

Pekka Koutonen & Niko Sakko

ROBOTIIKAN OPPIMISYMPÄRISTÖN KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyö

KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Syyskuu 2011

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Ylivieska	Päivämäärä Maaliskuu 2011	Tekijä/tekijät Niko Sakko Pekka Koutonen
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
Työn nimi Robottiikan oppimisympäristön kehittäminen		
Työn ohjaaja Jari Kaarela		Sivumäärä [50 + 5]
Työelämäohjaaja Jari Mäkelä		
<p>Opinnäytetyö tehtiin Keski-pohjanmaan Ammattikorkeakoulun Ylivieskan yksikölle. Yksikön tuotantoautomaatiolaboratorio investoi uuden Motoman-käsivarsirobotin tiloihinsa. Työn tavoitteena oli tehdä robotille käyttöönotto, mihin kuului robotin toimiympäristön suunnittelu sekä erilaisten turvaratkaisujen miettiminen. Robottia käytetään laboratorion erilaisiin testeihin, mutta se on myöskin vahvasti opiskelijoiden käytössä harjoituksissa. Näitä oppimisharjoituksia oli tavoitteena tehdä kolme kappaletta. Harjoitusten tuli olla sisällöltään opettavia, innostavia, mielenkiintoisia sekä haastavia. Teoria osiosta tuli informatiivinen ja haastava. Harjoitukset onnistuttiin toteuttamaan haastaviksi.</p>		
Avainsanat [Sensorit, Kinematiikka, Robottiikka, Ohjelmointi, Turvallisuus]		

ABSTRACT

CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	Date May 2011	Author Niko Sakko Pekka Koutonen
Degree programme Mechanical and Production Engineering		
Name of thesis Developing the robot learning environment		
Instructor Jari Kaarela	Pages [50 + 5]	
Supervisor Jari Mäkelä		
<p>This diploma work was made to Central Ostrobothnia University of Applied sciences, Ylivieska unit. The production lab of COU invested in a new Motoman robot into use. The main goal of this diploma work was to bring the robot into use. That included designing the operational environment and searching for various safety solutions. The lab uses the robot for differend kinds of testes but it is also frequently used by students in many excercises. The aim was to design three excercises for students to practise with the Motoman robot. The excercises were expected to be educational, inspiring, interesting and challenging. Theory section became informative and comprehensive. In addition, the goal of making the excercises challenging was met.</p>		
Key words [Sensor, Kinematics, Robotics, Programming, Safety]		

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 TEOLLISUUSROBOTIT	2
2.1 Mekaaniset rakenteet	3
2.1.1 Kuuden vapausasteen robotit	4
2.1.2 Epätavallisia robottirakenteita	5
2.2 Kinematiikka- oppi robotin geometrisista riippuvuuksista	5
2.2.1 Teollisuusrobotin koordinaatistot	6
2.2.2 Epäsuora aseman mittaus	6
2.2.3 Koordinaatistomuutokset	7
2.3 Anturoinnit	7
2.3.1 Inkrementtianturit	8
2.3.2 Akselikulmaa mittaavat inkrementtianturit	8
2.3.3 Lineaarista liikettä mittaavat inkrementtianturit	9
2.3.4 Rakenne	10
2.4 Robottien ohjaus ja säätö	11
2.4.1 Robottiohjauksen tehtävät	12
2.4.2 Paikoitus ja rataohjaus	14
2.4.3 Soluohjaimet	15
2.5 Ohjelmointimenetelmät	17
2.6 Esimerkkejä robotiikassa käytettävistä turvalaiteantureista	20
2.7 Näköjärjestelmät	26

3 ROBOTITARRAIMET JA TYÖKALUT	28
3.1 Tarraimet	28
3.1.1 Mekaaniset tarraimet	28
3.1.2 Imu- ja tyhjiötarttijat	29
3.1.3 Magneettitarrain	30
4 TURVALLISUUS	31
4.1 Lainsäädäntöä sekä standardeja	31
4.2 Robottijärjestelmän turvallisuustekniikka	32
4.2.1 Turvallisuussuunnittelu	33
4.2.2 Suojarakenteet ja turvaetäisyydet	33
4.2.3 Hätäpysäytys	34
4.2.4 Kulkutiet ja työskentelytasot	36
4.2.5 Alennettu nopeus	37
4.2.6 Turvalaitteista ja niiden asentamisesta	37
4.3 Robottien turvallisuusteknisten ratkaisujen kehitys	40
5 ROBOTIIKAN OPPIMISYMPÄRISTÖN KEHITTÄMINEN	43
5.1 Matriisin kokoonpano	44
5.2 Kuljettimen päälle laatikkoon pinoaminen	45
5.3 If- paneeli	46
POHDINTAA	50

LIITTEET	51
Liite 1 Harjoitus 1	51
Liite 2 Harjoitus 2	54
Liite 3 Harjoitus 3	57
Liite 4 Esimerkkiohjelma 1	63
Liite 5 Esimerkkiohjelma 2	64
LÄHTEET	65
KUVIOT	
KUVIO 1. Yleisimpien robottityyppien rakenne-esimerkkejä	2
KUVIO 2. Mielivaltaiseen asentoon tarvitaan kolme kulmamuuttujaa	4
KUVIO 3. Tasoliike kitkattomasti roikkuen magneettikenttien avulla	5
KUVIO 4. Inkrementtipulssit	9
KUVIO 5. Linearianturi	10
KUVIO 6. Koneautomaation Anturit 1.0	11
KUVIO 7. Kiertyvänivelinen teollisuusrobotti	14
KUVIO 8. Soluohjauksen tehtäviä	17
KUVIO 9. Valokytkinten toimintaperiaatteita	21
KUVIO 10. Laserskannerin rakenne ja valvonta-alue	23
KUVIO 11. Periaatekuva kamerajärjestelmästä turvalaitteena	25
KUVIO 12. Poikkileikkaus SafetyEYEn muodostamasta valvontakartiosta	26
KUVIO 13 .Pneumaattinen tarrain	29
KUVIO 14. Alipainetarttuja	30
KUVIO 15. Magneettitarrain	30
KUVIO 16. Koneiden turvallisuuden liittyvää lainsäädäntöä	31

KUVIO 17. Esimerkki hätäpysäytyksen kytkennästä	35
KUVIO 18. Rullapäinen rajakytkin asennettuna portin saranaan	38
KUVIO 19. Robottiikan turvallisuustekniikan tarpeita	41
KUVIO 20. Robottien turva-antureiden kehitystä	42
KUVIO 21. If-paneeli ilman toimintoja	46
KUVIO 22. If-paneeli toiminnoilla	47

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Ohjelmointimenetelmät	17
TAULUKKO 2. Turvaetäisyyksiä suojarakenteen yli	34
TAULUKKO 3. Matriisiesimerkit	44

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi Keski-Pohjanmaan Ammattikorkeakoulun Ylivieskan yksikkö. Yksikön tuotantoautomaatiolaboratorioon tehtiin kaksi uutta hankintaa, joista toiseen, Motoman DX100 käsivarsirobottiin me valikoiduimme tekemään käyttöönottoa ja turvaympäristön suunnittelua. Laboratorion laitekanta on Suomen mittakaavassa jo varsin laaja ja kattava. ABB:n robotteja on kaksi kappaletta, yksi Motoman robotti, 3D-tulostin, koneistuskeskus, sorvi sekä palvelurobotti. Opiskelijat käyttävät näitä laitteita ahkerasti osana kursseja.


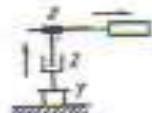








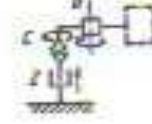







Motoman DX100 robottiin perehtyminen on ollut vähäistä henkilökunnan puolesta ajanpuutteen vuoksi. Osana eri projektia muutamia opiskelijoita on siihen aikaisemmin tutustunut. Tavoitteena oli laatia kolme uutta harjoitusta työhohjeineen robotille. Harjoituksissa piti hyödyntää robotin ominaisuuksia ja keksiä jotain uutta, eikä siis pelkästään kopioida vanhoja harjoituksia uudelle laitteelle.

Tässä opinnäytetyössä tulemme käsittelemään robotiikan peruskäsitteitä, erilaisia robottirakenteita, sekä tutustuneet lainsäädäntöön koskien turvallisuutta ja turvaympäristöä robotiikan parissa. Robottien liikkumisen ja paikoituksen kannalta tärkeät anturitekniikat ja erilaiset turvalaitteet sekä robottiin liitettävät työkalut kävimme läpi syväluotaavasti.

2 TEOLLISUUSROBOTIT

Teollisuusrobotteja on tähän mennessä valmistanut ainakin viisisataa yritystä; kunkin valikoimaan on koko ajan kuulunut useita robottimalleja, joillakin jopa kymmenkunta. Yhden mallin elinkaari on kestänyt keskimäärin neljä vuotta. Lisäksi rakenteita on jouduttu erilaistamaan patenttien ja eri sovellusten vuoksi. (Kuivanen 1999, 12.)

ISO 8373 standardissa määritellään teollisuusrobottien sanastoa, mutta myös yleisimmät robottimallit niiden mekaanisen rakenteen mukaan (KUVIO 1).

Nimitys pääakselien mukaan	Rakenne	Kinemaattinen kaavio	Työalue
Suorakulmainen robotti			
Sylinterirobotti			
Napa-koordinaattirobotti			
Scara-robotti			
Kiertävänivelinen robotti			
Rinnakkaisrakenneinen robotti			

Kuvio 1. Yleisimpien robottityyppien rakenne-esimerkkejä. (Kuivanen 1999, 12.)

Kansainvälisen robottiyhdistyksen määritelmän mukaan robotti on uudelleen ohjelmoitavissa oleva monipuolinen vähintään kolminivelinen mekaaninen laite, joka on suunniteltu liikuttamaan kappaleita, osia, työkaluja tai erikoislaitteita ohjelmoitavin liikkein monenlaisten tehtävien suorittamiseksi teollisuuden sovelluksissa. Uudelleen ohjelmoitavuus on siis olennaista, mutta nykyaikaisissa aistinohjatuissa robottisovelluksissa pelkkä uudelleen ohjelmoitavuus ei riitä, vaan robotit on saatava muodostamaan tuotteiden suunnittelutiedoista ja ympäristömallista liikeratansa, jota päivitetään prosessia tarkkailevien antureiden avulla. (Kuivanen 1999, 13.)

Yksinkertaisesti siis teollisuusrobotiksi kutsutaan mekaanista konetta, joka siirtää työkalun kiinnityslaippaa valitulla tavalla, liikerata voi siis olla määritelty etukäteen joko kokonaan tai sitten toimintaympäristön tapahtumien mukaan valittava tai antureiden perusteella liikkeiden mukaan luotu. Robotissa jalustan ja työkalun välissä on tukivarsia, jotka liitetään toisiinsa nivelien avulla. Niveliä puolestaan liikuttaa takaisinkytketyt ohjattavat servotoimilaitteet. (Kuivanen 1999.)

2.1 Mekaaniset rakenteet

Robotti koostuu tukivarsista, joista kaksi liikkuu toistensa suhteen joko tietyn suoran suunnassa tai suoran ympäri. Tätä käsitteellistä akselia kutsutaan usein niveleksi. Nivelten avulla tukivarret muuttavat keskinäisiä asentoja ja asemiaan. Yhtä robotin perusliikettä eli niveltä sanotaan vapausasteeksi. Vapausasteet ovat teollisuusroboteissa kiertyviä tai suorita (lineaarisia). (Kuivanen 1999.)

Vapausastetta kohti on yleensä yksi toimilaitte (esim. moottori tai sylinteri). Robottisovellukseen kannattaa valita vain tehtävän edellyttämät vapausasteet. Esimerkiksi hitsauksessa riittää teoriassa viisi vapausastetta, koska hitsauslangan kiertymäkulmalla itsensä ympäri ei ole merkitystä. Nykyään kumminkin lähes kaikilla kiertyvänivelisillä roboteilla on kuusi vapausastetta, tämä siksi että vaihtoehtoisia malleja olisi mahdollisimman vähän, ja robotti voidaan varustaa myös moniin muihin tarkoituksiin. (Kuivanen 1999.)

Niiden teollisuusrobottien mekaanista rakennetta, joissa tukivarsi on kytketty edellisten perään, sanotaan avoimeksi kinemaattiseksi rakenteeksi. Kevyempiin rakenteisiin

päästään, jos tukivarsia kytketään rinnakkain. Sitä sanotaan suljetuksi kinemaattiseksi rakenteeksi, ja robottia kutsutaan rinnakkaisrakenteiseksi. (Kuivanen 1999, 16.)

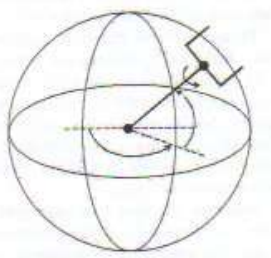
Suljetun kinemaattisen rakenteen ideana on jakaa tukivoimia toisiaan tukevien rakenteiden avulla, jonka takia robotista saadaan kestävä. Rakenteen suurimmat edut ovat keveys ja mahdollisuus suuriin voimiin. (Kuivanen 1999.)

Mekaanisia vapausasteita kytkemällä eri tavoin yhteen ja varioimalla vapausasteiden liikematkoja saadaan paljon erilaisia robotteja. Esimerkkinä muutamat vakiintuneet robottityypit; suorakulmaiset-, scara-, kiertyväniveliset- ja sylinterirobotit. (Kuivanen 1999.)

2.1.1 Kuuden vapausasteen robotit

Monikäyttöisimpiä ovat robotit, joiden työkalun saa mihin tahansa asentoon ja paikkaan työalueella. Tähän tarvitaan kuusi vapausastetta, joista vähintään kolme ovat kiertyviä. Kiertyvät vapausasteet ovat yleensä ranteessa. Saavutettavia asemia rajoittavat nivelten mekaaniset liikealueet ja robotille sallittava työskentelyalue. (Kuivanen 1999, 18.)

Tarve kuuteen vapausasteeseen selkenee kuvion 2 avulla. Kuvitellaan että työkalussa on varsi, jonka alkupiste saadaan haluttuun paikkaan kolmen päävapausasteen avulla. Kuvitellaan alkupiste pallon keskipisteeseen. Työkalu saadaan osoittamaan mihin tahansa suuntaan kahdella kuvan mukaisella kulmamuuttujalla (eli vapausasteella). Kun työkalua kierretään vartensa ympäri, se voidaan saada osoittamaan mihin tahansa suuntaan ja missä tahansa kiertokulmassa. Kuuden vapausasteen haittana on vapausasteiden mekaniikan ja ohjauksen korkea hinta. Siksi robottien soveltamisessa on pyritty yksinkertaisiin liikkeisiin. (Kuivanen 1999, 18.)

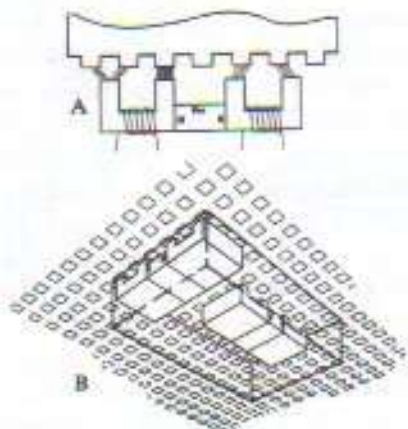


Kuvio 2. Mielivaltaiseen asentoon tarvitaan kolme kulmamuuttujaa. (Kuivanen 1999, 18.)

2.1.2 Epätavallisia robottirakenteita

Tavallisten robottityyppien lisäksi on myös monenlaisia muita erilaisia robottiratkaisuja. Niiden on erittäin vaikea kilpailla vakiintuneiden robottityyppien kanssa, esim. hintojen vuoksi. Vakiintuneet robottityypit ovat edullisempia ja helpommin saatavilla olevia. (Kuivanen 1999, 18.)

Esimerkkinä Megamation Inc. on tehnyt robotin, jolla on tasoliike kahdessa vapausasteessa sähkömagneeteilla toimivana. Kiinteässä sisäkattona toimivassa ”staattorissa” on neliömäisiä hampaita ja sen alapuolella olevassa liikkuvassa ”roottorissa” on kaksi sähkömagneettia, joiden magneettivuot kulkevat staattorin hampaiden kautta (KUVIO 3). Magneettikentät säädetään niin, että staattori pysyy vakioetäisyyden päässä roottoritasosta eli liikkuu kitkattomasti. (Kuivanen 1999.)



Kuvio 3. Tasoliike kitkattomasti roikkuen magneettikenttien avulla. (Kuivanen 1999, 18.)

2.2 Kinematiikka- oppi robotin geometrisista riippuvuuksista

Robotin tarkoitus on hallita työkalunsa asemaa ja liikettä operaattorin haluamalla tavalla. Siksi robotin on kyettävä laskennallisesti muuttamaan haluttu työkalun asema robotin halutuiksi vapausasteiden paikkaohjeiksi. Tätä tehtävää sanotaan käänteiseksi kinemaattiseksi tehtäväksi. Suoran kinemaattinen tehtävä on työkalun aseman määrittäminen paikka-arvojen perusteella. (Kuivanen 1999, 20.)

2.2.1 Teollisuusrobotin koordinaatistot

Teollisuusrobotin koordinaatistot ISO 9787-1990 standardin mukaan ovat maailma-, perus- ja työkalukoordinaatisto. (Kuivanen 1999, 20)

Maailmakoordinaatisto on robotin työskentely-ympäristöön, esimerkiksi rakennukseen, kuljettimeen tai robotin oheislaitteisiin sidottu robotin ulkopuolinen koordinaatisto. (Kuivanen 1999, 20.)

Peruskoordinaatisto on robotin jalkaan sidottu koordinaatisto jonka X ja Y akselit muodostavat vaakasuoran tason robotin jalustan alapinnan tasolle. Z akseli on pysty akseli, joka kulkee ensimmäisen liikeakselin pyörähdyskeskipisteen kautta. (Keinänen, Kärkkäinen, Lähetkangas & Sumujärvi 2007, 261.)

Työkalukoordinaatisto on suorakulmainen koordinaatisto, joka sidotaan työkalumäärittelyllä kiinni haluttuun kohtaan robotin työkalua lähtien työkalulaippaan sidotusta koordinaatistosta. (Kuivanen 1999, 20.)

2.2.2 Epäsuora aseman mittaus

Työkalun asema robotin peruskoordinaatistossa on oleellinen liikkeiden ohjauksessa käytetty tekijä. Se määritetään teollisuusroboteilla lähes poikkeuksetta epäsuorasti mittaamalla ensin toimilaitteiden paikka työalueellaan, laskemalla nivelkulmat ja edelleen laskemalla nivelkulmista ja tukivarsien kinemaattisista pituuksista työkalun paikka ja asento. Kyseistä ongelmaa kutsutaan epäsuoraksi aseman mittaukseksi. (Kuivanen 1999, 21.)

Epäsuora aseman mittaus aiheuttaa robottien ohjaukseen ongelman: ohjauksessa oletetaan tiettyjen nivelkumien antavan tuloksena tietyn työkalun aseman. Robotti ei siis huomaa eikä pysty ottamaan huomioon paikkavirhettä, joka syntyy ulkopuolisten voimien tai oman painon vaikutuksesta tukivarsien taipuessa. Kyseistä ongelmaa kutsutaan sisäisen paikanmittauksen ongelmaksi. (Kuivanen 1999, 21.)

