

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka / Automaatio

Eetu Loikkanen

VOIMALAITOKSEN TURVA-AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄN TESTAUKSEN
DOKUMENTOINTI

Insinööriyö 2012

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Automaatiotekniikka

LOIKKANEN, EETU	Voimalaitoksen turva-automaatiojärjestelmän testauksen dokumentointi
Opinnäytetyö	36 sivua + 6 liitesivua
Työn ohjaajat	Yliopettaja Merja Mäkelä, tehdaspalvelun kunnossapitoinsinööri Seppo Kylliäinen
Toimeksiantaja	UPM-Kymmene Oyj, Kymi
Huhtikuu 2012	
Avainsanat	TAJ, TLJ, automaatiokunnossapito, voimalaitosautomaatio

Sellutehtaan omavaraisuuden ja tuotantotehokkuuden kannalta on erittäin tärkeää, että prosesseissa käytettäviä materiaaleja hyödynnetään tarkasti. Kymin Voima Oy:n kattilan K7 tapaisilla kuorikattiloilla parannetaan tehtaiden hyötysuhteita ja parannetaan prosessien käyttövarmuutta ja turvallisuutta. Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin turvalukitus- ja turva-automaatiojärjestelmiin. Tarkastelun kohteeksi valittiin energiantuotanto. Kymin Voima Oy:n kattilalaitoksen turva-automaatiojärjestelmän testauksen ohjeistuksen ja testauksessa tarvittavien dokumenttien laatiminen oli tämän opinnäytetyön keskeisin tavoite. Työn teoriaosuus luo pohjan testausohjeen laatimiselle.

Kymin Voima Oy:n kattilan K7 turva-automaatiojärjestelmästä laadittiin luettelo testattavista piireistä ja 55-sivuinen ohjeistus 199 piirin koestukseen. Lisäksi suunniteltiin Excel-pohjainen pöytäkirja testauksen dokumentoimiseksi. Tämän opinnäytetyön käytännön osuus suoritettiin UPM-Kymmene Oyj:n Kymin tehtaalla sijaitsevalle Kymin Voima Oy:n K7 kattilalaitokselle. UPM-Kymin tehtaan sähköautomaatiokunnossapidolle laadituista dokumenteista ei tullut julkiseen jakeluun tarkoitettuja, vaan testausohje ja pöytäkirjat jäävät vain UPM-Kymmene Oyj Kymin tehdasintegraatin sisäiseen käyttöön. Testausohjetta voidaan käyttää apuna myös viranomaistarkastuksissa. Opinnäytetyön lopussa on testausohjeen sisällysluettelo ja muutaman piirin esimerkit.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Automation Engineering

LOIKKANEN, EETU

Documentation of interlocking safety loop tests for a power plant

Bachelor's Thesis

36 pages + 6 pages of appendices

Supervisors

Merja Mäkelä, LicSc (Tech.)

Seppo Kylliäinen, Automation Manager

Commissioned by

UPM-Kymmene Oyj, Kymi

March 2012

Keywords

safety automation, power plant automation, automation maintenance

It is important for a pulp mill's self-sufficiency and production efficiency that the process materials are used efficiently. Energy boilers such as the K7 boiler at Kymin Voima Oy enhance the efficiency of power plants and improve the reliability and safety of integrated processes. The subject of the thesis work was to take a look at the plant's interlocking systems and safety-control systems, mainly in the energy processes. The main objective was to create a scheduled test specification including the documents needed in the testing.

A list of the K7 boiler's circuits to be tested was created along with a 55-page schematic for the testing of 199 circuits. In addition to this, an Excel-based program was created to document the results. The practical part of this thesis work was carried out for Kymin Voima Oy's K7 boiler plant located at UPM-Kymmene Oyj's Kymi mill. The documents created for the automation maintenance team at UPM Kymi mill are confidential, and not to be distributed outside of UPM-Kymmene Oyj. The testing schematic may also be used in official inspections. At the end of the thesis there is a table of contents and examples of a few loops.

ALKUSANAT

Tämä insinöörityö tehtiin opinnäytetyönä automaatioinsinöörin tutkintoa varten Kymenlaakson ammattikorkeakoulussa. Opinnäytetyön käytännön osuus suoritettiin UPM-Kymmene Oyj Kymin tehdasintegraatilla sijaitsevalla Kymin Voima Oy:n kattilalaitoksella. Työhön kuului olennaisena osana piirien testauksesta laadittu ohje. Haluan kiittää Kymin ohjaajiani Seppo Kylliäistä, Petri Kuitikkaa, Juha Pétasta, Matti Nuijaa, Esa Nikusta, Risto Järvistä ja Hannu Kohvakkaa. Haluan kiittää myös Kymenlaakson ammattikorkeakoulun Merja Mäkelää ja Markku Huhtista hyvästä yhteistyöstä.

Kuusankoskella 14.4.2012

Eetu Loikkanen

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

BFB	Leijupeti (Bubbling fluidized bed)
MW	Megawatti
DNA	Dynamic Network Application
DCS	Hajautettu ohjausjärjestelmä (Distributed control system)
TLJ	Turvallisuuteen liittyvä järjestelmä
TAJ	Turva-automaatiojärjestelmä
TET	Turvallisuuden eheyden taso
SIL	Safety Integrity Level (ks. TET)
PVO	Pohjolan Voima Oy
KYVO	Kymin Voima Oy
OPS	Operointiasema
EAS	Suunnittelu- ja ylläpitoasema
KVJ	Käytönvalvontajärjestelmä
UPS	Uninterruptible Power Supply
S	Sähköinen järjestelmä
E	Elektroninen järjestelmä
OEJ	Ohjelmoitava elektroninen järjestelmä
IEC	International Electrotechnical Commission
FAT	Tehdastestaus (Factory Acceptance Testing)
SAT	Hyväksymistestaus (System Acceptance Testing)

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

1	JOHDANTO	8
2	KYMIN VOIMA OY:N LEIJUPETIKATTILA K7	10
3	TURVA-AUTOMAATIO	14
3.1	Turvallisuuteen liittyviä käsitteitä	16
3.2	Turvalogiikkajärjestelmät	18
3.3	Turva-automaation vaatimuksia	20
3.4	Turva-automaation elinkaari	22
3.4.1	Määrittelyvaihe	22
3.4.2	Turvallisuussuunnitelma	23
3.4.3	Vaara- ja riskianalyysi	24
3.4.4	Turva-automaation testaukset	26
4	KYMIN VOIMA OY:N KATTILA K7 TURVA-AUTOMAATIO	27
4.1	Kattilan K7 turvalogiikkajärjestelmä	28
4.2	Turvalogiikan viestit	31
5	VOIMALAITOKSEN TURVAJÄRJESTELMÄN TESTAUS	32
5.1	TAJ-testien toteuttaminen	32
5.2	Määräaikaistestaukset	33
5.3	Esimerkkejä TAJ-piirien testausohjeesta	34
6	YHTEENVETO	36

LIITTEET

Liite 1. Esimerkki kattilan K7 HIMA-kattilasuojasta.

Liite 2. Esimerkki lukituskaaviosta.

Liite 3. DCS näkymä käynnistyspolttimesta.

Liite 4. HIMA-automaatiokaappi.

Liite 5. Häätä-seis HIMA-toteutuksena.

Liite 6. Kymin Voima Oy:n voimalaitoksen turva-automaation testausohjeen sisällysluettelo. Yhteensä 55 sivua.

1 JOHDANTO

Liiketoimintakustannusten noustessa ulkoistaminen on ollut tapana tällä vuosituhanella jokseenkin jokaisella toimialalla. Metsäteollisuus on käyttäytynyt voimakkaasti tämän trendin mukaisesti. Pääasiassa ulkoistettuja toimintoja metsäteollisuudessa on ollut kirjanpito, kunnossapito, puunhankinta, kiinteistönhoito, hr-palvelut ja monet muut ennen kiinteästi yritysten toimintaan kuuluneet toiminnot. UPM on tehnyt periaatepäätöksen olla ulkoistamatta kunnossapitoa toisin kuin monessa muussa metsäteollisuusyrityksessä on ollut tapana. Yritys on halunnut säilyttää erikoisosaamista nimenomaan kunnossapidossa. Päätöksen ansiosta tietotaitoa yrityksen sisäisestä osaamisesta ei ole päätynyt kilpailijoiden eduksi. Muun muassa tästä syystä yrityksellä on käytettävissä huippuosaajat kunnossapidon osa-alueilla.

Tämän työn tarkoituksena on juurikin syventää ja kehittää integraatin oman kunnossapidon henkilöstön osaamista koskien kattilalaitoksen turva-automaatiojärjestelmän koestusta. Työssä tullaan käsittelemään voimalaitoksen turvalukitusautomaation toimintaa ja tämän järjestelmän testaamisesta laaditaan erillinen ohje kunnossapitohenkilöstölle. Turva-automaatiojärjestelmät ja niiden kunnossapito on suoritettava viranomais määräysten mukaisesti. Edellä mainittu seikka on tärkeässä osassa juuri tätä opinnäytetyötäkin.

UPM-Kymmene Oyj on kansainvälisesti toimiva nykyaikainen metsäteollisuusyhtiö. UPM-Kymmene Oyj:n nykyhistoria alkoi vuonna 1996, kun silloiset Yhtyneet Paperitehtaat ja Kymmene fuusioituivat. Yhtiön osake noteerataan Helsingin pörssissä. Vuonna 2010 yhtiön liikevaihto oli 8,9 miljardia euroa ja liikevoitto 731 miljoonaa euroa. Henkilöstöä yhtiöllä oli vuoden 2010 lopussa 22 000. (1)

Pohjolan Voima Oy on vuonna 1943 metsäteollisuusyhtiöiden perustama yhteisyritys, joka tuotti ja rakensi sähkövoimaa sen omistamille yhtiöille. UPM-Kymmene Oyj omistaa n. 43 % osuuden Pohjolan Voima Oy:stä. (2)

UPM Kymin tehdasintegraatti (kuva 1) sijaitsee Kaakkois-Suomessa Kuusankoskella noin 140 km päässä Helsingistä. Kymin tehdasalueella sijaitsee paperi- ja sellutehdas oheistoimintoinen. Paperinvalmistus alkoi Kuusankoskella vuonna 1872, jolloin Kymi-yhtiö perustettiin. Nykyisellä Kuusanniemen tehdasalueella selluntuotanto alkoi

vuonna 1964. Paperikone 7 käynnistyi vuonna 1970. Myöhemmin PK 8 käynnistyi vuonna 1980 ja PK 9 vuonna 1988. Integraatissa toimii nykyään PK 8 ja PK 9.

Nykyään Kymillä valmistetaan koivu- ja mäntysellua sulfaattisellumenetelmällä. Pääosa sellusta käytetään Kymin paperitehtaalla, jossa sellusta valmistetaan hienopaperia kahdella nykyaikaisella paperikoneella. Tehtaalla on myös sellunkuivauskone, jolla voidaan kuivata sellua paaleiksi, joko myyntiin tai paperitehtaan käynnin turvaamiseksi.

