

# **Savukaasupesurin automaation tuote- kehitys**

Tero Silander

Opinnäytetyö  
Marraskuu 2016  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Insinööri (YAMK)  
Automaatioteknologian tutkinto-ohjelma

|   |  |                                   |
|---|--|-----------------------------------|
| Tekijä(t)<br>Silander, Tero   | Julkaisun laji<br>Opinnäytetyö, ylempi AMK | Päivämäärä<br>1.11.2016           |
|   | Sivumäärä<br>65                            | Julkaisun kieli<br>Suomi          |
|   |  | Verkojulkaisulupa<br>myönnetty: x |
| Työn nimi<br><b>Savukaasupesurin automaation tuotekehitys</b>   |  |                                   |
| Tutkinto-ohjelma<br>Automaatioteknologia (YAMK)   |  |                                   |
| Työn ohjaaja(t)<br>Ari Kuisma, Veli-Matti Häkkinen  |  |                                   |
| Toimeksiantaja(t)<br>Caligo Industria Oy, teknologiajohtaja Mika Nummilla   |  |                                   |
| Tiivistelmä<br><p>Caligo Industrian Oy:n kehittämään ja markkinoimaan savukaasupesurijärjestelmään päätettiin tehdä automaatiojärjestelmän tuotekehityshanke. Hankkeen tarkoituksena oli modernisoida olemassa olevan tuotteen ohjaustekniikka kustannustehokkaasti, sekä lisätä laitteiston ominaisuuksia asiakaspalautteen avulla kerättyjen kehitysehdotusten pohjalta.</p> <p>Modernisoinnin päätarkoituksena oli uudistaa logiikkaohjainjärjestelmää, sillä aiemmin käytössä ollut logiikkaohjainsarja tulee lähitulevaisuudessa jäämään pois aktiivimyynnistä. Tuotekehityksen tavoitteiksi asetettiin myös järjestelmän nopeampi valmistaminen, sekä sen ominaisuuksien kehittäminen uusia tekniikoita hyödyntäen ja käyttöliittymää kehittämällä.</p> <p>Kehitysprojektissa tehtiin esisuunnittelua, jonka jälkeen päätettiin kehitettävät kohteet niistä saatujen hyötyjen ja kehityksen vaatimien resurssien pohjalta. Tämän seurauksena poistettiin Siemens S7-300 logiikkaohjain korvattiin uuden sukupolven S7-1500 sarjan logiikkaohjaimella. Uuteen logiikkaohjaimeen yhdistettiin myös laitteiston turva-automaatioon liittyvät ohjaukset. Caligo Industrian sisäisten automaatiokehitystarpeiden lisäksi tehtiin myös asiakashaastatteluja, joiden pohjalta haluttiin kehittää järjestelmän ominaisuuksia. Näiden kehitystoiveiden pohjalta päivitettiin käyttöliittymä uusilla ominaisuuksilla vastaamaan paremmin asiakkaiden tarpeita.</p> <p>Kehitysprojektin tuloksia testattiin testilaitteistolla, sekä varmennettiin alkaneella asiakasprojektilla. Tuotekehitysprojektin tuloksena saatiin toimiva ja modernisoitu automaatiojärjestelmä, joka otettiin käyttöön vakiotuoteratkaisussa laitteiston automaation perustana. Järjestelmään lisättiin uusia ohjelmallisia ominaisuuksia, joiden uskotaan parantavan laitteiston käytettävyyttä entisestään.</p> |  |                                   |
| Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> )<br><br>Savukaasupesuri, järjestelmäpäivitys, modernisointi, turva-automaatio   |  |                                   |
| Muut tiedot   |  |                                   |

|  |  |  |
|--|--|--|
| Author(s)<br>Silander, Tero  | Type of publication<br>Master's thesis | Date<br>1.11.2016<br>Language of publication:<br>Finnish |
|  | Number of pages<br>65                  | Permission for web publication: x                        |
| Title of publication<br><b>Flue gas scrubbers automations product development</b>  |  |  |
| Degree programme<br>Automation technology  |  |  |
| Supervisor(s)<br>Kuisma, Ari. Häkkinen, Veli-Matti   |  |  |
| Assigned by<br>Caligo Industria Oy, Chief Technology Officer Mika Nummila  |  |  |
| Abstract<br><p>Caligo Industria Oy decided to launch their automation systems product development project regarding their developed flue gas scrubbers control system.. The projects main goal was modernisate the electric- and automation system costefectly, and also making a development to the product via using customer satisfaction survey.</p> <p>Modernisations main idea was make update to programmable logic system, because previously used controlling system was falling from the active sales in the near future. The Research and development project also wanted to give answers to easier and quicker manufacturing , and also wanted build new features using new available techniques. Human machine interface development was also seen as a good method to give product a new useful functionalities.</p> <p>Project started to making premininary desing and asking customers experieces about the products automation level, after that desided to chose what new ideas will be a part of the next standard product portfolio. In a next few years out of active sales retiring Siemens S7-300 logic controller family wanted to be replaced by using newest available corresponding technology, which was S7-1500. Also the safety automation system wanted to modernisate by combining it to the new logic controller system. Also exported customer satisfaction results to the main product, mainly using human machine interface and programming new useful features.</p> <p>Project results were tested via acquired test machine and in the same time beginning customer project. Projects result was a new well working modernisated automation system, which will be the part of the Caligo Industrias standard product.</p> |  |  |
| Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> )<br>Flue gas scrubber, system update, modernization, safety automation   |  |  |
| Miscellaneous  |  |  |

## Sisältö

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | Työn ja toimeksiantajan esittely .....                                    | 4  |
| 2 | Savukaasupesurin toiminta ja sen automaatiojärjestelmä.....               | 5  |
|   | 2.1.1 Lämpöpumppukytkentäinen savukaasupesuri.....                        | 8  |
|   | 2.1.2 Kehitettävä automaatiojärjestelmä.....                              | 10 |
| 3 | Kehitysprojektin aloitus.....   | 11 |
|   | 3.1 Asiakastyytyväisyyskysely.....  | 14 |
|   | 3.2 Järjestelmäpäivitys .....   | 16 |
|   | 3.2.1 Uuden logiikkaohjaimen valinta .....                                | 17 |
|   | 3.3 Laitteiston turvallisuus ja turva-automaation esisuunnittelu.....     | 19 |
|   | 3.3.1 Turvaluokiteltu automaatiojärjestelmä.....                          | 25 |
|   | 3.4 Muita järjestelmässä havaittuja kehityskohteita .....                 | 26 |
| 4 | Tehtävän järjestelmäpäivityksen laajuuden päättäminen.....                | 30 |
| 5 | Järjestelmäpäivityksen tarkempi detaljisuunnittelu .....                  | 33 |
|   | 5.1 Automaatiolaitteiston hardware- ja sähkösuunnittelu.....              | 33 |
|   | 5.2 Turvaluokan todentaminen.....   | 35 |
|   | 5.3 Järjestelmän ohjelmointi.....   | 37 |
|   | 5.4 Turva-automaation ohjelmointi .....                                   | 43 |
|   | 5.5 Käyttöliittymän kehitystyö .....                                      | 46 |
|   | 5.6 Testilogiikka .....   | 49 |
| 6 | Suunnitelmien toimivuuden varmentaminen ja laitteiston käyttöönotto ..... | 52 |
| 7 | Kehitysprojektin toteutunut kustannusrakenne.....                         | 56 |
| 8 | Työn ja tulosten arviointi .....  | 59 |
|   | Lähteet.....  | 62 |

|                |    |
|----------------|----|
| Liitteet ..... | 63 |
|----------------|----|

## **Kuviot**

|   |    |
|---|----|
| KUVIO 1 Savukaasupesurin päävirtauskaavio (Järvenreuna & Nummila 2015, 2.) .....  | 6  |
| KUVIO 2 Savukaasujen luovuttama energia. (Nummila 2015, 5.).....  | 6  |
| KUVIO 3 Lämpöpumppukytkentäisen savukaasupesurin päävirtauskaavio<br>(Järvenreuna & Nummila 2016, 3.) .....   | 9  |
| KUVIO 4 Kehitettävän savukaasupesurin automaatiojärjestelmä.....  | 10 |
| KUVIO 5 Kehitysprojektin aikataulut .....   | 13 |
| KUVIO 6 Siemens S7-315 2 PN/DP tuotteen elinkaarijana. (Siemens industry online<br>support. viitattu: 15.9.2016.) .....                                   | 17 |
| KUVIO 7 Logiikkaohjaimien suorituskykyerot. (Simatic S7 Controllers 2015, 12.) .....  | 19 |
| KUVIO 8 Henkilöriskin arvioiminen .....   | 22 |
| KUVIO 9 Ympäristöriskien riskigraafi .....  | 23 |
| KUVIO 10 Materiaalisten riskien riskigraafi .....   | 24 |
| KUVIO 11 Yhteenveto riskigraafeista .....   | 24 |
| KUVIO 12 Esisuunnittelun jälkeinen järjestelmäkaavio .....  | 29 |
| KUVIO 13 Suunnittelun tavoitteeksi asetettu järjestelmäkaavio.....  | 30 |
| KUVIO 14 Savukaasupeltien turvakomponenttien lohkoakaavio.....  | 35 |
| KUVIO 15 Logiikan migraation aloitus.....   | 37 |
| KUVIO 16 S7-1515 F- logiikan pääräkin IO-osoitteistuksen luonti.....  | 38 |
| KUVIO 17 Hardware kongfiguraatio ja HW identifier .....   | 39 |
| KUVIO 18 Slice access -osoitus tietotyyppeihin. (Programming Guideline for S7-<br>1200/S7-1500 2014, 67.) Lähdeettä korjattu 1.11.2016, Bit => Byte. .... | 42 |
| KUVIO 19 Standardi ja optimoitu tietorakenne DB (Programming Guideline for S7-<br>1200/S7-1500 2014, 12.).....  | 42 |
| KUVIO 20 Osoitus Static muuttujaan .....  | 43 |
| KUVIO 21 Turvaohjelman ohjelmakutsun luominen ja parametointi .....   | 44 |
| KUVIO 22 Turva-ohjelmassa tehty savutien aukiolon valvonta.....   | 45 |
| KUVIO 23 Valvomon ajotilasymbolit .....   | 47 |
| KUVIO 24 Lämpöpumpun ohjaussivun simulointi.....  | 47 |
| KUVIO 25 Lämpöpumpun lukitusikkuna .....  | 48 |

|   |    |
|---|----|
| KUVIO 26 Testilogiikan rakennusvaihe .....                                    | 50 |
| KUVIO 27 Logiikan muistinvaraus .....   | 51 |
| KUVIO 28 Pääsähkökeskus keskusvalmistuksessa .....                            | 53 |
| KUVIO 29 Laitteisto sähköasennukset rakennusvaiheessa, sekä FAT –testaus..... | 54 |
| KUVIO 30 Eri osa-alueiden vaikutus sähköistyksen kokonaishintaan.....         | 57 |
| KUVIO 31 SIA - kustannusten nousu prosentteina.....                           | 58 |

## **Liitteet**

|   |    |
|---|----|
| Liite 1 Kustannuslaskelma aiemmalle pääjärjestelmälle ..... | 63 |
| Liite 2 Kustannuslaskelma uudelle pääjärjestelmälle .....   | 64 |
| Liite 3 Turvallisuuden eheystason todennuslaskelma .....    | 65 |

## 1 Työn ja toimeksiantajan esittely

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii teknologiayritys Caligo Industria Oy, jonka päätoimialana on tuottaa järjestelmäratkaisuja energia- ja prosessiteollisuuden savukaasujen puhdistukseen sekä prosessien energiatehokkuuden parantamiseen mm. hukkalämpöä hyödyntäen. Yritys tuottaa myös prosessilaitosten lauhdevesien käsittely-yksiköitä. Caligo Industria Oy:n päätuote on biolämpö- ja voimalaitoksiin sijoitettava märkä savukaasupesuri, joka puhdistaa savukaasuja sekä siirtää niistä saadun hukkalämmön laitoksen kaukolämpöverkkoon parantaen prosessin energiatehokkuutta merkittävästi.

Caligo Industria Oy:n savukaasupesurit sisältävät toimituksesta riippuen patentoidun lämpöpumppukytkennän, jolla pystytään innovatiivisen kytkennän ansioista parantamaan merkittävästi savukaasuista saatavan hukkaenergian talteenottoa. Lämpöpumppukytkentä mahdollistaa pesurin ajamisen myös sellaisissa tilanteissa, joissa perinteiset lauhdutin pesurit menettävät lämmöntalteenottokykynsä.

Yrityksen tuotteet koostuvat tehdaskoeistetuista moduuleista, joita yhdistetään asiakastarpeiden mukaisesti. Savukaasupesureiden lisäksi valmistetaan erillisiä lauhteenkäsittely-yksiköitä, joilla puhdistetaan prosesseista syntyneitä lauhdevesiä. Tehdaskoeistetut moduulit ovat tehtaalla valmiiksi sähköistettyjä ja ohjelmistoltaan testattuja kokonaisuuksia, jotka kuljetuksen jälkeen nostetaan käyttövalmiina pakettina osaksi tuotantoprosessia.

Caligo Industria Oy työllistää viisi henkilöä, jotka toimivat projektien myynti, valvonta- sekä suunnittelutehtävissä. Yrityksellä on kaksi toimipistettä, joista pääkonttori on Turussa ja suunniteluyksikkö Jyväskylässä. Caligo Industria Oy on suunnittelutoimisto Elomatic Oy:n tytäryhtiö, ja näin ollen se hyödyntää tarvittaessa suunnittelu- ja konsultointiapua emoyhtiön puolelta projektien eteenpäin viemisessä. Elomatic Oy on noin 700 hengen kansainvälinen konsultti- ja suunnittelupalveluja tarjoava yritys.

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää olemassa olevaa ja jo valmiiksi tuotteistettua savukaasupesurin automaatiojärjestelmää.

## 2 Savukaasupesurin toiminta ja sen automaatiojärjestelmä

Savukaasupesuritekniikan avulla puhdistetaan kattilalaitoksen tai muun kaasuja tuottavan prosessin savukaasuja hiukkasista, neutraloidaan savukaasujen sisältämiä rikkiyhdisteitä sekä otetaan talteen savukaasujen sisältämää energiaa. Savukaasujen sisältämä energia voidaan siirtää osaksi kaukolämpöverkon lämmöntuotantokapasiteettia tai vaikka kuivatusenergiaksi lämmöntuotannon ulkopuoliseen prosessiin. Ulkopuolisena sovelluksena voi toimia esimerkiksi sahateollisuuden prosessit.

Kaukolämpö on Suomessa yleisimmin käytetty lämmitysmuoto ja hieman alle 3 miljoona suomalaista hyödyntää kaukolämpöä asuntonsa lämmittämiseen.

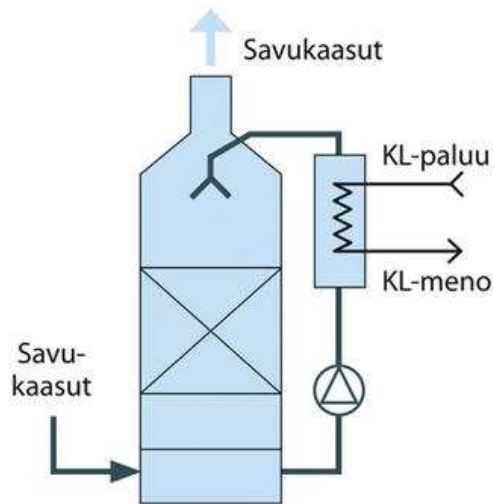
Kaukolämpöverkossa prosessista tuleva energia siirretään kuumen kaukolämpöveden avustuksella lämmitettäviin kiinteistöihin, joissa lämmönvaihtimien välityksellä energia siirretään talon omaan lämmönjakeluverkostoon. Kaukolämpö on ympäristöystävällinen tapa lämmittää sen energiatehokkuuden takia, sillä kaukolämmön tuotannossa pystytään hyödyntämään prosessien hukkaenergiaa.

(Kaukolämmitys. 2016.) Prosessien energiaa saadaan talteen mm.

sähköntuotannossa syntyvästä lämmöstä, sekä lämmöntuottoa pystytään merkittävästi tehostamaan kuumista savukaasuista lämpöä talteenottavan savukaasupesurin avulla.

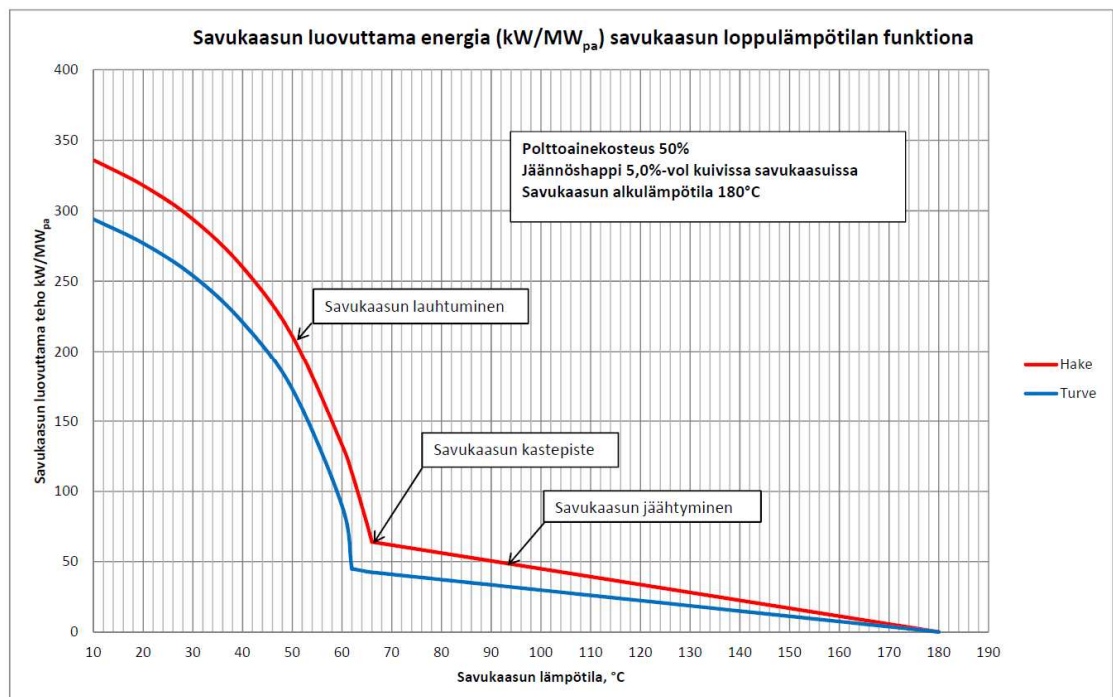
Alla olevassa kuviossa on esitetty perinteisen märkäpesuritekniikan päävirtauskaavio. Kuviosta havaitaan, että savukaasut johdetaan pesuritornissa sijaitsevan täytekalderroksen lävitse, jonka jälkeen savukaasut päätyvät puhdistettuina savukaasukanaviston kautta savupiippuun. Puhdistus suoritetaan suihkuttamalla pesurin pohjalla olevaa vettä savukaasujen sekaan, jolloin myös kemiallisesti neutraloimalla poistetaan kaasujen sisältämiä rikkiyhdisteitä. Märkäpesurilla SO<sub>x</sub>-rikkiyhdisteiden poisto onnistuu lähes täydellisesti. (Järvenreuna & Nummila 2016, 4).





KUVIO 1 Savukaasupesurin päävirtauskaavio (Järvenreuna & Nummila 2015, 2.)

Savukaasujen sisältämä hukkaenergia otetaan talteen pesurissa tapahtuvan savukaasujen lauhtumisen seurauksena. Pesurissa lauhtuneen veden energia siirretään kaukolämpöverkkoon lämmönvaihtimen avulla, jossa sen korkeamman lämpötilan ansiosta myös kaukolämpöverkon lämpötila nousee. Lauhtumista alkaa tapahtumaan pesurissa, kun savukaasujen lämpötila laskee suutinveden ansiosta alle kastepistelämpötilan. Seuraavassa kuvioista nähdään kastepistelämpötilan saavuttamisen etu pelkkään savukaasujen jäähtymiseen verrattuna.



KUVIO 2 Savukaasujen luovuttama energia. (Nummila 2015, 5.)

Kastepistelämpötila on kaasulle ominainen piste, jossa sen sisältämä höyry alkaa muuttumaan takaisin vedeksi. Tässä pisteessä energiaa vapautuu aineen olomuodon muutoksen ansioista runsaasti. Kastepistelämpötila on riippuvainen käytettävästä polttoaineesta ja itse polttotapahtumasta, kuten palotapahtuman happikertoimesta. (Nummila 2016.)

Jos kastepistelämpötilaa ei onnistuta saavuttamaan esimerkiksi korkean kaukolämpöverkon paluulämpötilan takia, tällöin pesuri alkaa toimimaan haihduttimena. Haihduttaminen kuluttaa energiaa, jolloin savukaasupesurin lämmöntalteenottokyky romahtaa. Haihtuneen pesuriveden hävikkiä joudutaan tällöin myös korjaamaan lisäämällä pesuriin raakavettä. Huonon lauhtumisen seurauksena myös pesurissa tapahtuvan hiukkaserotuksen hiukkaset kasaantuvat herkästi pesurin pohjalle aiheuttaen lieteongelmia, koska pesurilauhde toimii hiukkasten kantoaineena lauhdevesien käsittelyjärjestelmään.

Perinteisellä savukaasupesurilla saavutetaan käytännössä parhaimmillaan noin 15 prosentin lämmöntalteenotto kattilatehoon verrattuna. Pesuritekniikan ansiosta prosessin hyötysuhde voikin laskennallisesti nousta yli 100 % tasolle, johtuen laskennassa käytettävän polttoainetehon määrittystä kuivalle polttoaineelle. Kyseinen laskentamalli ei siis ota huomioon pesurissa tapahtuvan faasimuutoksen tuomaa energiaa, vaan se näkyy lisäyksenä kokonaishyötysuhteessa. (Nummila 2016.)

Talteenoton tehokkuuteen vaikuttavat poltettavan aineen ominaisuuksien, kuten sen kosteus, lisäksi huomattavasti kattilalaitosprosessin ominaisuudet. Merkittävimpiä suureita pesurin toiminnalle onkin kaukolämpöverkon paluulämpötila, jos lämmönvaihtimelle palaava lämpötila on korkeampi kuin kyseisen prosessin kastepistelämpötila, niin tällöin lauhtumista ei pesurissa saada aikaiseksi.

Kyseinen tekniikan etuina on sen edullinen ja yksinkertainen rakenne, sekä halvat käyttökustannukset pienen sähkönkulutuksensa ansiosta. Kyseisellä tekniikalla ei tarvitse myöskään vaikuttaa itse kattilan palamisprosessiin, vaan laitteisto toimii itsenäisenä prosessin osana. Perinteisen pesuritekniikan lämmöntalteenottokykyä pystytään tehostamaan erilaisilla palamisilman kostuttimilla tai lämpöpumppukytkenöillä.

### 2.1.1 Lämpöpumppukytkentäinen savukaasupesuri

Perinteistä savukaasupesuritekniikkaa voidaan tehostaa käyttämällä lämpöpumppua. Caligo Industria Oy on kehittänyt ja patentoinut lämpöpumppukytkentäisen savukaasupesurin, jonka ansiosta lämmöntalteenottoa pystytään kasvattamaan merkittävästi. Prosessin tehokkuus perustuu lämpöpumpun höyrystimen lävitse ajettavan osakaukolämpövirran lämpöenergian pumppauksesta suoraan pesurin poistolinjaan, tämän ansiosta saadaan viilennettyä pesurisuutin vesi. Tällöin pystytään varmistamaan kastepistelämpötilan saavuttaminen ja tehostamaan prosessin energiatehokkuutta huomattavasti. Kastepisteen saavuttaminen on tärkeää etenkin tilanteissa, joissa kaukolämpöverkon paluuveden lämpötila on korkea, tällöin perinteinen savukaasupesuri alkaa lämmöntuotannon sijasta toimimaan haiduttimena eikä energian tuottamiseen tarvittavaa lauhtumista pesurissa pääse syntymään.

Lämpöpumppukytkentäisellä savukaasupesurilla pystytään merkittävästi tehostamaan lauhtumistoimintoa. Aiemmassa kuviossa esitetyn mukaisesti nähdään, että mitä enemmän savukaasuja lauhdutetaan, sitä enemmän niistä saadaan vapautumaan energiaa.

