



Axel Saalasti

Selvitys koneistussolun kehittämisestä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

25.5.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Axel Saalasti
Otsikko: Selvitys koneistussolun kehittämisestä
Sivumäärä: 29 sivua + 1 liite
Aika: 25.5.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka
Ammatillinen pääaine: Valmistus- ja tuotantotekniikka
Ohjaajat: Lehtori Tero Karttiala
Projektipäällikkö Juho Jalava-Kanervio

Tämän insinööriyön tarkoituksena on selvittää Metropolia AMK:lle, kuinka Quaser-työstökeskus voidaan liittää osaksi olemassa olevaa automatisoitua valmistusjärjestelmää. Selvityksen syy oli syntynyt tarpeesta nostaa nykyisen valmistusjärjestelmän kapasiteettia. Työssä tarkastellaan rajaehjoja automatisointitoteutukselle ja tarjoaa tilaajalle vaihtoehtoisia toteutusmahdollisuuksia.

Insinööriyön alussa tarkastellaan tuotantojärjestelmiä, erityisesti joustavan automaation valmistusjärjestelmiä ja sen osa-alueita. Kirjallisuudesta koostettua teoriaa hyödynnettiin koneistussolun selvitysvaiheessa.

Selvitys toimii tulevaisuudessa tukena ja lähtökohtana Metropolia AMK koneistussolun muutostyön toteuttajalle.

Avainsanat: Tuotantojärjestelmät, automaatio, FMS

Abstract

Author: Axel Saalasti
Title: Analysis of the Development of a Machining Cell
Number of Pages: 28 pages + 1 appendix
Date: 25 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Mechanical Engineering
Professional Major: Manufacturing and Production
Supervisors: Tero Karttiala, Senior Lecturer
Juho Jalava-Kanervio, Project Manager

This Bachelor's thesis was commissioned by Metropolia University of Applied Sciences. The purpose of this thesis was to determine how the Quaser-CNC-machining cell can be incorporated into an existing automated manufacturing system. The reason for the determination work had arisen from the need to raise the capacity of the existing manufacturing system. The work examines boundary conditions for automation implementation and offers alternative implementation possibilities for the principal.

At the beginning of the thesis work, different production systems were investigated, especially the manufacturing systems of flexible automation and its subdivisions.

In the future, this thesis will serve as a support and starting point for the implementation of the transformation work of the Metropolia UAS machining cell.

Keywords: Production systems, Automation, FMS

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tuotantojärjestelmät	2
2.1	Tuotantojärjestelmän rakenne ja periaate	2
2.2	Joustava automaatio	3
3	Teollisuusrobotit	5
4	FMS-järjestelmät	7
4.1	FMU	8
4.2	FMC	9
4.3	FTL	10
4.4	FMS	11
4.5	FMF	15
5	Ohjausjärjestelmät	16
5.1	MMS	17
5.2	Liitynnät ja tiedonsiirto	18
5.3	Koneturvallisuus	19
5.3.1	Järjestelmän pysäyttäminen	19
5.3.2	Vikatilan kuittaus ja järjestelmän uudelleenkäynnistäminen	21
6	Selvitys	22
6.1	Koneistuslaboratorion nykytilanne	23
6.2	Solun kehittäminen	24
6.2.1	Toteutusvaihtoehdot	25
7	Yhteenveto ja päätelmät	27
	Lähteet	29
	Liitteet	
	Liite 1: Mazak CV5-500:n tekniset ominaisuudet	

Lyhenteet

ATC	Automatic Tool Changer. Automatisoitu terähuolto.
FMC	Flexible Manufacturing Cell. Joustavasti automatisoitu valmistussolu.
FMF	Flexible Manufacturing Factory. Joustavasti automatisoitu tehdas.
FMS	Flexible Manufacturing System. Joustava automaattinen valmistusjärjestelmä.
FMU	Flexible Manufacturing Unit. Joustava automaattinen valmistusyksikkö.
FTL	Flexible Transfer Line. Joustava transferlinja.
I/O	Input/output.
ISO	International Organization for Standardization. Kansainvälinen standardisoimisjärjestö.
MMS	Manufacturing Management Software. Tuotannonohjauksen hallintajärjestelmä.
NC	Numerical Control. Numeerinen ohjaus.
PLC	programmable logic controller. Ohjelmoitava logiikka.

1 Johdanto

Tämän työn tavoitteena on toteuttaa Metropolia AMK:lle selvitys koneistussolun kehittämisestä, ennen kaikkea siitä, kuinka oppilaitoksen koneistussolun Quaser-työstökeskus voidaan liittää osaksi nykyistä valmistusjärjestelmää. Teoriaosuudessa perehdytään tuotantojärjestelmiin ja erityisesti joustavaan automaatioon sekä sen osa-alueisiin.

Selvitysosuudessa keskitytään ABB IRB 4600 -teollisuusrobottiin sekä Quaser MV 154 P -työstökeskukseen. Tarkoituksena on löytää vaihtoehtoisia toteutuksia, kuinka teollisuusrobotin ohjausjärjestelmään voidaan liittää Quaser-työstökeskus. Liitännärajoitusten löytäminen on avaintekijänä valmistusjärjestelmän kapasiteetin nostamisessa.

2 Tuotantojärjestelmät

Kilpailukyvyen parantaminen on edellytys markkinoilla pärjäämiselle. Tuote on pystyttävä tarjoamaan kilpailukykyiseen hintaan korkeasta laadusta ja yhdenmukaisuudesta tinkimättä. Yritykset joutuvat omaksumaan uudenlaisen tuotantofilosofian täyttääkseen markkinoiden asettamat vaatimukset. Tuotannon ohjaus- ja valmistusjärjestelmät pyritään automatisoimaan pitkälti kokonaan. Teollisuusautomaatio kasvattaa koneiden tuotanto- ja kustannustehokkuutta sekä parantaa investoinnin kannattavuutta. Modernien automaatoratkaisujen hyötynä on myös laadun parantuminen ja sen vakiintunut taso. Kehittyntä tuotannonohjausjärjestelmää voidaan pitää välttämättömänä yrityksen toiminnassa. (What is Industrial Automation.)

2.1 Tuotantojärjestelmän rakenne ja periaate

Tuotantojärjestelmät koostuvat tyypillisesti laitekokonaisuuksista. Kokonaisuudesta voi syntyä alikokoonpano, jota käytetään hyödyksi muussa tuotantojärjestelmän osassa. Tuotantojärjestelmän lopputuloksena olisi saavuttaa valmis tuote. Laitekokonaisuudet muodostuvat ohjausjärjestelmästä, työstökoneesta, materiaalin käsittelyyn tarkoitetuista koneista sekä valvonta- ja turvallisuusjärjestelmistä. Modernin teollisuusautomaation myötä voidaan nykypäivän tuotantojärjestelmät luokitella jäykkään ja joustavaan automaatioon. (Groover 2014: 375–376.)

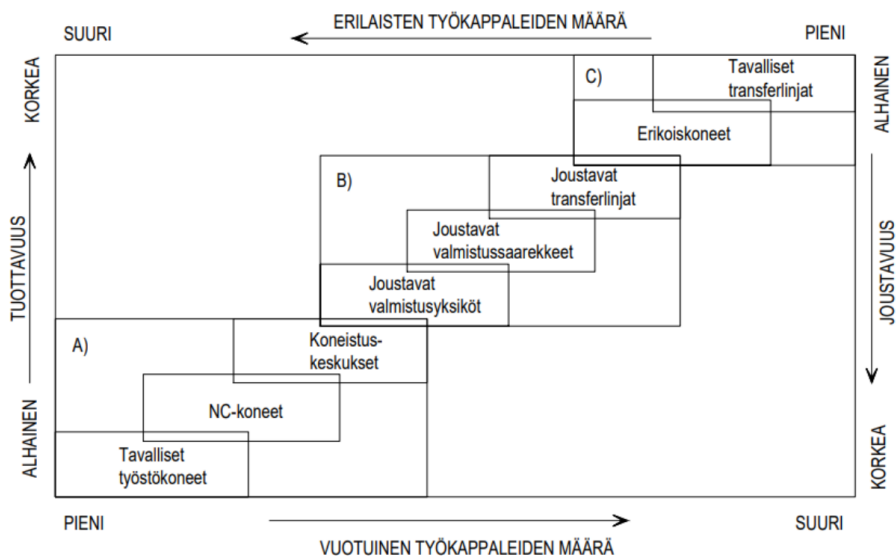
Jäykkään automaation tarkoituksena on tuottaa mahdollisimman tehokkaasti suuria määriä samaa tuotetta. Järjestelmämalli on herkkä tuotemuutoksille, joten uudet asetukset heikentävät sen kapasiteettia. Joustavat automaatio-sovellukset kykenevät valmistamaan monipuolisesti kysynnän ja trendien mukaan haluttua tuotetta. (Öhman 2019: 2–11.)

2.2 Joustava automaatio

Nykypäivänä konepajat pyrkivät muuttamaan tuotantostrategioitansa. Hyvin tyypillistä on ollut valmistaa tuotteita valmiiksi varastoon odottamaan mahdollista kysyntää. Tämä malli toimii osassa teollisuudenaloja, kunhan menekkiä pyritään analysoimaan markkinoiden mittareiden kautta. Vaarana on silti ylituotanto ja siihen sitoutunut korkea pääoma. Joustavalla automaatiolla konepajat pystyvät säilyttämään vakaaman liiketoimintamallin ja mahdollistamaan kannattavuuden parantamisen. (Kumpulainen 2013: 34.)

Uusi tuotantomalli pohjautuu Lean-ajatteluun. Tarkoituksena on tuottaa kappaleita juuri oikeaan tarpeeseen. Joustavan automaation ansiosta tuotantojärjestelmässä pystytään valmistamaan pieniä eräkokoja tehokkuudesta tinkimättä. Tuotantomallin etuina pidetään erityisesti lyhyitä toimitusaikoja, korkeaa palvelutasoa ja vakiintunutta kustannustasoa. (Kumpulainen 2013: 34.)

