



Jere Luukkanen

Perusautomaatiojärjestelmien toteutusmalli ydinlaitokseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Älykäs teollisuus

Insinöörityö

6.6.2025

Tiivistelmä

Tekijä: Jere Luukkanen
Otsikko: Perusautomaatiojärjestelmien toteutusmalli ydinlaitoksiin
Sivumäärä: 70 sivua + 2 liitettä
Aika: 6.6.2025

Tutkinto: Ylempi AMK
Tutkinto-ohjelma: Älykäs teollisuus
Ammatillinen pääaine: Automaatiotekniikka
Ohjaajat: DI Mika Heikkilä, ryhmäpäällikkö, I&C Project Design
TkL Merja Mäkelä, automaatiotekniikka
TkL Jarno Varteva, yliopettaja

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää elinkaarimalleihin, standardeihin ja yleisiin teollisuuden käytäntöihin perustuva toteutusmalli automaatiojärjestelmille, jotka luokitellaan luokkaan EYT (ei ydinteknisesti turvallisuusluokiteltu). Toteutusmallia on tarkoitus hyödyntää yleisesti saatavilla olevien automaatiojärjestelmien toteutuksiin ydinlaitoksissa. Perusautomaatiojärjestelmiä hyödynnetään toiminnoissa, joiden toiminnallisen turvallisuuden eheyden taso on vähemmän kuin yksi. Turvallisuuden eheyden tason (TET, SIL) noustessa yhteen tai yli yhden, on turvatoiminnot toteutettava toiminnalliseen turvallisuuteen liittyvillä järjestelmillä. Mikäli turvatoiminnot liittyvät ydinturvallisuuteen, ne toteutetaan ydinturvallisuudelle tärkeillä järjestelmillä.

Lähteinä toteutusmallin muotoiluun haastateltiin Fortumin henkilöstöä, voimalaitos- ja automaatiotoimittajia sekä standardoimisyritysten edustajia. Myös työpaikan kirjallista aineistoa, kirjallisuutta sekä ydinvoima-alan ohjeita ja yleisiä sähköalan standardeja käytettiin. Erityisesti selvitettiin, miten voidaan erotella perusautomaatiojärjestelmä turvallisuuteen liittyvästä automaatiosta. Standardikokoelmasta hyödynnettiin pääasiassa standardeja SFS-EN 61069 (2016), SFS-EN 61508 (2010, 2011) ja SFS-EN 61513 (2013). Myös standardia SFS-EN 61511 (2017) tutkittiin prosessisektorikohtaisena sovellutuksena.

Perusautomaatiojärjestelmiksi kutsutut järjestelmät sopivat toteutusmalliin hyvin. Niille ei löydetty standardeista elinkaarimallia, joten se luotiin kehitystyön yhteydessä kirjallisuuden, haastattelujen ja kokemusten perusteella. Turvallisuudelle löytyy standardista elinkaarimalli, joten turvallisuuteen liittyvät järjestelmät käsiteltiin kehitystyössä mahdollisena osana automaatiotarkkaisuun. Kehitetty toteutusmalli perustuu seuraaviin päävaiheisiin: esiselvitys, määrittely, toteutussuunnittelu, toteutus ja tehdastestaus, asennus sekä toiminnallinen testaus ja käyttöönotto. Tuloksia on mahdollista hyödyntää vaatimusten hallinnassa, vaatimusmäärittelyssä, elinkaarimallin jatkokehityksessä ja nyt pois rajattujen osa-alueiden liittämiseksi toteutusmalliin. Tuloksien merkitys korostuu, kun perustellaan perusautomaatiojärjestelmän valintaa ydinlaitoksen automaatioarkkitehtuurin osaksi.

Avainsanat: ydinlaitos, ydintekninen turvallisuus, automaatiojärjestelmät, elinkaari, toteutus, vaatimusten määrittely

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Jere Luukkanen
Title: Implementation model for basic control systems in nuclear energy
Number of Pages: 70 pages + 2 appendices
Date: 6 June 2025

Degree: Master's Degree
Degree Programme: Intelligent Industrial Solutions
Professional Major: Automation Technology
Supervisors: M.Sc. (Tech.) Mika Heikkilä, Manager, I&C Project Design
Lic. Tech. Merja Mäkelä, Automation Engineering
Lic. Tech. Jarno Varteva, Principal Lecturer

The aim of this Master's thesis was to develop an implementation model for automation systems classified as non-nuclear safety-related (in Finnish: ei ydinteknisesti turvallisuusluokiteltu EYT), based on lifecycle models, standards, and general industry practices. The implementation model is intended for use in nuclear facilities, where basic control systems are employed for functions with a functional safety integrity level (SIL) below one. Safety functions related to nuclear safety are implemented with so-called systems important to nuclear safety.

Sources for the design of the implementation model included interviews with Fortum personnel, power plant and automation suppliers, and representatives of the standardization community. Workplace literature, general literature, nuclear industry guidelines, and general electrical standards were also used. The standard collection mainly utilized the standards SFS-EN 61069 (2016), SFS-EN 61508 (2010, 2011), and SFS-EN 61513 (2013). The source SFS-EN 61511 (2017) was also studied as a sector-specific standard for the process sector.

Basic control systems fit well into the implementation model. No lifecycle model was found for them in the standards, so it was created during the development work based on literature, interviews, and experiences. The developed implementation model is based on the following main phases: feasibility study, definition, detailed design, implementation and factory testing, installation, and functional testing and commissioning. The results can be used in requirements management, specification, lifecycle model development, and the integration of areas now not included in the implementation model. The significance of the results is emphasized when justifying the selection of a basic control system as a part of the automation architecture of a nuclear facility.

Keywords: nuclear facility, nuclear safety, instrumentation and control system, lifecycle, implementation, requirements engineering

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	6
2	Ydinvoima Suomessa	9
2.1	Loviisan voimalaitos	10
2.1.1	Toimintaperiaate	12
2.1.2	Automaatiototeutukset	15
2.2	Järjestelmien luokittelu	18
2.2.1	Taustaa järjestelmien luokittelulle	20
2.2.2	STUK:n vaatimukset ja ohjeet EYT-projekteille	21
2.2.3	Luokittelu ohjeiden ja standardien kautta	22
3	Nykytilan ja tarpeiden kartoitus	29
3.1	Haastattelulöydökset EYT-automaatiototeutusmalliin liittyen	29
3.2	Tulevaisuuden tarpeet EYT-automaatiojärjestelmätoteutuksissa	30
3.3	Vaatimusmäärittely perusautomaatiojärjestelmälle	31
4	Automaatiototeutuksen elinkaarivaiheet	34
4.1	Elinkaarimallit	34
4.2	Esiselvitys	37
4.3	Määrittely	39
4.3.1	Esisuunnittelu, konseptisuunnittelu	42
4.3.2	Perussuunnittelu	45
4.4	Toteutussuunnittelu	48
4.5	Toteutus ja tehdastestaus	51
4.6	Asennus	54
4.7	Toiminnallinen testaus ja käyttöönotto	56
4.8	Tuotanto, kunnossapito ja muutokset	58
4.9	Käytöstäpoisto	59
5	Automaation toteutusmalli	60
5.1	Toteutusmalli käytännössä	61
5.2	Dokumentoinnin optimointi	61

	2 (70)
5.3 Toimintaohjeiden kehitys ydinlaitoksella	64
6 Lopuksi	65
Lähteet	67
Liitteet	
Liite 1. Perusautomaatiojärjestelmän vaatimusmäärittely, esimerkki	
Liite 2. Perusautomaatiojärjestelmätoteutus, työnositus, esimerkki	

Lyhenteet

BCS	<i>Basic control system</i> , perusautomaatiojärjestelmä, yleisnimitys
BDCS	<i>Basic discrete control system</i> , perusautomaatiojärjestelmä binääriin ohjauksiin ja panosprosesseihin
BPCS	<i>Basic process control system</i> , perusautomaatiojärjestelmä jatkuvien prosessien mittauksiin, säätöihin ja ohjauksiin
CENELEC	<i>European Committee for Electrotechnical Standardization</i> , sähköalan eurooppalainen standardointijärjestö
DCS	<i>Distributed Control System</i> , hajautettu automaatiojärjestelmä
ETA	<i>Ennakkotarkastusaineisto</i> , perussuunnittelussa toteutettava automaattioratkaisua kuvaava aineisto
Euratom	<i>European Atomic Energy Community</i> , Euroopan atomienergiayhteisö
EYT	<i>Ei ydinteknisesti turvallisuusluokiteltu</i>
FAT	<i>Factory Acceptance Test</i> , tehdastestaus tai -testauksia järjestelmän valmistamisen jälkeiseen validointiin
HAZOP	<i>Hazard and Operability Study</i> , poikkeamatarkastelu ongelmien ja turvallisuusriskien löytämiseksi monimutkaisissa järjestelmissä
HFE	<i>Human-factors Engineering</i> , tekniikan osa-alue inhimillisten tekijöiden huomioimiseen, kuten ergonomiaan
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i> , Kansainvälinen atomienergiajärjestö

IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> , sähköalan kansainvälinen standardointijärjestö
IO	<i>Inputs and Outputs</i> , lyhenne, järjestelmän tulo- ja lähtösignaalit
LABC	<i>Loviisa ABC</i> , Loviisan voimalaitoksella yleisesti käytetty projektimalli
LOPA	<i>Layers of Protection Analysis</i> , menetelmä vaaranarviointiin liittyviä riskien ja suojaustasojen arviointiin
PES	<i>Periaatesuunnitelma</i> , alustava kuvaus toteutettavasta automaatio-ratkaisusta, kootaan esiselvityksen tai esisuunnittelun aikana
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i> , ohjelmoitava logiikka
PTK	<i>Prosessitietokone</i> , aikasidonnaista prosessitietoa keräävä ja tallentava järjestelmä
PWR	<i>Pressurized Water Reactor</i> , painevesireaktori
SAT	<i>Site Acceptance Test</i> , laitostestaus tai -testauksia asennetun järjestelmän vaatimustenmukaisuuden validointiin
SC	<i>Safety Class</i> , ydinteknisen turvallisuuden turvallisuusluokka
SESKO	<i>Sähköteknisen alan kansallinen standardointijärjestö</i>
SIL	<i>Safety Integrity Level</i> , toiminnallisen turvallisuuden eheyden taso
SIS	<i>Safety Instrumented System</i> , turva-automaatiojärjestelmä prosessiteollisuussektorilla

STUK	<i>Säteilyturvallisuuskeskus</i> , säteilyturvallisuutta ja ydinenergian käytön turvallisuutta edistävä ja valvova turvallisuusviranomainen Suomessa
TET	<i>Turvallisuuden eheyden taso</i> , standardissa SFS-EN 61508 (2010, 2011)
TL	<i>Turvallisuusluokka</i> , ydinteknisen turvallisuuden turvallisuusluokka
TLJ	<i>Turvallisuuteen liittyvä järjestelmä</i> , turvallisuuteen liittyväksi järjestelmäksi nimetty automaatiojärjestelmä
TUKES	<i>Turvallisuus- ja kemikaalivirasto</i> , teollista toimintaa, tuotteita ja palveluita valvova turvallisuusviranomainen Suomessa
VVER	<i>Vesivesienergiareaktori</i> , neuvostoliittolainen reaktorityyppi
YVL-ohje	<i>Ydinturvallisuusohje</i> , STUKin julkaisemat ydinlaitoksen ydinturvallisuusohjeet. Kirjoitetaan yleensä esimerkiksi "YVL B.3" eli YVL-ohje B.3.

1 Johdanto

Ydinlaitos sisältää monenlaisia automaatiojärjestelmiä, joista useat ovat osittain päällekkäisiä turvajärjestelmiä. Ydinvoimalaitoksessa ehdottomasti tärkeintä on ydinturvallisuudesta huolehtiminen kaikissa elinkaaren vaiheissa ja tilanteissa. Suomessa säteily- ja ydinturvallisuutta valvoo Säteilyturvallisuuskeskus STUK, joka myös asettaa antamissaan YVL-ohjeissaan vaadittavat turvallisuustasot.

”Turvallisuuden kannalta tärkeä järjestelmä, rakenne tai laite” (YVL B.3), kuten automaatiojärjestelmä, toteutetaan turvallisuusviranomaisen määrittelemän turvallisuusluokan vaatimukset täyttäen. Ydinlaitoksissa on myös järjestelmä, rakenteita ja laitteita, jotka eivät ole ydinturvallisuuden kannalta luokiteltuja. Näiden luokitus STUK:n ohjeistuksessa on määritelty käsitteellä: ei ydinteknisesti turvallisuusluokiteltu (EYT). Toisin sanoen tällainen järjestelmä on käytännössä ydinturvallisuusteknisesti turvallisuusluokittelematon.

Kuten yleensäkin höyryntuotantoon perustuvissa voimalaitoksissa, myös ydinvoimalaitoksessa, on höyryntuotannon lisäksi tekniikkaa, jota käytetään esimerkiksi sähköntuotantoon. Vastaavaa tekniikkaa löytyy myös muista energiateollisuuden kattilalaitoksista. Näiden muiden laitosten turvallisuutta valvoo Turvallisuus- ja kemikaaliviraston teollisuusosasto.

Fortumilla on huomattu, että muualla teollisuudessa hyödynnettävät sarjavalmistetut automaatiojärjestelmät sopivat teknisesti erinomaisesti ydinlaitoksen ydinteknisesti turvallisuusluokittelemattomien kokonaisuuksien automaatiototeutuksiin. Fortumilla halutaan edistää myös muilla teollisuudenaloilla toimivien järjestelmä- ja laitetoimittajien kiinnostusta toimia myös ydinvoima-alalla. Hyvin dokumentoiduilla toteutus- ja projektimalleilla on keskeinen rooli yhteistyön onnistumisessa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää ydinteknisesti turvallisuusluokittelemattomille automaatioprojekteille standardeihin pohjautuva toteutusmalli, jota voidaan hyödyntää ydinlaitoksilla tarkoituksenmukaisen laadun

saavuttamiseksi. Seuraavat kysymykset on asetettu opinnäytetyön tavoitteen määrittämisessä:

- Miten kehitetään turvallisuusluokittelemattomien automaattioratkaisujen toteutusmalli, joka sopii ydinlaitoksen vaatimuksiin?
- Miten toteutusmalli tehdään houkuttelevaksi prosessiteollisuuden automaatiojärjestelmätoimittajille?
- Miten automaation elinkaarimallin avulla voidaan optimoida toteutusmalliin riittävät vaatimusmäärittelyt, dokumentoinnin kokonaisuus ja elinkaarenhallinnan menetelmät?
- Voidaanko toteutusmallin avulla tehostaa projektin läpikulkua, vahvistaa resurssienhallintaa ja säästää toteutuksen elinkaarikustannuksissa?
- Miten toteutusmalli jalkautetaan tehokkaasti käyttöön organisaatiossa?
- Miten sidosryhmät sitoutetaan toteutusmallin tukemiseen?
- Mitä osia toteutusmallista ohjaa ydinturvallisuutta valvovan viranomaisen ohjeistus ja mihin voidaan soveltaa muun teollisuuden ohjeistusta?
- Miten ydinlaitoksella voimassa oleva toimintaohjeistus vaikuttaa EYT-järjestelmien toteutuksiin käytännössä ja voidaanko ohjeistusta tarvittaessa päivittää EYT-toteutuksien tarpeiden mukaiseksi?

Toiminnallisen tutkimuksen laajuus sisältää elinkaarimallien ja automaatioalan käytäntöjen sekä standardoinnin selvityksen automaatiojärjestelmäkokonaisuus huomioiden. Toiminnallista tutkimusta rajataan sisältämään elinkaaren alkuvaiheet konseptoinnista tuotannolle luovutukseen. Opinnäytetyön nimen mukaisesti ydintekniselle turvallisuudelle tärkeät järjestelmät on rajattu pois. Turvallisuuteen liittyvät järjestelmät taas kuuluvat käyttöautomaatio- ja EYT-kokonaisuuteen, joten niitä on kehitystehtävässä sivuttu.

Kaksi olennaista automaation osakokonaisuutta on human-factors engineering (HFE) ja tietoturvallisuus. Näitä osa-alueita koordinoidaan ydinlaitoksessa kaikki laitoksen järjestelmät huomioiden. HFE- ja tietoturvallisuusnäkökulmat on rajattu tämän toiminnallisen tutkimuksen ulkopuolelle, vaikka niiden läheisyyttä ei toteutusmallin soveltamiseen voi liikaa korostaa. Dokumentaation osalta rajaus

sisältää dokumentoinnin laajuuden rajaukset aihe- ja otsikkotasolle tärkeitä poikkeuksia lukuun ottamatta. Teknisten yksityiskohtien osalta tämä opinnäytetyö on rajattu yleiselle tasolle.

Opinnäytetyön tilaajan toivomuksesta on tässä raportissa korostettu ”Owners engineering” -näkökulmaa eli ”Omistajan suunnittelija” -näkökulmaa. Näkökulma mahdollistaa alkuvaiheessa suunnittelun ja toteutuksen ulkoistamisen. Toteutusmallikokemuksen ja osaamisen vahvistuttua voi tilaaja keskittyä enemmän hankinnan määrittelyyn, itse hankintaan sekä toimittajien tukemiseen ja valvontaan.

Elinkaarimallin alkupään mukaiset toimenpiteet ja tuotokset liittyvät suoraan järjestelmän vaiheisiin eli järjestelmällä operointiin, sen kunnossapitoon ja viimeiseksi järjestelmän käytöstä poistoon. Tältä pohjalta on mahdollista luoda eri toiminnot yhdistävä toteutusmalli, joka palvelee tilaajan tarpeita pitkälle tulevaisuuteen. Toteutusmallin skaalautuvuus useampaan suuntaan on tärkeä ominaisuus, jonka avulla mallia voidaan aivan yhtä luontevasti hyödyntää sekä turvallisuusluokitelluissa että muiden tekniikan osa-alueiden toteutuksissa.

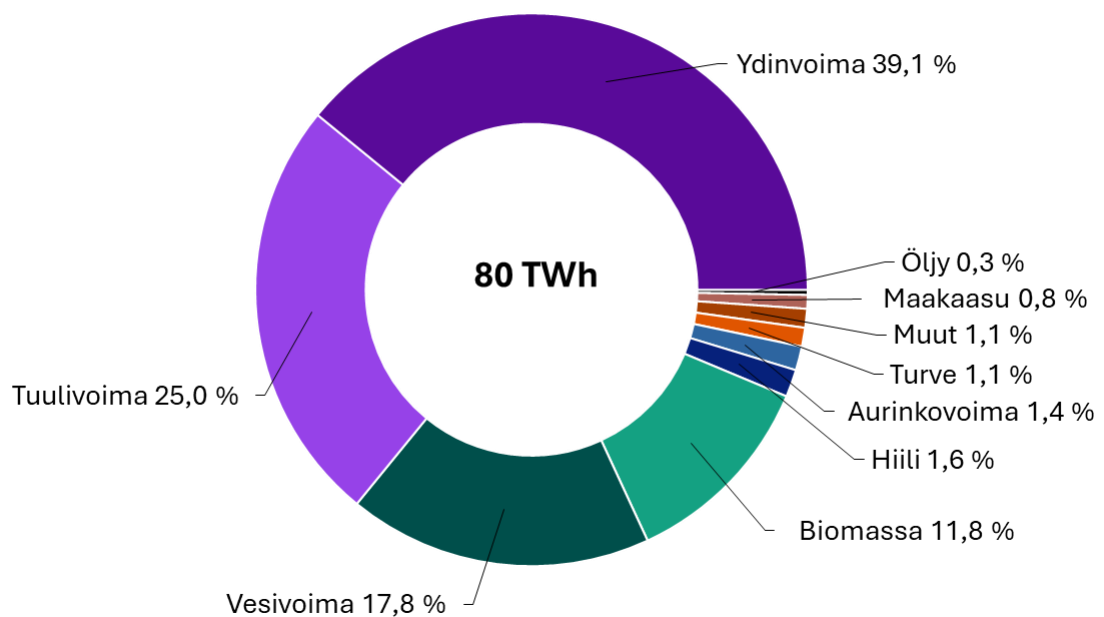
Selvyyden vuoksi on todettava, että projektimallit ja niiden elinkaaret on jätetty automaatiototeutusmallikehityksen ulkopuolelle. Historiaan peilaten ovat projektimallit alun perin tulleet helpottamaan toteutusmallien hallintaa. Nykytilanne kuitenkin on hyvin projektiorientoitunut, jolloin kunkin teknisen osa-alueen suunnittelun, toteutuksen ja validoinnin tehtävät saattavat jäädä projektien etenemisen jalkoihin. On siis oltava mahdollista, että tietyn osa-alueen – kuten automaation – toteutus etenee sille itselleen sopivan elinkaaren mukaisesti ja projektin aikataulu sekä päätöksentekopisteet mukautetaan riittävältä osin tukemaan toteutuksen onnistumista.

2 Ydinvoima Suomessa

Suomessa on rakennettua ydinvoimakapasiteettia nettosähköteholtaan yhteensä noin 4,4 GW. Loviisan voimalaitoksen omistaa kokonaan Fortum Power and Heat Oy. Teollisuuden voiman reaktorit OL1, OL2 ja OL3 ovat osaomisteisia. Reaktoreiden nettosähkötehot vaihtelevat seuraavasti:

- Fortum Power and Heat Oy, Loviisa
 - LO1 507 MWe
 - LO2 507 MWe.
- Teollisuuden voima Oy, Olkiluoto
 - OL1 890 MWe
 - OL2 890 MWe
 - OL3 1600 MWe. [2.]