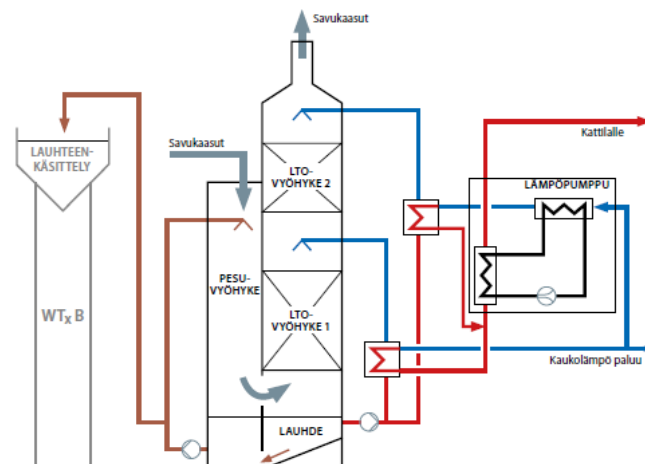
Lämpöpumpun toimintaa optimoidaan automaation avulla prosessisuureiden mukaan. Pumpputeknologian avulla pesurin suutinveden lämpötilaa alennetaan keskimäärin noin 15 astetta, jonka ansiosta lauhtumista tapahtuu pesurissa runsaasti. Tämän ansiosta lämpöpumpulla saavutettu savukaasujen lauhtuminen lisää prosessin tehokkuutta. Lämpöpumppukytkentäisillä savukaasupesureilla voidaan saada 25 – 40 % lämmöntalteenottoteho kattilatehosta, polttoainekosteudesta ja poltettavasta materiaalista riippuen, joka on merkittävästi enemmän perinteiseen lauhtutinpesuriin verrattuna.

Lämpöpumpun toiminta perustuu lämpöenergian siirtämiseen lämpöpumpun sisäisessä kierrossa olevan aineen olomuodonmuutosten avulla. Lämpöpumpun höyrystin lämmönvaihtimella nestemäisessä oleva aine kaasuuntuu, jonka jälkeen kaasu tulistuu ja komprimoidaan kompressorilla korkeampaan paineeseen ja lämpötilaan. Korkeammassa paineessa oleva kaasu pumppautuu komprimoinnin myötä lauhtutin lämmönvaihtimille, jossa se lauhtumisen myötä palaa takaisin nesteeksi luovuttaen runsaasti energiaa. Lauhtumista ja sen painetasoa säädellään lauhtuttimen jälkeisel-

lä paisutusventtiilillä, kyseisen venttiilin jälkeen sisäisessä kierrossa oleva aine on palannut takaisin nesteeksi ja valmiina uuteen höyrystyskierrokseen. Energian siirron myötä lämpöpumppu viilentää höyrystimen lävitse menevää toisiopuolen virtaamaa siirtäen sen sisältämää energiaa lauhduttimelle. Prosessi on toiminnaltaan lähes energiahäviötön, sillä komprimoimiseen käytetty sähköenergia vapautuu myös lauhdutuksen seurauksena lämpöenergiana. Tämän johdosta laitteiston energiatasapainon kannalta ainoa häviö on laitteiston ulospäin säteilemä hukkaenergia.

Laitteiston käytössä tulee huomioida kuitenkin sähkö- ja lämpöenergian hinnoitteluerot. Laitteiston optimaalinen käyttäytyminen varmistetaan oikeanlaisella laitemitoituksella, sekä sen käyttöautomaation avulla. Pääsääntöisesti laitteistoja pyritään ajamaan yli  $7 \text{ COP}_H$  - arvolla, joka tarkoittaa laitteiston lämmönsiirron suhdetta sen käyttämään sähköenergiaan.

Kyseistä tekniikkaa käytettäessä pesurin pesutapahtuma suoritetaan pesuvyöhykkeessä ja perinteisestä pesuritekniikasta eroten lämmöntalteenottovyöhyke on varustettu kahdella tätekappalekerroksella. Alempi tätekappalekerros toimii perinteisen märkäpesuritekniikan mukaisesti ja ylemmän käyttöä optimoidaan lämpöpumppua käyttäen kokonaisenergiatehokkuus huomioiden. Alla olevassa kuviossa on esitetty lämpöpumppukytkentäisen savukaasupesurin päävirtauskaavio. Kaaviossa on esitetty myös pesurissa syntyneen lauhdeveden puhdistukseen käytettävä lauhteenkäsittely-yksikkö.

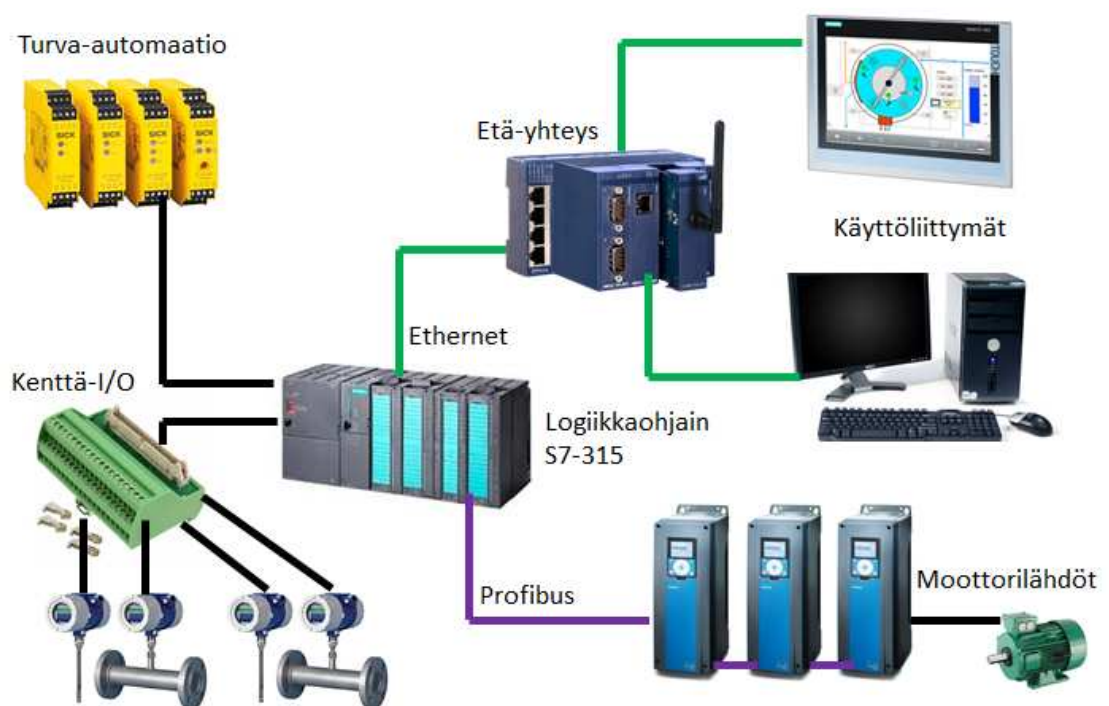


KUVIO 3 Lämpöpumppukytkentäisen savukaasupesurin päävirtauskaavio (Järvenreuna & Nummila 2016, 3.)

Lauhteenkäsittely-yksikköön ajetaan pesurin pinnansäädön avulla pesurissa syntynyttä likaista lauhdevettä, jossa se selkeytetään sekä hiekkasuodatetaan. Selkeyttimessä lauhdevedestä erottunut liete pumpataan tapauksesta riippuen joko kattilalaitoksen tuhkakuljettimille tai se kerätään talteen säkitysjärjestelmän avulla. Kiintoaineeta puhdistunut ja neutraloitunut lauhdevesi ajetaan viemäriverkostoon.

### 2.1.2 Kehitettävä automaatiojärjestelmä

Savukaasupesureiden toiminnallinen ohjaus on toteutettu Siemensin S7-315 ohjelmoitavan logiikkaohjaimen avulla. Ohjelmoitava logiikka suorittaa laitteiston tarvittavat ohjaus- sekä säätötoiminpiteet, sen ohjelmointi on suoritettu Siemens TIA-Portal V12 ohjelmistolla. Alla olevassa kuviossa 4 on esitetty periaatteellinen rautalankamalli käytetystä tekniikasta, sekä niiden liitettävyydestä toisiinsa.



KUVIO 4 Kehitettävän savukaasupesurin automaatiojärjestelmä

Logiikkalaitteiston CPU-yksikön perään on kalustettu digitaalisia- ja analogisia kenttäsignaaleita varten riittävä määrä IO-kortteja, joihin on nopeamman valmistuksen sekä virheettömämmän välikaapeloinnin takaamiseksi liitetty kenttäsignaalit Phoenix Contactin valmistamien valmiskaapeloitavien riviliitinpalkkien välityksellä. Riviliitinpalkkeihin liitetään kenttäsignaalit, kuten paine-, lämpötila- sekä virtausmittaukset. Riviliitinpalkkien avulla tehdään myös IO-korttien tarvitsema 24 voltin jännitteenjako.

Noin 100:n langoitetun kenttäsignaalin lisäksi laitteisto on varustettu Profibus DP – väyläratkaisulla, joka huolehtii mm. moottorilähtöjen taajuusmuuttajien ohjauksista sekä lämpöpumppumoduulin CPU:n tiedonkeruusta. Kyseistä väylää käytetään myös siirtämään tietoja kattilalaitoksen logiikkaohjaimelle Profibus DP/DP Couplerin välityksellä. DP/DP Coupler toimii väylässä puolueettomana väyläsolmuna kahden master järjestelmän välillä, sen kautta siirretään pesurilaitteiston tärkeimmät mittaukset sekä hälytykset kattilalaitoksen logiikalle, ja vastaavasti kattilalaitoksen logiikalta haetaan informatiivisia tietoja kulloisestakin palotapahtumasta.

Laitteiston on tavallisten kenttäsignaalien lisäksi varustettu myös turva-automaatiolla, se on toteutettu turvareleiden sekä turvaluokiteltujen signaalien monistajien avulla. Signaalien monistajilla haaroitetaan turvaluokiteltuja signaaleita itse turvapiirille ns. kovan puolen kytkentänä, sekä ohjelmoitavalle logiikkaohjaimelle sen ohjelmiston ohjauksien ja sekvenssien käytettäväksi. Turva-automaation tehtävä on suojella laitteistoa vaarallisilta tilanteilta, ja vakavan tilanteen havaittua sen tehtävä on ohjata prosessi turvalliseen tilaan. Valvottavia kohteita kyseisessä laitteistossa ovat mm. savutien sekä kaukolämpölinjaston aukiolojen valvonnat.

Laitteisto on varustettu tuotteistetulla WinCC Advanced V12 pohjaisella käyttöliittymällä, käyttöliittymä mahdollistaa laitteiston ohjauksen sekä antaa hälytyksiä niitä esiintyessä. Laitteistossa on pääsääntöisesti kaksi ohjauspistettä, toinen on savukaasupesurin pääsähkökeskuksen oveen sijoitettu kosketusnäytöllinen operointipaneeli, ja toinen kattilalaitoksen valvomotilassa tiedunkeruuta suorittava valvomo-PC. Valvomolaitteistojen Ethernet -pohjaiset signaalit välitetään etäyhteys modeemin sisäverkon kytkimen kautta. Etäyhteysmodeemi mahdollistaa myös laitteiston etäkäytön ja etätuen antamisen, kuten ohjelmistopäivityksien lähettämisen laitteistoon Internetissä olevan pilvipalvelun välityksellä suojatun VPN-yhteyden avulla.

### **3 Kehitysprojektin aloitus**

Kehitysprojektissa tehtiin savukaasupesurin automaation ja sen sähköjärjestelmän tuotekehitysprojekti, jolla pyrittiin parantamaan laitteiston ominaisuuksia vastaamaan entistä paremmin asiakkaiden tarpeita, sekä takaamaan laitteistolle tehtyjen muutosten avulla kustannustehokkaampi sekä pidempi elinkaari.

Tavoitteena oli myös nopeuttaa laitteiston valmistusta. nopeammalla valmistuksella uskottiin olevan läpimenoaikojen leikkaamisen lisäksi vaikutusta laitteiston valmistuskustannuksiin.

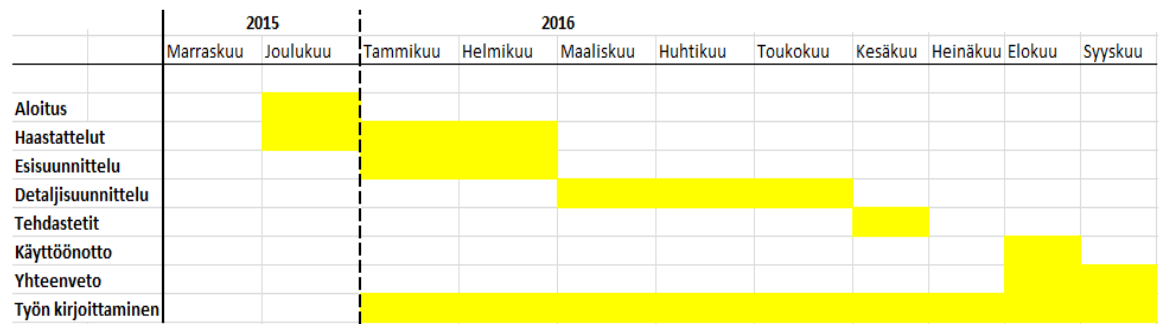
Kehitysprojektin tavoitteena oli tutkia asiakkaiden kokemuksia ja kehitysehdotuksia järjestelmän suhteen, sekä käynnistää sisäinen esisuunnitteluprojekti uusien hyödyllisten teknisten ominaisuuksien kartoittamiseksi. Esisuunnittelun pohjalta haluttiin kartoittaa tuotteeseen siirrettäviä uusia ominaisuuksia, sekä niiden vaatimaa siirtymäaika suunnittelusta tuotantoon.

Kehitysprojekti aloitettiin pitämällä sisäinen palaveri mahdollisista sähkö- ja automaatiojärjestelmän kehitystarpeista. Palaveriin kutsuttiin osaanottajiksi automaatio-suunnitteluhenkilöstön lisäksi henkilöitä, jotka vastaavat laitteiston mekaniikka- ja prosessisuunnittelusta, sekä myynnistä. Laaja-alaisella osaanottajakunnalla haluttiin saada laitteiston eri sektorien parissa työnkenteleviltä henkilöitä näkemyksiä kehitystarpeista, sekä samalla käydä lävitse mahdollisesti muille osa-alueille kaavailtuja muutoksia. Mahdollisten muutosten huomioiminen nähtiin tärkeänä, jotta päivityksen yhteydessä myös uudet tarpeet automaatiojärjestelmälle otettaisiin mahdollisimman aikaisin huomioon suunnittelutyön tehostamiseksi. Muutosten lisäksi käytiin lävitse alkavia uusia projekteja aikataulutuksineen, jotta pystyttiin hahmottelemaan alustavia aikaraameja kehitysprojektille ja sen tuotosten viemiselle seuraaviin asiakasprojekteihin.

Tärkeimpinä kehityskohteina nähtiin automaation logiikkalaitteiston nykyaikaistaminen ja turva-automaation kehittäminen, sekä kentällä tehtävän asennustyön nopeuttaminen. Muutoksien vaikutusta kokonaiskustannuksiin haluttiin myös arvioida ennen varsinaisten muutosten tekemistä lopputuotteeseen.

Palaverissa selvisi, että tulevat mekaaniset ja prosessitekniset päivitykset eivät tule muokkaamaan merkittävästi olemassa olevaa toteutuskonseptiä, eikä täten vaikuta merkittävästi uusien kehitysajatusten innovointiin. Kehityspalaverissa nähtiin myös yksimielisesti tärkeäksi haastatella laitteiston parissa työnkenteleviä henkilöitä käyttäjäkokemusten kartoittamiseksi.

Projektin alussa nähtiin hyödylliseksi aikatauluttaa kehitysprojektin eri vaiheet projektin etenemisen seuraamista varten. Alla olevassa kuviossa on esitetty hahmotelma aikataulusta, jota pyrittiin noudattamaan. Mikäli jokin vaihe valmistuisi aiemmin, niin tällöin jatkettaisiin seuraavasta projektin askeleesta. Aikataulutusta rakennettiin alkavan asiakasprojektin viikkokohtaisen projekti aikataulun asettamien reunaehtojen mukaisesti. Kehitysprojekti käynnistettiin joulukuussa 2015.



KUVIO 5 Kehitysprojektin aikataulut

Projektin alussa hyväksyttiin kehitysprojektin tekeminen palaverissa, sekä käytiin pääpiirteet projektin vaikutuksista, sekä sen viemästä ajasta. Tavoitteeksi asetettiin projektin valmistumiselle seuraavan asiakasprojektin toimitus ja käyttöönotto. Projektin alkuun varattiin liukuvasti kolme kuukautta asiakastytyvyyden kartoittamista varten, saman aikaisesti päätettiin tehdä myös esisuunnittelua.

Esisuunnittelun valmistumiselle asetettiin tavoitteeksi helmikuun 2016 loppu, jonka jälkeen päätettiin katsoa suunnittelun tulokset ja syntyneet kehitysehdotukset muun suunnitteluryhmän kanssa lävitse. Tämän jälkeen varattiin kolme kuukautta varsinaiselle asiakasprojektin suunnittelulle, sekä kehitysehdotusten viemiseksi valmistuotteeseen. Varsinainen suunnittelu tulisi olla ohjelmistoinen valmis toukokuussa, sillä kesäkuussa olisi asiakasprojektin tehdastestaukset ja vesikoeajot. Sähkösuunnittelun tuli olla valmiina jo aiemmin, jotta mm. tilattavat sähkökeskukset ennättäisi ajoissa työmaalle.

Vesikoeajot tehtaalla suoritettaisiin kesäkuun aikana sähköasennusten valmistuttua, ja varsinainen laitteiston käyttöönotto elokuussa asiakkaan kattilalaitosprojektin valmistuttua. Tämän jälkeen varattiin kuukausi aikaa tehdä yhteenvedo projektin onnistumisesta. Projektia päätettiin dokumentoida koko sen keston ajan, ja lopuksi pitää yhteenvetopalaveri tehdyistä muutoksista ja niiden vaikutuksista.



### 3.1 Asiakastyytyväisyyskysely

Aiemmin Caligo Industria Oy:n savukaasupesureita ostaneille asiakkaille päätettiin tehdä asiakaskysely liityen laitteiston automaatioon ja sen käytettävyyteen. Kyselyllä haluttiin kartoittaa laitteiston parissa työskenneiltä käyttöhenkilöiltä käyttökoke- muksia ja parannusehdotuksia laitteiston yleisen käytettävyyden parantamiseksi. Kysely nähtiin myös esiin tulevien kehitysehdotusten lisäksi yhdeksi hyväksi tavaksi huolehtia olemassa olevista asiakkuuksista. Saatu palaute käsiteltiin sisäisesti Caligo Industrian henkilökunnan kehityspalaverissa, jossa tehtiin yhteenveto tuloksista sekä kehityssuunnista.

Kyselyt päätettiin suorittaa keskustelemalla asiakkaiden kanssa joko puhelimitse tai aiemmillä työmailla vieraillessa. Kirjallisen palautteen pyytäminen nähtiin laitospaatoorien kiireellisyydestä johtuen turhan etäiseksi tavaksi lähestyä, lisäksi pelkona nähtiin vastausprosentin jäävän turhan alhaiseksi. Suullista haastattelua puolsi myös se, että Caligo Industria on kymmenen toimituksen kokemuksen omaava aloitteleva teknologiayhtiö, joka haluaa panostaa läheisiin asiakassuhteisiin ja reagoida asiakkaan toiveisiin asiakaslähtöisesti.

Asiakkaiden edustajia haastateltiin vapaamuotoisesti keskustellen heidän käyttökoke- muksista laitteiston toimivuuteen ja luotettavuuteen liittyen, sekä kysyttiin mielipi- teitä sähköisten komponenttien toimivuudesta kyseisessä käytössä. Samalla annetiin asiakkaan edustajille koulutusta heille mahdollisesti epäselvissä asioissa laitteis- toon liittyen. Kartoituksessa haluttiin painottaa myös käyttöliittymän toimivuutta, sillä sen visuaaliseen tuotekehitykseen oli jo panostettu aiemmin huomattavasti. Se on käyttäjälle näkyvin rajapinta laitteiston toimivuutta silmällä pitäen.

Vastauksista ilmeni, että laitteistoa pidetään teknisesti luotettavana sähköisten kes- kuskomponenttiensa ja kenttäinstrumenttiensa osalta. Vastauksia analysoitaessa tosin havaittiin, että etenkin pääsähkökeskuksen sisäisistä komponenteista saatiin hyvin niukasti kommentteja. Tämä ajateltiin selittyvän sillä, että sähkökeskukset ovat toimineet moitteitta ilman laiterikkoja, sekä kyseisen tekniikan olevan jo varsin koe- teltua kyseiselläkin prosessiteollisuuden alalla. Sähköasennusten siisteydestä sen sijaan tuli useammaltakin käyttäjältä positiivista palautetta.

Sähkötekniisiä asioita enemmän kommentteja saatiin koskien laitteiston toimivuutta ja sen käyttöliittymää. Käyttöliittymää pidettiin siististi toteutettuna ja helppokäyttöisenä, niin tuoreimpien kuin jo useammankin lämmityskaudenkin laitteiston parissa työskennelleiden keskuudessa. Operointihenkilöiltä nousi kuitenkin esiin muutamia toiveita uusista ominaisuuksista, joita toivottiin käyttöliittymästä löytyvän. Kyseiset kehitysehdotukset otettiin avoimin mielin vastaan, ja pohdittiin niiden toteuttamismahdollisuuksia.

Erääksi suurimmaksi kehitystoiveeksi useamman asiakkaan kohdalla nousi valvomonäytön hälytyssivun kehittäminen. Hälytystekstit haluttiin selkokielisemmiksi, aiempien KKS-laitepositioiden sijasta. Tämän lisäksi hälytyksiin toivottiin selvyyttä siitä, mikä on kriittinen välittömän laitteiston alasajon aiheuttava hälytys ja mikä ei niin kriittinen vikatilanne. Kyseinen ominaisuus nähtiin tärkeäksi etenkin silloin, jos ongelmatilanteessa on tullut useampi hälytys, ja käyttäjälle ei ole täyttä varmuutta laitteiston alasajon syystä. Epävarmuutta esiintyi etenkin sellaisten käyttäjien kohdalla, joille laitteisto ei ollut vielä niin tuttu, kuten etävalvomon henkilökunnalle. Kyseisen palautteen perusteella hälytystekstit päätettiin tehdä monimuotoisemmiksi, sekä lisätä niihin luokittelua varoitusten ja alasajojen osalta. Tämän lisäksi hälyttävän tekstirivin lisäksi päätettiin rakentaa ylimääräinen infotekstikenttä kuvaamaan ilmenneen ongelman ratkaisua.

Lämpöpumpun ollessa oleellinen osa laitteiston tehokasta lämmöntuottoa ja sen tehokkuuden seuraamista, näkivät jotkut käyttäjät tarpeelliseksi lisätä informaatiota lämpöpumpun prosessin tilasta. Tämän johdosta päätettiin rakentaa lämpöpumpun prosessin prosessikuva putkituksineen uusiksi, sekä koota sinne helpommin nähtäville informatiivisia mittaustietoja ja laskennallisia arvoja. Aiemmin kyseiseen prosessin osaan liittyviä tietoja oli jaettu useammalle alisivulle, joka nähtiin operoinnin kannalta epäedulliseksi tavaksi esittää prosessisuureiden vaikutusta toisiinsa.

Eräässä palautteessa toivottiin myös GSM – tekstiviestihälytysten lähetyksen poiskytkemismahdollisuutta, mikäli laitoksella on henkilökuntaa paikalla. Kyseiseen toiveeseen päätettiin reagoida hälytysten sallintapainikkeella valvomossa. Toiveissa oli myös hälytysrajojen muokkausmahdollisuus. Kyseinen toive päätettiin toteuttaa, mutta parametrien vaihtosivu piilotettaisiin salasanalla suojattuna valvomoon siten, että laitteiston takuuajana parametrejä pääsisi muokkaamaan vain Caligo Industrian

henkilökuntaan kuuluvat. Kyseinen ominaisuus nähtiin hyödylliseksi myös laitteiston koeistuksia silmällä pitäen.

Uutena ominaisuutena logiikkaohjaukseen toivottiin myös automaattista pysäytys ja sammutustoimintoa. Järjestelmä on varustettu jo entuudestaan laitteiston ylös- ja alasajosekvensseillä, jotka hoitavat laitteet automaattisesti haluttuun tilaan, joko käynnistäen laitteiston tai sammuttaen savukaasupesurin askelmaisesti turvalliseen seis -tilaan. Uutena ominaisuutena sekvenssejä haluttiin hallita ulkoisilla ehdoilla automaattisesti, ilman että käyttäjä käynnistää tai sisäinen lukitus sammuttaa laitteiston sekvenssien avulla. Liipaiseva ehtona automaattikäynnistykseksi haluttiin kattilateho, kyseisellä ominaisuudella haluttiin lisätä laitteiston käyntitunteja sellaisina vuoden aikoina kun savukaasupesurin tuottama lisäteho on osan aikaa vuorokaudesta liian suurta kattilan minimitehoon nähden. Tällaisissa ajotilanteissa, jotka esiintyvät lähinnä keväisin ja syksyisin, operaattorit toivoivat laitteiston automaattista käynnistymistä etenkin yöaikaan ilman viiletessä. Talvikauden LTO-pesurit pyörivät yhtäjaksoisesti. Järjestelmään nähtiin mahdolliseksi luoda kyseinen ominaisuus valintakytkimellä, jolla ominaisuuden saa turvallisuussyistä pois kytkettyä, esimerkiksi huoltojen ajaksi. Järjestelmään nähtiin myös tarpeelliseksi lisätä riittävä informaatio operointinäytölle siitä, että laitteistokokonaisuus odottaa automaattikäynnistyneen täyttymistä.