Automatisoimattomassa valmistuksessa tulee pohtia, halutaanko tuotannolta tehokkuutta vai joustavuutta. Pienerätuotannon etuina voidaan pitää lyhyitä läpimenoaikoja, mutta asetukseen kuluu suhteellisen paljon aikaa. Asetusajat ovat suoraan pois koneen käyttökapasiteetista, jolloin tehokkuus jää varsin pieneksi. Suurten erien tuotannossa asetusajojen osuus on kokonaiskuvassa mitätön. Läpimenoajat ja tuotantoon sitoutunut pääoma voivat olla puolestaan suhteellisen korkeita. Joustava automaatio ja sen osista rakentuvat FMS-järjestelmät saavuttavat joustavan sekä tehokkaan tuotannon (kuva 1). Tarvittavat asetukset voidaan tehdä valmiiksi työstökoneiden ulkopuolella, joten työstökoneiden käyttöaste pysyy korkeana. Fastems Oy:n mukaan joustavaan valmistusjärjestelmään kytketty työstökone saavuttaa keskimäärin 79 prosentin käyttöasteen ja jatkuvassa pienerätuotannossa käyttöaste voi nousta jopa 90 prosenttiin. (Ahokas ym. 2013: 34–35.)



Kuva 1. Tuottavuuden ja joustavuuden ero valmistusjärjestelmien välillä (Torvinen 1997: 241).

Tuotantoautomaatiolla pystytään vaikuttamaan työntekijöiden työtehtävien sisältöön ja turvallisuuteen. Vaaralliset ja liian raskaat työtehtävät voidaan poistaa ihmisen vastuulta. Lisäksi automatisointi on monelle konepajalle vastaus työvoimapulaan; esimerkiksi tuotannon hitsaus- ja koneistustyöt voidaan jättää teollisuusrobotin vastuulle. Näiden lisäksi voidaan tuotantoautomaation käyttöä perustella seuraavilla tekijöillä:

- modularisointi
- selkeät tuotantosolut ja/tai -yksiköt
- vakiintuneet valmistusajat
- standardisointi
- helpompi ohjattavuus
- parantunut laadun taso
- kapasiteetin nostaminen. (Aaltonen 1997: 10.)

3 Teollisuusrobotit

Automaatio ja robotiikka ottivat kehityksessä harppauksen toisen maailmansodan päätyttyä. Yhdysvaltalainen George Devol alkoi 1950-luvun alussa suunnittelemaan tietokoneohjattua manipulaattoria, joka pystyisi toimimaan joustavasti erinäisissä tehtävissä ja käyttöympäristöissä. Devolin keksinnölle myönnettiin vuonna 1961 patentti, jonka kuvauksessa teollisuusrobottien toiminta määritettiin. Näin ollen Unimate oli maailman ensimmäinen teollisuusrobotti, jonka käyttö aloitettiin saman vuoden aikana General Motorsin johdolla. (The First Industrial Robot.)

Nykyään teollisuusrobotit voidaan jakaa seuraaviin kategorioihin (The International federation of Robotics):

- suorakulmainen robotti
- sylinterirobotti
- napakoordinaatistorobotti
- scara-robotti
- kiertyvänivelinen robotti
- rinnakkaisrakenteinen robotti
- yhteistyörobotti eli cobotti.

Kansainvälinen standardi ISO 8373 määrittelee teollisuusrobotin seuraavalla tavalla:

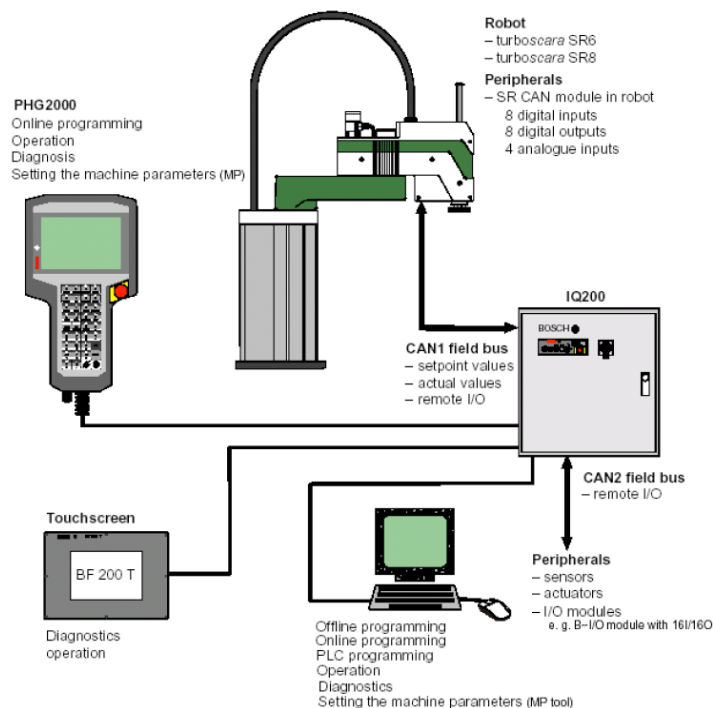
Automatically controlled, reprogrammable multipurpose manipulator, programmable in three or more axes, which can be either fixed in place or fixed to a mobile platform for use in automation applications in an industrial environment. (ISO-EN 8373:2012: 2.9.)

Määritelmän mukaisesti teollisuusrobottia tulee pystyä ohjaamaan automaattisesti sekä se tulee olla uudelleen ohjelmoitavissa monipuolisiin sovelluksiin. Manipulaattorin eli toiminnallisen osan tulee olla vähintään kolminivelinen mekaaninen laite, joka pystyy liikuttamaan kappaleita, osia, työkaluja tai muita erikoislaitteita. Tämän lisäksi robottia tulee pystyä käyttämään joustavasti teollisuuden automaatio-sovelluksissa. (ISO-EN 8373:2012: 2.9.)

Robotin ohjaus toimii samalla tavalla kuin ohjelmoitavissa logiikoissa. Ohjausjärjestelmä pystyy käsittelemään automaatiosovelluksen ympäristössä olevien laitteiden ja antureiden tulosignaaleja. Vastaavasti robotin ohjelmistosta voidaan antaa lähtösignaali, jolla voidaan ohjata prosessin toimintaa, esimerkiksi antamalla ohjaussignaali työstökeskukselle sulkemaan oven ja aloittamaan työkierron. (Kuivanen 1999: 52.)

Teollisuusrobotin järjestelmä (kuva 2) rakentuu seuraavista pääosista (The International federation of Robotics):

- manipulaattori, vähintään kolminivellinen
- ohjauskaappi
- hallintalaite
- käyttöliittymä
- työkalut, esim. vaihtoestoiset tarraimet
- lisälaitteet, esim. lineaarirata tai ohjausjärjestelmän sensorit.



Kuva 2. Teollisuusrobotin pääosia (The International federation of Robotics).

4 FMS-järjestelmät

FMS -yhene muodostuu sanoista Flexible Manufacturing Systems, suomeksi joustava automaattinen valmistusjärjestelmä. FMS rakentuu joustavan automaation osa-alueista, ja itse tuotantojärjestelmäkokonaisuus voi muodostua useammasta FMS-tekniikkaan pohjautuvasta valmistusjärjestelmästä. Joustavat valmistussovellukset voidaan luokitella viiteen eri tasoon: FMU, FMC, FMS, FTL ja FMF. Nämä kaikki perustuvat FMS-järjestelmään, ja käytännössä erottava tekijä on järjestelmän laajuus. (Aaltonen 1997: 16; Torvinen 1997: 241.)

FMS-järjestelmän ja sen sovelluksen tason tulisi täyttää seuraavat testikysymykset:

1. Osavaihtelutesti

Soveltuuko järjestelmä osavaihteluihin, eli pystyykö se käsittelemään eri osa- tai tuotevariaatioita sekoitetussa mallissa?

2. Aikataulumuutostesti

Voiko järjestelmä hyväksyä helposti muutokset tuotantoaikataulussa eli muutoksia käsiteltävissä osissa ja/tai tuotantomäärissä?

3. Toimintahäiriötesti

Voiko järjestelmä toipua sulavasti laitteiden vioista ja toimintahäiriöistä, jotta tuotantoa ei tarvitse kokonaan pysäyttää?

4. Uuden osan testi

Joustaako järjestelmä olemassa olevien osien kehittyessä, tai voiko olemassa olevaan järjestelmään tuoda kokonaan uusia osa malleja?

Jos näihin kysymyksiin vastataan kyllä, voidaan sovellus luokitella joustavaksi valmistusjärjestelmäksi. (Groover 2014: 554.)

4.1 FMU

Joustava automaattinen valmistusyksikkö (Flexible Manufacturing Unit), koostuu mahdollisimman monipuolisesta NC-monitoimisorvista tai koneistuskeskuksesta ja kappaleenvaihtojärjestelmästä. Sovelluksen tarpeen mukaan kappaleenvaihtojärjestelmänä voidaan käyttää manipulaattoria, portaalipanostajaa, paletinvaihtajaa tai teollisuusrobottia. (Torvinen 1997: 242.) Kuva 3 havainnollistaa tyypillistä FMU-ratkaisua, jossa teollisuusrobotti vastaa kappaleenvaihdosta ja toimii ohjausjärjestelmänä tuotantoprosessille.



Kuva 3. Joustava automaattinen valmistusyksikkö (Automated CNC milling and turning machines).

Jotta valmistusyksikkö pystyy toimimaan itsenäisesti ilman miehitystä, tulee järjestelmän sisältää laajat valvontatoiminnot. Käsite kattaa seuraavat asiat:

- työstönvalvonta
- diagnostiikkajärjestelmä
- teränkunnon valvonta ja varatyökalut; järjestelmässä tulee olla lisäksi automaattinen työkalunvaihtojärjestelmä

- valmius toimia myös muiden tuotantojärjestelmien osien kanssa, esim. joustavasti automatisoidussa tehtaassa (FMF).

Tyypillisesti järjestelmällä toteutetaan yksinkertaisia kappaleita tai se voi vastata tietystä valmistusprosessin vaiheesta. (Torvinen 1997: 242.)

4.2 FMC

Joustava automatisoitu valmistussolu (Flexible Manufacturing Cell) on astetta laajempi järjestelmä kuin FMU. Valmistussolu koostuu kahdesta tai useammasta automatisoidusta koneesta, mutta muutoin määrittely noudattaa samoja periaatteita kuin joustava automaattinen valmistusyksikkö. Toiminta on täysin miehittämätöntä, kaikki kappaleen käsittelytehtävät ovat automatisoituja (kuva 4). Näin pystytään valmistamaan tuote aihioista aina lopputuotteeksi asti. Jos FMC-järjestelmän prosessissa tapahtuu siirtoja muiden valmistusyksiköiden tai solujen välillä, muuttuu sen luokittelu FMS-järjestelmäksi. Tämän vuoksi FMC-järjestelmiä käytetään itsenäisinä osina, joiden toiminta ei ole riippuvaista muista tuotantojärjestelmän osista. (Torvinen 1997: 243.)