Koska robottien toimintaympäristön on myös epätarkka, robottien absoluuttista tarkkuutta ei kannata parantaa huomattavasti ympäristön tarkkuutta paremmaksi. Sovellus kohtaisi tällöin yhtä kriittisiä ympäristön tarkkuusongelmia. Jo robottien

kiinnittäminen alustaansa on vaikeita tehdä niin tarkasti kuin moni sovellus edellyttää. Täten robottia ei voi korvata laiterikon tapauksessa toisella samantyyppisellä robotilla, jossa olisi entisen robotin ohjelma, vaan kaikki oleelliset asemat on tarkastettava. Onkin hyvä tehdä ohjelmaan paljon suhteellisia liikkeitä muutamien opetettavien asemien suhteen; tällöin robotin uudelleen ohjelmointi helpottuu. (Kuivanen 1999, 21-22.)

Työstävien työkalujen kanssa (esim. hionta, tasoitus ja jäysteenpoisto) robotin jalustaan sidotun koordinaatiston epätarkkuuden ongelmia on usein pienennetty joustavilla työkaluilla. Työkalu joustaa, jos epätarkkuudet aiheuttavat työkalulle voimia. Kun joustavuus on suunnattu oikein, robotin ja ympäristön välinen epätarkkuus ei vaikeuta prosessia, vaan joustavuutta käytetään jopa hyväksi tasoittamaan jälkeä ja poistamaan anturiohjauksen viiveiden vaikutuksia. (Kuivanen 1999, 22.)

2.2.3 Koordinaatistomuutokset

Kahden koordinaatiston paikka ja asento toistensa suhteen voidaan esittää ns. homogeenisen siirrosatriisin avulla. Menetelmä on kehitetty 3D-visualisointia varten tietokoneilla. Robottiikkaa varten sitä on yksinkertaistettu jättämällä pois projektioon ja mittakaavaan liittyvät tekijät. (Kuivanen 1999, 22.)

Robottiikassa koordinaatistomuunnoksilla kuvataan kahden koordinaatiston eron lisäksi esim. työkalun asemaa peruskkoordinaatistossa, työkalukompensointia, osan paikkaa tehtäväkoordinaatistossa tai kameran paikkaa maailmakoordinaatistossa. Koordinaatistomuunnoksia ketjutetaan kertomalla (matriisilasku) niitä peräkkäin. Yleensä muodostetaan yhtyvä silmukka koordinaatistomuunnoksia. Mikä tahansa silmukan sisäinen koordinaatistomuunnos voidaan siten ilmaista silmukan koordinaatistomuunnosten tai niiden käännteismuunnosten avulla. (Kuivanen 1999, 23.)

2.3 Anturoinnit

Anturi on laite, joka muuttaa mitattavan suureen, esim. lämpö, siihen verrannolliseksi sähköiseksi viestiksi. (Pentti 1993)

Robotin nivelten kulmia seurataan jatkuvasti tarkan ajon saavuttamiseksi. Jokaiseen robotin vapausasteeseen on sijoitettu paikanmittausanturi tämän mahdollistamiseksi. Jokainen anturi antaa jatkuvasti paikkatietoa takaisin ohjausjärjestelmälle. Antureiden ja

ohjausjärjestelmän voidaan sanoa siis keskustelevan keskenään. Jotta saataisiin nivelten asematiedon lisäksi tieto akselien liikesuunnasta, nopeudesta ja kiihtyvyydestä, luetaan antureiden arvoja useita tuhansia kertoja sekunnissa. (Pentti 1993)

Roboteilla, jotka ovat varustettu pulssiantureilla ja laskureilla, täytyy käynnistyksen yhteydessä tietää jokaisen nivelen aloituskulma. Tämän tiedon saamiseksi on jokaisella vapausasteella yleensä kierroksen ilmaiseva anturi. Usein se on binäärinen rajakytkin, jonka yli liikutaan käynnistyksen yhteydessä. (Pentti 1993)

Antureilta odotetaan seuraavia teknisiä ominaisuuksia:

- luotettavuus, lujuus ja suojaus
- tarkkuus, herkkyys ja tunnistamisetäisyys
- reaktionopeus
- kytkentätaajuus
- ohjauskyky

(Keinänen, Kärkkäinen, Metso, Putkonen 2000, 168.)

2.3.1 Inkrementtianturit

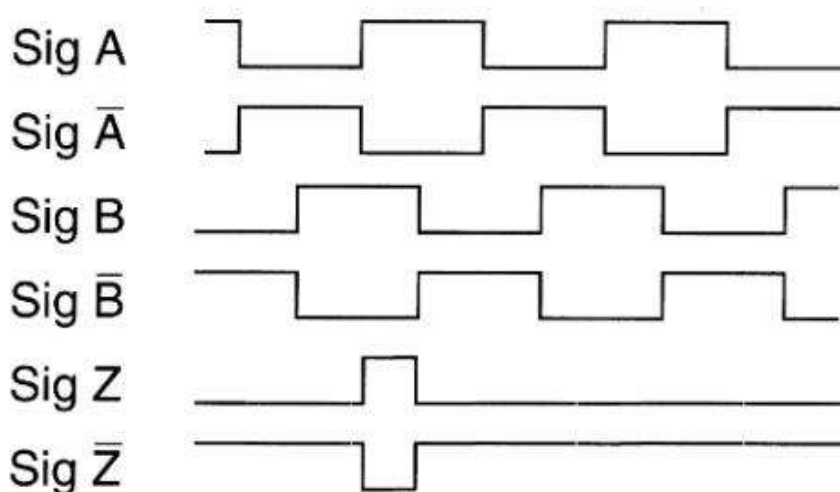
Inkrementti- eli pulssianturit ilmoittavat ohjausjärjestelmälle akselin kulkeman matkan pulsseina ja liikesuunnan. Jokainen pulssi vastaa tiettyä akselin kulkemaa matkaa tai kiertynyttä kulmaa. Ohjausjärjestelmän tulee tietää käynnistysvaiheessa nivelen alkuasema, jotta se pystyisi laskemaan nivelen todellisen aseman. Tämän takia inkrementtianturia käyttävät robotit on käynnistysvaiheessa kalibroitava. (Kuivanen 1999, 31.)

2.3.2 Akselikulmaa mittaavat inkrementtianturit

Akselikulmaa mittaavat inkrementtianturit kiinnitetään tavallisesti ohjaavan moottorin taakse. Anturin akseli yhdistetään kytkimen avulla moottorin akselille. Tavallisesti anturissa on kolme viiden voltin pulssilähtöä, joista kaksi on liikettä ilmaisevia pulssikanavia, joiden vaihe-ero toisiinsa nähden on 90-astetta, kolmas on tarkistuspulssi yhtä anturin kierrosta kohden. Kun bittikombinaatio muuttuu, voidaan edellisestä ja

nykyisestä bittikombinaatiosta päätellä, mihin suuntaan akseli liikkuu. (Kuivanen 1999, 31.)

Anturin tarkkuus riippuu pulssien määrästä yhdellä anturikiirroksella. Tyydyttävään tulokseen riittää jo anturi, jonka yhden kanavan pulssimäärä on 250 pulssia kierroksella. Tällaisella anturilla päästään itse asiassa nelinkertaiseen tarkkuuteen (1000 pulssia/kierros), kun otetaan huomioon molempien kanavien vaihe-eroisten pulssien nousevat ja laskevat reunat (KUVIO 4). (Kuivanen 1999, 31.)



Kuvio 4. Inkrementtipulssit. (OEM Finland OY 2011)

2.3.3 Lineaarista liikettä mittaavat inkrementtianturit

Lineaarianturi muodostuu pitkästä merkintälevystä ja liikkuvasta lukupäädstä. Lukupää lukee optisesti levystä tummia ja kirkkaita merkintöjä, joista syntyvät tarvittavat pulssit. Lineaarianturi muodostuu pitkästä kulmikkaasta tangosta, jossa liukulaakeroitu kuulapää. Tanko kiinnitetään paikallaan pysyvään runkoon ja liuku yhdistetään liukuvaan osaan. (Kuivanen 1999, 31-32.)



Kuvio 5. Lineaarianturi. (Sensorola Oy 2011.)

Kuviossa 5. esimerkki lineaarianturista. Lineaarianturin vahvuuksia on, että se mittaa liikettä suoraan ja sen rakenne on yksinkertainen. Anturin heikkouksia on, että se tarvitsee alkuasennon määrittämisen, se likaantuu helposti ja on herkästi vahingoittuva sekä se sisältää mekaanisesti liikkuvia osia. (Kuivanen 1999.)

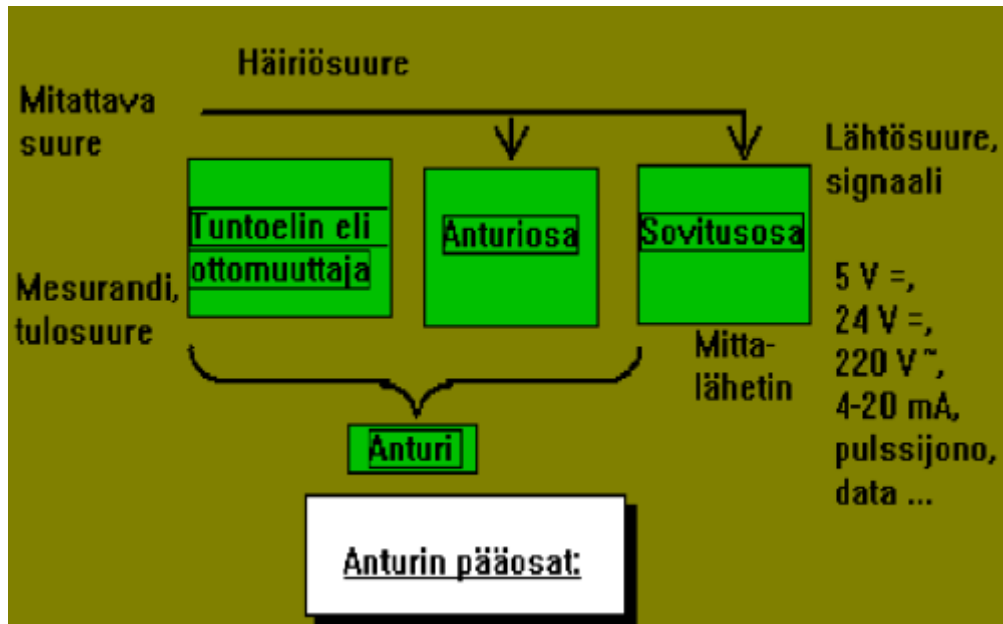
2.3.4 Rakenne

Anturissa on kolme osaa. Tuntoelin, anturiosa ja sovitussosa, kuten kuviossa 6 on esitetty.

Suureen mittaaminen tapahtuu anturin tuntoelimellä (engl. Sensor). Tätä tuntoelintä kutsutaan myös ottomuuttajaksi, mittaelimeksi ja tunnistimeksi. Tuntoelin havaitsee mitattavan suureen, esim. valonvoimakkuuden muutokset optisilla antureille ja voimat mekaanisten antureiden avulla. Fysikaalisen suureen mittaamisella tunnistetaan yleensä jotain muuta ilmiötä, esim. valon voimakkuuden mittaamisella arvioidaan onko anturin edessä este vai ei. (Pentti 1993)

Anturiosassa muutetaan tuntoelimeltä tuleva suure yleensä sähköiseen muotoon. Pneumatiikassa viestin eteenpäinvienti voi tapahtua venttiileiden ja paineilman avulla, kun taas hydraulikassa kokoon puristumattoman öljyn vaikutuksesta. (Pentti 1993)

Sovitusosassa, jota kutsutaan myös vahvistimeksi tai lähettimeksi, anturilta tuleva suure muutetaan standardiviestiksi, digitaalseksi tai analogiseksi. (Pentti 1993)



Kuvio 6. Koneautomaation Anturit 1.0. (Pentti 1993)

2.4 Robottien ohjaus ja säätö

Robottien ohjausjärjestelmät ovat reaaliaikaisia prosessitietokoneita, jotka pystyvät ohjaamaan robotin toimilaitteita tuhansia kertoja sekunnissa ja reagoimaan ympäristön viesteihin millisekunneissa. Reaaliaikaisille ohjausjärjestelmille on ominaista, että niissä toimii useita samanaikaisia tietokoneohjelmia (näennäisesti) yhtä aikaa, mutta kuitenkin siten, että kullekin ohjelmalle voidaan varata ainakin lyhyt ajoaika tietyn aikavälein. Ohjelmat vaihtavat tietoja viestien ja jaetun muistin avulla. Lisäksi ohjausjärjestelmissä on useita prosessoreita, joiden ohjelmistot on saatava yhteistyöhön vastaavalla tavalla. (Kuivanen 1999, 34.)

Näihin aikoihin asti kullakin robottivalmistajalla on ollut itse tehdyt ohjausjärjestelmät; erilaisia jopa omille robottimalleille. Mitään yhteensopivuutta ja edes yhteisiä ohjelmointimenetelmiä ei ole päästetty vahingossakaan syntymään. Vasta nyt, kun vain muutama teollisuusrobottivalmistaja jakaa markkinat, kehitetään uusien robottien ohjausjärjestelmät vastaamaan muita. Mallikirjoa lisää se, että valmistajat uusivat ohjausjärjestelmiään halvemmalla modernilla elektroniikalla toteutettuna muutaman vuoden välein. (Kuivanen 1999, 34.)

Aikaisemmin rajoittivat robottien ohjausjärjestelmiä liian pienet massamuistit, esimerkiksi ajettaessa pitkiä pistehitsausohjelmistoja. Nykyään muistin laajuus ei ole ongelma. On robotteja, joiden keskusyksikkö on toimistokäyttöön rakennettu PC, joka on varustettu reaaliaikaisella moniajokäyttöjärjestelmällä. Siirtyminen ”yleisiin” tietokonelaitteistoihin tulee ilmeisesti lisääntymään niiden halvemman hinnan ja helppokäyttöisyyden vuoksi. (Kuivanen 1999, 34.)

Koska teollisuusrobotit toimivat usein likaisten ja kuumien prosessikohteiden vieressä, niiden ohjausjärjestelmät on usein varustettu (tai niihin saa lisäoptiona) lämmönvaihtimella ja ilmatiiviillä rakenteella. Kattoikkunalla varustetuissa konepajoissa lämpötila voi nousta yli kuudenkymmenen asteen, jolloin esim. LCD-näytöt menevät mustiksi. (Kuivanen 1999, 34.)

Ohjausjärjestelmä koostuu tavallisesti keskusyksiköstä, massamuistista, käsiohjaimesta operointia ja ohjausta varten, nivelkohtaisista servotoimilaitteista sekä liitännöistä ja tehonlähteistä. Ohjausjärjestelmän piirteisiin kuuluu ohjelmien tulkinta käskyiksi ja toimiympäristön havainnointi antureiden avulla. Ohjausjärjestelmä ymmärtää ja osaa tulkita myös muualla tehdyn ohjelman, esim. Igrip-etäohjelmointi, sekä hallitsee itsenäisesti robotin sisäisen toiminnan tarkkailun eli itsediagnostiikan. (Kuivanen 1999.)

2.4.1 Robottiohjauksen tehtävät

Robottien ohjauksen voidaan sanoa olevan tietojenkäsittelyä omimmillaan – virheet huomataan heti törmäyksinä tai väärinä liikkeinä, jollei robotti pysäytä ohjelman suoritusta virheilmoitukseen. Robottien ohjausjärjestelmässä noudatetaankin selkeästi periaatetta: kaiken täytyy olla kunnossa tai muuten käsivarsi ei liiku. Samaa periaatetta kannattaa noudattaa myös sovelluskehityksessä. Laitteiston, sisäisten ohjausohjelmistojen (eli ns. robotin käyttöjärjestelmän) ja vaadittavan testauksen monipuolisuus onkin ollut usein ylivoimaista pienemmillä ja aloitteleville robottien valmistajille. (Kuivanen 1999, 35.)

Robottien ohjausjärjestelmien tehtävät voidaan jakaa viiteen eri ryhmään.

Liikeohjauksen tehtävät:

- toimilaitteiden ohjaaminen paikkaohjearvoon haluttu liiketila säilyttäen
- liikkeet ohjelmien ajon, ohjelmoinnin ja opetuksen aikana

Ohjelmointiin ja opetukseen liittyvät tehtävät:

- liikeratojen muodostaminen käsiohjaimen avulla
- liikkeiden yksinkertainen hidastaminen robottiohjelmistojen testausvaiheessa
- loogisten rakenteiden muodostaminen robottiohjelmaan sekä aistimien vaikutusten huomioon ottaminen

Ohjelmien toisto ja liikkeiden suoritus:

- robottiohjelmien tulkinta tavallisesti käskyrivi kerrallaan
- liikkeiden lisäksi aistimien vaikutus liikeratoihin ja vaiheiden suoritusjärjestykseen

Turvallisuustoimintojen toteuttaminen:

- hätäpysäytys ja väärin liikkeiden estäminen
- diagnostiikka huoltoja varten
- robotin toiminnan alustaminen esimerkiksi sähköhäiriön jälkeen
- testaus

Apuna huoltotehtävissä ja käyttöönotossa:

- osittainen robotin toiminta huoltotehtäviä varten, esim. jarrut on saatava auki käsivarren liikuttamiseksi moottoreita käyttämättä.

(Kuivanen 1999, 35.)

2.4.2 Paikoitus ja rataohjaus

Robotin halutun liikeradan nurkka-asetat (tarkemmin liikesegmentin vaihtumisasetat) talletetaan robotin jalustaan sijoitetun peruskoordinaatiston asemina. Esimerkkinä robotista kuviossa 7. Motomanin teollisuusrobotti. (Kuivanen 1999, 35.)



Kuvio 7. Kiertyvänivelinen teollisuusrobotti. (Motoman 2011.)

Ne koostuvat (X,Y,Z) pisteestä ja työkalukoordinaatiston asennosta siinä pisteessä suhteessa jalustan peruskoordinaatistoon. (Kuivanen 1999, 35.)

Robotin liikerata määritellään perättäisten liikekäskyjen avulla. Kun työkalu on saapunut tai nivelet ovat saapuneet riittävällä tarkkuudella liikekäskyn mukaiseen asemaan, on liikekäsky valmis, ja siirrytään toteuttamaan seuraavaa liikekäskyä. Kun liikekäskyjen joukkoon lisätään esimerkiksi ympäristön tapahtumia huomioivia ehdollisia käskyjä, operaattorikommunikointia, laskentaa ja prosessiantureiden ohjausta, saadaan ns. robottiohjelmia. (Kuivanen 1999, 35-36.)

Robotin liikekäskyjä; työkalukoordinaatiston liikkeitä peruskoordinaatistossa:

- liike johonkin peruskoordinaatiston absoluuttiseen asemaan
- suhteellinen liike peruskoordinaatiston suuntien mukaisesti tai kiertyminen peruskoordinaatiston suuntaisten akseleiden ympäri

- suhteellinen liike työkalukoordinaatiston suuntien mukaisesti tai kiertyminen työkalukoordinaatiston suuntaisten akseleiden ympäri (Kuivanen 1999, 36.)

