



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# Valssausrullien asemointi

Esa Isopahkala

Opinnäytetyö  
Kesäkuu 2018  
Automaatioteknologian koulutus  
Ylempi AMK



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Automaatioteknologian koulutus, ylempi AMK

ISOPAHKALA ESA:  
Valssausrullien asemointi

Opinnäytetyö 44 sivua, joista liitteitä 3 sivua  
Kesäkuu 2018

---

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli SSAB Europe Oy, Hämeenlinnan putkitehdas. Hämeenlinnan putkitehtaalle haettiin IATF 16949-sertifikaattia, jotta päästäisiin toimittamaan erikoislujia teräsputkia suoraan autoteollisuuteen. Prosessista piti saada vakaampi, sillä IATF 16949-sertifikaatissa yhtenä osa-alueena on vaihtelun pienentäminen. Tällä hetkellä putkitehtaalla käytetään vanhoja valssauspukkeja, joissa on vain manuaalinen säätömahdollisuus. Tämä aiheuttaa putken dimensioiden vaihtelua, jota olisi mahdollista pienentää automaattisen säätöjärjestelmän avulla.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella automaattinen säätöjärjestelmä valssauspukkeille. Tarkoituksena oli löytää luotettava anturi mittaamaan valssauspukin rullien asemaa. Toistettavuuden tavoitteeksi asetettiin +/- 0,10 mm. Anturin piti olla myös sovitettavissa vanhoihin valssauspukkeihin, jotta se ei häiritse operaattorien ja kunnossapito-asettajien töitä. Lisäksi anturin piti kestää valssausemulsiota ja -hilsettä.

Optimaaliseksi anturiksi valittiin magnetostriktiivinen anturi, koska se oli helposti integroitavissa vanhoihin valssauspukkeihin. Lisäksi kyseinen anturi oli huoltovapaa ja epäherkkä ulkoisille häiriöille. Magnetostriktiivisen anturin keskimääräinen toistettavuus oli testeissä +/- 0,0375 mm. Tämä oli huomattavasti parempi kuin tavoitteemme +/- 0,10 mm. Testaustulosten perusteella voitiin sanoa, että magnetostriktiivinen anturi oli riittävän tarkka automaattiseen säätöjärjestelmään. Tämän tutkimuksen tuloksia tul- laan hyödyntämään laajentamalla automaattinen säätöjärjestelmä kaikille linjoille.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Master's Degree Programme in Automation Technology

ISOPAHKALA ESA:  
Positioning of Rolling Rolls

Master's thesis 44 pages, appendices 3 pages  
June 2018

---

This thesis was commissioned by SSAB Europe Oy, Hämeenlinna Tube Works, which has applied for the IATF 16949-certificate, to get delivery high-strength tubes for Automotive industry. The aim was to get stable process, because IATF 16949-certificate required reduction of variation. Nowadays old rolling stands with manual control are used in Tube Works. Tube outside dimension variation could be minimized with an automatic control system.

The aim of this study was to plan an automatic control system for a rolling stand. The purpose was to find a reliable sensor to measure the positioning of the rolling stands. The repeatability target was set to  $\pm 0,10$  mm. The sensor had to fit to the old rolling stand, for not to disturb the operator and mechanic work. In addition, the sensor had to withstand rolling emulsion and scale.

A magnetostrictive sensor was chosen as an optimal sensor, because it was easy to integrate in the old rolling stand. Additionally, this sensor was maintenance free and insensitive to outside disturbances. The average repeatability of the magnetostrictive sensor was  $\pm 0,0375$  mm in testing. This was significantly better than the original aim of  $\pm 0,10$  mm. As a result of testing, the magnetostrictive sensor was proven to be strict enough for the automatic control system. The result of this study will be utilized to escalate the automatic control system to all lines.

---

Key words: sensor, positioning, control system

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	SSAB .....	7
2.1	Konserni.....	7
2.2	Hämeenlinnan putkitehdas.....	7
3	OHUTSEINÄPUTKITUOTANTO.....	9
3.1	Käyttökohteet.....	9
3.2	Kylmämuovatus teräsputken valmistusprosessi.....	9
4	PUTKIKONEEN MANUAALISÄÄDÖN VAIHTELUT.....	13
4.1	Rullien vaihto ja manuaalinen säätäminen .....	13
4.2	Mittausepävarmuus manuaalisäädössä .....	16
4.2.1	Satunnaisvirheet .....	16
4.2.2	Systemaattiset virheet.....	16
4.2.3	Karkeat virheet.....	17
5	AUTOMAATTINEN SÄÄTÖJÄRJESTELMÄ.....	18
5.1	Vaatimukset .....	18
5.2	Anturivaihtoehdot valssauspukin asemointiin .....	18
5.2.1	Laser-anturi .....	19
5.2.2	Induktiivinen liikeanturi.....	20
5.2.3	Absoluuttianturi .....	21
5.2.4	Magnetostriktiivinen anturi.....	21
5.3	Optimaalisen anturin valinta valssauspukille.....	22
6	SUUNNITTELU .....	25
6.1	Ohjausjärjestelmän suunnittelu.....	25
6.1.1	Ohjelmoitava logiikka (PLC).....	26
6.1.2	Käyttöliittymä .....	27
6.1.3	Taajuusmuuttaja .....	29
6.1.4	I/O-analogiakortti.....	30
6.1.5	Ethernet väylä.....	30
6.2	Ohjelmointisuunnittelu .....	31
6.2.1	Logiikan ohjelmointi.....	32
6.3	Rakenteellinen suunnittelu.....	33
7	TESTAUS JA TULOKSET .....	35
7.1	Testin toteutus .....	35
7.2	Tulokset .....	37
7.3	Tulosten analysointi.....	39
8	POHDINTA.....	41

LÄHTEET .....	43
LIITTEET .....	46
Liite 1. Absoluuttianturin mittausepävarmuus prosentteina mitta-alueesta. ....	46
Liite 2. IP-luokitus (SFS-EN 60529+A1 2000, 30-32) .....	47
Liite 3. Normaalijakauma testi .....	48

## 1 JOHDANTO

SSAB Europe Oy:n Hämeenlinnan putkitehdas hakee IATF 16949-sertifikaattia, tavoitteenaan pystyä toimittamaan erikoislujia teräsputkia autoteollisuuden käyttöön. Tällä hetkellä autoteollisuudessa käytettävät, erikoislujat teräsputket, toimitetaan tehtaille tukkukauppioiden kautta.

IATF 16949-sertifikaatin asettamiin vaatimuksiin kuuluu tuotteen vaihtelun pienentäminen (Karjalainen 2017.), jonka takia prosessista täytyy saada nykyistä vakaampi. Hämeenlinnan putkitehdas käyttää putken valmistuksessa 1980-luvulta peräisin olevia valssauspukkeja. Tämä asettaa omat haasteensa sertifikaatin edellyttämään vaihtelun pienentämiseen. Manuaalisesti säädettävien valssauspukkien säätö pitää tehdä aina, kun putken dimensioissa tai laadussa tapahtuu muutoksia. Tilauserät ovat pienentyneet, koska tuotteita on nykyään tarjolla enemmän. Lisäksi asiakkaat optimoivat omia varastojaan eivätkä halua sitoa pääomaansa isoihin varastoihin. Tämän vuoksi he tilaavat vain tarvittavan määrän. Tämä kaikki johtaa siihen, että säädön tarve on kasvanut. Manuaalinen säätö vie aikaa ja lisää romun määrää, jolloin kustannustehokkuus kärsii. Manuaalisäädössä on aina myös mittausepävarmuutta.

Tämän työn *tavoitteena* on suunnitella Hämeenlinnan putkitehtaalle automaattinen säätöjärjestelmä valssauspukkeja varten. *Tarkoituksena* on löytää luotettava anturi mittaamaan valssauspukkien rullien asemaa. On pystyttävä todentamaan, että tehtaan tuotteet ovat IATF 16949-standardin vaatimusten mukaisia. Tulosten analysoinnin lähtökohta on mittaustulosten luotettavuus. Tämän takia valssauspukkien oikean aseman todentavan mittauslaitteen tulee olla luotettava. Mittaustulokset antavat myös tärkeää informaatiota suorituskyvystä. Kun mittaustarkkuus paranee ja mittausepävarmuus pienenee, prosessista tulee vakaampi ja tuote-erien välinen vaihtelu on pientä.

## 2 SSAB EUROPE OY

### 2.1 Konserni

SSAB Europe Oy on ruotsalainen, globaalisti toimiva teräsyhtiö. Tuotteita ovat erilaiset levy-, nauha- ja putkituotteet. Yhtiö tarjoaa myös monipuolisia palveluja erilaisissa rakentamiseen liittyvissä ratkaisuissa. SSAB Europe Oy:n tavoitteena on hakea kasvua erikoislujan teräksen tuotannolle. Tarkoituksena on tehdä kevyempiä, lujempia ja kestävämpiä tuotteita autoteollisuuden käyttöön, sekä yhtiön alihankkijoille. Yhtiössä työskentelee yhteensä noin 15 000 henkilöä 50 maassa. Tehtaita löytyy Ruotsin lisäksi Suomesta ja Yhdysvalloista. (SSAB 2017a.) Putkituotanto keskittyy kuitenkin Suomeen ja Ruotsiin. Suomen putkitehtaat sijaitsevat Hämeenlinnassa, Lappohjassa, Oulaisissa ja Pulkkilassa. Ruotsin putkitehdas sijaitsee Virsbossa. (SSAB 2017b.)

### 2.2 Hämeenlinnan putkitehdas

SSAB Europe Oy:n Hämeenlinnan putkitehdas valmistaa kylmämuovattuja, HF -pituussaumahitsattuja teräsputkia. Rautaruukki Oyj osti Huhtamäki -yhtymän omistaman Paltek -putkitehtaan 4.6.1973. Aluksi tuotantoon käytettiin ainoastaan yhtä linjaa, mutta nykyään tuotantolinjoja on neljä. Kolme linjoista tekee ohutseinäputkia ja yksi rakenneputkia (Kiviranta 9.5.2017.)

Hämeenlinnan putkitehdas valmistaa teräsputkia mitta-alueella 25 - 88.9 mm. Seinämänpaksuus vaihtelee välillä 0.8 – 5 mm. Tehtaan linjastolla työskennellään normaalisti kaksivuorotyössä, kapasiteetin ollessa n. 70 000 tonnia teräsputkea. (Kiviranta 9.5.2017.)

Päämarkkina-alueena ovat Pohjoismaat, mutta teräsputkia toimitetaan myös ympäri maailmaa. Suurin osa tehtaan tuotannosta suuntautuu Suomeen ja Ruotsiin. Vuonna 2016 toimituksien tonnimäärät jakaantuivat seuraavasti; ohutseinäputkia oli noin 60 % ja rakenneputkia 40 %. Suurin osa tuotteista on pyöreitä ja neliskanttisia, joiden lisäksi tehdään erikoisprofiileja asiakkaiden toivomusten mukaan (kuva 1). (Kiviranta 9.5.2017.)



Kuva 1. Hämeenlinnan tehtaan erikoisprofiilit (SSAB 2017c)



### 3 OHUTSEINÄPUTKITUOTANTO

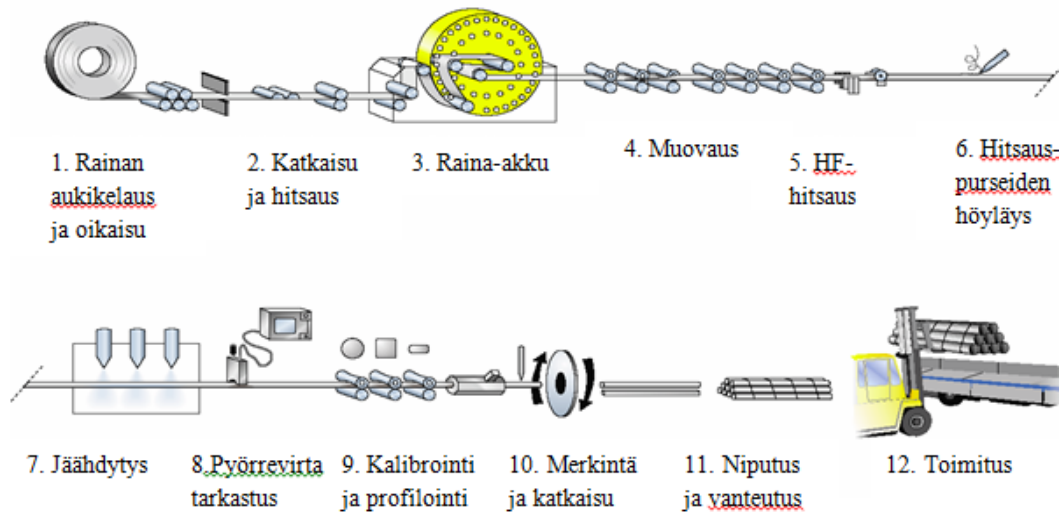
#### 3.1 Käyttökohteet

Ohutseinäputkia käytetään kohteissa, joissa teräsputkelta vaaditaan muovattavuutta, lujuutta, profiilinmuotoa, pinnanlaatua, hitsattavuutta ja työstettävyyttä. Näin ollen ne soveltuvat moniin eri kohteisiin. Lisäksi sopivalla pinnankäsittelyllä saavutetaan haluttu ulkonäkö ja korroosionkestävyys. Ohutseinäputkien käyttökohteita ovat esimerkiksi huonekalut, kuntoiluvälineet, työpöydät, autojen turvarakenteet, pien- ja teollisuusrakentaminen, sekä useat teollisuuden tuotteet. (Röytiö et al 1994.)

Erikoislujien ohutseinäputkien käyttö on lisääntynyt voimakkaasti. Erityisesti autoteollisuus käyttää hyväksi lujia ohutseinäputkia turvarakenteissa ja turvallisuuden liittyvissä komponenteissa. Autoteollisuuden siivittämänä muutkin teollisuuden alat ovat alkaneet käyttää erikoislujia ohutseinäputkia. Enimmillään murtolujuus ilman lämpökäsitteilyä on jopa 1 000 MPa. (SSAB 2017c.)