Kuva 4. Joustava automatisoitu valmistussolu (Fully Automated Barrel Cell).

4.3 FTL

Joustava transferlinja (Flexible Transfer Line), tämä automatisoitu linjasto on suunniteltu suureen tuotantovolyyymiin. Järjestelmä koostuu toisiansa täydentävistä koneista, joten valmistusvaiheiden järjestys järjestelmässä on aina sama. Häiriöt linjastossa aiheuttavat välittömästi pullonkaulan, jolloin pahimmillaan koko linjasto joudutaan pysäyttämään. Osittain tämän vuoksi moneen FTL-sovellukseen on rakennettu työstökonekohtaisia kappalepuskurivarastoja, jotta koneiden käyttöaste saadaan pidettyä yllä häiriötä poistettaessa. Järjestelmän kapasiteettia voidaan nostattaa liittämällä siihen rinnakkaisia linjastoja. FTL-järjestelmän toiminta taloudellisesti edellyttää jatkuvaa virtausta, joten laajuus tulee sovittaa todelliseen tarpeeseen. (Torvinen 1997: 245.)

Transferlinjan joustavuutta on pidetty pitkään heikkona, nykypäivän teollisuusrobotit ja niihin integroitavat työkalut ovat mahdollistaneet nopeat asetusmuutokset tuotantolinjassa (kuva 5). (Ahokas ym. 2013: 164–167.)



Kuva 5. Robotisoitu FTL-järjestelmä (Tesla signs agreement for China Gigafactory, doubling output).

4.4 FMS

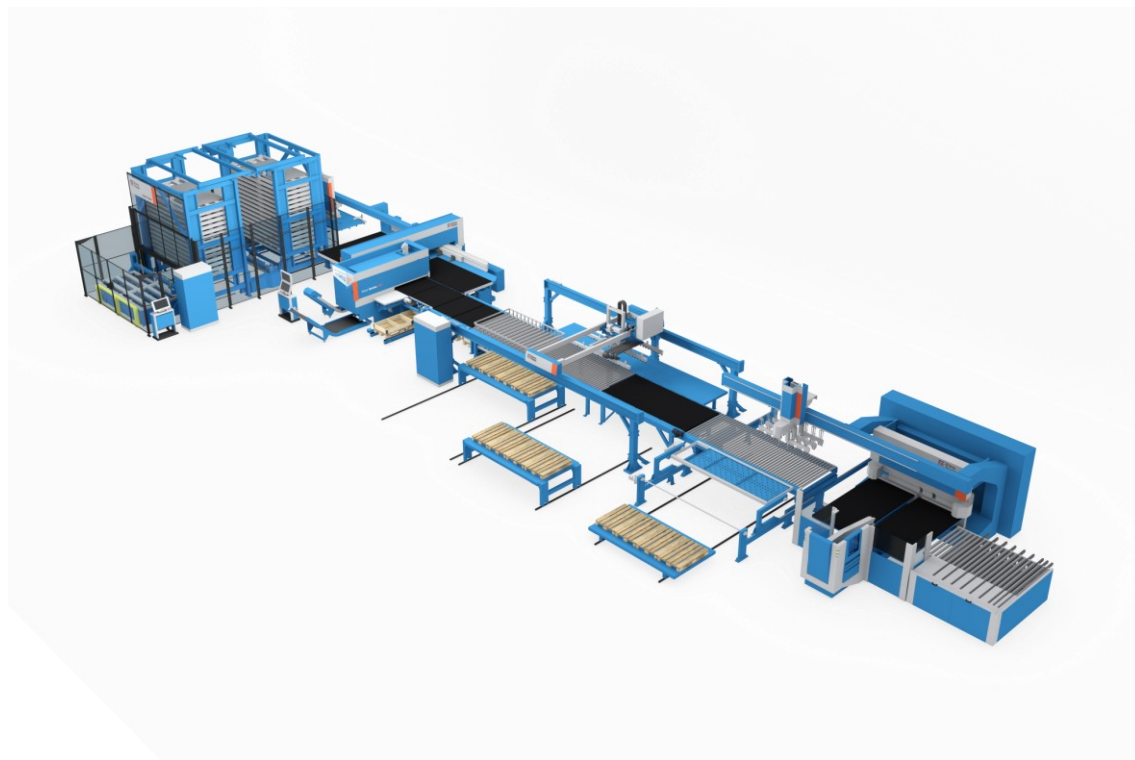
Joustava automaattinen valmistusjärjestelmä (Flexible Manufacturing System) muodostuu vähintään kahdesta automatisoidusta koneesta. Ideana on, että automatisoidut koneet pystyvät korvaamaan ja/tai täydentämään toisiansa. Järjestelmän koneet toimivat itsenäisenä yksikkönä. Ne on suunniteltu tuottamaan taloudellisesti sekä keskeytymättömästi haluttuja tuotteita ja eräkokoja. Käytännössä FMS-järjestelmä pystyy tuottamaan mitä tahansa, mutta rajoittavana tekijänä on koneiden suorituskyky ja järjestelmään ohjelmoidut variaatiot. Järjestelmän joustavuus ja automatiikka mahdollistavat niin monia sovelluksia, että muita FMS-järjestelmän tunnuspiirteitä on vaikea määrittellä. (Torvinen 1997: 243–244.)

Tyypillisesti FMS:ään voidaan katsoa kuuluvan seuraavia tunnuspiirteitä):

- korkea käyttökapasiteetti / 8760-periaate
- ohjausjärjestelmä MMS
- monimutkaiset FMS-sovelluksien ohjaukset PLC- tai tietokoneella
- järjestelmän osat pystyvät toimimaan toisistaan irrallisina
- koneturvallisuus
- ATC / automatisoitu terähuolto
- automatisoitu siirtojärjestelmä ja varasto, jotka mahdollistavat mahdollisimman pitkän itsenäisen toimintajakson:
 - vihivaunut
 - palettivarastot
 - portaalirobotit
 - kuljetinradat
 - pinoavat siirtovaunut.

Edellä mainitut ovat FMS-järjestelmälle tyypillisiä piirteitä, mutta siihen voidaan sisällyttää käytännössä mitä vain, mikä tukee joustavan automaattisen valmistusjärjestelmän toimintaperiaatetta. (Torvinen 1997: 244.)

Esimerkkinä voidaan mainita ohutlevytyöstöön erikoistunut Prima Powerin FMS-järjestelmäkonsepti (kuva 6). Järjestelmässä korostuu automaattinen joustava materiaalivirta varastosta aina taivutussolulle saakka. Tämä osoittaa hyvin, kuinka laajoja FMS-järjestelmäsovelluksia on olemassa.



Kuva 6. Konsepti FMS-järjestelmästä (PSBB).

FMS-järjestelmät on teoreettisesti mahdollista luokitella erilasiin perustyyppeihin, joilla on omat ohjaukselliset vaatimuksensa. Luokittelusta ei kuitenkaan ole olemassa mitään yhtä vakiinnuttua standardia, kuten robotiikan oma ISO-8373-standardi. Osaksi tämän selittää joustavan automaation jatkuva kehitys ja uudet innovatiiviset ratkaisut. (Torvinen 1997: 245.)

Kuva 7 on koottu kirjallisuudessa esiintyviä FMS-järjestelmän luokitteluperiaatteita. FMS-järjestelmät voidaan jakaa vähintään kolmeen eri perustyyppiin ja niiden sisälle jakautuviin ohjaustarpeisiin (Torvinen 1997: 245–248; Ahokas ym. 2013):

