



Kenttälaitteiden käytettävyys turva-automaatiojärjestelmässä

Teemu Noronkoski

OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2021

Konetekniikka
Koneautomaatio ja robotiikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Koneautomaatio ja robotiikka

NORONKOSKI, TEEMU:
Kenttälaitteiden käytettävyys turva-automaatiojärjestelmässä

Opinnäytetyö 28 sivua
Maaliskuu 2021

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Kotkamills Oy. Kotkamillsin voimalaitoksella on käynnissä järjestelmäusinta ja tulevaisuudessa toteutettavassa kolmannessa vaiheessa on tarkoitus lisätä kombi- ja soodakattilalle turva-automaatiojärjestelmä. Turva-automaatiojärjestelmä asettaa tietyt vaatimukset kenttälaitteille.

Työssä selvitettiin, mitkä nykyisistä kenttälaitteista eivät täytä vaadittua turvallisuuden eheystasoa, ja mitä niiden uusinta maksaa. Uusittavien laitteiden kustannusarvio tuli saada valmiiksi syyskuun 2020 loppuun mennessä, jotta projekti voitiin budjetoida seuraavalle vuodelle. Työssä perehdyttiin myös turva-automaatiojärjestelmän asettamiin vaatimuksiin, riskienarviointiin, turvallisuuden eheystason määrittämiseen riskigraafin avulla, vaara- ja riskianalyysiin sekä poikkeamatarkasteluun.

Työn lähtöaineistona käytettiin Pöyryn ja Kotkamillsin yhteistyössä laatimaa vaara- ja riskianalyysiä sekä vaatimusmäärittelyä. Näistä dokumenteista poimittiin jokaisen turva-automaatiojärjestelmään tulevan kohteen positio. Ongelmaksi ilmeni osittain vanhentuneet kenttäkuvat näistä kohteista, joten jokaisen laitteen tiedot täytyi varmistaa kentältä. Kun kaikki laitetiedot oli varmistettu kentältä, aloitettiin turvallisuuden eheystason selvitys. Tarvittavat tiedot saatiin laitteen valmistajalta tai toimittajalta. Uusittavia laitteita löytyi 80 kappaletta.

Asiasanat: turva-automaatio, turvallisuuden eheystaso, riskien arviointi

ABSTRACT

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

NORONKOSKI, TEEMU:
Usability of Field Devices in Safety Automation

Bachelor's thesis 28 pages
March 2021

This thesis was commissioned by Kotkamills Oy. The Kotkamills power plant is going through a system renewal and in the upcoming third phase, a safety automation system will be added into the combined cycle power plant and soda recovery boiler. The safety automation system sets specific requirements for the field devices.

The aim of this thesis was to investigate, which of the existing field devices did not meet the required safety integrity level and what the price of their renewal is. The estimated cost of the field devices had to be completed by the end of September 2020 for the third phase of the project to be budgeted for next year. In addition, this thesis also studied the requirements set by the safety automation system, risk assessment, determining the safety integrity level with risk graph, hazard and risk analyses, and hazard and operability study.

The material for this thesis was the hazard and risk analysis and requirement specification made by Pöyry and Kotkamills. From these documents, the position of each field device in the safety automation system was collected. The problem was that some of the field schematics were outdated and thus the information of each field device had to be verified from the field. The safety integrity level investigation was initiated after all device information was verified. The required information was obtained from the device supplier or manufacturer. 80 devices were found that had to be renewed.

Key words: safety automation, safety integrity level, risk assessment

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
1.1	Työn tausta	6
1.2	Työn tavoite	6
1.3	Kotkamills Oy	7
2	TEORIA	8
2.1	Kombivoimalaitos	8
2.2	Soodakattila	8
2.3	Turva-automaatiojärjestelmä.....	9
2.4	SFS-EN 62 061	10
2.5	Riskien arviointi.....	11
2.5.1	Riskigraafi.....	12
2.6	Vaara- ja riskianalyysi	18
2.6.1	Poikkeamatarkastelu (HAZOP).....	19
3	SELVITYSPROJEKTI	21
3.1	Nykytilanne	21
3.2	Selvitystyö.....	21
3.3	Tarjouspyynnöt.....	24
4	POHDINTA	26
	LÄHTEET.....	28

ERITYISSANASTO tai LYHENTEET JA TERMIT (valitse jompikumpi)

TAJ	Turva-automaatiojärjestelmä
TLJ	Turvallisuuteen liittyvä järjestelmä
SIL	Safety Integrity Level
TET	Turvallisuuden eheystaso
S/E/OE	Sähköinen ja/tai elektroninen ja/tai ohjelmoitava elektroninen teknologia
HAZOP	Hazard and Operability Study

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tämä opinnäytetyö toteutettiin Kotkamills Oy:lle. Työ on osa voimalaitoksella käynnissä olevan järjestelmäuusinnan kolmatta osiota. Nykyinen voimalaitoksen automaatiojärjestelmä koostuu 1990-luvulla käyttöönotetusta Valmet XD-järjestelmästä. Osa tämän järjestelmän laitteista on poistunut toimittajan ylläpidosta, joten toimittaja ei takaa varaosien saatavuutta, sekä myös teknisen tuen saatavuus on heikko. Myös voimalaitosten laitteistosuositukset ovat päivittyneet, eivätkä ne enää suosittelen käytössä olevaa tekniikkaa. Järjestelmäuusinnan tarkoituksena on uusia valvomolaitteistot, prosessiasemat, TLJ-logiikat (Turvallisuuteen liittyvät järjestelmät) sekä prosessi- ja liityntäasemat. Aikaisemmissa järjestelmäuusinnan osioissa 1 ja 2 on uusittu valvomolaitteistot, infojärjestelmä, prosessiasemat sekä kaasuturbiinin säätö- ja suojausjärjestelmät. Osiossa 3 on tarkoitus rakentaa kombi- ja soodakattiloille turva-automaatiojärjestelmä (TAJ). TAJ:n tehtävänä on pysäyttää tai ohjata prosessi turvalliseen tilaan vakavassa vaara- tai häiriötilanteessa. Projektin kolmannen osion aloitusta varten sille täytyy saada hinta-arvio.

1.2 Työn tavoite

Tämän työn tavoitteena oli selvittää, mitkä nykyisistä kenttälaitteista eivät täytä uuden TAJ:n TET (turvallisuuden eheystaso) vaatimuksia ja mitä niiden uusinta tulee maksamaan. Kustannusarvio tuli saada valmiiksi syyskuun 2020 loppuun mennessä, jotta se voitiin budjetoida seuraavalle vuodelle. Selvitys rajattiin koskemaan vain Kotkamillsin ja Pöyryn laatimassa vaara- ja riskianalysissa sekä vaatimusmäärittelyssä mainittujen kohteiden laitteita. Työssä perehdyttiin myös TET-tason määrittymiseen, TAJ:lle asetettuihin vaatimuksiin, poikkeamatarkasteluun sekä riskianalysin tulkitsemiseen.

1.3 Kotkamills Oy

Kotkamills Oy on suomalainen metsäteollisuusyrittäjä, joka on perustettu vuonna 1990. Vuonna 2019 Kotkamills työllisti 518 henkilöä. Kotkamillsin tuotteisiin kuuluu puutavara, ruskea paperi sekä elintarvike- ja pakkauskartonki.

