

Jarno Tervo

**R2R-KONEEN RAINANOHJAUSJÄRJESTELMÄN  
KEHITTÄMINEN**

# **R2R-KONEEN RAINANOHJAUSJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN**

Jarno Tervo  
Opinnäytetyö  
Kevät 2015  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, tuotantotalous

---

Tekijä: Jarno Tervo

Opinnäytetyön nimi: R2R-koneen rainanohjausjärjestelmän kehittäminen

Työn ohjaaja: Esa Kontio (OAMK), Harri Määttä (Prinlab)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2015 Sivumäärä: 44 + 4 liitettä

---

Tässä opinnäytetyössä kehitettiin Oulun Ammattikorkeakoulu Oy:n Prinlab-osaston painettavan elektroniikan R2R-painokoneen rainanohjausjärjestelmää. Painokoneessa esiintyi materiaalirainan sivuttaissuuntaista siirtymää ja vääntymää, jotka vaikuttivat rainan kelauksen laatuun. Työn tavoitteena oli tuottaa rainanohjausmenetelmistä esiselvitykset ja niiden kustannusarviointi, joita työn tilaaja voi käyttää tulevien projektien arvioinnin tukena.

Ongelmaa ratkaistiin haastatteleamalla ensin Prinlabin käyttöhenkilökuntaa ja tutustumiskäynnillä VTT:n Oulun toimipisteessä. VTT:llä tutustuttiin erilaisiin R2R-tekniikan painokoneisiin ja haastateltiin koneiden käyttöhenkilökuntaa. Haastatteluiden perusteella selvitettiin tutkittavan painokoneen puutteet käyttäen apuna Ishikawa-diagrammia. Puutteita ovat muun muassa koneen kattava PID-säätöjärjestelmä ja muovirainan tiukkuutta mittaavan laitteiston vaillinaisuus. Kun kaikki puutteet selvitettiin ja taulukoitiin, suoritettiin niille kustannusarviointi käyttäen tuoteluetteloita ja sähköpostitse saatuja tuote- ja hintatietoja. Tämän jälkeen työn tilaajalle esiteltiin ratkaisuvaihtoehtojen kustannusarvot, joista tilaaja sai valita budjettiinsa sopivimmat ratkaisut.

Työssä tuotettiin rainanohjausratkaisujen esiselvitykset ja niiden kustannusarviointi. Tilaajan valitsemien vaihtoehtojen mukaisesti muovirainan sivuttaissuuntainen siirtyminen ja vääntymisen saatiin poistettua lähes kokonaan.

---

Asiasanat: R2R, rainanohjaus, tuotekehitys

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Mechanical and production engineering, production economics

---

Author: Jarno Tervo

Title of thesis: Improving Lateral Position Control of R2R Processing Machine

Supervisor(s): Mr Esa Kontio (OUAS), Mr Harri Määttä (OUAS, Prinlab)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2015 Pages: 44 + 4 appendices

---

This Bachelor's thesis was commissioned by Oulu University of Applied Sciences Ltd, Prinlab department. The thesis discusses the problems and possible solutions for the lateral position control of the R2R processing machine. The objective of the study was to examine film lateral position control systems and perform preliminary design. The topic of the thesis came from the actual needs for improving quality in Printed Intelligence.

The problems were studied and the solutions were found by interviewing the Prinlab's personnel and by visiting VTT Oulu. The interview results were combined using the Ishikawa diagram. When the combined results were finished, an estimation of a cost inquiry was created. The client was able to choose the options that suited best for their budget.

The results of this Bachelor's thesis were significant. Most of the displacement and bending problem were removed compared to previous implementation.

---

Keywords: R2R, lateral position control, Research and Development, R&D, Printed Intelligence

## **ALKULAUSE**

Tämän insinööriyön tilaajana toimi Oulun Ammattikorkeakoulu Oy:n Prinlab-osasto, joka sijaitsee Oulussa. Työn valvojana toimivat tilaajan toimesta erikois-tutkija Harri Määttä ja oppilaitoksen puolesta konetekniikan lehtori Esa Kontio. Haluan kiittää edellä mainittuja sekä myös Prinlabin projekti-insinöörejä Tomi Tuomaalaa ja Kyösti Heikkistä sekä erityisesti lehtori Jari Viitalaa Oulun ammat-tikorkeakoulusta, joilta sain neuvoja ja tukea insinööriyön tekemiseen. Lisäksi haluan kiittää muita insinööriyössä avustaneita henkilöitä.

Oulussa 13.5.2015

Jarno Tervo

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
LYHENTEET	8
1 JOHDANTO	9
2 R2R-MENETELMÄ JA YLEISKARTOITUS TILANTEESTA	10
2.1 Prinlabin R2R SOM-100 -laite	10
2.2 Koneen ongelmien kartoitus	11
2.3 Tutustumisvierailu VTT:n R2R-konekantaan	12
3 OHJAUSMENETELMIEN KARTOITUS	14
3.1 Optohaarukka	14
3.2 Vierintäjohteet	14
3.3 Akseleiden linjaus	15
3.3.1 Linjausvirheet	16
3.3.2 Linjausmittalaitteistot	17
3.4 Pyörimisen kiertymiskulman, pyörimisnopeuden ja kiihtyvyyden mittaaminen	18
3.4.1 Analogiset pyörimisliikkeen mittausanturit	18
3.4.2 Digitaalinen pyörimisliikkeen mittaus	19
3.5 PID-säädin	23
3.5.1 P-säädin	24
3.5.2 I-säädin	24
3.5.3 D-säädin	25
3.5.4 PID-säätimen viritys	25
3.6 Telojen bombeeraus	27
3.7 Pinnoitusmenetelmät	28
3.7.1 Kovahitsaus	28
3.7.2 Terminen ruiskutus	30
3.8 Kytkimien ja akseliliitosten käyttö	30
3.8.1 Akseliliitosten valinta	32

3.8.2 Kytkimen koon valinta	32
3.8.3 Kiinteät, liikkuvat ja joustavat akseliliitokset	32
4 RATKAISUVAIHTOEHTOJEN TUTKIMINEN JA TESTAAMINEN	34
4.1 Koneen säätövarojen käyttö	34
4.2 Magneettijarrun kalibrointi ja telanopeuksien säätö	35
4.3 Radanohjainten hienosäätö	36
4.4 Ajoarvojen testaaminen ja todentaminen	36
4.5 Muut havaitut asiat	37
4.6 Tuotekehitysprojektista aiheutuneet kustannukset	37
5 YHTEENVETO	39
LÄHTEET	41
Liite 1 Lähtötietomuistio	
Liite 2 PET-materiaalin datalehti	
Liite 3 Esisuunnitelmakaavake	
Liite 4 Ajoarvotaulukko	

## LYHENTEET

APS	Atmospheric Plasma Spray, ilmanpaineinen plasmaruiskutus.
HVOF	High Velocity Oxy-Fuel, suurnopeusliekkiruiskutus.
Fleksopaino	Kohopainomenetelmä, jossa painolaattana käytetään joustavaa materiaalia.
Gravure	Syväpainomenetelmä, jossa painopinnan painava osa on painamatonta alempana.
Ishikawa-diagrammi	Kalanruotokaavio, laatujohtamisen ja prosessinkehittämisen työkalu.
PBT	Polybutyleenitereftalaatti, polyesteri. Kehitetty alun perin tekstiilimateriaaliksi, nykyisin tärkeämpi teknisenä muovina.
PET	Polyetyleenitereftalaatti, polyesteri. Kestomuovi.
PU	Polyuretaani. Polymeeri. Kertamuovi.
PID-säädin	Proportional-Integral-Derivative, käytetyin säätömenetelmä teollisuudessa.
R2R	Roll-to-roll tai joskus reel-to-reel tarkoittaa suomennettuna rullalta rullalle. Tekniikka, jolla syötetään substraattimateriaalia syöttörullalta vastaanottorullalle.
VPS	Vacuum Plasma Spray, alipaineplasmaruiskutus.



# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä kartoitetaan Oulun Ammattikorkeakoulu Oy:n Prinlab-osaston R2R SOM-100 -painokoneeseen vaihtoehtoisia ratkaisuja rainan ohjausjärjestelmiksi. Näiden ohjausjärjestelmävaihtoehtojen perusteella suoritetaan valinta, jonka perusteella koneeseen parhaiten sopivimmille ohjausjärjestelmille tehdään esisuunnittelu ja kustannusarviot. Opinnäytetyössä keskitytään tutkimaan ja kehittämään erityisesti rullan kelauksessa tapahtuvan muovirainan sivuttaissuuntaisen siirtymän minimointia. Tämän lisäksi kartoitetaan myös muita koneessa ilmenneitä ongelmia.

Ohjausjärjestelmien kartoitusvaiheessa etsitään ja tutkitaan erilaisia rainanohjausmenetelmiä sekä kirjataan lähtötilanteen tiedot. Tämän jälkeen vierailaan Oulun VTT:llä, jossa haastatellaan VTT:n painokoneiden käyttöhenkilökuntaa ja etsitään yhdessä puutteita kehitettävästä SOM-100-painokoneesta. Lähtötietojen, kartoituksen ja haastatteluiden perusteella luodaan mahdollisista ratkaisuista kalanruotokaaviota apuna käyttäen lista kustannuksista ja ehdotuksista. Tästä listasta työn tilaaja valitsee budjettiinsa sopivimmat ratkaisut. Listat tehdään siten, että niitä voidaan käyttää tulevaisuudessa hyödyksi uudelleenarvointiin, jos laitteistoa tarvitsee uudistaa. (Liite 1.)

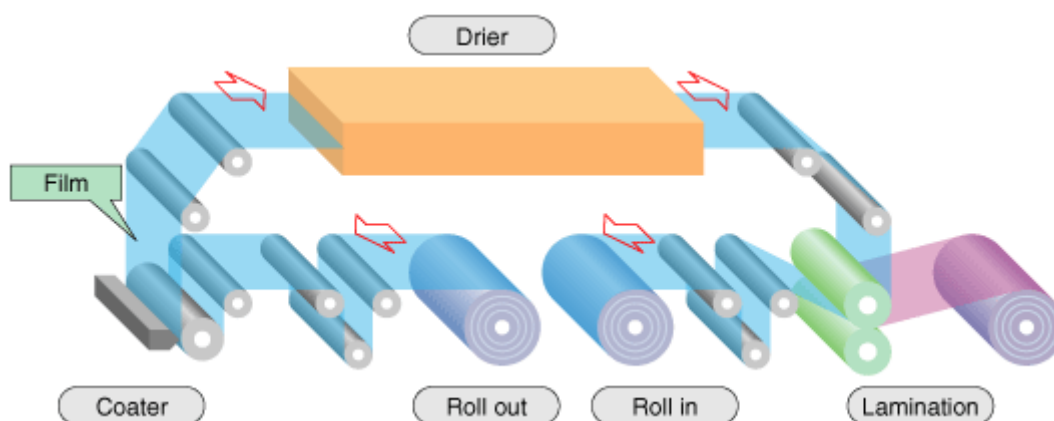
Oulun Ammattikorkeakoulu Oy:n Prinlab-osastolla kehitetään ja monipuolistetaan painettavan teknologian laitteita ja ohjelmistoja. Prinlabin pyrkimyksenä on mahdollistaa soveltavan tutkimuksen hankkeita sekä tiivistää korkeakoulujen ja tutkimuslaitosten yhteistyötä. Prinlab tutkii ja kehittää erilaisia painotekniikan koneita, musteita sekä muita laitteisiin liittyviä materiaaleja ja toimintoja. (1, s.5).

Prinlabilla on tarve kehittää suomalaisen insinööritoimiston Peura Oy:n suunnittelemaa ja Suomen Optomekaniikka Oy:n valmistamaa R2R SOM-100 -painokoneetta. Koneessa on havaittu useita painoon vaikuttavia ongelmia, kuten

- kohdistusongelmia usean kerroksen painossa johtuen telastojen välisistä nopeuseroista
- musteiden kuivumisongelma
- muovirainan kelautumisongelmat ja rainan ajon aikainen vääntyminen.

## 2 R2R-MENETELMÄ JA YLEISKARTOITUS TILANTEESTA

R2R-menetelmä tarkoittaa muovirainan ajamista valmistusprosessissa rullalta toiselle rullalle. Tätä menetelmää käytetään prosesseissa, joissa pyritään tuottamaan nopeasti suuria tuotemääriä, kuten esimerkiksi lehtipainoteollisuudessa. Menetelmällä kyetään myös saavuttamaan alhaiset yksikkökustannukset. Tämän lisäksi saavutetaan säästöjä koska menetelmä toimii ilman kalliita puhdistiloja. Kuviossa 1 on kuvattu R2R-linjaston toimintaperiaate.