Paperintuotantokapasiteetti Kymillä on noin 840 000 tonnia vuodessa. Sellua voidaan tuottaa noin 570 000 tonnia vuodessa. Henkilöstöä Kymillä on noin 600. (3)



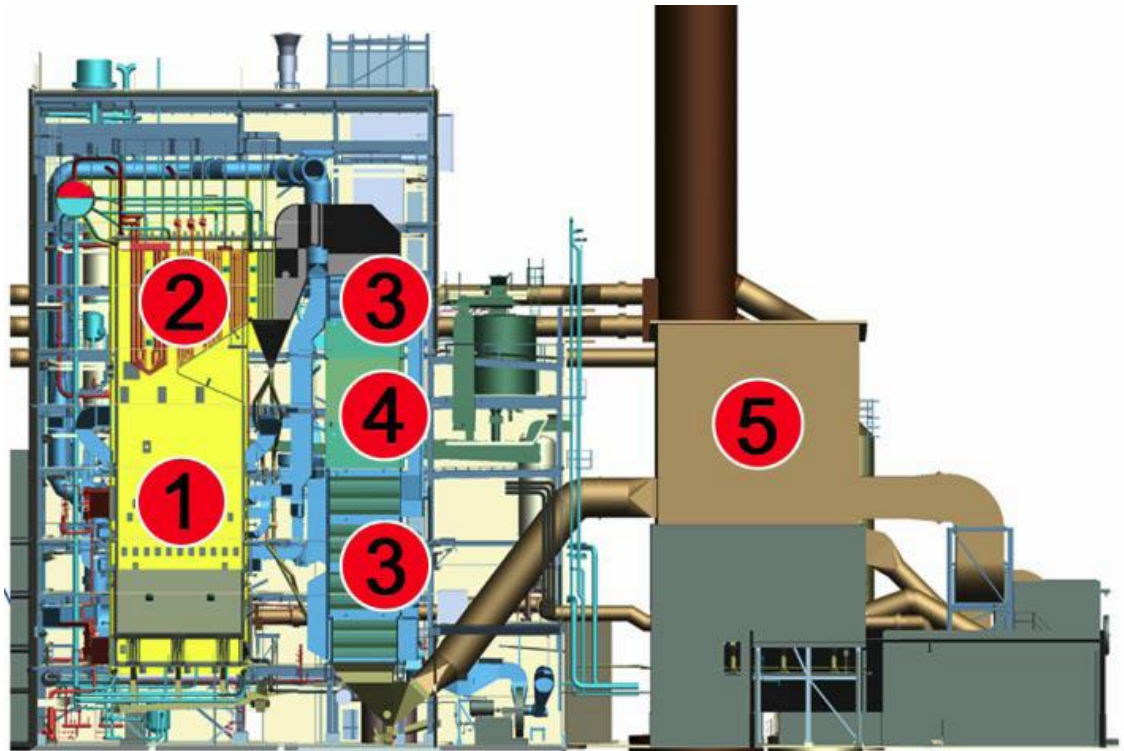
Kuva 1. UPM-Kymin tehdas. (4)

Kymillä sellutehtaan toimintoihin luetaan kuuluviksi mm.

- raakavesilaitos
- kemiallinen vesilaitos
- jätevesilaitos
- kuorimo
- kuitulinjat
- kuivauskone
- talteenotto
- haihduttamo.

2 KYMIN VOIMA OY:N LEIJUPETIKATTILA K7

Kuusanniemen tehdasalueella sijaitseva Kymin Voima Oy:n kattila K7 on Pohjolan Voima Oy:n ja KSS Energia Oy:n omistama biopolttoainevoimalaitos. Kattilalaitos otettiin tuotantokäyttöön vuonna 2002. Laitos on Metso Oyj:n toimittama BFB-leijupetikattila.



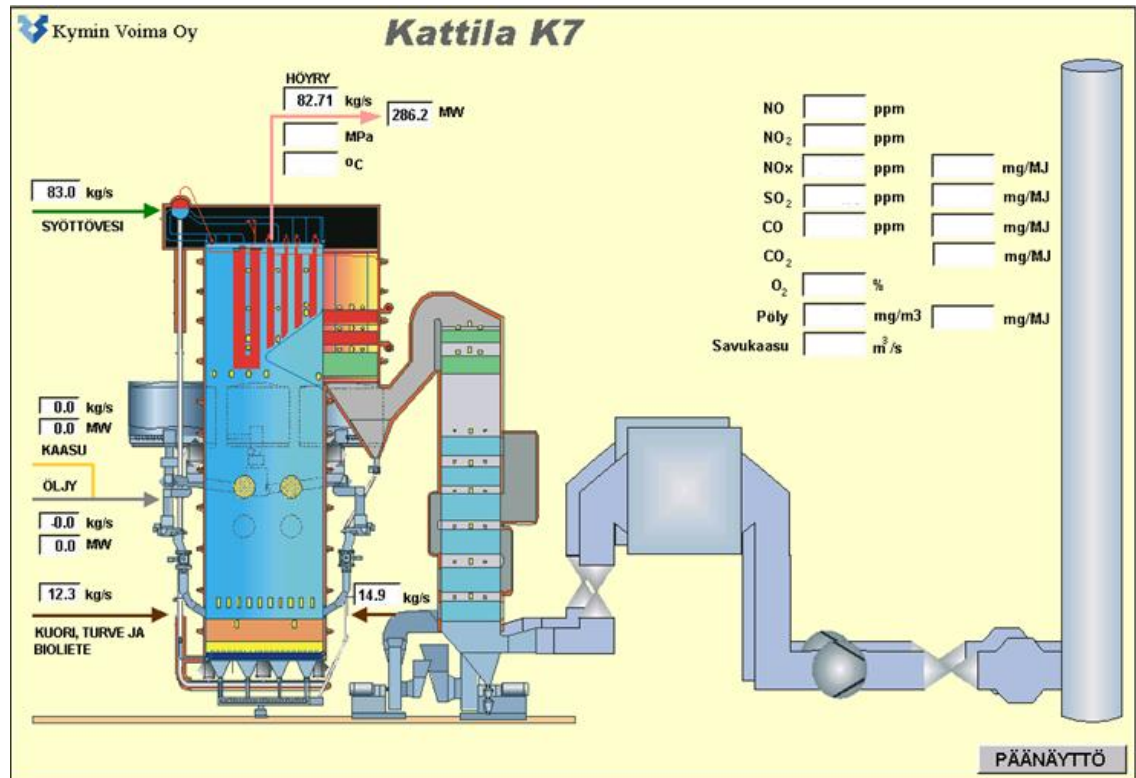
Kuva 2. Periaatekuva leijupetikattilan toiminnasta. (5)

Leijupetikattilassa on pääosat (kuva 2):

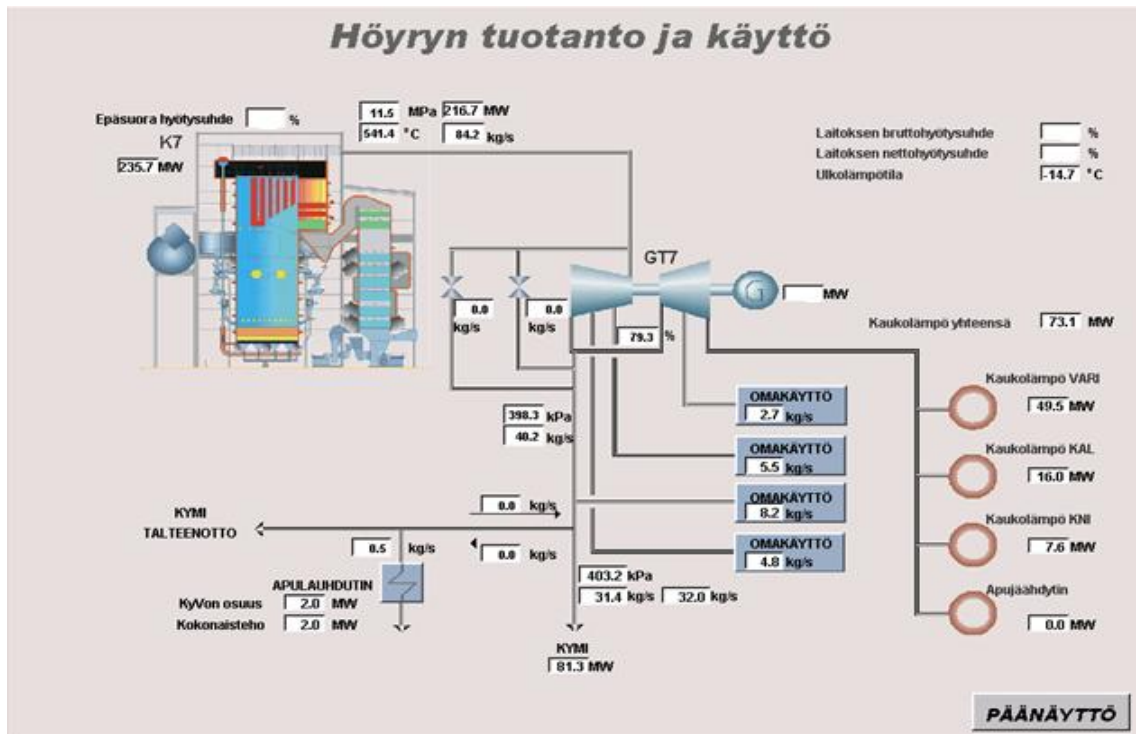
1. kattilan tulipesä, pohjalla peti
2. tulistimet
3. palamisilman esilämmittimet, luvot
4. syöttöveden esilämmittimet, ekot
5. savukaasun puhdistus (sähkösuotimet).

Leijupetikattilassa (kuva 2) leijutetaan hiekkapetiä leijutusilmapuhaltimen avulla. Leijutusilmapuhaltimella voidaan vaikuttaa myös pedin lämpötilaan. Kattila käynnistetään käyttämällä käynnistyspolttimia, joita voidaan ajaa maakaasulla ja tarvittaessa öljyllä.

Käynnistyspolttimien avulla petiä lämmitetään, jotta pedille pystytään syöttämään kiinteää polttoainetta. Kiinteäpolttoaine syötetään kattilaan sulkusyöttimien avulla. Sulkusyöttimet ovat polttoaineensyöttölaitteita, jotka estävät tulen pääsyn polttoainesiiiloihin. Polttoaineenaan kattila käyttää mm. kuorijätettä, biomassaa, metsätähdettä ja turvetta (kuva 3). Varapolttoaineena kattilalla toimii öljy sekä maakaasu. Kattilan prosessihöyryteho on 125 MW, sähköteho 76 MW (kuva 4) ja kaukolämpöteho 55 MW (kuva 5). (7)



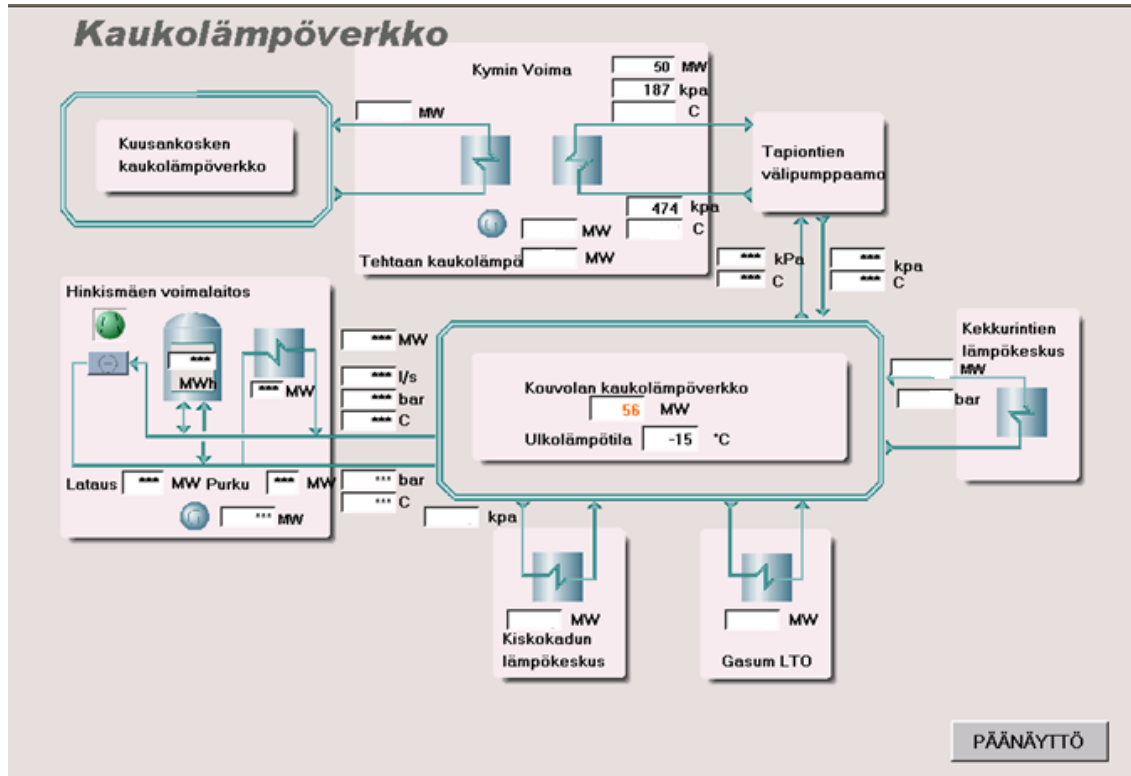
Kuva 3. Kymin Voima Oy kattilan K7 päänäyttö. (6)



Kuva 4. Tehtaan höyryverkko. (6)

Kattila K7 korkeapainehöyry (kuva 4) johdetaan turbiinille, jossa korkeapainehöyrystä tuotetaan turbiinin pyörittämässä generaattorissa sähköenergiaa. Turbiini toimii samalla ns. paineenalentimena, jolloin turbiinivälitoista saadaan matalapainehöyryä tehtaanhöyryverkkoon. Turbiinia pyritään ajamaan höyrynkulutuksen ja kaukolämmönkulutuksen perusteella. Kymin höyryverkkojen paineet ovat 13,5 bar ja 5 bar. (6)

Kaukolämmöstä ja sähköstä osa käytetään suoraan Kymin tehtaalla (kuva 5), mutta suurin osa lämmöstä ja sähköstä menee myytäväksi KSS Energia Oy:n jakeluverkkoihin.