Puutavaran tuotannosta vastaa vuodesta 1872 asti toiminut saha, joka tarjoaa korkealaatuista sahatavaraa rakennuskäyttöön. Sahan tuotteista suuri osa myydään ulkomaille. Sahan sivutuotteita käytetään raaka-aineina paperi- ja kartonkikoneilla sekä energiantuotannossa.

Absorbex-linjalla toimiva paperikone PK1 on rakennettu 50-luvulla. PK1 valmistaa ruskeaa paperia, jota käytetään laminaatin valmistukseen. PK1:n käyttämällä sellumassan valmistukseen käytetään sahalta saatua purua, sekä tehtaan kierätyskuitulaitoksella valmistettua kierrätyskuitumassaa.

Vuonna 2016 valmistui Kotkamillsin uusi kartonkikone KK2. Kartonkikoneen päätuotteita ovat pohjoismainen taivekartonki sekä kierrätettävä suojakerroskartonki elintarvikekäyttöön. Kartonkimassaa valmistetaan hyödyntämällä sahalta saatavaa haketta.

Tehtaan energiantuotannosta vastaa Kotkamillsin oma voimalaitos. Voimalaitoksella on toiminnassa kaasu- ja höyryturbiini sekä kombi- ja soodakattila. Kotkamills on täysin omavarainen energiantuotannon suhteen. (Kotkamills 2020)

2 TEORIA

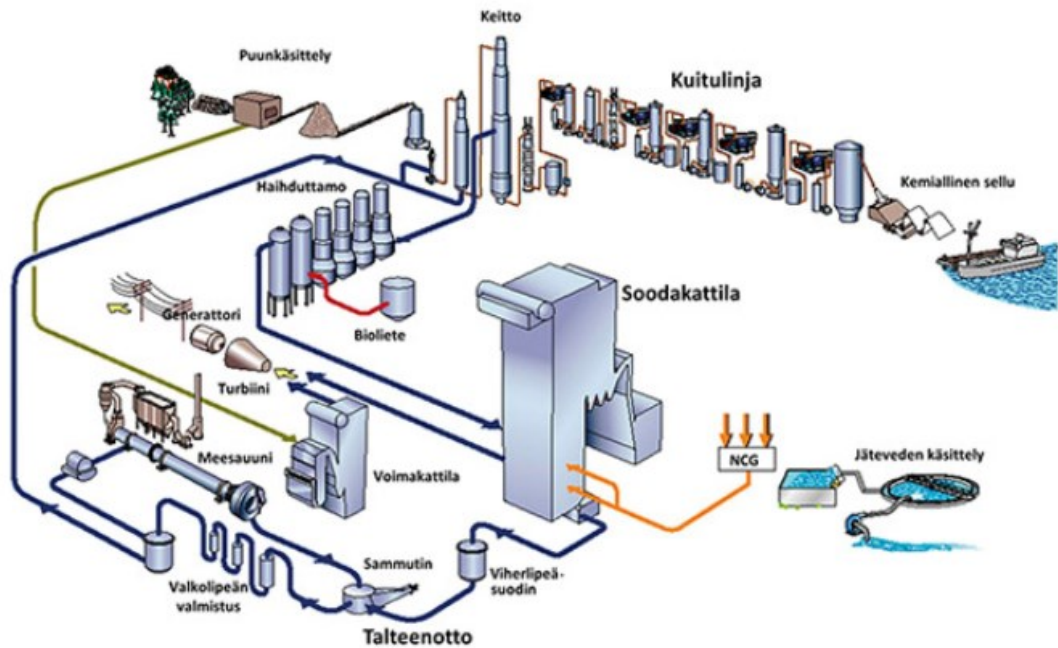
2.1 Kombivoimalaitos

Kombivoimalaitokseen kuuluu kombikattila sekä kaasu- ja höyrytubiini. Kaasutubiinista syntyvä pakokaasut ohjataan kombikattilaan. Kombikattilassa pakokaasujen lämmöllä tuotetaan 5 ja 84 baarin höyryä matala- ja korkeapainelieriöissä. Matalapainehöyry ohjataan paperi- ja kartonkikoneiden kuivatussyliinterien lämmitykseen ja korkeapainehöyry ohjataan höyryturbiiniin sähkön tuottamiseen. (Tuononen 2012, 14)

2.2 Soodakattila

Soodakattilan polttoaineena käytetään sellunvalmistuksessa syntyvää mustalipeää. Mustalipeä sisältää keittoprosessissa puusta irronneen sidosaineen ligniinin ja muut orgaaniset aineet sekä lähes kaikki keittoprosessissa käytetyt epäorgaaniset kemikaalit. Ennen soodakattilassa polttoa, mustalipeästä haihdutetaan vettä pois ja sen kuiva-ainepitoisuutta nostetaan. Sellutehtaalta saatavan mustalipeän kuiva-ainepitoisuus on yleensä 15–18 %. Mustalipeä kulkee haihduttamon läpi, jossa sen kuiva-ainepitoisuus nostetaan 60–80 %:iin, jotta se voidaan polttaa soodakattilassa.

Soodakattilan päätehtäviin kuuluu mustalipeän sisältämän orgaanisen materiaalin polttaminen ja tästä syntyneellä lämmöllä tuotetaan höyryä höyryturbiinille sähköntuotantoon sekä tehtaan muihin kohteisiin. Toinen päätehtävä on kemikaalien talteenotto ja regenerointi. Soodakattila pienentää ympäristön kuormitusta jätevirtoja vähentämällä sekä muodostamalla suljetun kierron, jossa prosessissa syntynyt sula-aine voidaan käyttää uudelleen kemikaalien muodostamiseen. (Tuononen 2012, 8)



Kuva 1. Sellutehdasprosessi (Leppänen, Haaga 2015)

2.3 Turva-automaatiojärjestelmä

Prosessilaitosten ja prosessien riskien vähentämiseen on monia keinoja kuten hyvä prosessi- ja laitossuunnittelu. Myös turva-automaatiojärjestelmää käytetään yhtenä riskinvähennyskeinona. Turva-automaatiojärjestelmä on prosessin tai laitteen normaalista ohjausjärjestelmästä erillinen järjestelmä. Turva-automaation tehtävänä on pysäyttää tai ohjata prosessi ja laitteet turvalliseen tilaan vakavassa häiriö- tai vaaratilanteessa. Turva-automaatiojärjestelmällä on merkittävä vaikutus prosessin tai laitteen turvallisuuteen ja sen toimimattomuus voi aiheuttaa vakavia henkilö- tai ympäristövahinkoja. (Turvatekniikan keskus 2007)

Turva-automaatiojärjestelmille on asetettu seuraavanlaiset vaatimukset (Turvatekniikan keskus 2007):

- Turva-automaatiojärjestelmä ei saa olla riippuvainen käyttöautomaatiosta.
- Prosessin luonteen ja vaarallisuuden takia täytyy huomioida riittävä luotettavuus järjestelmää suunniteltaessa.
- Järjestelmän ja siihen liittyvien laitteiden soveltuvuus kohteeseen, turvallisuus sekä luotettavuus täytyy pystyä osoittamaan sekä arvioimaan.
- Ensisijaisesti käytetään turvallisuuskäyttöön tyyppihyväksytyjä laitteita.