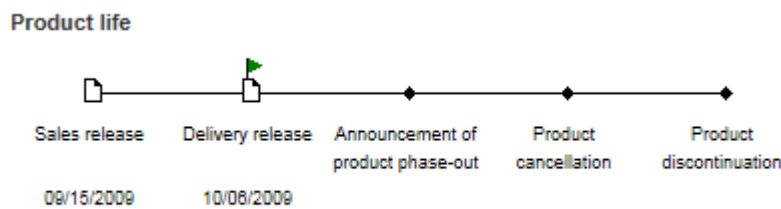
Asiakastyytyväisyyskyselystä saatuja palautteiden perusteella voitiin siis päätellä, että asiakkaat ovat olleet tyytyväisiä laitteiston sähköistyksen sekä sen automaation toimintaan. Muutamia esiin tulleita kehitysehdotuksia päätettiin viedä uudistuksina vakiotuoteratkaisuun, sekä toteuttaa kehitysehdotuksia esittäneiden asiakkaiden toiveet päivittämällä heidän käyttöliittymän automaatiota uusilla toivotuilla ominaisuuksilla.

### 3.2 Järjestelmäpäivitys

Asiakaskyselyn tuottamien kehitysehdotusten lisäksi päätettiin pitää sisäinen kehityspalaveri, jossa käytiin lävitse kehitysehdotuksia savukaasupesurin automaatiikkaan ja sähköjärjestelmiin liityen. Yhdeksi merkittävimmäksi kehityskohteeksi nähtiin nykyinen ohjelmoitava logiikkajärjestelmä.

Käytössä olleen Siemens S7-315 2 PN/DP (Siemens tuotekoodi: 6ES7315-2EH14-0AB0) 300-sarjan logiikkaohjaimen varsinainen myynti ja markkinointi tulee päätymään muutaman vuoden kuluttua, tämän jälkeen tuotetta saa edelleen varaosahinnoiteltuna varaosana sen aikaa kuin tuotteita on saatavilla. Tuote tullaan korvaamaan uudemmalla S7-1500 -sarjan logiikkaohjaimilla.

Alla olevasta tuotteen elinkaarikuvioista nähdään, että Siemens ei ole antanut vielä virallista päivämäärä tuotteen varsinaisen myynnin lakkauttamiselle, mutta Siemensin teknisentuen arvioiden mukaan se tulee olemaan muutaman vuoden sisällä.



KUVIO 6 Siemens S7-315 2 PN/DP tuotteen elinkaarijana. (Siemens industry online support. viitattu: 15.9.2016.)

S7-1500 sarja lanseerattiin jo useampi vuosi sitten Siemensin toimesta, ja jo tällöin ennakoitiin sen korvaavan piakkoin poisjäävä pitkänlinjan 300-sarja. Tämän johdosta haluttiin varmistaa tuotteen monistettavuuden ja varaosien saatavuuden takia jo etukäteen laitteiston nykyaikaisuus, ja päädyttiin vertailemaan eri vaihtoehtoja uudelle automaatio-ohjaimelle.

### 3.2.1 Uuden logiikkaohjaimen valinta

Lähdettäessä tekemään esisuunnittelua uutta logiikkaohjainta määritettäessä tärkeimpinä ominaisuuksina pidettiin laitteiston soveltuvuutta kyseisen prosessin ohjaamiseen, sekä tarvittavien tiedonsiirtorajapintojen ja väylätekniikoiden liitettävyyttä järjestelmään. Uutta logiikkaohjainta määritettäessä haluttiin painottaa myös järjestelmän kustannustehokkuutta, sekä nykyisen ohjelmakoodin helppoa käännettävyyttä uudelle prosessiohjaimelle.

Olemassa olevan ohjelmakoodin helpompi uudelleenkäytettävyys rajasi selvitystyön Siemensin tarjoamiin ratkaisuihin, tätä valintaa tuki myös ohjelmointihenkilöstön suurempi tekninen tietämys kyseisen valmistajan tuotteista verrattuna kilpaileviin

logiikkamerkkeihin. Kyseisen valmistajan tuotteet ovat myöskin prosessien ohjauksissa yleisesti hyväksytyjä ja paljon käytettyjä energiatekniikan alalla. Mikä helpottaa laitosten ylläpitäjien varaosakannan hallintaa, sekä helpottaa mahdollisten kommunikaatorajapintojen rakentamista eri alajärjestelmien kesken.

Tarkastelun alle otettiin Siemensin kaksi uusinta ohjelmoitavien logiikoiden sarjaa, S7-1200 ja S7-1500. Kyseisten tuotteiden elinkaari nähtiin pitkänä niiden uutuuden takia, ja toisaalta S7-1200 sarjasta oltiin saatu jo aiemmin arvokasta käyttökokemusta muiden pienempien projektien osalta. 1200-sarja on edullisempi ja kompaktimpi ratkaisu verrattuna 1500-sarjaan, silti sen tehokkaimmat CPU –yksiköt kykenevät pyörittämään kuitenkin laajojakin IO-kokonaisuuksia. Sen heikkoutena nähtiin kuitenkin aiemmin 300-sarjan logiikoissa olleen PID -säätäjän puuttuminen. Kyseisessä logiikkasarjassa aiemmin käytetty PID-säätäjä on korvattu yksinkertaisemmalla Compact PID -ominaisuudella, tämän johdosta olemassa oleva ohjelmakoodi nähtiin helpommaksi toteuttaa uudelleen 1500-sarjaa apuna käyttäen. Kyseinen logiikkasarja muistuttaa hardware rakenteeltaan muutoinkin enemmän 300-sarjan ohjaimia, ja onkin suunnattu valmistajan toimesta suoraan sen tehokkaaksi korvaajaksi.

Esisuunnittelun pohjalta päädyttiin valitsemaan tarkempaa teknistä suunnittelua varten 1500-sarja, jonne olemassa oleva ohjelma olisi helpompi kääntää, sekä sen nähtiin tarjoavan enemmän laajennusmahdollisuuksia sekä IO-liityntöjensä että ohjelmakoodin osalta paremman suorituskykynsä ansiosta.

Kyseinen ohjelmoitavien logiikoiden sarja pitää sisällään eri suorituskyvyn omaavia CPU-laskentayksiköitä. Esisuunnittelun tavoitteeksi asetettiin valita ominaisuuksiltaan parhaiden nykyistä 315 2 PN/DP vastaava prosessiohjain, joka sisältää kaksi Ethernet ja yhden Profibus –väyläliitynnän. Alla olevassa kuviossa on esitetty taulukoituna käytetyn logiikkaohjaimen suorituskyky ja hinta, näiden tietojen avulla pystytään vertaamaan aiemmin käytettyä CPU-yksikköä uuden sukupolven logiikkaohjaimiin.

**Overview**  
CPU-1513 / 1515 as replacement for the S7-300/400

**SIEMENS**

|                       | S7-300   |             | S7-400           |                  |                  | S7-1500          | S7-1500          |
|-----------------------|----------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| CPU Type              | 315-2 DP | 315-2 PN/DP | 412-1            | 412-2 DP         | 412-2 PN         | 1513-1 PN        | 1515-2 PN        |
| Interfaces            |          |             |                  |                  |                  |                  |                  |
| Program / Data Memory | 256 KB   | 384 KB      | 144 KB<br>144 KB | 256 KB<br>256 KB | 512 KB<br>512 KB | 300 KB<br>1.5 MB | 500 KB<br>2.5 MB |
| Bit-Performance       | 50 ns    | 50 ns       | 75 ns            | 75 ns            | 75 ns            | 40 ns            | 30 ns            |
| Width                 | 40 mm    | 40 mm       | 25 mm            | 25 mm            | 25 mm            | 35mm             | 70mm             |
| List price            | 1.377 €  | 1.944 €     | 1.116 €          | 2.169 €          | 2.509 €          | 1.380 €          | 2.060 €          |

KUVIO 7 Logiikkaohjaimien suorituskykyerot. (Simatic S7 Controllers 2015, 12.)

Kun verrattiin käytettyä logiikkaohjainta, kiinnitettiin huomiota sen laskunopeuden ja hinnan lisäksi siinä valmiina oleviin tiedonsiirtorajapintoihin. Vastaavan hintaluokan S7-1500 sarjan CPU-yksiköissä ei ole integroitua Profibus –väylää, mutta se pystytään lisäämään niihin lisä IO-kortin avulla. Uuden sukupolven ohjaimissa on huomattavana etuna ethernet -tiedonsiirtoa varten varatut kytkimelliset tupla portit, jotka mahdollistavat ethernet -väylän ketjuttamisen laitteen lävitse.

Vaikka S7-1500 –sarja muistuttaa huomattavasti edeltäjäänsä, niin se eroaa tukemiensa IO-korttien kytkentöjen lisäksi hieman tehölähdeajattelullaan edeltävästä mallisarjasta. 1500-sarjan havaittiin tarjoavan laajan tuen liitettävän IO-avaruuden osalta, sekä tukevan hyvin aiemmalle logiikkaohjaimelle tehtyä lähdekoodia.

Esisuunnittelussa päätettiin suunnittelun pohjaksi ottaa S7-1515 mallinen CPU, se on suorituskykyisempi kuin aiemmin käytössä ollut. Ylimitoituksella haluttiin varmistaa uuden logiikkasarjan muistin ja suorituskyvyn riittävyys ohjelmistokäännöksen jälkeen. Jatkossa ylimitoituksesta pystytään helposti tarvittaessa luopumaan, vaihtamalla pienempitehoinen ja –hintainen CPU yksikkö, kuten S7-1513.

### 3.3 Laitteiston turvallisuus ja turva-automaation esisuunnittelu

Turva-automaatiota käytetään suojelemaan käyttöhenkilökuntaa, omaisuutta, sekä ympäristöä prosessissa tapahtuvilta yllättäviltä vaara-tilanteilta. Turva-automaation käytölle on tehty standardeja, mutta niiden käyttöä ei vaadita lainsäädännössä, vaan

yleensä muuta yhtä pätevää todentamista laitteiston turvallisuudesta voidaan käyttää. Kuitenkin turvastandeja käyttämällä pystytään täyttämään niiden yleisen hyväksynnän takia EU direktiivejä sekä asiakaskohtaisia vaateita. Turvallisuuteen liittyviä täytettäviä määräyksiä on kuitenkin olemassa toimialakohtaisesti, ja turvastandardien mukaisella toiminnalla ja todentamisella pystytään varmistamaan laitteiston soveltuvuudesta kyseisiin vaadittuihin turvatoimintoihin. (Hakkarainen 2013, 10-16) Myöskin laitteistojen CE –merkinnän kannalta on tärkeää pystyä osoittamaan laitteistojen käytön turvallisuus luotettavasti valmistajan vakuutusta silmällä pitäen.

Savukaasupesurin toiminta prosessina sisältää muutamia laitteiston vikaantumiseen liittyviä vaaratekijöitä, joiden olemassa oloa valvotaan sekä niiden mahdollisesti aiheuttamia vaaratilanteita ehkäistään turvajärjestelmien avulla. Ensisijaisesti järjestelmä pyritään rakentamaan mekaanisesti sekä prosessiteknisesti mahdollisimman turvalliseksi. Mikäli tästä huolimatta jossain prosessin osassa huomataan liian suuri jäännösriski vaaralliselle tapahtumalle, pyritään sitä minimoimaan sekä normaalilla logiikkaohjelmalla että turva-automaatiolla.

Turva-automaatio on normaalin prosessinohjauksen yläpuolella toimiva itsenäinen ja riippumaton järjestelmä, joka vikatilanteen sattuessa pakko-ohjaa laitteiston turvalliseen tilaan, esimerkiksi normaalissa prosessinohjauksessa esiintyneen häiriön tai käyttövoiman puuttumisen seurauksena. Kyseisillä suojuuksilla varaudutaan henkilö-, omaisuus- ja ympäristövahinkojen estämiseen. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa – TUKES OPAS 2007, 2-4.)

Savukaasupesureissa itse pesuprosessi on mekaanisesti rakennettu niin turvalliseksi suojarakenteiden sekä lämmöneristeiden ansiosta, että mekaanisen suojuuksen lisäksi ei olla katsottu tarpeelliseksi varustaa itse pesulaitteistoa lisäsuojauksilla. Laitteistossa on kuitenkin useita liityntäpintoja kattilalaitoksen pääprosesseihin, joiden toiminnallinen luotettavuus halutaan varmistaa turva-automaation avulla. Näillä seikoilla varmistetaan, että laitteistokokonaisuuden kokonaiskäyttöturvallisuuden taso ei heikkene alkuperäisen pääprosessin tasosta.

Laitteiston turvallisuutta ja mahdollisia vaaratilanteita arvioitiin HAZOP – vaaranalyysin avulla. Analyysin tekoon osallistui henkilöitä prosessisuunnittelun, mekaanisen suunnittelun sekä automaatio suunnittelun osa-alueilta. Analyysissä haluttiin

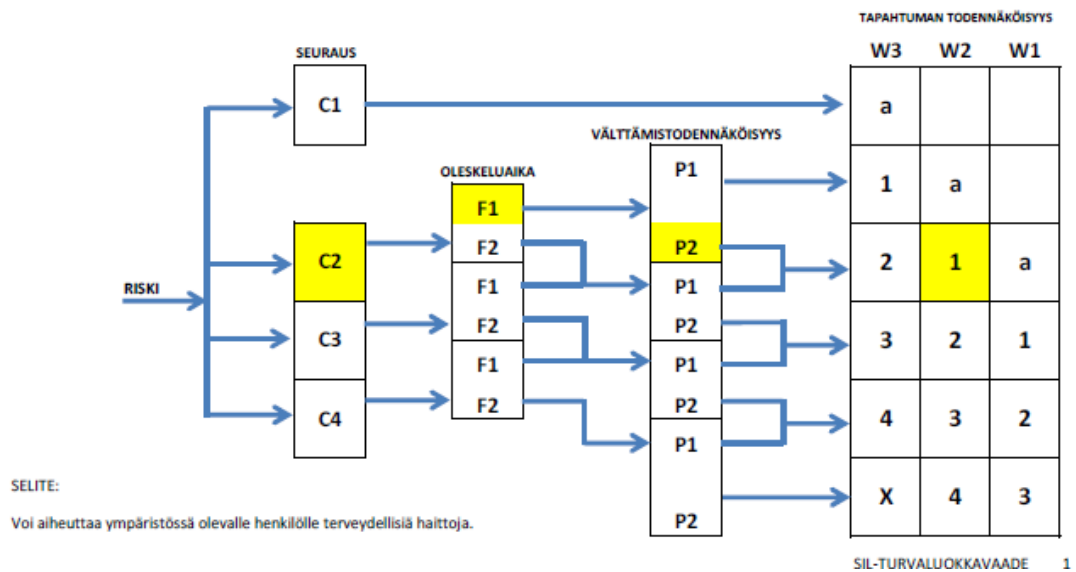
saada esiin mahdollisimman paljon mielipiteitä ja näkökantoja mahdollisista vaaratilanteista. Analyysissä käytiin PI-kaavion avulla lävitse eri prosessin osa-alueet ja niissä mahdollisesti esiintyviä poikkeamatilanteita, kuten paineiden ja lämpötilojen ei toivottuja muutoksia, sekä mahdollisia putkilinjastojen tukkeumia. Vaaratilanteet listattiin taulukoimalla ne, ja arvioimalla yksittäin jokaisen vaaratilanteen vakavuutta. Vaaratilanteet, joissa nähtiin mahdollisuus tapahtua vakavia seurauksia, ja joita ei pystyttäisi mekaanisilla rakennemuutoksilla ennaltaehkäisemään, jouduttaisiin niiden turvallisuuden tasoa nostamaan turva-automaation avulla.

Hazop riskianalyyssissä esiintulleista riskeistä, jotka vaativat turvallisuuden tason parantamista turva-automaation avulla, tehtiin riskigraafien avulla niiltä vaaditun turvallisuuden eheystason, ns. SIL –tason (Safety integrity level), määrittäminen. Vaadittu turvallisuuden eheystaso asettaa vaatimukset käytettyjen ohjauskomponenttien ja laitekokonaisuuksien minimi toimintavarmuudelle. SIL suojausluokat jaetaan yhdestä neljään riippuen suojauksen tarpeesta, sekä luokkaan joka ei edellytä turva-automaatiolla tehtävää suojausta.

Jokaiselle Hazopissa havaitulle vakavalle poikkeamalle tehtiin omat SIL-tason määritykset. Määritykset aloitettiin arvioimalla kyseisen piirin henkilöihin kohdistuvaa riskiä. Riskigraafeissa määritellään standardin mukaisesti portaittain esiintyvän riskin seurauksia ja sen vaikutuksen esiintymistodennäköisyyttä. Seuraavassa kuviossa on esitettyinä savukaasukanaviston tukkeutumiseen liittyvän henkilöriskin SIL –tason määrittäminen.



## HENKILÖRISKI



KUVIO 8 Henkilöriskin arvioiminen

Ensimmäisenä tarkastellaan vaaratilanteen aiheuttamia seurauksia vaara-alueella oleskeleville ihmisille, miedoimmassa tapauksessa C1 sattuu lievä tapaturma ja pahimmassa tapauksessa C4 usean ihmisen kuolema onnettomuuden sattuessa. Savukaasukanavistossa esiintyvän häiriön ajateltiin olevan C2 tasoinen, joka vastaa vakavaa vammautumista. Aiheutuneen seurauksen jälkeen tutkitaan henkilön oleskeluaikaa vaara-alueella, kyseiset prosessitilat ovat usein miehittämättömiä, ja näin ollen päädyttiin valitsemaan vaihtoehto F1. Kyseinen vaihtoehto määrittelee oleskeluajaksi vaara-alueella alle 10 %.

Tämän jälkeen arvioidaan vielä riskin välttämistodennäköisyys ja ennakointikykyä estää vaarallisen tapahtuman syntyminen, kuten lämpötilan hidaskasvaminen tuotantoprosessissa. Kyseisessä tapauksessa päädyttiin määrittelemään savukaasukanaviston vaarojen välttäminen kuitenkin ennalta ennakoimattomaksi tapahtumaksi. Vaaratilanteen voi aiheuttaa esimerkiksi laiterikko kanavistossa, jonka ennakoiminen on mahdotonta, ja tällöin vaarallinen tapahtuma voisi päästä syntymään yllättäen. Näiden riskin suuruuteen vaikuttavien asioiden jälkeen arvioidaan vielä itse vaarallisen tapahtuman todennäköisyyttä W tietyllä ajanjaksolla. Vaaran todennäköisyys päädyttiin arvioimaan keskitasoiseksi. Kyseisten määrittelyiden jälkeen päädyttiin tulok-

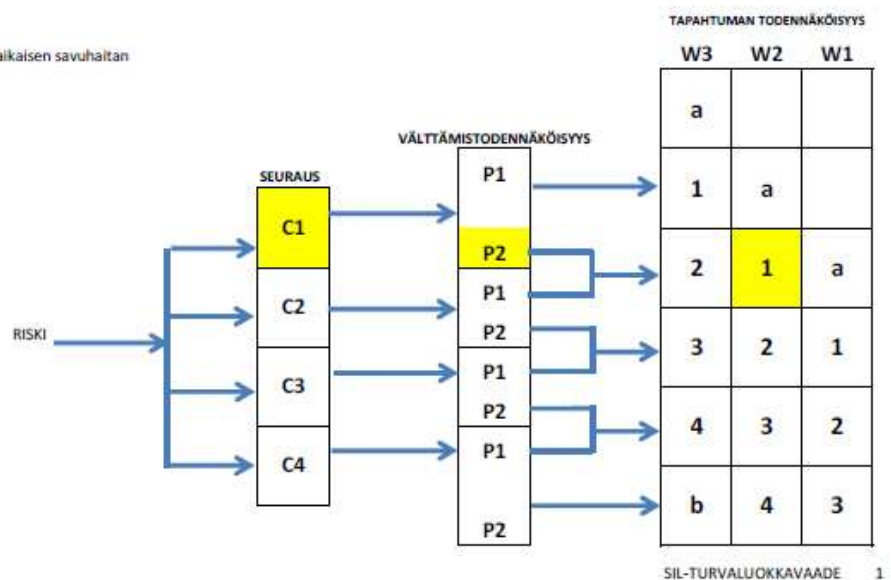
seen, jonka mukaan laitteisto vaatii SIL1 toimintatodennäköisyydellä toimivan automaatiojärjestelmän suojelemaan henkilöitä jäännösriskiltä.

Henkilöriskien arvioinnin jälkeen määriteltiin, että millainen riski vaaratilanteesta aiheutuu ympäristölle. Määrittäminen toteutettiin samalla tavalla kuin henkilöriskienkin määrittäminen, pois lukien henkilöihin kohdistuvien seurausten arviointi. Ympäristö riski määriteltiin seuraavan riskigraafin avulla, ja päädyttiin luokittelemaan savukaasukanavan vikaantumisen ympäristöriskinä SIL1 tasoista suojausta vaativaksi. Riski määriteltiin seurauksiltaan C1 tasoiseksi, joka kuvaa lievää ympäristöön kohdistuvaa uhkaa. Savukaasukanaviston vikaantuminen aiheuttaa lähinnä savuhaittoja ympäristöön.

### YMPÄRISTÖRISKI

SELITE:

Aiheuttaa ympäristöön valiaikaisen savuhaitan



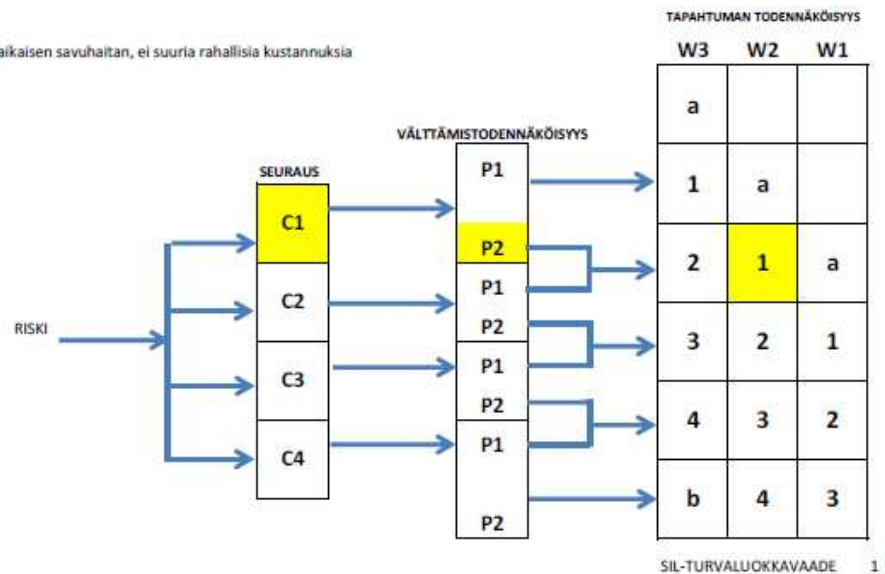
KUVIO 9 Ympäristöriskien riskigraafi

Viimeisimpänä arvioitiin kyseisen vikatilanteen aiheuttamat materiaaliset vauriot ja sen aiheuttamat kustannukset. Määrittäminen tehtiin samaan tapaan kuin ympäristöriskienkin arviointi. Materiaaleihin kohdistuvat omaisuusvahingot luokiteltiin myöskin C1 tasoiseksi lieväksi vahingoksi, jonka kautta päädyttiin samaiseen SIL-1 tasoiseen suojausvaatimukseen. Materiaalisena riskinä nähtiin lähinnä tuuletustarve, sekä mahdollisten savuhaittojen aiheuttamat kustannukset. Seuraavassa kuviossa on materiaaliin riskeihin liittyvä riskigraafi.

