



# Pakkalinjan pallelin korkeusmittauksen kehittäminen

Valtteri Nurmi

Opinnäytetyö, AMK

Maaliskuu 2023

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

**Nurmi, Valter**

## **Pakkalinjan pallein korkeusmittauksen kehittäminen**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Maaliskuu 2023, 68 sivua

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### **Tiivistelmä**

Metsä Board Äänekosken tehtaassa arkittamossa oli havaittu puutteita pakkalinjan pallein korkeudenmittauksessa. Puutteista aiheutui ylimääräistä työtä prosessin työntekijöille ja pallein loppusijoituspaikka ei aina ollut oikea. Haasteita aiheutti raja-arvolla olevat palleit. Aikaisemmat mittausepätaarkkuudet johtuivat korkeudenmittauspistein sijainnista sekä käytettävästä tekniikasta. Kehittämistyönä oli tutkia, miten mitaustarkkuutta voitaisiin parantaa. Sitä kautta pyrittiin korjaamaan havaitut puutteet. Päätaoiteena oli kehittää pallein korkeudenmittausta luotettavammaksi lisäämällä toinen korkeudenmittauspiste olemassa olevan rinnalle.

Kehittämistyöhön sisältyi suunnittelu-, toteutus-, testaus- ja dokumentointivaiheet. Sovelluskohteen korkeudenmittauksessa päädyttiin hyödyntämään laseranturia aikaisemman ultraäänianturin sijaan. Laseranturi asennettiin prosessiin kutisteuunin jälkeen. Asennuskohta valikoitui sen perusteella, että pallein korkeuteen ei pitäisi tulla muutoksia enää tässä prosessin vaiheessa.

Työn tuotoksena syntyi uusi korkeudenmittauspiste pakkalinjan loppupäähän. Pakkalinjan ohjelmaan ja dokumentteihin tehtiin tarvittavat lisäykset ja muutokset asennuksen pohjalta. Uuden anturin toiminta ja mitaustarkkuus testattiin erilaisilla referenssimittauksilla, joita vertailtiin keskenään. Testimittausten perusteella voitiin päätellä mitaustarkkuuden parantuneen verrattuna aikaisempaan.

### **Avainsanat (asiasanat)**

Kehittämistutkimus, mitaustarkkuus, korkeudenmittaus, kartonkiteollisuus

### **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

Kokonaissivumäärästä 7 sivua liitteitä.

**Nurmi, Valtteri**

### **Development of pallet high measurement in pallet conveyor system**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, March 2023, 68 pages

Degree Programme in Electric and Automation Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

The pallet high measurement of the pallet packaging line was seen as inaccurate in Metsä Board Äänekoski mill. These inaccuracies caused extra work for the process operators and the final location of the pallet was sometimes incorrect. Especially the pallets which were near the maximum limit caused troubles to the process. Earlier measurement inaccuracies were originated from wrong placement of the sensor and from the wrong type of sensor technology. The development work was focused on the question: how the measurement accuracy could be improved. The main goal was to develop a new high measurement point to the process which should increase the reliability of the measurement.

The development work contained planning, execution, testing and documentation. A laser sensor was used instead of the previous ultrasonic sensor in the application of the high measurement. The laser sensor was installed to the process after the oven where the pallet's plastic coat is melted. The application point was chosen because after that there shouldn't happen any changes in the process affecting pallet's height.

The result of the work was a new high measurement point in the end of the pallet conveyor system. The changes and additions needed were made to the program and to the documentations of the pallet conveyor system after the installation. The laser sensor and its measurement accuracy were tested with different kind of reference measurements that were compared with each other. According to the test measurements the measurement accuracy improved because of the development compared to earlier.

### **Keywords/tags (subjects)**

The development work, measurement accuracy, high measurement, paperboard industry

### **Miscellaneous (Confidential information)**

Pages 68, 7 of them are attachments.

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>3</b>
1.1	Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet.....	3
1.2	Tutkimusaiheen rajaus, tutkimusmenetelmä ja aineistonkeruu .....	4
<b>2</b>	<b>Teoriaosuus .....</b>	<b>6</b>
2.1	Mittaustekniikka prosessiteollisuudessa .....	6
2.2	Korkeudenmittaus.....	8
2.2.1	Ultraäänimittaus .....	9
2.2.2	Lasermittaus .....	11
2.3	Mittaustarkkuus .....	12
<b>3</b>	<b>Metsä Board Äänekoski – Arkittamo .....</b>	<b>14</b>
3.1	Pakkalinja – historia ja toimintaperiaate .....	15
3.2	Siemens automaatiojärjestelmä .....	18
<b>4</b>	<b>Pakkalinjan kehittämisprosessi .....</b>	<b>19</b>
4.1	Kehittämistyön lähtötilanne.....	19
4.2	Suunnittelu .....	21
4.3	Toteutus .....	25
4.4	Testaus ja mittaustarkkuus .....	37
4.5	Dokumentointi .....	48
<b>5</b>	<b>Kehittämistyön arviointi ja tulokset .....</b>	<b>50</b>
<b>6</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>53</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>56</b>
	<b>Liitteet .....</b>	<b>59</b>
	Liite 1. Anturin datalehti (DT50-P1113 2022, 2). .....	59
	Liite 2. Anturin datalehti (DT50-P1113 2022, 2). .....	60
	Liite 3. Anturin datalehti (DT50-P1113 2022, 5). .....	61
	Liite 4. Anturin käyttöopas (DT50 käyttöopas 2017, 1). .....	62
	Liite 5. =930+C30_10 ET200 overview (Höök 2023). .....	63
	Liite 6. =930+C30_14 PLC configuration -A20 & -A21 Q100.0-100.3 (Höök 2023).....	64
	Liite 7. =903+P026.1_10 Sensors entrance roller conveyor pos. 26.1 (Höök 2023).....	65

## Kuviot

Kuvio 1. Ultraäänianturin toimintaperiaate (A dozen ways to measure fluid level n.d.) .....	10
Kuvio 2. Laseranturin toimintaperiaate (A dozen ways to measure fluid level n.d.) .....	11
Kuvio 3. Äänekosken tehdasintegraatti (Äänekosken kartonkitehdas n.d.).....	14
Kuvio 4. Pakkalinjan laite- ja kuljetinlayout pääohjauspaneelilla.....	18
Kuvio 5. Pinonoikaisijan kohdalla oleva alkuperäinen korkeudenmittauspiste .....	20
Kuvio 6. Uuden korkeudenmittauspisteen anturin suunniteltu asennuspaikka prosessissa .....	22
Kuvio 7. +TB3 position I/O-moduuli, johon on liitetty Siemensin 6ES7134-4GB11-0AB0 analogiatulokortti.....	26
Kuvio 8. Analogiatulokortti logiikan konfiguroinnissa korttipaikassa 9.....	27
Kuvio 9. Anturin kiinnityspiste sekä teline .....	28
Kuvio 10. Analogiatulokorttiin kytketty anturikaapeli position +C30-A1 I/O-moduulissa .....	29
Kuvio 11. Analogiatulon skaalaus, datatyyppin muunnos ja vähennysfunktio FC27 ohjelmalohkossa .....	30
Kuvio 12. Anturin mittausalueen alarajan kalibrointi sekä kalibrointiin käytettävä työkalu .....	32
Kuvio 13. Anturin mittausalueen ylärajan kalibrointi .....	33
Kuvio 14. FC426 ohjelmapiirin ajastin pallelin saapuessa oikaisutelalle.....	34
Kuvio 15. Korkeudenmittaustiedon vertailu ja lähetys FC426 ohjelmalohkossa .....	35
Kuvio 16. WinCC hälytys virheellisestä korkeudenmittaustiedosta .....	36
Kuvio 17. Virheellisestä mittaustuloksesta indikoiva hälytys ohjauspaneelilla .....	36
Kuvio 18. Variable table, johon koottu mittauksiin tarvittavat muuttujat.....	37
Kuvio 19. Ensimmäinen referenssimittaus kalibroinnin yhteydessä .....	38
Kuvio 20. Pallelin korkeuden mittaus pakkalinjan prosessin alkupäässä.....	40
Kuvio 21. Palletti kuljettimella 15 pääohjauspaneelin sovelluksessa.....	41
Kuvio 22. Pallelin tiedot position 30 kuljettimella.....	42
Kuvio 23. Pakkalinjan referenssimittaus palleteilla .....	43
Kuvio 24. Mittaustulosten laskennat ja tarkkuus .....	44
Kuvio 25. Mittaustulokset ultraäänianturin ja laseranturin välillä .....	47
Kuvio 26. Asennuskohteen kaapelikilvet kiinnitettyinä .....	49
Kuvio 27. Pakkalinjan toimintopaikkarakenne.....	50
Kuvio 28. Kaavio työn vaiheista .....	51

# 1 Johdanto

## 1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Kartonki- ja paperiteollisuuteen liittyvät prosessit ovat pitkälle automatisoituja. Prosesseja valvotaan henkilöstön toimesta sekä erilaisilla antureilla ja mittalaitteilla. Valvonnalla pyritään edistämään tuotannon laatua ja prosessin toimivuutta sekä seuraamaan prosessin ennakkohuollollisia tarpeita. Automatisoidussa ja useita eri vaiheita sisältävässä prosessissa pienimmätkin virheet käytettävän laitekannan toiminnoissa aiheuttavat ylimääräistä työtä henkilöstölle tai voivat jopa pilata tuotannon laadun.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää toimeksiantajan eli Metsä Board Äänekosken kartonkitehtaan arkittamossa sijaitsevan pakkalinjan korkeusmittausta tarkemmaksi. Ennen opinnäytetyön toteutusta pakkalinjan ainoa pallelin korkeudenmittauspiste sijaitsi prosessille epäedullisessa paikassa, mikä aiheutti mittausepä tarkkuutta sekä haasteita kokonaisprosessin käytännöllisyydessä. Virheellisen mittaustuloksen takia tietyn korkeisten pallettien loppusijoituspaikka määräytyi väärin, mistä aiheutui ylimääräistä työtä pakkalinjalla työskentelevälle operaattorille.

Kehittämistyölle asetettiin seuraavat tutkimuskysymykset:

- Millaista anturitekniikkaa sovelluskohteessa voidaan hyödyntää?
- Miten pallelin korkeus saadaan mitattua luotettavasti?
- Mitä vaiheita kehittämistyö sisältää?

Päätavoitteena oli rakentaa uusi pallelin korkeudenmittauspiste prosessin kannalta oleellisempaan paikkaan, jotta korkeudenmittauksen mittaustarkkuus paranisi ja prosessi toimisi suunnitellulla tavalla. Tarkoituksena oli perehtyä vaihtoehtoiseen anturitekniikkaan sekä nykyisen pakkalinjan prosessin toimintaan, jotta prosessin kehittäminen tuottaisi toivottuja tuloksia. Muina prosessin mittaustarkkuuden kehittämisen hyötyinä nähtiin työtehokkuuden lisääntyminen, parempi tuotteen logistiikka erityisesti lähetysvaiheessa sekä uuden anturitekniikan soveltuvuuden varmistaminen pakattuja palleteja koskevilla mittauksilla.

## 1.2 Tutkimusaiheen rajaus, tutkimusmenetelmä ja aineistonkeruu

Opinnäytetyön aihe rajautui uuden korkeudenmittauspisteen lisäykseen jo olemassa olevan pisteen rinnalle arkittamon pakkalinjalle. Idea opinnäytetyölle tuli prosessin parissa työskentelevältä henkilöstöltä. Aiheen rajauksessa otettiin huomioon tilaajatahon toive kokonaisvaltaisesta muutostyöstä. Opinnäytetyö pitää sisällään korkeudenmittauksen kehittämisen suunnittelun, toteutuksen, testauksen sekä arvioinnin sisältäen kehittämisprosessin kaikki vaiheet dokumentointia myöten. Tietoperustassa sekä kehittämistyössä avataan arkitusprosessin loppupuolella sijaitsevan pakkalinjan toimintaa, mittaustekniikkaa ja siihen liittyviä asioita kuten mittaustarkkuutta sekä opinnäytetyön kannalta muuten olennaisia järjestelmiä ja komponentteja. Lisäksi kuvioilla pyritään havainnollistamaan tekstissä mainittuja asioita, jotta työ olisi lukijalle helposti ymmärrettävässä muodossa.

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmä oli kehittämistutkimus. Kanasen (2015, 39) mukaan kehittämistutkimuksesta ei voida kuitenkaan puhua omana tutkimusotteena. Kehittämistutkimus sisältää yleensä kvalitatiivista ja kvantitatiivista tutkimusta. Tämän tutkimusmenetelmän päämääränä on aikaansaada muutos, joka syntyy kehittämällä esimerkiksi jotakin jo olemassa olevaa tuotetta tai menetelmää. Verrattaessa kehittämistutkimusta kvalitatiiviseen eli laadulliseen tutkimukseen tai kvantitatiiviseen eli määrälliseen tutkimukseen erona tällä tutkimusmenetelmällä on pohdinnan tuloksena syntyneen ongelman poistaminen. Tavallisen tutkimuksen rakenteeseen kuuluu yleensä tutkimuksen ongelman pohdinta, ongelman syiden kartoitus sekä ongelman ratkaisun osoittaminen eli ongelmaa ei käytännön tasolla ratkaista missään tutkimuksen vaiheessa. (Kananen 2015, 39 – 40.)

Kanasen (2015, 41) mukaan kehittämistutkimus voidaan jakaa tiettyihin vaiheisiin. Kyseiset vaiheet jakautuvat suunnitteluun, toimintaan, havainnointiin sekä seurantaan. Suunnitteluvaiheeseen kuuluu tutkimuksen ongelman määrittely, joka on olennainen osa kokonaisprosessia, jotta ongelma voidaan käytännön tasolla ratkaista. Usein varsinaisen ongelman määrittelemiseksi etsitään tietoa ja pohditaan eri vaihtoehtoja, joita voidaan hyödyntää toteutuksen tukena havaitun ongelman ratkaisemiseksi. Suunnittelun jälkeen siirrytään toimintavaiheeseen, jossa aikaisemmin pohditut vaihtoehdot toteutetaan käytännössä. Tämän jälkeen lopputulos arvioidaan eri tavoin havainnoiden sekä toteutettua ratkaisua ja sen toimintaa seurataan. (Mts. 41 – 42.) Opinnäytetyö myötäilee edellä mainittua prosessia.

Aineistonkeruumenetelmänä opinnäytetyö hyödyntää pääosin kvalitatiivista eli laadullista tutkimusmenetelmää. Kvalitatiivisen tutkimusmenetelmän aineistonkeruu jaotellaan sekundääriaineistoon eli dokumentteihin sekä primääriaineistoon eli havainnointiin, haastatteluihin ja kyselyihin (Kananen 2015, 76). Aineistona dokumentit sisältävät esimerkiksi verkkodokumentit, kuten sähköpostit, verkkosivut ja muistiinpanot. Lisäksi dokumentit voidaan jaotella myös fyysisiin dokumentteihin, kuten laitteiden manuaalit tai raportit. Primääriaineistosta havainnoinnin tarkoituksena on yrittää saada aistinvaraisesti eli tarkkailemalla parempi ymmärrys jostakin ilmiöstä ja siihen liittyvistä asioista. Haastatteluiden tarkoitus on hakea lisää tietoa tai näkökulmia kehittämistutkimuksen ongelman määrittämiseen tai ratkaisujen tueksi. Haastattelut kohdistetaan sellaisille henkilöille, joilla on kokemusta kyseisestä aiheesta. (Mts. 77- 81.)

Tämän opinnäytetyön aineistonkeruussa hyödynnettiin eniten dokumentteja, kuten laitetoimittajan käyttöohjeita sekä manuaaleja, sähköposteja ja verkkosivuja. Lisäksi opinnäytetyön toteutuksen johdosta syntyi dokumentteja lähinnä taulukkomuodossa sekä prosessin piirikaavioiden päivityksinä. Aineistonkeruuseen käytettiin myös haastatteluita, jotka toteutettiin arkittamon toiminnasta vastaavalle henkilölle sekä prosessikohteesta työskenteleville operaattoreille. Lisäksi prosessin toimintaa havainnoitiin, jotta sovelluskohteesta löytyisi mahdollisimman toimiva kohta uudelle mittauspisteelle. Lisäksi toteutetun muutostyön vaikuttavuuden arvioimiseksi kerättiin aineistoa mittaamalla prosessin läpi kulkeneita pletteja eri tavoin; rullamitalla, ultraäänianturilla ja laseranturilla. Mittaustuloksia vertailtiin keskenään taulukoiden avulla. Aihetta käsitellään osiossa neljä.



## 2 Teoriaosuus

Teoreettisessa viitekehyyksessä avataan tarkemmin Metsä Board Oyj:tä sekä pakkalinjan toimintaan ja pallelin korkeusmittaukseen olennaisesti liittyviä termejä ja laitteistoa sekä varsinaista prosessia. Aiheesta ei löydy aikaisempaa tutkimustietoa, sillä tehtaissa käytettävä laitteisto ja prosessi on usein salassa pidettävää tietoa. Lisäksi varsinainen arkinpakkausprosessi on jokaisessa tuotantolaitoksessa eri tavalla toteutettu, joten luotettavaa, yksiselitteistä toimintamallia ei ole olemassa. Tämä haastaa teoreettisen viitekehyyksen kirjoittamista ja tiedonhankintaa. Tietoa on pie-nissä osissa saatavilla kirjallisessa muodossa, ja siksi ajattelin hyödyntää teoreettisen viitekehyyksen laatimisessa myös käytännön kokemusta, jota opinnäytetyön tilaajatahon henkilöstöltä löytyy.

### 2.1 Mittaustekniikka prosessiteollisuudessa

Prosessiteollisuus on pitkälti automatisoitua. Jotta prosessi toimii toivotulla tavalla ja lopputuote on korkealaatuinen, pitää prosessia ohjata prosessiautomaation avulla. Muun muassa laadunvarmistuksen tueksi prosessi sisältää erilaisia mittauksia, jotka välittyvät prosessiautomaation kautta prosessin kanssa työskentelevälle henkilölle. Mittaukset antavat informaatiota esimerkiksi prosessin vaiheista, sen etenemisestä ja mahdollisesti esiintyvistä häiriöistä. Tyypillisimpiä suureita, joita prosessissa tarkkaillaan ovat pinnankorkeus, virtaus, lämpötila ja paine. Prosessissa käytettävästä materiaalista voidaan yllä olevien lisäksi mitata myös tiheyttä, sakeutta, kosteutta ja pH-arvoa.

(Pihkala 2004, 9.)

Yllä olevien prosessisuureiden mittaukseen käytetään erillistä laitetta eli anturia. Antureita on erilaisia riippuen mitattavasta kohteesta. Laitteen tehtävä on muuttaa mitattava suure ja viedä tieto eteenpäin esimerkiksi virta- tai jänniteviestinä. Mittaustyyppejä on kaksi erilaista; välillinen- ja välittömän mittaus. Välittömästä mittauksesta konkreettisenä esimerkkinä toimii jännitteen mittaus, jossa mitattu jännite näkyy yleismittarin näytöllä voltteina. (Pihkala 2004, 9.) Välillinen mittaus eroaa välittömästä mittauksesta siten, että mitattava suure on usein eri kuin anturin mittaama ja eteenpäin lähettämä tieto. Tästä esimerkkinä PT100-anturi, jota käytetään lämpötilan mittaukseen.

(PT100 Anturi n.d.; Pihkala 2004, 9.)

MEYER-vastus sivuston (PT100 Anturi n.d.) mukaan PT100-anturin toiminta perustuu metallista mitatun resistanssin muutokseen suhteessa lämpötilaan. Anturin läheisyyteen asennetaan usein lämpötilalähetin, joka muuntaa mitatun resistanssiarvon virtaviestiksi ja lähettää viestin eteenpäin esimerkiksi päätelaitteelle (Pihkala 2004, 46). Nykyään anturiteknologian kehittyttyä anturissa voi olla mikroprosessori toimilaitteen kanssa samassa kotelossa, joka mahdollistaa anturin keräämän tiedon prosessoinnin ennen kuin tieto lähtee eteenpäin automaatiojärjestelmälle. Tiedon prosessointi ennen lähetystä helpottaa lähtevän signaalin jatkokäsittelyä esimerkiksi prosessia ohjaavan ohjelman puolella. Antureiden kehittyminen on mahdollistanut myös sen, että yhtä anturia hyödyntämällä voidaan mitata useampaa eri suuretta, kuten lämpötilaa ja painetta. (Pihkala 2004, 12.)

Kun puhutaan instrumentoinnista, liittyy tähän olennaisesti standardiviesteihin pohjautuva tiedonkulku. Käytännössä standardiviesti tarkoittaa sitä, että oli kyseessä minkälainen anturi tahansa, anturilta eteenpäin lähtevä viesti on samassa muodossa. Standardiviesti luokitellaan kahteen eri luokkaan: pneumaattinen tai sähköinen standardiviesti. Pneumaattinen standardiviesti on mitattavan suureen minimi- ja maksimiarvoille skaalattu paineviesti, jonka asteikko on yleensä 0,2...1,0bar. Sähköinen standardiviesti noudattaa samaa periaatetta, mutta yksikkönä toimii ampeerit ja voltit. Tyypillisiä asteikkoja virran standardiviesteille on 0...20mA tai 4...20mA ja jännitteelle taas 1...5V sekä 0...10V. Oli anturin mitattava suure mikä tahansa, skaalautuu tämä standardiviestiksi lähettimen avulla. Lähetin toimittaa viestin eteenpäin automaatiojärjestelmälle, jonka kautta esimerkiksi lämpötilatieto tieto voidaan tuoda valvomoon prosessia valvovan henkilön tietoisuuteen. (Pihkala 2004, 10.)

Nykyään prosessiin liittyvät anturit ja muut toimilaitteet, kuten venttiilit ja taajuusmuuttajat voidaan liittää osaksi kenttäväylää. Kenttäväylällä tarkoitetaan digitaalista kommunikointitapaa laitteiden ja ohjausjärjestelmän välillä. Kenttäväylässä etuna on tiedonsiirron mahdollisuus molempiin suuntiin saman aikaisesti. Tämä mahdollistaa sen, että anturilta voidaan lähettää esimerkiksi yllä mainittu standardiviesti ohjausjärjestelmälle ja ohjausjärjestelmältä samaan aikaan kalibrointiohje anturille. Myös lisääntynyt ja kenttäväylän mahdollistama laitteen itsediagnostiikka sekä vikaantumisesta varoittavat valvonnat parantavat prosessin häiriöherkkyyttä. Lisäksi vikaantumisen valvonta helpottaa ennakoivan kunnossapidon suunnittelua ja toteutusta. Anturissa, joka hyödyntää pelkkää analogiatekniikkaa pystytään lähettämään viesti joko ohjausjärjestelmälle tai ohjausjärjes-

telmältä anturille eikä itsediagnostiikkaa tai vikaantumisen valvontaa pystytäkään hyödyntämään ollenkaan prosessin hallinnassa. (Pihkala 2004, 12.) Yleisiä nykyään käytössä olevia kenttäväyliä ovat Profibus PA, Foundation Fieldbus sekä Profinet, jonka käyttö perustuu Profibus DP:hen (Teollisuus-ETHERNET n.d.; Pihkala 2004, 13).

Kenttäväylän etuina verrattuna perinteiseen analogiatekniikkaan on myös fyysisen kaapeloinnin vähentyminen, koska kenttäväylässä kaapelointi voidaan toteuttaa laitteiden välille kaksisuuntaisen tiedonsiirron ansiosta, eikä jokaiselta laitteelta yksitellen ohjausjärjestelmälle. Laitteet, kuten anturi liitetään ohjausjärjestelmään analogisella tai digitaalisella signaalilla. Analogisessa liittämisessä signaali on jatkuvaa ja yleensä analogiatekniikkaa sovelletaan voima-, kiihtyvyyden- ja paineantureissa. Yleensä anturin antava signaali tarvitsee vahvistusta tai skaalausta liityttäessä ohjausjärjestelmään. Digitaalisessa signaalissa nimensä mukaisesti signaali kulkee digitaalisessa muodossa ja tästä syystä myös liittäminen ohjausjärjestelmän kanssa on yksinkertaisempaa. (Pihkala 2004, 13.) Tällaisia antureita ovat esimerkiksi laseretäisyysanturit tai induktiivinen lähestymiskytkin (Pihkala 2004, 164–168).

## 2.2 Korkeudenmittaus

Korkeudenmittauksella tarkoitetaan käytännössä etäisyyden- tai pinnankorkeuden mittausta. Kuitenkin terminä pinnankorkeuden mittaus saattaa olla harhaanjohtava, sillä yleensä se yhdistetään esimerkiksi säiliössä olevan nesteen pinnankorkeuden tarkasteluun. Korkeutta voidaan mitata erilaisilla metodeilla niin nesteistä kuin kiinteistäkin aineista. Tästä syystä opinnäytetyössä käytetään ainoastaan termiä korkeudenmittaus. Seuraavissa kappaleissa avataan korkeudenmittaukseen liittyvää tekniikkaa, mittalaitteen valintaan vaikuttavia ominaisuuksia sekä tyypillisimpiä asennus- ja käyttökohteita.

