimimaan toisistaan riippumatta. Esimerkiksi kaksi työkalua voi työstää yhtä aikaa samaa sorvin karaan kiinnitettyä kappaletta, kuten kuvassa 8. Toinen vaihtoehto on, että kappaleita on kaksi, kumpikin kiinni omassa karassaan ja niitä työstetään yhtä aikaa toisistaan riippumattomasti. (Series 16i/18i/160i/180i, 21i / 210i – Model A 1997, s. 275.) Kahden työstöradan ohjaus on saatavilla lisävarusteena T-sarjan ohjauksiin 16i/18i/160i/180i mallista A lähtien. M-sarjan ohjauksissa yhdellä ohjaimella voidaan hallita kahta koneistuskeskusta. (Descriptions Manual 1997, s. 8.)



Kuva 8. Oikealla kaksi työkalua yhdellä karalla ja vasemmalla kaksi työkalua eri karoilla (Series 16i/18i/160i/180i, 21i / 210i – Model A 1997, s. 275).

Sarjan 30i/31i/32i-ohjauksissa on ohjattuja akseleita huomattavasti enemmän kuin 16i/18i/21i-ohjauksissa. Fanuc 30i/31i/32i-sarjan ohjaukset on tarkoitettu vaativampiin sovellutuksiin, missä useat työkalut toimivat yhtä aikaa. Taulukossa 2 on esitelty ohjauksien mahdollisten työstöratojen määrä. 30i-ohjauksessa työstöratoja voi olla jopa 10. Jokaiselle työstöradalle voidaan käyttää omaa työstöohjelmaa samaan aikaan. Ohjauksilla voidaan ohjata myös useampaa erillistä konetta, kunhan se tukee riittävän montaa akselia ja työstörataa. (CNC Series 30i/31i/32i.)

Taulukko 2. Yhdenaikaisesti ohjattujen työstöratojen määrä eri ohjauksissa (CNC Series 30i/31i/32i).

CNC	Työstöratojen määrä
16i	3
18i	2
21i	1
30i	10
31i	4
32i	4

4.4 Viisiakselinen työstö

Koneistuskeskuskäyttöön tarkoitettut ohjaukset 16i-MB / 18i-MB5, sekä 30i / 31i-A5 tukevat viisiakselista työstöä, joilla on mahdollista työstää kaltevia pintoja ja tehdä monimutkaisia muotoja. Jyrsintyökalua on mahdollista liikuttaa kahden lisäakselin suhteen, pyörittää kappaletta pyörityspöydällä tai yhdistää molempia liikkeitä. Työstötasoa kallistamalla voidaan helposti muuttaa koordinaatistoa vastaamaan työstettävän kappaleen tarpeita, ilman että tarvitaan monimutkaista uudelleen ohjelmointia. Ohjauksissa on erityisesti viisiakselista työstöä varten suunnitellut työkalun mittojen kompensoinnit, jotta työkalu saadaan kulkemaan aina haluttua rataa pitkin. Kompensointi tapahtuu jokaisen akselin suhteen. (CNC Series 30i/31i/32i.)

Kuvassa 9 on esitelty eri vaihtoehdot viisiakselisen työstön toteuttamiseksi. Perus X- Y- ja Z-akseleiden lisäksi kuvassa näkyy kaksi lisäakselia. Kaiken kaikkiaan akseleita työkalun liikuttamiseksi työkappaleeseen nähden on siis viisi. Ensimmäisessä kuvassa jyrsintyökalu on liikuteltavissa kahden lisäakseleiden suhteen. Toisessa kuvassa lisäakselit on sijoitettu pyörityspöytänsä. Kolmannessa kuvassa toinen akseleista on työkalulla ja toinen pyörityspöydällä. Sovelluskohteesta riippuen voidaan valita, mikä toteutustapa sopii parhaiten. Lisäakselit nimetään sen mukaan, minkä lineaariakselin suhteen ne asettuvat.



Kuva 9. Viisiakselisen työstön vaihtoehtoisia toteutustapoja. (Flexible Support of Various Mechanical Configurations.)

Kuvassa 10 on esitetty siipipyörän valmistus viisiakselista työstöä käyttäen. Kappale on kiinnitetty pyörityspöytään, jota voidaan kallistaa sopivaan kulmaan. X- Y- ja Z-akselien lisäksi kahdella muulla akselilla voidaan siis liikuttaa pyörityspöytää. Kuvan kappaleen valmistaminen tavanomaista kolmeakselista työstöä käyttäen olisi hyvin hankalaa. Se vaatisi useita työstöohjelmia ja kappaleen uudelleen kiinnityksiä. Viisi akselisella koneistuksella voidaan siis säästää aikaa ja tehostaa tuottavuutta, koska kappale saadaan kerralla valmiiksi. Sillä voidaan myös valmistaa kappaleita, joiden valmistaminen olisi muuten todella hankalaa.



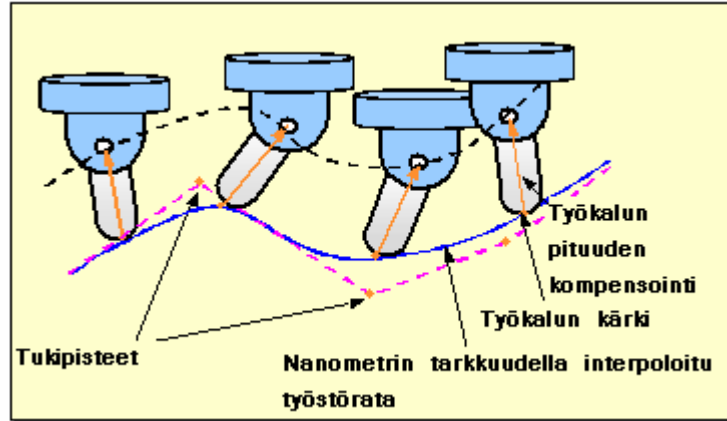
Kuva 10. Kappaleen valmistusta viisiakselisella jyrsinnällä (CNC Series 30i/31i/32i).

4.5 Tarkat Nano CNC ohjaukset

Fanucilla on osassa ohjauksista Nano CNC-toiminto, joka interpoloi liikkeiden välille enemmän pisteitä kuin tavanomaiset ohjaukset. Pisteet interpoloidaan nanometrin tarkkuudella. Näillä Nano CNC ohjauksilla saadaan aikaan hyvä mittatarkkuus ja pinnanlaatu työstettävälle kappaleelle. Nano CNC ominaisuutta voidaan käyttää myös viisiakselisessa koneistuksessa ja vapaita muotoja valmistettaessa NURBS-käyrien avulla. Tarkkaan työstöön tarkoitetut ohjaukset vaativat toimiakseen myös tarkemmat servot ja pulssianturit työstökoneeseen. Fanucilla on tarjolla tarkkuuskoneistukseen tarkoitettuja servomoottoreita ja servovahvistimia. Nano CNC toiminnot löytyvät 16-Model B ohjauksista lisävarusteena, ne ovat vakiona 18i-MB5-, 30i- ja 31i-A5-ohjauksissa, mutta puuttuvat 21i- ja 32i-ohjauksista. (High Precision Nano CNC System.)