Kuva 5. Kaukolämpöverkon yleisnäkymä. (6)

Tällaista sähkön- ja lämmöntuotantotapaa kutsutaan yhteistuotannoksi ja se on ympäristön kannalta järkevin tapa toimia. Näin päästään parhaaseen mahdolliseen hyötysuhteeseen kattilalaitoksen osalta. Kymin Voima Oy:n kattila K7 on suurin kaukolämmöntuottaja Kouvola-kaupungissa. (8)

Voimalaitosympäristö on haasteellinen toimintaympäristö automaation kenttälaitteille ja automaatiojärjestelmille. Fysikaalisten ja kemiallisten vaarojen takia voimalaitoksella tarvitaan turva-automaatiojärjestelmä. Fysikaalisiksi vaaroiksi voidaan lukea mm. korkeat paineet, korkeat lämpötilat ja suuret virtaukset. Kemiallisiksi vaaroiksi voidaan lukea mm. polttoaineet ja prosessin vaatimat kemikaalit.

3 TURVA-AUTOMAATIO

Turva-automaation tärkein tehtävä on ihmisten, tuotantolaitoksen, koneiden ja laitteiden suojaaminen odottamattomalta tapahtumalta tai tapahtumasarjalta. Oleellista on, että turva-automaatio toimii erillisenä järjestelmänä, joka ei ole riippuvainen laitoksen automaatio-ohjausjärjestelmästä.

Nykyään yleisin voimalaitoksen pääohjausjärjestelmän arkkitehtuuri on hajautettu (Distributed Control System, DCS). Hajautettu arkkitehtuuri ohjausjärjestelmässä tarkoittaa, että laitoksenjärjestelmä on sijoitettu monelle eri taholle. Järjestelmä käsittää ohjaustason ja hajautetut ohjausyksiköt eripuolilla laitosta. Ohjausjärjestelmä antaa asetusarvoja esimerkiksi kenttälaitteille ja hankkii tietoja hajautetuilta ohjausyksiköiltä. Hajautetut ohjausyksiköt ohjaavat prosessia esimerkiksi venttiileiltä saadun takaisinkytkentätiedon perusteella.

Kuvassa 6. nähdään Kymin Voima Oy:n kattila K7 DCS-arkkitehtuuri. Layout-kuvassa näkyy havainnollisesti hajautetun automaatiojärjestelmän periaate. Tärkeinä poimintoina kuvasta voidaan nähdä mm. operointiasemat (OPS), suunnittelu- ja ylläpitoasema (EAS). EAS-asemalta voidaan tutkia ja ladata tietoja automaatiojärjestelmään. EAS-asema on tärkeä työkalu mm. kunnossapitohenkilöstölle. Automaatio- ja toimistoverkko erotetaan palomureilla ja kytkimillä toisistaan. Tällaisella ratkaisulla parannetaan mm. automaatioverkon toimintakykyä ja tietoturva. Käytönvalvontajärjestelmä (KVJ) serverin kautta päästään siirtämään tietoja toimistoverkon kautta monille eritahoille. KVJ:n kautta kulkevat esimerkiksi sähköennusteet.

Pääautomaatiojärjestelmä (kuva 6) liittyy oleellisina osana turva-automaatiojärjestelmään. Esimerkiksi kaikki lukitukset, kattilasuojan tilatiedot ja TAJ-mittaukset esitetään (liitteet 1 ja 3) pääautomaatiojärjestelmän näyttökaavioissa.

3.1 Turvallisuuteen liittyviä käsitteitä

Kaikkea turvallisuuteen liittyvää tekniikkaa kutsutaan *turvallisuuteen liittyväksi järjestelmäksi (TLJ, eng. Safety Related System lyhenne SRS)* (9). Mikäli prosessi ei enää ole hallittavissa tavanomaisella automaatiojärjestelmällä tai on tapahtunut jotakin odottamatonta, niin TLJ:n tehtävä on taata, että prosessi ja laitteisto saadaan turvalliseen tilaan käyttäen turvatoimintoja. Esimerkkinä tällaisesta TLJ-toiminnosta voisi olla kattilalaitoksella turbiinin pikasulku. Pikasulussa hydraulisesti ohjatut venttiilit ohjataan kiinni päästämällä hydrauliohjainpaine pois. Venttiili sulkeutuu erittäin nopeasti. Samalla, kun turbiinille ei enää saada ohjattua höyryä kattilasta, on kattilan varoventtiilien tai reduktion avauduttava samalla nopeudella kuin turbiinin pikasulkuventtiilien. Tällöin vältetään mm. paineiden ja lämpötilojen hallitsemattomat muutokset, joista aiheutuisi suurta vaaraa ihmisille, ympäristölle ja laitokselle. Mikäli kattila on varustettu välitulistuksella, ei varoventtiilejä voida käyttää korkeapaineosassa, koska välitulistimissa on pidettävä jatkuva höyryvirtaus. Tällöin KP-höyry on ohjattava välitulistukseen. Kattilalaitoksilla myös kattilan heikko nurkka on osana turvallisuuteen liittyvää järjestelmää. (10)

Kaikki kattilalaitoksen TLJ-järjestelmät suunnitellaan ja toteutetaan standardin IEC 61508 mukaisesti. IEC 61511 standardi on sovellettu aiemmasta IEC 61508 standardista juurikin prosessiteollisuuteen. Standardin mukaan toimiessa järjestelmistä saadaan toiminnaltaan luotettavia ja näin vältetään järjestelmien muokkautuminen. (9)

IEC 61508 standardissa puhutaan turvallisuuteen liittyvistä järjestelmistä nimellä TLJ. IEC 61508 standardi ei erittele turva-automaatiota erilliseksi järjestelmäksi, vaan siinä puhutaan yleisesti turvallisuuteen liittyvistä järjestelmistä. Standardissa IEC 61511 puolestaan puhutaan tarkemmin eri järjestelmistä. Standardissa IEC 61511 käsitellään nimenomaan sähköisiä ja elektronisia suojajärjestelmiä. Tällaista järjestelmää nimitetään *turva-automaatiojärjestelmäksi (TAJ, engl. SIS, Safety Instrumented System)*. Järjestelmällä tarkoitetaan turvallisuuteen liittyvää automaatiojärjestelmää, johon sisältyy mitta-anturit, logiikkasovellus, ohjattavat laitteet (venttiilit, kontaktorit, moottorit jne.) ja lisäksi myös edellä mainittujen välinen kaapelointi. Turva-automaatiojärjestelmältä vaaditaan suurempaa eheyttä kuin tavalliselta automaatiojärjestelmältä. (9)

Turvallisuuden eheys (TET, engl. SI, Safety Integrity) tarkoittaa sitä, että turvajärjestelmä voi suorittaa sille määrätyn turvallisuuden kannalta oleellisen tehtävän sille määritellyissä olosuhteissa. (9)

Yleisesti TAJ nähdään osana turvallisuuteen liittyvää järjestelmää. Turva-automatiojärjestelmien uusimpana trendinä halutaan hakea lisää käytettävyyttä ja toimintavarmuutta rinnakkaisilla komponenttikytkennoillä. Tällaista kytkentää kutsutaan redundanttiseksi kytkennäksi. Redundanttisia kytkentämalleja on olemassa kolmea erilaista mallia:

- *1 / 1 Varmentamaton* TAJ-laukaisu lähdeosan vioittuessa tai mittausviesti on yli tai alle laukaisuarvon. Miinuksena on heikko käytettävyys.
- *1 / 2 Kaksi rinnakkaista järjestelmää* TAJ-laukaisu tapahtuu mikäli, lähdeosa on vioittunut tai mittausviesti on yli tai alle laukaisuarvon. Kytkentämalli parantaa prosessin turvallisuutta, miinuksena huonontaa käytettävyttä.
- *2 / 2 Kaksi rinnakkaista järjestelmää* TAJ-laukaisu tapahtuu, kun molemmat järjestelmät ovat vioittuneet tai mittausviesti on yli tai alle laukaisuarvon.
- *2 / 3 Kaksi kolmesta* Kytkennässä on kolme erillistä järjestelmää, joista kahden toimiessa tapahtuu TAJ-laukaisu. Mainittu kytkentä parantaa sekä käytettävyttä, että prosessin turvallisuutta. *2 / 3* -järjestelmä on toteutukseltaan hintavin. (11)

Standardi IEC 61508 määrittelee turvallisuuden eheystasot asteikolle TET 1 - 4. TET 1 -tasolla suojauksen tulee toimia vähintään 90 %:n varmuudella. TET 2 -tasolla suojauksen tulee toimia 99 %:n todennäköisyydellä ja TET 3 -tason 99,9 %:n todennäköisyydellä.

Tyypillisiä toiminnallisesti turvallisia komponentteja ovat ohjausjärjestelmät, turvalogiikkajärjestelmät, prosessien lukituspiirien komponentit, lämpötilalähetimet ja viestimuuntimet. Turvatoiminnon eheystaso määrittää vaateita koko suunnitteluketjulle.

Turvallisuuden eheystaso on todennäköisyysmitta vaihtoehtoisesti:

- Turvatoiminto täyttää sille asetetut turvallisuusvaatimukset.

- Turvallisuuteen liittyvä järjestelmä (TLJ) toteuttaa hyväksyttävästi vaadittavat turvatoiminnot kaikissa määritellyissä olosuhteissa ja määriteltynä ajanjaksona.

Harvojen vaateiden tapa: *Turvallisuuteen liittyvän järjestelmän toimintaan kohdistuvien vaateiden taajuus ei ole suurempi kuin yksi eikä suurempi kuin kaksi kertaa määräaikaistestien taajuus (taulukko1). (13)*

Tiheiden vaateiden tapa: *Turvallisuuteen liittyvän järjestelmän toimintaan kohdistuvien vaateiden taajuus on suurempi kuin yksi vuodessa tai suurempi kuin kaksi kertaa määräaikaistestien taajuus (taulukko 2). (13)*

Taulukko 1. Turvallisuuden eheystasot. Harvojen vaateiden tasot.

Turvallisuuden eheyden taso	Harvojen vaateiden toimintatapa
TET 4	$10^{-5} \dots 10^{-4}$
TET 3	$10^{-4} \dots 10^{-3}$
TET 2	$10^{-3} \dots 10^{-2}$
TET 1	$10^{-2} \dots 10^{-1}$

Taulukko 2. Turvallisuuden eheystasot. Tiheiden vaateiden tasot.