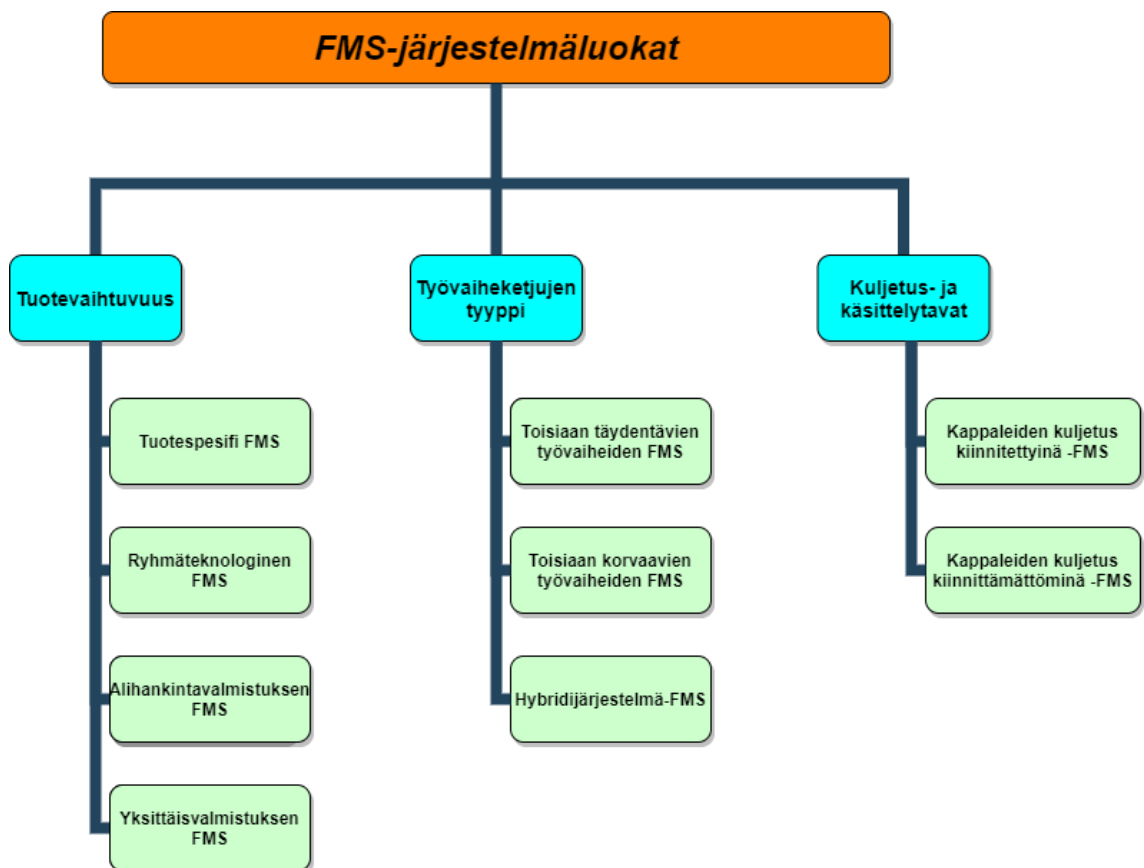
1. Tuotevaihtuvuuden mukainen jaottelu

- Tuotespesifinen FMS, suunniteltu yksittäisen tuotteen tai sen osien ympärille. Kokonaisjärjestelmä linjastomainen, sisältää jäykähköjä automaatiosovelluksia ja useita tuotespesifejä erikoistyöstökoneita. Voidaan verrata jopa FTL:ään, pyrkimyksenä tuottaa tehokkaasti suuria valmistuseriä.
- Ryhmäteknologinen FMS, suunniteltu valmistamaan samaan ryhmäteknologiseen perheeseen kuuluvia tuotteita tai niiden osia. Tuote ja eräko koko määrittyvät markkinoiden todellisen tarpeen mukaan. Tuotteita voidaan valmistaa samanaikaisesti tai halutussa järjestyksessä, ei vaikutusta kapasiteettiin.
- Alihankintatyyppinen FMS, suunniteltu valmistamaan suuria yksittäisiä tilauksia. Järjestelmältä vaaditaan mukautumiskykyä, minkä vuoksi koneiden, tarraimien ja kiinnittimiltä edellytetään monipuolisuutta. Haastavammassa alihankintatoteutuksissa järjestelmän layoutia voidaan tarpeen vaatiessa muuttaa.
- Yksittäisvalmistuksen FMS, suunniteltu erityisesti tutkimuskäyttöön. Aidon yksittäisvalmistuksen ohella toteutetaan testejä ja kokeita, joiden tuloksia käytetään varsinaisen tuotantojärjestelmän toteutukseen. Käytännössä syitä voi olla kokonaan uusi tuote tai teknologiasektori, joista ei ole aiempaa kokemusta.

2. Työvaiheketju tyyppien mukainen jaottelu

- Toisiaan täydentävien työvaiheiden FMS. Tuote valmistetaan järjestelmässä yhdessä tai useammassa valmistusvaiheessa. Järjestelmän työstökoneet ovat toisiansa täydentäviä, joten pienestä häiriöstä syntyy lähes välittömästi pullonkaula.
- Toisiaan korvaavien työvaiheiden FMS. Järjestelmä sisältää useita työstökoneita, jotka pystyvät tarvittaessa korvaamaan toisensa. Häiriön syntyessä voidaan työ ohjata toiselle koneelle. Kapasiteetti laskee vain yhden koneen osalta, mutta materiaali virtaus säilyy.

- Hybridijärjestelmä FMS. Järjestelmä koostuu sekä toisiaan täydentävistä, että korvaavista työstökoneista.
3. Kappaleiden kuljetus- ja käsittelytehtävien mukainen jaottelu
- FMS, jossa kappaleiden kuljetus kiinnitettyinä. Järjestelmässä työstökoneet käsittelevät paletteja yksittäisten kappaleiden sijaan. Palettivaraston ja työstökoneen välillä järjestelmä on automatisoitu, mutta paletin täyttäminen ja purkaminen toteutetaan kokonaan manuaalisesti.
 - FMS, jossa kappaleiden kuljetus kiinnittämättöminä. Työstettävät kappaleet ovat irrallisina kuljetusalustalla tai syöttömakasiinissa, josta siirto työstökoneille on automatisoitu. Ainoa manuaalinen vaihe on täyttää aihiovarasto ja purkaa valmiit lopputuotteet.



Kuva 7. Tunnettuja FMS-järjestelmäluokituksia (Torvinen 1997: 245–248; Ahokas ym. 2013).

4.5 FMF

Joustavasti automatisoitu tehdas (Flexible Manufacturing Factory) on joustavan automaation korkein järjestelmätaso. FMF-tehtaat muodostuvat kokonaan FMS-järjestelmistä, joten tehtaan sisällä voi olla esimerkiksi FMU-, FMS- ja FTL-järjestelmäsovelluksia (kuva 8). Toiminnallisella tasolla ihmisen tehtävänä on lähinnä avustaa, kuten täyttää ja purkaa koneistuksessa käytettäviä paletti kiinnittämiä. Muut työt painottuvat ylemmälle tasolle, jossa ihmisen vastuulle jäävät valvonta, ohjaus, suunnittelu ja tuotantojärjestelmien kehitystyöt. (Torvinen 1997: 245.)

FMF:n laajuuden takia kokonaisuuksissa käytetään tuotannonohjauksen hallintajärjestelmiä, jotka pystyvät hallitsemaan ja optimoimaan koko prosessin. MMS tai vastaavat järjestelmät ovat edellytys korkean käyttöasteen saavuttamiseksi. (Kumpulainen 2013: 34–35.)



Kuva 8. FMS-järjestelmään perustava tehdas (MMS-Manufacturing Management Software).

5 Ohjausjärjestelmät

Ohjaus-, säätö- ja automaatiojärjestelmillä tarkoitetaan automaattisesti ohjautuvien laitteiden ja koneiden erilaisia ohjausmenetelmiä; ainoana erottavana tekijänä on järjestelmän laajuus. Ohjausjärjestelmän tarkoituksena on hallita tuotantolinjan tai toimilaitteiden toimintoja käyttäjän antamien komentojen ja laitteiden antamien tilatietojen mukaisesti. (Keinänen ym. 2007: 209.)

Automaatiojärjestelmä

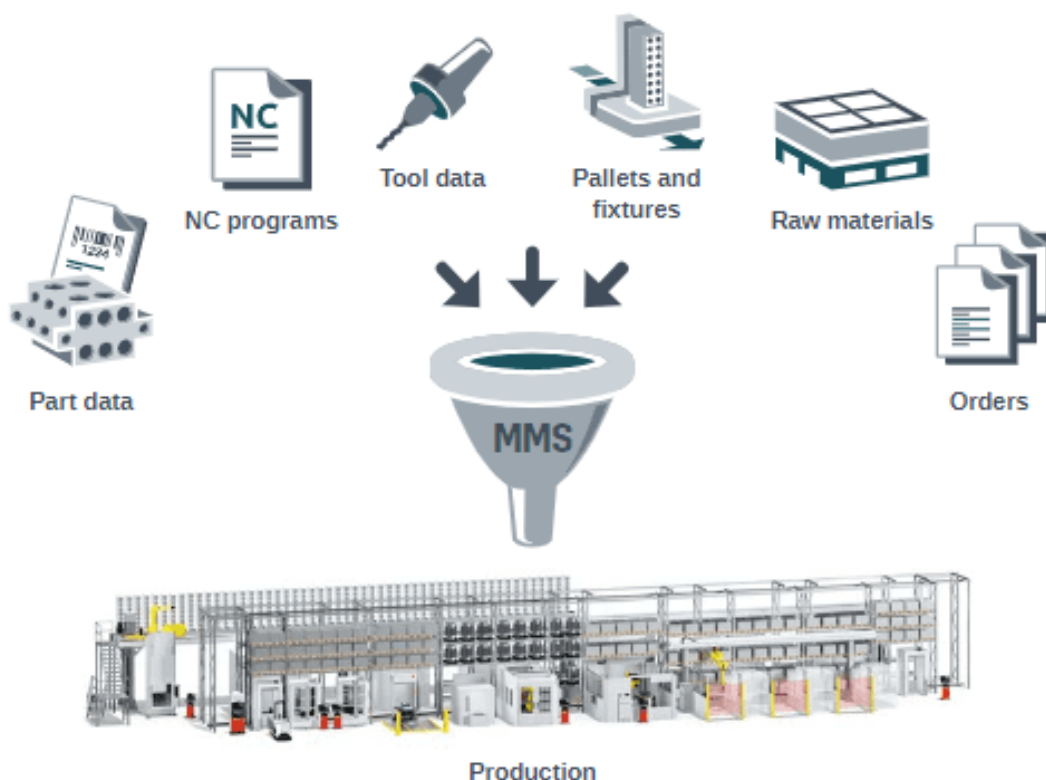
Automaatiojärjestelmä on yleensä kokonaisuudesta vastaava ylemmän tason ohjausjärjestelmä, joka tunnetaan paremmin käsitteenä tuotannonohjausjärjestelmä. Sen tehtävänä on ohjata ja valvoa tuotantolinjan tai koko tuotantojärjestelmän toimintaa. Järjestelmässä on tyypillisesti diagnostiikka, josta voidaan tarkastella esimerkiksi tuotantokoneiden käyttöastetta tai tuotannon häiriöitä. Automaatiojärjestelmä antaa tarvittavat toimintakäskyt alemman tason ohjausjärjestelmille, jotka toteuttavat tarvittavat ohjaustoiminnot järjestelmäosassa. (Keinänen ym. 2007: 210.)

Ohjausjärjestelmä

Ohjausjärjestelmistä puhuttaessa törmätään usein termiin PLC eli ohjelmoitava logiikka. PLC:llä pystytään helposti toteuttamaan yksittäisten koneiden tai toimilaitteiden ohjauksia. Vaihtoehtoisia ohjausjärjestelmiä ovat NC-ohjaus, PID-säätimet tai sähkömekaanisiin kytkimiin perustuva relelogiikka. Huomioitavaa on, että ohjausjärjestelmän alle kuuluvat kaikki anturit ja toimilaitteet, joista voidaan käyttää yleisnimitystä kenttälaitteistot. (Keinänen ym. 2007: 210.)

5.1 MMS

Tuotannonohjauksen hallintajärjestelmä MMS (Manufacturing Management Software) parantaa FMS-järjestelmien hallittavuutta. MMS-järjestelmä on yleinen tehdasympäristössä, jossa tuotanto perustuu joustavaan valmistusjärjestelmään. Ideana on ajoittaa ja ohjata toiminta alusta loppuun (kuva 9). Järjestelmään lisätystä tilauksesta määritetään automaattisesti tuotantosuunnitelma, joka pohjautuu tilauksen eräpäivään, yrityksen materiaalivarastoon ja vastaavista tilauksista saatuun dataan. Etuna on järjestelmän reaaliaikaisuus: kiireellisistä syistä tapahtuvat muutokset näkyvät ja välittyvät heti koko organisaatiolle. Näin ollen vaadittu tuotantoresurssi pystytään varmistamaan ajoissa. Tärkeää on myös MMS:n kyky mitata ja kehittää tuotannon toimintaa. Lisäksi paras lisäarvo saavutetaan, kun se yhdistetään muihin olemassa oleviin järjestelmiin, kuten CAM, TDM ja ERP. (MMS-Manufacturing Management Software; Kumpulainen 2013: 35.)