30i- ja 31i-ohjauksissa on tehokkaampi laskentakyky kuin 16i/18i-ohjauksissa. Interpolointi on nopeampaa ja tästä syystä tarkkuustyöstön nopeutta voidaan lisätä. Pienet tarkkuutta vaativat kappaleet voidaan valmistaa aiempaa nopeammin (High Precision Nano CNC System.) Muun muassa 31i-ohjausta käytetään tarkkuuskoneistuksessa kello- ja koruteollisuudessa (CNC News 2/2007, s. 4-5).

Nano CNC ominaisuuden yhteydessä esitellään usein myös Nano Smoothing-ominaisuus. Käytännössä se ei ole erillinen ominaisuus, vaan tarkoittaa NURBS-käyrien työstöä nanometrin tarkkuudella Nano CNC-toiminnolla. Kuvassa 11 on esitelty Nano Smoothing-ominaisuuden periaate. CAD/CAM-ohjelmistolla on luotu vapaamuotoinen käyrä muutaman tukipisteen avulla. Pisteet siirretään työstöohjelman mukana ohjauksen ohjelmamuistiin. Työstöohjelmaa ajettaessa ohjaus interpoloi tukipisteiden välille halutun muotoisen käyrän nanometrin tarkkuudella. Työkalu saadaan kulkemaan tarkasti haluttua rataa pitkin. (Nano Smoothing 2004.)



Kuva 11. NURBS-käyrän työstö Nano Smoothing toiminnolla (Nano Smoothing 2004).

Nano CNC toimintoa käyttäen työstettävälle kappaleelle saadaan hyvä mittatarkkuus ja pinnanlaatu. Tämän ansiosta jälkikäsittelyjä, joita muuten pitäisi tehdä, ei välttämättä enää tarvita. Näin säästyy aikaa ja välttyään jälkikäsittelyn aiheuttamilta kustannuksilta. Mikäli halutaan tehdä tarkkuustyöstöä, ilman että työstöradan pisteiden tiheä interpolointiväli hidastaa työstöä, kannattaa valita 30i- tai 31i-A5-ohjaus niiden tehokkaan laskentakyvyn ansiosta. (Nano Smoothing 2004.)

4.6 Avoimet järjestelmät

Viime vuosina ohjausten valmistajat ovat kehittäneet avoimia järjestelmiä (Open Systems), joissa voidaan käyttää muidenkin valmistajien kaupallisia ohjelmistoja ja oheislaitteita. Myös Fanuc on kehittänyt avoimia CNC järjestelmiä, joista käytetään nimeä Open CNC. Näissä järjestelmissä on mahdollista käyttää muitakin kuin Fanucin toimittamia ohjelmia ja oheislaitteita. Fanucin ohjauksissa avoimen järjestelmän mahdollistaa ohjauksen yhteyteen liitetty tietokone, jossa on Windows käyttöjärjestelmä. Tietokoneen käyttöjärjestelmä tarjoaa korkeatasoisen käyttöliittymän koneen ja käyttäjän välille. Avoimissa järjestelmissä Fanucilla ei ole patenttioikeutta tietokoneen toimintoihin, joten tietokoneen yhteydessä on mahdollista käyttää muitakin kuin Fanucin valmistamia ohjelmistoja ja laitteita. Muun muassa työstökonevalmistajat voivat tehdä ohjelmistoja, jotka ovat räätälöity nimenomaan tietyille koneelle. Ohjaukseen voidaan tietokoneen toimintojen ansiosta liittää ylimääräisiä kiintolevyjä ja cd-asemia, multimedialaitteita, tietokantoja, antureita, verkkoyhteyksiä,

konenäkösovellutuksia, ynnä muuta. Ajureiden ja ohjelmointikirjastojen avulla tietoa voidaan lähettää molempiin suuntiin tietokoneen ja numeerisen ohjauksen välillä. Tietoa voidaan kerätä muun muassa akseleiden ja karan asemasta sekä niiden liikenopeudesta. Tiedot voidaan tallentaa ja käyttää hyödyksi myöhemmin. (Integrated PC Function.)

Yhdistetyssä numeerisessa ohjauksessa ja tietokoneessa on useita etuja pelkkään numeeriseen ohjaukseen verrattuna. Mikä tahansa laitteistovalmistaja voi tehdä tuotteita, jotka on mahdollista liittää avoimeen järjestelmään. Ohjauksen valmistajalla ei siis ole yksityisoikeutta ohjauksen lisävarusteisiin. Ohjelmistoja ja käyttöliittymää on mahdollista muokata ja lisälaitteiden asennus helpottuu. Tietokoneella on tehokas laskentakyky, joten toimintojen suoritus nopeutuu. Tietokoneen ja numeerisen ohjauksen välillä on mahdollista lähettää suuria määriä tietoa nopeasti. Koska yhdistetyssä tietokoneessa ja ohjauksessa on tietokoneen ominaisuudet ohjauksessa itsessään, saadaan silloin tietokone aivan työstökoneen äärelle. Tämä mahdollistaa helpomman CAD/CAM ohjelmistojen käytön, työstöohjelmien editoimisen, työkalujen kulumisen hallinnan, muuttujien tarkkailun, hyvät verkkoyhteydet ja käyttöhistorian tarkkailun. Työstöohjelmat saadaan siirrettyä nopeasti kiintolevyltä tai verkosta ohjelmamuistiin. (Integrated PC Function.)

4.6.1 Fanucin avoimien järjestelmien i-versiot

Fanuc 160i/180i/210i-ohjaukset ovat Open CNC versioita sarjasta 16i/18i/21i. Vastaavasti Fanuc 300i/310i/320i ovat 30i/31i/32i-ohjausten Open CNC versioita. Edellä mainituissa Open CNC-ohjauksissa on erillinen CNC-yksikkö, joka on yhteydessä näyttölaitteeseen sarjaliitännän kautta. Näyttölaitteessa on sisäänrakennettuna tietokoneen toiminnot. Käyttöjärjestelmänä toimivat joko Windows XP tai Windows 2000. (Fanuc 16i/18i/21i/160i/180i/210i - Model B esite.)

160i/180i/210i B-sarjan & 300i/310i/320i näyttölaitteessa on sisäänrakennettuna tietokone, joka on toteutettu tietokonekomponenteilla. Prosessorina on Intel Celeron/Pentium. Muistia voi olla jopa 512 MB ja kiintolevytilaa 40 GB. Kiintolevyn ansiosta ohjaimessa on mahdollista säilyttää ja käyttää lisäohjelmistoja. Näyttölaitteessa on myös USB-liitäntä, joka esimerkiksi mahdollistaa ohjelmien tuonnin järjestelmään USB-muistitikulla. (CNC Controls.)

