



# Hitsauksen railon seurannan päivittäminen

Akseli Laakso

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2020

Konetekniikka  
Koneautomaatio

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Konetekniikka  
Koneautomaatio

LAAKSO, AKSELI:

Hitsauksen railon seurannan päivittäminen  
Opinnäytetyö 58 sivua, joista liitteitä 1 sivu  
Huhtikuu 2020

---

Opinnäytetyön aiheena oli hitsauksen railon seurannan päivittäminen, joka tuli ajankohtaiseksi, kun vanhan railon seuranta-anturin valmistaja ilmoitti lopettavansa anturin valmistuksen. Työn toimeksiantajana toimi Pemamek Oy, joka on erikoistunut automatisoidun hitsaamisen ja tuotantojärjestelmien suunnitteluun sekä valmistamiseen. Uusi, korvaava railon seuranta-järjestelmä päätettiin kehittää itse, koska valmiita ratkaisuja on tarjolla vain muutamalla valmistajalla ja ne ovat kalliita.

Työ toteutettiin projektina ja tavoitteena oli kehittää ja toteuttaa uusi tekniikka railon seurantaan. Projektissa perehdyttiin erilaisiin anturityyppeihin, mittaustekniikoihin, hitsaukseen ja railon seurantaan, jotta voitiin määritellä, minkälaisia antureita sovelluksessa on mahdollista käyttää. Testaukseen valittiin kolme erilaista anturia. Antureilla tehtiin erilaisia testauksia, ja niiden toimintaa analysoitiin eri tilanteissa. Saatujen tulosten perusteella uudeksi railon seuranta-anturiksi valikoitui voima-anturi. Projektissa myös suunniteltiin railon seurannan toteuttaminen uudella anturilla, ja tehtiin sen vaatimat muutokset järjestelmään.

Voima-anturilla saavutetaan lähes häiriötön ohjaussignaali, ja sillä pystytään toteuttamaan kaikki ominaisuudet, jotka vanhassakin railon seurannassa oli käytössä. Anturin pieni koko myös helpottaa anturin sijoittamista sekä luo uusia edellytyksiä hitsauspäiden suunnitteluun tulevaisuudessa. Anturissa ei ole liikkuvia osia, jotka kulusivat, joten sen käyttöikä on pitkä. Työn tavoitteeseen siis päästiin, ja tuloksena oli uusi railon seuranta, jolla saavutettiin uusia etuja vanhaan anturiin nähden.

Anturin toimintaa ei pystytty projektin aikana testaamaan pitkissä hitsauksissa eikä erityyillisissä hitsaussovelluksissa, joten järjestelmän toiminnan lisätestaaminen, säätäminen ja toimivuuden toteaminen jäivät yritykselle jatkokehitykseen. Työssä on kuitenkin käsitelty vaihtoehtoisia tapoja toteuttaa railon seuranta, jos jatkotestauksissa ilmenisi vaikeasti korjattavia ongelmia.

---

Asiasanat: hitsaus, railon seuranta, voima-anturi, venymäliuska

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical Engineering  
Machine Automation

LAAKSO, AKSELI:  
Updating a Welding Joint Tracking System

Bachelor's thesis 58 pages, appendices 1 page  
April 2020

---

The subject of this thesis was to update a joint tracking system for Pemamek which designs and manufactures welding and production automation systems for heavy metal industries. The reason for this update was that manufacturing of the joint tracking sensor used by the company was about to end. There are some joint tracking sensors available on the market, but they are quite expensive and that is why the company decided to develop a version of their own.

The thesis was carried out as a project, and the objective was to develop a new joint tracking technique. Moreover, the goal was to research and test different sensor types, and to find a new tracking sensor that way. The project included a theoretical and a practical section. The theoretical section explores different sensor types, welding and welding joint tracking. A definition was made for which kind of sensors could work in this application. In the practical section, tests were made with three different sensors which were chosen in theoretical part.

The best results were gained with a force sensor which is based on strain gauge technology. The force sensor gives an almost disturbance-free command signal which is somewhat clearer than the signal produced by the old sensor. The force sensor is also small and durable.

Further tests are required because there was not enough time to do longer welding tests in the project. Long tests with different workpieces ensure reliable working of the new sensor. However, a discussion is also given on alternative sensor types which could work in joint tracking, in case any hard-to-fix problems should come up in further tests.

---

Key words: welding, joint tracking, seam tracking, force sensor, strain gauge

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	PEMAMEK OY .....	9
	2.1 Yritysesittely .....	9
	2.2 Laitteet .....	10
	2.2.1 Hitsaustornit .....	11
3	HITSAUS .....	15
	3.1 Hitsausmenetelmät .....	17
	3.2 Hitsausrilo .....	19
	3.3 Railon seuranta .....	20
4	ANTURIT .....	22
	4.1 Voima-anturit .....	22
	4.1.1 Venymäliuska .....	23
	4.1.2 Wheatstonen silta .....	24
	4.2 Ohjaussauvat .....	27
	4.2.1 Potentiometrinen ohjaussauva .....	27
	4.2.2 Hall-efekti ohjaussauva .....	28
	4.2.3 Induktiivinen ohjaussauva .....	29
	4.2.4 Optinen ohjaussauva .....	30
5	SUUNNITTELU .....	31
	5.1 Projektisuunnitelma .....	31
	5.2 Lähtötiedot .....	31
	5.3 Anturin vaatimukset .....	32
	5.4 Anturin eristäminen .....	33
	5.5 Testiantureiden määrittäminen .....	34
	5.5.1 Ohjaussauvat .....	35
	5.5.2 Voima-anturit .....	35
	5.5.3 Muita vaihtoehtoja .....	36
	5.6 Testianturit .....	36
	5.7 Testaukset .....	37
	5.7.1 Korvattava anturi .....	41
	5.7.2 Voima-anturi .....	43
	5.7.3 Ohjaussauvat .....	46
	5.8 Anturin valinta .....	47
6	TOTEUTUS .....	48
	6.1 Kytkenät .....	48
	6.2 PLC-ohjelmointi .....	49

6.3 Asennus .....	51
7 POHDINTA .....	53
LÄHTEET .....	56
LIITTEET .....	58
Liite 1. Uusi railonseuranta-anturi, Dinacell BP XY 5KG (Pemamek 2020).....	58

**ERITYISSANASTO**

Hitsauselektrodi	sulamaton hitsauspolttimen osa, jonka kautta hitsausvirta johdetaan hitsauslankaan
MIG-hitsaus	Metal Inert Gas welding, eli kaasukaarihitsaus, jossa valokaari palaa hitsauslangan ja työkappaleen välissä, reagoimattoman suojakaasun ympäröimänä
MAG-hitsaus	Metal Active Gas welding, eli kaasukaarihitsaus, jossa valokaari palaa hitsauslangan ja työkappaleen välissä, prosessissa reagoivan suojakaasun ympäröimänä
TIG-hitsaus	Tungsten Inert Gas welding, eli kaasukaarihitsaus, jossa valokaari palaa sulamattoman volframielektrodin ja työkappaleen välissä, reagoimattoman suojakaasun ympäröimänä
SAW-hitsaus	Submerged Arc Welding, eli jauhekaarihitsaus, jossa valokaari palaa hitsausjauheen alla
Pienahitsaus	kahden kappaleen hitsaaminen toisiinsa kohtisuorasti tai kulmassa

## 1 JOHDANTO

Tämän työn toimeksiantajana toimi Pemamek Oy, joka tuottaa hitsauslaiteratkaissuja raskaaseen teollisuuteen. Yritys on muutaman vuoden aikana kasvanut huomattavasti ja on kansainvälinen toimija alalla. Tarjontaan kuuluu yksittäisten hitsaus- ja kappaleenkäsittelylaitteiden lisäksi kokonaisvaltaisten tuotantolinjojen suunnittelu ja toteutus. Yrityksen pääkonttori ja tehdas sijaitsevat Loimaalla.

Tämän työn aiheena oli hitsauksen railon seurannan edullisimman mallin päivittäminen. Railon seurannan päivityksen tarve syntyi, kun korvattavan anturin toimittaja ilmoitti, etteivät he enää pysty valmistamaan kyseistä anturia. Syynä tähän oli komponenttien saatavuudessa ilmenneet ongelmat, jotka johtuivat anturin toiminnan ja sen vaatimien komponenttien vanhentuneesta tekniikasta. Ilmoitus valmistuksen lopettamisesta tuli pienellä varoitusajalla, joten se loi projektiin melko tiukan aikataulun, sillä uusi tekniikka piti olla käytössä kevään aikana, ennen vanhojen antureiden loppumista varastoista.

Tavoitteena oli uuden korvaavan tekniikan kehittäminen ja toteuttaminen hitsauksen railon seurantaan. Työ toteutettiin projektina ja tarkoitus oli perehtyä erilaisiin anturityyppeihin, mittaustekniikoihin, hitsaukseen ja railon seurantaan sekä selvittää näiden tietojen perusteella uusia mahdollisia korvaavia tekniikoita uuden railon seurannan toteuttamiseen. Saatujen tietojen perusteella valittaisiin erilaisia antureita testauksiin, joiden avulla määritettäisiin sopivin tekniikka. Lopuksi selvitettäisiin tämän tekniikan vaatimat muutokset järjestelmään.

Vanha anturi oli erikoisanturi, joka oli kehitetty täysin hitsauksen railon seuranta varten. Anturi oli täysin toimiva, joten testauksissa vanhan anturin avulla pystyttiin luomaan tavoitearvot, joihin uusien antureiden antamia arvoja voitiin verrata. Uudella tekniikalla piti siis pystyä toteuttamaan vähintäänkin kaikki samat toiminnot kuin vanhallakin anturilla.

Projektia rajasi etenkin kaksi vaatimusta: uusi tekniikka ei perustu laserantureihin ja sen kustannukset ovat samaa luokkaa vanhan tekniikan kanssa. Lisäksi toivottiin, että uuden tekniikan käyttö vaatisi mahdollisimman vähän muutoksia nykyiseen järjestelmään. Laseranturit rajattiin pois, koska Pemamekillä on jo tarjolla

monia erilaisia laseranturiratkaisuja railonseurantaan. Lasertekniikka on todella tarkka ja häiriöitä sietävä, mutta kallis mittaustekniikka. Näin ollen asiakkaille halutaan tarjota myös edullisempi vaihtoehto railonseurantaan.

Tässä työssä selvitetään minkälaisella anturilla ja mittaustekniikalla railonseuranta voidaan toteuttaa ja mitä asioita tällaisessa sovelluksessa pitää ottaa huomioon.



## 2 PEMAMEK OY

### 2.1 Yritysesittely

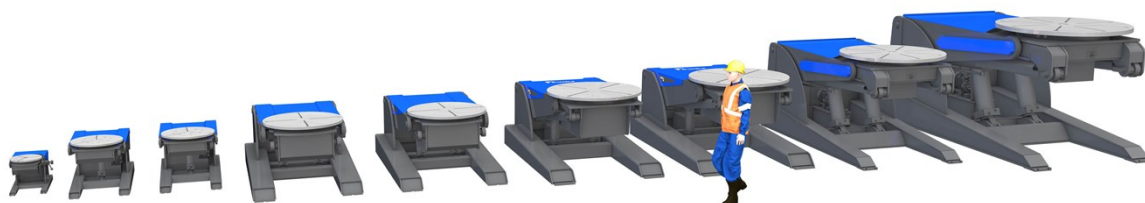
Pemamek Oy on hitsausautomaation asiantuntijayritys, joka tarjoaa erilaisia hitsauslaiteratkaisuja ympäri maailmaa 50 vuoden kokemuksella. Erilaisia hitsausratkaisuja on toimitettu yli 15 000 kaikkiaan yli 50 eri maahan. Suurimmat asiakkaat tulevat laivanrakennus-, tuulivoimala-, konepaja-, energia sekä prosessiteollisuudesta. Yrityksen tarjonta ei rajoitu pelkästään hitsauslaitteisiin vaan se sisältää koko tuotantoprosessin suunnittelun ja toteutuksen. Kokonaistoimitukset sisältävät tuotannon analysoinnin, suunnittelun, räätälöidyt hitsaus-, materiaalin- käsittely- ja kuljetusjärjestelmät, testaukset, koulutukset sekä tuki- ja huoltopalvelut. Tarjonta koostuu siis yksittäisistä laiteratkaisuista aina kokonaisiin tuotantolinjoihin. Pemamek työllistää noin 230 ihmistä, joista vajaa puolet työskentelee tuotannossa ja loput toimihenkilö tehtävissä, kuten suunnittelussa, myynnissä ja johtotehtävissä. Suunnittelu- ja toimitilat sijaitsevat Loimaalla, mutta myyntitoimistoja on perustettu ympäri maailmaa. Venäjällä, Puolassa, Brasiliassa ja Yhdysvalloissa sijaitsee Pemamekin omat myyntitoimistot ja myyntikumppaneita toimii 18 eri maassa. Yhteistyökumppaneina toimii hitsauslaitteet toimittava Lincoln Electric ja robottivalmistaja Yaskawa. (Pemamek Oy n.d.a.)



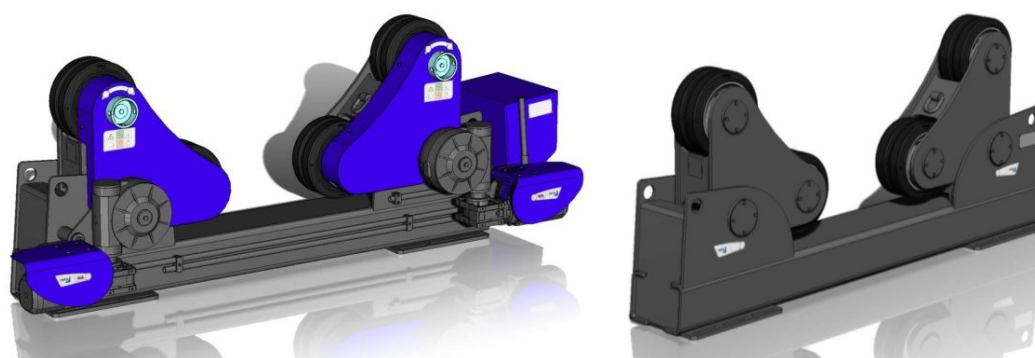
KUVA 1. Pemamek Oy tehdas Loimaalla (Pemamek 2020)

## 2.2 Laitteet

Laitevalikoima on hyvin laaja ja isommat koneet ovat aina enemmän tai vähemmän muokattu asiakkaiden toiveiden mukaiseksi. Isoimpia koneita ovat esimerkiksi jäykisterautojen hitsauslaite ja levyhitsauslaite, joita käytetään esimerkiksi laivanrakennuksessa isojen metallilevykokonaisuuksien valmistamisessa, jossa hitsataan yhteen levyjä ja niihin lattarautoja jäykisteiksi. Muita laitteita ovat robotihitsaus- ja kappaleenkäsittelylaitteet sekä jyrsimet, ja kaikista näistä on monenlaisia sovelluksia ja yhdistelmiä. Pienimmät laitteet ovat luokiteltu vakiolaitteiksi eli ns. katalogi tuotteiksi. Niiden toimitusajat ovat suhteellisen lyhyitä ja räätälöinti tapahtuu käytännössä lisävarusteiden valitsemisella. Tietysti näihinkin laitteisiin voidaan tehdä suurempia muokkauksia ja toimintoja asiakkaan niin halutessa. Vakiolaitteisiin kuuluvat käsittelypöydät, rullasto sekä hitsaustornit. Käsittelypöytiä löytyy laaja mallisto, 2,5 tonnista 250 tonnin kappaleiden käsittelyyn. Pyöritysrullastojen lastauskapasiteetti vaihtelee 10 tonnista 1600 tonniin. (Pemamek Oy n.d.b.)

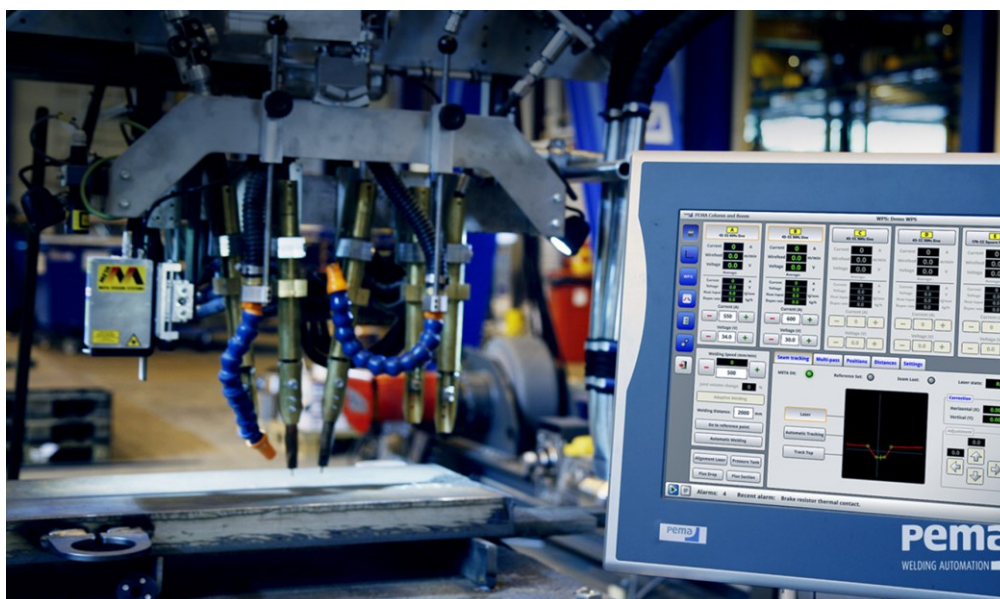


KUVA 2. APS Skymaster -käsittelypöytämallisto (Pemamek 2020)



KUVA 3. Rullasto, A25 käyttöyksikkö ja kannatusyksikkö (Pemamek 2020)

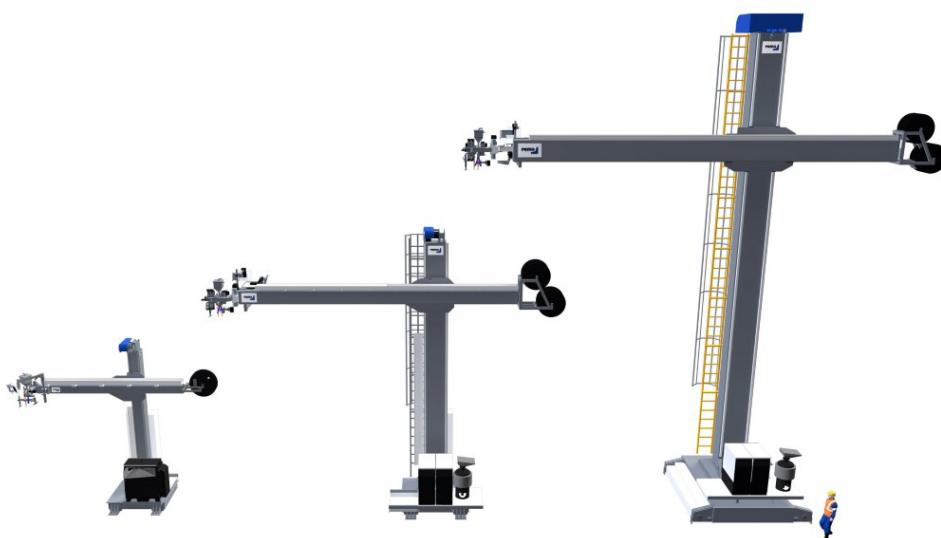
PEMA WeldControl -ohjausjärjestelmät ovat käytössä melkein kaikissa hitsauslaitteissa. Ne tarjoavat operaattorille yksinkertaisen yksipaneelisen laiteohjauksen. Ohjausjärjestelmiä on viisi erilaista, eri käyttökohteisiin kehitettyjä. Kaikissa laitteissa on käytössä Beckhoff-automaatiojärjestelmät, joiden ohjaustekniikka perustuu PC-ohjaukseen. Joissakin laitteissa käytetään logiikkaohjauksen päälaitteena paneeli-PC:tä ja joissain puolestaan ns. ohjauskaappi PC:tä ja tällöin ohjauspaneelina toimii Beijer Electronicsin valmistamat operointipäätteet. Muuten kaikki ohjausjärjestelmän peruskomponentit, kuten I/O-kortit, ovat Beckhoffin valmistamia.