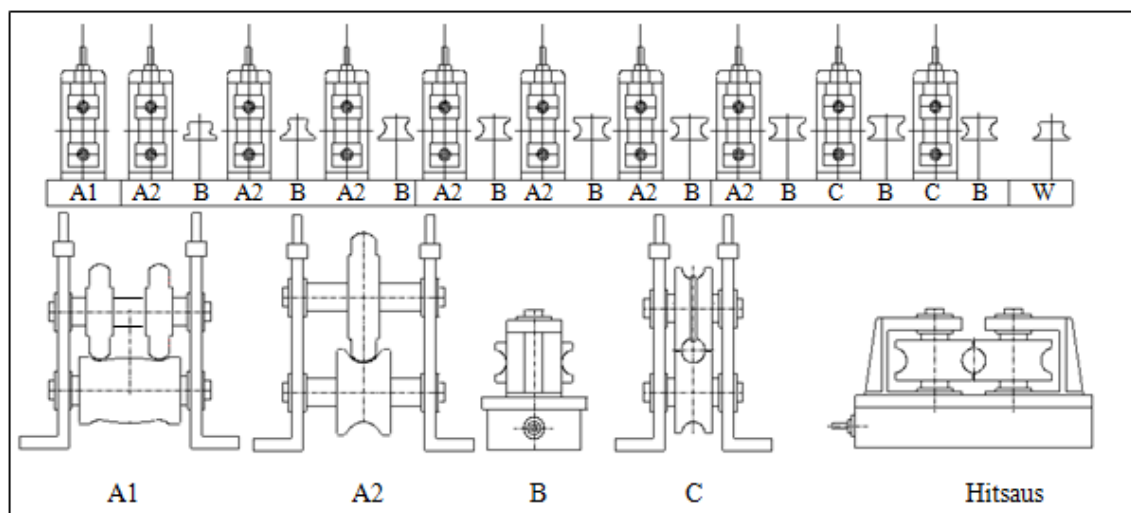
#### 3.2 Kylmämuovatus teräsputken valmistusprosessi

Pituussaumahitsatut ohutseinäputket valmistetaan jatkuvatoimisessa putkilinjassa. Kuvassa 2 on kuvattu putken valmistusta ja sen eri työvaiheista. Valmistus alkaa rainasta, joka on leikattu vaadittuun leveyteen kelasta. Rainat avataan ja oikaistaan (1, ks. Kuva 2). Rainan päät leikataan ja hitsataan kiinni toisiinsa (2) pitemmäksi rainaksi, joka kelaataan raina-akkuun (3). Raina-akkuun voidaan syöttää rainaa linjanopeutta nopeammin, jolloin jatkohitsaus voidaan suorittaa linjaa pysäyttämättä. (Röytiö et al 1994.)



Kuva 2. Pituussaumahitsatun putken valmistuksen periaate. (SSAB esittelymateriaali)

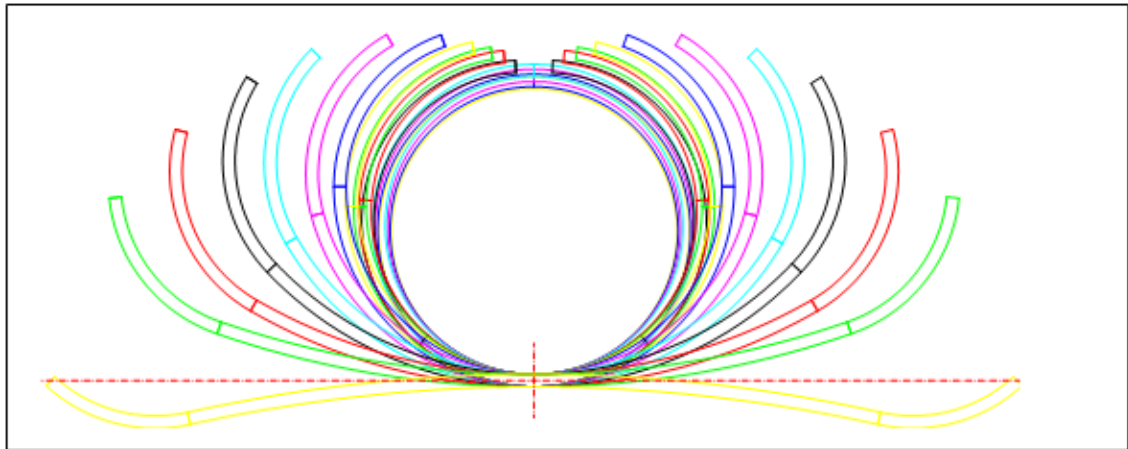
Esikäsitelty raina syötetään raina-akusta muovausosaan. Raina muovataan aina pyöreäksi peräkkäisissä muovausrullissa (4). Muovausosaan kuuluu useita pareja muovausrullia, sivurullia ja veitsirullia (kuva 3). Rullien materiaalina on käytetty yleensä tavallisia rakenneteräksiä, hiiletyskarkaisuteräksiä, nitrattavia erikoisteräksiä, alumiinipronssia tai muoveja. (Nivala 1996.)



Kuva 3. Eri muotorullien sijainti putkilinjalla (A1 ja A2 ovat muovausrullia, B on sivurulla, C on veitsirulla ja W on hitsausrulla). (Mukaiillen Sarkomaa 2000)

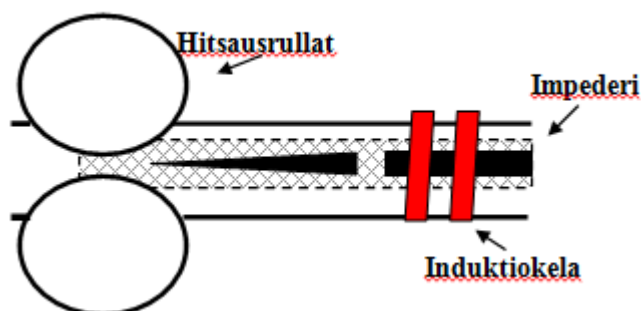
Muovausrullien ja sivurullien tehtävänä on muovata rainan ulkoreunat niin, että rainasta tulee avoin profiili, joka voidaan ajaa suoraan veitsirullille. Veitsirullat muovaavat avoimesta profiilista lähes suljetun profiilin, joka voidaan ajaa hitsaukseen. Veitsirullan

tarkoituksena on myös korjata ensimmäisestä muovausrullasta aiheutuva rainan ulko-reunan taipuma. Kuvassa 4 näytetään, miten raina muotoutuu muovausosassa



Kuva 4. Rainan taipuminen muovausosassa. (SSAB esittelymateriaali)

Hitsaus (5) yhdistää rainan reunat, jolloin muodostuu suljettu profiili. Rainan reunat hitsataan yhteen suurtaajuushitsaus -menetelmällä. Suurtaajuushitsaus on puristushitsausmenetelmä, jossa hitsauskohtaan johdetaan suurtaajuusvirta ja liittyvät pinnat kuumenevat vastuslämmön vaikutuksesta. Kuvassa 5 havainnollistetaan putken hitsausta. Induktiokelalla indusoidaan virta putkeen. Induktiokela ei ole fyysisessä kosketuksessa putken kanssa. Kela on valmistettu kuparista, jonka sisällä vesijäähdytys kiertää putken ympäri. Putken sisällä on impederi, jonka avulla virta keskitetään rainan reunoihin. Lopuksi hitsausrullat puristavat kuumenneet rainan reunat vastakkain ja ne hitsautuvat yhteen.



Kuva 5. Putken hitsaus HF-menetelmällä. (SSAB esittelymateriaali)

Kun hitsaus on suoritettu, höylätään putkesta ulkopuolinen hitsauspurse ja tarvittaessa voidaan höylätä sisäpuolinen hitsauspurse (6). Höyläyksen jälkeen tapahtuu jäähdytys

vesilaatikossa (7) ja sitten putki tarkastetaan pyörrevirtalaitteella (8). (Sarkomaa 2000, Röytiö et al 1994.)

Lopulliseen mittaansa putki kalibroidaan kalibroitirullastossa (9). Tämän jälkeen pyöreä putki oikaistaan profilointirullastolla (9) ja tarvittaessa muoto profiloidaan neliö-, suorakaide- tai erikoisprofiiliksi. Lopuksi putki katkaistaan (10) lentävällä sahalla määramittaan. Sitten putket niputetaan (11) ja toimitetaan (12) asiakkaalle. (Röytiö et al 1994.)

## 4 PUTKIKONEEN MANUAALISÄÄDÖN VAIHTELUT

### 4.1 Rullien vaihto ja manuaalinen säätäminen

Rullanvaihto tehdään siinä vaiheessa, kun teräsputken ulkodemensiot muuttuvat. Hämeenlinnan putkitehtaalla on kaksi eri vaihtojärjestelmää, riippuen linjasta. Rullat vaihdetaan linjalla yksi valssauspukki kerrallaan, tai rullahuollosta tuodaan esisäädettyjä kasettialustoja. Yhdessä kasettialustassa on 2-4 valssauspukkia, kasettialustasta riippuen. (Kosunen 23.5.2017.)

Yksi valssauspukki (kuva 6) kerrallaan vaihdettaessa prosessi etenee seuraavalla tavalla: Ensin otetaan irti etupukki, jonka jälkeen ylä- ja alarullarulla irrotetaan akseleistaan. Sitten laitetaan tilalle uudet rullat ja laitetaan etupukki uudestaan kiinni. Valssauspukkeja on yhteensä 11 kappaletta linjalla. (Kosunen 23.5.2017.)



Kuva 6. Valssauspukki (Kuva: Esa Isopahkala 2017)

Huomattavasti nopeampi vaihtotapa on kasettialustan vaihto. Vaihto tapahtuu samalla tavalla kuin valssauspukissa, mutta se tehdään etukäteen rullahuollossa vaihtokasettialustalle. Näin linja saadaan säätövaiheeseen nopeammin, kuin valssauspukki kerrallaan vaihdettaessa. Kasettialustat esisäädetään rullahuollossa, josta ne siirretään trukilla

putkilinjalle ja asennetaan paikoilleen. Kasettialustojen määrä on 3-4 kappaletta riippuen linjasta. Kuvassa 7 on kasettialusta, johon valssauspukit on kiinnitetty. (Kosunen 23.5.2017.)



Kuva 7. Vaihtokasettialusta (Kuva: Esa Isopahkala 2017)

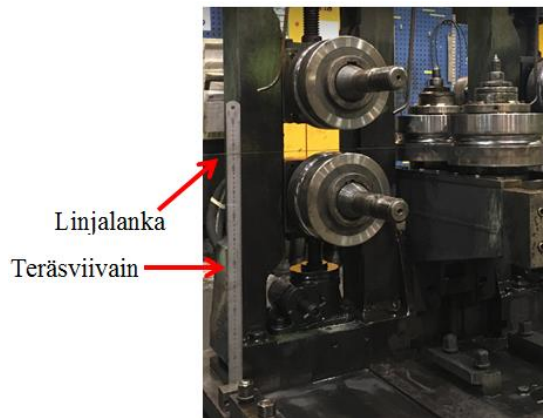
Molemmilla vaihtojärjestelmillä putkilinjalla säätäminen tehdään manuaalisesti. Säätäminen tehdään silloin, kun putken ulkodemensio, laatu tai paksuus muuttuu. Säätöarvot jokaiselle olemassa olevalle tuotteelle löytyvät ERP -järjestelmästä. (Kosunen 23.5.2017.)

Rullahuollossa kasetit linjataan valmiiksi. Alarullat laitetaan oikeaan linjauskorkoon linjalangalla. (kuva 8).



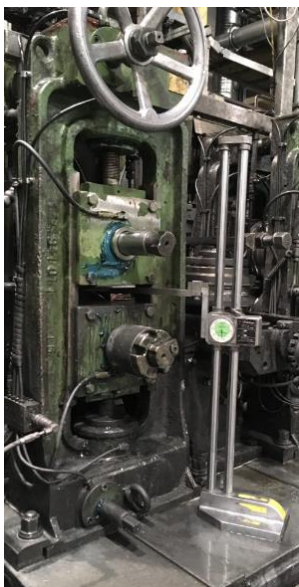
Kuva 8. Kasetin linjaus rullahuollossa, punainen viiva kuvaa linjauslankaa. (Kuva: Esa Isopahkala 2018)

Linjauslanka laitetaan säätöarvotaulukon mukaan oikeaan korkoon. Korko mitataan teräsviivaimella (kuva 9). Linjalanka vedetään rullien välistä ja alarullat nostetaan siten, että silmämääräisesti linjalanka koskettaa juuri ja juuri alarullia.



Kuva 9. Teräsviivain alarullan koron mittaukseen. (Kuva: Esa Isopahkala 2018)

Kun alarullat ovat oikeassa korossa, lasketaan ylärullat alas, säätöarvotaulukon mukaan oikeaan asemaan. Rullien välinen etäisyys mitataan vällysmittalla. Linjalla alarullien linjauskorko mitataan piirtojalalla, laittamalla piirtojalan mittakärki alarullan yläpintaan kiinni. Säätöarvotaulukosta katsotaan alarullankorko. (kuva 10).



Kuva 10. Piirtojalalla valssauspuikin alarullan koron mittaukseen. (Kuva: Esa Isopahkala 2018)

Kun alarullat on saatu oikeaan korkoon, säädetään ylärullat säätöarvotaulukon mukaan oikeaan asemaan. Säätöarvotaulukon on laitettu putken mitat valssauspuikin jälkeen.

Operaattori tekee jokaisen valssauspukin jälkeen tarkistusmittauksen, mittaamalla työntömitalla putken halkaisijan. (Kosunen 23.5.2017.)

## **4.2 Mittausepävarmuus manuaalisäädössä**

Mittaustulos pitää aina ilmoittaa mittausepävarmuuden kanssa, muuten mittaustulos ei ole täydellinen. (Andersson et al. 1997, 147.) Mittausvirheitä tulee aina, sillä mittaukseen vaikuttavat monet osatekijät, jotka eivät ole hallittavissa. Näitä osatekijöitä ovat mm. mittalaite, mittaaja, mittaustapa, mitattava kohde, ympäristö, perusmitat ja näihin kaikkiin mittauksen aikana tapahtuvat muutokset. (Andersson et al. 1997, 127.)