Turvallisuuden eheyden taso	Tiheiden vaateiden tai jatkuvan toiminnan käyttötapa
TET 4	$10^{-9} \dots 10^{-8}$
TET 3	$10^{-8} \dots 10^{-7}$
TET 2	$10^{-7} \dots 10^{-6}$
TET 1	$10^{-6} \dots 10^{-5}$

3.2 Turvalogiikkajärjestelmät

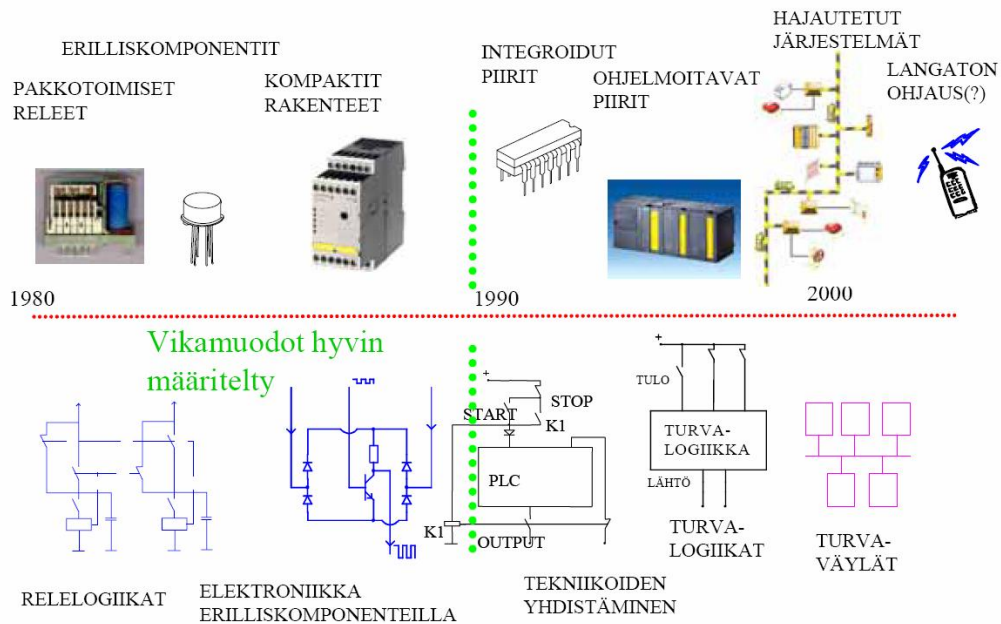
Ohjausjärjestelmien kehittyessä digitaalisempaan suuntaan, on myös turvajärjestelmiä ollut tarvetta kehittää nykyaikaisemmiksi. Kuvassa 7 nähdään havainnollisesti ohjaus- ja turvajärjestelmien kehitys eri aikakausina. Logiikkasovellukset ovat lähteneet kehittymään entisaikaisista relelogiikoista. Välivaiheena logiikoiden kehittymisessä voidaan nähdä logiikkaohjatut releet. Logiikkasovellus ei ollut enää pelkkä reletjetju,

vaan releketju korvattiin sähköisellä ohjelmoitavalla logiikalla. Sittemmin suuntana on ollut tietynlainen integroituminen ja perinteisistä releistä luopuminen. Viimeisimpänä kehityssuuntana on ollut turvaväylät. Turvaväylät eivät ole vielä nykyään yleisiä teollisuusmittakaavassa.

Varmastikin suurimpana rajoituksena turva-automaatiojärjestelmien kehittymiselle on vaatimukset erillisestä, perusautomaatiojärjestelmästä omana järjestelmänä toimivasta kokonaisuudesta. Turva-automaatiojärjestelmää ei ole tällöin mahdollista integroida perusautomaatiojärjestelmään. Myöskään kilpailu ei ole ollut kauhean suurta turvalogiikka-alalla. Mm. seuraavat automaatiotoimittajat valmistavat myös turva-automaatiojärjestelmiä:

- ABB
- GE Fanuc
- HIMA
- Honeywell SMS
- ICS Triplex
- Invensys-Triconex
- Rockwell Automation
- Siemens
- Yokogawa ISS.

Suomessa HIMA Paul Hildebrandt GmbH + Co KG on markkinajohtajana teollisuusmittakaavan turva-automaatiojärjestelmätoimittajana. Suomalaisista automaatiojärjestelmien toimittajista ainakin Metso Oyj on yhteistyössä HIMA-logiikkajärjestelmien valmistajan kanssa. HIMA-logiikkajärjestelmää edustaa Suomessa Mipro Oy. Nykypäivänä Suomessa rakenteilla oleviin voimalaitoksiin tehdään turva-automaatiojärjestelmä likipitäen samalla tavalla kuin Kymin Voimalla tämän vuosikahden alussa. Myös Lahti Energia Oy:n Kymijärvi 2. voimalaitoksen turva-automaatiojärjestelmän arkkitehtuuri vastaa hyvin Kymin Voiman K7 kattilan turva-automaatiojärjestelmää. Suomessa automaatiojärjestelmätoimittajista ainakin Metso Oyj hoitaa turvalogiikan asennuksen ja tekee logiikkajärjestelmään tarvittavat ohjelmistot. Turva-automaatiologiikan sovellusohjelmointi on nykypäivänä samankaltaista kuin DCS-järjestelmissäkin.



Kuva 7. Ohjaus- ja turvajärjestelmien kehittyminen (12)

3.3 Turva-automaation vaatimuksia

Turva-automaatiojärjestelmälle asetetaan vaatimuksia viranomaistahoilta. TAJ:n suunnittelun lähtökohtana on, että TAJ:n on oltava erillinen prosessiautomaatiosta riippumaton järjestelmä. Järjestelmän on myös toimittava niin, ettei se aiheuta turhia prosessin pysäytyksiä. Valvomoissa ja kentällä sijaitsevat hätäseis-painikkeet eivät saa olla riippuvaisia pääautomaatiojärjestelmästä. Liitteessä 5. on esimerkki hätäseis-piiristä. Turva-automaatiojärjestelmässä on oltava järjestelmän valvonta- ja hälytys-toiminnot. Myös vikautumisesta on tultava ilmoitus varsinaiseen ohjausjärjestelmään.

Vähimmäisvaatimukset hälytyksistä ovat:

- valvontahäiriö (toimilaite, mittauselin, viestisignaali)
- redundanttisten mittaussignaalien hajonnan valvonta
- TAJ:n jännitteensyöttövalvonta.

Valvontahäiriöksi voidaan tulkita esimerkiksi venttiilin tilatiedon vika ja tällöin järjestelmä ei saa takaisinkytkentätietoja venttiililtä. Signaalien valvonta on myös tärkeä osa TAJ:n toimintaa. Analogiset tuloviestit eivät saa poiketa raja-arvoista toleranssia enempää. Esimerkiksi milliampeeriviestin on oltava välillä 4 – 20 mA. Muutoin järjestelmä olettaa, että tieto on epäkelpo tai on tapahtunut jotakin odottamatonta ja suorittaa tarvittaessa TAJ-laukaisun.

Reduntanttisten mittauksien tiedot siirretään eri reittiä pitkin turvalogiikalle. Syynä tähän on kaapeloinnin aiheuttama turvallisuusalenema. Reitin kahdennuksilla välletään TAJ-laukaisu, mikäli kaapeli menisi poikki tai siihen indusoitui ylimääräistä kohinaa jostain toisista kaapeleista. Kaapeloinneissa ei vielä käytetä kenttäväyliä. Tähän voisi olla syynä käyttökokemusten vajaavaisuus kyseisistä kaapeleista. Nykyään on kuitenkin mahdollista käyttää ns. normaaleja kenttälaitteita TAJ:n osana. Tämä edellä mainittu kytkentä edellyttää kuitenkin, että tiedot kulkevat ensin TAJ:n läpi, ennen siirtymistä pääautomaatiojärjestelmään. Kenttäkaapelointien ja positiotunnuskylttien tulee olla tavallisista kaapeloinneista poikkeavan värisiä. TAJ-kaapeloinneissa ja positiotunnuskylteissä suositellaan käytettävän punaista väriä.

TAJ:n varustaminen jännitteensyötön valvonnalla edellyttää myös järjestelmän varustamista apuenergioiden katoamisen varalta, niin että järjestelmä pystyy suorittamaan sille määritetyn tehtävän ja saattamaan prosessin turvalliseen tilaan. Tämän seurauksena järjestelmä on muun muassa varustettava varmennetulla jännitteensyötöllä eli UPS-järjestelmällä. UPS-järjestelmän on kytkeydyttävä automaattisesti päälle jännitteen laskiessa. Tällaista järjestelmää kutsutaan on-line-kytkennäksi. Järjestelmässä on myös oltava yli- ja alijännitesuojaus. UPS-järjestelmän toiminta-ajan turva-automaatiojärjestelmässä on oltava ainakin 30 minuuttia. UPS-järjestelmien lisäksi laitoksella on oltava myös varavoimakone, josta saadaan sähköä, mikäli UPS-järjestelmän toiminta-aika ei riittäisi vaadituille turvatoiminnoille.

Ulkoisen jännitteen syötön lisäksi TAJ:n tulee soveltaa lepovirtaperiaatetta. Lepovirtaperiaate tarkoittaa, että apuenergian hävitessä esimerkiksi paine-ilmaohjattu venttiili saatetaan turvalliseen asentoon mekaanista apuvälinettä käyttämällä. Venttiilintoimilaitte varustetaan tällöin jousella, toimsuuntana joko jousi sulkee tai vastaavasti jousi sulkee. Mikäli kyseessä olisi moottoriventtiili, sitä ei voitaisi ohjata edellä mainitulla tavalla, vaan olisi käytettävä työvirtaperiaatetta. Käyttämällä työvirtaperiaatetta moottorille syötettäisiin sähköä varmennetulla syötöllä. Turva-automaatiojärjestelmän käskey ohittaa moottoriventtiilin osana olevat sähkömekaaniset suojaukset esimerkiksi lämpöreleen.

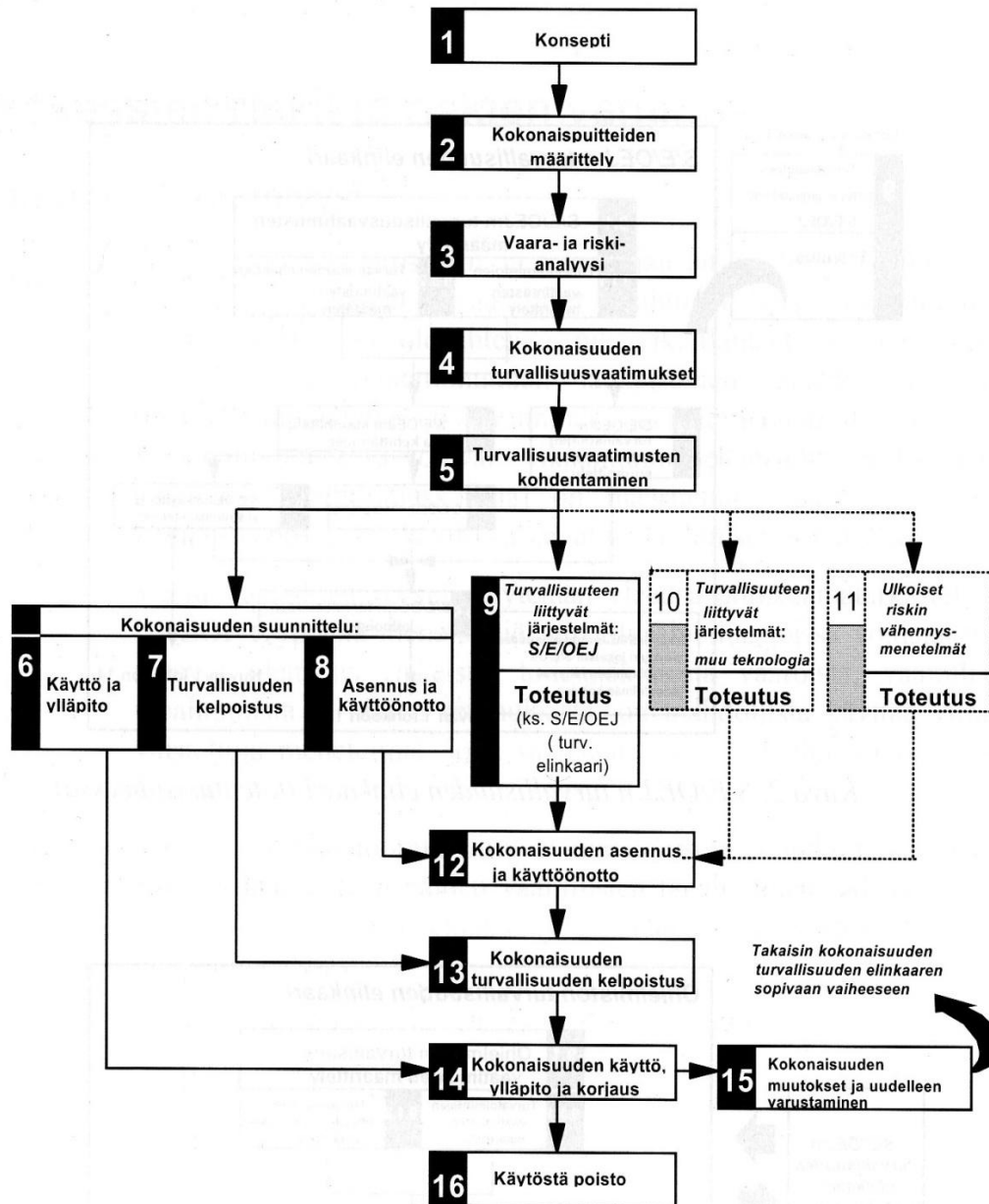
Turva-automaatiojärjestelmän toimintanopeuden on myös oltava riittävän suuri, jotta järjestelmä ehtii toteuttamaan siltä vaaditun toiminnon määräajassa. Järjestelmän

komponentit on myös oltava tyyppihyväksyttävä tuotteita. Järjestelmän toimittajalla on oltava standardin mukainen pätevyys toimittaa laitoksen turva- automaatiojärjestelmä. (11)

