



Turva-automaatiojärjestelmän elinkaari- kartoitus

Roope Reponen

Opinnäytetyö, AMK

Marraskuu 2024

Insinööri (AMK), Energia- ja ympäristötekniikka

Roope Reponen

Turva-automaatiojärjestelmän elinkaarikartoitus

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Marraskuu 2024, 39 sivua.

Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Valmet Automation Oy:n Jyväskylän Service-tiimille oli tullut ajankohtaiseksi kartoittaa asiakkaansa HIMA-turva-automaatiojärjestelmän elinkaari. Elinkaarikartoituksessa oli tarkoitus selvittää, kuinka pitkä turva-automaatiojärjestelmän elinkaari on sekä mitä kunnossapitotoimia järjestelmille tarvitaan ja kuinka usein. Tulokset oli tarkoitus koostaa Excel-taulukkoon, mikä mahdollisti tulosten jatkohyödyntämisen tulevaisuudessa.

Asiakkaalle asennettujen laitteiden tietoihin päästiin kiinni toimeksiantajan dokumentaation avulla. Dokumentaatiosta haettiin tietoa asennetuista laitteista, jotta tiedonhaku laitevalmistajan manuaaleissa osattiin kohdistaa oikein. Laitekannan selvityksessä selvisi, että asennetut laitteet olivat HIMax- ja HIMatrix F35 -laitteita. Näin ollen tutkimus pystyttiin rajaamaan vain kyseisiin laitteisiin.

Elinkaarikartoituksen tuloksena löydettiin kunnossapitotoimet, joita HIMA vaati suoritettavaksi koskien HIMax- ja HIMatrix F35 -laitteita. Kunnossapitotoimet olivat tuulettimien sekä ylijännitesuodattimien vaihtaminen, käyttöjärjestelmän päivitykset sekä laitteiden testaukset. Kyseisten toimien huomioiminen kunnossapitotoiden suunnittelussa sekä myynnissä helpottuvat, kun tiedetään tarkkaan, millaisista kunnossapitotoimista on kyse. Turva-automaatiojärjestelmien elinkaaren pituudesta saatiin selville HIMA:n lausuntojen perusteella vain, kuinka pitkään heidän laitteidensa laitetuki säilyy laitteen julkaisun jälkeen. HIMA:n laitetuki säilyy n. 25 vuotta.

Tavoite saavutettiin osittain. Turva-automaatiojärjestelmän elinkaaren pituutta ei saatu suoranaisesti selville, mutta tärkeimpään kysymykseen kuitenkin saatiin vastaus eli mitä kunnossapitotoimia laitteille tulee tehdä. Tulevaisuudessa voisi selvittää kunnossapitotoimet muillekin HIMA-laitteille.

Avainsanat (asiasanat)

Turva-automaatiojärjestelmä, elinkaarikartoitus, HIMA

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Ei salassa pidettäviä liitteitä.

Roope Reponen

Life cycle mapping of a safety related automation system

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, November 2024, 39 pages.

Degree Programme in Energy and Environmental Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

It had become topical for Valmet Automation Oy's Jyväskylä Service team to survey the life cycle of their customer's HIMA safety related automation system. The purpose of the life cycle survey was to find out how long the life cycle of a safety related automation system is, what maintenance measures are needed for the systems and how often. The results were to be compiled in an Excel spreadsheet, which would allow the results to be used further in the future.

The information on the equipment installed for the customer was accessed with the help of the client's documentation. Information on installed equipment was retrieved from the documentation so that information retrieval in the equipment manufacturer's manuals could be targeted correctly. A survey of the equipment base revealed that the installed devices were HIMax and HIMatrix F35 devices. Therefore, the study could be limited to these devices only.

As a result of the life cycle survey, the maintenance activities that HIMA required to be carried out for the HIMax and HIMatrix F35 equipment were identified. Maintenance activities included replacing fans and surge filters, operating system updates and equipment testing. It becomes easier to take these measures into account in the planning and sales of maintenance work when it is known exactly what kind of maintenance measures are involved. As for the lifespan of safety related automation systems, based on HIMA's statements, only how long device support for their devices will remain after the device's release. HIMA's device support will remain for approx. 25 years.

The objective was partially achieved. The lifecycle length of the safety related automation system could not be directly determined, but the most important question was answered, i.e. what maintenance measures should be performed on the equipment. In the future, maintenance measures for other HIMA equipment could also be investigated.

Keywords/tags (subjects)

Safety related automation system, life cycle survey, HIMA

Miscellaneous (Confidential information)

No confidential appendices.

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Toimeksiantaja	6
2.1	Automaatiojärjestelmät	7
3	Tutkimus	7
3.1	Tavoitteet ja rajaus.....	7
3.2	Tutkimusmenetelmät.....	8
3.3	Eettisyys ja luotettavuus	9
3.4	Tutkimuksen toteutus	9
4	Kunnossapito ja vikaantuminen	10
4.1	Kunnossapito standardien mukaan.....	10
4.2	Kunnossapidon kehitys.....	11
4.3	Vikaantuminen	12
4.4	Kunnossapitolajit.....	15
4.4.1	Suunnittelematon kunnossapito	16
4.4.2	Ehkäisevä kunnossapito.....	18
4.4.3	Parantava kunnossapito	19
4.4.4	Muu kunnossapito	19
5	Turva-automaatiojärjestelmä	20
5.1	Turva-automaatiojärjestelmän elinkaari.....	21
5.2	Toiminnallinen turvallisuus	25
5.2.1	HAZOP	26
5.3	Turva-automaatiojärjestelmän kunnossapito.....	28
6	HIMA Paul Hildebrandt GmbH + CO KG	29
6.1	Historia ja nykytilanne.....	29
7	Laitteet	30
7.1	Standardit.....	30
7.2	HIMax	30
7.2.1	HIMax-kortit ja -pohjalevy	30
7.2.2	HIMax-kunnossapito.....	31
7.3	HIMatrix F35.....	32
7.3.1	HIMatrix kunnossapito	33
7.3.2	HIMatrix I/O -moduulit ja kunnossapito.....	33
7.4	Laitetuki.....	33

8 Tulokset	34
9 Pohdinta	35
Lähteet	37

Kuviot

Kuvio 1. Tapaustutkimuksen vaiheet	8
Kuvio 2. Kylpyammekuvaaja	13
Kuvio 3. Vikaantumismallit.....	14
Kuvio 4. Kuvaaja F	14
Kuvio 5. PSK 6201 -Kunnossapitolajit.....	16
Kuvio 6. ”Siirretty korjaus aikajanalla, vaikutus tuotantoon. Korjaus suoritettu viiveellä poikkeamahavainnon jälkeen ilman tuotantovaikutusta.”	17
Kuvio 7. Kohteen toiminnassa on havaittu poikkeama, mutta korjaus on päätetty toteuttaa suunnitellun seisokin aikana.	18
Kuvio 8. TAJ:n elinkaaren vaiheet	22
Taulukko 1. SIL, RRF ja PFDavg.....	26
Kuvio 9. Esimerkki HAZOP-menetelmästä.	28
Kuvio 10. HIMax-yksikkö	31
Kuvio 11. HIMatrix F35.....	32
Kuvio 12. HIMax ja HIMatrix F35 kunnossapitotoimenpiteet.....	34
Kuvio 13. Esimerkki Excel-taulukosta.....	35

Taulukot

Taulukko 1. SIL, RRF ja PFDavg.....	26
-------------------------------------	----

1 Johdanto

Prosessiteollisuudessa käsitellään mm. vaarallisia kemikaaleja, jotka voivat olla haitaksi niin ihmisille kuin myös ympäristöllekin. Tarve hallita riskejä ja pienentää ihmisiin ja ympäristöön kohdistuvia vaaroja näkyy turva-automaatiojärjestelmien asennuksina. Ajan kuluessa järjestelmät kuitenkin vanhenevat ja niiden kunnosta täytyy huolehtia, jotta ne toimisivat niille tarkoitettulla tavalla. Ajan tasalla oleva elinkaarisuunnitelma, joka käsittää välttämättömät turva-automaatiojärjestelmälle tehtävät kunnossapitotoimenpiteet, on toimivan ja pitkäikäisen järjestelmän lähtökohta.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa toimeksiantajan, Valmet Automation Oy:n ja tarkemmin Jyväskylän Service teamin, asiakkaan turva-automaatiojärjestelmän elinkaari ja luoda järjestelmälle kunnossapitosuunnitelma. Opinnäytetyötä aloittaessa kunnollista elinkaarisuunnitelmaa ei ollut, joten opinnäytetyön aihe valikoitui käytännön tarpeen mukaan. Valmista elinkaarisuunnitelmaa tarvittiin tiimin sisällä niin myynnissä kuin töiden suunnittelussa, joten aihe oli merkittävä Service-tiimin kannalta.

Opinnäytetyössä syntyneestä elinkaarisuunnitelmasta oli tarkoitus selvittää laitevalmistajan vaatimat välttämättömät kunnossapitotoimenpiteet usealle vuodelle eteenpäin. Elinkaarisuunnitelma oli tarkoitus luoda Excel-taulukoksi, jotta sen hyödyntäminen olisi mahdollisimman joustavaa, sillä kyseistä taulukkoa oli tarkoitus käyttää tulevaisuudessa myös muiden asiakkaiden turva-automaatiojärjestelmien elinkaarikartoituksien pohjana. Opinnäytetyö toteutettiin tarkastelemalla olemassa olevia dokumentteja ja manuaaleja niin laitevalmistajalta kuin myös yleisesti käytössä olevista standardeista.

2 Toimeksiantaja

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Valmet Automation Oy. Tarkemmin ottaen toimeksiantaja on Jyväskylän Service -tiimi, joka palvelee asiakkaitaan pienempien projektien sekä kunnossapidollisten asioiden parissa.

Valmet Automation Oy kuuluu Valmetin Automaatiojärjestelmät -liiketoimintalinjaan, joka on yksi viidestä liiketoimintalinjasta. Muut liiketoimintalinjat ovat Paperi, Sellu ja Energia, Virtauksensäätö

sekä Palvelut. Liiketoimintalinjojen lisäksi Valmetin liiketoiminta on jaettu viiteen maantieteelliseen alueeseen, jotka vastaavat omalla alueellaan asiakkaiden tarpeiden täyttävien palvelujen tarjoamisesta, myynnistä ja projektitoimitusten tukemisesta. Maantieteelliset alueet ovat Aasia ja Tyynenmeren alue, EMEA, Etelä-Amerikka ja Pohjois-Amerikka, joista suurin liikevaihdoltaan ja henkilöstöltään on EMEA. (Valmet yrityksenä n.d.)