- Sellaisessa vaaratilanteessa, joka voi tapahtua vain kerran laitoksen elinkaaren aikana, tulee järjestelmän toimia riittävän suurella todennäköisyydellä.
- Järjestelmä ei saa aiheuttaa tarpeettomia pysäytyksiä tai alasajoja, jotka voivat vaarantaa prosessia tai turvallisuutta.
- Laitteiden täytyy olla helposti huollettavissa ja koestettavissa, sekä mahdollisimman huoltovapaita.
- Prosessi tulee pystyä pysäyttämään järjestelmästä riippumatta käsin.
- Toimilaitteiden tulee jäädä tai siirtyä ennalta määritettyyn turvalliseen tilaan häiriötilanteen tapahtuessa.

2.4 SFS-EN 62 061

Ohjausjärjestelmällä saavutettavan turvallisuuden tason arviointiin käytetään koneita koskevan ohjausjärjestelmästandardin SFS-EN 62061 mukaisia turvallisuuden eheyden tasoja (Safety integrity level, SIL). SIL-tasot määritellään vaarallisten vikojen todennäköisyyksinä tuntia kohti taulukon 1 mukaisesti. Koneturvallisuussovelluksissa taso 3 on korkein. Prosessiteollisuudessa ja voimalaitoksissa käytetään tasoa 4. (Siirilä 2008, 139)

Taulukko 1. Turvallisuuden eheyden taso määritellään vaarallisten vikojen todennäköisyytenä tuntia kohti. (Siirilä 2008, 139)

Turvallisuuden eheyden taso	Vaarallisen vian todennäköisyys tuntia kohti
4 (Ei käytössä koneturvallisuussovelluksissa)	$10^{-9} \dots 10^{-8}$
3	$10^{-8} \dots 10^{-7}$
2	$10^{-7} \dots 10^{-6}$
1	$10^{-6} \dots 10^{-5}$

2.5 Riskien arviointi

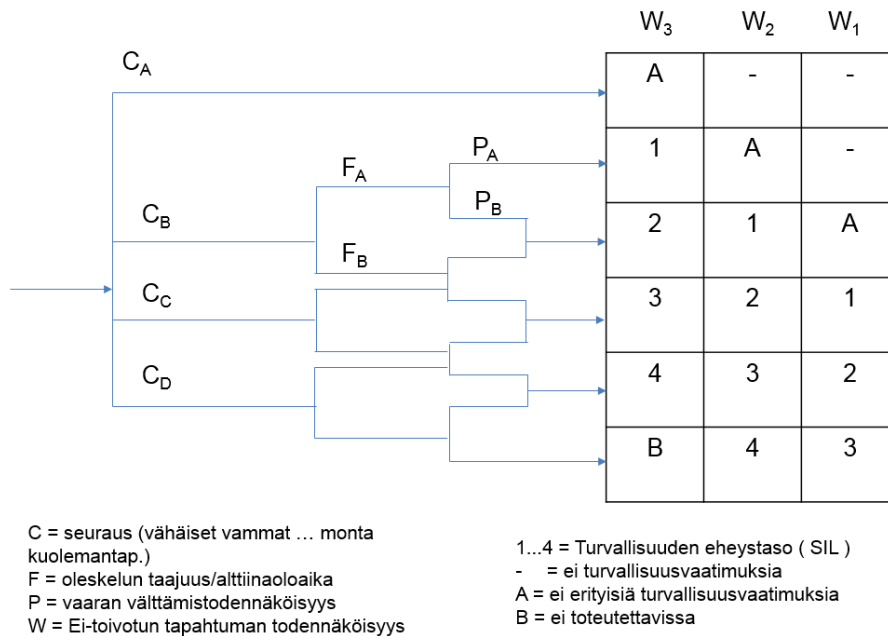
Kohteelle, johon turva-automaatiojärjestelmää suunnitellaan, tulee tehdä riskien arviointi. Riskien arviointiin kuuluu vaara- ja riskianalyysi sekä riskin merkityksen arviointi. Riskin merkityksen arvioinnissa tulee käsitellä eri vaaratilanteet, niiden seuraukset ja tehdä päätös riskin siedettävyydestä. Tarpeellinen riskin vähennys voi koostua eri TLJ:stä ja ulkoisista riskin vähennyskeinoista (koulutus, liikkumisen rajoittaminen tms.). TLJ:iin luetaan S/E/OE (Sähköinen ja/tai elektroninen ja/tai ohjelmoitava elektroninen teknologia) TAJ:ien lisäksi myös muun teknologian TLJ:t kuten varoventtiilit, murtolevyt jne.

Vaara- ja riskianalyysi on hyvä jakaa kahteen osaan siten, että ensimmäisessä osassa keskitytään tunnistamattomien vaarojen löytämiseen ja toisessa osassa löydettyjen vaarojen riskin arviointiin. Näin varmistetaan, että keskittymällä ensin vaarojen löytämiseen saadaan mahdollisimman hyvä lopputulos vaarojen kartoittamisessa.

Vaara- ja riskianalyysin perusteella tulee määrittää turvatoiminnoittain tarvittava turvallisuuden eheystaso (TET). Turvallisuuden eheystason määrittämisessä yleisimmin käytetty menetelmä on standardien EN 61508 ja 61511 mukainen riski-graafi. Menetelmä perustuu riskin tarkasteluun, jossa tarkastellaan seurausta, vaaralle altistusaikaa, vaaran välttämisen mahdollisuutta ja vaaran esiintymistheyttä, jos TAJ ei ole käytössä. (Suomen Soodakattilayhdistys ry:n Automaatio-työryhmä 2009)

2.5.1 Riskigraafi

Kuvassa 2 olevan riskigraafin avulla määritetään turvallisuuden eheystaso. Riskigraafi jakautuu neljään osaan.



KUVA 2. Riskigraafi (Metropolia wiki 2017)

Ensimmäinen osa on seurausparametri C. Seurausparametri C on jaettu neljään tasoon: C1, C2, C3 ja C4. Riskin arvioinnissa seurausparametri määritetään alla olevien taulukoiden mukaisesti.

Taulukko 2. Henkilöturvallisuus C

Seurausparametri	Kalibrointi	Esim.
C1	Vähäiset vahingot	Vähäinen haava, ruhje tai lievä palovamma. Ei sairauslomaa
C2	Vammautuminen tai sairaus, ei pysyvää vaikutusta työkykyyn.	Aiheuttaa esim. tutkimuksessa käynnin ja sairausloman.
C3	Kuolemantapaus tai muutama vakava vamma.	Invaliditeetti.
C4	Usean henkilön kuolema.	

Materiaalivahinkojen seurausparametrin määrittämisessä otetaan huomioon laitevauriot ja korjaustyökustannukset.