Kun robotin liikkeet sidotaan työkalukoordinaatistoon, voidaan samanlaisena esiintyviä tehtäviä toistaa useissa eri kohdissa ja asennoissa robotin työalueella. Liike suoritetaan suhteessa käskyn aloitushetkessä vallinneeseen työkaluasemaan. (Kuivanen 1999, 36.)

Robotin ohjelmitavuutta työkalukoordinaatistossa voidaan pitää erittäin tärkeänä piirteenä prosessointitehtävissä, joissa erilaisten prosessoivien työkalujen, kuten kiillotuslaikan, osuus on suuri. Kun liikeohjelma kehitetään työkalukoordinaatistossa, ohjelmoijan tarvitsee ajatella vain työkalun liikkeitä ja anturiohjausta työkaluun kiinnitettyjen anturien avulla. Työkalukoordinaatistossa ohjelmoituja liikeratoja voidaan sitten toistaa missä tahansa manipulaattorin asemassa. (Kuivanen 1999, 36.)

Työkalukoordinaatiston liikkeitä voidaan pitää keinona ihmisen käsityötaidon siirtämiseksi robotille ja toistamiseksi aina samanlaisena robotin muistista. Asia ei kuitenkaan ole aivan yksinkertainen, sillä robotti on lähes poikkeuksetta kömpelömpi, vähemmän herkkä ja epätarkempi kuin ihminen. Tämän vuoksi robotin työkalut täytyy sovittaa erityisesti robottia varten. (Kuivanen 1999, 36.)

2.4.3 Soluohjaimet

Soluohjauksella tarkoitetaan tässä yhteydessä robottijärjestelmään liittyvää ohjelmistoa, joka osallistuu aktiivisesti yhden tai useamman robotin työkiertoon joko välitettävien parametrien tai kokonaisten robottiohjelmien avulla. Aktiivisesta osallistumisesta käytetään myös termiä on-line-ohjaus erotuksena off-line-ohjaukseen, jossa laitteiden ohjelmia tai asetuksia voidaan muuttaa erillään tuotannosta. (Kuivanen 1999, 40.)

Tarve erilliseen soluohjaukseen syntyy, kun samaan järjestelmään kuuluu paljon erilaisia ja eri valmistajien laitteita. Soluohjauksella voidaan tällöin helpottaa solun hallittavuutta sekä luoda selkeät tavat muunnella solun toimintaa, kaiken kaikkiaan luodaan joustavuutta. Lisäksi soluohjaus tarjoaa keinon liittää tuotantosolu keskitetysti tuotannon ohjauksen tietojärjestelmään, kuten kuvioista 8. voidaan huomata. (Kuivanen 1999, 40.)

Soluohjaus toimii yleensä erillisessä tietokoneessa, joka on liitetty solun eri laitteisiin. Tiedonsiirtoyhteyksillä on suuri osuus soluohjauksien toteutuksessa, sillä yleensä eri laitteita on paljon ja tiedonsiirron tekniikat ovat edelleen hyvin valmistajakohtaisia. Useissa yhteyksissä soluohjausohjelmiksi käsitetään myös ns. valvomo-ohjelmistot, joiden pääasiallinen tehtävä on tuotannon seuranta sekä tuotantoprosessiin liittyvien parametrien valvonta. Prosessien ohjaukseen liittyvät valvomo-ohjelmistot muodostavat oman erityisryhmänsä, sillä ko. alueelle löytyy paljon valmista ohjelmistotarjontaa ja ratkaisut ovat vakioituneet pitemmälle kuin robottisolujen ohjauksessa. (Kuivanen 1999, 40.)

Soluohjaus tarjoaa helppokäyttöisen käyttöliittymän järjestelmään. Operaattorin ei tarvitse olla perehtynyt robotin ohjauksen yksityiskohtiin voidakseen muuttaa robotin työkierron muuttujien tai rekisterien arvoja. (Kuivanen 1999, 40.)

Soluohjauksen tehtävät ovat tyypillisesti erilaisia yhdistelmiä seuraavista:

- solun tilan ylläpito ja näyttö sekä ohjauksen perustoiminnot kuten seis, kuittaus ja käsiohjaus
- kirjanpito järjestelmän puskureissa tai varastossa olevista tuotteista
- tuotanto-ohjelman mukainen töiden valinta, ohjaus ja töiden valvonta
- robottiohjelmien ylläpito
- testitulosten talletus
- tapahtumahistorian keruu ja tilastointi

(Kuivanen 1999, 41.)



Kuvio 8. Soluohjauksen tehtäviä. (Kuivanen 1999, 41.)

2.5 Robottien ohjelmointimenetelmät

Ohjelmointimenetelmät voidaan jakaa kahteen pääluokkaan

ON-LINE	OFF-LINE
Opettamalla ohjelmointi	Tekstipohjainen etäohjelmointi
Oliopohjainen ohjelmointi	Oliopohjainen etäohjelmointi
Tekstipohjainen ohjelmointi	”Etäohjaimella” ohjelmointi
Näyttämällä ohjelmointi	Graafinen ohjelmointi
Konenäköpohjainen ohjelmointi	Automaattinen etäohjelmointi

Taulukko 1. Ohjelmointimenetelmät. (Kuivanen 1999.)

On-line-ohjelmoinnissa robottia tarvitaan ohjelmoinnissa eikä se voi samalla tehdä muuta työtä. Off-line-ohjelmoinnissa ohjelmointi tehdään ilman tuotantorobottia. Off-line-ohjelmoinnin jälkeen on usein tarpeen tehdä kalibrointi ohjelmoidun ympäristö ja todellisen ympäristön välillä, jotta ohjelmoidut pisteet osuvat tuotannossa oikeisiin

kohtiin. (Malm, Viitaniemi, Marstio, Toivonen, Koskinen, Venho, Salmi, Laine, Latokartano. 2008, 95.)

Opettamalla ohjelmointi

Robotti ohjelmoidaan robotin käsiohjaimella ajamalla robotti haluttuun asemaan. Asema tallennetaan ja siirrytään seuraavaan asemaan. Liikkeeseen ja muuhun ympäristöön liittyvät määritteet tallennetaan samalla (Malm ym. 2008.)

Ohjelmointi käsiohjaimella

Ohjelmointi voi olla myös oliopohjaista, valikkopohjaista tai tekstipohjaista. Kaksi ensimmäistä tapaa eivät edellytä ohjelmointikielen osaamista, kun taas viimeinen edellyttää sen. (Malm ym. 2008.)

Näyttämällä ohjelmointi

Robotin käsivarsi viedään kädestä pitäen haluttuun asemaan tai opetetaan robotille tietty rata. On olemassa erillisiä opetuskäsivarsia ja näyttölaitteita, joilla näytetään robotille sen aseman tai rata. (Malm ym. 2008.)

Konenäköpohjainen ohjelmointi

Ensimmäisenä kuvataan kohde. Ohjelma laskee arvaukset hitsattaville kohteille. Järjestelmän itsenäisyydestä riippuen käyttäjä merkitsee pisteiden väliset viivat tai hyväksyy/hylkää ehdotukset ja tarkistaa ehdotetut makrot. Ohjelmointi on erittäin nopeaa, koska käyttäjän ei tarvitse ohjelmoida pisteitä erikseen, vaan konenäköjärjestelmä päättelee ne. Ennen robotin opetusta on järjestelmään pitänyt ohjelmoida makroja, kohdeaihoita ja tunnistettavia kohteita. Kohteen etäisyystieto perustuu paneelityyppisissä kappaleissa korkeuteen. (Malm ym. 2008.)

Tekstipohjainen etäohjelmointi

Ohjelma toteutetaan ulkopuolisella tietokoneella. Eri valmistajien ohjaimilla on eri ohjelmointikieli. Tekstuaalinen ohjelmointi mahdollistaa monimutkaiset ohjelmarakenteet, kuten aliohjelmat yms. (Malm ym. 2008.)

Oliopohjainen etäohjelmointi

Ohjelmointi toteutetaan ulkopuolisella tietokoneella käyttämällä valmiita ikoneja. Pisteet opetetaan erikseen. (Malm ym. 2008.)

Etäohjelmointi virtuaalisella käsiohjaimella

Ohjelmointi tehdään käsiohjainta emuloivalla PC-ohjelmistolla. (Malm ym. 2008.)

Mallipohjainen etäohjelmointi

Käytetään tietokoneen 3D-graafista käyttöliittymää ja robotin sekä oheislaitteiden simulointimalleja ohjelman tuottamiseen. Myös tuotteen suunnittelun 3D-kuvia voidaan hyödyntää ohjelmoinnissa. Valmis ohjelma voidaan testata ja ajaa virtuaaliympäristössä. Mallipohjaisen etäohjelmoinnin tyypillisiä vaiheita Malm:n mukaan ovat:

1. mallintaminen
2. kalibrointi
3. ohjelmointi
4. simulointi
5. alaslataus
6. testaus

(Malm ym. 2008.)

Automaattinen etäohjelmointi

Tietokoneelle annetaan CAD-kuva, jota tietokoneohjelma analysoi ja pääättelee, mitä sille pitää tehdä. Ohjelma luo tarvittavan robotin liikkeet ja korjaa ulottuvuusongelmat ja törmäystilanteet. Ihminen hyväksyy/hylkää tehdyt arvaukset ja tekee tarvittavat lisäykset. Tämän jälkeen toiminta jatkuu kuten mallipohjaisessa etäohjelmoinnissa. Ennen ohjelman käyttöönottoa tietokoneelle pitää opettaa sääntöjä, joiden mukaan ohjelmat tehdään.

Kun ohjelmointi tehdään huolellisesti, ohjelman toiminto tarkastetaan myös käytännössä. Tyypillisiä ohjelmien virheitä ovat mm.

- valitaan väärä ohjelma
- muutoksista johtuva ohjelmavirhe
- ohjelmointivirhe, joka ilmenee robotin oikaistessa reittiä
- robotille ohjelmoidaan mahdoton reitti

(Malm ym. 2008.)

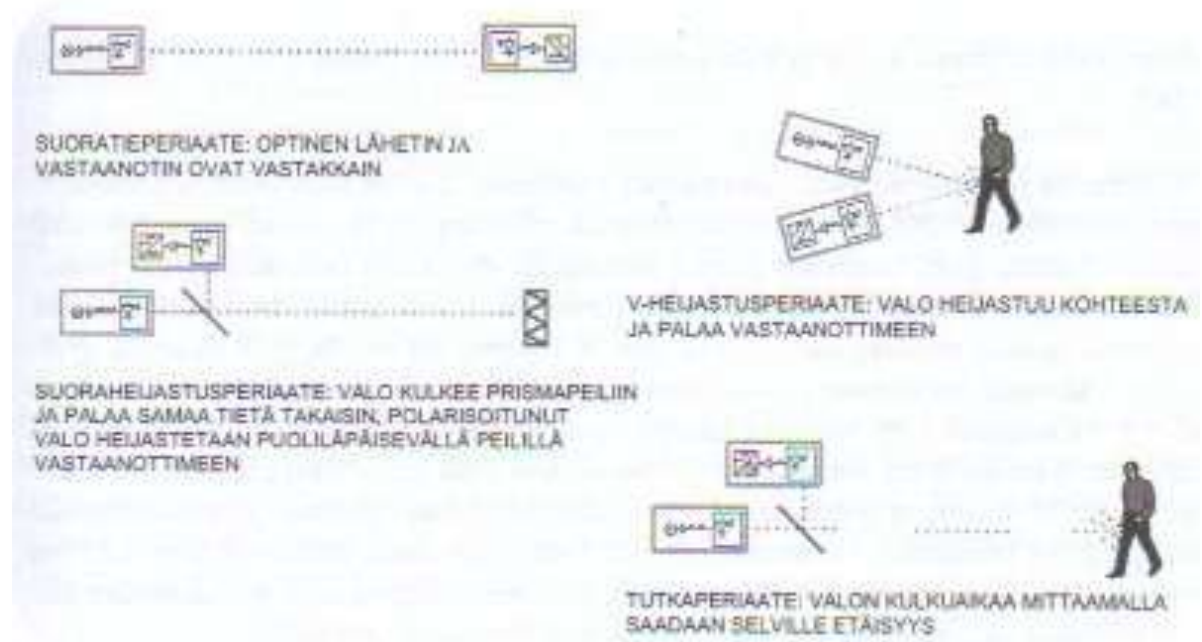
2.6 Esimerkkejä robotiikassa käytettävistä turvalaiteantureista

Luvussa 2.3 on käsitelty yleisimpiä robotiikan antureita.

Valokytkin

Valokytkinten toiminta perustuu valonsäteiden käyttöön. Lähetin lähettää valonsäteitä, jotka vastaanotin havaitsee. Lähetin ja vastaanotin voivat olla erilisiä laitteita tai yksi laite, jossa on molemmat komponentit samoissa kuorissa. Valonlähteenä käytetään yleensä LEDejä (Light Emitting Diodes), ja valo on yleensä pulssitettua tai moduloitua, mikä lisää anturin häiriönsietokykyä ja yksilöi anturin. Käytetyn valon aallonpituus on yleensä infrapuna-alueella, koska sillä on teollisuusympäristöön hyvin sopivat ominaisuudet. Infrapunavalon tunkeutuu näkyvää valoa paremmin esimerkiksi savun ja pölyn läpi, ja näkyvä valo ei aiheuta häiriöitä. LEDeillä on energiankulutuksen ja pulssitettavuuden lisäksi etuina luotettavuus. LED-valonlähteet sietävät mekaanista rasitusta, tärinää, lämmönvaihteluita ja iskuja erittäin hyvin. Ledit kestävätkin yleensä yhtä kauan kuin itse kytkin, joten koteloinnista voidaan tehdä tiiviimpi, koska valonlähdettä ei tarvitse vaihtaa anturin käyttöaikana. (Malm ym. 2008, 18.)

Valokytkimiä käytetään esimerkiksi vaaralliselle alueelle vievän aukon tai portin valvonnassa perinteisen mekaanisten porttien sijaan tai lisäksi. Valokennot eivät sovellu jatkuvaan valvontaan, vaan yleensä ohjauksen jälkeen ja koneen pysähtyttyä täytyy tilanne kuitata manuaalisesti. Valokytkimet perustuvat siis lähettimen ja vastaanottimen välillä kulkevaan valonsäteeseen (KUVIO 9). (Malm ym. 2008, 19.)



Kuvio 9. Valokytinten toimintaperiaatteita. (Malm ym. 2008, 19.)

Valoverho

Yhteen valonsäteeseen perustuva valokytkin soveltuu kulkuaukkojen valvontaan. Näissä kohteissa riittää ihmisen pääsyn estäminen kielletylle alueelle. Valoverholla voidaan sen sijaan estää esim. käsien, sormien ja jalkojen pääsy koneen työalueelle, koska valonsäteitä on useita ja niiden välinen etäisyys toisistaan on lyhyt. Valonsäteiden minimietäisyys toisistaan sormia suojatessa on 14mm, käsiä suojatessa 30mm ja koko kehoa suojatessa 40mm. (Malm ym. 2008, 19-20.)

Valoverho on periaatteessa usean valokytimen yhdistelmä. Usein lähettimien ja vastaanottimien asentaminen erittäin lähelle toisiaan edellyttää erityisjärjestelyitä, jotta eri valonsäteet eivät häiritsisi toisiaan. Tämä toteutetaan yleensä aktivoimalla yksi lähetin-vastaanotinpari kerrallaan. Aktivointitaajuus on yleensä erittäin korkea, joten se ei haittaa valoverhon toimintaa. (Malm ym. 2008, 20.)

Valoverhoja voidaan nykyään käyttää myös kohdissa, joissa tapahtuu materiaalivirtausta. Valoverholle voi opettaa hyväksytyyn kappaleen aiheuttamat valonsäteen katkeamiset

lähettimen ja vastaanottimen välillä. Hyväksytyt kappaleet eivät aiheuta pysäytystä, mutta kaikki siitä poikkeavat kohteet, esim. ihminen, aiheuttavat pysäytyskäskyn mutta erimerkiksi kuormalava ei. Tästä käytetään termiä passivointi. (Malm ym. 2008, 20.)

Tuntomatot

Mekaaniseen kosketukseen perustuvat kytkimet ovat yleisimmin käytössä olevia turvalaitteita. Niiden etuina on helppo testattavuus, yksinkertaisuus, luotettavuus ja saatavuus. Tuntomatolla saadaan kytkintieto sen päällä seisovasta ihmisestä. (Malm ym. 2008, 20.)

Tuntomatto kiinnitetään lattiaan tai muuhun tarkasteltavaan pintaan, esim. korotetulle työtasolle toimilaitteen vaara-alueelle tai sen välittömään läheisyyteen. Ihmisen tai muun kohtuullisen painavan esineen tullessa maton päälle, antaa matto siitä signaalin. Matto liitetään erilliseen ohjausyksikköön. Mattojen pitää täyttää standardissa SFS_EN 1760-1 asetetut vaatimukset. Nämä vaatimukset liittyvät maton reagointiaikaan, staattiseen kuormituksen kestoon, vaadittavaan toimintavoimaan ja niin edelleen. (Malm ym. 2008, 20.)

Tuntomattojen toimintaperiaate perustuu paineilman, valokuidun tai sähkömekaanisten ratkaisujen käyttöön. Paineilmatoimisissa tuntomatoista maton sisällä oleva olevassa putkistossa on suljettu ilmakierto, jota pieni pumppu pitää yllä. Ilmanpainetta mitataan matossa olevan putkiston alku- ja loppupäässä. Kun maton päälle astutaan, ilmaputket puristuvat kasaan aiheuttaen paine-eron muutoksen putken alku- ja loppupään välillä. Tämä aiheuttaa pysäytyskäskyn. (Malm ym. 2008, 21.)

Valoon perustuvissa tuntomatoissa käytetään hyväksi valokuidun ominaisuuksia. Maton sisällä olevaan pehmusteeseen on laitettu pitkä valokuitukaapeli sykkyrälle. Kosketus mattoon taivuttaa valokuitua, ja silloin osa kuidussa kulkevasta valosta karkaa kuidusta. Tällöin kuidun toisessa päässä oleva anturi havaitsee intensiteetin pienentyneen ja lähettää signaalin ohjausyksikköön. (Malm ym. 2008, 21.)

Yleisimmin käytössä oleva tuntomatto perustuu sähköisen piirin sulkemiseen. Maton sisällä on kaksi metallilevyä, jotka ovat normaalisti eristettyinä toisistaan joustavilla

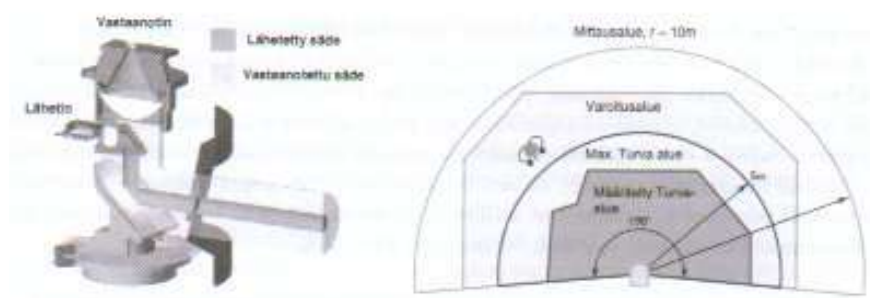
elementeillä. Kun maton päälle tulee henkilö joustavat eriste-elementit painuvat kasaan ja aiheuttavat piirin sulkeutumisen. (Malm ym. 2008, 21.)