## MATERIAALIRISKI

SELITE:

Aiheuttaa ympäristöön valiaikaisen savuhaitan, ei suuria rahallisia kustannuksia



KUVIO 10 Materiaalisten riskien riskigraafi

Kun henkilö-, ympäristö- ja materiaallinen suojausluokka oli saatu riskigraafien avulla selvitettyä, niin tämän jälkeen suoritettiin yhteenveto analyyseistä. Yhteenvedon pohjalta valitaan kolmesta saadusta SIL –luokasta korkein, jolla varmistetaan jokaiselle suojaustarpeelle riittävä turvallisuuden eheystaso. Alla olevasta kuviosta nähdään, että jokaisen tarkastelun seurauksena savukaasukanavistolle saatiin SIL 1 tasoinen vaatimus laitteistolle.

### YHTEENVETO ANALYSEISTÄ

|             |       |    |                                   |
|-------------|-------|----|-----------------------------------|
| IHMINEN:    | SIL 1 | => | VAADITTU SIL-TASO<br><u>SIL 1</u> |
| YMPÄRISTÖ:  | SIL 1 |    |                                   |
| MATERIAALI: | SIL 1 |    |                                   |

KUVIO 11 Yhteenveto riskigraafeista

Laitteistoa määritettäessä päädyttiin kuitenkin rakentamaan SIL 2 tasoinen turva-automatiikka, eli määritystä turvallisempi ratkaisu. Syynä korkeampaan luokitteluun oli useat asiakasvaatimukset savukaasukanaviston laitteistojen turvallisuuden tasoa koskien, korkeammalla luokittelulla varmistetaan laitteistojen yhteisen toiminnallisen turvallisuuden tason pysyminen vaaditulla tasolla.

### 3.3.1 Turvaluokiteltu automaatiojärjestelmä

Aiemmin savukaasupesureiden turva-automaatio on toteutettu langoitettavilla turvareleillä. Kyseisten releiden käytöstä haluttiin luopua järjestelmän modernisoinnin yhteydessä. Uuden logiikkasarjan tullessa markkinoille turvaluokiteltujen logiikkaohjainten hinta tuli huomattavasti lähemmäksi tavallisten CPU –yksiköiden hintoja. Siirtymistä uudempaa tekniikkaa puolsi myös turvareleiden monimutkainen johdotus sekä ohjelmapuolella järjestelmän helpompi muunneltavuus eri asiakastarpeisiin. Turvaluokitellussa logiikkaohjaimessa on erillinen toisistaan riippumaton suoritus normaaleille logiikkaohjauksille, sekä turvatoimintoja valvovalle ohjelmistolle.

Turvaluokitellulla logiikkaohjaimella pystytään myös viemään turvapiirin tilatietoja normaalin logiikkaohjelman käytettäväksi, jolloin kalliita erillisiä turvaluokiteltuja signaalien monistajia tai tuplattuja rajakytkinsignaaleita ei enää välttämättä tarvita. Kyseisten komponenttien pois jättäminen hyödyttää taloudellisten seikkojen lisäksi yksinkertaisempien sähköpiirikaavioiden ansiosta, sillä signaalit johdotetaan suoraan IO-korteille. Turvaohjelma mahdollistaa myös entistä kattavamman ja helpomman diagnostiikan rakentamisen turvajärjestelmän tilasta, kuten hätä-seis painikkeiden painamisesta. Aiemmin yksittäisen hätä-seis painikkeen indikoiminen olisi vaatinut erillisen langoituksen tilatiedon todentamiseksi, nyt samainen signaali pystytään käsittelemään logiikkaohjaimessa turvaluokitellun ohjelman rinnalla.

Turvatoimintojen suunnittelussa kiinnitettiin standardien ja asiakasvaateiden lisäksi kattilalaitoksien turvallisuutta käsitteleviin ohjeistuksiin, kuten kattilaitosten turvallisuuskomitean tekemään ohjeistukseen: KLTK 10 – Kattilalaitosten turvallisuuteen liittyvä automaatio. Kyseisessä ohjeistuksessa kerrotaan hyviä suunnitteluperiaatteita kyseiselle toimialalle liittyviin prosesseihin, sekä turvatoimintojen suunnitteluun, valvontaan ja hyviin toteutusperiaatteisiin liittyen. Hyviin toteutusperiaatteisiin kuuluu mm. pitää turvallisuuteen liittyvän järjestelmän signaalit eri runkokaapeleissa kuin normaalin ohjauksen signaalit, sekä turvajärjestelmän sähkönsyöttö tulee järjestää varmennetusti. (Kattilalaitosten turvallisuuteen liittyvä automaatio – KLTK 10 2000, 4 -8. )

Esisuunnittelua tehtäessä havaittiin, että aiemmin valittuun uuden sukupolven S7-1500 sarjan logiikkaohjaimen perään ei vielä ollut sen uutuuden takia saatavilla tur-

valuokiteltuja tulo- ja lähtökortteja. Kyseiset toiminnot pystyttiin kuitenkin toteuttamaan yhtä luotettavasti ethernet -väylään liitettävien ET200SP etä-IO yksiköiden avulla, joiden perään turvaluokiteltuja IO-kortteja oli jo saatavilla. Asiaa ei nähty ongelmaksi, sillä osa signaaleista sijaitsi alueella, jonka mittaukset tuotaisiin järjestelmään joka tapauksessa etä-IO:n välityksellä. Päälogiikkaan kalustettavat signaalit päätettiin pääkeskuksessa kerätä logiikan viereen sijoitetun hajautusyksikön avulla.

Aiemmin käytössä olleet turvaluokitellut kenttäkomponentit tarvitsivat valtaosaltaan liitettävyytensä takia ATEX –räjähdysvaarallisiin tiloihin luokitellut barrier-jännitteenalentajat syöttämään niiden käyttöjännitettä. Komponentit olivat sinänsä tarpeettomia, sillä savukaasupesuri ei itsessään kuulu ATEX-luokiteltuihin laitteisiin. Syynä anturien ATEX-vaatimukselle oli valmistajan periaate valmistaa turva- ja ATEX –luokitellut anturit samaan fyysiseen rajakyktimeen. Kehitystyön tuloksena päätettiin luopua kyseisessä käytössä barriereita vaativista antureista, sillä sähkökeskuksessa säästetyn tilanvarauksen lisäksi usean barrierin tarve kasvatti sähkökeskuksen hintaa merkittävästi. Kyseisten erikoisluokiteltujen anturien tilalle etsittiin pelkästään turvaluokiteltuun käyttöön tarkoitettuja rajakytkin anturit, jotka sopivat kiinnitykseltään aiemmin käytettyihin venttiilien toimilaiterunkoihin.

Kyseisten muutosten avulla nähtiin kustannussäästöjen lisäksi saavutettavan nopeampi laitteiston asennettavuus kytkentöjen helpottumisesta johtuen. Tämän lisäksi laitteiston turvallisuuden taso nähtiin nousevan, sillä mahdollisesti vikaantuvia komponentteja oli vähemmän.

### 3.4 Muita järjestelmässä havaittuja kehityskohteita

Järjestelmän modernisoimiseksi, sekä valmistusaikojen nopeuttamiseksi nähtiin esisuunnittelussa edellä esiintyneiden kehityskohteiden lisäksi myös muita mahdollisia kehityssuuntia automaatiojärjestelmän laitteistorakenteen osalta.

Laitteiston modulaarisuuden ja sen korkean tehdasvalmisteisuusasteen johdosta pidettiin hyvänä ajatuksena siirtyä käyttämään päälogiikan IO-kytkentöjen lisäksi entistä enemmän kentälle hajautettavaa etä-IO:ta. Etä-IO –yksiköiden avulla pystytään kenttäväylää tai verkkotekniikkaa hyödyntäen siirtämään suuria määriä signaaleita yhdellä kaapelilla kentältä logiikkaohjaimelle, jolloin vältetään laitteiston käyttöön-

oton yhteydessä useiden signaalien yksittäiseltä johdotukselta laitteistomoduurien välillä. Etä-IO –yksiköiden kalustus päämoduurin ulkopuolisiin yksiköihin mahdollistaa siis kyseisten moduurien tehdasvalmistuksen moduurikohtaisesti valmiiksi asti instrumenttikaapeleineen hajautetuille IO –yksikölle saakka, jolloin kertaalleen koeistettua rakennetta ei tarvitse kuljetuksen ajaksi väliaikaisesti enää purkaa ja koeistaa uudelleen kenttäsignaalien osalta. Tämän johdosta saadaan selvää säästöä sähköurakointia ajatellen, sillä kentällä tehtävä kallis asennustyön määrä pienenee huomattavasti turhien kytkentävaiheiden poistumisen seurauksena.

Käytettäväksi tekniikaksi Etä-IO:den siirtoon ajateltiin Siemensin S7-1500 sarjan mukana muutama vuosi sitten lanseerattua perinteisen ET200S hajatus-IO:n korvaajaa ET200SP. ET200S on 300-sarjan logiikan myötä myöskin aktiivimyynnistä poisjäävä tuote. Tämän johdosta nähtiin luontevaksi valita Etä-IO tuotesarja, jonka elinkaari uskotaan olevan vielä pitkä. ET200SP IO-väyläsolmujen ja sen IO-korttien hintoja tarkasteltiin, ja havaittiin sen IO-pisteiden yksikköhintojen olevan vallan kilpailukykyisiä. Käytettäväksi tiedonsiirtoprotokollaksi kaavailtiin Ethernet -pohjaista Profinet -verkkotekniikkaa.

Järjestelmän verkkotekniikka nähtiin myös potentiaalisesti kehityskohteeksi. Aiemmin taajuusmuuttajien, lämpöpumpun logiikkaohjaimen sekä pesurin ja kattilalaitoksen välinen kommunikaatio on toteutettu Profibus DP -väylää hyödyntäen. Kyseisen väylätekniikan heikkoudeksi nähtiin sen sarjamainen rakenne, yksittäisen johtimen irtoaminen laitteelta pimentää koko muun tiedonsiirtoverkon toiminnan. Kyseisen ongelman poistamiseksi päätettiin tutkia ajatusta Profinet verkon ominaisuuksista niiltä osin mitä käytössä olevat kenttälaitteet sitä tukevat. Profinet tekniikka mahdollistaa ethernet -pohjaisena tekniikkana puu- ja rengasverkkojen rakentamisen. Kyseisten topologioiden käyttö ei yksittäisen laitekaapeloinnin vikaantuessa haittaa muun verkon toimintaa. Rengasvekkotekniikassa yksittäinen kaapelivika havaitaan, jolloin signaalit kierrätetään verkossa toista mahdollista reittiä pitkin halutulle pääte-laitteelle saakka.

Rengasverkon rakentaminen kyseiseen järjestelmään edellyttää sähkökeskuksen varustamista riittävän moniporttisella hallittavalla kytkinlaitteistolla. Ajatukseksi nousi etä-IO –yksiköiden rakentaminen verkkomaiseksi rengasverkoksi päälogiikan kanssa. Ja koska moottorikäyttöjen nykyiset taajuusmuuttajat eivät vielä tue rengasverko-

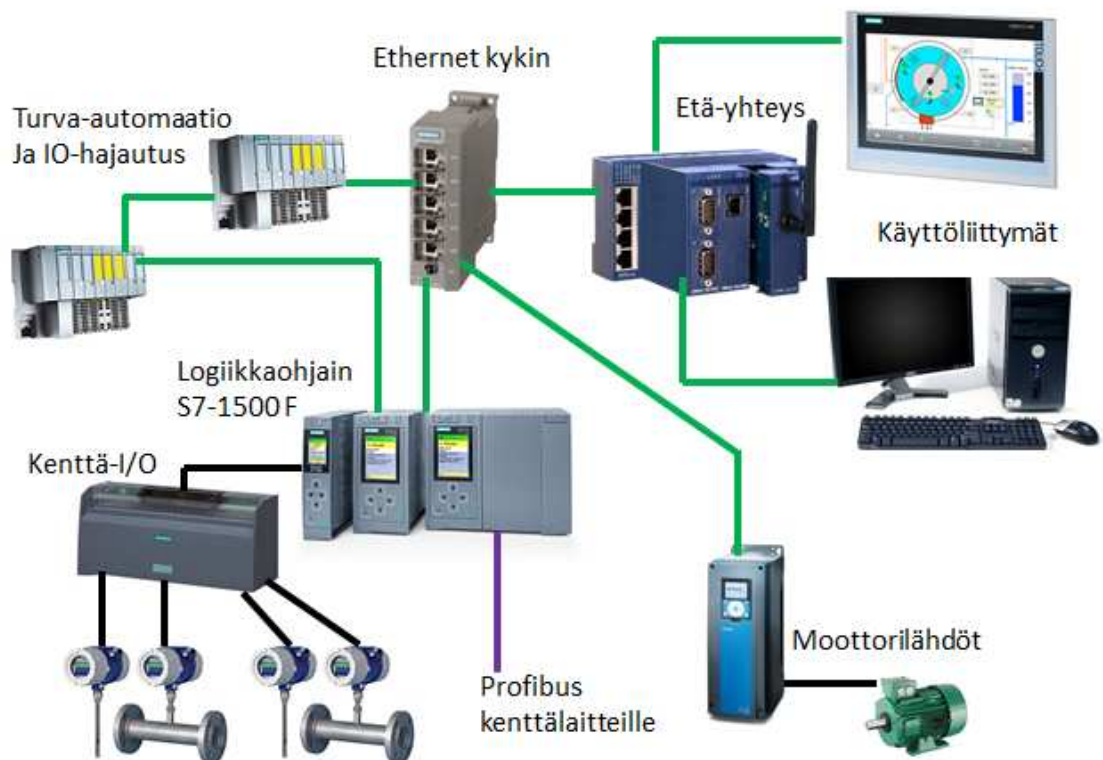
tekniikka mm. yhden ethernet -kommunikointiporttinsa takia, niin ne voitaisiin rakentaa kytkimen ympärille puumaiseksi rakenteeksi. Tällä rakenteella aikaan saadaan tärkeiden mittaussignaalien siirtoteiden kahdentuminen, sekä taajuusmuuttajien yksittäinen vikaantumisen johdinkatkon esiintyessä.

Taajuusmuuttajien hinnoitteluun päätettiin kiinnittää myös huomiota, sillä ne ovat yksittäisinä komponentteina yksiä kalleimmista pääkeskuksen komponenteista. Tällöin havaittiin, että korvaamalla käytössä olleet muuttajat Siemensin tarjoamalla ratkaisulla, saadaan huomattavaa kustannussäästöä etenkin pienikokoisten moottorilähtöjen osalta. Aiemmat taajuusmuuttajat tuli aina varustaa kalliilla Profibus lisäkommunikointikortilla, Siemensin tarjoaman ratkaisun Sinamics G120C muuttajien ansiota on mahdollista niiden vakiokokoonpanolla rakentaa rengasmaista Profinet kommunikointia. Kyseisellä ratkaisulla päästäisiin toivottuun täysin kahdennettuun Profinet rengasverkkoon, sekä säästettäisiin hankintakustannuksissa. Ainoana haittapuolena nähtiin aiemmin käytössä olleiden muuttajien tutumpi valinta, valmis ohjelmointilohko logiikkaohjelmaa varten, sekä valmiit parametrintilistat. Toisaalta Sinamics muuttajat on nopeita parametroitavia, ja niiden parametointi pystytään hoitamaan samalla graafisella ohjelmointityökalulla, kuin itse logiikkaohjelma toteutetaan. Tällöin parametrit, sekä laitteiston ohjelmisto integroituisi helposti samaan projektiedostoon.

Savukaasupesurin prosessin ohjauksessa käytetään paineilmatoimisia ON/OFF – venttiileitä, joita ollaan ohjattu pesurilaitteiston pääautomaatiokeskuksen rinnalle rakennetulla pneumatiikkakeskuksella, keskuksessa on venttiilitukkiin kalustettu paineilman ohjausta varten pääkeskukselta langoitetut magneettiventtiilit. Kyseiseltä paineilmatukilta jaetaan myös paineilmasyötöt kentällä oleville säätöventtiileille. Osa pneumatiikkakeskuksen magneettiventtiileistä on prosessin luonteesta johtuen SIL-turvaluokiteltuja. Pääautomaatiokeskuksen ja pneumatiikkakeskuksen välisen kaapelointityön vähentämiseksi nähtiin hyväksi vaihtoehdoksi korvata perinteiset yksittäin ohjatut magneettiventtiilit kenttäväyläohjatulla venttiiliterminaalilla kytkentätyön vähentämiseksi. Kyseisellä väylätekniikalla saadaan vähennettyä myös pääkeskuksessa tarvittavien IO-korttien määrää langoitettujen signaalien vähenemisen johdosta. Väylään asennettavat venttiiliterminaalit koostuvat väyläsolmun lisäksi venttiililohkomoduuleista, joihin paineilma syötetään terminaalien lohkojen välille

muodostuneen jakelukanaviston avulla. Väyläohjatun venttiiliterminaalin avulla keskusvalmistus helpottuu, sekä se mahdollistaa paremman diagnostiikan laitteiston tilasta.

Laitteiston venttiileiden rajakytkinsignaalit nähtiin järkeväksi toteuttaa helpommin kaapeloitavilla M12 –valmiskaapeleilla, näin säästetään useiden venttiileiden rajakytkinten kytkentätyö kentällä. M12 –valmiskaapelit ovat valmiiksi toisesta päästä varustettu M12 –kierteisellä pikaliittimellä ja sen toinen pää on avoin. Aiemmin käytettyjen rajakytkinten tilalle etsittiin M12 -pikaliitintekniikkaa hyödyntävät rajakytkinmallit, jolloin rajakytkinten osalta ainoaksi kytkettäväksi työksi jää kaapelin kytkeminen pääkeskuksen riviliitinpalkkeihin. Kyseisellä ratkaisulla haluttiin säästää kustannuksia sähköasennus urakassa, sekä nopeuttaa sähköasennusten valmistumista.



KUVIO 12 Esisuunnittelun jälkeinen järjestelmäkaavio

Edellisessä kuviossa on esitetty esisuunnittelun pohjalta aikaan saatu periaatteellinen järjestelmäkaavio. Kaaviosta ilmenee logiikkaohjausjärjestelmän vaihtuminen uudempaan, rengasverkkotekniikan käyttö, turva-automaation modernisointi, sekä ethernet -pohjainen moottorilähtöjen ohjaus.

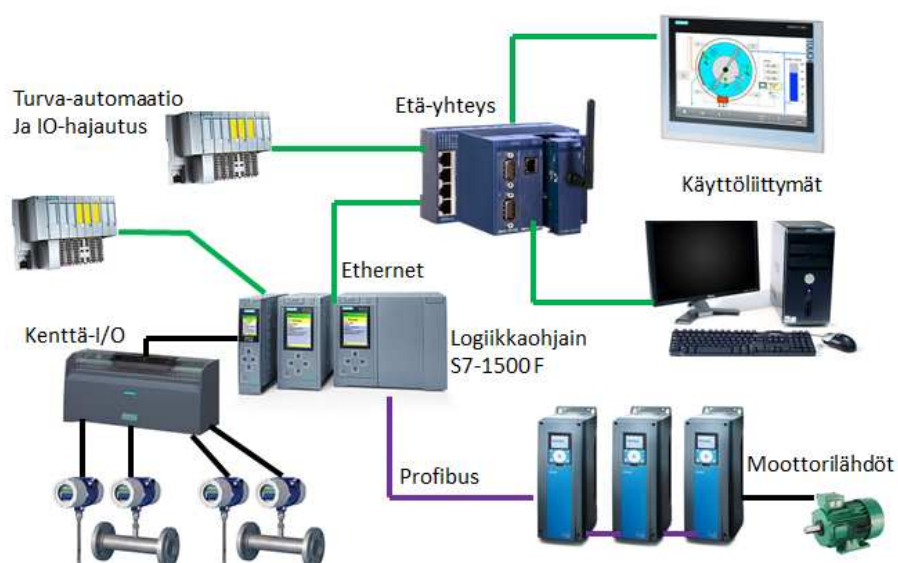


## 4 Tehtävän järjestelmäpäivityksen laajuuden päättäminen

Esisuunnitteluvaiheen jälkeen päätettiin pitää tekninen palaveri esisuunnittelun tuloksista. Tällöin tehtiin päätöksiä, mitkä kehitysehdotukset tullaan toteuttamaan vakiotuoteratkaisuun. Pääsääntöisesti kaikki kehitysajatukset nähtiin toteuttamiskelpoisiksi, mutta nähtiin tärkeäksi rajata aikataulullisesti toteutettavia ratkaisuja, sillä kaikkia päivityksiä ei nähty järkeväksi toteuttaa yhtäaikaisesti muun muassa kehitysprojektin rajallisten aikataulu- ja suunnitteluresurssien takia. Kehitysehdotukset, jotka päätettiin toteuttaa jo seuraavassa asiakasprojektissa, päätettiin ottaa tarkemman detaljisuunnittelun alaiseksi.

Kehitysehdotuksia käytiin lävitse vertailemalla kehityskohteenä olevaa järjestelmää esisuunnittelussa syntyneeseen periaatteelliseen järjestelmäkaavioon. Järjestelmiä vertaillen kiinnitettiin huomioita saavutettuihin etuihin ja mahdollisiin riskeihin, sekä muutoksen aiheuttamiin kustannuksiin.

Suunnittelupalaverin yhteydessä syntyi ajatus seuraavan asiakasprojektin järjestelmäratkaisusta, seuraavassa kuviossa on esitetty sen periaatteellinen kaaviokuva. Palaverissa haluttiin korostaa, että vaikka rautalankamallina esitetty järjestelmäkuvaus ei näennäisesti paljoa muuttunut, niin käytettävät ratkaisut aiheuttavat muutostarpeita käytännössä jokaiseen sähköpiirikaavioon, laitteiston ohjelmistoon käyttöliittymineen, sekä osittain myös käytettyihin kenttäinstrumentteihin.



KUVIO 13 Suunnittelun tavoitteeksi asetettu järjestelmäkaavio

Päälinjaukseksi otettiin, että logiikkajärjestelmä tullaan modernisoimaan nykyaikaisemmalla tekniikalla, sekä logiikkaohjaimen yhteyteen rakennetaan myös laitteiston turva-automaatio. Näin päästään perinteisestä langoitettavasta turvarelelytyksestä eroon, ja turvatoiminnot voidaan integroida helpommin normaalien ohjauksien kanssa. Logiikkaohjaimen vaihdoksen myötä myös keskuksen valmiskaapeliratkaisut riviliitinpalkkeineen tuli päivittää. Kyseinen muutos nähtiin kehitysehdotuksista huomattavasti muita suuritöisemmäksi, mutta lähitulevaisuudessa joka tapauksessa pakolliseksi toimenpiteeksi.

Logiikkaohjaimen vaihdoksen kustannuksia arvioitiin tekemällä hintavertailu kahdelle samantasoiselle järjestelmälle Siemensin TIA – Selection tool konfigurointiohjelmiston avulla. Kustannuslaskelmaesimerkit on esitetty vanhalle ja uudelle päälogiikkalaitteistolle liitteissä 1 ja 2. Kustannusvaikutukset käytiin lävitse palaverissa, ja huomattiin uuden järjestelmän olevan samassa hintaluokassa aiemman kanssa. Hintakeroksi saatiin uuden ja vanhan järjestelmän välillä noin kolmesataa euroa vanhan järjestelmän eduksi, tilanteessa jossa pyrittiin vertaamaan lähes vastaavia tuotteita keskenään.

Aiempi turva-automaatiojärjestelmä sisälsi useita turvaluokiteltuja komponentteja pääkeskuksen sisällä, kuten barriereita ja signaalien monistajia, näiden poisjättäminen ja päärelelytyksen korvaaminen ohjelmoitavalla turvalogiikalla välirelelineen nähtiin komponenttien hintoja vertaillessa laskennallisesti kannattavaksi, samalla uskottiin helpomman valmistuksen pudottavan sähkökeskusten rakennuskustannuksia.

Laitteiston rakentamista haluttiin helpottaa myös moduulien välisillä tietoverkkokaapeloinneilla ja etä-io-yksiköillä, sillä oltiin havaittu sähköurakointikustannusten olevan vallan suuria niissä vaiheissa, joissa tehdaskoeistetun laitteiston moduulit uudelleen kasataan IO-kaapelointien osalta takaisin paikoilleen loppuasiakkaan tiloissa. Kyseisten sähköasennusten hinnalla pystytään hankkimaan etä-io kortteja, jolloin kyseiset signaalit saadaan vietyä yhdellä verkkokaapelilla ja yhdellä tehonsyöttökaapelilla pääjärjestelmän käytettäväksi. Kyseisen tekniikan etuna nähtiin myös se, että kertaalleen tehdastestattuja signaaleita ei tarvitse uudelleen koestaa, koska moduulin sisäiset kaapeloinnit ovat pysyneet muuttumattomina.

Päälogiikkalaitteiston täydellisen muuttamisen lisäksi päätettiin kenttäasennuksia nopeuttaa hyödyntämällä entistä enemmän valmiskaapeliratkaisuja kenttälaitteiden kytkennässä. M12-instrumenttikaapelien käyttöä puolsi myös niiden huomattavan halpa hankintahinta, ja koska instrumenttipiirikaaviot tulivat muokkauksen alaiseksi joka tapauksessa, niin samalla päätettiin päivittää kenttälaittekantaa kytkentöineen.

