Tampereen yliopisto

Joel Tuomisto

SÄHKÖMOOTTORIEN SOVELTUVUUDEN ARVIOINTI YDINVOIMALAITOKSELLA

Diplomityö
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Tarkastaja: professori Paavo Rasilo
Tarkastaja: yliopisto-opettaja Antero Marjamäki
Joulukuu 2025

TIIVISTELMÄ

Joel Tuomisto: Sähkömoottorien soveltuvuuden arviointi ydinvoimalaitoksella
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Sähkötekniikan DI-ohjelma
Joulukuu 2025

Suomessa ydinvoima kattaa noin 40 % sähköntuotannosta, mikä korostaa ydinturvallisuuden ja laitteiden luotettavuuden merkitystä. Olkiluodon ydinvoimalaitoksella on käytössä tuhansia sähkömoottoreita, joista osa on turvallisuusluokiteltuja. Laitosten ikääntyessä ja tekniikan kehittyessä on syntynyt tarve päivittää moottorivaatimuksia ja arvioida uusien valmistajien tuotteiden soveltuvuutta. Tämän diplomityön tavoitteena oli yhtenäistää Olkiluodon laitosyksiköiden sähkömoottorien vaatimukset sekä tutkia Innomoticsin General Purpose (GP)- ja Severe Duty (SD)-sarjojen soveltuvuutta ydinvoimalaitoskäyttöön.

Työ toteutettiin osana materiaalihankintaprosessia ja sen menetelminä käytettiin kirjallisuuskatsausta, asiantuntijaryhmän arvioita ja haastatteluja. Kirjallisuuskatsauksessa analysoitiin kansallisia ja kansainvälisiä standardeja sekä viranomaisvaatimuksia. Tuloksena laadittiin päivitetyt yhdenmukaiset moottorivaatimukset ydinlaitosyksiköiden välille. Lisäksi määritettiin kelpoistusprosessin vaiheet ja dokumentointikäytännöt YVL E.7:n mukaisesti.

Työn perusteella todettiin, että Innomoticsin GP- ja SD-sarjojen moottorit täyttivät asetetut tekniset ja mekaaniset vaatimukset. SD-sarja soveltuu erityisesti vaativiin olosuhteisiin valurautarunkonsa ja laajan tehoalueensa ansiosta, kun taas GP-sarja tarjoaa kevyen ja kustannustehokkaan ratkaisun yleiskäyttöön. Molemmat sarjat ovat varianteilla muokattavia standardiprosessimoottoreita. Moottorit voidaan kelpoistaa yhdistetyllä soveltuvuusarviolla, joita täydennetään tarvittaessa laitepaikkakohtaisilla soveltuvuusarvioilla. Moottorivaatimusten päivittäminen ja Innomoticsin moottoreiden kelpoistus selkeyttävät ja helpottavat hankintaprosesseja sekä parantavat yrityksen kilpailukykyä.

Työ tarjoaa toistettavan mallin soveltuvuusarvion laadinnalle sekä tukee ydinvoimalaitosten turvallisuuden ja käyttövarmuuden varmistamista pitkällä aikavälillä.

Avainsanat: IEC 60034, kelpoistus, sähkömoottori, soveltuvuusarvio, ydinvoimalaitos

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

ABSTRACT

Joel Tuomisto: Evaluation of Electric Motor Suitability for Nuclear Power Plant Applications
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Programme in Electrical Engineering
December 2025

In Finland, nuclear power accounts for approximately 40% of electricity production, which highlights the importance of nuclear safety and equipment reliability. The Olkiluoto nuclear power plant uses thousands of electric motors, many of them safety classified. Because of the plants age and technology advances, there is a need to update motor requirements and assess the suitability of products from new manufacturers. The objective of this thesis was to harmonize the electric motor requirements between Olkiluoto's units and examine the suitability of Innomotics' General Purpose (GP) and Severe Duty (SD) series for nuclear power plant use.

The thesis was carried out as part of the material procurement process using methods such as a literature review, expert group evaluations and interviews. The literature review analyzed national and international standards as well as regulatory requirements. As a result, updated and harmonized motor requirements were established between the nuclear plant units. In addition, the steps of the qualification process and documentation practices were defined in accordance with YVL E.7.

The study concludes that Innomotics GP and SD series motors meet the specified technical and mechanical requirements. The SD series is particularly suitable for demanding conditions due to its cast-iron frame and wide power range, while the GP series offers a lightweight and cost-effective solution for general applications. Both series are standard process motors that can be customized with variants. Motors can be qualified through a combined suitability analysis, which can be supplemented with location-specific suitability analysis if necessary. Updating motor requirements and qualifying Innomotics motors streamline procurement processes and improve the company's competitiveness.

This work provides a repeatable model for preparing suitability analysis and supports the long-term safety and reliability of nuclear power plants.

Keywords: electric motor, IEC 60034, nuclear power plant, qualification, suitability assessment

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin Originality Check service.

TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

☐ Ei

☒ Kyllä

Ilmoitukseni mukaan olen käyttänyt opinnäytteessäni tutkielmaprosessin aikana seuraavia tekoälysovelluksia:
Microsoft M365 Copilot

Käyttötarkoitus:
Tekoälytyökalua on hyödynnetty monipuolisesti tiedonhaussa ja materiaalin käännöstyössä sekä lopullisen työn kirjoitusasun ja oikeinkirjoituksen tarkistuksessa.

Osiot, joissa tekoälyä on käytetty:
Kappaleet 1-5

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien osat, joissa on hyödynnetty tekoälyä, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

ALKUSANAT

Hyvä Lukija. Sanomalla sinulle vähän, haluan sanoa sinulle paljon. Kiitos.

No huhhuh. Tähän on tultu ja tässä sitä nyt ollaan. Vuodet ovat vierineet kovaa vauhtia, vaikka välillä minuutit ovat tuntuneet tunneilta ja osa muistikuvista on iltojen myötä kadonnut. Lopulta voin kuitenkin ilokseni todeta diplomityöni olevan valmis. Toivottavasti oma valmistumiseni motivoi sinua, Iiro, saattamaan oman opinnäytteesi maaliin.

Haluan kiittää Paavo Rasiloa ja Antero Marjamäkeä diplomityöni tarkastamisesta sekä kaikista neuvoista prosessin ajalta. Kiitokset kuuluvat myös Teollisuuden Voima Oy:lle ja työni ohjausryhmälle valmistumiseni mahdollistamisesta sekä Sähköinsinööriliitolle työni tukemisesta. Työni ohjaaja Ari Lehtio ansaitsee erityiset kiitokset asiantuntijuuden jakamisesta ja aidosta kiinnostuksesta työtäni kohtaan.

Aikani yliopistossa ei olisi ollut mitään ilman lähelläni olleita ihmisiä. Yhteisöistä haluan kiittää Fuksineuvostoa, Tampereen Teekkarien vuoden 2022 hallitusta ja Urrrheilujoukkuetta siitä, että olette jaksaneet ja jaksatte vieläkin sietää minua. Kiitokset ystävilleni Tumelle ja Roosalle, Markukselle ja Antonille sekä tietenkin Kaisalle.

Rakkautta isälle, äidille, Jakkelle, Pihlalle ja Emmalle. Rajattomasti rapsuja Rambolle.

Olkiluodossa, 18.12.2025

Joel H.A. Tuomisto

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO ... 1
2. KIRJALLISUUSSELVITYS ... 4
2.1 Taustavaatimukset ... 4
2.1.1 Käsitteitä ... 4
2.1.2 Ydinturvallisuuden perusteet ... 5
2.1.3 Säädösten hierarkia ... 8
2.1.4 Fingridin rooli ... 14
2.1.5 Sähkömoottoristandardit ... 16
2.1.6 Ydinalan turvallisuusluokittelu ... 16
2.2 Vaatimustenhallinta ja kelpoistus ... 21
2.2.1 ISO 9000 ja ISO 9001 -laatujärjestelmä ... 21
2.2.2 V&V-prosessi V-mallina ... 25
2.2.3 Kelpoistussuunnitelma ... 27
2.2.4 Vaatimusmäärittely ... 28
2.2.5 Soveltuvuusarvio ... 32
2.2.6 Standardilaitteiden hyväksyttäminen ydinkäyttöön ... 37
3. MENETELMÄT ... 43
3.1 Kirjallisuuskatsaus ... 43
3.2 Asiantuntijaryhmän toiminta ... 44
3.3 Haastattelut ... 45
4. TULOKSET ... 47
4.1 Yhdistetyt moottorivaatimukset ... 47
4.2 Kelpoistettavat laitteet ... 54
4.2.1 Innomoticsin sähkömoottorisarjat ... 54
4.2.2 Tekninen soveltuvuus ... 58
4.3 Dokumenttimuutokset ... 63
5. JOHTOPÄÄTÖKSET ... 66
LÄHTEET ... 69
LIITE A: VAATIMUSMÄÄRITTELYN SISÄLLYSLUETTELO ... 73
LIITE B: OL1/2/3 MOOTTORIVAATIMUSTEN VERTAILUTAULUKKO ... 74
LIITE C: TUOTTEEN A KORVAAVAN VARAOSAN B SOVELTUVUUSARVION SISÄLLYSLUETTELO ... 75

LYHENTEET JA MERKINNÄT

CEN	Euroopan standardointikomitea (ransk. Comité Européen de Normalisation)
DEC	Oletetun onnettomuuden laajennus (eng. design extension condition)
DID	Syvyyssuuntainen suojausajattelu (eng. defence-in-depth)
DOL	Suora verkkokytkentä (eng. Direct-on-Line)
EYT	Ei ydinteknisesti turvallisuusluokiteltu
FSAR	Lopullinen turvallisuusarvio (eng. final safety analysis report)
GP	General Purpose -moottorisarja
IAEA	Kansainvälinen atomienergiajärjestö (eng. International Atomic Energy Agency)
IEC	Kansainvälinen sähköalan standardointitoimisto (eng. International Electrotechnical Commission)
IP	Suojausluokitus (eng. ingress protection)
ISO	Kansainvälinen standardoimisjärjestö (eng. International Organization for Standardization)
IV&V	Riippumaton todentaminen ja kelpoistus (eng. independent verification and validation)
KPA	Käytetyn polttoaineen varasto
OL1/2/3	Olkiluoto 1/2/3 -ydinvoimalaitosyksikkö
QPS	Qualification Preservation Sheet
QSP	Qualification Summary Report
SD	Severe Duty -moottorisarja
SFS	Suomen Standardoimisliitto
SSG	IAEA:n turvallisuusstandardi (eng. Specific Safety Guide)
STUK	Säteilyturvakeskus
TVO	Teollisuuden Voima Oyj
V&V	Todentaminen ja kelpoistus (eng. verification and validation)
VFD	Taajuusmuuttaja (eng. variable frequency drive)
VJV	Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset
WANO	Maailman ydinvoimalaitosten käyttäjien liitto (eng. World Association of Nuclear Owners)
YLE	Yleiset liittymisehdot
YVL	Ydinturvallisuusohje

1. JOHDANTO

Ydinvoimalla on keskeinen rooli Suomen energiantuotannossa minkä lisäksi Suomi on Euroopan johtavia valtioita ydinjätteen turvallisen loppusijoittamisen kehitystyössä. Vuonna 2024 noin 40 % Suomen tarvitsemasta sähköstä tuotettiin ydinvoimalla (Energiateollisuus, 2025a). Vain kolme muuta Euroopan unionin valtiota, Ranska, Slovakia ja Unkari, tuottivat prosentuaalisesti enemmän sähköä ydinvoimalla kuin Suomi (WANO, 2025). Energiateollisuus ry on seurannut ydinvoiman suosiota kyselytutkimuksilla Olkiluoto 2 (OL2) käynnistymisestä eteenpäin, vuodesta 1983 lähtien. Vuoden 2025 kyselyssä lähes seitsemän kymmenestä suomalaisesta suhtautui ydinvoimaan myönteisesti, mikä on mittaushistorian korkein osuus. (Energiateollisuus, 2025b)

Lait, asetukset ja standardit asettavat luvanvaraisille ydinlaitoksille ja niiden toiminnoille tiukat turvallisuusvaatimukset. Tinkimätön suhtautuminen turvallisuuteen varmistaa luotettavan ja tasaisen ydinsähkön tuotannon, estää radioaktiivisen kontaminaation leviämistä prosessien ulkopuolelle ja säilyttää ydinturvallisuuden eheyden. Ydinturvallisuuden takaamiseksi ydinlaitoksilla varmistetaan, että jokainen asennettu laite on toimintavarma ja jokaiselle laitteelle on osoitettu toimiva varaosahuolto. Laitosten ikääntyessä ja tekniikan kehittyessä jo asennetut komponentit ja laitteet vanhenevat, mikä luo tarpeen uusien tuotteiden ja laitteiden hyväksynnälle.

Tämän diplomityön tarkoituksena on yhdenmukaistaa Olkiluodon ydinvoimalaitosyksiköiden moottorivaatimukset sekä tutkia uuden moottorivalmistajan, Innomoticsin, General Purpose (GP)- ja Severe Duty (SD)-moottorisarjojen soveltuvuutta ydinlaitosten käyttöön. Tämä diplomityö on osa materiaalihankintaprosessia, jonka tavoitteena on kelpoistuksen laitepaikoille suoraan mahdollistava materiaali. Tämän myötä kohdeyritys voi jatkossa saada kilpailevia tarjouksia usealta turvallisuusluokitellulta moottorivalmistajalta. Kilpailu tuo myös taloudellista hyötyä sillä kelpoistusprojektit yksinkertaistuvat, nopeutuvat ja helpottuvat.

Diplomityössä toteutettavan tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa uudemman ja vanhempien ydinlaitosten sähkömoottoreihin liittyvien standardien ja vaatimusten nykytila. Tutkimuksessa kartoitetun nykytilan perusteella pystytään asettamaan lisää tai karsimaan pois tarpeettomia vaatimuksia, jotta ydinlaitoksille saataisiin yhtenevät

käytänteet. Tutkittavista sähkömoottorikäytöistä rajataan ulkopuolelle erityiskäytöt, kuten lauhde-, pääkierto- ja syöttövesipumput niiden erityisvaatimusten perusteella.

Vaatimusten nykytilaa on analysoitu kirjallisuuskatsauksella, jonka tuloksia on arvioitu insinöörien asiantuntijaryhmän näkemysten ja lausuntojen perusteella. Kelpoistustyön kulku tullaan dokumentoimaan tarkasti, jotta sen tekeminen helpottuu, selkeytyy ja yksinkertaistuu. Tehdyn työn toistettavuus ja ymmärrettävyys ovat olennaisessa osassa tätä diplomityötä.

Tutkimuksen tavoitteena on vastata seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Miten Olkiluoto 3 (OL3)-projektin moottoristandardeja saisi päivitettyä?
2. Miten Olkiluoto 1 (OL1) ja Olkiluoto 2 moottoristandardit ovat sovitettavissa OL3:lle?
3. Soveltuvatko Innomoticsin moottorit Olkiluodon ydinlaitoksille niille asetetuin rajoituksin?

Ensimmäinen tutkimuskysymys pyrkii tunnistamaan ja poistamaan päällekkäisyyksiä Olkiluoto 3 -laitostoimittajan asettamissa vaatimuksissa. Toisessa kysymyksessä selvitetään ydinlaitosten vaatimusten yhtenäisyyttä ja todetaan tarvittavat eroavaisuudet, minkä pohjalta luodaan ehdotus uusille moottorivaatimuksille. Kolmannen tutkimuskysymyksen tavoitteena on arvioida turvallisuusluokitellun moottorivalmistajan kelpoisuus Olkiluodon ydinvoimalaitoskäyttöön.

Tämän työn luvussa 2 tarkastellaan luvanvaraisiin ydinlaitoksiin liittyvien vaatimusten taustaa ja säännöshierarkiaa, perehdytään kelpoistusprosessiin ja siihen, miksi se on laadun- ja turvallisuuden varmistamisen kannalta oleellinen työkalu. Luvussa 3 esitetään tutkimuksessa ja työssä käytetyt menetelmät. Luvussa 4 selvitetään Olkiluodon ydinvoimalaitosyksiköiden vaatimusten eroavaisuudet ja annetaan ehdotus uusista, koko ydinvoimalan kattavista moottorivaatimuksista. Luvussa esitellään myös kelpoistettavat Innomoticsin moottorisarjat ja tutkitaan niiden soveltuvuutta. Luvussa 5 esitetään diplomityön johtopäätökset ja annetaan kehitysehdotus sähkömoottorien kelpoistamisesta.

Olkiluodon ydinvoimalaitoksella on suuri määrä sähkömoottoreita, joista osa on turvallisuusluokiteltuja lukuisilta eri valmistajilta ja monista eri teholuokista. Tyypillisimmät moottorikäytöt liittyvät pumppuihin, kompressoreihin ja ilmanvaihtolaitteisiin. Osa moottoreista on alkuperäisiä, jotka on asennettu laitepaikoilleen 1980-luvun alkupuolella. Ydinvoimalaitosyksiköille OL1 ja OL2 on suunnitteilla tehonkorotus ja käyttöiän pidentäminen alustavasti vuoteen 2048 asti. OL3

on suunniteltu käytettäväksi vähintään 60 vuoden ajan 2080-luvulle saakka. Nämä edellyttävät, että varaosien saatavuus ja laitosten kunnossapito varmistetaan pitkälle tulevaisuuteen.

Diplomityö tehdään työsuhteessa Teollisuuden Voima Oyj:lle (TVO). TVO on suomalainen, listaamaton julkinen osakeyhtiö, joka tuottaa ilmastoystävällistä sähköä omistajilleen omakustannehintaan Mankala-periaatteen mukaisesti. TVO:n sähköntuotanto perustuu ydinvoimaan ja sen toiminta keskittyy Eurajoen Olkiluodon saarelle. Olkiluodon ydinvoimalaitos koostuu kolmesta ydinreaktorista, vuosina 1979 ja 1982 kaupallisen käytön aloittaneista Olkiluoto 1:stä ja Olkiluoto 2:sta, säännöllisen sähköntuotannon alkuvuodesta 2023 aloittaneesta Olkiluoto 3:sta sekä käytetyn polttoaineen (KPA) varastorakennuksesta ja laitosalueen muista apu- ja sivurakennuksista. Vuonna 2024 Olkiluodon voimalaitokset tuottivat yhteensä 23,26 TWh sähköä, mikä vastasi noin 28 % koko Suomen sähkönkulutuksesta. Lisäksi TVO on mukana aloittamassa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta yhdessä tytäryhtiönsä Posiva Oy:n kanssa — ensimmäisenä maailmassa. (TVO, 2025a)

Innomotics on globaali teknologia- ja teollisuusyritys, joka keskittyy sähköisiin käyttöjärjestelmiin, sähkömoottoreihin ja taajuusmuuttajiin. Yritys syntyi Siemensin liiketoimintasiirron myötä vuonna 2024, kun 1800-luvun lopulta asti sähkömoottoreita valmistanut Siemens irtautti moottoritoiminnan omaksi tytäryhtiökseen. Innomoticsilla on toimintaa yli 50 maassa, se työllistää yli 15 000 asiantuntijaa ja toimii yli kolmen miljardin euron vuosittaisella liikevaihdolla. Innomoticsilla on johtava markkina-asema kolmella keskeisellä liiketoimintasektorilla: se on maailmanlaajuisesti markkinaykkönen pienjännitemoottoreissa ja keskijännitekäytöissä sekä toisella sijalla suurjännitemoottoreissa. Työssä tarkasteltavat GP- ja SD-sarjojen moottorit ovat alle 1 000 V oikosulkumoottoreita. (Innomotics, 2024a)

2. KIRJALLISUUSSELVITYS

Tässä luvussa tarkastellaan diplomityön kannalta olennaisia käsitteitä, keskeistä teoriapohjaa ja rakennetaan viitekehys, jonka avulla tutkimuskysymyksiin voidaan vastata. Koska ydinvoimalaitosympäristössä turvallisuus on ensisijainen ja kriittinen tekijä, aloitetaan luku katsauksella ydinturvallisuuden periaatteisiin, vaatimuksiin ja niiden taustalla vaikuttaviin sääntelylähteisiin.

Ydinturvallisuuden ja vaatimusten taustan käsittelyn jälkeen siirrytään tarkastelemaan vaatimustenhallintaan liittyviä teoreettisia lähtökohtia, kuten vaatimusten määräytymistä ja soveltuvuuden arviointia. Näiden käsitteiden ja käytäntöjen ymmärtäminen on olennaista, jotta sähkömoottorien soveltuvuutta ydinvoimalaitoskäyttöön voidaan arvioida luotettavasti ja vaatimustenmukaisesti.

2.1 Taustavaatimukset

2.1.1 Käsitteitä

Kelpoistus on ydinalalla hyvin yksilöity ja yleinen käsite. Terminä se tarkoittaa soveltuvuuden vahvistamista. Se on hyväksyttämisprosessin viimeinen osa, jossa haetaan näyttöä ja varmistusta sille, että kohde tai tuote soveltuu sille valittuun käyttöön (ATS, 2013). Evidenssi kelpoistuksesta voidaan saada muun muassa simuloinneilla, kokeilla ja käyttökokemuksilla.

Ydinvoimalaitosyksikkö on yhden reaktorin sisältävä sähköntuotantokokonaisuus. Ydinlaitos on keskeinen ydinenergialain termi, joka tarkoittaa esimerkiksi ydinenergian aikaansaamiseen käytettäviä laitoksia, tutkimusreaktoreita, ydinjätteiden loppusijoittamista toteuttavia laitoksia sekä ydinpolttoaineen tai muiden ydinmateriaalien laajamittaiseen tuottamiseen, valmistukseen, varastointiin ja käyttöön tarkoitettua laitosta. Lopullisesti suljettu ydinvoimalaitos ei täten täytä kriteerejä ydinlaitoksen määritelmälle. Ydinvoimalaitos ja ydinvoimala voi sisältää yhden tai useampia ydinvoimalaitosyksiköitä tai ydinlaitoksia tai molempia. (ATS, 2013)

Yhtiötä tai organisaatiota, joka on saanut luvan ydinlaitoksen käyttöön tai muuhun ydinenergian käyttöön, sanotaan luvanhaltijaksi. Koska toiminta on luvanvaraista, kohdistuvat ydinenergialainsäädännön velvoitteet luvanhaltijaan. Tämän takia alan kontekstissa ei puhuta ydinvoimayhtiöistä, vaan luvanhaltijoista. (Sandberg, 2004)

2.1.2 Ydinturvallisuuden perusteet

Ydinvoimalaitoksen suunnittelussa keskitytään luotettavaan ja häiriöttömään toimintaan, mikä myös muodostaa perustan laitosten turvalliselle ja taloudellisesti kannattavalle käytölle. Suunnittelu perustuu tiettyihin keskeisiin periaatteisiin, jotka ovat kokonaisvaltaisia ja toisiaan täydentäviä (STUK, 2019b). Määrittävä perusperiaate on syvyyssuuntainen turvallisuusajattelu (Defence-in-Depth, DID), johon sisältyvät seuraavat periaatteet: useat suojaesteet, redundanssi, diversiteetti ja erottelu. Syvyyssuuntainen suojaus on ydinturvallisuuden periaate, joka kompensoi ydinlaitoksilla mahdollisia teknisiä ja inhimillisiä virheitä. Se perustuu toisistaan riippumattomiin ja peräkkäisiin suojaustasoihin, mikä on ensimmäinen keino estää onnettomuuksia tai lieventää niiden seurauksia häiriö- ja onnettomuustilanteissa. (IAEA, 2016) (STUK, 2018)

DID-konsepti koostuu viidestä puolustustasosta, joista kaksi ensimmäistä keskittyvät onnettomuuksien ehkäisyyn ja seuraavat kolme niiden seurausten lieventämiseen:

1. Ennaltaehkäisy
2. Poikkeavien käyttötilanteiden hallinta
3. Onnettomuuksien hallinta
4. Päästöjen rajoittaminen vakavissa onnettomuuksissa
5. Seurausten lieventäminen.

Ensimmäinen taso pyrkii estämään poikkeamat normaalista toiminnasta ja turvallisuuden kannalta tärkeiden laitteiden vikaantumisen. Suunnittelussa, valmistuksessa, asennuksessa, käyttöönotossa, tarkastuksessa, testauksessa ja kunnossapidossa käytetään konservatiivisia turvallisuusmarginaaleja, laadunhallintaa ja hyväksi todettuja teknisiä käytäntöjä. Ydinlaitoksen käytön tulee olla luotettavaa ja poikkeamien normaaleista käyttöolosuhteista tulee olla harvinaisia. (IAEA, 2016) (STUK, 2018)

Toinen taso keskittyy poikkeavien käyttötilanteiden havaitsemiseen ja hallintaan. Vaikka ydinlaitokset on suunniteltu toimimaan ilman vikoja, tämän tason tavoitteena on hallita mahdolliset viat ja estää niiden kehittyminen onnettomuuksiksi. Tämä perustuu siihen, että oletettujen alkutapahtumien voidaan olettaa tapahtuvan ydinvoimalaitoksen käyttöiän aikana, vaikka niiden ehkäisemiseksi on tehty huolellista työtä. Yksittäinen ydinlaitos on siis varustettava järjestelmillä, jotka kykenevät saattamaan laitoksen hallittuun tilaan tarvittaessa ja varmistamaan jälkilämmön poiston. (IAEA, 2016) (STUK, 2018)

Kolmas taso pyrkii estämään onnettomuuksien kehittymisen vakaviksi. On epätodennäköistä, että jotkin toimintapoikkeamat tai alkutapahtumat voivat edetä hallitsemattomasti ja johtaa onnettomuuteen. Ydinlaitos on kuitenkin niiden varalta varustettava automaattisesti ja luotettavasti toimivilla järjestelmillä, jotka estävät vakavan polttoainevaurion kehittymisen ja oletettujen onnettomuuksien laajentumisen. Tämä edellyttää, että sisäiset ja/tai tekniset turvallisuusominaisuudet, -järjestelmät ja -menettelyt kykenevät estämään suojelutoimenpiteitä edellyttävät radioaktiiviset päästöt ja reaktorin ytimen vaurioitumisen sekä palauttamaan laitoksen turvalliseen tilaan. (IAEA, 2016) (STUK, 2018)

Neljäs taso keskittyy radioaktiivisten aineiden pidättämiseen vakavan tason reaktorionnettomuuksissa, jotka ovat seurausta kolmannen tason suojauksen puutteista. Tavoitteena on varmistaa suojarakenteen rakenteellinen eheys ja tiiviys, jotta mahdolliset päästöt pysyvät vakavien reaktorionnettomuuksien yhteydessä ennalta määritellyissä rajoissa. Tarvittavien suojelutoimien on oltava ajallisesti ja alueellisesti rajattuja siten, että radioaktiivisilta päästöiltä vältytään ja laitoksen ulkopuolinen kontaminaatio minimoidaan. (IAEA, 2016) (STUK, 2018)

Viides taso pyrkii lieventämään onnettomuuden seurauksia siltä varalta, että merkittäviä määriä radioaktiivisia aineita pääsee ympäristöön. Tällöin tarvitaan valmiussuunnitelmia väestön säteilyannosten rajoittamiseksi. Tämä edellyttää toimivaa valmiusorganisaatiota ja varautumissuunnitelmien olemassaoloa sekä laitoksen sisäisiä että ulkoisia hätätilanteita varten. (IAEA, 2016) (STUK, 2018)

Radioaktiivisten aineiden leviämisen estämiseksi on noudatettava syvyyssuuntaista turvallisuusajattelua sekä otettava käyttöön peräkkäisiä esteitä radioaktiivisten aineiden vapautumisen estämiseksi. Ydinvoimalaitosyksiköllä on tyypillisesti viisi peräkkäistä estettä kuvan 1 mukaisesti.