KUVA 4. Pema WeldControl 500 -ohjausjärjestelmä (Pemamek 2020)

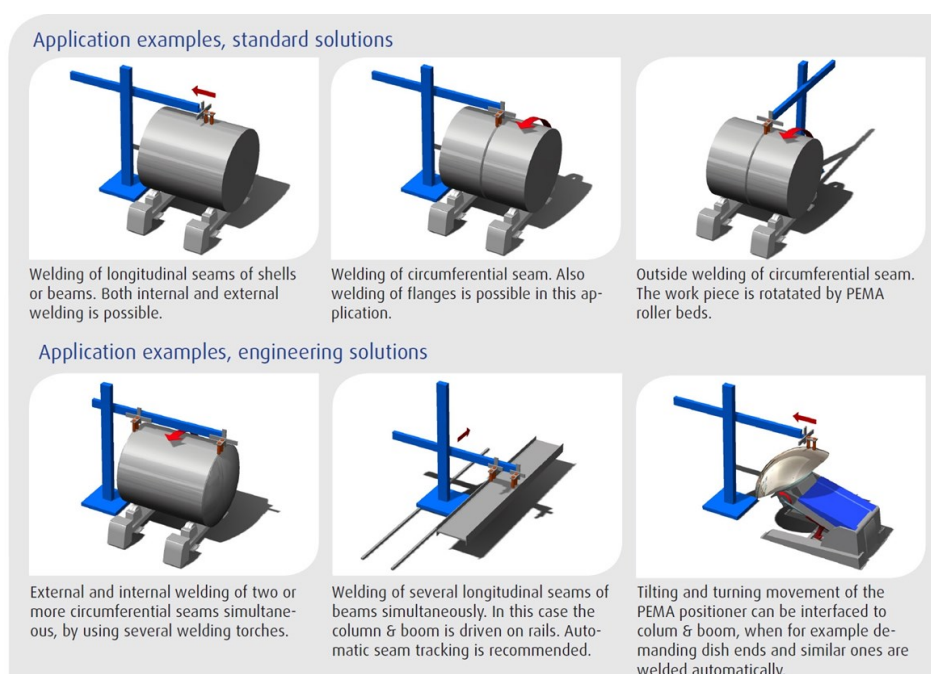
### 2.2.1 Hitsaustornit

Hitsaustorneja käytetään useimmiten pyöreiden rakenteiden hitsaukseen, esim. tuulivoimalan runkojen valmistuksessa. Usein hitsaustornin yhteydessä käytetään rullastoja, jotka toimivat sulautetusti samassa järjestelmässä tornin kanssa. Hitsaustorneja on kolmea eri sarjaa: MD-, HD- ja EHD-sarja. Tornit ovat hyvin muunneltavia sekä modulaarisia, ja niihin on saatavilla paljon lisävarusteita, mm. kameroita, jauheenkäsittelyä ja hallintajärjestelmiä. Tornit koostuvat alarungosta sekä pysty- ja vaakapuomista ja ne ovat 3-12 metriä korkeita mallista riippuen. (Pemamek Oy n.d.c.)



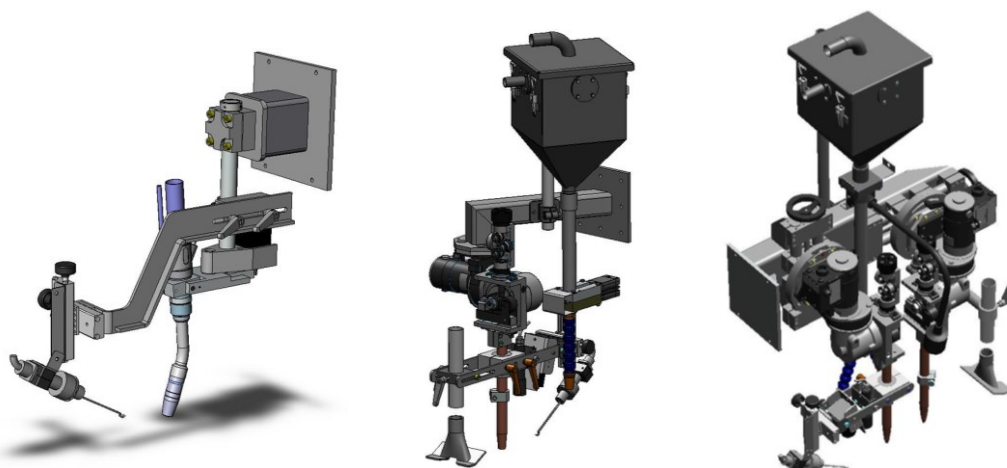
KUVA 5. MD-, HD- ja EHD-sarjan hitsaustorni (Pemamek 2020)

Vaakapuomia voidaan liikuttaa pysty- ja vaakasuunnassa, ja pystypuomi on mahdollista saada pyörivänä, jolloin siis vaakapuomia voidaan kääntää. Torni voidaan kiinnittää maahan kiinteästi, mutta usein alarunko kulkee raiteilla, jolloin laitteen toiminta-alueita saadaan laajennettua huomattavasti. Pääliikkeitä voidaan ajaa vain yhtä kerrallaan, joten hitsaus tapahtuu vaakaliikkeellä tai raideliikkeellä. Hitsausliike voidaan toteuttaa myös rullastolla tai käsittelypöydällä.



KUVA 6. Hitsaustornin yleisimmät hitsaustavat (Pemamek 2020)

Hitsauspäitä on saatavilla erilaisia, ja ne ovat hyvin muunneltavissa asiakkaan tarpeen mukaisesti. Hitsauspää kiinnitetään puomin päässä sijaitsevaan ristiluistiin, jonka avulla toteutetaan railonseuranta ja hitsauspolttimen asemoinnin tarkka säätö. Ristiluisti koostuu kahdesta liukukiskosta, joita säädetään pyörittämällä kuularuuvia tasavirta- tai servomoottorilla. Railonseuranta tapahtuu siis liikuttamalla ristiluisteja railonseuranta-anturin ohjaussignaalin perusteella.

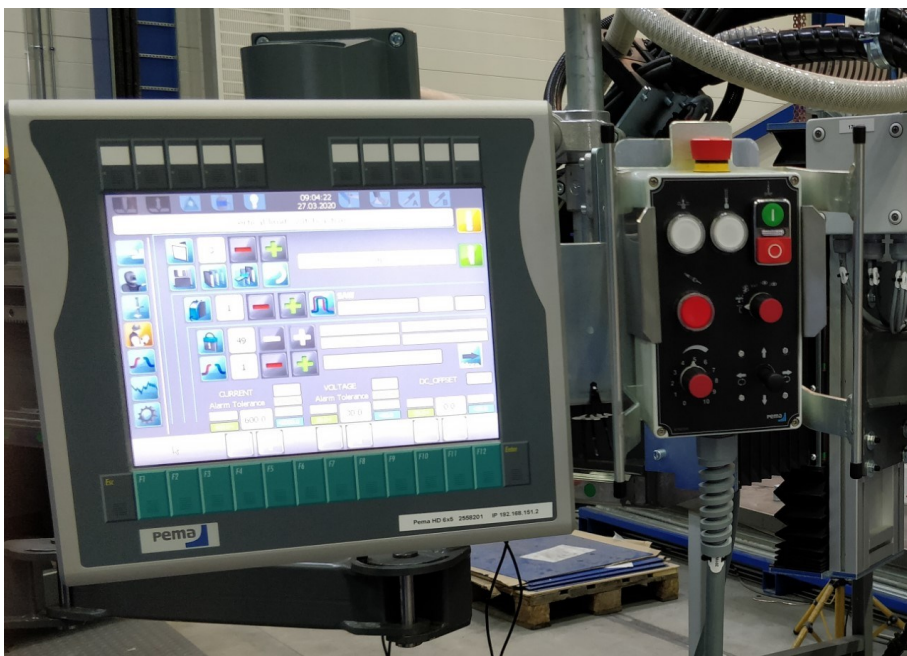


KUVA 7. Hitsauspää vaihtoehtoja (Pemamek Oy n.d.d)



KUVA 8. Hitsaustornin ristiluisti

Tornia ohjataan käsiohjaimella. Ohjain on rakennettu hyvin yksinkertaiseksi, jotta operaattorin olisi helppo käyttää laitetta. Ohjaimessa on operaattorille tärkeimmät toiminnot, joita käytetään hitsauksen aikana. Muut toiminnot ja säädöt tehdään ohjauspaneelissa.



KUVA 9. Hitsaustornin ohjauspaneeli ja käsiohjain

### 3 HITS AUS

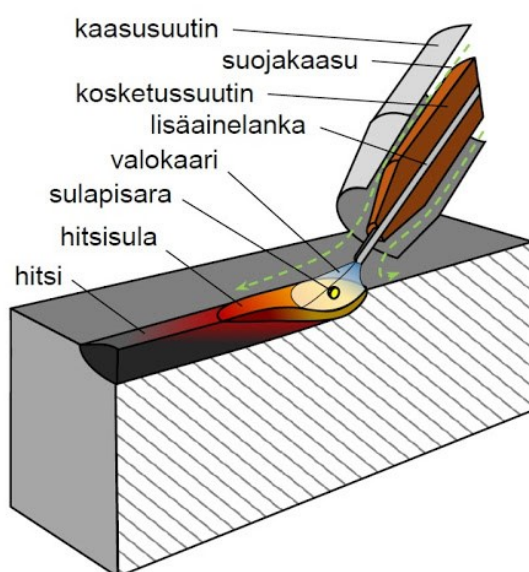
Hitsauksessa kaksi kappaletta liitetään toisiinsa sulattamalla lämpöenergian avulla. Yleensä hitsausta käytetään metallien, kuten teräksen, ruostumattoman teräksen ja alumiinin liittämiseen. Hitsausliitoksia voidaan kuitenkin käyttää myös muovien yhdistämisessä. Tällöin lämpöä ei vaadita läheskään yhtä paljon kuin metallien hitsauksessa, joten lämmönlähteenä riittää esimerkiksi kuuma ilma tai sähkövastus. Toinen erikoissovellus on valokuituhitsaus, jossa kuitujen päät hitsataan yhteen. Siinä käytetään erityisiä hitsauslaitteita, joiden käyttö eroaa täysin muista hitsausmenetelmistä. Hitsauslämpö on suurempi kuin muovihitsauksessa, mutta pienempi kuin metalleja hitsatessa. Metalleja hitsatessa lämpö tuotetaan yleisimmin sähkövirralla sekä sen luomalla valokaarella. Tätä tapaa kutsutaan kaarihitsaukseksi. Muita lämmöntuottotapoja ovat kitka, laser ja liekki. Osat voidaan sulattaa kiinni toisiinsa pelkästään lämpöenergian avulla, mutta yleensä hitsaukseen sulatetaan myös lisäainetta, jonka sulamispiste on lähes sama kuin hitsattavan materiaalin. Tällöin hitsauksesta saadaan kestävämpi. Lisäainetta syötetään tavallisimmin langansyöttölaitteella, mutta joissakin hitsaustekniikoissa lisäainetta lisätään käsin, syöttämällä hitsauspuikkoa. (Kemppi n.d.) Riittävä tunkeuma on oleellinen asia kestävä hitsauksen valmistamisessa. Tunkeuma tarkoittaa, kuinka syväälle lisäaine sekoittuu hitsattavaan materiaaliin.

Valokaari syntyy hitsauselektrodin ja hitsattavan materiaalin välillä, kun sähköpurkaus johdetaan hitsauselektrodilta ilmaraon läpi hitsattavaan kappaleeseen. Valokaaren lämpötila on tuhansia asteita, ja joissain tapauksissa jopa 10 000 astetta. Valokaaren sytytykseen on kaksi tapaa, liipaisu- sekä raapaisu-sytytys. Liipaisu-sytytyksessä hitsausvirtalähteellä luodaan suuri jännitepulssi, jonka johdosta valokaari syttyy. Tätä käytetään mm. MIG/MAG-hitsauksessa. Raapaisu-sytytyksessä nimensä mukaisesti raapaistaan hitsauselektrodilla materiaalia. Tästä esimerkkinä perinteinen puikkohitsaus. (Kemppi n.d.)

Laadukkaan hitsauksen saamiseksi on tärkeää, että valokaari on mahdollisimman tasainen. Tähän pystytään vaikuttamaan hitsausjännitteen ja langansyöttönopeuden säädöllä. Ammattitaitoinen hitsaaja osaa arvioida ja säätää nämä arvot, hitsata tasaisella ja kohteeseen sopivalla liikkeellä sekä sopivalla etäisyydellä materiaalista. Automatisoidussa hitsauksessa taas on etuna se, että liike on

täysin tasaista ja hitsauspoltin on jatkuvasti optimaalisessa kohdassa. (Kemppi n.d.)

Yleensä liitettävien kappaleiden reunat koneistetaan niin, että liitoskohtaan muodostuu hitsausrailo, useimmiten V-railo. Hitsauksen aikana valokaari, tai muu lämmöntuottotapa, sulattaa hitsattavien kappaleiden reunat ja lisäaineen. Tätä kutsutaan hitsisulaksi, joka näkyy kuvassa 10. Kun sula viilenee ja jähmettyy, muodostuu valmis hitsaussauma. (Kemppi n.d.)



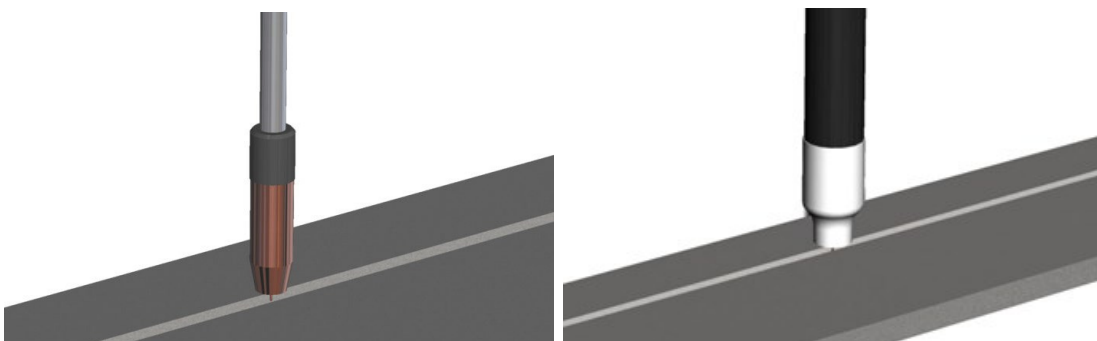
KUVA 10. MIG/MAG-hitsausprosessin esittely (Ionix n.d.)

Suojakaasua käytetään MIG-, MAG- ja TIG-hitsauksessa suojaamassa hitsisulaa ympäristön epäpuhtauksilta, kosteudelta ja hapettumiselta. Ilman suojakaasua, hitsisulaan syntyisi huokosia ja korroosionkestävyys heikkenisi. Lisäksi hitsauspistoolin läpi kulkeva kaasuvirtaus jäädyttää poltinta. Hitsauskaasut jaetaan inertteihin ja aktiivisiin. Inertti kaasu ei reagoi hitsatessa, vaan ainoastaan suojaa hitsaussulaa. Aktiivinen kaasu puolestaan reagoi hitsauksessa vakauttaen valokaarta ja varmistaen lisäaineen tasaisen siirtymisen hitsisulaan. MIG- ja MAG-hitsausten ero on siis kaasussa: MIG-hitsauksessa kaasu on inerttiä eli prosessissa reagoimatonta ja MAG-hitsauksessa aktiivista. TIG-hitsauksessa käytetään myös inerttiä kaasua. Eniten käytetyt komponentit ovat argon, happi, helium ja hiilidioksidi. (Kemppi n.d.)



### 3.1 Hitsausmenetelmät

Pemamek tarjoaa monia hitsausmenetelmiä tuotteisiinsa. Hitsaustorneissa käytetään yleensä tavallisimpia hitsausmenetelmiä eli MIG, MAG, TIG sekä jauhekaarihitsausta. Kuten edellä on mainittu, MIG-, MAG- ja TIG-hitsauksessa käytetään hitsauskaasua. Näitä menetelmiä käytetään pienempiin ainevahvuuksiin. MIG/MAG-hitsausta käytetään yleensä seostamattoman teräksen hitsauksessa ja TIG-hitsausta käytetään mm. ruostumattoman teräksen, alumiinin tai erikoismetallien hitsauksessa. Lisäainelangan vahvuus on useimmiten 0,8-1,2mm. (Ionenix n.d.)



KUVA 11. Vasemmalla MIG/MAG-poltin ja oikealla TIG-poltin (Pemamek Oy n.d.e)

Paksumpia ainevahvuuksia hitsattaessa valitaan SAW- eli jauhekaarihitsausta. Siinä lämpöä pystytään tuomaan suuria määriä materiaaliin, ja lisäainelangan tyypillisin paksuus onkin 4mm. Jauhekaarihitsauksessa suojakaasun tilalla käytetään jauhetta. Etuna on, että valokaari palaa jauheen alla, ja näin ollen silmille haitallinen kirkas valo, ultraviolettisäteily ja hitsaussavut eivät leviä ympäristöön. Osa jauheesta sulaa, muodostaen kuonakerroksen hitsin päälle. Kuonakerros pitää poistaa, joten siitä aiheutuu ylimääräinen työvaihe prosessiin. Järjestelmässä pitää olla myös jauheenkäsittely, eli jauheen tiputus ja imu takaisin säiliöön. (Esab n.d.)



KUVA 12. Jauhekaarihitsauspolttimet, vasemmalla perinteinen ja oikealla kaksoislankapoltin (Pemamek Oy n.d.e)

Perinteinen jauhekaarihitsauspoltin on kuparia, ja sen läpi syötetään lisäainelanka. Jauhekaarihitsaukseen on kehitetty tosin monia variaatioita, joista Pemamekillä on käytössä perinteisen lisäksi Twin SAW, Tandem SAW ja Tandem Twin SAW. Twin SAW- eli kaksoislankahitsauksessa käytetään kahta lankaa. Kun edellä mainittuja polttimia asennetaan kaksi peräkkäin, kutsutaan prosessia tandem-hitsaukseksi.



KUVA 13. Vasemmalla Tandem SAW ja oikealla Tandem Twin SAW (Pemamek Oy n.d.e)

Saatavana on myös lanka- ja nauhahitsaus prosesseja. Nauhahitsauksen avulla seostamattomiin ja niukkaseoksisiin teräksiin pystytään luomaan korroosionkestävä pintakerros. Menetelmään voidaan käyttää sekä jauhekaari- tai kuonahitsausta. Käytännössä prosessissa sulatetaan hitsausnauhaa metallin pintaan niin että tunkeuma metalliin on 0,5-1,5mm. (Lukkari 2007, 4-5.)