KUVIO 1. R2R-linjaston toimintaperiaatekuva. Laminointiominaisuus ei ole välttämätön kaikissa R2R-järjestelmissä (2)

### 2.1 Prinlabin R2R SOM-100 -laite

Ensimmäiseksi tutustuttiin Prinlabin tiloissa olevaan yksinkertaiseen SOM-100-painokoneen rakenteeseen ja tutkittiin koneen toiminnallisuutta. SOM-100-koneeseen laitetaan alkuosaan haluttu painomateriaali, joka on rullalla. Painomateriaali vedetään telastojen avulla painolaitteen lopussa olevalle kelaimelle eri tuotteille tarvittavien painoprosessien kautta. Laitteistolla kyetään ajamaan maksimissaan 80 mm leveää materiaalinauhaa ajonopeuden ollessa väliltä 0,1–26 m/min. SOM-100-painokoneen tyypillisimpinä muovirainamateriaalina käytettiin joko polybutyleenitereftalaattia (PBT) (3) tai polyetyleenitereftalaattia (PET) (liite 2). Koneeseen on lisätty jälkikäteen omatoimisesti erillinen painomoduuli ja kuivatusuuni. Koneessa on mahdollista käyttää muun muassa flekso-, kuuma-, silkki-, ja syväpainomenetelmiä. Kuviossa 2 on nähtävissä SOM-100-painokone.



*KUVIO 2. SOM-100-painokone*

## **2.2 Koneen ongelmien kartoitus**

Koneen tutkiminen aloitettiin haastattelemalla Prinlabin käyttöhenkilökuntaa ja testaamalla muovirainan ajoa ilman että painoprosessi oli käytössä. Seuraavaksi suoritettiin uudelleen rainan ajo siten, että myös painoprosessi oli käytössä. Näiden testiajojen perusteella tehtiin Prinlabin käyttöhenkilökunnan kanssa yhteenveto, jossa listattiin seuraavia asioita tärkeimmiksi tutkittaviksi ongelmiksi

- telojen asemointi tai linjaus toisiinsa nähden
- telanopeuksien kontrolloimattomat muutokset
- hammashihnan luistaminen hammashihnapyörän hampaiden yli
- telanopeuksien kontrolloimattomista muutoksista johtuva rainan vetojännityksen muuttuminen vetotelojen välillä ja siitä edelleen johtuva hallitsematon sivuttaissiirtymä sekä sivuttaisvääntymisen.

### 2.3 Tutustumisvierailu VTT:n R2R-konekantaan

Yhdessä Prinlabin käyttöhenkilökunnan kanssa vierailtiin VTT:n Oulun toimipisteessä, jossa perehdyttiin erilaisiin tutkimuskäytössä oleviin R2R-koneisiin. Kuvioissa 3 ja 4 on esitetty VTT:n painokoneista. VTT:n koneiden käyttöhenkilökuntaa haastateltiin koneiden teknisistä ominaisuuksista. Haastatteluiden perusteella pyrittiin vertailemaan VTT:n ja Prinlabin koneiden ominaisuuksia. Vertailun perusteella SOM-100-koneen puutteiksi listattiin

- puuttuva koko koneen kattava PID-säätöjärjestelmä
- muovirainan tiukkuutta mittaavan laitteiston vaillinaisuus
- telastojen nopeus- ja asentoanturoinnin puuttuminen
- moottoreiden ja akselien välisten joustavien kytkinten puuttuminen
- automaattisesti säätävien vaihteistojen puuttuminen.



*KUVIO 3. VTT:n R2R MAXI -linjasto (4)*



*KUVIO 4. VTT:n R2R ROKO -linjasto (5, s. 46)*

Listan perusteella tutkittiin erilaisia rainanohjaukseen vaikuttavia menetelmiä. Ohjausmenetelmien tutkinnassa käytettiin työkaluna kalanruotokaaviota luotaessa ongelmakohtaiset ratkaisuehdotukset Excel-taulukkoon. Taulukossa kuvattiin myös ratkaisumenetelmä ja tarvittaessa ratkaisumenetelmän yksityiskohtainen kuvaus, menetelmän hyödyt ja haitat sekä menetelmää koskeva kustannusarvio. Tämän lisäksi listattiin myös mahdollisia lisäominaisuuksia, mitkä täydentävät ratkaisumenetelmiä. Nämä täydentävät lisäominaisuudet eivät olleet välttämättömiä. Listat ovat nähtävissä liitteessä 3. Ratkaisumenetelmiä on käsitelty teoreettisesti seuraavassa osiossa.



## 3 OHJAUSMENETELMIEN KARTOITUS

### 3.1 Optohaarukka

Optohaarukka on komponentti, joka sisältää fototransistorin ja valodiodin. Fototransistorin ja valodiodin välissä on ilmarako, johon väliin osuva este tai kappale katkaisee fototransistorille suunnatun valonsäteen. Järjestely mahdollistaa toiminnan rajakytkimen tapaan, mutta ilman kuluvia mekaanisia osia. Optohaarukkaa kutsutaan myös haarukka-anturiksi. Anturia käytetään tyypillisesti erilaisissa syöttö- ja käsittelyjärjestelmien valvonnassa, kuten esimerkiksi kuljetushihnan siivutaisliikkeen seurannassa. Optohaarukkaa on saatavilla useilla erikokoisilla ilmarakoväleillä, NPN- ja PNP-kytkennöillä sekä käyttöjännitteillä.

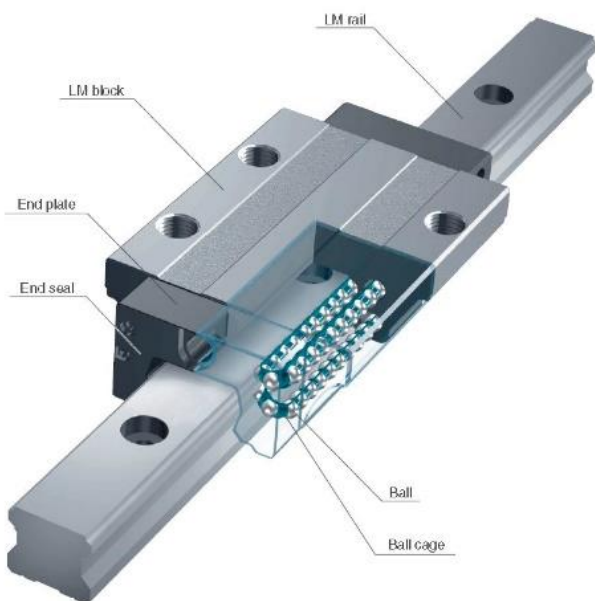
### 3.2 Vierintäjohteet

Vierintäjohteiden tarkoituksena on tuottaa tarkka lineaariliikkeen ohjaus. Lineaari-liikkeellä tarkoitetaan tässä yhteydessä silkkipainoyksikön ja rainan välistä kohtisuoraista liikettä rainan kulkusuuntaa vastaan. Liukujohteita käytetään pääsääntöisesti eniten työstökoneissa, koska liukujohteiden valmistus on vaativaa ja käyttöominaisuudet normaalikäytössä heikkomat kuin vierintäjohteilla. Liukujohteissa voi ilmetä suurehkoja liukukitkoja, jotka voivat vaihdella vierintänopeuden mukaan ja aiheuttaa paikoitukseen vaikuttavaa tihkomisvärähtelyilmiötä. Englanniksi kyseistä ilmiötä kutsutaan stick-slip-ilmiöksi. (6, 7:62.) Tihkomisvärähtelystä johtuvaa liukupintojen kulumista voidaan vähentää käyttämällä vierintäelimiä, voitelua tai lisäämällä rakenteen jäykkyyttä (7, s. 21).

Pistekosketukseen perustuvia kuulajohteita valmistetaan suljettuina, halkaistuna tai avoimina. Halkaistun rakenteen etuna on mahdollisuus säätää johteeseen välystä. Avoin laakeriholkki sallii tukikiskojen käytön johteen alla, kun pitkät jännepäälit aiheuttavat taipumaa. Tavanomainen kuulajohteen laakeri ei salli kiertoliikettä johteen ympäri. Erikoisvalmisteisilla laakeripesillä kiertoliike on mahdollista tarvittaessa sallia. (6, 7:63.)

Rakenteellisesti on myös mahdollista toteuttaa viivamaiseen kosketukseen perustuvia kuulajohdeita. Pistekosketukseen perustuva kuulajohde kykenee kantamaan kuormia varsin huonosti. THK-johdetta käytettäessä saavutetaan huomattavasti suurempi kuormankantokyky suhteessa ulkomittoihin. (6, 7:64.)

Linearijohteille on saatavilla tarvittaessa tavallisten lineaarikelkkojen lisäksi erilaisilla tekniikoilla toimivia lukitus- ja jarrukelkkoja, kuten esimerkiksi pneumatikalla, hydraulikalla ja sähköllä lukittavia kelkkoja sekä perinteisiä manuaalisesti lukittavia kelkkoja. Kuviossa 5 on nähtävissä THK:n kehittämä linearijohde.



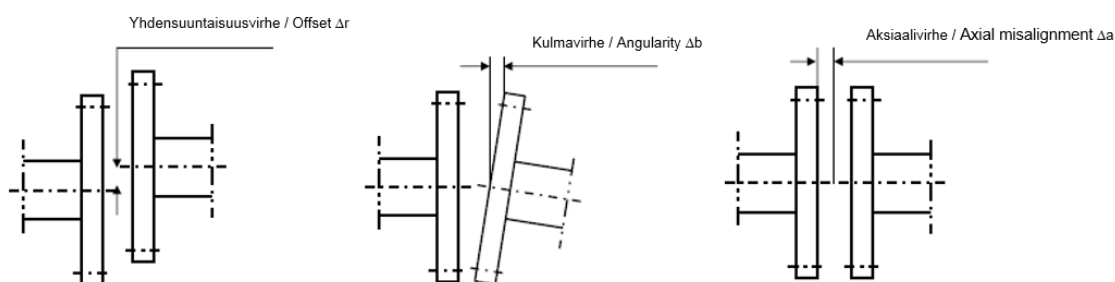
*KUVIO 5. THK-johde (8)*

### **3.3 Akseleiden linjaus**

Koneen akseleiden ja telojen linjaaminen on tärkeää, kun koneelta vaaditaan toiminta- ja huoltovarmuutta. Oikein suoritettu linjaus tuo hyötyjä ajallisesti ja rahallisesti, kun vältetään ja vähennetään suunnittelemattomia seisokkeja. Linjatuilla laitteilla pienennetään tuotantohävikin määrää ja kasvatetaan tehtaan käyttövalmiutta. Huonosti linjatut laitteet kuluttavat energiaa, laitteistojen laakereita, kyt-kinjärjestelmiä ja tiivisteitä sekä aiheuttavat ei-toivottuja värähtelyjä. Noin 50 prosenttia suunnittelemattomista seisokeista johtuu huonosti linjatuista laitteista ja noin 30–40 prosenttia epätasapainosta johtuvista syistä (9, s. 1).

### 3.3.1 Linjausvirheet

PSK 8301 -standardin mukaan linjauksessa esiintyviä virheitä ovat yhdensuuntaisuus-, kulma- ja aksiaalivirhe. Yhdensuuntaisuusvirhe muodostuu kun kahden akselin keskilinjat poikkeavat toisistaan. Kulmavirhe muodostuu kun akseleiden keskilinjojen välillä on kulmapoikkeama. Aksiaalivirhe muodostuu, kun akseleiden välissä on liian suuri pitkittäissuuntainen poikkeama. (PSK 8310. 2007, 9–10.) Kuviossa 6 on kuvattu erilaiset virhetyypit.



KUVIO 6. Yhdensuuntaisuusvirhe, kulmavirhe ja aksiaalivirhe (PSK 8310. 2007, 9–10)

Linjauspoikkeamaa ei saada koskaan kokonaan täysin poistettua, vaan se luokitellaan joko hyväksyttäväksi tai liian suureksi. Linjauspoikkeama voi muuttua käytön aikana ympäristön tai prosessiolosuhteiden muutoksen vuoksi. Linjauksen kokonaistoleranssiksi on valittava linjattavien koneiden ja niiden osien tarkin linjautoleranssi huomioiden laitteiden pyörimisnopeus. Kuviossa 7 esitetään yleiset linjautoleranssit. Laittevalmistajilla voi olla olemassa omat suositukset linjattaville koneille.