Mielenkiintoista ja toisaalta haastavaa on valita käyttötarkoitukseen sopiva mittalaite. Korkeudenmittauksen sovellusuunnitteluun esimerkiksi anturin valinnan osalta vaikuttaa useat eri tekijät kuten asennuspaikka, ympäristön olosuhteet, onko mittaus jatkuvaa vai ei sekä lisäksi mitattava aine tulee ottaa huomioon (Pinnankorkeuden mittaus n.d.). Yleisiä sovelluskohteita antureille ovat esimerkiksi säiliöt tai siilot, niiden ala- ja ylärajatiedot sekä sisällä olevan materiaalin tason mittaus (Pinnankorkeus n.d.; Solid level sensors: Technologies for detection and measurement n.d.). Mit-

tauksen antaman datan perusteella voidaan valvoa ja säätää prosessia haluttuun suuntaan (Pinnan korkeus n.d.). Anturityypin valintaan vaikuttaa myös mitattavan pinnan tasaisuus, joka aiheuttaa haasteita varsinkin kiinteiden aineiden mittauksissa (Mallon 2018).

Nestemäisiä materiaaleja mitattaessa tyypillinen sovellus on toteutettu kapasitiivisella lähestymiskytkimellä, jonka toimintaperiaate perustuu vaihtelevaan sähkökenttään anturin tunnistuessa mitattavaa materiaalia (Kapasitiiviset lähestymiskytkimet n.d.; Keinänen, Kärkkäinen, Lähetkangas & Sumujärvi 2007. 194–195). Kiinteiden aineiden mittauksien sovelluksiin voidaan hyödyntää esimerkiksi ultraäänianturia, joka on tunnistuksen suhteen riippumaton mitattavan materiaalin ominaisuuksista, kuten koostumuksesta tai sävystä (Mallon 2018; Keinänen ym. 2007, 198). Ultraäänianturin toimintaperiaatetta käsitellään enemmän kappaleessa 2.2.1. Mallonin (2018) mukaan kiinteiden aineiden mittaus on ollut kustannustehokkuuden sekä mitattavan materiaalin pinnan tasaisuuden näkökulmasta katsottuna haastavaa, mutta teknologian edistyksen myötä niin tekniikka kuin kustannustehokkuus on parantunut.

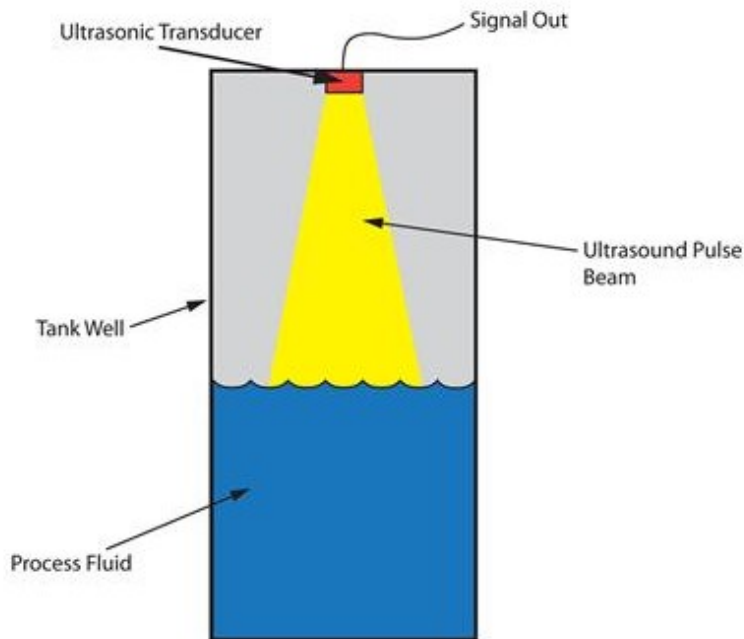
### 2.2.1 Ultraäänimittaus

Ultraäänimittauksen toimintaperiaate perustuu anturista lähtevään äänipulssiin kohti mitattavan kappaleen tai aineen pintaan kuten kuviossa 1 on esitetty. Anturi mittaa aikaa ultraäänipulssin lähettämisestä sen vastaanottamiseen. Kun äänipulssin takaisin heijastukseen kulunut aika on tiedossa, aika muutetaan skaalaamalla haluttuun muotoon eli etäisyydeksi. (Pihkala 2004, 100.) Kuten Korpela (2021) asian tiivistää ”Mittaus perustuu laskukaavaan, jolla äänen nopeus väliaineessa voidaan laskea.” Etäisyys mitattavaan kohteeseen voidaan laskea yksinkertaisella kaavalla

$$d = 0,5 \cdot t \cdot c$$

jossa  $d$  on etäisyys mitattavaan kohteeseen,  $t$  on pulssin lähetyksestä sen vastaanottoon kuluva aika sekunteina ja  $c$  on äänen nopeus eli 343 metriä sekunnissa (Smoot 2021). Jotta ultraäänipulssi on mahdollista saavuttaa mitattavan kohteen pinta, täytyy anturin ja mitattavan pinnan välillä olla väliaine, eli yleensä ilma (mt.). Ultraäänianturin asennuspaikka sijoittuu mitattavan kohteen yläpuolelle, jotta äänipulssilla on esteetön pääsy mitattavan aineen tai kohteen pintaan (Korpela 2021). Sovelluskohdetta mietittäessä tulee ottaa huomioon ympäröivän ilman ominaisuuksien muutokset esimerkiksi lämpötilan ja kosteuden suhteen, sillä kyseisillä suureilla on yhteys äänen

nopeuteen, mikä saattaa näkyä mittaustulosten tarkkuudessa (Smoot 2021).

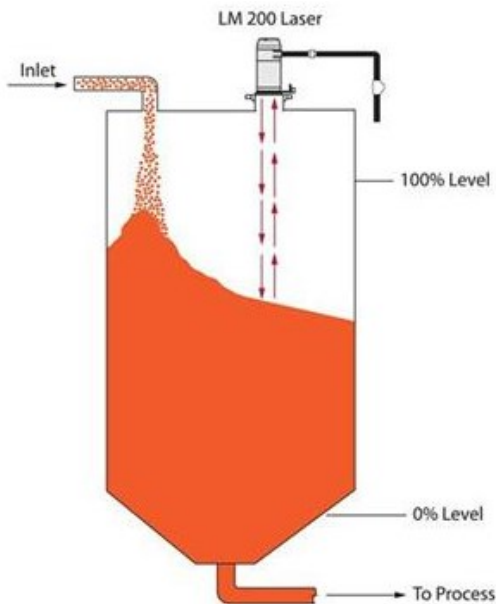


Kuvio 1. Ultraäänianturin toimintaperiaate (A dozen ways to measure fluid level n.d.).

Ultraäänianturin voi korvata tietyissä sovelluskohteissa myös ultraäänipintakytkimellä. Pintakytkimen lähetinosa sekä vastaanotin asennetaan mitattavan kohteen eri puolille horisontaalisesti. (Korpela 2021; Pihkala 2004, 100.) Pintakytkimen toiminta perustuu kahteen eri anturiin, joista lähetinosa muuntaa anturille kytketyn vaihtojännitteen äänipulssiksi ja vastaanotin taas äänipulssin vaihtojännitteeksi. Mitattavan kohteen eri puolille asennettujen antureiden väliin jää ilmaa, joka aiheuttaa oskillaattorin värähtelyn. Näin ollen, kun mitattava kohde (kuten nesteen pinta) tulee antureiden väliin, jatkuvan mittauksen signaali heikkenee sekä oskillaattorin värähtely loppuu. Tämän jälkeen anturilta lähtee tieto eteenpäin esimerkiksi prosessia seuraavalle operaattorille, joka tulkitsee anturin mittaavan tiedon eli korkeuden. Ultraäänipintakytkimiä käytetään yleisesti, kun mitataan esimerkiksi nesteitä tai lietteitä. (Pihkala 2004, 100–101.) Tästä voidaan päätellä, että normaali ultraäänianturi olisi toimintaperiaatteeltaan ja ominaisuuksiltaan parempi omaan sovelluskohteeseen kuin ultraäänipintakytkin, koska mitattava kohde on kiinteä eikä nestemäinen.

### 2.2.2 Lasermittaus

Laseranturi on yleiseltä toimintaperiaatteeltaan samanlainen kuin ultraäänianturi, kuten kuviosta 2 tulee ilmi. Laseranturi antaa mitattavan pinnan suuntaan lasersäteen, joka vuorostaan heijastuu kohti anturia. Tästäkin mittausmenetelmästä anturi mittaa aikaa eli Time-of-Flight-arvon (ToF), joka lasersäteen lähettämisestä pinnan kautta anturille kestää. Etäisyyden laskentaan vaikuttaa myös lähetetyn lasersäteen kulkunopeus. Anturi sijoitetaan mitattavan kohteen yläpuolelle. Kyseinen mittaustekniikka soveltuu nesteille ja kiinteille aineille. (Korpela 2021; Pihkala 2004, 101–102.; Time-of-Flight principle n.d.) Yleisiä sovelluskohteita kyseiselle anturitekniikalle ovat esimerkiksi kappaleiden liikkeen havainnointi, kuten kuljetinlinjalla liikkuvien kappaleiden reunantunnistus tai etäisyyteen liittyvät mittaukset esimerkiksi siltanostureiden liikkeiden koordinoiminen (Keinänen, Kärkkäinen, Metso & Putkonen 2000, 185; Nosturien pystysuuntainen paikoitus varastoissa, n.d.).



Kuvio 2. Laseranturin toimintaperiaate (A dozen ways to measure fluid level n.d.).

Laseranturin mittausmatka riippuu anturityypistä sekä siitä, onko mittaussovelluksessa käytetty vastapeiliä. Esimerkiksi Sensorolan jälleenmyymä Jenoptikin LDM301-sarja kykenee mittaamaan matkan 300 metriin asti peilittömässä asennuksessa, mutta peilin lisäämällä kasvaa mittausmatka jopa 3000 metriin asti. (Laseranturi LDM301-sarja n.d.) Lopullisen mittauksen tarkkuus kuitenkin riippuu mittausmatkasta. Kun vertaa LDM301-sarjan ominaisuuksia (tarkkuus  $\pm 20\text{mm}$ ) esimerkiksi SICK:n valmistamaan DT50-P1113-laseranturiin (tarkkuus  $\pm 10\text{mm}$ ), lyhenee mittausmatka 300

metristä kymmeneen, mutta mahdollinen mittauksen virhe puolittuu. (Keskipitkän matkan etäisyysanturit Dx50 / DT50 n.d.; Laseranturi LDM301-sarja n.d.) Koska kyseessä on koskematon mitaustekniikka, voidaan anturi sijoittaa esimerkiksi säiliön materiaalia koskevassa mittauksessa säiliön ulkopuolelle hyödyntäen ikkunaa, jonka läpi anturi mittaa. Kun mittaus erotetaan varsinaisesta prosessista, saadaan huomattavia etuja sovelluskohteisiin, joissa muuten anturiin kohdistuisi suuri paine tai lämpötila. (A dozen ways to measure fluid level n.d.)

## 2.3 Mittaustarkkuus

Suunniteltaessa anturia sovelluskohteeseen tulee ottaa huomioon eri ominaisuuksia, kuten kohteessa vallitseva lämpötila, vaatiiko mittalaite kalibrointia tietyin väliajoin, mitattava suure ja sitä peilaten anturin relevanttisuus kyseiseen mittaukseen sekä esimerkiksi anturin fyysinen koko. Kuitenkin yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on mittauksen luotettavuus eli mittaustarkkuus. (Hiltunen, Linko, Hemminki, Hägg, Järvenpää, Saarinen, Simonen & Kärhä 2011, 9-10; Aumala 1989, 157.) Mittaustarkkuudelle ei ole määritelty kiinteää arvoa vaan mittaustarkkuus kuvaa mittalaitteen, esimerkiksi anturin, abilitteettia tuottaa mittauksia, jotka poikkeavat mahdollisimman vähän oikeasta arvosta (Aumala 1989, 157). Mittauksen mahdollinen mittausrvirhe joko mitattuna suurena tai prosentteina saadaan laskettua kaavoilla

$$\text{Mittausrvirhe} = \text{Mitattu arvo} - \text{Oikea arvo}$$

$$\text{Mittausrvirhe \%} = (\text{Mitattu arvo} - \text{Oikea arvo}) / \text{Oikea arvo} * 100 \%$$

ja vastaukseksi saadaan mittausrvirheen suuruus joko suhteellisessa- tai absoluuttisessa (esimerkiksi %) muodossa. Mahdollisia mittausrvirheen aiheuttajia voivat olla ulkoisten tekijöiden aiheuttama lika, kuten pöly, tärinä tai komponentin ikääntyminen. Jotta virheitä voidaan minimoida ja tarkkuus saadaan pidettyä mahdollisimman luotettavana, tehdään antureille tiettyjä ennakkohuollollisia toimenpiteitä tietyin väliajoin. Näitä toimenpiteitä voivat olla esimerkiksi puhdistukset, mittauksen paikkaansa pitävyyden varmistus referenssimittauksilla tai mittalaitteen kalibrointi. (Heinonkoski 2004, 87.)

Laskettaessa mittaustuloksen tarkkuutta täytyy ottaa huomioon mittaukseen liittyvät epävarmuudet, jotka muodostuvat erilaisista epävarmuuskomponenteista. Yleismääritelmänä voidaan käyttää termiä mittauserpävarmuus. Erilaisia epävarmuuskomponentteja sekä niiden aiheuttajia ovat

- Komponentista tai mittalaitteen toiminnasta syntyvä epävarmuus

- Ympäristötekijöistä syntyvä epävarmuus
- Käyttäjän toiminnasta syntyvä epävarmuus
- Mitattavasta kohteesta syntyvä epävarmuus
- Laskuvirheistä syntyvä epävarmuus.

Komponentin tai mittalaitteen toiminnasta syntyvä epävarmuus peilataan laitetoimittajan antamaan, tarkkuutta kuvaavaan arvoon. Yleensä kokonaisepävarmuus tällä osa-alueella voidaan jakaa kahteen eri muuttujaan, jotka ovat mitta-alueesta riippuvainen epävarmuustekijä, joka on muuttumaton jokaiselle mittaustulokselle sekä mittaustuloksen tuottaman luvun epävarmuudesta. Mittalaitetta asennettaessa mittakohteeseen tulee aina hyödyntää laitetoimittajan suosituksia liittyen esimerkiksi ympäristöön, kalibrointiin tai ennakkohuoltoihin. (Hiltunen ym. 2011, 39 – 43; Aumala 1989, 157 – 162.)

Ympäristötekijöiden epävarmuuksilla tarkoitetaan sovelluskohteeseen ulkoisesti vaikuttavia tekijöitä, kuten lämpötila, kosteus tai ilmanpaine. Myös tähän epävarmuuskomponenttiin laitetoimittaja on määritellyt tietyt raja-arvot, jossa kyseinen mittalaite toimii siten, että pysytään ennalta määritetyn tarkkuutta kuvaavan arvon rajojen sisällä. Kyseisen komponentin epävarmuutta voidaan ehkäistä siten, että pyritään pitämään ympäristötekijät mahdollisimman vakiona esimerkiksi lämpötilan suhteen. (Hiltunen ym. 2011, 40; Aumala 1989, 162.) Käyttäjän toiminnasta syntyvä epävarmuus tulee esille, kun mittaustapahtumaan liittyy paljon käsin tehtävää mittausta. Tämä korostuu etenkin analogisissa mittauksissa, joissa mitattavan kohteen mittauspiste saattaa vaihdella käyttäjien välillä tai analogisia mittareita ja niiden näyttämää arvoa tulkitaan eri tavoin. Epävarmuustekijään pystytään vaikuttamaan korvaamalla analoginen mittaustapa digitaalisella. (Hiltunen ym. 2011, 41.)

Mitattavasta kohteesta syntyvät epävarmuudet muodostuvat mitattavaan kohteeseen vaikuttavista muutoksista, kuten mitattavan kohteen position vaihtuminen alkuperäisestä. Laskuvirheistä syntyvät epävarmuuskomponentit voidaan jokseenkin rinnastaa käyttäjän toiminnasta syntyviin epävarmuuksiin. Laskuvirheiden epävarmuuksilla tarkoitetaan esimerkiksi pyöristysvirheitä mittaustulosta laskettaessa, virheellisen mittauslaitteiston käyttämistä tai väärin kaavojen hyödyntämisestä halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. Laskuvirheiden epävarmuuden vähentämiseksi on tärkeää olla huolellinen epävarmuustekijöitä laskiessa. (Hiltunen ym. 2011, 41 – 43.) Mittaustulosta ja sen epävarmuustekijöitä laskettaessa tärkeintä on kuitenkin hyödyntää laitetoimittajan ohjeita esimerkiksi kalibroinnin suhteen (mts. 47).



### 3 Metsä Board Äänekoski – Arkittamo

Metsä Board Oyj on Suomesta lähtöisin oleva metsäteollisuuden alalla toimiva pörssiyhtiö, joka kuuluu Metsä Group -konserniin. Metsä Boardilla on kartonginvalmistukseen tarkoitettuja tehtaita yhteensä kahdeksan kappaletta, joista seitsemän toimii Suomessa ja yksi Ruotsissa. Tehtaat tuottavat pakkauskartonkia pääosin taivekartongin ja valkoisten kraftlainereiden muodossa. Boardilla on tällä saralla johtava asema markkinoilla kansainvälisesti, jota tukee 2,1 miljardin liikevaihto vuonna 2021. Visiona on tuoda pakkausmuovin rinnalle muita ratkaisuja, jotka ovat ympäristön kannalta kestävämpiä, mutta silti kuluttajaystävällisiä. (Metsä Board lyhyesti n.d.)

Opinnäytetyön tilaajana toimi Metsä Board Äänekosken yksikkö. Tehtaan kartongista jalostetaan pääasiassa personoituja pakkauksia erilaisille makeisille, elintarvikkeille, kosmetikalle sekä terveydenhuollon ja graafisten sovellusten tarpeisiin. Metsä Board Äänekosken kartonkitehtaan vuosikapiteetti on noin 260 000 tonnia/vuosi. Kyseisen tehtaan tuotantokoneistoon kuuluu kartonkikone, pituusleikkuri ja kolme arkkileikkuria. Tehdas työllistää noin 200 henkilöä. Boardin lisäksi tehdasintegraattiin kuuluu muita Metsä Groupin alla olevia yhtiöitä, kuten Metsä Fibre ja Wood. (Äänekosken kartonkitehdas n.d.)



Kuvio 3. Äänekosken tehdasintegraatti (Äänekosken kartonkitehdas n.d.).

Kartonkitehtaan vuosikapasiteetista arkitukseen tulee noin puolet eli 135 000 tonnia/vuosi (Metsä Board Äänekoski 2022, 5). Arkitettavat rullat toimitetaan arkittamoon arkkirullavarastoihin, jossa rullia varastoidaan muutama päivä. Kaikki varastossa olevat rullat on tarkoitettu leikattavaksi eli rullia säilytetään asiakkaan tilausta vastaan. Varastoista rullat tilataan arkkileikkureille, joilla kartonki leikataan asiakkaan tilauksen ja toivomusten mukaisesti tiettyjen mittojen ja määrien mukaan. Tuotteen laatu sekä tuote- ja henkilöstöturvallisuus ovat asioita, joihin arkitusprosessin aikana kiinnitetään huomiota. (Metsä Board Äänekoski 2021, 8; Salo 2023.) Leikattavien rullien leveydet vaihtelee 700 millimetristä 2250 millimetriin (mts. 8).

Arkkileikkuri pinoaa leikatut arkit koon ja tilauksen mukaan vaihtuvien puulavojen päälle. Tätä arkeista muodostuvaa pinoa kutsutaan palletiksi. Palletit kuljetetaan leikkureiden poistokuljettimilta pakkaukseen pakkalinjalle. Kuljetus tapahtuu viiden vihivaunun avulla. Pakkalinjalla tuote pakataan muovikääreeseen. Muovikääre suojaa kartonkia kuljetuksen ajan, jotta tuote säilyy optimaalisessa ja tuoteturvallisessa tilassa jatkojalostusta varten. Pakkalinjalta pakattu palletti kulkeutuu tuotevarastoon pariksi päiväksi. Tuotevarastosta palletit tilataan lastaukseen, jossa tuotteet lastataan trukeilla rekkoihin ja lähetetään asiakkaalle. Aikataulullisesti koko prosessi toteutetaan niin, että asiakas saa tuotteen sovittuun aikaan. Tavoitteena on tyytyväinen asiakas. (Salo 2023.)

Arkitusprosessi koostuu monesta eri koneesta ja laitteesta, joiden tulee toimia yhteen, jotta saadaan aikaiseksi toimiva kokonaisuus. Toimivan kokonaisuuden edellytyksiä ovat sitoutuva ja osaava henkilöstö sekä kunnossapito. Kunnossapidon toiminta pyritään pitämään suunnitelmallisena ja ennakoivana. Tällä saavutetaan tilanne, jossa huoltoseisokkien välinen aika olisi mahdollisimman häiriötöntä ja sitä kautta tuotantotehokasta. Jotta kunnossapidolliset toimenpiteet kohdentuvat oikeaan paikkaan, vaatii se myös yhteistyötä tuotannon henkilöstön kanssa. (Salo 2023.) Haastattelun aikana Salo (2023) korostaa, että kunnossapidon sijaan puhuttaisiin enemmän käynnissäpidosta.

### **3.1 Pakkalinja – historia ja toimintaperiaate**

Seuraavissa kappaleissa avaan pakkalinjan prosessia sekä sen kannalta oleellisia asioita. Lähdetietona tekstille soveltuu pääosin tilaajatahon omat dokumentit kuten työnopastusohje, joiden pohjalta prosessin toimintakuvausta pystytään avaamaan. Lisäksi lähdetietona toimii pakkalinjan operaattoreiden sekä arkittamon toiminnasta vastaavan henkilön haastattelut.

Äänekosken tehtaalla käytössä oleva pakkalinja juontaa juurensa M-Realin paperitehtaalle Halleiniin, jossa laite on otettu alunperin käyttöön vuonna 2000. Vuodesta 2010 lähtien pakkalinja on ollut Äänekoskella ja samana vuonna laitteelle toteutettiin perushuolto. Vuonna 2019 laitteelle tehtiin isompi modernisaatio, jossa laitteelle lisättiin alkupään kuljettimille uudet sisäänsyöttöpisteet Arkkileikkuri 9:n käyttöönoton myötä. Lisäksi samassa modernisaatiossa prosessiin asennettiin arkkien laskentaan sekä merkkaukseen tarkoitettu ABB:n nivelvarsirobotti. Muuten laitteelle on toteutettu ennakkohuollollisia toimenpiteitä vuosien aikana, jotta häiriöherkkyys pysyy minimissä ja toimintavarmuus maksimissa. (Salo 2023.)

Pakkalinjalla suoritettavan prosessin tehtävä on pakata arkkileikkureilla leikatut kartonkikarkeista muodostetut pinot eli palleitit tuoteturvallisuusmääräysten mukaisesti. Pakkalinja voidaan jakaa laitteiston osalta seuraaviin pääkategorioihin:

- Kuljettimet
- Pakkauskone
- Nosturit
- Riisinmerkkaukserobotti
- Etiketöintirobotit
- Etikettilostimet
- Kuumaliimayksikkö.