### 3.2 Hitsausrailo

Hitsausrailon avulla varmistetaan levyjen ja muiden kappaleiden kestävä liitos. Raillon avulla molempien kappaleiden materiaalia saadaan sulatettua tasaisesti ja lisäaineelle on tilaa railossa. Näin saadaan aikaiseksi kestäviä ja siistejä hitsausaumoja. Raillonmuotoja on paljon erilaisia kuten V, X, Y ja K sekä viistämätön I-railo. Yleisin railotyyppi on V-railo. Y- ja X-railloa käytetään paksumpien ainevahvuuksien hitsauksessa, jotta raillon täyttöön ei vaadittaisi kohtuutonta määrää lisäainetäyttöä. Paksuissa ainevahvuuksissa railo ei kuitenkaan täyty yhdellä hitsauspalolla railotyypistä riippumatta. Tällöin käytetään monipalkohitsausta, jotta railo saadaan täytettyä. (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. 2010, 5.)

TAULUKKO 1. Railotyyppien kuvaus (Pemamek 2020)

	Railo- / liitostyytit
Laippaliitos	
I-railo	
V-railo	
1/2 V-railo	
1/2 V-railo	
U-railo	
Kaksois-U-railo	
J-railo	
Kaksois-J-railo	
X-railo	
Epäsymmetrinen X-railo	
K-railo	
K-railo	
Pienahitsi	

### 3.3 Railonseuranta

Railonseuranta on hitsauksessa käytettävä lisävaruste, joka lisää hitsauksen tarkkuutta ja laatua. Railonseurannan avulla pystytään hitsauspiste pitämään jatkuvasti optimaalisessa kohdassa, jolloin hitsauksen laatu pysyy tasaisena. Railossa olevat muutokset voivat johtua esimerkiksi suurten osien asettamisessa johtuvista heitoista. Railonseurantamenetelmiä on neljä erilaista: mekaaninen, elektromekaaninen, optinen sekä valokaaren seuranta (Nousiainen 2014). Mekaaninen seuranta perustuu fyysiseen kosketukseen. Mekaaninen hitsauslaite kulkee joko kiskoilla tai pyörillä ja niissä on ns. kelluva ristiluisti, johon on kiinnitetty kiinteästi seurantakärki, joka kulkee kappaleen pinnalla tai hitsausrailossa säätäen luistia ja näin ollen hitsauspoltinta. (Setälä n.d.) Elektromekaanisessa tekniikassa seurantakärki kulkee samoin railossa tai kappaleen pinnalla. Erona on, että kärjen liike vaikuttaa anturiin, jonka kautta saadaan sähköinen signaali, jolla ohjataan ristiluistia. Ristiluistin liikuttaminen tapahtuu sähkömoottoreilla. Optisella tekniikalla ristiluistia ohjataan samoin sähköisesti, mutta anturina toimii laseranturi, joka skannaa railon tai kappaleen pinnan. Tällöin seurannassa ei ole fyysistä kosketusta. Valokaarensurantaa käytetään monesti robottihitsauksessa. Siinä seurataan hitsausvirran sekä -jännitteen vaihtelua valokaaren läpi ja näiden tietojen perusteella ohjataan hitsaustauspoltinta. (Jääskeläinen, Solehmainen & Tuunainen 2010.)

Pemamekin korvattava railonseuranta on toteutettu elektromekaanisesti. Anturin toimintaperiaate on sama kuin kaksiakselisessa ohjaussauvassa, jonka mittausmekaniikka on optinen. Kun anturi sauva liikkuu, sen antaa jänniteviestin vaaka- ja pystyliikkeestä.

Railonseuranta kytketään päälle käsiohjaimesta, kun anturi on irti kappaleesta. Tämän jälkeen hitsauspäättä ajetaan ristiluistilla alaspäin niin pitkään, että anturin seurantakärki osuu kappaleeseen ja vaikuttaa. Kun anturin sauva kääntyy tarpeeksi ja se ylittää seurannan raja-arvon, seuranta aktivoituu. Tällöin hitsauspää asettuu niin, että seuranta-anturin kärki hakeutuu tavoitearvoonsa. Jos kärki siirtyy johonkin suuntaan, ohjataan ristiluistia niin, että kärki on taas tavoitearvoissaan ja anturi ja hitsauspoltin samassa linjassa.



KUVA 14. Elektromekaanisen railon seurannan toimintaperiaate (Pemamek 2020)



KUVA 15. Vanha, korvattava railon seuranta-anturi

## 4 ANTURIT

Projektissa tutkittiin erilaisia anturityyppejä, ja niiden toimintaan piti perehtyä, jotta voitiin arvioida, sopisiko anturityyppi mahdollisesti railonseurantaan.

### 4.1 Voima-anturit

Voima-antureilla voidaan mitata puristusta, venymää, taivutusta, kuormaa tai jännitystä sekä kaikkea näistä sovellettavia arvoja. Jokaiseen osa-alueeseen on kehitetty omanlaisiaan antureita, mutta niissä käytetään samoja mittaustekniikoita. Yleisimmin antureiden toiminta perustuu venymäliuska-, pietsosähkö- tai ohut- tai paksukalvotekniikkaan. Lisäksi on hydraulinen voimanmittaus, jota käytetään lähinnä puristusvoima- ja kuormanmittaus sovelluksissa. Se on yksinkertainen ja vahva mittaustekniikka, eikä se vaadi ulkoista virtalähdettä. Anturissa on yksinkertaisesti mäntä, joka puristaa nestettä anturin sisällä ja tästä aiheutuva paine pystytään osoittamaan painemittarilla, joka voidaan tarvittaessa skaalata voima-asteikoksi. (WIKA Finland Oy n.d.a.)

Venymäliuska-anturit ovat paljon käytettyjä voimamittauksissa, koska ne ovat vakaita, kestäviä, pitkäikäisiä ja tarkkoja. Ne sietävät hyvin iskuja ja tärinää, joten niillä saadaan mitattua hankalissakin sovelluksissa. Venymäliuskojen tarkkuus on 0,01% mittausalueesta ja pienimmät mahdolliset mittausalueet antureilla ovat 0 - 0,5N ja suurimmat jopa 0 -10 000kN. (WIKA Finland Oy n.d.a.) Venymäliuska-anturi on siis hyvin monipuolinen ja sitä sovelletaan monissa eri mittauksissa. Näin ollen erilaisia venymäliuska-antureita on paljon tarjolla, ja niiden saatavuus on hyvä. Pietsosähköisellä voima-anturilla on korkea mittaustarkkuus, mutta se on myös huomattavasti kalliimpi ja häiriöherkempi kuin venymäliuskamittaukseen perustuva anturi. Pietsosähköanturissa mittauselementti on puolijohdemateriaalia. Puolijohde on materiaalia, joka on sähkönjohtavuudeltaan eristeen ja metallin väliltä eli se johtaa sähköä, mutta huomattavasti huonommin kuin metalli. Kun materiaali venyy tai puristuu, muuttuu materiaalin vastusarvo. (Beyer 2011.)

Ohut- ja paksukalvoantureiden toimintaperiaate on sama kuin venymäliuska-antureissa eli niiden vastusarvo muuttuu, kun mittauselementti venyy tai puristuu.

Erona näissä antureissa on erilaiset mittauselementit ja niiden kiinnitystapa runkoon. Venymäliuska-anturissa liuska on usein metallifoliota, joka liimataan anturin muotoa muuttavaan runkoon. Ohutkalvoanturissa mittauselementti puolestaan on sulautettu anturin runkoon esimerkiksi etsaamalla eli syövyttämällä ja kalvo on usein ruostumatonta terästä. Paksukalvoanturissa mittauselementti on tulostettu rungon päälle, jonka jälkeen elementti poltetaan, usein keraamiseen, runkoon kiinni. (Gassmann & Greis 2010.)

Venymäliuskatekniikka todettiin sopivaksi vaihtoehdoksi railonseurantaan, joten sen toimintaan perehdyttiin tarkemmin.

#### **4.1.1 Venymäliuska**

Venymäliuska mittaa nimensä mukaisesti venymää, mutta venymämittausta pystytään soveltamaan lisäksi voiman, puristuksen, taivutuksen, jännityksen, massan ja lämmön mittauksessa. Venymäliuska on käytännössä vastus, jonka vastusarvo muuttuu suhteessa siihen kohdistettuun voimaan. Anturi koostuu ohuesta, joustavasta ja eristävästä kalvosta sekä sen sisään liimatusta metallijohdimesta. Metallijohde on todella ohut, mittaussuunnassa laskostettu pitkä nauha, jonka poikkileikkauksen muoto ja pituus muuttuvat, kun sitä venytetään. Laskostetun muodon ja ohuiden jänteiden avulla vastusarvon muutos korostuu: venytys kasvattaa ja puristus pienentää resistanssia. Tästä huolimatta muutos on todella pieni, ja sen havaitsemiseksi vaaditaan aina vastussiltakytkentä, eli Wheatstonen silta. Sen avulla muutos saadaan ulos jännitteen muutoksena mikro- tai millivolteina. Useimmiten tämä jännite on kuitenkin edelleen liian pientä mitattavaksi tai käytettäväksi, joten tulos pitää vielä vahvistaa volteiksi, jotta tietoa voidaan käyttää ohjaussignaalina tai mittausravona. (OMEGA Engineering n.d.; One Moment Engineering Oy n.d.)

Anturin toimintaperiaate on yksinkertainen, mutta mittaukseen vaikuttavia asioita on paljon. Suurin yksittäinen mittausravon vaikuttava tekijä on lämpölaajeneminen ja liiallinen lämmölle altistuminen rikkookin anturin. Tällöin metallijohde venyy niin paljon, että se ei enää palaudu ennalleen lämpötilan laskiessa. Lämmöstä

johtuva mittavirhe voidaan kuitenkin korjata lisäämällä mittaukseen ns. referenssianturi, johon ei kohdisteta voimia, vaan se määrittelee anturin mitta-arvon nol-lakohdan vallitsevassa mittaustilanteessa. Sen avulla siis pystytään kompensoimaan lämmön aiheuttama vastusarvon muutos. Muita mittauksen luotettavuuteen vaikuttavia asioita ovat vahvistuksen aiheuttama kohina, jos mittauksessa käytetään erillistä vahvistinta, jännityksen ja venymän moniaksaalisuus, virransyötössä ilmenevät häiriöt, johtojen vastusarvojen vaikutus sekä rakenteiden epätarkkuudet. (One Moment Engineering Oy n.d.)



KUVA 16. Venymäliuska johtimilla (Partco n.d.)

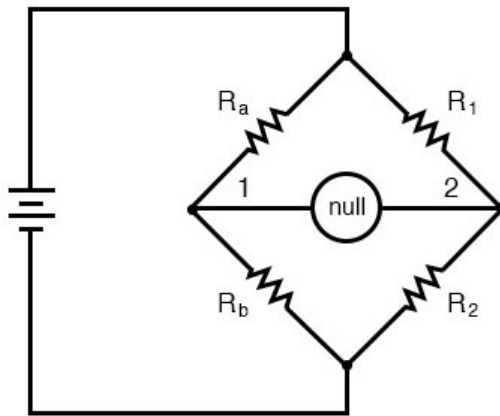
#### 4.1.2 Wheatstonen silta

Venymäliuskan vastusarvon muutos on hyvin pieni ja muutoksen havaitsemiseksi vaaditaan vastussilltakytkentä eli Wheatstonen silta. Se muuttaa resistanssin muutoksen jännitteen muutokseksi. Alun perin Charles Wheatstone kehitti siltakytkennän tuntemattomien resistanssien määrittämiseen sekä mittalaitteiden kalibroimiseen. Kytkentä on kuitenkin edelleen tärkeä ja käyttökelpoinen keksintö, sillä sen avulla pystytään määrittämään hyvin pieniäkin vastusarvoja, kuten juuri venymäliuskan vastusarvon muutosta. (Electronics tutorials n.d.a.)

Siltakytkentä koostuu neljästä vastuksesta, jotka ovat kytketty timantin muotoon, kuvion yksi mukaisesti. Kahden ylemmän vastuksen resistanssi on tiedossa, alemmista toinen vastus on säädettävä ja toinen määriteltävä vastus, jonka vastusarvoa ei tiedetä. Silta kytketään jännitelähteeseen ja pisteiden yksi ja kaksi välille kytketään jännitemittari. Kun säätövastus säädetään niin, että jännitemittarin arvo on nolla eli pisteissä yksi ja kaksi on sama jännite, vastaa säätövastuksen

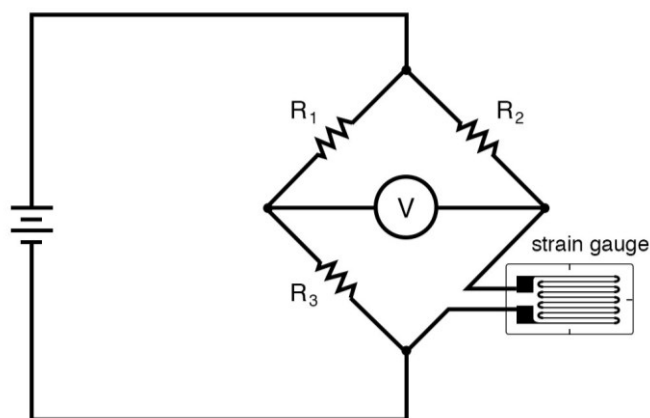


arvo tuntemattoman vastuksen arvoa, kun tunnettujen vastusten arvo on sama. Tässä tilanteessa silta on siis tasapainossa. (Electronics tutorials n.d.a; Bridge Circuits, DC Metering Circuits n.d.)



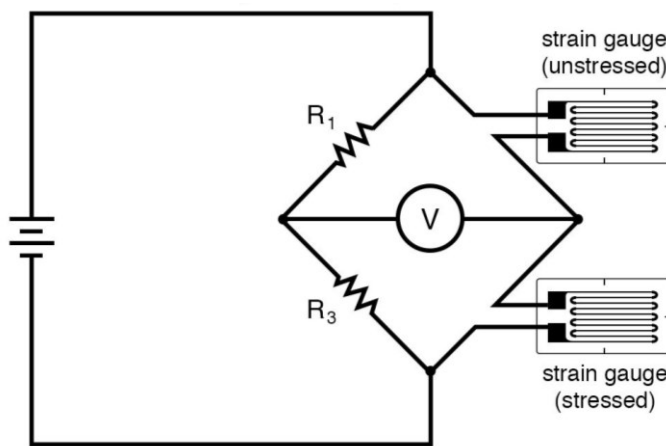
KUVIO 1. Wheatstone siltakytkentä (Bridge Circuits, DC Metering Circuits n.d.)

Kun siltaa käytetään vahvistimena, käytetään neljännessiltakytkentää eli määriteltävä vastus korvataan venymäliuskalla, kuvion kaksi mukaisesti. Tässä kytkennässä vastukset yksi ja kolme ovat asetettu yhtä suuriksi. Vastus kaksi on määriteltävä, eli kun venymäliuskaan ei kohdistu voimia, silta on tasapainossa eli jännitemittarin arvo on nolla. Tämä siis osoittaa, että venymäliuskaan ei kohdistu voimia. Kun taas venymäliuska venyy tai puristuu, sen vastusarvo muuttuu, jolloin jännitemittarin arvo nousee tai laskee. Näin saadaan aikaiseksi jänniteviesti venymäliuskan muutoksista. Jänniteviesti saadaan millivolteina, joten kytkentä vaatii usein vahvistimen. (Bridge Circuits, DC Metering Circuits n.d.)



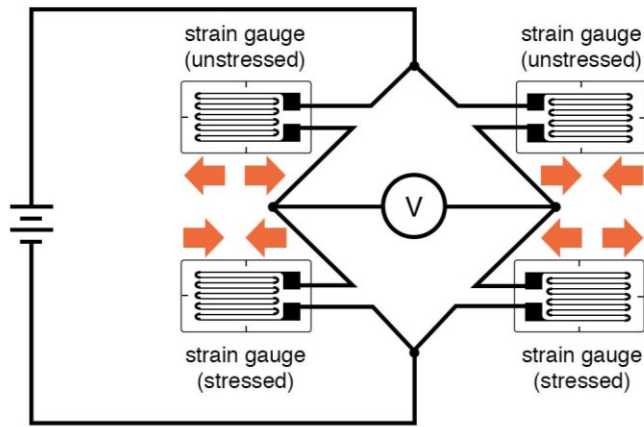
KUVIO 2. Neljännessiltakytkentä (Strain Gauges, Electrical Instrumentation Signals n.d.)

Kuten aiemmin on kerrottu, venymäliuskan vastusarvo muuttuu lämpötilan muuttuessa, vääristäen täten mittaustulosta. Virhe voidaan kuitenkin poistaa, lisäämällä kytkentään toinen samanlainen venymäliuska. Kytkennässä vastukset yksi ja kolme ovat edelleen samanarvoiset ja vastus kaksi on korvattu nyt venymäliuskalla, joka toimii ns. lämpötilan kompensointilaitteena, johon ei kohdisteta mitään voimia. Vastukset ovat määriteltä niin, että perustilassa kytkentä on tasapainossa, ja kytkentä myös pysyy tasapainossa lämpötilan muuttumisesta huolimatta, koska liuskojen vastusarvot muuttuvat molemmissa liuskoissa yhtä paljon. Toiminta edellyttää tietenkin sitä, että molemmat venymäliuskat ovat samoissa testiolosuhteissa ja kiinnitettyinä samaan materiaaliin. (Strain Gauges, Electrical Instrumentation Signals n.d.)



KUVIO 3. Puolisiltakytkentä (Strain Gauges, Electrical Instrumentation Signals n.d.)

Täyssiltakytkennässä kaikkien vastusten tilalle on asetettu venymäliuskat, mutta toimintaperiaate on täysin sama kuin puolisiltakytkennässä. Täyssiltakytkennällä saavutetaan lineaarinen mittaustuloste sekä herkempi mittaustuloste, eli sillä pystytään havaitsemaan äärimmäisen pienetkin vastusarvomutokset. Puoli- ja neljännesiltakytkentöjen piirit tuottavat lähtösignaalin, joka on vain suunnilleen verrannollinen venymäliuskaan kohdistuneeseen voimaan. Näillä kytkennöillä lineaarisin tuloste saadaan, kun liuskan vastusarvon muutokset ovat huomattavasti pienempiä verrattuna mittarin nimellisarvoon. (Strain Gauges, Electrical Instrumentation Signals n.d.)



KUVIO 4. Täyssiltakytkentä (Strain Gauges, Electrical Instrumentation Signals n.d.)