2.1 Automaatiojärjestelmät

Automaatiojärjestelmät-liiketoimintalinja keskittyy automaatiojärjestelmien ja -tuotteiden kehittämiseen ja niiden toimittamiseen. Pääasiallisia tuotteita ovat teollisen internetin ratkaisut, automaatiopalvelut, laadunhallintajärjestelmät sekä automaatiojärjestelmät. (Automaatiojärjestelmät. n.d) Liiketoimintalinjan liikevaihdolliset osuudet jakautuvat siten, että n. 20 % liikevaihdosta muodostuu automaatiosta ja 80 % palveluiden ja ratkaisujen myynnistä. Yksinään automaatiopalvelut kattavat melkein puolet automaatiojärjestelmät-liiketoimintalinjan liiketoiminnasta. Vuonna 2023 liiketoimintalinjan liikevaihto oli 551 miljoonaa, joka on n. 11 % koko Valmetin liikevaihdosta. (Automaatiojärjestelmät-liiketoimintalinja n.d)

3 Tutkimus

3.1 Tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa asiakkaan turva-automaatiojärjestelmän nykytilanne ja luoda elinkaarisuunnitelma, jotta kriittisten kunnossapitotöiden suunnittelusta ja aikatauluttamisesta tulisi helpompaa. Elinkaarisuunnitelman luomiseksi laitevalmistajan vaatimat kunnossapitotyöt täytyi selvittää.

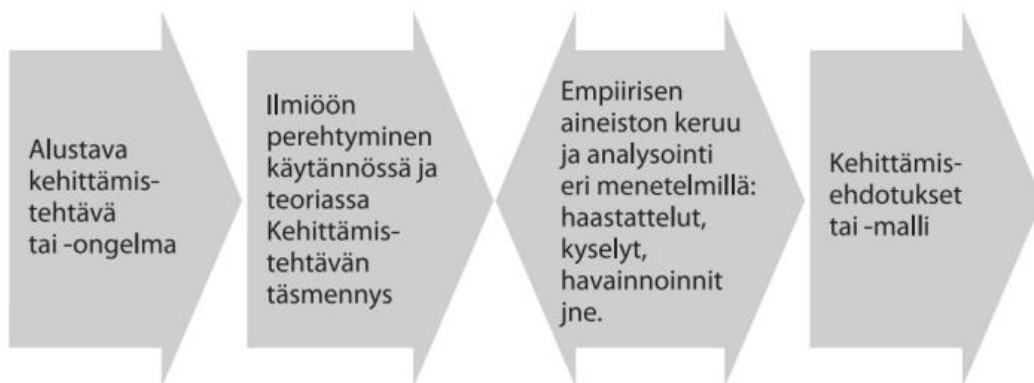
Tutkimuskysymykset olivat seuraavat:

- 1. Mitkä ovat HIMA-laitteiden elinkaaret?**
- 2. Mitä kunnossapidollisia toimia elinkaaren aikana pitää tehdä ja kuinka usein?**

Työ päätettiin rajata yhteen asiakkaaseen, jotta asiakkaan järjestelmästä saatiin mahdollisimman kattava kuva ja työstä ei tulisi liian laaja. Keski-Suomen alueella toimivalla Valmet Automation Servicellä on monia asiakkaita ja opinnäytetyön pohjalta syntynyttä elinkaarisuunnitelmaa sekä tietoja turva-automaatiojärjestelmän elinkaaresta oli tarkoitus hyödyntää tulevaisuudessa muidenkin asiakkaiden järjestelmien kartoituksessa.

3.2 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyö on tyypiltään kehittämistyö ja tarkemmin tapaustutkimus, sillä työssä hyödynnettiin olemassa olevaa tietoa ja tarkoitus oli luoda kompakti ja selkeästi ymmärrettävä elinkaarisuunnitelma sen pohjalta. Tapaustutkimuksen piirteisiin kuuluu, että tarkastellaan yhtä tai useampaa tapausta, jossa tapaus voi olla esimerkiksi yrityksen toiminta tai prosessi. Tapauksen määrittely, analysointi ja ratkaisu ovat tutkimuksen pääavoitteet. (Eriksson P. & Koistinen K. 2005, 4) Työelämään liittyvä tapaustutkimuksen kohde valitaan aina käytännön tarpeen ja tutkimukselle asetettujen tavoitteiden perusteella. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2015, 53) Kuviossa 1. on esitettynä tapaustutkimuksen vaiheet.



Kuvio 1. Tapaustutkimuksen vaiheet (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2015, 54)

Tapaustutkimuksen menetelmät voivat olla laadullisia tai määrällisiä, yleensä kuitenkin tämän kaltaisen tutkimuksen aineiston kerääminen painottuu laadullisen tutkimuksen menetelmiin. Laadullisen tutkimuksen menetelmiä ovat esimerkiksi haastattelut, kyselyt sekä kirjallisten aineistojen

havainnointi ja analysointi. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2015, 55) Tässä työssä hyödynnettiin menetelmänä kirjallisten aineistojen havainnointia ja analysointia.

3.3 Eettisyys ja luotettavuus

Eettisyys ja luotettavuus pyrittiin ottamaan huomioon mahdollisimman hyvin opinnäytetyön alusta asti. Opinnäytetyössä noudatettiin niin Jyväskylän ammattikorkeakoulun eettisiä ohjeita kuin toimeksiantajankin käytänteitä. Työssä noudatettiin tekijänoikeuksia ja lähdeviitteet tehtiin asianmukaisesti plagiointia välttämällä. Opinnäytetyö tehtiin toimeksiantajan asiakkaasta ja työn aikana käsiteltiin salassapitosopimuksen alaisia tietoja, joten opinnäytetyöhön liittyvän materiaalin kerääminen ja säilyttäminen oikeaoppisesti sekä toimeksiantajan käytänteiden mukaisesti oli ensiarvoisen tärkeää. Opinnäytetyötä varten kerätyt salassa pidettävät tiedot säilytettiin ja käsiteltiin asianmukaisesti toimeksiantajan tarjoamalla tietokoneella, jotta pystyttiin varmistumaan tietoturvasta.

3.4 Tutkimuksen toteutus

Työssä hyödynnettiin kirjallisen aineiston havainnointia ja analysointia mahdollisimman luotettavista lähteistä. Lähteiksi yleisesti valikoituivat mm. laitevalmistajan omat dokumentit, yleiset standardit sekä TUKESin (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto) ohjeistukset. Tutkimuksen tietopohjaan soveltuvien lähteiden löydyttyä aloitettiin elinkaarisuunnitelman laatiminen koostamalla toimeksiantajan asiakkaan TAJ:n (turva-automaatiojärjestelmä) laitteet Excel-taulukkoon. Tiedot asiakkaan laitteista löytyivät toimeksiantajan dokumentaatiosta.

Sen jälkeen, kun tiedettiin, mitä laitteita tutkimuksessa tullaan tarkastelemaan, alkoi laitevalmistajan manuaalien ja muiden ohjeiden läpikäynti koskien kyseisiä laitteita. Laitteita koskevat manuaalit löytyivät HIMA:n extranetistä, johon valmistaja on koonnut laitteita koskevat dokumenttinsa. Laitteita koskevien kunnossapitotoimien selvittyä manuaaleista muodostettiin Excel-taulukkoon aikajana, jolle jokainen asiakkaan laite laitettiin niiden toimitusajankohdan mukaan. Lisäksi aikajanelle lisättiin jokaisen laitteen kohdalle tarvittavat kunnossapitotoimet ja milloin ne tulee suorittaa. Lopuksi Excel-taulukko muokattiin vastaamaan ulkonäöllisesti muita toimeksiantajan taulukoita, jotta se olisi asiakkaalle mahdollisimman helposti ymmärrettävissä.

4 Kunnossapito ja vikaantuminen

Kunnossapidon historia juontaa juurensa niin kauaksi, kuin ihminen on käyttänyt koneita. Aluksi kunnossapito oli vain vian ilmenemisen jälkeen tapahtuvaa korjaavaa toimintaa. Nykyään kuitenkin teollisenyhteiskunnan vaatimukset monimutkaisille laitteille ovat luoneet kunnossapidolle tarpeen kehittyä mukana. (Järviö, J & Lehti, T. 2017, 21)

4.1 Kunnossapito standardien mukaan

Kunnossapidon määritelmät vaihtelevat hiukan sisällön suhteen, kun vertaillaan eri standardeissa esiintyviä määritelmiä. SFS-EN 11306:2010-standardi määrittelee kunnossapidon seuraavasti: Kunnossapitoa ovat kaikki toimenpiteet, jotka suoritetaan laitteen elinkaaren aikana ja joiden tarkoitus on ylläpitää tai palauttaa laitteen toimintakunto siihen pisteeseen, että se pystyy suorittamaan sille tarkoitetun toiminnon. (Järviö, J & Lehti, T. 2017, 21)

PSK 6201:2011 määrittelee kunnossapidon puolestaan seuraavasti:

”Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana.” (Kunnossapito käsitteet ja määritelmät, PSK 6201 4. p. 2022, 4)

Kunnossapidon tavoite on siis varmistaa, että tuotantovälineistö toimii niiden koko elinkaaren ajan halutulla tavalla, mutta mahdollisimman pienillä kustannuksilla. Järviö ja Lehti (2017, 17) kertovat kirjassaan, että toisaalta kunnossapidossa on huomioitava myös turvallisuus, vaikutukset ympäristöön sekä muut välttämättömät vaatimukset. Kunnossapito voidaan määritellä eri tavoilla ja eri laajuudessa, kun vertaillaan eri standardien määrittelyksiä. Käsittelen tässä opinnäytetyössä kunnossapitoa lähinnä PSK 6201 -standardiin pohjautuen.

4.2 Kunnossapidon kehitys

Kunnossapito on muuttunut viimeisen sadan vuoden aikana pelkästä korjaamisesta laiteomaisuuden hoitamiseksi. Kehityskulussa voidaan nähdä olevan neljä sukupolvea. (Järviö, J & Lehti, T. 2017, 21) Ensimmäiselle sukupolvelle tyypillisiä piirteitä:

- Tuotanto-omaisuutta voitiin pitää seisokissa, koska integraatioaste oli pieni.
- Laitteiden yksinkertaisuus ja aikasidonnainen vikaantuminen helpotti korjaamista.

Kunnossapidon toinen sukupolvi ajoittuu toisen maailmansodan ajalle. Teollisuuden tarve valmistaa valtavia määriä tarvikkeita armeijoille ja toisaalta kokeneen henkilökunnan siirtyminen rintamalle ajoi teollisuuden pakkokehityksen eteen. Konelinjojen muodostuminen oli välttämätöntä tasalaatuisten tuotteiden valmistamiseksi kokemattoman henkilökunnan vuoksi. Yritysten välisen kilpailun kiristyessä kannattavuus alkoi riippua enemmän koneiden käytön mahdollisimman tehokkaasta käytöstä. Monimutkaisemmat koneet ja lastentautien ilmeneminen lisäsivät kunnossapidon tarvetta ja taitotasoa. (Järviö, J & Lehti, T. 2017, 22) Toiselle sukupolvelle tyypillisiä piirteitä olivat:

- Ehkäisevän kunnossapidon syntyminen, joka oli pääsääntöisesti jaksotettua huoltoa.
- Kunnossapidon suunnittelusta tuli välttämätöntä nousevien kustannusten takia.