3.4 Turva-automaation elinkaari

3.4.1 Määrittelyvaihe

Määrittelyvaihe (eng. Specification phase) pitää sisällään esisuunnittelun ja perusuunnittelun (kuva 8). Esisuunnittelussa asiakas määrittelee järjestelmän käyttäjävaatimukset ja luo kelpuutussuunnitelman. Esisuunnitteluvaiheessa tehdään myös laskelmia investointipäätöksiä varten. Perusuunnittelussa pohditaan tilaajan ja toimittajan kanssa tulevan järjestelmän ominaisuuksia. Turva-automaatioprojekti käynnistyy samalla, kun yleinen laitoksen suunnittelukin. Määrittelyvaiheessa kartoitetaan järjestelmän vaatimukset, määritellään tilaajan ja toimittajan vastuut, tehdään riski-analyysi, määritetään eheyden vaatimukset sekä vaatimusmäärittelylista. Määrittelyvaiheen rinnalla aloitetaan myös turva-automaatiojärjestelmän FAT-, SAT-, käytettävyyss- ja huoltavuussuunnittelut. Turva-automaatiojärjestelmän toimittaja suorittaa FAT-testauksen omissa tiloissaan. Toisaalta tämä on myös hyvä suunnitella tilaajan kanssa hyvässä yhteistyössä. SAT-testaus suoritetaan tilaajan toimesta ja testaukseen osallistuvat kaikki, jotka ovat toimineet turvajärjestelmän parissa. SAT-testaus suoritetaan paikanpäällä. SAT-testaus on tärkeä osa turva-automaation elinkaarta. (13)



Kuva 8. Kokonaisuuden turvallisuuden elinkaari. (13)

3.4.2 Turvallisuussuunnitelma

Turvallisuussuunnitelmassa esitetään kaikki turvajärjestelmän vaiheet ja niiden toteuttaminen. Suunnitelmaan kirjataan myös vastuiden jakautuminen niin tilaajan kuin toimittajan puolesta. Suunnitelmasta on käytävä ilmi mm. suunnitelman kohde, tehdastestaukseen ja käyttöönottoon osallistuvien organisaatioiden yhteyshenkilöt. Suunnitelmassa kartoitetaan myös testauksiin osallistuvien henkilöiden pätevydet. (13)

3.4.3 Vaara- ja riskianalyysi

Vaara- ja riskianalyysissä selvitetään huolellisesti kaikki tilanteet huomioiden laitoksen vaaraa-aiheuttavat kohdat. Lisäksi käydään läpi tilanteet, joissa on mahdollisuus tapahtua onnettomuus ja selvitetään mahdollisen onnettomuuden aiheuttamat vahingot. Tässä vaiheessa määritellään jokaisen turvatoiminnon eheyden tasot (TET) asteikolla 0 - 4. Prosessin ohjautuminen ennalta määriteltyn tilaan käy ilmi tästä analyysistä (11). Riskejä voidaan mallintaa erilaisin graafisin ja matemaattisin keinoin (taulukko 3). Esimerkiksi voimalaitoksella prosessinvaaroihin voidaan lukea mm:

- korkeat lämpötilat
- korkeat paineet
- suuret nestetilavuudet
- tulipalo
- räjähdys
- vuoto
- inhimilliset virheet
- alas- ja ylösajot.

Työskentely-ympäristön vaaroiksi voimalaitoksella voidaan lukea ainakin seuraavia vaaroja:

- liikkuvat koneet ja laitteet
- automaattikäynnistykset
- puristuminen, loukkuun jääminen
- sähköiskut
- kuumat paikat ja pinnat
- melu
- mittauksissa käytetyt säteilylähteet
- inhimilliset virheet
- kemikaalit
- laiterikko. (11)

Taulukko 3. Turvallisuuden eheyden määrittäminen todennäköisyyksillä.

Taajuus ja kesto		Mahdollisuus vaaralliselle tapahtumalle		Välttäminen	
≤ 1 tunti	5	Toistuva	5	Mahdotonta	5
> 1 tunnista ≤ 1 päivään	5	Todennäköinen	4	Mahdollista	3
> 1 päivästä ≤ 2 viikkoon	4	Mahdollinen	3	Ei varmuutta	1
> 2 viikosta ≤ 1 vuoteen	3	Harvinainen	2		
> 1 vuosi	2	Mitätön	1		

Vaikutukset		Luokat 3 - 4	Luokat 5 - 7	Luokat 8 - 10	Luokat 11 - 13	Luokat 14 - 15
Kuolema, silmän tai raajan menetys	4	TET 2	TET 2	TET 2	TET 3	TET 3
Pysyvä vamma	3			TET 1	TET 2	TET 3
Palautuva kunto, vaatii lääkärinhoitoa	2				TET 1	TET 2
Palautuva kunto, vaatii ensiapua	1	EI LUOKITUSTA				TET 1

Taulukon 3. alaosaa käytetään turvallisuuden eheystason määrittelyssä. Punaisella merkityt arvot on valittuna esimerkin vuoksi. Punaisella merkityistä sarakkeista saadaan matemaattisin keinoin TET-luokitukseksi 1 taso eli vähäisten vaateiden taso.

(14)

3.4.4 Turva-automaation testaukset

Turva-automaation *tehdastestaus* (Factory Acceptance Testing, FAT) suoritetaan yleensä laitteiston toimittajan tiloissa, kuitenkin yhteistyössä tilaajatahon kanssa, jolloin laitteisto- ja ohjelmistokomponentit yhdistetään ja määritetään samalla tavoin kuin oikeassakin käyttöympäristössä. Kenttälaitteita ei käytetä FAT-testauksissa, vaan ne joudutaan simuloimaan. Tehdastestit tehdään sopimuksen ja testaussuunnitelman mukaisesti. Tehdastestauksissa huomataan usein muutostarpeita testattavaan järjestelmään. (15)

Tehdastestaukseen osallistuvat ainakin seuraavat henkilöt ja sidosryhmät:

- laitoksen käyttäjä ja käyttöluvan haltija
- TAJ-järjestelmän suunnittelijat ja toimittajat
- laitoksen päälaitetoimittaja
- tarpeen mukaan myös muita laitoksen suunnittelijoita. (13)

Testauksessa pääautomaatiojärjestelmän tulee olla toiminnassa normaalitilassa ja TAJ-järjestelmään liittyvien piirien tulee olla testattuna toimintansa osalta. Testausta tehdessä tulee olla käytettävissä TAJ-kaaviot, TAJ-vaatimusmäärittelyt, piirikohtaiset toimintakuvaukset, testausohjeet, testauspöytäkirjat ja piirikaaviot. (11)

Koestuksessa analogiamittaukset simuloidaan lähetinsimulaattoreilla. Rajakytkimet, hätäseis-painikkeet ja käyntitiedot simuloidaan vastaavasti kytkimillä. Venttiilit ja moottoripiirit toteutetaan myös simuloimalla viestit. Testissä voidaan käyttää perusohjausjärjestelmän ohjelmallisten lukitusten ohitusta, jotta varmistutaan, siitä että juuri turva-automaatiojärjestelmä toimii oikein. Testauksen päätteeksi tehdään raportti testauksesta. Raportissa on mainittava ainakin seuraavat pääkohdat:

- testatut piirit
- maininta testauksen hyväksymisestä tai hylkäämisestä
- testien tuloksista pöytäkirja
- havaitut virheet ja puutteet
- testin aikana suoritettavat korjaukset. (11)

Hyväksymistestauksen tavoitteena on osoittaa järjestelmän toimivuus todellisessa ajotilanteessa ja ajoympäristössään. Hyväksymistestaus suoritetaan toimeksiantajan ti-

loissa. Hyväksymistestaus suoritetaan toistuvasti, niin että prosessia ajetaan suunnitellulla kuormalla. Prosessia ajetaan esimerkiksi pelkällä vedellä ilman oikeita prosessiaineita. Tällä varmistetaan laitteiston ja testiä tekevän henkilöstön turvallisuus. Tarvitavat koeajot suoritetaan toimittajan ja tilaajan yhteistyössä. Mikäli hyväksymistestauksessa ilmenee virheitä, tulee virheet korjata ja suorittaa hyväksymistestaus uudelleen. Toimittajan on dokumentoitava suorittamansa testit laitoksen tilaajalle. Tilaajan on tarkastettava aineisto ja tilanteen mukaan tilaaja voi hyväksyä dokumentin osaltaan tai tilaaja voi myös edellyttää vielä muutoksia toimittajalta, mikäli järjestelmä ei vielä vastaa toiminnallista kuvausta. Laitoksen luovutuksesta laaditaan pöytäkirja sekä tilaajan, että toimittajan allekirjoitettavaksi. SAT-testausta pidetään järjestelmän luovutustestinä. Järjestelmän takuu-aika alkaa luovutuksesta. (13)

4 KYMIN VOIMA OY:N KATTILA K7 TURVA-AUTOMAATIO

Voimalaitoksilla on käytössä suuret paineet ja lämpötilat, jotka aiheuttavat suuria vaatimuksia prosessimateriaaleille ja -laitteille. Edellä mainituista fysikaalisista suureista johtuen voimalaitos tarvitsee useita TAJ-lukituksia. Kattilalaitoksen automaatiototeutuksessa TAJ, automaatiojärjestelmä, anturit ja toimilaitteet on pidettävä omina järjestelmäryhminä. Turvatoiminnoille voidaan näin taata riittävä luotettavuus. Turva-automaatiojärjestelmällä toteutettavat turvatoiminnot määritetään jo laitoksen suunnitteluvaiheessa.

TAJ:n ulkopuoliset suojaukset ja lukitukset voidaan tehdä tavallisessa automaatiojärjestelmässä. Kattilalaitoksen suojakohteet voidaan jaotella karkeasti kattilasuojaan ja turbiinisuojaan.

Voimalaitoskäytössä turva-automaatiojärjestelmän toteuttamiseen suositellaan seuraavia menettelytapoja:

- Sertifioitu turvalogiikkajärjestelmä voidaan toteuttaa joko reletekniikalla tai ohjelmoitavalla logiikkajärjestelmällä. Logiikkajärjestelmään on sisällyttävä TAJ-piirien hälytykset ja valvonta.
- Turvalogiikan IO-liitynnät tulee olla galvaanisesti erotetut logiikasta ja binääri viestien on oltava oikosulun kestäviä.

- Tiedonsiirto turva-automaatiojärjestelmästä DCS:n on sallittua vain turvallisuusviranomaisten hyväksynnällä.
- TAJ:n turvalogiikkajärjestelmän käyttöliittymä esitetään laitoksen DCS-järjestelmässä.
- Varmistetaan sähkönsyöttö ja varavoimansyöttö turva-automaatiojärjestelmälle ja turvalukitusjärjestelmän ohjaamille laitteille.
- Apuenergioiden valvonnassa sovelletaan lepovirtaperiaatetta.
- Turvalogiikan fyysinen sijoitus laitokselle tulee ottaa huomioon jo varhaisessa laitossuunnittelussa. (11)

4.1 Kattilan K7 turvalogiikkajärjestelmä

Kymin Voiman kattilan K7 turva-automaatiojärjestelmä on toteutettu vaatimusten mukaisesti erillisenä, perusohjausjärjestelmästä riippumattomana systeeminä (kuva 9). Kyvolla turva-automaatiojärjestelmän logiikkana toimii HIMA Paul Hildebrandt GmbH + Co KG:n valmistama H51q-HS järjestelmä. H51q-HS-järjestelmään pystytään liittämään maksimissaan 8 liitäntäkehikkoa, jotka sisältävät AIM, BIM- ja BOM-kortit (liite 4). Kattila K7:llä on 199 kappaletta turva-automaatiojärjestelmä HIMA:n kuuluvia piirejä. Automaatiopiirejä kattila K7:llä on kaiken kaikkiaan n. 6000 kappaletta. (6)