Näiden osatekijöiden tulokset voidaan erottaa kahdella eri tavalla, tilastollisia menetelmiä ja muita menetelmiä hyödyntäen. Mittausepävarmuus ei kuitenkaan ole suoraan riippuvainen siitä, kummalla menetelmällä osatekijöiden tulokset on saatu. Epävarmuuden lopullinen määrittely tapahtuu aina samalla tavalla, eli tilastollista menetelmää käyttämällä. (Andersson et al. 1997, 148.) Mittausepävarmuus jaetaan yleisesti kolmeen osa-alueeseen: Satunnaisiin, systemaattisiin ja karkeisiin virheisiin.

### **4.2.1 Satunnaisvirheet**

Satunnaisvirheet ovat virheitä, joita ei pysty hallitsemaan mittausteknisesti. Satunnaisvirheitä ei voi yksitellen erottaa. Satunnaisvirheiden vaikutus ja suuruusluokka saadaan selville vain siinä tapauksessa, että tehdään paljon mittauksia ja lasketaan niiden keskiarvo. (Andersson et al. 1997, 129.) Putken manuaalisessa säädössä voidaan pienentää satunnaisvirheitä, mittaamalla putki useamman kerran valssauspukkien välistä. Yleensä mittaus tehdään vain kerran.

### **4.2.2 Systemaattiset virheet**

Systemaattinen virhe on nimensä veroinen: Virhe tapahtuu systemaattisesti, joten se on helposti ennustettavissa. Tämä tarkoittaa sitä, että mittausvirhe on toistettavissa samoissa olosuhteissa tai että se tietyissä olosuhteissa toimii ennustettavasti. Systemaattisilla virheillä on tietty suunta ja suuruus, jotka ovat säännönmukaisia. Mitä paremmin vallit-



sevat tekijät tunnetaan, sitä paremmin voidaan olettaa, että kyseessä on systemaattinen virhe. (Andersson et al. 1997, 128.)

Systemaattisia virheitä on myös toisenlaisia; niin kutsuttuja tuntemattomia systemaattisia virheitä. Näitä virheitä ei voi kompensoida, koska niiden suuruutta ja syntymekanismia ei tiedetä. Suuruus ja suunta voidaan ainoastaan arvioida. Niitä täytyy käsitellä matemaattisesti, kuten satunnaisia virheitä. (Andersson et al. 1997, 128.) Systemaattiset virheet ovat laskettavissa. On kuitenkin muistettava, että tulos on aina vain arvio, ei absoluuttinen tulos. (Andersson et al. 1997, 148.) Käytettävä mittalaite tai mittaussmenetelmä voi aiheuttaa systemaattisen virheen. Tällöin käytetään yleensä kalibrointia systemaattisen virheen pienentämiseksi. (Keinänen & Järvinen 2014, 95.) Manuaalisessa säädössä mittalaitteita ovat työntömitta, piirtojalka, teräsviivain ja välysmitta. Työntömitta kalibroidaan päivittäin 50 mm mittapalalla, minkä lisäksi vuoden välein tehdään tarkempi kalibrointi työntömitan kalibrointisarjalla. Kalibrointisarjaan kuuluvat 10, 30, 50 ja 125 mm mittapalat sekä 10 mm mittatanko, jolla tarkistetaan työntömitan leukojen suoruus toisiinsa nähden. Piirtojalka ei ole kalibroinnin piirissä. Aina kun alarullat linjataan, nollataan piirtojalka tasopöytää vasten. Teräsviivainta ei voi kalibroida, vaan se uusitaan lukemien tai viivojen kuluttua liikaa. Myöskään välysmittaa ei voi kalibroida, vaan se uusitaan lukemien kuluttua liikaa.

### **4.2.3 Karkeat virheet**

Karkeat virheet ovat nimensä mukaisesti erittäin isoja virheitä verrattuna systemaattisiin ja satunnaisiin virheisiin. Ne sisältävät erityyppisiä virheitä, kuten huolimattomuusvirheitä. Tämän ryhmän pahimpia virheitä ovat kuitenkin ajatusvirheet. (Andersson et al. 1997, 130.) Karkeita virheitä manuaalisäädössä tapahtuu yleensä silloin, jos työssä ollaan liian hätäisiä tai huolimattomia. Varsinkin valssauspukkien välistä työntömitalla mitattaessa pitää olla erittäin huolellinen. Kun putkea mitataan ahtaiden valssauspukkien välistä, työntömitan lukemaa ei näe. Mittaus tapahtuu siten, että operaattori asettaa teräsputken työntömitan leukojen väliin. Kun operaattori on omasta mielestään saanut työntömitan hyvin asettumaan, leuat ovat toisiinsa nähden suorassa ja puristusvoima on riittävä. Tämän jälkeen operaattori painaa Hold-nappia ja ottaa työntömitan pois valssauspukkien välistä ja tarkistaa lukeman.

## 5 AUTOMAATTINEN SÄÄTÖJÄRJESTELMÄ

### 5.1 Vaatimukset

Valssauspukkien oikean aseman todentamiseksi tarvitaan luotettava anturi, sillä luotettavat mittaustulokset ovat lähtökohta tulosten analysoinnille. Anturilta vaaditaan toimintavarmuutta ja toistettavuutta. Toistettavuuden on oltava vähintään +/- 0,1 mm. Anturiin kohdistuu paljon valssausemulsiota ja -hilsettä, joten sen pitää olla helposti suojattavissa. Anturi pitää sijoittaa sellaiseen paikkaan, jossa se ei häiritse operaattoria eikä kunnossapidon asentajaa huoltotöissä.

Ohjausjärjestelmältä vaaditaan, että se asemoi valssausrullat automaattisesti oikeaan asemaan. Myös vikadiagnostiikka on tärkeää, jotta voidaan tarvittaessa ennakoida tulevat viat, ennen kuin ne ehtivät aiheuttaa pahempaa vahinkoa. Ohjausjärjestelmän pitää estää mekaaniset vahingot, kuten valssausrullien törmäys. Tämä voidaan tehdä ohjelmalla logiikkaan tietyt ehdot. Valssausrullien aseman raportoinnin ylempiin järjestelmiin pitää olla mahdollista, jotta voidaan esimerkiksi seurata valssausrullien asemaa ajosta toiseen ja tarvittaessa korjata säätöjä vastaamaan optimaalista tulosta.

Myös turvallisuus on otettava huomioon. Henkilöiden pääseminen vaara-alueelle on estettävä. Operaattorien käyttöliittymän pitää olla helppokäyttöinen ja selkeä. Käyttöliittymässä pitää olla selkeästi todettavissa, mitkä ovat kunkin tuotteen valssauspukkien mittauservot ja mitkä ovat sallitut toleranssit. Myös optimaalisten arvojen pitää näkyä selkeästi. Seuraavan ajettavan tuotteen tulee olla helposti valittavissa käyttöliittymästä. Siinä pitää näkyä myös hälytys, mikäli mittauservo ylittää sallitut toleranssit.

### 5.2 Anturivaihtoehdot valssauspukin asemointiin

Paras asema-anturi valssauspukin asemointiin valitaan tekemällä kartoitusta eri vaihtoehtojen välillä. Sopiva anturi valssauspukin rullan asemointiin valitaan teorian ja kokemuksen perusteella. Hämeenlinnan putkitekhtaalla pidettiin 9.5.2017 palaveri, jossa anturin vähimmäisvaatimuksista sovittiin. Anturin tulisi olla helposti integroitavissa valssauspukkiin. Lisäksi mittausalueen tulee olla vähintään 100 mm, joka on valssauspukin

rullan maksimisiirtymä. Mittausepävarmuuden on oltava  $\leq 0,2 \%$ , jolloin toistettavuus 100 mm alueelle on enintään  $\pm 0,10$  mm. Lisäksi anturin pitää kestää valssausemulsioita ja -hilsettä.

### 5.2.1 Laser-anturi

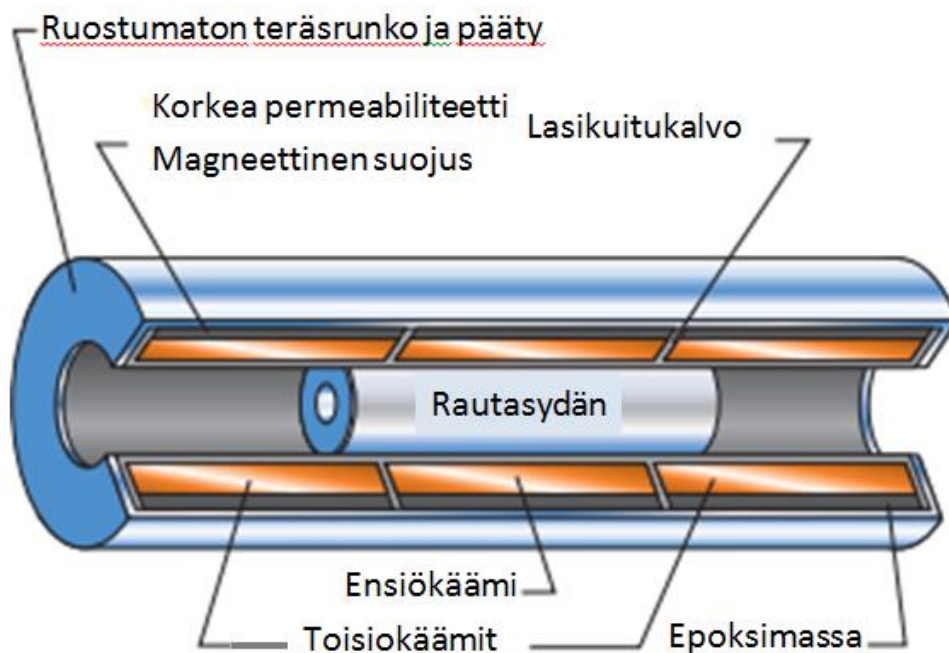
Laser-anturin toiminta perustuu valonsäteen sironnan kautta muodostuneen kuvapisteen paikantamiseen, valopulssin kulkuu aikaan tai laser-interferometriaan. Valonsäteen sironnaan perustuva laser-anturi koostuu lähettimenä toimivasta laserdiodista ja vastaanottimesta, jotka ovat eri kulmassa toisiinsa nähden. Laserdiodi lähettää infrapunavalopisteen mittaushetkeen, josta valopiste siroaa takaisin valoherkkään vastaanottimeen. Eri etäisyydellä oleva kohde heijastaa valon eri kohtaan vastaanottimessa. Tämä mahdollistaa etäisyyden mittaamisen anturiin kytketyllä keskusyksiköllä. Etäisyyden mittaamisen lisäksi anturin avulla voidaan mitata pinnan profiilia ja paksuutta. Käyttökohteita ovat esim. sahatavaran lajittelu ja mittojen valvonta. Mittausalueen mittausepävarmuus on  $0,05 \%$ , mittausalueen vaihdellessa muutamasta sentistä puoleen metriin (Fonselius et al. 1994, 89, Airila 2004, 25.)

Valopulssin kulkuu aikaan perustuvan laser-anturin avulla pystytään selvittämään etäisyyksiä, mittaamalla valon vaiheikaa tai sen kulkuu aikaan lähettimestä vastaanottimeen. Vaiheikamittauksessa suodatetaan kohteesta heijastuva valonsäde, jonka jälkeen lähtevää valonsädettä moduloidaan tunnetulla taajuudella. Etäisyyttä mitataan vertaamalla saapuvan valon ja lähtevän valon vaihetta. Kulkuu aikaan suoraan mitattaessa lähtevä lähettää valopulsseja, jotka antavat aikamerkin kulkuu aikamittausta varten. Vastaanotin antaa toisen ajoituspulssin kohteesta heijastuvan pulssin perusteella. Etäisyys mittalaitteen ja kohteen välillä lasketaan sen perusteella, mikä aikaero on pulssien välillä (Fonselius et al. 1994, 89, Airila 2004, 25.)

Laser-interferometriassa monokromaattinen säteilijä lähettää puoliläpäisevän peilin läpi valoa. Peili jakaa säteilijästä lähtevän valon mittaussäteeseen ja vertailusäteeseen. Vertailusäde heijastuu laitteen sisällä olevasta tasopeilistä ja mittaussäde mitattavasta kohteesta. Vertailu heijastuneiden säteiden vaiheiden välillä tehdään interferometrisesti. Kun kohde liikkuu valon aallonpituuden puolikkaan verran, ilmaisimeen syntyy intensiteettiminimi, jolloin erotustarkkuus on parhaimmillaan 200 nm. (Airila 2004, 24.)

### 5.2.2 Induktiivinen liikeanturi

LVDT (Linear Variable Differential Transformer), eli differentiaalimuuntaja sisältää kaksi toisiokäämiä ja yhden ensiökäämin (kuva 11). Käämit ovat lieriömäisiä. Toisiokäämit sijaitsevat anturirungon molemmissa päissä ja ensiökäämi on niiden keskellä. Epoksimassa eristää käämit toisistaan. Lasikuitukalvon tarkoituksena on ehkäistä kosteuden pääseminen käämeihin sekä parantaa lämpöstabiilisuutta. (Fonselius et al. 1994, 94.)