Kolmas sukupolvi alkoi 1970-luvun vaiheilla. Kunnossapidon kehittymisen käynnisti amerikkalaisissa avaruusprojekteissa käytettyjen innovaatioiden siirtyminen myös teollisuuden käyttöön ja toisaalta tutkimuksen kehittyminen. (Järviö, J & Lehti, T. 2017, 22) Kolmannen sukupolven kehittymisen syitä:

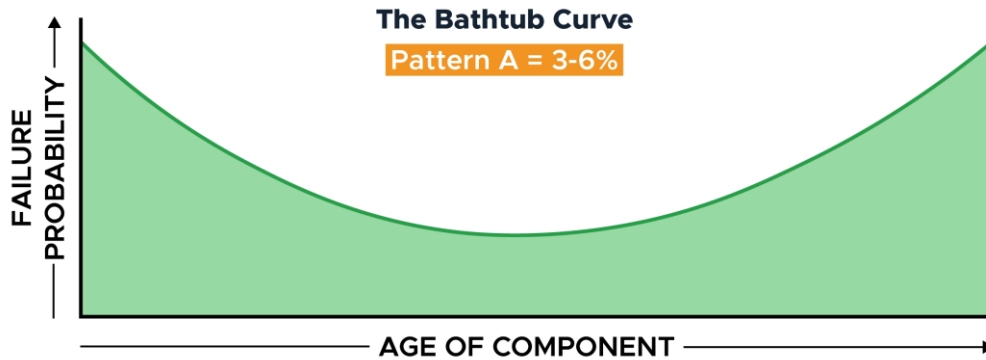
- Automaation ja mekanismien lisääntyminen johtivat siihen, että yritysten talous riippui yhä enemmän tuotantokoneiden luotettavuudesta. Seisokkien hinta muodostui kalliimmaksi kuin kunnossapidosta aiheutuneet kulut.
- Kustannusrakenteen muuttuminen, kun työvoimaa tarvittiin vähemmän, mutta toisaalta tuotantokoneiden investoinnit kasvoivat.

Elektroniikan kehittyminen 1990-luvulla käynnisti kunnossapidon neljännen sukupolven kehityksen. Lisäksi maailman globalisoituminen ja kilpailun kiristyminen lisäsivät tarvetta yhä tehokkaammille keinoille hallita kunnossapidon tehokkuutta. (Järviö, J & Lehti, T. 2017, 23) Neljännelle sukupolvelle tyypillisiä piirteitä ovat:

- Uusien teknologioiden kehittyminen ja tuotanto-omaisuuden monimutkaistuminen johtivat kunnossapitoon vaadittavan taitotason kasvuun.
- Kunnonvalvonnan teknologioiden ja välineiden kehittyminen, myös etävalvonnan syntyminen.
- Ymmärrettiin, että koneiden kunnossapito oli osa tuotanto-omaisuuden hallintaa.

4.3 Vikaantuminen

Perinteisesti ajateltiin, että kaikkiin kohteisiin pätee samanlainen vikaantuminen. Kyseisen ajattelumallin mukaan laitteen vikaherkkyyttä kuvataan seuraavasti. Uuden laitteen käyttöönoton jälkeen laitteelle joudutaan tekemään useammin kunnossapitoon liittyviä toimenpiteitä ja muita säädöjä laitteen toimintaan liittyen, kuin laitteen oletetun elinkaaren puolivälissä, jolloin laite on ns. sisään ajettu ja sen käyttö sekä säädöt ovat optimoituja. Tämä voi johtua esimerkiksi asennusvirheistä, joita joudutaan korjaamaan uuden laitteen käyttöönoton jälkeen. Toinen vaihe, jolloin laitteen kunnossapitoon liittyvien töiden määrä kasvaa on silloin, kun laite lähestyy sen odotettua elinkaaren päätä. (Mobley K. 2004, 3) Tästä muodostuvaa kuvaajaa kutsutaan ns. kylpyammekuvaajaksi, joka on yksi tunnistettavimmista vikaantumismalleista, josta esimerkki on kuviossa 2. Kuvaajassa pystyakselilla on esitetty, kuinka todennäköisesti laite vikaantuu tai ilmenee muu poikkeama, joka vaatii kunnossapidon toimenpiteitä. Vaaka-akselilla on puolestaan aika.

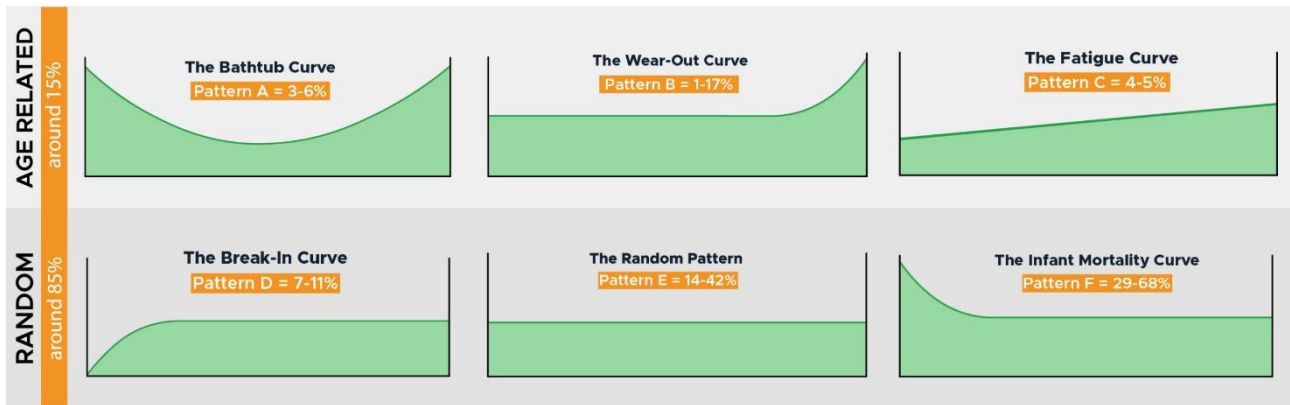


Kuvio 2. Kylpyammekuvaaja (An introduction to equipment failure patterns 2023)

Tähän päivään mennessä vikaantumista on kuitenkin tutkittu enemmän ja on huomattu, että kylpyammekuvaajaa noudattaa vain n. 3–6 % vikaantumisista, riippuen tutkimuksesta. Kylpyammekuvaaja pätee parhaiten esimerkiksi suuriin holkkilaakereihin. Käyttöönoton jälkeen ilmenevät viat voivat johtua esimerkiksi tiiviysongelmista, mutta kun vika saadaan korjattua, se toimii pitkään lähes ongelmitta. Lopulta osa hajoaa, kun materiaali on kulunut liikaa. (An introduction to equipment failure patterns 2023)

Kaikkiaan vikaantumismalleja on kuusi erilaista. Mallit puolestaan jaetaan keskenään joko aikaan/kulumiseen sidonnaisiin tai satunnaisiin vikaantumiskategorioihin. Aikaan sidonnaisen vikaantumiskategorian mallit kuvaavat osia, joiden elinikä voidaan määrittää. Aikaan sidonnaisten mallien osuus kaikista malleista on vain n. 15 % riippuen tutkimuksesta. Puolestaan satunnaisen vikaantumisen kategoriasta F malli on nykypäivänä kaikkein merkittävin, sillä tutkimukset osoittavat, että sitä noudattavat n. 29–68 % kaikista vioista. F mallia noudattavat laitteet vikaantuvat suuremmalla todennäköisyydellä heti laitteen asennuksen jälkeen, mutta kun laite on saatu sisään ajettua ja sen käyttö on optimoitu, vikaantumisen todennäköisyys pienenee. (An introduction to equipment failure patterns 2023) Kuvio 3. esittää kaikki vikaantumismallit ja jakaa ne kuvaajiin A-F. (An introduction to equipment failure patterns 2023)

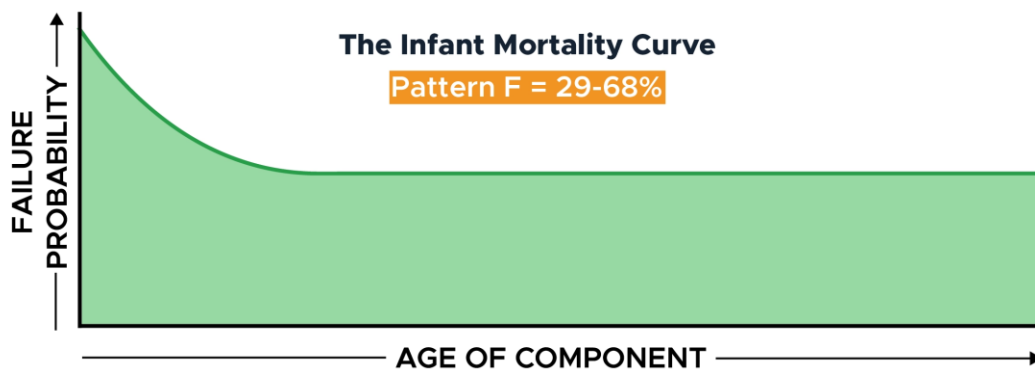
Equipment Failure Pattern Distribution



Limble

Kuvio 3. Vikaantumismallit (An introduction to equipment failure patterns 2023)

F malli on esitettyä kuviossa 4. Kyseistä mallia noudattavat monimutkaiset laitteet, jotka on kokoonpantu monista eri osista. Toisaalta monimutkaisen laitteen osat yksinään voivat noudattaa mitä tahansa vikaantumismallia, mutta yhteen kasattuna ne noudattavat mallia F. (An introduction to equipment failure patterns 2023)

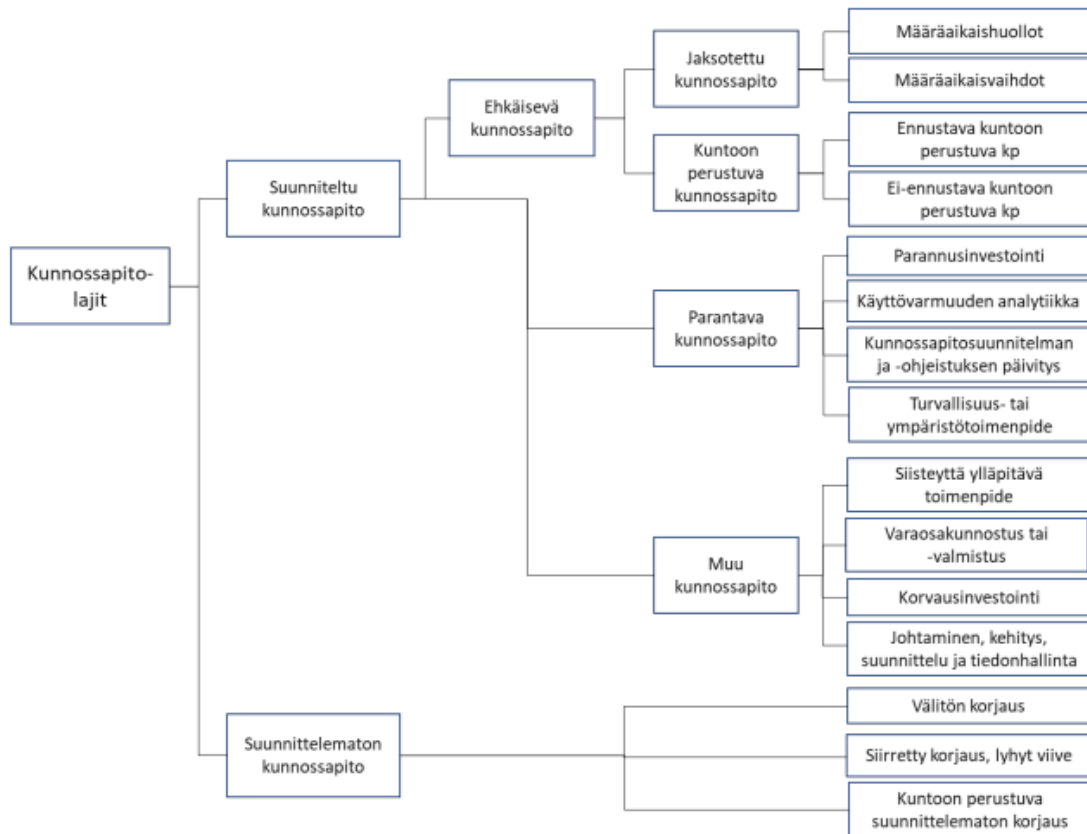


Kuvio 4. Kuvaaja F (An introduction to equipment failure patterns 2023)

Vikojen ja vikaantumismallien tunnistaminen on ensimmäinen askel kohti niiden korjaamista. Koska niin suuri osuus vioista voidaan luokitella kuuluvan satunnaisen vikaantumisien kategoriaan, on juuri näitä malleja varten kehitetty monia eri kunnossapitostrategioita.