Pyörimisnopeus Rotation speed	Yhdensuuntaisuus Offset		Kulmavirhe Angularity	
	Hyvä Good	Hyväksyttävä Acceptable	Hyvä Good	Hyväksyttävä Acceptable
rpm	mm	mm	mm/100 mm	mm/100 mm
0000-1000	0,07	0,13	0,06	0,1
1000-2000	0,05	0,1	0,05	0,08
2000-3000	0,03	0,07	0,04	0,07
3000-4000	0,02	0,04	0,03	0,06
4000-5000	0,01	0,03	0,02	0,05
5000-6000	<0,01	<0,03	0,01	0,04

KUVIO 7. Yleiset linjautoleranssit (PSK 8310. 2007, 8)



Kytkimien linjauksessa pyritään käyttämään ensisijaisesti laitevalmistajan suosittelemia ja suosittamia mitoituksia. Mitoituksen puuttuessa voidaan käyttää PSK 8301 -standardin mukaista yleistä mitoitusta kytkimien linjauksessa. Linjauksessa otetaan huomioon kytkintyyppi ja kytkimen halkaisija. Kuviossa 8 esitetään kytkinten linjaustoleranssit.

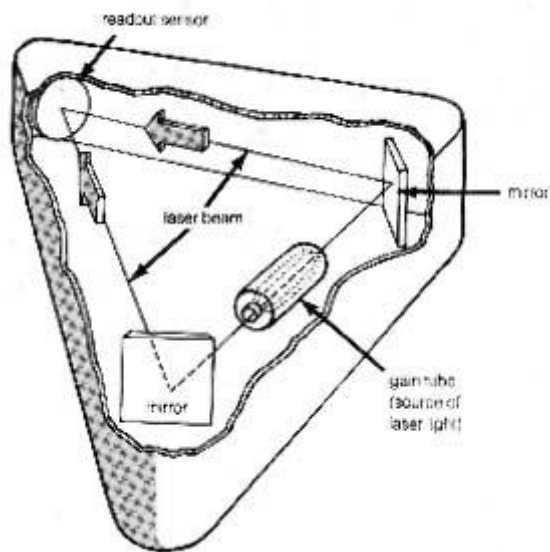
Kytkintiedot Coupling Information		Sallittu linjauspoikkeama Permissible Misalignment		
Kytkinhalkaisija Coupling Diameter	Kytkintyyppi Coupling Type	Yhdensuuntaisuus Parallel $\Delta r$	Kulma Angular $\Delta b$	Aksiaali Axial $\Delta a$
100-250 mm (4-10")	Jäykkä kytkin Rigid Flange	0,02 mm (0,8 mil)	0,01 mm/100 mm (0,4 mil)	0,02 mm (0,8 mil)
	Hammaskytkin Gear coupling	0,05 mm (2 mil)	0,03 mm/100 mm (1 mil)	0,05 mm (2 mil)
	Joustava kytkin Flexible	0,10 mm (4 mil)	0,05 mm/100 mm (2 mil)	0,10 mm (4 mil)
250-500 mm (10-20")	Jäykkä kytkin Rigid Flange	0,02 mm (0,8 mil)	0,02 mm/100 mm (0,8 mil)	0,02 mm (0,8 mil)
	Hammaskytkin Gear coupling	0,05 mm (2 mil)	0,05 mm/100 mm (2 mil)	0,05 mm (2 mil)
	Joustava kytkin Flexible	0,10 mm (4 mil)	0,10 mm/100 mm (4 mil)	0,10 mm (4 mil)

KUVIO 8. Kytkinten linjaustoleranssit (PSK 8310. 2007, 8)

### 3.3.2 Linjausmittalaitteistot

Akselien linjaukseen on kehitetty erilaisia mittavälineitä, jotka ovat joko mekaanisia tai optisia. Perinteisimmät mittalaitteet ovat viivain, rakotulkki ja mittakello. Mittakellon huonona puolena mainittakoon maan vetovoiman vaikutus tukivarsiin, joka tekee mittakellonlinjauksesta epätarkemman kuin optisesta linjauksesta. Mekaanisia mittalaitteita käytetään tyypillisesti karkealinjaukseen ja hitaasti pyörivien laitteiden loppulinjauksessa. Linjauslaitteet ovat muuttuneet kehityksen myötä tarkemmiksi ja helppokäyttöisemmiksi.

Laserlinjaus perustuu lähes aina käänteisen mittakellon menetelmään. Menetelmässä käytetään kahta vastakkain lähetettyä lasersädettä, joiden mukaisesti akselit kohdistetaan keskenään. (9, s. 10.) Joissakin uusimmissa laserkohdistusjärjestelmissä käytetään myös hyväksi lasergyroskooppiin perustuvia ratkaisuja (11). Lasergyroskoopissa lasersäteet lähetetään vastakkaisiin suuntiin suljetussa silmukassa. Kun gyroskooppiä pyöritetään, lyhenee toisen lasersäteen kulkema matka ja taajuus. Vastaavasti toisen säteen kulkema matka pitenee ja taajuus kasvaa. Ero on suoraan verrannollinen käännösnopeuteen. (12.) Kuviossa 9 on kuvattu lasergyroskoopin toimintaperiaate.



KUVIO 9. Lasergyroskopin periaatekuva (12)

### 3.4 Pyörimisen kiertymiskulman, pyörimisnopeuden ja kiihtyvyyden mittaaminen

Koneautomaation laitesovelluksissa ohjauslaitteisto tarvitsee jatkuvaa tietoa koneen toiminnallisuudesta ja paikoituksista. Tällöin ei riitä kaksitilaisen anturin antama tieto. Jatkovaa mittaustapaa tarvitaan esimerkiksi työstökoneissa, asemointiyksiköissä ja robotiikassa. Suoraviivaisia liikkeitä mitataan lineaarisesti liikkuvilla antureilla. Myös erilaisten pyörivien anturien käyttö on mahdollista. Lineaarianturi tuottaa karan siirtymään verrannollisen sähköisen viestin ja pyörivä anturi kehittää anturin akselin kiertymiskulmaan nähden verrannollisen viestin. Anturit jaotellaan analogisiin ja digitaalisiin. (13, s. 46.)

#### 3.4.1 Analogiset pyörimisliikkeen mittausanturit

Pyörimisliikkeen mittauksessa on mahdollista käyttää useammalla erilaisella tekniikalla toteutettuja mittausantureita. Tyypillisimpiä pyörimisliikkeen mittauksessa käytettyjä analogisia mittausantureita ovat esimerkiksi erilaiset potentiometrit, sähkömagneettiseen induktioon perustuvat anturit ja magneettiset anturit. (13, s. 47–52.) Tämän lisäksi pyörimisnopeuden mittauksessa on mahdollista käyttää erilaisia optisia ja pyörrevirta-antureita sekä magnetostriktiivisyyteen perustuvia

ratkaisuja (13, s. 53). Analogiset anturit tuottavat lähtöjännitteen, joka on verrannollinen siirtymään. Kun derivoidaan anturin tuottama asematieto, kyetään muodostamaan nopeus- ja kiihtyvyystiedot. (13, s. 46.)

Synkrot ja resolverit ovat myös analogisia asema-antureita, joita on käytetty vaativissa toimintaympäristöissä. Resolveri toimii pyörivän muuntajan periaatteella. Resolveri koostuu staattorista ja roottorista, jossa staattorissa on kaksi erillistä käämiä. Käämit ovat 90°:n vaihekulmassa toisiinsa nähden. Roottorissa on vaihtoehtoisesti joko yksi tai kaksi käämiä. Roottorikäämiin tai vaihtoehtoisesti staattorikäämiin syötetään 400 Hz:n vaihtojännite. Kun roottoria pyöritetään, kytkennästä riippuen indusoituu joko staattorikäämiin tai roottorikäämiin jännitteet, joiden perusteella kyetään ratkaisemaan kiertymäkulman suuruus. (6, 4:16–17.)

### **3.4.2 Digitaalinen pyörimisliikkeen mittaus**

Robottiikassa ja servotekniikassa käytetään yleisesti nopeuden ja asennon mittaamiseen kiertyvää optista pulssianturia. Optiset pulssianturit ovat suosittuja digitaaliantureita niiden kohtuullisen hinnan, tarkkuuden, monipuolisuuden, kulumattomuuden ja helpon kytkettävyyden vuoksi. Valosähköiset pulssianturit jaotellaan takometreihin, inkrementti- tai absoluuttiantureihin. Yksinkertaisimmillaan pulssianturi voidaan valmistaa valolähteestä, valoa vastaanottavasta anturikennosta ja akseliin liitettävästä joko muovisesta, metallisesta tai lasisesta hilakiekosta. Tällaista rakennetta kutsutaan takometriksi. (13, s. 54.)

Hilakiekossa on määräväleihin rakoja, joiden läpi valolähteestä tuleva valo voi kulkea vastaanottokennolle. Sektoreiden lukumäärä määrää suoraan miten tarkasti kiertymää kyetään mittaamaan. Tyypillinen resoluutio on 100...2500 pulssia/kierros. Mikäli tarkkuutta kasvatetaan, se vaikuttaa käytettävän hilakiegon fyysiseen kokoon. Valonlähteenä käytetään yleisimmin infrapuna-alueella toimivia galliumarsenidi-seoksesta valmistettuja ledejä. (13, s. 54.) Kuviossa 10 on nähtävillä erilaisia pulssianturityyppejä.



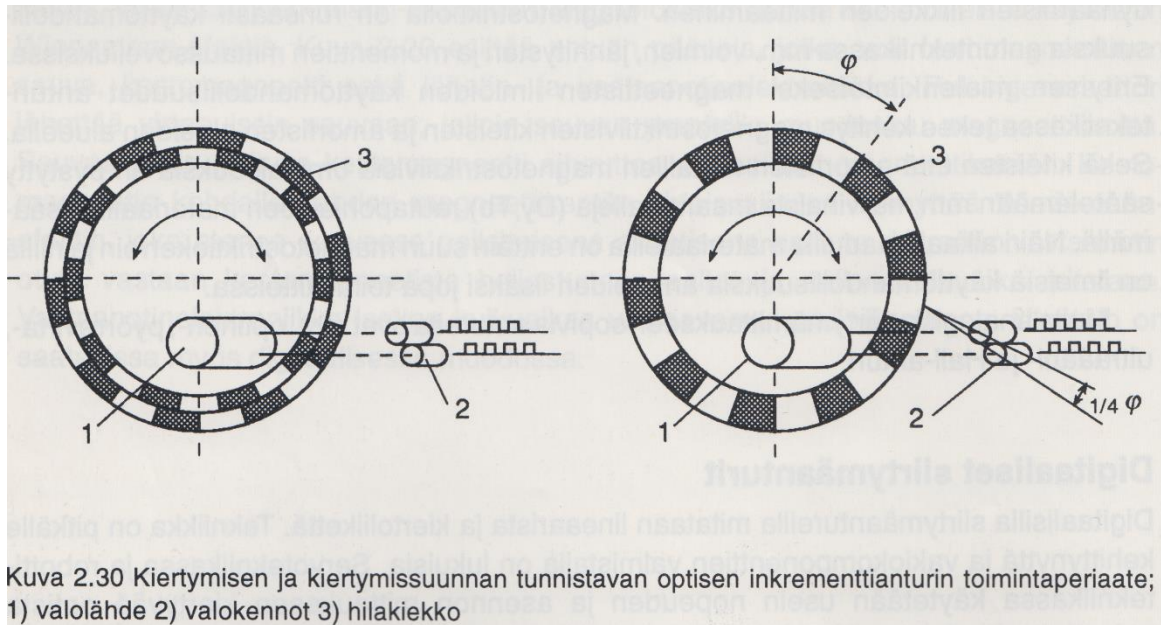
*KUVIO 10. Erilaisia pulssiantureita (14)*

Yksinkertaisella pulssianturilla ei kyetä tunnistamaan akselin pyörimissuuntaa, vaan se tarvitsee vaihtoehtoisesti joko kaksi valon vastaanottokehoa tai kaksi sektorikiekkoa ja rinnakkaista vastaanottokehoa. Tämän tyyppistä anturia kutsutaan inkrementtianturiksi. Vastaanottokehojen ulostuloimpulssit ovat 90°:n vaihesiirrossa toisiinsa nähden, joita vertailemalla voidaan päätellä pyörimissuunta. Tämän lisäksi pulssianturissa voidaan käyttää kolmatta valokennoa, josta määritetään pulssilaskennan nollakohta. (13, s. 54.)

Pulssianturin signaaliulostulon muoto on suorakaideaaltoa, jota myös joskus kutsutaan inductosyn-signaaliksi (15, s. 33). Mikäli optista pulssianturia halutaan käyttää resolverin tavoin, tarvitaan lisäksi kaksi elektronista yksikköä, jotka muuntavat suorakaideaaltosignaalin sinimuotoiseksi signaaliksi (13, s. 54).