Turvamaton sijoittamisessa koneen läheisyyteen täytyy ottaa huomioon eräitä seikkoja. Maton täytyy olla riittävän etäällä koneesta, jotta kone ehtisi pysähtyä ennen kuin ihminen ehtii koneen läheisyyteen. Laskennassa tulee käyttää pisintä aikaa, joka pysähtymiseen menee. Laskennassa ihmisen kävelynopeutena käytetään arvoa 1,6m/s. Tuntomatot ovat erittäin kestäviä ja pitkäikäisiä turvalaitteita. Ne sietävät hyvin kosteutta, kemikaaleja, kulutusta, iskuja ja jopa trukin, tai muun raskaan koneen painon. (Malm ym. 2008, 21.)

Turvalaserskanneri

Laserskanneri on erittäin monipuolinen optinen turvalaite, jota voidaan käyttää esim. ihmisen havaitsemiseen ja myös kohteen sijainnin määrittämiseen. Laserskannerin valvoma alue on kaksiulotteinen. Skanneri soveltuu myös käytettäväksi valoverhon sijaan, ja sillä voidaan valvoa jopa erillisiä rinnakkaisia sisäänkäyntejä. Se soveltuu myös raajojen pääsyn estämiseen vaarallisen koneen alueelle. (Malm ym. 2008, 23.)

Laserskannerin toiminta perustuu lähetetyn valonsäteen palautumiseen kohteesta siitä heijastuttuaan ja siihen kuluvan ajan mittaamiseen. Laservalonsäteellä pyyhkäistään valvottavaa aluetta, ja mikäli valonsäde heijastuu takaisinpäin, se antaa ohjauskäskyn. Laservalonsäde heijastetaan ja levitetään pyörivän peilin avulla tarkasteltavalle alueelle, jonka koko ja muoto voidaan laitteen valmistajasta riippuen määrätä kohtuullisen vapaasti. Peilin kääntökulman avulla skanneri määrittää, missä suunnassa kohde on. (Malm ym. 2008, 23.)



Kuvio 10. Laserskannerin rakenne ja valvonta-alue. (Malm ym. 2008, 24.)

Skannereiden turva-alueen toimintasäde on yleensä noin 4-7m, maksimissaan 10m. Varoitusalue voi olla huomattavasti pidempikin, mutta tähän vaikuttaa voimakkaasti tunnistettavan kohteen valonheijastusominaisuudet. Valonsäteen pyyhkimän sektorin kulma on yleensä noin 180°, tosin on olemassa 300° sektoria tarkastelevia skannereitakin (KUVIO 10). Skannerin resoluutio, eli vierekkäisten säteiden välinen etäisyys, on pienimmillään n. 30mm. Resoluutiovaatimus ihmisen havaitsemiseksi on 70mm (SFS-EN ISO 10218). Skannereiden vasteaika ja resoluutio riippuvat suuresti käytettävästä toimintamatkasta. Jos vaaditaan lyhyttä vasteaikaa ja hyvää resoluutiota, tarkkailtavan alueen koosta täytyy tinkiä, ja suojakentän kokoa kasvattaessa vasteaikakin kasvaa ja resoluutio huononee. (Malm ym. 2008, 24.)

Vaarallisen alueen valvomiseksi voidaan käyttää myös useampaa laserskanneria samanaikaisesti. Tällöin voidaan välttää kiinteiden rakenteiden aiheuttamat katvealueet ja parantaa turvallisuutta sekä tarkkuutta. Referenssipintojen käytöllä voidaan valvoa esim. oven karmien rajaamaa aluetta. (Malm ym. 2008, 24.)

Ultraäänianturit

Anturin toiminta perustuu ultraäänen lähettämiseen ja sen heijastumisen havaitsemiseen kohteessa ja siihen kuluvaan ajan laskentaan. Ultraäänianturi mittaa siis kohteen etäisyyttä anturista. Käytettävän äänen taajuus on 40-200kHz, ja se tuotetaan joko sähköstaattisesti tai pietsosähköisesti. Ultraäänianturin mittaustaajuus on vain 1-50Hz, koska lähettimessä olevien värähtelyiden tulee vähentyä ennen uuden impulssin lähettämistä ja odottaa mahdollisesti heijastuneen äänen saapumista sensorille. Havainnointietäisyys on muutamasta metristä aina kymmeneen metriin, riippuen käytettävän äänen taajuudesta. Matalimmilla äänillä saavutetaan pidempi havainnointietäisyys kuin korkeilla äänillä, mutta korkeilla taajuuksilla häiriöitä on huomattavasti vähemmän. Minimikytkentäetäisyys on muutamana kymmenen senttimetrin luokkaa. (Malm ym. 2008, 24.)

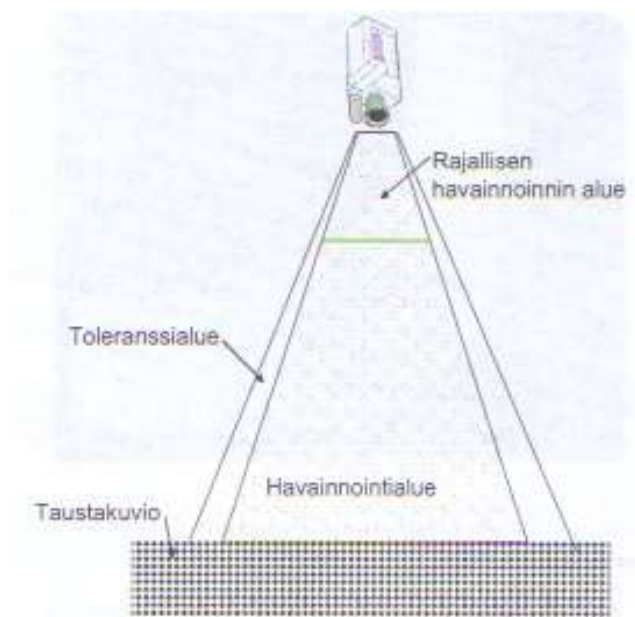
Ultraäänianturit soveltuvat lähes kaikista materiaaleista valmistettujen kappaleiden havaitsemiseen, mukaan lukien läpinäkyvien materiaalien havaitseminen. Tosin tunnistekyky heikkenee, mikäli kohteina on pehmeitä tai huokoisia materiaaleja. Ultraäänianturia häiritsevät helposti myös muut ultraäännet, joita syntyy esim.

hitsauksessa, metallien leikkauksessa ja hionnassa sekä tietysti myös muissa ultraääniantureissa. (Malm ym. 2008, 24-25.)

Ultraäänianturin kolmiulotteinen tunnistuskeila on myös melko kapea, sillä sen avautuma on vain noin. 5-15°. Nopeasti liikkuvien kohteiden tarkasteluun ultraäänianturi soveltuu huonosti hitaan mittaustaajuuden takia. Virheitä anturin toimintaan aiheuttavat häiriökaiut, joita voidaan vähentää käyttämällä eri taajuusalueella toimivia antureita. Ultraäänianturi ei sovellu ensisijaiseksi turvalaitteeksi, mutta sillä voidaan täydentää muiden turvalaitteiden toimintaa. (Malm ym. 2008, 25.)

Konenäköpohjaiset turvalaitteet

Konenäköön perustuvat laitteet ovat tulossa käytäntöön. Konenäköön perustuvaa turvalaitetta ollaan standardisoimassa, tosin standardoitavan tuotteen määrittely on kesken tekniikan nopean kehityksen vuoksi. Turvalaitteiden yhtenä peruseriaatteena on se, että turvallisuus perustuu jatkuvan tiedon muuttumiseen. Kameroissa tämä periaate toimii monissa kohteissa. Perinteinen hahmontunnistus ei täytä mainittua turvalaitteen periaatetta, koska hahmontunnistuksessa tieto liittyy ennalta määritetyn hahmon havaitsemiseen eikä ennalta määritellyn kuvan puuttumiseen (KUVIO 11). Käytännössä turvallisuus on suurelta osin kuvaa käsittelevän ohjelmiston varassa. (Malm ym. 2008, 30.)



Kuvio 11. Periaatekuvio kamerajärjestelmästä turvalaitteena. (Malm ym. 2008, 31.)



Kuvio 12. Poikkileikkaus SafetyEYEn muodostamasta valvontakartiosta. (Malm ym. 2008, 33.)

2.7 Näköjärjestelmät

Konenäköjärjestelmät ovat kameratekniikalla ja tietokoneohjelmistoilla toteutettua hahmon ja kappaleentunnistusta (KUVIO 12). Konenäköjärjestelmien mahdollisuudet ja hyödyt on tunnettu robotiikan ja tuotantoautomaation sovelluksissa jo pitkään. Ensimmäiset erittäin yksinkertaiset näköjärjestelmät tulivat robotiikkaan 80-luvulla. Sovellukset liittyivät lähinnä kappaleen asennon tunnistamiseen. Suurimman esteen konenäkösovellusten soveltamiselle asetti tietokoneiden liian pieni laskentakapasiteetti. Konenäköön liittyvät laskentatehtävät ovat raskaita, ja tarvittava kapasiteetti saavutettiin vain erikoiskomponenteilla, jolloin järjestelmän hinta nousi kohtuuttomaksi. Vasta huima kehitys tietokoneiden laskentatehossa on mahdollistanut edullisten konenäköjärjestelmien toteuttamisen. (Kuivanen 1999, 56.)

Konenäkölle syntyy tarve silloin, kun robottijärjestelmässä ei enää perinteinen anturointi riitä tai halutaan minimoida mekaanisten paikoittimien tai kiinnittimien käyttö sovelluksessa. Konenäkösovellukset ovat vielä tänäkin päivänä kuitenkin sen verran arvokkaita, etteivät ne hinnalla kykene kilpailemaan perinteisten mekaanisten paikoittimien kanssa. Tästä johtuen konenäköä käytetäänkin yleensä vain erikoissovelluksissa ja opetuskäytössä. Konenäköjärjestelmät ovat kovaa vauhtia

yleistymässä, jolloin hinnat todennäköisesti lähtevät laskemaan johtuen järjestelmien määrän kasvusta. (Kuivanen 1999.)

Konenäköjärjestelmät voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään:

- kappaleen tai kohteen sijainnin määrittäminen
- kohteen tunnistus värin, kuvioinnin, muodon tai koon perusteella
- kohteen digitointi ohjelmointia varten

(Kuivanen 1999.)

3 ROBOTTITARRAIMET JA TYÖKALUT

Robotin työkalulla tarkoitetaan sitä mekaanista osaa, jonka robotti siirtää asemasta toiseen. Työkaluista tavallisin on tarrain. Toinen ryhmä on johonkin prosessiin osallistuvat työkalut, mm. hitsauspistooli, maalausruisku tai liimasuutin. Robottisovelluksessa tarraimen suunnittelu on yksi järjestelmäsuunnittelun välttämättömiä osia. (Kuivanen 1999.)

3.1 Tarraimet

Tarraimen suunnittelussa ja valinnassa on tunnettava mahdolliset tarraintyypit ja tatumatatavat. Tarraimet voidaan jakaa seuraavanlaisiin ryhmiin:

- Avautuvat ja sulkeutuvat tarraimet tarttuvan liikkeen mukaan; usein tartutaan eri kappaleisiin ulko- tai sisäpuolisella otteella.
- Pneumaattiset, hydrauliset tai sähköiset tarraimet toimilaitteen tyyppin mukaan
- Magneettiset tarraimet
- Alipainetarraimet

(Kuivanen 1999.)

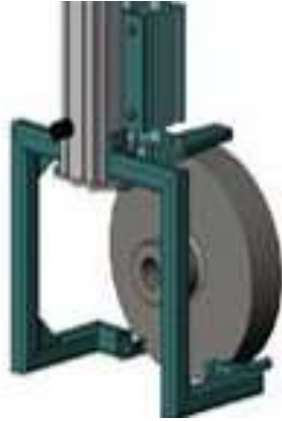
3.1.1 Mekaaniset tarraimet

Mekaanisissa tarraimissa voidaan sormien liikkeet toteuttaa monilla eri mekanismeilla. Kuviossa 13. pneumaattisesti toimiva mekaaninen tarrain.

Mekaanisten tarraimien kinemaattisia rakenteita ovat:

- Nivelmekanismit
- Hammaspyörä ja hammastanko
- Epäkesko
- Ruuvi
- Sekalaiset

(Kuivanen 1999.)



Kuvio 13. Pneumaattinen tarrain. (ERIKKILA Oy, 2011.)

Tarraimet rakentuvat toimilaitteesta, mekanismista, sormista ja kynsistä. Monissa yksinkertaisissa tilanteissa osia voidaan yhdistää. Tarraimen liikealueeseen vaikuttavat toimilaitteen ja mekanismin valinta. (Kuivanen 1999.)

3.1.2 Imu- ja tyhjiötarttujat

Alipaineeseen perustuvia tartuntaelimiä käytetään sovelluksissa, jossa mekaanisen tarraimen käyttö on hankalaa. Imutartunnassa työkappaleeseen tartutaan yleensä vain yhdeltä suunnalta (KUVIO 14). Kumiset tai muoviset imukupit eivät helposti naarmuta nostopintaa. Tartuntavoiman lisäys suurille kappaleille onnistuu lisäämällä imukuppeja. Usean imukupin järjestelmässä on turvallisuustekijänä huomattava, että yhdenkin imukupin irtoaminen aiheuttaa alipaineen häviämisen, mikä johtaa kappaleen irtoamiseen, ellei käytetä varolaitteita. (Kuivanen 1999, 63.)

Imukupit vaativat yleensä riittävän tasaisen, sileän, puhtaan ja tiiviin pinnan. Imuvoima on paine-eron ja imupinta-alan tulo. Tarraimen ei saa syntyä suuria, tarrainta vastaan kohtisuoria sivuttaisvoimia, sillä tarraimen synnyttämä sivuttaisliikettä vastustava voima riippuu tarraimen ja kappaleen välisestä kitkakertoimesta. Tartunta kannattaa toteuttaa keskeisesti, kappaleen painopisteen kohdalla. (Kuivanen 1999, 63.)

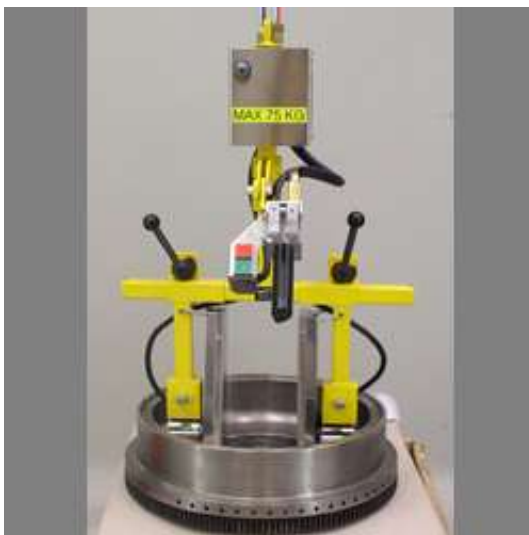
Imukupin etuna on, että rakenne on yksinkertainen ja yleensä luotettava, sillä siinä on vähän liikkuvia osia. Imukupit toimivat myös joustoelementtinä ja soveltuvat puhdistiloihin. Haittoina ovat kappaleen putoaminen paineen kadotessa. Imukuppi ei keskity kappaletta. Pöly voi myös tukkia järjestelmän (Kuivanen 1999, 64.)



Kuvio 14. Alipainetarrain. (Fertema Oy, 2011)

3.1.3 Magneettitarrain

Magneettitarraimia voidaan käyttää vain magneettisille aineille (KUVIO 15). Magneetin nostovoima riippuu kappaleen materiaalista, muodosta, pinnanlaadusta, ilma-araosta ja magneetin lämpötilasta. Vaatimuksena on työkaluille riittävän suuri tasainen tartunta-alue, sillä magneettikenttä heikkenee nopeasti ilma-araon kasvaessa. Tartunta on nopeaa, mutta jäännösmagnetismi hidastaa irrotusta. Kestomagneetilla tarvitaan irrotuslaite. Sähkömagneetilla voidaan kääntää magneettikentän suuntaa, jolloin irrotus nopeutuu. Sähkömagneetti lämpenee käytössä, joten työkierto on suunniteltava siten, että lämpötila ei nouse liikaa. (Kuivanen 1999, 64.)



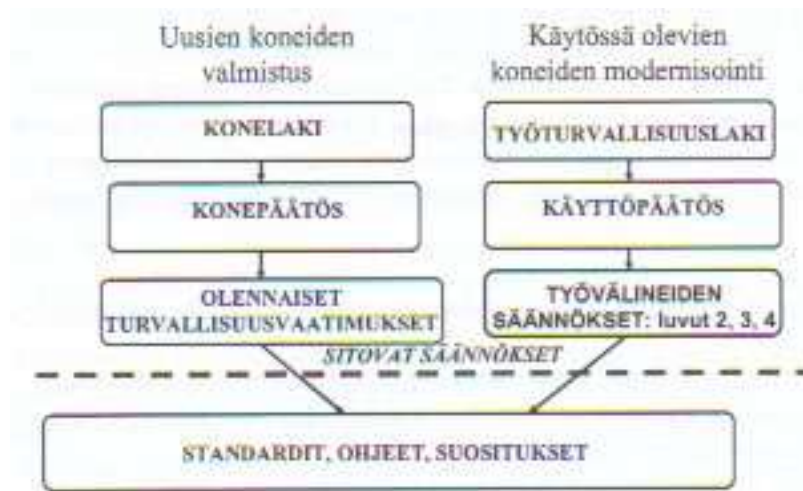
Kuvio 15. Magneettinen tarrain. (Finnlift Materiaalinkäsittely Oy, 2011)

4 TURVALLISUUS

4.1 Lainsäädäntöä sekä standardeja

2002 vuoden alussa voimaan astunut työturvallisuuslaki (738/2002) kumosi vanhan työturvallisuuslain. Työturvallisuuslain uudessa versiossa on koneturvallisuudesta vain lyhyitä vaatimuksia, esim.

”Pääsyä koneen tai työvälineen vaara-alueelle on rajoitettava niiden rakenteen, sijoituksen, suojusten tai turvalaitteiden avulla tai muulla sopivalla tavalla.” (ote kohdasta 41§) (Malm ym. 2008, 12.)



Kuvio 16. Koneiden turvallisuuteen liittyvää lainsäädäntöä. (Malm ym. 2008, 12.)

Koneasetusta sovelletaan pääasiassa uusiin koneisiin ja ETA-alueen ulkopuolelta tuleviin käytettyihin koneisiin. Koneasetus koskee sitä osapuolta, joka saattaa koneen markkinoille (KUVIO 16). Yleensä se on koneen valmistaja tai hänen Euroopan talousalueelle sijoittunut edustajansa, esim. maahantuoja tai jälleenmyyjä. Suunniteltaessa ja rakennettaessa konelinja eri koneista tai koneenosista katsotaan konelinjan toimittaja valmistajaksi, joka vastaa koko konelinjan vaatimustenmukaisuudesta. Jos työpaikka itse rakentaa konelinjan eri valmistajien koneista tai koneenosista, pidetään sitä valmistajana. Vaatimuksissa on olennaista, että joku vastaa kokonaisuudesta ja antaa siitä vaatimustenmukaisuusvakuutuksen. Elleivät muut sitä tee, on se ostajan vastuulla. (Malm ym. 2008, 12.)