4.4 Kunnossapitolajit

PSK 6201 -standardi jakaa kunnossapidon kahteen luokkaan: suunnittelemtomaan kunnossapitoon ja suunniteltuun kunnossapitoon. Suunnittelemtomaan kunnossapitoon kuuluvat välittömät korjaukset, siirretyt korjaukset ja kuntoon perustuvat suunnittelemtomat korjaukset. Suunniteltu kunnossapito käsittää parantavan kunnossapidon, muun kunnossapidon ja ehkäisevän kunnossapidon. Ehkäisevä kunnossapito on jaettu vielä jaksotettuun kunnossapitoon ja kuntoon perustuvaan kunnossapitoon. (PSK 6201 2022, 40) Kuvio 5.



Kuvio 5. PSK 6201 -Kunnossapitolajit (PSK 6201 2022, 40)

4.4.1 Suunnittelematon kunnossapito

Suunnittelematon kunnossapito kuuluu korjaavaan kunnossapitoon. Korjaavalla kunnossapidolla tarkoitetaan kunnossapitotoimintaa, joka suoritetaan, kun vika on jo ilmennyt laitteessa. Vika voi olla esimerkiksi häiriö tai rikkoutunut osa ja kunnossapidon tarkoituksena on palauttaa laite käyttökuntoon, jossa se pystyy suorittamaan halutun toiminnon eli tarkoituksena on korjata rikkoutunut laite (Järviö, J & Lehti, T. 2017, 51). Korjaava kunnossapito on siinä mielessä yksinkertaisempaa, että vika-analyysin teko on yleensä helpommin tehtävissä, kun vika on helposti havaittavissa eikä inhimilliset virheet tai häiriöt kunnonvalvonnan avulla kerättyssä tiedoissa voi sekoittaa analyysia. Myöskään aikaa ei kulu niin paljon analyysin tekemiseen, kun vian paikallistaminen tapahtuu yksinkertaisesti löytämällä esimerkiksi katkennut akseli. Tällöin aikaa ei kulu kunnonvalvonnan kerätyn tiedon analysoimiseen, mikä olisi jatkuvaa ajankäyttöä kunnossapitoon. Toisaalta kohteen, johon hyödynnetään korjaavaa kunnossapitoa täytyy olla tarkoin tiedossa ja kohteen rikkoontumisesta ei saa aiheutua vaaraa ihmisille tai ympäristölle. (Moblely. K 2004, 9)

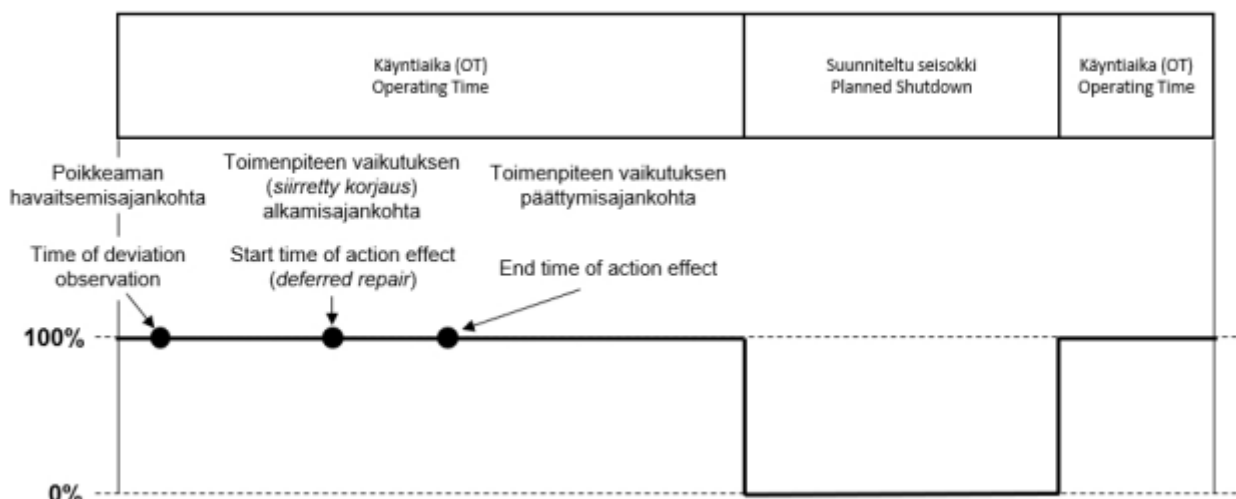
PSK 6201 4. painos 2022 määrittelee korjaavan kunnossapidon piiriin seuraavat kunnossapidon toimenpiteet:

Välitön suunnittelematon korjaus

Välittömästi vian tai poikkeaman havaitsemisen jälkeen suoritettava korjaus, jotta laite pystyy suorittamaan halutun toiminnon tai korjauksen tarkoituksena on rajoittaa vikaa aiheuttamasta hyväksytyä tasoa suurempia seurauksia. Välittömän korjauksen tarve voi ilmetä myös viiveellä häiriön havaitsemisen jälkeen, jolloin havaittu poikkeama ei pysäytä laitetta tai tuotantoa heti. (PSK 6201 2022, 27)

Siirretty suunnittelematon korjaus

Vian tai poikkeaman ilmetessä sitä ei korjata heti. Korjaavan kunnossapidon toimenpiteet suoritetaan vasta silloin, kun se on mahdollista tuotannon, kohteen tai organisaation tilan ollessa sellaiset, että korjaavat toimenpiteet voidaan suorittaa. Yleensä laitteille, jotka eivät ole välttämättömiä tuotannon tai turvallisuuden suhteen, voidaan suorittaa siirrettyjä suunnittelemtomia korjauksia. (PSK 6201 2022, 28) Kuvio 6.



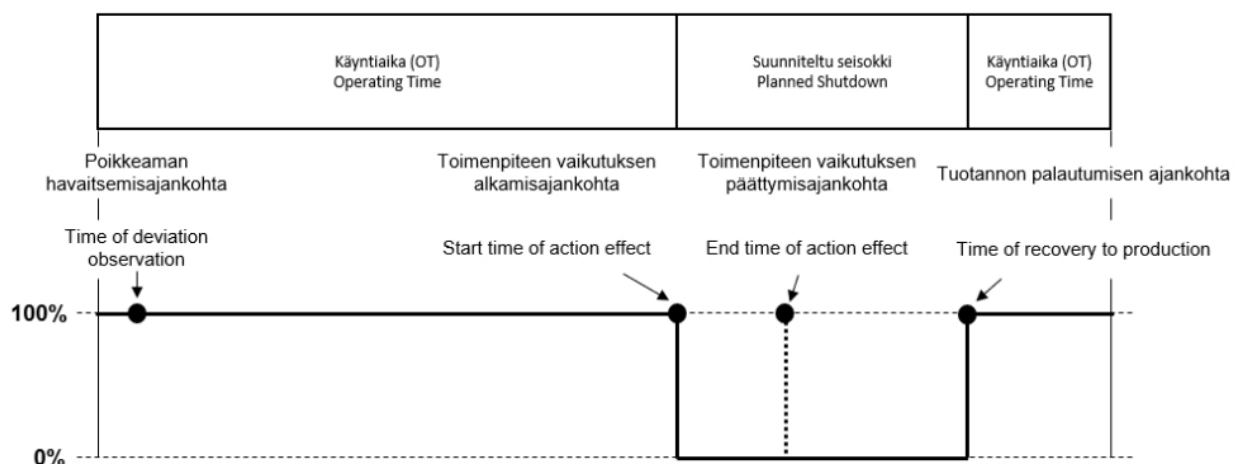
Kuvio 6. ”Siirretty korjaus aikajanalla, vaikutus tuotantoon. Korjaus suoritettu viiveellä poikkeamahavainnon jälkeen ilman tuotantovaikutusta.” (PSK 6201 2022, 29)

4.4.2 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevä kunnossapito voi olla joko kuntoon perustuvaa kunnossapitoa tai jaksotettua kunnossapitoa. Ehkäisevän kunnossapidon menetelmät ovat vakiintunutta toimintaa, jota harjoitetaan säännöllisin väliajoin tai tarvittaessa (Järviö, J & Lehti, T. 2017, 50). Ehkäisevää kunnossapitoa kannattaa käyttää strategiana, kun laitteelta tai prosessilta tarvitaan luotettavaa toimintaa ilman häiriöitä. Luotettavuuden lisäksi muita kriteereitä tulisi täytyä, jotta ehkäisevä kunnossapito olisi järkevää. Kunnossapidosta syntyvien kustannusten tulisi olla matalammat kuin ehkäisevän kunnossapidon puuttumisesta aiheutuvat tuotantomenetykset. Kolmantena kriteerinä on, että kunnossapidettävälle kohteelle ja mahdollisille vioille on olemassa hyviä ehkäiseviä huoltomenetelmiä. (Järviö, J & Lehti, T. 2017, 101)

Kuntoon perustuva kunnossapito

Kuntoon perustuva kunnossapito sisältää testaamista ja kunnonvalvontaa sekä tulosten analysointia. Tarvittaessa tulosten perusteella ryhdytään kunnossapitotoimenpiteisiin, jotta varsinaista vikaa ei pääsisi syntymään. (Järviö, J & Lehti, T. 2017, 50) Kuviossa 7. esitettyä kuntoon perustuva suunniteltu korjaus.