4.6.2 Fanucin avoimien järjestelmien is-versiot

Ohjaukset 160is/180is/210is & 300is/310is/ 320is ovat myös avoimia järjestelmiä. Erona i- ja is-ohjauksissa on käyttäjärjestelmä. Käyttäjärjestelmänä is-ohjauksissa toimii teollisuuskäyttöön suunniteltu Windows CE 3.0, joka ei tarvitse erillistä kiintolevyä. Se on vakaampi kuin Windows 2000 tai XP. Koska ohjauksessa ei ole kiintolevyä, kestää se paremmin rajuakin käyttöä ja kuluttavaa teollisuusympäristöä. is-ohjaukset voivat olla toteutettu erillisillä CNC -yksiköillä ja näyttölaitteilla tai ne voivat olla yhteen integroituna (kuvassa 12). (Fanuc 16i/18i/21i/160i/180i/210i - Model B Esite.)



Kuva 12. Open CNC:n toteutustapoja (Fanuc 16i/18i/21i/160i/180i/210i - Model B Esite).

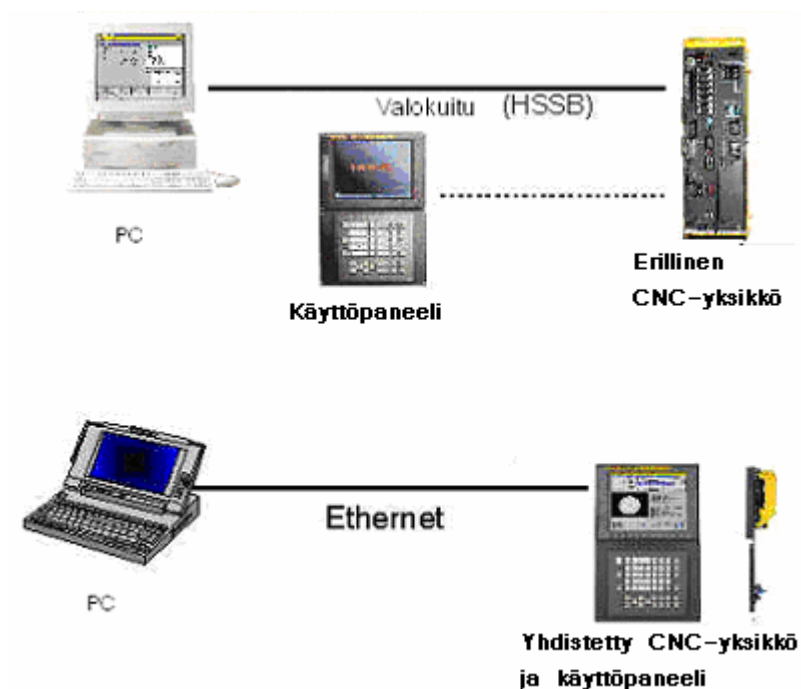
Mikäli tietokoneen toiminnot ovat sisäänrakennettuna näyttölaitteeseen 160is/180is/210is & 300is/310is/320is-ohjauksissa, käytetään niissä silloin HITACHI SH-4 prosessoria. Muistia on 64 tai 128 MB ja ohjelmamuisti on toteutettu CompactFlash -muistikortilla. (CNC Controls.)

Jos is-sarjan komponentteja verrataan kappaleessa 4.6.1 esiteltyyn i-sarjaan, huomataan että is:n komponentit ovat suorituskyvyltään vaatimattomampia. Fanucin mukaan suorituskykyä haettaessa kannattaakin valita i-sarja ja toimintavarmuutta haettaessa is-sarja.

4.6.3 Ulkopuolisen tietokoneen liittäminen ohjaukseen

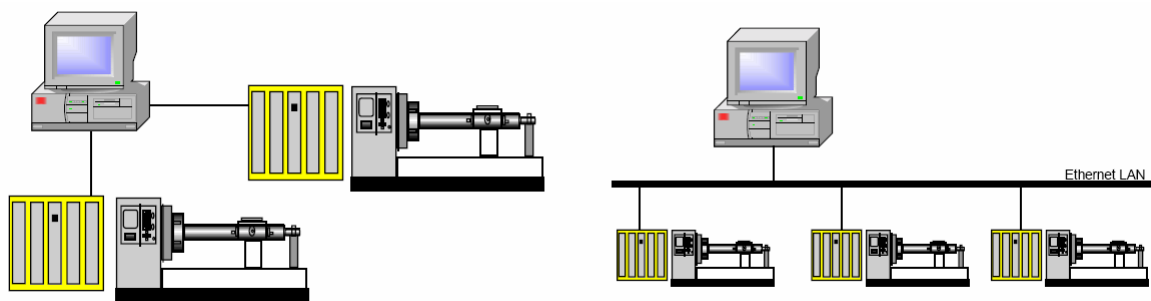
Ohjauksiin on mahdollista liittää ulkopuolinen tietokone, mikäli ohjain itsessään ei sisällä tietokoneen ominaisuuksia. Ulkopuolinen tietokone on mahdollista liittää sarjaportin kautta tai ethernet-yhteyden välityksellä. Ethernet-yhteyden avulla voidaan muodostaa hyvinkin laajoja ja monimutkaisia verkkoja. Kehittyneissä järjestelmissä työstökoneita voidaan hallita jopa internetin välityksellä.

Kuvassa 13 on esitelty erilaiset mahdollisuudet ulkopuolisen tietokoneen kytkemiseksi numeeriseen ohjaukseen. Kuvan yläreunassa tietokone on liitetty sarjaväylän kautta erilliseen numeeriseen ohjausyksikköön. Numeerinen ohjausyksikkö on yhteydessä käyttöpaneeliin. Kuvan alareunassa tietokone on liitetty ethernet-yhteyden välityksellä numeeriseen ohjaukseen, jossa itsessään on näyttö ja näppäimistö.



Kuva 13. Ylhäällä on ulkopuolinen tietokone valokuidulla liitettynä ja alhaalla ethernet-yhteyden välityksellä liitettynä (FANUC 15i/16i/18i/21i).

Ohjauksissa 16i/18i/21i ja 30i/31i/32i ei itsessään ole tietokoneen toimintoja. Niihin on kuitenkin mahdollista liittää tietokone sarjaportin tai ethernet-yhteyden kautta. Kuvassa 14 on esitelty kaksi eri tapaa kuinka yhdellä tietokoneella voidaan hallita jopa kahdeksaa numeerista ohjausta. Vasemmalla puolen ohjaukset on liitetty tietokoneeseen sarjaväylän välityksellä. Oikealla puolen tietokone on ethernet-yhteyden kautta yhteydessä työstökoneiden ohjauksiin. Yhdellä tietokoneella useaa numeerista ohjausta hallittaessa ei jokaiselle työstökoneelle tarvita omaa näyttölaitetta. (Fanuc Open CNC.)