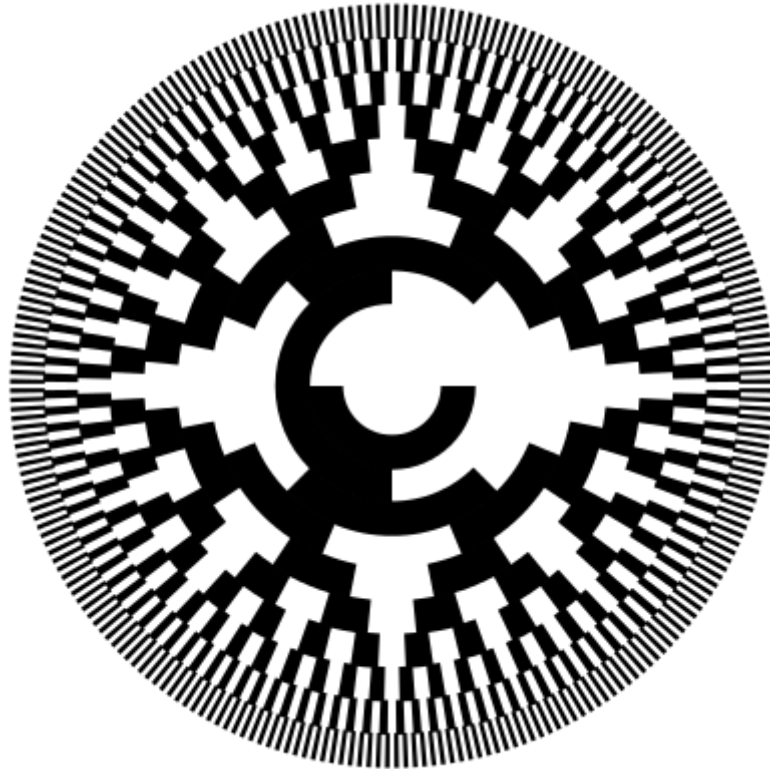
Käytettäessä inkrementtiantureita konejärjestelmässä, tulee järjestelmälle osoittaa järjestelmän jokaisen koneen käynnistyskerran yhteydessä inkrementtianturin nollakohta. Mikäli koneen käydessä inkrementtianturi jättää lukematta jonkin pulssin, tämä aiheuttaa järjestelmään pysyvän virheen. Tämän takia inkrementtiantureilla varusteltujen kone- tai laitejärjestelmien tulisi aika ajoin tarkistaa nollaseaman pysyvyys. Inkrementtiantureiden vikaherkkyttä on mahdollista välttää

käyttämällä niiden tilalla absoluuttiantureita. (13, s. 57.) Kuviossa 11 on kuvattu inkrementtianturin toimintaperiaate.



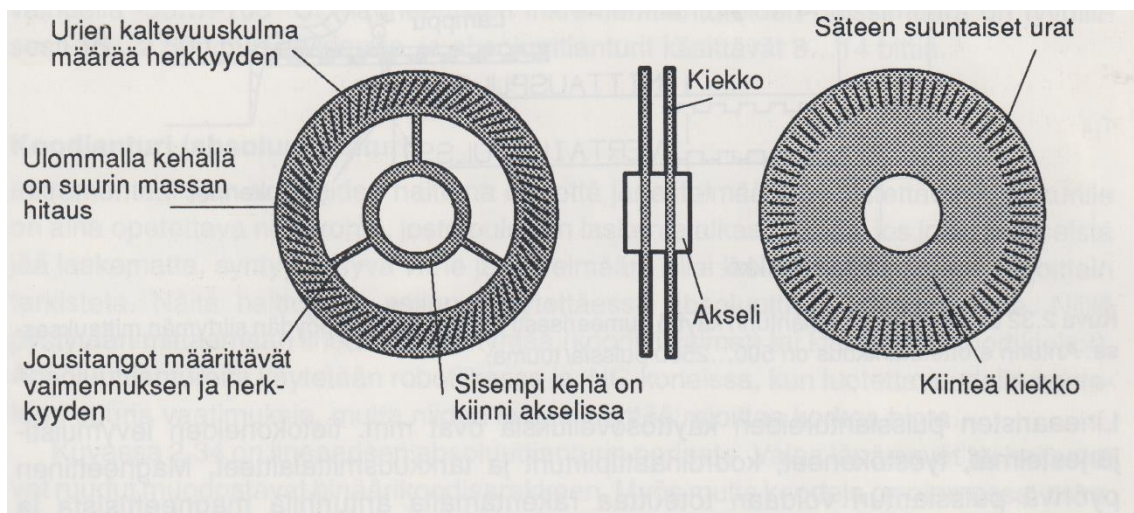
*KUVIO 11. Inkrementtianturin toimintaperiaate (13)*

Absoluuttianturin toiminta perustuu ennakolta määrätyn hilakoodiliuskan tai hilakoodikiekon käyttöön, josta pystytään lukemaan anturin asema välittömästi. Absoluutti-järjestelmää käytettäessä ei myöskään synny samanlaisia kertautuvia virheitä, kuten inkrementtisissä on mahdollista syntyä. Absoluuttianturin koodauksessa tavallisimmat käytetyt järjestelmät ovat joko luonnollinen binääri-, GRAY- ja 8421-BCD-koodi. GRAY-koodia käytettäessä on etuna, että mittauksen muuttuessa ainoastaan yksi bitti muuttuu kerrallaan. Tämä takaa sen, että samanaikaisesti ei tapahdu useiden bittien muutoksia, joka voi aiheuttaa hetkellisiä suuria mittavirheitä. (13, s. 57–58.) Kuviossa 12 on esitetty tyypillinen GRAY-koodauksella toteutettu mittakieppo.



*KUVIO 12. Gray-koodauksella toteutettu mittakiekko (16)*

Kiekkoantureilla on mahdollista mitata asematieto, nopeustieto laskemalla pulssien määrä aikayksikössä ja kiihtyvyys laskemalla nopeuspulssien määrä aikayksikössä. Pienissä, mutta nopeissa muutoksissa pulssien laskentaan perustuva kiihtyvyyden mittaaminen voi olla joko liian hidas tai epätarkka. Tätä ongelmaa voidaan torjua käyttämällä kahta rinnakkaista kiekkoa akselissa. Ensimmäisen kiekon hilarat ovat aseteltu säteen suuntaisesti ja rakenteeltaan kiekko on jäykkä. Toisen kiekon hilarat ovat kallistettuina kiekossa ja asennettuina joustavin tangoin sisärenkaaseen, joka on kytketty pyörivään akseliin. (13, s. 54–55.) Kuviossa 13 on esitetty mittaukseen soveltuva anturiekko.



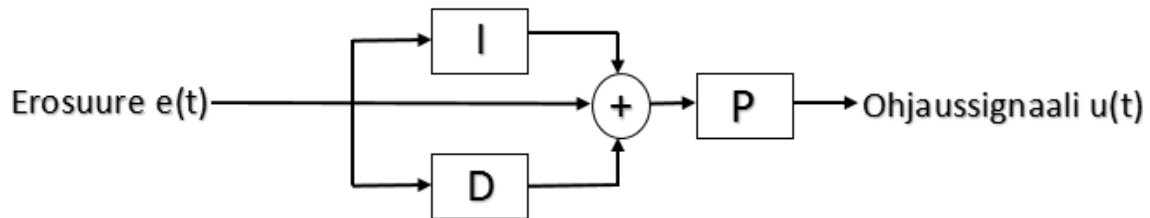
KUVIO 13. Kiihtyvyyden mittaukseen soveltuva anturikiikko (13, s. 55)

Kun akseliin ei kohdistu kiihdyttäviä voimia sen pyöriessä, pyörivät molemmat kiekot samalla nopeudella. Tämä aiheuttaa sen, että vino ura näkyy radiaalisen raon keskellä. Kun akselin pyörimisnopeutta muutetaan, se vaikuttaa näkyvän raon paikan muutoksena joko raon paikan nousuna tai laskuna. Joustavassa kiekkossa olevien vinojen hilarakojen kulmaa säätämällä pystytään vaikuttamaan anturin herkkyyteen. Kun käytetään metallikiykköä ja suurta jousivakiota kiinnitystangoissa, on mahdollista mitata sopivalla hilarakon pituudella ja kulman avulla jopa  $20\,000\text{ rad/s}^2$  kiihtyvyyksiä. (13, s. 55.)

### 3.5 PID-säädin

Yleisin teollisuudessa käytetty säädintyyppi on rakenteeltaan PID-säädin (Proportional-Integral-Derivative). Säädin koostuu suhdetermistä, integroivasta termistä ja derivoivasta termistä. Rakenteeltaan säädin on hyvin yksinkertainen ja toimii myös hyvin piireissä, joissa ilmenee erilaisia häiriö- ja epävarmuustekijöitä. Säätimen virittämisen peruseräkkeet ovat yleisesti hyvin tunnettuja ja virityksessä voidaan käyttää erilaisia yhdistelmiä. Yhdistelmiä ovat P-, PI-, PD- ja PID-säädin, joista yleisimmin käytetty on PI-säädin. PI-säätimellä kyetään hallitsemaan tavallisimmat teollisuusprosessit. (17, s. 44.)

Säätimen erosuure saadaan laskettua vähentämällä säätimen asetusarvo mitausarvosta. Tämän lisäksi toimilaitteelle menevään ohjaussignaaliin voidaan tarvittaessa summata myötäkytkentä. (16, s. 44.) PID-säädin voidaan järjestää rakenteellisesti kolmella tavalla: ideaalirakenteeksi, sarjarakenteeksi tai rinnakkaisrakenteeksi (17, s. 59). Kuviossa 14 on esitetty ideaalirakenteinen PID-säädin.



KUVIO 14. Ideaalirakenteinen PID-säädin (16, s. 59)

### 3.5.1 P-säädin

P-säädössä ohjaussignaalin arvo  $u(t)$  on laskettavissa kaavalla 1.

$$u(t) = K_p e(t) + u_0$$

KAAVA 1.

$e(t)$  = erosuure

$K_p$  = säätimen vahvistus

$u_0$  = ohjaussignaalin vakiotaso

Ohjaussignaalin oletustaso asetetaan sellaiseksi, että halutussa toimintapisteessä ei esiinny säätövirhettä (17, s. 45). P-säätimelle on ominaista, että se ei kykene kokonaan kompensoimaan erosuuretta, vaan se jättää järjestelmään niin kutsutun pysyvän tilan virheen (18).

### 3.5.2 I-säädin

Integroivaa säätöä käytetään tyypillisesti yhdessä P-säädön kanssa, koska se poistaa P-säädössä muutoin syntyvän pysyvän tilan virheen. PI-säätimen ohjaussignaalin arvo on laskettavissa kaavalla 2.



$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt \right)$$

KAAVA 2.

$e(t)$  = erosuure

$K_p$  = säätimen vahvistus

$T_i$  = integrointiaika (s)

Säätimen signaalin vakiotaso  $u_0$  on korvattu ajan funktiona muuttuvalla erosuureen integraalilausekella. Integraalilauseke voidaan täten mieltää vanhojen erosuureiden summaan verrannolliseksi. Toisin sanoen säätimen lähtö muuttuu niin kauan kuin säätöpoikkeama ei ole nolla. Säätimen lähtöön vaikuttaa säätöpoikkeaman suuruus ja säätöpoikkeaman vaikutusaika. (17, s. 47.)

### 3.5.3 D-säädin

Derivoivaa säätöä käytetään yhdessä P-säädön tai integroivan säädön kanssa. Ideaalisen PID-säädön ohjaussignaalin arvo on laskettavissa kaavalla 3.

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

KAAVA 3.

$e(t)$  = erosuure

$K_p$  = säätimen vahvistus

$T_i$  = integrointiaika (s)

$T_d$  = derivointiaika (s)

Derivaatta (d/dt) kuvaa suureen muutosnopeutta. Kun  $de(t)/dt$  on nolla, muutoksia ei tapahdu ja D-signaali on vakio. (17, s. 48 – 49.) D-säätöä kutsutaan ennakkoivaksi säädöksi, koska se pyrkii kompensoimaan poikkeamaa jo siinä vaiheessa, kun se on muodostumassa (18).

### 3.5.4 PID-säätimen viritys

Säätösuunnittelun toteutukset ja tavoitteet ovat aina tapauskohtaisia. Tavoitteena voi olla esimerkiksi asetusarvon muutostilanteiden hallinta tai kuormitushäiriöiden kompensointi. Säätösuunnittelua suoritettaessa tulee ottaa huomioon järjestel-

män dynamiikka, epälineaarisuudet sekä häiriöitä ja epävarmuuksia koskevat ehdot. Ratkaistaessa ongelmaa tulisi aina käsitellä myös asetusarvo- ja kuormitushäiriötapaukset, järjestelmän herkkyys mittauskohinalle ja varmuuden määrittäminen mallintamisvirheitä vastaan. (17, s. 107.)