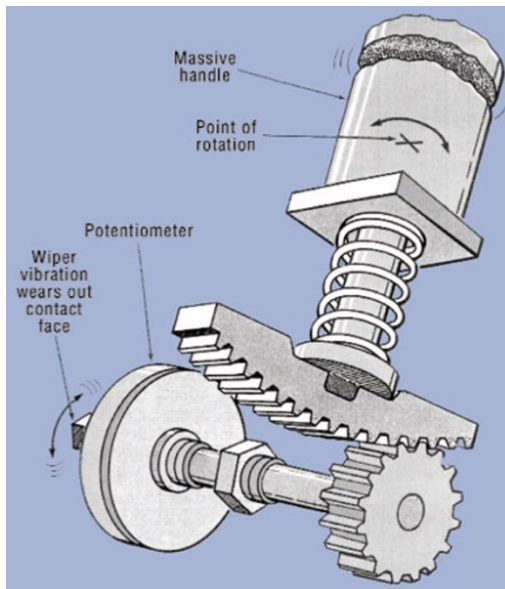
## 4.2 Ohjaussauvat

Ohjaussauva eli joystick on ohjauslaite, jonka avulla fyysinen liike pystytään muuttamaan sähköiseksi ohjaussignaaliksi. Joystick nimitys on vakiintunut termi, jota ei ole suoraan käännetty yhdellekään kielelle. Ensimmäiset ohjaussauvat kehitettiin lentokoneiden ohjaamiseen. (CTI Electronics n.d.) Ohjaussauvat ovat paljon käytettyjä liikkeenohjauksessa, koska käyttäjä saa ohjaussauvasta loogisen ja fyysisen vasteen toimilaitteen vasteesta. Ohjaussauvan pääkomponentit ovat runko, nivel ja sauva sekä sauvan päässä usein käytettävä erillinen, ergonominen kahvaosa. Nivel on yleisesti pallonivel, mutta yksiakselisissa ohjaussauvoissa käytetään myös yksinkertaista ns. sarananiveltä. Sauva voi siis olla yksi-, kaksi- tai kolmiakselinen. Kolmas akseli on sauvan kierto. Ohjaussauvoja on paljon eri kokoisia ja niissä käytetään erilaisia tekniikoita liikkeen muuttamiseksi sähköiseksi signaaliksi. Yksi ohjaussauvatyyppi perustuu mikrokytkimiin, mutta tällaisella sauvalla ei saada aikaiseksi säätyvää ohjaussignaalialia, joten sitä ei käsitellä tästä syystä tarkemmin. (Schumann, D. 2011.; CTI Electronics n.d.)

### 4.2.1 Potentiometrinen ohjaussauva

Yksinkertaisimman ohjaussauvatyyppin toiminta perustuu säätövastukseen eli potentiometriin. Siinä sauvan liike muutetaan mekaanisella välityksellä potentiomet-

rin säädöksi, jolloin vastusarvo muuttuu. Vastusarvon muutos indikoi sauvan kallistuskulmaa, jota voidaan käyttää ohjaussignaalina. Potentiometri ohjaussauva on halpa toteuttaa, mutta mekaanisesta kosketuksesta johtuva kuluminen vaikuttaa pitkällä aikavälillä ohjaimen kestävyys- ja luotettavuuteen. Tekniikka on myös häiriöherkkä, etenkin elektromagneettisuudelle ja radiotaajuuksille. (Schumann, D. 2011.; CTI Electronics n.d.)



KUVA 17. Potentiometri-ohjaussauvan yksinkertaistettu toimintaperiaate (Schumann 2011)

#### 4.2.2 Hall-efekti ohjaussauva

Hall-ilmiö luo jännitteen puolijohdekomponenttiin, kun sen läpi johdetaan jatkuva virta, ja se asetetaan magneettikenttään, kohtisuoraan kenttään nähden (WIKA Finland Oy n.d.b). Ilmiötä sovelletaan mm. pulssiantureissa ja ohjaussauvoissa. Ohjaussauvassa ilmiötä sovelletaan niin, että sauvan päässä on magneetti ja rungossa neljä puolijohdekomponenttia, joiden jännitearvot muuttuvat magneettikentän muuttuessa, eli kun sauvaa liikutetaan. Alla olevassa kuvassa näkyy Hall-anturilla toteutetun ohjaussauvan avattu runko-osa, ja sauvan päässä oleva magneetti. Tekniikan etuna on hyvä hinta-laatusuhde sekä pitkä käyttöikä, koska mekaanista kosketusta ei tarvita. Rakenne on myös kevyt ja kompakti. Tosin Hall-efekti on häiriöherkkä etenkin ulkoisille magneettikentille, koska toiminta perustuu

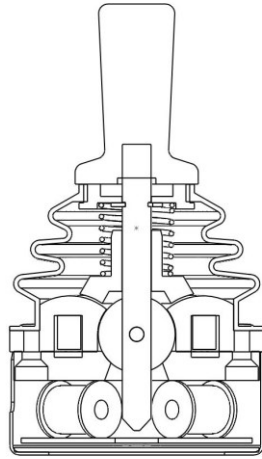
nimenomaan anturin omien magneettien luoman magneettikentän muodostamiin jännitteisiin. (CTI Electronics n.d.)



KUVA 18. Hall-tekniikkaan perustuvan ohjaussauvan avattu runko

### 4.2.3 Induktiivinen ohjaussauva

Sähkömagneettinen induktio on ilmiö, jossa käämiin muodostuu sähkövirta, kun se on muuttuvan magneettikentän vaikutuksessa. Induktiivisessa ohjaussauvassa induktiota sovelletaan niin, että sauvan metallinen pää liikkuu runkoon kiinnitettyjen käämien välissä. Käämit luovat magneettikentän ympärilleen, ja kun sauvaa liikutetaan, aiheuttaa se muutoksia käämien magneettikentässä. Tämä aiheuttaa myös muutoksen käämin sähkövirrassa, jonka avulla määritetään ohjaussauvan asento. Mittaustekniikan ominaisuudet ovat lähes vastaavat Hall-tekniikkaan verrattuna, sillä mittauksessa ei vaadita mekaanista kosketusta ja se on häiriöherkkä etenkin ulkoisille magneettikentille. (CTI Electronics n.d.; Electronics tutorials n.d.b.)



KUVIO 5. Induktiivinen ohjaussauva (CTI Electronics n.d.)

#### 4.2.4 Optinen ohjaussauva

Uusin ohjaussauvoissa käytetty mittaustekniikka on optinen mittaustekniikka, jossa mitataan valon aallonpituutta. Valolähteenä käytetään LED-valolähdettä, jonka valoteho voi ajan myötä heikentyä. Tämä pystytään kuitenkin ottamaan huomioon mittauksessa anturin sisäisellä valoanturilla. Näin ollen tekniikka on hyvin kestävä, luotettava ja pitkäaikainen. Lisäksi tekniikka on sietävä hyvin ulkoisia häiriöitä, sillä valon aallonpituuteen ulkoisesti vaikuttavia tekijöitä ei oikeastaan ole. Optisten ohjaussauvat ovat kuitenkin kalliimpia kuin edellä mainitut vaihtoehdot, ja niitä on tarjolla todella vähän. (CTI Electronics n.d.)

## 5 SUUNNITTELU

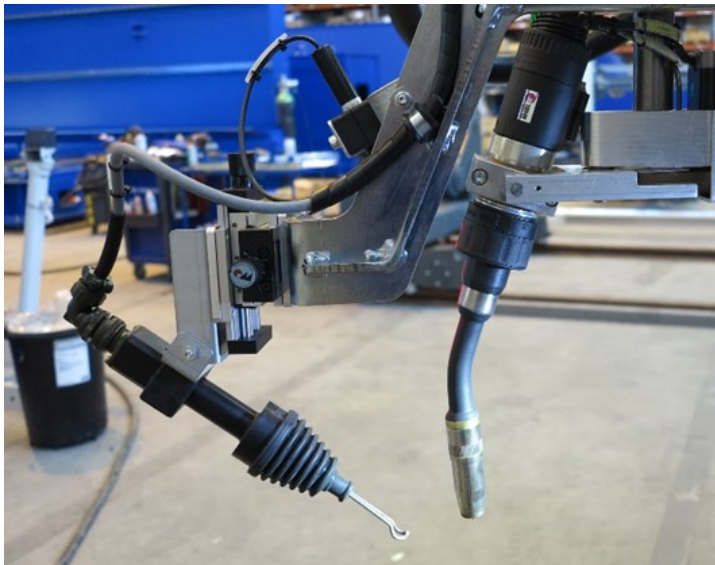
### 5.1 Projektisuunnitelma

Heti projektin alussa tehtiin projektisuunnitelma, jotta projektissa olisi selkeä edetä asiasta toiseen, ja projektin aikatauluttaminen sekä etenemisen seuranta olisi helpompaa. Alla suunnitelma:

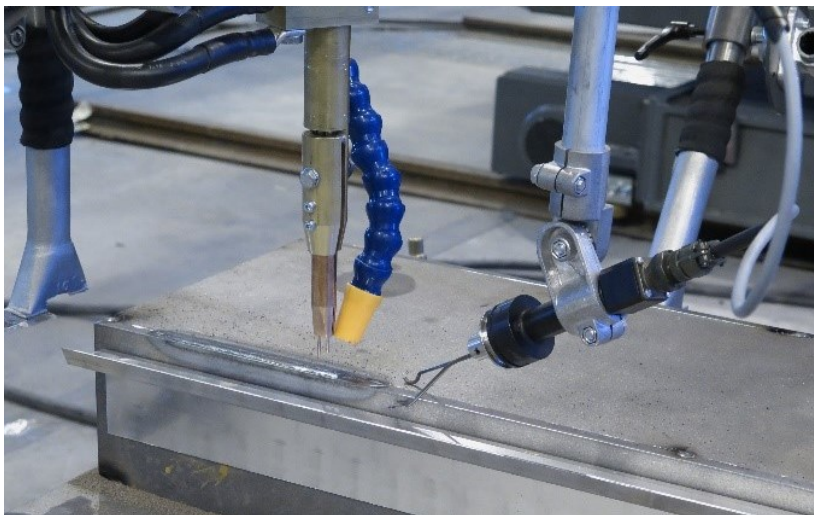
1. Lähtökohtien ja vaatimusten määrittely
2. Eri vaihtoehtojen tutkiminen
3. Tiedustelu & tilaaminen
4. Testit vanhalla anturilla
5. Testit uusilla antureilla
6. Tulosten analysointi
7. Anturin valinta
8. PLC-ohjelman muokkaaminen
9. Asennuksen suunnittelu
10. Testaukset ja kaikkien toimintojen toimivuuden varmistaminen

### 5.2 Lähtötiedot

Railonseurannan päivittämisen syy oli siis saatavuusongelmat vanhan anturin suhteen eli vanha anturi oli siis täysin toimiva. Korvattava anturi toimii hieman vastaavalla tavalla kuin ohjaussauva, mutta sen liikerata on suhteellisen pieni. Sauvan kokonaisliike on vain noin 5 astetta pysty- ja vaakasuunnassa ja anturi on perustilassaan ala-asennossa. Näin anturin koko kapea pystyliikkeen toiminta-alue saadaan käyttöön ja seuranta-alue näin ollen laajemmaksi. Seuranta-kärjen pituus ja muoto vaihtelevat eri hitsaussovelluksissa ja anturissa onkin mahdollisuus kiinnittää yksi paksumpi tai kaksi pienempää seurantakärkeä. Yleisesti käytössä on kaksi seurantakärkeä, koska ne toimivat parhaiten V-railojen seurannassa. Operaattorit tosin joskus muokkaavat kärkiä sopiviksi eri sovelluksiin, esimerkiksi taivuttamalla niitä. Siksi on hyvä, että ne ovat metallia, ja näin muokattavissa.



KUVA 19. Korvattava railon seuranta-anturi MIG/MAG-polttimen yhteydessä (Pemamek 2020)



KUVA 20. Erikoisvariaatio railon seurannassa: kulman seuranta, toteutettu muokatuilla seurantakärjillä (Pemamek 2020)

### 5.3 Anturin vaatimukset

Uuden railon seuranta-anturin on luonnollisesti täytettävä samat kriteerit kuin korvattavan anturin. Korvattavaa elektromeekaanista railon seurantaa käytetään eniten hitsaustorneissa, mutta myös muissa laitteissa. Saatavilla on laserantureita, jotka skannaavat railon muodon, eivätkä ole kosketuksessa hitsattavaan materiaaliin. Näitä käytetään paljon Pemamekin suuremmissa laitteissa. Optinen seuranta on hyvin varma, tarkka ja kestävä ratkaisu, mutta myös kallis ja se vaatii



myös oman apuohjelmansa. Anturin käyttöönotossa joudutaan usein säätämään ohjelmaa ja asetuksia, jotta se saadaan toimimaan halutulla tavalla. Näiden asioiden vuoksi halutaan tarjota edullisempi ja yksinkertaisempi elektromekaaninen vaihtoehto, joka toimii täysin suurimmassa osassa hitsaussovelluksia.

Railonseurannalla pitää pystyä seuraamaan enintään 60mm syvää V-railoa, jonka kulma on 50 – 70 astetta. Eritystapauksena on myös 90 asteen railo, mutta tällöin maksimi railonsyvyys saa olla vähemmän kuin 60mm. I-railoja, joissa ilmaraako on 4 mm tai vähemmän, pitää myös pystyä seuraamaan. Pienahitsauksessa pitää pystyä seuraamaan liitettävien kappaleiden luomaa kulmaa. Lisäksi on lukematon määrä erikoisvariaatioita, mutta ne pystytään pääsääntöisesti ottamaan huomioon seurantakärjen muokkauksella. Näin ollen olisi siis hyvä, jos uudessakin seurantatekniikassa käytettäisiin seurantakärkeä. Jos kärkeä käytetään, on anturin luotava siihen riittävä voima seurantatilanteessa, jotta railojen ja muotojen seuranta onnistuisi mahdollisimman hyvin ja kärki pysyy tukevasti railon pohjalla tai kappaleen pinnalla.

Tavoitteena on myös seurannan ennakoinnin minimointi. Ennakoinnilla tarkoitetaan, että poltinta ohjataan liian nopeasti anturin ohjaussignaaliin nähden. Tämä johtuu siitä, että railonseurantakärki kulkee polttimen etupuolella ja ilman ohjauksiivettä polttimen liike tapahtuu samanaikaisesti anturin liikkeen kanssa. Tällöin poltin siis liikkuu jo ennen todellista muutoskohtaa. Ennakointia pystytään säätämään ohjelmaan luodulla PI-säätimellä eli ohjauksen vahvistusta ja integrointiaikaa muuttamalla. Tätä säätöä kuitenkin helpottaisi, että seurantakärjen ja polttimen välinen ero saataisiin mahdollisimman pieneksi.

#### **5.4 Anturin eristäminen**

Antureita testatessa pitää huomioida erilaiset häiriöt ja pyrkiä suojaamaan eri anturit niiltä. Tärkeä asia on anturin eristäminen rungosta, sillä hitsauksen aikana erilaisia häiriöitä välittyy hitsauspolttimen kautta runkoon. Metallinen runko johtaa häiriöitä pitkällekin laitteen runkoon. Korvattavan anturin rungon pyöreä muoto mahdollistaa asennuksen putkikiinnikkeellä, joka on muovia ja eristää siis anturin

täysin rungosta. Uusi anturi pitäisi pystyä asentamaan vastaavalla tavalla. Esimerkiksi tilanteessa, jossa anturi on ruuvilla kiinnitetty metalliseen kannattimeen ja kannattimen ja anturin väliin on laitettu eristeeksi kumia, ei eristys toimi, sillä häiriöt välittyvät ruuvien kautta anturin runkoon.

Jos seurannassa käytetään seurantakärkeä, pitää tutkia sen kautta välittyvien häiriöiden vaikutus mittaustulokseen. Jos metallisen sormen kautta välittyy merkittävä määrä häiriötä, pitäisi tutkia, voisiko kärjen valmistaa metallin sijaan jostakin eristävästä materiaalista, kuten komposiitista. Tietyillä komposiittiyhdisteillä lämmönkesto on todella hyvä, joten vaikka kärki altistuu korkeille lämpötiloille, voitaisi se valmistaa komposiitista ja näin vältettäisi häiriöiden välittyminen anturiin. Tosin komposiittista seurantakärkeä ei voi muokata, joten erilaisia ja eri muotoisia kärkiä pitäisi tällöin olla tarjolla tai toimittaa koneen mukana, koska kuten aiemmin on mainittu, asiakkaat monesti haluavat muokata kärkiä erilaisiin hitsaus tilanteisiin. Tämä ei välttämättä olisi kovinkaan toimiva ratkaisu. Toimivampi ratkaisu tähän voisi olla, että metalliseen seurantakärkeen tehtäisi eristekatko, esimerkiksi jonkinlaisella muoviholkilla tai jollain muulla vastaavalla tavalla.

## 5.5 Testiantureiden määrittäminen

Uudella anturilla pitäisi pystyä seuraamaan kahta suuntaa ja sen pitäisi sietää hyvin ulkoisia häiriöitä, kuten ulkoisia magneettikenttiä ja radiotaajuuksia, koska sen sijainti olisi lähellä hitsaustapahtumaa. Ja jos käytetään seurantakärkiä, niiden kiinnitys ja irrotus pitää olla helppoa. Anturin hinta ei myöskään saisi olla korkea, jotta railon seurannan hinta voitaisi pitää lähes ennallaan. Tästä ja aiemmin mainituista syistä laseranturit jätetään pois vaihtoehtoista. Anturin koko ei ollut ratkaisevin tekijä, mutta kun anturi olisi mahdollisimman kompakti, helpotaisi se anturin sijoittamista huomattavasti erilaisiin hitsauspäihin. Näiden vaatimusten pohjalta lähdettiin miettimään mitä eri antureita ja tekniikoita seurannassa voitaisiin käyttää ja tiedusteltiin antureihin erikoistuneista yrityksistä, olisiko heillä tarjolla sopivaa ratkaisua tällaiseen sovellukseen.

### 5.5.1 Ohjaussauvat

Korvattavaa anturia toiminnaltaan vastaavin vaihtoehto oli ohjaussauva, ja se olisi näin ollen helppo asentaa vanhan anturin tilalle. Ohjelmalliset muutoksetkin jäisivät hyvin pieniksi, sillä lähes kaikkiin ohjaussauvoihin on saatavilla jännitelähtö, joten todennäköisesti vain signaalin skaalaus pitäisi säätää. Anturi voitaisiin myös kytkeä suoraan samoihin liitäntöihin kuin korvattava anturi.

Ohjaussauvoja on saatavilla eri mittaustekniikoihin perustuvia. Halvin ja yksinkertaisin vaihtoehto olisi potentiometrinen ohjaussauva, mutta niissä runkorakenne on suhteessa muihin suuri ja mekaaninen kosketus aiheuttaa kulumista, joka ajan myötä luo epätarkkuutta anturiin. Ne ovat myös herkkiä ulkoisille häiriöille, kuten radiotaajuuksille ja tärinälle. Hall-tekniikkaan perustuvat anturit ovat kompakteja, niitä on paljon saatavilla ja niiden hintalaatusuhde on hyvä. Niiden ongelmana on myös kuitenkin häiriöherkkyys. Induktiivinen ohjaussauva on myös herkkä häiriöille, etenkin sähkömagneettisuudelle. Sen etuna on, että mittauksessa ei vaadita mekaanista kosketusta, eikä siinä ole liikkuvia osia, joten ne eivät kulu ja ovat siis pitkäikäisiä. Uusin tekniikka ohjaussauvoissa on optinen mittaus. Siinä ei vaadita mekaanista kosketusta ja se sietää hyvin häiriöitä. Optinen ohjaussauva oletettavasti sopisi siis todella hyvin railonseurantaan, mutta ongelmaksi muodostui saatavuus.