Yhdeksi tärkeäksi kehityskohteeksi nähtiin myös laitteiston ohjaamiseen tarkoitetun operointipaneelin ja PC-valvomonäytön muokkaaminen. Kyseinen toimenpide pitäisi tehdä joka tapauksessa turva-automaation tuomien lisäinformaatioiden takia. Tämän lisäksi asiakaspalautteesta oli noussut esiin toivomuksia uusista ominaisuuksista, jotka päätettiin samalla rakentaa näytöille asiakastyytyvyyden ja laitteiston entistä joustavamman käytön takia. Lisäksi päätettiin muutoinkin kehittää käyttöliittymää, sekä ohjelmistoa uusilla ominaisuuksilla, kuten lisäämällä ohjausekvensseihin lisäominaisuuksia.

Suunnittelun aikataulutuksesta, sekä riskien hallinnan takia nähtiin, että muut kehitysehdotukset tullaan toteuttamaan vasta alkavien projektien jälkeen vuonna 2017. Näin saadaan varmuus uusien käyttöön otettujen tekniikoiden toimivuudesta ja suunnitteluresurssit riittävät takaamaan hyvälaatuisen järjestelmän rakentamisen. Tästä syystä päätettiin alkavat projektit toteuttaa edelleen aiemminkin käytetyillä Profibus ohjatuilla taajuusmuuttajilla, sekä jättä Profinet rengasverkon rakentaminen ja parametroiminen tulevaisuuteen. Kyseinen päivitys ja taajuusmuuttajien mallisarjan päivitys nähtiin perusteltuna vaihtoehtona tulevaisuudessa, mutta mm. uusien Profinet moottorilähtöjen parametroinnin opettelu ja ohjelmointi nähtiin aikaa vieväksi, sekä kyseisessä projektissa tarvittaisiin lämpöpumpun tiedonkeruuta varten Profibus master liityntä joka tapauksessa.

Väyläohjatun venttiiliterminaalin soveltamista ei nähty vielä ajankohtaiseksi, mutta kuitenkin toimivaksi ratkaisuksi etenkin ulkomaille suuntautuissa projekteissa, joissa laitteisto joudutaan pilkkomaan kuljetusteknisistä syistä aiempaa pienemmiksi modulaarisiksi kokonaisuuksiksi. Tällöin eri moduulien väliset magneettiventtiilien ohjaukset pystytään toteuttamaan yhdellä väyläkaapelilla, ja samalla moduulissa olevat mitaussignaalit saadaan tuotua etä-io yksiköiden avulla logiikan käytettäväksi. Kyseiset terminaalit nähtiin myös aikaa säästävänä kokonaisuuksina keskusvalmistuksessa, mutta valitettavasti usean valmistajan tuotteista puuttui vielä tällä hetkellä turva-

luokitellut väyläterminaalit. Tämän johdosta jouduttaisiin turvallisuuteen vaikuttavat magneettiventtiiliohjaukset toteuttamaan vielä perinteisillä langoitetuilla magneettiventtiileillä. Kahta rinnakkaista järjestelmää ei nähty perusratkaisussa järkeväksi toteuttaa.

## 5 Järjestelmäpäivityksen tarkempi detaljisuunnittelu

Esisuunnittelun jälkeen päätettyjen kehityssuuntien pohjalta lähdettiin tekemään tarkempaa hardware- ja ohjelmistosuunnittelua seuraavaan asiakasprojektiin. Suunnittelun eri vaiheet pitivät sisällään tavallisen ohjausautomaation, sekä turva-automaation laitteistojen tarkemman määrittelyn. Samalla tehtiin savukaasupesurin ohjelmiston ohjelmapohjan päivittäminen kyseiseen käyttöön sopivaksi. Kyseiset muutokset päätettiin ottaa käyttöön kerralla kaikissa seuraavissa alkavissa asiakasprojekteissa, jotta laitekanta modernisoituu kaikissa toimituksissa yhtäaikaaisesti. Kyseinen seikka nähtiin tärkeäksi ylläpidettävän varaosakannan ja laitteistojen huollettavuuden takia.

### 5.1 Automaatiolaitteiston hardware- ja sähkösuunnittelu

Esisuunnittelun ja päätettyjen kehityssuuntien pohjalta lähdettiin tekemään tarkempaa logiikan hardware- sekä deltajason sähkösuunnittelua seuraavaan asiakasprojektiin. Suunnittelun pohjaksi otettiin esisuunnittelussa valittu uusi logiikkaohjain liityntöineen, jolle lähdettiin määrittämään teknisesti aiempaa kokonaisuutta vastaavia ja kyseiseen käyttöön sopivia IO-kortteja. Laitteiston IO-avaruuden laajuus pysyi aiempaa vastaavana.

Suunnitteluprosessin alussa kopioitiin viimeisimmän asiakasprojektin kuvasarja muokattavaksi, sillä uudistuksen myötä haluttiin pitää esitystapa mahdollisimman samankaltaisena kuin aiemmin. Vaikkakin tehtävän muutoksen tiedostettiin vaikuttavan jokaiseen piirustukseen, mm kuvanumeroinnin haluttiin noudattavan Caligo Industria Oy:n sisäistä standardia. Piirikaaviot ja layout kuvat tuotettiin Kymdatán valmistamalla CADS 16 suunnitteluohjelmistolla.

Käyttötarkoitukseen sopivien päälogiikan IO-korttien määrittämisen jälkeen haettiin valmistajan verkkosivuilta niiden datalehdet. Niiden avulla pystyttiin varmentamaan

korttien oikeat kytkennät liitinnumeroineen, sekä täyttämään Microsoft Excel pohjaiseen IO-luetteloon tarvittavat tiedot. IO-luettelokin haluttiin pitää mahdollisimman samankaltaisena osoiteavaruuden osalta, jotta ohjelmointi onnistuisi mahdollisimman pienin muutoksin.

Päälogiikan IO-kortit haluttiin kytkeä kenttälaitteisiin nopeamman valmistettavuuden ja kytkentävirheiden määrän minimoimiseksi valmisliitinpalkkeja ja kaapelointijärjestelmiä käyttäen. Aiemmin käytössä olleiden Phoenix Contactin valmistamien liitinpalkkien tilalle määriteltiin Siemensin valmistamat palkit, sillä Phoenix Contactilta ei ollut tullut markkinoille jokaiselle määritellylle IO-kortille sopivia kytkentäratkaisuja. Liitinpalkkien määrittämisessä käytettiin apuna Siemensin TIA-Selection tool online työkalua, jolla pystyttiin helposti määrittämään jokaiselle kortille sopivat liitinpalkit ja tarvittavat välikaapeloinnit. Kytkentäratkaisun selvittyä haettiin liitinpalkkien mallikohtaiset laitemanuaalit, jotta pystyttiin piirtämään päälogiikkaan liitettävien kenttälaitteiden tarkat kytkentäkuvat liitinnumeroineen sekä IO-korttien jännitteensyötöt.

Päälogiikan piirikaavioiden valmistuttua aloitettiin etä-IO hajautusyksikköjen suunnittelu. Etä-IO:den käyttöön päädyttiin eri savukaasupesurin moduulien helpomman yhdistämisen takia, sekä turvaluokiteltujen IO-kytkentöjen mahdollistamiseksi. Vaikka S7-1500 sarja on ollut markkinoilla jo useita vuosia, niin itse logiikkaohjaimen perään ei ollut saatavilla vielä turvaluokiteltuja tulo- ja lähtökortteja, niiden arveltiin tulevan markkinoille vasta noin puolen vuoden sisällä. Tämän johdosta päätettiin savukaasupesurin pääkeskukseen kalustaa päälogiikan viereen turvatuloista vastaava etä-IO yksikkö, sekä lämpöpumppumoduuliin sijoittaa sen turva- ja tavallisia signaaleita varten oma yksikkönsä. Etä-IO yksiköt suunniteltiin Profinet safety verkkotekniikkaa käyttäviksi, joka mahdollistaa turvasignaalien käytön sekä laitteiden liittämisen tarvittaessa verkkomaiseen rengastopologiaan.

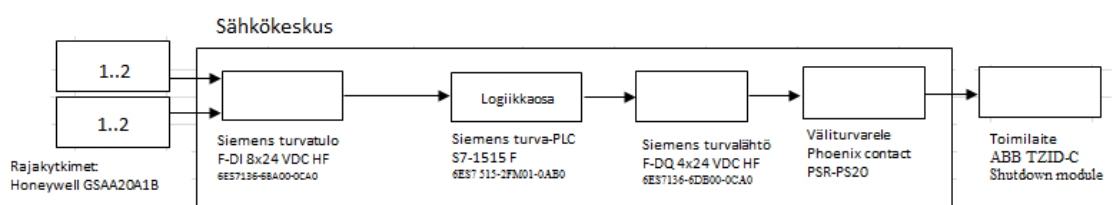
Etä-IO yksikön korttivalintojen jälkeen pystyttiin piirtämään hajautusyksiköiden tarkat IO-kytkentäkuvat, sekä keskuslayout kuvat sähkökeskusten komponenttisijoittelua varten. Tämän lisäksi päivitettiin muut projekteihin kuuluvat peruskuvat, kuten sähkökeskusten pääkaaviot sekä maadoituskaaviot.

Kuvasarja modernisoitiin poistamalla aiemmin käytössä olleet turvareleytykset, sekä korvattiin niiden suorittamat toiminnot kyseiseen käyttöön hyväksytyillä logiikkaohjauksella. Tässä yhteydessä myös jännitteenalentamista varten olleet barrierit poistettiin piirikaavioista, sekä keskusosaluetteloista. Näiden muutosten seurauksena turva-  
piirien kytkentäkaaviot tulivat huomattavasti helpompilukuisiksi. Tässä yhteydessä kuviin päivitettiin myös käyttöönotetut M12 –valmiskaapeliratkaisut rajakytkintietojen tuomiseksi logiikkaohjaimeen, kyseisiä signaaleita noudetaan sekä turvaluokitelluilta, että luokittelemattomilta rajakytkimiltä.

## 5.2 Turvaluokan todentaminen

Sähkösuunnittelun valmistuttua, sekä logiikka- ja kenttäkomponenttien varmistuttua päätettiin varmentaa laitteiston vaaditun turvallisuuden eheystason täytyminen laskemalla. Laskenta suoritettiin jokaiselle yksittäiselle turva-automaatiopiirille. Laskenta aloitettiin keräämällä yksittäisten turvalaitteiden tarkastuslaitosten myöntämät turvasertifikaatit, joista ilmenee kyseisen laitteen saavuttama SIL-luokitus, sekä kokonaisturvaluokan todentamisen laskentaan tarvittavat arvot. Yksittäisten kenttä- ja logiikkakomponenttien laitemanuaalien lisäksi haettiin valmistajan vakuutus käytettävän logiikkaohjaimen turvaohjelmiston valmiiden ohjelmointilohkojen riittävästä vaadittuun suojaustoimintoon.

Turvallisuuden eheystason täytyminen sähköisille piireille suoritettiin IEC 61508-6 standardin mukaisesti laskemalla, ja laskennoista tehtiin piiri-kohtaiset Excel dokumentit. Alla olevassa kuviossa on esitetty savukaasupeltien turvaohjauksen lohko-kaavio, josta ilmenee anturien kahdennuksen tarve, jotta saavutetaan tarvittava turvallisuuden eheystaso.



KUVIO 14 Savukaasupeltien turvakomponenttien lohko-kaavio

Laskennan ensimmäisessä vaiheessa tehtiin luotettavuuslaskelmat vuoden turvapiirin tarkastusvälillä, sekä kahdeksan tunnin korjausajalla. Tässä laskelmassa laskettiin

komponenttien hetkellisen vikaantumisen todennäköisyys (PFD) –luvut yhteen. Kyseinen summa kertoo piirin kokonaisvikaantumistodennäköisyyden. Lukua vertaamalla standardissa annettuihin raja-arvoihin saadaan piirille laskennallisesti saavutettava SIL-luokka. Summaan lasketaan mukaan kenttäanturointi, loogista turvatoimintoa suorittavat ohjainlaitteet sekä itse ohjattavan kenttälaitteen toimintatodennäköisyys vikatilanteessa.

Luotettavuuslaskelmien lisäksi turvapiireille tehtiin myös standardin mukaiset arkkitehtuuritarkastelut. Niissä verrataan laitevalmistajan ilmoittamia HFT (Hardware Fault Tolerance) ja SFF (Safe Failure Fraction) arvoja standardin IEC 62508-2 asettamiin vaatimuksiin. Standardissa on taulukoituna Type A ja B –luokitelluille laitteille niiden SFF arvolla saavuttama SIL luokitus HFT arkkitehtuurista riippuen. HFT luku kuvaa turvapiirissä rinnan olevien turvalaitteiden määrää. Standardiin perustuvan vertailun avulla nähdään riittääkö yksittäinen laite itsenäisesti suoriutumaan vaaditusta turvatoiminnosta, vai tuleeko sen toiminta varmistaa esimeksiksi laitteiston kahdennuksella. Standardin taulukkoarvojen perusteella saadaan kyseiselle kytkennälle sen täyttämä arkkitehtuurinen SIL-luokka. Tarkastelujen pohjalta huomattiin, että kenttäanturoinnin osalta jouduttiin joissain kohteissa turvautumaan anturoinnin kahdentamiseen.

Luotettavuuslaskelmista sekä arkkitehtuurisesta tarkastelusta saadaan mahdollisesti eri SIL-luokitukset kyseiselle turvatoiminnolle. Tällöin valitaan näistä kahdesta eri tarkastelusta saaduista arvoista heikompi luokitus.

Jokaiselle laitteiston turva-automaation piirille tehtiin luotettavuuslaskelmat, sekä arkkitehtuuritarkastelut. Yhdelle savukaasupeltien turvapiireistä on kyseinen laskelma esitetty esimerkkinä liitteessä 3.

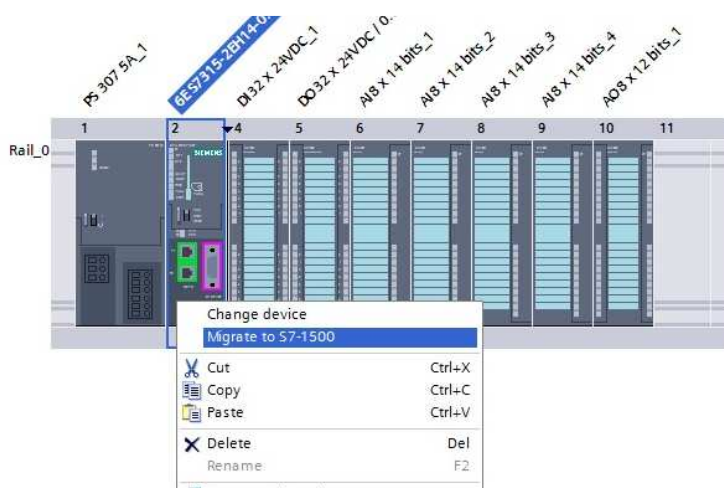
Kyseisellä todennuksella varmistuttiin laitteiston eri turvapiirien riittävyys suorittaa niille asetetut vaatimukset turvatoimintojen osalta, eli vaaditun SIL-luokituksen täyttyminen.

### 5.3 Järjestelmän ohjelmointi

Sähkösuunnitelmien valmistuttua aloitettiin laitteiston ohjelmointi pitäen sisällään ohjelmistokäännöksen S7-300 sarjasta 1500 –sarjaan , sekä turva-automaation sisältämisen logiikkaohjaimen perinteisen turvareleohjauksen sijasta.

Ohjelmointi aloitettiin kääntämällä aiemmin 300-sarjan logiikoissa käytössä ollut perusohjelmisto S7-1500 sarjaan sopivaksi, ohjelmistopohjaksi otettiin viimeisimmän asiakasprojektin lähdekoodi, joka piti sisällään viimeisimmät ohjelmistopäivitykset. Lähdekoodi oli aiemmin toteutettu TIA-Portalin versiolla V12, kyseisen päivityksen yhteydessä tarvittiin kuitenkin uudemman CPU version takia V13 versiota. Tämän johdosta ohjelma aukaistiin versiolla V13, joka suoritti S7-300 pohjaiselle ohjelmistolle käännöstyön V13 versioksi. Käännöksen myötä ohjelmistolle ajettiin kokonaisuudessaan Compile all –toiminto, joka tarkistaa ohjelmointilohkojen yhteensopivuuden.

Kun ohjelmisto oli onnistuneesti käännetty V13 muotoon, niin aloitettiin muokkaamaan sen laitteistorakennetta tekemällä migraatio S7-315 logiikalle, jolla muutettiin se haluttuun S7-1515 F muotoon. Alla olevassa kuviossa on esitetty migraation aloitus ohjelmiston kehitystyökälussa.

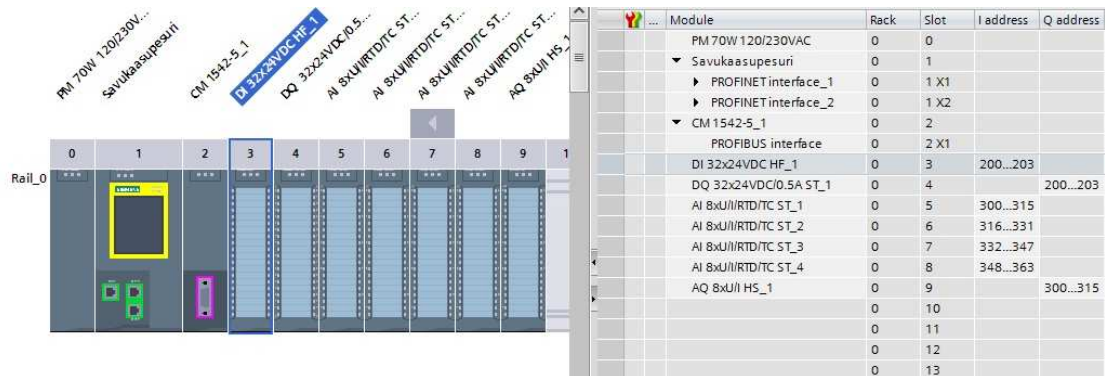


#### KUVIO 15 Logiikan migraation aloitus

Migraation jälkeen hardware configuraattoriin ilmestyy S7-1515 logiikkaohjain, aiemman 300-sarjan logiikkaohjaimen rinnalle sisältäen 300-sarjan ohjaimen lähdekoodin. Tähän tyhjään 1500-sarjan logiikka-räkkiin lisättiin sille sähkösuunnittelun



aikana määritellyt IO-kortit, sekä niiden kanaville halutut IO-osoitteet. Alla olevassa kuviossa on esitetty IO-osoitteiden ja IO-korttien lisäys uudelle logiikkaohjaimelle.



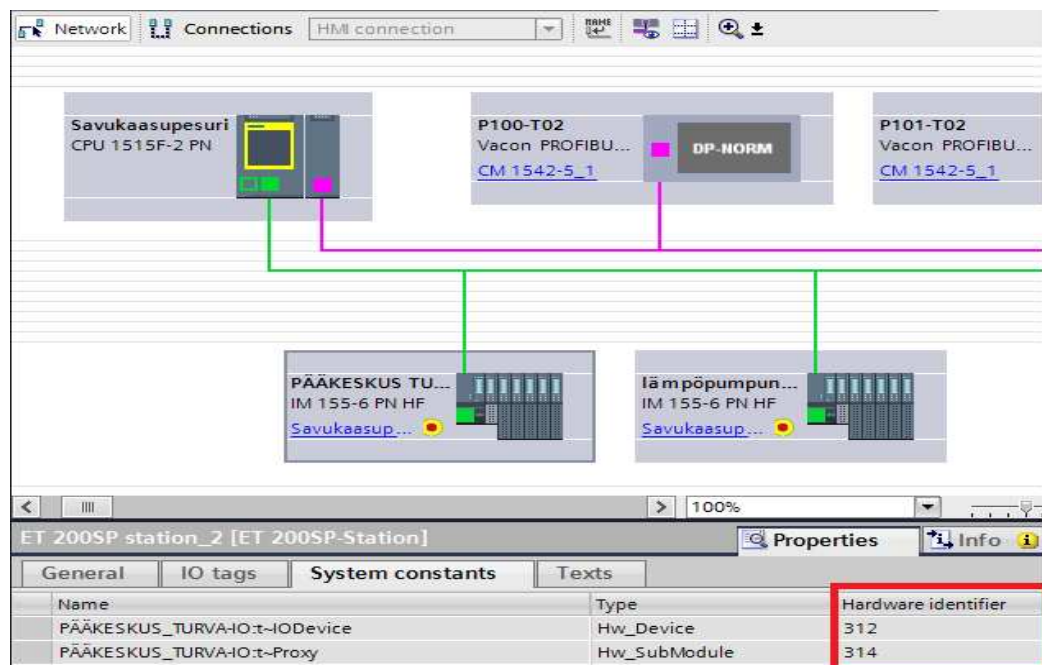
### KUVIO 16 S7-1515 F- logiikan pääräkin IO-osoitteistuksen luonti

Edellä mainittujen toimenpiteiden lisäksi luodun CPU:n asetuksia muokattiin halu- tuiksi, kuten annettiin sen ethernet -porteille tarvittavat osoitteet ja määritykset. Kun uuden logiikan asetukset oltiin muokattu mieleisiksi, poistettiin vanha 300-sarjan logiikka projektista, joka poisti sen liittynät myös Profibus DP ja ethernet - liittytäisille laitteille. Tämän jälkeen rakennettiin haluttu väylä- ja verkkotopologia uudelle logiikkaohjaimelle. Tällä viimeisteltiin laitteiston hardwaren rakenteen ku- vaaminen logiikkaohjaimelle.

Kun laitteiston hardwaren kuvaus oli saatu valmiiksi, aloitettiin itse savukaasupesurin ohjelmistokoodin muokkaus. Ohjelmistolle tehtiin jälleen Compile all – toiminto, jolla kasattiin ja tarkastusajettiin ohjelmakoodi lävitse käänöksessä tulleiden virheiden havaitsemiseksi. Kyseisen ajon seurauksena havaittiin, että ohjelmakoodi ei ollut sel- laisenaan täysin soveltuva uudelle logiikkaohjaimelle. Yhteensopimattomuus johtui eri sukupolvien logiikkaohjaimien firmwaren erilaisesta ohjelma- ja toimilohkokirjas- tosta.

Ohjelmaa lähdettiin muokkaamaan toimivaksi kokonaisuudeksi tekemällä järjestelmä diagnostiikkaa valvova ohjelmakierto uusiksi. Diagnostiikalla valvotaan IO-korttien virhetiloja, kuten jännitesyötön puuttumista. Diagnostiikka havaitsee myös tärkeim- pien väyläsolmujen kommunikointivirheet sekä logiikkaohjaimen integroitujen diagnostiikkaledien tilan. Aiemmassa logiikkaohjainsarjassa käytössä olleet diagnos- tiikkafunktiot RDSYSST -toimilohkot korvattiin uuden logiikkasarjan tukemilla LED funktiolla sekä modulestates toimilohkolla. LED FB:n avulla pystytään tutkimaan ha-

lutun laitteen integroitujen diagnostiikkaledien tilaa, näin saadaan selville esimerkiksi että onko logiikkaohjajien CPU virhe tai maintenance -tilassa. Näiden diagnostiikkatietojen lisäksi rakennettiin päälogiikan sekä etä-IO –yksiköiden IO-korttien tilatietojen tarkastelu modulestates toimilohkolla, johon syötettiin hardware konfiguraatiosta löytyvät automaattisesti generoidut hardware identifier tiedot HW\_DEVICE – tietotyyppinä. Lohkoon laitettiin myös haluttu diagnostiikkatieto, joka lohkon haluttiin poimivan laitteistosta. Näiden toimintojen avulla pystyttiin valvomaan järjestelmän tilaa, joka helpottaa mm. huoltotoimenpiteissä mahdollisten vikatilanteiden ja IO-korttien jännitekatkojen esiintyessä. Alla olevassa kuviossa on esitetty kuvaus laitekonfiguraatiosta, ja sieltä löytyvät hardware identifierit.