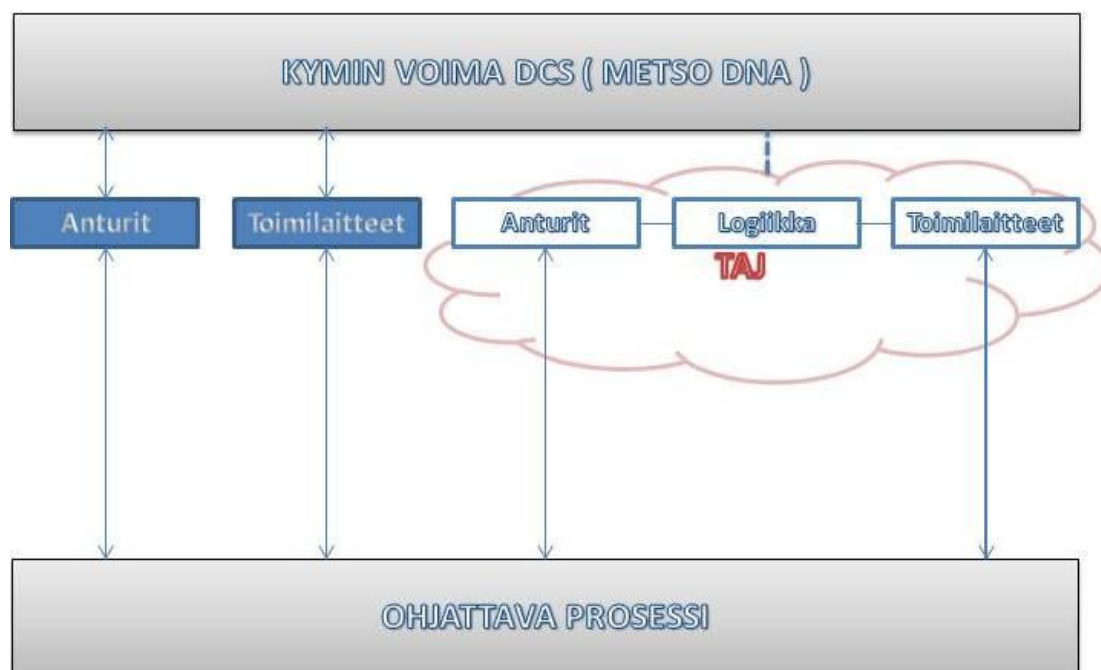
Kuva 9. Kattilan K7 turvalogiikkajärjestelmä. (6)

Järjestelmässä on ominaisuutena mm. itsediagnostiikka ja IO-korttien kunnonvalvonta. Järjestelmä on turvallisuuskäyttöön hyväksytty. Logiikkaohjelman käyttöliittymänä toimii ELOP II. HIMA toimii Kyvolla kahdennetuin kanavin. Kyvon DCS-järjestelmään on tehty PLU-komponentteihin lukitukset useille piireille, jotka liittyvät HIMA:n. Esimerkiksi hätäseis-tieto välitetään DCS:n ja HIMA:n. Polttimien osalta suojaustoimintojen toteutus on tehty PLU-komponenteilla. Mikäli DCS ei suorittaisi vaadittua toimintoa tai DCS ei vastaisi, suorittaisi turva-automaatiojärjestelmä siltä vaaditun turvatoiminnon. Tällöin voidaan puhua redundanttisesta turvalukituksesta.

DCS-järjestelmän lukitusrajat ovat pääsääntöisesti alempia tai korkeampia kuin HIMA:ssa (liite 2). Tällöin lukitustoiminto tapahtuu jo ohjelmallisesti DCS-järjestelmän puolella. TAJ:n liittyvät signaalilähdöt on johdotettu omien TAJ-kenttäkoteloiden kautta punaisilla runko- ja kenttäkaapeilla automaatiotilaan, jossa HIMA-logiikka sijaitsee. Kaappi, johon HIMA-logiikka on sijoitettu, tulee myös merkitä selkeästi kaappin ulkopuolelle. Logiikka pitää sisällään kattilasuojalogiikan ja polton suojaukset johon liittyvät esimerkiksi polttimien valvonta, tuuletus- ja sytytyksen valvonta. HIMA-logiikassa suoritetaan myös ilmapolttoaineseos laskenta. HIMA-logiikan lohko vertailee polttoilman virtausta suhteessa polttoaineen virtaukseen esimerkiksi maakaasuun. (16)

4.2 Turvalogiikan viestit

Tässä osiossa tarkastellaan kattilan K7 turva-automaatiojärjestelmän viestien toteutus-tapaa. Kuvassa 10 nähdään turva-automaatiojärjestelmän liittyminen Kymin Voiman kattilan K7 automaatiojärjestelmän kokoonpanoon.



Kuva 10. TAJ:n sijoittuminen laitoksen järjestelmään. (11)

Analogiasignaalit

HIMA:n analogiatulokortti ei lue yleisesti DCS-järjestelmissä käytettyä standardi 4 - 20 mA signaalia, vaan HIMA:n AIM-kortti lukee 1 - 5 VDC jänniteviestiä. Jänniteviesti saadaan luotua milliampeeriviestistä johtamalla milliampeeriviesti erillisen 250 ohmin vastuksen läpi ennen signaalin johtamista HIMA-logiikkajärjestelmän tulokortille. Samoja analogiaviestejä käytetään myös DCS-järjestelmässä, jotta järjestelmät pystytään pitämään erillisinä, suoritetaan viestin jälleenanto DCS-järjestelmään samaisen 250 ohmin vastuksen yli tavallisille IO-korteille standardiviestinä 4 - 20 mA. (6)

Binäärisignaalit

HIMA:an liittyvät binääri viestit voidaan viedä suoraan HIMA:n BIM-kortille. BIM-kortti lukee suoraan jänniteviestin 24 VDC ilman erillistä muunnosta. HIMA:n binääriulostulo kortti on nimeltään BOM. (6)

Viestit pikasulkuventtiileille

Pikasulkuventtiilien suojaukset on toteutettu PLU-korteilla. Suojaustieto tuodaan PLU-korteille HIMA:sta välireleiden kautta lepovirtaperiaatteella. (6)

Moottorit

Turvalukitusjärjestelmään liittyvät moottoriohjaukset on toteutettu DCS-järjestelmässä normaaleina BI- ja BO-ohjauksina, Profibus DP -väylän kautta ja SPA-väylän kautta. Suojaustoiminnot on toteutettu ohjaamalla HIMA:sta lepovirtaperiaatteella erillisiä suojaareleitä, jotka päästäessään katkaisevat jännitteen. (6)

5 VOIMALAITOKSEN TURVAJÄRJESTELMÄN TESTAUS

5.1 TAJ-testien toteuttaminen

Prioriteettinsa vuoksi TAJ on testattava vaatimusten mukaisesti ja testien tulokset dokumentoitava virallisesti. Turva-automaatiojärjestelmältä vaaditaan viranomaistaholta luotettavaa toimintaa, joten tämänkin syyn vuoksi järjestelmällä on suurempi rooli voimalaitoksen osajärjestelmänä, kuin tavallisella ohjausjärjestelmällä.

Suunnittelussa ja toteutuksessa on alusta lähtien otettava huomioon turvallisuuteen liittyvien mittausten ja järjestelmien tarkistus- ja testaustarpeet. Sen vuoksi on suunniteltava tarkistus- ja testausjärjestelyt siten, että tulevat tarkistukset ja testaukset voidaan suorittaa mahdollisimman helposti ja turvallisesti. Suunnittelussa on otettava huomioon, mitä voidaan tarkistaa ja testata käytön aikana, ja mitkä tarkistukset ja testaukset edellyttävät kattilan alasajoa. Esimerkkinä mainittakoon, että Kymin Voiman kattila K7 TAJ-testaukset tehdään laitoksen seisokeissa. Näin vältetään turhien riskien ottaminen. Kattilan K7 on seisokissa aina kesällä, koska sillä ei ole ajettavana kaukolämpökuormaa. (16)

Testausjärjestelyjen suunnittelussa ja toteutuksessa tulee ottaa huomioon redundanssin avulla suojausjärjestelmiin sisäänrakennettu vikasietoisuus niin, että kaikkien rinnakkaisten suojauskanavien laitteiden ja järjestelmien toiminta tulee varmuudella todetuksi. Tarkistus- ja testausjärjestelyt tulee toteuttaa

siten, että ne eivät heikennä turvallisuuteen liittyvän mittauksen luotettavuutta, eivätkä tarkistukset aiheuta häiriötä mittaukseen. Redundanttisista antureista voidaan testata vain yhtä kerrallaan laitoksen käynnin aikana.

Mittauslaitteiden vikatapauksissa ohituskytkimien käyttö tai viestien simulointi on sallittua sillä edellytyksellä, että vain yksi mittaus redundanttisista mittauksista voi kerrallaan olla ohitettuna tai simuloituna. Ohituksesta tai simuloinnista on tuotava hälytys käyttäjälle. Hälytystiedot ja ohitusajat tallennetaan. Turvallisuuteen liittyvien mittauslaitteiden on oltava toiminnassa ja mittausviestien oikeellisuus on oltava tarkastettavissa käytön aikana. Mittausviestit olisi hyvä saada testattua sähköisesti suojausjärjestelmän tuloista.

Turvallisuuteen liittyvät mittaukset on varustettava sellaisin liitännöin ja varustein, että suojaustoimintojen testaukset voidaan suorittaa kätevästi asennuksia purkamatta. Esimerkiksi laitteiden, impulssiputkien tai johtojen irrottamista tulisi välttää, jottei testatessa vahingoiteta TAJ-laitteita.

Lämpötila-anturit asennetaan siten, että anturit voidaan siirtää testausta varten erilliseen lämpöhauteeseen tai -uuniin. Turva-automaatiojärjestelmään kuuluvat paine- ja paine-eromittaukset tulee varustaa venttiilein ja tarkistusmittausliitännöin siten, että niiden avulla voidaan tarkistaa laitteen nollapiste, viritys ja raja-arvojen asettelu. Tämä voidaan suorittaa esimerkiksi pumppaamalla painetta lähettimille. Edellä mainittu testaus tulisi voida suorittaa mittauslaitetta paikaltaan irrottamatta.

TAJ:n käytönaikaisten testauksien tekemisessä voidaan käyttää avaimella varustettua testauskytkintä, jolla voidaan estää testattavaa suojauskanavaa suorittamasta laukaisua. Testauskytkimen ollessa testausasennossa operaattorille on tultava siitä hälytys. Hälytyksen tulee uusiutua määrä-ajoin. Avaimen poistaminen tulee olla sallittua vain kytkimen ollessa nolla-asennossa. Tällöin suojauskanavat ovat aktiivisia. (11)

5.2 Määräaikaistestaukset

Säännöllisillä TAJ:n testauksilla varmistetaan järjestelmän toimintakyvyn säilyminen.

Määräaikaistestissä testataan kaikki toiminnot kenttämittauksista logiikan kautta ohjattaville laitteille saakka. Määräaikaistestien tekijöillä tulee olla riittävä pätevyys testiensuorittamiseksi. Testien tulokset dokumentoidaan tarkasti. Testivälit voivat olla erilaisia TAJ:n eri osille. Esimerkiksi itse TAJ-logiikka, tässä tapauksessa HIMA-sovellus, testataan 10 vuoden välein. TAJ-logiikkajärjestelmälle johtavat signaalit ja niiden lähtöpisteet testataan useammin esimerkiksi vuoden välein. (11)

Järjestelmän testauksesta tulee laatia ohjeet (liite 6) ja tarvittavat dokumenttipohjat (kuva 11) testejä suorittavalle kunnossapitohenkilökunnalle. Näin säästetään aikaa ja resursseja itse kunnossapitotöihin, sekä kunnossapitokustannukset kohdentuvat oikeisiin kustannuspaikkoihin. Testauksesta tulee laatia määräaikaistyö tehtaan kunnossapitotestaukseen tai muuhun vastaavaan järjestelmään.

Syitä määräaikaistyön laatimiseksi voisi olla esimerkiksi:

- työturvallisuus
- vakuutusasiat
- yleinen laatutoiminta
- viranomaisvaateet
- testaukset tulevat näkyviin tehtaan järjestelmään
- testauksien unohtuminen
- resurssien varaaminen testeille.

Laitetunnus	Piirin nimi 1	Mitta-alue	Kalibrointi	Analogiamittausarvon toiminta			Laukaisurajan toiminta	Binäärimittausarvon toiminta	Kohdelaitteen toiminta	Test./pvm
				0 %	50 %	100 %				
POSITOTUNNUS	PIRIN NIMI			DCS/HIMA	DCS/HIMA	DCS/HIMA				
PIIRI										
94FC-51419	KÄPO 3 JA 4 MAAKAASU (HIMA)	0...1,33 nm ³ /s	0 - 5,386 kPa							
94FC-51420	KÄPO 1 JA 2 MAAKAASU (HIMA)	0...1,33 nm ³ /s	0 - 5,486 kPa							

Kuva 11. Ote testauspöytäkirjasta.