Kuva 11. LVDT -anturin rakenteen kuvallinen esitys (TE connectivity 2018)

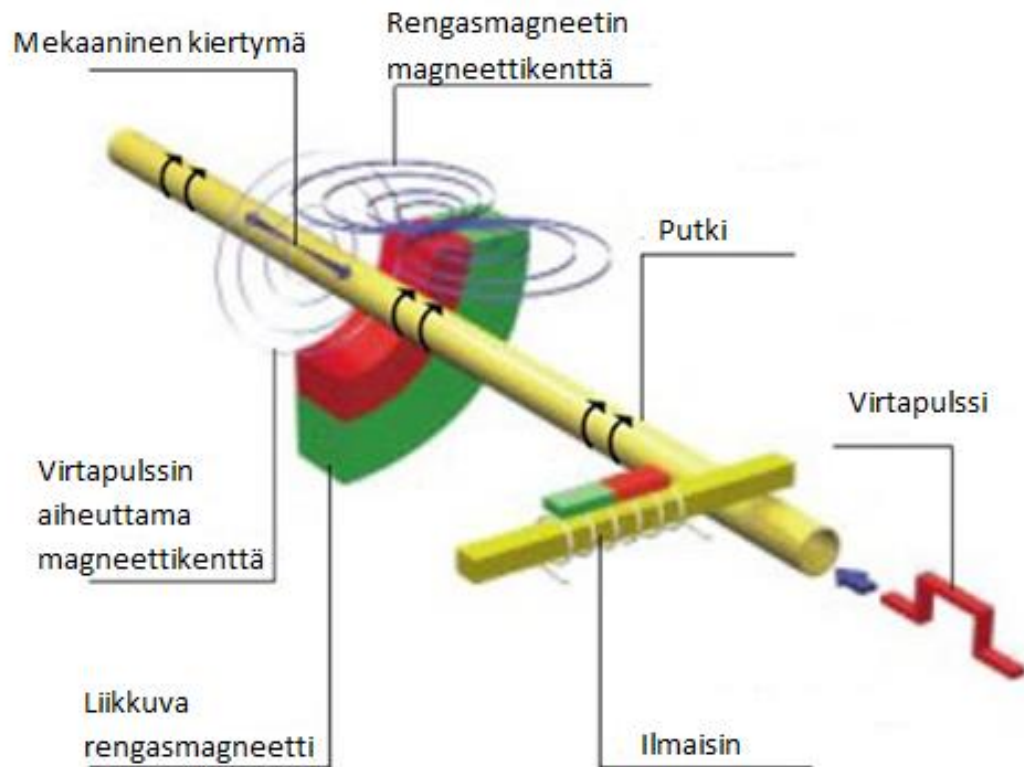
LVDT-anturi toimii sähkömagneettisen induktion periaatteella. Tietyn taajuinen vaihtojännite syötetään ensiökäämiin, jolloin rautasydämen ollessa keskiasennossa, toisiokäämeihin on indusoitunut yhtä suuri jännite. Tällöin lähtöjännite on nolla. Tämä johtuu siitä, että toisiokäämien vaihe-ero on 180 astetta. Käämien induktiojännitetasapaino muuttuu, kun rautasydän liikkuu pois keskiasennosta. Rautasydämen siirtymä näkyy suoraan lähtöjännitteen lukemassa. Lähtöjännite on yleensä alueella 10-24 VDC. (Fonselius et al. 1994, 94, Airila 2004, 19.) LDTV-anturien rakenne on yksinkertainen ja näin ollen varmatoiminen. Käyttökohteena on mm. karan asemanmittaus servoventtiileissä. Mittausalueen mittausepävarmuus on 0,2 % -1,5 %. Mittausalue voi olla jopa 2500 mm asti. LDTV-anturi ei kestä voimakkaita värinöitä ja iskuja. (Fonselius et al. 1994, 94, Airila 2004, 20.)

### 5.2.3 Absoluuttianturi

Absoluuttianturi sisältää pulssikiekkoja, joissa on useita vyöhykkeitä. Vyöhykkeiden määrä riippuu anturityypistä. Normaalisti vyöhykkeitä on 6-12 kappaletta, mutta tarkkuusantureissa niitä voi olla jopa 20 kappaletta. Vyöhykkeissä on vuoron perään valoa läpäisemättömiä ja sitä läpäiseviä sektoreita. Pulssikiekkoa luetaan sen sädettä pitkin, jolloin vyöhykkeiden perusteella voidaan lukea binäärikoodattua paikkatietoa. Absoluuttianturin LED-valo yhdensuuntaistetaan ja valo ohjataan linssiin. Tällöin valonsäteet suuntautuvat polttopisteeseensä. Anturi voi käyttää luonnollista binäärikoodia (BCD-koodi) tai GRAY-koodia. Jälkimmäisen koodin hyvänä puolena on se, että lukeman muuttuessa vain yksi bitti muuttuu kerrallaan ja mittauksen luotettavuus paranee. (Airila 2004, 15-16.) Absoluuttianturien käyttökohteita ovat esim. NC-koneet ja robotiikka, joissa vaaditaan suurta luotettavuutta mittaukselle. (Fonselius et al. 1994, 106.) Mittausalueen mittausepävarmuus on 0,2 – 0,5 astetta. (Airila 2004, 16.)

### 5.2.4 Magnetrostriktiivinen anturi

Magnetrostriktiivinen anturi on lineaarianturi ja sen toiminta perustuu Wiedermann-ilmioon (kuva 12). Kun ferromagneettiseen sauvaan johdetaan virta, sauvan ympärille muodostuu aksiaalinen magneettikenttä ja sauva kiertyy. Magnetrostriktiivisessä anturissa putken sisällä on johdin ja putken ympärillä rengasmagneetti. Pulssigeneraattori lähettää virtapulssin sisällä olevaan johtimeen. Wiedermann-ilmion vaikutuksesta johtimen ympärille syntyy aksiaalinen magneettikenttä. Magneettikentän osuminen rengasmagneetin aikaansaamaan magneettikenttään aiheuttaa putken kiertymisen törmäyskohdassa. Kiertymä kulkee johtimessa molempiin suuntiin ultraäänen nopeudella. Anturin vapaassa päässä on vaimennin, jonka avulla heijastuman eteneminen estetään. Anturin rungonpuoleisessa päässä on ilmaisin, joka pysäyttää laskennan kiertymäaallon osuessa siihen. Kestomagneetin sijainti voidaan laskea tarkalleen ajasta, joka kului virtapulssin lähettämisestä kiertymän havaitsemiseen, (Airila 2004, 21.)



Kuva 12. Magnetrostriktiivisen anturin toimintaperiaate (Sensors & Transducers 2008).

Magnetrostriktiivisen anturin mitta-alue on normaalisti 150 mm -2000 mm, mittaasepävarmuuden ollessa 0,01 % mittausalueesta. Anturi ei ota häiriötä ulkoisista sähkö- ja magneettikentistä, eikä anturissa ole kuluvia osia. Käyttökohteena on mm. servosylinterien asemamittaus. (Airila 2004, 22.)

### 5.3 Optimaalisen anturin valinta valssauspukille

Anturin valinnassa otettiin huomioon seuraavat ominaisuudet:

- Mittausepävarmuus
- Huollettavuus
- IP -luokitus (Valssausemulsion ja -hilseen kesto)

Alla olevasta taulukosta (taulukko 1) näkee minkä painotusarvon kukin ominaisuus on saanut. Jokainen ominaisuus käytiin läpi erikseen ja tämän jälkeen vielä pisteytettiin. Paras anturi saa neljä pistettä, toiseksi paras kolme pistettä, kolmanneksi paras saa kaksi pistettä ja huonoin anturi saa yhden pisteen. Anturin pisteet kerrotaan painotusarvopro-

sentilla ja anturin pisteet lasketaan yhteen. Optimaaliseksi anturiksi valitaan eniten pisteitä saanut anturi.

TAULUKKO 1. Anturin painotusarvot ja pisteytys

Painotusarvo	Mittausepävarmuus	Huollettavuus	IP-luokka	Pisteytys
	50 %	25 %	25 %	
Magnetrostriktiivinen anturi	4 (0.01%)	4	4 (IP68)	4.0
Laser-anturit	3 (0.05%)	1	4 (IP68)	2.8
Absoluuttianturi	2 (0,2°/0.06%)	3	4 (IP68)	2.8
Induktiivinen liikeanturit	1 (0.20%)	2	4 (IP68)	2.0

Mittausepävarmuus ilmoitetaan yleensä prosentteina mittausalueesta. Tämä tarkoittaa, että mittaustuloksissa on tietty epävarmuus, joka sisältää satunnaisvirheet ja tuntemattomat systemaattiset virheet. (Airila 2004, 1.) Magnetrostriktiivisen anturin mittausepävarmuus oli pienin. Sen mittausepävarmuus on viisi kertaa pienempi kuin laseranturilla, jolla mittausepävarmuus oli toiseksi pienin. Huonoin mittausepävarmuus on induktiivisella lineaarianturilla. Absoluuttianturin mittausepävarmuus oli ilmoitettu asteina, mutta muutin tuloksen prosenteiksi (ks. liite 1).

Huollettavuudessa otettiin huomioon, että anturi on mahdollisimman huoltovapaa ja epäherkkä ulkoisille häiriöille. Tällöin parhaaksi anturiksi osoittautui magnetrostriktiivinen anturi. Kyseinen anturi ei ota häiriötä ulkoisista sähkö- ja magneettikentistä, eikä siinä ole kuluvia osia (Airila 2004, 22).

Anturin valmistaja antaa suojaruokituksen antureille. Luokkamerkintänä käytetään kirjainyhdistelmää IP ja sen jälkeen tulee kaksi numeroa. Ensimmäinen numero merkitsee kosketus- ja vierasesinesuojusominaisuuksia. Toinen numero merkitsee vesisuojaominaisuuksia. (Fonselius et al. 1994, 15.) Suojausasteen numeroiden selitykset löytyvät liitteestä 2 (SFS-EN 60529+A1 2000, 30-32). Kaikkiin antureihin löytyy malleja, joissa suojaruokitus on IP68-luokkaa (Sensorola 2018).

Magnetrostriktiivinen anturi sai eniten pisteitä, joten se on optimaalisin anturi valssauspukin asemointiin. Anturiksi valittiin Gefran RK self-aligning version XL0353 -sarjan magnetrostriktiivinen analoginen anturi, virtasignaali 4...20mA. Mittausalue on 0 mm - 150 mm ja toistettavuudeksi luvataan alle 0,01 mm (kuva 13). Tähän anturiin päädyttiin, koska Hämeenlinnan putkitehdas on tehnyt paljon yhteistyötä Pepperl + Fuchs kanssa ja he ehdottivat Gefran:in anturia.



Kuva 13. Gefran:in magnetostriktiivinen anturi. (Gefran 2018)



## 6 SUUNNITTELU

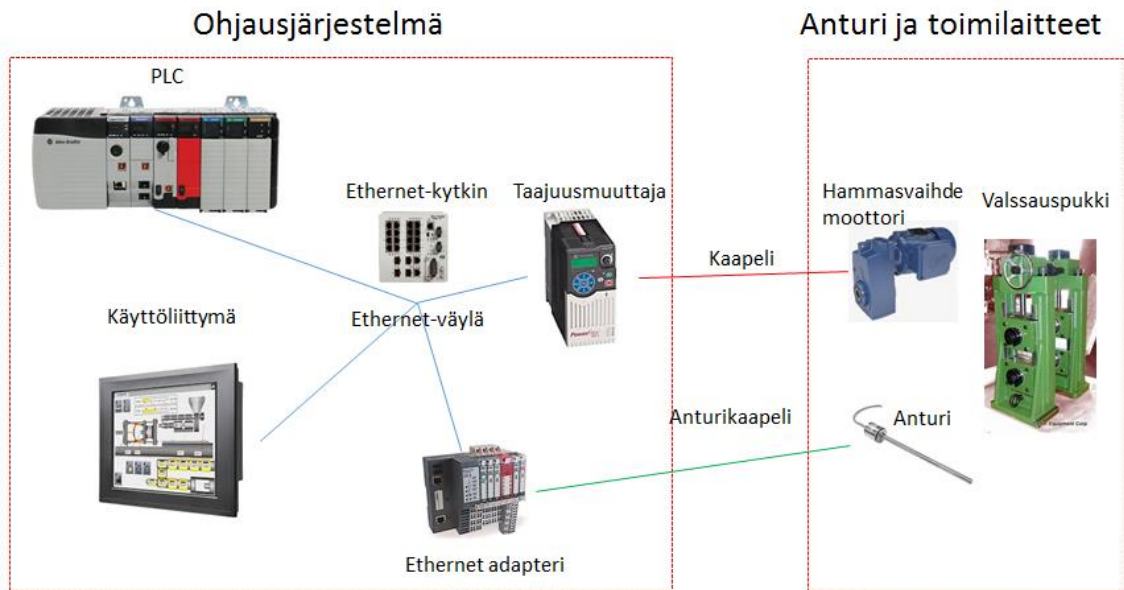
### 6.1 Ohjausjärjestelmän suunnittelu

Automaattisesti toimivien laitteiden ja koneiden erilaisia ohjausmenetelmiä kutsutaan yleisesti ohjausjärjestelmiksi (Keinänen et al. 2007, 209). Ohjausjärjestelmän tärkeimpänä tehtävänä on toimia rajapintana käyttäjän ja koneen välisessä kommunikoinnissa. Ohjausjärjestelmä ilmoittaa koneen tilan näytöllä. Koneen toiminnan pitää olla hallittavissa kaikissa tilanteissa. (Airila 2004, 28.)

Ohjausjärjestelmiä on olemassa avoimia ja suljettuja. Avoimessa ohjausjärjestelmässä toimilaitteiden tilasta ei tiedetä niitä ohjattaessa. Ohjausjärjestelmästä menee käsky toimilaitteelle, mutta ohjauksen varsinaisesta toteutumisesta ei tule erikseen ilmoitusta. Suljetussa järjestelmässä tiedetään aina toimilaitteen tila, koska anturit seuraavat tapahtumaa ja kertovat ohjausjärjestelmälle milloin annettu käsky on toteutunut. (Keinänen et al. 2007, 210.)

Ohjausjärjestelmä voi olla keskitetty tai hajautettu. Keskitetyssä ohjausjärjestelmässä kaikki tieto antureilta ja toimilaitteilta tulee yhdelle keskusohjaimelle, kun taas hajautetussa ohjausjärjestelmässä ohjaus hajautetaan useammalle eri ohjaimelle. Tämä vähentää tiedonsiirtoa ja ohjauksen arkkitehtuurista tulee selkeämpi, jolloin se on tarvittaessa helpompi korjata. hajautetun järjestelmän tarkoituksena on, että tieto käsitellään sen syntypaikassa ja samalla vältetään turhan tiedon välittämistä keskusohjaimelle. (Airila 2004, 28.)

Alla olevassa kuvassa (kuva 14) on kuvattu miten koneet on fyysisesti liitetty kaapeilla toisiinsa. Kyseessä on suljettu järjestelmä, sillä anturi valvoo kokoajan valssauspukin asemaa ja ilmoittaa siitä ohjausjärjestelmälle.



Kuva 14. Valssausrulla-asemoinnin topologia

Kenttälaitteista puhuttaessa tarkoitetaan toimilaitteita ja antureita. Toimilaitteiksi voidaan laskea kaikki sellaiset laitteet, jotka aikaansaavat koneen liikkeen ja toiminnot. Anturit puolestaan keräävät ohjausjärjestelmälle dataa ohjattavista laitteista ja prosesseista. Tämä toimii pohjana sille, että ohjausjärjestelmä ohjaa toimilaitteita ja prosessia toivotulla tavalla. (Keinänen et al. 2007, 210.)