Kuva 9. Manufacturing Management Software:n osa-alueet (MMS-Manufacturing Management Software).

5.2 Liitännät ja tiedonsiirto

Sähköiset tulo- ja lähtösignaalit

Sähköisten tulosignaalien ansioista robotti on tietoinen ympäristönsä toimilaitteiden tilasta. Vastaavasti robotti antaa lähtösignaaleja, joilla se ohjaa muita prosessilaitteita tai kertoo omasta tilastaan. Kyseessä on siis I/O-signaalit, jotka ovat lähes välttämätön osa, kun erilaiset toimi- ja tuotantolaitteet automatisoidaan kokonaisuudessaan yhdeksi tuotantojärjestelmäksi. Robotin ohjausjärjestelmä käsittelee I/O-signaaleja vastaavalla tavalla kuin PLC-logiikka. Monesti pelkkä robotin oma järjestelmä riittää korvaamaan erillisten ohjelmoitavien logiikkojen käytön. (Kuivanen 1999: 52.)

Signaaliviestityypit

Signaalit voidaan luokitella kolmeen eri luokkaan: analogiset ja digitaaliset signaalit sekä väyläviesti. Analogisissa signaaleissa on tyypillisesti vapaasti vaihteleva virta tai jännite rajatulla alueella. Normaalisti jänniteviestit ovat välillä 0...+10 V tai -10...+10 V ja virtaviesteissä 0...20 mA tai 4...20 mA. Digitaaliset signaalit taas perustuvat kahteen sovittuun tilaan: aktiiviseen ja deaktiiviseen. Tämä voidaan antaa kytkin- tai jännitetietona. Sähköisten signaalien sijasta voidaan signaali ilmaista väyläviestin avulla. Signaalien arvot lähetetään tietoväyläteknikkaa hyödyntäen. Teollisuusautomaatiossa esiintyy esimerkiksi seuraavia väyläratkaisuja: CAN, Profibus, Ethernet, Interbus, DeviceNet ja LON. Käytettävä signaaliviestityyppi määräytyy tyypillisesti toimilaitteissa olevien liitäntäpintojen kautta. (Kuivanen 1999: 52; Keinänen ym. 2007.)

5.3 Koneturvallisuus

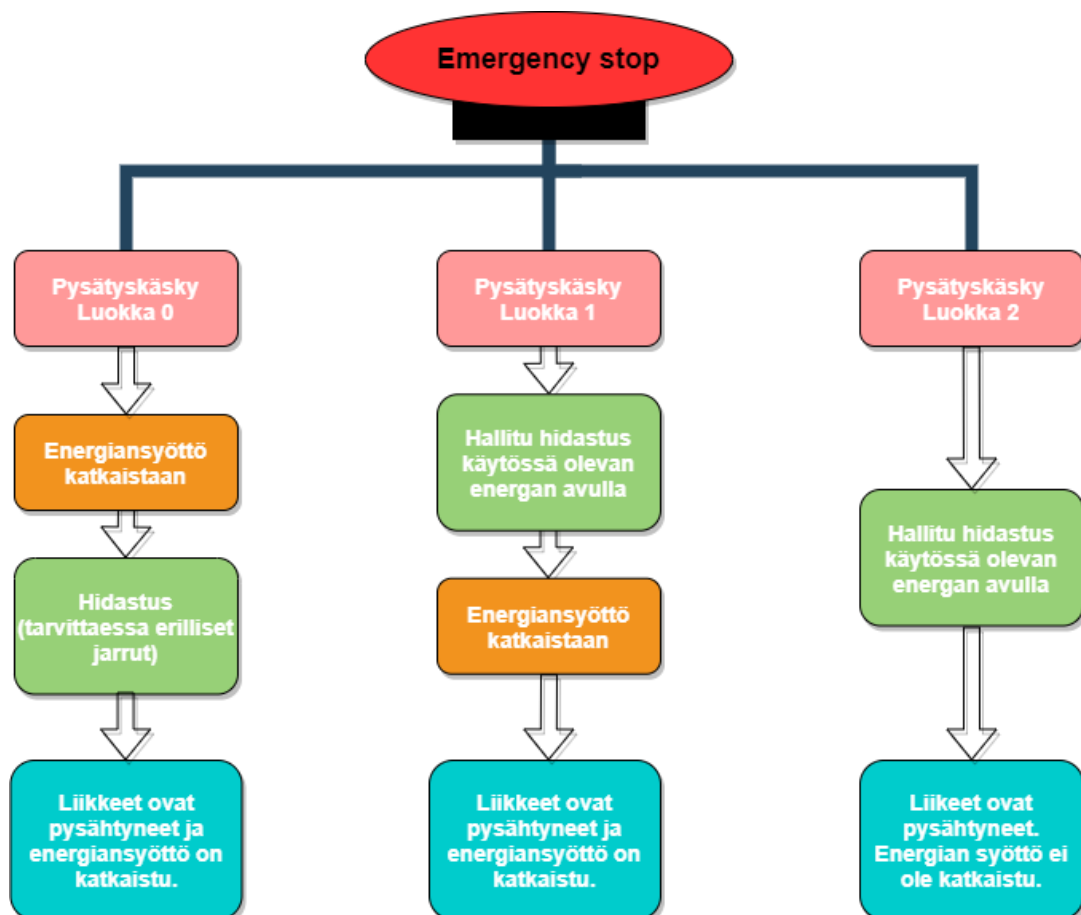
Robottisolua suunniteltaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota ohjausjärjestelmän turvallisuuteen. Ohjausjärjestelmän toiminta korostuu erityisesti suurissa järjestelmissä. Suunnittelussa tulee huomioida osakokonaisuuksien rajat ja yhteydet muuhun järjestelmään sekä tahaton väärin käyttäytyminen. Koneen tai järjestelmän turvalaitteen on toimittava kaikissa olosuhteissa, eikä ohjausjärjestelmä saa estää tai heikentää turvalaitteen toimintaa. Vaatimukset on esitetty valtioneuvoston konedirektiivissä ja niitä täsmentävissä standardeissa. (Siirilä 2008: 190–191.)

Ohjausjärjestelmän hallitseman osan vikaantuminen tai ulkopuolelta tuleva häiriö ei saa aiheuttaa järjestelmässä sellaista tilannetta tai signaalia, joka johtaisi liian suureen riskiin. Näin voi tapahtua tilanteessa, jossa riski aiheutuu turvatoiminnon toteuttamatta jättämisestä, esimerkiksi jos robotti jatkaa työkiertoa hätä-seis-painikkeen aktivoinnista huolimatta. Lisäksi mitä enemmän riskejä pyritään vähentämään ohjausjärjestelmän osien avulla, sitä paremmin näiden osien on kyettävä vastustamaan vikaantumista. Vaatimusta ja luetettavuutta voidaan parantaa laadukkailla komponenteilla tai käyttämällä vikasietoista järjestelmää. Riskiä voidaan hallita ja vähentää myös muilla toimenpiteillä, kuten kiinteillä aidoilla tai suojuksilla. (Siirilä 2008: 192.)

5.3.1 Järjestelmän pysäyttäminen

Turvalaitteen on annettava pysäytyssignaali, kun se havaitsee riskitekijän. Näin tulee tapahtua tilanteessa, jossa vaarakohtaa lähestyy ihminen tai koneen toiminnassa havaitaan poikkeuksellinen tapahtuma. Näissä tilanteissa turvalaitteen tulee antaa ohjausjärjestelmälle signaali, joka pysäyttää järjestelmän. Järjestelmän tulee pysäytyä tai pysyä pysäytettynä tilanteissa, joissa ohjausjärjestelmä saa samanaikaisesti sekä käynnistys- että pysäytyskäskyn. Pysäytykset voidaan luokitella 0-, 1- ja 2-luokan pysäytyskäskyihin. (Siirilä 2008: 192.)

Kaikkien turvallisuuteen liittyvien pysäytyskäskyjen tulee täyttää luokan 0 tai 1 vaatimukset. Konkreettinen ero 0- tai 1- ja 2-luokan välillä on energiansyötönkatkaisu, kuten kuvassa 10 on havainnollistettu. Luokan 2 pysäytyskäskyn käyttö vaatii perustellun syyn, minkä lisäksi järjestelmälle tulee asettaa jatkuva valvonta, jotta liikkumattomuustila voidaan varmentaa. Suunnittelussa tulee huomioida tilanne pysäytyskäskyn jälkeen eli kuinka tilanne puretaan niin, ettei uutta riskiä tai ylimääräistä materiaalihukkaa aiheuteta. Järjestelmä voidaan suunnitella niin, että turvalaitteena käytettävän koneen toimintaan kytketty avattava suojuus voidaan avata vain liikkeiden ollessa pysähtyneenä. Lisäksi järjestelmän tulee olla käynnistettävissä vasta, kun vika on purettu ja erillisesti kuitattu. (Siirilä 2008: 179–181.)



Kuva 10. Koneturvallisuuden pysäytyskäskyluokat (Siirilä 2008: 179).

5.3.2 Vikatilan kuittaus ja järjestelmän uudelleenkäynnistäminen

Turvalaitteen aktivoitessa pysäytyskäskyn tulee käskyn olla voimassa, vaikka turvalaitteeseen vaikuttaminen loppuu. Pysäytyskäskyn on säilyttävä ohjausjärjestelmässä niin kauan, kunnes kuittauspainiketta käytetään ja uudelleen käynnistyminen voi tapahtua turvallisesti. Järjestelmää ei saa kuitenkaan käyttää tai kuitata, jos sen hallintajärjestelmän turvalaitteita on poistettu tai ne eivät ole toimintakuntoisia. (Siirilä 2008: 193.)

Toimintavalmiiksi palauttamisen jälkeen järjestelmä ei saa käynnistää mitään liikkeitä tai aiheuttaa mitään uutta riskiä. Toimintavalmiiksi palautus tarkoittaa, että ohjausjärjestelmälle on annettu lupa erillisestä käskystä käynnistää järjestelmä. Vikatilan kuittauspainike on suunniteltu niin, että järjestelmäkäyttäjä on korjannut ja varmistanut prosessin turvallisen jatkumisen. Tämän lisäksi kuittauspainike tulee myös sijoittaa vaaravyöhykkeen ulkopuolelle. Jos näkyvyys vaaravyöhykkeelle ei ole riittävä, tulee kuittauspainikkeita olla useita, jotta vaara alueen turvallisuus voidaan varmistaa. (Siirilä 2008: 193–194.)