PID-säätimen viritys voidaan määrittää teoreettisesti tai kokeellisesti. Kokeellisesti viritystä suoritettaessa seurataan ohjauksen muutoksen vaikutusta mitattavaan suureeseen, samalla vertaillen myös tulo- ja lähtösignaaleja. Teoreettista viritystä suoritettaessa selvitetään ensin prosessin fysikaaliset ominaisuudet, joiden perusteella voidaan luoda prosessista matemaattinen malli. Teoreettisesta vitysmallista voi tulla hyvinkin monimutkainen, mutta se kuvaa yksityiskohtaisesti prosessia. (17, s. 71.)

Viritys katsotaan hyväksi, kun järjestelmä takaa riittävän säädön tarkkuuden, nopeuden ja kyvyn kompensoida kuormitushäiriöitä. Tämän lisäksi järjestelmän tulee sietää epäherkkyyttä mittauskohinaa ja parametrimuutoksia vastaan. Ulostulevan ohjaussignaalin tulee myös käyttäytyä rauhallisesti. (17, s. 109.) Yrityserohdysmenetelmää käytettäessä yksinkertaisissa vitystilanteissa voidaan käyttää apuna niin sanottua nyrkkisääntötaulukkoa (taulukko 1), jolloin kokeilemalla haetaan sopiva viritys (17, s. 114).

*TAULUKKO 1. Parametrien vaikutus prosessin käyttäytymiseen (17, s. 114)*

		Nopeus	Stabiilisuus
$K_p$	kasvaa	kasvaa	vähenee
$T_i$	kasvaa	vähenee	kasvaa
$T_d$	kasvaa	kasvaa	kasvaa

Toinen tapa yksinkertaisessa vityksessä on käyttää Ziegler-Nichols-menetelmiä. Perinteisempi askelvasteeseen perustuva vitysmenetelmä on kehitetty vuonna 1942. Viritys perustuu muutamaan yksinkertaiseen prosessiparametriin, kuten vahvistukseen K, aikavakioon T ja viiveeseen L, jotka saadaan askelvas-teesta. (17, s. 115.) Virittäminen askelvasteen avulla on kuvattu taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Viritys askelvasteen perusteella (17, s. 115)

Säädin	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	T/(KL)		
PI	0,9T/(KL)	3L	
PID	1,2T/(KL)	2L	L/2

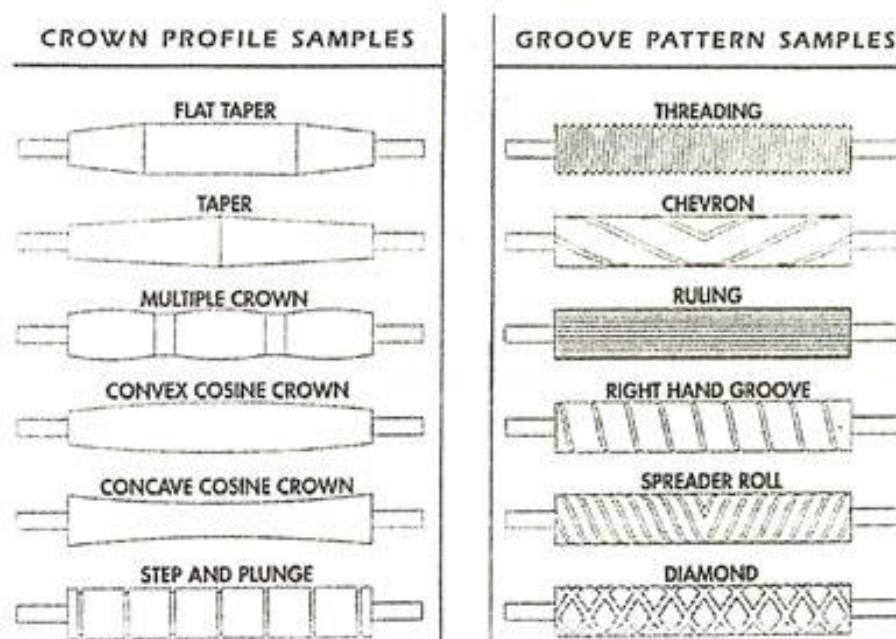
Viritys voidaan suorittaa myös kriittisen vahvistuksen  $K_{kr}$  ja kriittisen jaksonajan  $T_{kr}$  mukaan. Kokeellisesti arvot määritetään kasvattamalla P-säätimen vahvistusta siten, että se saavuttaa stabiilisuusrajan eli sen vaste alkaa värähdellä vakioamplitudilla ja vakiotajuudella. Kun raja on saavutettu, säätimen vahvistus on tällöin  $K_{kr}$  ja värähtelyn jaksonaika  $T_{kr}$ . Menetelmä on suunniteltu alun perin kuorimitushäiriöiden kompensointiin. (17, s. 115.) Taulukossa 3 on kuvattu viritys kriittisen vahvistuksen ja jaksonajan avulla.

TAULUKKO 3. Viritys kriittisen vahvistuksen ja jaksonajan mukaan (17, s. 115)

Säädin	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$K_{kr}/2$		
PI	$K_{kr}/2,2$	$T_{kr}/1,2$	
PID	$K_{kr}/1,7$	$T_{kr}/2$	$T_{kr}/8$

### 3.6 Telojen bombeeraus

Telan bombeerauksella tarkoitetaan telan muotoilua lieriömäisestä muodosta tynnyrimäiseksi. Tämä muotoilu tehdään yleensä hiomalla. Tavallisin muotoiltava profiili on keskeltä paksumpi kuin päädyistä, jolloin puhutaan positiivisesta bombeerauksesta. Negatiivisessa bombeerauksessa tela on keskeltä ohuempi kuin päädyistä. Bombeerauksen tarkoituksena on pitää rainaa keskitettynä, jolloin vältetään erilaisten ohjaavien tai keskittävien mekanismien käytöltä. Vetotelan tai vetorummun pinta on yleensä myös käsitelty kumipinnoitteella sekä kuvioinnilla, jolla parannetaan telan ja rainan välistä pitoa. (19, s. 11–12.) Kuviossa 15 on nähtävillä erilaisia bombeerausprofiileja.



KUVIO 15. Erilaisia bombeerausprofiileja ja kumipinnoitekuvioiteja (20)

### 3.7 Pinnoitusmenetelmät

Telojen pinnoituksessa on mahdollista käyttää useita erilaisia menetelmiä ja pinnoitemateriaaleja. Telapinnoitemateriaaleina käytetään esimerkiksi erilaisia kumi- ja PU-pinnoitteita, metallipinnoitteita ja erilaisia komposiittipinnoitteita. (21, 22.) Kumi- ja PU-pinnoituksissa on tyypillistä erilaisten valutekniikoiden käyttäminen. Teräksen käsittelyssä käytetyt pinnoitemenetelmät jaetaan kahteen ryhmään, hitsauspinnoitukseen ja termiseen ruiskutukseen. (23.)

#### 3.7.1 Kovahitsaus

Kovahitsausta käytettäessä hitsattava osa suojataan erilaisia kulumismuotoja vastaan, jotta se säilyttäisi käyttöympäristössä halutut ominaisuudet. Kovahitsausta käytetään tyypillisesti vanhojen kuluneiden osien kunnostukseen sekä kulutuskestävyyden parantamiseksi valmistettaessa uusia kappaleita. Kovahitsausta käytetään myös silloin, kun halutaan saada kustannussäästöjä käyttämällä osan valmistuksessa halvempia perusmateriaaleja. Kovahitsaus voidaan suorittaa lähes kaikilla hitsausmenetelmillä. (23, s. 15.)

Käytettäessä kovahitsausmenetelmää kappaleen pinnoitukseen, tulee hitsausli-säainemateriaalin valinnan takia tuntea käyttöympäristön aiheuttama kulumis-tyyppi, perusaineen materiaali, käytettävä hitsausmenetelmä sekä pinnan vii-meistelyn vaatimukset. Kulumistyyppejä ovat joko adheesiokuluminen, abraasiokuluminen, hiova abraasiokuluminen, iskut, korroosio tai korkeat lämpötilat. (24, s. 2-5.)

Perusaine kovahitsauksen yhteydessä jaotellaan kahteen pääryhmään, hiili- tai niukkaseosteisiin teräksiin ja austeniittisiin mangaaniteräksiin. Materiaalit kye-tään erottamaan toisistaan magnetismin avulla. Hiili- ja niukkaseosteiset teräkset ovat magneettisia, mutta austeniittiset mangaaniteräkset normaalitilassa eivät ole magnetoituvia. Mikäli austeniittisiä mangaaniteräksiä käsitellään siten, että ne muokkauslujittuvat, muuttuvat ne käsittelyn jälkeen magneettisiksi. (24, s. 5.)

Kovahitsauksessa käytetyimmät menetelmät ovat puikko-, täytelanka- ja jauhe-kaarhitsaus. Puikkohitsauksen suurimpina etuina ovat edullisuus, lisäaineiden suuri määrä sekä sen käytettävyys sisä- ja ulkotiloissa. Täytelankahitsauksen etuja ovat suuri hitsiaineentuottokyky ja tuottavuus. Menetelmä on myös kohtuul-lisen helposti mekanisoitavissa, jolloin hitsausten toistettavuus paranee oleelli-sesti. Jauhekaarhitsauksen etuja ovat suuri hitsiaineentuottokyky, hitsin korkea laatu ja menetelmän täysi mekanisoitavuus. (23, s. 15.) Täytelankahitsauksen tuotto on tyypillisesti 2-10 kg/h ja jauhekaarhitsauksen 4-16 kg/h (25, s. 3).

Hitsauksen viimeistelytapa tulee huomioida ennen lisäaineen valintaa. Tämä joh-tuu laajasta lisäainetarjonnasta, josta löytyy laatuja pehmeistä helposti koneistet-tavista laaduista koviin, vaikeasti koneistettaviin tai ei-koneistettaviin hitsausli-säainelaatuihin. Joillakin korkeaseostetuilla lisäaineilla on myös taipumusta ku-tistumishalkeiluun jäähtyessään. Joissakin tapauksissa halkeilu voi olla myös toi-vottu ominaisuus, koska se laukaisee jännityksiä ja estää hitsipalkojen irtoami-sen. Alle 40 HRC:n kovuuksia voidaan koneistaa ilman erikoistyökalujen tarvetta. (23, s. 16.)

### 3.7.2 Terminen ruiskutus

Termisessä ruiskutuksessa pinnoitemateriaali kuljetetaan pinnoitettavan kappaleen pinnalle sulapisaroina. Osuessaan kappaleen pintaan pisarat tarttuvat alustaan muodostaen yhtenäisen kalvomaisen pinnan. Sulapisaroiden koko vaihtelee muutamista mikrometreistä noin sataan mikrometriin. Menetelmällä tyypillisesti saadaan aikaan noin 50 – 1000 mikrometrin paksuinen pinnoitekerros. Tärkeimmät termisen ruiskutuksen menetelmät ovat suurnopeusliekkiruiskutus (HVOF), ilmanpaineinen plasmaruiskutus (APS), vakuumi tai kontrolloitu atmosfäärisuihkutus (VPS), kaariruiskutus (ARC), liekki-, lanka- ja jauheruiskutus sekä detonatoruiskutus. (23, s. 23.)

Pinnoitus suoritetaan ilmankehän paineessa ja pinnoitettavan kappaleen pintalämpötila harvoin ylittää 250 °C. Menetelmälle on tyypillistä, että lähes kaikkea sulavaa materiaalia kyetään pinnoittamaan. Menetelmä mahdollistaa myös erilaisten komposiittimateriaalien käytön, kuten esimerkiksi keraamien ja metallien seokset. Termistä ruiskutusta käytettäessä pinnoitemateriaali ja perusmateriaali eivät sekoitu keskenään, kuten kovahitsauksessa. Pinnoitteen ja pohjamateriaalin välinen lujuus on tyypillisesti noin 50 MPa. (23, s. 23–24.)

Menetelmällä kyetään pinnoittamaan metallipintojen lisäksi myös erilaisia muoveja. Muovien metalloinnilla voidaan yhdistää metallin ja muovin ominaisuuksia. Metalloitu muoviosa on kevyempi kuin metalliosa, mutta sen korroosionkesto ja muotoiltavuus on parempi kuin perinteisellä metallilla. Muoville taas kyetään luomaan metalloinnilla parempi sähkönjohtavuus, heijastusominaisuuksia ja parempi kulutuksen kesto kuin pelkällä muovilla. (26.)