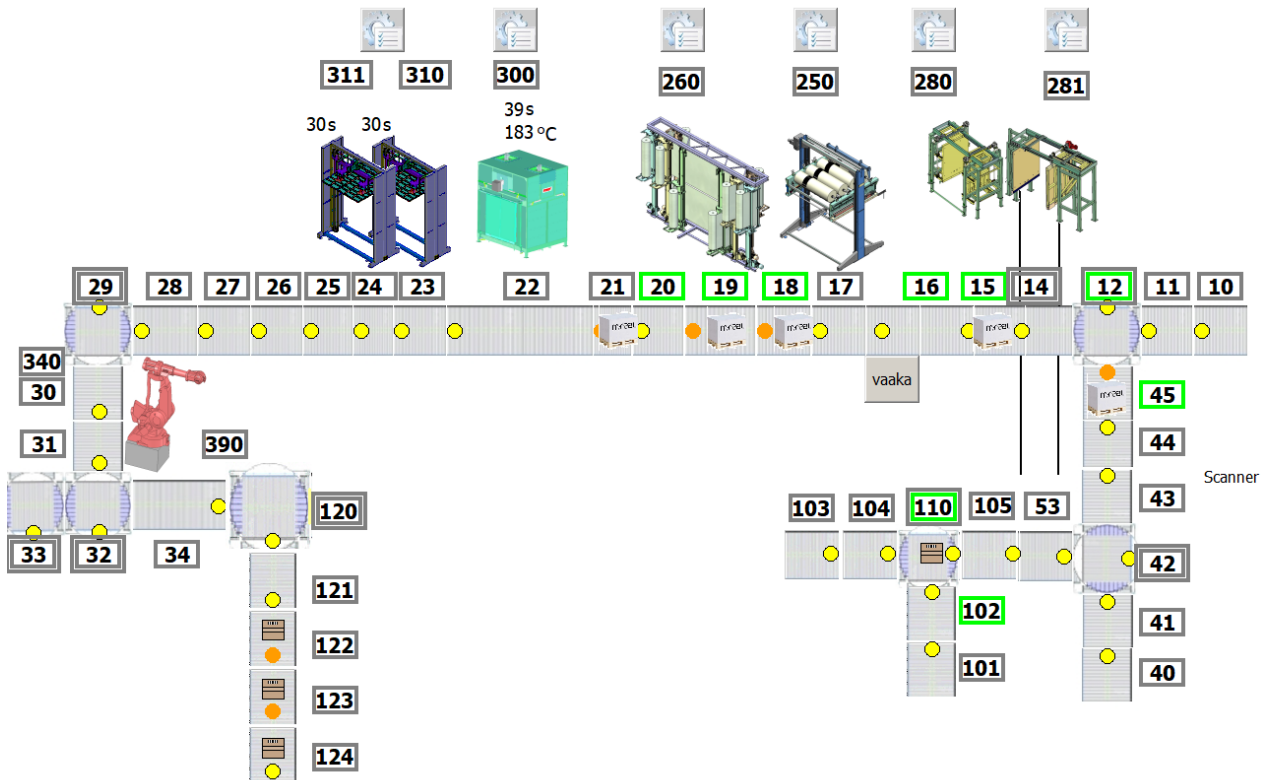
Lisäksi olennaisia pakkalinjaan liittyviä laitteita prosessin ulkopuolella ovat vihivaunut sekä Actiivalmistuotevarasto. Vihivaunut toimivat prosessin alkupäässä eli huolehtivat pallettien kuljetuksen leikkurilta pakkalinjalle. Palletit syötetään pakkalinjalle sisäänsyöttöpisteiksi merkityille kuljettimille. Sisäänsyöttöpisteitä on määritelty jokaiselle arkkileikkurille yksi kappale ja neljäs piste on tarkoitettu trukeilla tapahtuvaan pallettien syöttämiseen. (Salonen 2015, 3.)

Kuljettimet vastaavat palleitin kulusta prosessin edetessä ja ohjaus on toteutettu valokennoja hyödyntäen. Pakkalinjan alkupään kuljettimilla palletille toteutetaan viivakoodinluku, josta saatua tietoa hyödynnetään myöhemmin prosessin aikana. Viivakoodinluvun jälkeen palleitin arkit tasataan kahden pinonoikaisijan avulla molemmista suunnista. Pinonoikaisun aikana erilaiset anturit mittaavat palleitin pituuden, leveyden, korkeuden sekä massan. (Salonen 2015, 3.) Mittausten jälkeen palletti ajetaan riisinmerkkainrobotille, joka on lisätty prosessiin modernisaation myötä vuonna 2019 (Salo 2023). Antureiden mittaaman datan avulla määritellään palleitin loppusijoituspaikka,

joka on valmistuotevarasto tai lattiavarasto. Riisinmerkkainrobotin jälkeen prosessissa siirrytään pakkauskoneelle, jonka avulla pallettiin lisätään päälli- sekä verhokalvo. Pakkauskoneelta palletti etenee kutistusuuniin, jossa ympärille kääritty muovikalvo sulatetaan. Kutistusuunin prosessin valmistuttua, palletin arkkien välistä puristetaan ilma pois jäähdytyspuristimilla ja palletti siirtyy kuljettimilla etiketöintirobotille. (mts. 3.)

Pakkalinjan alkupäässä toteutettu viivakoodinluenta vaikuttaa etiketöintivaiheessa, sillä viivakoodin data määrittää palletin etikettiin tulevat tiedot. Etikettitulostimella tieto saadaan paperiseen muotoon. Etiketöintirobotti poimii tarttujalla etiketin kuljettimelta ja lisää kuumaliimayksiköstä liiman paperin pintaan. Viimeisenä vaiheena etiketit liimataan palletin kylkiin. Tämän jälkeen pinoaikaisun aikana mitatut arvot otetaan tarkasteluun palletin loppusijoituspaikan määrittämiseksi. Mikäli mitat ovat tiettyjen raja-arvojen sisällä, palletti ohjataan kuljettimelle 33, josta tuotevaraston manipulaattori hakee palletin varastoon. Jos jokin mitta ylittää asetetut raja-arvot, ohjautuu palletti poistokuljettimelle 34 eli oksalle ja siitä trukilla lattiavarastointiin. Lisäksi prosessiin kuuluu kaksi nosturia, jotka ovat tarkoitettu päälli- ja verhokäärerullien vaihtamiseen. (Salonen 2023, 3 – 4.)

Prosessin ohjaus tapahtuu valvomossa sijaitsevalta päätteeltä sekä kolmelta eri ohjauspaneelilta. Valvomon päätteelle generoituu häiriötilanteiden hälytykset sekä pallettien- ja tuotannonohjausjärjestelmän tiedot. Lisäksi päätteeltä sekä ohjauspaneelilta pystyy hallinnoimaan esimerkiksi palletin tietoja sekä ajamaan prosessin laitteita, kuten kuljettimia käsiajolla mahdollisissa häiriötilanteissa. Normaalitylanteessa pakkalinjan prosessi toimii automaattisesti ja kohteessa työskentelevän operaattorin tehtävä on seurata prosessin toimintaa sekä valvoa laatua. Lisäksi operaattorin toimenkuvaan kuuluu oksan tyhjentäminen, mikäli palletit eivät mahdu valmistuotevarastoon esimerkiksi ylittävän korkeuden arvon takia. (Salonen 2015, 3 – 7.) Kuvista 4 nähdään pääohjauspaneelin ajonäyttö.



Kuvio 4. Pakkalinjan laite- ja kuljetinlayout pääohjauspaneelilla

### 3.2 Siemens automaatiojärjestelmä

Pakkalinjan automaatiojärjestelmä pohjautuu Siemensin Simatic S7-300 sarjan logiikkaan. Tarkempi mallikuvaus on Simatic S7-300 CPU 319PN/DP. (Connection diagramm 2019, 884.) Kyseinen mallisarja on julkaistu vuonna 1994, mutta soveltuu edelleen erilaisiin sovelluskohteisiin. S7-300-sarjan etuina ovat muun muassa kattava valikoima CPU:n suhteen sekä tuki useisiin eri väylätekniikoihin, kuten PROFIBUS DP, PROFINET ja PtoP. Lisäksi mallisarja tukee hajautettua sekä keskitettyä ohjausjärjestelmää I/O-moduulien puolelta. Vaikka sarjan tilalle on tarjolla nykyaikaisempia ratkaisuja, kuten S7-1500 sarja, on varaosasaatavuus edelleen hyvällä tasolla. (SIMATIC S7-300 n.d.) Pakkalinjalla käytössä olevan logiikan valmistus on lopetettu lokakuussa 2021 (6ES7318-3EL00-0AB0 2023).

Pakkalinjan I/O-moduuleissa käytetään Siemens Simatic DP:n ET200S-moduulia, joka liitetään käytössä olevaan kenttäväylään. Moduulin tarkempi mallikuvaus on IM151-1 6ES7151-1BA02-0AB0. Kyseiseen moduuliin voidaan liittää maksimissaan 63 eri tulo- tai lähtökorttia. Kortit voivat olla esimerkiksi tarkoitettu tehosyöttöön tai analogisten sekä digitaalisten tulojen ja lähtöjen lukemiseen.

(6ES7151-1BA02-0AB0 2023; Connection diagramm 2019, 948 – 949.) ET200S-moduulin valmistus on lopetettu lokakuussa 2020 (mt). Samaan moduuliin voidaan liittää analogisen tulotiedon lukemiseen tarkoitettu ET200S 2AI-tulokortti, joka voi lukea tiedon 4...20 milliampeerin alueelta. Kyseisellä kortilla voidaan lukea kahta analogiatuloa sekä sen kautta pystytään toteuttamaan toimilaitteen, kuten anturin virransyöttö. (6ES7134-4GB11-0AB0 2023; mts. 608.)

## 4 Pakkalinjan kehittämisprosessi

Seuraavissa kappaleissa on avattu kehittämistyön tavoitteita sekä opinnäytetyön vaiheita korkeudenmittauksen lähtötilanteesta suunnitteluun, toteutukseen, testausvaiheeseen sekä dokumentointiin.

### 4.1 Kehittämistyön lähtötilanne

Opinnäytetyön päätavoitteena oli toteuttaa arkittamossa sijaitsevalle pakkalinjalle uusi korkeudenmittauspiste, jonka ansiosta prosessin mittaustarkkuus paransi sekä prosessi toimisi loogisemalla tavalla. Kehittämistyö pystyttiin jakamaan selkeisiin vaiheisiin, jotka olivat:

- Suunnittelu
- Toteutus
- Testaus
- Dokumentointi

Lähtötilanne opinnäytetyön toteutuksen suhteen oli selkeä. Alkuperäisessä pallelin korkeudenmittauksessa oli havaittu prosessin kanssa työskentelevien tahojen puolesta ongelmakohtia sekä mitatausepätkarkkuutta. Lisäksi mittaussovelluksen sijainti oli prosessin kannalta epäedullisessa paikassa eli pakkalinjan alkupäässä pinonoikaisijan yhteydessä, joka esiintyy kuviossa 5. Alkuperäinen korkeudenmittaus tapahtui samaan aikaan, kun kaksi painajaa oikaisee arkkipinon sekä pallelin kuljettimen päällä. Pallelin korkeudenmittauksen kehittämisestä oli ollut puhetta tilaajatahon henkilöstön keskuudessa jo ennen opinnäytetyöni aloitusta, mutta suunnittelu ja toteutus oli jäänyt tekemättä.



Kuvio 5. Pinonoikaisijan kohdalla oleva alkuperäinen korkeudenmittauspiste

Alkuperäinen korkeudenmittauspiste oli toteutettu ultraäänitekniikalla. Anturin toteuttama mittaus toimi kuten pitää, mutta mittaukseen vaikuttavien muuttujien takia käytettävä anturitekniikka oli väärä sovelluskohteeseen. Ensimmäinen ongelmakohta tuli esiin, mikäli palletin päällimmäinen arkki ei ollut tasainen vaan esimerkiksi reunat olivat koholla (Operaattori 2 2023). Ultraäänianturin tekniikasta johtuen anturi mittaa korkeuden palletin korkeimmasta kohdasta, joka johtaa virheelliseen mittaustulokseen (Operaattori 2 2023). Toinen ongelmakohta mittauspisteessä oli anturin sijainti prosessissa. Korkeudenmittauspiste oli sijoitettu prosessin alkupäähän, jonka jälkeen palletin korkeuteen tuli prosessin toimesta muutoksia. Palletin poistuttua kutistuneista, jäähdytyspuristimet puristavat arkkien välistä ylimääräisen ilman pois. Myös tämä prosessin osa-alue vaikuttaa palletin korkeuteen ja näin ollen alkupäässä mitattu tulos ei ole enää validi. Mittausvirheet olivat alkuperäisellä mittauksella jopa 50 millimetriä. (Operaattori 1 2023.)

Prosessin loppupäässä palletti ohjautuu joko valmistuotevarastoon tai poistokuljettimelle eli oksalle, josta palletti pitää siirtää erikseen trukilla lattiavarastoon. Palletin loppusijoituspaikalla tarkoitetaan automaattisesti toimivaa valmistuotevarastoa, lattiavarastoa tai telttavarastoa. Loppusijoituspaikkaan vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi palletin paino, leveys sekä korkeus. Korkeuden puolesta raja-arvona on 1650 millimetriä eli tätä korkeampi palletti ei mahdu fyysisesti enää valmistuotevarastoon. Jos pakkalinjalle tulevan palletin korkeus on lähellä kyseistä raja-arvoa, saattaa ongelmakohdista johtuvien mittausvirheiden takia palletti ohjautua oksalle, vaikka todellinen korkeus olisi alle 1650 millimetriä. Operaattorin 1 (2023) mukaan mittausvirheet aiheuttavat turhaa työtä, koska palleteja joudutaan siirtelemään käsin pois pakkalinjalta. Lisäksi kyseinen ongelma hankaloittaa myös palletin lastausvaihetta ja sen logistiikkaa, koska saman tilauksen paketeista osa saattaa olla valmistuotevarastossa, osa lattiavarastossa sekä osa telttavarastossa. Saman tilauksen palletit joudutaan joissakin tapauksissa hakea ja lastata useammasta eri paikasta ennen lähetystä. (Operaattori 1 2023.)

## 4.2 Suunnittelu

Korkeudenmittauspisteen kehittämistyö lähti liikkeelle pakkalinjan prosessiin tutustumalla eli perehtymällä laitetoimittajan manuaaleihin, piirikaavioihin sekä seuraamalla prosessin kulkua linjan ollessa käynnissä. Kuten kappaleessa 4.1 todettiin, mittaukseen liittyvä ongelma ja sen seuraukset tiedostettiin ja tähän haasteeseen tuli tuottaa ratkaisu. Ensimmäinen konkreettinen asia oli löytää prosessin keskeltä uudelle mittauspisteelle mahdollisimman looginen sekä prosessin kannalta hyödyllisin paikka. Havaittiin, että palletin korkeudessa tapahtuu muutoksia kutisteuunin jälkeen jäähdytyspuristimella. Tästä syystä anturi tulisi sijoittaa prosessissa kohtaan, jossa korkeus ei enää muutu. Prosessia seuraamalla huomattiin myös, että viimeisen jäähdytyspuristimen jälkeen palletti ajetaan eteenpäin kuljettimella ja pysäytetään hetkeksi oikaisutelalle, jonka tarkoitus on suoristaa palletti kuljettimen päällä. Kuljettimien välistä nouseva oikaisutela sijaitsi hoitotason runkorakenteiden alla, joten myös uuden anturin kiinnitys helpottuisi, eikä erillistä runkopalkkia tarvitsisi rakentaa uutta korkeudenmittauspistettä varten. Asennuspaikka oli optimaalinen, sillä tarkka mittaustulos vaatii palletin liikkeen pysähtymisen, eikä liikkeen pysähtymiselle tarvitsisi



tehdä erikseen ohjelmallisia muutoksia. Lopullinen anturin sijoituspaikka määräytyi pakkalinjan yli menevän hoitotason runkopalkkiin kuten kuviosta 6 nähdään.



Kuvio 6. Uuden korkeudenmittauspisteen anturin suunniteltu asennuspaikka prosessissa

Sovelluskohteen asennuspaikan valinnan jälkeen täytyi päättää, minkälaista anturitekniikkaa kohteessa olisi järkevin hyödyntää. Koska jo ennalta tiedettiin, että alkuperäisessä mittauspisteessä oleva ultraäänitekniikka on aiheuttanut haasteita tarkan mittaustuloksen aikaansaamiseksi, tutkin vaihtoehtoisia mittaustekniikoita. Eri laitetoimittajien, kuten SICK:n sekä Pepper + Fuchs:n kotisivuja tutkimalla löytyi melko hyvin tietoa eri anturitekniikoista, esimerkkejä mahdollisista käyttökohteista sekä kotimaan jälleenmyyjistä. Lisäksi sopivaa anturia pohdittaessa tuli valintaa peilata tehtaan oman keskusvaraston varaosakantaan ja valita mieluummin jo käytössä oleva anturi sovelluskohteelle. Tässä kyseisessä sovelluskohteessa oli käytännössä tarkoitus mitata etäisyyttä anturilta pallelin pintaan, joten arveltiin, että laseranturi voisi soveltua kohteeseen hyvin. Eri laitetoimittajien sivuilta löytyi lasermittaukseen perustuvia antureita kattava valikoima.

Jotta prosessin muut toiminnot mittauspisteen jälkeen toimivat jouhevasti sekä aikaisemmin ongelmia tuottanut mittaustarkkuus saatiin täsmällisemmäksi, tarvitsi anturin omata hyvä mittaustarkkuus. Lisäksi mittauksen tuli tapahtua nopeasti, koska palletti on pisteessä paikallaan vain sekunnin. Aikaa olisi pystynyt ohjelman puolesta nostamaan kuinka ylös tahansa, mutta muutoksella olisi ollut suoranainen vaikutus pakkalinjan tuotantotehokkuuteen, joten se ei ollut vaihtoehto. Myös toimintavarmuus riippumatta ulkoisista tekijöistä kuten lämpötila tai pöly, oli tärkeä seikka anturivalinnan suhteen. Sovelluskohteen kriteerit mittauksen suhteen olivat siis melko yksinkertaiset:

- Hyvä mittaustarkkuus
- Nopea mittaus
- Toimintavarmuus.

Edellä mainittuja ominaisuuksia vertailtiin laitevalmistajien- sekä oman keskusvaraston valikoimaan, anturiksi valikoitui SICK:N DT50-P1113 etäisyysanturi. Kyseisen anturin mittaustarkkuus oli  $\pm 10$  millimetriä, mittaussnopeus 4 millisekuntia ja keskimääräinen käyttöikä 100 000 tuntia (DT50-P1113 2022, 3). Tässä vaiheessa suunnittelua kuitenkin pohditutti anturin soveltuvuus kyseiseen kohteeseen, koska käytettävä etäisyysanturi hyödyntää lasersädettä mittaukseen. Palletin päälle on tässä vaiheessa prosessia sulatettu kutisteuunissa pakkausmuovi, jonka epätasainen pinta ja kiiltävyys saattaisi tuottaa hankaluuksia lasersäteen epätoivottujen heijastumien suhteen. Päätettiin kuitenkin jatkaa suunnittelua kyseisellä komponentilla ja tarpeen vaatiessa voitaisiin sovelluskohteeseen vaihtaa toisentyyppinen anturi.

Anturin mittaustiedon hyödyntäminen tarvitsi toimiakseen analogisen tulokortin sekä korttipohjan, joka kokonaisuudessaan liitettäisiin toteutusvaiheessa yhteen logiikan I/O-moduuleista. Tulokortin kautta anturin antamaa analogista tietoa pystyittäisiin lukemaan ohjelmassa ja täten hyödyntää mittausta prosessissa. Kun suunnittelun alkuvaiheessa perehtyi pakkalinjan piirikaavioihin, selvisi sitä kautta muualla käytössä olevien analogia-tulokorttien mallit. Tehtaalla käytössä olevan SAP-järjestelmän kautta pystyi suorittamaan erilaisilla ehdoilla, kuten mallimerkinnällä tai valmistajalla, hakutoimintoja kyseisen analogiakortin suhteen. Analogia-tulokortiksi valikoitui Siemensin 6ES7134-4GB11-0AB0, jota keskusvarastolta löytyi yksi kappale. Siemens Industry Mallin (2023) mukaan kyseisen analogiakortin valmistus on lopetettu 1.10.2020, joten kortin tilaaminen olisi

saattanut toimitusajan puolesta tuottaa hankaluuksia ja siten vaikuttaa opinnäytetyön toteutuksen aikatauluun.

Anturityypin sekä analogiakortin valinnan jälkeen oli tehtävänä valita oikean tyyppinen anturikaapeli sekä suunnitella kaapelireitti anturilta analogia-tulokortille. Anturin liitäntätyyppinä toimi perinteinen M12, 5-napainen kierrettävä liitin, kuten liitteessä 3 on kuvattu (DT50-P1113 2022, 5). Anturikaapeliksi tässä tapauksessa soveltui tavallinen 5-johtiminen anturikaapeli, johon oli valmiiksi puristettu oikean tyyppinen, edellä mainittu liitin toiseen päähän. Kaapeli valittiin sillä ajatuksella, mikäli suunniteltu anturi ei toimi odotetulla tavalla, että samaa kaapelia voi hyödyntää myös erityyppisen anturin kytkennässä. Tässä säästäisi huomattavan määrän aikaa, kun anturikaapelia ei tarvitsisi vetää uudestaan. Asennuspaikan läheisyydessä meni kaapelihyllyjä muiden prosessiin liittyvien kaapeleiden takia, joten kaapelireitin suunnittelu oli kohtuullisen yksinkertaista.

Käytännön toteutusta varten komponentit oli selvitetty valmiiksi, joten tässä vaiheessa perehdyin ohjelmaan sekä sen muutoksiin korkeudenmittauspisteen myötä. Ohjelman toteutustapoja on monia ja usein järkevin malli on laite- tai prosessikohtainen. Pakkalinjan osalta ohjelman perusperiaate on kuitenkin melko selkeä. Kun palletti tuodaan pakkalinjan alkupäähän, saa se prosessin edetessä spesifejä tietoja, kuten korkeus, leveys, paino tai arkkien määrä. Nämä kyseiset tiedot liikkuvat pallelin mukana kuljettimelta toiselle ja ohjaavat prosessin laitteita sen edetessä. Eli kiitettynä pallelin mukana tulevia tietoja käsitellään kuljetin sekä laite kerrallaan. Pinonoikaisijalla sijaitsevaa alkuperäistä korkeudenmittausta ja siitä saatavaa tietoa hyödynnetään muun muassa riisinmerkkainrobotin asemoinnissa, kalvokäärintäkoneen komponenttien ja saumauskiskon asemoinnissa sekä jäähdytyspuristimen ohjauksessa ennen, kun palletti saapuu uudelle korkeudenmittauspisteelle. Jo pelkästään tästä syystä ohjelman toteutus oli pakko suunnitella niin, että pallelin saapuessa kuljettimelle 26, päivitetään pallelin tietoihin uuden korkeudenmittauspisteen tieto, jota palletti vie eteenpäin kohti pakkalinjan prosessin loppua. Tällä mahdollistettiin se, että etäisyysanturi pystyttiin sijoittamaan prosessin loppupäähän ja mittauksesta saatiin mahdollisimman tarkka korkeuteen vaikuttavien tekijöiden jälkeen.

Suunnittelun viimeinen vaihe oli toteutusvaihetta ajatellen huoltoseisokin organisointi. Pakkalinjan verkkoaitojen ja suojaorttien sisäpuolelle pääsy vaatii, että prosessin pitää olla pysähtyneenä, minkä lisäksi alueella vaikuttavien ja siellä toimivien laitteiden tulee olla turvalukittuna. Prosessin

pysäyttäminen vain pakkalinjan osalta ei ole mahdollista, joten myös arkittamon muiden laitteiden tulee olla pysähtyneinä. Näin pakkalinjalle ei kohdistu jatkuvaa materiavirtaa, mikä mahdollistaa asennustyön toteutuksen. Huoltoseisokki päätettiin ottaa samaan ajankohtaan viikkosiivousseisokin kanssa, jonka pituutta voisi tarvittaessa venyttää normaalista tunnista esimerkiksi kolmeen. Seisokkien yhteensovittamisella pyrittiin siihen, ettei prosessia tarvitsisi pysäyttää käytännön työn kesken jäämisen takia enää jatkossa, vaan anturin kiinnitys ja kaapelointi voitaisiin hoitaa saman seisokin aikana.