Kuva 1. *Moninkertaiset vapautumisesteet. (Muokattu lähteestä TVO 2025c)*

Polttoainesauva koostuu keraamisista polttoainepelleteistä ja kaasutiiviistä suojakuoresta. Reaktoripaineastia ja primääripiiri pidättävät mahdolliset polttoaineesta sattuvat vuodot. Suojarakennus estää radioaktiivisten aineiden pääsyn ympäristöön, jos primääripiiri vaurioituu. Suojarakennuksen eheyden varmistamiseksi reaktorirakennukseen on asennettu suodatinjärjestelmä mahdollisen päästön minimoimiseksi osana vakavien reaktorionnettomuuksien hallintaa. Reaktorirakennus myös suojaa ulkoisilta uhilta, esimerkiksi missiilien törmäyksiltä ja sääilmiöiltä sekä toimii sekundäärisenä suojarakenteena. (STUK, 2018)

Ydinalalla on luotettavuuden varmistamista varten kehitetty turvallisuuden kannalta oleellisia suunnitteluperiaatteita ja -vaatimuksia. SAHARA-periaatteen (Safety As High As Reasonably Achievable) mukaan ydinenergian käytön turvallisuus ydinlaitoksissa on pidettävä niin korkealla kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista. Tämä pitää sisällään tavoitteet ennaltaehkäisevästä turvallisuuskulttuurista sekä vaatimusten ylittämisestä ja riskien tunnistamisesta ja hallinnasta. (STUK, 2019a) Säteilysuojelussa optimointiperiaatteena käytetään ALARA-periaatetta (As Low As Reasonably Achievable), minkä avulla pyritään minimoimaan säteilyannokset ja radioaktiiviset päästöt käyttämällä kaikkia kohtuullisia keinoja. Se saavutetaan ydinturvallisuuden ja käytön huolellisella suunnittelulla. (STUK, 2019e)

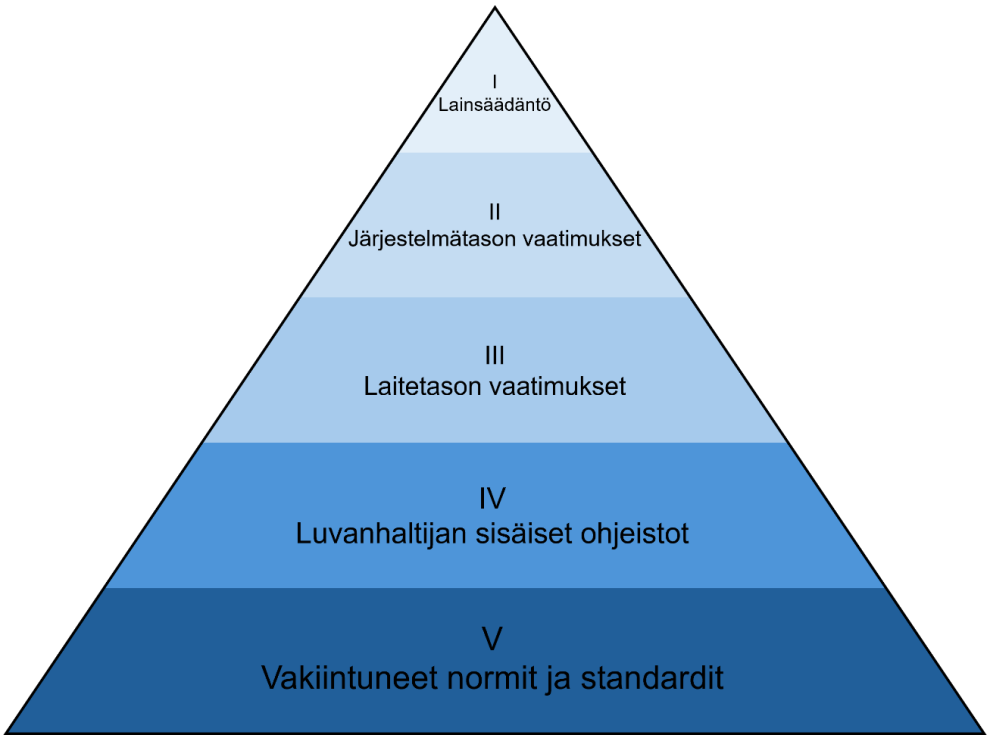
Ydinalalla noudatetaan redundanssin, diversiteetin ja erottelun periaatteita. Redundanssilla, eli monikertaisuusajattelulla, tarkoitetaan rinnakkaisten, joko keskenään identtisten tai erilaisten järjestelmien, rakenteiden tai laitteiden käyttöä. Tällöin mikä tahansa osista pystyy itsenäisesti suorittamaan vaaditun tehtävän riippumatta siitä, missä toiminta- tai vikatilassa muut vastaavat osat ovat. Toisistaan riippumattomat, samaa toimintoa, suorittavat sähkömoottorit ovat tästä esimerkkinä. Diversifioinnilla tai erilaisuusperiaatteella tarkoitetaan toimintojen varmistamista eri toimintaperiaatetta käyttävillä tai muuten keskenään erilaisilla järjestelmillä, rakenteilla

tai laitteilla, joista jokainen pystyy erikseen toteuttamaan halutun toiminnon. Diversiteetti voidaan saada esimerkiksi käyttämällä eri valmistajien sähkömoottoreita tai paineilmalaitteita sähkömoottorien rinnalla. Erotteluperiaate jakaantuu fyysiseen ja toiminnalliseen erotteluun. Fyysinen erottelu tarkoittaa järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden sijoittamista riittävälle etäisyydelle toisistaan tai käyttämällä esteitä osien välissä. Toiminnallinen erottelu varmistaa, että yhden järjestelmän normaali toiminta tai vikatilanne ei aiheuta haittaa toiseen järjestelmään. (STUK, 2019b) (TVO, 2021)

2.1.3 Säädösten hierarkia

Ydinvoiman negatiiviset vaikutukset liittyvät säteilyriskin kasvuun, jota rajoitetaan huolellisilla arvioinneilla kaikista toiminnan merkittävistä seurauksista. Jotta ydinvoiman käytön riskejä voidaan vähentää, on ydinvoimatoimintojen turvallisuutta arvioitava laajasti. Ydinenergian tuotannon keskeinen turvallisuustavoite on suojella ihmisiä ja ympäristöä ionisoivan säteilyn haitallisilta vaikutuksilta. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi on toteutettava kaikki kohtuudella saavutettavissa olevat toimenpiteet. Näihin toimiin kuuluvat säteilyaltistuksen hallinta sekä ihmisille että ympäristölle, sellaisten tapahtumien todennäköisyyden minimoiminen, jotka voisivat johtaa hallitsemattomaan säteilypäästöön ja jälkiseurausten lieventäminen, mikäli tällainen tapahtuma sattuisi.

Ydinlaitoksen käyttöiän eri vaiheissa, suunnittelusta ja luvittamisesta aina käytöstä poistoon ja loppusijoitukseen, tulee aina noudattaa voimassa olevia lakeja ja asetuksia ydinturvallisuuden takaamiseksi. Noudatettavia vaatimustasoja on viisi, joiden mukaiset sovellettavat säädökset on esitetty kuvassa 2 hierarkkisessa järjestyksessä ylhäältä alaspäin.



Kuva 2. *Sovellettavien säädösten hierarkkinen esitys. (Muokattu lähteestä TVO 2012)*

Tasossa 1 tarkoitetulla lainsäädännöllä viitataan Euroopan unionin direktiiveihin ja asetuksiin, Suomen eduskunnan säätämiin lakeihin sekä tasavallan presidentin, valtioneuvoston ja ministeriöiden antamiin asetuksiin. Lisäksi kaikkien muiden Suomen viranomaisten virallisissa asiakirjoissa ja lupapäätöksissä esittämät erityisvaatimukset voidaan katsoa yhtä sitoviksi kuin lait. Suomalaisten lakien ja eurooppalaisen lainsäädännön noudattaminen on pakollista niin luvanhaltijalle kuin järjestelmän toimittajille. (TVO, 2012)

Keskeinen suomalainen ydinenergia-alan lainsäädäntö sekä ydinenergialakia ja -asetusta täydentävät keskeiset valtioneuvoston asetukset on lueteltu alla:

- Ydinenergialaki (990/1987)
- Laki ydinenergialain muuttamisesta (342/2008)
- Ydinenergia-asetus (161/1988)
- Säteilylaki (859/2018)
- Laki Säteilyturvakeskuksesta (1164/2022)
- Valtioneuvoston asetus ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta (733/2008)
- Valtioneuvoston asetus ydinenergian käytön turvajärjestelyistä (734/2008)

- Valtioneuvoston asetus ydinvoimalaitoksen valmiusjärjestelyistä (735/2008)
- Valtioneuvoston asetus ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuudesta (736/2008).

Ydinvoiman käyttö Suomessa voidaan kiteyttää ydinenergialain 2 luvun 5 §

> *”5 § Yhteiskunnan kokonaisetu*
>
> *Ydinenergian käytön tulee olla, sen eri vaikutukset huomioon ottaen, yhteiskunnan kokonaisedun mukaista.”*

ja 2 a luvun 7 a §

> *”7 a § Johtavat periaatteet*
>
> *Ydinenergian käytön turvallisuus on pidettävä niin korkealla tasolla kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista. Turvallisuuden edelleen kehittämiseksi on toteutettava toimenpiteet, joita käyttökokemukset ja turvallisuustutkimukset sekä tieteen ja tekniikan kehittyminen huomioon ottaen voidaan pitää perusteltuina.”*

mukaisesti. Laki edellyttää, että luvanvaraisen ydinvoiman tulee olla yhteiskunnan kokonaisedun mukaista, sen käytön turvallisuus on pidettävä niin korkealla tasolla kuin mahdollista ja käyttöturvallisuutta on tutkittava ja parannettava tekniikan kehittyessä. Tämän valvonta perustuu kansalliseen ydinenergialainsäädäntöön kokonaisuudessaan ja kansainväliseen valvontaan yhteistyötahojen kuten YK:n alaisen Kansainvälisen atomienergiajärjestön (International Atomic Energy Agency, IAEA), Maailman ydinvoimalaitosten käyttäjien liitto WANO:n ja Euroopan atomienergiayhteisö Euratomin kanssa ja välillä.

Säteilyturvakeskuksen (STUK) asema säteilyn ja radioaktiivisuuden käyttöä valvovana ja neuvovana viranomaisena on turvattu lain Säteilyturvakeskuksesta 1 §

> ”*1 § Toimiala ja asema*
>
> *Säteilyturvakeskus on sosiaali- ja terveysministeriön hallinnonalalla toimiva valtion hallintoviranomainen, joka edistää ja valvoo säteilyturvallisuutta ja ydinenergian käytön turvallisuutta.*
>
> *Säteilyturvakeskuksella on toimialaansa liittyvissä kannanotoissaan ja valvontatoiminnassaan riippumaton asema.”*

mukaan. STUK:n toiminta ydinenergia- ja ydinturvallisuuspuolella liittyy ydinlaitosten, ydinmateriaalin ja ydinjätteiden loppusijoituksen valvontaan. STUK antaa turvallisuutta koskevia määräyksiä ydinenergialain ja valtioneuvoston asetuksen ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta mukaisesti. Lisäksi sen toimialaan kuuluu tutkia säteilyn vaikutuksia

ihmisiin ja ympäristöön sekä antaa määräyksiä ja ohjeita säteilyn käyttöön liittyessä. STUK valvoo laitosten tekniikan lisäksi luvanhaltijoiden työntekijöiden ja organisaatioiden toimintaa ja toimintatapoja. STUKin valvontaa toteutetaan tarkastuksilla, testauksilla, satunnaistarkastuksilla ja auditoinneilla. (STUK, 2025a)

Kuvan 2 toisen sovellettavien säännösten tason tarkoitus on tulkita ensimmäinen tason vaatimuksia. Järjestelmätason vaatimukset koostuvat perusteellisista turvallisuuskriteereistä, jotka reflektoivat yleisesti hyväksyttäjä ydinalan turvallisuuskriteerejä menemättä kuitenkaan liian syvälle teknisiin yksityiskohtiin. Tason 2 vaatimuksia ovat esimerkiksi STUK:n ydinturvallisuusohjeiden (YVL) A- ja B-sarja ydinlaitoksen turvallisuuden hallinnasta ja suunnittelusta, STUK:n ydinenergia- ja säteilylain nojalla annetut määräykset ja IAEA:n SSG-turvallisuusstandardit, joiden perusturvallisuustavoitteena on suojella ihmisiä ja ympäristöä ionisoivan säteilyn haitallisilta vaatimuksilta. Kansainvälisiä säännöksiä tulee soveltaa, ellei Suomen lainsäädännössä tai YVL-ohjeissa ole säädetty tiukemmista vaatimuksista. Poikkeamat näistä kriteereistä ovat mahdollisia vain poikkeustapauksissa ja erikseen dokumentoidusti keskustelujen pohjalta ja viranomaisen hyväksynnän jälkeen. (TVO, 2012)

Lain ydinenergialain muuttamisesta 2 a luvun 7 r §

> *”7 r § Yksityiskohtaiset turvallisuusvaatimukset*
>
> *Säteilyturvakeskuksen tehtävänä on asettaa tämän lain mukaisen turvallisuustason toteuttamista koskevat yksityiskohtaiset turvallisuusvaatimukset.*
>
> *Säteilyturvakeskuksen tulee järjestää asettamansa turvallisuusvaatimukset ydinenergian käytön turvallisuuden osa-alueiden mukaan ja julkaista ne Säteilyturvakeskuksen määräyskokoelmassa.*
>
> *Säteilyturvakeskuksen turvallisuusvaatimukset velvoittavat luvanhaltijaa, kuitenkin niin, että luvanhaltijalla on oikeus esittää muunkinlainen kuin vaatimuksissa edellytetty menettelytapa tai ratkaisu. Jos luvanhaltija vakuuttavasti osoittaa, että esitetty menettelytapa tai ratkaisu toteuttaa tämän lain mukaisen turvallisuustason, Säteilyturvakeskus voi sen hyväksyä.”*

velvoittaa Säteilyturvakeskusta asettamaan ydinturvallisuusohjeet, joissa määritellään tarkemmin ydinenergialain mukaisten turvallisuustasojen toteuttamista koskevat yksityiskohtaiset turvallisuusvaatimukset. YVL-ohjeet ovat osa STUK:n määräyskokoelmaa, jossa viranomainen ottaa kantaa ja ohjeistaa kuinka turvallinen ydinkäyttö Suomessa saavutetaan. YVL-ohjeet jaotellaan nykyään viiteen osaan:

- YVL A. Ydinlaitoksen turvallisuuden hallinta
- YVL B. Ydinlaitoksen ja sen järjestelmien suunnittelu
- YVL C. Ydinlaitoksen ja ympäristön säteilyturvallisuus
- YVL D. Ydinmateriaalit ja -jätteet
- YVL E. Ydinlaitoksen rakenteet ja laitteet.

YVL-ohjeita tulee noudattaa sellaisinaan rakenteilla oleviin ja uusiin ydinlaitoksiin. Käytössä olevilla ydinlaitoksilla ohjeet tulee pyrkiä ottamaan sellaisenaan käyttöön. STUK:n erillisellä päätöksellä luvanhaltijan kuulemisen jälkeen voidaan ohjeistosta tarvittaessa poiketa, kunhan ydinenergialain edellyttämät turvallisuusvaatimukset pystytään todistetusti täyttämään. (STUK, 2025b)

Ydinenergialain, sen nojalla annettujen asetusten ja säännösten, Säteilyturvakeskuksen määräysten ja ydinturvallisuusohjeiden uudistus on kirjattu vuosien 2023-2028 hallitusohjelmaan. Uudistusten tarkoituksena on pitää ydinenergian käyttö yhteiskunnan kokonaisedun mukaisena, nopeuttaa ydinlaitoshankkeiden toteutumista ja luoda edellytyksiä ydinenergian kustannustehokkuuden parantamiselle. Uudistuksessa arvioidaan myös uudelleen ydinräjähdekiellon asema. Valmis ydinenergialain kokonaisuudistus on tarkoitus antaa eduskunnan käsittelyyn keväällä 2026. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2025)

Laitetason vaatimukset kuvan 2 tasolla 3 liittyvät laitosten tärkeimpiin turvallisuustoimintoihin ja asettavat vaatimukset niiden rakenteille, järjestelmille ja komponenteille. Tason 3 asiakirjoja ovat esimerkiksi YVL E.7 – E.11. Teknisten ratkaisujen ja prosessien on oltava YVL-ohjeiden mukaisia. Poikkeaminen YVL-ohjeista on hyväksyttävää, jos on mahdollista saavuttaa vähintään sama turvallisuustaso ja poikkeamalle saadaan STUK:n hyväksyntä. Jos tiettyä asiaa ei ole käsitelty YVL-ohjeissa, on asiaan etsittävä ratkaisu muista ohjekokonaisuuksista. Yksittäisten vaatimusten yhdistäminen eri ohjesarjojen, esimerkiksi YVL ja SSG, välillä, on sallittua vain, jos asiaan ei ole otettu kantaa kuvan 2 mukaisilla ylemmillä tasoilla. Muutoin vaatimusten yhdistäminen eri ohjekokonaisuuksien välillä on kielletty. (TVO, 2012).

Verrattaessa YVL-ohjeita vastaavan tasoisiin kansainvälisiin standardeihin, on YVL-ohjeille annettava suurempi painoarvo. Ohjeiden vaatimuksia on noudatettava, ellei poikkeusmenettelylle ole perusteita. YVL-ohjeet eivät kuitenkaan itsessään ole riittävän yksityiskohtaisia tarjoamaan yksinään täydellistä ohjeistusta laitoksen järjestelmä- tai komponenttisuunnitteluun. Tämän vuoksi niitä on tarkennettava luvanhaltijan sisäisillä

ohjeistoilla ja vaatimuksilla, jotka voivat olla ydinvoimalaitosyksikkökohtaisia. Taso 4 sisältää myös muiden ydinvoimavaltioiden ydinstandardit, esimerkiksi:

- Saksan ydinturvallisuusviranomaisen Kerntechnischer Ausschussin (KTA) standardit
- Yhdysvaltojen ydinsääntelykomitean United States Nuclear Regulatory Commission (NRG) standardit
- yhdysvaltalaisen standardi-instituutin American National Standards Institute (ANSI) standardit
- ranskalaisen ydinteollisuusjärjestön Association Française pour les règles de conception et de construction des matériels des Chaudières ÉlectroNucléaires (AFCEN) RCC-standardit.

YVL-ohjeiden vaatimuksia ei voi korvata alemman tason luvanhaltijan omilla ohjeistuksilla, teollisuusstandardeilla tai suoraan toisen valtion ydinstandardeilla. (TVO, 2012)

Kuvan 2 tason 5 vakiintuneisiin teknisiin normeihin ja standardeihin luetaan laadukkaat teollisuuden standardit ja ohjeistot, esimerkiksi:

- kansainvälisen sähköalan standardointitoimiston (International Electrotechnical Commission, IEC) IEC-standardit
- sähkötekniikan instituutin (Institure of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) IEEE-standardit
- kansainvälisen standardisoimisjärjestön (International Organization for Standardization, ISO) ISO-standardit.

Hankittavan tuotteen toimittajan tai valmistajan tulee pystyä ilmaisemaan mitä standardeja tuotteen suunnittelussa, valmistuksessa ja testauksessa on käytetty. Standardi voi olla joko kansallinen, eurooppalainen tai kansainvälinen. Viranomaistahojen, esimerkiksi Fingridin ja Turvallisuus- ja kemikaalivirasto TUKESin, asettamat vaatimukset kuuluvat lisäksi tasolle 5. (TVO, 2012)

Tekninen standardi tai normi on vakiintunut vaatimus, joka koskettaa tiettyä toistettavaa teknistä tehtävää. Se määrittelee säännöt, ehdot, ohjeet, toiminnallisuudet ja ominaisuudet tuotteille, prosesseille, tuotantomenetelmille ja hallintajärjestelmille. Standardit sisältävät esimerkiksi termien määrittelyä, osien luokittelua, menettelytapoja, materiaali-, suorituskyky- ja mitoitusvaatimuksia, mittaus-, testaus- ja

näytteenottomenetelmiä ja laatuvaatimuksia. Tekninen standardi on virallinen asiakirja, joka yhtenäistää edellä mainittuja kriteerejä ja käytäntöjä.

Kansalliset standardointiorganisaatiot vastaavat oman valtionsa standarditoiminnasta luomalla joko omia standardeja tai yhtenäistämällä eurooppalaisia tai maailmanlaajuisia standardeja, joita laativat esimerkiksi ISO ja Euroopan maiden standardisointijärjestö (Comité Européen de Normalisation, CEN). Suomessa standarditoiminnasta vastaa kansallisten standardointijärjestöjen kattojärjestö SFS Suomen Standardit ry. CENin standardien sisältö vähimmäisvaatimuksina täytyy vahvistaa osaksi kansallisia standardeja. (SFS, 2025)

Standardi on toistuvaan tapaukseen tarkoitettu yhdenmukainen ratkaisu. Alakohtainen standardi on tietyn alan toimijoiden yhdenmukainen sopimus siitä, miten asiat tehdään. Standardien käyttö perustuu lopulta vapaaehtoisuuteen. Viranomaiset ja yritykset voivat kuitenkin suositella tai jopa velvoittaa omaan toimintaansa liittyviltä organisaatioilta joidenkin standardien noudattamista, jos se nähdään hyödyllisenä tai välttämättömänä. Standardeista tulee pakollisia ja lainpitäviä, kun ne sisäistetään osaksi lakeja tai viranomaisvaatimuksia yleensä turvallisuuden takaamiseksi. (SFS, 2025)

Yleisiä standardeja on käytössä kaikkialla teollisuudessa. Standardit voivat kohdistua tietylle teollisuudenalalle, esimerkiksi ydin- tai sähköalalle, tai olla yleisesti hyväksyttyjä ja yleissitovia. Niiden tarkoituksena on toimia yhteisinä viitteinä kaikille osapuolille ja taata luotettavina lähteinä laadunvarmistukseen. Ne ovat olennaisia insinöörityökaluja, jotka sisältävät teollisuuden käytännön kokemuksia ja perustuvat vertaisarvioituihin tieteellisiin tuloksiin. Ne toimivat perustana luvanhaltijoiden ja turvallisuusviranomaisten välisissä keskusteluissa ja ovat olennainen osa useimpien projektien ja hankkeiden sopimusperustaa. Standardien käyttö tuottaa yrityksille ja loppukäyttäjille synergiaetuja, joita ovat yhdenmukaisen koneiden suunnittelun ja valmistuksen myötä viennin ja käyttöönoton helpottaminen markkinoiden välillä, turvallisuuden, luotettavuuden ja käytettävyyden parantaminen sekä kustannusten alentaminen. (EU, 2014)

2.1.4 Fingridin rooli

Suomen sähköverkon järjestelmävastaava Fingrid asettaa sähkömarkkinalain (588/2013) mukaiset vaatimukset kaikille sähkönsiirtoverkkoon liitettäville voimalaitoksille, joiden nimellisteho ylittää 0,8 kW. Nämä vaatimukset on määritelty Fingridin vuoden 2024 voimalaitosten järjestelmäteknisessä vaatimuksessa (VJV2024) Tämä perustuu Euroopan komission asetukseen tuottajien verkkoliitäntävaatimuksia koskevasta verkkosäännöstä (EU 2016/631), jota on täydennetty kansallisilla ja pohjoismaisilla lisävaatimuksilla. VJV:n lisäksi asiakirja Sähkölaitteistojen yleiset

liittymisehdot (YLE) määrittää sähköjärjestelmän vakautta ja yhteensopivuuden varmistamista Suomessa. (Fingrid, 2024) Olkiluodon ydinvoimalaitosyksiköt kytkeytyvät Fingridin 400 kV:n ja 110 kV:n verkkoihin Olkiluodon saarella sijaitsevien kytkinkenttien kautta.

Kaikkien asetettujen vaatimusten tavoitteena on varmistaa, että voimalaitos toimii verkkoon liitettynä luotettavasti sekä normaaleissa käyttötilanteissa, että häiriötilanteissa. Vaatimusten mukaisesti, Fingrid ja liittymispisteen verkonhaltija saavat käyttöönsä tarvittavat tiedot voimalaitoksesta. Näitä tietoja hyödynnetään sähköjärjestelmän suunnittelussa ja käyttövarmuuden varmistamisessa. YLE- ja VJV-dokumentteja päivitetään uusien säännösten mukaisiksi ja tekniikan kehittyessä tasaisin väliajoin. Liittyjän vastuulle jää täyttää ja ylläpitää niitä ehtoja ja vaatimuksia, jotka ovat voimassa voimalaitoksen hankintasopimuksen allekirjoitushetkellä. Liittyjä on myös velvollinen ottamaan käyttöön aina uusimman revision mukaiset vaatimukset laitoksen merkittävien järjestelmämuutoksen, kuten generaattorin vaihdon seurauksena. (Fingrid, 2024)

VJV:n uusin versio 2024 asettaa vaatimuksia muun muassa voimalaitosten jännitteelle, taajuudelle, häiriönsietokyvylle, suojausjärjestelmille, ohjaus- ja kaukokäyttövalmiuksille, reaaliaikaiselle mittaukselle, mallinnukselle sekä dokumentoinnille. Vaatimukset vaihtelevat voimalaitoksen mitoitustehon ja liittymispisteen jännitetason (tyypit A–D) mukaan. Tyypin D voimalaitoksille, joiden mitoitusteho on vähintään 30 MW tai liittymispisteen jännitetaso on vähintään 110 kV, asetetaan laajimmat ja tiukimmat vaatimukset. Olkiluodon laitosyksiköt ovat täten tyyppiä D. VJV edellyttää voimalaitoksilta kykyä jatkaa toimintaansa jännite- ja taajuushäiriöiden aikana, palauttaa tuotantonsa nopeasti häiriön jälkeen, sekä osallistua sähköjärjestelmän taajuuden ja jännitteen säätöön. Lisäksi niiden on kyettävä toimimaan stabiilisti yhdessä muiden voimalaitosten kanssa, erityisesti tilanteissa, joissa sähköjärjestelmässä on paljon suuntaajakytkettyä tuotantoa. (Fingrid, 2024)

Voimalaitoksista on toimitettava kattavat tekniset tiedot, mallinnukset ja käyttöönottokokeiden tulokset liittymispisteen verkonhaltijalle ja Fingridille. Näiden avulla todennetaan vaatimusten täyttyminen ennen käyttöönottoa ja sen jälkeen. Dokumentoinnin ja mittausten on oltava selkeitä, yksiselitteisiä ja teknisesti tarkkoja. Fingridillä on oikeus vaatia lisäselvityksiä, asettaa rajoituksia tai edellyttää muutoksia, mikäli vaatimusten täyttyminen tai sähköjärjestelmän toiminta sitä edellyttää. VJV:stä voidaan poiketa tarvittaessa Fingridille toimitettavan poikkeamapyynnön perusteella. Menettely perustuu Euroopan komission asetukseen 2016/631, jossa lupa poikkeamalle voidaan myöntää esimerkiksi, jos poikkeama vaatimuksista ei vaaranna

sähköjärjestelmän käyttövarmuutta, rajoita sähköjärjestelmän siirtokapasiteettia, ei aiheuta häiriöitä järjestelmän toisille osapuolille ja voimalaitos tukee siirtojärjestelmää häiriötilanteiden yhteydessä. Poikkeusten alaisten laitosten tulee toimia luotettavasti häiriöiden aikana ja jälkeen. Poikkeusten tulee olla teknistaloudellisesti perusteltuja ja myönnettävissä yhdenvertaisesti ja syrjimättä muille voimalaitoshankkeille. (Fingrid, 2024)

2.1.5 Sähkömoottoristandardit

IEC 60034 -standardisarja muodostaa teknisen perustan pyörivien sähkökoneiden, kuten sähkömoottorien ja generaattorien, suunnittelulle, valmistukselle, testaukselle ja käytölle. Standardisarjan keskeinen tavoite on varmistaa koneiden turvallinen, tehokas ja yhdenmukainen toiminta erilaisissa teollisissa ja kaupallisissa sovelluksissa. Standardisarja koostuu useista osista.