Suomen sähköntuotanto vuonna 2024 oli yhteensä noin 80 TWh. Suomen sähkönkulutus oli yhteensä noin 83 TWh. Suomeen tuotiin sähköenergiaa noin 3 TWh. Keskeiset energialähteet Suomessa vuonna 2024 sähköenergian tuotantoon olivat ydinvoima ja tuulivoima (Kuva 1). [3.]



Kuva 1 Suomen sähköntuotannon lähteet.

2.1 Loviisan voimalaitos

Toisen maailmansodan jälkeen maailmassa alkoi ydinvoiman hyödyntämisen kilpajuoksu rauhanomaiseen käyttöön. Myös Suomessa haluttiin mukaan ydinvoiman käyttöön energiantuotannossa. 60-luvun puolivälissä lähetettiin ydinvoimalasta länsimaisille laitostoimittajille Imatran Voima Oy:n toimesta tarjouspyyntö Loviisan ensimmäisestä reaktorista. Asiantuntijat puolsivat AEG:n valintaa laitostoimittajaksi. Oletettavasti poliittisen ohjauksen myötä laitos kuitenkin hankittiin Neuvostoliitosta. Neuvostoliittolainen turvallisuusajattelu ei hankkijaorganisaation näkökulmasta ollut länsimaisella tasolla. Projektista tuli heti alussa monikansallinen, sillä suurin osa automaatio- ja turvallisuusjärjestelmistä hankittiin länsimaista, jotta ne täyttäsivät länsimaiset turvallisuusvaatimukset.



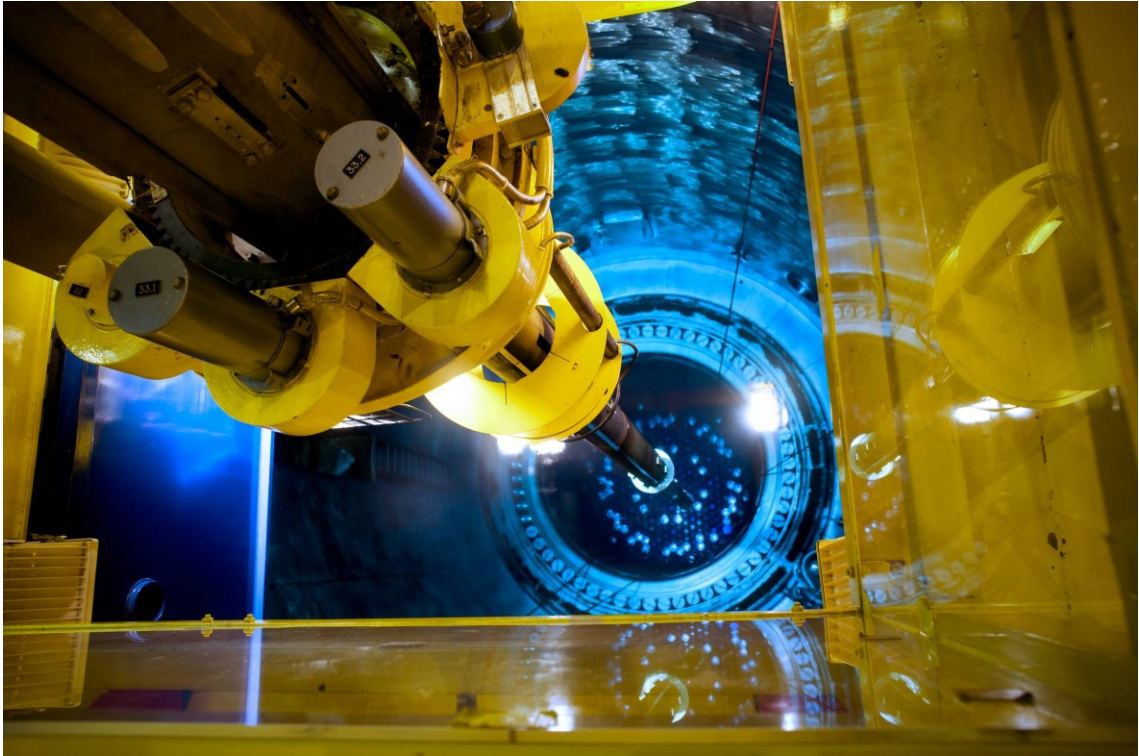
Kuva 2 Loviisan voimalaitoksen reaktorit LO1 ja LO2 sekä suurjännitelinjoja.

Loviisan ydinvoimalaitoksen ensimmäinen reaktori LO1 aloitti kaupallisen sähköntuotannon helmikuussa 1977. Loviisaan investoitu toinen

neuvostoliittolainen reaktori, tunnukseltaan LO2, kytkettiin sähköverkkoon vuonna 1980. Loviisan massiiviset reaktorit näkyvät kuvassa 1 [1].

Molemmat Loviisan voimalaitoksen reaktorit ovat neuvostoliittolaisvalmisteisia VVER-440 -tyyppisiä PWR- eli painevesireaktoreita. VVER-lyhenne tulee venäjän kielen sanoista ja tarkoittaa vapaasti suomennettuna vesivesienergiareaktoria. Voimalaitoksen kumpikin laitosyksikkö on nimellislämpöteholtaan 1500 MW. Laitosyksikön nettosähköteho on 507 MW. Laitoksen kokonaishyötysuhde on noin 34 %. Voimalaitosta käytetään yleensä jatkuvasti täydellä teholla, jotta voidaan tyydyttää sähköenergian vähimmäistarvetta. Laitosta huolletaan kerran vuodessa tehtävän vuosihuollon puitteissa. Vuosihuollon aikana tehdään normaaleja kunnossapitotöitä ja myös vaihdetaan noin neljännes polttoainepuista tuoreeseen polttoaineeseen (kuva 2) [1]. Vuosihuollon pituudet kalenteriviikoissa riippuvat huollon laajuudesta ja huolto-ohjelmasta.

Fortum investoi runsaasti resursseja voimalaitoksen ikääntymisen hallintaan. Laitoksen koko tähänastisen elinkaaren ajan on laitoksella tehty esimerkiksi laajoja järjestelmä- ja automaatiouudistuksia. Laitoksen historian suurin modernisointiohjelma toteutettiin vuosina 2014–2018. Molemmissa laitosyksiköissä valmistui vuonna 2018 automaatiouudistusprojekti ELSA, jossa korvattiin ikääntyneitä automaatiojärjestelmiä ja toteutettiin turvallisuutta varmistavia toiminnallisia parannuksia muun muassa suojausjärjestelmiin.



Kuva 3 Reaktorin polttoaineen vaihtotyö käynnissä.

Ydinvoimalaitos on lämpövoimalaitos, jonka käyttötarkoitus on alun perin ollut sähköenergian tuottaminen reaktorista saatavasta lämpöenergiasta. Tulevaisuudessa suomalaisten ydinvoimalaitoksien reaktoreista vapautuvaa lämpöenergiaa tullaan todennäköisesti hyödyntämään sähkön tuottamisen lisäksi esimerkiksi kaukolämmön tuottamiseen.

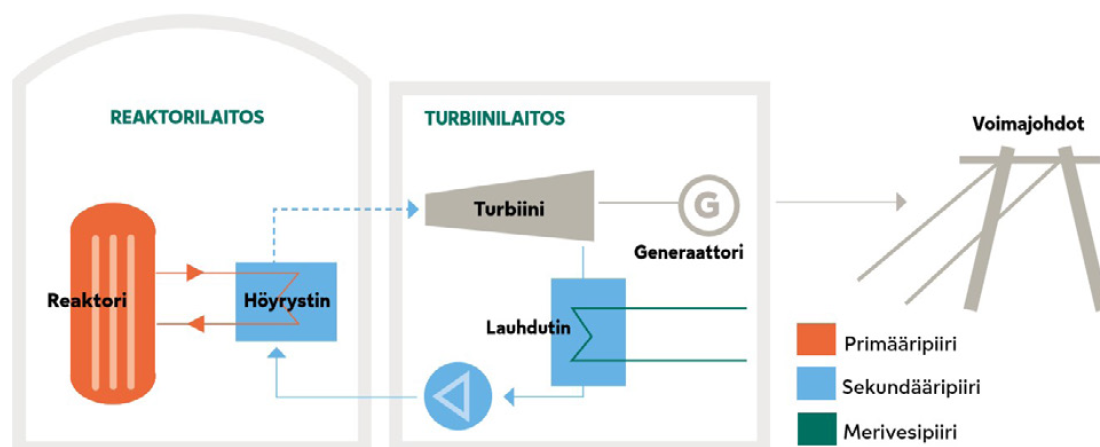
Kaikissa Fortum Power and Heat Oy:n kokonaan tai osuomistamissa ydinlaitoksissa tuotettiin sähköenergiaa yhteensä 24,3 TWh. Loviisassa tuotettiin sähköä vuonna 2024 7,9 TWh. Loviisan voimalaitoksen osuus Suomen sähköntuotannosta on noin 10 %. [4]. Valtioneuvosto on 16.2.2023 myöntänyt Loviisan ydinlaitokselle käyttöluvan vuoteen 2050 saakka.

2.1.1 Toimintaperiaate

Loviisan ydinreaktoreissa käytetään polttoaineena uraanidioksidin (UO_2) isotooppia U-235. Sopivissa olosuhteissa uraaniatomien ytimet halkeavat ja

halkeamisreaktion seurauksena syntyy runsaasti lämpöä. Tätä hallittua halkeamisreaktiota kutsutaan fissioketjureaktioksi ja yleisesti pelkästään fissioksi. Fissioketjureaktiossa raskas atomiydin hajoaa kahdeksi tai useammaksi kevyemmäksi atomiytimeksi. [5.]

Reaktorilaitoksessa on ydinreaktori, jossa fissio tapahtuu, sekä primäärijäähdytyspiiriin kuuluva höyrystin. Turbiinilaitoksessa sijaitsee turbiini, jonka akselilla on myös generaattori ja sekundäärijäähdytyspiirin lauhdutin pumppuineen. Lauhduttimen läpi kulkee merivesitäytteen jäähdytyspiiri. Voimalaitos kytketään laitoksen ulkopuolella voimajohtoihin ja merivesipiirin päät ovat meressä (Kuva 4). [5.]



Kuva 4 Painevesilaitoksen toimintaperiaate [5].

Fission seurauksena syntynyt lämpöenergia muunnetaan primäärijäähdytysvesikierron avulla liike-energiaksi. Loviisan VVER-reaktorit ovat kevytvesireaktoreja. Vesi toimii reaktorisydämien jäähdytys- ja hidasteaineena. Vesi pidetään korkeapaineisena, jottei se pääse reaktorista lähdettyään kiehumaan. Jäähdytysvesi on boorattua ioninvaihtimilla puhdistettua vettä, joka samalla toimii hidastimena ydinreaktiossa mukana oleville neutroneille. Jäähdytysvesi pumpataan kuuteen primäärijäähdytyskiertoon ja kussakin jäähdytyskierrossa on yksi vaakatasoon asennettu höyrystin. Höyrystimissä, jotka ovat

putkilämmönvaihtimia, muodostetaan sekundäärikiertoon korkeapaineista vesihöyryä, jonka energia on liike-energiamuodossa. [5.]

Höyry johdetaan turbiineihin, joissa höyryn liike-energia muuttuu turbiinin akselilla pyörittäväksi mekaaniseksi energiaksi. Molemmissa laitosyksikössä on kaksi turbiiniyksikköä. Kukin turbiiniyksikkö on 320 MVA:n turbogeneraattoriyksikkö, jossa on samalla akselilla yksi korkeapaineturbiini ja kaksi matalapaineturbiinia. Turbiiniakseleilla olevat sähkögeneraattorit tuottavat mekaanisesta energiasta sähköenergiaa, joka johdetaan suurjännitteisenä (400 kV) valtakunnan sähköverkkoon ja voimalaitoksen omaan käyttöön. Kuvassa 5 näkyy laitosyksikön turbiinirakennuksessa olevat korkea- ja matalapaineturbiinit sekä generaattorit. [5.]



Kuva 5 Korkea- ja matalapaineturbiinit sekä generaattorit.

Turbiineista höyry johdetaan lauhduttimiin, joissa höyry lauhtuu vedeksi. Lauhtunut vesi pumpataan takaisin höyrystimiin. Lauhduttimia jäähdytetään merivedellä ja lämmennyt merivesi johdetaan takaisin mereen. [5.]

2.1.2 Automaatiototeutukset

Voimalaitoksen automaatoratkaisuihin tarvitaan sekä käyttö- ja rajoitusautomaatiota että suojausautomaatiota. Käyttöautomaation kanssa yhdessä toimii turva-automaatio. Ydinenergialaista johdettujen YVL-ohjeiden mukaisen turva-automaation on oltava toimintakykyinen normaalien käyttötilanteiden lisäksi myös käyttöhäiriöissä. Turva-automaation ja ennen kaikkea turvallisuustoimintojen toteuttamisessa huomioidaan yleensä järjestelmän moninkertaisuusperiaate eli redundanttisuus, erotteluperiaate eli samaa toimintoa tekevien järjestelmien sijoittamissuunnittelu sekä erilaisuusperiaate eli diversiteetti. Riittävä diversiteetti saadaan aikaiseksi erilaisilla turva-automaatiotekniikoilla esimerkiksi hyödyntämällä rinnan sekä digitaalisia että täysin analogisia järjestelmiä. Redundanssia luodaan esimerkiksi moninkertaisella toisistaan riippumattomalla instrumentoinnilla ja kaapeloinnilla. Turvallisuudelle tärkeiden järjestelmien toiminnot on luokiteltu turvallisuusluokkiin EYT/STUK, TL3 ja TL2, englanniksi EYT/STUK, SC3 ja SC2. Turvallisuusluokista matalin on EYT/STUK ja korkein TL2. Käyttöautomaatio luokitellaan luokkaan EYT. On syytä mainita, tässä yhteydessä, että on olemassa myös turvallisuusluokka TL1. Luokkaan TL1 luokitellaan ydinreaktorin primäärijäähdytyspiiri laitteineen. Primäärijäähdytyspiirissä ei ole automaatiolaitteita.

Käyttöautomaation tehtävänä on hoitaa normaalit käyttötilanteet. Niitä ovat reaktorin ja prosessijärjestelmien ja -laitteiden valvonta, ohjaus ja säätö sekä toiminnallisen turvallisuuden turvatoiminnot. Käyttöautomaatiojärjestelmät hoitavat prosessin tilat niille määritetyillä normaaleilla toiminta-alueilla. Käyttöautomaatio myös valvoo laitteiden ja järjestelmien kuntoa. Esimerkkejä käyttöautomaation ohjaamista prosesseista ovat:

- turbiinin säätö ja suojaus
- reaktorin tehonsäätö
- primääri- ja sekundääripiirien pääsäädot.

Olennainen osa kaikkia automaatiojärjestelmiä ovat niiden valvomotoiminnot ja -laitteet. Syvällisesti perehdytetyt ja koulutetut operaattorit työskentelevät

valvomoissa, joista he pystyvät ohjaamaan joko automaattisesti tai käsin suuren osan laitoksen toiminnoista. Valvomoissa on eri järjestelmille tyypillisiä operointikytkimiä, -tauluja ja näyttöjä (Kuva 6) [1]. Usein teollisuuslaitoksissa on myös paikallisia ohjausjärjestelmiä, kuten ohjelmoitavia logiikoita, jotka on asennettu itsenäisiksi jonkin tietyn prosessilaitteen ohjausjärjestelmäksi. Näitä operoidaan nimensä mukaisesti vain paikallisesti laitteiston vieressä. Ohjelmoitavia logiikoita käytetään myös korvaamaan automaatiojärjestelmien prosessiasemia, joiden tyypillinen lyhin ohjelman kiertoaika on 100 ms. Lyhyempiä ohjelmasyklejä tai muita erikoisominaisuuksia voidaan tarvita esimerkiksi nopeisiin koneenohjauksiin.



Kuva 6 Valvomonäkymä, vasemmalla reaktorinäyttö.

Loviisan voimalaitoksen järjestelmäarkkitehtuuri on suunniteltu länsimaisten turvallisuusvaatimusten mukaisiksi. Järjestelmiin on sittemmin investoitu valtavasti pääomia turvallisen ja luotettavan energiantuotannon ylläpitämiseksi. Yleisinä haasteina on pidetty järjestelmien vanhenemista, varaosien saatavuutta ja

järjestelmälustaosaamisen vähenemistä. Näihin haasteisiin on vastattu kolmella menetelmällä:

- Järjestelmävaraosien uudelleenvalmistamisella ja käytettyjen varaosien hankkimisella muilta laitoksilta.
- Vanhentuneen automaation korvaamisella uusilla järjestelmillä.
- Uusitun automaation turvallisuustoimintoja lisäämällä.

Seitsemänkymmentä- ja kahdeksankymmentäluvulla Loviisan laitostyksiköissä käyttöönotetut automaatiojärjestelmät toimitettiin sekä Saksasta että Neuvostoliitosta. Prosessitiedonkeruujärjestelmän laitokselle toimitti kotimainen Nokia. Prosessitietokoneen (PTK) tehtävä on nykypäiviin saakka ollut toimia prosessitiedon esittämisen, tallentamisen ja suoritusarvolaskennan järjestelmänä. Prosessitietokonetta ei käytetä laitoksen prosessiohjauksissa. Seuraavassa luettelossa on esitelty alkuperäiset automaatiojärjestelmät alustoittain.

- Turvallisuuden kannalta tärkeitä järjestelmiä ovat:
 - reletekniikkaan perustuva neuvostoliittolainen järjestelmä 1960- ja 1970-luvulta
 - Siemens Simatic N, laitossuojaustoiminnot (analoginen järjestelmä)
 - BBC Decontic S, laitossuojaustoiminnot, laajennus 1980-luvulla
 - johdotetut ohjauspaneelit valvomoissa.
- Käyttöautomaatiojärjestelminä on käytetty:
 - Siemens Simatic P (analoginen järjestelmä)
 - Siemens Teleperm C (analoginen järjestelmä)
 - johdotetut ohjauspaneelit valvomoissa.
- Prosessitiedonkeruujärjestelmä oli Nokian valmistama prosessitietokonejärjestelmä.

Suurimmat automaatiojärjestelmiin kohdistuvia modernisointeja on toteutettu vuosina 2004–2015 ja työ jatkuu edelleen varsinkin käyttöautomaation alueilla. Neuvostoliittolainen reletekniikka on korvattu järjestelmillä, joita valmistaa nykyään Framatome. Prosessitietokone on nykyään ABB:n toimittama. Seuraava käyttöönotettava järjestelmälusta on suomalaisen Valmet Automation Oy:n

digitaalinen Valmet DNA-automaatiojärjestelmä varustettuna Valmet DNA UI -käyttöliittymillä. Vuonna 2026 otetaan käyttöön DNA-alustalla toteutettu koulutussimulaattoriautomaatoratkaisu sekä LO2-reaktorin turbiinien säätö- ja suojausautomaatoratkaisu. Vastaava toteutus LO1:llä otetaan käyttöön vuonna 2028. [6.]



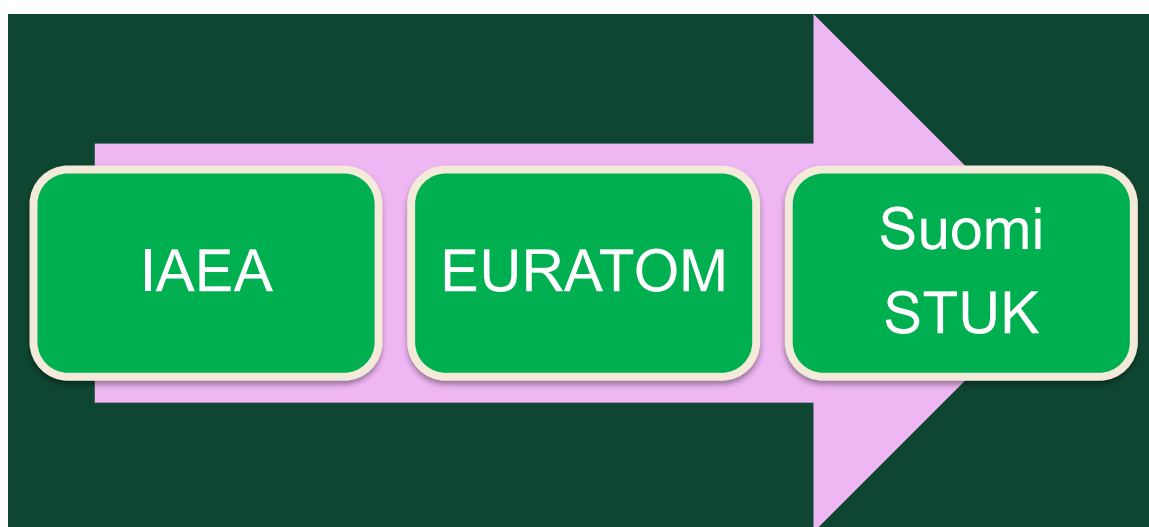
Kuva 7 Valvomonäkymä koulutussimulaattorilta.

Aikojen saatossa myös valvomotekniikkaa on modernisoitu. Johdotettuja ohjauspaneeleja on edelleen käytössä (Kuva 7) [7]. Suurien näyttöjen ja kosketusnäyttöjen avulla on mahdollista visualisoida sekä hallita prosesseja vähemmällä määrällä fyysisiä kytkimiä ja osoittimia.