### 4.3 Toteutus

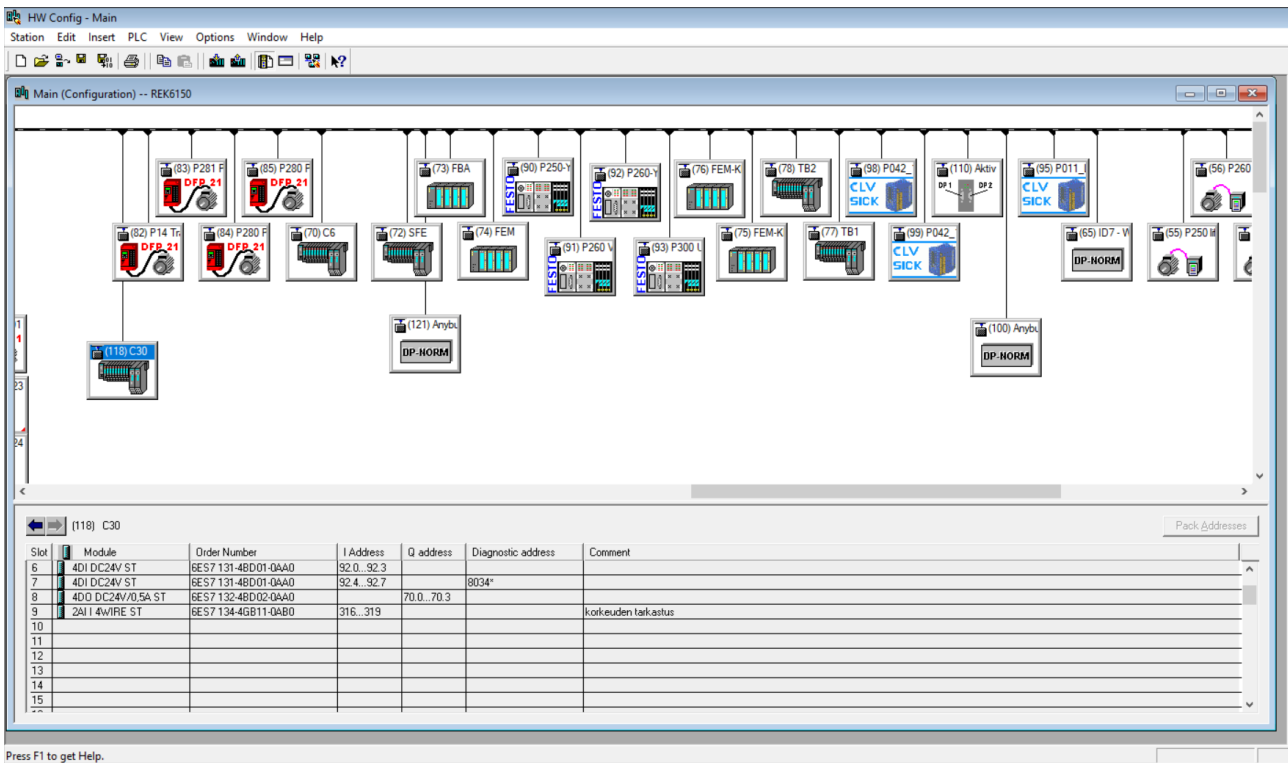
Kun huoltoseisokin ajankohta saatiin organisoitua, siirryttiin toteutuksen pariin. Toteutusvaihe aloitettiin suunnitteleamalla, kuinka työ toteutetaan turvallisesti. Turvallisen työskentelyn edellytyksiä ovat esimerkiksi prosessikohtaiset turvalukitukset, muille alueella työskenteleville työntekijöille asenuksesta tiedottaminen sekä oikeanlaisten henkilökohtaisten suojarusteiden käyttö. Käytännön tasolla tämä tarkoitti vahinkokäynnistyksen eston toteuttamista eli esimerkiksi alueella olevien kuljettimien turvakytinten lukitsemista ja pakkalinjan operaattorin kanssa kommunikointia työn kulusta. Kun työkohde oli turvallistettu, aloitettiin käytännöntoteutus suunnitelman mukaan.

Toteutus lähti liikkeelle analogiatulokortin liittämällä I/O-moduuliin. Tulokortti oli tarkoitus asentaa +TB3 positiolla varustettuun I/O-moduuliin, joka sijaitsee kuljettimen vieressä olevassa kenttäkotelosta lähellä asennuspaikkaa. Matka anturilta kenttäkotelolle olisi ollut lyhyt, joten myös kaapelinveto olisi toteutunut nopeasti. Tulokortin liittäminen sujui ongelmitta sekä konfigurointi ohjelman puolella onnistui. Kyseisen +TB3 I/O-moduulin IM151-väylämoduuli sekä tulokortti kuitenkin hälytti konfiguroinnin jälkeen SF-häiriötä (System Fault), joka viittasi laitteiston olevan ristiin riiidassa ohjelman konfiguroinnin kanssa kuten kuvioista 7 voidaan päätellä. Kyseisessä moduulissa oli myös turvalogiikan puolelle liittyvä digitaalitulokortti, joten epäily oli, että tämä sekoitti konfigurointia. Koska lähellä oli myös toinen I/O-moduuli, jossa ei ollut turvalogiikkaan liittyviä komponentteja, päätettiin analogiakortti konfiguroida tähän moduuliin.



Kuvio 7. +TB3 position I/O-moduuli, johon on liitetty Siemensin 6ES7134-4GB11-0AB0 analogiatulokortti

Kenttäkotelon vaihtumisen takia kaapelireitti suunniteltiin uudestaan. Analogiatulokortti päätettiin liittää position +C30-A1 I/O-moduuliin ja kokeilla konfigurointia uudestaan. Tulokortti liitettiin moduuliin ja konfiguraatio meni läpi ilman häiriötä. Kyseisen moduulin IM151-väylämoduulille tai tulokortille ei myöskään ilmestynyt häiriöstä indikoivia ledejä. Tulokortin konfigurointi tulee ilmi myös kuvioista 8. Konfiguroinnin jälkeen siirryttiin anturin kiinnitykseen sekä kaapeloinnin toteutukseen.



Kuvio 8. Analogitulokortti logiikan konfiguroinnissa korttipaikassa 9

Anturin kiinnitys sekä teline suunniteltiin ja toteutettiin yhteistyössä mekaanisen kunnossapidon henkilöstön kanssa. Anturille hitsattiin verstaalla teline, joka kiinnitettiin sovelluskohteessa sijaitsevan hoitotason runkopalkkiin. Telineen tuli olla tarpeeksi vankkarakenteinen, jotta prosessista aiheutuva resonointi ei vaikuta mittaustarkkuuteen esimerkiksi anturia täristämällä. Kiinnityspiste ja anturin teline on esitetty kuviossa 9. Kiinnityksen jälkeen suoritettiin kaapeloinnin toteutus. Kuten kappaleesta 4.2 tuli ilmi, oli kaapelireitti suunniteltu etukäteen ja muiden prosessiin liittyneiden laitteiden kaapelointien takia reititys oli nopea toteuttaa, vaikka suunnitelmat muuttuivatkin konfigurointiongelman myötä. Anturi kaapeloitiin position =930+C30 sähkökaappiin, jossa edellä mainittu +C30 I/O-moduuli sijaitsi. Koska kaapeloinnissa käytettiin 5-napaista valmiskaapelia ja alkuperäiseen suunnitelmaan verrattuna kaapelireitin pituus kasvoi huomattavasti, jäi valmiskaapeliin lyhyeksi. Tämä kuitenkin ratkaistiin liittämällä valmiskaapeli ja uusi jatko kaapeli kytkentärasissa toisiinsa ja näin ollen kaapeloinnin sai jatkettua tulokortille asti.





Kuvio 9. Anturin kiinnityspiste sekä teline

Ennen varsinaisen ohjelman toteutusta täytyi kenno kytkeä analogiatulokortille. Anturin kytkentä selvisi liitteen 3 datalehdestä (DT50-P1113 2022, 5). Anturin jännitteensyöttö tapahtui tulokortin toimesta ja tulokortille tuotiin anturin analogiatieto kaapelia pitkin. Kaapelin kytkentä tehtiin tulokortille noudattaen datalehden tietoja, mutta anturi ei kuitenkaan lähtenyt päälle. Vertailemalla kytkentää ultraäänianturin kytkentäkaavioihin selvisi, että tulokortin liitännät kaksi ja neljä tuli kytkeä yhteen, jotta anturin jännitesyöttö toimii. Kytkennän jälkeen anturiin syttyi mittauksesta indikoivat ledit sekä näyttö, jossa mittausarvo näkyy. Kuviossa 10 nähdään +C30-A21 tulokortti, johon anturin kaapelointi on kytketty. Lisäksi liitteissä 5 – 7 käsitellään tarkemmin anturin kytkentä- ja piirikaaviot (Höök 2023).

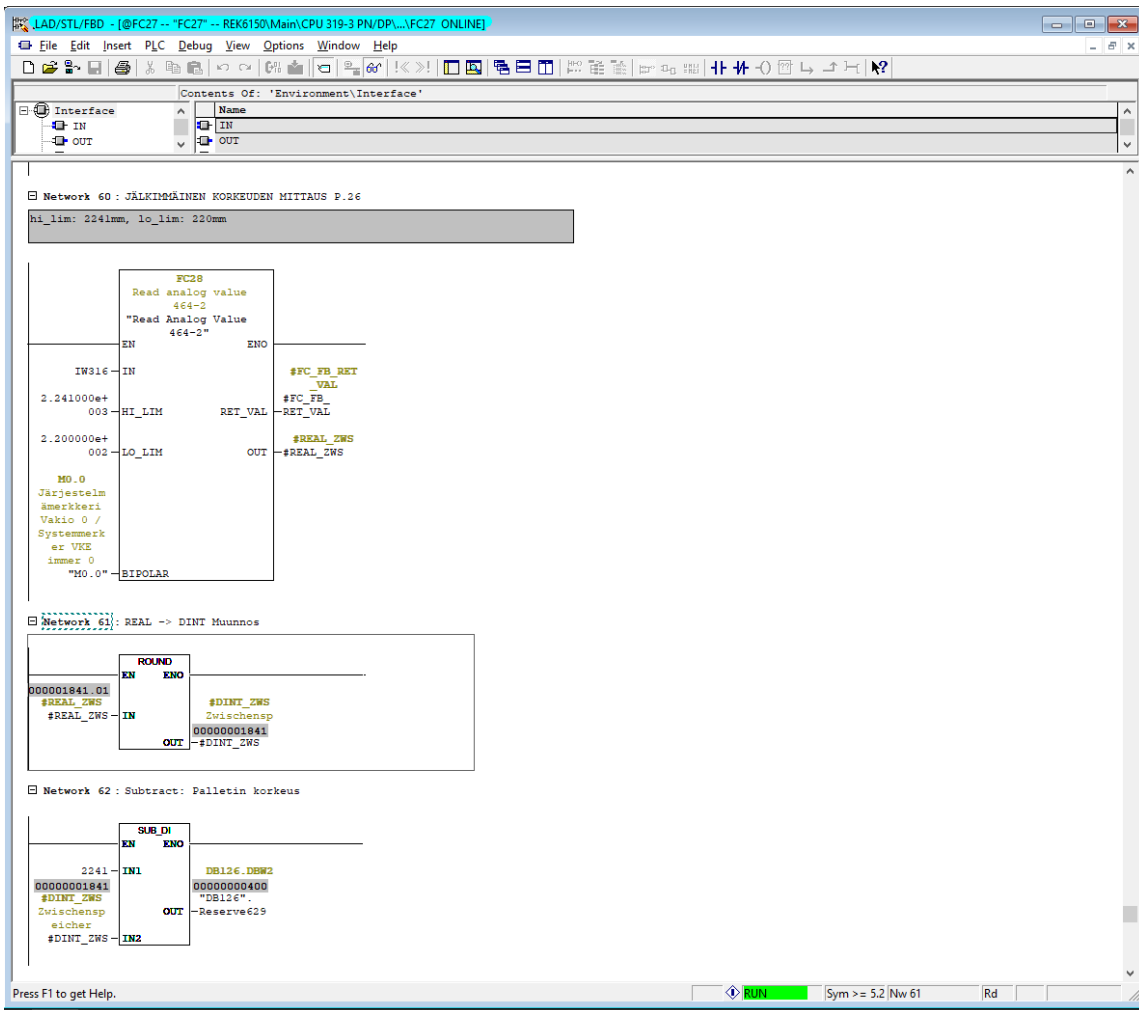


Kuvio 10. Analogiatulokorttiin kytketty anturikaapeli position +C30-A1 I/O-moduulissa

Suunnitteluvaiheessa tutustuin pintapuolisesti pakkalinjan ohjelman toimintaan sekä ohjelmakentteeseen. Oli selvää, että anturilta saatava arvo piti skaalata ja lähettää eteenpäin seuraavalle kuljettimelle. Lisäksi tiedon lähetykselle piti tehdä tiettyjä ehtoja mahdollisten mittavirheiden takia, jotta estettiin prosessin häiriintyminen. Ohjelman tekeminen päätettiin aloittaa analogisen arvon skaalauksesta. Ohjelman FC27 ohjelmalohkossa oli skaalattu muita prosessiin liittyviä analogiatietoja. Tästä syystä nähtiin järkeväksi lisätä uuden korkeudenmittauspisteen analogiatiedon skaalaus kyseisen ohjelmalohkon loppuun. Ohjelmalohkoon luotiin uusi Network 60, johon skaalausfunktio liitettiin. Funktion tulopuolelle liitettiin anturilta tuleva analogiatieto, jonka osoitteeksi konfiguroinnissa määritettiin 316 ja datatyypinä toimi WORD. Lisäksi tulopuolelle tuli määritellä skaalattavan mittausalueen minimi- ja maksimiarvot millimetreinä LO\_LIM ja HI\_LIM tuloihin. Lisäetty funktio esitetty kuviossa 11. Minim- ja maksimiarvot skaalaukselle selvitettiin anturin kalibroinnin yhteydessä. BIBOLAR-tuloon määriteltiin analogiatulon alue, tässä skaalauksessa alueeksi määrytyi -27646 – 27646. Skaalausfunktion lähtöjen puolella RET\_VAL:iin tuli arvo 16#0000, jos skaalaus onnistui ilman häiriöitä sekä OUT-lähtöön skaalauksen arvo millimetreinä.



Analogiatiedon skaalauksen jälkeen samaan ohjelmalohkoon lisättiin vielä kaksi uutta Networkia 61 ja 62, jossa ensimmäisessä skaalatun arvon REAL-datatyypin muunnettiin DINT-datatyypiksi. Koska anturi sijoitettiin korkeudenmittauksen sovelluskohteessa mitattavan pallelin yläpuolelle, anturi mittasi etäisyyttä anturin pinnasta pallelin pintaan. Jotta kyseinen etäisyystieto saatiin käännettyä pallelin korkeustiedoksi, tarvittiin viimeiseen lisättyyn Networkiin Subtract- eli vähennysfunktio. Funktiossa tulon yksi tuotiin mittauksen maksimiarvo eli käytännössä etäisyys anturin pinnasta kuljettimen pintaan, joka oli 2241 millimetriä. Tästä arvosta vähennettiin funktion avulla edellisen Networkin muunnettu DINT-arvo eli etäisyys anturin pinnasta mitattavan pallelin pintaan. Lopputulokseksi saatiin pallelin korkeustieto. Edellä mainittu datatyypin muunnos ja vähennysfunktio ovat esitetty kuviossa 11. Lopuksi Networkit nimettiin ja lisättiin tarvittavat kommentit ohjelman tulkittavuuden helpottamiseksi. Tämän jälkeen siirryttiin anturin kalibrointiin.



Kuvio 11. Analogiatulon skaalaus, datatyypin muunnos ja vähennysfunktio FC27 ohjelmalohkossa

Koska anturilta saatava korkeustieto oli analoginen, neljästä milliampeerista kahteen kymmeneen milliampeeriin, täytyi kyseinen arvo skaalata ohjelman puolella helpommin tulkittavaan sekä luetavaan muotoon. Jotta analogiatulon arvo skaalautuisi oikein, suoritettiin anturille kalibrointi. Anturin kalibrointia varten tuli määritellä sovelluskohteen mittausalue, eli minimi- sekä maksimiarvot. Kyseisen anturin mittausalue ulottui 200 millimetristä 10 000 millimetriin, kuten liitteestä yksi tulee ilmi (DT50-P1113 2022, 2). Tässä vaiheessa toteutusvaihetta anturi oli asennettu jo paikalleen pakkalinjan sovelluskohteeseen, joten tarvittiin kalibroinnin toteutukseen työkalu, jolla lasersäteelle pystyttiin osoittamaan minimi- ja maksimiarvon pinta. Samalla tiedostettiin, että kyseisellä työkalulla pystyttäisiin myös varmistamaan anturin mittaustarkkuutta vertailemalla ohjelmassa näkyvää skaalattua arvoa anturin näytöllä näkyvään arvoon sekä rullamitan näyttämään mittaustulokseen. Tästä syystä työkalun takaisinheijastava pinta tuli olla muutettavissa korkeussuunnassa, jotta mittausten otannan pystyi portaattomasti säätämään esimerkiksi 300 millimetrin välein mittaustarkkuutta selvittäessä.

Anturin kalibrointiin käytettävä työkalu toteutettiin yksinkertaisesti hitsaamalla kaksi profiililtaan suorakaiteen muotoista tankoa yhteen sekä tanko painavampaan jalkaan, jotta mittaustanko kestää paikallaan kuljettimen päällä. Tankoon kiinnitettiin 90 asteen kulmassa oleva magneetti, jota pystyi siirtämään tankoa pitkin haluttuun kohtaan. Magneetin avulla saatiin muutettavissa oleva, mittaukseen tarvittava pinta, josta anturin lasersäde heijastui takaisin anturille. Kalibrointi aloitettiin mittaustuloksen alarajan eli neljän milliampeerin kalibroinnilla, joka nähdään kuviosta 12. Alarajaa kalibroitaessa sekä magneettia liikuteltaessa huomattiin, että todellisuudessa anturin näytöllä näkyvä mittaustuloksen alaraja on 150 millimetriä käyttöohjeessa määritellyn 200 millimetrin sijaan. Kuitenkin mittaustuloksia rullamitalla varmistaessa huomattiin, että anturin mittaustuloksen 150 millimetristä 200 millimetriin oli hyvin epätarkka ja anturin mittaustuloksessa oli jopa 10 millimetrin heittoa todelliseen rullamitalla mitattuun arvoon. Anturin mittaustuloksen alarajan arvoksi päätettiin kalibroida 220 millimetriä, koska tässä vaiheessa anturin omalla näytöllä näkyvä arvo täsmäsi todelliseen mitattuun arvoon.



Kuvio 12. Anturin mittausalueen alarajan kalibrointi sekä kalibrointiin käytettävä työkalu

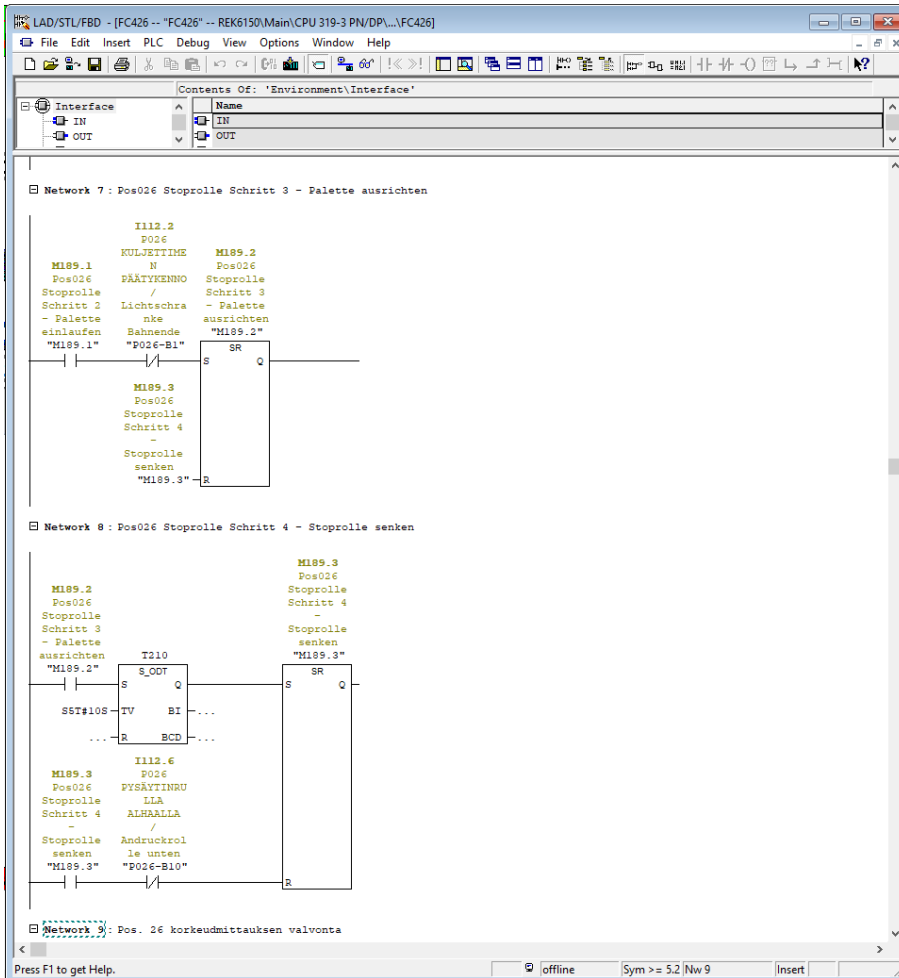
20 milliampeerin arvoa eli anturin ylärajaa kalibroitaessa tiedettiin, että mittausalueen maksimiarvoksi asetetaan kuljettimen pinta, koska se kulkee samassa tasossa kuin pallein alla olevan kuormalavan pohja, mikä täytyi huomioida pallein korkeutta mitatessa. Kuljettimen pintaan oli etäisyyttä 2241 millimetriä. Etäisyys varmistettiin rullamitalla sekä anturin omalta näytöltä.

Kuljettimen toimintaperiaate perustuu pyöriviin rulliin eikä mitattava pinta täten ollut tasainen. Kuten kuviosta 13 nähdään, lasersäteen takaisinheijastavana pintana käytettiin normaalia tulospaperia, jotta pinnan paksuus ei vaikuta mittaustuloksen tarkkuuteen. Tämän jälkeen korkeudenmittausanturille tehtiin referenssimittaukset noin 300 millimetrin välein koko mittausalueelle, jotta saadaan varmuus mittauksen luotettavuudesta. Referenssimittauksia käsitellään enemmän kappaleessa 4.4.



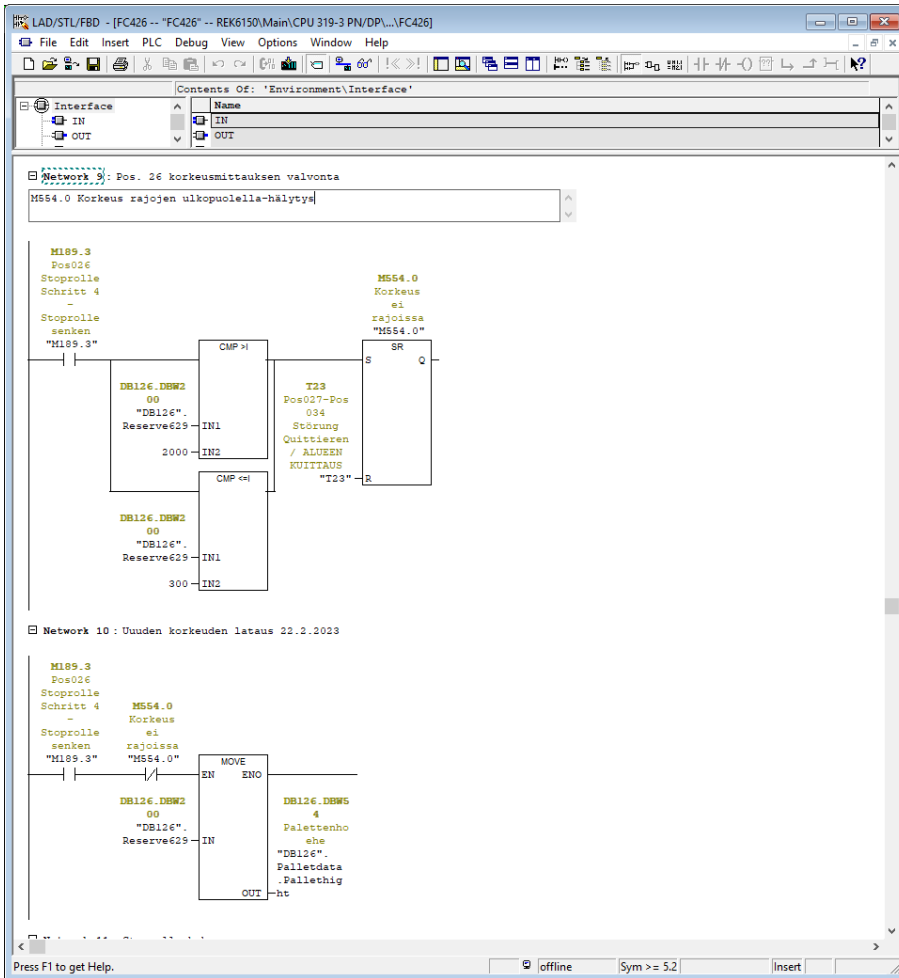
Kuvio 13. Anturin mittausalueen ylärajan kalibrointi

Referenssimittausten jälkeen todettiin, että aikaisemmin tehty analogiatulon skaalausfunktio ohjelman puolella toimii odotetulla tavalla, joten ohjelmaan pystyttiin toteuttamaan loput muutokset. Nämä muutokset toteutettiin kuljettimen omaan FC426 ohjelmalohkoon, johon lisättiin Networkit 9 ja 10. Koska anturin mittaus oli jatkuvaa, tarvittiin anturille indikointi; milloin mittaus toteutetaan ja mitattu arvo tallennetaan. Suunnitteluosiossa pohdittiin, että palleitin korkeudenmittaus olisi hyvä toteuttaa samaan aikaan, kun palletti saapuu kuljettimien 26 ja 27 välistä nousevalle oikaisutelalle. Ohjelmaa tutkimalla selvisi, että oikaisutelan rajatiedot oli tuotu ohjelmaan ja näin ollen pystyttiin hyödyntämään tilatietoa, kun oikaisutela oli yläasennossa. Kuviossa 14 on kuvattu ohjelmalohkon Networkit, jotka liittyvät oikaisutelan toimintaan. Networkissa 7 palletti saapuu kuljettimen päätykennolle, joka aktivoi lavan oikaisun SR-kiikun eli nostaa oikaisutelan ylös. SR-kiikun tilatieto käynnistää ajastimen Networkissa 8 ja oikaisutela pysyy ylhäällä ajastimeen määritellyn ajan verran. Ajastimen ajan täytyttyä oikaisutela ajetaan alas toisella SR-kiikulla ja koko piiri resetoidaan oikaisutelan alarajatiedolla.