Kuvio 7. Kohteen toiminnassa on havaittu poikkeama, mutta korjaus on päätetty toteuttaa suunnitellun seisokin aikana. (PSK 6201 2022, 30)

Jaksotettu kunnossapito

Jaksotettu kunnossapito on toimintaa, jota tehdään säännöllisin väliajoin perustuen ennalta päätettyihin ajanjaksoihin tai laitteen käyttömäärään. Tavoitteena on ehkäistä vikojen todennäköisyyttä ja hidastaa vikojen etenemistä. (PSK 6201 2022, 32)

4.4.3 Parantava kunnossapito

Parantavalla kunnossapidolla pyritään vaikuttamaan positiivisesti kohteen toimintavarmuuteen, sen kunnossapidettävyyteen tai henkilö- ja ympäristöturvallisuuteen. Parantavaan kunnossapitoon kuuluvat kunnossapito-ohjeen ja kunnossapitosuunnitelman päivitykset, parannusinvestoinnit sekä turvallisuuteen ja ympäristöön liittyvät toimenpiteet. (PSK 6201 2022, 32)

Parannusinvestointi

Kohteen alkuperäiseen toimintaan puuttumatta parannetaan kohteen toiminnan luotettavuutta, sen kunnossapidettävyyttä tai turvallisuutta investoinnin avulla. (PSK 6201 2022, 33)

Käyttövarmuuden analytiikka

Toimintaa, jonka tarkoituksena on löytää ja arvioida laitteen toimintaan negatiivisesti vaikuttavia tekijöitä ja suunnata kunnossapitotoimenpiteitä paremmin. (PSK 6201 2022, 33)

Kunnossapitosuunnitelman ja -ohjeen päivitys

Toimenpiteitä, joilla pyritään kehittämään kohteen toimintavarmuutta parantamalla sen kunnossapitoon liittyviä ohjeita ja suunnitelmaa. (PSK 6201 2022, 33)

4.4.4 Muu kunnossapito

Muuhun kunnossapitoon kuuluvat kaikki kunnossapitotoimet, jotka eivät ole parantavaa, kuntoon perustuvaa, jaksotettua tai korjaavaa kunnossapitoa. Tällaisia toimia ovat esimerkiksi siisteyttä yl-

läpittävät ja kunnossapidon erittelemättömät toimenpiteet, varaosien kunnostus tai valmistus, korvausinvestoinnit sekä kunnossapidon johtaminen, kehittäminen ja suunnittelu. (PSK 6201 2022, 33–34)

5 Turva-automaatiojärjestelmä

Käyttöautomaatiosta eli prosessinohjaukseen käytetystä automaatiojärjestelmästä erillään olevassa turva-automaatiojärjestelmässä tapahtuvia turvatoimintoja kutsutaan turva-automaatioksi (TAJ). Käyttöautomaatiojärjestelmässäkin on mm. lukituksia ja hälytyksiä, mutta kyseisiä toimintoja ei lasketa turva-automaatioksi. Kuitenkin käyttöautomaatiojärjestelmän riskienhallintaan liittyvien toimien toiminnasta tulee huolehtia. Käyttöautomaatiojärjestelmässä saa suorittaa turvatoimintoja, joiden turvallisuuden eheystaso (TET, SIL Safety integrity level) on alle 1. Kaikki turvatoiminnot, jotka ylittävät SIL-tason 1 (Safety integrity level), tulee suorittaa turva-automaatiojärjestelmässä. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2021)

Turvallisuuden eheystaso kertoo turvatoiminnon luotettavuus- ja vaatimustason eli kuinka usein turvatoiminto jättää suorittamatta siltä vaaditun toiminnon (PFD, Probability of failure on demand). Turvallisuuden eheystasoja on neljä (1–4). Mitä korkeampi SIL-taso on, sitä luotettavampi turva-automaatiojärjestelmä on. (What safety integrity level (SIL) means and how to calculate it 2020)

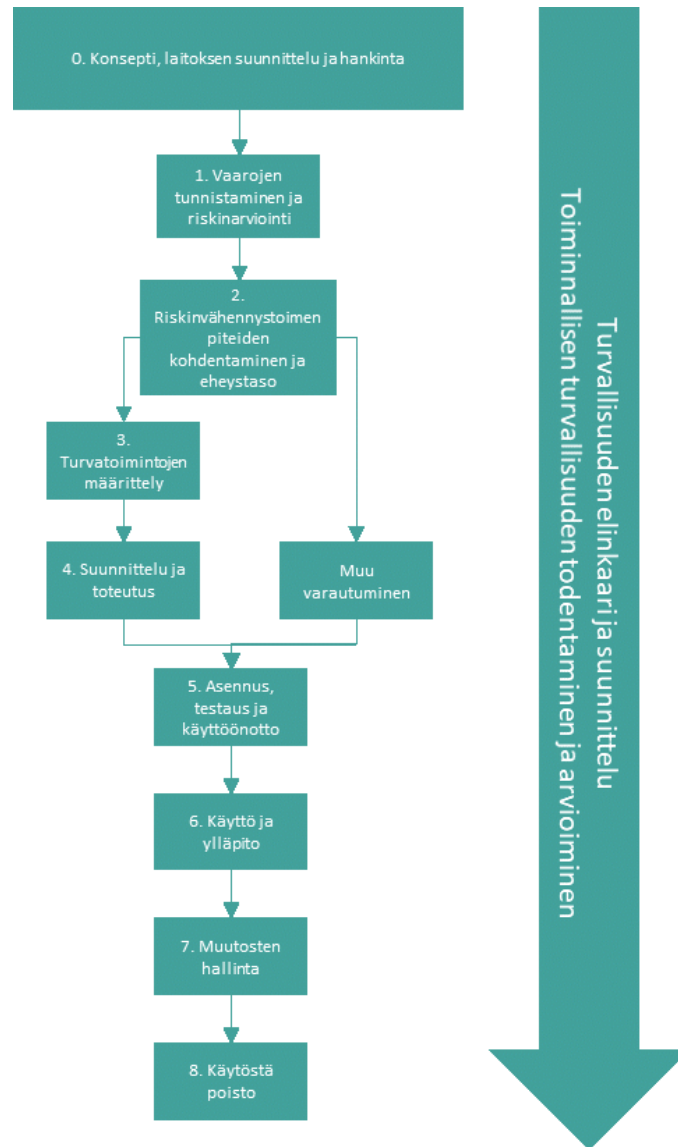
Yleisesti ottaen turva-automaatiota käytetään lisäämään prosessien turvallisuutta teollisuudessa, mutta sitä ei tule käyttää ensisijaisena riskinhallintakeinona. Turva-automaatio toimii riskinhallintakeinona, kun muut käytettävissä olevat keinot on käytetty. Muita keinoja riskinhallintaan ovat esimerkiksi prosessien suunnittelu turvallisiksi tai varolaitteiden suunnittelu esim. painelaitteiden murtokalvot. Käytettäessä turva-automaatiota riskinhallintakeinona tulee järjestelmä suunnitella niin, että TAJ on riippumaton käyttöautomaatiosta sekä turvatoiminnot ovat luotettavia. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2021 & What safety integrity level (SIL) means and how to calculate it 2020)

Turva-automaatiojärjestelmien turvallisuuden takaamiseksi maailmanlaajuisesti niitä varten on luotu standardit, jotta toiminnallinen turvallisuus täytyisi kaikkialla samalla tavalla. Kansainvälinen standardisarja SFS-EN / IEC 61511 (1–3) koskee prosessiteollisuuden turva-automaatiojärjestelmiä

ja kyseisissä standardeissa kerrotaan, kuinka toiminnallinen turvallisuus saavutetaan TAJ:n eri elinkaaren vaiheissa. Turva-automaation elinkaari onkin jatkuva projekti, joka alkaa projektin suunnitelma vaiheesta ja päättyy vasta, kun yksikään turvatoiminto ei ole käytettävissä. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2021)

5.1 Turva-automaatiojärjestelmän elinkaari

Turva-automaatiojärjestelmän elinkaari voidaan jakaa yhdeksään osaan, kuten kuviosta 8. voidaan nähdä. Jokainen elinkaarenvaihe on suoritettava voimassa olevien standardien ja kriteereiden mukaan. Kunkin vaiheen voi suorittaa vain pätevätytynyt henkilö tai taho, jonka määrittää lainsäädäntö, standardit tai laitevalmistaja. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2021)



Kuvio 8. TAJ:n elinkaaren vaiheet (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2021)

0. Laitoksen suunnittelu

TAJ:n tarpeellisuudesta voidaan varmistua vasta, kun kaikki merkittävimmät riskit on tunnistettu suunnittelun alkuvaiheessa. Turvallisuussuunnitelman luonti ja elinkaarimallin noudattaminen ovat avainasemassa järjestelmän luotettavan suunnittelun ja käytännöntoteutuksen kannalta. Luvitusten selvittäminen vaarallisten kemikaalien osalta on myös aiheellista aloittaa varhaisessa vaiheessa. Suunnitteluvaiheessa tavoitteena on luoda luotettava pohja elinkaaren hallinnalle ja turva-automaatiojärjestelmän toteutukselle. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2021)

1. Riskianalyysit

Elinkaaren toinen vaihe pitää sisällään kriittisten riskien ja poikkeamatilanteiden tunnistamisen käyttäen hyväksi jotakin riskinarviointimenetelmää. Selvityksen tulosten perusteella pystytään päättämään riskinvähennyskeinoista, mikäli riski ei ole hyväksyttävällä tasolla. Riskianalyyssissä täytyy huomioida myös kyberturvallisuus onnettomuuksien estämiseksi eli riittävät suojausmenetelmät järjestelmille ja verkoille hyökkäyksiä vastaan, jotka tapahtuvat digitaalisesti. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2021 & Mitä on kyberturvallisuus? N.d.)

2. Riskinvähennys ja eheystaso

Riskiarvioinnissa paljastuneet vakavimmat riskit tai ne, jotka ovat yhteydessä automaatioon, tulee ottaa tarkempaan tarkasteluun. Tarkastelussa tutkitaan, riittävätkö riskien kontrolloimiseksi karotitettut suojakerrokset takaamaan turvallisuuden sekä suojakerrosten riippumattomuus toisistaan. Suojakerrokset eivät saa olla riippuvaisia toisistaan, jotta vältetään yhteisvikaantumiselta. Turva-automaatiota tarvitaan, mikäli havaittua riskiä täytyy pienentää enemmän kuin kymmenkertaisesti. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2021)

3. Turvatoimintojen vaatimukset

Tässä projektin vaiheessa kuvataan jokaisen turvatoiminnon mittaukset, toiminnot ja logiikan kuvaukset. Tavoitteena on laatia lukituskaavio ja todentaa tarvittava eheystaso. Toimintojen vaatimukseen voi liittyä esimerkiksi ympäristöolosuhteet tai lepovirtaperiaate eli tilanteessa, jossa järjestelmän virransyöttö katkeaa se menee itse turvalliseen tilaan estäen onnettomuuksien tapahtumisen. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2021)

4. Suunnittelu ja toteutus

TAJ suunnitellaan vaiheen 3 vaatimusten perusteella. Ohjelmistot sekä laitteet yhdistetään, jolloin muodostunut kokonaisuus on juuri kyseiseen tarkoitukseen räätälöity turva-automaatiojärjestelmä. Tässä vaiheessa laitteet ja ohjelmistot myös koestetaan toiminnallisesti eli suoritetaan FAT-testaus (Factory Acceptance Test, FAT). FAT-testaus suoritetaan simuloitussa ympäristössä, jossa voidaan todeta turva-automaatiojärjestelmän toimivan sille tarkoitetulla tavalla. Tavoitteena on saada toteutettua luotettava turva-automaatiojärjestelmä, jossa on estetty yhteisvikaantumisen mahdollisuus sekä huomioitu kyberturvallisuus. Lisäksi inhimillisten virheiden mahdollisuus on otettu huomioon järjestelmän käytössä ja kunnossapidossa. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2021)