Kuva 14. Vasemmalla tietokone liitettynä sarjaväylän kautta numeerisiin ohjauksiin ja oikealla ethernet-yhteyden välityksellä liitettynä (Fanuc Open CNC).

4.7 Focas

Focas sisältää ajurit ja ohjelmointikirjastot, joiden avulla voidaan luoda yhteys tietokonepohjaisiin NC-järjestelmiin. Sen ajureilla saadaan perusyhteys tietokoneen ja numeerisen ohjauksen välille. Focasia käytetään yhteyden muodostamiseen ohjauksissa joissa tietokone on sisäänrakennettuna tai ulkopuolista tietokonetta käytettäessä. Ohjelmointikirjastot sisältävät yli 300 erilaista toimintoa, joita voidaan käyttää Microsoft Visual C++ tai Visual Basic-ohjelmoinnissa. Näiden avulla muun muassa työstökonevalmistajat voivat tehdä räätälöityjä ohjelmia tarvittavaan käyttökohteeseen. Työstökonevalmistajat voivat muovata käyttöliittymän käytettävälle työstökoneelle juuri sopivaksi. (Focas.) Focasista on olemassa kaksi versiota, Focas 1 ja 2. Focas 2 on käytössä FS 300i/310i/320i-ohjauksissa ja muissa käytetään Focas 1:tä (Focas Documents).

Focasin mukana oleva kirjasto ”CNC/PMC Data Window Library” mahdollistaa tiedon siirron tietokoneen, numeerisen ohjauksen ja työstökoneen sovitussosan välillä. Tietoa saadaan siirrettyä sarjaväylän tai ethernet-yhteyden kautta. Kirjastoa voidaan käyttää useissa eri Windows-käyttöjärjestelmissä. Sen toimintojen avulla voidaan vastaanottaa ja lähettää tietoa akseleiden ja karojen paikoituksesta ja nopeuksista. Tietoa saadaan myös toimintojen ja hälytysten historiasta. Näiden tietojen avulla voidaan tarkastella muun muassa vikatilanteita ja niiden aiheuttajaa. Työstökonevalmistajien kannalta hyödyllisiä toimintoja ovat tiedonsiirto tietokoneen ja työstökoneen sovitussosan välillä. (Focas.)

4.8 Manual Guide työstökoneen käytön apuna

Työstökoneohjauksen käytön helpottamiseksi on Fanuc kehittänyt Manual Guide ohjelman, joka opastaa käyttäjänsä työstöohjelman teossa. Työstöohjelmat voidaan tehdä suoraan ohjaimelle Manual Guiden avulla tai ne voidaan siirtää CAD/CAM ohjelmista. Siirretyt ohjelmat ovat vapaasti muokattavissa Manual Guidella. Luodut ohjelmat voidaan muuttaa perinteisiksi ISO-standardin mukaisiksi työstöohjelmiksi. Manual Guide opastaa myös työkalujen ja työstettävien kappaleiden mittaamisessa. Työstöradat voidaan simuloida ja tarkastaa. Fanuc 30i/31i/32i-ohjauksissa simulointi voidaan tehdä samaan aikaan, kun toinen kappale on valmistettavana. Jos työstökoneessa on käytössä useita työkaluja yhtä aikaa, voidaan niiden työstöradat tarkastaa Manual Guidella, ettei synny törmäyksiä. (Manual Guide i.)

Manual Guidella saadaan työstökoneen käyttöä helpotettua. Käyttäjäystävällisyyden ansiosta työstökoneen käyttö on nopeampaa ja vaivattomampaa. Varsinkin jos kappaleeseen joudutaan tekemään pieniä muutoksia tuotannon aikana, on Manual Guide hyvä apuväline. (Manual Guide i.)

4.9 Turvallisuutta lisäävät toiminnot

Ohjauksen ominaisuudet, jotka parantavat työturvallisuutta eivät suoraan lisää tuottavuutta. Työturvallisuutta parantavilla ominaisuuksilla on kuitenkin epäsuora yhteys tuottavuuteen, koska niillä saadaan vähennettyä sairauspoissaoloja. Myös toiminnoilla, jotka ehkäisevät koneen vaurioitumista, saadaan ehkäistyä turhia tuotantokatkoksia ja siten välttyään turhilta

kuluilta. Tärkein tavoite on, että mahdollinen törmäys saadaan ehkäistyä. Turvallisuus näkökohdat ovat koko ajan tulleet tärkeimmiksi ja myös Fanucin ohjauksiin on kehitetty toimintoja, jotka parantavat koneen ja käyttäjän turvallisuutta (CNC technology for higher productivity 2007.)

Törmäystarkasteluilla saadaan ehkäistyä turhia törmäyksiä ja koneen tai työkalun vaurioituminen. Koneenkäyttäjän on vaikea seurata nopeaa ja monimutkaista koneen toimintaa. Varsinkin viisiakselisessa työstössä, joissa on monimutkaiset työstöradat törmäyksen mahdollisuus on suuri. Manuaalinen koneen pysäytys ennen törmäystä on käytännössä mahdotonta toteuttaa. Tästä syystä on kehitetty ohjelmallisia toimintoja, joilla törmäykset saadaan vältettyä. 30i- ja 31i-ohjauksissa on ”3D Interference Check” työkalu, jolla työstökonevalmistaja ja koneenkäyttäjä voivat määritellä kaikki pisteet, joissa tapahtuisi törmäys. Ohjelmalla määritellään kielletyt alueet, joille liikkeet eivät saa ulottua. (CNC technology for higher productivity 2007.)

5 FANUCIN UUSIA OHJAUKSIA KÄYTÄNNÖN SOVELLUSKOHTEISSA

Italialainen Riello Machine on työstökonevalmistaja, joka käyttää työstökoneissaan Fanucin uusia ohjauksia. Työstökonevalmistaja on tunnettu erikoistyöstökoneiden valmistuksesta. Valmistajan mukaan koneet soveltuvat etenkin korkealaatuisten tuotteiden massavalmistukseen. Riello Macchinen valmistama mc2 700TT-koneistuskeskus käyttää Fanucin 300i-ohjausta. Koneistuskeskus on kuvassa 15. Sillä voidaan tehdä viisiakselista työstöä kahdella eri työkalukaralla. Kahta kappaletta voidaan siis valmistaa yhtä aikaa. Molemmille kappaleille voidaan käyttää omia työstöohjelmia. Työkalukarat on asetettu koneeseen peilikuvana toisiinsa nähden. Molemmilla puolilla koneessa on 40-paikkainen työkalumakasiini. (CNC News 2/2007, s. 13.)



Kuva 15. Riello Macchine mc2 700TT-koneistuskeskus, jossa on käytössä Fanuc 300i-ohjaus (Gruppo Riello Sistemi).