### 3.8 Kytkimien ja akseliliitosten käyttö

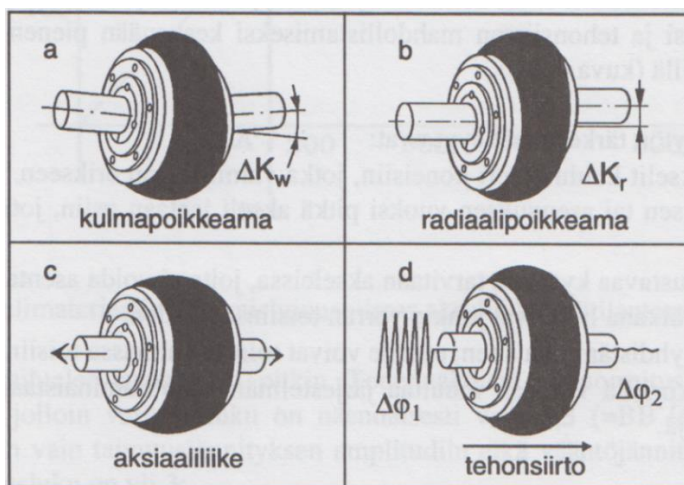
Kytкимиä käytetään tehonsiirtoon, kun halutaan liittää päittäin toisiinsa kaksi pyörivää akselia. Ne jaetaan tyypillisesti kahteen ryhmään, akseliliitoksiin ja akselinkytkimiin. Akseliliitokset kytketään tyypillisesti akselien ollessa liikkumatta, kun taas akselinkytkimillä kytkentä voidaan suorittaa toisen akselin pyöriessä. (27, s. 343.)

Akseliliitokset tyypillisesti jaotellaan kiinteisiin, liikkuviin ja joustaviin akseliliitoksiin. Kiinteät akseliliitokset muodostavat jäykän, lähes täysin joustamattoman liitoksen. Liikkuvat akseliliitokset sallivat akseleille siirtymiä, kuten aksiaali-, radiaali- ja kulmaliikkeitä. Nimellismomentin aiheuttama vääntökulma on tyypillisesti vähäinen, joten näitä kytkimiä voidaan pitää varsin vääntöjäykkinä. (27, s. 343.) Kuviossa 16 on esitetty erilaisia akseleiden välisiä poikkeamia ja liikkeitä.

Joustaviksi akseliliitoksiksi katsotaan sellaiset kytkimet, joihin on lisätty jousto-osa pääasiassa vääntöjouston lisäämiseksi ja tehonsiirron mahdollistamiseksi keskenään pienen kulman muodostavien akselien välillä (27, s. 343).

Akseliliitosten käytön tärkeimpiä syitä ovat seuraavat:

- Liitettävät akselit kuuluvat eri koneisiin, jotka ovat valmistettu erikseen. Joskus myös akselit on jaettu osiin, jos katsotaan valmistuksen, kuljetuksen tai asennuksen vaativan sen.
- Liikkuvaa tai joustavaa kytkintä käytetään akseleissa, jos akseleita ei voida asentaa riittävän tarkasti toisiinsa nähden. Akselit voivat myös liikkua toisiinsa nähden käytön aikana.
- Mahdollistetaan kahden akselin kytkentä siten, että ne voivat toimia kulmassa toisiinsa nähden.
- Joustavalla kytkimellä muutetaan järjestelmän vääntöominaistajuutta ja vaimennetaan vääntövärähtelyjä. Kuviossa 16 on myös kuvattu vääntövärähtelyn vaimennus.



KUVIO 16. Akselien erilaiset liikkeet sekä vääntöjousto (27)

### **3.8.1 Akseliliitosten valinta**

Akseliliitosta valittaessa tulee ottaa huomioon muun muassa akselin käyttöympäristö, tehonsiirtokyky ja käyttökohteen asettamat mahdolliset erityiset vaatimukset, kuten asennettavuus. Tämän lisäksi tulee myös mitoituksessa ottaa huomioon akselien välinen liike, kytkimen tehonsiirtokyky, kuormituksen luonne, akselien asennussuunta ja lämpötilan aiheuttamat vaikutukset. (27, s. 344–345.)

### **3.8.2 Kytkimen koon valinta**

Valittaessa käytettävän kytkimen kokoa tulee ottaa huomioon käynnin aikana esiintyvät momenttisysäykset. Momenttihuipun suuruuteen vaikuttavat moottorin ja käytettävän koneen massahitausmomentit sekä kytkimien ja akselien joustavuus. Sopivan kytkimen mitoituksessa käytetään sysäyskertoimia, joilla huomioidaan käyttömoottorin, työkoneen lajin ja käytön luonne. Tämän lisäksi mitoituksessa voidaan ottaa huomioon muita tekijöitä, kuten päivittäinen käyttöaika, käynnistystaajuus, käyttöympäristön lämpötila ja asennustarkkuuden vaikutus. Kytkinten valmistajat ilmoittavat omissa valintaluetteloissaan yksityiskohtaiset ohjeet sysäyskertoimen valintaan. (27, s. 346.)

### **3.8.3 Kiinteät, liikkuvat ja joustavat akseliliitokset**

Kiinteät liitokset soveltuvat kahden akselin välille, jos kyetään varmistamaan asennuksessa oikea suuntaus ja käytön aikana ei esiinny lämpölaajenemista, suuria voimia tai momenteja jotka aiheuttavat rakenteissa suuntausta muuttavaa joustoa. Kiinteät liitokset tekevät akselijärjestelmästä yleensä staattisesti määräämättömän monitukisen palkin. Tämän lisäksi kiinteä akseliliitos johtaa vääntömomenttisysäykset vaimentamattomina eteenpäin. Kiinteiksi akseliliitoksiksi katsotaan laippakytkimet, kuorikytkimet ja säteittäisen hammastuksen käyttö akselien tai koneenosien otsapinnoissa. (27, s. 350–351.)

Mikäli akseleita ei voida asentaa tarkasti toistensa jatkeelle tai ne liikkuvat käytön aikana, käytetään liikkuvia akseliliitoksia. Liikkumista voivat aiheuttaa esimerkiksi lämpötilan vaihtelut, akselin taipumat tai laakerien ja rungon jousto. Liikkuvat kytkimet ovat hyvin vääntöjäykkiä, joten niitä käytetään silloin, kun järjestelmän



vääntöväärähtelyominaisuuksia ei haluta muuttaa. Liikkuvien kytkinten liike perustuu osien väliseen liukumiseen tai vierintään. Poikkeuksena tästä mainittakoon metallilamellikytkimet, joiden sallima liike perustuu metallielimien joustoon. (27, s. 352.)

Liikkuviksi akseliliitoksiksi katsotaan erilaiset yleisnivelet, hammas-, metallilamelli-, ketju-, ja sakarakytkimet sekä Oldhamin ja Schmidtin kytkimet. (27, s. 352–364.)

Joustaviin akselinosiin katsotaan sellaiset kytkimet, joiden rakenteeseen kuuluu joustava osa vääntöjouston lisäämiseksi ja tehonsiirron mahdollistaminen keskenään pienen kulman muodostavien akselien välillä. Joustavat osat pienentävät vääntömomenttisysäyksiä muodonmuutostyön kautta. Epätasainen käyttö tai resonanssipöörimisnopeuden muuttaminen edellyttää suuren jouston omaavien kytkinten käyttöä. Mikäli kytkimeltä vaaditaan kykyä siirtää vääntömomenttiä jousto-osan rikkoutuessa, tulee käyttää joustavia sakara- tai tappikytkimiä. Joustaville kytkimille sallitut pöörimisnopeudet ovat alhaisempia kuin vääntöjäykillä kytkimillä. (27, s. 365.)

Joustaviksi akseliliitoksiksi katsotaan erilaiset metallijousikytkimet, kuten Malmedie-Bibby-, Baumann-Flex- ja Geislinger-kytkin. Myös erilaiset kumijousikytkimet kuuluvat joustaviin kytkimiin, jossa jousto tapahtuu kumisessa jousto-osassa. Tällaisia kytkimiä ovat esimerkiksi erilaiset joustavat sakarakytkimet, joustava tappikytkin, N-Euplex-kytkin ja erilaiset kumirengaskytkimet. (27, s. 365–366.)

## 4 RATKAISUVAIHTOEHTOJEN TUTKIMINEN JA TESTAAMINEN

Työn tilaaja valitsi selvitettäviksi ratkaisuvaihtoehdoista kaksi tässä työssä esiteltyä vaihtoehtoa. Nämä valitut vaihtoehdot olivat

- koneen omien säätövarojen vaikutus rainanohjaukseen
- säätövarojen vaikutusten perusteella mahdollisen tunnistus- ja kontrollointielektroniikan käyttötarpeen kartoitus.

Menetelmät ovat ratkaisuvaihtoehdoista halvimmat ja helpoimmat toteuttaa. Tavoitteeksi asetettiin uuden käyttämättömän rainarullan kyljen karheuden saavuttaminen. Kuviossa 17 on nähtävissä lähtötilanteessa käytetyn rainan käyttäytyminen yhden kelauskerran jälkeen.



*KUVIO 17. Rainan käyttäytyminen kelauksen jälkeen lähtötilanteessa*

### 4.1 Koneen säätövarojen käyttö

SOM-100-painokoneessa on mahdollista säätää ohjauspaneelista erikseen jokaiselle vetävälle telalle pyörintänopeuteen vaikuttavat nopeuskertoimet. Tämän lisäksi koneeseen on kytketty kaksi FMS Technologyn valmistamaa webMASTER BKS 015 -radanohjausjärjestelmää ja rainan kireyttä mittaava Placid Indust-

riesin magneettijarrujärjestelmä. Radanohjausjärjestelmät ovat niin sanottuja valmispaketteja, jotka sisälsivät itsessään optisen mittausaseman, säätö- ja ohjaus-elektronikan sekä radanohjaimen.

## **4.2 Magneettijarrun kalibrointi ja telanopeuksien säätö**

Ensimmäiseksi suoritettiin magneettijarrujärjestelmän kalibrointi. Magneettijarrujärjestelmä sisälsi magneettijarrun, magneettijarrua ohjaavan säätöyksikön sekä mittauspotentiometrin. Mittauspotentiometrin tarkoituksena on mitata rainakelan paksuutta, jonka mukaisesti säätöjärjestelmä säätää magneettijarrulle kulkevan virran määrää. Kalibrointi suoritetaan siten, että ohjausyksikölle asetettiin ylä- ja alaraja-arvot ohjausvirralle kelan paksuuden mukaisesti. Tämän jälkeen suoritettiin koeajo, jossa seurattiin rainan kireyttä mittauksella avulla. Rainan kireyden tuli pysyä ajon aikana noin 25 newtonissa.

Seuraavaksi tutkittiin painokoneen vetotelojen pyörimisnopeuksia. Sopivat pyörimisnopeuskertoimet etsittiin kokeellisesti. Vertailutelaksi otettiin viimeinen vetotela ennen kelainta. Vetäviä teloja ennen vertailutelaa on neljä kappaletta, joista tarkasteluun otettiin flekso-, gravure- ja silkkipainon vetotelat. Kuumapainon vetotela jätettiin tarkastelun ulkopuolelle johtuen sen vähäisestä käytöstä. Jokaisen painoyksikön vetotelalle haettiin kokeellisesti sopivat nopeuskertoimet, joilla saatiin vähennettyä oleellisesti ennen nopeuskertoimien säätämistä tapahtunutta edistämistä. Edistämistä tapahtui 140 metrin matkalla useita kierroksia verrokkitelaa nähden. Sopivien nopeuskertoimien hakeminen vetoteloille oli eniten aikaa vievä toimenpide.

Edellisillä toimenpiteillä saavutettiin oleellinen parannus rainan ohjattavuuteen. Rainan kelauksen laatu parani huomattavasti ja aiemmin ilmennyt rainan vetojännitysten vaihtelu hävisi olemattomiin. Lisäksi myös voiman välittämiseen käytetyn hammashihnan luistaminen hammaspyörän yli loppui kokonaan. Tässä vaiheessa todettiin tarpeettomaksi tehdä jatkoselvitystä toisesta vaihtoehdosta, eli tunnistus- ja kontrollointielektronikasta.