### 5.5.2 Voima-anturit

Toinen vaihtoehto olisi voima-anturi, jonka etuna olisi korkea mittaustarkkuus ja yksinkertainen mittaustekniikka sekä kestävä ja tiivis rakenne. Voima-antureiden mittaus perustuu yleisimmin venymäliuska- tai pietsoelementtimittaukseen. Pietsoelektriset anturit ovat todella tarkkoja, mutta huomattavasti kalliimpia kuin venymäliuska-anturit. Ohutkalvoantureista ei löytynyt eikä tarjottu sopivaa anturia. Tästä syystä testaukseen päätettiin etsiä venymäliuska-anturi, jonka tarkkuus varmasti riittäisi railonseurantaan.

### 5.5.3 Muita vaihtoehtoja

Muitakin tekniikoita yritettiin tiedustella eri jälleenmyyjiltä, mutta voima-anturin ja ohjaussauvojen lisäksi kellään ei ollut tarjota muuta vaihtoehtoa tähän sovellukseen. Omien selvitysten avulla tuli ajatus ultraääniantureista, jotka on suunniteltu etäisyyden mittaukseen, joten sillä pystyttäisi seuraamaan esimerkiksi etäisyyttä levyn pintaan. Mietinnässä oli myös, että toinen anturi asettaisi kulmaan, jolloin sillä voitaisiin seurata V-railon kylkeä, ja näin railoa vaakasuunnassa ja toisella anturilla etäisyyttä levyn pinnasta eli pystysuuntaa. Tässä tekniikassa ongelmana on, että eri railoja seurattaessa pitäisi määritellä aina uudet etäisyysarvot ja se loisi muutenkin paljon rajoitteita railonseurantaan.

Yksi ajatus oli lineaariantureiden käyttö, mutta ne on suunniteltu seuraamaan vain yhtä suuntaa, joten antureita olisi pitänyt olla kaksi, ja samoin siis myös seurantakärkiä. Tästä puolestaan olisi tullut turhan monimutkainen ja kömpelö rakenne, ja sekin olisi luonut paljon rajoitteita eri muotojen seurantaan.

## 5.6 Testianturit

Monien tuloksettomien tiedustelujen ja etsintöjen jälkeen ja aikataulussa pysymisen varmistamiseksi, päätettiin, että optista ohjaussauvaa ei oteta testauksiin mukaan. Näin ollen jäljelle jäi kaksi mahdollista joystick-tyyppiä, ja monipuolisen tarjonnan vuoksi testaukseen tilattiin kaksi erilaista Hall-tekniikkaan perustuvaa ohjaussauvaa. Testeissä nähtäisiin, kuinka paljon häiriötä anturit ottaisivat ja voisiko niihin tehdä tarvittaessa jonkinlaista häiriösuojausta. Ohjaussauvoja tilattiin kaksi, jotta nähtäisiin, onko saman tekniikan omaavissa sauvoissa valmistajakohdaisia eroja, jotka saattavat johtua esimerkiksi eri tavalla toteutetusta anturin rakenteesta. Testeihin valitut ohjaussauvat otettiin siis eri valmistajilta. Ohjaussauvan koko saattaa myös vaikuttaa mittaustekniikan rakenteeseen sekä mekaniisiin ominaisuuksiin, kuten sauvan vasteeseen. Siihen vaikuttaa sekä keskitinjouksen jäykkyys, että nivelen rakenne. Tästä syystä valitut mallit olivat myös eri kokoiset. Tarvittaessa vielä myöhemmin tilattaisiin testaukseen induktiivinenkin ohjaussauva, jos muut testianturit osoittautuvat toimimattomiksi.

Pemamekiltä löytyi jo yksi voima-anturi, jota oli muutama vuosi sitten testattu aiemmassa projektissa. Anturi oli 2-kanavainen venymäliuska-anturi, jonka keskellä oli holkkikiinnitys, johon seurantakärki oli helppo kiinnittää, joten se oli juuri sopiva testauksiin. Muitakin voima-antureita yritettiin tiedustella, mutta kahta eri suuntaa mittaavia antureita oli rajallisesti tarjolla ja löytyneetkin mallit olivat hankalan mallisia asennusta ajatellen.



KUVA 21. Testeissä käytetty voima-anturi

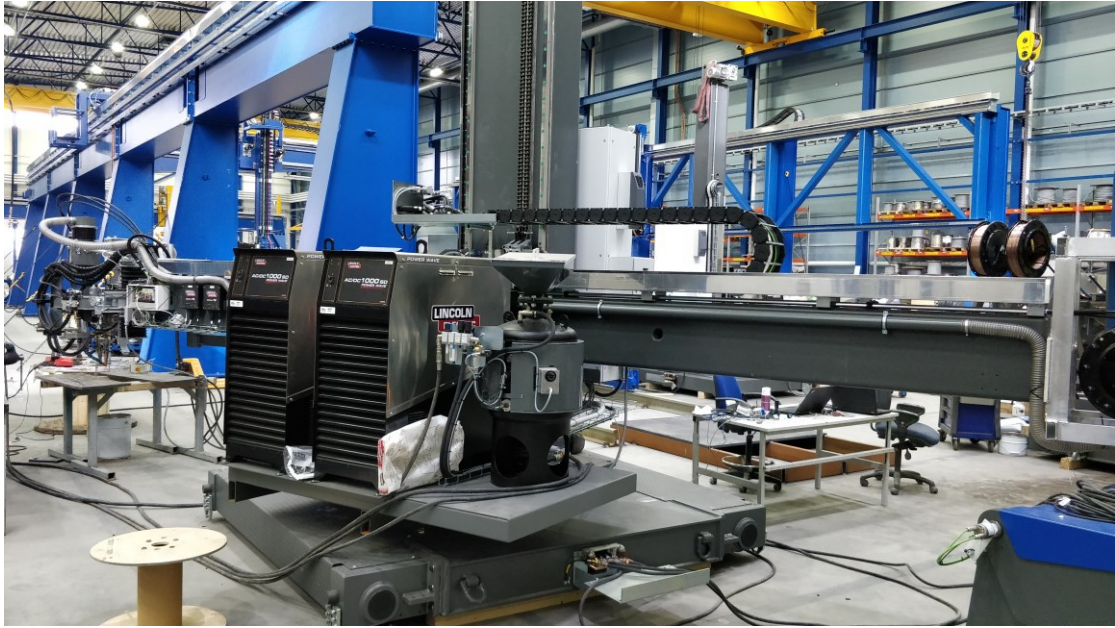
## 5.7 Testaukset

Tehtaalla pyritään pitämään yksi testitorni testihitsauksia ja messukappalien hitsauksia varten sekä näytillä asiakkaille. Tässä projektissa käytössä ollut tornin malli oli Pema HD 6x5, varustettuna tandem jauhekaarihitsauspäällä, jossa oli yksi- ja kaksilankaiset polttimet. Testaukset tehtiin yksilankaisella polttimella, jossa käytettiin 4 mm paksua hitsauslankaa. Tämä oli erinomainen testauksia ajatellen, sillä jauhekaarihitsaus paksulla langalla vaatii eniten hitsausvirtaa ja luo eniten häiriötä ympäristöön. Testaukset tehtiin lisäksi vaihtovirralla ja suora-kaideaallolla, joka on eniten häiriötä aiheuttava hitsaustapa. Näin testauksiin saatiin luotua anturille vaativin tilanne.



KUVA 22. Testihitsaustorni Pema HD 6x5 ja testausjärjestelyt

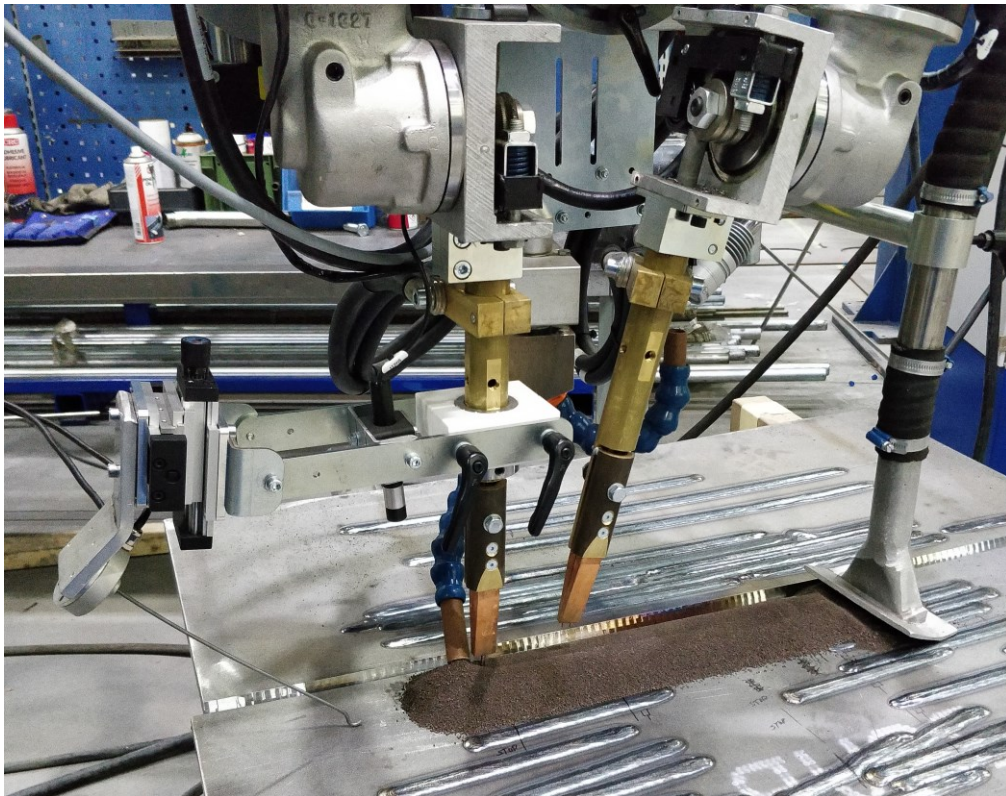
Anturilta tulevaa ohjaussignaalia seurattiin, jotta antureiden toimintaa voitaisi tutkia tarkemmin, kuin vain hitsauksen aikaisen visuaalisen liikkeen seuraamisella sekä hitsauspalon laadun ja muodon tutkimisella. Ohjaussignaalin avulla nähtiin tarkasti, miten anturi toimi ennen hitsauksen aloitusta sekä hitsauksen aikana. Signaaleja pystyttiin tutkimaan TwinCAT Scope View -ohjelmalla. Sen avulla pystytään seuraamaan ja tutkimaan lähes kaikkia ohjelmassa luotuja tulo- ja lähtöarvoja, myös ohjelman sisäisiä skaalattuja ja laskettuja arvoja. Ohjelmassa voidaan tutkia monia arvoja samanaikaisesti, joko määritellyn ajanjakson ajan tai jatkuvana signaalina halutussa aikaikkunassa. Mittauksen jälkeen kuvaajan skaalausta pystytään muokkaamaan ja tarvittaessa myös tutkimaan tarkemmin lyhyempää ajanjaksoa mittauksesta.



KUVA 23. Hitsaustornin hitsauslaitteet ja testausjärjestelyt

Testauksissa päätettiin tutkia pääasiassa pystyliikettä, koska se on seurannan toiminnan kannalta oleellisempi arvo, sillä pystyarvojen perusteella määritetään esimerkiksi seurannan aloituksen raja-arvo, ja se vaikuttaa vapaalangan pituuteen. Pystyliikkeen pitäisi siis asettua jokaisella kerralla tarkasti samaan asentoon ja arvoon. Seurantakärkenä käytettiin noin 250mm pitkää ja 4mm paksua, päästä muotoon taitettua metallitankoa, joka on yleisin seurantakärjen malli.

Testihitsaukset tehtiin 20mm paksujen testilevyjen pintaan ja hitsausnopeus oli kaikissa testeissä 500mm/min. Ennen hitsauksia anturin toimintaa kuitenkin testattiin ajamalla levyn pinnassa kylmänä eli ilman hitsauksen sytyttämistä, jotta varmistuttiin, että seuranta toimii ilman hitsauksen aiheuttamaa häiriötä. Näissäkin testeissä hitsauspään nopeus oli 500mm/min, jotta tulokset olivat vertailukelpoisia. Kun seurannan haku ja pystyliike todettiin toimiviksi, testattiin railon seurannan toiminta railossa, edelleen ilman hitsausta. Testilevyjen toinen reuna oli viistetty, joten niiden avulla saatiin luotua testirailo. Seurannan toimintaa railossa tutkittiin asettamalla anturi seurantatilaan ja hitsauslanka asemoitiin railon reunan kohdalle, jolloin toiminnan tarkkuuden seuraaminen oli mahdollisimman helppoa. Railo myös käännettiin puomiliikkeen suuntaan nähden hieman vinoon, jolloin seurannan piti säätää hitsauspään asemaa jatkuvasti, ja myös vaakatason seuranta pystyttiin tutkimaan.



KUVA 24. Testihitsaus, railonseuranta-anturina voima-anturi

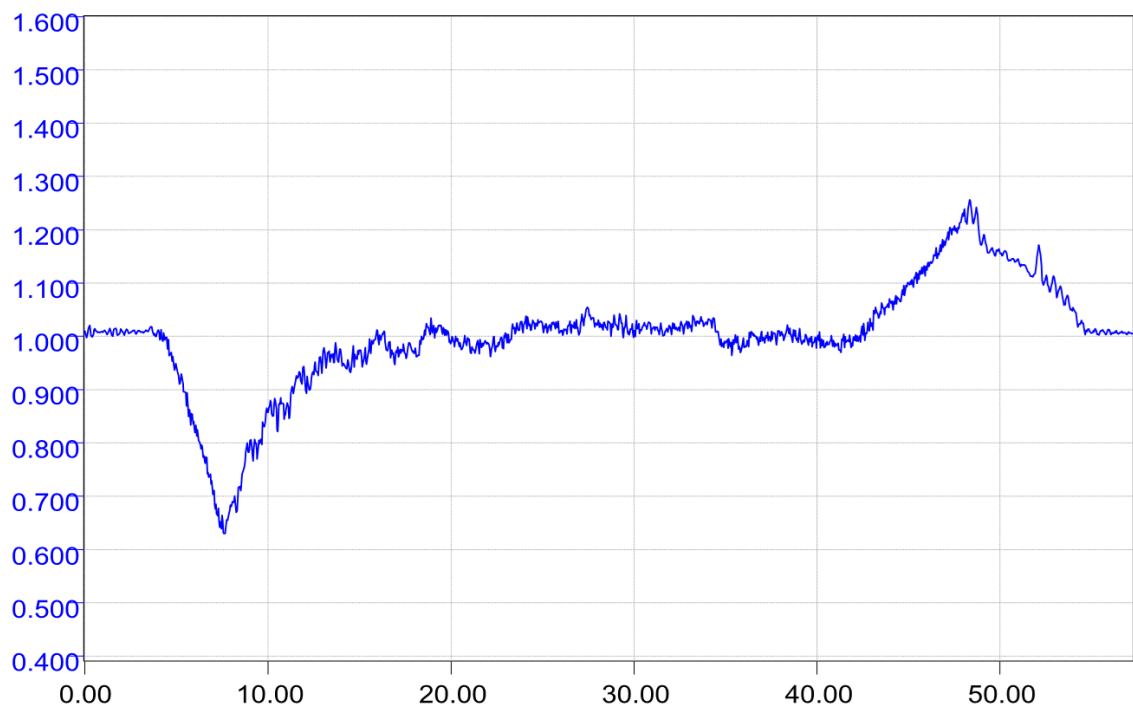
Kun anturin toiminta todettiin toimivaksi kylmänä, voitiin aloittaa hitsaustestit. Hitsaustestejä tehtiin seuraten levyn pintaa eli käytössä oli vain pystyliikkeen seuranta sekä myös seuraten railoa. Tällöin anturi siirrettiin polttimen linjasta sivuun, jotta hitsauspalko tuli levyn pintaan eikä railoon, koska silloin hitsaussauman laadun tarkkailu oli helpompaa ja samoihin levyihin pystyttiin hitsaamaan monta testipalkoa. Näin välttyttiin jatkuvalta levyjen vaihtelulta, kun saumoja voitiin tehdä vain anturia siirtämällä vieri viereen. Kun ohjaussignaaleja otettiin talteen, testaus toteutettiin samalla kaavalla joka anturille ja vedot tehtiin levyn pintaa seuraten, sillä tällöin voitiin olettaa, että ohjaussignaalin pitäisi olla lähes tasainen. Ensin järjestelmä asetettiin seurantatilaan eli niin, että railonseuranta on aktiivisena. Tämän jälkeen käynnistettiin hitsauskierto, jolloin hitsauspää lähtee liikkeelle. Tässä vaiheessa poltinta ei asetettu vielä aktiiviseksi, jotta ohjaussignaalin mittaukseen saatiin anturin tila paikallaan, liikkeessä sekä hitsauksen aikana. Muutamana sekunnin kuluttua kytkettiin poltin päälle ja hitsattiin keskimäärin noin 200-300mm pitkä sauma. Tämän jälkeen poltin kytkettiin pois päältä ja hieman sen jälkeen sammutettiin hitsauskierto, jolloin hitsauspää siis pysähtyy.



### 5.7.1 Korvattava anturi

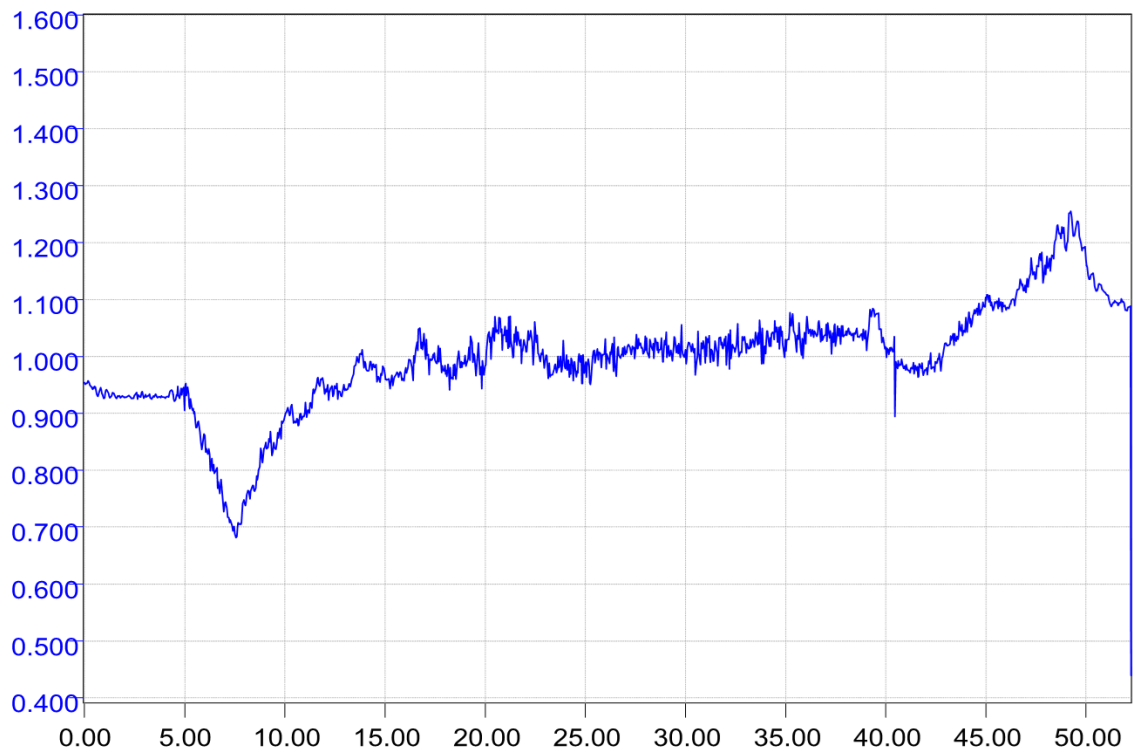
Testit aloitettiin vanhan anturin testaamisella, vertailukohteen luomiseksi. Heti testausten alussa huomattiin mielenkiintoinen ilmiö, kun hitsauspää lähtee liikkeelle, ohjaussignaali tapahtuu notkahdus. Kun liike pysähtyy, signaalin arvo puolestaan nousee hetkellisesti. Asiaa tutkittaessa selvisi, että ilmiö johtuu tornin mekaniikasta, sillä pitkän vaakapuomin liikkeen muutos aiheuttaa rakenteessa pienen heilahduksen. Silmämääräisesti heilahdusta ei huomaa ja liike on hyvinkin marginaalinen.