Standardisarjan ensimmäinen osa ”IEC 60034-1:2022 — Käyttöteho ja suorituskyky” määrittelee sähkömoottoreille käyttötyypit, kuten jatkuva käyttö, jaksottainen käyttö ja ei-jaksottainen käyttö, sekä niiden lämpötilaan ja kuormitukseen liittyvät vaatimukset. Käyttötyyppien (S1–S10) avulla määritellään eri kuormitusprofiilit koneille, jotta oikea kone voidaan valita oikeaan tarpeeseen. Eri käyttötyyppien moottoreille on määritetty omat nimellisarvot kuten jännite, taajuus, teho ja pyörimisnopeus toleransseineen. Standardi huomioi sähkökoneiden käyttäytymisen epäsymmetrisissä kuormitustilanteissa ja määrittelee vaatimukset muun muassa harmonisille jännite- ja virtaosuuksille. Lisäksi se asettaa vaatimuksia koneiden ylijännitekestävyydelle, ylikuormituskestolle, lämpötilakestävyydelle ja EMC-yhteensopivuudelle. (IEC, 2022)

Muut standardisarjan osat käsittelevät kotelon suojausta ja IP-luokituksia, jäähdytysmenetelmiä, asennus-, liitäntä- ja merkintätapoja, sallittuja äänitasoja, käynnistys- ja tärinäominaisuuksia sekä hyötysuhteita ja häviöitä. SFS-EN 60034 -sarjan merkitys moottorikäyttöjen laadun- ja vaatimusten varmistuksessa on monitasoinen ja siksi yleisesti hyväksytty teollisuusnormi.

2.1.6 Ydinalan turvallisuusluokittelu

Tarve luokitella ydinvoimalaitosten eri järjestelmät, rakenteet ja laitteet niiden turvallisuusmerkityksen mukaan tunnistettiin jo ydinvoimabuumin varhaisessa vaiheessa, erityisesti Yhdysvaltojen ydinvoimateollisuuden nopean kasvun myötä 1960-luvun lopulla. Ydinaikakauden alkuvaiheessa laadittiin perusmenetelmiä ja -menettelyjä laadunvarmistukselle ja turvallisuusluokitukselle, joista monet ovat edelleen käytössä.

Osa näistä käytännöistä on kuitenkin kehittynyt laadunvarmistuksen yleisen kehityksen myötä. (IAEA, 2014)

Suomessa STUK valvoo, että ydinenergian käytön turvallisuusvaatimukset ovat riittäviä ja että ydinenergian luvanhaltijat noudattavat näitä vaatimuksia. Korkean turvallisuustason varmistamiseksi STUK valvoo laitteiden suunnittelua, valmistusta ja käyttöä. Ydinlaitoksen järjestelmät, rakenteet ja laitteet suorittavat turvallisuustoimintoja ja siksi niiden on täytettävä riittävät laatuvaatimukset.

Ydinalalla järjestelmät, rakenteet ja laitteet luokitellaan niiden turvallisuusmerkityksen perusteella. Suomalaisessa luokitusjärjestelmässä on neljä turvallisuusluokkaan: 1, 2 ja 3 sekä luokkaan ei ydinteknisesti turvallisuusluokiteltu (EYT/STUK tai EYT). Luokittelu tehdään ensisijaisesti deterministisin menetelmin sekä tarvittaessa sitä voidaan täydentää todennäköisyyspohjaisella riskinarvioinnilla ja asiantuntija-arvioilla. YVL B.2 vaatimuksen 318a mukaisesti turvajärjestelyjä toteuttavien järjestelmien turvallisuusluokituksessa otetaan huomioon järjestelmään liittyvät järjestelmät, jotta rakenne tai laite on samassa luokassa, johon järjestelmä kuuluu. (STUK, 2019a)

YVL B.2 vaatimuksen 311a mukaan turvallisuusluokkaan 1 on luokiteltu ydinreaktorin jäähdytys- eli primääripiiri. Se sisältää ydinpolttoaineen ja komponentit, joiden vikaantuminen voi johtaa reaktorin eheyttä vaarantavaan onnettomuuteen, mikä edellyttää välitöntä turvallisuustoimintojen käynnistämistä. Luokkaan 1 kuuluvat myös reaktoripaineastia ja ne primääripiirin komponentit, joiden vikaantuminen voi aiheuttaa sellaisen vuodon, jota laitoksen käyttöön liittyvät järjestelmät eivät pysty kompensoimaan, esimerkiksi reaktorin pääkiertopumput putkistoineen ja paineistin.

YVL B.2 vaatimusten 312 ja 312a mukaan turvallisuusluokkaan 2 kuuluvat (STUK, 2019a):

1. oletettujen onnettomuuksien varalle laitoksen hallittuun tilaan saattamiseksi tarkoitetut järjestelmät
2. suojarakennuksen eristystoiminnoista vastaavat järjestelmät ja laitteet
3. edellisten kohtien ylläpidon varalle suunnitellut turvallisuustoimintoja toteuttavat järjestelmät ja välittömät tukijärjestelmät.

Turvallisuusluokan 2 kuuluvat esimerkiksi hätäjäähdytysjärjestelmien päälaitteet ja putkistot, reaktorin ja reaktorin sammutusjärjestelmän rakenteet, reaktorin suojarakennus eristystoimintoineen ja ydinpolttoaineen varastotelineet.

Turvallisuusluokkaan 3 kuuluu YVL B.2 vaatimuksen 313 mukaisesti järjestelmät, jotka (STUK, 2019a):

1. on suunniteltu laitoksen saattamiseksi turvalliseen tilaan odotettavissa olevien käyttöhäiriöiden, oletettujen onnettomuuksien ja oletettujen onnettomuuksien laajennusten DEC A jälkeen
2. on suunniteltu laitoksen saattamiseksi hallittuun tilaan vakavan reaktorionnettomuuden jälkeen
3. toteuttavat erilaisuusperiaatteen ja on suunniteltu varmentamaan reaktorin saattaminen hallittuun tilaan vastaavasta turvallisuustehtävästä ensisijaisesti huolehtivan järjestelmän vikaantuessa
4. rajoittavat käyttöhäiriöiden seurauksia, elleivät ne ole muusta syystä ylemmässä turvallisuusluokassa
5. on suunniteltu reaktorin tehon, paineen tai lisäveden säätöön (ydinvoimalaitoksen pääsäätäjät) edellyttäen, että niiden vikaantuminen johtaa suoraan turvallisuusluokan 2 turvallisuustoiminnon käynnistymiseen
6. osallistuvat ydinpolttoaineen käsittelyyn tai raskaan taakan nostoon ja jotka voivat vikaantuessaan aiheuttaa turvallisuuden kannalta tärkeiden rakenteiden tai laitteiden vaurioitumisen siten, että rakenteen tai laitteen suorittama turvallisuustoiminto voidaan menettää, käytetyn polttoaineen vaurioitumisen tai muun merkittävän säteilyaltistuksen mahdollisuuden
7. ovat laitokselle kiinteästi asennettuja ja osallistuvat ydinlaitoksen prosessien sekä ilmastoinnin aktiivisuusvalvontaan tai laitoksen päästöjen valvontaan
8. ovat laitokselle kiinteästi asennettuja ja osallistuvat huonetilojen annosnopeuden tai radioaktiivisuuden valvontaan, mikäli niillä on ohjaustoimintoja
9. on suunniteltu käytetyn ydinpolttoaineen jäähdytykseen
10. estävät radioaktiivisten aineiden merkittävän leviämisen niitä sisältävien laitteiden tai rakenteiden rikkoutuessa tai toimiessa virheellisesti suojarakennuksen ulkopuolella
11. estävät radioaktiivisten aineiden leviämisen niitä sisältävien laitteiden tai rakenteiden rikkoutuessa tai toimiessa virheellisesti suojarakennuksen sisäpuolella, mikäli seurauksena työntekijöiden säteilyaltistus voi olla merkittävästi normaalia suurempi
12. ovat välttämättömiä työskentelyolosuhteiden ylläpidon kannalta päävalvomossa, varavalvomossa, valmiuskeskuksessa ja onnettomuustilanteissa tarvittavissa muissa tiloissa

13. kuuluvat ohjeen YVL B.1 vaatimuksessa 5214 tarkoitettuun instrumentointiin.

Edellisen kohdan 1 käsite DEC (Design Extension Condition) tarkoittaa oletetun onnettomuuden laajentumista. DEC A -tilanne on onnettomuus, jossa odotettuun käyttöhäiriöön tai onnettomuuteen liittyy turvallisuustoimintoa toteuttavassa järjestelmässä yhteisvika. DEC B onnettomuutta, jonka taustalla on todennäköisyysperusteisen riskianalyysin perusteella merkittäväksi arvioitu vikayhdistelmä. DEC C kuvaa onnettomuustilannetta, jonka aiheuttaa harvinainen ulkoinen tapahtuma. Suomessa ydinlaitosten täytyy selvitä DEC tilanteista ilman vakavia polttoainevaurioita. (ATS, 2013)

Lisäksi turvallisuusluokkaan 3 kuuluvat turvallisuusluokan 2 ja 3 järjestelmien toimintakykyä ja erottelua varmistavat rakenteet ja pienputkistot (halkaisija alle 50 mm), jotka eivät kuulu ylempiin turvallisuusluokkiin. EYT-luokan järjestelmät, jotka toteuttavat järjestelmätasolla turvajärjestelyjä on luokiteltava luokkaan EYT/STUK, jos (STUK, 2019a):

1. järjestelmä suojaa turvallisuustoimintoja suorittavia järjestelmiä sisäisiltä tai ulkoisilta tapahtumilta, kuten palontorjuntajärjestelmät ja turvajärjestelyjä toteuttavat järjestelmät
2. järjestelmällä valvotaan laitoksella, työvälineissä, työntekijöissä, päästöissä tai ympäristössä (esimerkiksi ympäristön säteilyvalvontaverkko) esiintyvää säteilyä, pintakontaminaatiota tai radioaktiivisuutta tai sillä tuotetaan valmiustilanteessa väestön säteilyturvallisuuden kannalta tärkeitä tietoja (säähavaintojärjestelmä), mutta järjestelmä ei kuulu turvallisuusluokkaan 3
3. järjestelmää tarvitaan laitoksen saattamiseksi hallittuun tilaan ja edelleen turvalliseen tilaan suunnitteluperusteluokkaan kuuluvan vikayhdistelmän sisältävissä tapahtumissa (DEC B) tai harvinaisessa ulkoisessa tapahtumassa (DEC C)
4. järjestelmää tarvitaan laitoksen saattamiseksi hallitusta tilasta turvalliseen tilaan vakavan reaktorionnettomuuden jälkeen ja siinä pysymiseen
5. järjestelmää tarvitaan varastoidun käytetyn ydinpolttoaineen jäähdytykseen erilaisuusperiaatteella tai lämmönsiirtoon varastoidusta käytetystä ydinpolttoaineesta toissijaiseen lopulliseen lämpönieluun
6. järjestelmä sisältää rakenteita tai laitteita, joiden vaurio voi aiheuttaa merkittävän radioaktiivisten aineiden leviämisen laitostiloihin tai ympäristöön.

Luokkaan EYT/STUK luokitellut järjestelmät eroavat luokasta EYT sillä, että niistä täytyy esittää YVL B.1 vaatimuksen 609 mukaiset tiedot järjestelmän järjestelmäkuvauksessa soveltuvin osin. Esitettävät tiedot liittyvät järjestelmän suunnitteluperusteisiin, toimintaan ja käyttöön. EYT/STUK on järjestelmäluokitus, eli laitteita ja rakenteita ei luokitella kyseiseen turvallisuusluokkaan. Luokan EYT järjestelmiä ja laitteita on kuvattava järjestelmäkuvauksissa laajuudessa, joka on tarpeen laitoksen kokonaistoiminnan arvioimiseksi, vähintään kuitenkin toiminta eri laitoksen käyttötilanteissa ja rajapinnoista muiden järjestelmien kanssa. EYT-luokitelluilla laitteilla ei ole erityistä merkitystä ydinturvallisuuden kannalta. (STUK, 2019b)

Ydinvoimalaitoksen sähköjärjestelmiä ja -laitteita käytetään sekä sähkötehon tuottamiseen ulkoiseen voimansiirtoverkkoon että laitoksen omien järjestelmien sähkönsyöttöön sekä ulkoisista että sisäisistä tehonlähteistä. Näiden järjestelmien ja laitteiden luotettava toiminta on keskeistä laitoksen turvallisuuden varmistamiseksi sekä onnettomuuksien hallinnan ja seurausten lieventämisen kannalta. Sähkölaitteiden häiriöt voivat vaikuttaa laajasti koko laitoksen toimintaan, sillä sähkönjakeluverkko on normaalitilanteessa yhdestä syöttöpisteestä haarautuva ja palvelee kaikkia sähkönkuluttajia laitoksella. Häiriöiden leviämisen estämiseksi ja järjestelmien luotettavuuden varmistamiseksi sähkö- ja automaatiolaitteiden sekä kaapeleiden on oltava oikein mitoitettuja ja korkealaatuisia. Laitteiden monimutkaisuuden vuoksi pelkkä testaaminen ei useinkaan riitä takaamaan vaadittua laatutasoa. Tämän vuoksi valmistus- ja suunnitteluprosessien on oltava laadukkaita, jotta turvallinen lopputulos voidaan saavuttaa. (STUK, 2019c)

YVL-ohjeessa E.7 esitetään yksityiskohtaiset turvallisuusvaatimukset ydinlaitosten sähkö- ja automaatiolaitteille sekä kaapeleille valvonta- ja tarkastusmenettelyineen. YVL E.7 lisäksi ohjeet E.9 ja E.13 antavat sähkömoottoreille lisävaatimuksia siltä osin, joilta ne koskettavat pumppuja ja ilmanvaihtolaitteita. Suomessa voimassa olevat sähköturvallisuus- ja koneturvallisuusmääräykset koskevat sellaisenaan myös ydinlaitosten sähkö- ja automaatiojärjestelmiä, koska YVL-ohjeet asettavat vaatimuksia vain ydinturvallisuuden näkökulmasta. Sähkö- ja koneturvallisuuteen liittyvän lainsäädännön noudattamista valvovat asianomaiset viranomaiset. Sähkölaitteiden käyttöä ohjaavat YVL E.7 vaatimukset

> *”309. Turvallisuusluokan 2 sähkölaitteiden ja kaapeleiden sekä onnettomuusolosuhteisiin kelpoistettavien turvallisuusluokan 3 sähkölaitteiden ja kaapeleiden suunnittelun, valmistuksen ja testauksen on perustuttava suomalaisiin tai kansainvälisiin sähkölaitestandardeihin sekä soveltuvin osin ydinteknisiin standardeihin ja ohjeisiin. [2019-03-15]”*

ja

> *”310. Muiden kuin vaatimuksessa 309 mainittujen turvallisuusluokan 3 sähkölaitteiden ja kaapelien suunnittelussa, valmistuksessa ja testauksessa on käytettävä soveltuvia suomalaisia tai kansainvälisiä sähkölaitestandardeja. [2013-11-15]”,*

jotka velvoittavat noudattamaan asianmukaisia ja hyväksyttyjä standardikokonaisuuksia sähkölaitteistojen käytön jokaisessa vaiheessa. (STUK, 2019c)

Maanjäristysluokitellulla järjestelmällä, rakenteella tai laitteella tarkoitetaan sellaista ydinlaitoksen osaa, joka on luokiteltu kolmeen eri maanjäristysluokkiin sen perusteella, millaisia kestävyysvaatimuksia sille asetetaan maanjäristystilanteissa. YVL B.2 mukaiset maanjäristysluokat ovat S1, S2A ja S2B, jotka sisältävät vaatimuksia muun muassa järjestelmän eheydestä ja toimintakykyisyydestä sekä suunnitteluperusteiden laskennasta ja testauksesta luokitellulle kohteelle. (STUK, 2019a) Tässä kohtaa luokkien vaatimusten ja sisällön avaamiselle ei nähdä sen suurempaa merkitystä, vaan tarkka sisältö on määritelty YVL B.2 kappaleessa 3.4. Olkiluodon ydinvoimalaitoksella sähkömoottoreita on jokaisessa maanjäristysluokassa.

2.2 Vaatimustenhallinta ja kelpoistus

Ydinalan lukuisten vaatimusten täyttämiseksi ydinvoimakäyttöön luokiteltujen tuotteiden valmistus poikkeaa usein niin sanottujen sarjavalmisteisten tuotteiden valmistuksesta, joita valmistetaan tavanomaisempien teollisuudenalojen, kuten kaivos-, kemia- ja öljyteollisuuden, standardien mukaisesti. Ydinvoimalaitoksille erikseen räätälöity valmistusprosessi saattaa tilanteen mukaan edellyttää erityisiä valmistustekniikoita ja -tiloja, dokumentaatiota, tarkastuksia ja testauksia. Ydinvoimarakentamisen buumin jälkeen 1980-luvun alkupuolella osa toimittajista lopetti ydinvoimaloihin luokiteltujen tuotteiden valmistuksen ja suurten volyymien hankinnat muuttuivat pienimuotoisiksi kunnossapito- ja korjaushankinnoiksi (EPRI, 2013). Olennainen osa ydinvoimaloiden turvallisuuden ylläpitoa on varmistaa, että kaikki käytössä olevat laitteet, rakenteet ja järjestelmät toimivat ja suoriutuvat halutusti ja vaatimusten mukaisesti sekä niiden oikea toiminta on todistettavissa.

2.2.1 ISO 9000 ja ISO 9001 -laatujärjestelmä

Tuotetta koskevien vaatimusten määrittäminen edellyttää ensin selkeää käsitystä siitä, mitä kyseiseltä tuotteelta halutaan tai odotetaan. Laadukas tuote tarkoittaa sitä, että halutun kohteen ominaisuudet täyttävät kaikkien sidosryhmien sille asettamat ja

suunnitellut vaatimukset. ISO 9000 -sarjan standardit muodostavat kansainvälisesti tunnustetun perustan laadunhallintajärjestelmille, joiden tavoitteena on varmistaa tuotteiden ja palveluiden vaatimustenmukaisuus sekä edistää asiakastyytyväisyyttä. Standardisarjasta julkaistiin vuonna 2015 uusin versio, jonka mukaisia laatustandardeja on myönnetty 188 maahan ja yhteensä yli 1 250 000 yritykselle, organisaatiolle ja toimijalle. Suomessa oli vuonna 2023 lähes 3 000 sertifioitua toimijaa, joista TVO on yksi. Laatusertifiointi tarkoittaa sitoutumista ISO 9000 ja ISO 9001 mukaisiin vaatimuksiin. (ISO, 2023)

ISO 9000:2015 määrittelee laadunhallinnan peruskäsitteet ja sanaston, kun taas ISO 9001:2015 asettaa vaatimukset organisaation laadunhallintajärjestelmälle. Näiden standardien soveltaminen edellyttää systemaattista lähestymistapaa, jossa organisaation konteksti, johtajuus, suunnittelu, tukitoiminnot, operatiivinen toiminta, suorituskyvyn arviointi ja jatkuva parantaminen muodostavat kokonaisuuden. Vaatimusten täyttäminen ei ole pelkästään tekninen velvoite, vaan myös strateginen keino saavuttaa kilpailuetua ja luottamusta sidosryhmien keskuudessa. (ISO, 2015a) (ISO, 2015b)

Organisaation on ymmärrettävä toimintaympäristönsä, mukaanlukien sisäiset ja ulkoiset tekijät, jotka vaikuttavat sen kykyyn saavuttaa laadunhallintajärjestelmän tavoitteet. Sidosryhmien, esimerkiksi käytön, tarpeet ja odotukset on tunnistettava ja otettava huomioon järjestelmän suunnittelussa. Ylin johto kantaa vastuun järjestelmän vaikuttavuudesta ja sen integroinnista liiketoimintaprosesseihin. Laatuun liittyvä politiikka ja tavoitteet on määriteltävä, viestittävä ja yhdistettävä organisaation strategiaan. Suunnitteluvaiheessa organisaation on käsiteltävä riskejä ja mahdollisuuksia, asetettava mitattavissa olevat laatutavoitteet ja suunniteltava toimenpiteet niiden saavuttamiseksi. (ISO, 2015b)

Tukitoiminnot, kuten resurssien ja tiedon hallinta, henkilöstön pätevyys, viestintä ja dokumentointi ovat keskeisiä laadunhallintajärjestelmän ylläpidossa. Dokumentoitu tieto toimii näyttönä vaatimusten täyttymisestä ja prosessien suunnitellusta toteutuksesta, jotka riippumaton akkreditointijärjestö varmistaa ennen laatutodistuksen antamista. Kun rakenteiden, järjestelmien tai laitteiden hyväksynnän suorittaa ISO-standardin mukaisesti akkreditoitu kolmas osapuoli, prosessia kutsutaan sertifioinniksi (ISO, 2025) Prosessi mahdollistaa jäljitettävyyden, muutosten hallinnan ja jatkuvan parantamisen. Operatiivisessa toiminnassa organisaation on suunniteltava ja ohjattava tuotteiden ja palveluiden tuottamiseen liittyvät prosessit, mukaan lukien ulkoistetut toiminnot eli alihankinta, tuotanto, palveluiden tuottaminen ja poikkeuksien hallinta. Suorituskyvyn

arviointi edellyttää seurantaa, mittausta, analysointia ja arviointia, joiden avulla varmistetaan järjestelmän vaikuttavuus ja tunnistetaan parantamistarpeet. (ISO, 2015b)

Parantaminen on olennainen osa laadunhallintaa. Organisaation on reagoitava poikkeamiin, toteutettava korjaavia toimenpiteitä ja arvioitava niiden vaikuttavuutta. Jatkuva parantaminen perustuu analysointiin, arviointiin ja johdon katselmuksiin, joiden avulla määritetään tarpeet ja mahdollisuudet järjestelmän kehittämiseksi. Tässä yhteydessä verifiointi ja validointi ovat keskeisiä käytäntöjä, joiden avulla varmistetaan tuotteiden ja palveluiden vaatimustenmukaisuus ja soveltuvuus. Verifiointi ja validointi (V&V) on yhdistettynä menettelynä sekä omina erillisinä prosesseina keskeisiä työkaluja, joiden avulla organisaatio voi varmistaa, että sen tuotteet ja palvelut eivät ainoastaan täytä vaatimuksia, vaan myös tuottavat arvoa asiakkaille ja sidosryhmille. (ISO, 2015a) Laadunhallintajärjestelmän vaikuttavuus riippuu siitä, kuinka hyvin organisaatio kykenee yhdistämään vaatimusten täyttämisen, riskien hallinnan ja jatkuvan parantamisen. ISO 9000 -standardien mukainen järjestelmä ei ainoastaan täytä teknisiä vaatimuksia, vaan toimii perustana strategiselle tekemiselle, joka tähtää kestävään menestykseen ja tasaiseen, mutta jatkuvasti kehittyvään laatuun.

Laadunhallinnan termeille on yleistä, että eri käyttötarkoitusten mukaiset standardit voivat määritellä ne eri tavalla, mikä johtaa epäjohdonmukaisuuksiin. Joskus termejä saatetaan käyttää ristiin ja jopa toistensa synonyymeinä. ISO 9000:2015 määrittelee verifioinnin objektiiviseen näyttöön perustuvaksi varmistukseksi siitä, että määritellyt vaatimukset on täytetty. Validointi puolestaan tarkoittaa varmistusta siitä, että tiettyä käyttöä tai soveltamista koskevat vaatimukset on täytetty. ISO 9001:2015 edellyttää, että suunnittelun ja kehittämisen prosessissa suoritetaan sekä verifiointi että validointi. Verifioinnin avulla varmistetaan, että suunnittelun tulokset vastaavat lähtötietojen vaatimuksia, kun taas validoinnilla varmistetaan, että lopputuote tai -palvelu täyttää asiakkaan tarpeet ja odotukset käytännössä ja se sopeutuu määriteltyyn käyttötarkoitukseen (ISO, 2015a) (ISO, 2015b). Kansankieleistettynä, verifioinnin voidaan mieltää vastaamaan kysymykseen ”Valmistammeko tuotetta oikein?” ja validointi kysymykseen ”Valmistammeko oikeaa tuotetta?” Oikean asian rakentaminen viittaa käyttäjän tarpeisiin ja oikein asian rakentaminen tarkistaa, että määritellyt on tehty oikein ja prosessista saadaan laadukas tuote.

ISO 9001:2015 standardi toteaa, että verifioinnilla ja validoinnilla on eri tarkoitukset, mutta ne voidaan toteuttaa yhdessä tai erikseen riippuen siitä, mikä nähdään tarkoituksenmukaisena kyseessä olevan rakenteen, järjestelmän tai laitteen osalta. Verifiointi ja validointi ovat toisistaan riippumattomia menettelyjä, joita käytetään yhdessä sen varmistamiseksi, että rakenne, järjestelmä tai laite täyttää sille asetetut vaatimukset

ja tekniset määrittelyt sekä täyttää sille tarkoitetun käyttötarkoituksen. Termien "verifiointi" ja "validointi" edessä käytetään joskus sanaa "riippumaton", mikä tarkoittaa, että toimenpiteet suorittaa puolueeton kolmas osapuoli. Tällöin käytetään lyhennettä IV&V (Independent Verification and Validation) (ISO, 2015a).

Verifioinnin, eli todentamisen, tarkoituksena on tarkistaa, että rakenne, järjestelmä tai laite täyttää sille asetetut suunnittelumäärittelyt. Kehitysvaiheessa verifiointimenettelyihin kuuluu erityisten testien suorittaminen, joilla mallinnetaan tai simuloidaan koko tuotetta tai sen yksittäistä osaa, minkä jälkeen seuraa mallinnustulosten tarkastelu tai analysointi. Kehityksen ja suunnittelun jälkeisessä vaiheessa verifiointiin kuuluu säännöllisesti toistettavia testejä, jotka on suunniteltu erityisesti varmistamaan, että rakenne, järjestelmä tai laite soveltuu alkuperäisten suunnitteluvaatimusten, määrittelyjen ja säädösten täyttöön ajan kuluessa. Verifiointi on prosessi, jolla arvioidaan, täyttääkö tuote, palvelu tai järjestelmä alku- tai kehitysvaiheen alussa asetetut säädökset, määrittelyt tai ehdot. Verifiointi tehdään usein sisäisenä prosessina. (Sherwani, Ahmet & Maroof, 2024)

Validoinnin, eli kelpoistuksen tai kelpuutuksen, tarkoituksena on varmistaa, että rakenne, järjestelmä tai laite, myös niiden osa tai yhdistelmä, vastaa käyttäjän toiminnallisia tarpeita. Käyttäjän määrittelemät validointivaatimukset, määrittelyt ja säädökset voivat toimia perustana kehitys- tai verifiointiprosessin hyväksymiselle. Lisäksi validointiin kuuluu menettelyjä, joilla varmistetaan, että olemassa olevaan hyväksyttyyn kehitys- tai verifiointiprosessiin tehdyt muutokset tuottavat edelleen rakenteen, järjestelmän tai tuotteen, joka täyttää alkuperäiset suunnitteluvaatimukset, määrittelyt ja säädökset. Näin varmistetaan prosessin jatkuva hyväksyttävyys. Validointi on prosessi, jossa luodaan näyttöä, joka antaa korkean varmuuden siitä, että tuote, palvelu tai järjestelmä täyttää sille asetetut vaatimukset. Siihen liittyy usein soveltuvuuden hyväksyntä loppukäyttäjien ja muiden sidosryhmien kanssa. Validointi on usein ulkoinen prosessi. (Sherwani, Ahmet & Maroof, 2024)

On täysin mahdollista, että tuote läpäisee verifioinnin, mutta epäonnistuu validoinnissa. Tämä voi tapahtua esimerkiksi silloin, kun tuote on rakennettu määrittelyjen mukaisesti, mutta itse määrittelyt eivät vastaa käyttäjän tarpeita. Käytännössä verifiointi ja validointi voivat sisältää tarkastuksia, testauksia, dokumenttien katselmuksia, simulointeja ja prototyyppejä. Näiden toimenpiteiden asianmukainen toteutus ja dokumentointi ovat välttämättömiä laadunhallintajärjestelmän vaikuttavuuden ja vakuuttavuuden varmistamiseksi. (ISO, 2015a) Verifiointi ja validointi tuottavat tietoa, jota voidaan käyttää prosessien kehittämiseen, riskien hallintaan ja turvallisuuden parantamiseen. Ne estävät virheiden ja poikkeamien leviämisen myöhempiin prosessivaiheisiin ja mahdollistavat

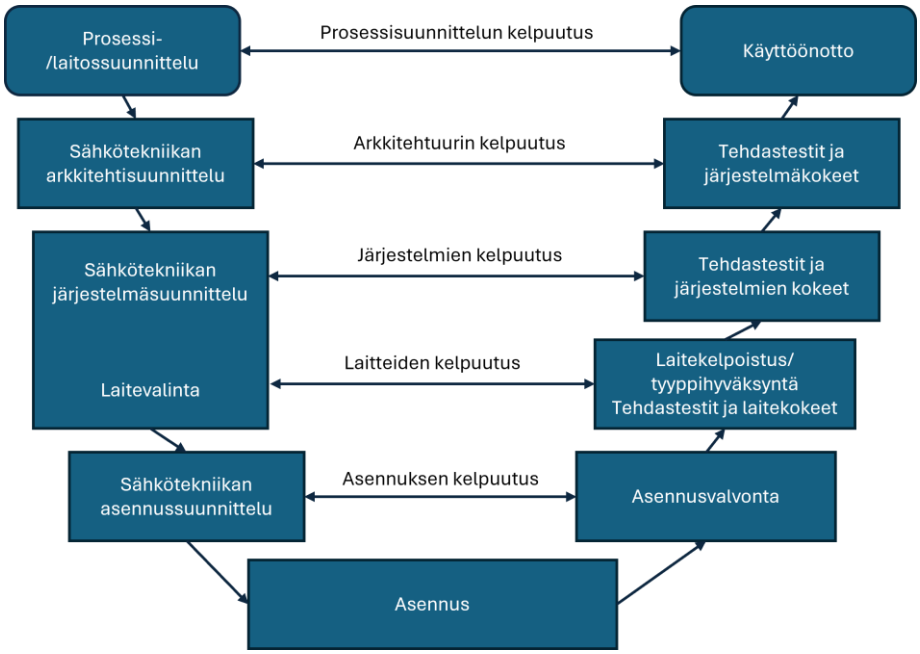
luottamuksen rakentamisen organisaation sisäisten ja ulkoisten sidosryhmien keskuudessa.