5.3 Esimerkkejä TAJ-piirien testausohjeesta

Savukaasupuhaltimet

Savukaasupuhallin 1, 64 9470 6511 (puhaltimen käyntitieto)

- Avaa HIMA-ohjelmasta SAVUTIET valitse kohdasta
- KyVo-Conf→ONLINE-TEST

- Käynnistä savukaasupuhallin minimikierröksille.
- Totea, että puhaltimen käyntitieto tulee HIMA-ohjelmaan.
- Kuittaa koestuspöytäkirjaan piirin toiminta.
- Pysäytä puhallin.

Petilämpötilamittaukset

94TIZ-52111 PETILÄMPÖTILA 12

- Avaa HIMA-ohjelmasta ohjelmamoduuli PEDIN LAMPOTILA 94XZ-59420/-59430/-59435.
- Irrota lähetin paikaltaan ja aseta se lämpötilakalibrointiuniin.
- Nosta lämpötilaa lähettimelle 94TT-52111 samalla tarkkailemalla näyttöpäätteeltä lämpötilan nousua hitaasti yli alueen maksimiarvoon 1200 °C.
- Totea HIMA järjestelmään tulevan mittausarvon toiminta 300 °C (25 %), 600 °C (50 %), 1200 °C (100 %).
- Kuittaa koestuspöytäkirjaan mittausarvojen toiminta.
- Palauta lähetin takaisin paikoilleen.

Painemittaukset

94FC-52018 SEKUNDÄÄRI-ILMA OIK ETU (HIMA)

- Avaa HIMA-ohjelmasta ohjelmamoduuli GMA/POR/ILMA VIRTAUS 94XZ-59410/-59430.
- Aseta Hart-kapulalla mittauksen 94TI-52024 arvoksi 235 °C (15,67 mA)
- Sulje kaikki paine-erolähettimen 94FT-52018 asennusventtiilin juurihanat.
- Avaa lähettimen asennusventtiilin keskimäinen hana, jolloin sama paine tulee lähettimen +/- puolelle ja ilmamäärä näyttää 0 nm³/s (0 kPa).
- Irrota lähettimen ¼”n ilmausruuvi plus-puolelta, kytke kalibrointipumppu siihen, löysää ilmausruuvi miinuspuolelta. Sulje asennusventtiilin keskimäinen hana.
- Nosta painetta lähettimellä 94FT-52018 maksimiarvoon 20 nm³ (2,686 kPa).
- Laske virtausta lähettimellä 94FT-52018 samalla tarkkailemalla näyttöpäätteeltä virtauksen laskua hitaasti alle laukaisurajan, 0 nm³ (0 kPa).
- Totea HIMA järjestelmään tulevan mittausarvon toiminta 0 nm³/s - 0 kPa (0 %), 10nm³/s - 0,67 kPa (50 %), 20nm³/s - 2,686 kPa (100 %).

- Aseta asennusventtiilin hanat testausta edeltäneeseen tilaan.
- Poista simuloidut arvot piireiltä 94TI-52024 ja 94FT-52018.
- Kuittaa koestuspöytäkirjaan mittausarvon toiminta ja laukaisuarvon oikeellisuus.

6 YHTEENVETO

Tämä insinöörityö lähti liikkeelle yrityksen UPM-Kymmene Oyj Kymin tarpeesta saada ohjeistus turva-automaatiojärjestelmään liittyvien piirien testauksesta Kymin Voima Oy:n voimalaitokselle. Insinöörityö jakaantui karkeasti kolmeen osaan. Aloitin teoriaosuuden tiedonhankinnan ja kirjoittamisen jo vuoden 2011 lopussa. Samoihin aikoihin kävimme läpi Kymin edustajan kanssa asiat, joita heidän mielestään insinöörityöhön tulisi sisällyttää. Teoriaosuuden kirjoittamisen jälkeen siirryin testausohjeen laatimisen pariin. Lähdin liikkeelle vanhojen dokumenttien etsimisestä ja niiden tutkimisesta. Dokumenttien etsintä osoittautuikin hieman hankalaksi, sillä lähdemateriaalia oli todella runsaasti.

Insinöörityön tuloksena laadittiin 199 TAJ-piirille piirikohtainen testausohje ja dokumentointipohja. Suunnitelman mukaan ohjetta tullaan tulevaisuudessa käyttämään apuna suoritettaessa vaadittuja TAJ-testauksia. Testausohjetta jouduttaneen vielä täydentämään ja muokkaamaan tulevien testauksien aikana. Ohjeesta on hyötyä turva-automaatiojärjestelmän piirien testauksessa ja tarvittaessa ohje voidaan esittää viranomaisille dokumenttina siitä, kuinka testaukset on suoritettu. Pöytäkirjapohja nopeuttaa testauksien dokumentointia ja samalla se on helposti arkistoitavissa. Työohjetta ja pöytäkirjapohjaa tulee käyttämään pääasiassa automaatiokunnossapidon henkilöstö.

Aiheena tämä työ oli mielenkiintoinen ja opettavainen, sillä turva-automaatioala oli minulle varsin tuntematonta aluetta ennen tänä insinöörityötä. Testausohjeen ja testauspöytäkirjan laatiminen oli mielestäni kohtalaisen haastava projekti. Lähdemateriaalia tätä työtä ja testausohjetta varten kertyikin lähes 500 sivua. Työn lopputuloksena onnistuin mielestäni saavuttamaan tavoitteeni hyvin. Myös työlle asetetussa aikataulussa pysyttiin.

LÄHTEET

1. UPM-Kymmene Oyj [www-dokumentti]. Vuosikertomus 2010. Saatavissa:
http://www.upm.com/FI/SIJOITTAJAT/Documents/UPM_Vuosikertomus_2010.pdf.
[Viitattu: 29.12.2011]
2. PVO Oy [www-dokumentti]. PVO Oy:n historia. Saatavissa:
http://www.pohjolanvoima.fi/fi/pohjolan_voima/?id=8038. [Viitattu: 29.12.2011]
<http://www.pohjolanvoima.fi>. [Viitattu: 29.12.2011]
3. UPM-Kymmene Oyj [www-dokumentti]. UPM-Kymin tehdas. Saatavissa:
[http://w3.upm-kymme-ne.com/upm/internet/cms/upmcmsfi.nsf/\\$all/46CB698F201F6B73C2256E67004B3615?Open&qm=menu,0,0,0](http://w3.upm-kymme-ne.com/upm/internet/cms/upmcmsfi.nsf/$all/46CB698F201F6B73C2256E67004B3615?Open&qm=menu,0,0,0). [Viitattu: 29.12.2011]
4. Yleisradio Oy [www-dokumentti]. Valokuva. Saatavissa:
http://yle.fi/alueet/kymenlaakso/2011/02/upm_kymilla_alkoi_tyonseisuus_2383846.html [Viitattu 29.12.2011]
5. TEKE Oy [www-dokumentti]. Voimalaitoksen havainnekuva. Saatavissa:
<http://www.teke.fi/voimalaitos.pdf>. [Viitattu: 21.12.2012]
6. Laitteistodokumentit, UPM-Kymmene Oyj, Kymi 25.1.2012. Ei saatavissa.
7. Metso Oyj [www-dokumentti]. Laitoskuvaus. Saatavissa:
http://www.metso.com/automation/ep_prod.nsf/WebWID/WTB-041029-2256F-57194.
[Viitattu: 2.1.2012]
8. KSS Energia Oy [www-dokumentti]. Energiantuotanto Kouvolassa. Saatavissa:
<http://www.kssenergia.fi/box-4/kss-energia/sahkon-tuotanto>. [Viitattu: 29.12.2011]

9. TUKES [www-dokumentti]. Turva-automaatio prosessiteollisuudessa. Saatavissa:

http://tukes.fi/Tiedostot/kemikaalit_kaasu/Turva-automaatio_prosessiteollisuudessa.pdf.

[Viitattu: 2.1.2012]

10. Joronen, T. & Majanne, Y. Turva-automaatiojärjestelmät voimalaitoksilla. Suomen Automaatioseura ry 2007. Voimalaitosautomaatio. Helsinki: Copy-Set Oy.

11. Finanssialan keskusliitto [www-dokumentti]. Kattilalaitosten turvallisuusohje.

Saatavissa:

http://www.fkl.fi/materiaalipankki/ohjeet/Dokumentit/Kattilalaitosten_turvallisuusohjeet.pdf.

[Viitattu: 8.1.2012]

12. VTT [www-dokumentti]. Automaatiojärjestelmien kehittyminen. Saatavissa:

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2264.pdf>.

[Viitattu: 2.1.2012]

13. Tommila, T. Suomen Automaatioseura ry 2001. Kaaviokuva s. 205. Taulukot s.

210. Laatu automaatioissa. Saarijärvi: Saarijärven Offset Oy.

14. Phoenix Contact Oy [www-dokumentti]. Interaktiivinen taulukko. Saatavissa:

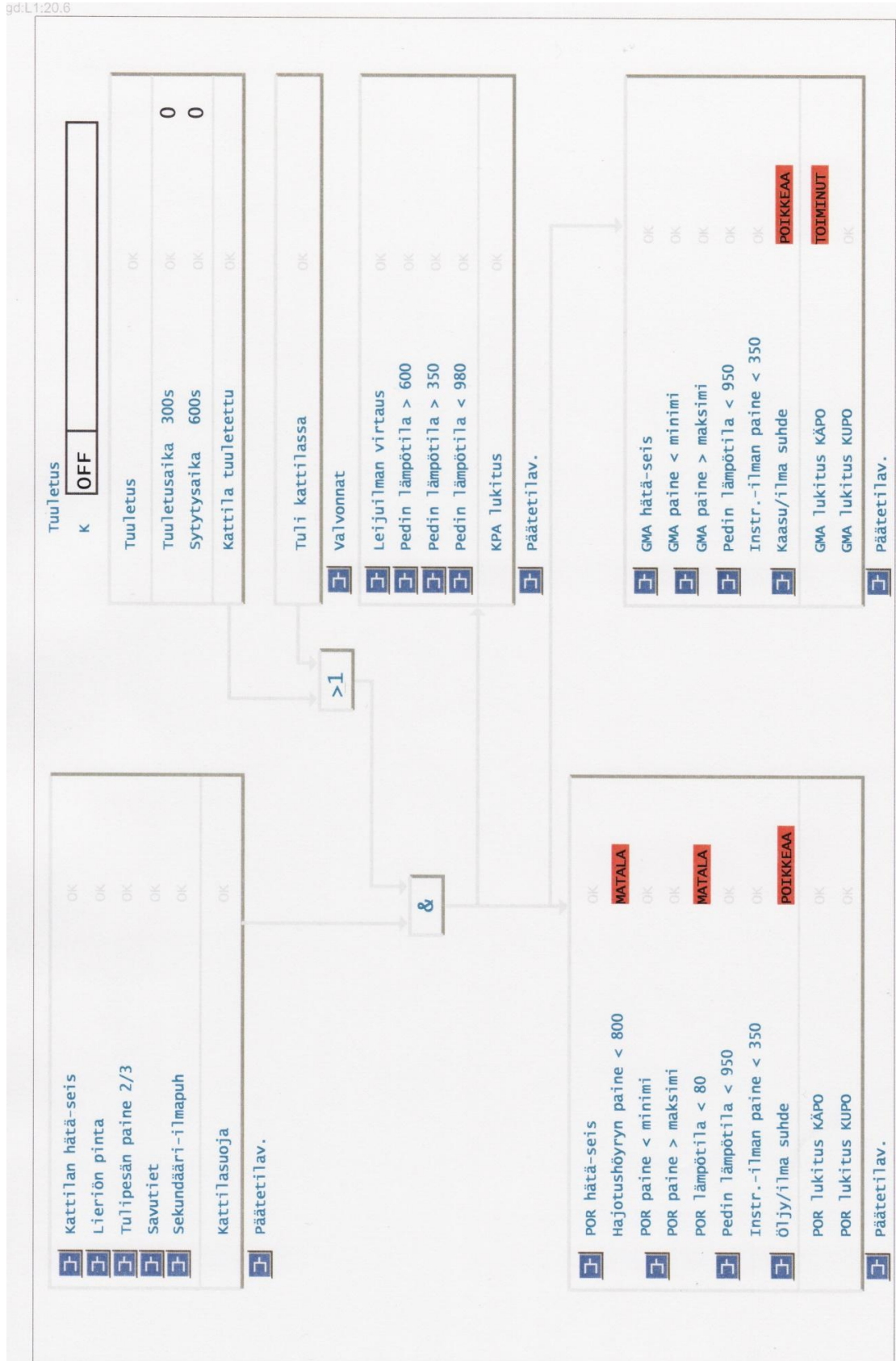
http://www.phoenixcontact.fi/technologies/40872_60190.htm.