KUVIO 17 Hardware konfiguraatio ja HW identifier

Kun haluttujen järjestelmän statustilojen poiminta oli rakennettu, lisättiin ohjelmistoon tarvittavia OB –lohkoja pääkiertolohkon OB1 lisäksi. OB –lohkot ovat ohjelmiston pääkiertolohkoja, joissa kutsutaan haluttuja aliohjelmiä. OB-lohkoja on jatkuvasti syklisesti käytettävän OB1:n lisäksi tietyllä aikakeskeytyksellä toimivia lohkoja, joihin sijoitetaan laitteiston aikakeskeytyksestä riippuvaiset ohjelmakomennot, kuten säädinlohkot. Säädinlohkoja suoritetaan kiinteällä syklillä niiden sisältämän sisäisen laskeksen vuoksi. Näiden lisäksi on vielä poikkeus- ja vikatilanteissa suoritettavia ohjelmakutsulohkoja. S7-1500 sarjan logiikkaohjain tarvitsee pääkiertolohkon OB1 lisäksi OB80 –lohkon. Ilman kyseistä ohjelmakiertolohkoa logiikkaohjain menee run tilasta

stop tilaan, mikäli aseteltu kiertoaika ylittyy ohjelmakierrossa. Edellä mainitun lohkon lisäksi logiikan stop – tilan aiheuttaa OB121 puuttuminen, mikäli ohjelmakoodi sisältää ohjelmointivirheitä, joita kääntäjätyökalu ei ole pystynyt havaitsemaan. (Programming Guideline for S7-1200/S7-1500 2014, 35.)

Eri ohjelmointiympäristöjen välillä on eroa niiden tukemissa ohjelmointikomennoissa ja -toimilohkoissa. Esimerkiksi Tia-portal ohjelmointityökalun versiossa V11 osoitettaessa SCL-kielisessä komentosarjassa DB muuttujaan eroaa V13 version tavasta käsitellä osoituksia. Eri logiikkasarjojen väliset eroavaisuudet vaikuttavat myös käytettävissä oleviin ohjelmointilohkoihin Tästä syystä Siemens onkin koonnut eri logiikkasarjojen tukemista lohkoista manuaalin. Kyseisestä manuaalista ilmenee eri logiikkasarjojen ja niissä olevien ohjelmointikielien tukemat ohjelmointikomennot. Kuten esimerkiksi ”SCALE\_X” komento esitellään manuaalissa löytäväksi vain S7-1200 ja S7-1500 ohjainsarjoista, sekä samalla ilmaistaan että S7-1200 sarja ei tuo komentoa STL-kielillä. (Comparison list for programming languages based on international mnemonics - A5E33285102-AA 2014, 16).

Kun järjestelmätasoa käsittelevät ohjelmalohkot oli saatu muokattua, muokattiin tarkastusajossa virheelliseksi havaittu analogiasignaalien käsittelylohko vastaamaan 1500 –sarjan logiikan käskykantaan. Analogiasignaalien käsittelyä varten oli jo aiemmin rakennettu skaalaus FB, jolla tulkittiin analogiasignaalin tilaa ja skaalattiin mittauksen näyttämä arvo SI-yksikölliseksi reaalitykiksi. Lohko piti sisällään Siemensin hälytyksien käsittelyyn rakentaman Alarm\_DQ –ohjelmalohkon, kyseistä lohkoa voitiin käyttää hälytyksien jälleenantoon halutuista mittauksista. Uudemmassa logiikkaohjainsarjassa kyseinen toiminto on kuitenkin korvattu muilla toiminnoilla, eikä kyseistä komentoa enää tueta. Tämän johdosta analogialohkoa muokattiin, ja hälytyksien jälleenanto WinCC valvomoon ja muun ohjelmakierron käyttöön rakennettiin käyttäen omavalmisteista hälytyksien käsittelylohkoa. Hälytyksien käsittelylohkolla tehdään mittaussignaalien skaalauksen lisäksi raja-arvo hälytyksien ja johdinkatkojen valvonta.

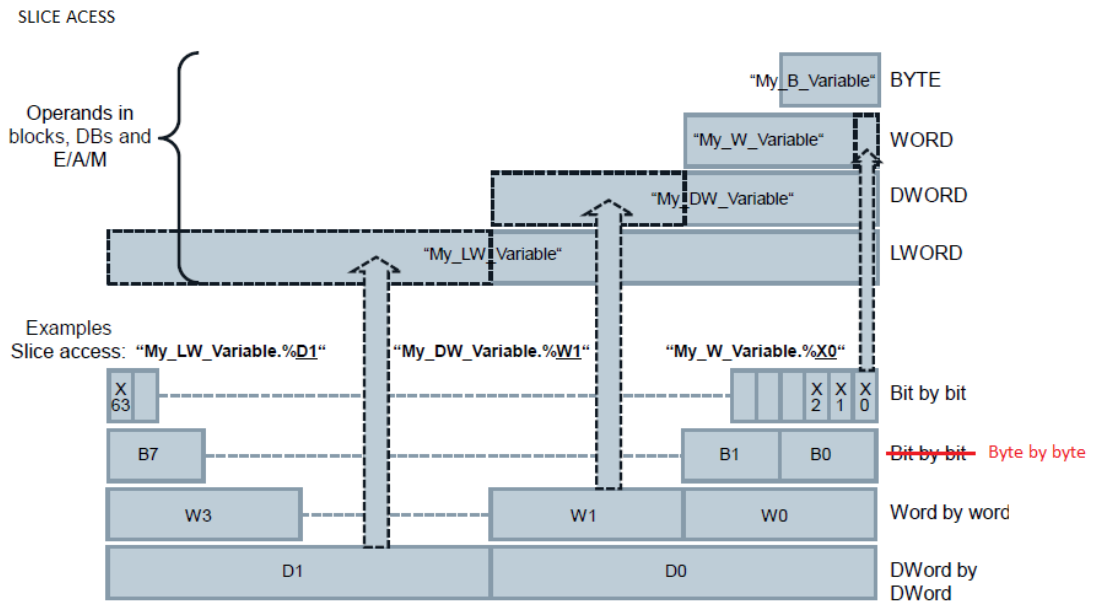
Logiikkasarjojen väliset erot tuetuissa ohjelmointikirjastoissa ja komennoissa aiheuttivat myös tarpeen muokata kemikaalin annosteluun käytetyn väyläohjatun pumpun toimilohkoa. Kyseinen toimilohko on rakennettu SCL-ohjelmointikieltä käyttäen, ja se pitää sisällään indirect –osoituksia. Kyseiset osoitukset viittaavat integer muuttujan

avulla logiikan tulo- tai lähtöosoitteisiin. Kyseinen lohko ei kuitenkaan sellaisenaan toiminut S7-1500 ohjaimelle tehdyssä V13 –version koodissa, sillä se oli tehty V11:sta silmällä pitäen. Kyseinen lohko käytti hieman erilaista esitysmuotoa pointtereita määriteltäessä.

Uusien komentojen toiminnosta haettiin lisätietoa Siemensin ohjelmointityökalun online helpistä, sekä Indirect osoitusta käsitteleviltä verkkosivuilta. Uuden logiikka-sarjan myötä käyttöön on tullut uusia komentoja lukemista ja kirjoittamista varten, kuten PEEK (lukeminen) ja POKE (kirjoittaminen) komennot. (All about S7-1200 & S7-1500 indirect addressing (pointers). viitattu 30.7.2016.)

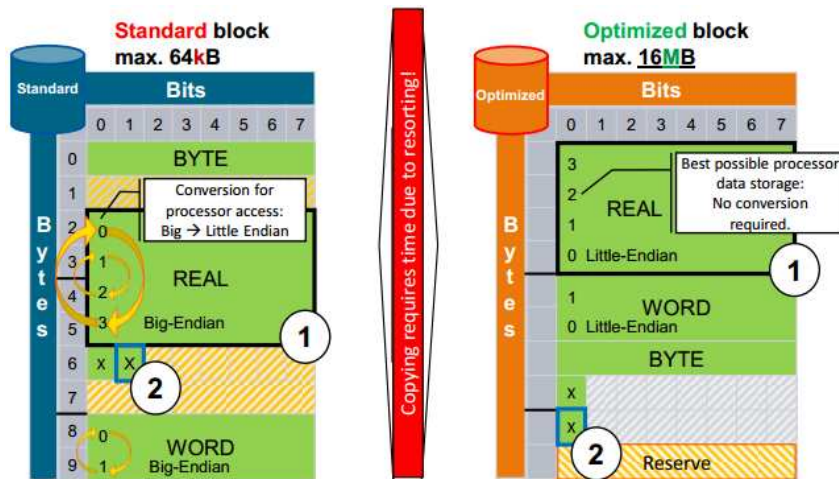
Kemikaalipumpun ohjelmalohko muokattiin vastaamaan uusia viittaustapoja, ja tämän jälkeen sen toimintaa simuloitiin komentojen oikeellisuuden varmistamiseksi testilogiikan ja väyläohjatun pumpun avulla.

Uuden sukupolven logiikkaohjaimet hyödyntävät myös optimoitua DB rakennetta. Kyseiset rakenteet ovat logiikkaohjaimen ohjelmoinnissa käytettäviä muistirakennetaulukoita. Kyseinen ominaisuus optimoi muistirakenteen käyttöä, sekä antaa uusia tapoja käyttää ja osoittaa muistissa oleviin tietotyyppisiin slice access toiminnon avulla. Optimoitu tietorakenne voidaan ottaa käyttöön tai sen sijasta voidaan käyttää perinteistä DB rakennetta, jolloin osoitus muistirakenteen tietotyyppisiin tehdään niiden offset osoitteen avulla. Tällöin esimerkiksi DB numeron 3 toisen sanan ensimmäinen bitti löytyy komennolla DB3.DBX2.1. Optimoitua osoitusta käyttäen samainen osoitus voidaan tehdä viittaamalla suoraan toiseen sanaan, riippumatta tietorakenteen tietotyyppistä, kuten esimerkiksi tulosana2.X1. Aiemmin tietotyypit tuli olla tarkemmin määritelty esimerkiksi boolean tyyppisiksi, mikäli niihin halutaan osoittaa suoraan bitti kerrallaan. Slice access -osoitukset mahdollistavat monipuolisemman tietojen siirtämisen ja hyödyntämisen muistipaikoista. Alla olevassa kuviossa on esitetty Slice access ominaisuuden hyödyntämismahdollisuuksia tietotyyppisiin osoitettaessa.



KUVIO 18 Slice access -osoitus tietotyyppeihin. (Programming Guideline for S7-1200/S7-1500 2014, 67.) Lähdeä korjattu 1.11.2016, Bit => Byte.

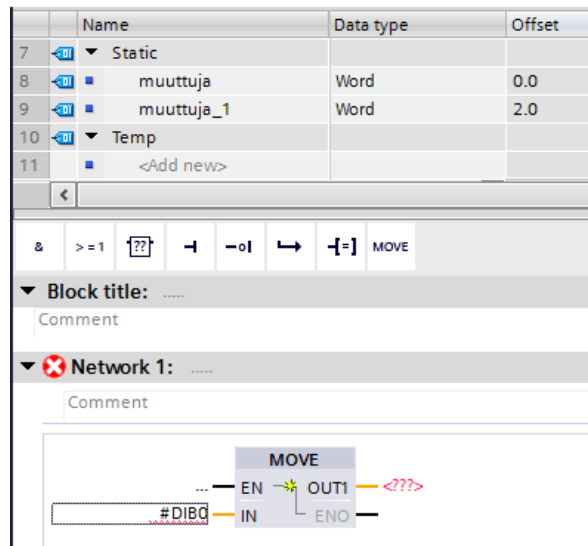
Optimoidun tietorakenteen käyttöön ottaminen vaikuttaa myös logiikan tapaan käsitellä tavujen järjestystä osoitettavassa sanassa, sekä mahdollistaa huomattavasti suurempien tietorakenteiden tekemisen. Seuraavassa kuviossa on esitetty kuinka aiemmin käytettyjen standardi tietorakenteiden sanan sisäiset tavut vaihtavat luetaessa paikkaansa, ja kuinka ne optimoidulla tietorakenteella pysyvät paikoillaan.



KUVIO 19 Standardi ja optimoitu tietorakenne DB (Programming Guideline for S7-1200/S7-1500 2014, 12.)

Aiemmin S7-300 sarjan logiikoilla tietyissä tilanteissa, kuten väyläohjattujen taajuusmuuttajien ohjauspiireissä, tuli tehdä luettavalle sanalle aiemmin esitetty tavujen

kääntö, jotta halutut bitit löytyivät loogisesti niitä etsitystä osoitteista. Käännös suoritettiin aiemmin tekemällä ohjaus FB:n sisäisiä välimuuttujia apuna käyttäen. Seuraavassa kuviossa on esitetty, että S7-1500 sarjan logiikkaohjain ei tue kyseistä Static –muuttujiin osoittamista perinteisellä #DIB –komennoilla.



KUVIO 20 Osoitus Static muuttujaan

Koska lähdekoodi oli rakennettu hyödyntäen vanhentunutta käskykantaan, päätettiin lohko rakentaa viittauksien osalta uusiksi hyödyntäen optimoitua tietorakennetta. Tällöin pystytään suoraan viittamaan tietotyyppiin haluttuihin osiin, eikä tavujen kääntöä enää sanojen sisällä tarvitse suorittaa.

Kun ohjelmisto oli saatu muokattua V13 ymäristöön sopivaksi, ajettiin koko projektille Compile all – tarkastustoiminto. Kyseisellä tarkastusajolla varmistettiin, että kaikki yhteensopivuusongelmat ohjelmalohkojen välillä oli saatu onnistuneesti poistettua.

## 5.4 Turva-automaation ohjelmointi

Laitteiston turvaluokitellun ohjelmiston rakentaminen aloitettiin normaalin logiikkaohjelman rinnalle STEP 7 Safety V13 SP1 ohjelmiston avulla, joka on integroitu lisäosa TIA-portal V13 ympäristössä. Valitussa turvaluokitellussa logiikkaohjaimessa on normaalista ohjelmakerrosta riippumaton itsenäinen turvaohjelma, jolla päästään ohjelmiston sekä CPU:n hardware rakenteen osalta SIL3 tasoiseen suojaukseen.

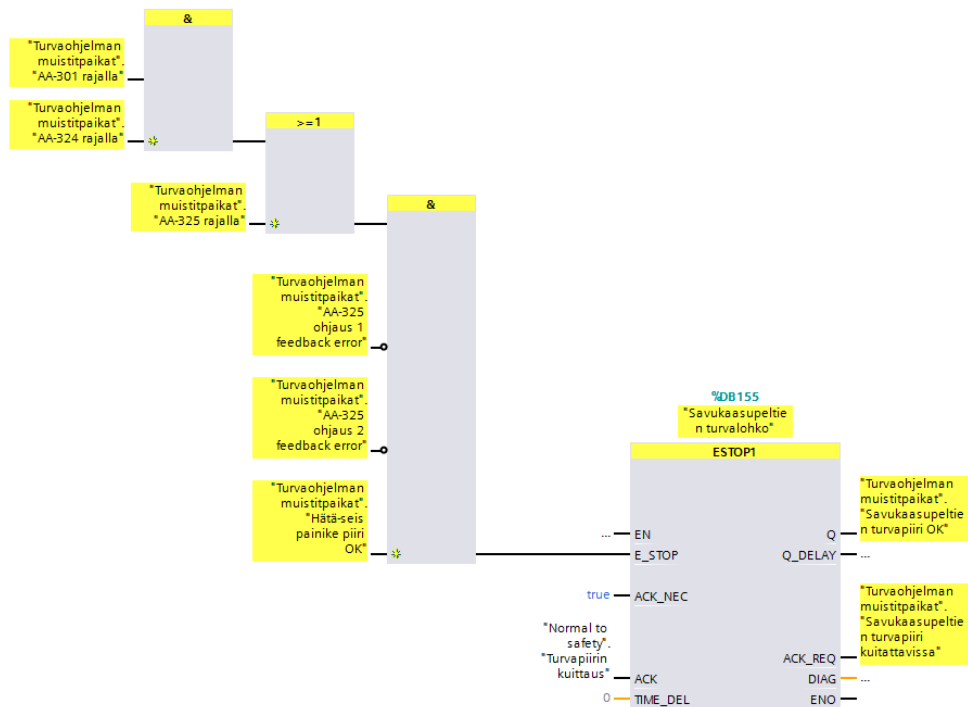
Turvaohjelmointi aloitettiin muokkaamalla aiemmin luotua laitteiston hardware konfiguraatiota. Turvaluokitelluille IO-korteille määriteltiin niiden diagnostiikan tilat ja

signaalien valvonta-ajat. Digitaalisille tulokorteille määriteltiin myös niiden jännitetyttöjen suunnat, sekä rajakytkimiltä tulevien signaalien 1..1 ja 1..2 toiminnot. Kyseisillä toiminnoilla kerrotaan järjestelmälle, että onko kyseessä yksi yksittäinen anturi, vai valvotaanko rajakytkimen tai hätä-seis painikkeen tilaa kahdennetusti.

Kun laitteiston hardware puoli oli saatu parametroitua vastaamaan toivottuja ominaisuuksia, niin tämän jälkeen luotiin turvaohjelman runko. Turvaohjelma koostuu syklisesti suoritettavasta turvaohjelmakierrosta, jossa kutsutaan haluttuja turvaohjauksiin käytettyjä aliohjelmia sekä niiden DB tietorekistereitä. Seuraavassa kuviossa 21 on esitetty turvakierron luominen ja parametointi.

#### KUVIO 21 Turvaohjelman ohjelmakutsun luominen ja parametointi

Turvaohjelman rungon luomisen jälkeen aloitettiin varsinainen ohjelman luominen. Ohjelma kasattiin Siemensin kehittämien turvahyväksytyjen ja validoitujen ohjelmalohkojen avulla, joiden ympärille rakennettiin halutunlaiset ohjaus- ja turvaehdot. Ohjelmassa valvotaan jokaisen turvaluokitellun rajakytkimen ja lähtöreleen tilatietoa, sekä tehdään halutunlaisia ohjauksia ja hätäkatkaisuja ongelmatilanteiden esiintyessä. Seuraavassa kuviossa on esitetty savukaasukanaviston turvaehdon luominen. Mikäli järjestelmään ei tule savukaasupeltien rajakytkimiltä toivotunlaista savutie avoinna signaalia, niin laitteiston ohittamista varten luotu savukaasupelti pakkoavataan savutien avoimuuden varmistamiseksi.



KUVIO 22 Turva-ohjelmassa tehty savutien aukiolon valvonta

Jokainen turvatoiminto luotiin omaan turvaluokiteltuun FB -lohkoonsa, jotta ohjelmiston seuraaminen ja muokkaaminen muihin sovelluksiin olisi helpompaa. Kun jokaiselle turvapiirille oli luotu omat ohjausehtonsa, niin tämän jälkeen luotiin DB rekistereitä apuna käyttäen tiedonsiirto sekä turvaohjelmaan päin, että turvaohjelmasta tavalliseen logiikkaohjaukseen päin. Näin saadaan normaalin ohjelmakierron tietoon turvaohjelman turvakatkaisut, sekä normaalista ohjelmasta tietoja prosessin toiminnasta ja kuitauspyynnöistä turvaohjelman käyttöön. Turvaohjelman hätäpysäytyksistä, pakkoavauksista sekä IO-korttien vikatiloista luotiin hälytyksiä valvomonäytölle, jotta turvalaitteiston tilaa pystytään helpommin monitoroimaan.

Turvaohjelmiston valmistuttua sen ohjauksien oikeellisuus ja oikeaoppinen rakenne validoitiin ja tarkastettiin hyvien suunnitteluperiaatteiden mukaisesti ulkopuolisen toimijan toimesta. Ohjelmiston ulkopuolinen tarkastus on standardissa määritelty vaadittava osakokonaisuus turvatyötä tehdessä. Näin pyritään varmentumaan siitä, että mahdollisia systemaattisia suunnitteluvirheitä, kuten piileviä ohjelmistovikoja ei pääse syntymään. Tarkastajana ohjelmistolle toimi Elomatic Oy:n automaatio suunnitteluun ja -konsultointiin erikoistunut yksikkö.



## 5.5 Käyttöliittymän kehitystyö

Käytössä olleet HMI -näytöt olivat aiemman kehitysprojektin tiimoilta jo tuotteistettu graafikon toimesta vastaamaan Caligo Industria Oy:n omaa esitystapaa esitysgraafikkansa osalta. Näyttöjen grafiikkaa oli kehitetty myös käytettävyyttä silmällä pitäen. Mutta laitteiston ohjaamiseen tarkoitettua käyttöliittymää päätettiin kuitenkin kehittää edelleen sekä omien kehitysajatusten, että asiakaskyselyssä tulleiden kehitysehdotusten pohjalta. Kyseinen käyttöliittymä sijaitsee savukaasupesurin päässä sähkökeskuksen oveen sijoitetussa Comfort Panel kosketusnäytössä, sekä erillisessä graafisesti identtisessä PC-valvomossa. PC-valvomo on varustettu myös prosessidatan tiedonkeruulla, sekä PC:n etäkäytön mahdollistavalla ohjelmistolla.

Näyttöjen kehitystyö aloitettiin tarkastamalla simulaattorin avulla, että näytöt olivat kääntyneet oikein V12 => V13 ohjelmistokäännöksessä. Nopeasti havaittiin, että näytöt olivat pieniä yksityiskohtia lukuun ottamatta kääntyneet oikein toiminnallisuksiin, ainoana tarkastelua vaativana seikkana huomattiin joidenkin objektien siirtyminen väärille piirroksille. Objektit siirrettiin niiden oikeille näyttökerroksille, jotta ne piirtyivät oikein, eivätkä peittäneet ylemmillä tasoilla kuuluvia grafiikoita.

Kun alkuperäiset näytöt havaittiin olevan tarkastettu ja toimivan oikein, aloitettiin muokkaamaan niitä parantamalla asiakastytyväisyys kyselyssä esiin tulleilla toiveilla. Kehitystyötä tehdessä huomioitiin, että hälytystekstit voisivat olla selkokielisempiä. Hälytyslistan tekstit käytiin lävitse ennen niiden muokkaamista asiaa käsittelevässä palaverissa, jossa keskusteltiin kuvaavammista näyttöteksteistä. Hälytysrivien parannettujen tekstien lisäksi päätettiin lisätä ohjetekstikenttä jokaiselle hälytykselle, jonka saa esiin valitsemalla hälytysrivin ja avaamalla infotekstiä varten luodun popup-ikkunan. Esiin tulevasta ikkunasta pystyy lukemaan tarkennetun kuvauksen hälytyksestä, kuten esimerkiksi hälyttävän toimilaitteen sijainnista sekä mahdollisesta vian aiheuttajasta. Hälytykset myös jaettiin hälytyslistalla useampaan hälytysluokkaan niiden vakavuuden perusteella, näin käyttäjä pystyy paremmin havainnoimaan onko kyseessä pelkkä varoitus, hälytys vai koko laitteiston alasajon aiheuttava vikatila.

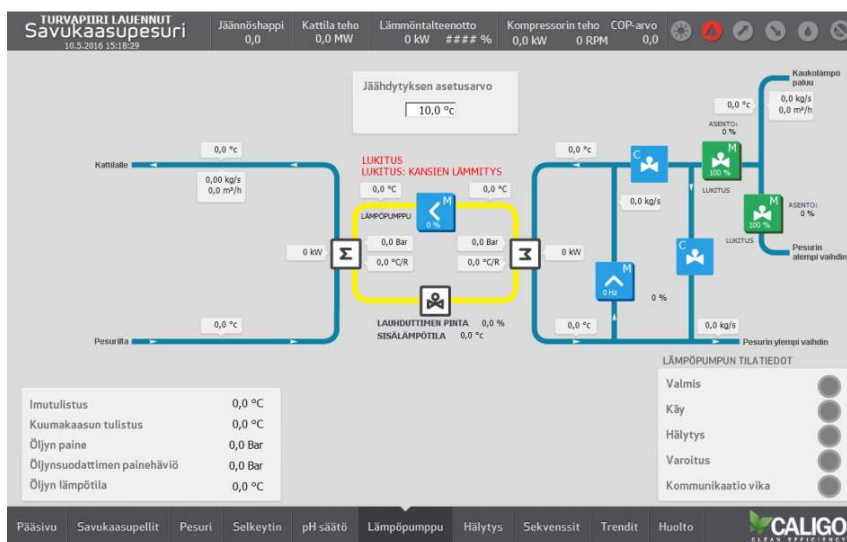
Laitteiston käyttöhenkilöstöä haastatellessa esiin tulleita toiveita laitteiston kehittämiseksi olivat myös toive estää laitteistoa lähettämästä GSM-hälytyksiä, mikäli laitoksella on operoiva henkilö paikalla. Tämän johdosta näytölle rakennettiin miehitet-

ty/miehittämätön –valintakytkin, jolla pystyy estämään laitteistoa lähettämästä etähälytyksiä. Kyseiselle ominaisuudelle rakennettiin myös jokaisella valvomon sivulla näkyvä merkkivalo ilmaisemaan hälytysten jälleenannon tilaa. Symboli sijoitettiin seuraavan kuvion mukaisesti näytön ylälaudassa sijaitsevalle ilmaisain alueelle, josta löytyvät myös muut laitteiston tilaa ilmaisevat ajotilasymbolit.