2.2 Järjestelmien luokittelu

Suomessa ydinenergian käytöstä vastaa luvanhaltija eli Loviisan ydinlaitoksen ollessa kyseessä vastuussa on Fortum Power and Heat Oy. Ydinenergian käytön säätelyn tavoitteena on pitää se koko yhteiskunnan kokonaisedun mukaisena. Ydinenergi laki, sen nojalla annetut säännökset ja valvojan viranomaisen

eli STUK:n määräykset ja YVL-ohjeet on luotu toiminnan turvallisuudesta huolehtimiseksi. Samalla luvanhaltija veloitetaan hoitamaan asianmukaisesti syntyvä ydinjäte ja muu radioaktiivinen jäte. Suomessa noudatetaan oman lainsäädäntömme ja viranomaissääntelyn lisäksi myös ydinturvallisuuteen ja ydinmateriaalivalvontaan liittyviä kansainvälisiä velvoitteita ja EURATOM-velvoitteita (Kuva 8). Työ- ja elinkeinoministeriö valmistelee ydinenergiain kokonaisuudistusta, jossa todennäköisesti huomioidaan ydinlaitoshankkeiden toteuttamisen nopeuttaminen ja edellytyksiä ydinenergian tuotannon kustannustehokkuuden parantamiselle [8].

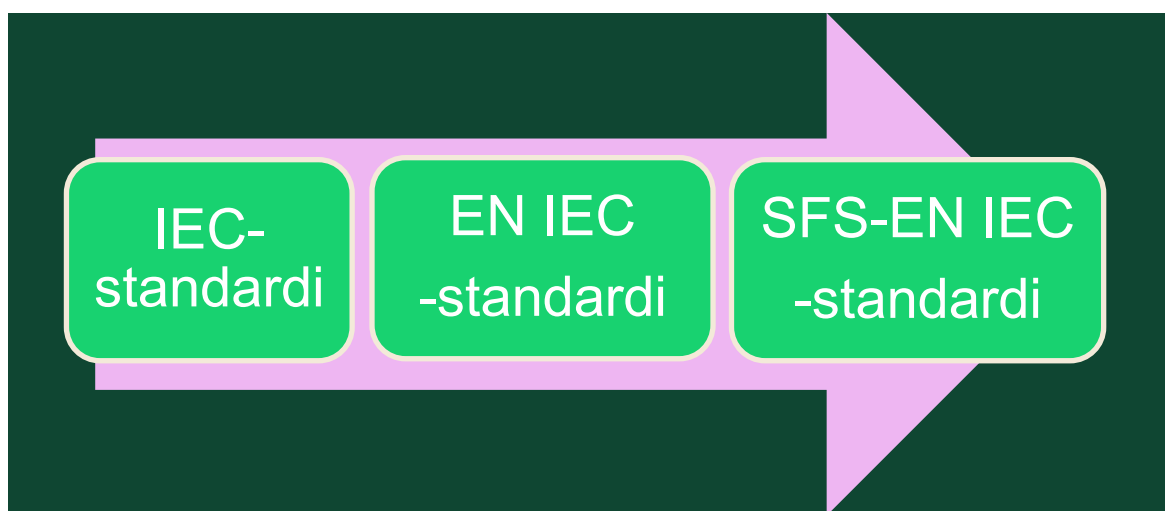


Kuva 8 Periaatekaavio viranomaisohjeiden ja määräysten lokalisoitumisprosessista.

Euroopan unionin asetukset tulevat Suomessa voimaan sellaisenaan. EU-direktiivit on otettava käyttöön kansallisessa lainsäädännössä etukäteen määritellyllä siirtymäajalla. Muut suomalaiset ydinlaitoksia koskevat säännökset, määräykset ja ohjeet ovat usein kansallistettuja versioita esimerkiksi kansainvälisen atomienergiajärjestön IAEA:n ohjeista tai maailmanlaajuisista IEC-standardeista ja muista julkaisuista. IEC on kansainvälinen sähköalan standardointijärjestö. IEC-julkaisuista voidaan muokata EU-direktiivejä tai eurooppalaisia EN-standardeja. EN-standardit saatetaan kansallisten standardien asemaan SFS-EN-standardeiksi. Eurooppalainen sähköalan standardointijärjestö CENELEC osallistuu

IEC-standardien eurooppalaistamiseen ja luo omia standardeja tarpeisiin, joihin ei ole IEC-standardeja.

Sähköalan suomalainen standardointijärjestö on SESKO ry. SESKO valmistelee SFS:n julkaisemat standardit IEC:n ja CENELEC:n aineistojen perusteella ja tarvittaessa luo niihin kansallisia osuuksia. IEC-standardit ovat pohjana EN-standardeille ja kansallisille SFS-standardeille (Kuva 9). Kansallistamisen lisäksi SESKO laatii puhtaasti kansallisia standardeja alueilta, joissa EN-standardia ei ole olemassa. [9.]



Kuva 9 Kansallisten standardien periytyminen kansainvälisistä standardeista.

2.2.1 Taustaa järjestelmien luokittelulle

Ydinlaitosten käytönaikaisen turvallisuuden arviointi on jatkuvaa. STUK pyrkii valvonnalla varmistamaan ydinlaitosten olevan ja pysyvän vaatimusten mukaisessa kunnossa. Valvonnalla varmistetaan myös, että ydinlaitosten toiminta on suunniteltua ja määräystenmukaisuus toteutuu myös ydinenergian käyttämisessä energiantuotantoon. [10.]

STUK valvoo ydinturvallisuutta turvallisuusteknisten käyttöehtojen asettamien vaatimusten mukaisesti. Luvanhaltijat voivat toteuttaa ydinlaitoksessa erilaisia laitosmuutostöitä. Näiden muutostöiden tarkoituksena voi olla turvallisuuden

parantaminen, ikääntyneiden järjestelmien tai laitteiden uusiminen, laitoksen käytön tai kunnossapidon helpottaminen tai energiantuotannon tehostaminen. Muutostöitä valvotaan muutostyön luvanhaltijan toimittamien aineistojen perusteella tai jopa valmistajien luona tehtävillä tarkastuksilla muutoksien suunnittelusta toteutukseen ja käyttöönottoon.

Kaikilla prosessialueilla ydinlaitoksessa on jokin toiminnallisen ja laitosturvallisuuden mukainen luokittelu. Toiminnallinen ja laitosturvallisuus käytännössä määrittelee, miten kutakin prosessi- ja automaatiolaitetta tulee ohjata missäkin tilanteessa. Samaa toimilaitetta voi EYT-käyttöautomaation lisäksi pakko-ohjata toiminnallisen tai laitosturvallisuuden järjestelmät. EYT-luokkaan määritellyt järjestelmät ja laitteet katsotaan tässä yhteydessä ei-turvallisuusluokitelluiksi ja muihin luokkiin määritellyt turvallisuusluokitelluiksi. Tieto kunkin järjestelmän ja laitteen luokituksesta on kerätty tarkasti ylläpidettyyn automaatiotekniseen luokitusasiakirjaan.

Kaikkien muutostöiden yhteydessä varmistetaan järjestelmien ja laitteiden turvallisuusluokka. Tarvittaessa tiedot päivitetään vastaamaan voimassa olevia luokitteluohjeita. Muutostyön suunnittelu alkaa turvallisuusluokkaa vastaavalla laajuudella. Jos muutostyön kohde on turvallisuusluokittelematon eli EYT, ei STUK anna tarkkoja ohjeita, vaan muutoksen kohdetta aletaan suunnittelemaan ja toteuttamaan yrityksen sekä laitoksen ohjeiden, vaatimusmäärittelyn ja asiaan liittyvien standardien mukaan. Esimerkiksi EYT-käyttöautomaation mahdollisesti sisältämän toiminnallisen turvallisuuden osuuden, ei siis ydinteknisen turvallisuuden, valvontaa saattaa hoitaa prosessiteollisuudessa lupa- ja valvontaviranomainen TUKES.

2.2.2 STUK:n vaatimukset ja ohjeet EYT-projekteille

Ydinturvallisuusohjeita sovelletaan eri lailla erilaisiin kohteisiin. Säteilyturvallisuuskeskus julkaisee ohjeen ja sitä sovelletaan uusiin ydinlaitoksiin sellaisenaan. Kun kyseessä on käytössä tai rakenteilla oleva laitos, annetaan erillinen päätös ohjeen käytännön soveltamisesta. Ydinturvallisuusohjeet liittyvät

nimensä mukaisesti ydinturvallisuuden pitämiseen niin korkealla tasolla kuin se käytännöllisesti on mahdollista. [11.]

EYT-toteutuksiin liittyviä vaatimuksia on YVL-ohjeiden joukossa varsin rajallinen määrä. Asia onkin ymmärrettävissä ajattelemalla käänteisesti. Kun määritellään ja luokitellaan tarkasti, mitkä järjestelmät ja laitteet ovat turvallisuuden kannalta tärkeitä – ja tässä tapauksessa nimenomaan ydinturvallisuuden – jolloin muut järjestelmät ja laitteet siten voidaan luokitella EYT- tai EYT/STUK-luokkaan. Näitä järjestelmiä ja laitteita, joita käytetään niin sanottuun normaaliin käyttöön, voidaan ohjata yleisillä automaatiojärjestelmillä.

Säteilyturvallisuuskeskuksen EYT-luokan keskeisiä ohjeita löytyy YVL-ohjeesta YVL B.1, esimerkiksi luvussa 5.2.7 Automaation erottelu ja vikojen leviämisen estäminen, vaatimus 5240, kohdat 1 ja 2:

1. "Luokan EYT automaatiojärjestelmien vikaantuminen alkutapahtumana ei saa johtaa käyttöhäiriötä pahempiin seurauksiin."
2. "Luokan EYT automaation vikaantuminen käyttöhäiriöissä ja onnettomuuksissa ei saa olennaisesti huonontaa laitoksen tilaa (tapahtuman hyväksymiskriteeri pysyy saman tapahtumaluokan sisällä)." [12.]

Ohjeet sisältävät valtavasti vaatimuksia ja yksittäiseen asiaan voi vaikuttaa useampi vaatimus eri näkökulmista ja eri dokumenteissa. Ohjeiston kokonaisvaltainen osaaminen on erittäin haastavaa ja vaatii jatkuvaa erikoisosaamisen ylläpittoa. Ohjeita tulkitaan yhteistyössä ydinturvallisuusalan asiantuntijoiden kanssa ja tarvittaessa pyydetään lausuntoja viranomaiselta.

2.2.3 Luokittelu ohjeiden ja standardien kautta

Turvallisuusluokittelua määrittävät sekä YVL-ohjeet että teknisen alan standardit. YVL-ohjeet määrittelevät järjestelmien ydinteknisen turvallisuuden luokan. Standardeja on paljon ja niiden sijoittaminen arkkitehtuuriin on haastavaa.

Vaatimusten selkeyttäminen turvallisuusautomaatiojärjestelmiin liittyvien standardien kautta auttaa erillisten kokonaisuuksien määrittämistä (**Virhe. Viitteen lähde ei löytnyt.**). Kehitystehtävän kannalta on olennaista löytää standarditausta ydinlaitoksen EYT-kokonaisuuteen liittyen.

Tekninen raportti IEC TR 63400 Edition 1.0 "Nuclear facilities – Instrumentation, control and electrical power systems important to safety – Structure of the IEC SC 45A standards series" (2021) esittelee ydinlaitosten turvallisuudelle tärkeiden instrumentointi-, säätö- ja sähkövoimajärjestelmien IEC SC 45A-standardisarjan rakenteen [13]. Tästä standardisarjasta löytyy muiden osa-alueiden informaatiota aiheeseen liittyen, joten asiantuntija mielellään puhuu teknisen raportin tavallaan olevan ydinvoima-alalle standardipakettien keittokirja [14].

Ylimmän tason "sateenvarjostandardi" automaatiojärjestelmiin liittyen on IEC 61513 "Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – General requirements for systems" (2011). IEC-standardista kansallistettu SFS-EN 61513 "Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – General requirements for systems" (2013) seuraa myös IAEA:n ohjeistusta turvallisuudelle tärkeisiin järjestelmiin liittyen. Turvallisuudelle tärkeä järjestelmä tässä yhteydessä tarkoittaa järjestelmä, joka on tärkeä ydinturvallisuudelle.

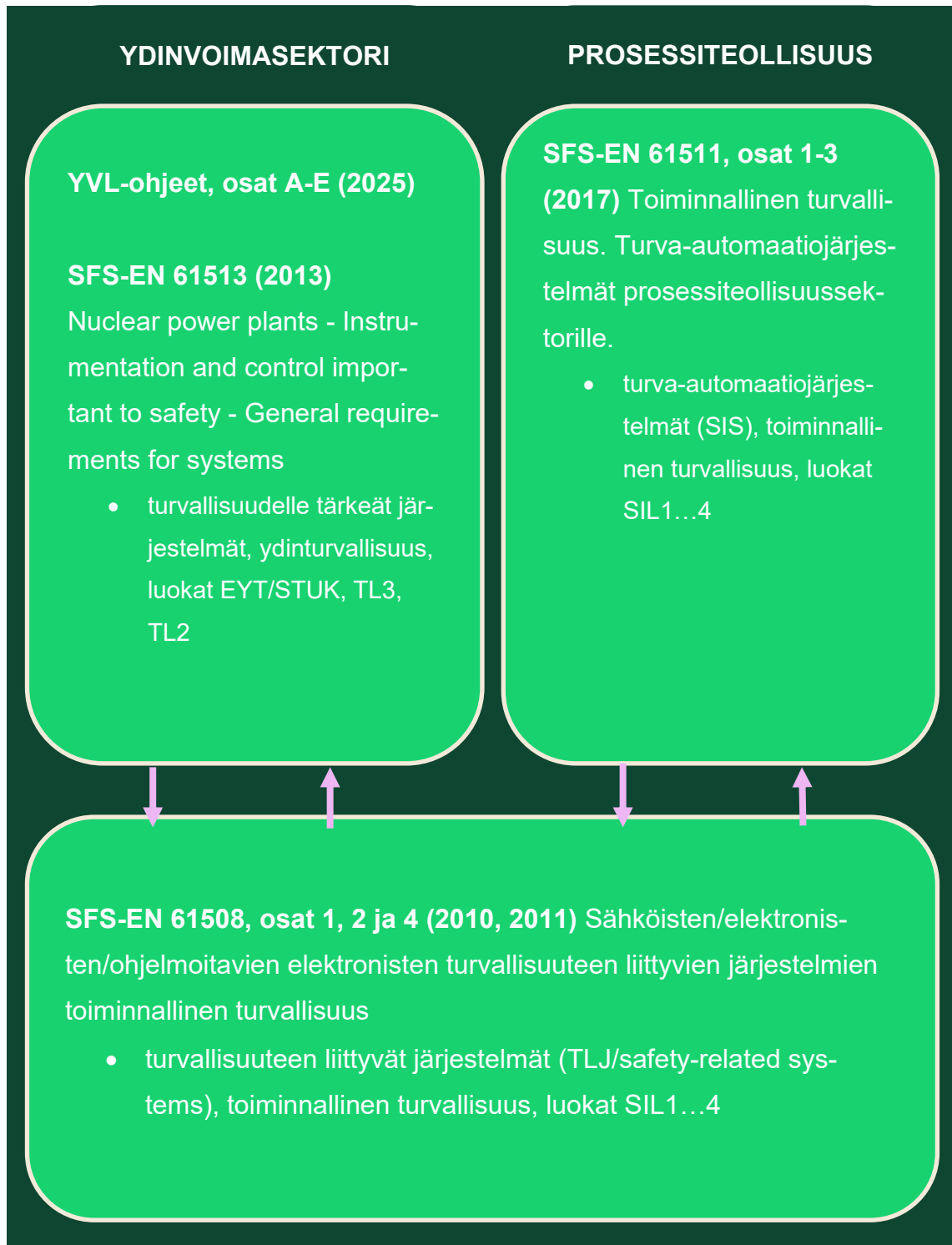
SFS-EN 61513 (2013) on ydinvoimasektorille muokattu sektorikohtainen standardi, johon on tulkittu yleiset vaatimukset SFS-EN 61508 "Sähköisten/elektronisten/ohjelmoitavien elektronisten turvallisuuteen liittyvien järjestelmien toiminnallinen turvallisuus" (2010, 2011) osista 1, 2 ja 4. Samassa viitekehyksessä on ohjelmisto-osuus SFS-EN 61508 osan 3 mukainen ja löytyy standardeista SFS-EN 60880 "Nuclear power plants - Instrumentation and control systems important to safety - Software aspects for computer-based systems performing category A functions" (2010) ja SFS-EN IEC 62138 " Nuclear power plants - Instrumentation and control systems important to safety - Software aspects for computer-based systems performing category B or C functions" (2019). [15.]

IEC TC 65 "Industrial process measurement, control and automation" -raportti kuvaa teollisuuden automaation perusstandardeja sekä prosessisektorille spesifisiä standardeja. Tähän standardiperheeseen kuuluvat usean muun asiaan liittyvän standardin ohella perusautomaatiota ja turvallisuuteen liittyviä järjestelmiä ohjaavia standardeja:

- SFS-EN 61508 (2010, 2011) Sähköisten/elektronisten/ohjelmoitavien elektronisten turvallisuuteen liittyvien järjestelmien toiminnallinen turvallisuus, osat 1–8
- SFS-EN 61511 (2017) Toiminnallinen turvallisuus. Turva-automaatio-järjestelmät prosessiteollisuussektorille, osat 1–3
- SFS-EN 61069 (2016) Industrial-process measurement, control and automation. Evaluation of system properties for the purpose of system assessment, osat 1–8.

Tekninen raportti IEC/TR 61508-0:fi Sähköisten/elektronisten/ohjelmoitavien elektronisten turvallisuuteen liittyvien järjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Osa 0: toiminnallinen turvallisuus ja IEC 61508 (2011) esittelee toiminnallisen turvallisuuden käsitteen ja luo yleiskatsauksen IEC 61508 -standardisarjaan, joka kansallistettuna on SFS-EN 61508 (2010, 2011). SFS-EN 61508 (2010, 2011) liittyy yleisesti turvallisuuteen liittyvien järjestelmien (TLJ) toiminnallisen turvallisuuden eheystason määrittämiseen neljälle eri tasolle (SIL1-4, Safety Integrity Level 1–4). Turvallisuuden eheyden taso yksi (SIL1) on matalin ja taso 4 (SIL4) on turvallisuuden eheyden tasoista korkein. [16.]

Osa IEC TC 65 -raportin sisältämistä standardeista on joko parhaillaan päivitysmässä tai tulossa päivitykseen. Kehitystehtäväraporttia kirjoitettaessa päivitystieto on olemassa standardisarjoista IEC 61508 ja IEC 61069 sekä mahdollisesti päivitettäväksi on tulossa myös IEC 61511. [17.]



Kuva 10 Turvallisuusautomaatiojärjestelmien standardeja eri sektoreilla

SFS-EN 61511 (2017) on kehitetty prosessiteollisuussektorin standardiksi standardin IEC 60508:2010 prosessisektorikohtaisena sovelluksena [15]. SFS-EN 61511 (2017) muun muassa määrittelee termin ”turva-automaatiojärjestelmä”

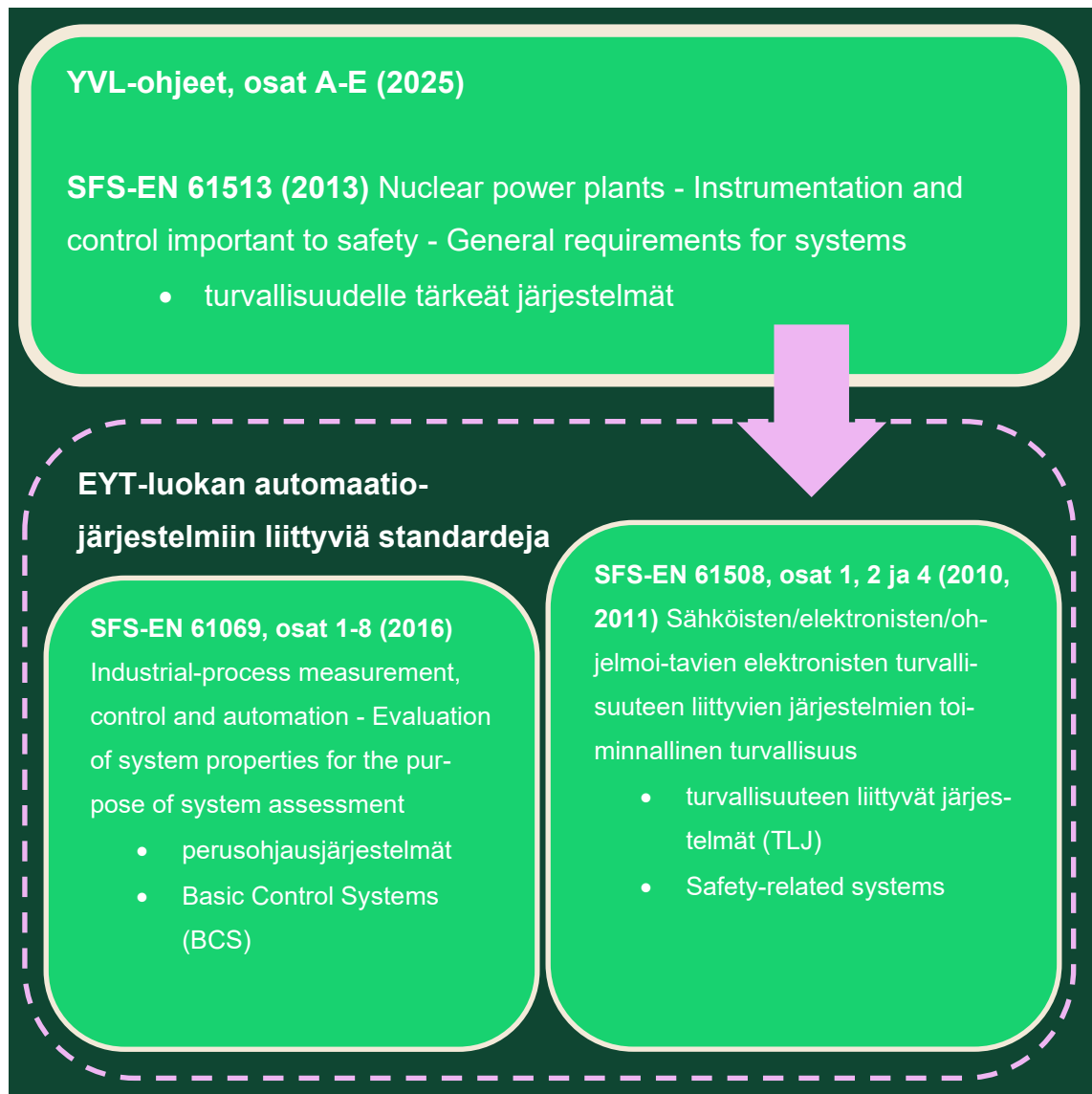
(SIS, Safety Instrumented System) ja sisältää opastavia sekä velvoittavia viittauksia standardiin SFS-EN 61508 (2010, 2011). Näissä samaa asiaa käsittelevissä standardeissa käytetyt määritelmät ja lyhenteet eroavat toisistaan, joten on syytä sopia, kumpaa standardisarjaa sovelletaan (Taulukko 1). Käytännössä molempien standardien termistö on yleisessä käytössä samoissa yhteyksissä, joten väärinymmärrysten välttämiseksi on kommunikointi oltava selkeätä.