### 6.1.1 Ohjelmoitava logiikka (PLC)

PLC (Programmable Logic Controller), eli ohjelmoitava logiikka, on tärkeä osa ohjelmoitavaa ohjausjärjestelmää. Logiikan tulokortteihin liitetään lähestymiskytkimiä ja antureita, jotka kertovat järjestelmän tilasta. Logiikan lähtökortteihin liitetään toimilaitteita, kuten esim. sähkömoottoreita. Järjestelmän tilaa voidaan valvoa reaaliaikaisesti kirjoittamalla ohjelma logiikan muistiin. (Keinänen et al. 2007, 223.)

Hämeenlinnan putkitehtaalla käytössä oleva Allen-Bradley:n ohjelmoitava logiikka on ns. vapaasti ohjelmoitava logiikka (Rockwell Automation 2018b). Vapaasti ohjelmoitavassa logiikassa ohjelman kirjoitusjärjestys voidaan vapaasti valita. Ohjelmaa skannataan kokoajan, joten toiminnalliset ohjelman osat voidaan kirjoittaa missä järjestyksessä tahansa. Ohjelmassa olevat lähdöt menevät päälle, siinä vaiheessa kun tuloehdot toteutuvat. (Keinänen et al. 2007, 223.)

Keskusyksikön erikoismuistiin tallennettujen tulojen ja lähtöjen tilojen luku tapahtuu kiertävästi. Kun tulokset on tallennettu, tutkitaan yksitellen kaikki ohjelmamuistissa olevat ohjelmarivit. Saadut tulokset käydään läpi ohjelman lukemisen mukaisessa järjestyksessä. Sekä *päälle* että *pois* -käskyt annetaan lähtöjä varten ohjelmakierroksen loppuvaiheessa, kun luku on edennyt *end*- käskyyn saakka. Ohjelman kokonaisselausaika on verrannollinen ohjelman pituuteen, mutta yleisimmin se on 0,0005 – 0,1 ms / ohjelmarivi. (Keinänen et al. 2007, 223.)

Ohjelmointikieli koostuu logiikkaporteista ja komennoista ja sen avulla ohjataan esimerkiksi erilaisia laskureita ja ajastintoimintoja. Tällä hetkellä suosittuja ovat windows-pohjaiset ohjelmointiohjelmat, joiden toiminta perustuu tikapuukaavioon, käskylistaan ja toimintalohko- kaavioon. Ohjelman tekijä käyttää hyväkseen selkeää ohjelmaeditoria ohjelmaa kirjoittaessaan. Ennen logiikan ohjelmamuistiin siirtämistä koodi käännetään konekielelle. (Keinänen et al. 2007, 223.)

Hämeenlinnan putkitehtaalla tällä hetkellä käytössä olevaa logiikkaa on järkevää hyödyntää uuden logiikan hankkimisen sijaan. Tällöin voidaan käyttää hyväksi hajautettua järjestelmää, jolloin laitteen ollessa epäkunnossa, muu järjestelmä toimii edelleen. Tämä on tärkeää varsinkin näin aikaisessa vaiheessa, kun kyseessä on prototyyppi. Lisäksi Hämeenlinnan putkitehtaan sähköasentajien käyttämä tuttu ohjelmoitava logiikka auttaa ohjelman tekemisessä ja helpottaa vikatilanteissa. (Tero Kosola 12.3.2018)

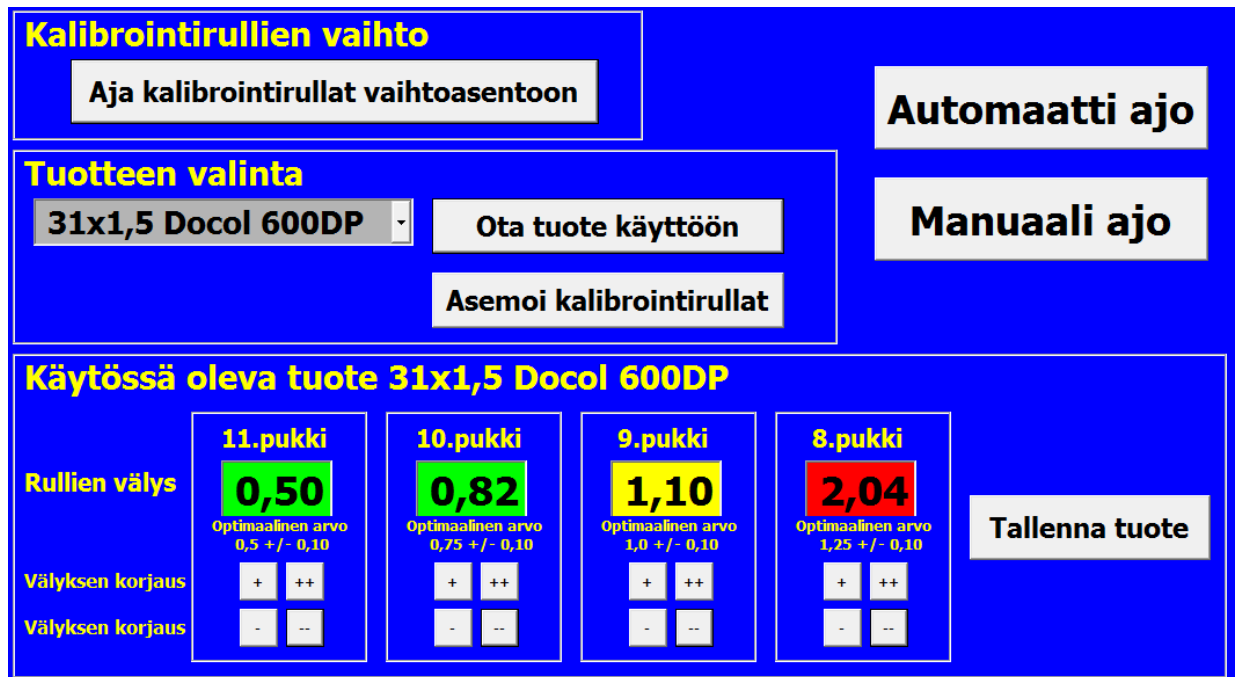
### **6.1.2 Käyttöliittymä**

Automaatiojärjestelmässä käyttöliittymät voivat olla erilaisia. Pelkistetyssä versiossa käyttöliittymä muodostuu kotelosta, jossa on muutaman merkkivalon lisäksi painikkeet käynnistämistä ja pysäyttämistä varten. Nykyään käytetään kuitenkin enimmäkseen operointipaneeleja. Paneelista menee kommunikointiportti suoraan ohjelmoitavaan logiikkaan, jolloin ohjelmoitava logiikka voi välittää suoraan viestiä paneelille. (Keinänen et al. 2007, 220.)

Hämeenlinnan putkitehtaalla automaation ohjaus tapahtuu käyttöliittymän RS view 32 kautta annettuihin komentoihin. Käyttöliittymä on jo olemassa Hämeenlinnan putkitehtaan valvomoissa, eikä uudelle käyttöliittymälle tällä hetkellä ole tarvetta. Kyseessä on

operointipaneeli, joka kannattaa ottaa käyttöön myös valssausrullien asemoinnin automaatiojärjestelmään. Paneeli on käytettävyydeltään helppo. Tämän lisäksi tehtaalla on käytössä ohjelma, jolla haluttu käyttöliittymänäkymä voidaan ohjelmoida valvomoon.

Käyttöliittymän näytöstä tehtiin selkeä ja siinä näkyy kaikki tarvittava tieto yhdellä sivulla (kuva 15). Kuvan ylälaudassa on oma komentopainike rullien vaihtoa varten. Komentopainikkeen tausta on vihreä silloin, kun vaihto on sallittu. Tällöin kone on pysähdyksissä, eivätkä turvaloverho ja kalibroinnin takaovi ole vaikuttuneena. Vaihto aloitetaan painamalla vaihtoehtoa ”Aja kalibroitirullat vaihtoasentoon”, jolloin ylä- ja alarulla lähtevät yhtä aikaa liikkeelle. Ylärullat ajetaan ennalta määritettyyn yläasemaan ja alarullat ennalta määritettyyn ala-asemaan. Sitten etupukit ja rullat otetaan irti, jonka jälkeen vaihdetaan uudet rullat ja laitetaan etupukit kiinni.



Kuva 15. Valssausrullien operointipaneeli

Tämän jälkeen valitaan ajettava tuote. Kun ajettava tuote löytyy listasta, painetaan ”Ota tuote käyttöön”. Tämän jälkeen vaihtoehto ”Asemoi kalibroitirullat” palaa vihreänä, mikäli kone on pysähdyksissä ja eivätkä turvaloverho ja kalibroinnin takaovi ole vaikuttuneena. Sitten painetaan vihreää ”Asemoi kalibroitirullat”, jolloin kalibroitirullat ajavat itsensä oikeaan asemaan. Rullien välykset näkyvät näytöllä ja niitä voi tarvittaessa hienosäätää. Tämä onnistuu vain siinä tapauksessa, että on painettu ”manuaali ajo”-komentonappia. Yksi plussa tarkoittaa 0,05 mm nousua ja kaksi plussaa 0,20 mm nou-

sua. Miinukset tarkoittavat laskua samassa suhteessa. ”Tallenna tuote”- komentopainista päästään tallentamaan rullien välykset, mikäli tuote on ajettu ensimmäisen kerran ja tuote on hyväksytty tuotantoon. Tällöin tuote tallentuu tietokanta-reseptille.

### 6.1.3 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajalla ohjataan ja säädetään sähkömoottorin nopeutta ja vääntömomenttia. Verkosta otettu vaihtojännite tasasuunnataan taajuusmuuttajassa, jolloin vaihtojännitteestä tulee tasajännite. Saatu tasajännite muutetaan taajuusmuuttajan vaihtosuuntaajalla halutun taajuiseksi vaihtosähköksi. (Keinänen et al. 2007, 159.) Taajuusmuuttajat kuuluvat oleellisena osana nykyiseen automaatiojärjestelmään. Tämä johtuu siitä, että taajuusmuuttajat on helppo asentaa ohjelmoitaviin ohjausjärjestelmiin ja se on mahdollistanut taajuusmuuttajien laajan käytön. (Keinänen et al. 2007, 159.)

Taajuusmuuttajan valinta valssausrullien asemoinnin automaatiojärjestelmään johtuu siitä, että taajuusmuuttaja mahdollistaa suunnanvaihdon, kun valssauspukkia pitää hammasvaihdemoottorilla ajaa ylös- ja alaspäin. Lisäksi taajuusmuuttaja mahdollistaa pehmeämmän käynnistyksen ja pysäytyksen. Tämä vaikuttaa osaltaan myös mittatarkkuuteen. Lisäksi hammasvaihdemoottoria voidaan ajaa suuremmalla nopeudella silloin, kun matka on pitkä ja hiljentää nopeutta kun haluttu etäisyys lähestyy. (Tero Kosola 12.3.2018)

Taajuusmuuttajaksi valittiin Rockwell Automationin Allen-Bradley powerflex 525 3P 460V 2,2 kW, koska niitä löytyy Hämeenlinnan putkitehtaan varastosta (kuva 16).



Kuva 16. Taajuusmuuttaja Powerflex 525. (Rockwell Automation 2018a)

### 6.1.4 I/O-analogiakortti

Ohjelmoitavan logiikan ulkoisia liitäntöjä kutsutaan tuloiksi ja lähdöiksi. Laite ei voi keskustella väylän kautta suoraan ohjelmoitavan logiikan kanssa, vaan välissä on oltava tulojen ja lähtöjen liitäntäpiiri. Liitäntäpiirillä on myös muita tehtäviä, kuten galvaaninen erottaminen. (Airila 2004, 50.)

Hämeenlinnan putkitehtaalle hankittiin ylimääräinen analoginen tulokortti Rockwell Automatio:in 1734-IE2C olemassa olevaan Ethernet-adapteriin. Tämä mahdollisti sen, että anturi ja taajuusmuuttaja voitiin kytkeä analogiseen tulokorttiin. Tulokortti on kaksisakanavainen ja kortin vaatima käyttöjännite on 24V. Tulokortti toimii virta-alueella 4...20 mA ja kortin resoluutio on 16 bittiä. Tulokortin mittatarkkuus voidaan laskea, kun tiedetään, että valitun optimaalisen anturin mitta-alue on 0...150 mm. Laskukaava tulokortin mittatarkkuuteen ( $X$ ) on seuraavanlainen:

$$X = \frac{150 \text{ mm}}{16^2} = 0,002 \text{ mm}$$

Kaava 1. Tulokortin mittatarkkuus

Tämä on aivan riittävä mittatarkkuus, kun tavoitteena on toistotarkkuus +/- 0,1 mm.

### 6.1.5 Ethernet väylä

Väyläteknikka on kehittynyt ja sitä on viime vuosina standardisoitu. Tämä on vaikuttanut automaatioarkkitehtuuriin. Toimilaitteet ja anturit kytketään muuhun järjestelmään väylän avulla. (Kippo et al 2008, 44.) Väylä koostuu johtimista ja liityntäelektronikasta ja sitä käytetään tiedon siirtämiseen. Ohjauslaitteen ja anturin väliseen tiedonsiirtoon käytetään perusväyliä, joiden kautta tiedonsiirto onnistuu yhdensuuntaisesti tai molempiin suuntiin. Analogista virtaviestiä siirrettäessä, kahden laitteen välinen johdinpari on varattu tiedonsiirtoon kokonaan. Automaatio tarvitsee paljon kaapelointia, mikäli väyliä ei käytetä. (Airila 2004, 61.)

Markkinoilta löytyy monenlaisia kenttäväyläprotokollia. Protokollasta puhuttaessa, tarkoitetaan laitteiden käyttämää kieltä eri kenttäväylissä. Laitevalmistajat voivat itse tehdä avoimia protokollia. Tämä mahdollistaa valmistajakohtaisten protokollien myymisen, jolloin tiettyihin väyliin tarkoitettujen tuotteiden saatavuus on yhden toimittajan varassa. Yleisimmät kenttäväylät avoimessa protokollassa ovat Profibus, DeviceNet ja ASi. (Keinänen et al. 2007, 214.) Tänä päivänä on kuitenkin yleistynyt Ethernet-väylä, jossa käytetään TCP/IP-protokollaa. Suurin etu väylässä on se, että logiikkajärjestelmä voidaan liittää helposti yrityksen ylempään järjestelmään, ilman että tarvitaan ylimääräisiä ohjelmistoja ja liityntäkortteja. Hämeenlinnan putkitechtaalla tiedonsiirto tapahtuu Ethernet-väylän kautta, joten se otettiin käyttöön myös valssausrullien automaattisessa säätöjärjestelmässä. Tarkoituksena on viedä tietoa ERP-järjestelmään, sekä sieltä myös ohjelmoitavaan logiikkaan.