Taulukko 3. Materiaaliturvallisuus C

Seurausparametri	Kalibrointi	Esim.
C1	<50 000 Eur	Puhaltimen moottorin vaihto
C2	0,05–1 M Eur	Tuubivuoto, palamisilmapuhaltimen rikkoontuminen
C3	1–5 M Eur	Hajukaasutömhähdys
C4	>5 M Eur	Sulavesiräjähdykset

Taulukko 4. Ympäristöturvallisuus C

Seurausparametri	Kalibrointi	Esim.
C1	Ei vahinkoa, vaaraa eikä harmia lähi-asukkaille. Ei kielteistä julkisuutta.	Lievä hajuhaitta. Lyhytaikainen laimeiden ja väkevien hajukaasujen käantö piippuun. Vähäinen määrä lipeää kanaaliin.
C2	Lievä ympäristön pilaantuminen, joka on korjattavissa. Lievä ympäristöpäästö.	Hajuhaitta. Pitempiaikainen väkevien hajukaasujen käantö piippuun. Päästö, joka vaatii päästöilmoituksen teon.
C3	Huomattava tehdasalueen ulkopuolelle vaikuttava ympäristöluvan ylittävä päästö.	Iso lipeä tai muu päästö, joka aiheuttaa biologisen puhdistimen bakteerikannan tuhoutumisen.
C4	Katastrofaalinen päästö tehdasalueen ulkopuolelle.	Vakava maaperän, pohjaveden tai vesistön pilaantuminen tai lähialueen kasvi- ja eläinkunnan tuhoutuminen.

Seisokkivahinkojen seurausparametrin määrittämisessä otetaan huomioon myös muiden laitosten seisontatappiot.

Taulukko 5. Seisokkiturvallisuus C

Seurausparametri	Kalibrointi	Esim.
C1	< 8 h	Lipeän polttokatkos
C2	8 h-1vko	Tuubivuoto, palamisilmapuhaltimen rikkoontuminen
C3	1vko-2vko	Hajukaasutömähdytys
C4	>2kk	Sulavesiräjähdytys

Riskigraafin toinen osa on oleskeluparametri F. Oleskeluparametri F jaetaan kahteen osaan: F1 ja F2. Ympäristö-, materiaali- ja seisokkiriskit ovat ajasta riippumattomia, joten niissä käytetään aina parametrina F2. Henkilöturvallisuuden kohdalla käytetään alla olevaa taulukkoa.

Taulukko 6. Henkilöturvallisuus F

Oleskeluparametri	Kalibrointi	Esim.
F1	Vaara kohdistuu rajoitettuun alueeseen ja liikkuminen alueella on epäsäännöllistä.	Sähkösuodinalue, lieriötaso.
F2	Vaara kohdistuu koko kattilahuoneeseen tai tasoille, joilla liikkuminen on säännöllistä.	Lipeänsyöttötaso, polttintasot ja alin taso.

Riskigraafin kolmas osa on vaaran välttämistodennäköisyysparametri P. P-parametri kuvaa mahdollisuutta välttää vaarallinen tapahtuma siinä tilanteessa, kun sähköistä suojaustoimintoa ei ole tai se ei ole käytössä. P-parametrin vaikutusalue sijoittuu ajallisesti suoja-toiminnon ja vaarallisen tapahtuman välille. Suojauksen toimimattomuuden havaittavuuden edellytyksenä on, että suojausrajan saavuttamisesta on turva-automaatiosta riippumaton hälytys ja että suojauksen toimimattomuus voidaan päätellä prosessisuureista ja/tai tilatiedoista. P-parametrin määrittämiseen käytetään alla olevia taulukoita.

Taulukko 7. Henkilöturvallisuus P

Mahdollisuus välttää vaara	Kalibrointi	Esim.
P1	Mahdollista tietyissä olosuhteissa. Operaattorilla on riittävästi aikaa toimia. Alueella olevilla henkilöillä on mahdollisuus poistua turvalliseen tilaan.	Vaara on havaittavissa ja estettävissä ajoissa. Havaitaan mittausten ja hälytysten avulla. Eri polttoaineiden sulkeminen, pikapysäytys.
P2	Muussa tapauksessa P2.	

Taulukko 8. Ympäristö-, materiaali- ja seisokkiturvallisuus P

Mahdollisuus välttää vaara	Kalibrointi	Esim.
P1	Mahdollista tietyissä olosuhteissa. Operaattorilla on riittävästi aikaa toimia.	Vaara on havaittavissa ja estettävissä ajoissa. Havaitaan mittausten ja hälytysten avulla. Viherlipeän tai polttoaineiden päästö kanaaliin. Sulkeminen, pikapysäytys.
P2	Muussa tapauksessa P2.	

Riskigraafin neljäs ja viimeinen osa on W eli esiintymistodennäköisyysparametri. W-parametri kuvaa vaaran syntymistodennäköisyyttä, kun turva-automaation avulla tehtävää suojaustoimintoa ei huomioida. Tapahtuman todennäköisyyttä arvioitaessa huomioidaan kuitenkin muiden riskinvähennyskeinojen vaikutus. Muita riskinvähennyskeinoja ovat esim.

- Suunnittelu ja mitoitus
- Perusautomaation normaalit lukitukset ja ohjaukset
- Varoventtiilit, murtolevyt ja räjähdysluukut
- Kaasun- ja palonilmaisimet
- Koulutus ja ohjeistus

W-parametri määritetään alla olevan taulukon avulla. (Suomen Soodakattilayhdistys ry:n Automaatiotyöryhmä 2009)

Taulukko 9. Henkilö-, ympäristö-, materiaali- ja seisokkiturvallisuus W

Vaaran esiintymistodennäköisyysparametri	Kalibrointi	Esim.
W1	Erittäin vähäinen (tapahtumaväli suurempi kuin 33 vuotta)	Vahingon sattuminen nykyisen käytännön valitessa ei ole todennäköistä tällä laitoksella.
W2	Vähäinen (tapahtumaväli 3–33 vuotta)	Vahinko on sattunut vastaavalla laitoksella muualla ja voi perustellusti sattua tällä laitoksella 3–33 vuoden aikana.
W3	Todennäköinen (tapahtumaväli 4kk-3 vuotta)	Vahinko sattuu todennäköisesti tällä laitoksella seuraavan 3 vuoden aikana.

2.6 Vaara- ja riskianalyysi

Yleensä päälaitetoimittaja laatii vaara- ja riskianalyysin, joka käydään läpi yhdessä toiminnanharjoittajan kanssa. Dokumentissa tulee tarkastella kohteeseen liittyvät vaarat, arvioitava niihin liittyvät riskit ja riskinvähennyskeinot. Vaara- ja riskianalyysi tehdään kahdessa vaiheessa. Vaara- ja riskianalyyseja täytyy päivittää, jos suunnittelu- ja kelpoistusvaiheessa tehdään päätöksiä, jotka voivat muuttaa aiemmin tehtyjen päätösten perusteita tai ilmenee uusia vaaratilanteita.

Ensimmäisessä vaiheessa tehdään laitokselle tai laitteelle vaaranarviointi käyttäen esim. poikkeamatarkastelua (HAZOP) tai vastaavaa analyysimenettelyä. Arvioinnissa määritellään toimenpiteet riskien vähentämiseksi TAJ:llä ja muilla riskien vähennyskeinoilla (esim. varoventtiili).

Toisessa vaiheessa arvioidaan ensimmäisen vaiheen raportin pohjalta vaaroihin liittyvät riskit ja riskienvähennyskeinot ja määritellään TAJ:ssä toteutettaville turvatoiminnoille turvallisuuden eheyden tasot. Riskien arvioinnissa keskitytään henkilöriskeihin, mutta myös vakavia ympäristöhaittoja, aineellisia vahinkoja ja tuotannon menetyksiä voidaan arvioida. (Suomen Soodakattilayhdistys ry:n Automaatiotyöryhmä. 2009.)