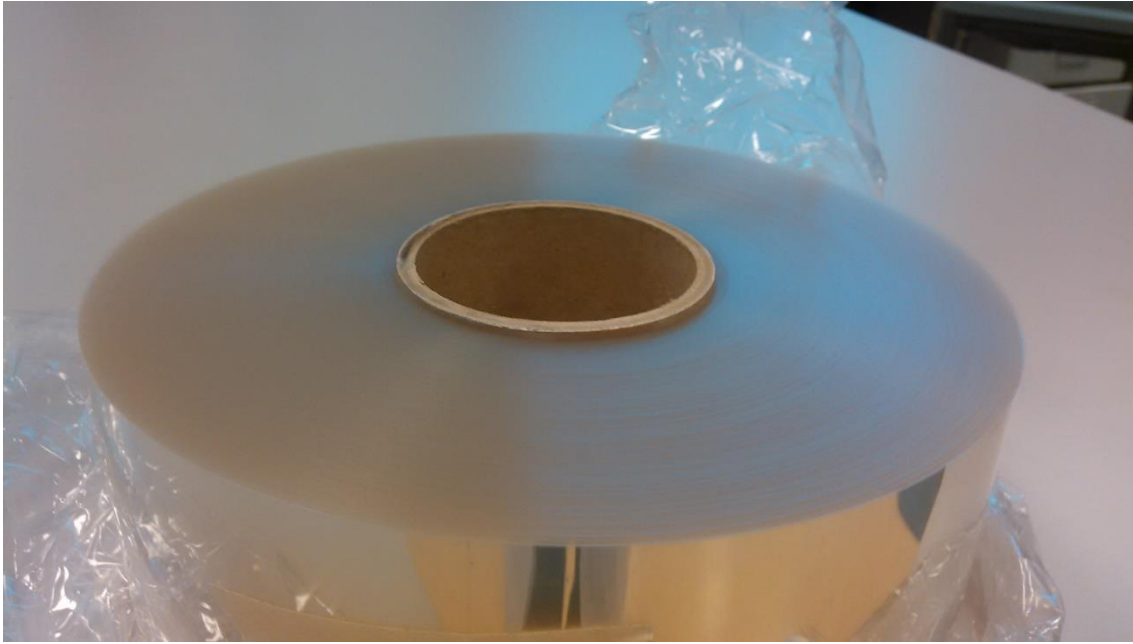
### **4.3 Radanohjainten hienosäätö**

Viimeisenä suoritettiin FMS Technologyn valmistamien radanohjaimien säätö. Radanohjaimien tarkoitus on toimia karkeaohjauksena järjestelmässä. Radanohjain koostuu optisesta mittausasemasta, säätö- ja ohjauselektronikasta sekä radanohjausrullastosta. Mittausaseman optista anturia on mahdollista säätää sivuttaissuunnassa, jolla vaikutetaan rainan kulkemaan paikkaan. Ensimmäinen radanohjain säädettiin siten, että se jätti noin 8 mm:n ilmaraon koneen rungon ja rainan reunan väliin. Jälkimmäisen radanohjaimen säätöihin ei koskettu, koska asetukset olivat oletusarvoisesti hyvät. (Liite 4.)

### **4.4 Ajoarvojen testaaminen ja todentaminen**

Lopuksi suoritettiin koeajot uusilla säätöarvoilla sekä kahdella rainamateriaalilla, joista toinen oli väriltään valkoista ja toinen läpinäkyvää. Valkoinen materiaali oli käytettyä materiaalia. Läpinäkyvä materiaali oli uutta ja käyttämätöntä, joka otettiin suoraan toimituspakkauksesta. Uuden käyttämättömän materiaalirullan pituus aukaistuna on 140 metriä. Koeajoilla haluttiin varmistaa järjestelmän toimivuus ja toistettavuus. Rainoja ajettiin useita kertoja nopeusvälillä 1–22 m/min ja ajot toistettiin jokaiselle painoyksikölle erikseen.

Testaukset suoritettiin valkoisen materiaalin osalta ilman kuivatusuunin käyttöä ja läpinäkyvällä materiaalilla kuivatusuunin ollessa käytössä sekä ilman kuivatusuunia. Kuivatusuunin käyttölämpötilaksi on määritetty 140 °C, mutta se laskee käytön aikana 95 °C:seen. Valkoisella materiaalilla ajoja suoritettaessa huomattiin vielä tapahtuvan hieman liikkumista poikittaissuunnassa, mutta tämän todettiin johtuneen materiaalin yleisestä kunnosta. Viimeiseksi suoritettiin ajot kirkkaalla materiaalilla ja todettiin järjestelmän toimivuus hyväksi. Kokonaisuudessaan teilojen pyörimisero saatiin säädettyä silmämääräisesti alle 80 kulma-asteeseen 140 metrin matkalla. Kuviossa 18 on nähtävissä saavutetun rullauslaadun tulos.



*KUVIO 18. Säädoillä saavutettu lopputulos kelautuvuuteen*

#### **4.5 Muut havaitut asiat**

Ratkaisuvaihtoehtojen selvityksen aikana huomattiin muutama vähän merkityksellinen asia, jotka on koostettu tähän osaan. Radanohjaimien säätövaiheessa kokeiltiin kelata rainaa kelalle suoraan vain ensimmäisen ohjaimen kautta, mutta tämän huomattiin aiheuttavan siirtymää telojen ulkopuolelle. Tämän todettiin johtuvan liian pitkäksi kasvavasta jännevälisestä. Ongelma poistui, kun rainan rata vedettiin myös toisen radanohjaimen kautta.

Työn alkaessa oli myös epäily, että painokoneesta puuttuisi nopeus- ja asentanturointi. Tämä oletus todettiin kuitenkin myöhemmin vääräksi, kun tutkittiin koneen sähkökaavioita. Sähkökaavioista ilmeni koneen käyttävän Omronin valmistamia Accurax G5-sarjan 100:n ja 200 Watin servomootoreita. Servomootorit itsessään sisälsivät 20-bittisen inkrementaalienkooderit pulssilähdöillä, joita voidaan tarvittaessa käyttää tulevissa projekteissa.

#### **4.6 Tuotekehitysprojektista aiheutuneet kustannukset**

Tuotekehitysprojektin varsinaiset kustannukset koostuivat käyttöhenkilökunnan käyttämistä työtunneista ohjaukseen ja projektin aikana käytetyistä materiaalirul-

lista, painokoneen käyttämästä sähkö- ja paineilmaenergiasta. Tuotekehitysprojektin kustannuksiin ei katsota opinnäytetyön tekijän tutkimukseen käyttämää aikaa ja panosta. Muita pieniä sivukustannuksia muodostui opinnäytetyön teossa käytettyjen ohjelmistojen lisensseistä ja IT-laitteistoista.

## 5 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä kehitettiin Oulun Ammattikorkeakoulu Oy:n Prinlab-osaston painettavan elektroniikan R2R-painokoneen rainanohjausjärjestelmää. Työssä tutustuttiin R2R-painokonetekniikkaan vierailemalla Oulun VTT:n toimitilassa, jossa on useita toisistaan poikkeavia painokoneita. Vierailun tuloksena saadut haastattelutiedot edesauttoivat huomattavasti Prinlabin painokoneen kehittämisessä. Opinnäytetyön kirjallisen tuotoksen vaiheessa ongelmaksi näytti muodostuvan aiheeseen liittyvien lähteiden ja aineistojen saatavuus. Aineistojen etsinnässä ja hankinnassa käytettiin erilaisia tietokantoja ja kirjastojen kirjallisuuslähteitä.

Painokoneessa ilmenneen rainan siirtymisongelman ratkaiseminen vaati syvällisen paneutumisen koneen toiminnallisuuteen. Rakenne- ja sähkökaaviopiirroksista jouduttiin selvittämään yksityiskohtaisesti koneen toimintaa, jotta kyettiin ymmärtämään laitteen kokonaisvaltainen toiminnallisuus. Kehitysprojektilla säävutetun laadun paranemista ei testattu tässä opinnäytetyössä, koska monikerros-painannalle ei ollut työtilauksia. Prinlabin R2R-painokoneen tulevaisuudennäkymissä on yhä kuitenkin odotettavissa useita kehityskohteita.

Kehitysprojektin kustannukset jäivät erittäin alhaisiksi, kun niitä verrataan painokoneen hankintahintaan. Kehitysprojektin alkuvaiheessa valitut mittaukseen liittyneet ongelmanratkaisumenetelmät osoittautuivat vääriksi, mutta niistä luovuttiin projektin edetessä, eivätkä väärät menetelmät vaarantaneet projektin onnistumista. Viivakameralla suoritettava mittaus itsessään ei sinällään ole väärä, mutta sillä tehtävä toimiva ja onnistunut mittaus onnistuu sitten, kun rainan käyttäytyminen normaalitilanteessa on saatu riittävän stabiiliksi.

R2R-tekniikan tulevaisuus näyttää lupaavalta ja vahvasti kasvavalta alalta elektroniikkatuotannon tulevaisuudessa. Uuden R2R-tekniikalla tehtävän elektroniikkatuotantolaitoksen tai linjan investointikustannukset ovat vähintään kymmenesosan pienempiä kuin perinteisillä tekniikoilla toteutettavan elektroniikkatuotantolaitoksen investointikustannukset. Myös uusien sovellusten kehittäminen painettavalle elektroniikalle on voimakkaassa kasvussa tällä hetkellä. Tuloksena kehitysprojektista saatiin rainanohjausjärjestelmien esiselvitys Excel-taulukoituna

kustannusarviointeineen sekä riittävän tarkat ajonopeuskertoimet jokaiselle painoyksikölle. Kokonaisuudessaan opinnäytetyö oli mielestäni onnistunut ja opettava kokemus. Yhteistyö työn tilaajan ja ohjaajien kanssa oli onnistunutta ja asiallista. Opinnäytetyö oli mielestäni riittävän vaativa, haasteellinen ja mielenkiintoinen.



## LÄHTEET

1. Berg, Antti 2012. PrinLab. Painettavien antureiden kehityslaboratorio. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. PrintoCent. Saatavissa: <http://www.oamk.fi/hankkeet/prinlab/docs/materials/prinlab.pdf>. Hakupäivä 12.2.2015.
2. Globalspec. Kuva. Saatavissa: <http://www.globalspec.com/ImageRepository/Learn-More/20129/carry0016e8962b8c2ca493a8f1f1673ba1b5a83.gif> Hakupäivä 24.2.2015.
3. Valox FR1 Data Sheet. Tekra. Saatavissa: [http://www.tekra.com/sites/default/files/pc/Valox\\_FR1\\_Data\\_Sheet.pdf](http://www.tekra.com/sites/default/files/pc/Valox_FR1_Data_Sheet.pdf). Hakupäivä 22.2.2015.
4. Coatema. Kuva. Saatavissa: [http://www.coatema.de/images/presse\\_news/PrintoCent\\_Production\\_Line.jpg](http://www.coatema.de/images/presse_news/PrintoCent_Production_Line.jpg). Hakupäivä 24.2.2015.
5. Research and development activities in printed intelligence. VTT. 2009. Saatavissa: [http://www.vtt.fi/files/download/scientific\\_reports/cpi\\_09\\_review.pdf](http://www.vtt.fi/files/download/scientific_reports/cpi_09_review.pdf). Hakupäivä 24.2.2015.
6. Airila, Mauri 1999. Mekatroniikka. 5. painos. Helsinki: Hakapaino Oy.
7. Manninen, Riku 2014. Tiivistystilaitteiston suunnittelu ja käyttöönotto. Diplomityö. Saatavissa: [https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/12813/master\\_Manninen\\_Riku\\_2014.pdf?sequence=1](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/12813/master_Manninen_Riku_2014.pdf?sequence=1). Hakupäivä 29.3.2015.
8. Tuotteet – Moottori – Lineaariliike – Lineaarijohteet. OEM Automatic. Saatavissa: <http://media.oem.se/Archive/ProductImages/images/bigimg/81531.jpg>. Hakupäivä 29.3.2015.

9. Session 18 Machine Installation – Shaft alignment. Lifetime Reliability Solutions. Saatavissa: [www.lifetime-reliability.com/tutorials/maintenance-management/18\\_ShaftAlignment.pdf](http://www.lifetime-reliability.com/tutorials/maintenance-management/18_ShaftAlignment.pdf). Hakupäivä 28.4.2015.
- 10.PSK 8301. 2007. Akselin linjaus. PSK-Standardisointiyhdistys ry.
- 11.Paralign – Roll alignment service by Prüftechnik. 2014. Prüftechnik. Saatavissa: <http://www.pruftechnik.com/products/alignment-systems-for-rotating-machinery/geometrical-measurement-systems/paralign.html>. Hakupäivä 28.4.2015.
- 12.Science and Technology Perspectives, Laser Gyroscopes – The Revolution in Guidance and Control. 1985. Air University Review. Saatavissa: <http://www.airpower.maxwell.af.mil/airchronicles/aureview/1985/may-jun/siuru.html>. Hakupäivä 28.4.2015.
- 13.Fonselius, Jaakko – Pekkola, Kari – Selosmaa, Seppo – Ström, Markku – Välimaa, Taisto 1999. Automaatiolaitteet. Helsinki: Oy Edita Ab.
- 14.Pulssianturi. Metropolian wikipalvelu. Saatavissa: <https://wiki.metropolia.fi/download/attachments/23203707/pulssiantureita.jpg?version=1&modificationDate=1291121257000&api=v2>. Hakupäivä 28.3.2015.
- 15.Anturitekniikan perusteet. 1997. Helsinki: Suomen Eduserver Ky. Saatavissa: [http://personal.inet.fi/yritys/kkov.eduserver/yhteinen/anturitekniikka2\\_27\\_53.pdf](http://personal.inet.fi/yritys/kkov.eduserver/yhteinen/anturitekniikka2_27_53.pdf). Hakupäivä 28.3.2015.
- 16.Gray-koodikiekko. Kuva. Saatavissa: <http://projects.haskell.org/diagrams/gallery/images/Gray.big.png>. Hakupäivä 11.4.2015.
- 17.Harju, Timo. Marttinen, Arto 2000. Säättöpiirin virityksen perusteet. 1. painos. Espoo: Control CAD Oy.