[Viitattu: 17.2.2012]

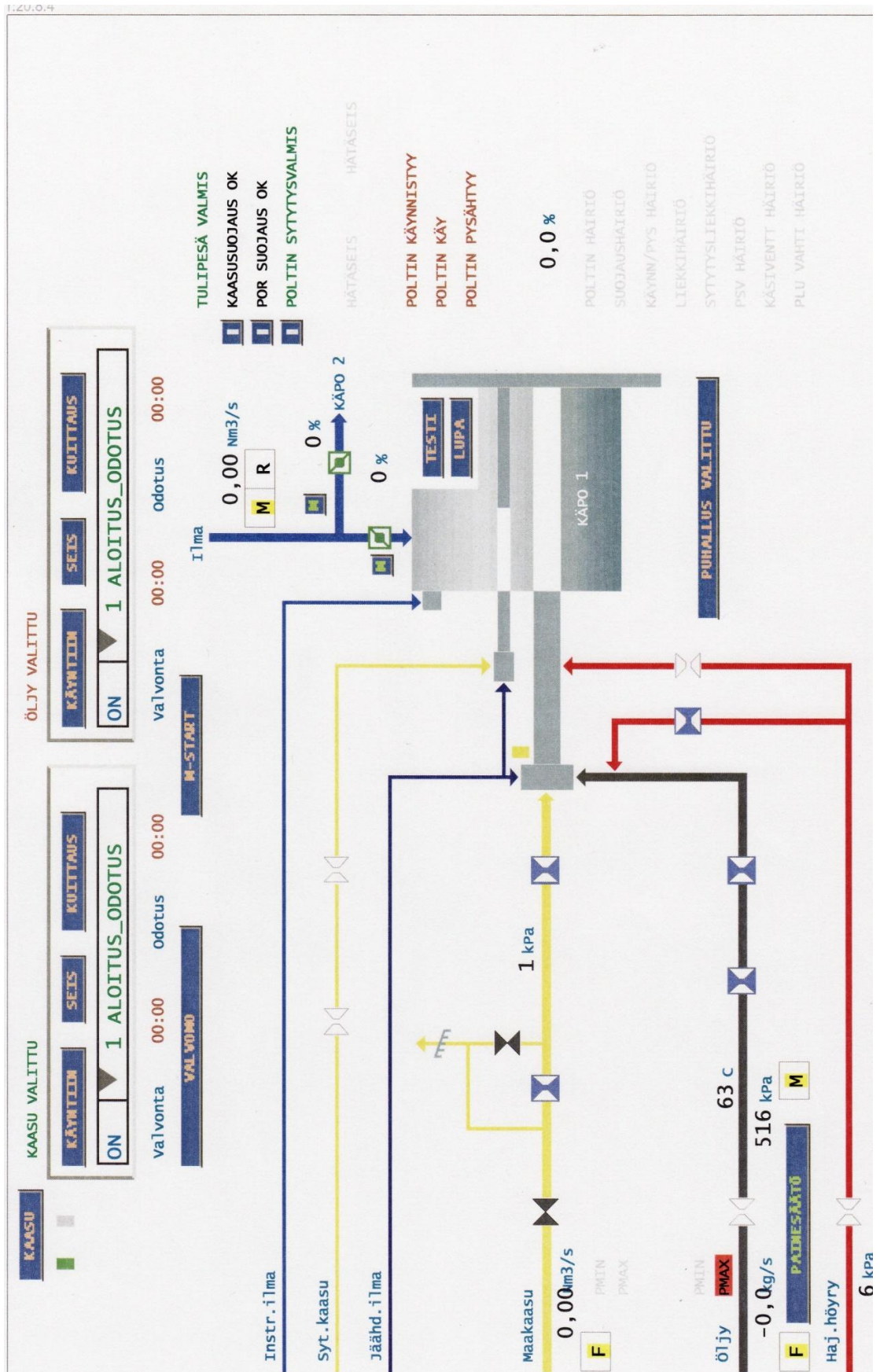
16. Mäkelä, M. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Järjestelmällisillä testauksilla toimintavarmuutta soodakattilan turva-automaatioon. Esitelmä 14010 Turva-automaatio Mäkelä V3 21.2.2009. Saatavissa.

15. Haastattelu UPM-Kymmene Oyj Kymi. Nikunen Esa Automaatioasentaja, Järvinen Risto Automaatioasentaja, Kohvakka Hannu Automaatioasentaja. 25.1.2012.

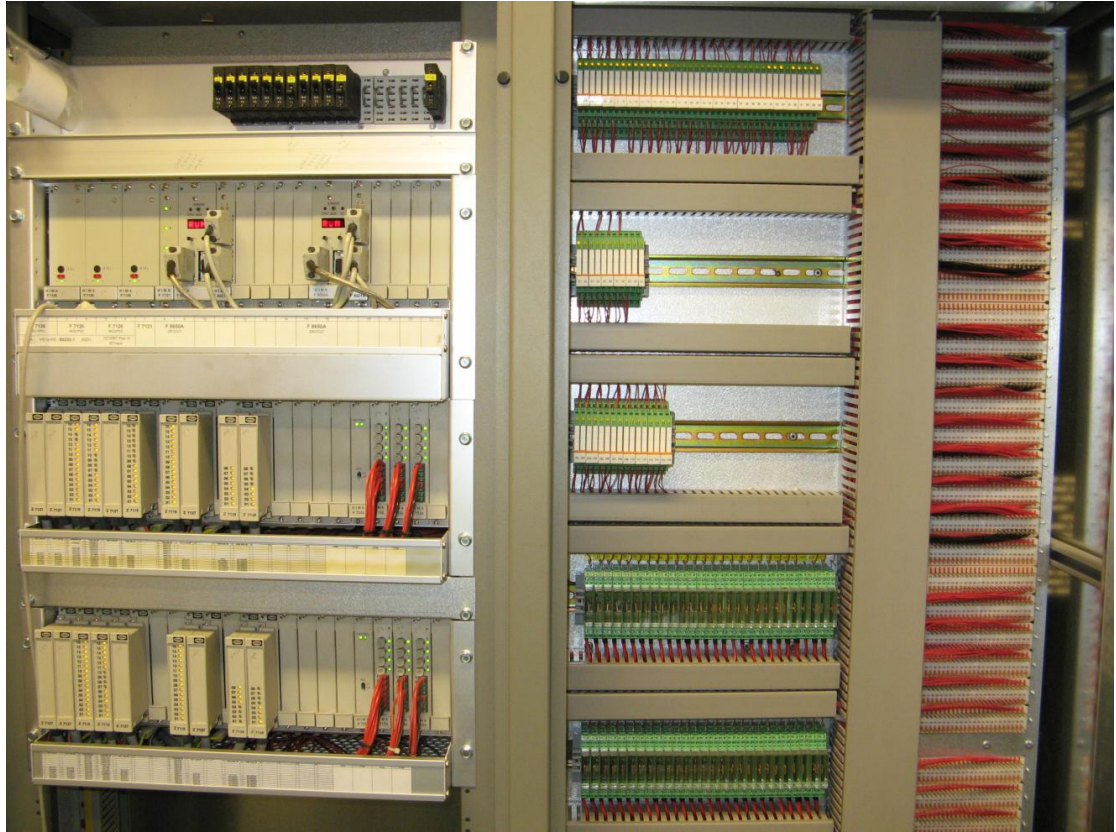
Liite 1. Esimerkki kattilan K7 HIMA-kattilasuojasta.



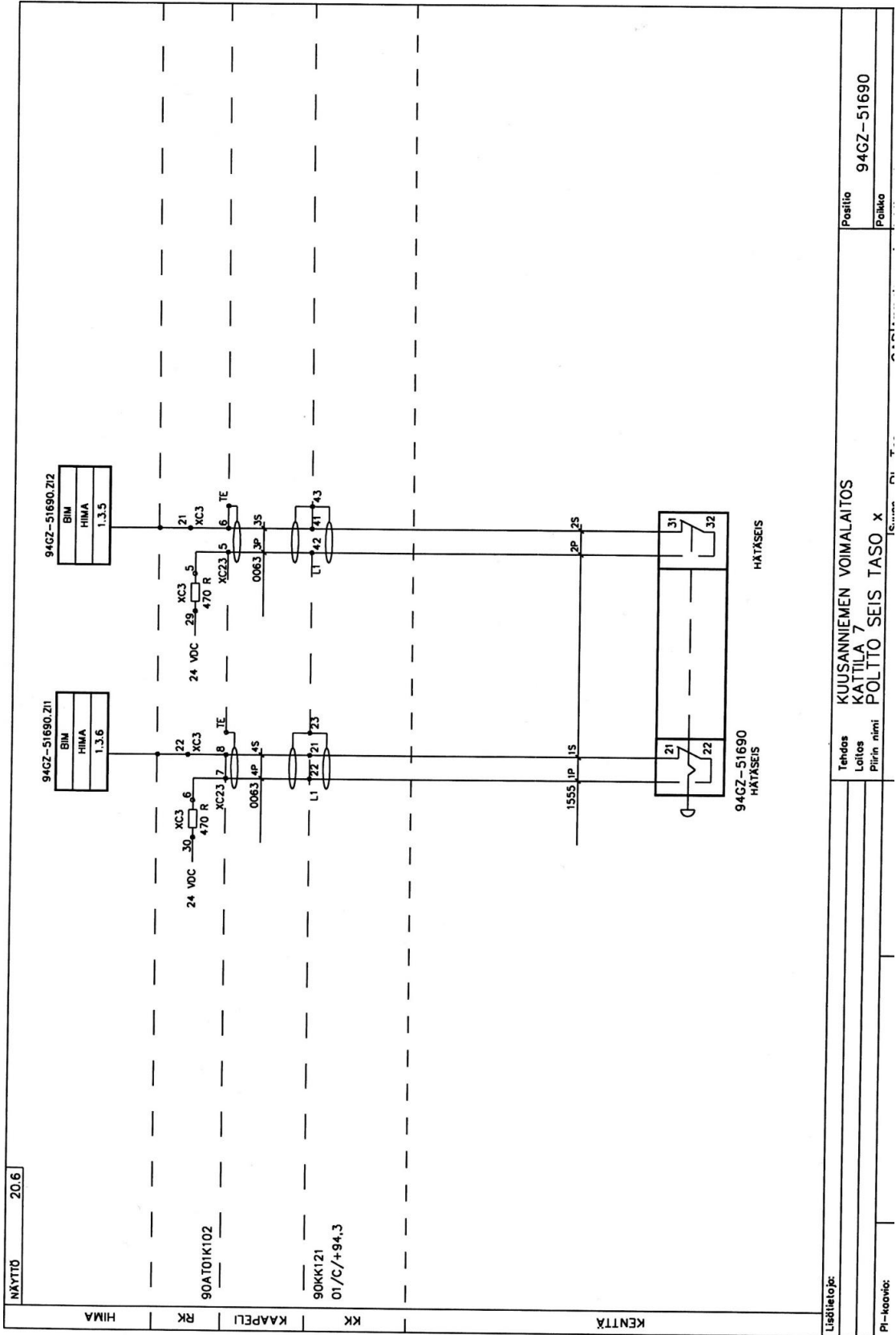
Liite 3. DCS näkymä käynnistyspolttimesta. Kuvassa mukana polttoaineiden suojatiedot.



Liite 4. HIMA-automaatiokaappi.



Liite 5. Häätä-seis HIMA-toteutuksena.



Liite 6. Kymin Voima Oy:n voimalaitoksen turva-automaation testausohjeen sisällysluettelo. Yhteensä 55 sivua.

Sisällys

1	TESTIPAIKKA ja KOHDE.....	7
2	PAIKKA JA AIKA.....	7
3	TESTAUKSEN SUORITTAJAT.....	7
4	TESTAUKSEN TARKOITUS.....	7
5	TESTIJÄRJESTELYT.....	7
5.1	Turvalogiikka.....	7
5.2	DCS-järjestelmä.....	8
5.3	Dokumentit.....	8
6	TESTAUKSEN SUORITTAMINEN.....	8
7	KATILAN K7 TURVA-AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄÄN LIITTYVIEN PIIRIEN TESTAUS.....	8