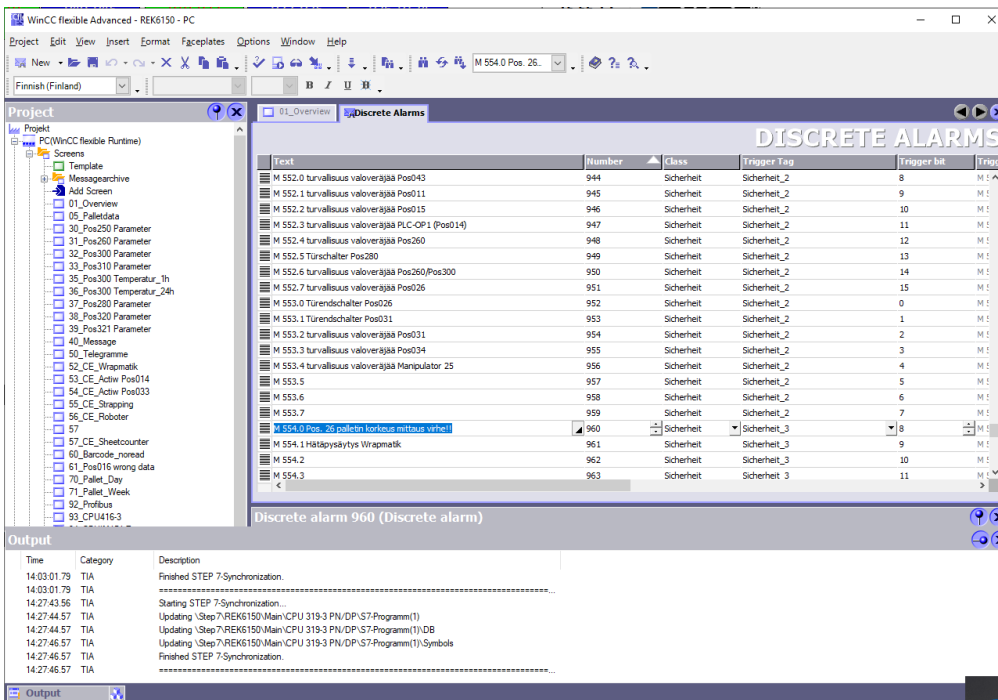
Kuvio 14. FC426 ohjelmapiiriin ajastin palletin saapuessa oikaisutelalle

Anturin mittaustiedon vertailu sekä mittausravon lähetys toteutettiin Networkeihin 9 ja 10, joista kuvio 15 alla. Networkiin 9 tehtiin vertailu, jotta mahdolliset anturin tuottamat mittausravot eivät aiheuta prosessiin häiriöitä. Eli käytännössä, kun palletti pysähtyy oikaisutelalle, mitatun korkeuden tulee olla yli 300mm ja alle 2000mm. Kyseiset arvot laitettiin ehdoiksi, sillä yli 2000 millimetrin tai alle 300 millimetrin korkuista pallettia ei pitäisi pakkalinjalle tulla missään prosessin vaiheessa. Mikäli edellä olevat ehdot eivät täyty, M554.0 ”Korkeus ei rajoissa” kiikku käynnistyy ja generoi hälytyksen pakkalinjan ohjauspaneelleille. Hälytyksen toteutus käsitellään myöhemmissä kappaleissa. Networkissa 10 uusi korkeudenmittaustieto DB126 ladataan palletin datatietoihin osoitteeseen DB126.DBW54, mikäli aikaisemmin tehty vertailu ei generoi hälytystä ja oikaisutela on alarajalla. Jos palletin mittausravon on edellä mainittujen raja-arvojen ulkopuolella, prosessi käyttää alkuperäistä ultraäänikennon korkeudenmittaustietoa pakkalinjan prosessin loppuun asti. Lopuksi myös nämä ohjelmalohkon osiot nimettiin ja kommentoitiin.

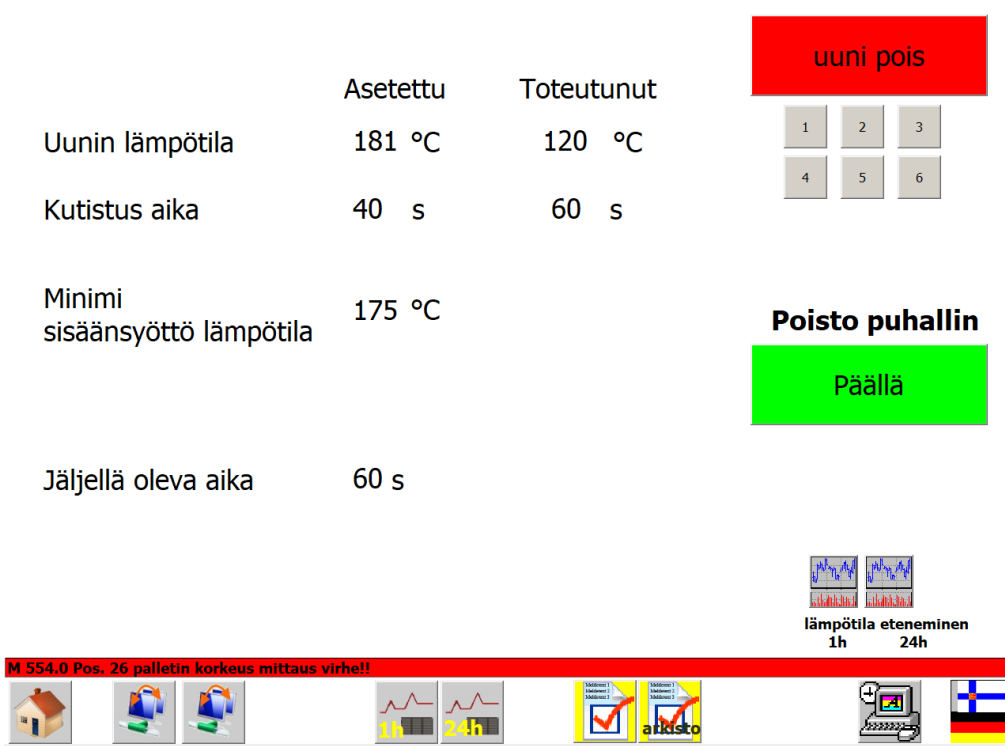


Kuvio 15. Korkeudenmittaustiedon vertailu ja lähetys FC426 ohjelmalohkossa

Suunnitteluvaiheessa ei tajuttu ottaa huomioon mahdollisen häiriöstä kertovan hälytyksen luomista virheelliselle mittaukselle. Ohjelmaa tehdessä kuitenkin huomattiin, että hälytys olisi yksinkertaista lisätä samaan Networkiin, jossa anturin mittaustulokselle toteutetaan vertailu minimi- ja maksimiarvoihin. Kaikki pakkalinjan ohjauspaneelit oli toteutettu WinCC flexible Advanced-ohjelmalla, joten tätä kautta sai paneeleille generoituvien hälytysten osoitetaulun auki. Entuudestaan tiedettiin, että osoitteen M554.0 hälytys oli ollut käytössä pakkalinjan prosessissa aikaisemmin ennen vuonna 2019 toteutettua modernisointia, joten tätä samaa osoitetta pystyttiin hyödyntämään muuttamalla hälytysteksti vastaamaan korkeudenmittauspistettä. Kuviossa 16 nähdään hälytys WinCC-projektin osoitetaulussa sekä kuviossa 17 kyseisen hälytyksen generoima teksti pakkalinjan ohjauspaneelleille.



Kuvio 16. WinCC hälytys virheellisestä korkeudenmittaustiedosta



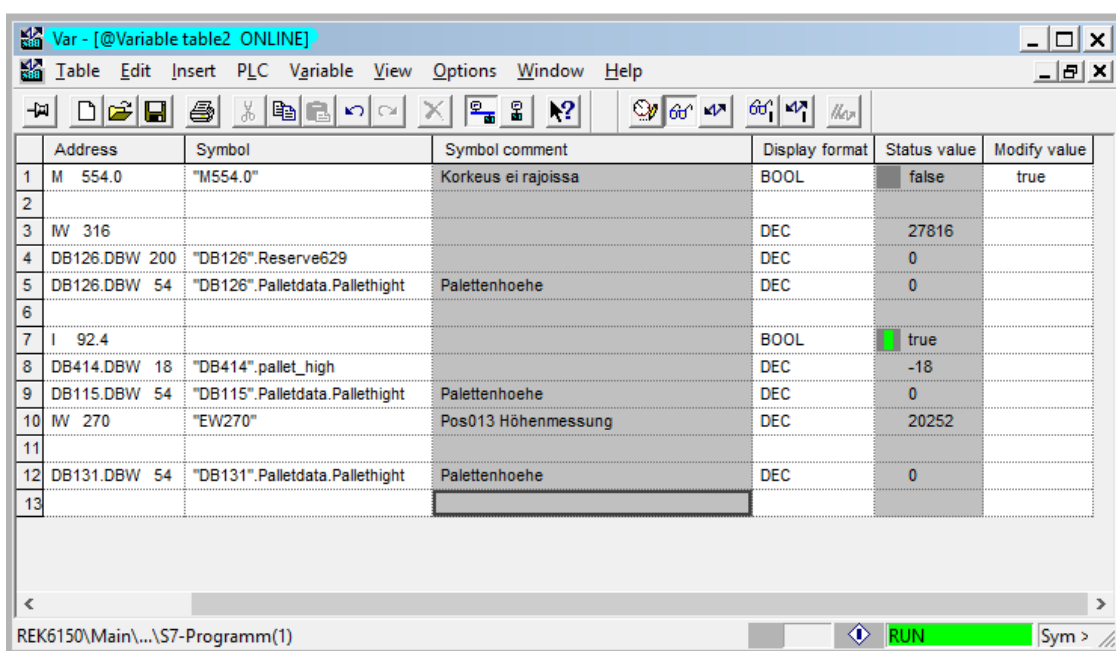
Kuvio 17. Virheellisestä mittaustuloksesta indikoiva hälytys ohjauspaneelilla



Korkeudenmittaukseen tarvittavat komponentit oli asennettu paikalleen, tarvittavat ohjelmamuutokset oli tehty ja anturi oli kalibroitu sovelluskohteen mittausalueelle. Lisäksi hälytyksen toimivuus saatiin varmistettua ja teksti ilmestyi ohjauspaneelille tietyjen ehtojen täytyttyä. Asennusvaiheessa tehdyn kalibrointimittauksen tuloksista sai suuntaa antavaa tietoa mittaustarkkuudesta ja sen paranemisesta. Sovellusta tuli kuitenkin kokeilla vielä käytännössä palleteilla, jotta toimivuudesta voidaan varmistua. Uuden korkeudenmittauspisteen käytännön testausta ja mittaustarkkuuteen liittyviä referenssimittauksia käsitellään seuraavassa osiossa.

#### 4.4 Testaus ja mittaustarkkuus

Anturin kalibroinnin yhteydessä toteutettiin ensimmäinen tarkastusmittaus, jotta varmistuttiin mittauservojen paikkaansa pitävyydestä sekä ohjelman analogisen arvon skaalauksen onnistumisesta. Referenssimittaus toteutettiin hyödyntäen ohjelmaan rakennettua Variable tablea, johon oli koottu suoraan oleelliset muuttujat, kuten skaalattu mittauservo sekä alkuperäisen korkeudenmittauksen arvo. Kyseinen Variable table nähdään kuvioista 18. Osoitteen DB126.DBW 200 muuttujasta pystyttiin lukemaan laseranturin mittaama korkeus sekä osoitteesta DB414.DBW 18 ultraäänianturin mittaama korkeus. Lisäksi osoitteesta M 554.0 nähtiin, oliko aikaisemmin määritelty hälytys aktiivinen vai ei.



	Address	Symbol	Symbol comment	Display format	Status value	Modify value
1	M 554.0	"M554.0"	Korkeus ei rajoissa	BOOL	false	true
2						
3	MW 316			DEC	27816	
4	DB126.DBW 200	"DB126".Reserve629		DEC	0	
5	DB126.DBW 54	"DB126".Palletdata.Pallethight	Palettenhoehe	DEC	0	
6						
7	I 92.4			BOOL	true	
8	DB414.DBW 18	"DB414".pallet_high		DEC	-18	
9	DB115.DBW 54	"DB115".Palletdata.Pallethight	Palettenhoehe	DEC	0	
10	MW 270	"EW270"	Pos013 Höhenmessung	DEC	20252	
11						
12	DB131.DBW 54	"DB131".Palletdata.Pallethight	Palettenhoehe	DEC	0	
13						

Kuvio 18. Variable table, johon koottu mittauksiin tarvittavat muuttujat



Lisäksi mittauksen apuvälineenä oli rullamitta ja kalibrointia varten rakennettu työkalu, jolla mitattavaa pintaa pystytettiin korkeussuunnassa muuttamaan. Käytännössä mittaus tapahtui niin, että magneettia liikuteltiin haluttuun korkeuteen ja otettiin anturin näytöltä luettava arvo ylös. Tämän jälkeen mitattiin rullamittalla todellinen etäisyys, jonka arvo kirjattiin ylös. Lopuksi mittauksen tulos varmistettiin vielä ohjelman puolelta. Tällä toimintamallilla tulosten luotettavuutta pystyi arvioimaan, sillä mittaustulokselle saatiin kaksi referenssiarvoa. Haastetta ohjelman puolen mittaustuloksen tulkintaan toi arvон heittelehtiminen  $\pm 1,5\text{mm}$ , mutta tulosta muihin arvoihin verratessa pystyttiin päättelemään mittauksen tarkkuus. Alla olevasta kuvioista 19 nähdään kolmen eri mittalaitteen mittaustulokset.

Kalibrointimittaukset 22.2.2023			
Anturi	Rullamitta	Ohjelma	
300	304	299 - 301	
602	601	599 - 602	
875	876	873 - 876	
1170	1174	1168 - 1171	
1148	1449	1445 - 1448	
1773	1773	1770 - 1773	
1974	1974	1971 - 1974	
Anturi: Laseranturin näytöllä näkyvä mittaustulos			
Rullamitta: Rullamittan mittaustulos kalibrointityökalun pinnasta laseranturin pintaan			
Ohjelma: Ohjelmassa näkyvä skaalattu anturin mittaustulos			
<b>Kaikki arvot esitetty millimetreinä (mm)</b>			

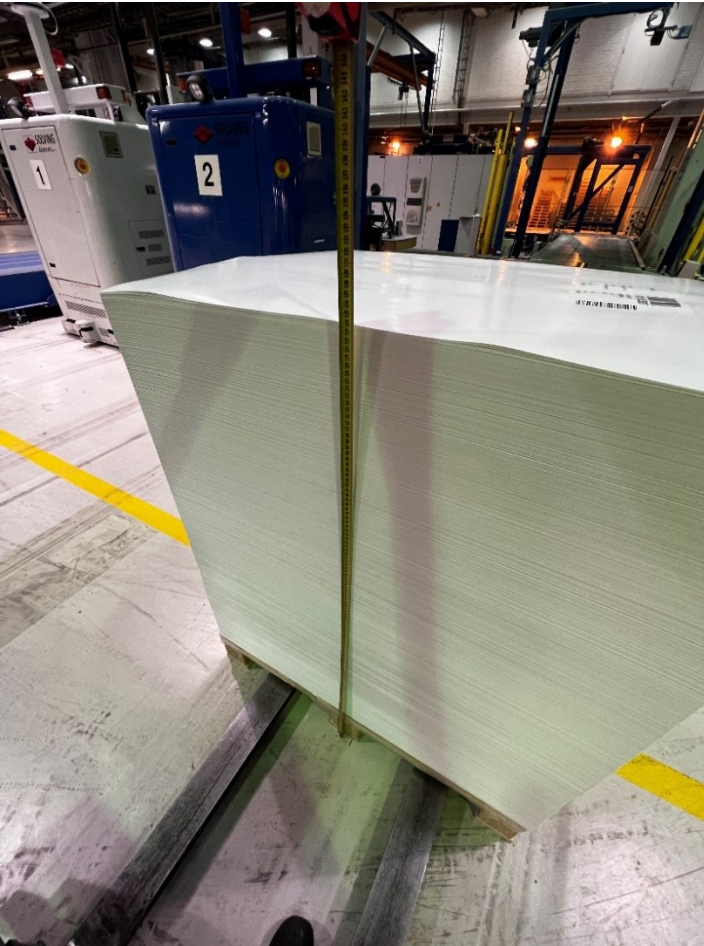
Kuvio 19. Ensimmäinen referenssimittaus kalibroinnin yhteydessä

Kalibrointimittausten perusteella pystyttiin päättelemään, että uuden korkeudenmittauspisteen mittaustuloksiin voidaan luottaa ja heittely mittaustulosten välillä on pieni. Sovelluskohteen toteutukseen kuului ohjelman suunnittelu, joten myös sen toiminta tuli varmistaa uuden korkeudenmittauspisteen osalta. Ohjelman toimintaa avattiin aikaisemmin kappaleessa 4.3, mutta perusperiaatteelta ohjelman tehtävä oli mitata uusi palleetin korkeus oikeassa kohdassa, vertailla arvoa minimi- ja maksimiarvoihin sekä lähettää mitattu korkeus eteenpäin seuraavalle kuljettimelle tai generoida hälytys, jos tietyt ehdot eivät täyttyneet. Mittaustarkkuuden tueksi sekä ohjelman toiminnan var-

mistamiseksi päätettiin toteuttaa testimittaukset 17 pallelilla. Mittaukset toteutettiin viikolla kahdeksan, jolloin arkittamossa oli käynnissä huoltoseisokki eli tuotanto pysäytettiin. Tästä johtuen jouduttiin testeihin varatut palleit arkittamaan jo viikolla seitsemän ja varastoimaan lattialle pakkalinjan viereen. Testipalleteja varastoiitiin lattialla noin viikko ennen varsinaisia testimittauksia.

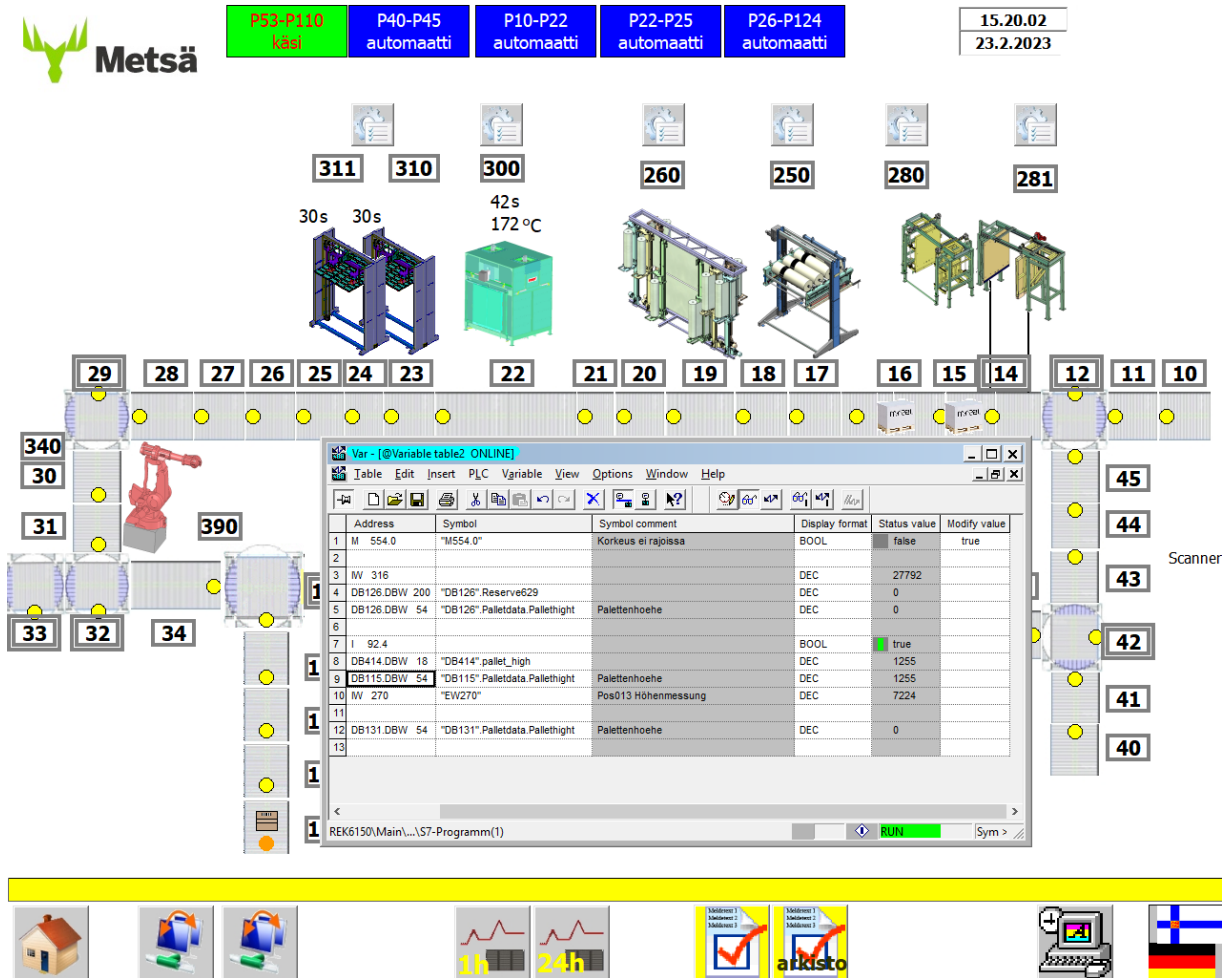
Varastoinnin takia palleteissa olevat arkit olivat ehtineet painua kasaan, koska arkkien välissä oleva ilma oli varastoinnin aikana hävinnyt sekä arkipino oli ehtinyt kuivua liki viikon. Tämä vaikutti olennaisesti testimittausten tuloksiin ja palleitin korkeuteen etenkin pakkalinjan prosessin alkupäässä sekä sitä myötä mittauksiin, jossa vertailtiin esimerkiksi ultraäänikennon mittaustulosta laseranturin mittaustulokseen. Tästä syystä prosessin aikana korkeuteen vaikuttavat muutokset ja niiden erot eivät olleet niin suuria, mitä erot olisivat normaalissa tilanteessa, jossa palleit tulevat suoraan arkkileikkurin perästä pakkalinjalle. Normaalitilanteessa palleitin arkkien väliin jää pinousvaiheessa ilmaa ja palleitin mennessä pakkalinjan päällipuristimelle, puristetaan arkkien välistä ylimääräinen ilma pois. Koska tämä efekti oli tapahtunut jo varastoinnin aikana palleittien painuessa, ei samanlaisia eroja saatu aikaiseksi testimittausten aikana. Mittaustuloksia pystyttiin kuitenkin hyvin vertailemaan ja huomattavia eroja saatiin aikaiseksi esimerkiksi mittaustarkkuuden suhteen.

Testimittausten toteutusvaihetta suunnitellessa oli tärkeää saada toteutettua testit niin, että saadaan mahdollisimman paljon mittaustuloksia eri kohdista pakkalinjan prosessia, joita myöhemmin voidaan vertailla keskenään. Olennaista mittaustulosten vertailussa oli mittaustarkkuus sekä ero pakkalinjan alkupään mittaustuloksesta loppupään mittaustulokseen. Ensimmäinen korkeudenmittaus toteutettiin palletille prosessin alkupäässä ennen kuin palletti nostettiin trukilla pakkalinjan kuljettimelle. Mittaus toteutettiin rullamitalla palleitin keskeltä kuten kuvioista 20 nähdään.