Numeerisen ohjauksen näkökulmasta mc2 700TT on täysin symmetrinen molemmin puolin. Molemmilla puolilla on seitsemän ohjattua akselia sekä työkalukara. Koneessa on siis molemmilla puolilla kolme lineaariakselia, kaksi kääntyvää akselia pyörityspöydälle ja kaksi muuta akselia työkalun vaihdolle. Koneen ohjauksena oleva 300i käyttää kahta työstöohjelmaa, joista kumpikin ohjaa omaa puoltaan koneesta. CNC-yksikkö on valokuidulla yhteydessä Fanucin valmistamaan teollisuustietokoneeseen. Numeeriseen ohjaukseen yhdistetyn tietokoneen ansiosta Riello Macchine on voinut tehdä työstökoneelle omat ohjelmistot. Räätelöityjen ohjelmistojen ansiosta käyttöliittymä saadaan muokattua juuri asiakkaan tarpeita vastaavaksi. (CNC News 2/2007, s. 13.)

Riello Macchinen mukaan Fanuc 300i-ohjaukseen on päädytty siksi, koska sillä saavutetaan vaadittu tarkkuus ja tuottavuus. Muun muassa ohjauksessa olevan nano CNC toiminnon ansiosta voidaan tehdä tarkkaa työstöä ilman, että työstöaika pitenee. Kappaleiden nopea valmistusaika on välttämätöntä massavalmistukseen tarkoitetuille työstökoneille. (CNC News 2/2007, s. 13.)

Saksalainen työstökonevalmistaja Chiron-Werke käyttää myös työstökoneissaan Fanuc ohjauksia. Chiron-Werken valmistama Chiron FZ 08K Magnum suurnopeuskoneistuskeskus on hyvin suosittu kello- ja koruteollisuudessa. Viisiakseliseen sorvaukseen ja jyrskintään

tarkoitettussa koneistuskeskuksessa on käytössä Fanuc 31i-A5 ohjaus. Työstökoneen etuna on valmistajan mukaan se, että sillä saadaan valmistettua pieniä kappaleita tarkasti ja nopeasti alhaisin kustannuksin. Ennen työstökoneessa oli käytössä 18i-MB5-ohjaus. Se kuitenkin päätettiin vaihtaa 31i-A5-ohjaukseen, koska koneeseen lisättiin yksi ylimääräinen kara. Lisätyn karan myötä ohjattujen akselien määrä koneessa kasvoi kahdeksaan ja vanha 18i-MB5 ohjaus pystyi ohjaamaan vain seitsemää akselia. Chiron-Werkessä ollaan tyytyväisiä ohjauksen vaihdokseen, koska uusi 31i-A5-ohjaus soveltuu viisiakseliseen työstöön paremmin kuin edeltäjänsä. (CNC News 2/2007, s. 4-5.)

Edellä esitellyistä sovelluskohteista huomataan, että työstökoneet ovat perinteisistä työstökoneista kehittyneempiä. Tällaisissa koneissa Fanucin uusien ohjausten 30i/31i/32i edut pääsevät esille parhaiten. Uudet ohjaukset on valittu työstökoneisiin harkiten. Chiron-Werke vaihtoi ohjauksen uudempaan vasta sitten, kun se oli tarpeellista koneeseen tehtyjen muutosten vuoksi. Muuten työstökone olisi toiminut riittävän hyvin vanhemmalla 18-MB5-ohjauksella. Riello Macchine päätyi Fanucin uuteen 300i-ohjaukseen sen Open CNC toimintojen ansiosta, ohjattavien akselien suuren määrän vuoksi ja koska koneella suoritetaan viisiakselista työstöä.

6 FANUCIN MUITA TUOTTEITA TYÖSTÖKONEISIIN

Fanucilla on tarjolla myös 0i-ohjauksia. Ne ovat vaatimattomampia ja edullisempia kuin 16i/18i/21i-sarjan ohjaukset. Ohjattujen akselien määrä on vähäinen ja Fanuc luokittelee 0i-sarjan ”aloittelijataso” ohjaukseksi. Fanuc on kehittänyt ne lähinnä Aasian markkinoita varten. 0i-sarjan ohjaus on sopiva valinta vaatimattomampaan sovelluskohteeseen, kun ei haluta sijoittaa kalliimpaan ohjaukseen. Fanucilla on myös 15-sarjan ohjaukset. Fanuc 15i on tehokas ohjaus suurnopeus- ja tarkkuustyöstöön. 15i soveltuu etenkin lentokone- ja autoteollisuuden käyttöön. Sen Open CNC versio on 150i. (Fanuc CNC Controls.)

Työstökoneohjauksiin on saatavilla Fanucin valmistama käsikäyttöinen työstöradan seurannan ohjainlaite. Sen avulla työstörataa voidaan seurata työstöohjelman mukaisesti joko eteen- tai taaksepäin halutulla nopeudella. Laitteen avulla koneenkäyttäjä voi helposti tarkastaa

monimutkaisen työstöradan ohjaamalla työstökoneetta käsiajolla. Laite on saatavilla 30i/31i/32i-ohjauksiin. (Manual Handle Retrace 2007.)

Fanucilla on ohjausten lisäksi työstökoneisiin myös servovahvistimia ja servomoottoreita. Servomoottoreita on kuularuuveille ja karoille. α -sarjan servomoottorit ja -vahvistimet on tarkoitettu nopeaan tarkkuuskoneistukseen. Servomoottoreissa on tarkat pulssianturit, joiden resoluutio on 16 000 000 pulssia/kierros. Kun tarkat servomoottorit ja -vahvistimet yhdistetään Nano CNC-ohjaukseen, saadaan aikaan hyvin tarkka työstötapahtuma. β -sarjan servomoottorit ja -vahvistimet ovat edullisempia versioita α -sarjasta. β -sarja on tarkoitettu α -sarjan ohjauksiin. Niissä pulssiantureiden resoluutio on 128 000 pulssia/kierros. (Alpha Machinex.)

7 TYÖSTÖKONEOHJAUSTEN KEHITYS TULEVAISUUDESSA

Fanucin Euroopan varapääjohtajan mukaan pääsyy työstökoneiden monimutkaistumiseen ja ohjausten toimintojen lisäämiseen on se, että kalliita työvoimakustannuksia saadaan laskettua. Tämä suuntaus on etenkin Euroopassa. (CNC technology for higher productivity 2007.) Myös Suomessa on suuntaus ihmisen tekemän työn vähentämiseen. Automatisoinnilla saadaan ihmisen työn osuutta vähennettyä ja säästetään työvoimakustannuksia. Ylipäätään kaikki sellaiset toiminnot, joilla saadaan vähennettyä valmistuksesta aiheutuvia kustannuksia tulevat lisääntymään. Työstökoneista kehitetään yhä nopeampia ja tarkempia. Työstökoneiden kehitys lisää tarvetta uudemmille ja tehokkaammille ohjauksille. Automaatiota voidaan lisätä muun muassa tuotantosoluilla. Yhdistämällä työstökoneeseen automaattinen kappaleenkäsittelylaitteisto saadaan kappaleen valmistus hyvin pitkälle automatisoitua. Tällaiset tuotantosolut tulevat todennäköisesti yleistymään jatkossakin. (Pajunen-Muhonen & Korpiharju & Sylvänne 2004.)