5. Käyttöönotto

FAT-testauksen jälkeen suoritetaan asiakkaan tiloissa varsinainen laitteiston kelpuutus eli SAT-testaus (Site Acceptance Test, SAT). SAT-testauksessa järjestelmän toiminta tarkastetaan todellisessa toimintaympäristössä simuloidun ympäristön sijaan. Testauksessa käydään läpi koko järjestelmä testaussuunnitelman mukaisesti. Ennen varsinaista käyttöönottoa on suoritettava TAJ:n toiminnallinen arvio loppuun sekä merkittävä kentälaitteet siten, että ne ovat identifioitavissa niin kentällä kuin myös kaikissa dokumenteissa. Toiminnallisen arvion voi tehdä esimerkiksi ilmoitettu laitos tai joku muu pätevä ja riippumaton tahon. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2021)

6. Käyttö ja kunnossapito

Käytön aikana turva-automaatiojärjestelmän kanssa tekemisissä olevien työntekijöiden on ymmärrettävä riskit, joita varten järjestelmä on olemassa ja ymmärrettävä kuinka turvatoiminnot toimivat. Järjestelmän toiminnan ymmärtäminen on tärkeää, sillä käytön ja kunnossapidon aikana on ylläpidettävä eheystasoa, joka on suunnitteluvaiheessa määritetty. Kunnossapitoon ja järjestelmän testaukseen liittyviä toimia suoritetaan säännöllisesti ja tarvittavien korjausten jälkeen turvatoiminnot on aina testattava, jotta voidaan varmistua, että ne toimivat niille tarkoitetulla tavalla. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2021)

7. Muutosten hallinta

Muutosten hallinnan tarkoitus on varmistaa, että järjestelmään tehdyn muutoksen vaikutus turva-automaatioon ja sillä hallittuun riskiin pystytään tunnistamaan ja arvioimaan. Arviointia tehdessä on palattava siihen pisteeseen saakka elinkaarivaiheissa, josta muutoksen vaikutus alkaa, tavanomaisesti riskien arviointiin saakka. Lukitusarvojen ja turvatoiminnon muuttaminen sekä testaus-tapojen muutokset ovat esimerkkejä tilanteista, jolloin muutosten hallintaa tulee suorittaa. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2021)

8. Käytöstä poisto

Turva-automaation käytöstä poiston vaikutukset tulee arvioida ja jäljelle jäävän TAJ:n toiminta on varmistettava. Käytöstä poiston yhteydessä suoritetaan muutosten hallinta. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2021)

5.2 Toiminnallinen turvallisuus

Turvatoimintojen luotettavuuteen ja tarvittavaan riskinvähennyskykyyn ottaa kantaa turvatoimintojen eheystaso (Safety Integrity Level, SIL), joka määrittää koko turvatoiminnon eheystason, ei vain yksittäisten laitteiden. SIL on suoraan verrannollinen vaadittavaan riskinvähennyskyvyn suuruuteen. Riskinvähennyskyky saadaan riskien arvioinnista ja muutetaan tulosta vastaavaan eheystasoon. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2021) Taulukossa 1. on esitettyä eheystasot (Safety Integrity Level, SIL) ja eheystasoihin verrannolliset riskinvähennyskyvyt (Risk Reduction Factor, RRF) sekä vikaantumistaajuuden tavoitetasot (Propability of Failure on Demand, PFD).

RRF on PFD:n käänteisarvo ja se kertoo, kuinka paljon turvatoiminnon täytyy pienentää riskiä, jotta se on hyväksytyllä tasolla. Kaava esitettyä kaavassa 1.

$$(RRF = \frac{PFD}{PFD_{avg}}) \quad (1)$$

missä $RRF = \text{riskinvähennyskyky}$

$PFD = \text{vikaantumistaajuus}$

$PFD_{avg} = \text{vikaantumistaajuuden tavoitetaso}$

Esimerkiksi mikäli lähtötilanteessa vikaantumistaajuus on 2,5 kertaa vuodessa ja taajuus halutaan pienentää yhteen kertaan 10 vuodessa (0,1) täytyy riskinvähennyskyvyn olla vähintään 25, ($RRF = \frac{2,5}{0,1}$). Tällöin taulukon mukaan turvatoiminnon SIL-taso olisi 1. Turvatoiminnon luotettavuutta voidaan parantaa käyttämällä esimerkiksi redundanttisuutta mittauksissa, jolloin yhden mittauksen vika ei aiheuta vaaraa. (Determining Safety Integrity Levels for your Process Application N.d)

SIL (eheystaso)	RRF (riskinvähennyskyky)	PFDavg (vikaantumistaajuuden tavoite taso)
1	$>10 \leq 100$	$\geq 0,01 < 0,1$
2	$>100 \leq 1000$	$\geq 0,001 < 0,01$
3	$>1000 \leq 10\ 000$	$\geq 0,0001 < 0,001$
4	$>10\ 000 \leq 100\ 000$	$\geq 10^{-5} < 10^{-4}$

Taulukko 1. SIL, RRF ja PFDavg. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2021)

Turvallisuuden eheystasoa laskettaessa käytetään LOPA menetelmää (Layer Of Protection Analysis), jonka avulla onnettomuuden todennäköisyys lasketaan onnettomuuden alkutapahtuman todennäköisyyden ja suojakerrosten riskinvähennyskyvyn perusteella. Suojakerroksilla tarkoitetaan toisistaan riippumattomia turvatoimia. Tällöin yhden suojakerroksen pettäessä peräkkäiset suojakerrokset saattavat prosessin turvalliseen tilaan. LOPA-menetelmällä saatua tulosta verrataan hyväksyttävän riskin tasoon. Alkutiedot LOPA-menetelmää varten saadaan, kun riskit on tunnistettu käyttämällä esim. HAZOP-menetelmää. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2021 & Determining Safety Integrity Levels for your Process Application N.d)

5.2.1 HAZOP

HAZOP (Hazard and operability study) eli poikkeamatarkastelu on tutkimusmenetelmä, jolla pyritään tunnistamaan järjestelmän vaaroja. HAZOP:ia käytetään menetelmänä, kun tarkastellaan prosessien tai laitteiden turvallisuutta turvallisuuskriittisissä kohteissa, joista voi aiheutua vaaraa ihmisille tai ympäristölle. (Joshua. M & Thorbjørn S. 2011, 22)

Tutkimuksen vahvuuksia ovat:

- Helpompi tunnistaa vaaroja, jotka liittyvät inhimillisiin virheisiin
- Laaja-alainen asiantuntijatiimi useilta eri aloilta

- Yksinkertaisempi menetelmä verrattuna moniin muihin menetelmiin (Joshua. M & Thorbjørn S. 2011, 23)

Toisaalta HAZOP-menetelmän käyttöön liittyy myös rajoituksia.

- Sellaisten vaarojen löytäminen on haastavaa, jotka ovat vuorovaikutuksissa prosessien eri osien kanssa
- Menetelmä ei vaadi löydettyjen riskien priorisointia vaan siitä päättää asiantuntijatiimi
- Muiden riskinhallintamenetelmien käyttö HAZOP:n rinnalla on tarpeen, koska menetelmällä ei voida määrittää riskinvähennystoimenpiteiden tehokkuutta (Joshua. M & Thorbjørn S. 2011, 23)

Ennen tutkimuksen alkua prosesseista etsitään "solmut" eli prosessin kohdat, joihin tarkastelu tullaan tekemään. Tämän jälkeen monialainen asiantuntijatiimi tarkastelee solmuja yksi kerrallaan käyttäen hyväksi ohjesanoja, joita ovat esimerkiksi "ei", "lisää", "vähemmän" ja "kuin myös". Tutkittavaan solmuun lisätään ohjesana, jonka seurauksena saadaan esimerkiksi "Anturi ei toimi". Asiantuntijatiimin tehtävänä on listata kaikki syyt, miksi anturi ei toimisi ja mahdolliset riskit, joita siitä voi seurata. Riskien ja syiden tunnistamisen lisäksi tiimi ideoi mahdollisia suosituksia ja suojaustoimenpiteitä riskien vähentämiseen. Sama prosessi toistetaan kaikille tunnistetuille solmuille. (Joshua. M & Thorbjørn S. 2011, 23) Kuviossa 9. esitetty esimerkki HAZOP menetelmästä.

Guide Word	Deviation	Causes	Consequences	Action
NO	No cooling	Cooling water valve malfunction	Temperature increase in reactor	Install high temperature alarm (TAH)
REVERSE	Reverse cooling flow	Failure of water source resulting in backward flow	Less cooling, possible runaway reaction	Install check valve
MORE	More cooling flow	Control valve failure, operator fails to take action on alarm	Too much cooling, reactor cool	Instruct operators on procedures
AS WELL AS	Reactor product in coils	More pressure in reactor	Off-spec product	Check maintenance procedures and schedules
OTHER THAN	Another material besides cooling water	Water source contaminated	May be cooling ineffective and effect on the reaction	If less cooling, TAH will detect. If detected, isolate water source. Back up water source?

Kuvio 9. Esimerkki HAZOP-menetelmästä. (Hazard and Operability (HAZOP) N.d)

5.3 Turva-automaatiojärjestelmän kunnossapito

Ennakoiva ja jaksotettu kunnossapito ovat strategioita, joita käytetään turva-automaatiojärjestelmien kunnossapidossa. Hyvin suunniteltu ja säännönmukainen kunnossapito varmistaa, että TAJ toimii tarvittaessa niin kuin sen on suunniteltu toimivan. Laitteiden itsediagnostiikan lisäksi laitteita täytyy testata tietyin väliajoin mahdollisimman todellisia prosessiolosuhteita muistuttavassa testausympäristössä eli primäärisesti. Tämä edesauttaa vaarallisten vikojen ja erehdyksissä luotujen ns. luvattomien muutoksien löytymistä turvajärjestelmästä. Testausaikavälin löytää TAJ-laitteiden valmistajan turva- tai kunnossapito-ohjeesta. Tilanteessa, jossa turvatoimintojen testaus on ollut suppeampaa ja osa turvatoiminnoista on jätetty testauksen ulkopuolelle, täytyy testauksen vaikutusta toiminnalliseen turvallisuuteen arvioida. Toisaalta identifioimalla turvatoiminnot ja niihin liittyvät laitteistot ja laitteistojen osat pystytään testausta yksinkertaistamaan jättämällä osa turvatoiminnoista testaamatta, kun tunnetaan järjestelmän rakenne ja osa-alueiden vaikutukset toisiinsa. Mikäli testausolosuhteet vaativat erotuksia tai ohituksia, täytyy kyseisiin toimiin liittyvien inhimillisten virheiden riskejä arvioida erikseen ja lisättävä ne työhjeeseen. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2021)