Taulukko 1 Standardilähtöinen tulkinta määrittelyjen ja lyhenteiden eroista.

SFS-EN 61508 (2010, 2011)	SFS-EN 61511 (2017)
<p>TLJ - turvallisuuteen liittyvä järjestelmä, esimerkiksi S/E/OE – sähköinen/elektroninen/ohjelmoitava elektroninen turvallisuuteen liittyvä järjestelmä</p> <p>(Safety-related system, for example E/E/PE – electrical/electronic/programmable electronic safety related system)</p>	<p>SIS – turva-automaatiojärjestelmä, esimerkiksi</p> <p>(SIS – Safety Instrumented System)</p> <p>(SRS – safety requirements specification)</p>
<p>TET – turvallisuuden eheyden taso</p> <p>(SIL – Safety Integrity Level)</p>	<p>SIL – turvallisuuden eheyden taso</p> <p>(SIL – safety integrity level)</p>
<p>Turvatoiminta</p> <p>Safety function</p>	<p>SIF – turva-automaatiotoiminto</p> <p>(SIF – safety instrumented function)</p>

SFS-EN 61069 (2016) erottelee selvästi perusautomaation ja turvallisuuteen liittyvän järjestelmän. Mikäli riskin- ja vaaranarvioinneissa turvallisuuden eheyden taso (SIL) nousee tasolle yksi tai enemmän, on turvallisuustoiminnot

suoritettava järjestelmässä, jonka ominaisuudet kuvataan standardisarjassa SFS-EN 61508 (2010, 2011). [18.]



Kuva 11 YVL-ohjeet ja SFS-EN 61513 (2013) sateenvarjona EYT-järjestelmille.

Standardisarja SFS-EN 61069 (2016) ja sen osat 1–8 esittelevät peruskonsepteja perusohjausjärjestelmien määrittelyyn ja arviointiin. Perusohjausjärjestelmä on vapaasti suomeksi käännetty. Standardin mukaan ”basic control system” (BCS) voi olla ”basic process control system” (BPCS) tai ”basic discrete control system” (BDCS). Basic process control system viittaa jatkuvien prosessien mittaamiseen ja ohjaukseen, basic discrete control system viittaa enemmän

binääriseen ohjaukseen, esimerkiksi koneohjaukseen. EYT-yhteydessä perusohjausjärjestelmänä pidetään hajautettua automaatiojärjestelmää, ohjelmoitavaa logiikkajärjestelmää tai niiden yhdistelmää. [18.] Distributed control system (DCS) on yleisesti käytetty termi hajautetulle automaatiojärjestelmälle, jolla voidaan toteuttaa sekä jatkuvaa säätöä että binäärisiä ohjauksia. Programmable logic controller (PLC) on yleisesti käytetty termi ohjelmoitavalle logiikkajärjestelmälle, joka yleensä on parhaimmillaan suoritusnopeutta vaativissa koneohjauksissa. EYT-luokan kokonaisuuden muodostavat perusautomaatiojärjestelmä ja siihen mahdollisesti liitetty turvallisuuteen liittyvä järjestelmä.

3 Nykytilan ja tarpeiden kartoitus

Kehitystehtävän aikana haastateltiin kerran tai useammin 20 henkilöä Fortum Power and Heat Oy:n organisaatiosta. Haastateltavat pyrittiin löytämään siten, että työskentelevät organisaatioissa erilaisissa rooleissa. Haastatteluja tehtiin Loviisan voimalaitoksen automaatio-organisaatiossa järjestelmäomistajatasolta suunnittelun, kunnossapidon, työnsuunnittelun ja kehitystehtävissä työskentelevien kanssa. Fortumin Espoossa työskenteleviä automaatioasiantuntijoita haastateltiin keskustelunomaisesti toteutusmallin kehittämisen suunnan pitämiseksi riittävän käytännönläheisellä tasolla. Suunnittelutehtävissä työskentelevien sekä projektipäällikkö- ja esihenkilötasolla vaikuttavien henkilöiden kanssa syntyi runsaasti ajatuksia, miten kehitettävää mallia on muotoiltava.

Haastattelusuunnitelmaan kuului myös Fortumin ulkopuolisia tahoja ja erittäin yhteistyöhenkisiä haastatteluja ja keskusteluja käytiin 8 henkilön kanssa. Haastateltaviksi suostui sekä voimalaitosalan laitos- ja automaatiotoimittajien edustajia, sähkötekniikan alan standardoimisjärjestön (SESKO) asiantuntijoita että konsulttiyritysten henkilöitä. Heiltä saatiin arvokkaita näkökulmia toimittajanäkökulmista, kehitystehtävän kehyksien pitämisessä standardien mukaisissa rajoissa ja toteutusmallin hyödyntämismahdollisuuksissa yleisempäänkin käyttöön.

3.1 Haastattelulöydökset EYT-automaatiototeutusmalliin liittyen

Kaikki haastattelut alkoivat jollain viitekehykseen sopivalla kysymyksellä tai useammalla ja keskustelun myötä jatkuivat usein hyvinkin erilaisiin suuntiin. Haastatteluissa ja keskusteluissa toistuivat tarve tunnistaa ja sovittaa järjestelmän toiminnot niille järjestelmille, joille ne kuuluvat.

Yhteistyön aktiivinen ylläpitäminen toteutuksen suunnittelun alusta lähtien laitoksen kunnossapidon, asennustyöryhmän ja työnsuunnittelun kanssa korostui mahdollisuutena teknisen eheyden saavuttamiseksi ja kokonaisuuden hallitsemiseksi. Omistajatahon sitoutuminen oikea-aikaiseen päätöksentekoon tuo toteutusmalliin onnistumisen mahdollisuuksia.

Dokumentaatio on selkeästi useimmille haastatelluille yhteinen aihe. Ydinlaitoksessa dokumentaatio on hyvin kattavaa ja hyvällä sekä proaktiivisella toiminnalla se voi muodostua voimavaraksi toteutuksille pitkällä aikavälillä. Joka tapauksessa dokumentoinnissa on huomioitava elinkaaren käyttö-, kunnossapito- ja muutosvaiheet jo suunnitteluvaiheessa.

Vaatumusten hallinta kokonaisuutena on valtava tulevaisuudenmahdollisuus. Vaatimusmäärittelytehtävän aloittaminen ajoissa ja muutoshallinta koko toteutuksen ajan edellyttää laajaa yhteistyötä mukaan lukien toimittajat. Toimittajayhteistyötä ja ymmärrystä lähtötietojen versioinnin sekä muutoshallinnan merkityksestä valmistukselle ja toimitukselle voi syventää luomalla horisontaaliset yhteydet päättäjien ja tekijöiden välille. Verkostoituminen ja tarvittava keskustelu detaljeista kollegoiden välillä lisää laadukkaan lopputuloksen todennäköisyyttä.

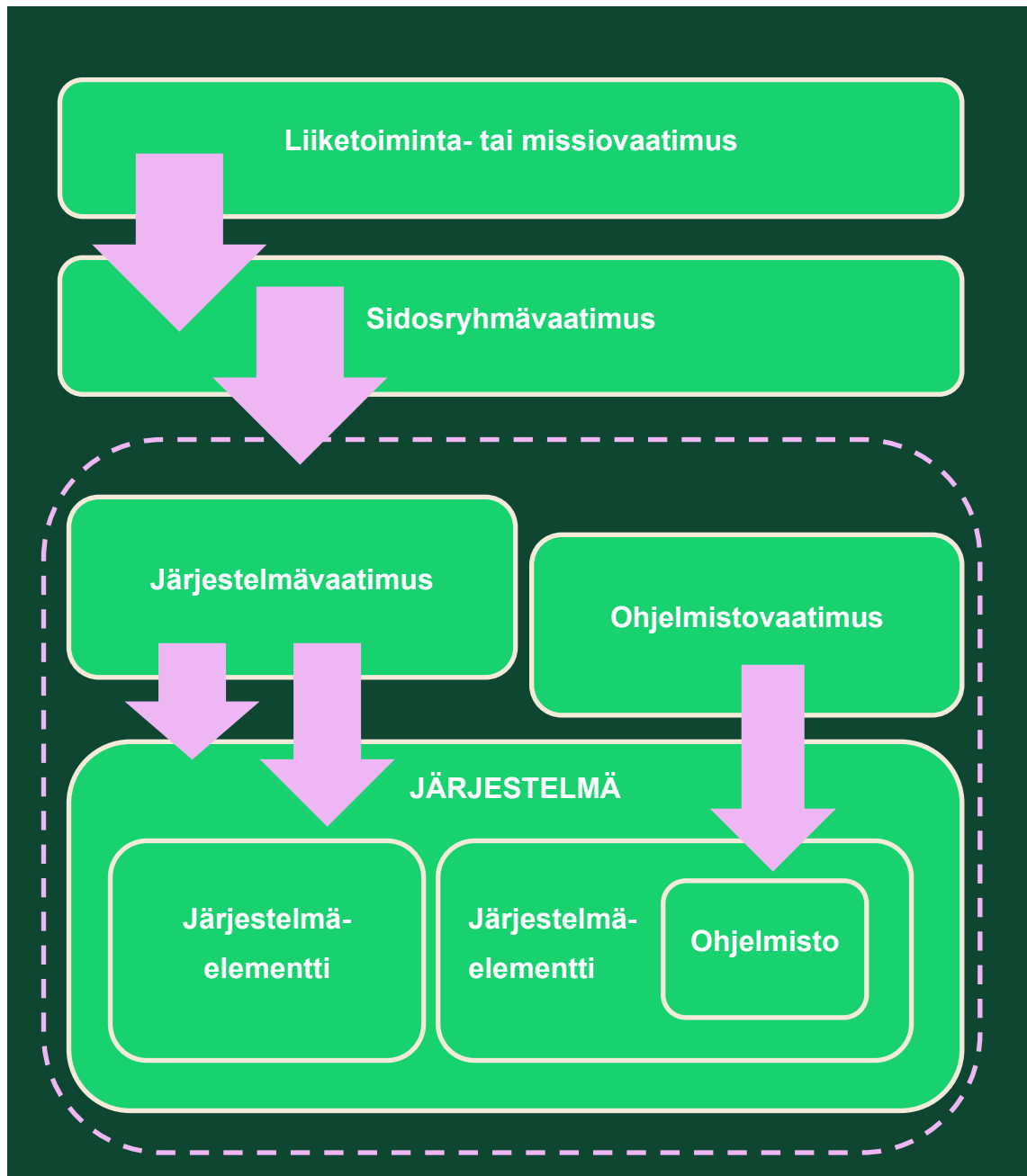
3.2 Tulevaisuuden tarpeet EYT-automaatiojärjestelmätoteutuksissa

Tulevaisuuden tarpeiden määrittäminen tämän kehitystehtävän kehyksissä perustuu tiedossa olevien haasteiden ja kehitystarpeiden kautta. Jatkuva parantaminen, kehityshyppäyksistä päättäminen ja jalkauttaminen toimintaan luovat perustan automaatioalan pysymisessä kiinnostavana. Strategiset innovaatiot mahdollistavat ajatusjohtajuuden saavuttamisen ja ydinvoima-ammattilaisuuden ylläpidon. Automaatiojärjestelmien ja -laitteiden elinkaari vaihtelee. Kenttäinstrumentit voivat kestää kymmeniä vuosia ja järjestelmäteknikka, josta suuri osa nykyään on usein tavallista tietotekniikkaa, saattavat tulla uusinnan eteen huomattavasti lyhyemmässä ajassa, joten omistamisen kokonaiskustannukset ovat tärkeässä roolissa. EYT-luokiteltuihin järjestelmiin on mahdollista kelpuuttaa kevyemmällä prosessilla muilla teollisuudenaloilla yleisempää tekniikkaa, joka usein näyttäytyy edullisempänä elinkaarikustannuksena verrattuna ydinlaitoksissa tyypillisesti hyödynnettyihin järjestelmiin verrattuna.

3.3 Vaatimusmäärittely perusautomaatiojärjestelmälle

Vaatimusten määrittely ja hallinta perusautomaatiojärjestelmän toteutuksessa ovat edellytyksiä asiakastytyvyyden saavuttamiselle. Vaatimushallinnan suunnittelu auttaa valtavien vaatimusmäärien käsittelyssä ja ryhmittelyssä toisiinsa liittyviksi kokonaisuuksiksi. Standardi ISO/IEC/IEEE 29148 Systems and software engineering — Life cycle processes — Requirements engineering (2018) kuvaa suunnitteluaktiviteetteja järjestelmien ja ohjelmistojen ja niihin liittyvien palvelujen vaatimusten määrittelyä elinkaari-prosessien aikana. Vaatimushallinnan suunnittelu (requirements engineering) on poikkitieteellinen tehtävä, joka toteuttaa tilaajan ja toimittajan välisen vaatimusmäärittelyn perustamisen ja ylläpidon siten, että se palvelee hankittavan järjestelmän elinkaaren aikaista vaatimusten hallintaa. Vaatimushallinnan suunnittelu keskittyy vaatimusten löytämiseen, keräämään, kehittämään, analysoimaan, verifioimaan, validoimaan, kommunikoidaan, dokumentoimaan ja hallinnoimaan vaatimuksia tähän tarkoitukseen.

Vaatimusten hallinta (requirements management) käsittää aktiviteetteja, joilla jo luotuja elinkaaren aikaisia vaatimuksia identifioidaan, dokumentoidaan, ylläpidetään, kommunikoidaan ja jäljitetään. Vaatimusten hallintaan kuuluu jäljitettävyyden hallinta ja ylläpito sekä vaatimusten muutoshallinta. [19, 20.]



Kuva 12 Esimerkki järjestelmävaatimuksesta liiketoimintakontekstissa.

Standardi ISO/IEC/IEEE 29148 (2018) lähtee purkamaan vaatimusten suunnittelua liiketoiminta- tai missiotasolta ja tarkentaa vaatimusmäärittelyä sidosryhmien avulla järjestelmä- ja ohjelmistotasolle (Kuva 12). Standardissa annetaan luonnosesimerkki järjestelmän vaatimusmäärittelydokumentin sisällölle (System Requirement Specification). Vaatimukset ohjelmistoille (Software Requirement Specification) voivat sisältyä järjestelmän vaatimusmäärittelyyn. [21.]

Standardissa SFS-EN 61069 (2016) antaa oivalliset lähtökohdat toteuttaa tehokkaasti perusautomaatiojärjestelmän soveltuvuuden arviointi tekemällä järjestelmän arviointi rajoitetusti tarkempien vaatimusten toteutumisesta. Standardin avulla voi luoda järjestelmän vaatimusmäärittelyn, joka on suoraan hyödynnettävissä standardin määrittelemällä tavalla. Esimerkki järjestelmän ominaisuuksien (system properties) luettelemisesta standardin mukaan (Liite 1).

4 Automaatiototeutuksen elinkaarivaiheet

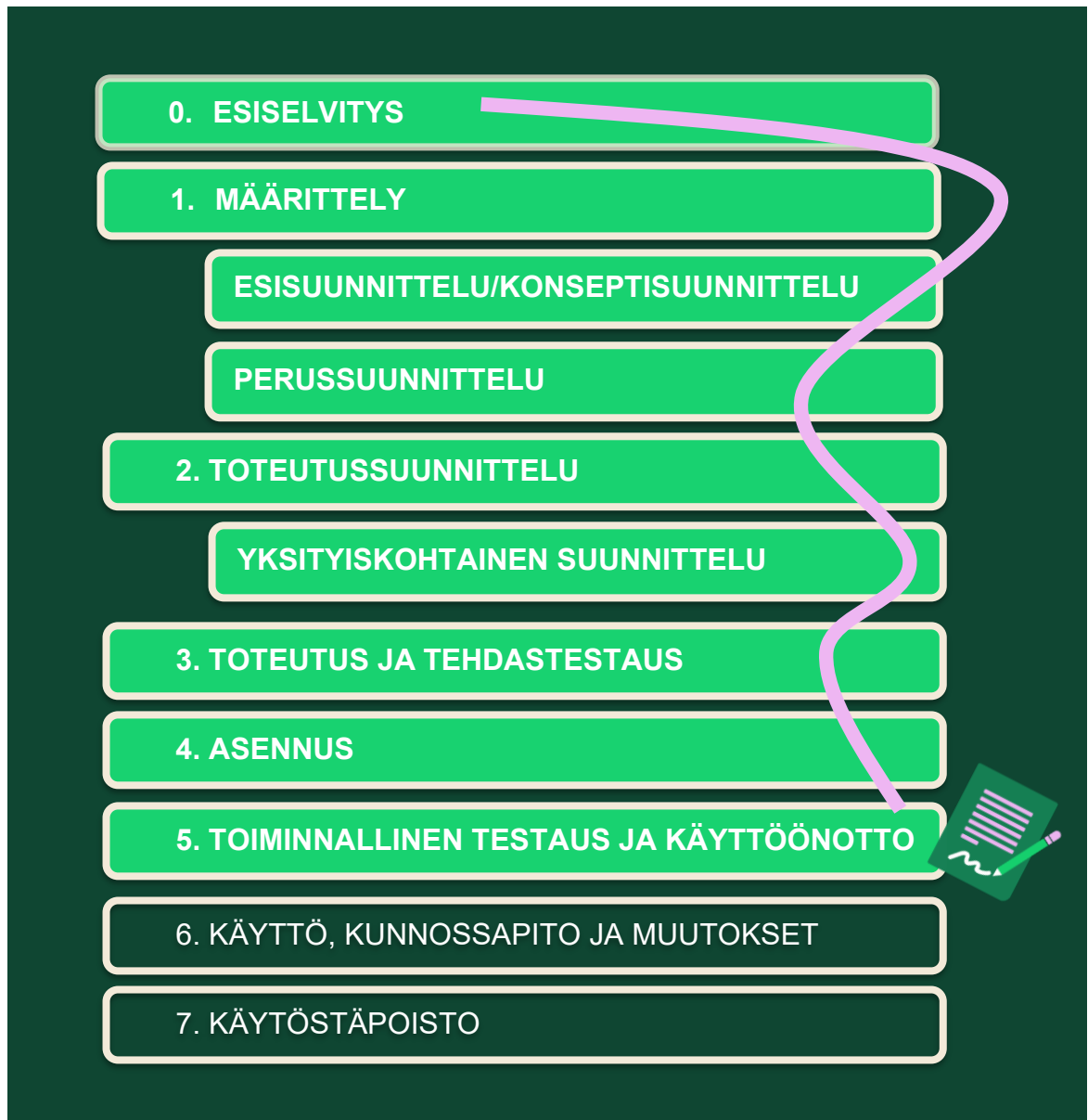
Automaatiototeutuksen onnistumisen edellytykset luodaan elinkaaren alkuvaiheissa. Automaatio-organisaatio saa esimerkiksi liiketoiminnan, omistajan tai kunnossapidon taholta pyynnön selvittää prosessilaitteen tai -kokonaisuuden automatisointikokonaisuutta. Pyyntö voi liittyä jo pitkään käytössä olleen automaatiojärjestelmän uusimiseen. Aikaisessa vaiheessa aloitettu vaatimusmäärittely yhdessä sovitun vaiheistuksen kanssa auttaa kaikkia osapuolia onnistumaan yhteisessä hankkeessa.

Automaatiototeutus elinkaarimalleineen on sopimusasia. Mitä dokumentaatiota tuotetaan ja miten, on sovittava alussa. Kunkin vaiheen sisältämät tehtävät on myös sovittava yksiselitteisesti ja muutokset on hyvä hoitaa normaalein muutosprosessein. Automaatiototeutuksen elinkaarimalliin liittyen on myös huomioitava, että usein yrityksen konsernitasolla investointiprosesseilla on myös elinkaari, joka usein on liitetty suoraan valittuun projektinhallintamalliin. Automaation toteutus on useimmiten osa jotakin suuremman kokonaisuuden toteutusta ja silläkin voi olla oma elinkaarensa. Toteutuksen dokumentoinnissa on hyvä huomioida tämä, ettei elinkaarivaiheiden ja projektivaiheiden välillä synny epäselvyyksiä.