Monissa nykyaikaisissa laitteissa alkaa olla adaptiivisia toimintoja, jotka reagoivat prosessissa tapahtuviin muutoksiin. Myös työstökoneohjauksissa tullaan tulevaisuudessa todennäköisesti näkemään enemmän adaptiivisia toimintoja. Käytännössä tämä voisi tarkoittaa sitä, että

työstökoneen ohjaus tarkkailee työstössä tapahtuvia muutoksia ja muuttaa työstöparametreja oikeaan suuntaan. (Adaptive Controller 2007.)

Tietokonepohjaiset avoimet järjestelmät tulevat myös todennäköisesti yleistymään. Avoimissa järjestelmissä on hyvä muunneltavuus, joten ne ovat siten hyvin joustavia. Työstökoneet ja prosessit monimutkaistuvat jatkuvasti. Siksi ohjausten helppo muunneltavuus on tärkeää. Avoimen järjestelmän muunneltavuus on vain mielikuvituksesta kiinni. Sen avulla saadaan tulevaisuudessa toteutettua yhä vaivattomammin erikoissovellutuksia. (Research of Software Open-CNC System.)

8 OMINAISUUKSIEN VERTAILU

Fanuc ohjausten ominaisuuksien tarkastelun perusteella 16i/18i/21i-ohjaukset menettelevät hyvin perinteisissä CNC-koneissa. Fanuc 30i/31i/32i-ohjaukset tulevat valintaa tehdessä kyseeseen silloin, kun ohjataan monimutkaisempia koneita tai vanhaa ohjausta halutaan jostain syystä päivittää uudempaan. 30i/31i/32i-ohjausten suurimmat edut ovat hyvä suorituskyky ja runsas ohjattujen akseleiden määrä. Ohjausten Open CNC-versioita tarvitaan silloin, kun ohjauksesta halutaan vapaammin muokattava. Varsinkin monimutkaisissa työstökonesovelluksissa on monesti käytössä Open CNC-ohjaus, koska silloin voidaan tehdä juuri sille koneelle sopiva ohjelmisto. Monet tarjolla olevat ohjausten apuohjelmistot ovat tarkoitettu lähinnä työstökonevalmistajien käyttöön, eikä niistä ole hyötyä tavallisessa konepajakäytössä. Ohjelmien avulla työstökonevalmistajat saavat yhteen sovitettua ohjauksen helpommin työstökoneeseen. Tavallisessa suomalaisessa konepajassa avoimia järjestelmiä voidaan hyödyntää esimerkiksi liittämällä työstökoneiden numeeriset ohjaukset osaksi tuotannonohjausjärjestelmää. Avoimia järjestelmiä voi olla konepajakäytössä myös silloin, kun käytetään jotain erikoissovellutukseen tarkoitettua kehittyneempää työstökonetta. Työstökonevalmistaja on silloin toimittanut työstökoneen siihen soveltuvalla erikoisohjelmistolla.

Kun työstökoneen numeeriseen ohjaukseen liitetään tietokoneen toimintoja sekä verkkoyhteydet, ei sillä välttämättä saada suoranaisesti tehostettua itse lastuamistapahtumaa. Tietokoneen toimintojen avulla saadaan kuitenkin tehostettua koko tuotantoketjua, koska

tietojen siirto ja koneiden hallinta on entistä helpompaa. Työnjohto voi tarkkailla tuotannon etenemistä reaaliaikaisesti ja tiedot eri työpisteiltä saadaan ilman, että sinne pitäisi henkilökohtaisesti mennä. Näin saadaan säästettyä aikaa ja käytettyä se tehokkaammin. Avoimissa järjestelmissä työstökoneet on helpompi liittää osaksi tuotannonohjausta. Kappaleiden valmistumista voidaan seurata reaaliaikaisesti. Silloin tiedetään koko ajan missä vaiheessa tuotanto on menossa. Myös koneen käyttäjien työ helpottuu, kun koneista saadaan käyttäjäystävällisempiä työtä helpottavien ohjelmistojen ansiosta. Oheislaitteita ja ohjelmistoja voi saada avoimeen järjestelmään edullisemmin, koska ne eivät ole sidottuja Fanucin patenttioikeuksiin.

Kun halutaan valmistaa vapaita muotoja, pitää valita ohjaus joka tukee viisiakselista työstöä. Viisiakselinen työstö vaatii ohjaukselta tehokasta laskentakykyä. Varsinkin tarkkuustyöstössä, kun työstetään monimutkaisia muotoja ja interpolointiväli on tiheä, tarvitaan hyvää laskentatehoa. Mikäli työstökone on tarkoitettu pelkästään viisiakseliseen työstöön, kannattaa silloin valita ohjaus jossa on tehokas laskentakyky. Vanhemmillakin ohjauksilla viisiakselinen työstö on mahdollista, mutta uudemmilla saadaan kappaleet valmistettua tehokkaammin. Parhaita ohjauksia viisiakseliseen työstöön olisivat 30i tai 31i-A5.

Tietyissä tapauksissa vaihtamalla työstökoneeseen uudempi ohjaus voidaan parantaa tuottavuutta. Uutta ohjausta kannattaa harkita muun muassa silloin, kun koneella tehdään tarkkuuskoneistusta. Uudemmissa ohjauksissa on nopeampi laskentakyky kuin vastaavissa vanhemmissa versioissa. Tästä syystä tietyissä tapauksissa voidaan saavuttaa nopeampi kappaleen valmistusaika uudemmalla ohjauksella. Kaikissa tapauksissa tehokkaammalla ohjauksella ei kuitenkaan voida parantaa koneen suorituskykyä. Esimerkiksi jos työstökoneessa on 8 akselia, 2 karaa ja käytössä on ohjaus 21i. Vaihtamalla koneen ohjaukseksi 30i, ei etua välttämättä saavuteta. Syynä on se, että 21i pystyy suoriutumaan kaikista tehtävistä, mitä työstökone vaatii. Ohjauksen 30i edut pääsevät parhaiten esille vasta silloin, kun on käytössä sellainen työstökone, jossa on useampia akseleita ja karoja. Tällöin voidaan valmistaa vaikka useampia tuotteita yhdenaikaisesti.