- 18.Savolainen, Jari 2010. PID-säädin. Saatavissa: <https://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pageId=12159966>. Hakupäivä 6.5.2015.
- 19.Parikka, Risto. Mäkelä, Kimmo K. Sarsama, Janne. Virolainen, Kimmo 2000. Hihnakuuljettimien käytön turvallisuuden ja luotettavuuden parannus. Espoo: VTT. Saatavissa: [www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2036.pdf](http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2036.pdf). Hakupäivä 2.5.2015.
- 20.Roller Re-Covering, Grooving, and Grinding Services. Services and Products. Bluegrass Roller Services. Saatavissa: <http://www.bluegrassroller.com/service.html>. Hakupäivä 2.5.2015.
- 21.Telat kumi- ja polyuretaanipinnoitteilla. Ravelast Oy. Saatavissa: <http://www.ravelast.com/kulutuksen-kestavat-tuotteet/telapinnoitteet.html>. Hakupäivä 23.3.2015.
- 22.Pinnoitteet. Vaahto Group. Saatavissa: <http://www.vaahto.fi/suomi/tuotteet-ja-palvelut/vaahto-paper-technology/vaahto-service/telahuolto-ja-pinnoitteet/pinnoitteet.aspx>. Hakupäivä 23.3.2015.
- 23.Keltamäki, Kimmo 2013. Kulumisalttiiden kohteiden eri pinnoitusmenetelmiä. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/56015/keltamaki%20B%202%202013.pdf?sequence=1>. Hakupäivä 23.3.2015.
- 24.Korjaushitsaus-käsikirja, Osa 3, kovahitsaus. Helsinki: Esab Oy. Saatavissa: [http://www.esab.fi/fi/fi/support/documentation/educational/upload/korjaushitsaus\\_kovahitsaus.pdf](http://www.esab.fi/fi/fi/support/documentation/educational/upload/korjaushitsaus_kovahitsaus.pdf). Hakupäivä 23.3.2015.
- 25.Leino, Kalervo 2008. Hitsausmenetelmien vaikutus tuottavuuteen. VTT. Saatavissa: [http://www.lahtimecatronics.fi/filebank/1157-VTT\\_-\\_Hitsausmenetelmavalintojen\\_vaikutus\\_tuottavuuteen.pdf](http://www.lahtimecatronics.fi/filebank/1157-VTT_-_Hitsausmenetelmavalintojen_vaikutus_tuottavuuteen.pdf). Hakupäivä 23.3.2015.

26. Muovimuotoilu. 2015. Helsinki. Taideteollinen korkeakoulu. Saatavissa: <http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/92/132/>. Hakupäivä 24.3.2015.

27. Airila, Mauri – Ekman, Kalevi – Hautala, Pekka – Kivioja, Seppo – Kleimola, Matti – Martikka, Heikki – Miettinen, Juha – Niemi, Erkki – Ranta, Aarno – Rinkinen, Jari – Salonen, Pekka – Verho, Arto – Vilenius, Matti – Välimaa, Matti 2003. Koneenosien suunnittelu. 4. painos. Porvoo: WSOY.

## LÄHTÖTIETOMUISTIO

Työn tiedot	Tekijä <sup>1</sup> Jarno Tervo	Tilaaaja <sup>2</sup> Oulun ammattikorkeakoulu Oy/Prinlab	
	Tilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot <sup>3</sup> Harri Määttä		
	Työn nimi <sup>4</sup> <b>R2R-koneen rainanohjausjärjestelmän kehittäminen</b>		
	Työn kuvaus <sup>5</sup> R2R-koneeseen soveltuvien ohjausjärjestelmävaihtoehtojen selvitys, valittujen vaihtoehtojen esisuunnittelu sekä kustannusarviointi.		
	Työn tavoitteet <sup>6</sup> Esisuunnitelmamallit 3D-mallinnettuna, sekä niiden kustannusarviointi.		
	Tavoiteaikataulu <sup>7</sup> Tavoitteena on opinnäytetyön valmistuminen toukokuussa 2015.		
	Päiväys ja allekirjoitukset <sup>8</sup> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;">           23/1/2015            Tekijän allekirjoitus  <i>Jarno Tervo</i> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;">           23/1/2015            Tilaaajan allekirjoitus  <i>Harri Määttä</i> </td> </tr> </table>		23/1/2015 Tekijän allekirjoitus <i>Jarno Tervo</i>
23/1/2015 Tekijän allekirjoitus <i>Jarno Tervo</i>	23/1/2015 Tilaaajan allekirjoitus <i>Harri Määttä</i>		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite.</li> <li>2. Työn teettävän yrityksen virallinen nimi.</li> <li>3. Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta.</li> <li>4. Työn nimi voi olla tässä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan.</li> <li>5. Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat.</li> <li>6. Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet.</li> <li>7. Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työllä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun. Tavoiteaikataulun ja oppilaitoksen yleisaikataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa.</li> <li>8. Lähtötietomuistio päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaaajan yhdyshenkilö</li> </ol>			

**Stabilex Ultra™****PRODUCT DATASHEET****Code: SU320**

SU320 is a clear, high clarity, high gloss, heat-stabilised polyester film.

SU320 has an adhesion promoting pre-treat on both sides for applications in the graphics and circuitry layers of membrane touch switches and flexible electronics.

**Typical Values:**

Property	Units	Values		
Thickness nominal	u	75	125	175
	gauge	300	500	700
	inches	0.003	0.005	0.007
Yield	m <sup>2</sup> / kg	9.63	5.72	4.08
Relative Density		1.39		
Flexural Strength	Cycles	>20,000	>20,000	>15,000
Static Friction	Coefficient	<0.70		
Melting point	Peak °C	265		
Hygroscopic Expansion	Coefficient cm/cm/%RH	8x10 <sup>-6</sup>		
Thermal Shrinkage 150°C 30mins	MD %	0.15		
	TD %	0.05		
Dielectric Strength	KV / mm	125		
Surface Resistivity	Ohms/sq	>10 <sup>13</sup>		
Volume Resistivity	Ohms-cm	>10 <sup>17</sup>		
Haze	%	1.0		
TLT	%	>85		

**DISCLAIMER**

Although the information and recommendations on this sheet are believed to be accurate and are given in good faith ICI Imagedata makes no representation or warranty as to the completeness or accuracy of any information given. Suggestions made concerning uses or applications are only the opinion of ICI Imagedata and users should undertake their own tests and analysis to determine the suitability of these products for their own particular purpose. Because of numerous factors affecting results, ICI Imagedata makes no representation or warranty, express or implied, as to merchantability, fitness for particular purpose or of any other nature with respect to information or the product to which the information refers.

Nothing contained herein is to be construed as a recommendation to use any product, process, equipment or formulation in conflict with any patent or other intellectual property right and ICI Imagedata makes no representation or warranty, express or implied, that the use thereof will not infringe any patent or other intellectual property right or any third party.

Freedom under Patent, Copyright and Designs cannot be assumed and any trademarks herein identified including Stabilex Ultra and the ICI Roundel are trademarks of the ICI Group of Companies.

ICI Imagedata in the UK is an Akzo Nobel Company



	Optio 1	Optio 2	Optio 3	Optio 4	Optio 5
	Kalibroidaan olemassa olevat anturit	Punnitustelosten käytön tutkinta	Selvitetään opinnäytetyönä olevan kamerajärjestelmän käyttöä myös rainanohjaukseen yhtäaikaaisesti esim. rataohjaimien kanssa.	Telosten tasapainotus 3d-mittaamalla ja koneistamalla. Mahdollisuus myös pinnoittaa telat uudelleen.	Joustavat sakarakytkimet vaihteistojen väliin eliminoidaan värähtelyjä
<b>Tarkempi kuvaus</b>					
<b>Hyödyt (+)</b>					





	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3	Vaihtoehto 4	Vaihtoehto 5	Vaihtoehto 6	Vaihtoehto 7
Kustannusarvio	Plug n play-tyyppinen ratkaisu, sisältää erillisen kytkentäreleen hätä-seis-piirin käyttöön. Ei aivan haarukatunnistin-tyyppinen. Tarvitsee heijastimen. Hinta 88,24€ + (toimituskulut) + asentamiseen käytetyt työtunnit	Osat yritys x: johteet, 84 € 2 x 700 mm, kelkka 3 x 40 €, lukittava kelkka 100 €: Yhteishinta 304 € + (toimituskulut) + asentamiseen käytetyt työtunnit	Tarjouksia ei pyydetty todennäköisesti sopimattomien mitalaitteistojen takia, linjaukseen palveluja kuitenkin myyvät: Indutek, MLT (Machine & Laser Technology Oy), asennuspalvelu.fi	Avago Technologiesin valmistama absoluuttianturi kulmanmittaukseen, "erillispaketti". Kiekkokerikseen asennettava akseliin. Ehkä soveltuvin ratkaisu SOM-100:n. Tutkittava tarkemmin onko mahdollista laittaa olemassaolevan akselin nokkaan ilman muokkausta. 80,71 € + (toimituskulut) + asentamiseen käytetyt työtunnit + muu tarvittava elektroniikka (ostettu/itse valmistettu ja suunniteltu) (pid-säädin tms).	Käytetyt työtunnit	Asentamiseen ja säätämiseen käytetyt työtunnit + suunnittelu + valmistusosat + komponentit + ohjauselektroniikka ympärille. Vaikea arvioida ilman konsepteja.	Tarjouksia ei pyydetty, bombeerauksen hiontaan/valmistukseen palveluja myyvät: Triton Valsteknik, Ravelast Polymers?, Virolainen yritys: HME
	Omronin teollisuushaarukatunnistin, 56,03€ + (toimituskulut) + asennukseen käytetyt työtunnit.			WACHENDORFFilta löytyy erilaisilla kiinnitystavoilla löytyviä absoluuttiantureita kulmanmittaukseen hintavälillä 494,67 € - 713,26 €. Kaikki tulevat suoraan pyörivään akseliin kiinni. Kustannukset 494,67 - 713,26 €			
	Sick Opticin haarukatunnistin. 242,47€ + (toimituskulut) + asentamiseen käytetyt työtunnit			Küblerin valmistama inkrementtianturi kulmanmittaukseen, 231,65€. Kustannukset 231,65 € + (toimituskulut) + asentamiseen käytetyt työtunnit + muu tarvittava elektroniikka (ostettu/itse valmistettu ja suunniteltu) (pid-säädin tms).			
				Huom kommenttikohta			

	Optio 1	Optio 2	Optio 3	Optio 4	Optio 5
Kustannusarvio	Käytetyt työtunnit	Käytetyt työtunnit	Käytetyt työtunnit	Tarjouksia ei pyydetty, pinnoitukseen palvelua myyvät: Triton Valsteknik: (kumi, PU) Ravelast Polymers: (Teflon,PU, erilaiset kumit esim. Viton, Silikon, Hypolon), Telatek: Termisillä menetelmillä valmistettavat pinnoitteet	Osat yritys x: sakarakytin , 90€/kpl, Yhteishinta 540 €, + (toimituskulut) + asentamiseen käytetyt työtunnit
				3D-Telähionta: Pienille teloille toistaiseksi ei löydetty soveltuvia yrityksiä.	

Jarno Tervo (1.5.2015)

<b>Ajoarvot SOM-100-painokoneelle</b>			
	Nopeuskerroin	Paineet(bar)	Paineet (Mpa)
Flexo	1,0069	1,5 - 2,5	0,15 - 0, 25
Gravure	1,0069	1,5 - 2,5	0,15 - 0, 25
Rotary	0,9950	1,5 - 2,5	0,15 - 0, 25
Vetonippi		2,0 - 3,0	0,2 - 0,3
<b>Radanohjaimen varren mitat työntömitalla mitattuna</b>			
	mm		
Etummainen	5,0 - 5,4		
Takimmainen	3,7		