Tuotantoautomaation kannalta on oleellista, että koneeksi lasketaan myös koneyhdistelmä. Robottijärjestelmä on siis yksi kone. Robotti erillisenä toimitettuna sen sijaan voi olla joko osittain valmis kone tai kone, riippuen loppusovelluksesta. Tällä on jonkin verran merkitystä eri tahojen tekemän dokumentoinnin kannalta. Koneelle on tehtävä sitä vastaava 2A valmistajan vakuutus (koneiden EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus). Vastaavasti osittain valmiille koneelle tehdään B valmistajan vakuutus. (Malm ym. 2008, 13.)

Harmonisoidut eli yhdenmukaistetut standardit tulkitsevat konedirektiivin liitteen 1 olennaisia terveellisyys- ja turvallisuusvaatimuksia. Jos koneen valmistaja noudattaa harmonisoituja standardeja, voidaan olettaa, että kone täyttää standardin kattamalta osalta konedirektiivin vaatimukset. Standardit ovat kuitenkin vapaaehtoisia. Jos standardeja ei noudateta, pitää valmistajan osoittaa muuten koneasetuksen edellyttämä turvallisuustaso. Harmonisoitujen standardien lisäksi on olemassa myös muita standardeja, jotka voivat hyvinkin tarkentaa koneasetuksen vaatimuksia, mutta niiden perusteella ei kuitenkaan voida tehdä vaatimustentäyttymisoletusta. (Malm ym. 2008, 13.)

4.2 Robottijärjestelmien turvallisuustekniikka

Robottijärjestelmän turvallisuussuunnittelussa on selkeästi kaksi pääperiaatetta tapaturmariskien vähentämiseksi: poistetaan läsnäoloa vaativat tehtävät vaaravyöhykkeeltä ja poistetaan tai vähennetään vaara-alueella työskentelyn vaaroja turvalaitteiden avulla. Toimenpiteet tapaturmariskien vähentämiseksi voivat kohdistua mm. tuotannon suunnitteluun, työsuunnitteluun, layout-suunnitteluun tai tuotesuunnitteluun. Hyvä tekninen ratkaisu ottaa aina huomioon myös muut suunnittelunäkökohdat, kuten ergonomian ja työn sisällön. (Kuivanen 1999, 166.)

4.2.1 Turvallisuussuunnittelu

Yleinen tapa on estää ja valvoa pääsyä turvalaitteiden valvomalle automaation toiminta-alueelle, joka on esimerkiksi mekaanisesti rajattu automaatiokoneen maksimitoiminta-alueesta. Robotin kaltaisten automaatiokoneiden alueiden rajaamisessa on olennaista hahmottaa, mikä on:

- maksimitoiminta-alue
- rajattu toiminta-alue
- turvalaitteiden valvoma alue

Alueiden rajat voivat muuttua liitettäessä automaatiokoneeseen erilaisia työkappaleita häiriö- tai vikatilanteessa. Ennakoitavissa olevat tekijät on otettava huomioon suunnittelussa ja ne on dokumentoitava (mm. käyttöohjeet). (Kuivanen 1999, 166.)

Automaatiokoneen toiminnan edellyttäessä käsityövaiheita tai läsnäoloa automaattisen toimintatavan aikana on varauduttava korvaaviin turvajärjestelyihin, kun ollaan turvalaitteiden valvomalla alueella. Eräs tekninen turvajärjestely on ohjauksen sallintalaitteen käyttö. Tekninen turvajärjestely ei yksinään riitä, vaan on noudatettava myös muita mm. turvallisesta työskentelystä ja muista turvamenettelyistä annettuja ohjeita. Korvaavien turvajärjestelyjen käytön muodostuminen rutiiniksi ja niiden käytön salliminen ulkopuolisille henkilöille aiheuttavat hyvin potentiaalisen vaaran. (Kuivanen 1999, 166–167.)

4.2.2 Suojarakenteet ja turvaetäisyydet

Yksinkertaistettu ja pelkistetty vaara-alueen rajaava ratkaisu on suoja-aitaus, johon on liitetty valvotut kulkuaukot alueelle menoa varten. Suojarakenteen korkeuden tulee olla vähintään 1000mm, jotta sillä olisi kehon liikettä rajoittava vaikutus. Kun suojarakenteen korkeus on alle 1400mm, tarvitaan lisäturvallisuustoimia. Suojarakenteen suosituskorkeus on siten yli 1400mm. Rakenteen korkeus lasketaan vertailutasosta, jolla henkilöt normaalisti seisovat. Useimmiten vertailutaso on lattia, mutta se voi olla myös jokin muu taso, kuten työskentelytaso. Teleoperointitilanteissa kannattaa harkita tätäkin korkeampia aitoja odottamattomien vaaratilanteiden ehkäisemiseksi. (Kuivanen 1999, 167.)

Turvaetäisyys suojuksen ja vaarakohdan välillä määrittyy mm. seuraavista tekijöistä:

- suuresta vaarasta takertua koneiden osiin
- ulottumisista vaaravyöhykkeelle
- ansaan joutumisesta, puristumisvaara

(Kuivanen 1999, 167.)

Esimerkiksi suojarakenteen neliömäisten aukkojen sivumitan tai pyöreiden aukkojen halkaisijamitan (esimerkiksi suoja-aidan verkon silmäkoon) tulee olla alle 40mm, jotta turvaetäisyydeksi ulottumiselle aukkojen läpi jää 200mm tai alle. Pitkänomaisten aukkojen rakomitan tulee olla vain noin puolet vastaavasta neliömäisen aukon sivumitasta (TAULUKKO 2). (Kuivanen 1999, 167.)

SUOJARAKENTEEN KORKEUS	VAAKASUORA TURVAETÄISYYS VAARAVYÖHYKKEESEEN
1400 mm	1100 mm
1600 mm	900 mm
1800 mm	800 mm
2000 mm	600 mm
2200 mm	400 mm

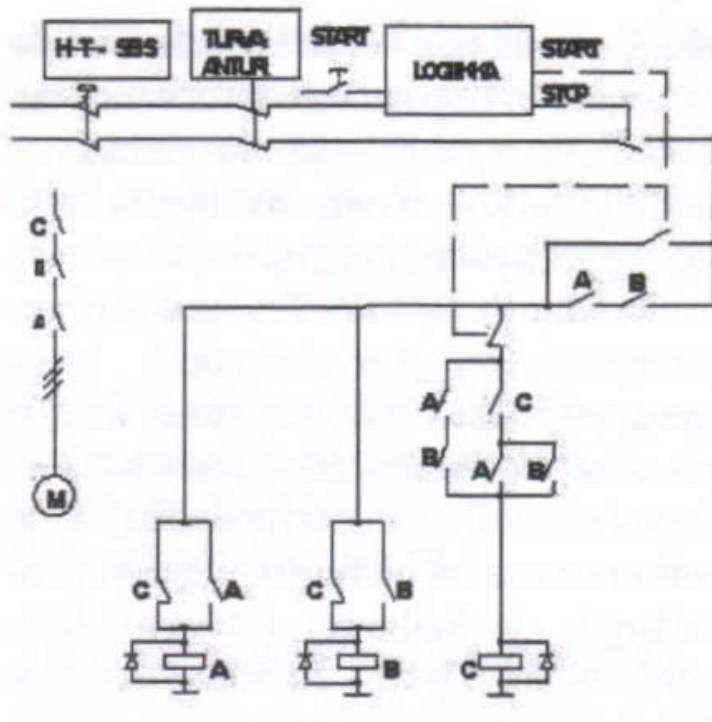
Taulukko 2. Turvaetäisyyksiä suojarakenteen yli. (Kuivanen 1999, 167.)

4.2.3 Hätäpysäytys

Robottisolussa on oltava hätäpysäytin, joka toimii standardissa SFS-EN 418 esitetyllä tavalla.

- hätäpysäyttimen pitää olla aina toimintavalmiina koneen tilasta riippumatta
- hätäpysäytyskäsky ei saa aiheuttaa uusia vaaroja eikä se saa vähentää turvatoimien tehokkuutta
- hätäpysäytyskäsky on ensisijainen kaikkiin muihin käskyihin nähden
- hätäpysäytyskäskyn vapauttaminen ei saa käynnistää mitään robotin osaa
- hätäpysäyttimen hallintaelimen tulee olla väriltään punainen ja taustan mikäli mahdollista, keltainen

Hätäpysäytyksen pitää katkaista robotilta käyttöenergia luotettavasti välittömästi tai heti pysähtymisen jälkeen. Ratkaisut pitää useinkin eri standardin mukaan toteuttaa siten, että toiminta ei vaarannu yhden komponentin ennustettavissa olevan vian vuoksi. [SFS-EN 60204-1, SFS-EN 775]. Hätäpysäytyksen tulee katkaista virta suoraan sähkömekaanisilla komponenteilla (KUVIO 17). Hätäpysäytysviesti ei saa mennä esim. ohjelmoitavan logiikan tai tietokoneen kautta. (Kuivanen 1999, 171.)



Kuvio 17. Esimerkki hätäpysäytyksen kytkennästä. (Kuivanen 1999, 171.)

Hätäpysäytyksen kytkemiseen on saatavissa myös erityisiä valmiita relepaketteja (turvatai hätä-seis-relepaketti), jotka pystyvät valvomaan omaa toimintakuntoaan ja vertailemaan rinnakkaisten piirien toimintaa. Relepaketit on tyypillisesti toteutettu kolmella pakkotoimisella releellä. Sähköisissä roboteissa turvapysäytys ja hätäpysäytys johdotetaan useimmiten samoihin piireihin. (Kuivanen 1999, 171.)

4.2.4 Kulkutiet- ja työskentelytasot

Standardissa SFS 5069 käsitellään koneturvallisuuden yhteydessä työskentelytasoja, kulkuteitä ja pääsyteitä.

Kulkutasolla tarkoitetaan tasoa, tai sen osaa, jolla työskennellään jatkuvasti tai huolletaan konetta. Kulkutiellä tarkoitetaan tasoa, jolla kuljetaan työskentelytasolta toiselle. Pääsytiellä tarkoitetaan nousutietä (portaita, tikkaita yms.), joka mahdollistaa pääsyn eri tasolla olevalle kulkutielle tai työskentelytasolle.

Mikäli joudutaan käyttämään enemmän kuin 0,5m vertailutasosta korotettuja työskentelytasoja tai kulkuteitä, ne on varustettava asianmukaisilla pääsyteillä (portailla, tikkailta tms.) ja suojakaiteilla, joissa on käsi- ja välijohdeet sekä jalkalista. Kulkuteitä, työskentelytasoja tai pääsyteitä ei saa rakentaa liian ahtaiksi. Ehdoton minimileveys on 0,6m. Kulkuteiden ohjemittoja standardin SFS 5069 perusteella ovat pääkulkutiet 1,2m, sivukulkutiet 0,9m, hätäpoistumistiet 0,9m ja sammutustiet 0,9m. (Kuivanen 1999, 172.)

Koska trukkipöytäville ei ole vakiintuneita mitoitusohjeita, otetaan lähtökohdaksi yleensä käytössä olevan kaluston ja käsiteltävien kappaleiden koot ja varataan välttämättömän tilan lisäksi ajovara (leveyssuunnassa 1-1,5m). (Kuivanen 1999, 172.)

Huolto- ja korjaustyöt edellyttävät omia tilavarauksiaan ja ne on mahdollisuuksien mukaan voitava tehdä järjestelmän ulkopuolella siihen varatussa tilassaan. Töitä tehdessä on henkilöiden tunnettava järjestelmän toiminta kokonaisuutena. Siksi on tärkeää, että järjestelmästä laitteineen on saatavilla yksityiskohtaiset huolto- ja käyttöohjeet. Huolto- ja korjaustoiminta vaatii myös tietoa työhön liittyvistä ongelmista ja häiriötekijöistä (raportointi, työn opastus, menetelmien kehitys, muutokset, investoinnit) sekä ennakoivaa suunnittelua, töiden ohjeistamista, oikeaa ajoittamista ja vastuiden selkeyttämistä. Automaatiojärjestelmiin liittyvien nostojen, kulkureittien ja nostotapahtumien suunnittelu parantaa turvallisuutta. Käsin tehtävät nostot ja taakkojen kanto on hyvä suunnitella etukäteen (mm. taakan painot, lepotaumat, työasennot ja apuvälineet). Henkilönostojen tarve on arvioitava realistisesti ja nostot on ratkaistava teknisesti oikeilla ja turvallisilla tavoilla, mm. henkilönostokorit. (Kuivanen 1999, 172.)

4.2.5 Alennettu nopeus

Turvanopeus tai alennettu nopeus on esitetty mm. teollisuusrobottien turvallisuutta käsittelevässä harmonisoidussa standardissa SFS-EN 775. Alennettua nopeutta voidaan käyttää turvallisuuden parantamiseen. Nopeus on harkittava tapauskohtaisesti, mutta se ei saa ylittää 250mm/s. Alennettu nopeus on erityisesti tarpeen silloin, kun työntekijän pitää työskennellä robotin vieressä. Jos robotissa on siirrettävä ohjausyksikkö, ei sillä tule voida käynnistää liikkeitä, joiden nopeus on yli turvanopeuden. Turvanopeus voidaan ylittää, jos käyttäjä esim. avaimella valitsee sopivan toimintatilan. (Kuivanen 1999, 172.)

Standardin SFS-EN 775 mukaan turvanopeus on turvatoiminto, joten ennustettavissa oleva vikaantuminen ei saa aiheuttaa esim. nopeuden kasvua. Turvatarkoitukseen tarkoitettu alennettu nopeus on teknisesti selvästi hankalampi ja kalliimpi toteuttaa kuten esim. hätäpysäytys. Kustannuspaineiden vuoksi ei turvalliseen alennettuun nopeuteen ole kiinnitetty kovin paljoa huomiota. Alennettun nopeuden vioittumisesta johtuvia tapaturmia ei kuitenkaan ole vielä tiedossa. Tähän on osaltaan vaikuttanut se, että turvanopeutta on vasta alettu käyttää laajamittaisesti robottisolujen turvallistamiskeinona. (Kuivanen 1999, 172.)

4.2.6 Turvalaitteista ja niiden asentamisesta

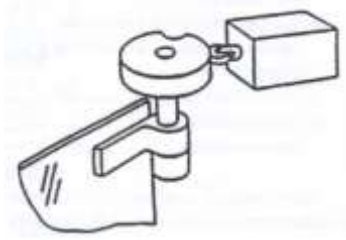
Turvalaitteiden valvomalle alueelle kuljetaan valvottujen kulkuaukkojen kautta. Kulkuaukon valvontaan soveltuvien turvalaitteiden toiminta voi perustua mm. kosketuksen tunnistaviin antureihin tai henkilön läsnäolon tunnistaviin antureihin. Tyypillisiä valvottuja kulkuaukkoja ovat portit, valoverhot ja useampisäteiset, joko usean valokennoparin tai valokennoparien ja peilien käyttöön perustuvat turvalaitteet, passiiviset liikkeen tunnistavat infrapunailmaisimet, turvamatot, kapasitiiviset tunnistimet, yms. anturit. (Kuivanen 1999, 168.)

Järjestelmän vaara-alueelle vievään porttiin tarvitaan standardiluonnoksessa prEN 1088 ”Interlocking devices associated with guards” määritelty koneen toimintaan kytkentälaitte. Koneen toimintaan kytkentälaitteita on monenlaisia.

Suojuksen kytkentä koneen toimintaan:

- portin saranapuolelle kytketyllä rajakytkimellä (KUVIO 18)
- avainrajakytkimellä
- avaimella, jolla voidaan käynnistää kone ja toisaalta avata portti
- pistokkeella, joka on pakko irrottaa porttia avatessa

(Kuivanen 1999, 168.)



Kuvio 18. Rullapäinen rajakytkin asennettuna portin saranaan. (Kuivanen 1999, 168.)

Portin sijaan kannattaa käyttää valokennoja tai turvamattoja, jos työntekijän pitää päästä robotin alueelle usein, tai robottisolun laajuus on laaja. Yksi tai kaksisäteisen valokennovalvonnan valinta kulkuaukon valvontaan edellyttää pientä riskiä vaaravyöhykkeellä. Kolmi- tai useampisäteisen valokennovalvonta ei välttämättä anna kattavaa suojaa vartalon tai muiden kehonosien tunkeutumiselta vaara-alueelle, joten tarkastelussa on otettava huomioon standardissa SFS-EN 294 ja standardiehdotuksessa prEN 811 johdetut turvaetäisyydet tai ryhdyttävä muihin lisätoimiin suoritettujen riskiarviointien perusteella. Valokennovalvonnan sijasta voidaan valita myös tiheäsäteinen valoverho. (Kuivanen 1999, 169.)

Turvamaton tai vastaavan valinta edellyttää riittävän pitkää turvaetäisyyttä, jottei turvamaton yli voi kävellä ilman havaintoa. Myöskään turvamaton yläpuolella tai sivuilla ei saa olla rakenteita, joita käyttäen turvamatto voidaan ylittää. Turvamaton tulee myös kattaa valvomansa kulkuaukon lattiapinta niin, ettei sinne jää katvealueita. Lattiatasossa turvamaton läheisyydessä ei saa myöskään olla rakenteita, joita voidaan helposti käyttää turvamaton ylittävien tilapäisrakenteiden ankkurointiin. (Kuivanen 1999, 169.)

Turvalaitteiden asentamisessa tulee ottaa huomioon valmistajan ohjeet, jotka liittyvät asennustapaan, käyttöolosuhteisiin ja oikeaan käyttötapaan. Turvalaitteiden ja

tunnistimien asennuksessa on tärkeää, että laitteet valvovat haluttuja alueita kokonaisuudessaan. Esim. valokennojen asennuksessa on varmistettava, että valokennoja on sopivan tiheässä, jotta ihminen ei pääse vaara-alueelle valokennojen välistä tai niiden ohi. Asennuksessa pitää myös varmistaa, ettei valokenno ole aivan lähellä samansuuntaista heijastavaa pintaa. Myös samanlaisten antureiden etäisyyden tulee olla riittävä, jotteivät ne häiritsisi toisiaan. Turvalaitteita käytettäessä pitää varmistaa, että antureiden suuntaus on pysynyt oikeana. Yleensä valmistaja ilmoittaa tarkastusvälin. (Kuivanen 1999, 169.)

Turvalaitteiden tarkoituksenmukaisen sijoittamisen ja kiinnittämisen avulla varmistetaan niiden pysyminen paikallaan. Esim. vipumallinen rajakytkin asennetaan sellaista pintaa vasten, joka tukee rajakytkintä ja estää rajakytkimen pyörähtämisen, jos yksi ruuvi putoaa. Lisäksi turvalaitteet tulee sijoittaa siten, että ne eivät ole alttiina törmäyksille. Perusvaatimuksena on myös se, että turvalaite ei saa olla helposti ohitettaessa, esim. painike tai rajakytkin lukitaan tikulla tai teipillä. (Kuivanen 1999, 169.)

Turvakäytössä olevien antureiden tulee olla tähän tarkoitukseen valmistettuja itseään valvovia malleja. Periaatteeltaan hyväksi koettuja malleja ovat valokennot, valoverhot ja kosketusanturit (kontaktimatot ja turvareunat). Kaikkia markkinoilla olevia antureita ei ole suunniteltu turvallisesti vikaantuviksi, joten turvalaitekäytössä anturista on syytä varmistaa sen soveltuvuus turvalaitteeksi. (Kuivanen 1999, 170.)