2.2.2 V&V-prosessi V-mallina

V&V-työkalut on rakennettu osaksi suomalaista ydinvoima-alan turvallisuuskulttuuria, turvallisuussuunnittelua ja hyviä käytänteitä. Säteilyturvakeskus määrittelee todentamisen objektiiviseen näyttöön perustuvana varmistuksena siitä, että määritellyt vaatimukset on täytetty ja kelpoistuksen objektiiviseen näyttöön perustuvana varmistuksena siitä, että tiettyä käyttöä tai soveltamista koskevat vaatimukset on täytetty (STUK, 2019b). YVL B.1 velvoittaa, että turvallisuuden kannalta tärkeisiin järjestelmiin liittyvien projektien ja prosessien suunnittelu- ja toteutusvaiheisiin on kuuluttava todentaminen ja todentamistoimenpiteet ja -menetelmät on suunniteltava ennakkoon. Turvallisuuden kannalta tärkeät järjestelmät, rakenteet ja laitteet on kelpoistettava, eli luvanhaltijan on osoitettava todistetusti, että ne ovat käyttötarkoitukseen sopivia ja ne täyttävät niille asetetut turvallisuusvaatimukset.

V-malli on eräs visuaalinen kuvaus järjestelmäkehityksen elinkaaresta. Malli tarjoaa systemaattisen lähestymistavan, jossa kehitysvaiheet ja niiden tuotokset kuvataan selkeästi. V-malli on laajasti sovellettu ydinalan lisäksi eri konteksteissa ja teollisuuden aloilla, joilla arvostetaan korkeaa turvallisuuskulttuuria, kuten lennonjohdossa, avaruussukkuloiden suunnittelussa ja ohjelmistotestauksessa (Eurocontrol, 2010) (Zhang, 2019).

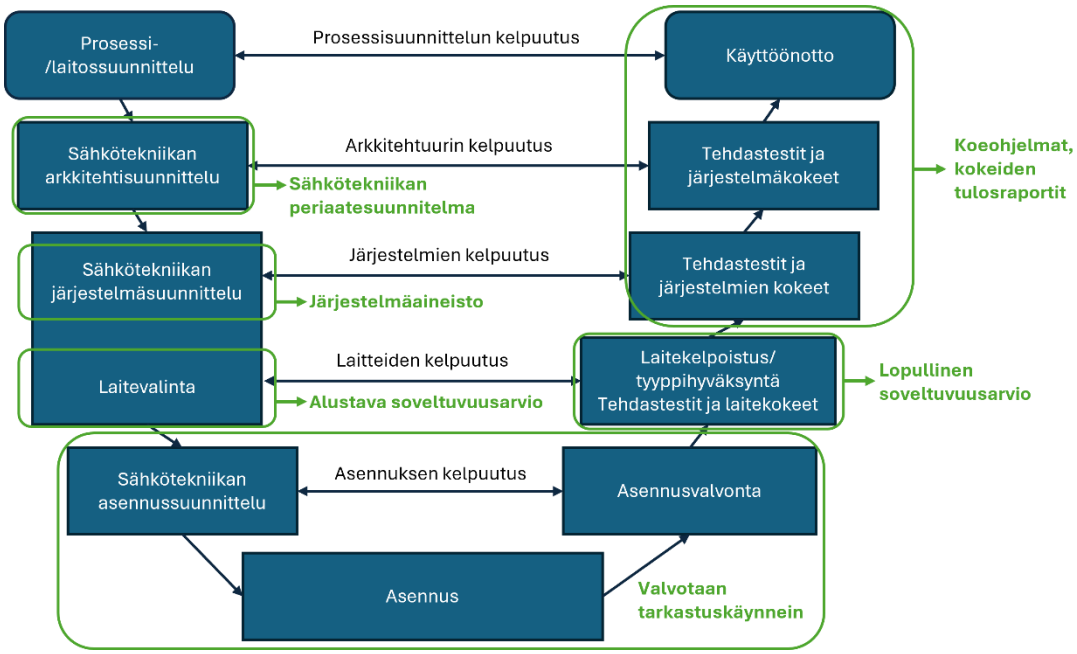
V-malli kuvaa keskeiset toiminnot ja tuotokset, jotka liittyvät järjestelmän todentamiseen ja kelpoistukseen. Mallin vasen puoli edustaa vaatimusten erittelyä ja järjestelmäspesifikaatioiden luomista, kun taas oikea puoli kuvaa osien integrointia ja niiden validointia. Malli yhdistää rakenteet, jossa kehitysvaiheet ja testausvaiheet ovat toisiinsa loogisesti kytkeytyneitä (IEEE, 2024b). STUKin käyttämä V-malli on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. *Sähköisen tuotteen elinkaarimalli. (Muokattu lähteestä STUK 2019c)*

Kuvan oikean puolen vaiheita ei ole esitetty täsmällisessä aikajärjestyksessä, vaan järjestystä on yksinkertaistettu havainnollistamisen vuoksi. Kuvan mallissa ei ole myöskään huomioitu mahdollista kolmannen osapuolen riippumatonta arviointia. Tavoitteena on korostaa eri vaiheiden kelpoistusta, esimerkiksi tehdastestit on kuvattu asennuksen jälkeen, vaikka ne todellisuudessa suoritetaan ennen asennusta.

Vaatimusten validointi suhteessa ylemmän tason vaatimuksiin sekä todellisiin olosuhteisiin ja testien tuloksiin on olennainen osa prosessia. Laitevalinta on iteratiivinen prosessi, jossa takaisinkytkentä suunnitteluun on tärkeää. V-malli on selkeä ja systemaattinen viitekehys järjestelmäkehityksen hallinnassa. Sen avulla voidaan varmistaa, että kehitysvaiheet ja testausvaiheet etenevät loogisesti ja että lopputuote vastaa sekä teknisiä vaatimuksia että käyttäjän tarpeita. (Vladislav & Galina, 2018) V-malli alkaa laitoksen suunnittelusta, jonka tietoa käytetään arkkitehtisuunnittelussa, jonka jälkeen edetään järjestelmäsuunnitteluun. Alaspäin mallissa liikuttaessa dokumentaation määrä paisuu, esimerkiksi OL3:lla on yksi automaatioarkkitehtuuri, 16 kpl pääautomaatiojärjestelmiä ja satoja automaatiolaitteita. Eri vaiheissa STUKille toimitettavia aineistoja on havainnollistettu kuvassa 4.



Kuva 4. *STUKille toimitettavat aineistot tuotteen elinkaaren eri vaiheissa. (Muokattu lähteestä STUK 2019c)*

Kuvaan on merkitty vihreällä toimenpiteet siitä, miten STUKille kuuluva viranomaisvalvonta toteutuu. STUK korostaa V-mallin käytössä oikeita menettelyjä dokumentoinnissa, sillä mallissa ei ole visuaalisesti nähtävillä aikajänteitä — laitevalinnan ja asennuksen välissä voi olla vuosia.

V-mallin noudattaminen pakottaa luvanhaltijat dokumentoimaan tietyt asiat aina tietyissä vaiheissa projektia. Kun esimerkiksi suunnittelija valitsee laitteen järjestelmään, hän dokumentoi perusteet sille miksi kyseinen laite on valittu ja muodostaa prosessista alustavan soveltuvuusarvion. Laitevalinnan jälkeen suoritetaan tarvittaessa lisäkokeina esimerkiksi seisimisiä analyysejä, vanhentamista tai onnettomuusolosuhteiden simulointia, jotka kaikki ovat pitkiä prosesseja, joista saadaan kuitenkin tarvittavaa kelpoistusevidenssiä. Lopullisessa soveltuvuusarviossa esitetään osoitus kelpoistuksen ja kokeellisten tulosten kautta siitä, että laite on sellainen, kuin valmistaja on luvannut.

2.2.3 Kelpoistussuunnitelma

YVL E.7 asettaa vaatimukset sähkö- ja automaatiojärjestelmien ja -laitteiden sekä kaapelien valinnalle ja hankinnalle. Sen mukaisesti ydinlaitoksessa käytettävien sähköjärjestelmien ja -laitteiden on sovelluttava niiden suunniteltuun käyttötarkoitukseen ja käyttöpaikkaan. TL2 ja TL3 turvallisuusluokitellut järjestelmät ja laitteet on kelpoistettava käyttötarkoitukseen ja käyttöpaikkaan. Osana turvallisuusluokiteltua hankintaprosessia sähkölaitteille on laadittava vaatimusmäärittely. Sähkölaitteiden ja

kaapelien kelpoistus on tehtävä alustavalla ja lopullisella soveltuvuusarviolla. Kelpoistuksen yhteydessä on määritettävä laitteen tai kaapelin maksimi varastointi- ja käyttöikä. Tuotteen vanhenemista on seurattava. Mikäli tuotteen on toimittava onnettomuustilanteissa tai siinä on osia, jotka vanhenevat nopeasti, kelpoistus tai itse tuote on uusittava kyseisen ajan umpeuduttua.

Kelpoistusprosessin ohjaamiseksi turvallisuusluokitelluille järjestelmälle, laitteelle tai rakenteelle on laadittava kohdistettu kelpoistussuunnitelma, jossa on esitettävä STUK, 2019b) (STUK, 2019d):

1. järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden suunnittelun ja toteutuksen yhteydessä tuotettava aineisto, jota käytetään kelpuutuksessa
2. kelpoistusta varten suunnitellut arviot, testit, analyysit ja koestukset sekä näihin käytetyt menetelmät, niiden soveltuvuus ja suorittaja
3. kelpuutuksen etenemissuunnitelma aikatauluarvioineen ja riippuvuuksineen suhteessa projektin etenemiseen
4. kelpuutuksessa tuotettu tai tuotettava dokumentaatio ja tämän esittäminen viranomaiskäsittelyyn.

Kelpoistuksen tulokset on luvanhaltijan toimesta arvioida riippumattomasti ja niiden pohjalta on esitettävä perusteltu johtopäätös. Osana kelpoistussuunnitelmaa on esitettävä laadittavat soveltuvuusarviot. Koska kelpoistus tulee perustumaan vaatimusmäärittelyyn, on kelpoistussuunnitelman yhteydessä laadittava vaatimusmäärittely. Vaatimusmäärittelyn muuttuessa kelpoistukseen vaikuttavalla tavalla tai kelpoitusprosessin aikaisten havaintojen pohjalta tarvittaessa kelpoistussuunnitelmaa on päivitettävä.

STUK valvoo ja pitää kirjaa ydinvoimaloilla tapahtuvista muutostöistä ja käyttötapahtumista. Järjestelmien laatu- ja kelpoistussuunnitelmat ja vaatimusmäärittelyt on toimitettava STUK:lle tiedoksi.

2.2.4 Vaatimusmäärittely

Vaatimusmäärittely on keskeinen asiakirja ydinlaitoksen turvallisuusluokan 2 ja 3 sähkö- ja automaatiolaitteiden sekä kaapeleiden hankinta- ja suunnitteluprosessissa. Se toimii perustana laitteen tai kaapelin vaatimustenmukaisuuden arvioinnille ja varmistaa, että laite täyttää sille asetetut tekniset ja turvallisuuteen liittyvät vaatimukset koko elinkaarensa ajan. Vaatimustenmukaisuuden osoittamista ei tarvitse erikseen osoittaa EYT tai EYT/STUK luokitelluille aineistoille (TVO, 2025b).

Vaatimusmäärittely on oleellinen kommunikaatioväline projektin sidosryhmien, kuten asiakkaan, projektiorganisaation, laitetoimittajan, riippumattoman arvioijan ja kelpoisuuden myöntämän viranomaisen, välillä. Kun laitetoimittaja sitoutuu noudattamaan vaatimusmäärittelyn sisältöä, voidaan määrittelyä käyttää liikesopimuksen pohjana. Koska vaatimusmäärittelyä hyödyntävät sidosryhmät koostuvat useista eri tahoista, yrityksistä ja viranomaisista, korostuu käyttäjien näkökulmista dokumentin yksiselitteisyys ja selkeys - jokainen sen sisältämä vaatimus pitää voida tulkita vain yhdellä tavalla. Vaatimusmäärittely toimii myös arkistona myöhemmin mahdollisen uuden varaosan tai korvaavan laitteen hankinnalle. (TVO, 2019)

Vaatimusmäärittelyssä kuvataan yksityiskohtaisesti sähkölaitteen tai kaapelin käyttöpaikassa tarvittavat ominaisuudet. Näihin kuuluvat muun muassa toiminnalliset, suorituskykyyn ja luotettavuuteen liittyvät vaatimukset, ympäristö- ja käyttöolosuhteet, liitynnät, määräaikaistestit, kunnossapito, tietoturvallisuus, kelpoistus sekä arvioitu käyttöikä. Lisäksi vaatimusmäärittelyssä on ilmoitettava laitteen tai kaapelin turvallisuusluokitus ja maanjäristysluokka. (STUK, 2019c)

Vaatimusmäärittelyssä on määriteltävä toiminnallisten näkökulmien lisäksi ei-toiminnalliset näkökulmat kuten mitä turvallisuuden kannalta oleellisia standardeja sovelletaan, ja onko niistä poikettu. Käytettyjen standardien soveltuvuus on perusteltava, ja mahdolliset poikkeamat on dokumentoitava ja niiden vaikutukset arvioitava huolellisesti. Turvallisuudelle tärkeän järjestelmän vaatimukset on määriteltävä riittävän yksityiskohtaisesti siten, että myös vaatimusmäärittelyprosessista riippumaton suunnittelija kykenee toteuttamaan järjestelmän käytönaikaisen ylläpidon sekä tarvittavat muutokset ja uudelleensuunnittelun. Järjestelmän laatusuunnitelmaan perustuvat mahdolliset laatuvaatimukset sekä kelpoistussuunitelman mukaiset vaatimukset on myös esitettävä vaatimusmäärittelyssä. Vaatimusmäärittelyä on päivitettävä aina, kun järjestelmän suunnittelu-, valmistus- tai käyttöjakson aikana tapahtuu järjestelmän kannalta oleellisia muutoksia. (STUK, 2019c)

Lopullisen vaatimusmäärittelyn tulee olla niin yksityiskohtainen, että sen perusteella voidaan jäljitettävästi todentaa, täyttääkö lopputuote sille asetetut vaatimukset. Vaatimusten on oltava ristiriidattomia ja yksikäsitteisiä, jotta ne voidaan ymmärtää ja toteuttaa yhdenmukaisesti kaikissa projektin vaiheissa. Lisäksi riippumattomien asiantuntijoiden on arvioitava määrittelyjen oikeellisuus, kattavuus ja sisäinen johdonmukaisuus varmistaakseen järjestelmän turvallisuuden vaatimustenmukaisuuden. (STUK, 2019b)

TVO:n dokumentissa 103441 ”Vaatimusmäärittelyn laadintaohje” on mainittu YVL B.1 vaatimuksista 348a ja 356 sekä YVL E.7 vaatimuksesta 324 soveltuvuusarvion riippumattomasta tarkistuksesta suunnitteluun osallistumattoman asiantuntijan toimesta, mikä on tehtävä kaikille turvallisuusluokkaan 2 sijoitettaville sähkö- ja automaatiolaitteille ja kaapeleille. Vaatimusmäärittelyn tarkastuksessa tulee osoittaa, että laitteelle asetetut vaatimukset vastaavat ylemmän tason eli laitoksen konsepti- tai järjestelmätason vaatimuksia. Tarkastuksesta laaditaan joko erillinen raportti tai se sisällytetään osaksi vaatimusmäärittelyn dokumentaatiota. Raportissa tulee esittää tarkastuksessa tehdyt havainnot sekä perusteltu johtopäätös vaatimusmäärittelyn oikeellisuudesta, kattavuudesta ja ristiriidattomuudesta. Jos vaatimusmäärittelyyn tehdään muutoksia, arviointiraportti päivitetään vastaavasti. TVO:lla tarkastuksen suorittaa kyseisen tekniikanalan pääinsinööri tai hänen nimeämänsä henkilö. (TVO, 2019)

Vaatimusmäärittelyn sisällön tulee olla sekä jäljitettävä että todennettavissa. Jäljitettävyys tarkoittaa, että jokaisen vaatimuksen alkuperä on dokumentista selvitettävissä (taaksepäin jäljitettävyys) ja että vaatimukset on yksilöity selkeästi esimerkiksi nimeämistavan avulla, jolloin niihin voidaan viitata muissa dokumenteissa, kuten suunnittelumateriaaleissa (eteenpäin jäljitettävyys). Todennettavuus edellyttää, että jokaisen vaatimuksen täyttyminen voidaan osoittaa testauksen, analyysin, simuloinnin tai muun riittävän kattavan menetelmän avulla. Menetelmän tulee olla tapauskohtaisesti määritelty ja sen toteutuksen oltava sekä taloudellisesti että aikataulullisesti kohtuullinen. Mikäli vaatimusta ei voida todentaa, se on joko muutettava tai poistettava. Vaatimusmäärittelyn laatimisen yhteydessä on suositeltavaa tehdä alustava testisuunnitelma, jonka avulla voidaan jo varhaisessa vaiheessa arvioida vaatimusten selkeyttä ja toteutettavuutta. Vaatimusmäärittelyn tulee olla johdonmukainen. Sen sisältämät vaatimukset eivät saa olla keskenään ristiriidassa. Täten määrittely toimii luotettavana perustana laitteen tai järjestelmän suunnittelulle, toteutukselle ja kelpoistukselle. (TVO, 2019)

Vaatimusmäärittelyn rakenteeseen vaikuttaa järjestelmään, laitteeseen tai rakenteeseen liittyvät tekniikanalan vaatimukset, sekä niihin sovellettavissa olevat kansainväliset standardit ja YVL-ohjeet. Sen sisältö tulee olla rakennettu selkeästi ja jäsennellysti siten, että se antaa kattavat ja perustellusti riittävän laajat tiedot laitteen käytöstä ja käyttäytymisestä laitoksella. Vaatimusmäärittely voidaan jaotella esimerkiksi liitteen A mukaiseen sisällysluetteloon. Osana kelpoistusprosessia laaditaan viranomaisaineisto, mikä vaatii dokumentteja hankittavasta järjestelmästä tai laitteesta. Vaatimusmäärittelyssä tulee määritellä kelpoistuksessa käytetyt dokumentit, jotka voivat olla muun muassa (TVO, 2019):

- Suunnittelu
    - Kuvaus laitteen valmistuksesta (menetelmät ja standardit)
    - Quality Assurance (QA) -manuaali (tai laatujärjestelmät kirjallinen kuvaus)
    - Kuvaus valmistajasta ja johdon vahvistama organisaatiokaavio (jos se ei sisälly QA-manuaaliin)
    - Tarkastus- ja testaussuunnitelmat
    - Tarkastus- ja testausohjeet
- Analyysit
    - Vika- ja vaikutusanalyysi
    - Yhteisvika-analyysi
    - Luotettavuusanalyysi, jolla osoitetaan laitteen täyttävän suunnitteluperusteissa esitetyt vaatimukset
    - Vaikutus laitoksen todennäköisyyspohjaiseen turvallisuusanalyysiin
    - Ohjelmoitavan osan häiriöiden vaikutukset turvatoimintoihin
    - Valmistajan vakuutus, että laite toimii vaatimusmäärittelyn mukaisesti- ja täyttää YVL-ohjeiden vaatimukset
- Testit
    - Tyyppitestit
    - Toiminnalliset testit
    - Factory Acceptance -testit (FAT)
    - Site Acceptance -testit (SAT)
- Käyttökokemukset
    - Aiemmin valmistettujen samanlaisten laitteiden ja käyttösovellusten määrä ja käyttöajat ydinvoimalaitoksilla ja muussa teollisuudessa
    - Yhteenveto todetuista vikatyypeistä.

2.2.5 Soveltuvuusarvio

Kelpoistuksella käsitetään menettelyt, joilla osoitetaan järjestelmän tai laitteen soveltuvuus sille aiottuun käyttötarkoitukseen. Sähkö- ja automaatiolaitteiden kelpoistuksen tulee pohjautua ohjeissa YVL E.7, E.9 ja E.13 esitettyihin vaatimuksiin ja perustua joko tyyppitesteihin, analyyseihin, käyttökokemuksiin tai edellisten yhdistelmiin, joita täydentää erillinen kelpoistussuunnitelma.

Kelpoistus käsittää kaksi vaihetta: alustavan ja lopullisen soveltuvuuden arvioinnin. Alustavassa soveltuvuusarviossa esitetään laitteelle tai järjestelmälle asetetut tekniset- ja testivaatimukset sekä esitellään kelpoistettavan laitteen tai järjestelmän tekniset ominaisuudet. Lopullisessa soveltuvuusarviossa esitetään alustavassa soveltuvuusarviossa esitettyjen vaatimusten täyttyminen asetettujen testien perusteella. Alustava soveltuvuusarvio vastaa täten V&V-prosessin todentamisvaihetta ja lopullinen soveltuvuusarvio kelpoistusvaihetta. STUK siirtyi kaksivaiheiseen soveltuvuuden arviointiin viranomaiskirjeellä G30/31 OL3-rakennusprojektin aikana 2007. Soveltuvuusarviot tuli vaiheistaa siten, että ennen tehdastestejä STUKille tuli toimittaa tiedoksi laitteen suunnittelu- ja valmistustiedot ja tehdastestien tulokset tuli olla hyväksyttyjä ennen käyttöönottotarkastuksia.

Turvallisuusluokiteltujen sähkö- ja automaatiolaitteiden sekä kaapeleiden soveltuvuudesta tulevaan käyttöpaikkaansa on tehtävä alustava ja lopullinen soveltuvuusarvio osana uusien laitteiden valintaa järjestelmään tai osana korvaavan varaosan hankintaa. Alustavassa soveltuvuusarviossa luvanhaltija varmistaa, että laite tai kaapeli soveltuu suunniteltuun käyttöpaikkaansa sen mitoitusarvojen perusteella. Tässä vaiheessa tarkastellaan myös laitteen kelpoistustarpeet ja suunnitellaan tarvittavat kelpoistustoimenpiteet. Kun alustava soveltuvuus on arvioitu ja vaatimusmäärittely todennettu, voidaan laitteen hankintaprosessi tarvittaessa käynnistää. Lopullinen soveltuvuusarvio tehdään ennen laitteen käyttöönottoa. Siinä luvanhaltija osoittaa, että laite täyttää sille asetetut vaatimukset ja on mitoitusarvojensa mukainen. Tämä todennetaan esimerkiksi tyyppihyväksyntöjen, testitulosten, laadunhallintamenettelyjen sekä aiemman käyttökokemuksen perusteella. Lopullinen soveltuvuusarvio toimii laitteen todisteena laitteen kelpoistuksesta.

Poikkeuksena alustava ja lopullinen soveltuvuusarvio voidaan yhdistää yhdeksi dokumentiksi silloin, kun laitteen kelpoistukseen ei liity erityisiä vaatimuksia, kuten tyyppihyväksyntöjä, ohjelmistoarvioita, testejä tai tehdaskokeita. Tällöin soveltuvuusarvio voidaan laatia suoraan osana laitevalintaprosessia. Esimerkki yhdistetyn soveltuvuusarvion sisällysluettelosta on esitetty liitteessä C. Lisäksi on

tärkeää huomioida, että varaosaa ei pidetä alkuperäisenä, vaan se katsotaan vaatimuksen YVL E.7 334 tarkoittamaksi korvaavaksi varaosaksi, mikäli:

1. varaosan turvallisuustoimintoon liittyvät suoritusarvot ovat alkuperäistä huonommat
2. varaosa poikkeaa toimintatavaltaan, ohjelmistoltaan tai rakenteeltaan alkuperäisestä
3. varaosa ei vastaa ympäristöolosuhteiden keston osalta alkuperäistä
4. varaosan laadunhallinta ei vastaa tasoltaan alkuperäistä
5. varaosan valmistaja on muuttunut.

Soveltuvuusarvioita saa laatia vain asiantuntija, joka tuntee järjestelmän, laitteen tai rakenteen käyttöpaikan asettamat vaatimukset. Laitteen valinta ja sen soveltuvuuden arviointi osaksi rakennettavaa järjestelmää on osa järjestelmän suunnittelijan normaalia työtä. Suunnittelijan tulee optimitilanteessa laatia pääosa alustavan soveltuvuusarvion tietoaineistosta työnsä aikana, jotta arviointi dokumentoituu asianmukaisesti ja säilyy jäljitettävänä.

Alustavaan soveltuvuusarvioon sisältyvän luvanhaltijan johtopäätöksen voi laatia joko alustavan arvion laatija itse, mikäli hän kuuluu luvanhaltijan organisaatioon tai muu henkilö, joka tuntee käyttöpaikan vaatimukset ja toimii luvanhaltijan organisaatiossa. Vastaavasti lopullisen soveltuvuusarvion voi laatia joko sama henkilö kuin alustavan arvion tai muu asiantuntija, joka tuntee käyttöpaikan vaatimukset riittävän hyvin. Lopulliseen soveltuvuusarvioon sisältyvät arvioinnit kelpuudesta voivat olla joko lopullisen arvion laatijan tai muun luvanhaltijan organisaatioon kuuluvan, käyttöpaikan vaatimukset tuntevan asiantuntijan tekemiä. Näin varmistetaan, että arvioinnit perustuvat riittävään asiantuntemukseen ja että laitteen tai kaapelin soveltuvuus voidaan luotettavasti todentaa ennen käyttöönottoa.

Alustava soveltuvuusarvio on luvanhaltijan laatima arvio, jolla osoitetaan laitteen tai kaapelin soveltuvuus suunniteltuun käyttöpaikkaansa. Arvion yhteydessä on esitettävä todentamiseen perustuva johtopäätös, joka osoittaa, että laite täyttää sille asetetut vaatimukset. Soveltuvuuden arviointi perustuu laitteen tai kaapelin mitoitusarvojen vertaamiseen vaatimusmäärittelyyn. Soveltuvuusarviossa tarkastellaan tarvittavassa laajuudessa muun muassa seuraavia ominaisuuksia:

- toiminnallisuus ja suorituskyky
- luotettavuus

- ympäristöolosuhdekestoisuus
- sähkötekninen mitoitus ja suojaus
- toiminta sähköverkon häiriö- ja transienttitilanteissa
- sovellettavien standardien asianmukaisuus
- testattavuus ja kunnossapidettävyys
- arvioitu elinikä.