Otetaan esimerkkinä tilanne, jossa työstökoneessa on 8 akselia, 2 karaa ja 21i-ohjaus. Sillä voidaan valmistaa kahta kappaletta samanaikaisesti. Toisessa työstökoneessa on 30i-ohjaus ja siinä on suurin mahdollinen määrä ohjattuja akseleita ja karoja, eli 40 akselia ja 8 karaa. Tällä koneella voidaan valmistaa kahdeksaa kappaletta yhdenaikaisesti. Kone, jossa on 30i-ohjaus, on siis neljä kertaa tuottavampi, kuin kone jossa on 21i-ohjaus. Esimerkin koneen, jossa on jo 21i-ohjaus, tuottavuutta ei kuitenkaan saada lisättyä vaihtamalla siihen 30i-ohjaus, koska sen täydet tehot saadaan irti jo 21i-ohjauksella. On siis kustannustehokkuuden kannalta tärkeää, että jokaisessa työstökoneessa on sille soveltuva ohjaus.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Koska valtaosa tässä työssä käytetyistä lähteistä on Fanucin kaupallisia esitteitä ja mainoksia ohjausten ominaisuuksista, on ne luonnollisesti tarkoitettu edistämään Fanucin tuotteiden myyntiä. Ohjausten paremmuutta on vaikea määrittellä, jos ei tiedetä missä sovelluskohteessa se on käytössä. Kahdesta ohjauksesta toinen voi olla parempi tietyssä sovelluskohteessa, mutta onkin sitten huonompi toisessa. Työstökoneen ohjausta valittaessa on tärkeintä, että ohjaus vastaa ominaisuuksiltaan työstökoneen ja käyttökohteen vaatimuksia. Ohjauksessa pitää olla riittävästi ominaisuuksia, jotta työstökoneen vaatimat toiminnot saadaan suoritettua. Hyvä ohjaus yksinään on kuitenkin hyödytön, mikäli käytössä ei ole sellaista työstökoneita, joka pystyy hyödyntämään ohjauksen ominaisuudet. Ei siis kannata valita turhan kehittyneitä ohjausta sellaiseen käyttökohteeseen, jossa pärjättäisiin vähemmilläkin ominaisuuksilla. Jos ohjauksessa on sellaisia ominaisuuksia, joita ei voida käyttää, maksetaan niistä turhaan. Mahdolliset työstökoneen muutokset tulevaisuudessa kannattaa kuitenkin huomioida ohjausta valittaessa, etteivät muutokset heti johda siihen että ohjaus pitää vaihtaa. Jos on jo etukäteen tiedossa, että työstökoneeseen saattaa tulla esimerkiksi lisää ohjattuja akseleita, kannattaa silloin valita sellainen ohjaus, johon akselien lisääminen on mahdollista.

10 YHTEENVETO

Numeerisen ohjauksen tehtävänä on suorittaa kaikki samat toiminnot, jotka manuaalisesti ohjatussa koneessa käyttäjä muuten suorittaisi. Ohjaus koostuu laitteistosta ja ohjelmistosta. Numeeriselle ohjaukselle annetaan toimintaohjeet kappaleen valmistamiseksi työstöohjelmalla. Se sisältää kaikki tarpeelliset tiedot kappaleen valmistamiseksi. Työstökoneessa pitää olla mittausjärjestelmä, jotta työkalujen paikoittaminen on mahdollista. Takaisinkytkentää käyttäen servot saavat paikoitettua työkalun haluttuun asemaan. Ohjauksen interpolointiohjelma laskee työstöohjelman pisteiden perusteella servoille liikenopeudet, jotta työkalu saadaan kulkemaan haluttua rataa. Työkalukorjaimien avulla työkalun liikerata saadaan kompensoitua oikeaksi.

Työstökoneiden kehityksen ja monimutkaistumisen myötä ovat myös niiden ohjaukset monimutkaistuneet. Eniten kehitystä on tapahtunut ohjattujen akseleiden määrässä, käyttäjäystävällisyyden paranemisessa ja tietoteknisissä ominaisuuksissa. Fanucilla on tarjolla eritasoisia ohjauksia erilaisiin käyttökohteisiin soveltuena. Ohjaukset on esitelty sarjoina. Fanuc 16i/18i/21i-sarjan ohjaukset soveltuvat hyvin perinteiselle CNC sorveille ja jyrsimille, mutta ovat kuitenkin kehittyneempiä kuin 0i-sarjan ohjaukset. Fanuc 30i/31i/32i-sarjan ohjaukset ovat kaikkein kehittyneimpiä Fanucin ohjauksista. Niillä voidaan hallita useita akseleita ja karoja. 30i/31i/32i-ohjaukset soveltuvat vaativampiin käyttökohteisiin ja yhdistelmäkoneisiin.

Fanuc 30i/31i/32i-ohjausten tehokas laskentakyky pääsee parhaiten esille tarkkuustyöstössä sekä viisiaksellisessa työstössä. Työstöradan pisteiden tiheä interpolointiväli ja useiden akseleiden ohjaus monimutkaisia työstöratvoja pitkin vaativat ohjaukselta laskentatehoa. Tehokkaan laskentakyvyn ansiosta työstönopeus on hyvä, vaikka tehtäisiin monimutkaista tarkkuustyöstöä. Hyvän laskentakyvyn ansiosta työstöradan laskenta ei ole työstönopeutta rajoittava tekijä.

Nykyaikaiset työstökoneohjaukset ovat yhä useammin avoimia järjestelmiä. Tämä tarkoittaa sitä, että numeeriseen ohjaukseen on mahdollista liittää muitakin kuin ohjauksen valmistajan ohjelmistoja ja oheislaitteita. Tämän ansiosta järjestelmää voidaan muokata vapaasti. Avoimen

järjestelmän mahdollistaa numeerisen ohjauksen yhteyteen liitetyt tietokoneen ominaisuudet. Tietokone voi olla ohjauksen mukana itsessään. Fanucin 160/180/210- & 300/310/320-ohjaukset ovat avoimia järjestelmiä, joissa on mukana tietokone. Edellä mainituista ohjauksista on i- ja is-versiot, joiden suurimpana eroina ovat eri käyttöjärjestelmät. Myös ulkopuolisen tietokoneen liittäminen järjestelmään on mahdollista. Yhteys tietokoneen ja numeerisen ohjauksen välille saadaan muodostettua Focasin ajureilla. Numeerinen ohjaus on mahdollista liittää osaksi suurempaa tietokoneverkkoa ethernet-yhteyden välityksellä.

LÄHDELUETTELO

Adaptive Controller. [verkkojulkaisu] päivitetty 2/2007. [viitattu 21.1.2008] saatavissa:

<http://maja.uni-mb.si/files/apem/APEM2-1_18-27.pdf>

Alpha Machinex. FANUC Series 16i / 18i / 21i -MODEL B. [www-sivuilla]. [viitattu

6.12.2007]. saatavissa: <<http://retrofitcnc.com/site/FANUCSeries16i18i21i.php>>

Automatical Tool Nose Radius Compensation. [Fanucin www-sivuilla]. Päivitetty 4/2006.