Moderneissa varsinkin laajoja laitoskokonaisuuksia suunnittelevissa, valmistavissa, toimittavissa yrityksissä hyödynnetään kaikki suunnittelualueet kattavia tietojärjestelmiä, joissa kaikissa automaatiototeutuksen elinkaarimalli on integroituna suunnittelun työprosessiin.

4.1 Elinkaarimallit

Elinkaarimallit hyödyttävät kaikkia alalla toimivia tahoja. Vaiheiden ja tehtävien määrittäminen auttaa ratkaisujen suunnittelun sekä toteutusvaiheiden suurien linjojen soveltamisessa kuhunkin toteutukseen. Dokumentaatio- ja laatuäkökulman liittäminen elinkaaren askeleihin tuo käytännön tekemisen kannalta olennaista konkretiaa ja siten luo yksityiskohtien sopimiselle suotuisamman alustan.



Kuva 13 Perusautomaatiojärjestelmän toteutusmallin elinkaarivaiheet.

Kotimaassa suomeksi tuotettuja elinkaarimallihahmotelmia on historiasta löydettävissä esimerkiksi Suomen Automaation Tuki Oy:n vuonna 1992 julkaisemasta oppaasta ”Prosessin hallinta – Automaation tehtäväkuvaus”. Siinä kuvataan laitosprojektin vaiheiksi esimerkiksi esi-, perus- ja toteutussuunnittelu sekä valmistus ja käyttö [22]. Automaatiojärjestelmien elinkaarimalleja löytyy sähköteknisen alan standardeista useita. Tunnetuimpia ydinvoima-alalla käytettyjä elinkaarimalleja on esitetty IAEA:n turvallisuusohjeessa SSG-39 Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants, Specific Safety Guide

(2016) sekä standardissa SFS-EN IEC 61513 (2013) [23, 15]. Niissä elinkaari on esitetty turvallisuuden tai turvallisuudelle tärkeän järjestelmän näkökulmasta ja siihen rajoittuen. Kotimaassa eri osapuolien pitkään hyödyntämä elinkaarimalli löytyy Suomen automaatioseura ry:n julkaisusta Laatu automaatiossa – parhaat käytännöt, joka on alun perin julkaistu vuonna 2001. Teoksesta on julkaistu sähköinen versio vuonna 2012 [24]. Elinkaarimalli, joka teoksesta löytyy, on tämän kehitystehtävän osalta arvokas, sillä se on nimenomaan käyttöautomaation näkökulmasta luotu, edelleen pääosin validi ja juuri näistä syistä se sopii loistavasti tämän kehitystehtävän pohjaksi. Lisäksi tämä elinkaarimalli kuvaa tyypillisen perusautomaatiojärjestelmän elinkaarta, sillä oivalluksella, että siitä löytyy vaihe, josta elinkaari jakautuu kahdeksi eri elinkaareksi. Toinen elinkaari kuvaa perusautomaatiojärjestelmää ja toinen turvallisuuteen liittyvää järjestelmää.

Kehitystehtävässä päädyttiin luomaan yleiskäyttöinen elinkaarimalli (Kuva 13), joka yhdistää elinkaarimallin vaiheita

- Laatu automaatiossa -kirjasta [24]
- Fortum I&C Project Design -ryhmän käyttämistä elinkaariin liittyvistä kahdesta esityksestä [25, 26], joissa on hyödynnetty SFS-EN IEC 61513 (2013) -standardia, SSG-39 (2016) -turvallisuusopasta sekä Loviisan LABC-projektimallia. Loviisa ABC (LABC) on Loviisan voimalaitoksen investoinneissa yleisesti käytetty projektimalli.
- Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun prosessiautomaatiokoulutuksen ”Automaation elinkaari”-luennosta [27].

Standardisarjasta SFS-EN 61069 (2016) löytyy olennainen tieto, joka mahdollistaa perusautomaatiojärjestelmän elinkaarimallin pohtimisen. SFS-EN 61069 (2016) rajaa perusautomaatiojärjestelmän elinkaarimallin standardin ulkopuolelle. Turvallisuuteen liittyvän järjestelmän elinkaarimalli löytyy standardisarjasta SFS-EN 61508 (2010, 2011) tai, jos sovitaan käytettävän prosessiteollisuussektorille muokattua standardia, löytyy turvallisuuden elinkaarimalliohje standardisarjasta SFS-EN 61511 (2017). Tähän kehitystehtävään jää pelkästään

perusautomaation elinkaarimallin mukainen toteutusmallin kehittäminen ja sen rinnalle tulee tarvittaessa turvallisuuteen liittyvän järjestelmän elinkaarimalli.

Elinkaarimalli on automaatiojärjestelmän kokonaisuusnäkökulmasta yleisesti kattava. On kuitenkin muistettava, että koko elinkaaren ajan syntyä dokumentaatiota usealla automaatioon liittyvällä alueella. Elinkaarimallin vaiheiden rajat ja kunkin vaiheen nimi sekä vaiheeseen kuuluvat tehtävät ja dokumentit voidaan sopia yritys- ja projektiokohtaisesti. Olennaista on, että kaikki osapuolet tietävät, miten elinkaari on suunniteltu, sovittu ja miten se liittyy mahdolliseen projektimalliin.

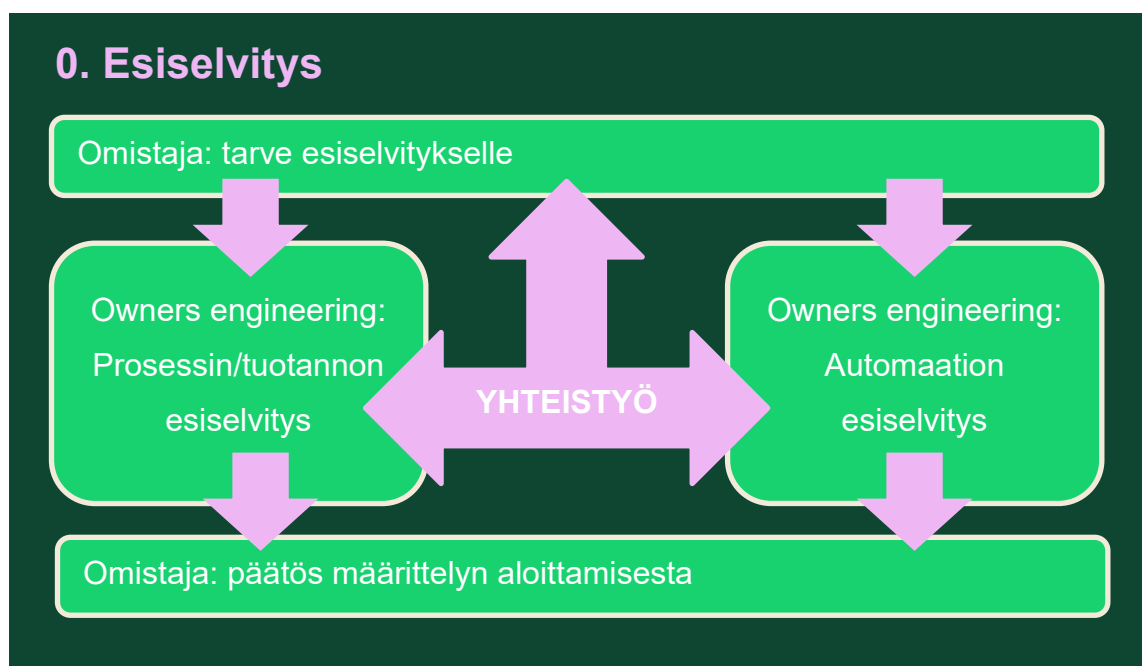
Jokainen järjestelmään lisäarvoa tuottava taho dokumentoi yhteiseen kokonaisuuteen liittyvää suunnittelua ja toteutusta. Automaatio-organisaatio voi koostua projektin- ja laadunhallinnan ammattilaisista sekä suunnittelualojen asiantuntijoista. Asiantuntijat tekevät muun muassa vaatimusten ja laadun hallintaa, järjestelmäsuunnittelua, asennussuunnittelua, konfiguraation ja muutoksen hallintaa, human-factors engineering (HFE) -työtä unohtamatta. Lisäksi mukana on hankintaihmissä, omistajatahon henkilöitä, kunnossapidon sekä käyttötoiminnan henkilökuntaa ja runsaasti muitakin toteutusta tukevia tahoja. Dokumentaation eheyteen ja hallintaan on kiinnitettävä erityistä huomiota työnsuunnittelumielessä, jotta työnkulut onnistuvat palvelemaan suunnittelun ja toteutuksen tarpeita. Kaikissa vaiheissa verifioidaan, että edellisen vaiheen tiedot ja suunnitelmat on huomioitu. Mahdolliset muutokset on myös tarkistettava. On erittäin hoidelmällistä varmistaa, että ne on tuotu hallitusti uuteen vaiheeseen siten, että kaikilla muutokseen liittyvillä tahoilla on käytössään sama tieto.

4.2 Esiselvitys

Esiselvitys aloitetaan idean, konseptin tai muun tarpeen käsittelyllä tavoitteena ymmärtää ja kuvata toteutettavaa kokonaisuutta siten, että siitä voidaan tehdä kannattavuusanalyysijä päätöksentekoa varten. Tarkoitus on selkeyttää päättäjille, mitä ratkaisuja ja vaihtoehtoja asiantuntijat esittävät, mitä ne arvioituina maksavat ja millaisilla resursseilla sekä aikatauluilla ne on mahdollista toteuttaa.

Ideatason dokumentti kootaan perustuen asiantunteviin arvioihin tarvittavasta laajuudesta, kustannuksista, resursseista ja aikataulusta.

Elinkaaren alkua edeltävää esivaihetta voidaan suuremmissa kokonaisuuksissa kutsua myös esimerkiksi konsepti-, esi- tai kannattavuustutkimukseksi. Tarpeen ollessa hyvin laaja, joltain osa-alueiltaan epäselvä tai muuten vaikeasti määriteltävä, voidaan päätöksen teon tueksi toteuttaa esiselvitys ja päättää sen perusteella määrittelyvaiheen aloituksesta. Jo tässä vaiheessa on syytä kommunikoida sidosryhmien kanssa ja alustavasti analysoida, mitkä sidosryhmät ovat tämän tehtävän kannalta tärkeimmät ja ketkä kyseisten sidosryhmien henkilöistä voivat vaikuttaa automaatiototeutuksen onnistumiseen. Samoin on hedelmällistä kirjata suuntaviivoja laatustrategiasta ja sen sisällöstä. Erityisen tärkeää on selvittää, halutaanko toteuttaa osa elinkaarivaiheista joko osittain tai kokonaan ulkopuolisin resurssein. Näin voidaan jo tässä vaiheessa varautua suunnittelemaan sekä oma toiminta että dokumentointi hankintoja varten sopiviksi kokonaisuuksiksi. Myös esiselvitys on mahdollista tuottaa ulkopuolisin resurssein.



Kuva 14 Esiselvityksen luonne.

Esiselvitysvaihe toteutetaan yhdessä kaikkien tekniikan osa-alueiden kanssa ja koko organisaatiota tukien. Vaiheen aikana syntyvät alustavat dokumentit voivat lähtötiedoista riippuen olla esimerkiksi:

- mahdollinen projektiluokittelu
- automaation toteutustehtävien yleiskuvaus
 - ”mitä ja miksi ollaan tekemässä”
 - arvio laajuudesta, rajapinnoista ja rajoitteista
- automaatiototeutuksen aikataulu
- investointiesitysaineisto automaation osalta
- kannattavuusanalyysi automaation osalta
- automaatiototeutukseen liittyvät laatu- ja toimintasuunnitelmaideat.

Idea- ja tarvetasolta syntyy dokumentaatiota, joka parhaimmillaan palvelee päätöksentekoa ja määrittelyvaiheen aloittamista siten, että esisuunnittelu pääsee alkamaan tehokkaasti heti päätöksen jälkeen. Tässä tapauksessa esiselvitysvaihe päättyy määrittelyvaiheen alkamiseen. Jos esi- ja perussuunnittelupäätös on kieltävä, niin konseptin suunnitteluun käytetyt resurssit eivät välttämättä mene hukkaan, vaan selvitetty tieto todennäköisesti tallennetaan mahdollisia tulevaisuuden tarpeita varten. Esiselvitysvaihe päättyy päätökseen määrittelyvaiheen aloittamisesta (Kuva 14).

4.3 Määrittely

Tavoitteena määrittelyvaiheessa on pystyä vaiheen aikana tarkentuvasti kuvaamaan automaatiototeutus niin pitkälle, että sen toteutussuunnittelu on mahdollista tehdä. Vaatimukset kootaan käyttäjiltä ja muista sidosryhmiltä. Samoin kootaan tekniset vaatimukset kaikista niihin liittyvistä lähteistä. Määrittelyvaihe sisältää esi- ja perussuunnitteluvaiheet. Esisuunnittelussa luodaan aineisto, joka tukee päätöksentekoa sekä toimii lähtötietona perussuunnitteluun. Perussuunnittelussa tarkennetaan dokumentaatiota sellaiselle tasolle, että toteutussuunnittelun hankinta on mahdollista.

Automaation toteutusorganisaatio saa lähtötietonsa prosessi-, laitos- ja sähkösuunnittelusta, jotka ovat vaiheistettuja siten, että myös automaatio suunnittelu pääsee jatkamaan suunnittelua jouhevasti. Mikäli kyseessä on olemassa olevan automaatoratkaisun uusiminen, automaation toteutusorganisaatio selvittää olemassa olevan järjestelmän automaatiotekniset lähtötiedot, dokumentoi ne ja verifioi, että dokumentit ovat ajantasaisia.

Määrittelyvaiheessa kommunikoidaan paljon muiden suunnittelualueiden kanssa ja ratkaisumalleja etsitään yhdessä. Yhä useammin on nähtävissä, yhteistyön merkitys muiden suunnittelualueiden kanssa on erittäin tärkeää. Resurssivalinnat ja resurssien toteutuksen aikainen alustava resurssisuunnittelu on yksi määrittelyvaiheen tärkeimpiä työtehtäviä, jotta aikaa jää myös riittävälle kollaboraatiolle ja laadun ylläpidolle.

Laatu on erittäin tärkeä osa-alue määrittelyvaiheessa. Mitä selkeämmin ja kattavammin vaatimusmäärittely tehdään, sitä kevyemmin projektin toteutus- ja testausvaiheet hoituvat. Laatudokumentoinnin on oltava kattavaa laatupolitiikasta lähtien. Laatusuunnitelmien kattavuus on hyvä suunnitella siten, että tulevaisuudessa tuotettava laatudokumentaatio on yksinkertaista ja eheätä. Laadukkaasti ja käytännönläheisesti toteutetut laatudokumentit ovat mainioita työkaluja kaikille hankkeessa toimiville osapuolille. Laadunvalvonnan näkökulmasta on huolehdittava alihankkijoiden ja toimittajien laatujärjestelmien auditoinnista, jotta laatuun on mahdollista luottaa. Laatu on mahdollista saavuttaa, kun jo määrittelyvaiheessa on sovittu, miten se saavutetaan. Laadukkaasti toimimalla säästetään runsaasti resursseja ja vältetään moninkertaista suunnittelua.

1. Määrittely

Omistaja, sidosryhmät, määräykset, ohjeet, standardit jne.

Esisuunnittelu

Vaatimusmäärittely alkaa
Alustavat suunnitelmat

- Automaatio, laatu, dokumentointi, toimintatavat, työkalut

Turvallisuusarviot (TLJ)

Budjettitarjouspyynnöt

Kustannusarviot

→ Investointipäätös

Perussuunnittelu

Toimintakuvaukset ja -kaaviot

Vaaran- ja riskiarviot

Tarkennetut suunnitelmat

Tarkennetut tarjouspyynnöt

→ Järjestelmähankinnat

→ Resurssihankinnat toteutussuunnitteluun

→ Toimittaja-auditoinnit

Vaatimusmäärittely valmistuu

Vaatimusmäärittelyesimerkki, vaatimus ja linkityksiä

YVL-1784 + Created: 2020-09-01 13:42, Updated: 2020-11-03 09:56

↑ YVL-1830 - 5240. Automaation vikaantumisten vaikutusten on rajoituttava seuraavien vaatimus...

↑ 1881 2082 +

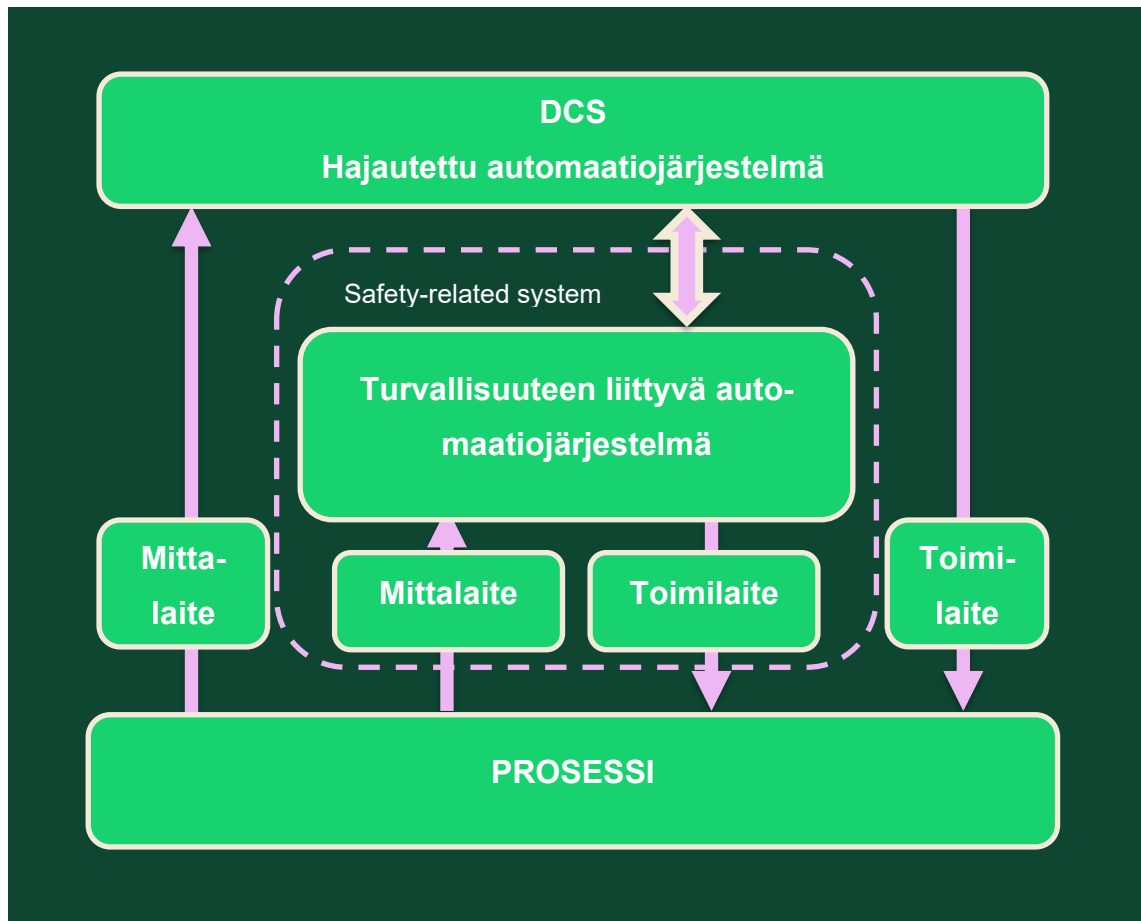
Kuva 15 Määrittelyn keskeisiä piirteitä

Jos toteutuksessa on kyse muutoksesta olemassa olevaan prosessiin ja järjestelmään, niin viimeistään tässä vaiheessa on syytä hankkiutua laitokselle selvittämään itselle perinpohjaisesti, missä muutosta tehdään ja miten sidosryhmät ajattelevat muutoksen toteutettavaksi. Prosessi-, sähkö-, kone- ja automaatio-suunnittelijoiden ja operaattorien yhteisiä ajotapalavereita on hyvä järjestää,

jotta prosessin käytännön toiminta ja operaattoreiden osaaminen saadaan osaksi määrittelyvaihetta. Määrittelyvaiheen aikana tai päätteeksi voidaan tehdä investointipäätös ja antaa toteutussuunnittelupa.

4.3.1 Esisuunnittelu, konseptisuunnittelu

Esisuunnittelun tavoite on kuvata riittävällä tasolla mahdollisesti hankittava automaation järjestelmä- tai kokonaisratkaisu. Tärkeimpinä tehtävinä esisuunnittelussa on pidettävä käytäntöjen sopimista, niiden järjestelmällisen toteuttamisen mahdollisuuksien varmistamista sekä käyttäjävaatimusten keräämistä, käsitteilyä ja muuntamista investointiesitystä tukevaksi aineistoksi. Investointiesitystä tukevalla aineistolla tarkoitetaan kaikkia dokumentteja, jotka esisuunnitteluvaiheen aikana luodaan. Jos kyseessä on tarkentuva dokumentaatio, niin esisuunnitteluvaiheessa tuotetaan niiden alustavat versiot. Alustavat lähtötiedot prosessista, sähköistyksestä, automaatiosta, rajapinnoista sekä muilta suunnittelun osa-alueilta mahdollistavat esisuunnittelulaajuuden rajaamisen tarkoituksenmukaiseen laajuuteen. Jos prosessisuunnittelussa on tehty toimintojen vaaran- ja riskinarviota ja niissä tunnistetaan tarve turvallisuuteen liittyviin järjestelmiin, otetaan nämä huomioon perussuunnittelua varten (Kuva 16).