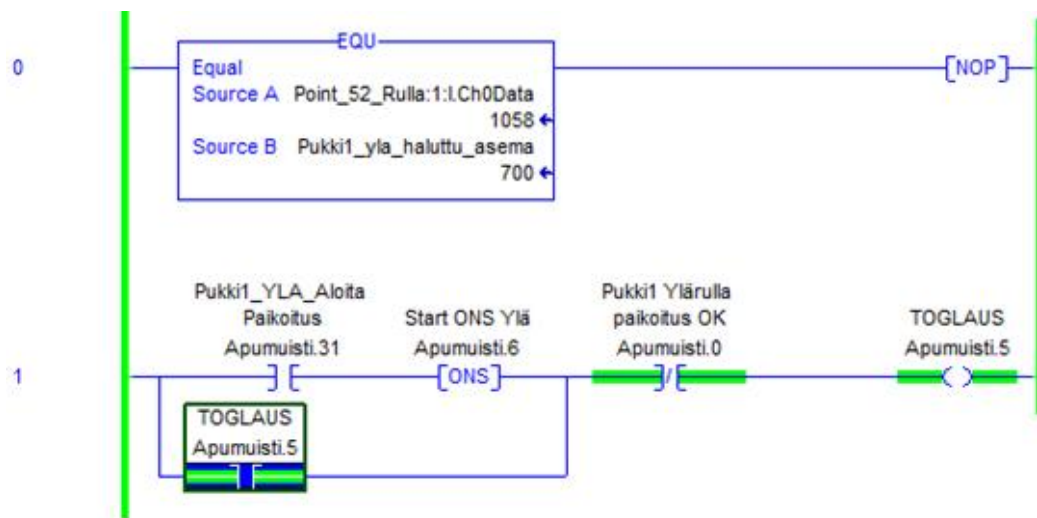
## 6.2 Ohjelmointisuunnittelu

Tavoitteena on valita ohjelmoitava logiikka ja tehdä valitulla logiikalla ohjelma automaattiseen säätöjärjestelmään. Maailmalta löytyy paljon eri valmistajia, jotka tekevät ohjelmoitavia logiikoita. Yksi johtavista valmistajista on Rockwell Automation. Yhtiö on perustettu 1903 ja työntekijöitä on 22 000 henkilöä. Rockwell Automation:illa on toimintaa yli 80 maassa ja heidän verollinen myyntinsä vuonna 2017 oli 6,3 miljardia dollaria. (Rockwell Automation 2018c).

Toinen iso valmistaja on Siemens. Hämeenlinnan putkitechdas käyttää kaikilla linjoilla Rockwell Automation:in Allen-Bradley ControlLogix5570. Näin ollen se oli helppo valita ohjelmoitavaksi logiikaksi. Etuna on se, ettei uutta logiikkaa tarvitse ostaa. Tämän lisäksi säästytään uuden logiikan ohjelmoinnin tarpeelta ja aikaa vievältä sovittamiselta automaattiseen säätöjärjestelmään. Hämeenlinnan putkitechdas on käyttänyt Rockwell Automation:in tuotteita jo 1990-luvulta lähtien ja tuotteet ovat toimineet erinomaisesti. (Tero Kosola 12.3.2018)

## 6.2.1 Logiikan ohjelmointi

Allen-Bradley ControlLogix5570 -logiikalla tehtiin oma ohjelma valssausrullien ase-  
mointia varten, Allen-Bradley käyttää yhtenä ohjelmointikielenä LD:tä eli Ladden Dia-  
gramia, josta käytetään myös nimitystä tikapuukaavio (kuva 17). Hämeenlinnan putki-  
tehdas käyttää tikapuukaaviota, koska sen avulla vikatilanteiden selvittäminen on hel-  
pompaa. Myös ohjelmointi on helpompaa, sillä kyseessä on jo käytössä oleva ohjel-  
mointiohjelma. (Tero Kosola 12.3.2018)



Kuva 17. Esimerkki Allen-Bradley ControlLogix5570-logiikan tikapuukaaviosta

Ohjelmoitavan logiikan ohjelmassa ylä- ja alarullan oloarvo saatiin suoraan I/O-  
analogiakortilta. Ohjelmaan tehtiin ohjelmarivi, johon voitiin syöttää haluttu ohjausar-  
vo, eli rullan haluttu asema. Sitten yhdelle ohjelmariville tehtiin apumuisti (Togglaus-  
bitti), josta taajuusmuuttajan sai käskyn ohjata hammasvaihdemootoria, joka nostaa  
valssauspukin rullaa ylös tai alaspäin halutun matkan. Kun ohjearvo on saavutettu, antaa  
anturi standardiviestin (4-20mA) I/O-analogiakortin kautta ohjelmoitavalle logiikalle.  
Tämän jälkeen PLC kertoo tiedon taajuusmuuttajalle, joka käskää hammasvaihdemoot-  
torin pysähtyä.

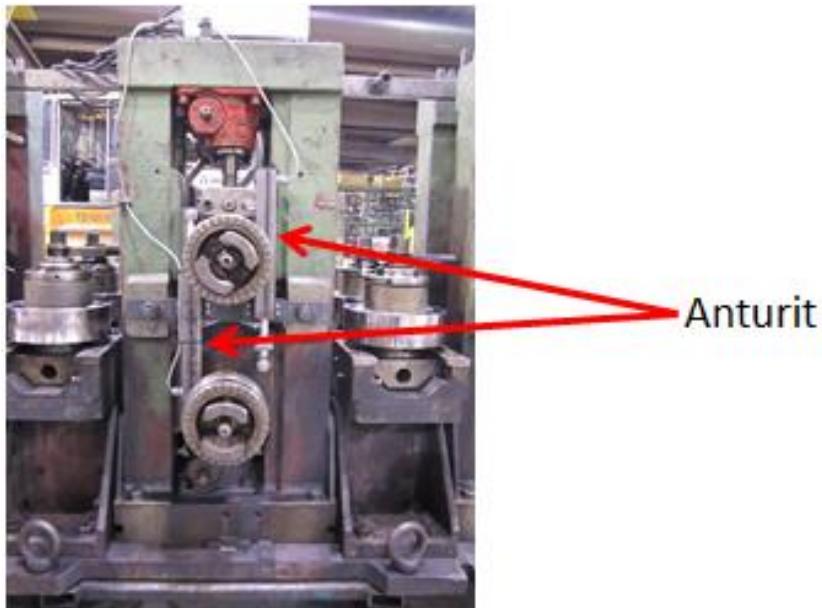
Ohjelmoinnissa otettiin huomioon myös turvallisuus. Logiikkaohjelmaan annettiin ehto,  
että valssauspukin rullan liike tai liikkeelle lähtö estetään, mikäli turvavaloverho on tai  
kalibroinnin takaovi on vaikuttuneena. Esto tapahtuu siten, että taajuusmuuttajalle anne-  
taan ohje pysäyttää tai olla käynnistämättä moottoria, mikäli jompikumpi tai molemmat  
ovat vaikuttuneena.



Ohjausjärjestelmän pitää estää myös valssausrullien törmäys. Tarkoituksena on, että linjamiehet säätävät putken kohdilleen ja kun putken mitat ovat mahdollisimman lähellä tähtäystä, tallennetaan valssauspukkien arvot. Tällöin samoja arvoja voidaan käyttää seuraavalla kerralla samoja tuotteita ajaessa.

### 6.3 Rakenteellinen suunnittelu

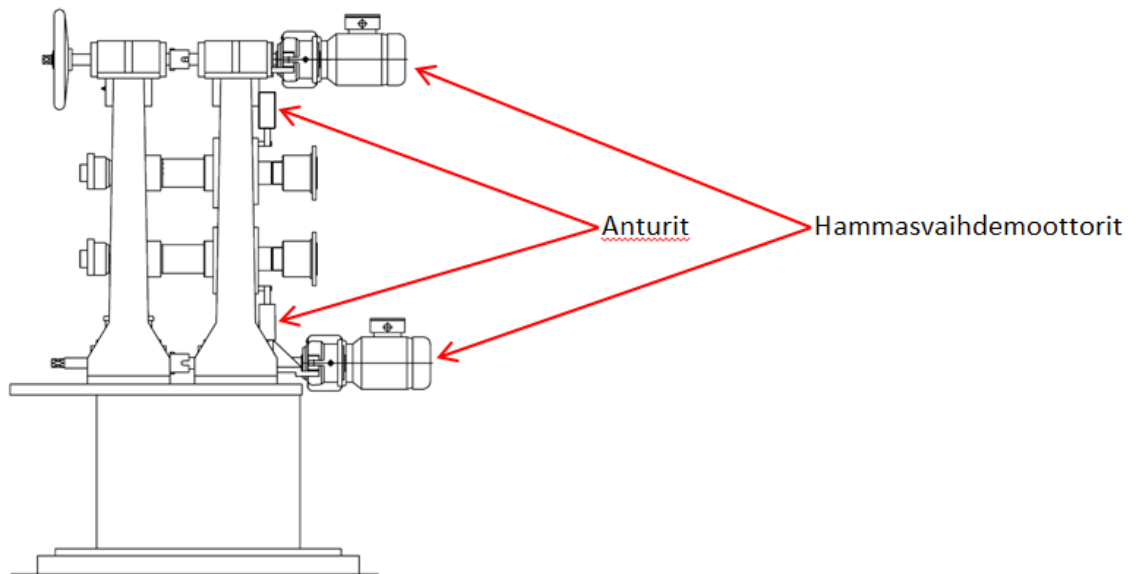
Suunnittelussa piti ottaa huomioon anturin suojaus ja se, etteivät anturit saa häiritä operaattoreiden toimintaa rullanvaihdon aikana. Anturit asennettiin valssauspukin takapukkiin (kuva 18). Antureita varten tehtiin suojaputki, jotta valssausemulsiolta ja -hilseeltä vältyttäisiin. Suojaputken mitat olivat 45x45x3, jolloin anturi mahtui vielä sisään. Suojaputken toisesta päästä tehtiin umpinainen, hitsaamalla putken päähän 45x45x1 levy. Suojaputken toiseen päähän laitettiin läpivientikumi, josta anturin vapaa pää pääsi tulemaan ulos.



Kuva 18. Anturin suojaputket on kiinnitetty valssauspukkiin. (Kuva: Esa Isopahkala 2017)

Suojaputkille tehtiin valssauspukin takapukkiin teline, johon voitiin kiinnittää suojaputket. Anturin vapaa pää kiinnitettiin akselin laakeripesän kiinnityspulttiin.

Hammasvaihdemoottoriksi valittiin NORD:in SK 1282A-715/4 0,75 kW, koska niitä käytettiin vanhassa säätöjärjestelmässä ja ne olivat jo valmiiksi kiinni valssauspukeissa (kuva 19).



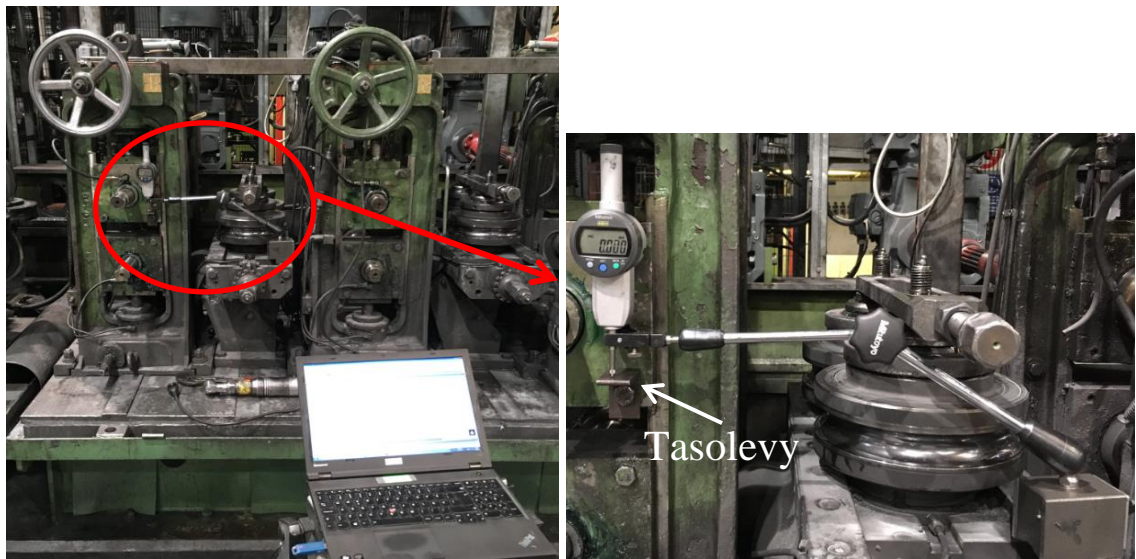
Kuva 19. Valssauspukki, johon on kiinnitetty anturit ja hammasvaihdemoottorit.

Vanha säätöjärjestelmä on otettu pois käytöstä vuonna 2010, mutta hammasvaihdemoottorit olivat jääneet kiinni valssauspukkeihin. Vanha säätöjärjestelmä purettiin aikanaan pois sen vuoksi, ettei sitä saatu toimimaan. Moottorit jaksoivat pyörittää tunkkeja, mutta mittaus tapahtui tunkin ruuviakselin päästä absoluuttianturilla, joka ei ottanut huomioon tunkin välyksiä. Tämä aiheutti sen, että mittaustuloksiin tuli liukumaa joka vaihdon jälkeen, eivätkä tulokset pitäneet paikkansa. Säätöjärjestelmä päätettiin ottaa pois käytöstä, koska mittaustuloksiin ei voinut luottaa. (Kosunen 23.5.2017)

## 7 TESTAUS JA TULOKSET

### 7.1 Testin toteutus

Testin hyväksyttävä tulos tilastollisilla menetelmillä todennettuna on automaattisen säätöjärjestelmän toistettavuus +/- 0,1 mm. Automaattisen säätöjärjestelmän toistettavuus testattiin asentamalla valssauspukkiin tasolevy, joka toimi mittakellon mittakärjen mitausalustana. Mittakello kiinnitettiin magneettijalalla sivurullapukkiin. (kuva 20).