6 Selvitys

Selvitystä varten perehdyttiin joustavaan automaatioon ja sen osa-alueisiin. Työssä koottua tietoa ja oppeja hyödynnetään Metropolia AMK:n koneistussolun kehittämiseen. Selvityksen taustalla oli koneistussolussa olevan Quaser-työstökeskuksen matala käyttöaste. Työn tarkoituksena oli selvittää, kuinka työstökeskus voidaan liittää osaksi nykyistä automatisoitua valmistusjärjestelmää. Ratkaisevinta oli löytää toteutettavissa oleva ratkaisu, kuinka teollisuusrobotin ohjausjärjestelmän alaisuuteen lisätään työstökeskus. Selvityksessä perehdyttiin robotin ohjausjärjestelmän ja työstökoneiden mahdollisiin liitántärajapintoihin, joilla voidaan muodostaa tiedonsiirtoyhteys kommunikointia varten.

Selvityksen taustalla käytetty kirjallisuus ja asiantuntijakonsultointi auttoivat huomioimaan myös muita osa-alueita toteutusvaihtoehtoja kartoittaessa. Selvityksen tavoitteena oli

- kartoittaa teollisuusrobotin ohjausjärjestelmän ja Quaser-työstökeskuksen vaihtoehtoiset liityntärajapinnat
- löytää mahdolliset toteutusvaihtoehdot valmistusjärjestelmän kehittämiseksi koneistussoluun.

Koneistussolun kehittämisen tavoite on parantaa tilaajan Metropolia AMK:n opetusta ja koneistuspäalvelutoimintaa. Selvitys toimii tulevaisuudessa tukena toiselle insinööriopiskelijalle, kun koneistussolun kehittämisen toteutus on ajankohtaista. Seuraavissa luvuissa tarkastellaan järjestelmän nykytilannetta, kartoitettuja toteutusvaihtoehtoja ja lopputulosta.

6.1 Koneistuslaboratorion nykytilanne

Metropolia AMK:n koneistuslaboratorion yhteydessä on koneistussolu opetuskäyttöön. Koneistussolun osia voidaan käyttää irrallisina tai muodostaa kokonaisuudesta yhtenäinen valmistusjärjestelmä. Tällä hetkellä koneistussolu koostuu kahdesta työstökoneesta, teollisuusrobotista sekä robotille tarkoitettusta lineaariradasta.

Koneistuslaboratorion ensimmäinen automatisoitu valmistusjärjestelmä toteutettiin vuonna 2017. Järjestelmä rakennettiin ABB IRB 4600 -teollisuusrobotista ja Mazakin valmistamasta Super Quick Turn 10M -NC-sorvista. Koneiden välinen kommunikointiyhteys pystyttiin toteuttamaan digitaalisilla I/O-signaaleilla. Siitä lähtien valmistusjärjestelmän ohjauksesta on vastannut ABB-teollisuusrobotti. (Kopsa 2017: 16.)

Teollisuusrobotin hankinnan jälkeen koneistussolussa on toteutettu useampia kehitystöitä. Järjestelmän joustavuutta on tehostettu luomalla teollisuusrobotille automatisoitu tarttujanvaihtojärjestelmä. (Soukko 2016.) Automaatiosovelluksia ajatellen Quaser-työstökeskukselle on toteutettu muutostöitä. Koneen ovi ja kiinnitin pystytään pneumatiikkaratkaisulla avamaan ja sulkemaan automaattisesti. (Taponen 2021: 24.)

Automaation ansiosta koneiden käyttöastetta ja sovellusvariaatiota on pystytty parantamaan, erityisesti näin on käynyt Mazak-NC-sorvin kanssa. Quaser-työstökeskuksen kapasiteettia ei kuitenkaan ole pystytty hyödyntämään halutulla tasolla. Ratkaisu olisi saada työstökeskus osaksi automatisoitua valmistusjärjestelmää. Työstökeskuksen käyttöaste nousisi merkittävästi ja parantaisi huomattavasti koko valmistusjärjestelmän kapasiteettia. Se edellyttää toimivaa ratkaisua kommunikointiyhteyksien luomiselle.

Teollisuusrobotin ohjauskaappi tarjoaa liitántärajapinnaksi Beckhoff-signaaliterminaalin, josta robotin ohjausjärjestelmä pystyy lähettämään ja vastaanottamaan digitaalisen I/O-signaalin. Robotin järjestelmä käyttää ohjausjännitteenä 24 VDC, jolloin 0 V antaa binääriarvon 0 ja 24 V puolestaan

binääriarvon 1. Digitaalisen I/O-signaalin lisäksi Beckhoffissa on myös mahdollisuus käyttää teollisuuteen tarkoitettua EtherNet/IP-liitäntää.

Teollisuusrobotin ohjausjärjestelmän kapasiteetti riittää koko koneistussolun ohjaukseen, mutta yhtenäisen järjestelmän toteuttaminen on haasteellista. Koneistussolun Mazak-NC-sorvi on vuodelta 1993 ja Quaser-työstökeskus vuodelta 2005. Koneiden välillä esiintyykin suuria eroavaisuuksia liitäntä rajapinnoissa sekä ylipäättänsä optio mahdollisuuksista automaatio sovelluksiin. Asia korustuu erityisesti Quaser-työstökeskuksessa. Työstökoneen sähkökaaviota luettaessa voidaan todeta, ettei se sisällä erillistä robottirajapintamoduulia. Koneessa ei myöskään ole digitaalisille I/O-signaaleille yhtenäistä liitäntäterminaalia, johon ulkoiset laitteet voitaisiin liittää. (Quaserin sähkökaavio 2005; Mazakin käyttö- ja huolto-ohjekirja 1993.)

6.2 Solun kehittäminen

Työn tavoitteena on selvittää, kuinka Quaser-työstökeskus saadaan osaksi nykyistä automatisoitua valmistusjärjestelmää. Selvitys aloitettiin tutustumalla solussa entuudestaan oleviin koneisiin sekä kartoittamalla, mitä rajaehdot ne asettavat toteutuksen suunnitelmalle.

Tarkoituksena on lisätä teollisuusrobotin ohjausjärjestelmän alaisuuteen työstökeskus. Tämä edellyttää luotettavaa ja turvallista tiedonsiirtoyhteyttä koneiden välille. Tyypillisesti nykyaikaiset tiedonsiirtoyhteydet antureissa, toimilaitteissa ja ohjausjärjestelmissä toteutetaan kenttäväylää, kuten esimerkiksi Ethernet/IP, käyttäen.

Solun kehitystyössä apuna käytettiin konepajojen modernisointia toteuttavia yrityksiä sekä kontaktoitiin uusia valmistusjärjestelmiä tarjoavia yrityksiä.

6.2.1 Toteutusvaihtoehdot

Osiossa esitellään olemassa olevia toteutusvaihtoehtoja, joilla pystytään kehittämään Metropolia AMK:n automatisoitua valmistusjärjestelmää. Kaksi ensimmäistä vaihtoehtoa keskittyvät Quaser MV 154 P -työstökeskukselle toteuttettaviin muutostöihin ja kolmas kokonaan uuteen koneistuskeskukseen.

Toteutusvaihtoehto 1:

Quaser-työstökeskus voidaan osittain kytkeä robotin ohjausjärjestelmään tekemällä suoraan kytkentöjä työstökeskuksen releihin tai kontaktoreihin. Käytännössä koneeseen luodaan alemman tason järjestelmiä, jotka simuloivat ihmisen toimintaa. Työstökoneen ovenavausliike on toteutettu pneumatiikkasyliinterillä ja ohjattavalla solenoidiventtiilillä. Oven lukitus vapautetaan käyttämällä koneen omaa avauspainiketta tai viemällä ohjaussignaali 31K4-releelle (kuva 11). Tästä huolimatta monet ohjausjärjestelmälle tarvittava tulo- ja lähtösignaalien paikat jäävät uupumaan. Näistä esimerkkejä ovat rutiinin käynnistäminen "cycle start" tai tieto rutiinin päättymisestä "cycle ready". Lisäksi vastaavissa toteutuksissa aiheutuu piiloriskejä, joihin voi olla etukäteen hyvin vaikea varautua. Käytännössä selkeä ja turvallinen ratkaisu voisi olla luoda rajapinta työstökeskuksen omaan PLC:hen, jonka avulla päästäisiin käyttämään koneen M-koodeja.



Kuva 11. Quaser-työstökeskuksen sähkökaappi ja 31K4-rele korostettuna.

Toteutusvaihtoehto 2:

Työstökeskus voidaan kytkeä teollisuusrobottiin suhteellisen joustavalla automaatoratkaisulla. Työstökeskuksen Fanuc 18iM-B -ohjaukseen toteutetaan ohjelmistomuutos. Muutoksia joudutaan tekemään ohjelmiston parametreihin ja samalla pystytään määrittämään M-koodien I/O-signaalien asetukset. Kytkentää varten sähkökaappiin lisätään vielä robottirajapintamoduuli, joka sisältää kytkennät tulo- ja lähtösignaaleille. Tällöin teollisuusrobotin ohjausjärjestelmä päästää suoraa kytkemään moninapaisella ohjauskaapelilla työstökeskukseen. Muutostyö edellyttää konepajojen automatisointi- ja modernisointitöihin erikoistuneita yrityksiä, erityisesti Fanuc 18iM-B -ohjaukseen toteuttavien muutostöiden vuoksi. Nucos Oy:ltä saadun arvion mukaan työn toteus kestää kaksi työpäivää ja kokonaisuudessaan maksaisi noin 6000 euroa (Viitanen 2022). Vastaavia muutostöitä toteuttaa myös Avertas Robotics ja Robotion Oy. (Kosonen 2022).

Toteutusvaihtoehto 3:

Vaikka nykyisen valmistusjärjestelmän koneet ovat käyttöympäristönsä takia kevyellä kuormituksella, ne ovat teknisesti vanhentuneita: Mazak-NC-sorvi vuodelta 1993 ja Quaser-työstökeskus vuodelta 2005 (Quaserin sähkökaavio 2005; Mazakin käyttö- ja huolto-ohjekirja 1993.) Viimeinen toteutusvaihtoehto olisi toteuttaa koneistussolussa uusia konehankintoja. Uudet koneet edustavat nykypäivän valmistustekniikka ja mahdollistavat modernit liitäntärajapinnat. Selvitystä varten Wihurilta pyydettiin tarjous uuden sukupolven 5-akselisesta koneistuskeskuksesta, joka sisältää itsessään option teollisuusrobottiautomaatoratkaisulle. Vaihtoehto vaatisi koko koneistuslaboratoriossa layoutmuutosta sekä olisi investointina huomattavasti suurempi kuin muut vaihtoehdot. Koneistuskeskuksen hankintahinta varusteltuna on yli 300 000 euroa. Koneistuskeskuksen tekniset ominaisuudet on esitelty liitteessä 1.