2.6.1 Poikkeamatarkastelu (HAZOP)

HAZOP (Hazard and operability study) eli poikkeamatarkastelu on perusmenetelmä vaarojen tunnistamiseen. Sen avulla tutkitaan prosessissa tapahtuvien poikkeamien syitä ja seurauksia. Menetelmää voidaan hyödyntää monissa erilaisissa prosesseissa ja niiden vaiheissa, kuten suunnittelussa, käytössä sekä lopetuksessa. HAZOPia käytetään muun muassa omaisuus-, ympäristö-, henkilö- ja keskeytysriskien analysointiin. HAZOPia ei käytetä ihmisen toiminnasta johtuvien vaaratekijöiden analysointiin, vaan ainoastaan prosessista johtuvien vaaratilanteiden analysointiin. Jos kuitenkin halutaan tarkastella ihmisen toiminnasta johtuvia vaaratekijöitä, tulisi käyttää jotain toista menetelmää HAZOPin rinnalla. (Ryynänen 2008, 18)

HAZOP tarkasteluun osallistuu tehtaan tai laitoksen eri osastoilta yleensä 3-5 henkilöä. Yksi jäsen toimii ryhmän vetäjänä ja yksi sihteerinä. Ajatuksena tässä on se, että yhdessä tehdessä ongelmien löytäminen ja ratkaisu on helpompaa kuin yksinään. HAZOP-tarkasteluja on kuitenkin monenlaisia ja niistä yleisin on avainsanojen avulla tehty tarkastelu. (Ryynänen 2008, 19)

Järjestelmällisesti avainsanoja käyttämällä saadaan esiin eroavuuksia suunnittelusta toiminnasta eli poikkeamia. Yleisimmät avainsanat ovat ei, ei mitään, enemmän, vähemmän, muuta lisäksi, osa, osittain ja päinvastainen. Muita avainsanoja ovat muun muassa muuta, aikaisemmin ja myöhemmin. Kun avainsana yhdistetään sopivalla tavalla johonkin toimintaa tai ainetta viittaavaan sanaan, saadaan muodostettua poikkeamat. Esimerkiksi:

EI + PAINE = EI PAINETTA

ENEMMÄN + PAINE = KORKEAMPI PAINE

Näillä termeillä koko prosessi käydään läpi prosessin osa kerrallaan. Kun poikkeamat on löydetty ja tunnistettu, tehdään niiden estämiseksi toimenpide-ehdotukset. (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy 2002)

Muita tarkasteluja ovat tarkistuslistan avulla toteutettu tarkastelu ja tietoon perustuva tarkastelu. Tarkistuslistan avulla tehtävää tarkastelua voidaan käyttää esimerkiksi tehtaan perustamisen alkuvaiheessa, sillä silloin ainoa saatavilla oleva

tieto voi olla aineluettelo. Tietoon perustuva tarkastelu ja avainsanojen avulla tehty tarkastelu ovat muuten samanlaisia, mutta tietoon perustuvassa tarkastelussa käytetään avainsanojen sijasta tehtaan asiantuntijoiden muodostamia tarkistuslistoja ja avainsanoja. (Ryynänen 2008, 19)

3 SELVITYSPROJEKTI

3.1 Nykytilanne

Kotkamillsin voimalaitoksella on käytössä kombi- ja soodakattila. Näillä kattiloilla ei tällä hetkellä ole erillistä turva-automaatiojärjestelmää, vaan kattiloiden turvalistamistoimet ovat perusautomaation takana. Voimalaitoksella on kuitenkin käynnissä järjestelmäuusinta, jonka kolmannessa osassa on tarkoitus lisätä turva-automaatiojärjestelmä. Jotta järjestelmäuusinnan kolmas osa voidaan aloittaa, täytyi sille saada kustannusarvio.

Järjestelmäuusintaprojektin kolmannen osan kokonaiskustannusten yksi osa tulee olemaan sellaisten kenttälaitteiden uusinta, jotka eivät täytä TAJ:lle vaadittua TET-luokitusta. Tässä työssä selvitettiin, mitä nykyisistä kenttälaitteista voidaan hyödyntää, eli mitkä täyttivät TAJ:lle vaaditun TET-luokituksen ja mitkä eivät. Tulvaan turva-automaatiojärjestelmään liittyvien kenttälaitteiden dokumentointi ei ollut täysin paikkansa pitävää, joten laitteiden tiedot täytyi kerätä kentältä, jotta voitiin varmistaa mitkä niistä täyttivät uuden TAJ:n vaatimukset ja mitkä eivät.

3.2 Selvitystyö

Selvitys aloitettiin tutustumalla Pöyryn toimittamaan vaara- ja riskianalyysiin sekä vaatimusmäärittelyyn. Kotkamills on laatinut Pöyryn kanssa yhteistyössä kappaleen 2.3 mukaisen vaara- ja riskianalyysin kombi- ja soodakattilalle. Vaatimusmäärittely on vaara- ja riskianalyysiin perustuva dokumentti, jossa esitetään turvajärjestelmien toteuttavat toiminnalliset turvatoiminnot sekä niiden turvallisuuden eheyden vaatimukset. Selvitystyössä selvitettiin noin 100 laitteen tiedot. Alla on esimerkki yhden laitteen analyysiprosessista.

Vaara- ja riskianalyysistä poimittiin kohteen tiedot ja vaadittu TET-luokitus. Kuvassa 3 nähdään, että kohteena on lieriön pinnanmittaus ja sen TET-luokitus on 2. TET-luokitukseen 2 on päästy käyttämällä kappaleessa 2.3.1 esitettyä riski- graafia ja siinä käytettyjä parametreja. Huomautuksista nähdään myös, että lieriön pinnan mittaus on mallia 2003, eli ”2 out of 3”. Tämä tarkoittaa sitä, että järjestelmä ei reagoi, jos vain yksi mittaus ei ole sallitulla tasolla tai on pois käytöstä.

Eli lieriön pinnanmittauksessa käytetään kolmea mittausta ja sen positio on 03LI-0487.

VAARA	VAARAN SYYT	SEURAUKSET	VARAUTUMINEN (ilman TAJ-tä)	RISKI (ilman TAJ-tä)	TAJ/TOIMENPITEET/ HUOMAUTUKSET
2.4 Lieriön vedenpinta liian korkea	<ul style="list-style-type: none"> • äkillinen paineen pudotus • säätöhäiriö • pintamittausten virheellinen kompensointi 	<ul style="list-style-type: none"> • tulistin-, putkisto ja turbiinivauriot mahdollisia • henkilövahingot mahdollisia 	<ul style="list-style-type: none"> • märkäkeittosuojat toimii +120mm ohjelmallinen 2/3:sta (DCS) • pintamittaukset (03LI-0487.1, -.2 ja -.3) • kokonaispintamittaukset 03LI-0479.1 ja .2 • lieriön vajautus (03HS-0334) • syöttöveden säätö- ja sulkuventtiilit • mittausten kylmäkalibroinnit ja painekompensoinnit • laimeiden hajukaasujen polton laukaisu 	Materiaalivahinko C3-F2-P1-W2 TET2 Henkilövahinko C3-F2-P2-W1 TET2	Toteutetaan TET 2: Laukaisu korkeasta <u>pinnasta</u> 2/3 reagoi (03LI-0487.1, -.2 ja -.3). Laukaisuraja xx mm <ul style="list-style-type: none"> • apupolttoainepolttimien laukaisu (6 kpl) • primääri-ilmapuh. pysähtyy • lipeäpoltton laukaisu • laimeiden hajukaasun syötön laukaisu • tulipesä tuuletettu-tieto poistuu
2.5 Lieriön vedenpinta liian matala	<ul style="list-style-type: none"> • äkillinen paineen nousu • kattilassa vuoto • syöttöveden virtaus estyy (2.3.) • tyhjennyksiä auki 	<ul style="list-style-type: none"> • kuiviin kiehuminen • putkivaurio • sulavesiräjähdyksen vaara 	<ul style="list-style-type: none"> • kuivakeittosuojat toimii -190mm 2/3:sta (PLU) • <u>pintamittaukset</u> (03LI-0487.1, -.2 ja -.3) • paikallisvesilasit 2 kpl • • käyttö- ja kunnossapito-ohjeistus 	Henkilövahinko C3-F2-P1-W2 TET2	TET 2: <ul style="list-style-type: none"> • kuten 2.4. • Laukaisuraja <u>-190mm</u>

