Leena Yli-Nikkilä

TURVALLISUUSLUOKAN 3 YDINPOLTTOAINEEN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄN SÄHKÖ- JA AUTOMAATIO-OSUUKSIEN KELPOISTUS

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2012

samk
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

TURVALLISUUSLUOKAN 3 YDINPOLTTOAINEEN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄN SÄHKÖ- JA AUTOMAATIO-OSUUKSIEN KELPOISTUS

Yli-Nikkilä, Leena
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2012
Ohjaaja: Nieminen, Esko SAMK, Heininen, Tapani TVO
Sivumäärä: 51

Asiasanat: ydinvoimala, soveltuvuus, kelpoisuus, ydinpolttoaineet

---

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tutkia Teollisuuden Voima Oy:n turvallisuusluokan 3 ydinpolttoaineen käsittelyjärjestelmän sähkö- ja automaatio-osuuksien kelpoistusta Olkiluoto 3 (OL3) ydinvoimalaitokselle, jota rakentaa Areva-Siemensin konsortio. Tarkoituksena oli tutkia kelpoistuksessa noudatettavia YVL-ohjeita, standardeja ja niiden vaatimuksia. Työssä perehdyttiin standardien vaatimuksiin, jotka kohdistuvat polttoaineen siirtokoneen vaatimusmäärittelyyn, kelpoistussuunnitelmaan ja itse kelpoistamiseen. Kelpoistuksen taso riippuu laitteen turvallisuusluokasta. Tässä laitteistossa vaatimukset määräytyvät turvallisuusluokan 3 (TL 3) mukaisesti. Tarkoituksena oli luoda kelpoistussuunnitelma ydinvoimalaitoksen ydinpolttoaineen siirtokoneen kelpoistamiseksi.

Aineistona opinnäytetyössä käytettiin Säteilyturvakeskuksen (STUK) YVL-ohjeita, IEC-standardeja, SFS-EN-standardeja, KTA-standardeja, koneturvallisuusdirektiiviä, sähkötyöturvallisuusstandardeja, sähköturvallisuuslakeja ja -asetuksia, kauppa- ja teollisuusministeriön (KTM) päätöksiä, turvallisuus- ja kemikaaliviraston (TUKES) ohjeita, sähköturvallisuuskeskuksen laatimia materiaaleja, Suomen sähkö- ja elektroniikka-alan kansallisen standardisoimisjärjestön (SESKO) materiaaleja sekä aiheeseen liittyvää kirjallisuutta. Lisäksi käytettiin polttoaineen siirtokoneeseen liittyviä Areva-Siemensin toimittamia dokumentteja.

Työssä saatiin selville yleiset noudatettavat asiat kelpoistuksessa ja niiden perusteella laadittiin tarvittava luettelo dokumentaatiosta kelpoistusta varten. Työssä käsiteltiin vain turvallisuusluokan 3 (TL3) polttoaineen siirtokoneen sähkö- ja automaatiojärjestelmiä järjestelmätasolla. Kelpoistuksen osalta keskityttiin sähköosuuteen ja automaation osuuteen. Ohjelmistot ja ohjelmoitavat logiikat sekä niiden kelpoistus rajattiin työn ulkopuolelle. Mekaanisten laitteiden ja pneumatiikan ja ympäristöolosuhteisiin kelpoistaminen rajattiin työn ulkopuolelle. Tässä työssä ei myöskään tutkittu koneturvallisuusdirektiiviin liittyvää riskienarviointia ja turvallisuusnäkökohtia.

VALIDATION OF THE ELECTRICAL AND AUTOMATION SYSTEMS IN SAFETY CLASS 3 OF FUEL HANDLING SYSTEM

Yli-Nikkilä, Leena
Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
April 2012
Supervisor: Nieminen, Esko SAMK, Heininen, Tapani TVO
Number of pages: 51

Keywords: nuclear power plant, suitability, qualification, nuclear fuel

---

The purpose of this thesis was to clarify the basis for validating the electrical and automation systems of the fuel handling system in Safety Class 3 (SC3), and therefore establish suitability for use at the Olkiluoto 3 (OL3) nuclear power plant, which is currently being built for Teollisuuden Voima Oyj by consortium partners Areva and Siemens. The target was to investigate the engineering requirements of the Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK), and the requirements of the relevant standards, which were needed for the development of a validation plan. The purpose of this thesis was to learn more about requirements of the standards, which concerns about requirement engineering, validation plan and validation of the refueling machine. Validation level of the equipment depends of the safety class. In this equipment, the safety class is 3 (SC 3) and validation is done according to this safety class. The aim was to create validation plan to Nuclear Power Plant's refueling machine.