Kuviossa 6 on esitetty ohjaussignaali, kun seurantakärki kulkee levyn pinnalla, ilman hitsauksen sytyttämistä. Ensimmäiset 5 sekuntia hitsauspää on paikallaan ja siksi signaali on hyvin stabiili. Hitsauskierto kytkettiin päälle noin 5s kohdalla, jolloin hitsauspää lähtee liikkeelle hitsausnopeudella 500mm/min. Tästä huomataan, että pinnan epätasaisuus ja muut ulkoiset häiriötekijät aiheuttavat sahausta signaaliin. Sahaus on kuitenkin hyvin pientä, ja suurimmat muutokset ovat vain noin 0,05V. Anturi asettuu hyvin tavoitearvoonsa ennen liikkeelle lähtöä sekä pysäytyksen jälkeen.



KUVIO 6. Korvattavan anturin ohjaussignaali ilman hitsausta (V/s)

Kuviossa 7 on esitetty ohjaussignaali, kun seurantakärki kulkee levyn pinnalla, ja hitsaus kytketään päälle. Testiveto on vedetty täysin samasta kohdasta, kuin aikaisempi testi ilman hitsausta, joten kuvaajat ovat näin ollen vertailukelpoisia. Hitsauskierto kytketään jälleen päälle noin 5s kohdalla ja hitsaus käynnistetään noin 17s kohdalla ja lopetetaan noin 41s kohdalla. Käyrästä huomataan, että hitsauksen kytkeminen lisää ja tihentää hieman signaalin sahausliikettä, mutta kun suhteutetaan häiriö muutokseen suuruuteen, voidaan sanoa, että hitsauksesta aiheutuva häiriö on hyvin pientä, eikä se vaikuta merkittävästi signaaliin. Muutokset hitsauksen aikana ovat pääasiassa alle 0,05V ja suurimmillaankin vain noin 0,08V, kun ilman hitsausta maksimi muutokset olivat 0,05V. Testissä anturin arvo ei ole alussa asetunut täysin tavoitearvoonsa ja mittauksen aikaikkuna ei ole riittänyt, jotta nähtäisi, onko arvo asettunut hitsauksen jälkeen takaisin tavoitearvoon. Voidaan siis olettaa, että pieni virhe asetusarvossa ei vaikuta toimintaan. Mutta joka tapauksessa nämä tulokset puoltavat sitä seikkaa, että korvattavan anturin toimivuus on hyvä, eikä anturia sen vuoksi tarvitsisi päivittää.

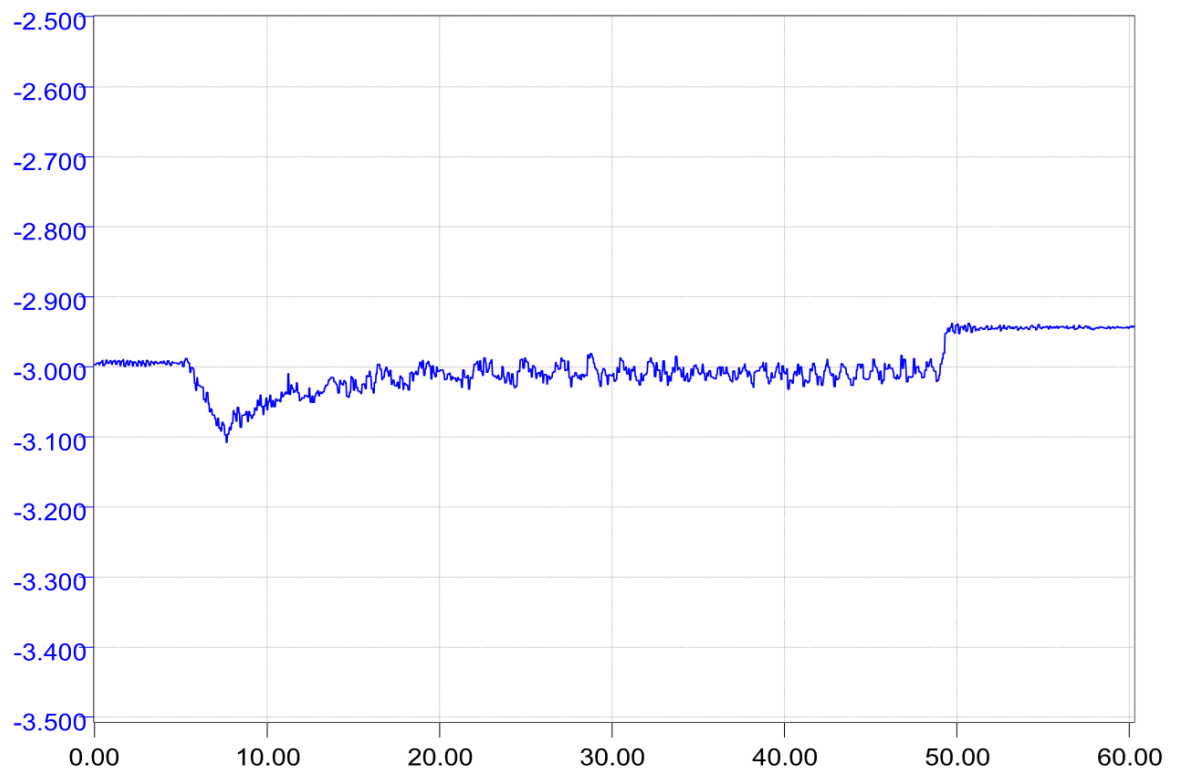


KUVIO 7. Korvattavan anturin ohjaussignaali voltteina hitsatessa (V/s)

### 5.7.2 Voima-anturi

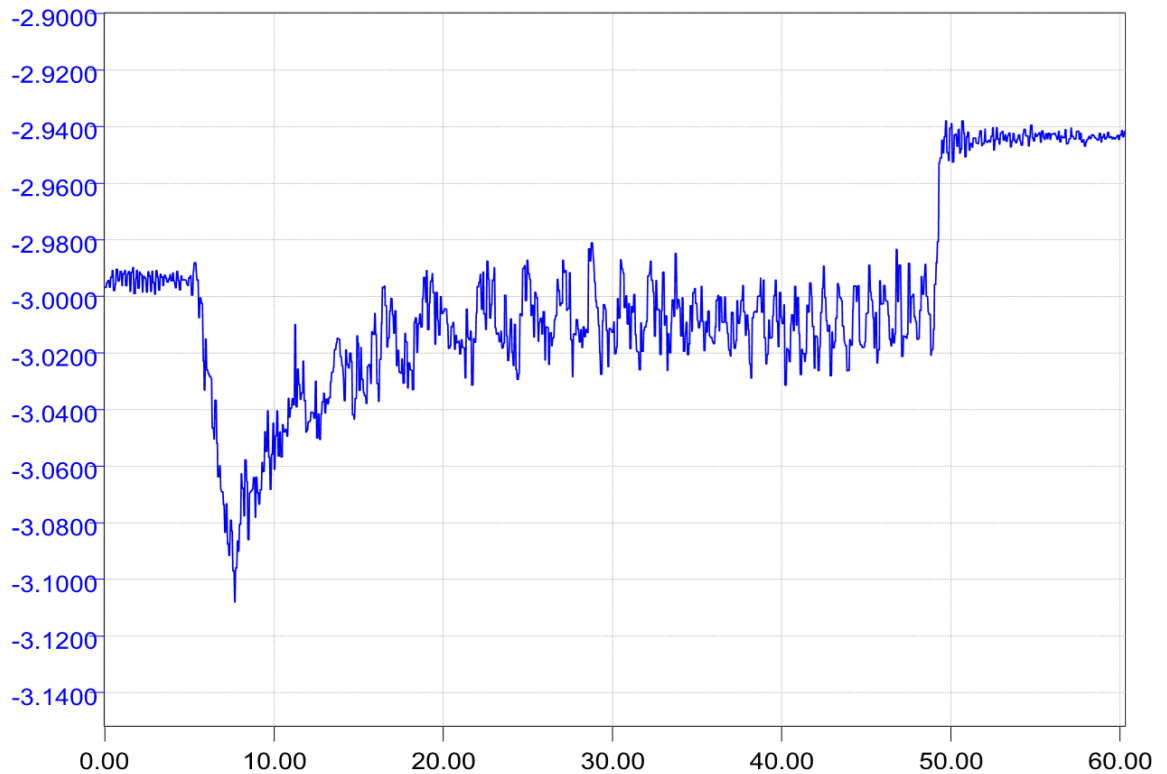
Voima-anturi antaa mittausarvon millivolteina eli hyvin pienenä arvona. Kun tutkittiin, mikä olisi riittävä kärjen venymä seuranta ajatellen, todettiin, että kyseisellä 250mm pitkällä ja 4mm paksulla seurantakärjellä riittävä taivutus saavutetaan ulostulojännitteen arvoilla 0-10mV. Korvattavan anturin seuranta-arvo oli negatiivinen, joten voima-anturin toiminta toteutettiin vastaavalla tavalla, jolloin ohjaussignaalin arvo olikin käänteinen eli -10-0mV. Ohjaussignaali skaalataan ohjelmassa haluttuun arvoon.

Kuviossa 8 näkyy voima-anturin jänniteviesti, kun hitsauskierto ajetaan ilman hitsauspolttimen aktivoimista. Liike alkaa noin viiden sekunnin kohdalla ja loppuu noin 48 sekunnin kohdalla. Kuvaajasta nähdään, että ohjaussignaali on melko hyvälaatuista, ja signaalin sahaus on pientä ja se johtunee osittain pinnan epätasaisuudesta ja mahdollisesta puomin värähtelystä.



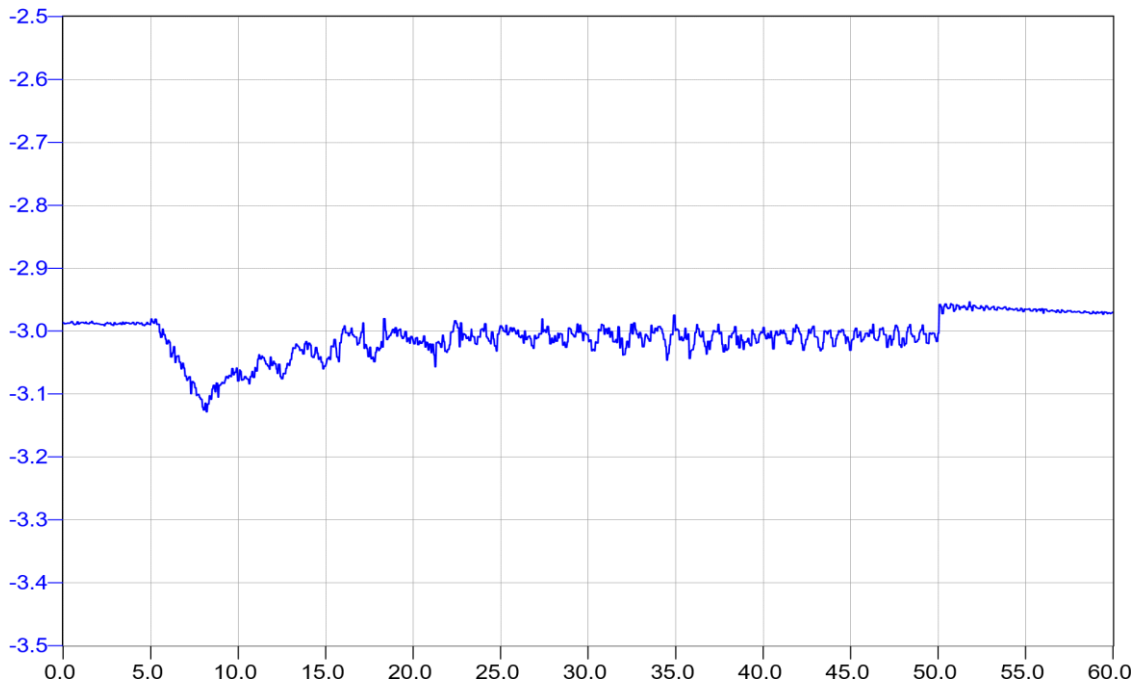
KUVIO 8. Voima-anturin ohjaussignaali ilman hitsausta (V/s)

Kuviossa 9 on vielä tarkennettu kuvaajan skaalausta, jotta voidaan määrittää tarkat kuvaajan arvot. Ennen liikettä anturi on asettunut todella tarkasti tavoitearvoon, mutta liikkeen pysähtyttyä, anturi asettuu noin 0,06V liian ylös. Virhe on siis todella pieni, eikä käytännössä vaikuta polttimen korkeuteen. Ohjaussignaalin sahaus on enimmilläänkin vain 0,03V eli voidaan todeta, että signaali on todella tarkka tähän sovellukseen. Ja verrattuna korvattavan anturin signaaliin, on se yhtä hyvä tai jopa parempi.



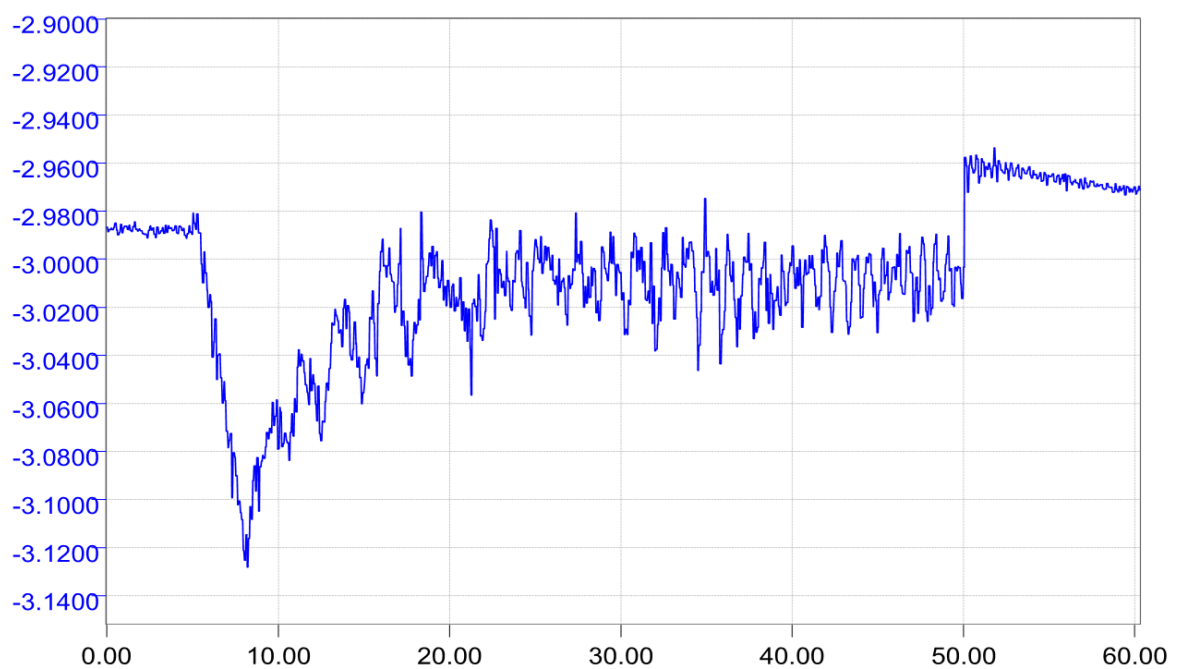
KUVIO 9. Voima-anturin ohjaussignaali ilman hitsausta, tarkennettu (V/s)

Kuvioissa 10 ja 11 on esitetty ohjaussignaali hitsauksen aikana. Hitsauspää lähete liikkeelle jälleen 5 sekunnin kohdalla ja hitsauspoltin sytytetään 17 sekunnin kohdalla ja sammutetaan 38 sekunnin kohdalla ja liike pysäytetään 50 sekunnin kohdalla. Kuvioista 10 havaitaan jo se, että hitsauksen sytytys ei vaikuta ohjaussignaalin laatuun. Anturi asettuu myös tässä testissä kohtalaisen hyvin tavoitearvoon.



KUVIO 10. Voima-anturin ohjaussignaali voltteina hitsatessa (V/s)

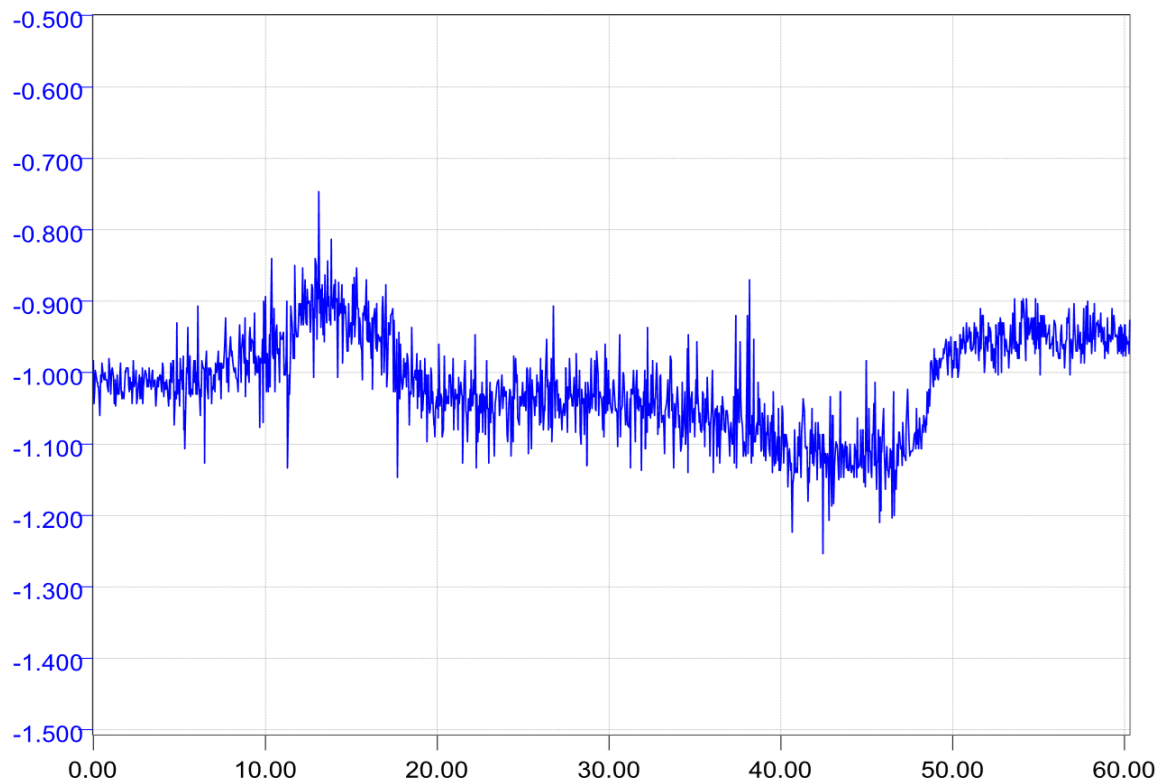
Kun signaalia tutkitaan tarkemmin, ei hitsauksen aloitus- ja lopetuskohtaa pystytä kovin helposti edes havaitsemaan. Kun signaalin sahausta tutkitaan, huomataan, että hitsauksen aikana suurimmat sahausliikkeet ovat noin 0,04V eli hieman suurempia kuin ilman hitsausta. Kun verrataan virheen suuruutta signaalin skaalaukseen, voidaan todeta, että virhe on hyvin pieni, eikä sillä ole vaikutusta hitsauksen laatuun.