[Viitattu 5.12.2007]. saatavissa:

<http://www.fanuc.co.jp/en/product/new_product/2006/0604/0604_toolrcompensation.html>

CNC Controls. [Fanuc Europe, www-sivuilla]. [viitattu 6.12.2007] saatavissa:

<http://www.gefanuc-europe.com/mastereur_en/broker.jsp?uMen=58c3e416-c564-01e5-945c-c948b7234fed>

CNC News 2/2007. Echternach, Luxemburg. Fanuc GE CNC Europe S.A. 23 s.

CNC Series 30i/31i/32i. [Fanuc Europe, www-sivuilla]. [viitattu 7.12.2007].

saatavissa: <http://www.gefanuc-europe.com/mastereur_en/broker.jsp?uMen=4fc3e416-c564-01e5-945c-c948b7234fed> /Documentation

CNC technology for higher productivity. [Manufacturingtalk verkkouutislehti]. Päivitetty

13.7.2007. [Viitattu 8.1.2008]. saatavissa:

<<http://www.manufacturingtalk.com/news/geb/geb178.html>>

Fanuc 15i/16i/18i/21i. [Victor Taichung Machinery www-sivuilla]. [viitattu 17.12.2007].

saatavissa: <http://www.or.com.tw/MZ/down_mz_2/down_mz_2-c-4.htm>

Fanuc 16i/18i/21i/160i/180i/210i - Model B, esite. [Fanucin www-sivuilla]. 1/2003. [viitattu

28.11.2007]. saatavissa: <<http://www.fanuc.co.jp/en/product/catalog/pdf/f16ib-ge03.pdf>>

Fanuc CNC Controls. [Fanucin www-sivuilla]. [Viitattu 14.1.2008]. saatavissa:
<<http://fanuc.co.jp/en/product/cnc/index.html>>

Fanuc Model B, Ultra-Compact, Ultra-Thin CNC with Network Interface. [Fanucin www-sivuilla]. [viitattu 3.12.2007]. saatavissa:
<<http://www.fanuc.co.jp/en/product/cnc/16i18i21i/index.html>>

Fanuc Open CNC. [Fanuc käyttöohjeet, DVD-levy]. tiedosto: <B-63164EN/04>

Fanuc Series 16i/18i/21i- Model B Expanded Functions, esite. [Fanucin www-sivuilla]. [viitattu 4.12.2007]. saatavissa:
<http://www.fanuc.co.jp/en/product/new_product/2002/0210/fs16i18i21ib.html>

Fanuc Series 30i/31i/32i –Model A For Lathe System, B-63944EN-1/02 User Manual. [Fanuc käyttöohjeet DVD-levy].

Flexible Support of Various Mechanical Configurations. [Fanucin www-sivuilla]. [Viitattu 7.12.2007]. saatavissa:
<<http://www.fanuc.co.jp/en/product/cnc/30i31i32i/configuration/configuration.html>>

Focas. [GE Fanucin www-sivuilla]. [viitattu 17.12.2007]. saatavissa: <<http://www.ge-fanuc.com/cnc/focas.asp>>

Focas Documents. [Focas käyttöohjeet, CD-levy]. tiedosto:
<K737_3.1/Document/SpecE/FWLIB32>

Gruppo Riello Sistemi. [Riello Macchine www-sivuilla]. [Viitattu 17.1.2008]. saatavissa:
<http://www.riellosistemi.it/riellosistemi/frontend/front.jsp?type=models&model_id=89&start=0&limit=20>

High Precision Nano CNC System, esite. [Fanucin www-sivuilla]. [viitattu 4.12.2007]. saatavissa: <<http://www.fanuc.co.jp/en/product/cnc/16i18i21i/nanocnc/nanocnc.html>>

i Series CNC, esite. 2005. GE Fanuc Automation CNC Europe S.A.

Integrated PC Function. [GE Industrial Systems www-sivuilla]. [viitattu 7.12.2007].
saatavissa: <http://application.gefanuc.com/cnc/integrated_pc.asp>

Jerk Control, esite. [Fanucin www-sivuilla]. [viitattu 29.1.2007]. saatavissa:
<http://www.fanuc.co.jp/en/product/new_product/2002/0204/jerkcontrol.html>

Manual Guide i, esite. [Fanucin www-sivuilla]. [viitattu 23.1.2008]. saatavissa:
<<http://www.fanuc.co.jp/en/product/cnc/manualguide/index.html>>

Manual Handle Retrace, esite. [Fanucin www-sivuilla]. Päivitetty 1/2007. [viitattu 18.1.2008].
saatavissa:
<http://www.fanuc.co.jp/en/product/new_product/2007/0701/0701_handleretrace.html>

MET Tekninen Tiedotus. 1984. Monitoimisorvit 35/84. Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
57 s.

Multi Path PMC-Function, esite. [Fanucin www-sivuilla]. Päivitetty 3/2007. [viitattu
18.1.2008]. saatavissa:
<http://www.fanuc.co.jp/en/product/new_product/2007/0703/0703_extendedpmcladder.html>

ano Smoothing, esite. [Fanucin www-sivuilla]. päivitetty 11/2004. [viitattu 29.1.2008].
saatavissa:

<http://www.fanuc.co.jp/en/product/new_product/2004/0410/0410_series30i31i32ia.html>

Pajunen-Muhonen & Korpiharju & Sylvänne. 2004. Kartoitus tuotantoautomaation
kehittämistarpeista. [Tekesin www-sivuilla]. [viitattu 18.2.2008]. saatavissa:
<<http://www.tekes.fi/julkaisut/Tuotantoautomaatio.pdf>>

Pikkarainen, Eero. 1999. NC-tekniikan perusteet. Helsinki, Opetushallitus. 170 s.

PMC Simulator, esite. [Fanucin www-sivuilla]. Päivitetty 4/2005. [viitattu 18.1.2008].
saatavissa: <http://fanuc.co.jp/en/product/new_product/2005/0504/0504_pmc simulator.html>

Research of Software Open-CNC System. [Guilin University of Electronic & Technology
www-sivuilla]. [viitattu 25.1.2008]. saatavissa:
<http://www.paper.edu.cn/downloadpaper.php?serial_number=200709-186&type=1>

Series 16i/18i/160i/180i , 21i / 210i – Model A. 1997. B-63002EN/02 Descriptions Manual.
[Fanuc käyttöohjeet DVD-levy]

Series 16i/18i/160i/180i , 21i / 210i – Model A. 2000. B-63003EN-2/02 Start Up Guide.
[Fanuc käyttöohjeet DVD-levy]

Vesämäki, Hannu. 2007. Lastuavan työstön NC-ohjelmointi. 3. uudistettu painos. Helsinki,
Teknologiainfo Teknova Oy. 174 s.

World's fastest CNC controls. [Manufacturingtalk verkkouutislehti]. Päivitetty 14.11.2003.
[Viitattu 9.1.2008]. saatavissa: <<http://www.manufacturingtalk.com/news/geb/geb159.html>>