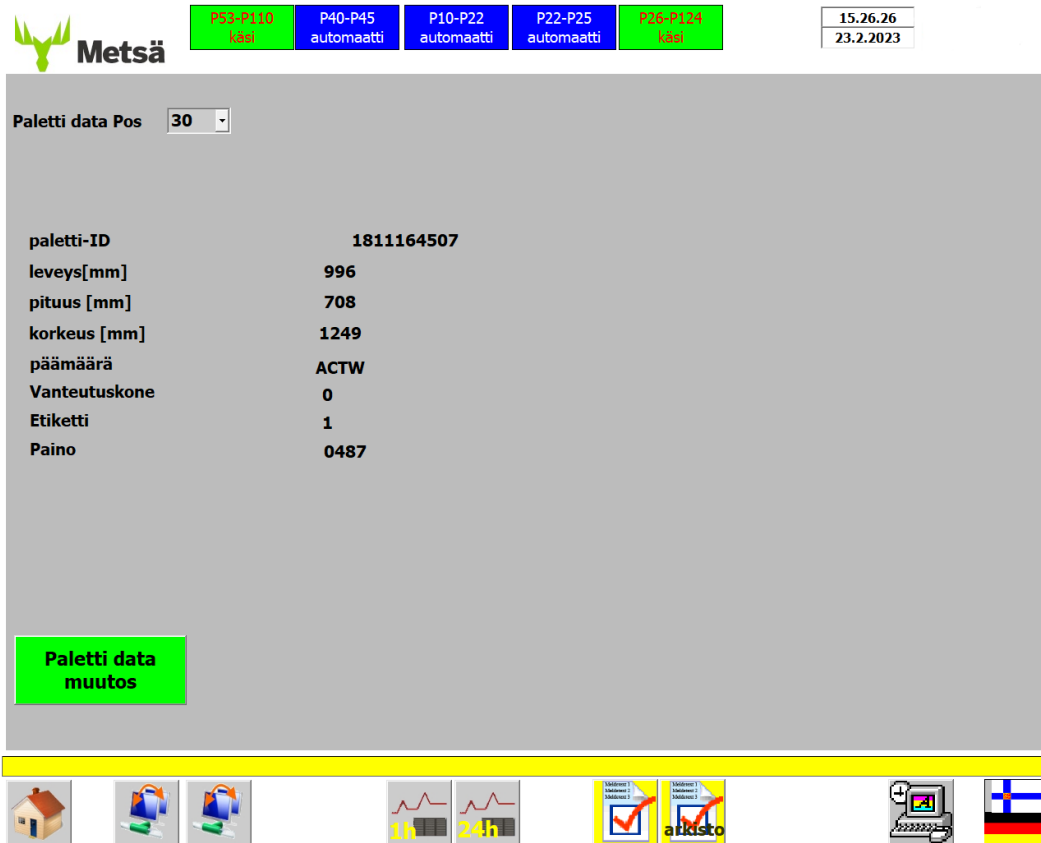
Kuvio 20. Palletin korkeuden mittaus pakkalinjan prosessin alkupäässä

Ensimmäisen mittauksen tulos kirjattiin ylös ja palletti nostettiin kuljettimelle. Seuraava mittauspiste prosessissa oli jo aiemmin käytössä ollut ultraäänianturi, joka sijaitsi kuljettimella 15. Mittaustuloksen tarkasteluun hyödynnettiin Variabla tableen koottuja muuttujia, josta arvon pystyi lukemaan reaaliaikaisesti. Pääohjauspaneelin näytöltä pystyi seuraamaan, millä kuljettimella palletti menee ja palletin saavuttua kuljettimelle 15 kirjattiin anturin näyttämä lukema ylös. Variable table sekä pääohjauspaneelin kuvitus nähdään kuvioista 21. Kuviossa palletti on saapunut kuljettimelle 15 ja osoitteen DB414.DBW 18 muuttujasta luettiin palletin korkeus millimetreinä.



Kuvio 21. Palletti kuljettimella 15 pääohjauspaneelin sovelluksessa

Ultraäänimittauksen jälkeen palletti jatkoi matkaansa eteenpäin prosessissa. Kun palletti saapui kuljettimelle 26, toteutettiin sille toinen mittaus uuden korkeudenmittauspisteen laseranturia hyödyntäen. Laseranturin mittaamaa korkeutta tarkasteltiin samasta Variable tablesta, joka kuviossa 18 on esitetty. Mittaustulos kirjattiin ylös ja palletti lähti eteenpäin kohti prosessin loppupäätä. Prosessin lopussa palletin korkeus tarkastettiin uudestaan rullamitalla kuljettimilla 30 tai 31. Lisäksi pääohjauspaneelin ohjelmasta tarkistettiin palletin tiedot sen saapuessa kuljettimelle 30. Tällä varmistettiin, että laseranturin mittaama korkeustieto on edelleen sama kuin kuljettimella 26. Eli tästä pystyttiin päätellä, että uusi korkeustieto lähetetään ohjelmassa eteenpäin oikeaoppisesti, kuten ohjelmassa oli suunniteltu. Kuljettimen 30 data nähdään kuviossa 22.



**Metsä**

P53-P110 käsi P40-P45 automaatti P10-P22 automaatti P22-P25 automaatti P26-P124 käsi

15.26.26  
23.2.2023

Paletti data Pos **30**

paletti-ID **1811164507**

leveys[mm] **996**

pituus [mm] **708**

korkeus [mm] **1249**

päämäärä **ACTW**

Vanteutuskone **0**

Etiketti **1**

Paino **0487**

**Paletti data muutos**

Kuvio 22. Palletin tiedot position 30 kuljettimella

Testimittaukset suoritettiin yhteensä 17 palletille. Mittaukset tehtiin samassa järjestyksessä jokaisen palletilin ja siten erillisen testimittauksen kohdalla: ensin prosessin alkupään mittaus rullamitalla, sitten ultraäänianturin korkeusmittaus, laseranturin korkeusmittaus sekä lopuksi prosessin loppupään mittaus rullamitalla. Tällä metodilla laseranturin mittausarvolle saatiin kolme referensiarvoa, joihin mittaustulosta sekä -tarkkuutta voitiin verrata. Jokaisen mittauksen kohdalla mitattu arvo kirjattiin ylös. Mittaustulokset näkyvät alla olevassa kuviossa 23. Mittaustuloksia tarkastellessa pitää muistaa, että Rullamitta 1-mittausarvo sekä ultraäänianturin mittausarvo pitäisi olla sama, koska näiden mittauspisteiden välissä olevassa prosessissa ei tapahdu korkeuteen vaikuttavia muutoksia. Sama vaatimus on myös laseranturin mittausarvon ja Rullamitta 2-mittausarvon kohdalla. Pakkalinjan prosessin aiheuttamat muutokset palletilin korkeuteen tapahtuvat ultraäänianturin mittauksen ja laseranturin mittauksen välillä. Näitä muutoksia ovat esimerkiksi kalvo-käärintäasema, joka lisää muovin palletilin päälle, kutisteuuni, joka sulattaa muovin ja kuivattaa palletilia sekä jäähdytyspuristin, joka painaa palletilia ylhäältä alaspäin ja arkkien välinen ilma lähtee pois.

Pakkalinjan mittaukset 23.2.2023					
Palletin nro.	Rullamitta 1	Ultraääni	Laser	Rullamitta 2	Kuljetin pos. 30
1	1232	1237	1233	1228	1233
2	1240	1245	1239	1240	1239
3	1234	1240	1234	1233	1234
4	1255	1260	1251	1252	1251
5	1255	1260	1251	1250	1251
6	1245	1255	1244	1245	1244
7	1237	1240	1236	1234	1236
8	1235	1239	1237	1235	1237
9	1248	1253	1246	1244	1246
10	1249	1250	1244	1246	1244
11	1242	1244	1239	1240	1239
12	1239	1242	1239	1237	1239
13	1248	1253	1244	1244	1244
14	1249	1255	1249	1248	1249
15	1253	1253	1241	1247	1241
16	1252	1260	1250	1250	1250
17	1247	1254	1248	1246	1248
Palletin nro.: Referenssimittauksissa käytetyn palletin järjestysnumero					
Rullamitta 1: Rullamitalla mitattu korkeus pakkalinjan alkupäässä ennen palletin nostoa kuljettimelle					
Ultraääni: Ultraäänianturin mittausta pos. 15 kuljettimella					
Laser: Laseranturin mittausta pos. 26 kuljettimella					
Rullamitta 2: Rullamitalla mitattu korkeus pakkalinjan loppupäässä pos. 30 kuljettimella					
Kuljetin pos. 30: Pos. 30 kuljettimen korkeusarvon varmistus ohjelmasta					
<b>Kaikki arvot esitetty millimetreinä (mm)</b>					

Kuvio 23. Pakkalinjan referenssimittaus palleteilla

Kuvion 23 mittaustuloksia tarkastellessa huomattiin, että mittausrvirhettä esiintyy jo kahden ensimmäisen mittauksen välillä. Lähes poikkeuksetta ultraäänimittaus poikkesi Rullamitan 1 mittausarvosta lisäämällä palletin korkeutta, vaikka korkeudelle ei tapahtunut muutoksia mittausten välillä. Samaa ilmiötä esiintyi myös laseranturin mittausarvon ja Rullamitta 2-mittausarvon välillä, mutta erot eivät olleet läheskään yhtä suuria. Jo pelkästään tämä tuki väitettä siitä, että uuden korkeudenmittauspisteen lisäyksen myötä pakkalinjan prosessin mittaustarkkuus parani huomattavasti. Lisäksi mittaustuloksista laskettiin erilaisia arvoja eri yhtälöiden avulla, jotta testimittausdatan saisi helpommin ymmärrettävään muotoon. Yhtälöitä käsitellään kuviossa 24.

Mittaustulosten laskelmat 23.2.2023						
Palletin nro.	Yhtälö 1	Yhtälö 2	Yhtälö 3	Yhtälö 4	Yhtälö 5	Yhtälö 6
1	5	9	1	5	4	4
2	5	5	1	1	6	0
3	6	7	0	1	6	1
4	5	8	4	1	9	3
5	5	10	4	1	9	5
6	10	10	1	1	11	0
7	3	6	1	2	4	3
8	4	4	2	2	2	0
9	5	9	2	2	7	4
10	1	4	5	2	6	3
11	2	4	3	1	5	2
12	3	5	0	2	3	2
13	5	9	4	0	9	4
14	6	7	0	1	6	1
15	0	6	12	6	12	6
16	8	10	2	0	10	2
17	7	8	1	2	6	1
<b>Keskiarvo</b>	4,705882353	7,117647059	2,529411765	1,764705882	6,764705882	2,411764706
<b>Mediaani</b>	5	7	2	1	6	2
<b>Moodi</b>	5	9	1	1	6	4
Yhtälö 1: Ultraäänianturin arvon erotus alkupään todelliseen mitattuun arvoon						
Yhtälö 2: Ultraäänianturin arvon erotus loppupään todelliseen mitattuun arvoon						
Yhtälö 3: Laseranturin arvon erotus alkupään todelliseen mitattuun arvoon						
Yhtälö 4: Laseranturin arvon erotus loppupään todelliseen mitattuun arvoon						
Yhtälö 5: Laseranturin arvon erotus ultraäänianturin arvoon						
Yhtälö 6: Alkupään arvon erotus loppupään arvoon						
<b>Kaikki arvot esitetty millimetreinä (mm)</b>						

Kuvio 24. Mittaustulosten laskennat ja tarkkuus

Testimittausten pohjalta muodostettiin kuusi eri yhtälöä, jonka selitykset ja tulokset löytyvät kuvista 24. Alkuperäinen kehitystyön tarkoitus oli parantaa pakkalinjan korkeudenmittauksen tarkkuutta, joten tämän pohjalta oleellisia mittausrvoja löydetään yhtälöistä yksi, kolme, neljä ja viisi. Ennalta tiedettiin, että ultraäänianturin mittaustarkkuus heittelee, mikä tulee esille myös mittaustuloksista. Seuraavissa kappaleissa avaan enemmän mittaustulosten pohjalta muodostuneita yhtälöitä sekä pohdin mittaustarkkuuden paranemista viitaten mitattuun dataan.

Yhtälössä yksi on laskettu ultraäänianturin arvon erotus alkupään todelliseen mitattuun arvoon, joka mitattiin rullamitalalla. Keskiarvillisesti mittauksissa on eroa noin 4,71 millimetriä, mutta suurimmillaan mittaheitto oli jopa 10 millimetriä. Kun otetaan huomioon, ettei palletin korkeus muutu

näiden mittausten välillä, ovat mittaheitot melko suuria. Yhtälössä kaksi tarkastellaan ultraäänianturin arvon erotusta loppupään todelliseen mitattuun arvoon. Kyseisessä yhtälössä mittaheittoa oli keskiarvollisesti 7,12 millimetriä, eli eroa yhtälöön yksi oli liki 2,5 millimetriä. Molempien yhtälöiden keskiarvot yhteenlaskettuna tulee mittaheittoa 11,82 millimetriä, joka tässä tarkkuusluokassa alkaa olla melko paljon.

Yhtälössä kolme tarkastellaan laseranturin mittaaman arvon erotusta alkupään todelliseen mitattuun arvoon. Kuten esimerkiksi keskiarvosta huomataan, on tässä mittaheittoa vain 2,53 millimetriä. Yhtälössä neljä vertaillaan laseranturin arvoa loppupään todelliseen mitattuun arvoon ja mitta-  
virheen keskiarvo tippuu 1,76 millimetriin. Jo näistä arvoista voidaan huomata, että mittaustarkkuus kestää stabiilina koko prosessin ajan verrattaessa laseranturin korkeudenmittaus-tietoa mihin referenssiarvoon tahansa. Myös kyseisten yhtälöiden moodeista voidaan päätellä, että tyypillisimmät arvot ovat 1 - 2 millimetriä. Toki alku- ja loppupään mittauksia tarkastellessa tulee ottaa huomioon, että arvot ovat mitattu käsin rullamitalla, joten inhimilliset mittavirheet ovat mahdollisia.

Yhtälö viisi kertoo laseranturin mittaustuloksen erotuksen ultraäänianturin arvoon. Tämän yhtälön tarkastelu on mittaustarkkuuden näkökulmasta kuitenkin melko merkityksetöntä, sillä prosessin aiheuttamat muutokset pallelin korkeuteen tapahtuvat näiden kahden mittauspisteen välillä. Keskiarvollisesti eroa oli kuitenkin 6,76 millimetriä. Yhtälössä kuusi tarkastellaan alkupään arvon erotusta loppupään mitattuun arvoon. Tämä yhtälö kertoo käytännössä sen, kuinka paljon prosessin myötä korkeuteen vaikuttavat tekijät muuttavat pallelin korkeutta. Keskiarvollisesti myös tämä arvo on melko pieni eli 2,41 millimetriä, mutta yhtälössä täytyy ottaa huomioon mittaustilanne, jossa pallelin varastoitiin viikko lattialla ennen varsinaisia testimittauksia. Yhtälön 6 arvo olisi todennäköisesti ollut huomattavasti suurempi, mikäli pallelin olisi ajettu pakkalinjalle suoraan leikkurin lavaajalta.

Mittaustuloksista voidaan kuitenkin selkeästi päätellä, että mittaustarkkuus parani huomattavasti laseranturin lisäyksen myötä. Myöskään selkeitä mittaustuloksia ei testien aikana tullut esille, vaikka 17 pallelin otanta on melko suuri. Voidaan siis väittää, että mittaustulokset toimii luotettavasti. Pakkalinjalla olisi mahdollista kerätä dataa myös tilanteesta, jossa pallelin tulee pakkalinjalle suoraan arkkileikkurilta ja eroavaisuudet mittausten välillä olisivat täten suuremmat. Tämä mahdollistaisi



sen, että mittaustarkkuutta voisi käsitellä vieläkin konkreettisemmalla datalla, joka vastaisi normaalia tilannetta prosessissa. Tässä tulee ongelmaksi kuitenkin se, että prosessin loppupään rullamitalla toteutettua mittausta ei voitaisi suorittaa ja näin ollen yksi olennainen referenssiarvo jäisi puuttumaan. Jotta loppupään mittaus voidaan toteuttaa, tarvitsee operaattorin aukaista turvaporssi ja kulkea etiketöintirobotin turva-alueelle. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että koko pakkalinja pysähtyy. Kyseistä tilannetta ei toisin sanoen voida toteuttaa, mikäli arkkileikkureilla ajetaan normaalia tuotantoa.

Vaikka normaalitilanteesta kerättyyn dataan ei saa referenssimittausta rullamitalla pakkalinjan loppupäästä, päätettiin kuitenkin kerätä dataa molempien antureiden mittaustuloksista. Tällä metodilla mittaustarkkuutta ja eroavaisuuksia pystyi vertailemaan normaalissa tuotantotilanteessa. Lisäksi datan keräämiselle sai isomman otannan pallettien määrän suhteen, mikä varmistaa mittauksen toimivuutta ja luotettavuutta. Mittauksiin kerättiin arvot ultraäänianturilta sekä laseranturilta 50 pallelin osalta. Mittaustulokset tulevat ilmi kuviossa 25. Arvot vähennettiin toisistaan ja näistä laskettiin keskiarvo, joka oli 9,3 millimetriä eli 2,54 millimetriä enemmän kuin kuvion 24 yhtälössä 5. Keskiarvon lisäksi tuloksista selvitettiin suurin sekä pienin poikkeama. Suurin poikkeama mittaustulosten välillä oli 27 millimetriä ja pienin 3 millimetriä. Jo poikkeamien pohjalta voidaan todeta, että uusi korkeudenmittauspiste lisää mittaustarkkuutta sekä prosessin luotettavuutta olennaisesti.

Pakkalinjan mittaukset 9.3.2023				
Palletti nro.	Ultraääni	Laser	Erotus	
1	1567	1552	15	15
2	1572	1554	18	18
3	1185	1178	7	7
4	1161	1157	4	4
5	1164	1158	6	6
6	1187	1178	9	9
7	1171	1184	-13	-13
8	1200	1182	18	18
9	1553	1540	13	13
10	1191	1184	7	7
11	1153	1148	5	5
12	1563	1536	27	27
13	1159	1151	8	8
14	1196	1187	9	9
15	1184	1175	9	9
16	1155	1150	5	5
17	1156	1149	7	7
18	1192	1176	16	16
19	1550	1541	9	9
20	1549	1535	14	14
21	1184	1176	8	8
22	1185	1177	8	8
23	1164	1158	6	6
24	1182	1175	7	7
25	1165	1158	7	7
26	1185	1179	6	6
27	1183	1175	8	8
28	1550	1537	13	13
29	1184	1176	8	8
30	1553	1537	16	16
31	1170	1157	13	13
32	1171	1165	6	6
33	1185	1172	13	13
34	1184	1177	7	7
35	1180	1174	6	6
36	1183	1176	7	7
37	1163	1156	7	7
38	1163	1156	7	7
39	1567	1549	18	18
40	1190	1184	6	6
41	1567	1552	15	15
42	1190	1181	9	9
43	1187	1184	3	3
44	1167	1161	6	6
45	1165	1157	8	8
46	1186	1178	8	8
47	1184	1177	7	7
48	1567	1549	18	18
49	1182	1175	7	7
50	1565	1551	14	14
<b>Vähennyslaskun keskiarvo</b>				9,3
Vähennyslaskun suurin poikkeama				27
Vähennyslaskun pienin poikkeama				3
Ultraääni: Ultraäänianturin mittausarvo				
Laser: Laseranturin mittausarvo				
Erotus: Mittausarvojen erotus toisistaan				
<b>Kaikki arvot esitetty millimetreinä (mm)</b>				

Kuvio 25. Mittaustulokset ultraäänianturin ja laseranturin välillä

## 4.5 Dokumentointi

Toteutus- ja testausvaiheen jälkeen oli vuorossa vielä korkeudenmittauspisteen kehittämistä aiheuttavat dokumentointityöt. Kehittämistyön edetessä oli selvää, että dokumentointitarve koskee ainakin prosessin piirikaavioita sekä SAP-järjestelmän toimintopaikkarakennetta. Dokumentointitarpeen selvitystyö aloitettiin perehtymällä, mihin piirikaavioihin ja kuviin anturin lisäys vaikuttaa. Piirikaavioita tutkimalla selvisi, että kolmeen lehteen tulisi tehdä muutokset, jotta kentällä olevat kansiot sekä sähköisissä järjestelmissä olevat DWG- ja PDF-versiot pysyvät ajan tasalla. Päivitettävien kuvien positiot olivat =930+C30\_10, =930+C30\_14 sekä =903+P026.1\_10. Päivitetyt kuvat löytyvät liitteistä 5-7 (Höök 2023).

Position =930+C30\_10 kuvassa eli liitteessä viisi oli layout position +C30 I/O-moduulista (Höök 2023). Kyseiseen I/O-moduuliin liitettiin toteutusvaiheessa analogiatulokortti ja kortille kytkettiin korkeudenmittauspisteen anturikaapeli. Kuvaan päivitettiin tulokortti, jotta layout vastaa nykyistä kentällä olevaa asennusta. Tulokortin positiomerkinässä hyödynnettiin juoksevaa numerointia loogisuuden vuoksi ja näin ollen kortin positioksi määräytyi -A21. Position =930+C30\_14 kuvassa eli liitteessä kuusi oli tieto logiikan puolen konfiguroinnista (mt.). Myös tähän kuvaan päivitettiin I/O-moduuliin liitetty sekä logiikkaan konfiguroitu tulokortti ja sen positio sekä anturikaapelin kytkennät tulokortin liittimiin. Position =903+P026.1\_10 kuvassa eli liitteessä seitsemän esitettiin käytetyn anturin malli sekä kytkennät ja käytetyn anturikaapelin malli sekä kaapelikilven positio (mt.). Lisäksi kuvasta selviää tulokortin kytkentä, positiot ja sijainti eli kaappi =930+C30.

Haastetta dokumenttien päivitykseen teki se, että kuvat tuli päivittää myös PDF-tiedostoon, joka sisältää koko pakkalinjan piirikaaviot ja dokumentit. Käytännössä yli 1200 sivuisesta tiedostosta piti löytää olemassa olevat sivut, joihin kuvien päivitykset käytettävän tilan puolesta pystyi mallintamaan. Tällä ehkäistiin se, että koontitiedoston sivu- ja lehtinumerot eivät muutu ja rakenne pysy järkevänä, koska tiedostoon ei tarvinnut lisätä sivuja vaan ainoastaan muuttaa olemassa olevia. Korkeudenmittauksen sovelluskohteen piirustuksiin vaikuttavat muutokset päivitettiin ja piirrettiin puhtaaksi yhteistyössä tilaajatahon suunnitteluinsinöörin kanssa. Dokumentoinnin aikana määritellyt laitepositiot sekä kaapelikilvet tulostettiin ja kiinnitettiin paikalle asennuskohteen, kuten kuvista 26 huomataan. Lisäksi päivitetyt dokumentit päivitettiin myös sähköisiin järjestelmiin. Kentällä sijaitseviin kansioihin toimitettiin paperiset kopiot.



Kuvio 26. Asennuskohteen kaapelikilvet kiinnitettyinä

Lopuksi päivitykset tuli tehdä SAP:n toimintopaikkarakenteeseen kyseisen laiteposition kohdalle. Järjestelmän toimintopaikkarakenne noudattaa selkeää kaavaa, joka aukeaa helpoiten esimerkin sekä kuvion 27 kautta. Toimintopaikkarakenteessa pakkalinja on ylätasen toimintopaikka, joka noudattaa positiota AAN-287. Ylätasen toimintopaikan alle on avattu spesifejä laitekohtaisia toimintopaikkoja, kuten AAN-287-020 – Palletti pakkauslinjan kuljettimet tai AAN-287-035 – Palletti-vaaka 240, joiden alle on avattu vielä kohdistavampia toimintopaikkoja. Tällä tavalla saadaan esimerkiksi prosessin laitekohtaiset varaosat jaoteltua selkeisiin kansioihin ja käyttäjän on helpompi löytää vaihdettava varaosa hajonneen tilalle. Koska toimintopaikan AAN-287-091 alla oli jo aikaisemmin lisättyjä prosessiin liittyviä antureita sekä automaatioon liittyviä komponentteja, päätettiin myös uuden korkeusmittauspisteen anturi lisätä kyseisen toimintopaikan alle.