7 Yhteenveto ja päätelmät

Joustavaan automaation pohjautuvat valmistusjärjestelmät kehittyvät jatkuvasti. Kehitystä tapahtuu kaikissa automaation osa-alueissa robotiikassa, tuotantokoneissa, logiikoissa, tiedonsiirtoyhteyksissä ja aina koneturvallisuudessa asti. Automaatiotekniikan kehityksen lisäksi markkinoille syntyy uusia innovatiivisia valmistusjärjestelmä sovelluksia, minkä vuoksi olemassa olevaa kirjallisuusmateriaalia voidaan käyttää vain perustietona. Automaation ja tuotantojärjestelmien nopea kehitys johtuu pitkälti markkinoiden kovasta kilpailutilanteesta. Yritysten on pystyttävä parantamaan kilpailuasemaansa tinkimättä laadusta. Joustavaan automaation perustuvat valmistus- tai tuotantojärjestelmät mahdollistavat vakiintuneen laatutason, tuotannon joustavuuden ja olemassa olevan kapasiteetin tehokkaan käytön.

Selvityksessä kartoitettiin teollisuusrobotin ohjausjärjestelmän ja Quaser-työstökeskuksen vaihtoehtoiset liityntärajapinnat sekä toteutusvaihtoehdot valmistusjärjestelmän kapasiteetin nostattamiseksi. Selvityksessä ilmenee automaatiotekniikasta muodostuvia ongelmia. Erityisesti vanhojen järjestelmien automatisoinnissa haasteita aiheuttavat järjestelmien yhteensopivuudet. Valmistajat ovat siirtyneet käyttämään nykyään yhtenäisiä liitännärajapintoja sekä varmistamaan mahdollisimman laajan yhteensopivuuden. Suurimpien valmistajien uudet järjestelmät perustuvat pitkälti avoimeen protokollaan, joten niiden liittäminen osaksi järjestelmää on suhteellisen helppoa.

Metropolia AMK:n automatisoitua valmistusjärjestelmän kapasiteettia voidaan nostaa merkittävästi, jos sen osaksi liitetään Quaser MV 154 P -työstökeskus. Työstökeskuksella ei ole suoranaista valmiutta automaatio-sovellukseen, mutta työssä esitetyn toteutusvaihtoehdon 2:n mahdollistama ohjelmistomuutos on ratkaiseva tekijä työstökeskuksen liittämisessä teollisuusrobotin ohjausjärjestelmään. Tällä ohjelmistomuutoksella saavutetaan tarvittava liitännärajapinta järjestelmien välille. Investointi on suurudeltaan vain muutamia tuhansia euroja, ja se mahdollistaa olemassa olevien järjestelmän osien hyödyntämisen. Tämän lisäksi toteutusvaihtoehto 2 nostaisi merkittävästi

työstökeskuksen nykyistä käyttöastetta ja tarjoaisi puitteet laajempien opetustoteutusten järjestämiseen.

Lähteet

Aalto, H. & Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Suomen robotiikkayhdistys. Helsinki: Talentum.

Aaltonen, K. & Torvinen, S. 1997. Konepaja-automaatio. Helsinki: WSOY.

Ahokas, J.; Auer, J.; Hyvönen, J.; Naskali, E.; Nenonen, M.; Niemi, J. & Välikoski, A. 2013. Fastems FMS: Täydellä teholla. Tampere: Fastems.

Automated CNC milling and turning machines. Verkkoaineisto. Sick AG. <https://cdn.sick.com/media/docs/3/53/953/industry_overview_machine_tools_en_im0055953.pdf>. Luettu 13.5.2022.

Fully Automated Barrel Cell. 2019. Verkkoaineisto. UNISIG Global Headquarters. <<https://unisig.com/news-and-events/technical-articles/full-auto-barrel-automation-cell>>. Luettu 13.5.2022.

Groover, M. P. 2014. Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing. 3 painos. Harlow: Pearson Education.

ISO 8373. 2012. Robots and robotic devices. International Organization for Standardization. Verkkoaineisto. <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en:en?msclid=6e38d054c71f11ec885437d65595f61b>>. Luettu 13.5.2022.

Keinänen, T.; Kärkkäinen, P.; Lähetkangas, M.; Sumujärvi, M.; Lähetkari, M.; Immonen, P. & Keinänen, T. 2007. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit.

Keinänen, T.; Kärkkäinen, P.; Metso, T. & Putkonen, K. 2001. Koneautomaatio 2: Logiikat ja ohjausjärjestelmät. Helsinki: WSOY.

Kopsa, A. 2017. Automaattisen koneistussolun muodostaminen NC-sorvista ja teollisuusrobotista Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Kosonen, M. 2022. Huoltopäällikkö, Cron-Tek Oy. Helsinki. Puhelin- ja sähköpostikeskustelu 24.4.2022.

Mazak Super Quick Turn 10 M -käyttö- ja huolto-ohjekirja. 1993. Mazak Corporation.

MMS-Manufacturing Management Software. Verkkoaineisto. Fastems.
<<https://www.fastems.com/offering/mms/>>. Luettu 13.5.2022.

PSBB. Verkkoaineisto. Finn-Power Oy.
<<https://www.primapower.com/fi/technologies/systems/flexible-manufacturing-systems/psbb>>. Luettu 13.5.2022.

Quaser MV 154 P -sähkökaavio. 2005. Quaser Machine Tools Inc.

Siirilä, T. 2008. Koneturvallisuus 1: EU-määräysten mukainen koneiden turvallisuus. 2 uudistettu painos. Espoo: Inspecta.

Tesla signs agreement for China Gigafactory, doubling output. Verkkoaineisto. Internet of Business. <<https://internetofbusiness.com/tesla-factory-in-china-doubling-output/>>. Luettu 13.5.2022.

The International federation of Robotics. Verkkoaineisto. Automate.
<<https://www.automate.org/a3-content/joseph-engelberger-unimate>>. Luettu 13.5.2022.

The International federation of Robotics. Verkkoaineisto. IRF. <<https://ifr.org/>>. Luettu 13.5.2022.

Viitanen, O. Toimitusjohtaja. 2022. Nucos Oy. Pirkkala. Puhelin- ja sähköpostikeskustelu 19.4.2022.

What is Industrial Automation. Verkkoaineisto. Electrical Technology.
<<https://www.electricaltechnology.org/2015/09/what-is-industrial-automation.html>>. Luettu 13.5.2022.

Öhman, M. 2019. Tuotantojärjestelmät. TU-A110 Tuotantotalous 1 opetusmateriaali. Aalto-yliopisto.
<https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/963719/course/section/144891/Lecture_3a_fi.pdf>. Luettu 13.5.2022.

Mazak CV5-500:n tekniset ominaisuudet

Mazak

CV5-500

[5-axis vertical machining centre]



Standard Machine Specifications

	CVS-500
Spindle	
X-axis travel (spindle head left / right)	1300 mm
Y-axis travel (table back / front)	450 mm
Z-axis travel (spindle head up / down)	400 mm
Spindle travel (table top)	200* (H/T)*
C-axis travel (table rotation)	360*
Table	
Distance from table top to spindle nose	30 ~ 250 mm (table B table T)
Table size	950x mm
Max. workpiece size	950x mm x 200 mm
Table load capacity (primary distribution)	200 kg
Table surface configuration	MT8 x P2 (No. 18 table)
Max. spindle speed	12000 rpm*
Spindle taper	No. 40
Spindle bearing ID	φ70 mm
Feedrate	
Feedrate manual (D, Y, Z-axis)	30 mm/min
Feedrate auto (D, Y, Z-axis)	30 mm/min
Cutting feedrate (D, Y, Z-axis)	20000 mm/min
Spindle speed / coordinate rate	5
Max. rotating moment (D, Y, Z-axis)	0.200 t*
Rotating time (D-axis)	0.8 sec / 100°
Rotating time (Y-axis)	0.8 sec / 100°
Automatic tool error configuration	No. 40
Tool storage capacity	30
Max. tool diameter / length from gauge line / weight	φ60 mm / 200 mm / 8 kg
Max. tool diameter with support tool pockets empty	φ70 mm
Tool selection method	Rotation selector, encoder part
Tool change time (preparation)	4.6 sec
Maxima	
Spindle motor (10% ED / 25% ED / 40% ED / Cont. rating)	11.6 / 16.0 / 21.0 / 11.0 kW
Spindle torque (10% ED / 25% ED / 40% ED / Cont. rating)	75.0 / 105.0 / 141.0 / 71.0 Nm
Spindle power requirement (10% ED / Cont. rating) 15000 rpm*	48.5 kVA / 3 kVA
Spindle power requirement (40% ED / Cont. rating) 15000 rpm*	20.3 / 4.2 kVA
Air intake	0.5 m³/min ~ 0.9 m³/min 200 Pa / min
Machine size	
Height	2000 mm
Length	2200 mm (2000 mm with conveyor)
Width	2070 mm (2040 mm with CNC panel)
Machine weight	4.52 t kg
CNC	MAZATROL Standard
Sound	Customer continuous sound pressure level at operator position (dependent on equipment option)
	1.6m from 90 dB (A)