Jos turva-anturi havaitsee vian omassa toiminnassaan, tästä pitää antaa hälytys tai pysäyttää koneen vaarallinen toiminta (riskiarvioinnin perusteella valitaan valvontaluokka). Turvallisuuskriittisissä kohteissa vikayhdistelmät eivät saa aiheuttaa vaaraa, kun taas vähemmän kriittisissä kohteissa riittää toiminnan valvominen esim. käynnistyksen yhteydessä. (Kuivanen 1999, 170.)

Turvallisen vikaantumisen periaate täytetään yleensä käyttämällä kriittisten osien kahdennusta ja kahdennuksen valvontaa. Pelkällä kahdennuksella ilman valvontaa on vain vaaratilannetta siirtävä vaikutus. Kahdennusta turvalaitteelta ei kuitenkaan yleensä edellytetä, jos turvallisen vikaantumisen periaate voidaan muilla keinoin varmistaa. Käytännössä ainakin viimeinen kytkentäelin (rele) joudutaan kahdentamaan riittävän turvallisuustason saavuttamiseksi. (Kuivanen 1999, 170.)

Kulkutarve automaatiokoneen toiminta-alueelle automaattisen toiminnan aikana voi johtua monista syistä, mm. asetuksesta tai säädöstä, ohjelmoinnista tai prosessin muutosta; häiriön poistosta, tarkastuksesta tai vianetsinnästä; puhdistuksesta tai huollosta. (Kuivanen 1999, 170.)

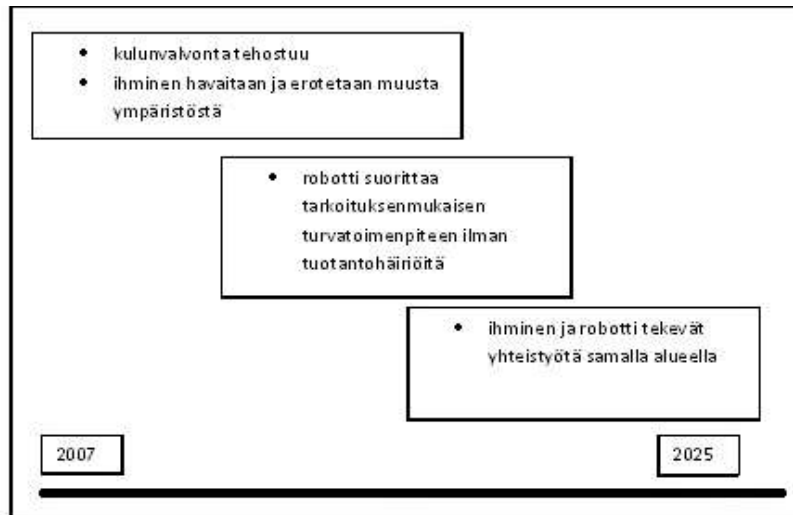
Kulkuaukkojen, kuittauspainikkeiden tai ohjausyksikön sijoittelu on tehtävä huolellisesti, ja siinä on otettava huomioon hyvä näkyvyys vaaratyövyöhykkeelle ja turvalaitteiden valvomalle alueelle sekä käyttöön liittyvät toiminnalliset vaatimukset. Kulkuaukossa olevan turvalaitteen valvonnan kuittaaminen ei saa itsessään johtaa järjestelmän käynnistämiseen uudelleen. Järjestelmän käynnistäminen uudelleen tulee olla harkittua toimintaa turvalaitteiden valvoman alueen ulkopuolelta, paikasta, josta on hyvä näkyvyys turvalaitteiden valvomalle alueelle. (Kuivanen 1999, 170.)

Kun siirrettävää ohjausyksikkö (kuten ohjelmointipaneelia) käytetään robotin turvalaitteiden valvomalla alueella, ei robottia saa olla mahdollista vaihtaa automaattiselle toimintatavalle. (Kuivanen 1999, 170.)

4.3 Robottien turvallisuusteknisen ratkaisujen kehitys

Turvalaitteilta odotetaan tiettyä luotettavuutta ja turvallisuutta. Ihminen luottaa turvalaitteisiin ja jos turvalaite epäonnistuu, on tapaturma todennäköisempi kuin ilman turvalaitetta. (Malm ym. 2008, 101.)

Ihmisten kulunvalvonta on lisääntynyt (KUVIO 19). Yhä useammin on tarve tietää, ettei ihminen ole vaarallisessa järjestelmän kohdassa. Tämä voi liittyä esim. järjestelmän käynnistykseen, vaaralliseen koneen toimintaan tai tietyn henkilön lupaan olla tietyllä alueella. Henkilö, joka ei tunne järjestelmää, saattaa tahattomasti saada aikaan suurta vahinkoa tuotannolle. (Malm ym. 2008, 101.)



Kuvio 19. Robottiikan turvallisuustekniikan tarpeita. (Mukaiillen Malm ym. 2008, 102.)

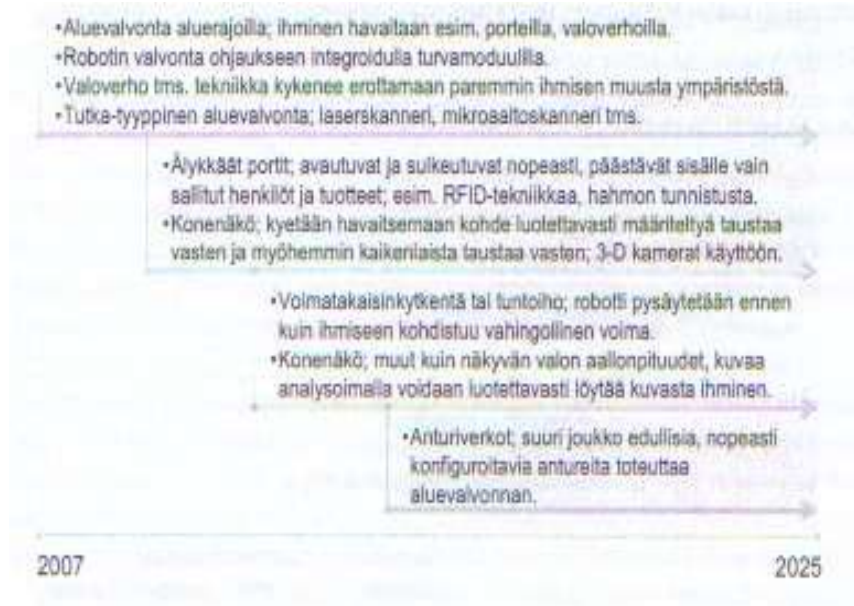
Turvallisuuteen liittyvien antureiden kehitystä on vaikea arvioida, koska yleisen tekniikan kehityksen ja teknisten läpimurtojen lisäksi kehitykseen vaikuttaa mm. tuotteiden hinnan kehitys (KUVIO 20). Toisaalta turvatekniikka on tyypillisesti konservatiivista, ja tekniset ratkaisut siirtyvät turvakäyttöön vasta, kun niitä on koeteltu standarditekniikassa. Esim. konenäön läpimurtoa turvatekniikassa on odoteltu ainakin 15 vuotta. Ongelmina ovat aluksi olleet korkea hinta sekä nopeus ja nykyään lähinnä ohjelmiston luotettavuus. Konenäössä ei turvallisuuden kannalta ole periaatteellista ongelmaa, jos etsitään ainoastaan kuvan muutoksia. Tavalliset viat, kuten linssin likaantuminen ja johdon irtoaminen, havaitaan kyllä luotettavasti hyväksyttävän näkymän puuttumisena. (Malm ym. 2008, 102.)

Voimatakaisinkytkennältä odotetaan paljon turvatekniikassa. Nyt on jo robottiturvallisuusstandardissakin määritelty raja-arvot turvalliselle toiminnalle (150 N:staattinen voima ja 80W:n dynaaminen isku). Robotti on siis riittävän turvallinen, jos ihmiseen ei kohdistu liian suurta voimaa eikä robotissa ole liikkeen suuntaan terävää kohtaa. Käytännössä tämä edellyttää nopeaa anturitoimintaa ja liikkuvan massan hallintaa. Käytännössä robotin pitää olla kevyt saavuttaakseen esitetyt raja-arvot. (Malm ym. 2008, 102.)

RFID-tekniikalla on mahdollista valvoa ihmisen sijaintia, mutta toistaiseksi luotettavuus ja turvallisuus ovat riittäneet vain kohteisiin, jossa turvallisuus ei ole yksin RFID-tekniikan varassa. Turvallisuuden kannalta ongelma on siinä, että RFID-tekniikalla signaali saadaan

sitten, kun ihminen on paikalla. Sopiva häiriö voi johtaa signaalin katoamiseen ja turvallisuuden menetykseen. Tekniikan etuja ovat: ihminen voidaan havaita pienten esteiden takaa ja havaintoalue voi liikkua koneen mukana. (Malm ym. 2008, 102-103.)

Anturiverkot on mainittu lähitulevaisuuden mahdollisuutena. Tähän tarvittaisiin suuri joukko edullisia, mutta luotettavia antureita valvomaan tehtaan tilaa. Robotin toimiessa aktivoidaan ne anturit, jotka ovat tarpeen. Uutta solua rakennettaessa ei tarvita lisääntureita, vaan ainoastaan aktivoidaan jo olemassa olevia antureita. Jos riittävän edullisia ja luotettavia antureita ei kehitetä, asennetaan antureita kuten nykyäänkin, tarpeen mukaan. (Malm ym. 2008, 103.)



Kuvio 20. Robottien turva-antureiden kehitystä. (Malm ym. 2008, 103.)

5. ROBOTIIKAN OPPIMISYMPÄRISTÖN KEHITTÄMINEN

Käytännönsiossa kehitetään opiskelijan tietoja ja taitoja Motoman robotin käyttämisessä. Harjoitukset pidetään yksinkertaisina, mutta myös haastavina. Apua ja vihjeitä harjoitusten tekemiseen annetaan, mutta opiskelijan täytyy oppia aiheesta ennen kuin harjoitusten tekeminen onnistuu. Oletuksena on, että opiskelijalta löytyy jo ennen näitä harjoituksia tietoperusta robotin käsittelystä ja perustoiminnoista.

Kahdessa ensimmäisessä työssä on kyse pinoamisesta, levyt ovat jo alkutilanteessa yhdessä pinossa, mutta ne ovat epäjärjestyksessä. Töiden tarkoituksena on järjestää levyt siisteihin pinoihin. Kummassakin harjoituksessa on oma erilainen ongelmansa, mikä tulee ratkaista.

Kolmannessa harjoituksessa perehdytään itse ohjainpaneeliin ja sen ohjelmoimiseen.

Harjoitusten suunnittelun perustana käytetään omia kokemuksia vastaavanlaisista harjoitustöistä. Töiden perimmäisenä tarkoituksena on tarjota opiskelijalle mielenkiintoinen ja kehittävä kokemus, joka jää vahvasti mieleen.

Muuttujat ja selitykset, mitä tarvitsee ohjelman tekemiseen.

Ohjelmassa käytettävät muuttujat:

B 030 1.Suunnan kpl-laskuri. Alussa arvo: 0

B 031 2.Suunnan kpl-laskuri. Alussa arvo: 0

B 032 3.Suunnan kpl-laskuri. Alussa arvo: 0

Ohjelmassa käytettävät paikkamuuttujat:

P 040 Siirto päälle paikkamuuttuja. Alussa arvot: nollina.

P 041 1.Suunnan kpl-väli

P 042 2.Suunnan kpl-väli

P 043 3.Suunnan kpl-väli

5.1. Matriisin kokoonpano

Työssä levyt otetaan pinosta, jonka jälkeen ne kuljetetaan robotilla keskittämistelineeseen, mistä ne pinotaan tiettyyn ennalta valittuun matriisi järjestykseen esim. 2*2 tai 4*2 (TAULUKKO 3). Robotilla olevan valmiin ohjelman avulla on helppo määrittellä moneenko riviin ja sarakkeeseen levyt tuodaan, on myös mahdollista suorittaa pinoamista.

taulukko 3. Matriisiesimerkit.

Ohjelma, jolla laavaus suoritetaan 2 suuntaan:

Kuvio-1:

- kahden suunnan laavaus
- pinot kasvavat X, Y tai Z-suuntiin
- kappaleen asento ei muutu
- 3 suunnan RET –käskyyn asetetaan kpl siirtomäärä nolllaksi

Esimerkkiohjelma liitteenä, liite 4.

5.2 Kuljettimen päälle laatikkoon pinoaminen

Ideana sama kuin edellisessä harjoituksessa, mutta nyt levyt pinotaan laatikkoon, mikä sijaitsee kuljettimen päällä mahdollista jatkokehittelyä varten. Laatikon koko on tässä harjoituksessa ratkaiseva tekijä, koska jos levyä ei ole keskitetty se ei mene laatikkoon.

Ohjelma, joka toimii tässä harjoituksessa perustuu edelliseen.

1' Suunta

Kuvio-2:

-yhden suunnan lavaus

-pino kasvaa X, Y tai Z-suuntaan

-kappaleen asento ei muutu

-2 ja 3 suunnan RET-käskyyn asetetaan kpl siirtomäärät nolliksi

Esimerkkiohjelma liitteenä, liite 5.

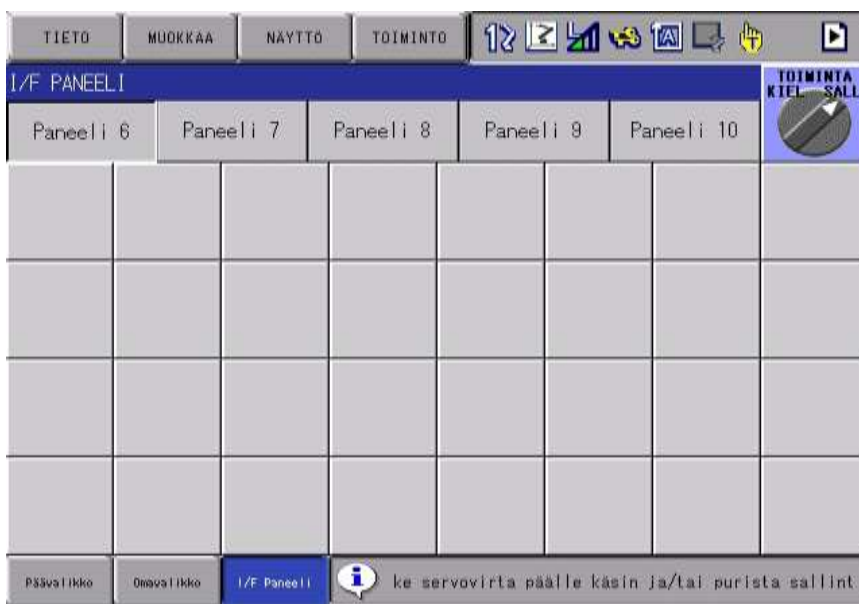
5.3 If paneeli

Tässä harjoituksessa robotin ohjauspaneeliin luodaan valmiita toimintoja ohjelmiin. Eli mahdollisuutena tätä kautta luoda eri lavaus/kasauskokoja ja esim. imun saa kytkettyä päälle/pois.

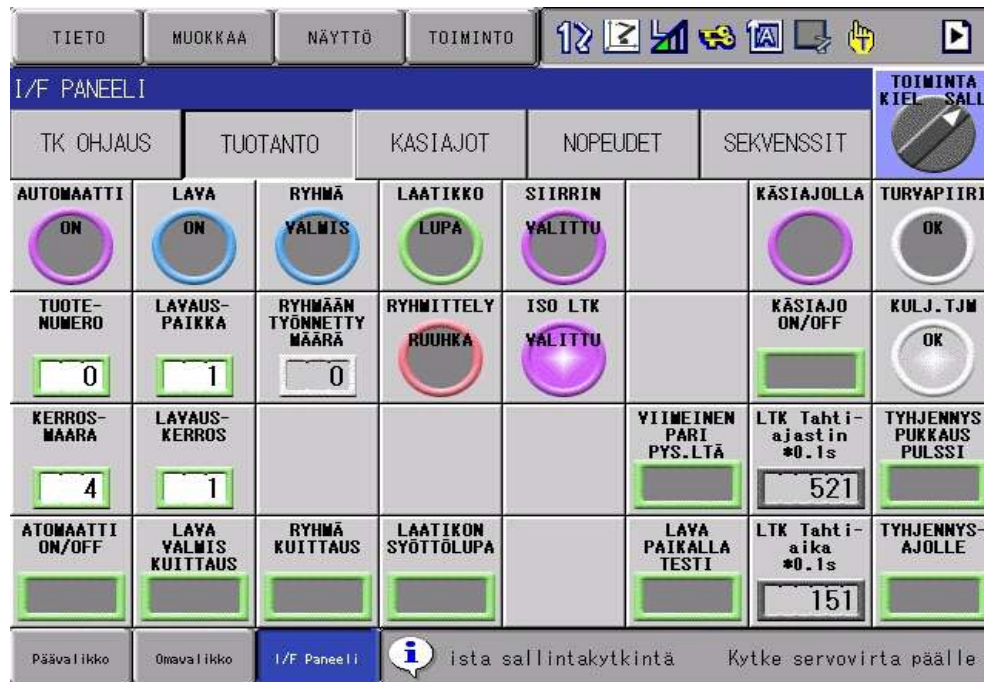
Imu päälle/pois

Reaaliaikainen data määrien kasvamisesta kolmeen eri suuntaan

Maksimiarvojen määritteleminen kolmeen eri suuntaan



Kuvio 21. If-paneeli ilman toimintoja.



Kuvio 22. If-paneeli toiminnoilla.

I/F paneelin käyttö

1. Paina näytön alareunasta I/F PANEELI näppäintä
2. I/F paneelin oikeasta yläreunasta valitaan toiminta kielletty tai sallittu, painamalla INTER LOCK pohjaan + TOIMINTA KIEL/SALL painiketta. Muuttujien arvot, yleistulojen ja yleislähtöjen tilat näkyvät oikein vaikka toiminta valintakytkin on asennossa kielletty.