Testauksen lisäksi TAJ-laitteille täytyy suorittaa säännöllisiä silmämääräisiä tarkastuksia, joissa ilmenee mahdolliset pinnalliset muutokset laitteiden kunnossa, jotka voisivat johtaa laitteiden viikaantumiseen. Mahdollisia muutoksia ovat esimerkiksi irtonaiset johdot, kortit, laitteiden suoja-kannet sekä muut silmään pistävät muutokset laitteissa, jotka ovat syntyneet tarkistusten välisenä aikana. Turva-automaatiojärjestelmän laitteille voi olla muitakin välttämättömiä kunnossapitotoimenpiteitä, kuten varavirtapattereiden tai tuulettimien vaihtoja. Laitevalmistaja ilmoittaa laitteidensa välttämättömistä kunnossapitotoimenpiteistä huoltomanuaaleissaan. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2021)

6 HIMA Paul Hildebrandt GmbH + CO KG

HIMA Paul Hildebrandt GmbH + CO KG on yksi maailman johtavista turva-automaatiojärjestelmien valmistajista. Neljännessä sukupolvessa kulkevalla saksalaisella perheyrietyksellä on kokemusta jo yli sadan vuoden ajalta teollisuuden tarpeisiin valmistetuista tuotteista. (Our history 2024)

6.1 Historia ja nykytilanne

HIMA:n juuret yltävät vuoteen 1908, jolloin Johannes Hildebrandt perusti suunnittelutoimiston Mannheimin kaupunkiin. Hildebrandttin yritys erikoistui merirahdin kuljetukseen tarvittaviin välineisiin ja myi niitä Mannheimin satamassa. Yrityksen perustamisesta ehti vierähtää 21 vuotta, jolloin Hildebrandttin poika Paul Hildebrandt otti yrityksen omistukseensa. Vuonna 1929 yrityksen omistajuuden vaihdoksen myötä myös yrityksen toimiala muuttui. Yritys ryhtyi valmistamaan hallintapaneeleja, lämpötila- ja painemittareita sekä valvontajärjestelmiä raskaan teollisuuden tarpeisiin. Toimialamuutoksen lisäksi yrityksen nimi muuttui siksi minä se nykyäänkin tunnetaan, HIMA Paul Hildebrandt GmbH. (Our history 2024)

Nykyään HIMA on asentanut yli 50 000 SIL 3- ja SIL 4 -turva-automaatiojärjestelmää 80 eri maahan. Pääasiakaskunta koostuu eri toimialoilla toimivista prosessiteollisuuden yrityksistä. Yritysten lisäksi turvajärjestelmiä on asennettu 30 eri maan rautatieverkkoihin. Suomessa HIMA:n turva-automaation piirissä on n. 2000 kilometriä rautateitä. (Facts & Figures 2024)

7 Laitteet

HIMA tarjoaa erilaisia ja eri kokoisia laitteita eri käyttötarkoituksiin. Laitteita yhdistää kuitenkin niiden helppo laajennettavuus, joka tekee laitteiden sovitettavuudesta eri kokoihin laitoksiin ja turvallisuuskriittisiin ympäristöihin helppoa. Tässä työssä käsitellään tarkemmin vain HIMatrix F35- ja HIMax-laitteita.

7.1 Standardit

HIMA:n tuotteet täyttävät laajasti kansainväliset standardit, jolloin asiakas voi olla varma tuotteiden soveltuvuudesta viranomais määräyksiin ja lakeihin. Tuotteiden täyttämiä standardeja ovat mm. IEC 61508, IEC 61511 ja 62443. (Safety standards for industrial plants 2024) IEC 61508 -standardia on käytetty myös HIMA:n valmistaman SIL 4 -eheydystason täyttävän turvalogiikan, Planar4:n standardisointiin. Tarkemmin Planar4:n standardisointi perustuu IEC 61508 Edition 2:een. (Planar4: The SIL 4 Controller for the highest level of security 2024)

7.2 HIMax

HIMax on tehokkain HIMA:n tarjoama turvalogiikkaohjain, joka on suunniteltu keskisuurille ja suurille turvallisuuskriittisille kohteille. (A comparison of Safety Controllers 2024) HIMax on SIL 3 -eheydystason omaava turvalogiikkaohjain, jonka keskuskorttien redundanttisuustaso voidaan päättää asiakkaan tarpeiden mukaan. Logiikkaohjain on modulaarinen, minkä lisäksi ohjelmisto on suunniteltu siten, että laitteistoa ja ohjelmistoa on mahdollista päivittää sekä kunnossapitää ilman, että ohjainta tarvitsee sammuttaa. Tämä lisää joustavuutta kunnossapitotöihin, kun laitosta ei tarvitse ajaa alas kunnossapitotöiden ajaksi. Modulaarisuus takaa myös laitteiston räätälöinnin juuri oikeanlaiseksi erilaisiin käyttökohteisiin. (Brochure HIMax N.d, 11)

7.2.1 HIMax-kortit ja -pohjalevy

HIMax:iin asennettavia kortteja on monia erilaisia, joita voidaan valita kokoonpanoon tarpeen mukaan. Kokoonpanon rakenne alkaa pohjalevystä ja prosessori- sekä kommunikointikorteista, lisäksi tarvitaan järjestelmäväyläkortteja, kun kokonaisjärjestelmä rakentuu useammasta IO-kehikosta. Prosessori- sekä kommunikointikorttien määrä voi vaihdella 1–4 kappaleen välillä. Keskuskorttien lisäksi valitaan kohteen tarpeen mukaan oikeanlaisia IO-kortteja. Input-korttien kanavien määrä

vaihtelee 16–64 välillä, kun taas Output-korttien kanavamäärä on 12–32 välillä. Prosessori- ja kommunikointikorttien kanssa samaan pohjalevyyn mahtuvien IO-korttien määrä riippuu pohjalevyn koosta sekä keskuskorttien redundanttisuudesta. (HIMax System manual, 139–140 & Brochure HIMax N.d, 15) Pohjalevyvaihtoehtoja HIMax:iin on useampia, pohjalevyn kokovaihtoehdot ovat 10, 15 tai 18 korttipaikkaa. IO-korttien ja kenttäväylien erotukseen on kaksi eri vaihtoehtoa. Ne voidaan erottaa joko käyttämällä riviliittimiä tai järjestelmäkaapeleita. (Brochure HIMax N.d, 9)



Kuvio 10. HIMax-yksikkö (HIMax 2024)

7.2.2 HIMax-kunnossapito

HIMax:in kunnossapitotoimenpiteet pitävät sisällään tuulettimen sekä ylijännitesuodattimen vaihdon, proof-testin ja käyttöjärjestelmänpäivitykset. Tuulettimen vaihdon ajanjakso vaihtelee ympäristötekijöistä. Laitteen ollessa asennettuna tilaan, jossa lämpötila on alle 40 celsiusta, tulee tuulettimen vaihtaa vähintään kuuden vuoden välein. Mikäli toimintaympäristön lämpötila on yli 40 celsiusta, tulee tuuletin vaihtaa vähintään kolmen vuoden välein. Virransyötön ylijännitesuoja tulee vaihtaa vähintään kymmenen vuoden välein. Jännitesuojan tehtävänä on suojata HIMax transientteja jännitepiikkejä vastaan teollisuusympäristössä. Proof-test tulee suorittaa HIMax:lle vähintään 10 vuoden välein, mikä tapahtuu sammuttamalla ja uudelleen käynnistämällä HIMax. Laitteen käynnistyessä uudestaan HIMax alustaa komponenttinsa ja itsediagnostiikka tarkistaa mm. muistin

ja prosessoreiden toiminnan. Käyttäjärjestelmän päivitykset valmistaja suosittelee tekemään seisokkien yhteydessä. (HIMax System manual N.d, 9 & Brochure HIMax N.d, 11)

7.3 HIMatrix F35

HIMatrix-tuotesarja on kompakti ja kustannustehokas turvaresarja, josta löytyy useita vaihtoehtoja. HIMatrix F35 on tarkoitettu pienempiin ja keskikokoisiin sovelluksiin, mutta laitetta voi laajentaa erillisillä I/O-moduuleilla vastaamaan asiakkaan tarpeita. Lisäksi järjestelmä voi olla hajautettu tai keskitetty riippuen asiakkaan tarpeista. Releiden käyttökohteita ovat mm. rautatiet, turbiinit, putkilinjat sekä öljynporaus ja muut syvänmeren sovellukset, joita varten HIMA on kehittänyt oman F35-releen. (HIMatrix: The Small and Inexpensive Safety Controller & HIMatrix Subsea System: Safety Monitor Underwater Equipment 2024) HIMatrix-sarjasta on saatavilla myös räjähdysvaarallisiin tiloihin suunniteltu malli. Vanhemmat versiot turvalogiikkaohjaimista tukevat ELOP 2 -suunnittelu-ympäristöä, kun taas uudemmat ohjaimet tukevat HIMA:n uudempaa suunnittelu-ympäristöä eli SILworX:ia. (HIMatrix: The Small and Inexpensive Safety Controller 2024)



Kuvio 11. HIMatrix F35 (Safety relay F35. 2024)

7.3.1 HIMatrix kunnossapito

HIMatrix F35- ja HIMatrix I/O-moduulien kunnossapito vaatii vähemmän jaksotettuja kunnossapitotoimenpiteitä kuin HIMaxin. F35:ssä ei ole tuulettimia tai suodattimia, joten ainoat valmistajan ilmoittamat kunnossapidon jaksotetut toimenpiteet ovat proof-test ja käyttöjärjestelmän päivitykset. (HIMatrix F35 03, 57)

7.3.2 HIMatrix I/O -moduulit ja kunnossapito

HIMatrix I/O-moduuleita ovat esimerkiksi F3 DIO ja F2 DO. I/O-moduulien kunnossapito pitää sisällään samat kunnossapitotoimet kuin HIMatrix F35.

7.4 Laitetuki

HIMA pyrkii tarjoamaan laitteillaan yli 25 vuoden elinkaaren niiden julkaisemisesta, joka HIMA:n mukaan ylittää automaatiomarkkinoiden normaalit elinkaaret. HIMA:n laitteilla on elinkaaren aikana viisi vaihetta. (Product Lifecycle Management. 2020)

Ensimmäisenä on varhaisen käyttöönoton vaihe, jonka aikana laite ei ole vielä julkaistu, mutta yritykset pääsevät testaamaan laitetta. Ennen varsinaista julkaisua HIMA viimeistelee tuotteen perustuen havaintoihin, joita varhaisessa käyttöönotossa on tullut. (Product Lifecycle Management. 2020)

Toisena on aktiivinen vaihe, jonka aikana laitteelle tarjotaan täysi tuki. HIMA tähtää 15 vuoden aktiiviseen vaiheeseen, joka on erityisen pitkä aika valmistajan mukaan. (Product Lifecycle Management. 2020)

Aktiivisesta vaiheesta laite siirtyy vaihtovaiheeseen, mikäli vanhalle laitteelle on julkaistu uudempi yhteensopiva laite. Vaihtovaiheessa vanhan laitteen tuki säilyy rajoituksitta asennetuissa ja suunnitelluissa järjestelmissä. (Product Lifecycle Management. 2020)

Neljäntenä vaiheena laitteiden elinkaareissa on passiivinen vaihe. Passiivisen vaiheen aikana laitteelle pyritään takaamaan vähintään kymmenen vuoden ajan varaosia ja korjaustukea. HIMA ilmoittaa laitteidensa siirtymisestä passiiviseen vaiheeseen, jolloin asiakkaalla jää aikaa uusien laitehankintojen suunnitteluun. (Product Lifecycle Management. 2020)

Laitteiden elinkaari päättyy vanhentumisvaiheeseen, jolloin varaosia on saatavilla enää rajoitusti. Vanhentumisvaiheessa HIMA tarjoaa asiakkailleen apua suunnittelussa ja laitteiden modernisoinnissa. (Product Lifecycle Management. 2020)

8 Tulokset

Opinnäytetyön tutkimuksen aikana selvisi, että HIMA-laitteilla on useita eri kunnossapitotoimenpiteitä, jotka tulee ottaa huomioon kunnossapidossa. Käsittelin kyseisiä kunnossapitotoimia kappaleissa 7.2.2 ja 7.3.1. Alla olevassa kuvassa 10. on esitettyinä kootusti HIMax:n ja HIMatrix F35:n kunnossapitotoimenpiteet sekä valmistajan ilmoittamat ajanjaksot, joiden sisällä kyseiset kunnossapitotoimenpiteet tulee suorittaa.