Kuva 16 EYT-automaatiojärjestelmäkokonaisuuden konsepti.

On tärkeää huolehtia aineiston sisältävän myös suunnitelman alkavasta perussuunnittelusta. Jos hankkeessa on toteutettu esiselvitys, joka sisältää riittävästi tietoja esisuunnittelun taustaksi, voidaan esisuunnitteluvaiheeseen siirtyä jouhevasti. Mikäli esiselvitystä ei ole tai esiselvitystyö jatkuu esisuunnitteluna, on tarvittava dokumentaatio luotava ja viimeisteltävä esisuunnitteluvaiheen aikana.

Toteutuksen laajuuden määrittäminen ja perussuunnitteluvaiheen suunnittelu alkaa. Lähtötietoja kerätään kasaan automaatioarkkitehtuurin määrittelemiseksi sekä toiminto- että järjestelmäkuvausten alustavien versioiden aikaansaamiseksi. Mahdolliset jo olemassa olevat teknologiakonseptit huomioidaan. Tulevien vaiheiden dokumentointivastuiden suunnittelu on tässä vaiheessa olennainen osa toiminnan suunnittelua.

Positiokäytännön selkeyttäminen ja sopiminen on hedelmällinen tehtävä esisuunnitteluvaiheessa. Mikäli investointi koskee jotain tiettyä kokonaisuutta vaikkapa olemassa olevassa laitoksessa, voi positiointia tarvittaessa kokonaisuutta uhkaamatta kehittää. Laitepaikkaan perustuva signaaliposiopohjainen sekä mittaus- ja säätöpiireihin perustuva positiokäytäntö voivat toimia hienosti samassa laitoksessa.

Esisuunnitteluvaiheessa tuotetaan dokumentaatio hankintojen budjettikyselyitä varten ja saadut budjettitarjoukset huomioidaan kustannusarviossa. Kustannusarvio vaikuttaa olennaisesti toteutuksen jatkopäätöksiin.

Lähtötietoja tähän vaiheeseen voivat olla:

- positiointiohje
- alustavat PI-kaaviot
- prosessin periaatesuunnitelma
- luettelo prosessin toimintakuvauksista
- luettelo toiminta-, lukitus- ja sekvenssikaavioista
- signaali- ja piiriluettelot (positiotiedot)
- prosessi-, sähkölaite- ja moottoriluettelot
- automaatioarkkitehtuuri, liitännät muihin järjestelmiin ja mahdolliset jo olemassa olevat ylätasen lähtötiedot
- huomioonotettavat teknologiakonseptit, esimerkiksi maadoituskonsepti.

Alustavat lähtötiedot hankitaan esisuunnittelun aikana yhteistyössä muiden osa-alueiden kanssa, mikäli niitä ei jo ole saatavilla. Lisäksi esisuunnittelun aikana tuotettavia keskeisiä dokumentteja ovat:

- alustava järjestelmän vaatimusmäärittely
- automaation periaatesuunnitelma (PES)
- alustava työnositus (Liite 2)
- alustava automaation toiminnallinen kuvaus
- alustava toimintojen turvallisuusluokittelu
- alustava automaatioarkkitehtuurisuunnitelma
 - liittyvät järjestelmät ja rajapinnat

- alustava automaatiototeutuksen laatusuunnitelma
- sidosryhmäanalyysi ja alustavat sidosryhmävaatimukset
- alustavat piiri- ja instrumenttiluettelot
 - IO-määrät
 - alustavat laiteryhmä-määrittelyt laitoksen laitekanta huomioiden
- alustavat asennustavat ja niiden määrät
- alustavat testaussuunnitelmat
- alustavat lähtötiedot automaatiosta rakennus- ja sähkösuunnittelijoille
- hankintasuunnitelma
- tarvittavat budjetti- ja resurssitarjouspyyntöaineistot
- alustavat kustannusarviot ja aikataulut
- riskienhallintasuunnitelma
- perussuunnittelusuunnitelma ja tarkennukset kokonaisu-aikatauluun.

Esisuunnittelun päätteeksi on perussuunnitteluvaiheen resurssi- ja suunnittelu-sopimukset tehty ja kokonaisuuden ositus on valmiina tarkennettavaksi perussuunnittelun aikana toteutusta varten. Esisuunnittelu voi myös päättyä koko investoinnin lykkäämiseen tai jopa hautaamiseen, jos esisuunnittelun aikana tarkentuneen tiedon mukaan suunniteltu konsepti ei ole järkevällä tasolla kannattava investointi.

4.3.2 Perussuunnittelu

Perussuunnittelun tavoitteena on syventää kokonaisuuden osa-alueiden suunnitelmia siten, että määrittelyvaiheen jälkeinen yksityiskohtainen toteutussuunnittelu mahdollistuu (Kuva 17). Luonnollisesti tavoitteena on niin korkealaatuisen tiedon tuottaminen, että toteutussuunnittelua varten ei enää perussuunnittelun jälkeen tarvitse päivittää lähtötietoja.

Perussuunnittelu

Yleinen automaatio suunnittelu

- instrumentoinnin perussuunnittelu
 - piiriluettelo
 - kenttälaiteluettelot
 - IO-luettelo
 - valvomo- ja ristikytkentäsuunnittelu
 - asennussuunnittelun lähtötiedot
 - kenttälaitteiden hankinta
- automaatiojärjestelmän toiminnallinen suunnittelu
 - järjestelmäsuunnittelu

Tehtävä:

Alustavan dokumentaation tarkentaminen ja jäädytys hankintoja ja toteutussuunnittelua varten.

Aktiivinen yhteistyö omistajan automaatio-
sidosryhmien kanssa jatkuu. Huomioidaan:

- järjestelmän omistaja
- työsuunnittelu
- asennustyöryhmä.



Kuva 17 Tarkentuva automaation suunnittelu.

Perussuunnittelussa jatketaan esisuunnitteluvaiheen alustavan dokumentaation täydentämistä tarkempia tarjouspyyntöjä ja toteutussuunnittelua varten. Perussuunnitteluvaiheen aikana aloitetaan turvallisuuteen liittyvien järjestelmien suunnittelu.

Toteutuksen laajuus ja ositus tarkennetaan yksityiskohtaisemmalle tasolle. Lähtötietoja ja prosessin ajotapoja käydään läpi yhdessä prosessisuunnittelun ja

tarvittavien sidosryhmien kanssa. Sidosryhmiä ovat esimerkiksi omistajan ja olemassa olevan laitoksen vastuuhenkilöt, tuotannon vastuuhenkilöt, operaattorit ja kunnossapito. Järjestelmän vaatimusmäärittely ja yksityiskohtaiset toimintakuvaukset ja malliratkaisujen määräluettelot päivitetään sitovia tarjouspyyntöjä ja järjestelmän yksityiskohtaista suunnittelua varten. Joskus halutaan toteuttaa teknisiä edistysaskeleita ja hankitaan käyttöön ja tutkittavaksi oppivia mallipohjaisia säätöalgoritmeja ohjaustekniikassa ja kunnossapidon diagnostiikassa. Uudenlaiset ratkaisut voidaan huomioida tarjouspyynnöissä. Saatujen tarjousten perusteella tarkistetaan toteutuksen kustannusarviota ja kannattavuutta. Teknisen sekä kaupallisen kokonaisuuden tarkastelu voi jälleen johtaa päätöksiin toteutuksen hankinnoista, muotoilusta sopivammaksi tai jopa päättää koko toteutushankkeen.

Turvallisuuteen liittyvän automaation osalta määritetään riski- ja vaaranarvioinnin ja suojausanalyysien avulla toiminnallisen turvallisuuden eheystasot ja mahdollisia turvallisuuteen liittyviä järjestelmiä aletaan suunnitella eheystasojen mukaisesti. Arviointi- ja analysointityöhön hyödynnetään menetelmiä "hazard and operability study" (HAZOP) ja "layers of protection analysis" (LOPA). Arviointeja ja analyyskejä ei yleensä tehdä kaikille automaatiopiireille ja toisaalta tässä vaiheessa on tunnistettava tarvittavat turvatoiminnot. Turvallisuuteen liittyvä ohjausjärjestelmä voi olla relelogiikka tai turvahyväksytyt normioitu ohjelmoitava logiikkajärjestelmä. Piiripositioissa voidaan osoittaa piirin sisältyvän turvallisuuteen liittyvään järjestelmään lisäämällä piiritunnuksen loppuun kirjain Z. Tämä on melko yleinen käytäntö prosessiteollisuudessa. Loviisan ydinlaitoksessa, jossa on laitepaikkapohjainen positointi, tieto signaalin kuulumisesta turvallisuuteen liittyvään järjestelmään merkitään IO-luetteloon.

Lähtötietoina perussuunnitteluun käytetään muiden aikataulullisesti edellä vaiheistetusti etenevien suunnittelualueiden tuottamaa perussuunnitteludokumentaatiota. Tärkeimpänä näistä prosessisuunnittelun, mekaniikkapuolen ja sähköistyksen tarkentuneet tiedot järjestelmistä ja laitteista. Toimintakuvaukset ja alustavat toimintakaaviot saadaan suunnittelualueiden yhteiseen käsittelyyn joko ulkoiselta prosessitoimittajalta tai olemassa olevan prosessin

automatisoinnin ollessa kyseessä omalta prosessisuunnittelulta. Automaatiodokumentointi valmistellaan toteutussuunnittelun tarjouspyyntöprosessiin ja hankintaan. Perussuunnittelua tehdään usein järjestelmä- ja laitetoimittajan voimin, ja sitä voidaan myös omistajaorganisaatiossa tarvittaessa toteuttaa ulkoisin resurssein, jolloin Owners engineering -näkökulmasta omistajan valtuuttamat sisäiset tai ulkoiset resurssit valvovat ja tukevat tehtävissä ulkoista suunnittelijakumppania tai -alihankkijaa. Laatujärjestelmien mukaisesti ulkoisten resurssien toimittajien laatujärjestelmät auditoidaan, jolloin aktiivista päivittäistä laadunvalvontaa ja siihen liittyvää matkustamista on mahdollista vähentää. Omistajaorganisaation on hyvä hoitaa toteutusorganisaation sisäinen auditointi. Näin varmistetaan, että toiminta on mahdollisimman laadukasta kaikkien toimijoiden osalta.

Yleisesti perussuunnittelun tuloksena on dokumentaatio, joka määrittelee ja kuvaa järjestelmän, joka on vaatimusmäärittelyn perusteella määritetty. Järjestelmän toiminnallinen kuvaus kirjoitettuihin kuvauksiin ja toimintakaavioihin tulevat olemaan ne dokumentit, joita vasten järjestelmän toiminta validoidaan.

4.4 Toteutussuunnittelu

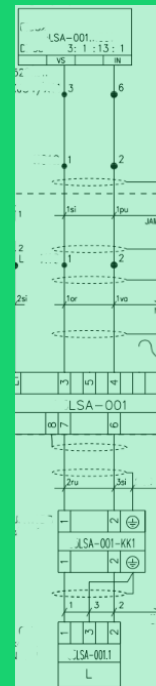
Toteutussuunnittelun tavoite on luoda esi- ja perussuunnittelun suunnitelmien ja kuvauksien pohjalta yksityiskohtainen ja yksiselitteinen tekninen toteutusaineisto. Jos mitään tietokantapohjaista suunnittelujärjestelmää ei vielä tähän mennessä ole hyödynnetty, on sen aika ja paikka tässä vaiheessa. Toteutussuunnitteluvaiheessa keskitytään nimensä mukaisesti hankittujen järjestelmien ja instrumentoinnin yksityiskohtaiseen suunnitteluun. Työnkulkuun liittyen on muistettava, että suunnitteluprosessi on usein iteratiivisesti tarkentuvaa ja vaatii kommunikaatiota suunnittelualueiden kesken, jotta tarvittavat detaljit saadaan oikein dokumentteihin. Operaattoreiden ja suunnittelijoiden yhteiset ajotapa-laverit on joko käyty tai käydään toteutussuunnittelun alkupuolella. Toteutussuunnittelu on voitu jakaa useaan vaiheeseen siten, että osakokonaisuudet ovat hallittavissa ja muodostavat yhdessä toiminnallisen kokonaisuuden. Resurssien ja laadun hallinta ovat ratkaisevassa osassa seuraavien vaiheiden

onnistumiseksi. Tehtäviä toteutussuunnittelussa on runsaasti. Päätasolla tehtävät jakautuvat järjestelmä- ja kenttäsuunnitteluun. Järjestelmäsuunnittelu keskittyy ohjelmistosuunnitteluun, järjestelmän konfigurointiin ja laitesuunnitteluun siten, että järjestelmästä muodostuu toimiva kokonaisuus. Toteutussuunnittelun perusteella järjestelmätoimittaja voi valmistaa ja kokoonpanna järjestelmän laitteet sekä ohjelmistot sovelluksineen. Toteutusta on mahdollista vaiheistaa toteutussuunnittelun edistymisen mukaisesti. Esimerkiksi kun toteutussuunnitteluun liittyvää toimintojen yksityiskohtien määrittelyä on valmistunut ennalta sovittu osa, on järjestelmätoimittajan mahdollista aloittaa järjestelmän laite- ja sovellustoteutus.

Toteutussuunnittelu

Muun toteutussuunnittelun ohessa instrumentoinnin detaljisuunnittelussa tehdään muun muassa

- instrumentoinnin piirikaaviot
- asennustyyppit laitteittain
- yhdepiirustukset
- laitesijoitus
- kenttäkotelosuunnittelu
- kaapelireittisuunnittelu
- kaapeliluettelot
- kilpiluettelot
- kytkentäluettelot
- asennussuunnittelu ja -hankinta



Järjestelmäsuunnittelu tiivistyy yksityiskohtaisiksi toimintakaavioiksi ja testaussuunnitelmiksi.



Kuva 18 Instrumentoinnin detaljisuunnittelua.

Kenttäsuunnitteluun sisältyy määritettyjen IO-luetteloiden mukainen ristikykentä, laitepaikkojen mukaan tehtävä kenttäkotelo- ja kaapelointisuunnittelu sekä liitintason kytkentöjen hoitaminen tietokantaan ja sitä kautta piirikaavioihin. Kenttäsuunnitteluun kuuluu läheisesti asennussuunnittelu, jota varten suunnitteludokumentaatiosta kootaan asennusta palvelevat dokumentit. Järjestelmä- ja kenttäasennukset on mahdollista tehdä sijoituspiirustusten, kaappidokumentoinnin, asennustyyppien sekä kaapeli- ja kytkentäluetteloiden avulla. Asennusuunnitelma palvelee asentajia parhaiten, kun dokumenttipaketissa on vain asentajien tarvitsemat dokumentit.

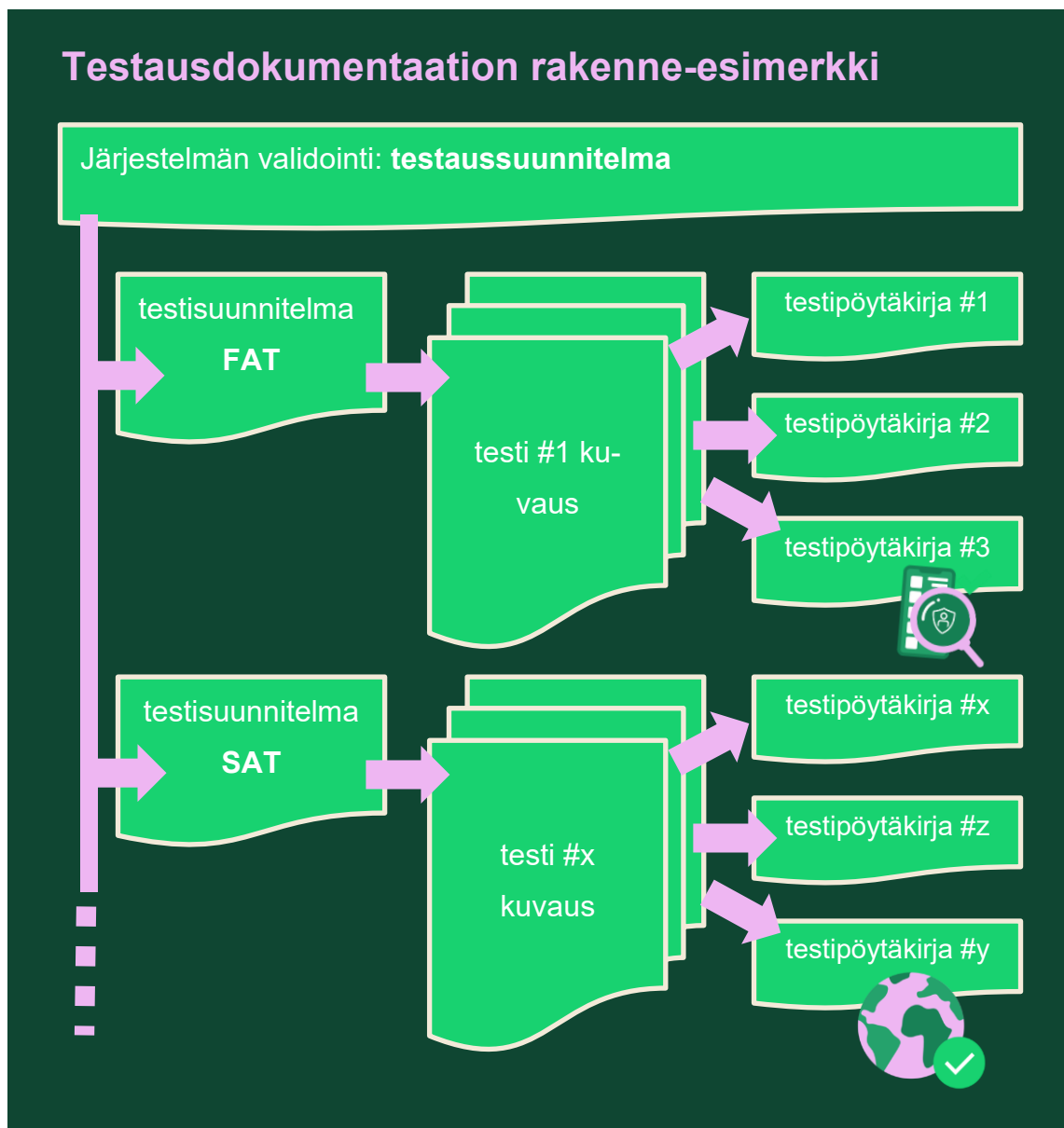
Kenttäinstrumentoinnin suunnittelu voi jatkua koko toteutussuunnittelun ajan ja asennushankinnat sekä -valmistelut on voitu vaiheistaa osittain järjestelmätoteutuksen kanssa rinnakkaisiksi tehtäviksi. Instrumentoinnin piirikaaviot ja sähköistyksen moottoripiirikaaviot piirretään tai useimmiten generoidaan suunnittelujärjestelmistä mallipiirikaavioiden perusteella. Kaikkien piirikaavioiden generointi ei välttämättä ole järkevää. Esimerkiksi, jos erikoisemman vähälukuisen mallipiirikaavioryhmän piirtämiseen menee enemmän aikaa kuin varsinaisten piirikaavioiden piirtämiseen, voidaan generointityö jättää pois ja tallentaa piirikaaviot sellaisinaan järjestelmään. Detaljitetiedot säilyvät tietokannassa oikeina, vaikka piirikaaviota ei ole generoitu. Piirikaavioissa on otettava huomioon, että joitain mittauksia tulee ja joitain toimilaitteita ohjataan perusautomaatiojärjestelmästä ja turvallisuuteen liittyvästä järjestelmästä turva-IO:n kautta. Perusautomaatiojärjestelmä keskustelee väylän avulla turvallisuuteen liittyvän automaatiojärjestelmän kanssa (Kuva 16). Piirikaavioiden korkea laatu yksityiskohtien osalta on erittäin tärkeää, sillä ne ovat testausta ja kunnossapitoa varten tehtyä dokumentaatiota. Piirikaaviot ovat korvaamaton työkalu vianhaussa.

Koko toteutussuunnittelu voidaan teettää ulkoisilla resursseilla, jolloin Owners engineering -organisaatio keskittyy ohjaamiseen, tukemiseen, ja toimitettavan dokumentaation laadun valvomiseen. Laatuun liittyy olennaisesti konfiguraation ja muutostenhallinta. Toteutussuunnittelun tuoksinassa voi olla haasteellista ja silti kuitenkin erittäin mahdollista ylläpitää jäljitettävää suunnitelmaversiointia

detaljitasolle asti. Toteutussuunnittelun aikana suunnitellaan usein myös turvallisuuden liittyvän järjestelmän kenttäosuus.

4.5 Toteutus ja tehdastestaus

Tavoitteena toteutuksessa ja tehdastestauksessa on tuottaa suunnitelmien mukainen toimiva järjestelmä ja validoida testaamalla, että se vastaa vaatimusmäärittelyä. Hankinnat, valmistaminen, kokoaminen ja testaus voidaan suorittaa omana työnä tai ne voidaan ulkoistaa tarkoitukseen sopivalla omistajan hyväksymällä tavalla ja laajuudella. Automaation toteutus- ja tehdastestausvaiheen aikana asiakkaan prosessitiloissa voi häiriä runsaasti rakennus- ja asennushenkilöitä valmistelemassa tiloja, prosessilaitteita ja -putkistoa. Mahdollisesti muiden toimittajien tiloissa valmistetaan samanaikaisesti muuntajia, sähkö- ja moottorikeskuksia, kenttäkoteloita ja muita laitteita asennettaviksi asennusvaiheen alkuhetkillä.