I/F paneelin luonti

1. Valitse HALLINTATILA. I/F paneelin luontia varten, vaaditaan hallintatila (3 keltaista avainta näytön yläreunassa)

Hallintatilaan siirtyminen:

JÄRJESTELMÄ
KÄYTTÄJÄTASO
Paina SELECT
valitse listalta HALLINTATILA
Syötä tunnussana 99999999
ENTER

2. Paina JÄRJESTELMÄ
3. Paina I/F PANEELIN ASETUS, jonka jälkeen avautuu näyttö:
4. Paneleita on 10 kpl, valitse haluamasi paneeli, SIVU näppäimellä. Voit muuttaa halutessasi paneelin nimeä:

Ylävalikosta MUOKKAA ja RYHMÄNIMI

5. Siirrä kursori kohtaan PAINIKE ja paina SELECT

6. Paina SELECT haluamasi painikkeen kohdalla. Painikkeet joissa on merkki vasemmalla, ovat jo käytössä. 1A sijaistaa I/F paneelissa näytön vasemmassa yläreunassa ja 4H oikeassa alareunassa

7. Siirrä kursori kohtaan PANEELIN TYYPPI

Valitsemalla vasempaan sarakkeeseen YMPYRÄ, NELIÖ 1 tai NELIÖ 2,

oikeaan sarakkeeseen voidaan valita:

- VAIN OSOITUS / VAIN ILMOITUS, joka on yleistuloja varten

- PAINONAPPI, jolla yleislähtöä ohjataan, niin kauan kuin painiketta painetaan

- PAINIKENAPPI, jolla yleislähtöä ohjataan ON/OFF

Valitsemalla vasempaan sarakkeeseen VALINTAKYTKIN

oikeaan sarakkeeseen voidaan valita:

VASEN AKT, kytkin vasemmalla yleislähtö päällä

OIKEA AKT, kytkin oikealla yleislähtö päällä

2 LÄHTÖÄ, voidaan asettaa 2 eri lähtöä

Valitsemalla vasempaan sarakkeeseen MUUTTUJA (pelkästään osoitin) tai ASETA MUUTTUJA (voi muuttaa muuttujan arvoa)

oikeaan sarakkeeseen voidaan valita:

3 MERKKIÄ, käytetään esim. B-muuttujan kanssa

6 MERKKIÄ, käytetään esim. I- muuttujan kanssa

8. Siirrä kursori kohtaan PANEELIN VÄRI ja paina SELECT, valitse haluamasi paneelin väri

9. Siirrä kursori kohtaan PANEELIN NIMI. Kirjoita paneeliin haluamasi nimi kolmeen kohtaan, vasemman puolinen sarake on painikkeen ylhäällä, oikean puolinen sarake on painikkeen keskellä ja keskimmäinen sarake niiden välissä.

10. Siirrä kursori kohtaan TEKSTIN VÄRI ja paina SELECT, valitse haluamasi tekstin väri

11. Siirrä kursori kohtaan KÄYTTÄJÄTASO ja paina SELECT, valitse haluamasi käyttäjätaso. (avaimien lukumäärä)

12. Siirrä kursori kohtaan MUUTOS ILMAN INTERLOCKIA ja paina SELECT, valitse tarvitseeko INTERLOCK näppäintä painaa samanaikaisesti kuin painiketta painetaan

13. Jos PANEELIN TYYPPI on VAIN ILMOITUS / VAIN OSOITUS:

TULO(NÄYT) kohtaan asetetaan SIGNAALI ja yleistulon logiikka nro.

Logiikka nro:n löytää TULOT/LÄHDÖT → YLEISTULO, logiikka numerossa on risuaita edessä. Esim. yleistulo 1:n logiikka nro. on #00010

14. Jos PANEELIN TYYPPI on VALINTAKYTKIN, PAINONAPPI tai PAINIKENAPPI:

TULO(NÄYT) ja LÄHTÖ(ASET) kohtiin asetetaan SIGNAALI ja yleislähdön logiikka numerot. Molempiin valitaan sama logiikka nro.

Logiikka numerot löytää TULOT/LÄHDÖT → YLEISLÄHTÖ, logiikka numerossa on risuaita edessä. Esim. yleislähtö 1:n logiikka nro. on #10010

15. Jos PANEELIN TYYPPI on MUUTTUJA:

TULO(NÄYT)kohdan vasempaan sarakkeeseen valitaan B tai I MUUTTUJA ja oikean puoleiseen sarakkeeseen muuttuja taulukon numero

16. Jos PANEELIN TYYPPI on ASETA MUUTTUJA:

TULO(NÄYT) ja LÄHTÖ(ASET) kohtien vasempiin sarakkeisiin valitaan B tai I MUUTTUJA ja oikean puoleisiin sarakkeisiin muuttuja taulukon numero

17. Siirrä kursori kohtaan ASETA ja paina SELECT, Painike on tallennettu

18. Tarkista vielä I/F paneelista löytyykö painike ja toimiiko se oikein

POHDINTAA

Tavoitteenamme oli saada aikaan kolme uudenlaista harjoitusta työohjeineen Motoman DX100 robotille. Harjoituksista oli tarkoitus luoda haasteellisia, mutta opettavaisia ja tätä varten robottiin saatiin otettua käyttöön uusia ominaisuuksia. Opinnäytetyön teoriaosioon saatiin koottua kattava monipuolinen tietopaketti robotiikan perusteista.

Harjoituksiin keksittiin hyvät aiheet lavaus, josta kehitettiin kaksi harjoitusta. Toisessa pääteemana lavaaminen moneen kerrokseen, riviin ja sarakkeeseen, toisessa kasaaminen yhteen tarkoin määritettyyn pinoon. Kummassakin harjoituksessa lavattava tuote keskitettiin ensin, jolloin saimme harjoituksiin vaikutteita työelämästä. Robotteja käytetään teollisuudessa paljon kyseiseen käyttötarkoitukseen. Kolmannessa harjoituksessa luodaan robotin ohjainpaneeliin uusia pikatoimintoja, ns. If-paneeliin. Näitä toimintoja voidaan myös hyödyntää edellisiin tehtäviin, jolloin saamme aikaiseksi oppilaille kehittävän, haasteellisen ja hyvän käytännönläheiset oppimisharjoitukset.

Harjoitukset tehtiin periaatteella, tekemällä oppii ja kysymällä pärjää. Apua työhön saimme työntilaaajalta ja robottitoimittajalta. Varsinaisia ongelmia työosuudessa ei tarvinnut ratkaista, vaan itse piti kehittää sopivat ongelmat harjoituksiin.

Teoria osio oli suhteellisen haastava, jotta siitä saatiin sopivan kompakti ja kattava aineisto. Aineisto käsittelee teollisuusrobotin ominaisuuksia ja huomioonotettavia seikkoja. Teollisuudessa käytettäviä robotteja on paljon ja niillä tehdään monipuolisia töitä, joten oli päätettävä miten laajasti aihetta käsitellään. Mutta mielestämme saimme tarpeeksi asiaa teoriaan ja se tulee palvelemaan henkilöitä joille tietoperusta ei ole tarpeellinen, mutta halu saada tietoa on iso.

Opinnäytetyön tilaajalta oli hyvä idea antaa opiskelijoiden kehittää harjoituksia toisille opiskelijoille, jolloin vaikeusaste harjoituksissa saadaan pysymään tarpeellisella tasolla. Myöskin niin oppilaat kuin opettajatkin hyötyvät näistä enemmän, kuin se että opettajatkin tekisivät harjoituksia ainoastaan.

Itse työ kehitti ja kasvatti tietojamme niin teollisuusrobotiikan teorioista kuin käytännönläheisestä harjoittelusta itse Motoman robotin kanssa.

LIITTEET

Liite 1. Harjoitus 1.

Robottiohjelmointi Motoman Dx100

Kuvioiden lähteenä Yaskawa Finland Oy.

Opetellaan tekemään robotilla kasausohjelma, joka keskittää kappaleen ja lavaa sen. Sisäistetään ohjelmassa tarvittavat käskyt

- Robotin käyttöpaneeliin tutustuminen ja tarvittavien käskyjen etsiminen
- Ohjelman teko / ohjelman ajaminen (Ohjaajan tarkastettua ohjelma)

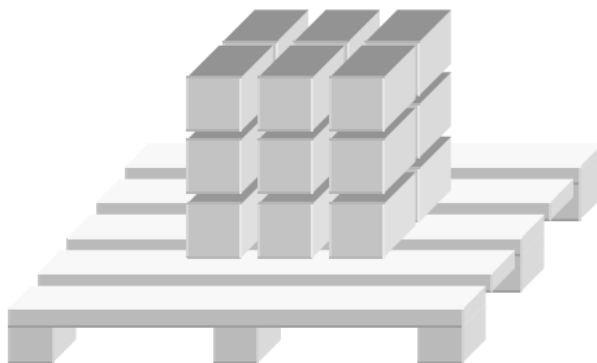
Huom !

Noudata erityistä varovaisuutta käyttäessäsi robottia. Robotin työskentelyalueelle meno ei ole sallittua eikä robotin ohjelmaa saa käynnistää ilman ohjaajan valvontaa/tarkastusta.

Harjoituksen tuloksena:

- Tunnetaan käyttöpaneelin toiminnot ja tiedetään, mistä ne löytyvät
- Osataan tehdä kasausohjelma, tunnetaan siihen liittyvät käskyt

KUVIO-3



Kolmen suunnan lavaus

- pinot kasvavat x, y ja z-suuntiin
- Kappaleen asento ei muutu

Kasausharjoitus tehtävä

Tee ohjelmalle pohja, jonka jälkeen aseta tarpeelliset paikkamuuttujien arvot.

P 041 – P 043 arvoiksi 50, jolloin näkee selvästi kasauksen kehittymisen.

Ensimmäisenä ohjelmaan tulee laittaa pisteet, mihin kasausharjoitus tehdään.

Työssä tarvittavia muuttujia:

P 040 Siirto päälle paikkamuuttuja. Alussa arvot: nollina

P 041 – P 043 suuntien siirtomatkan muuttujia

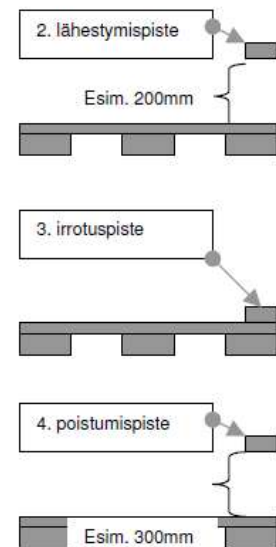
B 030 – B 032 suuntien kpl-laskurit. Alussa arvot : 0

SETE siirto matkan elementti

RET suuntien siirto kpl määrä lopussa

OPETETTAVAT LIIKEPISTEET:

	0	NOP
	1	MOVJ VJ=5.00 //Turva-as
	2
	3	'Siirto paalle. Paikkamuuttuja
	4	'40:n mukaan
	5	SFTON P040
	6
	7	'Opeta liikepisteet 1 Kpl:n
	8	'avulla niin etta siirtokäskey
	9	'ei ole paalla
1. Opeta piste turva-asemaan (MODIFY+ENTER)	10	MOVJ VJ=50.00 //Lahetymispiste
2. Opeta lähestymispiste 1:llä kappaleella (MODIFY+ENTER)	11	MOVL V=200.0 PL=0 //Irrotuspiste
3. Opeta irrotuspiste 1:llä kappaleella lavalle (MODIFY+ENTER)	12	CALL JOB:IMUT-OFF
4. Opeta poistuspiste 1:llä kappaleella (MODIFY+ENTER)	13	MOVL V=300 //Poistuspiste
	14	SFTOF
5. Opeta piste turva-asemaan (MODIFY+ENTER)	15	MOVJ VJ=50.00 //Turva-as



Siirtokäskyt

1. SFTON – käsky asettaa siirron päälle paikkamuuttuja 40 :n mukaan
2. SFTOF – käsky lopettaa siirron

HUOM! Kun siirto on päällä, älä muuta opetettavia pisteitä.

LAVAUKSEN NOLLAUS:

1. Suorittamalla ohjelman tästä kohdasta eteenpäin INTERLOCK + TEST START lavauksen siirtomatkat ja kpl määrät nollautuvat
2. Suorita nollaus, kun testaat 1:n kerran
3. Suorita nollaus aina kun lavauskuvio halutaan aloittaa alusta
4. Nollaus lisätään tarvittaessa myös nollausohjelmaan/päättyöhön
5. Nollauksen jälkeen lavan tulee olla tyhjä

```

41 *****
42 '1. 2 ja 3 suunnan nollaus
43 SET B030 0
44 SET B031 0
45 SET B032 0
46 SUB P040 P040
47 *****
48 PAUSE
49 'Lavauskuvio nollattu ja valmis
50 *****
51 END

```



Ohjelman ulkoasu eri arvoilla:

```

0000 NOP
0001 MOVJ VJ=5.00 //Turva-as
0002 *****
0003 'Siirto paalle. Paikkamuuttuja
0004 '40:n mukaan
0005 SFTON P040
0006 *****
0007 'Opeta liikepisteet 1 Kpl:n
0008 'avulla niin etta siirtokasky
0009 'ei ole paalla
0010 MOVJ VJ=50.00 //Lahestymispiste
0011 MOVL V=200.0 PL=0 //Irrotuspiste
0012 CALL JOB:IMUT-OFF
0013 MOVL V=300.0 //Poistumispiste
0014 SFTOF
0015 MOVJ VJ=50.00 //Turva-as
0016 *****
0017 '1 Suunta
0018 INC B030
0019 ADD P040 P041
0020 RET IF B030<5
0021 *****
0022 '1 suunnan nollaus
0023 SET B030 0
0024 SETE P040 (1) 0
0025 *****
0026 '2 Suunta
0027 INC B031
0028 ADD P040 P042
0029 RET IF B031<5
0030 *****
0031 '1 ja 2 suunnan nollaus
0032 SET B030 0
0033 SET B031 0
0034 SETE P040 (1) 0
0035 SETE P040 (2) 0
0036 *****
0037 '3 Suunta
0038 INC B032
0039 ADD P040 P043
0040 RET IF B032<5
0041 *****
0042 '1. 2 ja 3 suunnan nollaus
0043 SET B030 0
0044 SET B031 0
0045 SET B032 0
0046 SUB P040 P040
0047 *****
0048 PAUSE
0049 'Lavauskuvio nollattu ja valmis
0050 *****
0051 END

```

Liite 2. Harjoitus 2.

Robottiohjelmointi Motoman Dx100

Kuvioiden lähteenä Yaskawa Finland Oy.

Opetellaan tekemään robotilla kasausohjelma, joka keskittää kappaleen ja kasaa sen. Sisäistetään ohjelmassa tarvittavat käskyt

- Robotin käyttöpaneeliin tutustuminen ja tarvittavien käskyjen etsiminen
- Ohjelman teko / ohjelman ajaminen (Ohjaajan tarkastettua ohjelma)

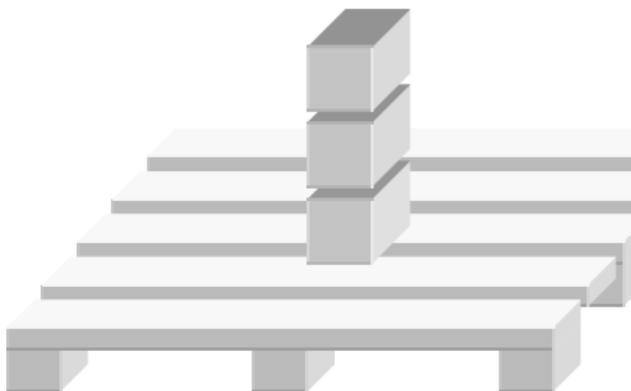
Huom !

Noudata erityistä varovaisuutta käyttäessäsi robottia. Robotin työskentelyalueelle meno ei ole sallittua eikä robotin ohjelmaa saa käynnistää ilman ohjaajan valvontaa/tarkastusta.

Harjoituksen tuloksena:

- Tunnetaan käyttöpaneelin toiminnot ja tiedetään, mistä ne löytyvät
- Osataan tehdä kasausohjelma, tunnetaan siihen liittyvät käskyt

KUVIO-1



Yhden suunnan lavaus

- pino kasvaa x, y ja z-suuntaan
- Kappaleen asento ei muutu
- 2 ja 3 suunnan RET-käskyyn asetetaan kpl siirtomäärät nolliksi

Kasausharjoitus tehtävä

Tee ohjelmalle pohja, jonka jälkeen aseta tarpeelliset paikkamuuttujien arvot.

P 041 arvoksi 50, jolloin näkee selvästi kasauksen kehittymisen. Muihin paikkamuuttujiin arvoksi 0.

Ensimmäisenä ohjelmaan tulee laittaa pisteet, mihin kasausharjoitus tehdään.

Työssä tarvittavia muuttujia:

P 040 Siirto päälle paikkamuuttuja. Alussa arvot: nollina

P 041 – P 043 suuntien siirtomatkan muuttujia

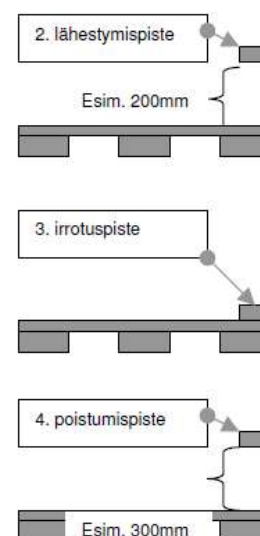
B 030 – B 032 suuntien kpl-laskurit. Alussa arvot : 0

SETE siirto matkan elementti

RET suuntien siirto kpl määrä lopussa

OPETETTAVAT LIIKEPISTEET:

1. Opeta piste turva-asemaan (MODIFY+ENTER)	0 NOP
	1 MOVJ VJ=5.00 //Turva-as
	2 *****
2. Opeta lähestymispiste 1:llä kappaleella (MODIFY+ENTER)	3 'Siirto paalle. Paikkamuuttuja
	4 '40:n mukaan
	5 SFTON P040
	6 *****
3. Opeta irrotuspiste 1:llä kappaleella lavalle (MODIFY+ENTER)	7 'Opeta liikepisteet 1 Kpl:n
	8 'avulla niin etta siirtokäskey
	9 'ei ole paalla
4. Opeta poistuspiste 1:llä kappaleella (MODIFY+ENTER)	10 MOVJ VJ=50.00 //Lahetymispiste
	11 MOVL V=200.0 PL=0 //Irrotuspiste
	12 CALL JOB:IMUT-OFF
5. Opeta piste turva-asemaan (MODIFY+ENTER)	13 MOVL V=300 //Poistuspiste
	14 SFTOF
	15 MOVJ VJ=50.00 //Turva-as



Siirtokäskey

3. SFTON – käskey asettaa siirron päälle paikkamuuttuja 40 :n mukaan
4. SFTOF – käskey lopettaa siirron

HUOM! Kun siirto on päällä, älä muuta opetettavia pisteitä.

LAVAUKSEN NOLLAUS:

1. Suorittamalla ohjelman tästä kohdasta eteenpäin INTERLOCK + TEST START lavauksen siirtomatkat ja kpl määrät nollautuvat
2. Suorita nollaus, kun testaat 1:n kerran
3. Suorita nollaus aina kun lavauskuvio halutaan aloittaa alusta
4. Nollaus lisätään tarvittaessa myös nollausohjelmaan/päättyöhön
5. Nollauksen jälkeen lavan tulee olla tyhjä

```

41 *****
42 '1. 2 ja 3 suunnan nollaus
43 SET B030 0
44 SET B031 0
45 SET B032 0
46 SUB P040 P040
47 *****
48 PAUSE
49 'Lavauskuvio nollattu ja valmis
50 *****
51 END

```

**Ohjelman ulkoasu eri arvoilla:**

```

0000 NOP
0001 MOVJ VJ=5.00 //Turva-as
0002 *****
0003 'Siirto paalle. Paikkamuuttuja
0004 '40:n mukaan
0005 SFTON P040
0006 *****
0007 'Opeta liikepisteet 1 Kpl:n
0008 'avulla niin etta siirtokasky
0009 'ei ole paalla
0010 MOVJ VJ=50.00 //Lahestymispiste
0011 MOVL V=200.0 PL=0 //Irtotuspiste
0012 CALL JOB:IMUT-OFF
0013 MOVL V=300.0 //Poistumispiste
0014 SFTOF
0015 MOVJ VJ=50.00 //Turva-as
0016 *****
0017 '1 Suunta
0018 INC B030
0019 ADD P040 P041
0020 RET IF B030<5
0021 *****
0022 '1 suunnan nollaus
0023 SET B030 0
0024 SETE P040 (1) 0
0025 *****
0026 '2 Suunta
0027 INC B031
0028 ADD P040 P042
0029 RET IF B031<5
0030 *****
0031 '1 ja 2 suunnan nollaus
0032 SET B030 0
0033 SET B031 0
0034 SETE P040 (1) 0
0035 SETE P040 (2) 0
0036 *****
0037 '3 Suunta
0038 INC B032
0039 ADD P040 P043
0040 RET IF B032<5
0041 *****
0042 '1. 2 ja 3 suunnan nollaus
0043 SET B030 0
0044 SET B031 0
0045 SET B032 0
0046 SUB P040 P040
0047 *****
0048 PAUSE
0049 'Lavauskuvio nollattu ja valmis
0050 *****
0051 END

```

Liite 3. Harjoitus 3.