Kuva 20. Mittaustesti (Kuva: Esa Isopahkala 2018)

Tasolevy laitettiin vesivaa'alla vaakatasoon. Kyseisen vesivaa'an mittausepätaarkkuus on 0,04 mm/m. Mittakelloksi valittiin Mitutoyo, jonka mittausalue on 0-50 mm ja mittaus-epävarmuus 0,01 %.

Magnetostriktiivisen anturin mittausalue on 0 mm - 150 mm. Anturi konfiguroitiin siten, että anturin ollessa nolla-asemassa (0 mm), se vastasi neljää milliampeeria analogiselle tulokortille, kun taas anturin ollessa ääriasennossa (150 mm), vastaavuus oli 20 milliampeeria analogiselle tulokortille. Tämän perusteella voidaan laskea virranvoimakkuus eri etäisyyksillä, käyttämällä lineaarista suoran yhtälöä;

$$y = k \times x + b$$

, jossa  $y$  = magnetrostriktiivisen anturin mA lukema,  $k$  = kulmakerroin lineaariselle yhtälölle eli  $y$ :n muutos (mA) jaettuna  $x$ :n muutoksella (mm),  $x$  = magnetrostriktiivisen anturin sijaintitieto ja  $b$  = vakiotermi, joka kertoo suoran ja  $y$ -akselin leikkauspisteen eli tässä tapauksessa virta (mA) on  $y$ -akselilla ja siirtymä on  $x$ -akselilla (mm). Tarkoittaa sitä, että  $b$ :n arvo on 4 mA.

Kulmakerroin  $k$  voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$k = \frac{y: n \text{ muutos}}{x: n \text{ muutos}} = \frac{20 \text{ mA} - 4 \text{ mA}}{150 \text{ mm} - 0 \text{ mm}} = 0,1067 \frac{\text{mA}}{\text{mm}}$$

Kaava 2. Magnetrostriktiivisen anturin kulmakerroin.

Kun kulmakerroin  $k$  on ratkaistu,  $k$  voidaan sijoittaa lineaarisen suoran yhtälöön. Sijoittamalla haluttu siirtymä  $x$ :n paikalle saadaan magnetrostriktiivisen anturin virran voimakkuus eri etäisyyksillä. Alla olevassa esimerkissä laskelmassa etäisyytenä on käytetty 5 mm siirtymää.

$$y = k \times x + b = 0,1067 \frac{\text{mA}}{\text{mm}} \times 5 \text{ mm} + 4 \text{ mA} = 4,53 \text{ mA}$$

Kaava 3. Magnetrostriktiivisen anturin virran voimakkuus 5 mm siirtymälle

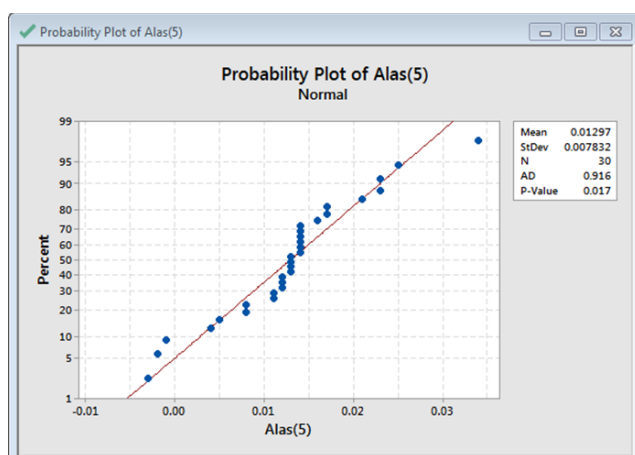
Lineaarisen suoran yhtälöllä voidaan testissä toteuttaa rullien siirtymä. Testissä käytettiin automaattisen säätöjärjestelmän logiikkaohjelmaa. Yhteen ohjelmariviin syötettiin haluttu valssausrullan siirtymä, jolloin päästiin ajamaan valssauspukin ylärullaa ylös- tai alaspäin. Valssauspukin rullan siirtymät testeihin olivat 0-5 mm ja 0-10 mm. Nämä siirtymät valittiin, koska säädön aikana rullia liikutetaan maksimissaan 5 mm ja vaihdon aikana maksimissaan 10 mm.

Mittaus suoritettiin asettamalla mittakellon mittauskärki tasolevyille. Mittakellon mittauskärki pyrittiin pitämään niin lyhyenä kuin mahdollista. Tämä vähensi mittauskärjestä johtuvaa kosinivirhettä. Tämän jälkeen mittakellon lukema nollattiin ja valssauspukin ylärulla asetettiin siihen kohtaan, missä se olisi normaalissa säätötilanteessa. Sitten ajettiin valssauspukin ylärullaa ylöspäin 5 mm (4,53mA) ja kirjattiin mittakellon lukema Minitab:iin. Tämän jälkeen ajettiin valssauspukin ylärullaa alaspäin 5 mm (4 mA) ja

kirjattiin jälleen mittakellon lukema Minitab:iin. Tämä tehtiin mittaustulosten tilastollisuuden luotettavuuden takaamiseksi molempiin suuntiin 30 kertaa. Samanlainen testi tehtiin myös 10 mm (9,07mA) siirtymällä.

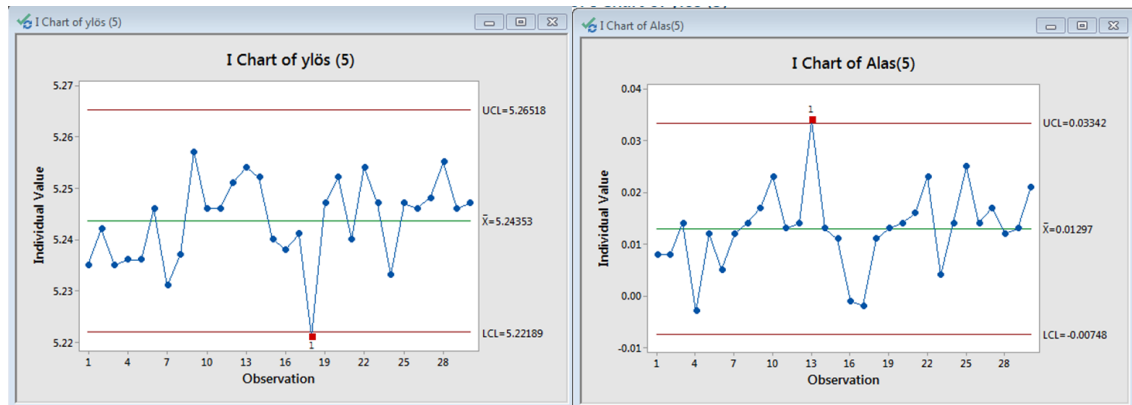
## 7.2 Tulokset

Mittaustulokset syötettiin tilastolliseen SPC-järjestelmään (Minitab 7-ohjelma). Ensin laskettiin, ovatko tulokset normaalijakautuneita. Tulokset löytyvät liitteestä kolme. Yksi siirtymä ei ollut normaalijakautunut (P-value <0,05). Valssausrullapukkia 5 mm siirtymällä alaspäin ajettaessa P-value oli 0,017, mutta riskit väärille johtopäätöksille ovat pienet. Tämä johtuu siitä, että suurin osa mittaustuloksista on osunut keskiarvon läheisyyteen. Tämä puolestaan vaikuttaa P-value arvoon negatiivisesti. (kuva 21). Ylösajossa samalle siirtymälle laskettu data on normaalijakautunut. Voimmekin todeta, että kaikki siirtymät ovat normaalijakautuneita ja Minitab:illa voidaan tehdä valvontakortit 5 mm ja 10 mm siirtymille.



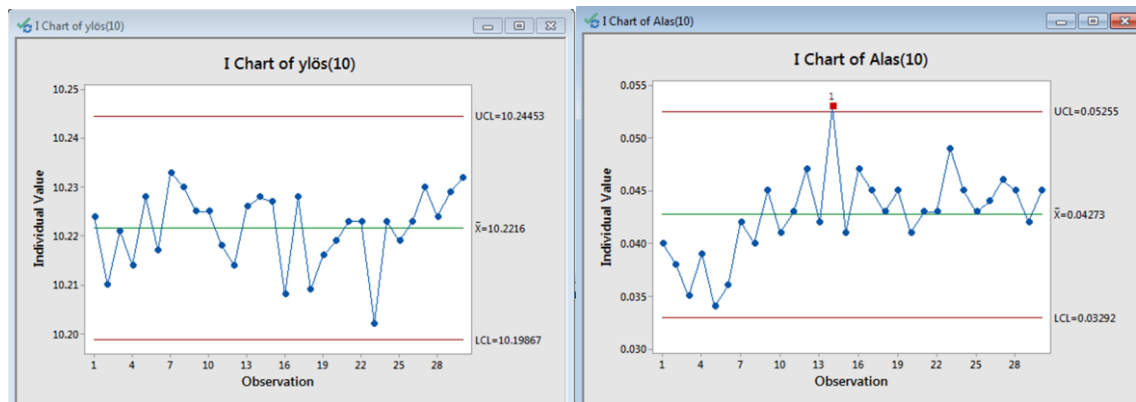
Kuva 21. Normaalijakauman testaus 5 mm alasajolle.

Valvontakortti (I-Chart) kertoo automaattisen säätöjärjestelmän toistettavuuden normaalissa tilanteessa. Ensimmäiseksi ajettiin valssauspukin rullaa 5 mm siirtymälle ylös- ja alaspäin (kuva 22).



Kuva 22. Valvontakortit 5 mm siirtymälle.

Seuraavaksi tehtiin testit valssauspukin rullan 10 mm siirtymälle ylös- ja alaspäin (kuva 23).



Kuva 23. Valvontakortit 10 mm siirtymälle.

Alla olevassa taulukossa on yhteenveto automaattisen säätöjärjestelmän testaustuloksista (taulukko 2).

Taulukko 2. Testaustuloksen yhteenveto

### Valssauspukin ylösajo:

0-5 mm liikkeessä liike pysyy 0.040 mm alueella. (+/- 0.020 mm)

0-10 mm liikkeessä liike pysyy 0.050 mm alueella (+/- 0.025 mm)

### Valssauspukin alasajo:

5-0 mm liikkeessä liike pysyy 0.040 mm alueella (+/- 0.020 mm)

10-0 mm liikkeessä liike pysyy 0.020 mm alueella (+/- 0.010 mm)

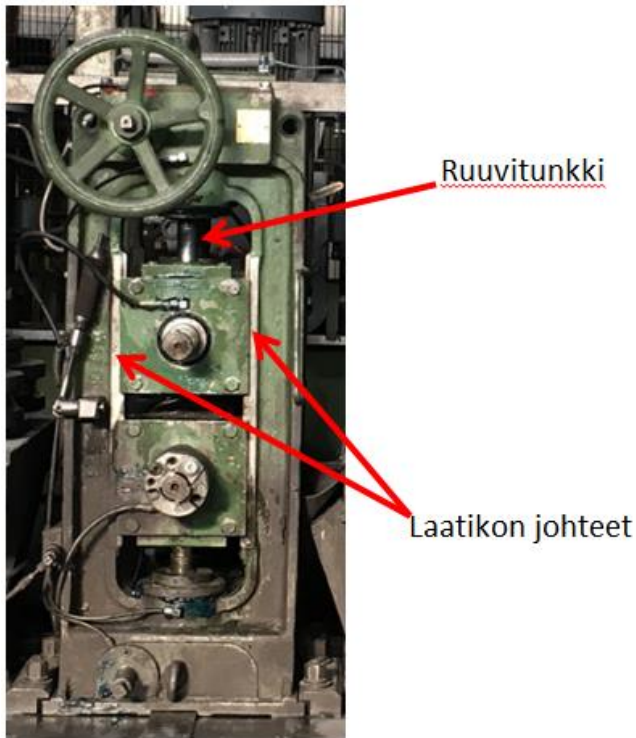
### 7.3 Tulosten analysointi

Testituloksiin voidaan olla tyytyväisiä, sillä automaattisen säätöjärjestelmän toistettavuuden tavoite oli +/- 0,1 mm ja se toteutui huonoimmallakin tuloksella nelinkertaisesti. Magnetostriktiivisen anturin toistettavuus valmistajan sivuilla on < 0,01 mm. Testituloksissa ei päästy näin hyvään toistettavuuteen. Tämä johtuu osittain testauksen mitta-usepävarmuuteen vaikuttavista tekijöistä. Tällaisia tekijöitä ovat mm.

- Mittakellojalan taipuma
- Mittakellon mittausoima
- Mittakellon mittakärjen kosinivirhe
- Tasolevyn suoruus
- Mittauslaitteiden resoluutio

Nämä virheet ovat niin sanottuja systemaattisia virheitä. Ne voidaan laskea tilastollisilla menetelmillä pois, jonka jälkeen mittaustuloksiin voidaan tehdä tarvittavat korjaukset. Mittausepävarmuuden laskemiselle ei ole tarvetta, koska testissä valssausrullien asemoinnin toistettavuus oli tavoitteeseen verrattuna erinomainen.

Valvontakorttien avulla saadut automaattisen säätöjärjestelmän toistotarkkuudet olivat 10 mm siirtymällä keskenään erisuuruisia, kun taas 5 mm siirtymällä toistettavuus oli sama. Anturin toistettavuus on parempi, kun ajetaan valssauspukin rullaa alaspäin 10 mm siirtymällä. Oletus on, että ero voi johtua valssauspukin ruuvitunkin välyksistä tai valssauspukin laatikon johteista (kuva 24). Molemmissa voi esiintyä väljyyttä, koska valssauspukit ovat vanhoja. Ruuvitunkki ja valssauspukin laatikon johteet pitäisi huoltaa tai tarvittaessa vaihtaa uusiin. Tämän jälkeen pitäisi tehdä uusintatestit.