Kuva 19 Testausdokumentaatio.

Toteutukseen sisältyy lukuisia tehtäviä. Järjestelmätoimittaja aloittaa sovelluksen detaljitason ohjelmoinnin ja konfiguroinnin. Järjestelmätoimittaja myös hankkii tai valmistaa järjestelmän komponentit ja kokoonpanee järjestelmän yleensä omiin tiloihinsa omaa sisäistä ja asiakkaan kanssa yhdessä tehtävää tehdastestausta varten. Tehdastestaus lyhennetään englanninkielisenä Factory Acceptance Test (FAT) ja se voi sisältää monenlaisia laite-, kaappi-, järjestelmä-, integraatio- ja arkkitehtuuritason testauksia, joissa validoidaan, että järjestelmä koottuna on sekä sovellukseltaan että laitteiltaan vaatimusten

mukainen. Internal Factory Acceptance Test (iFAT) on järjestelmätoimittajan oma testaus ja customer Factory Acceptance Test (cFAT) on tehdastestaus, jossa asiakas on mukana. Muun muassa Valmet Automation käyttää näitä lyhenteitä. cFAT:ssa järjestelmän sovellusta testataan prosessisimulaattorin antamia lähtöarvoja vasten, mikäli sellainen on käytettävissä. Sovellustestauksessa jopa järjestelmän laitteet voivat olla eri laitteita kuin asiakkaalle on tulossa laitokselle. Sovelluksen testausta voidaan kutsua myös nimellä Configuration Acceptance Test (CAT). CAT lyhenne on käytössä esimerkiksi Honeywellillä. Signaalitestausta on perinteisesti tehty oikeilla kytkimillä, signaalinsyöttölaitteilla sekä lampuilla ja yleismittarilla. Nykyään yhä useammin sovelletaan ohjelmallista signaalien syöttöä ja tarkastelua. Tehdastestauksen suorittaminen on 2020-luvun alkuvuosien koronaepidemian aikana, ja sen jälkeen siirtynyt yhä lisääntyvässä määrin tietoverkossa toteutettavaan testaamiseen. Etänä suoritettavaa testausta hyödyntämällä matkustaminen ei ole välttämätöntä, jos se ei jostain syystä ole tarkoituksenmukaista.

Toteutusvaiheen loppupuolella tehdyn tehdastestauksen tavoitteena on validoida järjestelmä vaatimusmäärittelyjen ja suunnitelmien mukaiseksi. Testauksen suunnittelu ja dokumentointi on laadun kannalta olennaista (Kuva 19). Automaatiosuunnittelijat toimivat usein testauksen ja hyväksymisen resursseina ja dokumentoivat sovitulla tasolla testaus tulokset ja muut löydökset. Konfiguraation ja muutosten hallinta testausvaiheessa on erittäin tärkeää. Kun testaus on tehty laadukkaasti, on mahdollista hyväksyä järjestelmä sovituilta osiltaan testatuksi eikä kaikkea välttämättä tarvitse enää testata seuraavassa vaiheessa uudelleen. Tilaaja hyväksyy järjestelmän testatuksi testauspöytäkirjoja vastaan. Järjestelmän toimitus loppukäyttäjän tiloihin voi alkaa. FAT-testauksen tulokset ja löydökset tallennetaan ja niitä on mahdollista hyödyntää ennen käyttöönottoa Site Acceptance Testissä (SAT). Testien digitalisoinnin myötä voi toteuttaa sähköisen testauslomakkeen, jossa FAT-testin tarkastuspöytäkirjan huomiot näkyvät SAT-testin testauslomakkeessa.

Toteutusvaihe on oivallinen vaihe hoitaa operaattorien koulutuksia ja huolehtia, että kunnossapidolle elintärkeät dokumentit, kuten käyttö-, huolto- ja

kalibrointiohjeet, sekä positio- ja laitetiedot viedään kunnossapitotietokantaan. Toteutuksen tehtävät voidaan ulkoistaa kokonaan tai osittain.

Mahdollinen turvallisuuteen liittyvä automaatiojärjestelmä ja sen integraatio perusautomaatiojärjestelmän kanssa voidaan myös testata FAT:ssa. SIL-luokitellut turvatoiminnot testataan aina fyysisesti täsmälleen sillä samalla laitteistolla liitännöineen, joka myöhemmin tullaan asentamaan asiakkaalle.

4.6 Asennus

Järjestelmä odottaa kuormalavoilla automaatiotiloihin haalaamista ja kenttäinstrumentointi kenttäkoteloineen, kaapelihyllyineen ja kaapelikeloineen ovat kuljetuksessa asennusta ja kytkentää varten. Asennusvaihe on alkamassa. Järjestelmä- ja laitetoimitukset vastaanottotarkastetaan huolellisesti, järjestetään työmaalla varastoihin tai haalauksen kannalta mahdollisimman edullisiin paikkoihin. Instrumenttien kalibrointi ja mittausalueet on mahdollista tarkastaa ennen asennusta. Saatavilla olevat kalibrointitodistukset kootaan syötettäväksi kunnossapitajärjestelmään. Työnjohtajat ja asennusvalvojat organisoivat työmaan päivittäistä tekemistä ja raportoivat edistymästä organisaatiossa kokonaisuuksista vastaaville. Työmaalla ykkösasia on työturvallisuus. On erittäin tärkeää, että työ on mahdollista toteuttaa turvallisesti ja laadukkaasti (Kuva 20). Asennuskatselmuksissa tarkastellaan asennusten suunnitelmien mukaisuutta sekä laatua. Asennuksen aikana verifioidaan suhteessa suunnitelmiin.



Kuva 20 Näkymä turbiinihallista.

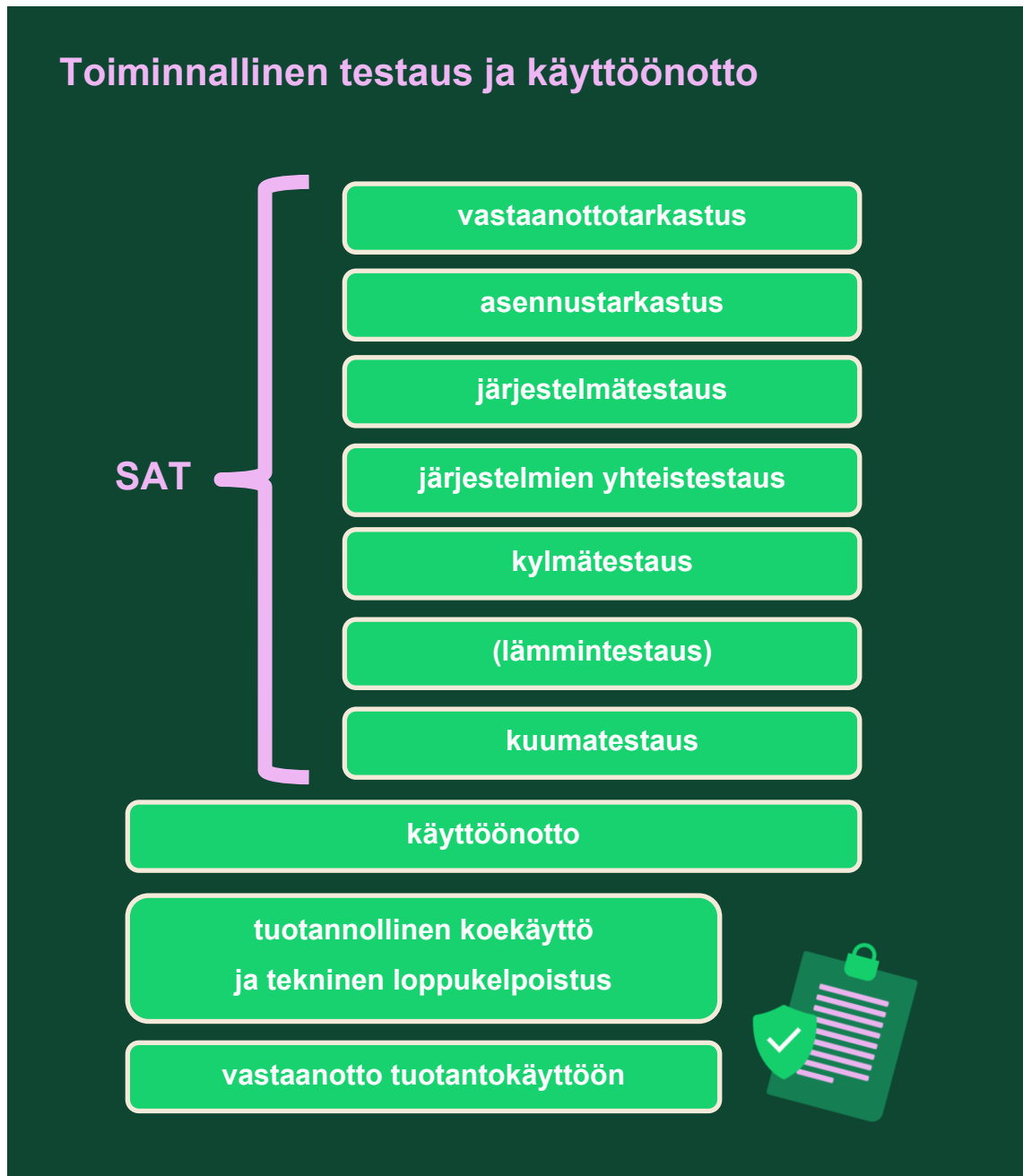
Asennuksen tavoite on siirtää vaatimusten mukaisen suunnitteludokumentaa-
tion esittämä kuva todelliseksi mekaanisesti ja sähköisesti asennetuksi auto-
maattioratkaisuksi. Suuremmissa toteutuksissa asennusta on ehkä pilkottu osiin
ja erillisiä asennusurakoita suoritetaan yhtä aikaa eri osakokonaisuuksien asen-
tamiseksi siten, että kokonaisuus valmistuu aikataulussa toiminnallista testausta
varten.

Mikäli asennustyö joudutaan tekemään suunnitelmasta poiketen, muutos merki-
tään tarkasti suunnitteludokumenttiin. Muutettu dokumentti on niin sanottu pu-
nakynäversio, jonka sisältämä muutostieto viedään asennusvaiheen jälkeen
projektin dokumentteihin. Signaalien kylmäkoestus voidaan toteuttaa asennus-
vaiheen lopuksi tai toiminnallisen testauksen aluksi. Suunnittelijat tuottavat do-
kumentaatiosta as built -version. Asennusvaihe päättyy hyväksytyyn asennus-
tarkastukseen.

4.7 Toiminnallinen testaus ja käyttöönotto

Toiminnallisen testauksen ja käyttöönoton tavoite on validoida prosessi- ja automaatiokokonaisuus vaatimuksien mukaisiksi.

Toiminnallinen testaus eli Site Acceptance Test (SAT) sisältää yleensä laajat signaali-, toiminnallisuus-, suorituskyky- ja turvallisuustestaukset. Mielenkiintoinen mahdollisuus on tulkita myös tarkastukset osana SATia (Kuva 21). SAT-lyhenne voidaan tulkita ainakin kahdella tavalla: Site Acceptance Test tai System Acceptance Test. Kummatkin tulkinnat voi ymmärtää oikeiksi. Sana "Site" ymmärretään lopullisella käyttöpaikalla suoritettavaksi testaukseksi ja "System" koko järjestelmän testaukseksi.



Kuva 21 Tulkinta SATin ja käyttöönoton vaiheista.

Ensin toteutetaan prosessin kylmätestaus, jos sitä ei ole tehty asennusvaiheessa. Kylmätestaus tarkoittaa signaalitestausta. Järjestelmän IO-signaalit ja liitännät toisiin järjestelmiin testataan sovitussa laajuudessa. Samalla tarkastetaan säätimien ja toimilaitteiden toimisuunnat ja moottorien pyörimissuunnat. Lämmintestauksessa voidaan, jos mahdollista, ajaa prosessia tai sen osia ilman varsinaisia prosessikemikaaleja. Lämmintestausta kutsutaan prosessilaitoksissa

vesiajoksi. Voimalaitoksissa, joissa ei ole niin runsaasti vesiprosesseja, ei yleensä tehdä lämmintestausta. Seuraavaksi suoritetaan kuumetestaus, jossa prosessi ajetaan ylös oikeilla prosessiaineilla ja -parametreilla. Kuumetestauksessa on suunnitellusti mahdollista testata ja virittää prosessin säätöjä ja turvatoimintoja.

Tuotantolaitteiden ja automaatiojärjestelmien testausvalmiuden noustessa osaprosessitasolle, on mahdollista aloittaa osaprosessien ja automaatiojärjestelmän tuotannollinen kelpoistaminen. Turvallisuuteen liittyvät järjestelmät testataan integroititesteissä perusautomaatiojärjestelmän kanssa. SATissa validoidaan, että automaatiokokonaisuus on tilaajan vaatimusten mukainen. Site Acceptance Test päättyy SATin hyväksymiseen.

SATin jälkeen valmistaudutaan käyttöönottoon. Käyttöönotossa laitos käynnistetään normaaliin tuotantoajoon. Yleensä samalla alkaa muutaman viikon mittainen tuotannollinen koekäyttö, jolloin sekä prosessia että automaatiojärjestelmäkokonaisuuksilla voidaan ennalta suunnitellun ohjelman mukaan suorittaa muitakin suorituskykymittauksia kuin pelkkää tuotantoajoa. Koekäyttöaikana kelpoistetaan eli validoidaan prosessin vaatimustenmukaisuus (prosessin loppukelpoistus) sisältäen automaation teknisen loppukelpoistuksen.

4.8 Tuotanto, kunnossapito ja muutokset

Koekäyttöajanjakson tullessa hyväksytyksi järjestelmät siirtyvät tuotantokäyttöön. Tilaajan hyväksytyä koekäytön tulokset ja loppudokumentaation, järjestelmät luovutetaan tilaajalle. Luovutuksen yhteydessä alkaa järjestelmän takuu-aika. Järjestelmiä kunnossapidetään valmistajan ohjeiden mukaisesti ja prosessimuutosten mukaan tehdään tarvittavia muutoksia. Järjestelmädokumentoinnin ylläpito ajantasaisena on äärimmäisen tärkeää käyttövarmuuden ja käytettävyyden ylläpitämiseksi sekä kustannusten pitämiseksi suunnitellulla tasolla.

4.9 Käytöstäpoisto

Järjestelmän tullessa lähemmäs elinkaarensa loppupäätä se joko korvataan kokonaan tai osittain uusilla järjestelmillä tai poistetaan kokonaan käytöstä. Käytöstäpoiston suunnittelu on osa järjestelmän elinkaaren hallintaa. Ydinlaitoksen käytöstäpoisto suunnitellaan nykyään ennen laitoksen rakentamista. EYT-järjestelmien suhteen oletus on, että ne eivät sisällä sellaista jätettä, joka olisi kontaminoitunut siten, että sitä joudutaan varastoimaan ydinjätevarastoihin. Toisaalta EYT-järjestelmiä voidaan tarvita sähköenergiatuotannon päättymisen jälkeen laitoksen pitkään kestävässä jäähdytysajon aikana esimerkiksi prosessikemian pyörittämisessä. Kun järjestelmä on purettu, sen elinkaaren aikana tuotettu dokumentaatio arkistoidaan.

5 Automaation toteutusmalli

Lyhyesti ilmaistuna tämän kehitystehtävän viitekehys on riittävän laadukkaaseen lopputulokseen johtavan toteutusmallin kehittäminen ilman ydinvoimalalle tyypillistä hyvin vaativia kelpoistus- ja valvontaprosesseja. Näistä lähtökohdista on viitekehukseen tiivistynyt seuraavia kysymyksiä:

- Miten kehitetään elinkaarimallin mukainen EYT-automaatiojärjestelmätoteutusmalli, joka sopii ydinlaitoksen vaatimuksiin?
 - Vastaus: Ydinlaitoksen vaatimuksiin sopivia toteutusmalleja on mahdollista kehittää yhteistyössä sidosryhmien kanssa.
- Miten kehitetty toteutusmalli muotoillaan houkuttelevaksi prosessiteollisuuden automaatiojärjestelmätöimittäjille?
 - Vastaus: toimittajien kanssa yhteistyössä siten, että toteutusmalli mahdollistaa prosessiteollisuudessa sovellettujen järjestelmien validoinnin EYT-sovelluksiin.

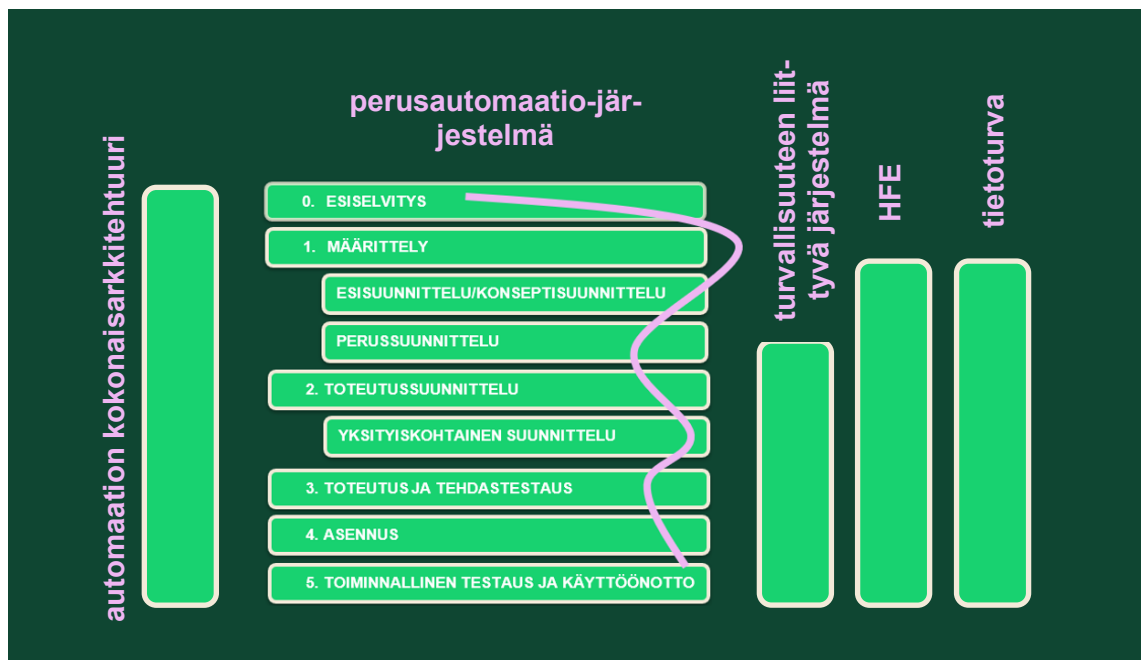
Yllä mainituista kysymyksistä on johdettu tarkentavia kysymyksiä, joita on muun muassa:

- Miten toteutusmallin avulla on mahdollista tehostaa toteutusprojektin läpikulkua, vahvistaa resurssien hallintaa ja säästää järjestelmän elinkaarikustannuksissa?
 - Lyhyt vastaus: tehostaminen on mahdollista sopimalla asiat yhdessä ja toimimalla yhdessä järjestelmällisesti.
- Miten juuri tälle toteutusmallille tärkeät sidosryhmät tunnistetaan ja miten heidät osallistetaan toteutusmallin jalkauttamiseksi?
 - Vastaus: sidosryhmät tunnistetaan sidosryhmäanalyysin avulla ja osallistaminen on mahdollista yhteistyötä jalostamalla.

Viitekehys on laaja. Tässä kehitystehtävässä keskityttiin löytämään ja raportoimaan näkökulmia yllä oleviin kysymyksiin siten, että toteutusmallin kuvaamia käytäntöjä on mahdollista alkaa hyödyntämään viiveettä.

5.1 Toteutusmalli käytännössä

Toteutusmalli on elinkaarimalliin sidottu tehtävien ositus ja kuvaus sekä vaatimusten määrittely ja järjestelmällinen toiminta vaatimusten toteuttamiseksi. Perusautomaatiojärjestelmän toteutusmalli integroidaan kokonaisuuden osaksi liittämällä mukaan automaation kokonaisarkkitehtuuri, toiminnallisen turvallisuuden elinkaari, HFE:n elinkaari ja tietoturvan elinkaari (Kuva 22).



Kuva 22 Toteutusmalli laajemmassa kontekstissa.