Robottiohjelmointi Motoman Dx100

Kuvioiden lähteenä Yaskawa Finland Oy.

Opetellaan muokkaamaan ja luomaan robotille eri paneeleja, joilla voi hallita nopeasti eri toimintoja. Sisäistetään ohjelmassa tarvittavat käskyt

- Robotin hallintatilan muuttaminen
- If-paneelin luonti ja käyttäminen

Huom !

Noudata erityistä varovaisuutta käyttäessäsi robottia. Robotin työskentelyalueelle meno ei ole sallittua eikä robotin ohjelmaa saa käynnistää ilman ohjaajan valvontaa/tarkastusta.

Harjoituksen tuloksena:

- Tunnetaan käyttöpaneelin toiminnot ja tiedetään, mistä ne löytyvät
- Osataan luoda erilaisia If-paneeleja muuttuviin robottiohjelmiin.
- Osataan käyttää robotin eri hallintatiloja

I/F paneelin luonti

1. Valitse HALLINTATILA. I/F paneelin luontia varten, vaaditaan hallintatila (3 keltaista avainta näytön yläreunassa)

Hallintatilaan siirtyminen:

JÄRJESTELMÄ

KÄYTTÄJÄTASO

Paina SELECT

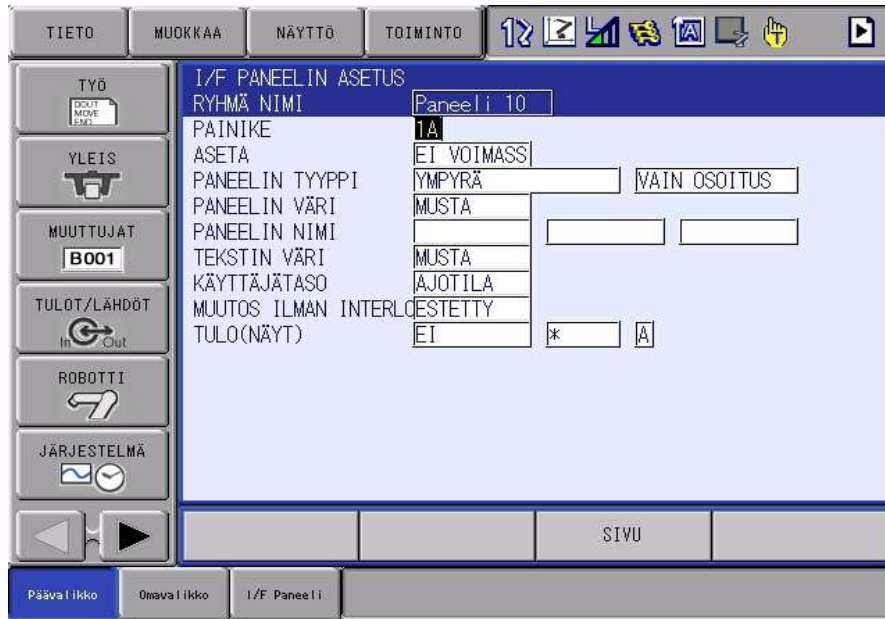
valitse listalta HALLINTATILA

Syötä tunnussana 99999999(8:n kertaa yhdeksän)

ENTER

2. Paina JÄRJESTELMÄ

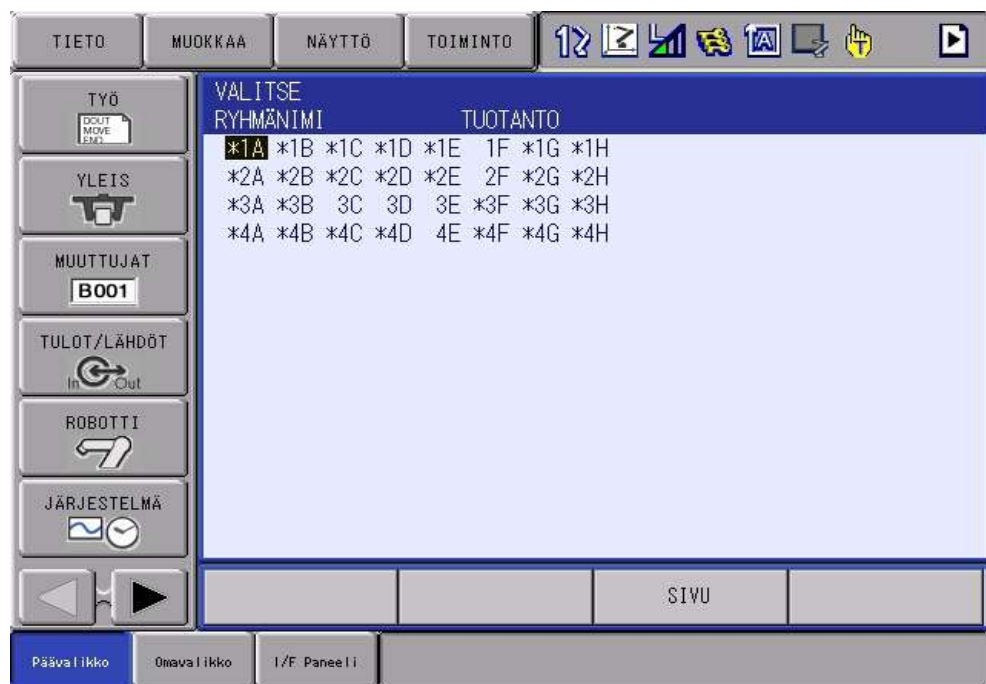
3. Paina I/F PANEELIN ASETUS, jonka jälkeen avautuu näyttö:



4. Kymmenestä paneelista voit valita haluamasi painamalla SIVU-näppäintä. Paneelin voit myös halutessasi nimetä:

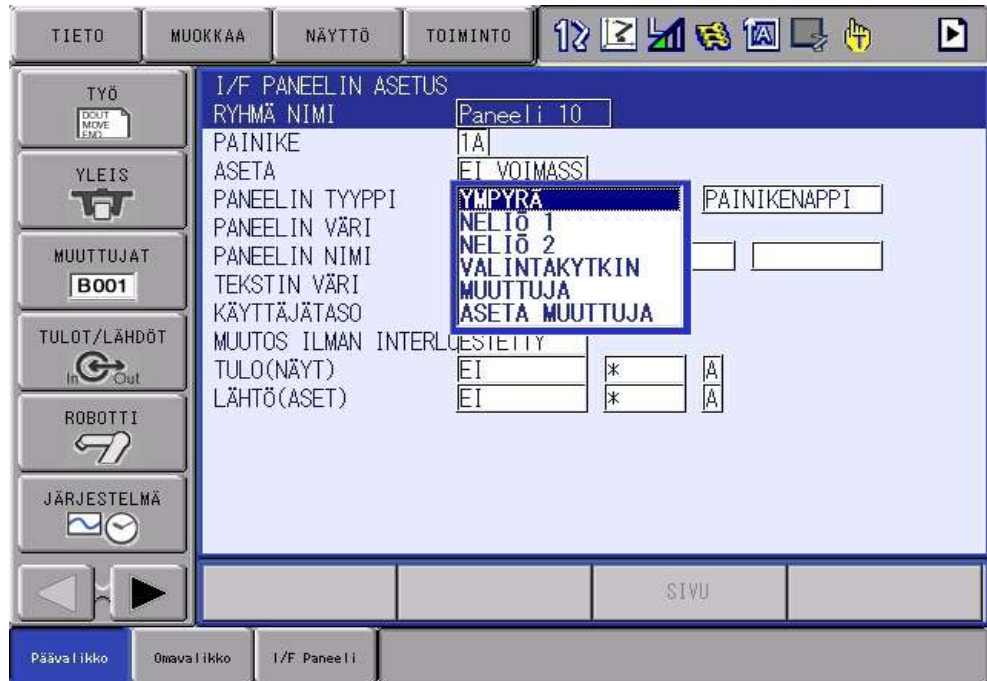
Ylävalikosta MUOKKAA ja RYHMÄNIMI

5. Siirrä kursori kohtaan PAINIKE ja paina SELECT

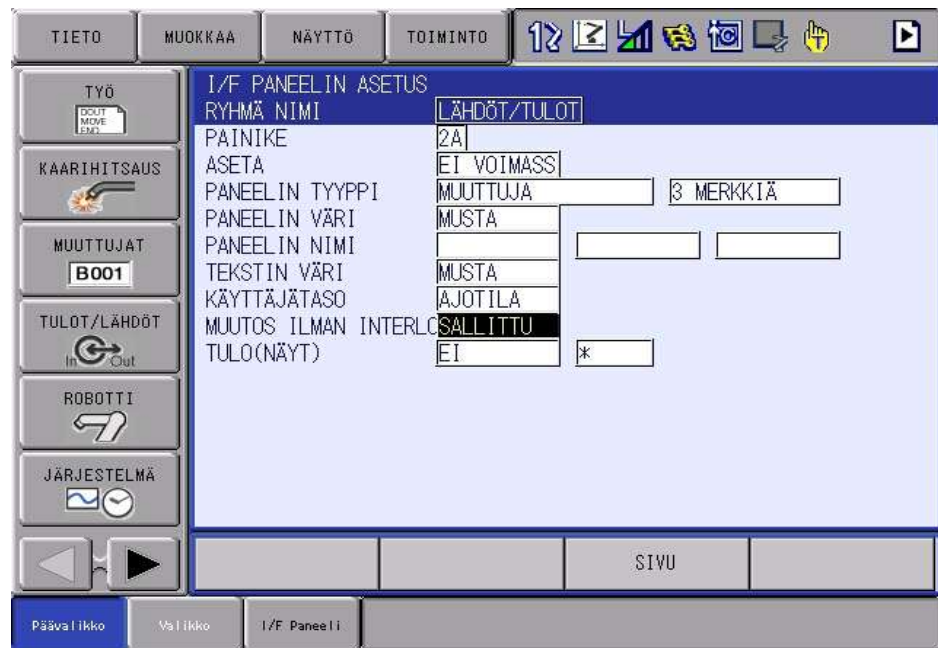


6. Paina SELECT haluamasi painikkeen kohdalla. Painikkeet joissa on merkki vasemmalla, ovat jo käytössä.

7. Muokkaa paneelista tarpeen mukainen. Voit valita paneelin muotoa, väriä yms.



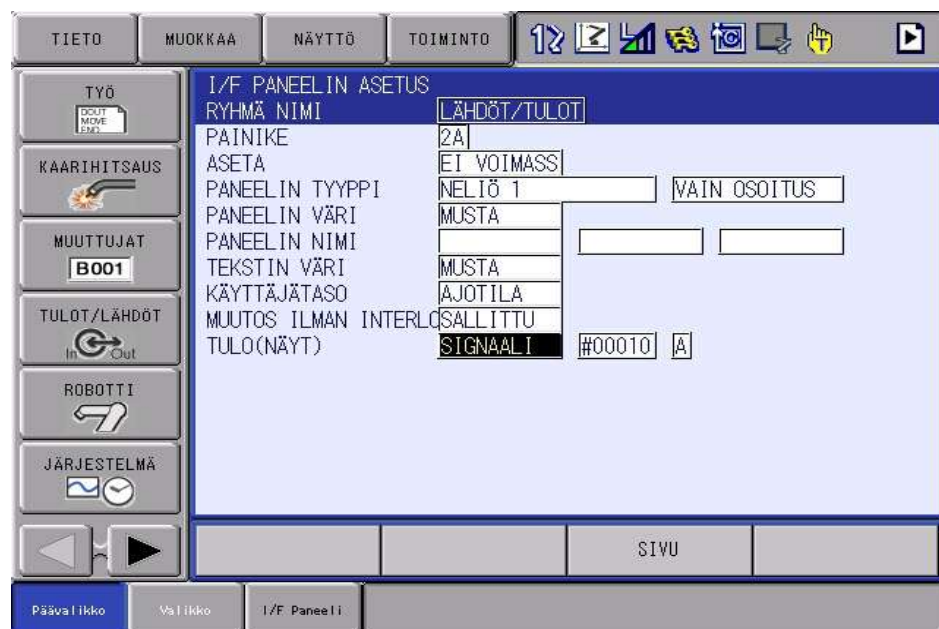
8. Siirrä kursori kohtaan MUUTOS ILMAN INTERLOCKIA ja paina SELECT, valitse tarvitseeko INTERLOCK näppäintä painaa samanaikaisesti kuin painiketta painetaan



9. Jos PANEELIN TYYPPI on VAIN ILMOITUS / VAIN OSOITUS:

TULO(NÄYT) kohtaan asetetaan SIGNAALI ja yleistulon logiikka nro.

Logiikka nro:n löytää TULOT/LÄHDÖT → YLEISTULO, logiikka numerossa on risuaita edessä. Esim. yleistulo 1:n logiikka nro. on #00010



10. Jos PANEELIN TYYPPI on VALINTAKYTKIN, PAINONAPPI tai PAINIKENAPPI:

TULO(NÄYT) ja LÄHTÖ(ASET) kohtiin asetetaan SIGNAALI ja yleislähdön logiikka numerot. Molempiin valitaan sama logiikka nro.

Logiikka numerot löytää TULOT/LÄHDÖT → YLEISLÄHTÖ, logiikka numerossa on risuaita edessä.

Field	Value
RYHMÄ NIMI	LÄHDÖT/TULOT
PAINIKE	2A
ASETA	EI VOIMASSA
PANEELIN TYYPPI	YMPYRÄ PAINIKENAPPI
PANEELIN VÄRI	MUSTA
PANEELIN NIMI	
TEKSTIN VÄRI	MUSTA
KÄYTTÄJÄTASO	AJOTILA
MUUTOS ILMAN INTERL	SALLITTU
TULO(NÄYT)	SIGNAALI #10010 A
LÄHTÖ(ASET)	SIGNAALI #10010 A

11. Jos PANEELIN TYYPPI on MUUTTUJA:

TULO(NÄYT)kohdan vasempaan sarakkeeseen valitaan B tai I MUUTTUJA ja oikean puoleiseen sarakkeeseen muuttuja taulukon numero.

Field	Value
RYHMÄ NIMI	LÄHDÖT/TULOT
PAINIKE	2A
ASETA	EI VOIMASSA
PANEELIN TYYPPI	MUUTTUJA 3 MERKKIÄ
PANEELIN VÄRI	MUSTA
PANEELIN NIMI	
TEKSTIN VÄRI	MUSTA
KÄYTTÄJÄTASO	AJOTILA
MUUTOS ILMAN INTERL	SALLITTU
TULO(NÄYT)	B MUUTTUJA B000

12. Jos PANEELIN TYYPPI on ASETA MUUTTUJA:

TULO(NÄYT) ja LÄHTÖ(ASET) kohtien vasempiin sarakkeisiin valitaan B tai I MUUTTUJA ja oikean puoleisiin sarakkeisiin muuttuja taulukon numero



13. Siirrä kursori kohtaan ASETA. Painamalla SELECT painike on tallennettu

14. Tarkasta, löytyykö painike paneelista ja toimiiko se.

I/F paneelin käyttö:

1. Paina näytön alareunasta I/F PANEELI näppäintä
2. I/F paneelin oikeasta yläreunasta valitaan toiminta kielletty tai sallittu, painamalla INTER LOCK pohjaan + TOIMINTA KIEL/SALL painiketta. Muuttujien arvot, yleistulojen ja yleislähtöjen tilat näkyvät oikein vaikka toiminta valintakytkin on asennossa kielletty.

Liite 4, esimerkkiohjelma 1.

```
1' Suunta
INC B030
ADD P040 P041
RET IF B030<3
1'Suunnan nollaus
SET B030 0
SETE P040 (1) 0
2'Suunta
INC B031
ADD P040 P042
RET IF B031<3
1' ja 2' Suunnan nollaus
SET B030 0
SET B031 0
SETE P040 (1) 0
SETE P041 (2) 0
3'Suunta
INC B032
ADD P040 P043
RET IF B032<0
1', 2' JA 3' Suunnan
nollaus
SET B030 0
SET B031 0
SET B032 0
SUB P040 P040
PAUSE
'Lavauskuvio nollattu ja
valmis
END
```

Liite 5, esimerkkiohjelma 2.

INC B030

ADD P040 P041

RET IF B030<5

1'Suunnan nollaus

SET B030 0

SETE P040 (1) 0

2'Suunta

INC B031

ADD P040 P042

RET IF B031<0

1' ja 2' Suunnan nollaus

SET B030 0

SET B031 0

SETE P040 (1) 0

SETE P041 (2) 0

3'Suunta

INC B032

ADD P040 P043

RET IF B032<0

LÄHTEET

Erikkila Oy. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.erikkila.com/nosturit/ergolator-nostoapulaite/tarttuja/>. Luettu: 19.8.2011

Fertema Oy. Www-dokumentti. Saatavissa:<http://www.fertema.fi/tuotteet.html>. Luettu: 19.8.2011

Finnlift Materiaalinkäsittely OY. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.finnlift.fi/kuvat/bal-trol/magneettitarraimet/2092%20SDB%20magn%20flywheel%20ABC%2005,3K2.jpg>. Luettu: 19.8.2011.

Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Metso, T., Putkonen, K. 2001. Logiikat ja Ohjausjärjestelmät. Vantaa: WSOY/Ammattikirjat.

Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Lähetkangas, M., Sumujärvi, M. 2007. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. Helsinki. WSOY Oppimateriaalit Oy.

Koneautomaation Anturit 1.0 Opetusohjelma. Pentti, P 1993

Kuivanen, R. (Toim) 1999. Robotiikka. Vantaa: Talentum Oyj/ Metallitekniikka.

Malm, T., Viitaniemi, J., Marstio, I., Toivonen, S., Koskinen, J., Venho, O., Salmi, T., Laine, E., Latokartano, J. 2008. Vuorovaikutteisen Robotiikan Turvallisuus. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry.

OEM Finland Oy. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.oem.fi/Tuotteet/Anturi/Pulssianturit/Yleista/Pulssianturien_teoriaa/537208-526144.htm. Luettu: 19.8.2011

Sensorola Oy. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.sensorola.fi/lineaarianturi.html>. Luettu: 19.8.2011

Vahtera, I. 2011. Yaskawa Company. Henkilökohtainen tiedonanto, keskustelu. 10.6.2011

Yaskawa Finland Oy. Www-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.motoman.fi/fi/nc/tuotteet/robotit/product-view/rt/es280d-230-9/>. Luettu:

19.8.2011