HIMax:	Proof test	Tuulettimien vaihto	Ylijännite suoja	Käyttöjärjestelmä päivitys
	<10v	<40° C -> 6v	<10v	Ei ilmoitettu.
		>40° C -> 3v		
HIMatrix F35:	<10v	x	x	Ei ilmoitettu.

Kuvio 12. HIMax ja HIMatrix F35 kunnossapitotoimenpiteet

Varsinainen lopputulos, joka syntyi opinnäytetyön pohjalta, on Excel-taulukko, josta ilmenee tarvittavat jaksotetut kunnossapitotoimenpiteet, jotka toimeksiantajan täytyy huomioida suunnitlessaan myyntiä ja huoltoseisakkeja asiakkaan kanssa. Kuvassa 11. on esitettyinä esimerkki Excel-taulukko syntyneestä elinkaarisuunnitelmasta.

Toiseen kysymykseen, joka oli tutkimuksen kannalta oleellisempi, saatiin vastaus. Tutkimuksen aikana selvisi mitä kunnossapitotoimenpiteitä laitevalmistaja vaatii laitteillaan tehtävän ja kuinka usein. Siitä syystä, että kunnossapitotoimenpiteet toistuvat useammin kuin kokonaisten laitteiden vaihtaminen, oli kunnossapitotoimenpiteiden määrittäminen tärkeämpää. Toisaalta, kun tiedetään, että HIMA-laitteilla on asteittainen käytöstä poisto ennen kuin niiden laitetuki loppuu kokonaan, saadaan riittävästi aikaa valmistella myös kokonaisten laitteiden uusiminen. Näin ollen ensimmäiseenkin tutkimuskysymykseen saatiin tyydyttävä vastaus. Tämä tieto helpottaa tulevaisuudessa toimeksiantajaa suunnittelemaan asiakkaidensa kanssa laitepäivityksiä, kun joidenkin käytössä olevien laitemallien elinkaaret tulevat tiensä päähän.

Saadut tulokset ovat johdonmukaisia perustuen tietopohjaan, jonka mukaan turva-automaatiojärjestelmän laitteiden kunnossapito vaatii valmistajan vaatimia välttämättömiä kunnossapitotoimenpiteitä unohtamatta yleisiä ohjeistuksia ja standardeja. Tuloksia voidaankin pitää luotettavina, sillä lähdemateriaaleina on käytetty ensisijaisia lähteitä HIMA-laitteista, ja tietopohjan materiaalit ovat pääsääntöisesti standardeja ja valtiollisten toimijoiden ohjeistuksia.

Opinnäytetyön aikana noudatettiin JAMK:n ja toimeksiantajan eettisiä periaatteita, joita olivat mm. plagioinnin välttäminen sekä salassa pidettävän materiaalin oikein käsitteleminen.

Tulevaisuudessa elinkaarisuunnitelmaa voisi kehittää selvittämällä vastauksen ensimmäiseen tutkimuskysymykseen eli kuinka pitkä HIMax:n ja HIMatrix F35:n elinkaari tai toiminta-aika on yleisesti ennen kuin tarvitaan mittavampia kunnossapitotoimenpiteitä. Tällaisia toimenpiteitä voisivat olla esimerkiksi HIMax:n prosessorikorttien vaihto tai koko HIMatrix F35 -releen vaihto. Tämä tieto auttaisi toimeksiantajaa ennakoimaan, kuinka usein suurempia kunnossapitotoimia tarvitaan ja näin ollen niihin varautuminen olisi helpompaa.

Lähteet

A comparison of Safety Controllers. 2024. Julkaisu HIMA:n verkkosivuilla. Viitattu 26.6.2024. [A Comparison of Safety Controllers \(hima.com\)](#)

An introduction to equipment failure patterns. 7.9.2023. Julkaisu Limblen verkkosivuilla. Viitattu 9.8.2024. [An Introduction To Equipment Failure Patterns \(limblecmms.com\)](#)

Automaatiojärjestelmät. N.d. Julkaisu Valmetin verkkosivuilla. Viitattu 3.6.2024. [Valmetin Automaatiojärjestelmät-liiketoimintalinja](#)

Automaatiojärjestelmät-liiketoimintalinja. N.d. Julkaisu Valmetin verkkosivuilla. Viitattu 3.6.2024. [Valmetin Automaatiojärjestelmät-liiketoimintalinja](#)

Brochure HIMax. N.d. Julkaisu HIMA:n extranetissä. Viitattu 26.6.2024. Käyttöä rajoitettu.

Determining Safety Integrity Levels for your Process Application. N.d. Julkaisu Crossin verkkosivuilla. Viitattu 29.10.2024. [Determine Safety Integrity Levels \(SIL\) For Process Applications](#)

Eriksson P. & Koistinen K. 2005. Monenlainen tapaustutkimus. Kuluttajatutkimuskeskus. Viitattu 24.9.2024.

Facts & Figures. 2024. Artikkelin Himan verkkosivuilla. Viitattu 19.6.2024. [Facts & Figures \(hima.com\)](#)

Flexible SIL 4 controllers. 2017. Julkaisu HIMA:n verkkosivuilla. Viitattu 6.7.2024. [HIMA Technical Facts HIMatrix CO PU00012492.PDF](#)

Hazard and Operability (HAZOP). N.d. Julkaisu EHSDB:n verkkosivuilla. Viitattu 30.10.2024. [Hazard and Operability \(HAZOP\)](#)

HIMatrix Subsea System: Safety Monitor Underwater Equipment. 2024. Julkaisu HIMA:n verkkosivuilla. Viitattu 25.6.2024. [SUBSEA \(hima.com\)](#)

HIMatrix: The Small and Inexpensive Safety Controller. 2024. Julkaisu HIMA:n verkkosivuilla. Viitattu 25.6.2024. [HIMatrix](#)

HIMax. 2024. Julkaisu HIMA:n verkkosivuilla. Viitattu 5.7.2024. [HIMax](#)

HIMax System manual Rev. 6.01. N.d. PDF manuaali HIMA:n extranetissä. Viitattu 26.6.2024. Käyttöä rajoitettu.

Joshua M. & Thorbjørn S. 2011. Specification of Requirements for Safety in the Early Development Phases - Misuse Case and HAZOP in the Concept Phase. Pro gradu -tutkielma Norwegian University of Science and Technology Department of Computer and Information Science. Viitattu 24.9.2024. [Specification of Requirements for Safety in the Early Development Phases - Misuse Case and HAZOP in the Concept Phase \(ntnu.no\)](#)

Järviö, J & Lehti, T. 2017. Kunnossapito: tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 6. uud. p. Helsinki: Pro-maint. Viitattu 13.6.2024.

Mitä on kyberturvallisuus? N.d. Julkaisu Microsoftin verkkosivuilla. Viitattu 24.10.2024. [Mitä kyberturvallisuus on? | Microsoft Security](#)

Mobley K. 2004. Maintenance Fundamentals. uud. p. 2. Elsevier Butterworth-Heinemann. Viitattu 14.6.2024. [ProQuest Ebook Central - Reader \(jamk.fi\)](#)

NTD-tarkastus eli rikkomaton aineenkoetus (NTD, Non-destructive testing). N.d. Julkaisu Kiwa Inspectan verkkosivuilla. Viitattu 15.6.2024. [NDT-tarkastus eli rikkomaton aineenkoetus | Kiwa](#)

Our history. 2024. Artikkelit Himan verkkosivuilla. Viitattu 19.6.2024. [Our History \(hima.com\)](#)

Planar4: The SIL 4 Controller for the highest level of security. 2024. Julkaisu HIMA:n verkkosivuilla. Viitattu 28.6.2024. [Planar4 \(hima.com\)](https://hima.com/Planar4)

Product Lifecycle Management. 2020. Julkaisu HIMA:n verkkosivuilla. Viitattu 23.9.2024. Käyttöä rajoitettu.

PSK 6201 Standardi kunnossapidosta. 4. p. 11.5.2022. PSK Standardisointi verkkosivut. Viitattu 13.6.2024. Käyttöä rajoitettu. [PSK6201 \(jamk.fi\)](https://jamk.fi/PSK6201)

PSK 7501 Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. 2. p. 2010. PSK standardisointi verkkosivut. Viitattu 10.8.2024. Käyttöä rajoitettu. [Microsoft Word - PSK 7501 2p \(jamk.fi\)](https://jamk.fi/Microsoft%20Word%20-%20PSK%207501%202p)

Safety relay F35. 2024. Julkaisu DirectIndustry:n verkkosivuilla. Viitattu 5.7.2024. [Safety relay - F35 series - HIMA - DIN rail / digital output / IEC \(directindustry.com\)](https://directindustry.com/Safety%20relay%20-%20F35%20series%20-%20HIMA%20-%20DIN%20rail%20/%20digital%20output%20/%20IEC)

Safety standards for industrial plants. 2024. Julkaisu HIMA:n verkkosivuilla. Viitattu 28.6.2024. [International Standards \(hima.com\)](https://hima.com/International%20Standards)

Sundquist. M. N.d. Toiminnallinen turvallisuus. PDF-dokumentti automaatioseuran verkkosivuilla. Sundcon Oy. Viitattu 16.7.2024. [Slide 1 \(automaatioseura.fi\)](https://automaatioseura.fi/Slide%201)

Turva-automaatio prosessiteollisuudessa, opas. Tukesin opas turva-automaatiojärjestelmille. Tukesin verkkosivut. Julkaistu 22.12.2021. Viitattu 14.6.2024. [Turva-automaatio prosessiteollisuudessa | Turvallisuus- ja kemikaalivirasto \(Tukes\)](https://tukes.fi/Turva-automaatio%20prosessiteollisuudessa%20-%20Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes))

Valmet yrityksenä. N.d. Julkaisu Valmetin verkkosivuilla. Viitattu 3.6.2024. [Valmet yrityksenä](https://valmet.com/Valmet%20yrityksen%C3%A4)