Toimintopaikka		VO:n alku					
AAN		03.03.2023					
Nimitys: METSÄ BOARD ÄÄNEKOSKI							
<input type="checkbox"/>	>	AAN-286	ARKITTAMO VIHIVAUNUJÄRJESTELMÄT	2051930			
<input type="checkbox"/>	>	AAN-287	PALLETTI PAKKALINJA REKER	2051930			
<input type="checkbox"/>	>	AAN/666200	REKER				
<input type="checkbox"/>	>	AAN-287-020	PALLETTI PAKKAUSLINJAN KULJETTIMET	2051930			
<input type="checkbox"/>	>	AAN-287-030	PALLETIN KESKITYSLAITTEISTO	2051930			
<input type="checkbox"/>	>	AAN-287-033	ARKINLASKENTA	SAA SA4	2051930		
<input type="checkbox"/>	>	AAN-287-035	PALLETTIVAAKA 240	SAA SA4	2051930		
<input type="checkbox"/>	>	AAN-287-040	PALLETIN MUOVITUS		2051930		
<input type="checkbox"/>	>	AAN-287-050	PALLETIN ETIKETOINTI		2051930		
<input type="checkbox"/>	>	AAN-287-091	PAKKALINJA REKER SÄHKÖ JA AUTOMAATIO	SAA SA4	2051930		
<input type="checkbox"/>		243194	VAIHEVALVONTARELE 3UG4511-1BP20	L	1,0	KPL	
<input type="checkbox"/>		243195	PUOLIJOHDEKONTAKTORI 3RF2440-1AB45	L	1,0	KPL	
<input type="checkbox"/>		243214	OHJAUSPANEELI DBG60B-02 SEW	L	1,0	KPL	
<input type="checkbox"/>		243339	TERMISTORIRELE 3RN1000-1AB00 SIEMENS	L	1,0	KPL	
<input type="checkbox"/>		241360	LÄMPÖTILA-ANTURI TW30B190L070 PT100	L	1,0	KPL	
<input type="checkbox"/>		241362	VALOKENNO HRT 46B/44-S12	L	1,0	KPL	
<input type="checkbox"/>		176918	VALOKENNO PRK46C/4P-M12 1258353 LEUZE	L	1,0	KPL	
<input type="checkbox"/>		241370	VALOKENNO LSSR 46B-S12	L	1,0	KPL	
<input type="checkbox"/>		241371	VALOKENNO LSER 46B/66-S12	L	1,0	KPL	

Kuvio 27. Pakkalinjan toimintopaikkarakenne

## 5 Kehittämistyön arviointi ja tulokset

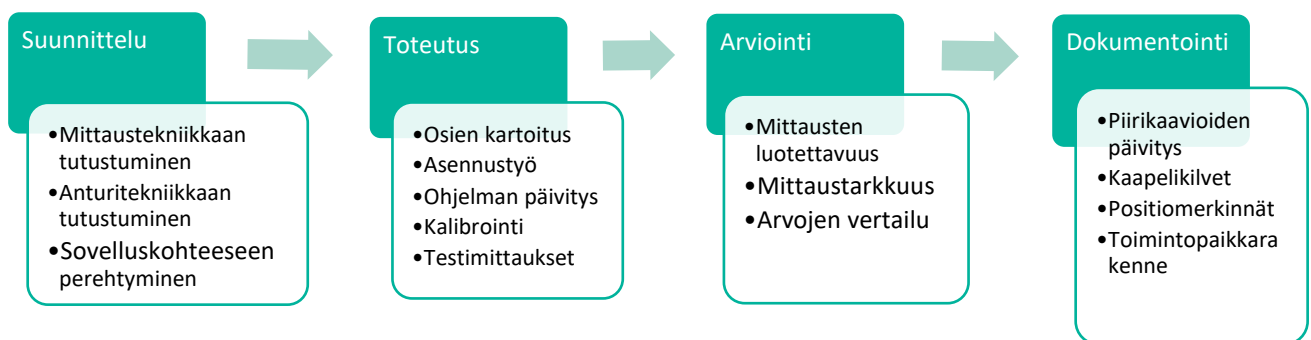
Tarkastellaan kehittämistyötä tutkimuskysymysten pohjalta sen suhteen, miten kehittämistyö vastasi aluksi kehittämistyölle asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Ensimmäinen tutkimuskysymys pohti, minkälaista anturitekniikkaa sovelluskohteessa voitaisiin hyödyntää. Kuten osiossa 4.4 todettiin sekä kuviossa 24 esitettiin, palletrin korkeuden mittaustarkkuus parani huomattavasti kehittämistyön tuloksena syntyneen uuden mittauspisteen kohdalla verrattuna aikaisempaan mittauspisteeseen. Tästä voidaan päätellä, että huolellinen pohjatyö eri anturitekniikkaan perehtymisen sekä työn suunnittelun suhteen onnistui, sillä anturivalinta osoittautui oikeaksi tietyistä epävarmuustekijöistä huolimatta. Tilaajatahon edustajat pohtivat mittaustarkkuuden parantuessa, että myös aiempaan korkeudenmittauspisteeseen jääneen ultraäänianturin voisi korvata laseranturilla. Lopputulos olisi voinut olla toinen, mikäli uutta korkeudenmittauspistettä ja sen sovelluskohdetta olisi lähdetty kehittämään esimerkiksi ultraäänitekniikalla.

Toisena tutkimuskysymyksenä oli tutkia, miten palletrin korkeus saadaan mitattua luotettavasti.

Teoriaosuudessa käsiteltiin mittaustarkkuuteen vaikuttavia epävarmuustekijöitä, jotka täytyy ottaa

huomioon myös osion 4.4 mittaustuloksissa, joihin tutkimuskysymyksen arviointi pohjautuu. Esimerkiksi kuvion 23 rullamitalla mitattuihin mittaustuloksiin liittyy paljon käsin tehtyä mittausta. Tässä tulee huomioida käyttäjän toiminnasta syntyvä epävarmuuskomponentti, jossa mittauspiste saattoi vaihdella, vaikka pallein korkeudenmittaus pyrittiin toteuttamaan samasta kohdasta eli pallein keskeltä jokaisen mittauksen kohdalla. Uuden korkeudenmittauspisteen anturille toteutettiin kalibrointimittaukset sekä testimittaukset sisältäen kolme eri referenssiarvoa, joilla pyrittiin luomaan pohjaa mittausten luotettavuudelle. Lisäksi mittausten otanta oli melko suuri, joten voidaan siis todeta mittaustulosten olevan luotettavia, vaikka otetaan huomioon eri epävarmuustekijät mittaustarkkuudessa. Esimerkiksi kuvion 24 yhtälöstä neljä voidaan päätellä kokonaispoikkeama laseranturin mittaustulosta verrattuna rullamitan arvoon, joka on keskiarvallisesti 1,76 millimetriä. Nämä kaikki edellä mainitut seikat tukevat väitettä siitä, että korkeuden mittaus saatiin toteutettua luotettavasti sekä mittaustarkkuus parani huomattavasti. Sovelluskohteen sijainnilla kutisteuunin jälkeen saattoi olla laseranturin valintaa suurempi vaikutus mittaustuloksen tarkkuuden parantumiselle. Kokonaisuudessaan laseranturi ja muutostyöllä toteutettu mittauspiste osoittautui tarkkuudeltaan kuitenkin paremmaksi kuin alkuperäinen mittauspiste.

Kolmanneksi tutkimuskysymykseksi muodostui mitä vaiheita kehittämistyö sisältää. Kehittämistyön alussa oli selkeää, että tutkimus tulee sisältämään suunnittelun, työn toteutuksen sekä arvioinnin. Toteutuksen ja arvioinnin välissä tuli sovelluskohteen toiminta testata, jotta varmistuttiin että anturityyppi sopii kyseiselle mittaukselle, eikä kehittämisprosessia tarvitse käynnistää uudestaan. Testauksesta saatuja mittaustuloksia hyödynnettiin myös arviointivaiheessa. Kehittämistyön vaiheet tulee ilmi kuvioista 28.



Kuvio 28. Kaavio työn vaiheista

Kehittämistyön jokaiseen vaiheeseen kuului tiivis yhteydenpito tilaajatahon edustajien kanssa. Lisäksi opinnäytetyöprosessin edetessä pidettiin säännöllisesti palaverreja myös ohjaajan kanssa, josta sai tukea raportointiin. Kokonaisuutena kehittämistyö oli monivaiheinen sekä laaja. Jos jokin vaiheista olisi jäänyt puuttumaan, olisi kehittämistyö ollut puutteellinen. Tutkimuskysymykseen muotoutui vastaus kehittämistyöprosessin edetessä. Vastaus tiivistettynä kuviossa 28.

Opinnäytetyön teoriaosuus sekä raportointi toteutettiin noudattaen eettisiä periaatteita. Lähde-merkinnät sekä tekstiviitteet lisättiin kaikkiin kohtiin, jotka eivät olleet omaa pohdintaa tai työn raportointia. Tilaajatahon kanssa käytiin keskustelua salassapidettävän materiaalin osuudesta, jota pakkalinjan prosessin kuvaamiseen oli tarkoitus käyttää. Aiheen avaamiseen löytyi kuitenkin vaihtoehtoinen lähde laitetoimittajan käyttöohjeen sijaan, joten salassapidettävää materiaalia opinnäytetyöhön ei tullut. Haastatteluiden osalta haastateltavien henkilötiedot salattiin niiltä osin, mitä haastatteluiden aikana sovittiin.

Teoriaosuuden lähteinä käytettiin pääosin kirjallisia lähteitä, kuten oppikirjoja aihepiiriin liittyen. Usein opetustarkoitukseen suunniteltu kirjallisuus on koottu usean eri alan ammattilaisen toimesta, joten voidaan olettaa lähdetiedon olevan luotettavaa. Kirjallisten lähteiden ajantasaisuus vaihtelee kustannusvuoden mukaan, mutta tästä syystä kirjallisia lähteitä referoidessa tulee hyödyntää lähteen tarjoama yleistieto eikä keskittyä ajankohtaisuutta vaativaan tietoon. Lisäksi lähteinä käytettiin laitevalmistajien omia verkkosivuja esimerkiksi datalehtien suhteen, jotka toimivat luotettavana lähdetietona. Tilaajatahon omia dokumentteja hyödynnettiin muun muassa pakkalinjan toiminnan kuvaukseen. Kyseiset dokumentit olivat tarkoitettu työn opastukseen, joten myös tämän lähdetiedon suhteen voidaan väittää sen olevan luotettava. Myös eri verkkosivuilta referoitua materiaalia verrattiin kriittisesti saman aihealueen kirjallisuuteen ja sen pohjalta tehtiin päätös, hyödynnetäänkö lähteen tarjoamaa tietoa vai ei.

Kehittämistyön konkreettisimpina tuloksina voidaan pitää korkeudenmittauspisteelle toteutettuja testimittauksia. Testimittausten pohjalta saatiin taulukoitua eri mittausarvoja, joiden pohjalta pystyttiin analysoimaan mittaustarkkuuden paranemista käytännössä. Vaikka jokaiseen mittaukseen liittyy tietyt epävarmuustekijät, voidaan mittaustuloksia ja sitä kautta kehittämistyön tuloksia pitää luotettavana. Myös 50 pallelin otannalla tehty seuranta toteutettiin tukemaan työn tulosten luo-

tettavuutta. Kyseisten mittauksen pohjalta tehdystä raportoinnista selviää, että myös työn suunnitteluvaiheessa määritelty ongelma prosessin suhteen saatiin poistettua. Oleellisena huomiona tulee kuitenkin mainita, ettei pakkalinjalle ole tullut korkeuden puolesta raja-arvon lähellä olevia palletteja uuden korkeudenmittauspisteen käyttöönoton jälkeisenä aikana. Tästä syystä kehittämistyön tuloksiin jää aukko, joka varmistuu aikanaan.

## 6 Pohdinta

Opinnäytetyöprosessi vaikutti aloitusvaiheessa melko yksinkertaiselta ja aiheen raja-alue vaikutti onnistuneen hyvin. Toisin sanoen työ vaatisi, että kartoitetaan tarvittavat komponentit työn toteutusta varten, asennetaan anturi paikalleen, tehdään ohjelmaan päivitykset ja raportoidaan toteutettu työ. Vielä suunnittelun aikana prosessista oli edellä mainittu mielikuva, mutta toteutusvaiheessa kokonaisuus alkoi hahmottumaan ja työn laajuus avautui selkeämmin. Suunnitteluvaiheessa sain mielestäni kerättyä riittävän pohjan teoriataustaa, jotta kehittämistyö saataisiin toteutettua ja tuotos hyödyttäisi tilaajatahoa. Toteutusvaiheessa kuitenkin huomasi, että moni asia oli jäänyt suunnitteluvaiheessa huomioimatta ja tästä aiheutui lisätyötä, johon en ollut varautunut.

Esimerkkinä voidaan mainita kehittämistyön vaiheista dokumentointi eli piirikaavioiden päivitys, kaapelikilvet, positiomerkinnot ja SAP:n toimintopaikkarakente. Aihe kävi suunnittelun aikana mielessä, mutta laajuudesta ei vielä tässä vaiheessa hahmottunut kokonaisuutta. Lisätyllä analogiakortilla tai anturilla ei ollut valmista positiota, joten positiomerkinnot nimeämisperiaate tuli määrittellä tutkimalla aikaisempia piirikaavioita ja prosessikuvia. Lisäksi työn toteuttamista haastoi huomattavasti sovelluskohteen asennuspaikka. Anturin sijainti oli keskeisellä paikalla prosessissa, josta kulkee läpi kolmen arkkileikkurin tuottama materiaalivirta. Loogisesti asennuskohteeseen ei pääse, mikäli tuotanto on käynnissä. Tuotannon pysäyttäviä huoltoseisokkeja on harvoin ja asennus tuli suorittaa näiden aikana.

Myös ohjelmaa päivitettäessä tuli eteen haasteita, joita ei osattu ottaa huomioon suunnittelussa. Alkuperäinen ajatus oli, että anturin analogiatiedolle toteutetaan skaalaus ohjelmassa, skaalattu arvo vähennetään anturin mittaamasta etäisyydestä kuljettimen pintaan ja tieto lähetetään eteenpäin seuraavalle kuljettimelle. Edellä mainitut aiheet saatiin toteutettua, mutta mahdollisista mitausvirheistä aiheutuvia toimenpiteitä ei osattu ottaa huomioon. Eli mikäli korkeudenmittaus



syystä tai toisesta epäonnistuisi, miten prosessi toimisi tämän jälkeen. Kyseinen ongelma kuitenkin ratkesi yksinkertaisella mittausarvojen vertailulla, jolla saatiin kriittiset mittausvirheet leikattua pois. Lisäksi häiriöön lisättiin visuaalinen hälytys, joka viestii mittausvirheestä pakkalinjalla työskentelevälle operaattorille, mikä oli olennainen lisäys prosessin valvonnan kannalta. Tällaista ei aiemmin ollut käytössä.

Testausvaiheessa mittauksia pyrittiin ottamaan mahdollisimman laajalla skaalalla, jotta tuloksista saataisiin luotettavia. Mittaustarkkuuden määrittely ja siihen liittyvät testimittaukset piti rajata pelkästään kalibroitimittaukseen ja 23.2.2023 suoritettuun testimittaukseen, mutta anturin toiminnan sekä mittaustarkkuuden varmistumiseksi päätettiin vielä myöhemmin ottaa mittaus 50 pallelin otannalla. Tämä lisäsi työn laajuutta entisestään, koska myös nämä mittaustulokset tuli avata ja analysoida erikseen. Toisaalta kerätyn tiedon perusteella saatiin melko tarkkaa dataa sovelluskohteen toimivuudesta ja siitä, että kehittämistyö oli onnistunut sekä täyttänyt alussa määritetyt tavoitteet. Itseäni jäi kuitenkin kiinnostamaan se, miten kävisi raja-arvojen lähettyvillä oleville palleteille kehittämistyössä tehtyjen muutosten myötä. Koska tällaisia palleteja ei ole ollut muutostyön jälkeen, tämä vaatisi lisätutkimusta.

Vaikka sovelluskohteen asennuspaikka oli hankala, olisi työn toteutusvaiheen voinut varmasti toteuttaa myös nopeammalla aikataululla. Toteutuksen aikatauluun vaikutti olennaisesti oma aktiivisuus, sillä opinnäytetyön ohella tuli hoitaa myös muut toimenkuvaan kuuluvat työtehtävät. Alustava aikataulutus osoittautuikin turhan optimistiseksi, sillä ajattelin työn olevan valmis 2022 vuoden loppupuolella. Työ kuitenkin valmistui ja nopeammalla aikataululla osa olennaisista prosessin vaiheista tai dokumentoinneista, joita en aluksi osannut huomioida, olisi mahdollisesti jäänyt tekemättä aikapaineen takia. Nyt lopputulos hyödyttää tilaajatahoa enemmän, sillä kehittämistyö pyrki ottamaan huomioon kaiken, mitä anturin lisäys prosessiin vaatii.

Opinnäytetyöprosessin aikana oppi paljon uutta erilaisesta anturitekniikasta sekä Siemensin Simatic Manager ohjelmistoympäristöstä, joka oli itselle aikaisemmin melko vieras. Opinnäytetyö toimii hyvänä pohjana prosessiin jääneen ultraäänianturin korvaamiselle, mikäli mittaustarkkuutta halutaan parantaa myös prosessin alkupäässä tulevaisuudessa. Tämä olisikin hyvä jatkokehittämiskohde, sillä opinnäytetyö sisältää ja avaa kaikki tarvittavat muutokset mitä päivittäminen vaatii. Myös tilaajatahon antamat kehitysehdotukset opinnäytetyön suhteen koskivat kyseistä aihetta.

Opinnäytetyön pohjalta voitaisiin toteuttaa erillinen SOP-ohje (Standard Operating Procedure), jossa avattaisiin anturin vaihtotyöhön liittyviä työvaiheita. Ohjeen tavoitteena on, että työn pystyy toteuttamaan esimerkiksi käynninvarmistaja, jolla ei välttämättä ole aikaisempaa kokemusta anturin vaihtoon liittyvistä työvaiheista. Ohjetta voitaisiin soveltaa esimerkiksi asennukseen, mikäli prosessin toisen korkeudenmittauspisteen ultraäänianturi haluttaisiin korvata lasertekniikalla. Lisäksi erillinen jatkojalostusidea voisi koskea tällaisen korkeudenmittauksen päivityksen kokonaiskustannusvaikutuksia.

Ultraäänianturin vaihtotyö tulisi noudattamaan tämän kehittämistyön vaiheita. Suunnitteluvaiheessa komponentteja ei tarvitsisi enää kartoittaa, mutta huoltoseisokki vaihtotyölle tulisi organisoida. Myös kaapelin päähän pitäisi vaihtaa opinnäytetyössä kuvattu M12 5-pinninen liitin, jotta vanhaa kaapelia voitaisiin hyödyntää uuden laseranturin kytkennässä. Asennetulle kennolle tehtäisiin samantyyppiset kalibrointimittaukset kuin opinnäytetyössä esitetylle sovelluskohteelle. Lisäksi ohjelmaan päivitettäisiin ainoastaan skaalausfunktion ylä- ja alarajatiedot sekä vähennysfunktion toinen tuloarvo, koska mittaustiedon lähetykseen ja tallennukseen liittyvää ohjelmaa voitaisiin hyödyntää vanhan anturin pohjalta. Anturin vaihdon jälkeen voitaisiin mittauspisteelle toteuttaa samantyyppiset referenssimittaukset, jotta sovelluskohteen toimivuus varmistettaisiin sekä mittaustuloksen luotettavuus pystyttäisiin osoittamaan.

Kaiken kaikkiaan olen tyytyväinen opinnäytetyöni aiheeseen sekä tuotokseen. Olen nähnyt työn eteen vaivaa, mutta se on tarjonnut mahdollisuuden oppia paljon uutta sekä kehittämistyön tekemisestä että ylipäättään mittaustarkkuudesta, erilaisista ohjelmistoista ja layouteista. Lisäksi oli paljolti huomata mittaustulosten vertailussa, että työni lopputulos paransi mittaustarkkuutta ja että kaikki työhön tekemäni vaiheet toimivat ilman sen suurempia ongelmia tai lisäselvittelyjä. Myös palaute tilaajataholta on ollut hyvää.

## Lähteet

6ES7134-4GB11-0AB0. 2023. ET200S-analogiatulokortin tuote-esittely Siemensin kotisivuilla. Viitattu 9.3.2023.

<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/6ES7134-4GB11-0AB0>.

6ES7151-1BA02-0AB0. 2023. ET200S moduulin tuote-esittely Siemensin kotisivuilla. Viitattu 9.3.2023.

<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/6ES7151-1BA02-0AB0>.

6ES7318-3EL00-0AB0. 2023. 319-3 logiikan tuote-esittely Siemensin kotisivuilla. Viitattu 9.3.2023.

<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES73183EL000AB0>.

A dozen ways to measure fluid level. N.d. Artikkelikäsittely koskien pinnanmittauksen eri tekniikoita ABB:n kotisivuilla. Viitattu 8.2.2023.

<https://new.abb.com/products/measurement-products/level/a-dozen-ways-to-measure-fluid-level>.

Aumala, O. 1989. Mittaustekniikan perusteet. Mittaustekniikkaa käsittelevä oppikirja. 11. korjattu painos. Helsinki: Otatieto.

Connection Diagramm. 2019. Pakkalinjan laitetoimittajan dokumenteista koottu PDF-tiedosto. Metsä Board Äänekosken tietokanta. Viitattu 9.3.2023.

DT50-P1113. 2022. Keskipitkän matkan etäisyysanturit. Anturin datalehti SICK:n verkkosivuilla. Viitattu 5.3.2023.

[https://cdn.sick.com/media/pdf/4/64/264/dataSheet\\_DT50-P1113\\_1044369\\_fi.pdf](https://cdn.sick.com/media/pdf/4/64/264/dataSheet_DT50-P1113_1044369_fi.pdf).

DT50 käyttöopas. 2017. DT50 anturin käyttöopas SICK:n verkkosivuilla. Viitattu 5.3.2023.

[https://cdn.sick.com/media/docs/0/90/290/operating\\_instructions\\_dt50\\_de\\_en\\_fr\\_pt\\_da\\_it\\_nl\\_es\\_zh\\_im0030290.pdf](https://cdn.sick.com/media/docs/0/90/290/operating_instructions_dt50_de_en_fr_pt_da_it_nl_es_zh_im0030290.pdf).

Heinonkoski, R. 2004. Koneautomaation kunnossapito. 2. uudistettu painos. Opetushallitus.

Hiltunen, E., Linko, L., Hemminki, S., Hägg, M., Järvenpää, E., Saarinen, P., Simonen, S. & Kärhä, P. 2011. Laadukkaan mittaamisen perusteet. Metrologian neuvottelukunnan ja Mittatekniikan keskuksen, MIKESin julkaisu. Viitattu 9.2.2023.

<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/MIKES/2011-J4.pdf>.

Höök, J. 2023. Suunnitteluinsinööri. Metsä Board Äänekoski. Pakkalinjan korkeudenmittauspisteen lisäyksen päivitettyt dokumentit liitteissä 5 – 7. Viitattu 5.3.2023.

Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisu.

Kapasitiiviset lähestymiskytkimet. N.d. Tuote-esittely lähestymiskytkimistä SICK:n verkkosivuilla. Viitattu 7.2.2023.

<https://www.sick.com/fi/fi/kapasitiiviset-ja-magneettiset-laehestymiskytkimet/kapasitiiviset-laehestymiskytkimet/c/g201659>.

Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Lähetkangas, M. & Sumujärvi, M. 2007. Automaatiojärjestelmien loogiikat ja ohjaustekniikat. Oppikirja koneautomaation opintoihin. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.

Keskipitkän matkan etäisyysanturit Dx50 / DT50. N.d. SICK:n verkkokaupan sivustolta seloste DT50-anturin teknisistä tiedoista. Viitattu 8.2.2023.

<https://www.sick.com/fi/fi/etaisyysanturit/keskipitkaen-matkan-etaisyysanturit/dx50/dt50-p1113/p/p215264>.

Korpela. 2021. Pinnanmittaus lasersäteellä tai ultraääneen perustuvalla menetelmällä ei vaadi kosketusta mitattavaan aineeseen. Blogikirjoitus Korjausrakentaminen.fi sivustolla. Viitattu 13.11.2022.

<https://www.korjausrakentaminen2014.fi/page/2/>.

Laseranturi LDM301-sarja. N.d. Tuote-esite Jenoptikin laseranturista jälleenmyyjä Sensorolan kotisivuilla. Viitattu 8.2.2023.

<https://sensorola.fi/tuotteet/jenoptik-laseranturi-ldm301-sarja/>.

Mallon, D. 2018. Level measurement in solids applications. Artikkel Processing-lehden verkkosivuilla 14.2.2018. Viitattu 7.2.2023.

<https://www.processingmagazine.com/process-control-automation/instrumentation/article/15587313/level-measurement-in-solids-applications>.

Metsä Board lyhyesti. N.d. Tietoa Metsä Boardista yhtiön verkkosivuilla. Viitattu 1.10.2022.

<https://www.metsagroup.com/fi/metsaboard/metsa-board/tietoa-meista/metsa-board-lyhyesti/>.

Metsä Board Äänekoski. 2022. Powerpoint-esitys Metsä Board Äänekosken toiminnasta. Viitattu 6.3.2023.

Nosturien pystysuuntainen paikoitus varastoissa. N.d. Esimerkki etäisyysanturin sovelluskohteesta SICK:n verkkosivuilla. Viitattu 8.2.2023.

<https://www.sick.com/fi/fi/toimialat/metalli-ja-teraes/teraes/materiaalien-kaesittely/satamatoiminnot-ja-nosturit/nosturien-pystysuuntainen-paikoitus-varastoissa/c/p370150>.

Operaattori 1. Operaattori 2. 2023. Sähkö-automaatio käynninvarmistaja sekä mekaaninen käynninvarmistaja. Metsä Board Äänekoski. Haastattelu 9.2.2023.