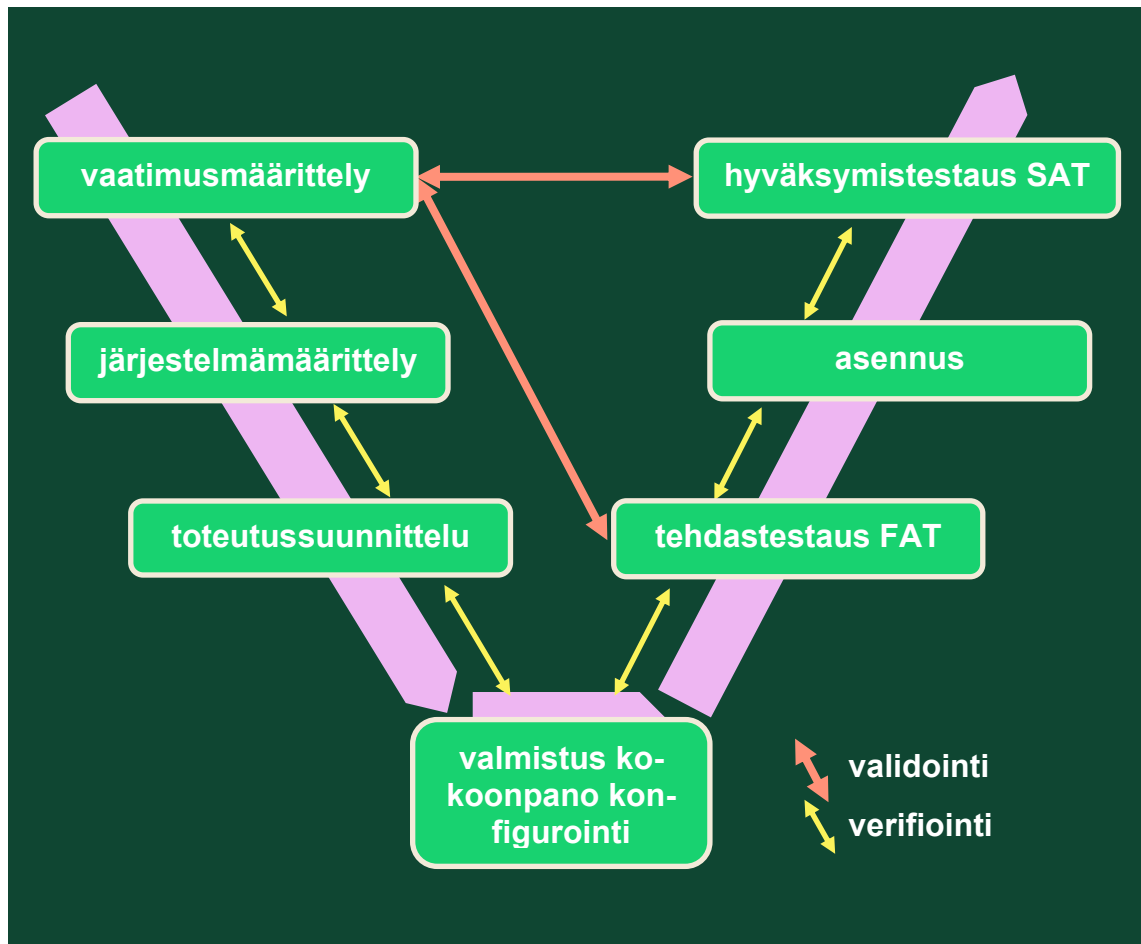
Elinkaarimallia voi hyödyntää osapuolien välisessä keskustelussa ja toteutusvaiheiden sopimisessa. Kunkin vaiheen alkamis- ja päättämisehdot voidaan sopia tarpeiden mukaan, kuten vaiheisiin kuuluvat tehtävätkin. Olennaista on, että vaiheiden riittävä kuvaaminen tuotettavine dokumentaatioineen on yksi elinkaarimalliin perustuvan yhteistyön onnistumisen edellytyksistä.

5.2 Dokumentoinnin optimointi

Varsinkin turvallisuusluokitelluissa projekteissa dokumentointi ja sen määrittely, tuottaminen, käsittely, tarkastus ja hyväksyntä on merkittävä ja olennainen osa

koko järjestelmän elinkaarta suunnittelusta toteutuksen kautta käyttöön, muutoksissa ja lopulta käytöstäpoistossa. Perusajatuksena pidetään, että vaatimukset määritellään tarkasti ja kattavalla dokumentoinnilla myös osoitetaan, että määritellyt vaatimukset tulevat täytetyiksi ja että järjestelmä on suunniteltu kokonaan valmiiksi ennen sen toimitusta laitokseen. Dokumentoinnissa on kuvattava turvallisuustoimintojen analyysit ja suunnittelu mahdollisimman tyhjentävästi.

Järjestelmän tehdastestauksen, asennuksen jälkeisen laitostestauksen ja käyttöönottotestauksen aikana järjestelmälle asetetut vaatimukset validoidaan mahdollisimman kattavasti ennen toimituksen hyväksymistä käyttöön. Usein hyödynnetty prosessimalli minkä tahansa kokonaisuuden määrittelemisen, suunnittelun sekä toteuttamisen jälkeiseen validointiin ja verifointiin on niin sanottu V-malli, jonka avulla voidaan visuaalisesti kuvata prosessin vaiheita, rooleja ja niissä toteutettavia kelpoistuksia ja varmennustoimenpiteitä. V-mallia on käytetty monissa ohjeissa ja standardeissa. Esimerkkinä V-mallin käytöstä esitetään IAEA:n SSG-39 (2016) -turvallisuusohjeessa tarkemmin kuvattu järjestelmän toteutuselinkaaren aikaisten validointi- ja verifointitoimenpiteiden suhde elinkaaren tehtäviin (Kuva 23) [21]. Validointi tässä yhteydessä tarkoittaa prosessia, jossa varmennetaan, että toteutettu ratkaisu täyttää sille annetut vaatimukset. Verifointi tarkoittaa vaatimusten täyttämisen vahvistamista tarkastamalla verifioinnin kohde ja todentamalla vaatimusten täytyminen objektiivisilla todisteilla.



Kuva 23 Mukailtu V-malli automaation elinkaaren aikaisesta verifiointista ja validoinnista.

EYT-projekteissa dokumentoinnin voidaan olettaa olevan huomattavasti kevyempää. Osittain se on, sillä turvallisuustoimintojen käsittely projektin eri vaiheissa on vähäisempää ja voidaan hoitaa tavoilla, jotka eivät sisällä ydinturvallisuuteen liittyviä viranomaisprosesseja. Dokumentoinnin keventäminen EYT-projekteissa on monitahoinen haaste. Toisaalta toiminnot eivät liity ydintekniseen turvallisuuteen, joten siltä osalta voidaan ohittaa dokumentointia ja siihen liittyviä aikaa vieviä prosesseja. Järjestelmä on joka tapauksessa toteutettava laadukkaasti ja tehokkaasti toiminnallisen turvallisuuden vaatimukset huomioiden. Suunnittelun ja sen hyväksyttämisen osuutta ei siis voi väheksyä ja laadukkaan toiminnan ylläpitämiseksi on ominaisuudet ja toiminnot dokumentoitava huolellisesti kaikki toiminnot huomioon ottaen, jotta ne voidaan testaus- ja käyttöönottoaiheissa todeta hyväksytyjen suunnitelmien mukaisiksi.

Konfiguraation- ja muutoksenhallinta ovat olennaisia laadukkaan toteutuksen toteuttamiseksi. Konfiguraationhallinta kattaa koko ydinlaitoksen elinkaaren suunnittelusta käytöstäpoistoon. Yleisesti on mahdollista keskustella, että voisiko joidenkin menetelmiä hyödyntää myös käyttöautomaatiojärjestelmien elinkaaren aikana yleisemmin prosessiteollisuudessakin.

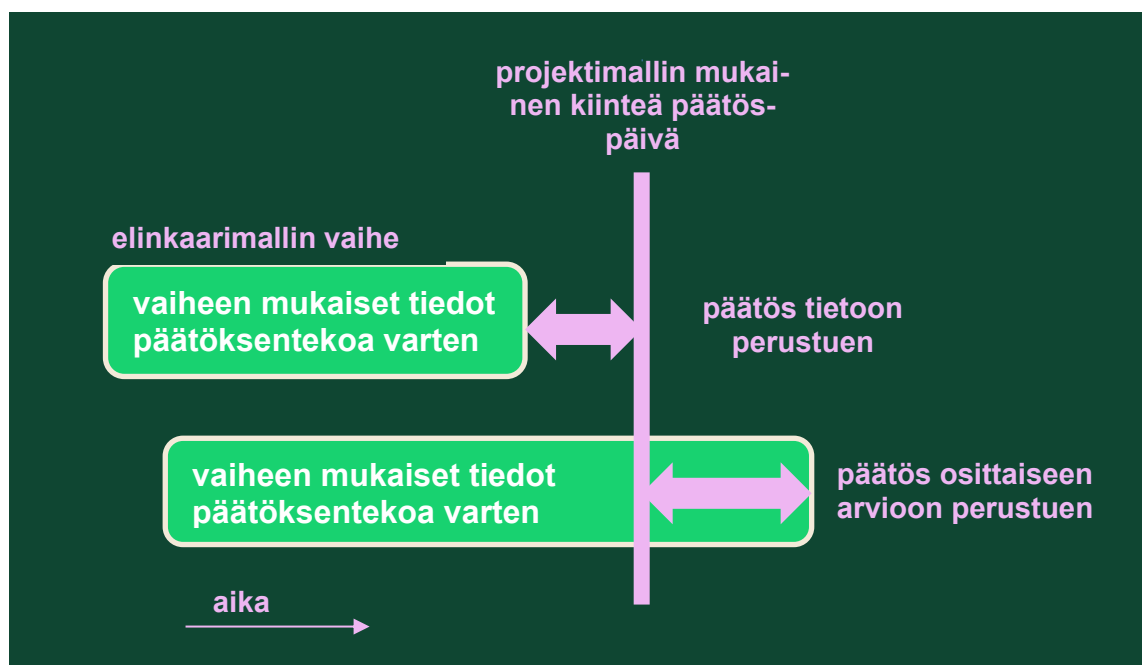
5.3 Toimintaohjeiden kehitys ydinlaitoksella

Ydinlaitoksella julkaistut toimintaohjeet ovat tärkeä osa toimintakulttuuria. Ohjeita on paljon, niihin viitataan runsaasti ja tarvittaessa ohjeita päivitetään. Ohjeistuksen noudattaminen on tärkeää, jotta tavoitteena oleva turvallisuus toteutuu täysimääräisenä. Haasteina ohjeiden luonnissa ja ylläpidossa voi pitää mahdollisuutta, että samaa asiaa ohjeistetaan useammassa ohjeessa tai että ohjeet eivät ehkä ole niin selkeitä, kuin voisivat olla. Tällöin on mahdollista, että tietyn asian hoitaminen voi osoittautua monimutkaiseksi. Ohjeiden toteuttaminen saattaa vaatia tulkintaa. Ajan mittaan tulkinnat muotoutuvat käytännöiksi. Käytännöiksi muodostuneet toimintatavat ovat tuiki tärkeitä tuntea, jotta niitä on mahdollista muuttaa.

6 Lopuksi

Kehitystehtävän lopuksi on todettava, että aiheen tutkiminen johtaa helposti uusien kehittämistehtävien alkuun. Alussa poisrajatut automaation toteuttamisen osa-alueet, kuten human-factor engineering ja tietoturvallisuus ovat todella suuria ja merkittäviä kokonaisuuksia, joiden mukana pito elinkaaren vaiheissa on tärkeää. Näiden osa-alueiden syvempi ymmärtäminen ja liittäminen toteutusmalliin kiinteämmin jää tehtäväksi tulevaisuudessa. Vaatimusten hallinnan toteuttaminen ja jatkuva parantaminen käytännön ymmärryksen lisäämiseksi tulee olemaan laaja ja mielenkiintoinen työmaa.

Kehitystehtävän löydöksistä merkittävimmät liittyvät standardeihin. Perusautomaatiojärjestelmän paikka ja missio kokonaisarkkitehtuurissa osoitetaan standardin SFS-EN 61069 (2016) avulla. Turvallisuuteen liittyviä järjestelmiä ohjaavat standardit SFS-EN 61508 (2010, 2011) ja SFS-EN 61511 (2017) ovat käytännössä haasteellisempia, koska niiden mukaisuutta voidaan vaatia jopa päällekkäisyyksiin asti. Niissä kuvataan samoista asioista eri nimillä ja termistö on reaali maailmassa jonkin verran sekoittunut.



Kuva 24 Elinkaarimallin suhde projektimalliin.

Perusautomaatiojärjestelmän toteutusmalli ja mahdollisesti sovellettu projektimalli erotettiin kehitystehtävässä tarkoituksella. Käytännön kokemukset ovat osoittaneet, että projektien johtamista suoritetaan ilman kunnollista kytkentää vaiheittain etenevään teknisen kokonaisuuden, esimerkiksi automaatiojärjestelmän, toteuttamiseen. Päätöksiä saatetaan tehdä esimerkiksi aikatauluriippuvaisesti ottamatta huomioon, mitkä ovat päätöksenteon edellytykset toteutustilanteissa tai tekniikan osalta. Suoraviivainen oikaiseminen vaativissa ja monimutkaisissa ratkaisutoteutuksissa on iso riski taloudellisessa sekä resurssi ja aikataulumielessä. Ratkaisu on kuitenkin yleensä toteutettava vähintään teknisten minimivaatimusten mukaisesti.

Johtopäätöksenä todettakoon, että standardeihin perustuva EYT-automaatioratkaisun toteutus on mahdollista ja perusteltavissa. Standardit jopa auttavat ratkaisun määrittelyssä. On kuitenkin muistettava, että ihminen on vastuussa järjestelmien toteuttamisesta ja toiminnasta. Alusta alkaen koko toteutuksen aikainen jatkuva yhteistyö sidosryhmien kanssa mahdollistaa laadukkaan lopputuloksen. Osaamisen ja luottamuksen lisääntyessä sekä digitaalisten työkalujen käyttöönotolla voidaan elinkaareen perustuvan toteutusmallin vaiheita optimoida ja ajallisesti lyhentää. Kokemusta on.

Lähteet

- 1 Fortum Media Bank. 2025. Fortum. Luettu 22.3.2025.
- 2 Haemme uutta käyttö lupaa Loviisan ydinvoimalaitokselle. 2025. Verkkodokumentti. Fortum. <<https://www.fortum.fi/tietoa-meista/energiantuotanto/voimalaitoksemme/loviisan-voimalaitos/fortum-hakee-uutta-kayttolupaa-loviisan-ydinvoimalaitokselle>>. Luettu 22.3.2025.
- 3 Energiavuosi 2024 Sähkö. 2025. Verkkodokumentti. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/wp-content/uploads/2025/01/Sahkovuosi-2024_20250115.pdf>. Luettu 24.3.2025.
- 4 Loviisan voimalaitos. 2025. Verkkodokumentti. Fortum. <<https://www.fortum.com/fi/tietoa-meista/energiantuotanto/voimalaitoksemme/loviisan-voimalaitos>>. Luettu 25.5.2025.
- 5 Loviisan ydinvoimalaitos Käyttölupahakemus voimalaitos. 2022. Verkkodokumentti. Fortum Power and Heat Oy. <<https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/DownloadProposalAttachment?proposalId=6db2879c-87d9-40fe-ace1-e52508d0e94e&attachmentId=17435>>. Luettu 25.5.2025.
- 6 Valmet uusii turbiiniautomaatiojärjestelmät ja koulutussimulaattorin Fortumin ydinvoimalaitoksella Loviisassa. 2024. Verkkodokumentti. Valmet Oyj. <<https://www.valmet.com/fi/media/uutiset/lehdistotiedotteet/2024/valmet-uusii-turbiiniautomaatiojarjestelmat-ja-koulutussimulaattorin-fortumin-ydinvoimalaitoksella-loviisassa/>>. Luettu 20.3.2025.
- 7 Loviisan voimalaitoksen viestintä. 2025. Valokuva. Fortum Power and Heat Oy.
- 8 Ydinenergiain kokonaisuudistus. 2023. Verkkodokumentti. Työ- ja elinkeinoministeriö. <<https://tem.fi/hanke?tunnus=TEM032:00/2023>>. Luettu 30.3.2025.

- 9 SFS-/IEC-/EN-standardit. 2025. Verkkodokumentti. SESKO ry.
<<https://sesko.fi/standardit/sfs-iec-en-standardit/>>. Luettu 30.3.2025.
- 10 Ydinlaitosten toiminta. 2023. Verkkodokumentti. Säteilyturvallisuuskeskus.
<<https://stuk.fi/ydinlaitosten-toiminta>>. Luettu 30.3.2025.
- 11 Ydinturvallisuusohjeet (YVL-ohjeet). 2023. Verkkodokumentti. Säteilyturvallisuuskeskus. <<https://stuk.fi/yvl-ohjeet>>. Luettu 2.4.2025.
- 12 Ydinvoimalaitoksen turvallisuussuunnittelu, 15.6.2019, YVL B.1. 2019. Verkkodokumentti. <<https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLB-1>>. Luettu 25.5.2025.
- 13 IEC TR 63400:2021 ed1.0 (2021-11). Nuclear facilities - Instrumentation, control and electrical power systems important to safety - Structure of the IEC SC 45A standards series. 2021. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.
- 14 Sirviö, Arto. 2025. Ryhmäpäällikkö, SESKO ry, Helsinki. Keskustelu standardeista 24.2.2025.
- 15 SFS-EN 61513. Nuclear power plants - Instrumentation and control important to safety - General requirements for systems (IEC 61513:2011). 2013. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.
- 16 IEC/TR 61508-0:fi. Sähköisten/elektronisten/ohjelmoitavien elektronisten turvallisuuteen liittyvien järjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Osa 0: toiminnallinen turvallisuus ja IEC 61508. 2011. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.
- 17 Alve, Jukka. 2025. Ryhmäpäällikkö, SESKO ry, Helsinki. Keskustelu standardeista 25.2.2025.

- 18 SFS-EN 61069. Industrial-process measurement, control and automation. Evaluation of system properties for the purpose of system assessment. 2016. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.
- 19 Joki-Korpela E., Vehviläinen O. 2009. Vaatimushallinta automaatiohankintaprosessin peruspilarina. Seminaariesitys Automaatio 2009. Helsinki: Suomen Automaatioseura ry.
- 20 Renlund M., Taskinen V. 2004. Vaatimushallinnan soveltamismahdollisuudet ydinturvallisuuden parantamisessa Suomessa. Verkkodokumentti. Säteilyturvakeskus. <<https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014120248715>>, luettu 15.5.2025
- 21 ISO/IEC/IEEE 29148 Systems and software engineering — Life cycle processes — Requirements engineering. 2018. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.
- 22 Prosessin hallinta – Automaation tehtäväkuvaus. 1992. Helsinki: Suomen Automaation Tuki oy.
- 23 IAEA Safety Standards, Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants. Specific Safety Guide No. SSG-39, <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1694_web.pdf>, luettu 10.4.2025
- 24 Laatu automaatiossa – Parhaat käytännöt. 2012. Helsinki: Suomen Automaation Tuki oy.
- 25 Heikkilä, Mika. 2025. Project lifecycle model. Fortum Power and Heat Oy.
- 26 Heikkilä, Mika. 2025. Automation lifecycle model. Fortum Power and Heat Oy.

- 27 Mäkelä, Merja. 2024. Automaation elinkaari. Luentoesitys. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

Perusautomaatiojärjestelmän vaatimusmäärittely, esimerkki

Esimerkissä on sovellettu perusautomaatiojärjestelmän vaatimusmäärittelyn ot-sikkotason luonnos englanniksi (System Requirements Specification, outline) joka sisältää lähtötietoja järjestelmän hierarkisen ominaisuusrakenteen standardista SFS-EN 61069 (2016).

- Functionality
 - Coverage
 - Configurability
 - Flexibility
 - (general)
 - Scalability
 - Variability
 - Enhanceability
- Performance
 - Accuracy
 - Response time
 - Capacity
- Dependability
 - Availability
 - Reliability
 - Maintainability
 - Credibility
 - Integrity
 - Security
- Operability
 - Efficiency
 - Intuitiveness
 - Transparency
 - Robustness
- System safety

- Hazard reduction
- Hazard isolation
- Immunity/robustness
- Aversion
- Mitigation
- Other system properties
 - Quality assurance
 - System support
 - (general)
 - Technical services
 - Maintenance services
 - Documentation
 - Training
 - Compatibility
 - Physical

Perusautomaatiojärjestelmätoteutus, työnositus, esimerkki

- Määrittely
 - Esisuunnittelu (alustavat versiot)
 - Lähtötietojen kokoaminen
 - Käyttjävaatimukset
 - Dokumentoinnin suunnittelu
 - Laadun suunnittelu
 - Järjestelmäsuunnittelu
 - Instrumentoinnin kenttäsuunnittelu
 - Hankinta
 - Kustannusarviointi
 - Perussuunnittelu (tarkentuva dokumentaatio)
 - Vaatimusmäärittely
 - Järjestelmasuunnittelu
 - Instrumentoinnin kenttäsuunnittelu
 - Testaussuunnittelu
 - Hankinta
 - Laadun
 - Kustannusarviointi
- Toteutussuunnittelu
 - Vaatimusmäärittely
 - Järjestelmasuunnittelu
 - Testaussuunnittelu
 - Instrumentoinnin kenttäsuunnittelu
 - Asennussuunnittelu
 - Hankinta
- Toteutus ja tehdastestaus
 - Järjestelmätoteutus
 - Toteutuksen valvonta
 - Testaus ja testauksen valvonta
 - Logistiikka
 - Hankinta

- Asennus
 - Järjestelmän asennus
 - Instrumentoinnin asennus
 - Työmaan organisointi ja valvonta
 - Asennussuunnittelun ylläpito ja punakynäversioiden päivitys
 - Testaus ja testauksen valvonta
 - Dokumentaation vienti kunnossapitojärjestelmään
- Toiminnallinen testaus ja käyttöönotto
 - Testaus ja testauksen valvonta
 - Käyttöönoton organisointi ja valvonta
 - Dokumentaation vienti kunnossapitojärjestelmään
 - Arkistointi