Alustavan soveltuvuusarvion yhteydessä on esitettävä myös laitteen vaatimusmäärittely, kuvaus laitteen toiminnasta sekä selvitys valmistajasta ja tämän kyvykkyydestä valmistaa tuote laadunhallintavaatimusten mukaisesti. Tämä sisältää valmistajan organisaation, pätevyyden ja johtamisjärjestelmän arvioinnin. Lisäksi on toimitettava toimituskohtainen laatusuunnitelma sekä laitteen kelpoistussuunnitelma tai viittaus järjestelmätason kelpoistussuunnitelmaan, mikäli se kattaa kyseisen laitteen. Mikäli kelpoistussuunnitelmaa ei katsota tarpeelliseksi, on esitettävä perustelut sen poisjättämiselle. Arvion tulee sisältää myös tiedot mahdollisten tyyppihyväksyntäorganisaatioiden akkreditoinneista ja pätevyyksistä.

Turvallisuusluokitelluille sähkömoottorin ja pumpun, venttiilin tai ilmanvaihtolaitteen yhdistelmille on tehtävä toimintakykyanalyysi YVL-ohjeiden E.8, E.9 ja E.13 pohjalta. Toimintakykyanalyysiä ei tarvitse toteuttaa EYT- eikä varaosamoottoreille. Toimintakykyanalyysissä todetaan mekaanisen laitteen, esimerkiksi pumpun tai venttiilin ja sähkölaitteen yhteensopivuus. Poikkeuksena toimintakykyanalyysi vaaditaan turvallisuusluokkaan 3 kuuluvilta laitteilta vain, jos kyseinen pumppuyksikkö on suunniteltu vakavien onnettomuuksien hallintaan tai turvallisuusluokan 2 pumpun teho on pienempi kuin 15 kW. (STUK, 2020a)

Toimintakykyanalyysissä arvioidaan sähkömoottorin ja pumpun momentti-, värähtely- ja liikevarat sekä tarvittaessa lujuusanalyysi tilanteessa, jossa käyttölaitteen syöttöjännite kytkeytyy poikkeuksellisesti. Näillä tarkasteluilla on osoitettava, että käyttölaitteen tuottama momentti riittää kaikissa suunnitteluperusteisissa käyttötilanteissa eikä värähtelystä tai lämpölaajenemisesta johtuvat välysten muutokset heikennä pumppuyksikön toimintakykyä. (STUK, 2020a) Venttiilien tapauksessa toimintakykyanalyysi on laskennallinen selvitys, jolla varmistetaan, että toimilaite tuottaa riittävän suuren vääntömomentin ylittääkseen venttiilin sulkuelimen, karatiivisteiden ja muiden osien aiheuttaman suurimman mahdollisen kitkavastuksen kaikissa suunnitelluissa käyttötilanteissa. (STUK, 2020b) Ilmanvaihtolaitteen

toimintakykyanalyysin esitystapaa ei ole erikseen rajattu. Analyysillä tulee osoittaa laitekokonaisuuden toiminta ja suunnittelun yhteensopivuus. (STUK, 2020c)

Turvallisuusluokiteltujen sähkö- ja automaatiolaitteiden sekä kaapelien yleisten laadunhallintamenettelyjen lisäksi alustavan soveltuvuusarvion yhteydessä on toimitettava toimituskohtainen laatusuunnitelma. Hankittaessa yleisluonteisia sarjavalmisteisia laitteita erillistä laatusuunnitelmaa ei tarvitse tehdä. Laatusuunnitelman tarkoituksena on varmistaa, että toimittaja on ymmärtänyt toimitukseen liittyvät laadunhallinnalliset vaatimukset oikein ja että sillä on käytössään asianmukaiset menettelyt näiden vaatimusten täyttämiseksi. Laatusuunnitelma toimii samalla keinona osoittaa toimittajan valmius täyttää vaatimukset käytännössä. Laatusuunnitelma pitää sisällään muun muassa toimittajan vastuut ja velvoitteet sekä toimituksessa noudatettavat standardit ja ohjeet. Laatusuunnitelman laadinta on kuvattu standardissa ISO 10005. Toimittajilla on oltava hyväksytysti sertifioitu laatujärjestelmä, kuten ISO 9001 tai ydinalalle soveltuva ISO 19443 (STUK, 2019f)

Lopullinen soveltuvuusarvio on luvanhaltijan laatima asiakirja, jolla osoitetaan, että laite tai kaapeli täyttää sille alustavassa soveltuvuusarviossa asetetut vaatimukset ja on kelpuutettavissa käyttöpaikkaansa. Sen yhteydessä on esitettävä perusteltu johtopäätös laitteen kelpuutuksesta sen vaatimusmäärittelyn mukaisesti sekä liitettävä mukaan arvio laitteen tai kaapelin vaatimustenmukaisuudesta. Lopullisessa soveltuvuusarviossa on osoitettava, että laite on mitoitusarvojensa mukainen ja kelpoistettu asianmukaisesti. Tämä perustuu muun muassa seuraaviin tarkasteluihin:

- kelpoistustestitulokset
- yhteensopivuus sähköverkon kanssa
- ympäristöolosuhteisiin kelpoistus
- EMC-ominaisuudet
- kelpoistukseen liittyvät analyysit
- käyttökokemukset
- tyyppihyväksyntä
- ohjelmistojen kelpoistus.

Lopullisen soveltuvuusarvion yhteydessä on esitettävä täydentäviä tietoja, jotka tukevat laitteen tai kaapelin kelpoisuuden arviointia. Näihin kuuluu ensinnäkin selvitys laitteiden ja materiaalien varastointiin, elinikään ja vanhenemisen seurantaan liittyvistä toimenpiteistä. Lisäksi on esitettävä yhteenveto valmistuksen aikaisista laadunhallinnan

tuloksista sekä tehdaskokeiden tuloksista, mikäli kyseessä ei ole sarjavalmisteinen laite. Mikäli lopullinen soveltuvuusarvio poikkeaa alustavassa arviossa esitetyistä tiedoista, on nämä poikkeamat tuotava selkeästi esiin ja niiden hyväksyttävyys perusteltava.

Turvallisuusluokan 2 sähkö- ja automaatiolaitteista sekä kaapeleista on toimitettava STUK:lle alustavat ja lopulliset soveltuvuusarviot. Laitteen ominaisuuksia ja testituloksia käsittelevät osat toimitetaan hyväksyttäväksi ja muut osat tiedoksi. Turvallisuusluokan 3 vastaavista laitteista ja kaapeleista toimitetaan alustavat ja lopulliset soveltuvuusarviot STUK:lle tiedoksi. Poikkeamat YVL-ohjeista on aina toimitettava hyväksyttäväksi.

Alustavat soveltuvuusarviot sekä yhdistetyt alustavat ja lopulliset arviot on toimitettava STUK:lle hyvissä ajoin ennen laitteiden tehdaskokeita. Mikäli tehdaskokeita ei tehdä, soveltuvuusarviot on toimitettava ennen laitteiden asentamista. STUK:n hyväksyntä vaaditaan ennen tehdaskokeiden aloittamista, mikäli arvio on toimitettu hyväksyttäväksi. Lopulliset soveltuvuusarviot on toimitettava STUK:lle hyvissä ajoin ennen luvanhaltijan käyttöönottotarkastuksia tai varaosamuutoksissa ennen laitteen asentamista laitokselle. Käyttöönottotarkastusta ei saa päättää ennen kuin STUK on tehnyt päätöksen hyväksyttäväksi toimitetusta lopullisesta soveltuvuusarviosta. Vastaavasti varaosamuutoksessa tai uuden sähkölaitteen tapauksessa asentamista laitokselle ei saa aloittaa ennen STUK:n hyväksyntää.

STUK:n vaatimukset ovat periaatteiltaan yhteneväisiä kansainvälisten standardien kanssa, mutta eroavat siinä, että ne ovat pakollisia. STUK:n vaatimukset pääsääntöisesti jättävät toteutustavan luvanhaltijan vastuulle ja painottavat viranomaisvalvontaa, jäljitettävyyttä ja dokumentaation riittävyyttä enemmän kuin yksityiskohtaista toteutusohjeistusta. Standardit edellyttävät, että kelpoistus perustuu laitoksen suunnitteluperusteisiin. Sen tavoitteena on varmistaa kattava dokumentointi sekä laitteiden toimintakyky määritellyissä ympäristöolosuhteissa ja ikääntymisen hallinta koko käyttöiän ajan.

IAEA:n SSR-2/1 turvallisuusstandardi liittää kelpoistuksen osaksi laitoksen suunnittelun vaatimuksen. Se määrittää, että kelpoistus ei ole irrallinen testisarja, vaan osa turvallisuussuunnittelua. Laitteiden luokittelu ja ikääntymisenhallinta ovat suunnitteluperusteita, jotka varmistavat laitteiden toimintakyvyn kaikissa määritellyissä olosuhteissa. STUK:n vaatimukset ovat linjassa näiden periaatteiden kanssa, mutta Suomessa STUK tekee niistä lainsäädännöllisesti velvoitettavia. (IAEA, 2016)

RCC-E tarjoaa käytännön toteutuksen kelpoistukselle. Se sisältää ohjelmarakenteen ja testisekvenssin, joka etenee viitetesteistä toimintarajojen testeihin, ikääntymisen arviointiin sekä seismisiin rasituksiin ja onnettomuusolosuhteisiin. Lisäksi RCC-E

määrittää rasitustasoja, hyväksymiskriteerejä ja edellyttää auditoitavat dokumentit, kuten Qualification Summary Report (QSP) ja Qualification Preservation Sheet (QPS). QSP vastaa STUKin edellyttävää yksivaiheista soveltuvuusarviota. QPS on dokumentti, joka varmistaa kelpoisuuden ylläpitämisen elinkaaren aikana. Se sisältää tiedot, joiden avulla kelpoistuksen edellytyksen pysyvät voimassa esimerkiksi asennusmenettelyt sekä kunnossapidon ja tarkastuksen vaatimukset. QPS:lle ei ole suomalaista kelpoistusvastinetta. RCC-E antaa vaihtoehtoisen mallin kelpoistukselle, kun taas STUK vaatii vain, että kelpoistus on tehty ja dokumentoitu. Menetelmä voi olla RCC-E:n mukainen. (AFCEN, 2022)

KTA 3504 edellyttää toimilaitteilta ja sähkökäytöiltä todistusta soveltuvuudesta (Suitability Certification). Se vaatii selkeän testattavuuden, riippumattomuuden ja todentamisen laitostasolla. KTA:n kelpoistuksen perustana on tyyppihyväksyntätestit. Soveltuvuus katsotaan todistetuksi, kun laitetyyppi on läpäissyt vaaditut tyyppitestit ja sarjasta on olemassa riittävä käyttökokemus vastaavissa olosuhteissa. KTA määrittää yksityiskohtaiset tyyppitestit ja raja-arvat niiden hyväksymiselle STUK vaatii vastaavan kelpoistuksen, mutta ei määrää testien lukumäärää tai kestoa. (KTA, 2022)

IEEE 334 määrittää yksityiskohtaiset käytännöt moottorien kelpoistukselle ydinvoimalaitoksissa. Standardi perustuu IEC 60780-323 -vaatimuksiin ja kattaa sekä uudet että kunnostetut moottorit ja eristejärjestelmät. Kelpoistusohjelma sisältää moottorin turvallisuustoiminnon määrittelyn, käyttöolosuhteiden analyysin ja testausmenetelmät, joilla varmistetaan toiminta ennen DEC-tilanteita sekä niiden aikana ja jälkeen. Lisäksi määritetään kelpoistettu käyttöikä, joka perustuu ikääntymismekanismien analyysiin ja testituloksiin. Dokumentoinnin tulee kattaa kaikki ikääntymismekanismit, testitulokset ja huoltovaatimukset kelpoisuuden säilyttämiseksi koko käyttöiän ajan. STUK ei anna IEEE:n kaltaisia tarkkoja arvoja tai yksityiskohtaisia testisekvenssejä, mutta edellyttää, että kelpoistus on osoitettu ja dokumentoitui. Kelpoistuksen toteutustapa on jätetty luvanhaltijan harkintaan. (IEEE, 2024a)

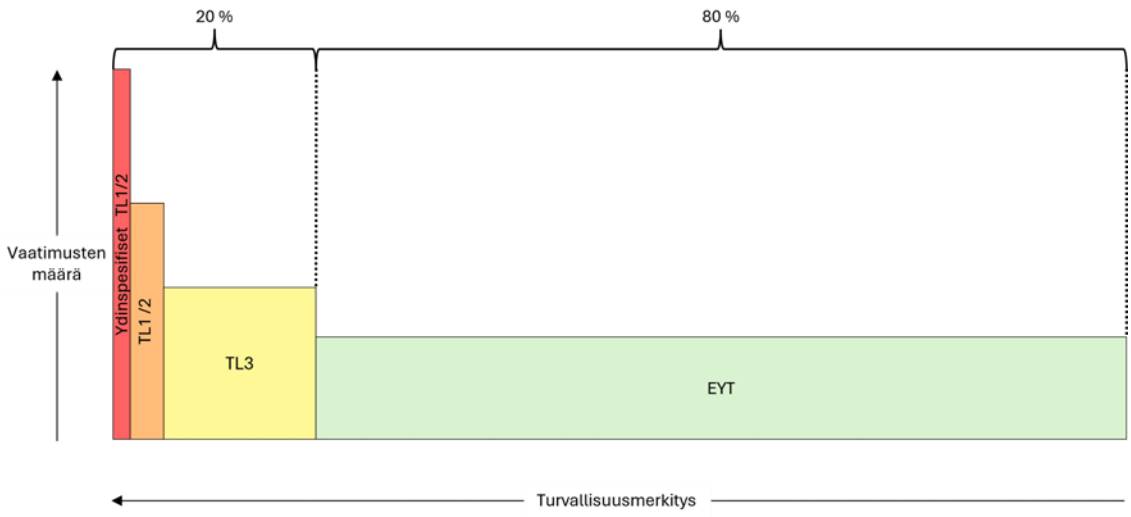
2.2.6 Standardilaitteiden hyväksyttäminen ydinkäyttöön

Ydinalan vaatimukset koetaan usein epäselvinä, monitulkintaisina ja ylimitoitettuina (Raitanen, 2017). Tiukat laatuvarmistukset ovat yleensä muodollisia ja pohjautuvat aikaan ennen ISO 9001-standardisointia. Luvitus- ja kelpoistusprosessien koettu raskaus on vaikeuttanut ikääntyvien laitteiden ja järjestelmien modernisointia. Samanaikaisesti toimittajaverkosto on supistunut ja kiinnostus ydinlaitoskäyttöön soveltuvien laitteiden toimittamiseen on vähentynyt. Monia ydinluokiteltuja komponentteja valmistaneita toimijoita ei ole enää olemassa tai käytössä olevien

tuotesarjojen valmistus on lopetettu. Koska teolliset toimijat eivät yleensä tunne ydinalan erityisvaatimuksia, he voivat kieltäytyä tarjoamasta tuotteita markkinoille tai toisaalta hinnoitella tuotteensa haluamallaan tavalla. Uusia toimijoita harvoin ilmestyy ydinalalle korkeiden turvallisuus-, toiminta- ja takuuvaatimusten sekä näiden aiheuttaman negatiivisen mainehaitan takia. Nykyiset moottoritoimittajaratkaisut ovat vähissä, minkä takia alalla tehdään paljon työtä sen eteen, että uusia toimittajia löytyisi.

Joissakin tilanteissa teknisesti identtiset komponentit, joihin ei ole tehty fyysisiä muutoksia, voivat olla ydinalalla eri hintaisia. Hinnan nousu johtuu soveltuvan ydinspesifisen lisädokumentaation toimittamisesta komponentin mukana. (Martin & Abbt, 2018). Tuotteiden hintalisä harvoin johtuu puhtaasti fyysisistä ominaisuuksista, vaan liittyy byrokratian aiheuttamaan ylimääräiseen vaivannäköön. Sarjavalmisteisten tuotteiden yleinen laatu ja luotettavuus ovat kuitenkin parantuneet merkittävästi ydinenergian alkuvaiheista lähtien (Wahlström & Sairanen, 2011).

Ydinvoimalaitosten järjestelmien, laitteiden ja rakenteiden määrällistä jakautumista turvallisuusluokkiin voidaan havainnollistaa Pareto-periaatteen mukaisesti. Turvallisuus-luokiteltuja laitteita on 20 % kaikista laitteista ja ei ydinturvallisuusluokiteltuja 80 %. (Martin & Abbt, 2018) Tilannetta on havainnollistettu kuvassa 5, jossa palkkien leveys kuvastaa laitteiden suhteellista lukumäärää. Uudet vaatimukset kasautuvat vanhojen vaatimusten päälle, joten ylemmän turvallisuusluokan laitteen tulee täyttää myös kaikki alemman luokan vaatimukset.



Kuva 5. *Ydinlaitteiden turvallisuusluokittelun Pareto-periaatteen mukainen jakautuminen. (Muokattu lähteestä Martin & Abbt 2018)*

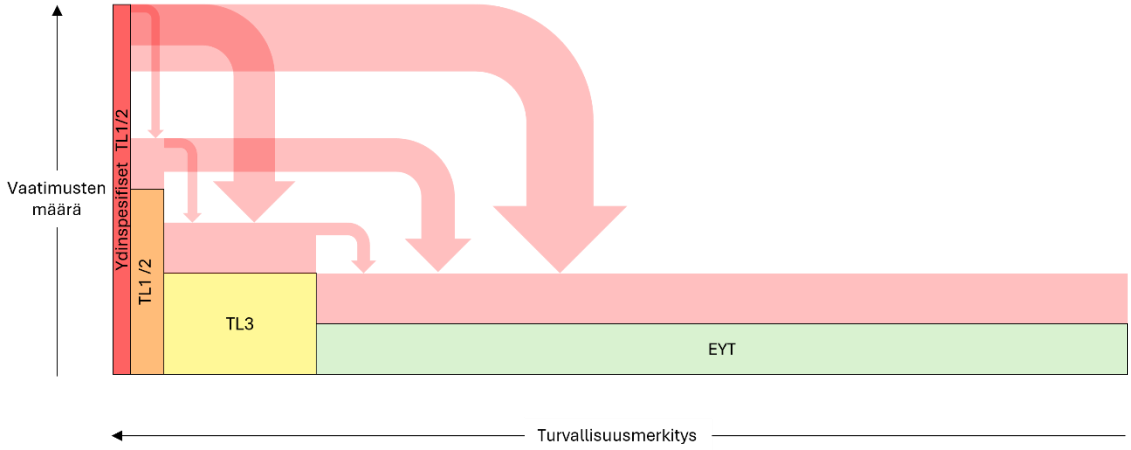
Muilla teollisuudenaloilla tapahtunut merkittävä laadunkehitys ei ole siirtynyt riittävissä määrin ydinalle. Öljy- ja kaasuteollisuuden venttiilien vaatimusmäärittelyjä verrattaessa laadullisesti ydinalan TL3 vaatimusmäärittelyihin on huomattu, että vaatimukset ovat laadullisesti identtisiä tai vähintään samankaltaisia. Venttiilien rakenteet, hitsaukset ja testaukset suunnitellaan ja toteutetaan samojen kansainvälisten standardien mukaan. Isoimpina eroavaisuuksina havaittiin tarkastuslaajuuksissa ja suunnitteluperusteissa sekä ympäristö-, maanjäristys- ja säteilykestoisuuteen liittyvissä vaatimuksissa. (Raitanen, 2017)

Ydinlaitteille asetetut vaatimukset koostuvat kansallisista vaatimuksista, kansainvälisesti hyväksytyistä standardeista ja käyttäjämaan teollisuuskulttuurin yksilöllisistä vaatimuksista. Yksinkertainen vaatimustenmukaisuus edellyttää nykyään suuria, vanhanaikaisia ja kaiken kattavia ydinalan laitevalmistajia. Koska Euroopassa on rakennettu vain vähän uusia ydinvoimalaitosyksikköjä viimeisten kolmen vuosikymmenen aikana, on laitevalmistajilla vaikeuksia ylläpitää ydintuotantolinjaansa toiminnassa. Nykyisiä ydinteollisuuden kaikkia käytäntöjä noudattavia laitevalmistajia on vaikea löytää. Laitteiden vaatimustenmukaisuuden vaikeudet ovat johtaneet korkeisiin kustannuksiin.

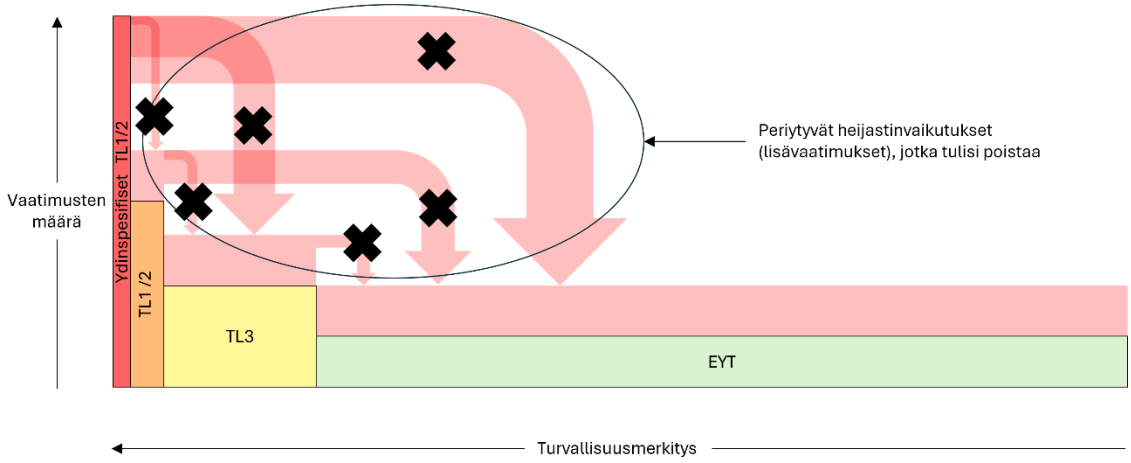
Laadunvalvonnan, -varmistuksen ja -valvonnan parantaminen ja kehittäminen oli tarpeen 1960-luvulta 1980-luvulle, jotta ydinvoima saisi yhteiskunnan hyväksynnän ja alan erityisvaatimukset täytettäisiin (Martin & Abbt, 2018). Teollisuuden standardien kehittyessä ydinvoima-alalla haluttiin tehdä selvä pesäero ja alkuperäinen porrastettu vaatimustaso korkean ja matalan turvallisuusmerkityksen omaavien laitteistojen välillä katosi. Fukushiman ydinvoimalaonnettomuus vuonna 2011 käynnisti tarpeen arvioida

uudelleen ydinenergia-alan sääntelykehykset. Ennen kyseistä onnettomuutta lähestymistapa turvallisuuteen oli deterministinen, jossa turvallisuus perustui ennalta määritettyihin skenaarioihin ja oletuksiin. Turvallisuusvaatimusten laajentaminen harvinaisiin mutta vakaviin tapahtumiin, kuten suunnitteluperusteiden ylittäviin onnettomuuksiin, johtaa suhteettomiin ja kustannustehottomiin turvallisuusinvestointeihin. (Nourbakhsh, 2014) Liiallista varovaisuutta seuraavat usein epärealistiset turvallisuusvaatimukset. Konservatiivisten oletusten yhdistäminen useiden eri vaatimusten osalta johtaa epäuskottaviin lopputuloksiin, mikä paradoksaalisesti heikentää turvallisuutta hämärtämällä todellisia riskejä. (NEA, 2016)

Sääntely- ja valvontaviranomaiset korostavat turvallisuutta usein siinä määrin, että se ohjaa luvanhaltijoiden käyttäytymistä yli teknisten vaatimusten, mikä vahvistaa jatkuvasti kasvavien turvallisuusvaatimusten ja -normien kierrettä. Turvallisuuskulttuuri on arvojen ja käyttäytymisen kokonaisuus, jossa turvallisuus asetetaan etusijalle muihin tavoitteisiin nähden. Viranomaisten asettamat turvallisuusodotukset juurtuvat koko toimialalle riippumatta siitä, ovatko ne teknisesti tai riskiperusteisesti perusteltuja. (NRC, 2014) Korkeammista vaatimuksista johtuvaa alempien vaatimusten sääntelyllistä ylivuotoa on kuvattu kuvassa 6 ja kuvassa 7 on esitetty poistettavaksi ehdotetut vuosien ylivuotoilmiönä kasautuneet ylimääräiset lisävaatimukset.



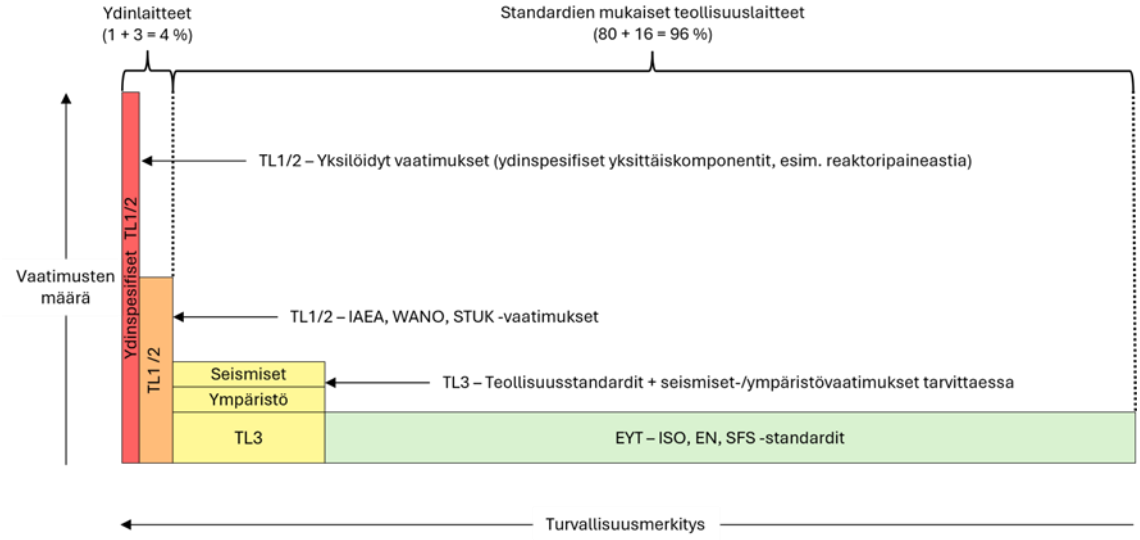
Kuva 6. *Ydinalan vaatimusten ylivuotoilmiö. (Muokattu lähteestä Martin & Abbt 2018)*



Kuva 7. *Poistettavaksi ehdotettavat lisävaatimukset. (Muokattu lähteestä Martin & Abbt 2018)*

Kaupallisten komponenttien toistuva tuotanto nähdään laatua ja luotettavuutta parantavana tekijänä (Raitanen, 2017). Sähkö- ja automaatiolaitteita valmistetaan harvoin pelkästään ydinlaitoskäyttöä varten (STUK, 2019c). Modernit korkealaatuiset laitteet valmistetaan nykyään pääosin siten, että lopullinen laitevalmistaja määrittelee vaatimukset viittaamalla kansainvälisiin standardeihin, jonka jälkeen laitteet kootaan vakioiduista, standardien mukaisista osista ja alalaitteista, joiden hankinta tapahtuu suoraan hyllystä monitasoisesta toimittajamatriisista. Kaikki tuotantoketjun osat noudattava vakiintuneita ja sertifioituja laatuvaatimuksia. Standardilaitteiden hyväksyttäminen ydintekniseen käyttöön on nähty parantavan kustannustehokkuutta ja ydinalan julkisuuskuvaa. Kaventamalla eroa standardilaitteiden ja ydinteknisten

laitteiden välillä ei ole huomattu olevan vaikutusta turvallisuustasoihin (Raitanen, 2017). Kuvassa 8 on esitetty uusi suhtautuminen turvallisuus- ja ei-ydinturvallisuusluokiteltujen laitteiden vaatimusten määrään ja sisältöön verrattavissa toisiinsa.