Kuva 3. Vaara- ja riskianalyysi soodakattilalle (Heikkinen 2017)

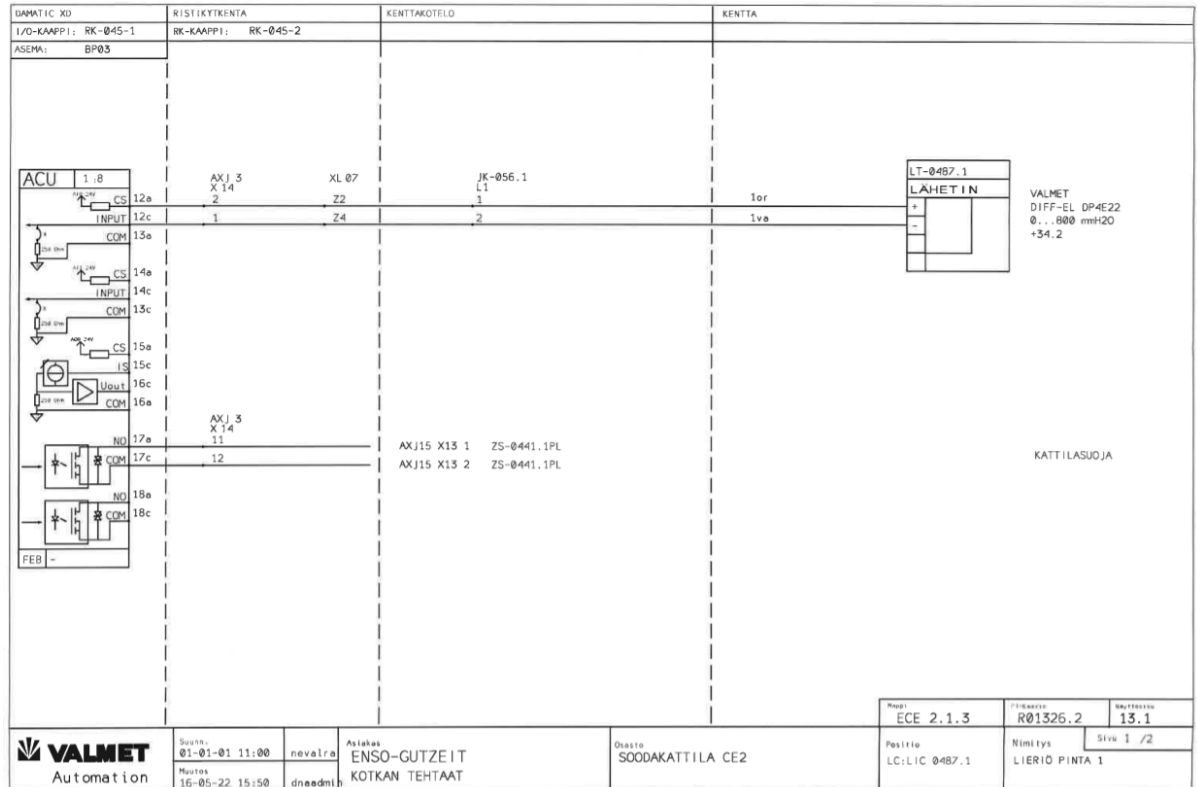
Kun kohteen tiedot, positio, mittausten määrä ja TET-luokitus oli selvitetty vaara- ja riskianalyysistä, tarkistettiin, että samat tiedot löytyvät vaatimusmäärittelystä (Kuva 4).

Osasto	Positio	TAJ lähde Nimi	Toiminta	TET Vaatimus / Huomaus
1.3		Lieriön pinta yli minimin (Kuivakeittosuojat)		TET 2
	03LI-0487.1	Lieriö pinta 1	alle -190 mm, 5 sek tai signaali- tai anturivika	2/3:sta äänestys
	03LI-0487.2	Lieriö pinta 2	alle -190 mm, 5 sek tai signaali- tai anturivika	2/3:sta äänestys
	03LI-0487.3	Lieriö pinta 3	alle -190 mm, 5 sek tai signaali- tai anturivika	2/3:sta äänestys
1.4		Lieriön pinta alle maksimin (Märkäkeittosuojat)		TET 2
	03LI1-0487Z	Lieriö pinta 1	yli +xxx mm, 5 sek tai signaali- tai anturivika	2/3:sta äänestys
	03LI2-0487Z	Lieriö pinta 2	yli +xxx mm, 5 sek tai signaali- tai anturivika	2/3:sta äänestys
	03LI3-0487Z	Lieriö pinta 3	yli +xxx mm, 5 sek tai signaali- tai anturivika	2/3:sta äänestys
	JA			
	03LI-0487Z.B	Lieriön pinnan yli maksimin ohitus	ei aktivoitu (300 min viive)	Ohjelmallinen

Kuva 4. Vaatimusmäärittely soodakattilalle (Heikkinen 2018)

Vaatimusmäärittelystä saadaan varmistus, että aiempi tieto pitää paikkansa ja saadut tiedot kerätään erilliseen soodakattilan laitelistaan. Kun laitelistaan on kerätty kaikki näissä kahdessa dokumentissa mainitut laitteet, on aika etsiä niiden

positioiden avulla kenttäkuvat kyseisistä piireistä. Alla olevasta kuvasta 5 nähdään, että mittalaitteena on käytössä Valmet DIFF-EL DP4E22 mallin mittalaite, sen asennuskorkeus on 34,2 metriä ja se on kytketty jakokoteloon JK-056.1. Koska nämä kenttäkuvat eivät välttämättä ole kaikki ajan tasalla, täytyy laitteen malli varmistaa vielä kentältä.



Kuva 5. Lieriöpintamittaus kenttäkuva

Kun kenttäkuvat kaikista piireistä oli kerätty kasaan, aloitettiin laitteiden paikannus kentältä. Laitteen paikantamiseksi hyödynnettiin asennuskorkeutta sekä jakokotelo, johon se on kytketty. Myös laitteen nimen perusteella voitiin päätellä sen sijainti. Esimerkiksi aiemmin mainittu lieriön pintamittaus, jossa nimen perusteella voidaan todeta sen sijaitsevan lieriön lähellä. Osa laitteista oli kuitenkin näiden tietojen perusteella haastavaa löytää, joten apuna käytettiin myös suunnittelun, kunnossapidon sekä tuotannon henkilökuntaa. Näiden toimenpiteiden jälkeen oli koottuna paikkansa pitävä lista kentällä sijaitsevista laitteista. Nyt voitiin siirtyä selvittämään uusittavien laitteiden hinta ja määrä.