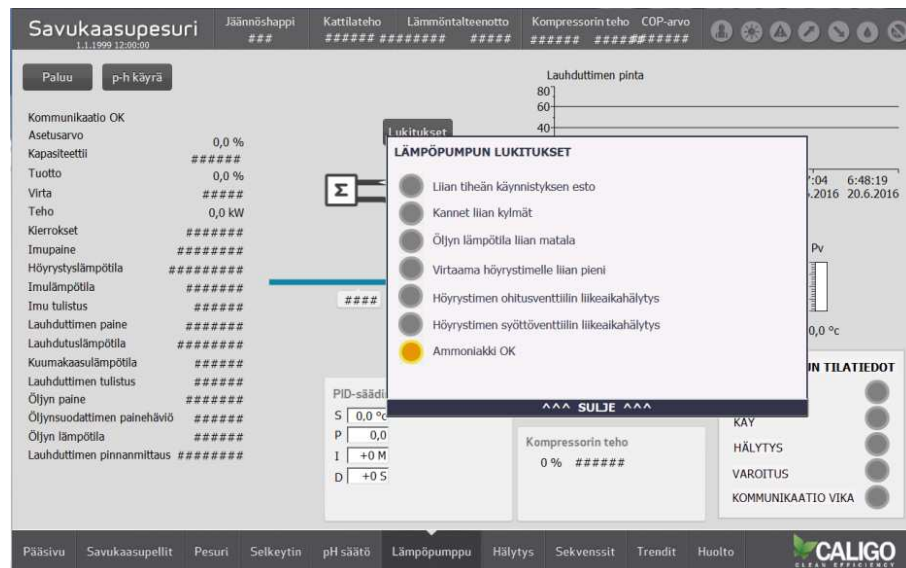
KUVIO 23 Valvomon ajotilasymbolit

Tämän lisäksi kyseiselle ilmaisain alueelle sijoitettiin kesäajotilan ilmaiseva symboli, joka kertoo laitteiston olevan käännetty pois lämmöntalteenotto tilasta. Tällöin laitteisto toimii pelkkänä hiukkaspesurina. Lisättyjen symbolien lisäksi näyttöjen prosessikuvia päätettiin kehittää lämpöpumppusivun osalta, sillä asiakaskyselyssä toivottiin sivulla näkyvän enemmän koottua informaatiota lämpöpumpun tilasta. Tämän johdosta osa mittaustiedoista siirrettiin pesurin pesupumppujen ohjaussivulle, sekä lämpöpumppusivu muokattiin vastaamaan enemmän pelkkää lämpöpumppua koskevia tilatietoja ja sen sisäisiä mittauksia. Lisäksi sivulle lisättiin virtuaalisia mittauksia, kuten lämpötiloja, jotka laskettiin muiden virtaus- ja lämpötilanmittausten perusteella logiikassa. Tehdyt näytöt simuloitiin niiden toiminnan varmistamiseksi, seuraavassa kuviossa on esitetty kuvio tekeillä olevasta uudesta pelkistetystä lämpöpumppusivusta.



KUVIO 24 Lämpöpumpun ohjaussivun simulointi

Lämpöpumpulle luotiin myös käyttöhenkilöstön toiveiden mukaisesti erillinen lukitusnäyttö, josta ilmenee onko lämpöpumpulla sen käynnistämistä estäviä lukitustietoja voimassa. Alla olevassa kuviossa on esitetty työn alla oleva lukitusnäyttö.



KUVIO 25 Lämpöpumpun lukitusikkuna

Näyttökuvien prosessikaavioiden päivityksen jälkeen nähtiin tärkeäksi vielä lisätä turvalogiikan lisäyksen yhteydessä tulleita uusia saatavilla olevia tilatietoja ja hälytyksiä näytölle, sekä rakennettiin turvaluokiteltujen IO:den tilatietojen monitorointia ja kuittausta varten oma sivunsa. Kyseinen alasiivu päätettiin rakentaa hyödyntäen V13 version tukemia uusia ominaisuuksia, kuten slider- ja popup-ikkunoita hyödyntäen. Hälytykset sivulle koottiin alanäytöksi esiin liukuva ikkuna, josta ilmenee turvapiirien tilat ja tikaspuumainen lukituskaavio hätä-pysäytyksen aiheuttavista pysäytysehtoketjuista. Kyseisestä kaaviosta pystyy varmentamaan, että millaisilla ehdoilla ja mistä tilanteesta mahdollinen turvatoiminto on suoritettu, sekä pysäytyksen aikaleima.

Nopeamman käyttöönoton takaamiseksi ja etätuen antamisen helpottamiseksi päätettiin näytölle luoda myös salasanalla ja käyttäjätunnuksella suojattu piilossa oleva parametrintasuri. Sivulla esitetään normaalilta käyttöhenkilökunnalta piilossa olevia parametreja, joilla pystytään muokkaamaan laitteiston toimintaa, kuten hälytysrajoja. Hälytysrajoja ei haluttu pystyttävän muuttamaan käyttöhenkilökunnan toimesta, jotta laitteiston turvallinen toiminta pystytään takamaan. Joissain tilanteissa on kuitenkin eduksi pystyä muuttamaan laitteiston parametreja, ja näiden parametrien haluttiin olevan muokattavissa ilman varsinaista ohjelmointilaitetta mm. ohjelmoin-

tia tekevän henkilöstön ajan säästämiseksi. Parametrointisivulle kasattiin myös mm. laitteiston tilasta aikaleimatietoja, sekä mahdollisuus ajaa laitteistoa testauksen aikana ilman joitain lukitusehtoja. Kyseisellä ominaisuudella haluttiin nopeutta käyttöön-ottoa, jotta esimerkiksi pumppuja pystytään pyörittämään pyörimissuunnan tarkistamiseksi ilman ohjelmiston muokkaamista lukitusten poistamiseksi. Poistetuista lukituksista annetaan näytölle hälytystieto, tällä haluttiin varmistetaa lukitusten palauttaminen käyttöönnoton jälkeen.

## 5.6 Testilogiikka

Suunnitelmien varmentamista varten hankittiin täysimittainen logiikka – testilaitteisto. Kyseisellä laitteistolla haluttiin varmentua piirikaavioiden ja ohjelmiston yhteensopivuudesta ennen varsinaista asiakasprojektia. Hankinta piti sisällään logiikkaohjaimen IO-kortteineen, riviliitinpalkit, sekä etä-IO yksiköt. Testilaitteisto kasattiin vastaamaan aiempia suunnitelmia ja seuraavaa asiakasprojektia. Laitteisto kasattiin testiympäristöön, jossa oli saatavilla 24 voltin tasajännite korttien jännitetyttöjä, sekä IO-signaalien simulointia varten.

Laitteiston kasaaminen aloitettiin kalustamalla päälogiikan IO-kortit niille varattuun asennuskiskoon. Korttien asennuksen jälkeen asennettiin niihin valmiskaapeliratkaisut liityntäkampoineen, joihin kytkettiin kenttäinstrumentointia varten olevat riviliitinpalkit. Huomioitavaa oli, että aiemmasta logiikkasarjasta poiketan analogiset tulo-kortit eivät tarvinneet asennettaessa kanavaparikohtaisia määrittämiä signaalin aktiivisuudelle ja passiivisuudelle jumpperipalojen avulla. Määrittäminen tehtiin ohjelmallisesti, sekä kytkennän oikealla liitinnumeroinnin valitsemisella. Tämän lisäksi havaittiin, että uusi logiikka vaati hieman erilaista asennustekniikkaa liitinpalkkien suhteen. Alla on esitetty kuvio rakenteilla olevasta logiikkajärjestelmästä.



KUVIO 26 Testilogiikan rakennusvaihe

Riviliitinpalkkien asennuksen jälkeen päästiin rakentamaan päälogiikalle IO-korttien vaatimat jännittesyötöt, sillä osa korteista haluttiin syöttä riviliitinpalkkien välityksellä ja osa suoraan logiikan liityntäkampojen avulla. Jännittesyöttöjen jälkeen kasattiin ET200SP etä-IO yksiköt turvakortteineen. Niille rakennettiin jännittesyötöt sekä ethernet-liitynnät verkkokytkimen avulla oikean väyläkommunikaation varmistamiseksi. Verkkokytkimeen lisättiin myös kosketysnäyttöinen operointipaneeli, jotta valvomosovelluksen toimivuus kyseisen järjestelmän ja uusien ominaisuuksien kanssa pystyttiin testaamaan.

Tämän jälkeen testilaitteistoon haluttiin lisätä vielä yksi Profibus DP – kommunikointia käyttävä laite, jotta Profibus master –kortin oikea toiminta pystyttäisiin varmentamaan. Testattavaksi laitteeksi valittiin Profibus ohjattu kemikaalin-syöttöpumppu, joka parametroidiin oikeille kenttäväyläasetuksille.

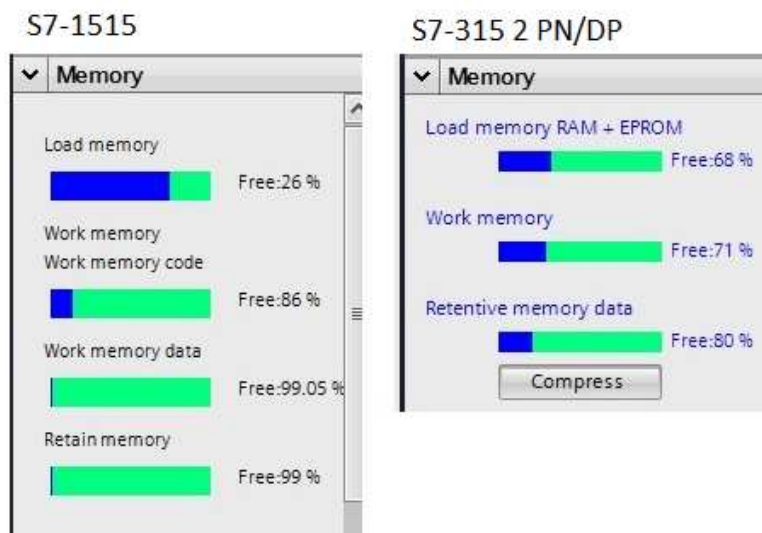
Kun laitteisto saatiin kasattua, siihen kytkettiin käyttöjännitteet ja parametroidiin Profinet pohjaisille laitteille, kuten CPU ja etä-IO –yksiköt, niiden ethernet -osoitteet. Laitteiden saatua niiden oikeat osoitteet ladattiin päälogiikan CPU:hun sen aiemmin tehty ohjelmisto hardware järjestelmätopologia kuvauksineen.

Hardwaren latauksen jälkeen tutustuttiin tarkemmin ladatun hardwaren ominaisuuksiin, ja päätettiin ottaa aiemmin kaavailtua enemmän käyttöön kortti- ja kanavakohtaisia diagnostiikkoja. Näitä diagnostiikkatietoja nähtiin tarpeelliseksi lukea hälytys-

ten tekemiseksi korttien jännitesyöttöjen puuttumisen tai väylässä olevien etä-io nodejen vikatilojen havaitsemiseksi. Kyseisiä vikatiloja simuloitiin irrottamalla Profi-net nodeja järjestelmästä, sekä irrottamalla IO-kortteja niiden jännittesyötöistä.

Kun hardware tasolla oltiin saatu ohjelmisto testattua toivotulla tasolla, niin tämän jälkeen ryhdyttiin testaamaan IO-korttien kommunikointia itse laitteita ohjaavan ohjelmiston kanssa. Simuloinnissa testattiin jokaisen signaalityypin liityntäpalkkien oikea toiminta. Kyseisellä testauksella haluttiin varmentua uuden järjestelmän oikeanlaisesta kytkentätavasta. Testausta suoritettiin mm. simuloimalla mA – virtalähteellä sekä aktiivisia, että passiivisia analogiatulosignaaleita, sekä ohjaamalla riviliitinrele-palkkeja tehdyn ohjelmiston avulla. Tavallisen IO-signaalien lisäksi haluttiin simuloida myös turvaluokiteltujen signaalien haluttu käyttäytyminen esimerkiksi väyläkatkotilanteissa. Testauksessa varmennuttiin ajatuksista, että IO-korttien ja riviliitinpalkkien välinen kommunikointi toimii kuten oli sähkösuunnitteluvaiheessa ajateltu ja että kytkentäliittimet vastasivat tehtyjä sähkökuvia.

Testauksen lopuksi haluttiin varmentua vielä siitä, että kuinka täyteen testilogiikan muisti tuli kyseisellä ohjelmistolla. Seuraavassa kuviossa on esitetty vertailuna ruudunkaappauskuvat samaisen ohjelmiston muistin varauksesta aiemmalla S7-300 sarjan logiikalla, sekä S7-1515 logiikkaohjaimella.



KUVIO 27 Logiikan muistinvaraus

S7-1500 sarja varaa noin kymmenkertaisesti muistikortilta muistia aiempaa 300-sarjan logiikkaan verrattuna, tallentaen sinne tietotyyppejä ja kommentteja. (How do you estimate the memory requirements of your project in load memory of a SIMATIC S7-1500, viitattu 10.9.2016).

Asiaa testattaessa havaittiin, että vaikka S7-1515 oli varustettu 4 mb muistikortilla, kun taas S7-315 512 kb muistikortilla, niin uuden logiikkaohjainsarjan muistikortti täyttyi huomattavasti enemmän vastaavanlaisella ohjelmistolla. Toisaalta laitteiston sisäiseen muistiin jäi huomattavasti enemmän vapaata tilaa, niin työmuistin kuin pysäyismuistinkin osalta. Kyseinen muisti mahdollistaa laajempien ohjelmistojen rakentamisen, ja muistikortin muistia pystytään kasvattamaan tarvittaessa valitsemalla entistä suurempi muistikortti.

## **6 Suunnitelmien toimivuuden varmentaminen ja laitteiston käyttöönotto**

Suunnitelmien valmistuttua ja testilogiikalla simuloinnin jälkeen järjestelmäpäivitys todettiin olevan seuraavan asiakasprojektin osalta valmis, tämän jälkeen suoritettiin keskustarjouspyynnöt muutamilta aiemmin käytetyiltä luetettavaksi osoittautuneilta toimittajilta. Saatujen sähkökeskustarjosten jälkeen valittiin keskustoimittaja, jolle lähetettiin työkuvasarja keskusten valmistusta varten. Keskusvalmistuksen aikataulutus käytiin lävitse muun projekti-henkilöstön kanssa. Kyseisessä palaverissa tarkasteltiin laitteiston mekaanisen valmistumisen tavoiteaikataulua, jonka mukaan määritettiin sähkökeskuksille niiden toimitusaika. Keskusten valmistusajaksi arvioitiin aiemman kokemuksen mukaan noin kahdeksan viikkoa.

Keskusvalmistuksen alettua keskusvalmistajalle lähetettiin testikäytössä ollut logiikkakokonaisuus kalustettavaksi sähkökeskuksiin. Keskuksien valmistuttua keskuksien oikeellisuus todettiin silmämääräisellä tarkastuksella ennen niiden lähettämistä mekaanista kasausta suorittavalle yritykselle. Tarkastus haluttiin tehdä ennen lähetystä, jotta vältetään suurimmat muutostarpeet mahdollisten virheellisten kokoonpanojen takia. Työmaaolosuhteissa myöhemmin tehtävät kytkentämuutokset tulevat huomattavasti keskusvalmistusta kalliimmaksi. Seuraavassa kuviossa on esitetty pääsähkökeskus keskusvalmistajalla suoritettuna tarkastuksen aikana.



KUVIO 28 Pääsähkökeskus keskusvalmistuksessa

Kun keskuskeskukset oli hyväksytyt lähetettäväksi, päivitettiin valmistuksen aikaiset piirikaaviot ja taulukot keskusvalmistuksen aikana tulleilla muutoksilla. Tällöin myös tallotettiin keskusvalmistajan antama vakuutus keskuskeskusten lakien ja asetusten täyttävyydestä laitteiston loppudokumentointia varten.

Keskusvalmistuksen aikana suoritettiin myös tarjouspyynnöt laitteiston sähköuraointiin liittyen. Tarjouspyyntöihin saatiin useita vastauksia, ja niiden perusteella valittiin sähkökytkennät suorittava yritys. Urakointisopimuksen tekemisen jälkeen lähetettiin työkuvasarja sähköurakoitsijalle, sekä täydelliset materiaaliluettelot kaapeli- ja komponenttihankintoja varten.

Sähköasennukset käynnistettiin, kun mekaaninen rakenne oli riittävän pitkälle valmistunut. Asennusten valmistuttua aloitettiin laitteiston FAT –testaus (Factory Acceptance Test), jossa käydään laitteiston oikea toiminta lävitse konepajan tiloissa, ennen sen lähettämistä loppuasiakkaan tiloihin. Loppuasiakkaan tiloissa suoritetaan laitteiston säätimien lopullinen virittäminen SAT – testauksen (Site Acceptance Test) avulla. FAT – testauksessa käydään Caligo Industria Oy:n sisäisen tehdastestausstandardin mukaisesti lävitse yksittäisten laitteiden toiminta, sekä ohjelmiston sekvenssin oikeanlainen toimivuus.

FAT – testaus aloitettiin lataamalla viimeisin versio laitteiston ohjelmistosta ja laitekuvauksesta logiikkaohjaimeen, sekä HMI käyttöpaneeliin. Samalla etä-IO-yksiköille ladattiin niiden IP-verkko-osoitteet. Kun ohjelmisto oli ladattu, parametroidiin laitteis-



ton moottorien ohjauksiin käytettävät taajuusmuuttajat, ja testattiin niiden oikea toiminta sekä moottorien oikeat pyörimissuunnat. Taajuusmuuttajien parametroidin yhteydessä varmistuttiin myös niiden ohjaukseen käytettävän Profibus – väylän oikeasta toiminnasta.

Tämän jälkeen alettiin järjestelmällisesti tarkastamaan kenttäinstrumenttien oikeaa toimintaa ja parametroida IO-testauksen muodossa, tulo- ja lähtökorttien sulakkeita kytkettiin päälle korttikohtaisesti. Jokainen mittaus- ja rajakytkinsignaali tarkastettiin IO-listan ja PI-kaavion avulla, jos laitteen kytkennöissä jouduttiin tekemään korjauksia, niin muutoksista piirrettiin punakynäkuvat. Tarkastetuista signaaleista tehtiin sähkökuviin, sekä FAT-tarkastuslistoihin merkintä oikeasta toiminnasta, jotka toimivat pöytäkirjoina suoritetusta IO-testauksesta. Seuraavassa kuviossa on esitetty valokuva laitteiston rakennusvaiheesta, sekä FAT- testauksen aloituksesta.



KUVIO 29 Laitteisto sähköasennukset rakennusvaiheessa, sekä FAT –testaus

Päivitetyn automaatiojärjestelmän sähköiset kytkennät todettiin oikein toimiviksi, punakynäkuvia tuli lähinnä vain muutamien rajakytkinsignaalien toimintasuunnasta johtunen, sekä turvareleiden apukärjen kytkentäsuunnasta. Apukärki oli epähuomiossa piirretty virrankulkusuuntaan nähden väärinpäin, tämän seurauksena turvaporeleet kytkettiin keskuksessa uusiksi niiden toiminnan takaamiseksi. Kaikkinensa järjestelmäpäivitys todettiin sähköisiltä kytkennöiltään onnistuneeksi kokonaisuudeksi, ja normaalista poikkeavia virheitä ei löytynyt. Sähköurakoitsija toimitti asennuksien päätteeksi vielä vaadittavat mittaustodistukset maadoitusten jatkuvuudesta,

sekä suurimpien syöttöjen eristysvastusmittauksista. Kyseiset tarkastusdokumentit liitetään laitteiston loppudokumentaatioon.

Kun kaikki mittaukset ja ohjaukset oli tarkastettu ajamalla laitteita yksitellen, niin tämän jälkeen aloitettiin vesikoeajovaihe. Vesikoeajoissa laitteisto täytetään konepajalla vedellä, joka mahdollistaa pesurin ajamisen ja ohjelmiston testaamisen. Vesikoeajojen aikana laitteistosta havaitaan myös mahdolliset mekaaniset puutteet ja nestevuodot. Vesikoeajoissa suoritetaan ohjelmiston testaaminen yhdessä kokonaisen laitteiston kanssa. Niissä käydään lävitse mm. laitteiston ohjaukseen käytettävien sekvenssien oikeanlainen toiminta. Samalla varmennetaan hälytyksien toimivuus sekä säätöpiirien oikea toiminta siltä osin kuin ne tehdasolosuhteissa ilman muuttuvia prosessisuureita on mahdollista simuloida.

Vesikoeajoissa suoritetaan myös laitteiston turva-automaation oikeanlaisen toiminnan testaus. Tuotekehityshankkeen yhteydessä siirryttiin perinteisistä turvareleista ohjelmoitavaan turvalogiikkaan, joten ohjelmiston oikeaa toimintaa pyrittiin simuloimaan kaikilla mahdollisilla vikatilanteilla. Testauksia suoritettiin hätä-pysäytyksien avulla, sekä irrottamalla laitteiden rajakytkintietoja sekä käyttövoimia. Kyseisillä vikatilanteiden simuloinneilla haluttiin varmistaa oikeanlaisen turvatoiminnon tapahtuminen, normaaliin ohjaukseen oikea reagointi turvakatkaisuun, sekä valvomönäkymän toiminta kyseisissä tilanteissa.

Vesikoeajojen jälkeen laitteiston moduulien väliset tiedonsiirtokaapeloinnit irroitettiin, ja laitteistokokonaisuus valmisteltiin muovituksilla säältä suojaamiseksi erikoiskuljetusta varten. Etenkin pääsähkökeskus, herkimmät kenttäinstrumentit, sekä moottorit nähtiin tarpeelliseksi suojata erittäin tarkasti.

Erikoiskuljetuksen saavuttua kattilalaitostyömaalle suoritettiin savukaasupesurin moduulien nostaminen paikoilleen, sekä tarvittavien prosessiliityntöjen tekeminen liityntäpintoihin. Tarvittavia prosessiliityntöjä ovat savukaasukanaviston kykemisen lisäksi kaukolämpö-, vesi- ja paineilmalinjat. Prosessiliityntöjen tekemisen jälkeen laitteistoon kytkettiin sen pääsähkökeskukseen sähkönsyöttö kiinni kattilalaitoksen pääkeskukselta, sekä tehtaalla irroitettujen moduulien väliset tiedonsiirtokaapelit rakennettiin takaisin tiedonsiirtoverkkoa varten.

Kun laitteisto oli saatu liitettyä osaksi kattilalaitoksen prosessia, aloitettiin sen SAT-testaus. Testauksissa käytiin lävitse laitteiston ohjelmiston oikea toiminta yhdessä kattilalaitosprosessin kanssa. Samalla viritettiin sen säätöpiirit kyseiseen laitokseen sopiviksi. Testauksissa suoritettiin myös savukaasupesurin ja kattilalaitoksen logiikan välisen kommunikoinnin oikeellisuus, kuten hälytysten virheetön siirtyminen pääjärjestelmälle.

SAT –testeistä tehtiin testauspöytäkirjat, ja viime hetken asiakaskohtaisista muutoksista piirrettiin punakynäkuvat laitteiston loppudokumentaatiota varten. Onnistuneiden testausten jälkeen aloitettiin laitteiston luovutusta varten häiriötön koekäyttöjakso. Ongelmitta sujuneen koekäytön jälkeen laitteisto luovutettiin loppudokumentteineen asiakkaalle.

## **7 Kehitysprojektin toteutunut kustannusrakenne**

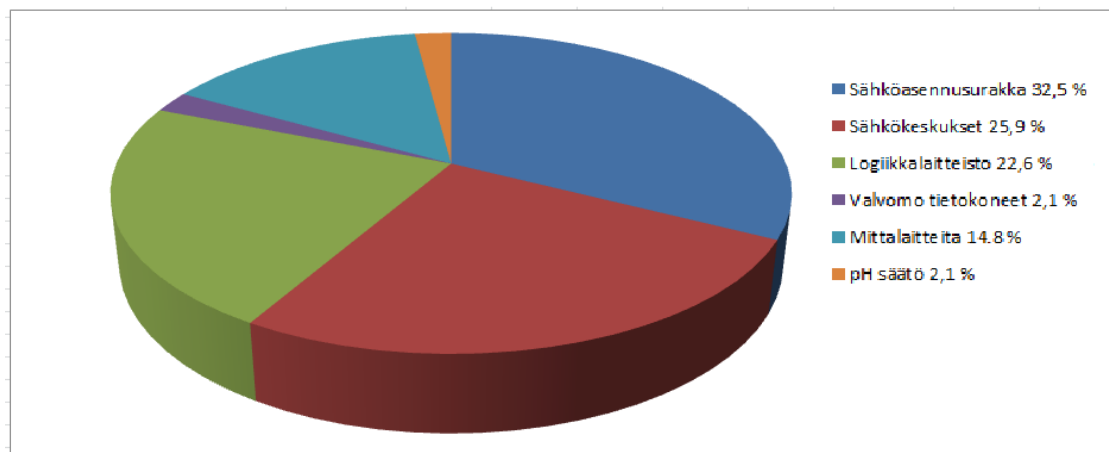
Laitteiston valmistuttua päätettiin tarkastella projektista aiheutuneita sähköistykseen, instrumentointiin ja automatisointiin liittyviä kustannuksia. Kyseistä tuotekehityshankkeen kohteena ollutta kokonaisuutta päätettiin verrata aiemmalla tekniikalla toteutettuun saman kokoluokan savukaasupesuritoimitukseen. Saman kokoluokan toimitukseen verrattaessa, sähkökeskusten virtaluokituksen ja kenttäkaapeloinnin vahvuuden ollessa sama, saadaan realistinen kuva saman prosessikokonaisuuden hinnasta.