Kuva 24. Ruuvitunkki ja laatikon johteet

Toistettavuuden erot voivat johtua myös siitä, että testit tehtiin saman päivän aikana ja valssauspukin 10 mm siirtymä alaspäin testattiin viimeisenä. Voidaan olettaa, että testi- en alussa ruuvitunkin ruuvissa oli likaa. Riittävän toistomäärän myötä ruuvitunkki puhdistui, jonka myötä se lähti liikkumaan tasaisemmin ja vaihtelu pienentyi. Tämä on kuitenkin vain oletus. Sen vuoksi yllä mainitut teorit virheistä pitäisi minimoida ja tehdä uusintatellit. Toistettavuuden ero 10 mm rullan siirtymällä alaspäin on prosentuaalisesti merkittävä. Toistettavuus on kaikilla siirtymillä asetettua tavoitetta parempi, minkä vuoksi tässä opinnäytetyössä ei katsottu olevan tarvetta uusintatelleihin tai syvällisempään analysointiin erojen syille. Lisäksi tuotannon kasvanut tilausmäärä olisi asettanut haasteensa testin uusimiselle lähiaikoina.



## 8 POHDINTA

Tutkimuksen tavoitteena oli suunnitella Hämeenlinnan putkitehtaan valssauspukeille automaattinen säätöjärjestelmä. Tarkoituksena oli löytää luotettava anturi mittaamaan valssauspukin rullien asemaa. Optimaalisen anturin tuli todentaa valssauspukkien oikea asema. Lisäksi anturin piti olla integroitavissa vanhoihin valssauspukkeihin. Optimaaliseksi anturiksi valikoitui tiukan karsinnan kautta magnetostriktiivinen anturi. Testitulokset osoittivat, että valmistajan antamaan toistotarkkuuteen  $< 0,01$  mm ei päästy. Toistettavuus testeissä oli keskimäärin  $\pm 0,0375$  mm. Tämä tarkkuus on kuitenkin riittävä.

Toistotarkkuutta  $< 0,01$  mm ei onnistuttu saavuttamaan. Jos uusintatesteihin päädyttäisiin, voisi mittausepävarmuustekijöihin pyrkiä vaikuttamaan tehokkaammin. Myös valssauspukkien huolto kannattaisi tehdä ennen testejä. Valssauspukkien huoltotarve kävi kuitenkin ilmi vasta opinnäytetyötä varten tehdyissä testauksissa. Jos aikaa olisi ollut enemmän, testejä olisi voinut tehdä myös toisen valmistajan magnetostriktiivisellä anturilla. Uskon kuitenkin vahvasti, että Gefran:in anturilla olisi saatu muihinkin antureihin verrattuna hyvä tulos, sillä valssauspukin rullan 10 mm siirtymä antoi kuitenkin toistotarkkuuden  $\pm 0,01$  mm.

Antureiden mittaustuloksia voi hyödyntää myös kunnossapito. Ohjausjärjestelmän kautta voidaan antaa älypuhelimeen hälytys, kun ennalta sovitut hälytysrajat ylittyvät. Tällöin kunnossapito voi ennakoida laakerin tai akselin vaihdon sopivaan ajankohtaan, aiheuttamatta ylimääräistä tuotantokatkoa. Myös prosessikehitys voi hyödyntää antureiden mittaustuloksia. Apuna voidaan käyttää Hämeenlinnan putkitehtaan Online- mitalaitteita, joilla valmiin putken ulkodimensiot mitataan. Vertaamalla valmiin putken mittoja automaattisen säätöjärjestelmän säätöarvoihin, voidaan optimaaliset säätöarvot löytää jokaiselle tuotteelle.

Tällä hetkellä anturit ovat käytössä vain yhdessä valssauspukissa. Jatkossa on tarkoitus liittää antureita muihinkin valssauspukkeihin ja sitä kautta kaikille linjoille. Valvontakortteja voidaan käyttää ohjausrajoina, joita hyödynnetään, kun kalibroidaan säätöjärjestelmä ja varmistetaan lukemien paikkansa pitävyys. Automaattiseen säätöjärjestelmään on jatkossa tarkoitus ottaa mukaan myös sivurullat. Niihin ei saa helposti integroitua

magnetostriktiivisiä antureita, joten niille pitää löytää toisentyypinen anturi. Lisäksi on vielä tutkittava, kuinka paljon automaattinen säätöjärjestelmä säästää aikaa manuaalisuuteen verrattuna. Koska automaattisessa säätöjärjestelmässä operaattori ei tarvitse enää pyörittää käsipyörästä rullia oikeaan asemaan, eikä tehdä tarkistusmittauksia valsauspuukien välistä.

Opinnäytetyöni kirjoittamisen aikana Hämeenlinnan putkitehdas sai IATF 16949-sertifikaatin. Kehitys kuitenkin jatkuu, sillä IATF 16949-sertifikaatti vaatii jatkuvaa parantamista. Tämä opinnäytetyö toimii yhtenä osana tuota kehitystyötä.

## LÄHTEET

Airila, M. (2004) Mekatroniikka, Otatieto Oy

Andersson, P. & Tikka, H. 1997. Mittaus- ja laatutekniikat. Porvoo: WSOY.

Fonselius, J., Laitinen, E., Pekkola, K., Sampo, A. & Välimaa, T. 1994. Koneautomaatio: Anturit. 3. korj. p. Helsinki: Painatuskeskus.

Gefran (2018) Gefran tuotteet. Luettu 3.3.2018

<http://www.gefran.com/en/products/280-rk-2-analog-or-start-stop-output-flanged-head>

Karjalainen, T. (2017). Quality Know-how Karjalainen Oy:n koulutukset. Luettu 9.5.2017  
[http://www.qkkarjalainen.fi/fi/kalenteri/iatf?gclid=Cj0KCQiAsK7RBRDzARIsAM2pTZ9ao0DUdlICpdZpLU6HSVj6T5fnYatx\\_oQ6yGDbxzK3-45mgKcJJY8aAiAYEALw\\_wcB](http://www.qkkarjalainen.fi/fi/kalenteri/iatf?gclid=Cj0KCQiAsK7RBRDzARIsAM2pTZ9ao0DUdlICpdZpLU6HSVj6T5fnYatx_oQ6yGDbxzK3-45mgKcJJY8aAiAYEALw_wcB)

Keinänen, T. & Järvinen, M. (2014). Mittaustekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

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

Kippo, A. & Tikka, A. 2008. Automaatiotekniikan perusteet. Helsinki: Edita Prima Oy.

Kiviranta 2017. Kiviranta, P. Tehdaspäällikkö 2017. Haastattelu 9.5.2017. Haastattelija Isopahkala, E. Hämeenlinna.

Kosola 2018. Kosola, T. Sähkösuunnittelija 2018. Haastattelu 12.3.2018. Haastattelija Isopahkala, E. Hämeenlinna.

Kosunen 2017. Kosunen, J. Konesuunnittelija 2017. Haastattelu 23.5.2017. Haastattelija Isopahkala, E. Hämeenlinna.

Nivala, P. (1996). Ohutseinäputken HF-hitsin mekaaninen laatu, Diplomityö. Oulun yliopisto, konetekniikan osasto, Oulu, 97 s.

Rockwell Automation (2018a) Rockwell Automation Drives. Luettu 4.3.2018

<http://ab.rockwellautomation.com/Drives/PowerFlex-525>

Rockwell Automation (2018b) Rockwell Automation. Luettu 11.3.2018

<https://www.rockwellautomation.com/>

Rockwell Automation (2018c) Rockwell Automation Overview. Luettu 2.4.2018

<https://ir.rockwellautomation.com/default/Overview-Presentation/default.aspx>

Röytiö, H. Söderberg, K. (1994). Ohutseinäputket – ominaisuudet ja käyttö. MET tekninen tiedotus 2/94. Tammer- Paino Oy, Tampere. 101 s.

Sarkomaa, J- P. (2000). Process of making precision tubes, Diaesitys. Lappohja, Rautaruukki Oyj, 17 diaa.

Sensorola (2018) Sensorola tuotteet. Luettu 28.2.2018

<http://www.sensorola.fi/tuotteet>

Sensors & Transducers (2008). Magnetostrictive position sensors: a revolution in linear position measurement. Luettu 11.2.2018

<http://www.instrumentation.co.za/article.aspx?pkarticleid=5195>

SFS 60529+A1. 2000. Sähkölaitteiden koteloitiluokat (IP-koodi). Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 1.3.2018. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://online.sfs.fi/fi/in-dex.html.stx>

SSAB esittelymateriaali. Sisäinen esittelymateriaali 2016.

SSAB 2017a. SSAB lyhyesti Tietoja SSAB:stä. Luettu 9.5.2017.

<http://www.ssab.fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta/ssab-lyhyesti>

SSAB 2017b. Tietoja SSAB:stä Luettu 9.5.2017.

<http://www.ssab.fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta>

SSAB 2017c. Ohutseinäputket [EN 10305]. Luettu 9.5.2017.

<http://www.ssab.fi/tuotteet/terasluokat/ohutseinaputket>

TE connectivity (2018) LVDT Tutorial. Luettu 22.2.2018

<http://www.te.com/usa-en/industries/sensor-solutions/insights/lvdt-tutorial.html#chapter-4-dl>

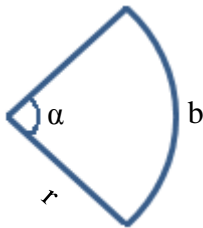
## LIITTEET

Liite 1. Absoluuttianturin mittausepävarmuus prosentteina mitta-alueesta.

Valssauspukin ruuviakselin halkaisija on 48 mm, johon kiinnitetään absoluuttianturi. Muutetaan absoluuttianturin mittausepävarmuuden asteet ( $0,2^\circ$ ) prosenteiksi mitta-alueesta. Se tapahtuu seuraavasti:

$$d = 48 \text{ mm} \Rightarrow r = \frac{d}{2} = 24 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0,2^\circ$$



Ympyränsektori  $b$ , lasketaan kaavalla

$$b = \frac{\alpha}{180^\circ} \pi r = \frac{0,2^\circ}{180^\circ} \times \pi \times 24 \text{ mm} = 0,084 \text{ mm}$$

Tämä tarkoittaa, että mittausepävarmuus on 0,084 mm, seuraavaksi lasketaan ruuviakselin piiri, jotta voidaan laskea mittausepävarmuus mitta-alueesta.

Ympyrän piiri  $p$ , lasketaan kaavalla

$$p = 2\pi r = 2\pi \times 24 \text{ mm} = 150,796 \text{ mm}$$

Absoluuttianturin mittausepävarmuus on  $0,084 \text{ mm} / 150,796 \text{ mm} \times 100\% = \underline{0,056 \%}$

## Liite 2. IP-luokitus (SFS-EN 60529+A1 2000, 30-32)

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS  
FINNISH STANDARDS ASSOCIATION SFS

SFS-EN 60529 + A1  
30

Taulukko 2 Kotelointiluokan ensimmäinen tunnusnumero, suojaus vierailta esineiltä ja pölyltä

Ensimmäinen tunnusnumero	Suojausominaisuus		Testausehdot, ks.
	Lyhyt kuvaus	Määritelmä	
0	Suojaamaton	–	
1	Suojaamaton halkaisijaltaan yli 50 mm vierailta esineiltä	Pallomainen halkaisijaltaan 50 mm esinekoetin ei saa tunkeutua kokonaan sisään <sup>1)</sup>	13.2
2	Suojaamaton halkaisijaltaan yli 12,5 mm vierailta esineiltä	Pallomainen halkaisijaltaan 12,5 mm esinekoetin ei saa tunkeutua kokonaan sisään <sup>1)</sup>	13.2
3	Suojaamaton halkaisijaltaan yli 2,5 mm vierailta esineiltä	Halkaisijaltaan 2,5 mm esinekoetin ei saa tunkeutua lainkaan sisään <sup>1)</sup>	13.2
4	Suojaamaton halkaisijaltaan yli 1,0 mm vierailta esineiltä	Halkaisijaltaan 1,0 mm esinekoetin ei saa tunkeutua lainkaan sisään <sup>1)</sup>	13.2
5	Pölysuojattu	Pölyn sisään-tunkeutumista ei ole kokonaan estetty, mutta sitä ei saa tunkeutua haitaksi laitteen tyydyttävälle toiminnalle tai haitaksi turvallisuudelle	13.4 13.5
6	Pölytiivis	Pölyä ei saa tunkeutua sisään	13.4 ja 13.6

<sup>1)</sup> Esinekoettimen koko halkaisija ei saa päästä koteloinnin aukon läpi.

Taulukko 3 Kotelointiluokan toinen tunnusnumero, vesisuojaus

Toinen tunnusnumero	Kotelointiluokka		Testausehdot, ks.
	Lyhyt kuvaus	Määritelmä	
0	Suojaamaton	–	–
1	Suojattu pystysuoraan tippuvalta vedeltä	Pystysuoraan pisaroina tippuva vesi ei aiheuta haittaa	14.2.1
2	Suojattu pystysuoraan tippuvalta vedeltä, kun kotelointi on kallistettuna 15° asti	Pystysuoraan pisaroina tippuva vesi ei aiheuta haittaa, kun kotelointia kallistetaan enintään 15° mielivaltaiseen suuntaan pystyasentoon nähden	14.2.2
3	Suojattu satavalta vedeltä	Enintään 60° kulmassa satava vesi ei aiheuta haittaa	14.2.3
4	Suojattu roiskuvalta vedeltä	Kaikista suunnista roiskuva vesi ei aiheuta haittaa	14.2.4
5	Suojattu vesisuihkulta	Kaikista suunnista suuttimella ohjattu vesisuihku ei aiheuta haittaa	14.2.5
6	Suojattu voimakkaalta vesisuihkulta	Kaikista suunnista suuttimella ohjattu voimakas vesisuihku ei aiheuta haittaa	14.2.6
7	Suojattu lyhytaikaisen veteen upottamisen vaikutuksilta	Veteen lyhytaikaisesti upotettuun kotelointiin ei tunkeudu haitallisessa määrin vettä standardisoidussa vedenpaineessa ja upotusajassa	14.2.7
8	Suojattu jatkuvan veteen upottamisen vaikutuksilta	Valmistajan ja käyttäjän sopimissa olosuhteissa, mutta ankarammissa kuin numerolla 7, veteen upotettuun kotelointiin ei tunkeudu haitallisessa määrin vettä	14.2.8

## Liite 3. Normaali jakauma testi