3.3 Tarjouspyynnöt

Laitteiden tietojen perusteella selvitettiin, täyttääkö laite vaaditun SIL-luokituksen turva-automaatiojärjestelmää varten. Mikäli tietoja ei ollut saatavilla, pyydettiin laitteen toimittajalta tarvittavat tiedot. Uusittavia laitteita kertyi noin 80. Kun tiedettiin, mitkä laitteet tulee uusia, jaettiin laitteet toimittajan mukaan listoihin. Esimerkkinä alla olevassa kuvassa 6 nähdään Emersonin toimittamien laitteiden lista soodakattilalle. Tämä lista lähetettiin Emersonille ja pyydettiin tarjous korvaavista vaaditun SIL-luokan täyttävistä laitteista.

KOHDE	POSITIO		LAITE
LIERIÖ PAINE (lisätään 2)	0490.	SIL 2	VALMET PRESS-EL GP9E22
LIERIÖ PINTA 1	0487.1	SIL 2	VALMET DIFF-EL DP4E22
LIERIÖ PINTA 2	0487.2	SIL 2	VALMET DIFF-EL DP4E22
LIERIÖ PINTA 3	0487.3	SIL 2	ROSEMOUNT 1151DP4E22L4
TULIPESÄ PAINE 1	0458.1	SIL 2	VALMET DIFF-EL DR2F22
TULIPESÄ PAINE 2	0458.2	SIL 2	VALMET DR2F22
TULIPESÄ PAINE 3	0458.3	SIL 2	VALMET DR2F22
INSTRUMENTTI-ILMA PAINE 1	0550.1	SIL 2	VALMET PRESS-EL GP7E22
INSTRUMENTTI-ILMA PAINE 2	0550.2	SIL 2	ROSEMOUNT 2088G2A22B3
INSTRUMENTTI-ILMA PAINE 3	0550.3	SIL 2	ROSEMOUNT 2088G2A22B3
PRIMÄÄRI-ILMA VIRTAUS VENTURI	0451.	SIL 1	VALMET DR2F22
PRIMÄÄRI-ILMA PAINE 1	0454.	SIL 1	VALMET DIFF-EL DP3E22
PRIMÄÄRI-ILMA PAINE 2	0454.2	SIL 1	ROSEMOUNT 3051 CD3A22A1CL4
PRIMÄÄRI-ILMA PAINE 3	0454.3	SIL 1	ROSEMOUNT 3051 CD3A22A1CL4
SEKUNDÄÄRI-ILMA VIRTAUS VENTURI	0452.	SIL 1	VALMET DR2F22
SEKUNDÄÄRI-ILMA PAINE	0455.	SIL 1	VALMET DIFF-EL DP3E22
SEKUNDÄÄRI-ILMA PAINE	0471.	SIL 1	VALMET DIFF-EL DP3E22
KAASUN PAINE KÄP1 JA KÄP2	0594.	SIL 1	VALMET PRESS-EL GP6
KAASUN PAINE KÄP3 JA KÄP4	0595.	SIL 1	VALMET PRESS-EL GP6
POLTOÖLJY PAINE	0522.	SIL 1	VALMET PRESS-EL GP8E22
KUORMAILMA P1 PAINE	0470.1	SIL 1	VALMET DIFF-EL DP3E22
KUORMAILMA P2 PAINE	0470.2	SIL 1	VALMET DIFF-EL DP3E22
KAASUN PAINE KUP1	0596.	SIL 1	VALMET PRESS-EL GP5E22
KAASUN PAINE KUP2	0597.	SIL 1	VALMET PRESS-EL GP5E22
KAASUN PAINE CE2	0587.	SIL 1	VALMET PRESS-EL GP7E22
PÄÄHÖYRY VIRTAUS	0488.	SIL 1	VALMET DIFF-EL DP4E22
PÄÄHÖYRY PAINE	0491.	SIL 1	VALMET PRESS-EL GP9E22
POLTTOPIPEÄ MÄÄRÄ	0511.	SIL 1	KROHNE IFC 090 F/D HART
			KROHNE IFS 4000 F / PFA

Kuva 6. Emersonin laitteet soodakattilalle

Vastaavia listoja käytettiin myös muiden toimittajien kanssa. Kun kaikki tarjoukset oli saatu, tehtiin niistä vielä kuvan 7 mukainen erillinen lista. Listaan kerättiin laitteen kohde, positio, vaadittu SIL-luokka, uuden laitteen malli, määrä, toimittaja, rivi tarjouksella ja hinta. Näin saatiin uusittavien laitteiden hinta kattilakohtaisesti.

Tämän listan tarkoituksena oli helpottaa myöhemmin projektista päättävien henkilöiden toimintaa. Listan avulla nähdään nopeasti, mistä laitteesta ja kohteesta on kyse, ja mitkä ovat kokonaiskustannukset kaikille laitteille. Uusittavia laitteita löytyi 80 kappaletta ja niiden hinnaksi tuli noin 180 000 euroa.

	POSITIO		UUSI LAITE	MÄÄRÄ	RIVI TARJOUKSELLA	TOIMITTAJA	HINTA KPL	HINTA YHT
TET 2	KP-LIERIÖ PAINE	9212	3051S1CA4A2A11A1B3D1Q4Q8QT	3	1	EMERSON	1 501,58 €	4 504,74 €
	LISÄTÄÄN 2							
TET 2	KP-LIERIÖ PINTA 1	9208	3051S1CD2A2A11A1BD1Q4Q8QT	1	4,1	EMERSON	1 361,04 €	1 361,04 €
TET 2	KP-LIERIÖ PINTA 2	9209	3051S1CD2A2A11A1BD1Q4Q8QT	1	4,1	EMERSON	1 361,04 €	1 361,04 €
TET 2	KP-LIERIÖ PINTA 3	9210	3051S1CD2A2A11A1BD1Q4Q8QT	1	4,1	EMERSON	1 361,04 €	1 361,04 €
TET 2	MP-LIERIÖ PAINE	9259	3051S1TG2A2A17A1BD1Q4Q8QT	3	5	EMERSON	1 208,28 €	3 624,84 €
	LISÄTÄÄN 2							
TET 2	MP-LIERIÖ PINTA 1	9255	3051S1CD2A2A11A1BD1Q4Q8QT	1	4,1	EMERSON	1 361,04 €	1 361,04 €
TET 2	MP-LIERIÖ PINTA 2	9255	3051S1CD2A2A11A1BD1Q4Q8QT	1	4,1	EMERSON	1 361,04 €	1 361,04 €
TET 2	MP-LIERIÖ PINTA 3	9255	3051S1CD2A2A11A1BD1Q4Q8QT	1	4,1	EMERSON	1 361,04 €	1 361,04 €
TET 2	TULIPESÄN PAINE 1	9315,1	3051S1CG2A2A11A1BD1Q4Q8QT	1	2	EMERSON	1 282,51 €	1 282,51 €
TET 2	TULIPESÄN PAINE 2	9315,2	3051S1CG2A2A11A1BD1Q4Q8QT	1	2	EMERSON	1 282,51 €	1 282,51 €
TET 2	TULIPESÄN PAINE 3	9315,3	3051S1CG2A2A11A1BD1Q4Q8QT	1	2	EMERSON	1 282,51 €	1 282,51 €
TET 2	INSTRUMENTTI-ILMA PAINE 1	9411,1	3051S1TG2A2A17A1BD1Q4Q8QT	1	5	EMERSON	1 208,28 €	1 208,28 €
TET 2	INSTRUMENTTI-ILMA PAINE 2	9411,2	3051S1TG2A2A17A1BD1Q4Q8QT	1	5	EMERSON	1 208,28 €	1 208,28 €
TET 2	INSTRUMENTTI-ILMA PAINE 3	9411,3	3051S1TG2A2A17A1BD1Q4Q8QT	1	5	EMERSON	1 208,28 €	1 208,28 €
TET 2	SAVUKAASU PIIPUN SULKUPELTI	9318	Induktiivinen anturi NSB5-18GH45-2E2-V1-S2D2	2		PEPPERL+FUCHS	96,00 €	192,00 €
TET 1	RAITISILMA VIRTAUS	9310,1	KURZ 454FTB-16-HT	1		FINNPRI	6 031,00 €	6 031,00 €
TET 1	RAITISILMA VIRTAUS	9310,2	KURZ 454FTB-16-HT	1		FINNPRI	6 031,00 €	6 031,00 €
TET 1	RAITISILMA VIRTAUS	9310,3	KURZ 454FTB-16-HT	1		FINNPRI	6 031,00 €	6 031,00 €