Kuva 8. *Uusi ydinalan asenne vaatimusten täyttämiseen. (Muokattu lähteestä Martin & Abbt 2018)*

Erityisten ydinspesifien komponenttien, esimerkiksi reaktoripaineastian, laatu- ja suorituskykykykyvaatimuksiin ei ole tarve tehdä erillisiä muutoksia verrattuna aikaisempaan ajattelutapaan, sillä tärkeiden ja kriittisten komponenttien vaatimukset ovat aina yksilöllisiä ja laitoskohtaisia. TL3- ja EYT-laitteiden välille ei tehdä suurta eroa, paitsi ympäristö- ja seismisten vaatimusten kanssa tarvittaessa, sillä standardien mukaiset teollisuuslait-teet täyttävät lähes identtisten käyttökohteiden ja laitepaikkojen vaatimukset. Sen sijaan, että ydinturvallisuutta lisättäisiin korkeilla vaatimuksilla, keskityttäisiin siihen, että käytetään oikean toiminnon ja oikean luotettavuuden omaavaa laitetta. Tämä saavutetaan keskittymällä nykyaikaisen teollisen hyväksymineen toiminnallisiin tavoitteisiin sekä poistamalla muotoseikkoihin perustuvat vaatimukset.

3. MENETELMÄT

Tämä diplomityö on osa materiaalihankintaprosessia, jonka tarkoituksena on päivittää ja yhdistää Olkiluodon ydinvoimalaitoksen laitosyksiköiden sähkömoottorivaatimukset ja tarkastella miten uuden sähkömoottorivalmistajan moottorisarjat täyttävät ne. Lisäksi diplomityössä analysoidaan vaatimusten asettumista ydinteollisuudessa. Työ toteutettiin tässä kappaleessa esitettyjen menetelmien avulla.

Tiedonkeruu toteutettiin monimenetelmäisesti yhdistämällä dokumenttianalyysi, asiantuntijahaastattelut ja tietopyynnöt moottorivalmistajalle. Dokumenttianalyysissä käytiin läpi vaatimusdokumentteja, kelpoistusaineistoja ja -ohjeistuksia, joiden avulla muodostettiin runko vaatimusten täyttymiselle. Kirjallisuuskatsauksella analysoitiin jo olemassa olevien moottorivaatimusten eroavaisuudet. Uusien vaatimusten kokoamisessa ja päivittämisessä kiinnitettiin erityistä huomiota kansainvälisiin teollisuusstandardeihin.

3.1 Kirjallisuuskatsaus

Tutkimusmenetelmänä käytettiin järjestelmällistä kirjallisuuskatsausta, jonka avulla pyrittiin muodostamaan kokonaiskuva sähkömoottorien kelpoistuksen vaatimuksista ydinvoimalaitosympäristössä. Kirjallisuuskatsauksen lähteiksi valittiin viranomaisohjeistuksia, kansainvälisiä standardeja, alan teknisiä julkaisuja sekä kohdeyrityksen sisäisiä dokumentteja. Lähteiden valinnassa painotettiin ajantasaisuutta, soveltuvuutta ydinalan kontekstiin sekä dokumenttien virallista asemaa. Katsauksen rajauksessa keskityttiin erityisesti GP- ja SD-sarjojen moottoreihin, koska ne ovat kohdeyrityksen kannalta relevantteja.

Työn teoriaosassa ja kirjallisuuskatsauksessa on pyritty kuvaamaan vaatimusten tausta, termistö ja ydinalan toimintatavat niin kattavasti, että alaa tuntematon lukija ymmärtää, mikä on kelpoistuksen merkitys turvallisuuden toteamisessa ja miksi asiat kelpoistetaan. Käytetyt ydinspesifiset termit on selitetty auki alan yleisen ohjeistuksen mukaisesti. Kelpoistustyön kannalta oleelliset valmisteltavat dokumentit on esitetty kattavasti ja yksityiskohtaisesti, jotta tämän diplomityön pohjalta pystytään laatimaan sähkömoottorien soveltuvuusarvio.

Valtaosa työn pohjana ja työssä käytetystä dokumentaatiosta on yrityksen sisäistä. Vaikka Säteilyturvakeskuksen vaatimukset koskettavat kaikkea ydinvoimaliiketoimintaa,

on luvanhaltijoilla Suomessa eriäviä toimintatapoja ja dokumentoimistyylejä liittyen viranomaisille toimitettaviin aineistoihin. Tässä työssä on sovellettu kohdeyrityksen omia toimintatapoja, esimerkkipohjia ja ohjeita soveltuvuusarvion laadinnassa. Kohdeyrityksellä on erillinen dokumentaatiosta ja ohjeista vastaava organisaatio, jonka tehtävänä on ylläpitää esimerkkejä ja varmistaa, että nykyiset käytettävissä olevat ohjeet vastaavat lainsäädäntöä ja viranomaisohjeita.

OL1/OL2 ja OL3 vaatimukset koostuvat kummatkin kolmesta vaatimusdokumentista, jotka asettavat yleisiä sekä turvallisuusluokkakohtaisia vaatimuksia. OL1/OL2 vaatimukset on päivitetty viimeksi vuonna 2024. OL3 vaatimuksista on ollut käytössä projektikonsortion asettamat vaatimukset vuodelta 2007. Koska kohdeyritys ei ole päivittänyt vaatimuksia laitostoimittajan alkuperäisistä vaatimuksista, nähtiin tärkeänä kiinnittää huomiota vaatimusten ajankohtaisuuteen, tarpeellisuuteen ja nykyiseen soveltuvuuteen.

3.2 Asiantuntijaryhmän toiminta

Kohdeyrityksen asiantuntijaryhmään valikoitui ydinvoimalaitoksen sähkömoottorivastuullisia ja opinnäytetyön ohjaamisen kannalta oleellisia henkilöitä. Ylimmältä koulutustasoltaan ryhmän jäsenet ovat insinöörejä, diplomi-insinöörejä ja tekniikan lisensiaatteja, ja heillä on työkokemusta yhteensä 110 vuotta, josta 40 on ydinalalta. Ryhmän jäsenien tittelit koostuivat tiimiesihenkilöistä, sähköinsinööreistä, vanhemmista sähköinsinööreistä ja pääinsinööreistä. Ryhmän vakiokoko oli 5 henkilöä.

Asiantuntijaryhmän toiminta toteutettiin puolistrukturoituina. Asiantuntijaryhmä kokoontui säännöllisesti 1 – 1,5 kuukauden välein. Tapaamisiin oli järjestetty ennalta esityslistalle olevat asiat, joita käsiteltiin joustavasti kokousten aikana. Keskustelujen avulla täydennettiin dokumenttiaineistoa erityisesti käytännön soveltuvuuden ja tulkintojen osalta.

Asiantuntijaryhmää sekä siellä nousseita havaintoja hyödynnettiin vaatimusten erovaisuuksien arvioinnissa ja uusien vaatimusten hyväksymisessä. Kaikkien vaatimusten muokkaamisen perustelut käytiin lävitse asiantuntijaryhmän kesken. Hyväksynnät ja arvioinnit perustuivat asiantuntijoiden kattavaan ymmärrykseen sähkömoottoreista ja ydinlaitoksista. Asiantuntijaryhmän pääinsinöörit hyväksyvät työn pohjalta laaditut uudet moottorivaatimukset.

Asiantuntijaryhmän toiminta on työn tuloksen luotettavuuden ja ydinturvallisuuden kannalta tärkeää. Ryhmän kokoonpano ja säännöllinen osallistuminen työn arviointiin lisäsivät työn sisällöllistä validiteettia. Ryhmän osallistuminen mahdollisti sen, että

diplomityön sisältöä voitiin käsitellä objektiivisesti ja riippumattomasti, mikä vahvisti työn tieteellistä ja käytännöllistä uskottavuutta. Jokaisessa tapaamisessa käytiin läpi työn edistymistä yksityiskohtaisesti ja ryhmän jäsenet esittivät kriittisiä huomioita, tarkennuksia sekä kehitysehdotuksia. Tämä prosessi vähensi diplomityöntekijän subjektiivisten tulkintojen riskiä ja lisäsi työn läpinäkyvyyttä.

3.3 Haastattelut

Työtä varten haastateltiin Säteilyturvakeskuksen henkilöstöä. STUKin haastattelun tarkoituksena oli kerätä lisätietoa STUKin sisäisistä arviointi- ja hyväksymisprosesseista, taustoista nykyisen soveltuvuusarvioinnin vaatimusten takana ja kelpoistuksen valvonnasta. Haastateltavat koostuivat tarkastajista, ylitarkastajista ja toimistopäälliköistä, joilla oli työkokemusta yhteensä lähes 80 vuotta, joista STUKissa noin 45 vuotta.

Haastattelut toteutettiin puolistrukturoituina, jolloin haastattelurunko sisälsi ennalta määriteltyjä kysymyksiä. Haastattelussa annettiin tilaa myös vapaalle keskustelulle ja asiantuntijoiden omille näkemyksille. Tämä lähestymistapa mahdollisti sekä vertailukelpoisen tiedon keruun että uusien näkökulmien esiin tuomisen. Haastattelukysymykset laadittiin siten, että ne tukivat opinnäytetyön tavoitteita ja liittyivät suoraan V&V-prosessiin, STUKin toimintatapoihin sekä kansainvälisten, että vertaistahojen kelpoistustoimintaan.

Työn alkuvaiheessa oltiin yhteydessä Innomoticsin Suomen maahantuojaan, jotta kohdeyrityksen aikeet tuotiin heille tietoon sekä oltiin avoimia tutkimusta tehdessä. Yhteydenpidolla varmistettiin molemminpuolinen tiedonsaanti sekä mahdollisuudet uusille liiketoimintamahdollisuuksille. Yleisesti työn tekemisessä on aktiivisesti hyödynnetty TVO -konsernin henkilöstön ja jo eläköityneiden työntekijöiden pitkäaikaisia kokemuksia kelpoistustyön kehittymisestä ja näkemyksiä uuden ydinvoiman rakentamisprosessin ajoilta.

Haastattelut täydensivät ja taustoittivat dokumenttiaineistoa sekä toivat esiin käytännön kokemuksia, joita ei virallisista lähteistä ollut saatavilla. Erityisesti STUKin edustajien näkemykset auttoivat ymmärtämään vaatimusten taustalla olevia ajatusmalleja ja arviointikriteerejä. Innomoticsin haastattelujen perusteella saatiin valmistajan näkökulma moottorihankintoihin. Haastattelujen kautta saatu tieto lisäsi tutkimuksen validiteettia ja tarjosi arvokasta kontekstuaalista ymmärrystä.

Haastattelujen toteutuksessa noudatettiin hyvää tutkimuseettistä käytäntöä. Kaikilta haastateltavilta pyydettiin suostumus osallistumiseen, ja heille kerrottiin tutkimuksen

tarkoituksesta, aineiston käsittelystä ja anonymiteetin säilyttämisestä. Haastattelut dokumentoitiin luottamuksellisesti siten, ettei yksittäisiä henkilöitä tai heidän lausuntojaan ole tunnistettavissa työn julkisessa versiossa.

4. TULOKSET

Vaatimusten päivittäminen aloitettiin nykytilan analysoinnilla. Olkiluodon ydinvoimalaitoksen alkuperäiset laitoskohtaiset moottorivaatimukset, niiden vertailu, eroavaisuudet ja yhtenäistämiseen tarvittavat muutokset on listattu liitteessä B. Tuloksena saadut yhtenäistetyt ja päivitetyt moottorivaatimukset vastaavat ensimmäiseen tutkimuskysymykseen kappaleessa 4.1.

Vaatimusten päivittämisen jälkeen kappaleessa 4.2 arvioidaan Innomoticsin GP- ja SD-moottorisarjojen tekninen soveltuvuus. Sen perusteella voidaan vastata kolmanteen tutkimuskysymykseen ja todeta GP- ja SD-sarjojen täyttävän päivitetyt moottorivaatimukset.

Kappaleessa 4.3 esitetään päivitysehdotukset TVO:n sisäisiin dokumentteihin. Dokumenttipäivitykset vastaavat toiseen tutkimuskysymykseen. Ehdotettavien muutosten vaikutusta verrataan nykytilassa käytössä oleviin testaussuunnitelmiin ja jo kelpoistettuihin toisen valmistajan sähkömoottoreihin.

4.1 Yhdistetyt moottorivaatimukset

Olkiluodossa on käynnissä kolme ydinreaktoria. OL1/OL2 ovat ruotsalaisen ASEA-ATOMin valmistamia kiehutusvesireaktoreita (boiling water reactor, BWR). Ne toistensa kopioita ja vastaavia sisarlaitoksia on Ruotsissa. OL3 on ranskalaissaksalaisen Areva-Siemens-konsortion valmistama EPR-laitos, joka on reaktorityypiltään painevesireaktori (pressurized water reactor, PWR). EPR:iä on maailmassa käytössä, rakenteilla ja suunnitteilla yhteensä 14. Muut käytössä olevat laitokset sijaitsevat Kiinassa ja Ranskassa sekä rakenteilla olevat laitokset Iso-Britanniassa. Molempien laitostyyppien sisarlaitosten välillä tehdään tiivistä kansainvälistä yhteistyötä.

Lämpö- ja sähköteholtaan OL1/OL2 ovat 2 500 MW / 890 MW ja OL3 4 300 MW / 1 600 MW. Laitokset eroavat toisistaan muun muassa reaktorityypin, käyttötoimenpiteiden ja suunnitteluperusteiden osalta. Perusmoottorikäytöt ydinlaitoksilla ovat kuitenkin lähes samanlaisia, moottoreilla käytetään esimerkiksi toimilaitteita, venttiilejä ja pumppuja. Tässä diplomityössä käsiteltävät moottorit kytketään OL1/OL2:lla 660 V jännitetasolle ja OL3:lla 690 V jännitteeseen.

OL3:lla on käytössä vielä rakennusprojektin aikaiset laitostoimittajakonsortion asettamat laajat vaatimukset, jotka on tarkoitus siirtää TVO:n käyttöön sekä yhdenmukaistaa jo

olemassa olevien OL1/OL2 vaatimusten kanssa. Laitoskohtaiset sähkömoottoreita koskevat vaatimusdokumentit on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. *Sähkömoottorien vaatimusdokumentit*

Dokumenttinumero	Laitoskohdistus	Otsikko	Kuvaus
128980	OL1/OL2	TE-BE-3e – Electric Motors	Tekninen määräys
168023	OL1/OL2	Electric Motors – Class EYT	Vaatimusdokumentti
168026	OL1/OL2	LV Electric Motors – Safety Class 2 and Safety Class 3	Vaatimusdokumentti
NGLEE/2004/en/0131	OL3	Project Specification for LV-Drives of Safety Class SC2 and SC3 (≥ 90 kW)	Projektispesifikaatio
FIN005-EEC-750002	OL3	Technical Specification Electrical Requirements for LV AC Motors (50 Hz)	Tekninen spesifikaatio
NGLEE/2005/en/1005	OL3	Design Requirements for LV-Drives of Safety Class SC3 (< 90 kW), SC4 and EYT	Suunnitteluvaatimus

OL3 teknisessä spesifikaatiossa mainitaan, että ”Kaiken toimittajan tarjoaman suunnittelun, valmistuksen ja testauksen tulee olla IEC-vaatimusten mukaisia.” eli sähköteknisen suunnittelun lähtökohtana vaatimuksia asetettaessa on ollut kansainvälisten standardien noudattaminen. Täten on perustelua päivittää vaatimukset kansainvälisten standardien mukaisiksi, sillä nykyisetkin laitteet täyttävät suunnitellun mukaisesti kyseiset vaatimukset. Vaatimukset pohjautuvat laitostyyppien sähköteknisiin suunnitteluperusteisiin, laitossopimuksiin ja hankintavaiheen kyselyaineistoihin.

Nykyiset vaatimukset, niiden vertailu ja esitys päivityksistä on esitetty kootusti liitteessä B. Havaitut vaatimukset luokiteltiin 35:en eri kategoriaan, joissa vaatimukset jakautuvat esimerkiksi testaukseen, materiaaleihin ja käynnistysolosuhteisiin. Muutoksia vaativia kategorioita on 16. Vaatimukset on järjestetty seuraavaksi TVO:n vaatimusmäärittelyn mallipohjan sisällysluettelon, liitteen A, mukaisesti:

Laitostasolta johdettavat vaatimukset

Koska kyseessä on koko moottorisarjaa koskeva yleinen yhdistetty soveltuvuusarvio, laitepaikalle hankittavan laitteen tarkka yksityiskohtainen soveltuvuus arvioidaan aina laitepaikkakohtaisella soveltuvuusarviolla, jossa voi olla lisäyksiä ja muutoksia yleisen tason soveltuvuusarvioon. Näin varmistutaan, että kaikki mahdolliset laitepaikkoja koskevat erityiskäyttöehdot tulevat huomioitua ja moottorin soveltuvuus käyttöpaikalle arvioitua. Näitä laitostason yleisiä vaatimuksia täydennetään tarvittaessa lisämateriaalissa lopullisen turvallisuusselosteen (final safety analysis report, FSAR)

mukaisilla järjestelmäkohtaisilla vaatimuksilla, jos sellaisia on. FSAR on ydinalalla yleinen asiakirja, joka sisältää tiedot laitoksen yleisistä suunnittelu- ja toteuttamisperiaatteista, järjestelmätasolle ulottuvan kuvauksen laitoksesta, onnettomuusanalyysit ja selvityksen ympäristövaikutuksista (ATS, 2013). FSARit on toimitettava STUK:lle ennen laitoksen rakentamista ja merkittävien muutosten ja päivitysten yhteydessä. STUK valvoo muun muassa turvallisuusselosteiden avulla täyttääkö ydinlaitos ja sen toiminta sille asetetut turvallisuusvaatimukset.

Useimmissa OL1/OL2 ja OL3 nykyisissä käyttökohteissa sähkömoottoreille ei aseteta erillisiä erityisvaatimuksia. Huonetilojen olosuhdeluokitukset ovat yleisen soveltuvuusarvion mukaiset ja hankittava korvaava varaosa on mitoitukseltaan ja ominaisuuksiltaan käytössä olevan moottorien mukainen tai parempi.

Toiminnalliset ja suorituskykyvaatimukset

- Sähkömoottorien hyötysuhdeluokan tulee olla vähintään IE3.
- Sähkömoottoreiden käyttötila on IEC 60034 mukainen S1 (jatkuva käyttö).
- Kuuma- ja kylmäkäynnistysten vaatimukset ovat IEC 60034-12 mukaiset.

Sähkötekniset vaatimukset

- Olkiluodon ydinvoimalaitokselle hankittavien sähkömoottorien tulee olla häkkikäämittyjä 3-vaiheisia oikosulkusähkömoottoreita.
- Sähkömoottorit toimivat 50 Hz taajuudella ja niiden nimellisjännitteen tulee olla OL1/OL2 660 V ja OL3 690 V.
- Jännite-, virta-, taajuus- ja tehokäyttäytyminen tulee olla Fingridin Voimalaitosten järjestelmäteknisten vaatimusten (VJV) käytössä olevan revision mukaista. Lyhytaikainen suurempi vaihtelu on sallittua.
- TL2/TL3 sähkömoottorien tehoille on voimassa 1,18-kertainen ylimitoitussuositus.
- Sähkömoottorit on oltava kytkettävissä kolmio- ja tähtikytkentöihin.
- Sähkömoottorien on oltava suorakäynnisteisiä (direct-on-line, DOL) ja TL2/TL3 moottorien on kyettävä käynnistymään 70 % käynnistysjännitteellä kuorman ollessa kytkettynä akselille.
- Käynnistysvirran vaatimusten tulee olla IEC 60034-12 mukaiset.

Mekaaniset vaatimukset

- Sähkömoottorin ja siihen liittyvien oheislaitteiden tiiveysluokkien tulee olla vähintään IP54.
- Sähkömoottorin rungon materiaalina tulee suosia ensisijaisesti valurautaa ja toissijaisesti alumiinia.
- Sähkömoottorit tulee mitoittaa IEC 60071-1 mukaisesti ja kiinnitysten on oltava IEC 60034-7 mukaisia. Suositeltavia asennustapoja ovat IMB3/B5 ja IMV1/V3.
- Sähkömoottorien jäähdytysratkaisun tulee olla IEC 60024-6 mukainen IC411, eli ilmajäähdytteinen suljettu runkorakenne, jossa tuuletin on kytketty roottorinakselille.
- Sähkömoottorit tulee päällystää tyydyttävällä tavalla. ISO 12944 mukainen korroosioluokitus tulee olla vähintään C2. Moottorien tulee tarvittaessa pystyä olemaan dekontaminoitavissa ISO 8690 mukaisesti ja kestää säteilyä 1 MGy asti.
- Alle 160 runkokoilla sähkömoottorien laakerien tulee olla kestovoideltuja ja suunniteltu 40 000 h käyttötunnille. Yli 160 runkokoiden sähkömoottorien laakerien tulee olla voideltavissa moottorin käytön aikana.

Ohjelmistopohjaisten laitteiden erityisvaatimukset

- Mekaanisissa sähkömoottoreissa ei saa olla ohjelmoitavia laitteita tai ohjelmistologiikkaa. Täten niille ei myöskään ole syytä asettaa erityisvaatimuksia.

Liityntä- ja muut rajapintavaatimukset

- Sähkömoottorien vaiheet on merkittävä L1-L2-L3 järjestyksessä.
- Tyyppikilvet on merkittävä suomeksi tai englanniksi ja niiden arvojen on oltava IEC 60034-8 mukaiset.
- Maadoituskaapeli on oltava kytkettävissä sähkömoottoriin standardikiinnitystavalla. OL3:ssa käytettävien sähkömoottoreiden runkojen on oltava maadoitettavissa.
- Suojamaan kytkennälle tulee varata kytkentäpaikka kytkinkotelossa.

Ympäristöolosuhdevaatimukset

- Sähkömoottorien käyttölämpötilat ovat IEC 60034 ja IEC 60085 mukaiset. OL3 ulkotiloissa ja kosteissa paikoissa sähkömoottoreihin, joiden teho ylittää 30 kW, tulee lisätä lisälämmitin/-lämmittimiä.
- Sähkömoottorit on suunniteltu eristysluokkaan IEC 60085 155 (F), mutta suunniteltu käyttö on luokan 130 (B) mukaisesti. Lämpötilapoikkeamat sallitaan lyhytaikaisissa häiriötilanteissa.
- Sähkömoottorien tulee soveltua jatkuvaan käyttöön ilman rajoituksia ja värinän on oltava hyväksyttävällä tasolla. Laitteen on täytettävä vähintään IEC 60034-14 mukainen värinäluokka A.
- Melurajojen on oltava IEC 60034-9 mukaiset.

Luotettavuus- ja käyttöikävaatimukset

- Kaikkien sähkömoottorien tulee olla CE-merkittyjä.

Käyttö- ja kunnossapitovaatimukset

- Sähkömoottorien tulee olla standardoituja prosessimoottoreita. Moottorien ja komponenttien tulee olla standardoituja mahdollisimman pitkälle, jotta niihin on saatavilla varaosia, huolto ja varastointi on mahdollisimman käytännöllistä ja niiden toiminta on turvallista ja luotettavaa.

Dokumentointivaatimukset

- Sähkömoottoreille on toimitettava momenttikäyrät ja virrat 100/90/80 % nimellisjännitteillä tarvittaessa.
- Valmistajan tulee toimittaa TVO:lle tarvittavat materiaalit ja tiedot soveltuvuusarvioiden laatimista varten. Seuraavat tiedot tarvitaan valmistajalta kelpoistusta varten ennen valmistuksen aloittamista:
    - sähkömoottorin tyypin kuvaus
    - nimellisarvot
    - suorituskyky- ja toiminnalliset ominaisuudet

    - testien, käyttökokemusten ja analyysien tiedot
    - sähkötekninen mitoitus
    - suunnittelussa ja valmistuksessa käytetyt standardit
    - huoltoväli ja käyttöikä.
- Seuraavat tiedot tarvitaan valmistajalta kelpoistusta varten valmistuksen jälkeen:
    - varastointi- ja vanhenemisenhallintaohjeet
    - valmistuksen aikana ilmenneet viat ja poikkeamat
    - tyyppi- ja rutiinitestiraportit.

Laadunvarmistusvaatimukset

- Moottorivalmistajalta edellytetään ulkopuolisen tarkastajan myöntämää laatutodistusta laadunhallintajärjestelmän noudattamisesta, esimerkiksi ISO 9001.
- Toimintakykyanalyysi tulee toteuttaa erillisissä tapauksissa.

Vaatimukset kelpoistukselle

- OL1/OL2/OL3 laitepaikkakohtaiset toiminnalliset- ja suorituskykyvaatimukset on esitetty seuraavissa teknisissä määräyksissä
    - TE-Be-1e: Environmental Classes (107231)
    - TE-Be-2e: Special Environmental Classes (103394)
    - TE-Be-3e: Electric Motors (128980)
    - TE-Be-6e: General Electrical Equipment (129253)
    - NGPM3/2005/en/1142: Report Room Conditions.
- Toiminnallisten- ja suorituskykyvaatimusten lisäksi tapauskohtaisesti tulee arvioida, että korvaava varaosa tai uusi sähkömoottori täyttää käytettävyysvaatimukset, mekaaniset ja liityntävaatimukset sekä laitoksella olevan käyttöpaikan ympäristöolosuhdevaatimukset.

Asennus- ja käyttöönottovaatimukset

- Asennuskaapelit on voitava kytkeä sähkömoottorin kytkentäkoteloihin kaapelikengillä.
- Kytkentäkoteloiden tulee olla käännettävissä. Tarvittaessa kytkentäkoteloita voidaan tilata lisää esimerkiksi lämpötila-antureita varten. Kytkentäkotelot on mitoitettava aina kun mahdollista pinta-alaltaan 1,5-kertaisille käytettävän kaapelin poikkipinta-aloille.
- OL3:lle asennettavien sähkömoottorien, joiden teho ylittää 130 kW, lämpötila-anturit liitetään osaksi automaatiojärjestelmää.
- Sähkömoottorien kaapelivalinnat tulee toteuttaa IEC 60364-5-52 mukaisesti.
- Sähkömoottorien värinämittaukset on pystyttävä toteuttamaan ISO 20816 mukaisesti.
- Tarvittaessa OL3:lle asennettavien turvallisuusluokiteltujen sähkömoottorien, joiden runkokoko ylittää 180, on oltava DIROM (Diagnosis for Rotating Machinery System) yhteensopivia.

Jäljitettävyysvaatimukset

- Sähkömoottorit on testattava valmistajan oman testausspesifikaation mukaisesti.
- TL2/TL3-sähkömoottorit on testattava TVO:n testisuunnitelman TE-Otv-621 mukaisesti.

Muut vaatimukset

- Moottorien valmistuksessa, asennuksissa ja käytössä tulee noudattaa kansainvälisiä alan standardeja (IEC 60034, IEC 60072 ja IEC 60085), kansallisia sähköstandardeja (SFS6000/6002) ja ydinturvallisuusohjeita YVL E.7, E.9 ja E.13. Muita YVL-ohjeita sovelletaan aina kun mahdollista.
- Sähkömoottorien tulee täyttää EU:n Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR) asettamat vaatimukset energiatehokkuudelle ja kestävyydelle.
- Tarvittaessa kaikista asetetuista vaatimuksista voidaan poiketa tapauskohtaisesti ja lisätiedoista mainitaan aina tilauksen yhteydessä.