KUVIO 11. Voima-anturin ohjaussignaali voltteina hitsatessa, tarkennettu (V/s)

### 5.7.3 Ohjaussauvat

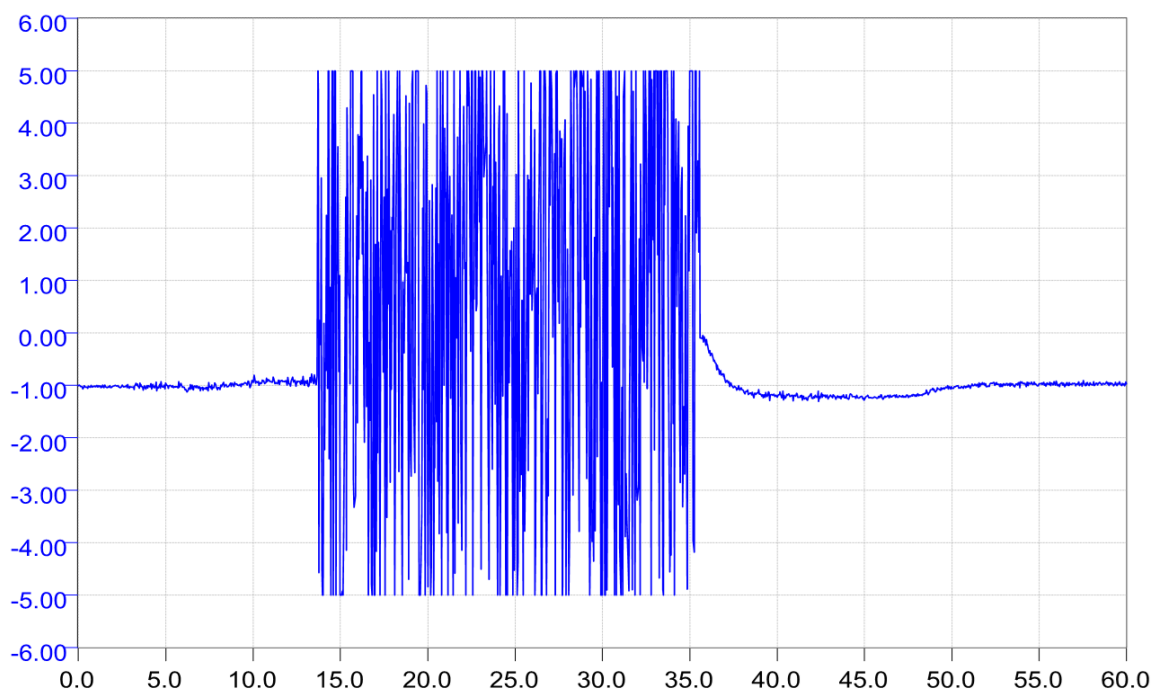
Molempia ohjaussauvoja testattiin, mutta seuraavaksi käsitellään vain paremmin toimineen sauvan testauksia. Kuviossa 12 näkyy ohjaussauvan signaali, kun ohjaukärki kulkee levyn pinnassa ja hitsaus laiteta päälle. Kuvaajasta huomataan, että vaikka hitsauspää on paikallaan ensimmäiset viisi sekuntia, signaali on jo tällöin melko huonolaatuista ja vaihtelu noin 0,05V. Anturi ei ole täysin asettunut tavoitearvoon vaan hieman alemmas. Kun hitsauspää lähtee liikkeelle 5s kohdalla, signaalin laatu huononee entisestään ja pahimmat piikit ovat noin 1,5V. Kun liike pysäytetään 47s kohdalla, asettuu anturi liian ylös. Tästä testauksesta voidaan jo päätellä, että ohjaussauva ei ole toimiva railonseurantaan.



KUVIO 12. Ohjaussauvan ohjaussignaali, ilman hitsausta (V/s)

Vaikka ohjaussauvan ohjaussignaali oli huono jo ilman hitsausta, kokeiltiin anturin avulla hitsaustakin. Kuviossa 13 näkyy, millaiseksi signaali muuttuu, kun hitsaus kytketään 13s kohdalla päälle ja sammutetaan 35s kohdalla. Signaali siis suorastaan räjähtää hitsauksen alkaessa. Anturin signaalia seurattiin myös hitaamalla ilman railonseurantaan, jolloin anturia voitiin siirtää kauemmas hitsaus-

päästä, mutta edes parin metrin siirto kauemmaksi hitsaustapahtumasta ei vaikuttanut merkittävästi signaalin laatuun. Alustavat tutkimukset siis pitivät paikkansa, joiden mukaan Hall-tekniikka on herkkä ulkoisille häiriöille.



KUVIO 13. Ohjauksauvan ohjaussignaali voltteina hitsatessa (V/s)

## 5.8 Anturin valinta

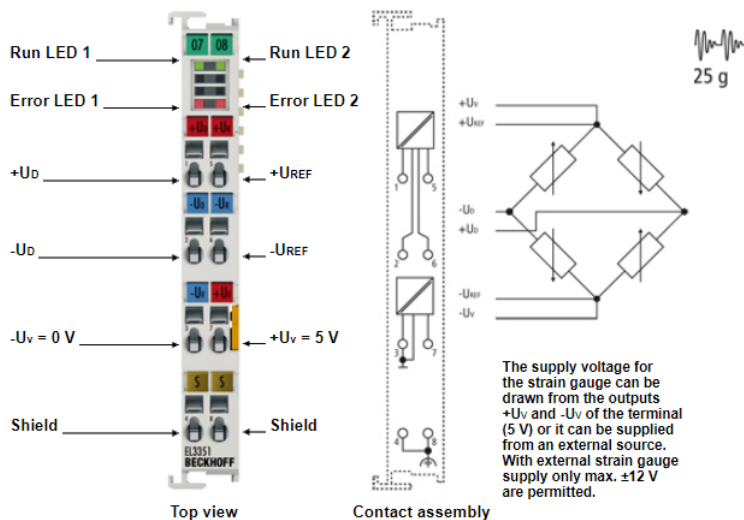
Voima-anturin valinta oli ilmeinen testaustulosten jälkeen. Anturin toiminta yllätti positiivisesti ja se toimi todella hyvin seurannassa, eikä sen mittaustulos häiriintynyt hitsauksesta oikeastaan ollenkaan. Voima-anturin etuna on myös, että siinä ei ole liikkuvia osia eli se ei kulu käytössä ja on näin ollen pitkäikäinen. Se on myös rakenteeltaan yksinkertainen ja kompakti, joten sen asennus on helppoa ja luo myös edellytyksiä hitsauspään suunnitteluun. Näin ollen ei koettu tarpeelliseksi tutkia muita joystick-malleja. Huono puoli voima-anturissa on se, että asennus vaatii lisäosia ja muutoksia PLC-ohjelmaan, joten sen asennus varaosana vaatii tarkan ohjeistuksen ja perehdytyksen. Myös uusien hitsaustornien asennus- ja sähkösuunnitelmiin vaaditaan tietysti päivitys. Ja koska anturia käytetään muissakin laitteissa, pitää anturin toiminta ja eroavaisuudet vanhaan anturiin selvittää ja dokumentoida hyvin.

## 6 TOTEUTUS

Voima-anturin käyttö vaatii siis muutoksia logiikkaohjelmaan, sähköisiin kytkentöihin sekä asennukseen. Näitä asioita selvitetään seuraavissa kappaleissa.

### 6.1 Kytkenöt

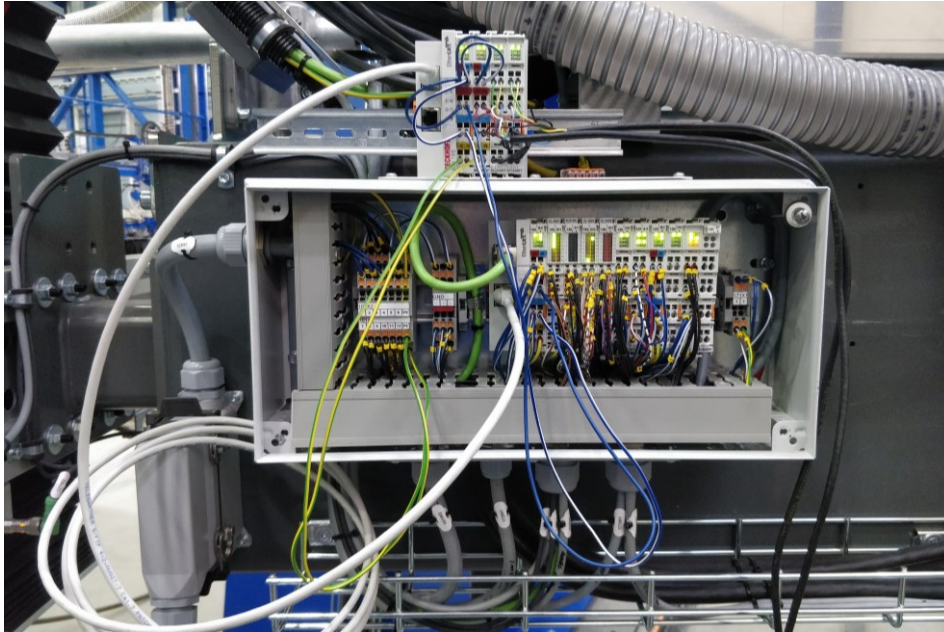
Venymäliuska-anturit vaativat aina vastussillan, jotta todella pieni vastusarvon muutos pysytään havaitsemaan ja käyttämään erilaisten laitteiden ohjauksessa. Valitussa voima-anturissa on kaksi venymäliuskaa, yksi molemmille suunnille, joten vastussilltoja tarvitaan siis kaksi kappaletta. Beckhoffilla on tarjolla valmiita vastussiltakortteja venymäliuskamittauksiin. Vastussiltakortiksi valittiin EL3351-malli, jolla pystytään lukemaan yhtä venymäliuska-arvoa. Kortissa käytetään täyssiltakytkentää ja siinä on tuloliitännät signaali- ja referenssijohdoille sekä 5V syöttö anturille. Testauksissa kuitenkin todettiin, että 12V syöttöjännitteellä anturin signaali on laadukkaampi, joten kahden vastussillan lisäksi tarvittiin 12V jännitelähde, malliltaan EL9512. Nämä kolme komponenttia pitää lisätä hitsaustorin puomin päässä olevaan sähkökaappiin, jotta voima-anturi voidaan ottaa käyttöön. Kaappi on mitoitettu hyvin tarkasti, ja nykyiseen kaappiin komponenttien lisäys ei onnistu, joten jatkossa vaaditaan puomiin hieman isompi sähkökaappi. Tämän asian suunnittelun hoitaa kuitenkin sähkösuunnittelija, joka suunnittelee kaapin uudestaan ja samalla mitoittaa kaapin riittävän suureksi.



KUVA 25. Beckhoff EL3351 -vastussiltakortti venymäliuskalle (Beckhoff 2019)



Testejä varten vaadittiin myös väyläyhdistin, jotta anturin analogiatulojen ja -läh-  
töjen tiedot saatiin välitettyä logiikalle väylän kautta. Väylä jatkettiin puomin säh-  
kökaapista. Tämä ei vaatinut kuin Ethernet-johdon sekä jännitesyötön yhdistämi-  
sen sähkökaapilta ja väyläyhdistimelle. Jos anturia myytäisiin varaosana, vaatisi  
se vastaavan kytkennän, niin että voima-anturin vaatimat komponentit olisivat si-  
joitettu pieneen sähkökaappiin, esimerkiksi vanhan kaapin viereen.



KUVA 26. Voima-anturin vaatimat lisäkomponentit (sähkökaapin päällä) kytket-  
tynä puomin sähkökaappiin testausten aikana

Testianturi oli varustettu kahdella johdolla eli molemmille kanaville oli oma joh-  
tonsa. Tämä ei kytkennän kannalta ollut optimaalinen ratkaisu, joten jälleenmyy-  
jältä tiedusteltiin, voisiko anturia räätälöidä tai löytyisikö vastaavanlaista anturia  
yhdellä johdolla varustettuna. Jälleenmyyjä vastasi nopeasti ja tarjosi uutta antu-  
ria, jossa molempien kanavien johdot kulkevat samassa kaapelissa. Anturi oli  
päivitetty malli testeissä käytetystä anturista, mutta käytännössä ainut ero oli, että  
uusi anturi oli toteutettu yhdellä kaapelilla.

## 6.2 PLC-ohjelmointi

Testejä varten hitsaustornin ohjelmaan tehtiin uudet toimintalohkot voima-anturin  
testausta varten, eikä siinä ollut huomioitu kuin osa vaadituista ominaisuuksista.

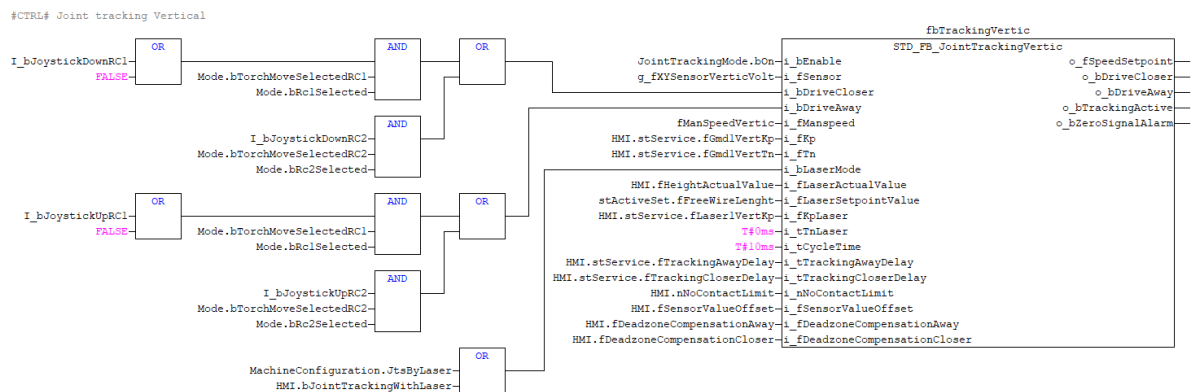
Kun anturi valittiin jatkojalostukseen, pyrittiin voima-anturin ohjaus sulauttamaan vanhaan ohjelmaan mahdollisimman pienin muutoksin.

Voima-anturi antaa siis ohjaussignaalit millivolteina, jotka pystytään lukemaan vastussiltakorttien avulla. Kortti lukee arvot 16-bitin resoluutiolla, muuttaen mitausarvon kokonaisluvuksi välille -32768–32768, jotta tieto voidaan siirtää EtherCAT-väylää pitkin paneeli-PC:lle. Kokonaislukuarvo skaalataan vielä 32-biitiseksi kokonaisluvuksi, eli välille +/-2 miljardia. Mittaustulos näyttäytyy PLC-ohjelmassa siis suurena kokonaislukuarvona, joka pystytään ohjelmassa muuttamaan takaisin millivoltti arvoksi laskennan avulla. Laskennassa signaaliarvo jaetaan referenssiarvolla ja kerrotaan tulos sadalla, ja näin ohjelmassa pystytään käyttämään millivoltti tietoa ohjaukseen. Koska ohjelma haluttiin pitää mahdollisimman ennallaan, skaalattiin millivolttitieto vielä volteiksi niin, että ohjaussignaali vastaisi mahdollisimman hyvin vanhan anturin ohjaussignaalia, ja volttitieto pystyttiin lisäämään suoraan railon seurannan toimintalohkon tulotietoon. Railon seurannan toimintalohko sisälsi valmiiksi railon seurannalta vaadittavat ominaisuudet, kuten seurannan vasteen säätämisen PI-säätimellä sekä levyn ylitys toiminnon, joka kytkee seurannan pois päältä, kun seurantakärki putoaa levyltä. Ilman tätä toimintoa, kappaleen reunan ylityksessä, hitsauspää sukeltaisi alaspäin, osuen kappaleeseen.

Tilanteessa, jossa anturin jokin johto on poikki, täytyy ohjelman estää seurannan päälle kytkeminen sekä antaa hälytys katkenneesta johdosta. Tätä ominaisuutta piti muokata, sillä vanhan anturin voltti- ja kokonaislukuarvo, muuttui nolaksi, jos jokin anturin johdoista meni poikki. Voima-anturissa tilanne on eri, sillä anturin arvo pomppaa eri kokonaislukuarvon maksimiarvoon, riippuen mikä johdoista katkeaa. Näin ollen ohjelmaan piti luoda eri tuloille ns. anturin toimintaikkuna, joka määrittää, minkä arvojen sisäpuolella kunkin tulon raaka-arvon pitää olla, jotta varmistutaan kytkentöjen kunnosta. Jos arvo nousee raja-arvon yli, aktivoi se seuranta-anturin virrehälytyksen ja estää seurannan aktivoimisen.

Vaadittavien ohjelmamuutosten tekemisestä pyrittiin tekemään mahdollisimman helppoa. Ohjelmaan luotiin kaksi uutta toimintalohkoa, toinen sisälsi laskennan kokonaislukuarvon muuttamiseksi millivolttitiedoksi sekä anturin kalibrointitoiminnon ja toisessa käytettiin edellistä toimintalohkoa hyödyksi, ja määriteltiin sille

muuttujat ja arvot ja luotiin ehdot muutamille virhetiloille. Jälkimmäisestä toimintalohkosta saadaan ulos millivolttitieto pysty- ja vaakasuunnille. Nämä arvot skaalataan ristiluistin toimintalohkossa volteiksi ja volttitieto viedään railonseurantalohkolle. Lohkoon vaihdetaan vain ohjaussignaalien muuttujat uusiin, voimaanturilta skaalattuihin jännitesignaaleihin. Ristiluistin toimintalohkoon jouduttiin siis tekemään pari muutosta, joten vanha lohko kopioitiin, tehtiin tarvittavat muutokset siihen, ja tallennettiin uudella nimellä. Ohjelmaan pitää määritellä uudet muuttujat, joten niistä tehtiin valmiit listat, jotka on helppo lisätä ohjelmaan. Lisäksi ohjauspaneeliin tehtiin uusi, muokattu huoltosivu, johon lisättiin kalibrointi-nappi. Kaikki nämä muutokset koottiin yhteen kansioon, josta ne on helppo siirtää ohjelmaan. Kansiossa on siis kolme muokattua toimintalohkoa, uusien muuttujien listaus, uusi muokattu huoltosivu sekä ohje muutosten tekemiseksi.