Kuva 7. Osa kombikattilan uusista laitteista

4 POHDINTA

Tämän työn tavoitteena oli selvittää, mitkä nykyisistä kenttälaitteista eivät täytä uuden TAJ:n vaatimia TET-vaatimuksia ja saada kustannusarvio niiden uusinnasta syyskuun 2020 loppuun mennessä projektin kolmannen osion budjetointia varten. Lisäksi työssä perehdyttiin myös TET-tason määrittämiseen, TAJ:lle asetettuihin vaatimuksiin, poikkeamatarkasteluun sekä riskianalyysin tulkitsemiseen.

Työn lähtöaineistona käytettiin Pöyryn toimittamaa vaara- ja riskianalyysiä sekä vaatimusmäärittelyä. Näissä dokumenteissa ilmeni puutteita, kuten tieto siitä, onko analyyseissä tai vaatimusmäärittelyssä mainittu laite jo olemassa oleva vai täytyykö se lisätä TAJ:ta varten, joka aiheutti olemattomien laitteiden etsintää. Ongelmia tuotti myös osittain vanhentuneet kenttäkuvat voimalaitoksella. Tästä syystä kenttäkuvien laitetietoihin ei voinut luottaa, joten laitteet täytyi paikantaa kentältä ja varmistaa niiden tiedot fyysisesti itse laitteesta.

Ongelmat saatiin ratkaistua pitämällä palavereja projektissa mukana olleiden henkilöiden kanssa. Suurin osa ongelmista ratkesi kysymällä palavereissa. Joidenkin ongelmien ratkaisu vaati isompaa tutkimusta. Kenttäkierroksista kerättiin myös ylös kohteet, joita ei ilman apua löytynyt ja ne etsittiin myöhemmin avun kanssa. Jatkoa ajatellen olisi hyvä, jos kenttäkuvat pystyttäisiin pitämään ajan tasalla. Tämä tietysti on jossain määrin haastavaa, sillä kenttäkuvista voi olla useita kopioita eri paikoissa kuten automaatioverstaalla, sähkötiloissa sekä digitaaliossa muodossa. Olisikin hyvä, kun olisi käytössä vain yksi tietokanta, jotta kuvat pysyisivät ajan tasalla.

Työ oli järjestelmäuusinta-projektin kannalta tärkeä, sillä se vaikuttaa päätökseen aloittaa projektin kolmas osio. Työn tavoitteet täyttyivät ja laitehankintojen kustannusarvio saatiin toimitettua eteenpäin määräaikaan mennessä. Uusittavia laitteita löytyi 80 kappaletta ja niiden hankintakustannukseksi tuli 180 000 euroa. Työ vaati paljon oma-aloitteellisuutta, sillä muilla projektissa mukana olleilla henkilöillä oli ajoittain kiire muiden asioiden kanssa. Tämän takia ongelmat piti kerätä ylös ja esittää vasta sitten, kun löydettiin aikaa palaverille. Tästä syystä välillä tuntui siltä, ettei työ etene suunnitellusti.

Työ kehitti myös paljon yhteistyö- ja verkostoitumistaitoja, sillä laitteiden luokituksia selvitettäessä ja tarjouksia pyytäessä oltiin paljon yhteydessä laitteiden toimittajiin. Työtä olisi voitu sujuvoittaa laajemmalla perehtymisellä aiheeseen liittyviin standardeihin ja suosituksiin.

LÄHTEET

Siirilä, T. 2008. Koneturvallisuus. EU:n direktiivien ja standardien soveltaminen käytännössä. 2. painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

Turvatekniikan keskus. 2007. Turva-automaatio prosessiteollisuudessa. Tukes opas. Luettu 3.2.2021. <https://tukes.fi/documents/5470659/6409383/Turva-automaatio+prosessiturvallisuuudessa/e159a62f-a1c2-4de9-a063-7050349d5081/Turva-automaatio+prosessiturvallisuuudessa.pdf?version=1.0>

Suomen Soodakattilayhdistys ry:n Automaatiotyöryhmä. 2009. Soodakattilan turva-automaation suositus. Suositus 2. Rev A. Suomen Soodakattilayhdistys ry.

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Poikkeamatarkastelu. 2002. Poikkeamatarkastelun toteutus. Luettu 15.2.2021. http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/alarp/aineisto/hazop_ohje.pdf

Heikkinen M. (2017). Vaara- ja riskianalyysi. Pöyry Finland Oy.

Heikkinen M. (2018). Vaatimusmäärittely. Pöyry Finland Oy.

Tuononen, J. 2012. Soodakattilan nuohouksen tehostaminen. Energiatekniikan koulutusohjelma. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/43977/Tuononen_Jonne.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ryynänen, P. 2008. Turvallisuusanalyysi korkeajännitesähköpurkauslaitteistolle. Kemiantekniikan osasto. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kandidaatin työ. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/45310/nbnfi-fe200905281563.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Metropolia wiki. 2017. Vikaantumislaskenta. Luettu 12.2.2021. <https://wiki.metropolia.fi/display/alykas/Vikaantumislaskenta>

Kotkamills. 2020. Tietoja yrityksestä. Luettu 16.8.2020. Verkkosivu. Vain yrityksen sisäisessä käytössä.

Leppänen, A., Haaga, K. 2015. Soodakattilan käyttövarmuuden parantaminen tuhkeyhdisteiden käyttäytymistä mallintamalla. Promaint-lehti. Luettu 30.3.2021. <https://promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuuden-kehittaminen/Soodakattilan-kaytto-varmuuden-parantaminen-tuhkeyhdisteiden-kayttaytymista-mallintamalla>