Keskimäärin automatisoinnin osuus on ollut hieman alle 15 prosenttia koko toimituksen kulurakenteesta. Kyseisessä kehitysprojektissa automaatiojärjestelmä kenttäinstrumentteineen oli noin 13 prosenttia kaikista hankinnoista, joten kokonaishankintakustannuksiin verrattuna projektin kulurakenne pysyi modernisoinnista huolimatta lähes ennallaan. Huomattavaa on, että yleinen hintatason nousu materiaaleissa ja mekaanisessa asennuksessa vaikuttivat projektin lopulliseen kokonaiskustannusrakenteeseen nostavasti.

Automatisointiin liittyvät kustannukset kasvoivat kuitenkin noin seitsemällä prosentilla aiempaan vastaavanlaiseen toimitukseen verrattuna, vaikka modernisoitu päälogiikkajärjestelmä oli ostokustannuksiltaan lähes saman hintainen aiemman S7-300 sarjan logiikkaohjaimen kanssa. Logiikkalaitteiston kustannuksia kasvatti kuitenkin

etä-io ratkaisuiden, sekä turva-automaation intergroiminen suoraan logiikkaohjaimeen. Nämä nostivat logiikkalaitteiston kokonaiskutannuksia noin 30 prosenttia. Kyseinen kustannusten nousu uskottiin alustavien laskelmien mukaan kuitenkin kompensoituvan täysin logiikkakeskuksen pääturvareleiden ja -monistajien poisjäänneillä, sekä yksinkertaisemmalla sähköasennustyöllä.

Seuraavassa kuviossa on esitetty kustannusten jakautuminen eri SIA – hankintojen kesken.



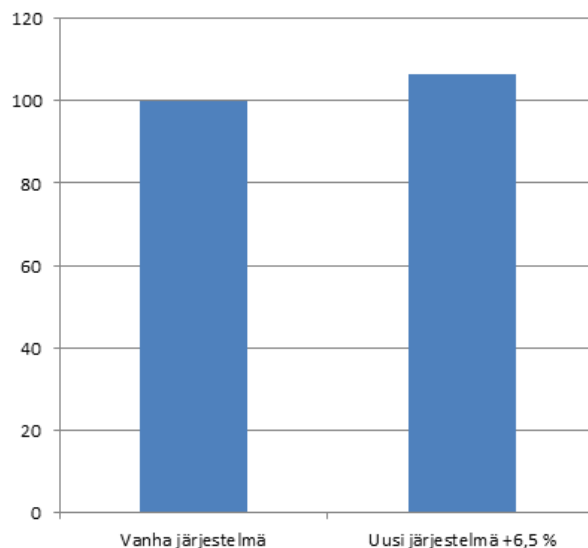
KUVIO 30 Eri osa-alueiden vaikutus sähköistyksen kokonaishintaan

Edellisestä kuvioista havaitaan, että suurimmat kuntannukset muodostuvat ulkoisesti ostetusta asennustyöstä komponentteineen, kuten keskusvalmistuksesta sekä sähköurakoinnista. Näiden aiheuttamat kustannukset ovat yhteensä lähelle 60 % koko projektin SIA – kustannuksista. Kyseinen vertailu nähtiin hyödylliseksi tehdä, jotta nähtiin eri osa-alueiden vaikutukset kokonaishinnan kehittymiseen. Kyseisestä laskennasta on jätetty pois vanhan ja uuden järjestelmän osalta moottoreista ja automaattiventtiileistä aiheutuvat ostokustannukset, sillä ne on laskettu mukaan putkistojen mekaanisten asennusten kuluihin, eikä niiden ostohinnassa ole havaittu suuria muutoksia saman kokoluokan projektien kesken.

Sähkökeskusten yhteishinta kasvoi lähes 18 prosentilla verrattuna aiempaan ostohintaan. Kyseinen muutos tuli yllätyksenä, vaikka keskuksia oli aiempaa enemmän, niin kalliita turvaluokiteltuja keskuskomponentteja oli pystytty korvaamaan modernimmalla logiikkalaitteistolla. Tämän lisäksi suunnittelulla pyrittiin laskemaan keskusten kasauksessa tarvittavaa työ- ja erikoiskomponenttien määrä, sekä osa keskuksen sisäisistä komponenteista hankittiin jo logiikkalaitteiston yhteydessä, kuten kenttäin-

strumentoinnin kytkentää varten olevat riviliitinpalkit. Modernimman liityntäteknii-  
kan ja etä-io keskuksien uskottiin vähentävän myös sähköurakointiin kohdistuvia kus-  
tannuksia, etenkin laitteiston uudelleen kasaukseen liittyen lämpölaitostyömaalla.  
Väyläteknikka käytettäessä säästettiin merkittävästi uudelleenkasauskustannuk-  
sissa. Kyseisiä ratkaisua käytettäessä sähköurakoinnin kokonaishinta tippuikin noin  
12 prosenttia.

Seuraavassa kuviossa on esitetty SIA –osuuteen laskettavien hankintojen kokonais-  
hinnan muutos aiempaan järjestelmään verrattuna, kasvua oli aiemmin mainitut 7  
%. Vaikka kasvua kuluissa tuli huomattavasti, niin kulujen nousun nähtiin johtuvan  
työhinnon kasvusta, sillä käytettävien komponenttien määrän ja niiden asen-  
nettavuuden uskottiin olevan kuitenkin edellisempää aiempaan verrattuna.



KUVIO 31 SIA - kustannusten nousu prosentteina

Kustannusten kasvu nähtiin kuitenkin siedettävänä modernisoinnin tuomien etujen  
takia, uusi järjestelmä antaa laitteistolle huomattavasti pidemmän elinkaaren, ja sen  
tuomat edut nähtiin hyväksi asiaksi mm. käytettävyyden, järjestelmän diagnostiikan  
sekä nopeamman asennettavuuden takia.

Jatkossa kuitenkin pyritään optimoimaan laitteiston kustannusrakennetta kasvavan  
kilpailun takia. Kehitysprojektissa haluttiin varmistaa laitteiston riittävyys ylimitoituk-  
sen avulla. Jatkossa pystytään valitsemaan pienemmällä resursseilla varustettu CPU –  
yksikkö, koska on kokemusperäistä tietoa laitteiston riittävydestä ylimitoitettuna  
kyseiseen käyttöön. Lisäksi logiikkalaitteiston osalta kustannussäästöjä pystytään

hakemaan suosimalla enemmän Profinet liityntöjä osana taajuusmuuttajalähtöjä, jolloin erillistä Profibus liityntäkorttia ei välttämättä tarvita.

Suurimman osan kustannuksista otti kuitenkin ulkoisesti ostettu asennustyö. Asennustyötä pyrittiin helpottamaan ja nopeuttamaan suunnittelun avulla, kuten käyttämällä edullisia pikaliitynnällä varustettuja valmiskaapeliratkaisuja ja etä-IO väyläliityntöjä. Jatkossa päätettiin kilpailuttaa asennuksia enemmän, sekä miettiä edelleen keinoja asennustyön helpottamiseksi.

## 8 Työn ja tulosten arviointi

Opinnäytetyönä toteutettiin tuotteistetun savukaasupesurin automaation ja sen sähköjärjestelmän tuotekehitysprojekti, jossa etsittiin uusia kehityssuuntia ja parannusehdotuksia olemassa olevalle järjestelmälle. Työn tavoitteeksi asetettiin nykyaikainen, mutta kustannustehokas järjestelmäkokonaisuus. Automaation haluttiin myös palvelevan entistä tehokkaammin asiakkaiden tarpeita.

Kehitysprojektin tuloksena saatiin aikaiseksi toimiva ohjauslogiikkapäivitys, ja kaikinensa kehitysprojektin tuloksia arvioitaessa nähtiin projekti varsin onnistuneeksi kokonaisuudeksi. Uuden sukupolven logiikkaohjaimen ansiosta laitteiston automaatiolle pystyttiin takamaan huomattavasti pidempi elinkaari, sekä tehtyjen hajautettujen kenttä-IO ratkaisuiden ansiosta säästettiin laitteiston kenttäasennuskustannuksissa ja ajassa. Koska päivitys nähtiin teknisesti onnistuneeksi kokonaisuudeksi, niin laitteiston ympärille rakennettu päivitetty ohjelmakoodi käyttöliittymineen päätettiin ottaa jatkossa vakiotuoteratkaisun lähdekoodiksi.

Päivityksen yhteydessä turva-automaation modernisointi logiikkapohjaiseksi nähtiin myös onnistuneeksi päätökseksi. Muutoksen myötä sähkökeskusten kytkennät selkeytyivät ja komponenttimäärä väheni. Tämän ansiosta laitteiston ja sen turvaohjelmiston muokkaaminen erilaisiin asiakastarpeisiin nähtiin jatkossa helpommaksi ja nopeammaksi toteuttaa. Myöskin laitteiston diagnostiikan tilatietojen määrä kasvoi, jonka uskotaan helpottavan käyttäjiä mahdollisissa vikatilanteissa.

Asiakastyytyväisyyskyselyssä esiin tulleet päivitykset toteutettiin päivityksen yhteydessä. Niiden uskotaan lisäävän laitteiston käytettävyyttä. Varmoja tuloksia niiden toimivuudesta tullaan saamaan jatkossa asiakkaspalautteen merkeissä, kunhan uudistetun järjestelmän käyttäjät saavat käyttökokemusta tuotteesta. Tehtyjen kehitysratkaisujen uskotaan kuitenkin parantavan laitteiston monipuolisuutta uusine pienine lisäominaisuuksineen.

Kehitysprojektin kustannukset kasvoivat hieman aiemmin kaavaillusta, osittain johtuen ylimitoituksesta ja osittain ulkoisista tekijöistä. Projekti opettikin sen, että kokonaiskustannusten hallintaan vaikuttavat monet tekijät. Vaikka jokin muutos näyttää laskennallisesti kustannustehokkaalta vaihtoehdolta, niin käytännössä kustannukset saattavat silti muuttua suuremmiksi projektin edetessä, esimerkiksi juurikin ulkoisten työkustannusten johdosta. Vaikka kustannuksissa tapahtuikin kasvua, voidaan silti olla tyytyväisiä kyseisen järjestelmän kokonaishintaan suhteutettuna projektin kokonaiskustannuksiin, sekä muutoksilla saavutettuihin etuihin.

Projektin alussa kaavailtu valmistumisaikataulu hieman venyi ulkoisista tekijöistä johtuen. Laitteiston viimeiset kenttätestaukset myöhästyivät kattilalaitos uudishankkeen kokonaisuikataulun pitkittymisen johdosta. Varsinainen suunnittelu ja tehdastestaukset päästiin suorittamaan aiotun aikataulun mukaisesti, mutta loppuasiakkaan toivomuksesta laitteisto otettiin käyttöön ja luovutettiin noin kuukausi kaavaltua aikataulua myöhemmin. Tästä ei koitunut kuitenkaan ongelmia, ja nähtiinkin viisaaksi suorittaa viimeiset viritukset laitteistolle rauhassa vasta muun prosessin ollessa täydessä toimintavalmiudessa.

Vaikka Siemens Sinamics taajuusmuuttajien käytöstä päätettiin kyseisessä projektissa luopua aikataulullisista syistä, niin kuitenkin kyseisen projektin rinnalla käynnistetyssä pienemmän mittaluokan testilaitteistossa niitä kuitenkin päätettiin kokeilla käyttökokemuksien kartoittamiseksi. Moottorilähdöt osoittautuivat kyseisen sivuprojektin edetessä sopiviksi vakiotuoteratkaisuun, ja niitä tullaan jatkossa käyttämään savukaasupesurien automaation vakiotuoteratkaisuun.

Kehitysprojektia arvioitaessa pidän sitä moneltakin kantilta katsottuna laaja-alaisena ja opettavaisena. Työtä tehdessä havaittiin muutoksien vaikuttavan niin

sähkösuunnitteluun kuin sen kautta laitteiston ohjelmistoonkin. Näiden lisäksi muutoksia tuli kenttäinstrumentointiin pitäen sisällään prosessitekniset sekä turva-automaation vaatimukset. Kyseiset muutokset vaikuttavat myös monella tavalla laitteiston kustannusrakenteeseen. Täydelliseen järjestelmäpäivitykseen nähtiin myös liittyvän riskejä niin aikataulullisesti kuin toiminnallisestikin. Tämä nähtiin etenkin riskinä, koska tuotekehitys haluttiin toteuttaa osana asiakasprojektia sen vaatimien aikataulujen mukaisesti. Riskeistä huolimatta lopputuloksena saatiin modernisoitu versio aiemmin käytetystä tekniikasta. Käyttäjätasolla muutos näkyy lähinnä käyttöliittymän muutamina uusina ominaisuuksina. Käytännössä laitteistoa kuitenkin ohjataan uudistetusta tekniikasta huolimatta visuaalisesti samannäköisen käyttöliittymän välityksellä.

Projekti oli opettavainen myös aikataulun hallinnan, ja siihen liittyvien mahdollisten suunnitteluresurssien ja ulkoisten muuttujien arvioinnin kannalta, kuten komponenttien toimitusaikoja arvioitaessa. Etenkin osalla turva-automaation komponenteilla oli tavanomaista pidemmät toimitusajat, ja kyseisten komponenttien viivästyminen olisi pahimmillaan voinut myöhästyttää koko laitteiston toimitusajankohtaa.

Projektissa pääsi myös hyvin soveltamaan YAMK koulutuksessa syvennettyjä uusia taitoja verkkotekniikan ja turva-automaation osalta. Opittujen asioiden käytännönläheinen soveltaminen omaan päivätyöhön liittyen vankisti osaamista entisestään. Projektissa oppi myös uusia taitoja mm. turva-ohjelmointiin liittyen, sekä lisäksi uuden sukupolven logiikkaohjaimet tulivat tekniikaltaan syvällisemmin tutuiksi.

Kaikkienensa projektia pidettiin onnistuneena, ja hyvänä mallipohjana tuleville vastaaville savukaasupesuritoimituksille. Hyvät kokemukset ja positiivinen asiakaspalaute edesauttavat seuraavienkin tuotekehityshankkeiden käynnistymistä.



## Lähteet

All about S7-1200 & S7-1500 indirect addressing (pointers). <http://bytex.it>. viitattu 30.7.2016

Comparison list for programming languages based on international mnemonics, A5E33285102-AA. 2014. 1-58. Saksa: Siemens Industry sector.

Hakkaranen, Kari. 2013. Inspecta koulutusmateriaali: Kattilalaitosten turva-automaatio. 1 – 125.

How do you estimate the memory requirements of your project in load memory of a SIMATIC S7-1500. Siemens Industry online support.

<http://support.industry.siemens.com/cs/document/97553417>. Viitattu 10.9.2016.

Järvenreuna J. & Nummila M. Nykyaikainen savukaasupesuri – merkittävä biolämpölaitosten kannattavuuden parantaja. 2015. 1- 4. Turku: Caligo Industria Oy

Järvenreuna J. & Nummila M. Caligo CSX HP –savukaasupesurijärjestelmä. 2016. 1-10. Turku: Caligo Industria Oy.

Kattilalaitosten turvallisuuteen liittyvä automaatio – KLTk 10. 2000. 1 – 28. p. Suomi: Kattilalaitosten turvallisuuskomitea

Kaukolämmitys. 2016. Energiateollisuus ry. Viitattu 21.9.2016. <http://energia.fi/kotija-lammitys/kaukolammitys>

Nummila, Mika. 2015. Savukaasupesuri koulutus. 2016. 1- 45. p. Jyväskylä: Caligo Industria Oy

Nummila, Mika. 2016. Teknologijaohdaja. Caligo Industria Oy. Haastattelu 8.6.2016.

Programming Guideline for S7-1200/S7-1500. 2014. Saksa: Siemens AG Koulutusmateriaali.

Siemens industry online support. 6ES7315-2EH14-0AB0.

<https://support.industry.siemens.com/cs/pd/480032?pdtdi=pi&lc=en-US>. Viitattu 15.9.2016

Simatic S7 Controllers. 2015. 1-18. Saksa: Siemens AG


Turva-automaatio prosessiteollisuudessa – TUKES OPAS. 2007. 1 – 16. p. Helsinki: Libris Oy.

## Liitteet

### Liite 1 Kustannuslaskelma aiemmalle pääjärjestelmälle

| S7-300_2 (S7-300)   |  | 6.540,40 EUR | 18 |   |
|---|--|--------------|----|---|
| Load current supply PS 307, AC 120/230V, DC 24V, 5A<br>6ES7307-1EA01-0AA0   |  | 139,00 EUR   | 1  | + |
| CPU 315-2 PN/DP<br>6ES7315-2EH14-0AB0                                       |  | 2.042,00 EUR | 1  | + |
| Digital input 32DI, 24V DC; isolated<br>6ES7321-1BL00-0AA0                  |  | 312,00 EUR   | 1  | + |
| Digital output 32DO, 24V DC, 0.5A; isolated<br>6ES7322-1BL00-0AA0           |  | 431,00 EUR   | 1  | + |
| Analog input 8AI; 16-bit; isolated<br>6ES7331-7NF00-0AB0                    |  | 559,00 EUR   | 4  | + |
| Analog output 8AO; 11/12-bit; isolated<br>6ES7332-5HF00-0AB0                |  | 927,00 EUR   | 1  | + |
| DIN rail 480 mm<br>6ES7390-1AE80-0AA0                                       |  | 29,10 EUR    | 1  | + |
| Front connector, 40-pin, with screw contacts<br>6ES7392-1AM00-0AA0          |  | 35,90 EUR    | 1  | + |
| Front connector, 40-pin, with spring-loaded terminals<br>6ES7392-1BM01-0AA0 |  | 35,90 EUR    | 6  | + |
| Micro Memory Card 512 KB<br>6ES7953-8LJ30-0AA0                              |  | 173,00 EUR   | 1  | + |

## Liite 2 Kustannuslaskelma uudelle pääjärjestelmälle

|  <b>S7-1500 (S7-1500)</b> |  | 6.836,00 EUR | 19 |  |
|--|--|--------------|----|---|
| <b>Load current supply PM 70W, 120/230 V AC, 24 V DC, 3 A</b><br>6EP1332-4BA00                               |  |              |    |   |
|  |  | 110,00 EUR   | 1  | +   |
| <b>CPU 1515-2 PN</b><br>6ES7515-2AM01-0A80   |  |              |    |   |
|  |  | 2.060,00 EUR | 1  | +   |
| <b>Digital input, DI 32x24VDC HF</b><br>6ES7521-1BL00-0A80   |  |              |    |   |
|  |  | 280,00 EUR   | 1  | +   |
| <b>Digital output, DQ 32x24VDCI0.5A ST</b><br>6ES7522-1BL00-0A80   |  |              |    |   |
|  |  | 399,00 EUR   | 1  | +   |
| <b>Analog input, AI 8xUIIRT/TC ST</b><br>6ES7531-7KF00-0A80  |  |              |    |   |
|  |  | 540,00 EUR   | 4  | +   |
| <b>Analog output, AQ 8xUII HS</b><br>6ES7532-5HF00-0A80  |  |              |    |   |
|  |  | 658,00 EUR   | 1  | +   |
| <b>Mounting rail S7-1500, 482 mm, for 19" cabinets</b><br>6ES7590-1AE80-0AA0                                 |  |              |    |   |
|  |  | 27,00 EUR    | 1  | +   |
| <b>Front connector, screw-type terminal for 35mm modules, 40-pin</b><br>6ES7592-1AM00-0X80                   |  |              |    |   |
|  |  | 33,00 EUR    | 1  | +   |
| <b>Front connector, push-in system for 35mm modules, 40-pin</b><br>6ES7592-1BM00-0X80                        |  |              |    |   |
|  |  | 33,00 EUR    | 6  | +   |
| <b>Memory card, 4 MB</b><br>6ES7954-8LC02-0AA0   |  |              |    |   |
|  |  | 51,00 EUR    | 1  | +   |
| <b>Communication Module, CM 1542-5, PROFIBUS DP Master/Slave</b><br>6ES7542-5DX00-0XE0                       |  |              |    |   |
|  |  | 860,00 EUR   | 1  | +   |

## Liite 3 Turvallisuuden ehystason todennuslaskelma

| Turvallisuuheystason todennuslaskelma  |   | Laskenta perustuu standardiin IEC 61508-6   |   |
|--|---|---|---|
| Projekti   | 38612   |   |   |
| Poikkeama  | 1.1   |   |   |
| Turvapiiri:  | Savukaasupellin AA325 avaus                           | Kuvaus:   | Piirillä valvotaan, että savutie on auki. |
| Laskenta suoritettu järjestelmän testausvälillä 1 vuosi = $T_{\text{proot}}$ , korjausajalla MTRR 8 tuntia |   |   |   |
|  |   |   |   |
| <b>Piirin toimintatodennäköisyys:</b>  |   |   |   |
| <b>Anturi tiedot</b>   | 1..2  | Kaksikärkinen rajapaketti   |   |
| SIL  | 3   | HTF 1   |   |
| PFD <sub>S</sub>   | 7,76E-06  |   |   |
| <b>Turvaosan tiedot</b>  |   |   |   |
| Turvatulokortti  | SIL   | 3   |   |
|  | PFD <sub>I</sub>                                      | 2,00E-05  |   |
| CPU -Logiikkaosa   | SIL   | 3   |   |
|  | PFD <sub>I</sub>                                      | 2,00E-05  |   |
| Turvalähtökortti   | SIL   | 3   |   |
|  | PFD <sub>I</sub>                                      | 2,00E-05  |   |
| Väliturvarele  | SIL   | 3   |   |
|  | PFD <sub>I</sub>                                      | 2,36E-05  |   |
|  |   | Yhteensä  | SIL 4                                     |
|  |   |   | PFD <sub>I</sub> 8,36E-05                 |
| <b>Toimilaitteen tiedot</b>  |   |   |   |
|  | PFD <sub>Ia</sub>                                     | 1,76E-04  |   |
| PFD <sub>ypä</sub>   | PFD <sub>S</sub> +PFD <sub>I</sub> +PFD <sub>Ia</sub> | 2,67E-04 => SIL 3   |   |
|  |   | Harvojen vaateiden toimintatapa   |   |
|  |   | Saavutettu laskennallinen SIL luokan =>   | 3   |
| <b>Piirin HW-arkkitehtuurin varmennus</b>  |   |   |   |
| <b>Anturi tiedot</b>   | 1..2  |   |   |
| Type   | A   |   |   |
| HFT  | 1   |   |   |
| SFF  | 85 %  | Anturi  |   |
|  |   | Kytkenän SIL luokka=>   | SIL 3                                     |
| <b>Logiikkaosa</b>   |   |   |   |
| Turvatulo  | SIL3  | // Valmistajan ilmoitus   |   |
| CPU  | SIL3  | // Valmistajan ilmoitus   |   |
| Turvalähtö   | SIL3  | // Valmistajan ilmoitus   |   |
| Turvarele  |   |   |   |
| Type   | A   |   |   |
| HFT  | 0   |   |   |
| SFF  | 99,98%  | => SIL3   |   |
|  |   | Logiikkaosa   |   |
|  |   | Kytkenän SIL luokka=>   | SIL3                                      |
| <b>Toimilaitteen tiedot</b>  |   |   |   |
| Type   | B   |   |   |
| HFT  | 0   |   |   |
| SFF  | 94 %  | Toimilaite  |   |
|  |   | Kytkenän SIL luokka=>   | SIL 2                                     |
| Laitteiston matalin SIL luokka kyseisellä arkkitehtuurilla:  |   |   | 2   |
| <b>Yhteenveto</b>  |   |   |   |
| Toimintatodennäköisyyden SIL   | 3   | Turvallisuuheystaan lisäksi myös turvaluokittelulla magneettiventtiileillä käyttövoiman poistamiseksi |   |
| HW arkkitehtuurin SIL  | 2   |   |   |
| Kyseisellä kytkennällä ja laitteistolla saavutetaan SIL luokka   |   |   | 2   |