Standard and Optional Equipment

Model	CVS-500	Standard	Optional
Table	φ700 mm non tapered plate	<input checked="" type="checkbox"/>	
ATC	φ700 mm / 400 mm	<input type="checkbox"/>	
ATC	ATC 30 tool magazine	<input type="checkbox"/>	
Spindle	ATC 40 tool magazine	<input type="checkbox"/>	
	10 x 4 taper No. 40 spindle	<input type="checkbox"/>	
	Big-Plus No. 40 spindle	<input type="checkbox"/>	
	Horizontal spindle (table top / only)	<input type="checkbox"/>	
	3000 rpm spindle	<input type="checkbox"/>	
	3000 rpm* spindle	<input type="checkbox"/>	
High Accuracy	Ball screw drive coating (D, Y, Z-axis) 15000 rpm* only	<input type="checkbox"/>	
	Scale feedback (D, Y, Z-axis)	<input type="checkbox"/>	
Spindle / motor	Spindle motor / motor	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Automatic power on / off and alarm up operator	<input type="checkbox"/>	
	Spindle light (D-axis)	<input type="checkbox"/>	
	Tool ID recognition panel	<input type="checkbox"/>	
	Auto tool length measurement and tool length parameter	<input type="checkbox"/>	
	Spindle motor power generator	<input type="checkbox"/>	
	Automatic tool door auto open / close	<input type="checkbox"/>	
	Automatic air cooler (H/T)	<input type="checkbox"/>	
Maximum tool package 1	Maximum tool package 1 (predefined tool length)	<input type="checkbox"/>	
	Predefined tool length	<input type="checkbox"/>	
Maximum tool package 2	Maximum tool package 2 (predefined tool length)	<input type="checkbox"/>	
	Predefined tool length	<input type="checkbox"/>	
Automatic package	Automatic package	<input type="checkbox"/>	
	Max. No. Change	<input type="checkbox"/>	
	Smooth feedrate control	<input type="checkbox"/>	
Control and drive device	Control package 1	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Control package 2	<input type="checkbox"/>	
	Control package 3	<input type="checkbox"/>	
	Control package 4	<input type="checkbox"/>	
	Control package 5	<input type="checkbox"/>	
Working environment	Workplace air flow	<input type="checkbox"/>	
	Air through spindle with rotation	<input type="checkbox"/>	
	Alarm limit coolant freeze	<input type="checkbox"/>	
	Oil detector	<input type="checkbox"/>	
	Chip suction (table top)	<input type="checkbox"/>	
	Chip suction (table top)	<input type="checkbox"/>	
	Predefined tool cooler	<input type="checkbox"/>	
	Work light	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Heat conductor	<input type="checkbox"/>	
	Preparation for oil collector	<input type="checkbox"/>	
	Preparation for oil collector	<input type="checkbox"/>	
	Preparation for oil collector	<input type="checkbox"/>	
	Preparation for oil collector	<input type="checkbox"/>	

*Refer to the manual for detailed information on optional equipment and its use.

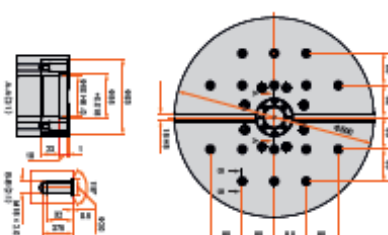
MAZATROL SmoothX Specifications (CVS-500)

MAZATROL		MVA	
Number of controlled axes	Straightened 2 - 4 axes	Straightened 2 - 4 axes	Straightened 5 axes
Lead angle adjustment	Standard: 2°, 4° axes	0.001° min. to 0.0087° / 0.001°	0.001° min. to 0.0087° / 0.001°
High speed	Single compression, Smooth corner control	Single compression, Smooth corner control, Rapid traverse entry, Multi-axis corner control, Acceleration/deceleration	Single compression, Smooth corner control, Rapid traverse entry, Multi-axis corner control, High speed machining mode, High speed processing control, Lead angle
High precision control	Rigid traverse control, Acceleration/deceleration	Rigid traverse control, Acceleration/deceleration	Rigid traverse entry, Multi-axis corner control, High speed machining mode, High speed processing control, Lead angle
Interpolation	Pathing (5th order), Pathing (10th order), Linear interpolation, Circular interpolation, Polar coordinate interpolation, Synchronous entry	Pathing (3rd order), Pathing (10th order), Linear interpolation, Circular interpolation, Spherical interpolation, Helical interpolation, Circular interpolation, Polar coordinate interpolation, Synchronous entry	Pathing (3rd order), Pathing (10th order), Linear interpolation, Circular interpolation, Spherical interpolation, Helical interpolation, Circular interpolation, Polar coordinate interpolation, Synchronous entry
Feedrate	Rigid traverse, Cutting feed, Cutting feed per minute, Cutting feed per revolution, Feed film, rotation, Cutting feed control, High speed control, Feedrate hold, Variable acceleration control, Spindle control	Rigid traverse, Cutting feed, Cutting feed per minute, Spindle limit feed, Spindle film, rotation, Rapid traverse entry, Cutting feed control, High speed control, Feedrate hold, Torque control damping in I, Variable acceleration control of deep cut	Rigid traverse, Cutting feed, Cutting feed per minute, Spindle limit feed, Spindle film, rotation, Rapid traverse entry, Cutting feed control, High speed control, Feedrate hold, Torque control damping in I, Variable acceleration control of deep cut
Program registration	Number of programs: 200 (Standard) / 500 (Max.), Program memory: 2 MB, Program memory expansion: 32 MB, Program memory expansion: 32 MB	Number of programs: 200 (Standard) / 500 (Max.), Program memory: 2 MB, Program memory expansion: 32 MB, Program memory expansion: 32 MB	Number of programs: 200 (Standard) / 500 (Max.), Program memory: 2 MB, Program memory expansion: 32 MB, Program memory expansion: 32 MB
Control display	Display: optional panel function: 16:9cm	Display: optional panel function: 16:9cm	Display: optional panel function: 16:9cm
Spindle function	3 to 4 axes, 5 axes rigid control, Spindle speed limiting, Spindle speed limiting selection, Multi-axis position limit, Corner radius speed, Spindle speed command with spindle sign, Synchronous spindle lock, Spindle speed rapid entry	Spindle speed limiting selection, Multi-axis position limit, Corner radius speed, Spindle speed command with spindle sign, Synchronous spindle lock, Spindle speed rapid entry	Spindle speed limiting selection, Multi-axis position limit, Corner radius speed, Spindle speed command with spindle sign, Synchronous spindle lock, Spindle speed rapid entry
Feed function	Number of feed offset: 400, 7 axes rapid for four quadrants, Torque monitoring (peak)	Number of feed offset: 400, 7 axes rapid for four quadrants, Torque monitoring (peak), Spindle speed for group control, Spindle speed monitoring (peak)	Number of feed offset: 400, 7 axes rapid for four quadrants, Torque monitoring (peak), Spindle speed for group control, Spindle speed monitoring (peak)
Interpolation function	Multi-axis linear, Spherical, circular and helical, or cosine	Multi-axis linear, Spherical, circular and helical, or cosine	Multi-axis linear, Spherical, circular and helical, or cosine
Tool offset functions	Tool position offset, Tool length offset, Tool clearance (tool nose to offset, Spindle over offset)	Tool position offset, Tool length offset, Tool clearance (tool nose to offset, Spindle over offset)	Tool position offset, Tool length offset, Tool clearance (tool nose to offset, Spindle over offset)
Coordinate system	Machine coordinate system, Work coordinate system, Local coordinate system, Absolute work coordinate (ABS) (M)	Machine coordinate system, Work coordinate system, Local coordinate system, Absolute work coordinate (ABS) (M)	Machine coordinate system, Work coordinate system, Local coordinate system, Absolute work coordinate (ABS) (M)
Machine function	-	Emergency stop, Tool safety pause, Hold, Feeding hold, Dynamic compensation, Torque sensor feed control, Tool holder compensation for 5-axis machining, Workpiece positioning error compensation	Emergency stop, Tool safety pause, Hold, Feeding hold, Dynamic compensation, Torque sensor feed control, Tool holder compensation for 5-axis machining, Workpiece positioning error compensation
Machine compensation	Ballbar compensation, PMN axis compensation, Servomotor, spindle compensation, Worktable compensation	Ballbar compensation, PMN axis compensation, Servomotor, spindle compensation, Worktable compensation	Ballbar compensation, PMN axis compensation, Servomotor, spindle compensation, Worktable compensation
Protection function	Emergency stop, Warning, Prevents table crash, Position function for a window lock, SAFETY SHIELD (manual mode), SAFETY SHIELD (automatic mode), VOCC-ACTION	Emergency stop, Warning, Prevents table crash, Position function for a window lock, SAFETY SHIELD (manual mode), SAFETY SHIELD (automatic mode), VOCC-ACTION	Emergency stop, Warning, Prevents table crash, Position function for a window lock, SAFETY SHIELD (manual mode), SAFETY SHIELD (automatic mode), VOCC-ACTION
Automatic operation mode	Memory operation	Memory operation, Stop operation, MDC operation, E-stop to holder	Memory operation, Stop operation, MDC operation, E-stop to holder
Automatic operation mode	Optional stop, Dry run, Manual touch interpolation, MDS Movement, Tool Release, Machine lock	Optional lead stop, Optional stop, Dry run, Manual touch interpolation, MDS Movement, Tool Release, Machine lock, Machine lock	Optional lead stop, Optional stop, Dry run, Manual touch interpolation, MDS Movement, Tool Release, Machine lock, Machine lock
Manual starting function	Tool length block, Tool wear compensation measurement, Workpiece after measurement, Spindle coordinate measurement, Measurement on machine	Tool length block, Tool offset block, Tool wear compensation measurement, Workpiece after measurement, WPC coordinate measurement, Measurement on machine	Tool length block, Tool offset block, Tool wear compensation measurement, Workpiece after measurement, WPC coordinate measurement, Measurement on machine
Automatic start/stop function	WPC coordinate measurement, Automatic tool length measurement, Tool wear compensation measurement, Tool length correction, External feed/speed selection	Automatic tool length measurement, Tool wear compensation measurement, Tool length correction, External feed/speed selection	Automatic tool length measurement, Tool wear compensation measurement, Tool length correction, External feed/speed selection
MDS measurement	Steel electrode tool length measurement, Feed advance tool length measurement, Chock wheel measurement	Steel electrode tool length measurement, Feed advance tool length measurement, Chock wheel measurement	Steel electrode tool length measurement, Feed advance tool length measurement, Chock wheel measurement
Axis data	PROBTRAC-GP*, EBMTRAC*, CC-LAR*, LMB	PROBTRAC-GP*, EBMTRAC*, CC-LAR*, LMB	PROBTRAC-GP*, EBMTRAC*, CC-LAR*, LMB
Control software	3D control software	3D control software	3D control software
Machine	50 kW / 680 W / 17.0 kw	50 kW / 680 W / 17.0 kw	50 kW / 680 W / 17.0 kw

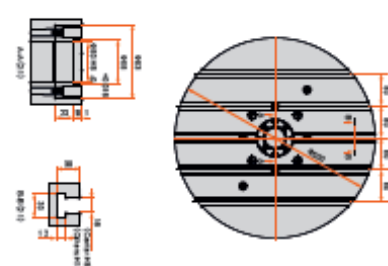
Table Dimensions

CVS-500

Tapped pulley with location bore (standard)



T-slot pulley with location bore (option)



Machine Dimensions

CVS-500