KUVA 27. Ristiluistin pystysuunnan toimintalohko

### 6.3 Asennus

Anturin lopullisen ja virallisen asennustavan määrittää mekaniikkasuunnittelu, mutta alustavan suunnitelman mukaan anturi kiinnitetään muotoon taitettuun alumiiniseen lattaan ruuveilla, kuten testauksissa. Asennus oli tarkoitus toteuttaa niin, että anturi olisi eristetty rungosta, mutta koska anturi toimi eristämättömänäkin hyvin, ei eristys ole välttämätöntä. Jos anturin ja rungon väliin kuitenkin halutaan eristys, voisi sen toteuttaa esimerkiksi laittamalla muovilevyn anturin ja lattan väliin sekä lisäämällä pulttien reikiin muoviholkit. Kiinnitys on oltava tukeva, jotta mittaustulos pysyy stabiilina ja tarkkana. Vapaalangan mitta eli polttimon korkeus

kappaleesta, säädetään edelleen pienellä mekaanisella ristiluistilla, joka asennetaan anturin kiinnityskappaleen ja hitsauspään rungon väliin.



KUVA 28. Käsisäätöinen ristiluisti hitsauspolttimen hienosäätöön

Testeissä käytetty seurantakärki osoittautui niin toimivaksi, että sitä ei tarvitse muuttaa. Kärjen pituus on 300mm sekä paksuus 4mm, ja tällä saadaan luotua riittävä voima, kuitenkin kohtuullisella venymällä, kappaleeseen. Koska anturi mahdollistaa pitkän seurantakärjen käytön, anturin sijainti saadaan mahdollisimman kauas hitsauksen valokaaresta, ja näin minimoidaan häiriöiden vaikutus mitaukseen. Vanhassa anturissa oli mahdollisuus käyttää yhden paksumman kärjen sijasta myös kahta ohuempaa seurantakärkeä. Uuteen anturiin suunniteltiin välikappale, joka kiinnitetään anturiin ja jossa on kiinnityspaikat yhdelle paksulle ja kahdelle ohuelle kärjelle, vanhan anturin tapaan.



KUVA 29. Vanhan anturin kiinnitys kärjille

## 7 POHDINTA

Projektin tavoitteena oli kehittää ja toteuttaa uusi railonseurantatekniikka, joka on kustannustehokas, ominaisuuksiltaan vastaava kuin vanha anturi ja vaatii mahdollisimman vähän muutoksia vanhaan järjestelmään. Anturiksi valittiin venymäliuskamittaukseen perustuva voima-anturi, jonka toiminta oli positiivinen yllätys, vaikka taustatutkimusten perusteella vaihtoehto vaikuttikin jo lupaavalta. Voima-anturitekniikalla toteutettu railonseuranta täyttää pääosin kaikki tärkeimmät tavoitteet. Anturin hinta on hyvin kustannustehokas ja vaikka se vaatii muutamia lisäosia, pysyy kokonaiskustannukset silti alle vanhan anturin hinnan. Voima-anturilla myös pystyttiin toteuttamaan kaikki ominaisuudet, jotka vanhassa anturissa oli. Muutoksia järjestelmään joudutaan tosin tekemään, mutta ne ovat kuitenkin melko pieniä, ja yksinkertaisia, joten tämänkin tavoitteen voidaan katsoa täytyneen ainakin osittain.

Voima-anturilla saavutetaan lähes häiriötön, jopa hieman parempi laatuinen ohjaussignaali, kuin vanhassa anturissa. Etuna vanhaan on myös anturin kiinteä rakenne, jolloin siinä ei ole liikkuvia osia, jotka kuluvat ajan mittaan. Lisäksi anturi on hyvin kompakti. Pieni koko mahdollistaa anturin asennuksen ja sijoittamisen eri tavalla ja saattaa luoda joitakin uusia edellytyksiä hitsauspäiden suunnitteluun jatkossa.

Alussa ajatus oli, että nykyään antureita on saatavilla todella paljon, erilaisine ominaisuuksineen ja mittaustekniikoineen, joten seurannan toteuttamiseen voisi löytyä monia eri vaihtoehtoja. Kun mahdollisia vaihtoehtoja alettiin tutkimaan ja määrittelemään, ilmeni selvittelyn edetessä, että sopivan anturin löytäminen olisikin huomattavasti hankalampaa kuin mitä alussa ajateltiin. Kun anturilta vaadittavat ominaisuudet ja railonseurannan vaatimukset olivat selvillä, otettiin yhteyttä antureiden jälleenmyyjiin ja pyrittiin myös tätä kautta saamaan uusia ajatuksia seurannan toteuttamiseen. Tässä vaiheessa selvittelyiden perusteella oli määriteltä jo kaksi mahdollisesti sopivaa anturityyppiä, ohjaussauva ja voima-anturi. Yhteyttä otettiin kahteentoista eri jälleenmyyjään, ja heiltä kysyttiin ohjaussauva ja/tai voima-anturi vaihtoehtoja, sen mukaisesti, millaisia antureita heillä oli tarjolla. Vain muutamalta jälleenmyyjältä löytyi jonkinlainen ehdotus sovellukseen,

mutta yhdelläkään yrityksellä ei ollut tarjota uutta näkemystä seurannan toteuttamiseen. Näin ollen päätettiin keskittyä ohjaussauvoihin ja voima-antureihin.

Venymäliuska-antureiden toiminnasta löytyi hyvin tietoa ja kohtalaisesti myös pietsosähkötekniikasta, mutta kalvoantureista tiedonhankinta oli huomattavasti hankalampaa. Tietoa löytyi lopulta anturivalmistaja Wikan kautta, ja näin ollen nämä tiedot olivat hyvin luotettavia. Vaikeimmaksi osuudeksi tiedonhankinnassa kuitenkin osoittautui yllättäen ohjaussauvojen mittaustekniikoista tiedon löytäminen. Ohjaussauva on yksi yleisimmistä ohjauskomponenteista, mutta erityyppisten sauvojen toimintaperiaatteista on vähän tietoa saatavilla.

Testauksia tehtiin paljon, jotta erilaiset anturin ominaisuudet saatiin selville ja eri toimintojen toimivuutta pystyttiin testaamaan useita kertoja. Voima-anturilla tehtiin monia hitsaustestauksia, jotta olisi saatu esille mahdollisia virhetilanteita ja muita ongelmia. Merkittävin venymäliuskamittauksen luotettavuuteen vaikuttava tekijä selvitysten perusteella oli lämpötilamuutokset mittauksen aikana. Anturi pystytään sijoittamaan kohtuullisen kauas hitsaustapahtumasta, joten perinteisissä hitsaussovelluksissa hitsauksen lämmöntuotto ei vaikuta anturiin. Yksi hitsaussovellus on kuitenkin putken sisällä hitsaaminen, jolloin hitsausympäristön lämpötila saattaa nousta huomattavasti. Tässä sovelluksessa on mahdollista, että ilma putken sisällä lämpenee niin, että se alkaa vaikuttamaan merkittävästi mittaustulokseen. Tämä ilmiö voidaan kuitenkin kompensoida lisäämällä toinen samanlainen anturi hitsauspäähän, johon ei kohdisteta voimia. Sen avulla pystytään kompensoimaan lämpötilamuutoksen aiheuttama virhe.

Järjestelmän toiminnan lisätestaaminen, säätäminen ja toimivuuden toteaminen jäivät siis yritykselle jatkokehitykseen. Anturin toiminta testataan ja laitetaan koetukselle kunnolla isommissa testeissä, joissa hitsataan pitkiä saumoja ja erilaisia kappaleita. Ja vasta asiakaskäytössä anturin toimivuus pitkällä aikavälillä selviää.

Jos jatkossa venymäliuska-anturin kanssa ilmenee ongelmia, jotka osoittautuvat haastaviksi korjata, on työssä käsitelty muita mahdollisia anturityyppejä, joilla on erilaisia ominaisuuksia toisiinsa nähden. Lupaavin vaihtoehto oli optinen ohjaussauva, jota ei kuitenkaan saatu testauksiin mukaan. Se vastaisi toiminnaltaan korvattavaa anturia lähes täysin. Jatkokehitysehdotuksena olisikin jatkaa optisten

ohjaussauvojen tiedusteluja, ja jos sellainen saataisi tilattua, kannattaisi anturin toimintaa testata railon seurannassa. Toisena jatkokehitysehdotuksena olisi kalvoantureiden toiminnan lisäselvitys ja testaaminen, sillä jos markkinoille tulisi uuden mallisia kalvoantureita, voisi niistä löytyä vieläkin parempi vaihtoehto venymäliuskan tilalle. Projektin jatkokehitykseen jää myös vielä mekaniikkasuunnittelun sekä sähkösuunnittelun muutostyöt.

Pemamek voi hyödyntää opinnäytetyössä tehtyjä tutkimuksia erilaisista antureista tulevaisuudessa, ja tätä kautta löytää esimerkiksi uusia menetelmiä hitsaus- ja kappaleenkäsittelylaitteiden erilaisten ominaisuuksien ja toimintojen toteuttamiseksi. Työssä on käsitelty kattavasti etenkin venymäliuska-antureita ja niiden ominaisuuksia, joten esimerkiksi voiman-, lämpötilan-, taipuman- tai massanmittausta vaativia sovelluksia suunniteltaessa, näitä tietoja kannattaa hyödyntää.

Opinnäytetyön aihe oli todella kiinnostava ja tieto siitä, että työ on tarpeellinen yritykselle, ja että se tulee käyttöön, antoivat paljon motivaatiota työn tekemiseen. Työssä annettiin paljon vastuuta, ja projekti oli monipuolinen, sillä se sisälsi tutkimus- ja kehitystyötä, suunnittelua ja testauksia. Työn aikana oppikin paljon uusia asioita ja toimintatapoja.

## LÄHTEET

All about circuits. n.d. Bridge Circuits, DC Metering Circuits. EETech Media LLC. Luettu 8.3.2020. <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-8/bridge-circuits/>

All about circuits. n.d. Strain Gauges, Electrical Instrumentation Signals. EE-Tech Media LLC. Luettu 8.3.2020. <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-9/strain-gauges/>

Beckhoff. 2019. EL3351 | 1-channel resistor bridge terminal (strain gauge). Luettu 30.3.2020. <https://www.beckhoff.com/EL3351/>

Beyer, M. 2011. The most common measuring principles for pressure sensors: thin-film, thick-film and piezoresistive sensors. WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG. 30.11.2011. Luettu 29.2.2020. <https://blog.wika.com/products/pressure-products/measuring-principles-sensors-thin-film-thick-film-piezoresistive/>

CTI Electronics. n.d. Understanding the Progression of Joystick Technologies. Luettu 24.2.2020. <http://www.ctielectronics.com/Potentiometer-Hall-Effect-Inductive-Joystick-Background.php>

Electronics tutorials. n.d.a Wheatstone Bridge. EE Times. Luettu 8.3.2020. <https://www.electronics-tutorials.ws/blog/wheatstone-bridge.html>

Electronics tutorials. n.d.b Electromagnetic Induction. EE Times. Luettu 12.3.2020. <https://www.electronics-tutorials.ws/electromagnetism/electromagnetic-induction.html>

ESAB. n.d. Esabin osaamiskeskus. Jauhekaarihitsaus. Luettu 25.2.2020. <https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/jauhekaarihitsaus.cfm>

Gassmann, E & Greis, A. 2010. Electronic Pressure Measurement. Sensor technology. WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG, 14–20. Luettu 24.3.2020. [https://www.wika.fi/upload/Handbook\\_ElectronicPressure\\_en\\_co\\_34154.pdf](https://www.wika.fi/upload/Handbook_ElectronicPressure_en_co_34154.pdf)  
<https://pemamek.com/fi/product-category/tuotteet/hitsaustornit/hitsausprosessit/>

Ionix Oy. n.d. MIG/MAG-hitsaus. Luettu 25.2.2020. <http://www.ionix.fi/fi/teknologia/kaarihitsaus/migmag-hitsaus/>

Jääskeläinen, E., Solehmainen, K. & Tuunanen, A. 2010. Uudet innovaatiot hitsausautomaatiossa. HitSavonia II hankkeen loppuraportti, 45–66. Luettu 29.2.2020. <http://portal.savonia.fi/img/amk/sisalto/tki-ja-palvelut/julkaisutoiminta/pdf/hit2netversio.pdf>

Kemppi Oy. n.d. Mitä hitsaus on? Luettu 22.2.2020. <https://www.kemppi.com/fi/FI/tuki/hitsausaapinen/mita-hitsaus-on/>

Lukkari, J. 2007. Nauhahitsaus. ESAB Hitsaus uutiset 1/2007, 4–5. Luettu 26.2.2020 <https://www.esab.fi/fi/fi/news/hitsausuutiset/upload/hu-1-07.pdf>



Nousiainen, J. 2014. Putkimaisten kappaleiden hitsausautomaattioratkaisun kehittäminen. Konetekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö. [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/100130/Diplomity%C3%B6\\_Nousiainen\\_Jyri.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/100130/Diplomity%C3%B6_Nousiainen_Jyri.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

OMEGA Engineering. n.d. Strain Gauge, Introduction to Strain gauges. Luettu 3.3.2020. <https://www.omega.co.uk/prodinfo/StrainGauges.html>

One Moment Engineering Oy. n.d. Venymäliuskamittaukset. Luettu 3.3.2020. <http://omeinweb.com/fi/palvelut/mittaukset/venymaliuskamittaukset>

Partco. n.d. Pieni venymäliuska-anturi 350ohm johtimilla. Luettu 5.3.2020. <https://www.partco.fi/fi/elektroniikan-komponentit/anturit/venymae/19451-bf350-3aa-w.html>

Pemamek Oy. n.d.a. Pemamek. Innovaatio, ammattitaito ja luottamus. Kaikki saman katon alla. Luettu 5.2.2020. <https://pemamek.com/fi/yritys/>

Pemamek Oy. n.d.b. Tuotteet. Luettu 21.2.2020. <https://pemamek.com/fi/product-category/tuotteet/>

Pemamek Oy. n.d.c. Hitsaustornit. Luettu 21.2.2020. <https://pemamek.com/fi/product-category/tuotteet/hitsaustornit/>

Pemamek Oy. n.d.d. Hitsausvarusteet. Luettu 21.2.2020. <https://pemamek.com/fi/product-category/tuotteet/hitsaustornit/hitsausvarusteet/>

Pemamek Oy. n.d.e. Hitsausprosessit. Luettu 26.2.2020. <https://pemamek.com/fi/product-category/tuotteet/hitsaustornit/hitsausprosessit/>

Schumann, D. 2011. Joystick controls. Hydraulics & Pneumatics. 31.12.2011. Luettu 12.3.2020. <https://www.hydraulicspneumatics.com/technologies/other-components/article/21883863/joystick-controls>

Setälä, J. n.d. Hitsiä syntyy vain silloin, kun valokaari palaa! Retco Oy. Luettu 28.2.2020. [http://www.retco.fi/blogi-608-hitsia\\_syntyy\\_vain\\_silloin\\_kun\\_valokaari\\_palaa.php](http://www.retco.fi/blogi-608-hitsia_syntyy_vain_silloin_kun_valokaari_palaa.php)

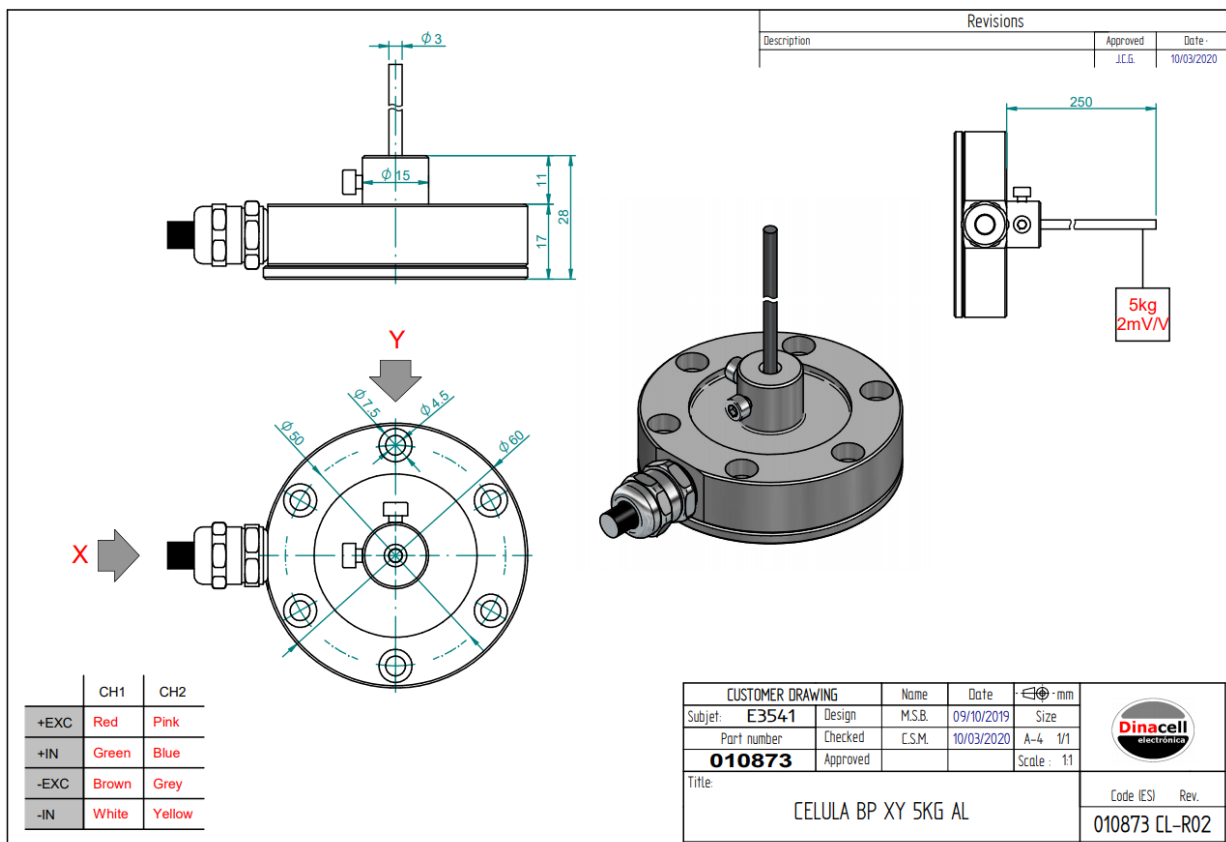
Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. 2010. Hitsauskustannusten alentaminen. Hitsaus tekniikka 5/2010, 5. Luettu 28.2.2020. [http://www.shy-hitsaus.net/portals/shy/iBooklet/2010/ht\\_5\\_10/files/assets/basic-html/page3.html](http://www.shy-hitsaus.net/portals/shy/iBooklet/2010/ht_5_10/files/assets/basic-html/page3.html)

WIKA Finland Oy. n.d.a Voiman mittaus ja voima-anturit. Luettu 29.2.2020. [https://www.wika.fi/landingpage\\_force\\_sensor\\_fi\\_fi.WIKA](https://www.wika.fi/landingpage_force_sensor_fi_fi.WIKA)

WIKA Finland Oy. n.d.b Usein kysytyt kysymykset: Mikä on Hall-ilmiö? Luettu 12.3.2020. [https://www.wika.fi/service\\_faq\\_dial\\_thermometers\\_fi\\_fi.WIKA](https://www.wika.fi/service_faq_dial_thermometers_fi_fi.WIKA)

LIITTEET

Liite 1. Uusi railonseuranta-anturi, Dinacell BP XY 5KG (Pemamek 2020)



INTELLECTUAL PROPERTY: This document and the information contained herein, is the exclusive property of DINACELL ELECTRONICA S.L. and its edition is under copyright. Its total or partial reproduction is prohibited without the express written consent of the company.