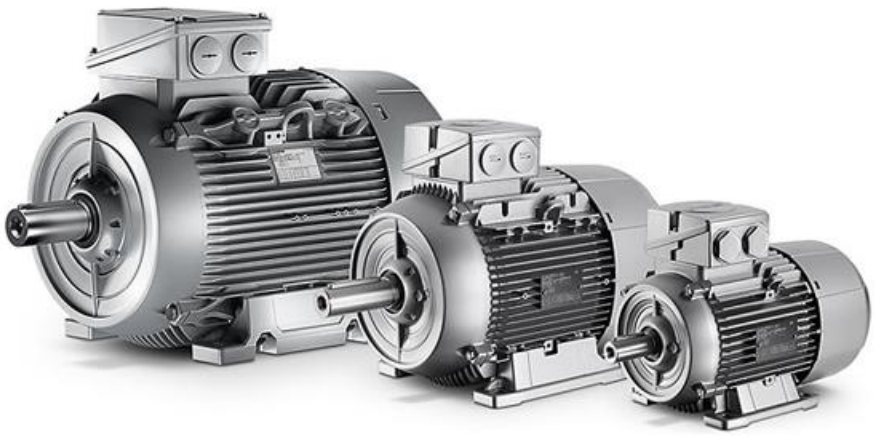
4.2 Kelpoistettavat laitteet

4.2.1 Innomoticsin sähkömoottorisarjat

Innomotics on kansainvälinen sähkömoottoriratkaisujen toimittaja, joka on syntynyt Siemensin Low Voltage Motors ja Large Drives Applications liiketoimintojen yhdistymisestä. Yrityksen pienjännitemoottorit (low voltage motors, LVM) muodostavat laajan ja modulaarisen tuoteportfolion, joka kattaa lähes kaikki teollisuuden sovellukset – kevyistä yleiskäytöistä raskaisiin ja vaativiin prosessiteollisuuden kohteisiin. Moottorit soveltuvat monipuolisesti eri käyttöihin, kuten pumppuihin, puhaltimiin, kompressoreihin, kuljetinjärjestelmiin, nostureihin, sekoittimiin ja murskaimiin. Moottorit ovat saatavilla IEC-standardien mukaisina ja ne täyttävät maailmanlaajuiset energiatehokkuus- ja turvallisuusvaatimukset. (Innomotics, 2024a)

Innomoticsin moottoritoiminta perustuu vahvaan tekniseen osaamiseen, digitaalisiin työkaluihin ja tarvekohtaiseen räätälöintiin. Moottorit ovat yhteensopivia sekä suoraan verkkoon että taajuusmuuttajakäyttöön, ja ne voidaan varustaa laajalla valikoimalla lisävarusteita, kuten jarruilla, antureilla, erikoismaaleilla ja eritysratkaisuilla. (Innomotics, 2024a) Tämän työn tarkastelun ulkopuolelle jää moottorien soveltuminen muuttuvanopeuksisiin taajuusmuuttajakäyttöihin.

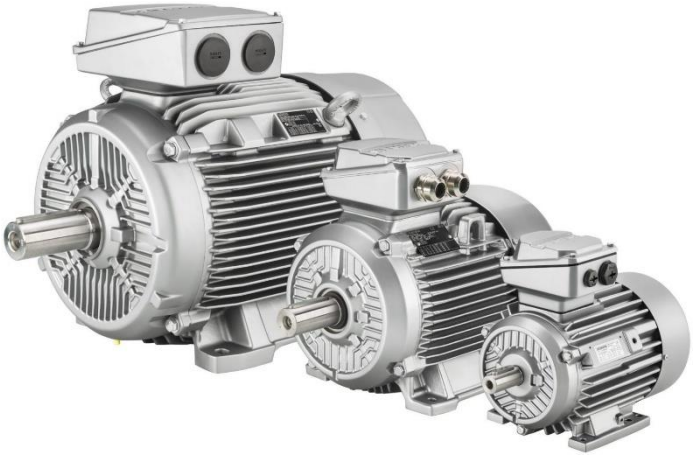
Innomoticsin GP-moottorit on suunniteltu yleiskäyttöön tavanomaisissa ympäristöissä, joissa ei vaadita erityistä suojausta tai mekaanista kestävyyttä. Ne ovat kevytrakenteisia, kompakteja ja kustannustehokkaita moottoreita, jotka soveltuvat esimerkiksi kuljetinjärjestelmiin sekä pumppu-, ilmanvaihto- ja kompressorikäyttöihin. GP-moottorit valmistetaan alumiinirungolla, mikä tekee niistä kevyitä ja helposti käsiteltäviä sekä korroosionkestäviä. Ne ovat erinomainen valinta sovelluksiin, joissa tarvitaan luotettavaa ja tehokasta moottoria ilman erityisiä ympäristövaatimuksia (Innomotics, 2024b). Esimerkkejä GP-sarjan sähkömoottoreista on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. *Innomoticsin General Purpose -sähkömoottoreita. (Kuva lähteestä CURRAX 2025)*

Valurautarunkoiset SD-moottorit on suunniteltu erityisesti vaativiin ja ankariin käyttöolosuhteisiin, kuten kaivosteollisuuteen, kemianteollisuuteen, öljy- ja kaasusektorille, metalliteollisuuteen ja energiantuotantoon. Näissä ympäristöissä moottoreilta vaaditaan korkeaa mekaanista kestävyyttä, korroosionkestävyyttä ja luotettavaa toimintaa myös äärimmäisissä lämpötiloissa ja pölyisissä tai kosteissa olosuhteissa. Esimerkkejä SD-sarjan sähkömoottoreista on esitetty kuvassa 10. SD-moottorit tarjoavat laajemman valikoiman asennus- ja liitäntämahdollisuuksia, mukaan lukien erikoislaakereita, laakerieristyksiä, lämpötila-antureita, jarruja ja erikoispinnoituksia. SD-moottoreiden erityisversioita ovat muun muassa (Innomotics, 2024b):

- SD Add: laajennettu tehoalue ja suuremmat kotelokoot (450).
- SD Pro: korkean hyötysuhteen versio, jossa on Premium-eristys ja laajennettu sertifiointi.
- CHEMSTAR: materiaaleiltaan ja tiiveysluokitukseltaan erikoissuojattu versio kemian- ja öljy-/kaasuteollisuuteen.



Kuva 10. *Innomoticsin Severe Duty -sähkömoottoreita. (Kuva lähteestä MOLL-MOTOR 2025)*

Innomoticsin moottorit ovat modulaarisia, eli niitä voidaan varustaa ja räätälöidä käyttökohteen mukaisesti varianttikoodeilla. Eri varianteilla saadaan muodostettua kokonaisuuksia muun muassa erilaisilla eristyksillä, jäähdytysmenetelmillä, asennus- ja kotelointivaihtoehdoilla, äänitasoilla ja värähtelyluokilla. Lisävarusteina on saatavilla esimerkiksi jarruja, antureita, kondenssivedenpoistoja, lämmitysvastuksia ja erillisiä tuulettimia. Moottoreihin voidaan integroida monenlaisia digitaalisia valvontaratkaisuja, joiden avulla voidaan reaaliaikaisesti valvoa moottorien lämpötiloja, värähtelyjä, kuormituksia ja energiankulutusta. Etävalvonta mahdollistaa analytiikalla optimoinnin ja laitteiden ennakoivan kunnossapidon. (Innomotics, 2024c)

Taulukossa 2 on vertailtu GP- ja SD-moottorisarjojen pääpiirteitä. Taulukosta 2 ja kuvista 9 ja 10 nähdään, että moottorit ovat ominaisuuksiltaan ja visuaalisesti samankaltaisia. Tärkeimmät eroavaisuudet liittyvät kotelomateriaaliin, runkokokoihin ja tehoalueeseen.

Taulukko 2. *Innomotics GP- ja SD-moottorisarjojen vertailu (Muokattu lähteestä Innomotics 2024b)*

	General Purpose (GP)	Severe Duty (SD)
Käyttöluokitus	Yleiskäyttö	Teollisuus
Tekniikka	3-vaihe häkkikäämitty oikosulkumoottori	3-vaihe häkkikäämitty oikosulkumoottori
Kotelomateriaali	Alumiini	Valurauta
Teho	0,09 – 45 kW	0,09 – 1 000 kW
Runkokoko (akselikorkeus, mm)	63 – 200	71 – 450
Napojen lkm.	2, 4, 6, 8	2, 4, 6, 8
Pyörimisnopeus	Max 6 000 rpm	Max 6 000 rpm
Vääntömomentti	0,61 – 294 Nm	1,3 – 8 100 Nm
Käyttöjännite	200 – 690 V	200 – 690 V
Lämpötilaluokitus	F/B (DOL), F/F (VFD)	F/B (DOL), F/F (VFD)
Käyttölämpötila	- 20 – + 40 °C	- 20 – + 40 °C
Käyttötapa	S1	S1
Asennustapa	B3, V1, B35, V5, V6 (lisää tilausvariantilla)	B3, V1, B5, B35, V5, V6 (lisää tilausvariantilla)
Jäähdytysmenetelmä	IC411, IC416, IC418	IC411, IC416, IC418
Kotelointiluokka	IP55, IP56, IP65, IP66	IP55, IP56, IP65, IP66
Räjähdyskestoisuus	-	-
Hyötysuhde	IE3, IE4	IE3, IE4 (vakiona 2,2 – 1 000 kW)
Sertifikaatit	CE, UL-S, CSA-S, UKCA, VIK, CEL, KEMCO, merenkulku, raideliikenne	CE, UL-S, CSA-S, UKCA, VIK, CEL, KEMCO, merenkulku

Sähkömoottorien ulkokuoren materiaalivalinnalla on merkittävä vaikutus moottorin suorituskykyyn, kestävyyteen ja soveltuvuuteen eri toiminnoissa teollisuusympäristössä. Teollisuuden näkökulmasta materiaalivalinta riippuu käyttökohteen vaatimuksista. Valurautaiset kotelot tarjoavat erinomaista mekaanista kestävyyttä ja kestävät hyvin ulkoista painetta, iskuja ja muodonmuutoksia, mikä tekee niistä ihanteellisia raskaisiin teollisuussovelluksiin, kuten tuotantolinjoille, pumppuihin ja kompressoreihin, joissa moottorit altistuvat jatkuvalle rasitukselle ja vaativille olosuhteille. Valuraudan heikko lämmönjohtavuus heikentää jäähdytysominaisuuksia. Monimutkaisten muotojen valmistaminen valuraudasta on myös haastavaa. Alumiiniset moottorikotelot puolestaan soveltuvat tilanteisiin, joissa paino ja jäähdytysominaisuudet ovat etusijalla, kuten nostureissa. Alumiinin erinomainen lämmönjohtavuus parantaa moottorin jäähdytysominaisuuksia. Alumiini mahdollistaa myös monimutkaisten ja tarkkojen

muotojen valmistuksen painevalutekniikalla, mutta sen mekaaninen kestävyys on heikompi verrattuna valurautaisiin rakenteisiin.

4.2.2 Tekninen soveltuvuus

Laitevalintaprosesseissa tapauskohtaisesti kokonainen moottorisarja voidaan kelpoistaa yhdistetyssä soveltuvuusarviossa yleisellä tasolla. Yleistä yhdistettyä soveltuvuusarviota täydennetään laitepaikkakohtaisilla soveltuvuusarvioilla, joissa jokaiselle laitepaikalle sijoitettavan moottorin käytettävyys perustellaan. Tekninen soveltuvuus muun muassa jännitetasojen, vääntömomenttien ja taajuusvaihteluiden osalta arvioidaan aina tapaus- ja käyttöpaikkakohtaisesti. Vastaavanlaisesti ABB:n M3AA- ja M3BP-moottorisarjat on kelpoistettu yhdistetyllä soveltuvuusarviolla OL1/OL2 käyttöön vuonna 2021 (TVO, 2024).

Liitteessä C on esitetty YVL E.7 mukainen korvaavan varaosan yhdistetyn soveltuvuusarvion sisällysluettelo. Innomoticsin moottorisarjojen soveltuvuusarvio laaditaan kyseisen sisällysluettelon pohjalta. Kappaleessa 4.1 asetettujen moottorivaatimusten täyttyminen todetaan seuraavasti:

Laitostason, järjestelmien ja käyttöpaikkojen asettamat vaatimukset sekä suunnitteluperusteet

Useimmissa OL1/OL2 ja OL3 nykyisissä käyttökohteissa sähkömoottoreille ei aseteta erillisiä erityisvaatimuksia. Huonetilojen olosuhdeluokitukset ovat yleisen soveltuvuusarvion mukaiset ja hankittava korvaava varaosa on mitoitukseltaan ja ominaisuuksiltaan käytössä olevan moottorin mukainen tai parempi.

Sähkömoottorin soveltuvuus tietylle laitepaikalle varmistetaan aina erillisellä kyseistä laitepaikkaa koskevalla arvioinnilla. Mikäli varaosamoottori vastaa alkuperäistä moottoria sähköisten ominaisuuksiensa osalta, sillä ei yleensä ole vaikutusta FSAR-dokumentaatioon.

Liittyvät säteily- ja ydinturvallisuusmääräykset, -ohjeet ja käytettävät standardit

Moottorien asennus ja käyttö toteutetaan noudattaen kansainvälisiä ja kansallisia sähköalanstandardeja. YVL:ien vaatimukset otetaan tarkoin huomioon soveltuvuutta arvioidessa. Innomotics täyttää ESPR:n mukaiset energiatehokkuusvaatimukset.

Vaatimukset ja niiden täyttymisen arviointi

Varaosamoottorin tai uuden sähkömoottorikäytön lopullinen soveltuvuuden arviointi tehdään aina erillisen soveltuvuusarvion avulla sen jälkeen, kun moottorin laitepaikka ja käyttötarkoitus ovat tiedossa. Näin voidaan huomioida kaikki kyseiseen laitepaikkaan liittyvät erityiset käyttöehdot ja varmistaa moottorin soveltuvuus kyseiseen käyttökohteeseen.

Toiminnalliset vaatimukset ja suorituskykyvaatimukset

Innomoticsin GP- ja SD-sarjojen hyötysuhteet ovat tehotasoilla 0,12 – 0,75 kW IE3 ja 0,75 – 1 000 kW IE4. IE4 hyötysuhdeluokan muutos on nykyisellä aikataululla tulossa voimaan vuonna 2028, jolloin luokan pakollinen tehoalue laajenee 75 – 200 kW:sta 5,5 – 200 kW:iin. EU arvioi ja päivittää hyötysuhdeluokituksiaan jatkuvasti, minkä pohjalta tulevaisuudessa voidaan odottaa IE4 tehoalueen laajenemista entisestään ja IE5 luokan laajempaa implementointia.

EU komission asetuksessa 2019/1781 koskien sähkömoottorien rakennetta ja hyötysuhdeluokkia mainitaan artikla 2 kohdan 2 mukaisesti, että asetuksen vaatimuksista moottorien tapauksissa voidaan poiketa ydinlaitosten turvallisuuden varmentamiseksi (EU, 2019). Täten ydinlaitoksissa voidaan tarvittaessa käyttää myös alempien hyötysuhdeluokkien IE1, IE2 tai IE3 sähkömoottoreita tulevaisuudessa vähimmäishyötysuhdevaatimusten kasvaessa. TVO pyrkii kuitenkin hankkimaan varaosiksi ja uusiksi moottoreiksi paremman hyötysuhdeluokan moottoreita aina kun se on mahdollista huollon ja käytettävyyden takaamiseksi. Uudempien ja korkeampien hyötysuhdeluokan IE3/IE4 moottorien saatavuus on myös parempi verrattaessa vanhempiin ja alemman hyötysuhteen moottoreihin. Hyötysuhdeluokan paraneminen tuo moottoriin lisäpainoa, mutta ei heikennä sen sähköisiä tai mekaanisia ominaisuuksia eikä vaikuta yleensä asennettavuuteen.

Innomoticsin GP- ja SD-sarjojen sähkömoottorit on luokiteltu IEC 60034 mukaiseen jatkuvaan käyttöön (luokka S1) ja niiden käynnistysominaisuudet täyttävät IEC 60034-12 mukaiset vaatimukset.

Asennettavuus ja käytettävyysvaatimukset

Innomoticsin kytkentäkotelot mahdollistavat kytkennät kaapelikengillä. Kytkentäkotelot ovat käännettävissä ja niitä on saatavilla tilausvarianteilla ylimääräisiä ja erikokoisia. Innomoticsin sähkömoottorit täyttävät ISO 10816 mukaiset värinävaatimukset.

Mekaaniset vaatimukset

Innomoticsin GP- ja SD-sarjojen sähkömoottorien tiiveysluokka on minimissään IP55, jota voidaan korottaa variantilla IP66 asti. Moottorirunkojen materiaali on GP-sarjalla alumiini ja SD-sarjalla valurauta.

Innomoticsin sähkömoottorit ovat saatavissa muun muassa IEC 60034-6 IC411 jäähdytystavalla. Kaikki sähkömoottorit täyttävät IEC 60034-7 mukaiset mitoitusvaatimukset ja IEC 60072 mukaiset kiinnitystavat. GP-sarjan moottoreita on IMB3/-V1/-B35/-V6 runkokoilla 63-200 ja IMB5/-V3/-B6/-B7/-B8 runkokokoon 355 asti. SD-sarjan moottoreita on IMB3/-V1/-B35/-V6 runkokoilla 71-540 ja IMB5/-V3/-B6/-B7/-B8 runkokokoon 355 asti.

Innomoticsin moottorien standardipinnoitus on suunniteltu teollisuuden lämmittämättömiin sisätiloihin, joissa sallitaan lämpötilan ja suhteellisen kosteuden vaihtelut, kondensoituminen on harvinaista ja ilman saasteiden määrä on vähäinen. Standardipinnoite sopeutuu kuiville ja kylmille ulkoalueille, joilla kostea aika on lyhyt ja ilmansaastepitoisuus vähäinen. Standardipinnoite täyttää ISO 12944 C2 mukaiset vaatimukset ja sitä voidaan variantilla muuttaa vastaamaan C3 – CX tasojen mukaisia vaatimuksia. Moottorit voidaan pinnoittaa siten, että ne täyttävät säteilykestoisuusvaatimukset ja ovat dekontaminoitavissa ISO 8690 mukaisesti.

Laakerien kestovoitelu on tavoitellusti elinikäinen ja suunniteltu 40 000 h käyttötunnille, paitsi tilanteissa, joissa akselikuormitus ei ole suunniteltu. Tällöin voidaan olettaa voitelun riittävän 20 000 h käyttötunnille. Uudelleenrasvaus on mahdollista runkokoista 100 ylöspäin tai pitojarrulle varustetuista moottoreista runkokoista 160 ylöspäin.

Liityntävaatimukset

Innomoticsin sähkömoottorien merkinnät ja tyyppikilvet noudattavat IEC 60034-8 mukaisia vaatimuksia. Vaiheliitännät on merkitty vaatimusten mukaisesti.

Suojamaalle on varattu moottorin kytkentäkoteloissa kytkentäpaikat. Ulkopuolinen maadoitusterminaali on standardina runkokoista 180 ylöspäin. Variantilla saa rungon maadoitusterminaalin myös pienempiin moottoreihin ja useampia tarvittaessa.

Luotettavuusvaatimukset

Innomoticsin moottorit täyttävät niihin liittyvät EU-tason olennaiset vaatimukset liittyen turvallisuuteen, käyttöön ja ympäristöön. CE-merkintä moottoreissa toteaa vaatimustenmukaisuuden.

Ympäristöolosuhdekestoisuusvaatimukset

Innomoticsin GP- ja SD-moottorisarjat on suunniteltu toimimaan - 20 – + 40 °C lämpötiloissa. Niiden suunniteltu käyttöluokka on F ja käyttö tapahtuu tilanteen mukaan B/F mukaisesti. Innomoticsin moottoreihin on mahdollista lisätä variantilla lisälämmittimiä estämään kondensoitumista.

IEC 60034 mukainen maksimilämpötilanousu eristysluokalle F on 105 °C siten moottorin suurin sallittu käyttölämpötila on 165 °C. Koska moottorin käyttö on eristysluokan B mukaista on sallittu lämpötilan nousu 80 °C ja siten normaali käyttölämpötila maksimissaan 120 °C. Tämä alittaa myös IEC 60085 F-luokan maksimilämpötilan 155 °C. Moottoreita on tarkoitus voida käyttää eri huonetiloissa, joissa olosuhteet vaihtelevat yksilöllisesti, joten tarkkoja olosuhdevaatimuksia ei voida asettaa moottorisarjalle kokonaisuudessaan. Lämpötilavaatimukset ovat riittävät, sillä moottorit ylittävät kuitenkin ympäristöluokituksia koskevan teknisen määräyksen TE-BE-1e mukaisen luokan 2 ”Prosessitilat” vaatimuksen 96 h kestolle + 55 °C lämpötilassa. B-luokassa sallittu lämpenemä on 80 K ja F-luokassa 105 K. Tämä antaa koneen käytölle n. 25 % suojamarginaalin. F-luokassa suurin sallittu käämin lämpötila on 155 °C.

Innomoticsin moottorien värinäluokitus on IEC 60034-14 mukainen luokka A, mutta jokainen moottori on mahdollista korottaa variantilla luokkaan B. Sähkömoottorit täyttävät IEC 60034-9 mukaiset melurajojen vaatimukset.

Sähkötekninen mitoitus ja suojaus (mukaan lukien sähköverkon häiriöt)

Innomoticsin GP- ja SD-sarjojen sähkömoottorit ovat rakenteeltaan häkkikäämittyjä 3-vaiheisia oikosulkumoottoreita. Sähkömoottorit toimivat 50/60 Hz taajuudella ja nimellisjännitteillä 220 - 690 V. GP-sarjan tehoalue on 0,09 – 45 kW ja SD-sarjan 0,09 – 1 000 kW.

Erillisen tarkastelun pohjalta voidaan todeta Innomoticsin GP- ja SD-sarjojen täyttävän nykyisten käytössä olevien VJV:n (OL1/OL2 VJV2007 ja OL3 VJV2000), vaatimukset sähkötekniset jännite- ja taajuusvaatimukset lyhytaikaisilla poikkeamilla. Mikäli OL1/OL2

tehoa korotetaan, laitokset tulevat kuulumaan Fingridin uusimman VJV2024-version soveltamisalueelle. Innomoticsin sähkömoottorit täyttävät myös VJV2024:n vaatimukset.

Innomoticsin sähkömoottorien kytkentäkotelot mahdollistavat kolmio- ja tähtikytkennän. Ne ovat suorakäynnisteisiä akselien nimellismomenteilla 50 – 160 %, eli ne täyttävät asetetun 70 % vaatimuksen. Niiden käynnistysominaisuudet ovat IEC 60034-12 mukaiset.

Käyttörajoitukset

Käyttörajoitukset esitetään tarvittaessa laitepaikkakohtaisissa soveltuvuusarvioissa.

Ohjelmistopohjaisten laitteiden erityisvaatimukset, ohjelmistoanalyysit

Innomoticsin GP- ja SD-sarjojen sähkömoottoreissa ei ole ohjelmoitavia laitteita tai ohjelmistologiikkaa.

Ohjelmistotyökalujen vaatimukset

Ei ohjelmistotyökaluille kohdistettuja vaatimuksia.

Testaus- ja kunnossapitovaatimukset

Innomoticsin sähkömoottorit käyvät läpi Innomoticsin rutiinitestiohjelman. Tilausvarianteilla sähkömoottoreita voidaan testata kattavasti. Moottoreilla on minimissään 12 kuukauden takuu. TVO edellyttää testausta omien testisuunnitelmien mukaisesti.

Elinikävaatimukset

Innomotics ei julkaise julkisia lukuja tai arvioita sähkömoottoriensa eliniälle. Sähkömoottorien yleistä luotettavuutta kuvataan MTBF-arvolla (Mean Time Between Failures), joka ilmaisee keskimääräisen ajan kahden korjattavissa olevan vian välillä tuotteessa.

Sähkömoottorien kuluvia osia ovat laakerit, jotka ovat vaihdettavissa huoltotoimenpitein tarvittaessa. Nimelliskäyttöaika laakereille, L_{10}, tarkoittaa käyttöikää, jonka 90 % joukosta identtisiä laakereita voi odottaa saavuttavan ennen kuin materiaalin väsymisestä johtuvia

vaurioita ilmenee. Suunnitteluolosuhteita alhaisemmalla käytöllä laakerit voivat saavuttaa jopa 100 000 tunnin käyttöiän.

Ecodesign-asetus edellyttää teknisten tietojen sekä huolto- ja purkuohjeiden saatavuutta korjattavuuden ja kierrätyksen parantamiseksi. (EU, 2019) Ecodesign for Sustainable Products -asetus laajentaa vaatimukset koskemaan tuotteen koko elinkaarta. Se velvoittaa valmistajia varmistamaan kestävän suunnittelun, varaosien saatavuuden ja toimittamaan korjausohjeet. (EU, 2024a) Sähkölaitteiden korjattavuusdirektiivi edellyttää, että valmistajat tarjoavat korjauspalveluja myös takuuajan jälkeen ja varaosia vähintään 5–10 vuoden ajan toimituksesta. (EU, 2024b)

Muut laitteen kannalta tärkeät asiat ja vaatimukset

Innomoticsin GP- ja SD-sähkömoottorisarjat ovat hyvin standardoituja prosessimoottoreita, joita pystyy monipuolisesti muokkaamaan varianteilla eri käyttökohteita varten.

Tarkastus-, testaus- ja sertifiointiyritys KIWA on myöntänyt Innomoticsille sertifikaatin laadunvarmistuksen toteuttamisesta ISO 9001 mukaisesti toiminnalleen Pohjoismaissa. Innomotics on TVO:n hyväksymä laitevalmistaja ja toimittaja. Innomoticsin Tšekin tehtaat on auditoitu osana Nordic KELPO yhteistyötä.

Dokumentointivaatimukset

Valmistajalta ja toimittajalta on saatava kattava dokumentaatio tiedoista, joita tarvitaan kelpoistusprosessia varten. Innomoticsilla on verkkoselainpohjainen konfiguraattori (Innomotics Configurator, https://www.innomotics.com/hub/en/configurators) , jolla voidaan simuloida muun muassa sähkömoottorien toiminallisuuksia ja jännite-/teho- ja virtakäyriä eri teho-, koko- ja muilla muutosvarianteilla.

4.3 Dokumenttimuutokset

Kappaleessa 4.1 on esitetty päivitetyt moottorivaatimukset kokonaisuudessaan. Taulukkoon 3 on koottu merkittävimmät muutokset vaatimusdokumentteihin. Dokumenttinumeroita vastaavat tiedostojen otsikot ja kuvaukset on esitetty kappaleen 4.1 taulukossa 1. Stilistisiä muutoksia ei ole tähän työhön dokumentoitu, vaan ne korjataan erikseen päivitystyön aikana.