Pihkala, J. 2004. Prosessisuureiden mittaustekniikka. Oppikirja kemian- sekä paperiteollisuuden opintoihin. Vantaa: Opetushallitus.

Pinnankorkeuden mittaus. N.d. Sarlin verkkosivuston pinnankorkeuden mittauksen tuoteosasto. Viitattu 13.11.2022.

<https://www.sarlin.com/tuotteet/pinnankorkeuden-mittaus/>.

Pinnankorkeus. N.d. Tuote-esittely erilaisille mittauksen sovellustavoille SICK:n kotisivuilla. Viitattu 7.2.2023.

<https://www.sick.com/fi/fi/eri-sovellustavat/mittaus/c/g304756>.

PT100 Anturi. N.d. Tuote-esite Meyer-vastuksen kotisivuilla. Viitattu 30.10.2022.

<https://www.meyervastus.fi/tuotteet/lampotilansaato-ja-mittaus/anturit/pt100-anturi/>.

Salo, T. 2023. Arkittamon käyttöpäällikkö. Metsä Board Äänekoski. Haastattelu 16.2.2023.

Salonen, R. 2015. Arkinpakkaus. Työnopastusohje pakkalinjalla työskentelyyn. Metsä Board Äänekosken sisäinen Intranet. Viitattu 7.3.2023.

Siemens Industry Mall. 2023. 6ES7134-4GB11-0AB0 Analogia-tulokortin tuoteseloste Siemensin kotisivuilla. Viitattu 13.2.2023.

<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/6ES7134-4GB11-0AB0>.

SIMATIC S7-300. N.d. Logiikkatuotepereheen esittely OEM Finland Oy:n verkkosivuilla. Viitattu 9.3.2023.

<https://www.oem.fi/tuotteet/logiikat-ja-kaytot/logiikat/simatic-s7-300- -730023>.

Smoot, J. 2021. Artikkelit ultraääniantureiden toiminnasta Digi-Key Electronics yhtiön verkkosivuilla 20.5.2021. Viitattu 8.2.2023.

<https://www.digikey.fi/fi/articles/understanding-ultrasonic-sensors>.

Solid level sensors: Technologies for detection and measurement. N.d. Blogikirjoitus anturivalmistaja TERABEE:n kotisivuilla. Viitattu 7.2.2023.

<https://www.terabee.com/solid-level-sensors-technologies-detection-measurement/>.

Teollisuus-ETHERNET. N.d. Tuote-esite Teollisuus-ethernetin käytöstä SEW-EURODRIVE:n taajuusmuuttajatekniikassa SEW EURODRIVE:n kotisivuilla. Viitattu 30.10.2022.

[https://www.sew-eurodrive.fi/products/industrial\\_communication/industrial\\_ethernet/industrial\\_ethernet-2.html](https://www.sew-eurodrive.fi/products/industrial_communication/industrial_ethernet/industrial_ethernet-2.html).

Time-of-Flight principle. N.d. Blogikirjoitus anturivalmistaja TERABEE:n kotisivuilla. Viitattu 8.2.2023.

<https://www.terabee.com/time-of-flight-principle/>.

Äänekosken kartonkitehdas. N.d. Artikkelit Äänekosken yksiköstä Metsä Groupin verkkosivuilla. Viitattu 2.10.2022.

<https://www.metsagroup.com/fi/metsaboard/metsa-board/tuotantoyksikot/aanekosken-kartonkitehdas/>.

## Liitteet

### Liite 1. Anturin datalehti (DT50-P1113 2022, 2).

#### DT50-P1113 | Dx50

KESKIPITKÄN MATKAN ETÄISYYSANTURIT



#### Tilaustiedot

Tyyppi	Tuotenumero
DT50-P1113	1044369

Muita laiteversioita ja varusteita → [www.sick.com/Dx50](http://www.sick.com/Dx50)



#### Yksityiskohtaiset tekniset tiedot

##### Mekaniikka/sähkölaitteisto

<b>Syöttöjännite U<sub>v</sub></b>	DC 10 V ... 30 V <sup>1) 2)</sup>
<b>Ripple</b>	≤ 5 V <sub>ss</sub> <sup>3)</sup>
<b>Tehonkulutus</b>	≤ 2,1 W <sup>4)</sup>
<b>Alustusaika</b>	≤ 250 ms
<b>Lämpenemisaika</b>	≤ 15 min
<b>Kotelon materiaali</b>	Metalli (Sinkkipainevalu)
<b>Etulasin materiaali</b>	Muovi (PMMA)
<b>Liitäntätyyppi</b>	Urosliitin, M12, 5-napainen
<b>Näyttö</b>	LC-näyttö, 2 x LED
<b>Paino</b>	200 g
<b>Mitat (l x k x s)</b>	36,1 mm x 62,7 mm x 57,7 mm
<b>Kotelointiluokka</b>	IP65
<b>Suojausluokka</b>	III

<sup>1)</sup> Raja-arvot, napaisuussuojattu. Käyttö oikosulkusuojatussa verkossa maks. 8 A.

<sup>2)</sup> DT50-xxxx4: U<sub>v</sub> > 15 V.

<sup>3)</sup> Ei saa ylittää eikä alittaa U<sub>v</sub>-toleransseja.

<sup>4)</sup> Ilman kuormaa.

##### Suorituskyky

<b>Mittausalue</b>	200 mm ... 10.000 mm, Heijastuskyky 90 % 200 mm ... 6.500 mm, Heijastuskyky 18 % 200 mm ... 4.000 mm, Heijastuskyky 6 %
--------------------	---

<sup>1)</sup> Vastaa arvoa 1 σ.

<sup>2)</sup> Heijastuskyky 6 % ... 90 %.

<sup>3)</sup> Riippuu asetetusta keskiarvoituksesta: nopea/hidas.

<sup>4)</sup> Heijastuskyky 90 %.

<sup>5)</sup> Kohteen tuonti sivusta mittausalueelle.

<sup>6)</sup> Etäisyyden jatkuva muuttaminen kohteeseen mittausalueella.

<sup>7)</sup> Aallonpituus: 658 nm; maksimiteho: 180 mW, pulssinkesto: 5 ns; tunnusteluaste: 1/200.

## Liite 2. Anturin datalehti (DT50-P1113 2022, 2).

### DT50-P1113 | Dx50 KESKIPITKÄN MATKAN ETÄISYYSANTURIT

<b>Mittauskohde</b>	Luonnolliset kohteet
<b>Resoluutio</b>	1 mm
<b>Toistotarkkuus</b>	$\geq 2,5 \text{ mm}$ <sup>1) 2) 3)</sup>
<b>Tarkkuus</b>	$\pm 10 \text{ mm}$ <sup>4)</sup>
<b>Vasteaika</b>	20 ms ... 30 ms, 20 ms / 30 ms <sup>3) 5)</sup>
<b>Lähdön päivitysaika</b>	$\geq 4 \text{ ms}$ <sup>6)</sup>
<b>Valonlähde</b>	Laser, punainen näkyvä punainen valo
<b>Laserluokka</b>	2 (IEC 60825-1:2014, EN 60825-1:2014) <sup>7)</sup>
<b>Tyyp. valopisteen koko (etäisyys)</b>	15 mm x 15 mm (10 m)
<b>Lisätoiminto</b>	Säädettävä liukuva keskiarvoistus: nopea/hidas, Kytentämoodi: etäisyys kohteeseen (DtO), opetettava, parametroitava ja invertoitava digitaalilähtö, säädettävä hystereesi, opetettava, parametroitava ja analogialähtö, Monitoimitulo: laser pois / ulkoinen opetus / deaktivoitu, Näytön poiskytkentä, Tehdasasetusten palautus, Käyttöliittymän sulku
<b>Laserin kesikäyttöikä (lämpötilassa 25 °C)</b>	100.000 h

<sup>1)</sup> Vastaa arvoa 1  $\sigma$ .

<sup>2)</sup> Heijastuskyky 6 % ... 90 %.

<sup>3)</sup> Riippuu asetetusta keskiarvoistuksesta: nopea/hidas.

<sup>4)</sup> Heijastuskyky 90 %.

<sup>5)</sup> Kohteen tuonti sivusta mittausalueelle.

<sup>6)</sup> Etäisyyden jatkuva muuttaminen kohteeseen mittausalueella.

<sup>7)</sup> Aallonpituus: 658 nm; maksimiteho: 180 mW, pulssinkesto: 5 ns; tunnusteluaste: 1/200.

#### Liitännät

<b>Digitaalilähtö</b>	Määrä	1 <sup>1) 2)</sup>
	Malli	PNP
	Suurin lähtövirta $I_A$	$\leq 100 \text{ mA}$
<b>Analogialähtö</b>	Määrä	1
	Malli	Virtalähtö
	Virta	4 mA ... 20 mA, $\leq 300 \Omega$
	Resoluutio	16 bit
<b>Monitoimitulo (MF)</b>		1 x <sup>3) 4)</sup>
<b>Hystereesi</b>		10 mm ... 1.000 mm

<sup>1)</sup> Oikosulkusuojattu Q-lähtö.

<sup>2)</sup> PNP: HIGH =  $U_V$  - (< 2,5 V) / LOW = 0 V.

<sup>3)</sup> Vasteaika  $\leq 15 \text{ ms}$ .

<sup>4)</sup> PNP: HIGH =  $U_V$  / LOW =  $\leq 2,5 \text{ V}$ .

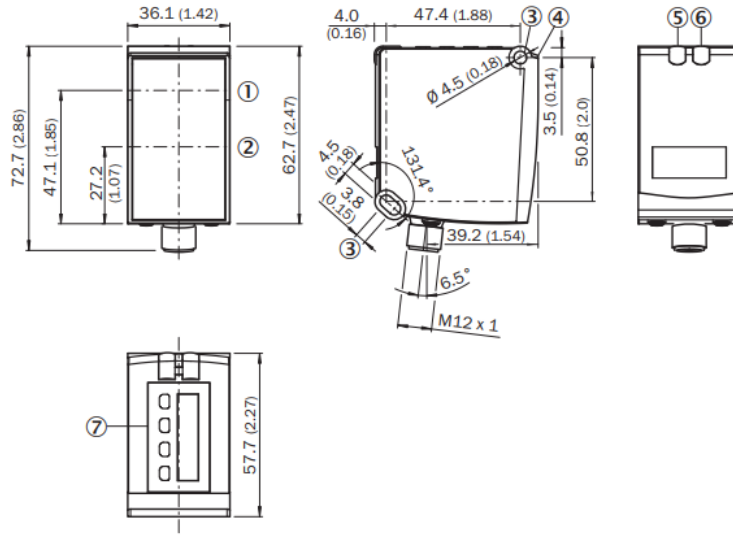
#### Ympäristötiedot

<b>Ympäristölämpötila, käyttö</b>	-30 °C ... +65 °C -30 °C ... +80 °C, käyttö kahden jäähdytyslevyn kanssa -30 °C ... +140 °C, käyttö kahden jäähdytyslevyn ja suojausotimen kanssa
<b>Ympäristölämpötila, varasto</b>	-40 °C ... +75 °C
<b>Suurin ilman suhteellinen kosteus (ei kondensoiva)</b>	$\leq 95 \%$

## Liite 3. Anturin datalehti (DT50-P1113 2022, 5).

### DT50-P1113 | Dx50 KESKIPITKÄN MATKAN ETÄISYYSANTURIT

Mittapiirros (Mitat millimetreinä (mm))



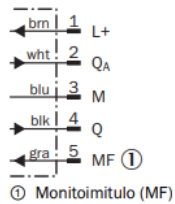
- ① Optinen akseli, lähetin
- ② Optinen akseli, vastaanotin
- ③ Kiinnitysreikä
- ④ Referenssipinta = 0 mm
- ⑤ Digitaalilähdön Q1 tilanäyttö (oranssi)
- ⑥ DT50/DT50 Hi/DL50: tilanäyttö, käyttöjännite aktiivinen (vihreä), DS50/DL50 Hi: digitaalisen lähdön Q2 tilanäyttö (oranssi)
- ⑦ Käyttöelementit ja näyttö

### Liitântäytyppi

Pistoke M12, 5-napainen

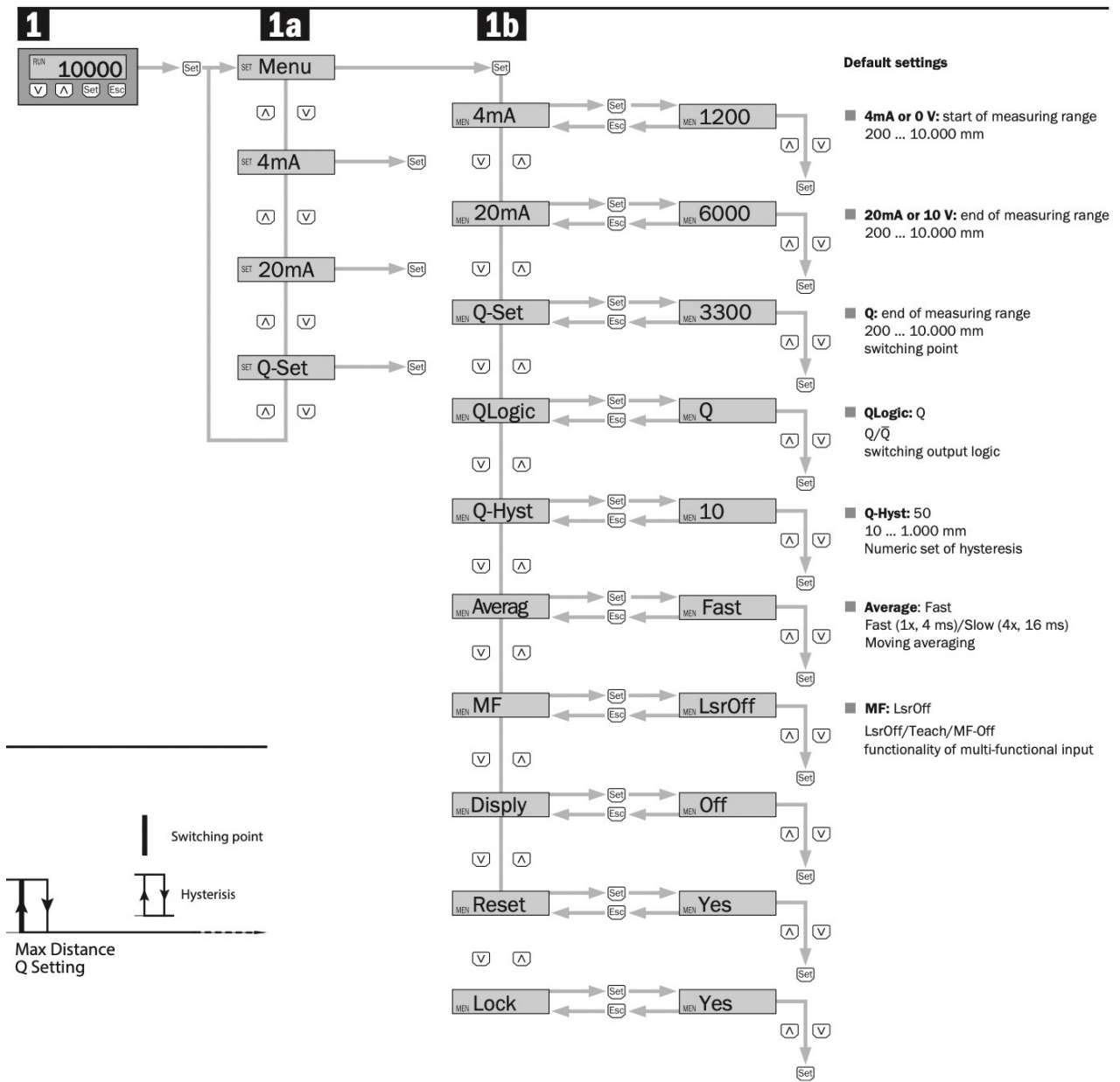


### Liitântäkaavio

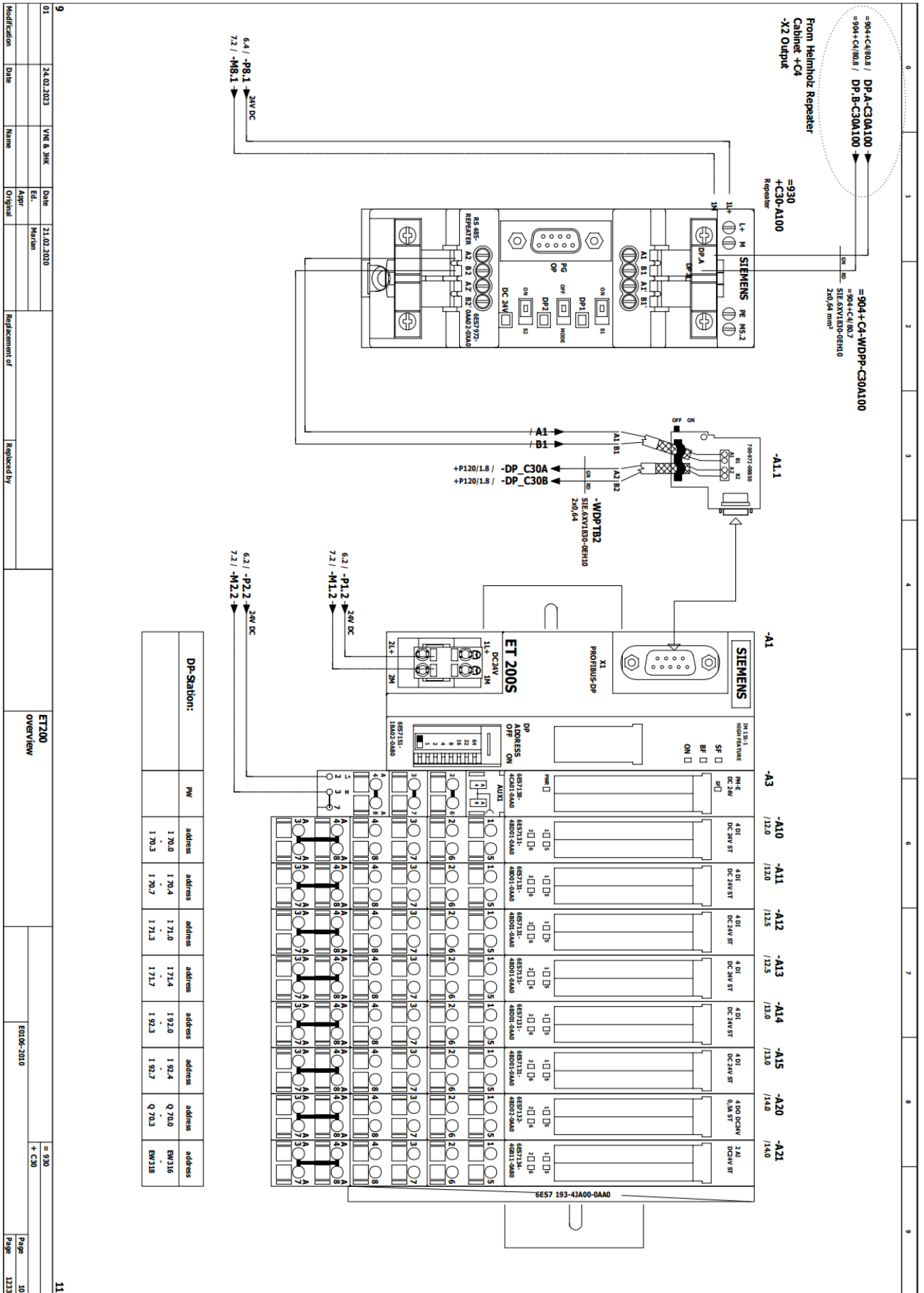




Liite 4. Anturin käyttöopas (DT50 käyttöopas 2017, 1).



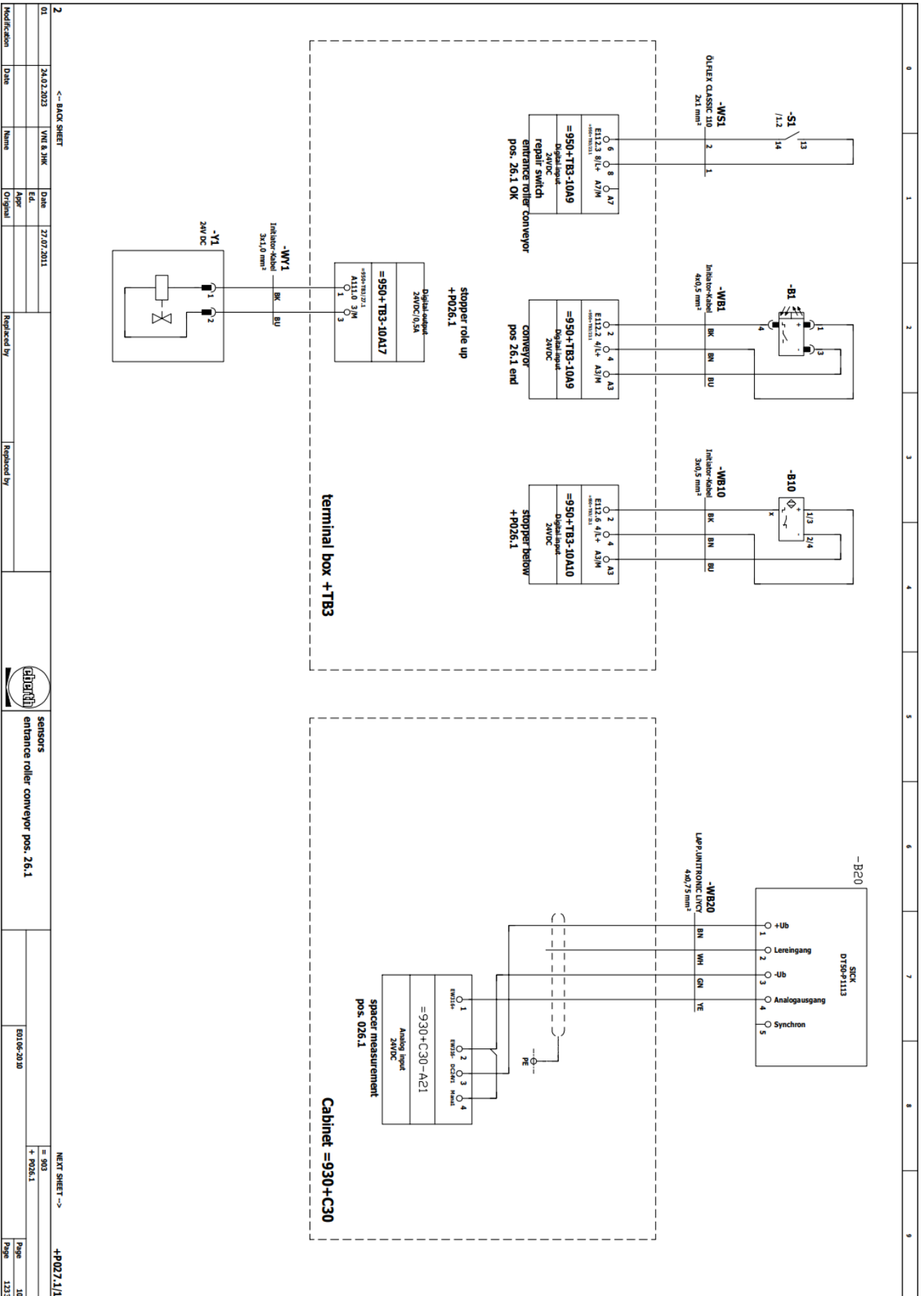
Liite 5. =930+C30\_10 ET200 overview (Höök 2023).



Liite 6. =930+C30\_14 PLC configuration -A20 & -A21 Q100.0-100.3 (Höök 2023).

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																		
-A20 /10.8																											
-A21																											
<b>13</b>	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:33%;">Modification</td> <td style="width:33%;">Date</td> <td style="width:33%;">Name</td> <td style="width:33%;">Original</td> <td style="width:33%;">Replacement of</td> <td style="width:33%;">Replaced by</td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>24.02.2023</td> <td>VNI &amp; JHK</td> <td>Ed.</td> <td>MDX1</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Apr</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>									Modification	Date	Name	Original	Replacement of	Replaced by	01	24.02.2023	VNI & JHK	Ed.	MDX1					Apr		
Modification	Date	Name	Original	Replacement of	Replaced by																						
01	24.02.2023	VNI & JHK	Ed.	MDX1																							
			Apr																								
					PLC configuration -A20 & -A21 Q100.0-100.3					= 930 + C30																	
					80106-2020					Page 14 Page 12/3																	

Liite 7. =903+P026.1\_10 Sensors entrance roller conveyor pos. 26.1 (Höök 2023).



2 <- BACK SHEET  
 01 24.02.2023 VINI & JHK Date 27.07.2011  
 Modification Date Name Original Replaced by Replaced by  
 NEXT SHEET -> +P027.1/1