Taulukko 3. *Vaatimusdokumentteihin tehtävät päivitykset*

Dokumenttinumero	Turvallisuusluokka	Vaatimuskategoria	Päivitys
168023/ 168026	TL2/TL3/EYT	Käyttöjännite	OL3 käyttöjännite 690 V poikkeaa OL1/OL2 660 V käyttöjännitteistä
168023/ 168026	TL2/TL3/EYT	Käyttötilanteet	Kuuma- ja kylmäkäynnistysvaatimukset IEC 60034-12 mukaisesti
168023/ 168026	TL2/TL3/EYT	Ympäristöolosuhteet	OL3 ulkotiloissa tehoiltaan yli 30 kW moottoreissa on tarvittaessa oltava lisälämmitys
168023	TL2/TL3	Ympäristöolosuhteet	OL3 tehoiltaan yli 30 kW moottoreissa on tarvittaessa oltava tiivistymisenestolämmitys
168023/ 168026/ 128980	TL2/TL3/EYT	Suojausluokka	Sähköteknisten suunnitteluperusteiden päivityksessä uudeksi vähimmäiskotelointiluokitukseksi on asetettu IP 54
168023/ 168026	TL2/TL3/EYT	Pinnoitus	C2 korroosioluokitus
168023/ 168026	TL2/TL3/EYT	Jäähdytys	Moottorien jäähdytystapa IEC 60034-6 mukainen IC 411
128980	TL2/TL3/EYT	Vaihejärjestys	Maininta L1-L2-L3 vaihejärjestyksestä
128980	TL2/TL3/EYT	Käämitys	Moottorien kytkeminen kolmio- ja tähtikytkennöillä
128980	TL2/TL3/EYT	Maadoitus	OL3 tehoiltaan yli 30 kW moottoreissa on oltava runkojen maadoitusmahdollisuus. Kytkentäkoteloissa paikka suojamaalle
168023/ 128980	TL2/TL3	Kytkentäkotelot	OL3 tehoiltaan yli 130 kW moottoreiden lämpötila-anturit liitetään osaksi automaatiojärjestelmää
168023/ 168026	TL2/TL3/EYT	Mitoitus	Sähkömoottoreille on toimitettava momenttikäyrät ja virrat 100/90/80 % nimellisjännitteillä tarvittaessa.
168023/ 168026	TL2/TL3/EYT	Käynnistysvirta	Käynnistysvirran vaatimukset IEC 60034-12 mukaiset
168023/ 168026	TL2/TL3/EYT	Jännite- ja taajuusvaihtelut	Jännite- ja taajuuskäyttäytyminen VJV:n/ TE-BE-3e:n mukaista. Lyhytaikainen suurempi vaihtelu sallittua perustein.
168023/ 168026/ 128980	TL2/TL3/EYT	Kaapelointi	Kaapelivalinnat IEC 60364-5-52 mukaisesti. varten. Kytkentäkotelot on mitoitettava aina kun mahdollista pinta-alaltaan 1,5-kertaisille käytettävän kaapelin poikkipinta-aloille.
168023	TL2/TL3	Värinämittaus	Värinämittaukset ISO 20816 mukaisesti. OL3 turvallisuusluokiteltujen, tehoiltaan yli 180 kW moottorien, on oltava DIROM yhteensopivia
168023/ 168026/ 128980	TL2/TL3/EYT	Värinäluokka	Värinäluokitus oltava vähintään IEC 60034-4 luokka A

Taulukon 3 vaatimukset perustellaan päivitettäväksi TVO:n omiin dokumentteihin tämän työn pohjalta. Muutokset dokumentteihin kirjataan jokaisen tiedoston muutosluetteloihin

jäljitettävyyden takaamiseksi. Päivitykset hyväksyy sähkötekniikan pääinsinööriryhmä. Päivityksen jälkeen vaatimusdokumenteilla 168023 ja 168026 voidaan toteuttaa sähkömoottorihankintoja ja kelpoistuksia jokaiselle Olkiluodon ydinlaitokselle.

Dokumenttien 168023, 168026 ja 128980 pohjalta on toteutettu ABB:n Innomoticsin moottoreita vastaavien moottorien soveltuvuusarviointi ja kelpoistus (TVO, 2024). Vaatimusdokumenttien päivittyessä tulee tarkastella niiden vaikutusta ABB:n soveltuvuusarvion kelpoisuuteen ja paikkansapitävyyteen. ABB:n soveltuvuusarvio kuvaa moottorien toimintaa yleisellä tasolla eri laitepaikkojen käyttö- ja ympäristöolosuhteissa. Taulukon 3 muutosehdotukset ovat pääasiassa OL3 spesifisiä lisätarkennuksia, joihin pystytään reagoimaan myös M3AA- ja M3BP-sarjan sähkömoottoreita tilattaessa. ABB:n moottorien yhdistetyssä soveltuvuusarviossa ei ole esteitä uusien vaatimusten mukaiselle kelpoistukselle.

Muutosten yhteydessä on tarkasteltu tarkastussuunnitelmien päivitystä. EYT sähkömoottorien rutiinitestaussuunnitelma TE-Otv-6129 poistetaan käytöstä tarpeettomana. Se sisältää nykyisellään vain IEC 60034:n mukaiset testit, jotka ovat valmistajilla käytössä teollisuusstandardina. Moottoreita testataan standardien mukaisesti jo valmistusvaiheessa ja kokoamisen jälkeen, jolloin testeissä epäonnistuneet laitteet hylätään tai korjataan ennen hyväksyntää ja toimitusta. Turvallisuusluokiteltujen moottorien tyyppitestisuunnitelma TE-Otv-621 päivitetään uuteen revisioon, jotta se voidaan ottaa käyttöön OL3:lla. Tyyppitestisuunnitelman sisältö on kattava ja riittävä sellaisenaan. Testisuunnitelmien päivitystarpeita ja ajankohtaisuutta tarkastellaan säännöllisesti määrävälein.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Todentaminen ja kelpoistus ovat olennainen osa laadunhallintaa. Niiden käyttäminen työkaluina lisää luotettavuutta, varmistavat toimivuutta sekä tukevat akateemista toistettavuutta ja läpinäkyvyyttä. Ydinvoimalaitoksen luvanhaltija on yksiselitteisesti vastuussa laitoksen turvallisuudesta, mutta asetetut vaatimukset ydinlaitoksilla perustuvat lähtökohtaisesti aina viranomaisten toimiin, eli lakeihin, asetuksiin ja ohjeisiin. Vertaistoimijat ja tarkastustahot tuovat oman lisänsä vaatimusten asettamiseen ja valvontaan. Luvanhaltijan oma sisäinen riippumaton valvonta luo kohdeyrityksen omien vaatimusten rinnalle varmuutta asetettujen vaatimusten oikeellisuudesta.

Kelpoistusprosessi eteni vaiheittain: ensin määritettiin vaatimukset, sen jälkeen arvioitiin moottorien tekninen soveltuvuus ja lopuksi koottiin kelpoistusevidenssi dokumentaatioksi. Tutkimus käynnistyi yrityksen tarpeesta löytää vaihtoehtoinen moottorivalmistaja, jotta tulevaisuudessa voidaan varautua muutostöihin ja täyttää varaosavaatimukset. Nykytilaa tarkasteltiin ohjeiden ja olemassa olevien vaatimusten kirjallisuuskatsauksen avulla. Sähkölaitteita suunnitellaan harvoin täysin yksilöllisesti tiettyä laitosta tai käyttöpaikkaa varten, vaan ne perustuvat valmistajan määrittämiin mitoitusarvoihin. Teoriaosuuden tiedonhankinnassa pyrittiin tunnistamaan parhaat ja kansainvälisesti vakiintuneet menetelmät ja käytännöt kelpoistusprosessin tueksi. Sähkömoottorisarjojen vaatimustenmukaisuus varmistettiin tietopyyntöjen ja moottorivalmistajan edustajien haastattelujen avulla.

Kappaleen 4.1 sisältö vastaa Säteilyturvakeskukselle toimitettavan vaatimusmäärittelyn sisältöä ja kappaleen 4.2.2 yhdistetyn soveltuvuusarvion sisältöä. Ideaalitilanteessa laitteen soveltuvuusarvio muodostetaan luonnollisena osana suunnitteluprosessia ja sen dokumentointia. Dokumentaation avulla voidaan osoittaa sekä suunnittelu- että laitevalintaprosessien laatu ja toimivuus. Alustavassa soveltuvuusarviossa kuvataan lähtövaatimukset ja syyt laitteen valitsemiselle sekä todetaan sen täyttävän tuote-esitteensä mukaan käyttöpaikan vaatimukset ja tarpeet mahdollisille lisäkokeille. Alustava soveltuvusarvio edeltää valmistajan valitsemista ja tuotteen valmistusta. Lopullisessa soveltuvuusarviossa osoitetaan tyyppitestien mukaisesti laitteen olevan valmistajan lupausten mukainen ja sen, että moottoritoimittajan laadunhallinnalliset menettelyt ovat kunnossa.

Tämän diplomityön tulosten pohjalta päivitetään Olkiluodon ydinvoimalaitoksen moottorivaatimukset sekä laaditaan uudet vaatimusmäärittelyt ja

Säteilyturvakeskukselle toimitettava yhdistetty soveltuvuusarvio Innomoticsin GP- ja SD-sarjojen sähkömoottoreista.

Laitteiden valinta ja järjestelmän yksityiskohtainen suunnittelu muodostavat iteratiivisen prosessin, sillä järjestelmää ei yleensä voida suunnitella ilman tietoa käytettävistä laitteista, eikä laitteita voida valita ilman tietoa järjestelmän vaatimuksista. Laitteiden valinta ja niiden soveltuvuuden arviointi osaksi rakennettavaa järjestelmää kuuluvat tyypillisesti järjestelmävastaavan tehtäviin.

Työllä on kolmikantainen vaikutus yritykseen, viranomaistahoihin ja moottoritoimittajaan. Uuden laitevalmistajan sähkömoottorien kelpoistus näyttäytyy luvanhaltijalle varaosien saatavuudessa ja käyttövarmuuden lisääntymisellä. Investointiriskin pienentämisellä ja hankintojen kilpailuttamisella on suoria vaikutuksia kustannustehokkuuteen ja yrityksen varaosien omistaja-arvo-ohjelmaan. Kelpoistustyön suoraviivaistaminen välillisesti tehostaa viranomaistyötä sekä parantaa yleistä ydin- ja säteilyturvallisuutta. Selkeät ja luettavat vaatimukset vähentävät tuotteiden valmistajien osallistumisriskiä ydinalle ja pienentävät heidän työmäräänsä turvallisuusvaatimusten täyttämisessä ja tarjouspyyntöön vastaamisessa.

Innomoticsin GP- ja SD-sarjat täyttävät Olkiluodon ydinvoimalaitokselle asetettavat sähkömoottorivaatimukset. Niitä verrattaessa jo kelpoistettuihin ABB:n moottoreihin, todetaan molempien olevan mekaanisilta ja sähköisiltä ominaisuuksilta lähes identtisiä. Isommat eroavaisuudet valmistajien sähkömoottoreissa liittyvät pinnoitus- ja värinäluokituksiin. ABB:n ja Innomoticsin valurauta- ja alumiinirunkoisten sähkömoottorisarjojen lisäksi luvanhaltijan tulee tarkastella myös saksalaisen VEMin W4.R ja W61R sekä brasilialaisen WEGin W21 ja W22 moottorisarjojen kelpoistuksen mahdollisuutta samalla periaatteella varaosien saatavuuden varmistamiseksi.

Suomalainen ydinalan soveltuvuusarviointi tulee muuttumaan alustavasti tammikuussa 2027. Ydinenergialain lakiluonnoksessa siirrytään alustavasta ja lopullisesti soveltuvuusarvioinnista takaisin yhteen hyväksyttävään soveltuvuusarvioon. YVL-ohjeiden poistuessa STUK aikoo jättää vahvan suosituksen tulevassa määräyksessään käytäntöön, jossa soveltuvuuden arviointi suoritetaan vielä kaksivaiheisilla soveltuvuusarvioilla. Uudeksi asiaksi nousee laitevastuumäärittelyn rooli, jossa luvanhaltijoilla tulisi olla kaikille keskeisille laitteille, järjestelmille ja rakenteille valmiiksi asetetut vaatimukset. Näin pyritään helpottamaan kelpoistuksen aiheuttamaa taakkaa ja vaatimusten asettamista siirtämällä vastuuta viranomaistaholta luvanhaltijoille. Laitevastuumäärittelyt tullaan jatkossa toimittavaan STUKille hyväksyttäväksi. Tämän

diplomityön pohjalta luotu vaatimusmäärittely vastaa uuden laitevastuumäärittelyn sisältöä.

Diplomityön ajankohta ja sisältö sopivat yhteen uuden lainvalmistelun kanssa. TVO:n omien, pohjoismaisten käytänteiden ja standardien, pohjalta tehtyjen ja päivitettyjen OL1/OL2 moottorivaatimusten yhdistäminen ranskalaisten ja saksalaisten muodostaman laitostoimittajakonsortion OL3 moottorivaatimuksiin luo pohjan laitevastuumäärittelylle ja yhdistää ydinalan parhaat periaatteet ja käytänteet luvanhaltijan käyttöön. Vaatimusten vertaaminen vielä alkuperäisiin amerikkalaisiin kelpoistuskäytänteihin tarkoittaa, että nykyiset vaatimukset ovat yhdistelmä länsimaista ydinvoimakäytäntöä.

LÄHTEET

AFCEN, (2022). RCC-E: Design and Construction Rules for Electrical and I&C Systems and Equipment. (Viitattu 10.12.2025). Saatavissa: https://www.afcen.com/en/108-rcc-e

ATS, (2013). Suomen Atomiteknillinen Seura: Ydintekniikan sanasto. (Viitattu 18.9.2025). Saatavissa: https://www.ats-fns.fi/.

CURRAX, (2025). GP General Purpose Motors. (Viitattu 19.9.2025). Saatavissa: https://currax.net/en/gp-general-purpose-motors.html

EPRI (2013). Electric Power Research Institute (EPRI): Plant Engineering: Guideline for the Acceptance of Commercial-Grade Design and Analysis Computer Programs Used in Nuclear Safety-Related Applications, Revision 1 of 1025243. (Viitattu 16.6.2025). Saatavissa: https://www.nrc.gov/docs/ML1408/ML14085A084.pdf

EU (2024a). Regulation (EU) 2024/1781: Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR). (Viitattu 9.12.2025). Saatavissa: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1781/oj/eng

EU (2024b). Directive (EU) 2024/1799: Common Rules Promoting the Repair of Goods and Amending. (Viitattu 9.12.2025). Saatavissa: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1799/oj/eng

EU (2019). Commission Regulation (EU) 2019/1781: Ecodesign Requirements for Electric Motors and Variable Speed Drives. (Viitattu 3.10.2025). Saatavissa: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/1781/oj/eng

EU (2014). ENER/D2/2014-3761, Section: 3. TECHNICAL SPECIFICATIONS, Background. (Viitattu 10.6.2025). Saatavissa: http://ec.europa.eu/dgs/energy/tenders/doc/2014/20140902_d2-376_invitation.pdf

Eurocontrol (2010). EOCVM: European Operational Concept Validation Methodology. (Viitattu 18.11.2025). Saatavissa: https://www.eurocontrol.int/publication/european-operational-concept-validation-methodology-eocvm

Energiateollisuus (2025a). Energiavuosi 2024 Sähkö. (Viitattu 20.5.2025) Saatavissa: https://energia.fi/tiedotteet/sahkon-vuosi-2024-paastot-vahenivat-25-hinta-palautui-normaalitasolle-sahkon-tuotannossa-uusia-ennatyksia/

Energiateollisuus (2025b). Ydinvoiman suosio huippulukemissa. (Viitattu 20.5.2025) Saatavissa: https://energia.fi/tiedotteet/ydinvoiman-suosio-huippulukemissa/

Fingrid (2024). Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset. (Viitattu 3.6.2025). Saatavissa: https://www.fingrid.fi/kantaverkko/liitynta-kantaverkkoon/tekniset-vaatimukset/voimalaitosten-jarjestelmatekniset-vaatimukset/

IAEA (2016). Safety of Nuclear Power Plants: Design, No. SSR-2/1 (Rev. 1). (Viitattu 12.6.2025). Saatavissa: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1715web-46541668.pdf

IAEA (2014). Safety Classification of Structures, Systems and Components in Nuclear Power Plants, No. SSG-30. (Viitattu 11.6.2025). Saatavissa: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1639_web.pdf

IEC (2022). IEC 60034-1: Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance. (Viitattu 9.6.2025). Saatavissa: https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CENELEC/ID2/6/333886.html.stx

IEEE (2024a). IEEE 334-2024: IEEE Standard for Qualifying Alternating Current Class 1E Motors for Nuclear Power Generating Stations. (Viitattu 10.12.2025). Saatavissa: https://standards.ieee.org/ieee/334/7576/

IEEE (2024b). IEEE 1012-2024: IEEE Standard for System, Software, and Hardware Verification and Validation. (Viitattu 18.11.2025). Saatavissa: https://standards.ieee.org/ieee/1012/7324/

Innomotics (2024a). Innomotics: A Siemens Business - Company presentation. (Viitattu 23.5.2025) [Ei julkinen]

Innomotics (2024b). Innomotics: GP and SD motors – Overviewn. (Viitattu 19.9.2025) [Ei julkinen]

Innomotics (2024c). Innomotics: Catalog D 81.1 - Low Voltage Motors GP, SD, XP, DP. Edition 10/2024. (Viitattu 19.9.2025) Saatavissa: https://www.innomotics.com/hub/en/109749197

ISO (2025). International Organization for Standardization: Conformity assessment – Certification. (Viitattu 18.6.2025). Saatavissa: https://www.iso.org/certification.html

ISO (2023). International Organization for Standardization: The ISO Survey 2023: ISO Survey of certifications to management system standards. (Viitattu 17.6.205) Saatavissa: https://www.iso.org/the-iso-survey.html

ISO (2015a). SFS-EN ISO 9000: Laadunhallintajärjestelmät. Perusteet ja sanasto (ISO 9000:2015). (Viitattu 18.6.2025). Saatavissa: https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/ISO/ISO/ID9998/9/388763.html.stx

ISO (2015b). SFS-EN ISO 9001: Laadunhallintajärjestelmät. Vaatimukset (ISO 9001:2015). (Viitattu 18.6.2025). Saatavissa: https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/ISO/ISO/ID9998/9/388758.html.stx

KTA (2022). KTA 3504 – Electrical Drive Mechanisms of the Safety System in Nuclear Power Plants. (Viitattu 10.12.2025). Saatavissa: https://www.dinmedia.de/en/technical-rule/kta-3504/371581532

Martin, O.; Abbt, M. (2018). Modernisation & Optimisation of European Nuclear Supply Chain. (Viitattu 2.9.2025). Saatavissa: https://www.oecd-nea.org/nsd/workshops/nscm2018/presentations/4.%203.%20MARTIN%20Oliver_NEA_nuclear_supply_chain_WS_EC-JRC_v1.pdf

MOLL-MOTOR, (2025). Siemens and Innomotics. (Viitattu 19.9.2025). Saatavissa: https://mollmotor.at/en/partners/siemens-innomotics/

NEA, (2016). Nuclear Energy Agency: The Safety Culture of an Effective Nuclear Regulatory Body. (Viitattu 4.9.2025). Saatavissa: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14948/the-safety-culture-of-an-effective-nuclear-regulatory-body?details=true

Nourbakhsh, P. (2014). Dealing with Beyond-Design-Basis Accidents in Nuclear Safety Decisions. (Viitattu 4.9.2025). Saatavissa: https://www.nrc.gov/docs/ML1419/ML14199A363.pdf

NRC, (2014). The Nuclear Regulatory Commission's Oversight of Safety Culture. (Viitattu 4.9.2025). Saatavissa: https://www.nrc.gov/docs/ML1619/ML16193A371.pdf

Raitanen, O. (2017). Use of commercial-grade items in nuclear facilities. (Viitattu 2.9.2025). Saatavissa: https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/25225

Sandberg, J. (2004). Säteily- ja ydinturvallisuus – osa 5: Ydinturvallisuus. (Viitattu 23.6.2025). Saatavissa: https://stuk.fi/sateily-ja-ydinturvallisuus-kirjasarja

Sherwani, K. H.; Demir, A.; Maroof, L. (2024). Way to achieve sustainable benefits of ISO 9001 practices. (Viitattu 18.6.2025). Saatavissa: https://idp.tuni.fi/idp/profile/SAML2/POST/SSO?execution=e2s1

SFS (2025). SFS Suomen Standardit ry -kotisivut. (Viitattu 10.6.2025). Saatavissa: https://sfs.fi/

STUK (2025a). Lainsäädäntö ja ohjeet. (Viitattu 28.5.2025) Saatavissa: https://stuk.fi/lainsaadanto-ja-ohjeet

STUK (2025b). Ydinturvallisuusohjeet (YVL-ohjeet). (Viitattu 28.5.2025). Saatavissa: https://stuk.fi/yvl-ohjeet

STUK (2020a). YVL E.9 – Ydinlaitoksen pumput (Viitattu 15.7.2025). Saatavissa: https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLE-9

STUK (2020b). YVL E.8 – Ydinlaitoksen venttiilit (Viitattu 15.7.2025). Saatavissa: https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLE-8

STUK (2020c). YVL E.13 – Ydinlaitoksen ilmanvaihto- ja ilmastointilaitteet – Perustelumuistio. (Viitattu 9.12.2025). Saatavissa: https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLE-13

STUK (2019a). YVL B.2 - Ydinlaitoksen järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden luokittelu. (Viitattu 11.6.2025). Saavissa: https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLB-2

STUK (2019b). YVL B.1 – Ydinvoimalaitoksen turvallisuussuunnittelu. (Viitattu 11.6.2025). Saatavissa: https://www.stuklex.fi/fi/haku/ohje/YVLB-1?allWords=EYT%2FSTUK

STUK (2019c). Ohje YVL E.7, Ydinlaitoksen sähkö- ja automaatiolaitteet. Perustelumuistio. (Viitattu 11.6.2025). Saatavissa: https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLE-7

STUK (2019d). YVL E.7 – Ydinlaitoksen sähkö- ja automaatiolaitteet. (Viitattu 11.6.2025). Saatavissa: https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLE-7

STUK (2019e). YVL C.2 – Ydinlaitoksen työntekijöiden säteilysuojelu ja säteilyaltistuksen seuranta. (Viitattu 11.6.2025). Saatavissa: https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLC-2

STUK (2019f). YVL A.3 – Turvallisuuden johtaminen ydinalalla (Viitattu 16.7.2025). Saatavissa: https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLA-3

STUK (2018). Säteilyturvakeskuksen määräys ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta – STUK Y/1/2018. (Viitattu 12.6.2025). Saatavissa: https://www.stuklex.fi/fi/maarays/stuk-y-1-2018#L3P09

TVO (2025a). Teollisuuden Voima Oyj:n kotisivut. (Viitattu 22.5.2025) Saatavissa: https://www.tvo.fi/

TVO (2025b). Olkiluodon ydinvoimalaitosalueen laitosmuutostöiden ja -projektien viranomaisaineistoihin (STUK/IO) liittyvät menettelyt. (Viitattu 23.7.2025) [Ei julkinen]

TVO (2025c). OL1 ja OL2 -ydinvoimalaitosyksiköt. Tekninen esite. (Viitattu 12.6.2025). Saatavissa: https://www.tvo.fi/tuotanto/laitosyksikot/ol1jaol2/rakennejateknisettiedot.html

TVO (2024). ABB:n valmistamien M3BP- ja M3AA-sarjan prosessimoottoreiden alustava ja lopullinen soveltuvuusarvio. (Viitattu 1.9.2025) [Ei julkinen]

TVO (2021). OL1/OL2 - Sähkötekniset suunnitteluperusteet. (Viitattu 12.8.2025) [Ei julkinen]

TVO (2019). Vaatimusmäärittelyn laadintaohje: Sähkö- ja Automaatiotekniikka. (Viitattu 15.7.2025) [Ei julkinen]

TVO (2012). Bid inquiry Specification for Olkiluoto 4: General Requirements GR/1. (Viitattu 26.5.2025) [Ei julkinen]

Työ- ja Elinkeinoministeriö (2025). Ydinenergialain kokonaisuudistus, TEM032:00/2023 – Säädösvalmistelu. (Viitattu 26.5.2025) Saatavissa: https://tem.fi/hanke?tunnus=TEM032:00/2023

Vladislav, G.; Galina, K. (2018). Validation & Verification contect for NPP design and Construction. (Viitattu 18.11.2025). Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/329424339_Validation_Verification_context_for_NPP_design_and_construction

WANO (2025). Nuclear Power in the European Union. (Viitattu 20.5.2025) Saatavissa: https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/european-union

Wahlström, B.; Sairanen, R. (2011). Views on the Finnish nuclear regulatory guides, STUK. (Viitattu 16.6.2025). Saatavissa: https://bewas.fi/YVLreport_010619.pdf

Zhang, J (2019). The role of verification & validation process in best estimate plus uncertainty methodology development. (Viitattu 18.11.2025). Saatavissa: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029549319303474?via%3Dihub

LIITE A: VAATIMUSMÄÄRITTELYN SISÄLLYSLUETTELO

TVO:n sisäisestä ohjeesta ”Vaatimusmäärittelyn laadintaohje: Sähkö- ja Automaatiotekniikka [103441]”.

1 Yleistä
2 Vaatimusmäärittelyn sisäinen käsittely (TVO)
3 Viranomaiskäsittely
4 Määritelmät ja lyhenteet
5 Järjestelmän tai laitteen sijainti ja tehtävä
5.1 Sijainti
5.2 Tehtävä
6 Muutokset simulaattoriin
7 Lähdeluettelo/ Suunnitteluperusteet
8 Luokitukset
9 Vaatimukset
9.1 Laitostasolta johdettavat vaatimukset
9.2 Toiminnalliset ja suorituskykyvaatimukset
9.3 Sähkötekniset vaatimukset
9.4 Mekaaniset vaatimukset
9.5 Ohjelmistopohjaisten laitteiden erityisvaatimukset
9.6 Liityntä- ja muut rajapintavaatimukset
9.7 Ympäristöolosuhdevaatimukset
9.8 Luotettavuus- ja käyttöikävaatimukset
9.9 Käyttö- ja kunnossapitovaatimukset
9.10 Dokumentointivaatimukset
9.11 Laadunvarmistusvaatimukset
9.12 Vaatimukset kelpoistukselle
9.13 Asennus- ja käyttöönottovaatimukset
9.14 Jäljitettävyysvaatimukset
9.15 Muut vaatimukset
10 Vaatimusmäärittelyn riippumaton tarkastus
11 Liitteet

LIITE B: OL1/2/3 MOOTTORIVAATIMUSTEN VERTAILUTAULUKKO

Ei julkaistavaksi. Luottamuksellinen.

LIITE C: TUOTTEEN A KORVAAVAN VARAOSAN B SOVELTUVUUSARVION SISÄLLYSLUETTELO

TVO:n sisäisestä soveltuvuusarvion laadintaohjeesta ”OL1/OL2/OL3/KPA/Posiva - TUOTTEEN A KORVAAVAN VARAOSAN B SOVELTUVUUSARVIO (2022)”.

1 Johdanto
2 Luokitukset ja viranomaiskäsittely
3 Kelpoistettava komponentti tai laite (myöh. laite)
3.1 Kuvaus laitteesta
3.2 Toiminta- ja rakennekuvaus sekä piirustukset
3.3 Sijainti ja tehtävät järjestelmässä
4 (Laitostason), järjestelmien ja käyttöpaikkojen asettamat vaatimukset sekä suunnitteluperusteet
4.1 Liittyvät säteily- ja ydinturvallisuusmääräykset, -ohjeet ja käytettävät standardit
4.2 Vaatimukset ja niiden täyttymisen arviointi
4.2.1 Toiminnalliset vaatimukset ja suorituskykyvaatimukset
4.2.2 Asennettavuus ja käytettävyysvaatimukset
4.2.3 Mekaaniset vaatimukset
4.2.4 Liityntävaatimukset
4.2.5 Luotettavuusvaatimukset
4.2.6 Ympäristöolosuhdekestoisuusvaatimukset
4.2.7 Sähkötekninen mitoitus ja suojaus (mukaan lukien sähköverkon häiriöt)
4.2.8 Käyttörajoitukset
4.2.9 Ohjelmistopohjaisten laitteiden erityisvaatimukset, ohjelmistoanalyysit
4.2.10 Ohjelmistotyökalujen vaatimukset
4.2.11 Testaus- ja kunnossapitovaatimukset
4.2.12 Elinikävaatimukset
4.2.13 Muut laitteen kannalta tärkeät asiat ja vaatimukset
4.3 Dokumentointivaatimukset
4.4 Vaatimusmäärittelyn riippumaton tarkastus
5 Muutokset laitepaikalle ja laitosdokumentaatioon
6 Dokumentointi, laitostietokanta
7 Selvitys valmistajasta
8 (Ei-sarjavalmisteisen laitteen) Laatusuunnitelma
9 (Sarjavalmisteisen laitteen) Laatusuunnitelma

10 Kelpoistussuunnitelma
11 Tiedot testeistä, analyyseistä ja käyttökokemuksista
12 Kelpoistustoimenpiteiden hyväksyttävyyden riippumaton arviointi
13 Varastointi, elinikä ja vanhenemisen seuranta sekä ympäristövaikutukset
14 Suunnittelun ja valmistuksen laadunhallinnan arviointi
15 Yhteenveto valmistuksenaikaisista laadunhallinnan tuloksista
16 Poikkeamat ja niiden hyväksyttävyys
17 Turvallisuusarvio
18 Perusteluyhteenveto ja johtopäätös laitteen soveltuvuudesta käyttöpaikkaansa
19 Käytetyt lyhenteet
20 Liitteet
21 Viitteet