Materials, which were used in this thesis, were STUK's YVL-guides, IEC-standards, SFS-EN-standards, KTA-standards, directive of machinery safety, electrical safety standards, electrical safety laws and legislative decrees, the Finnish Ministry of Trade and Industry (KTM) decisions, (TUKES) instructions, (SESKO) materials and other materials. Also literature and documents provided by Areva and Siemens were used.

The results of this thesis were to obtain common information of the validation. Based on that information the lists of documents needed for the validation were made. Only refuelling machine, which belongs to SC3, electrical and automation systems were handled on the system level. The main target was to concentrate to electrical systems and automation systems. Validation of the programmes and programmable logics were left outside of this thesis. Mechanical equipments and pneumatics and validation to environmental conditions are not a part of the thesis. Also risk assessment and safety aspects according the machinery safety standard were left outside of this thesis.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 7
2 TYÖN TARKOITUS JA TAVOITTEET 8
3 TEOLLISUUDEN VOIMA OYJ 9
4 POLTTOAINEEN SIIRTOKONE 12
4.1 Yleiskuvaus laitteesta 12
4.2 Yleiset suunnitteluvaatimukset 14
4.3 Toimintojen luokittelu 16
4.4 Yleiset noudatettavat ohjeet ja määräykset 17
4.4.1 Noudatettavat YVL-ohjeet 17
4.4.2 Noudatettavat KTA-standardit 20
4.4.3 Noudatettavat IEC ja SFS-EN-standardit 21
5 SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOLAITTEIDEN KELPOISTAMINEN 25
5.1 Yleistä kelpoistuksesta ja laatusuunnitelma 25
5.2 Vaatimusmäärittely 26
5.3 Kelpoistusmenettelyt 28
5.4 Sähköjärjestelmän ja sähkölaitteiden kelpoistus 29
5.5 Automaation kelpoistus 30
6 KELPOISTUKSEN DOKUMENTAATIO 33
6.1 Järjestelmätason dokumentaatio (ETA) 33
6.2 Sähköjärjestelmän dokumentaatio 35
6.3 Automaatiojärjestelmän dokumentaatio 36
7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA 40
7.1 Oma arvio opinnäytetyön kulusta 40
7.2 Johtopäätökset 41
7.3 Parannusehdotuksia kelpoistuksen tekemiseen 45
LÄHTEET 48

SYMBOLIT JA LYHENTEET

Lyhenne	Selite
Black Box	Erillisjärjestelmä
BWR	Kiehutusvesireaktori (Boiling Water Reactor)
CSF	Konventionaalisiin riskeihin liittyvä turvatoiminto
EN	Eurooppalainen standardi (European Standard EN)
EMC	Sähkömagneettinen yhteensopivuus (Electro Magnetic Compatibility)
EPR	Painevesireaktori (European Pressurized Water Reactor)
ETA	Ennakkotarkastusaineisto
EYT	Ei ydinteknisesti luokiteltu
FA	Polttoainenippu (Fuel Assembly)
FAT	Tehdastesti
FAI	Polttoainenipun lisäys (Fuel Assembly Insert)
FHS	Polttoaineenkäsittelyjärjestelmä (Fuel Handling System)
FTF	Polttoaineen siirtomekanismi (Fuel Transfer Facility)
IAEA	Kansainvälinen atomienergiajärjestö (International Atomic Energy Agency)
IEC	Kansainvälinen sähköalan standardi (International Electrotechnical Commission)
IEEE	Kansainvälinen tekniikan alan järjestö (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
NSF	Ydinturvallisuuteen liittyvä turvatoiminto
OL 1	Olkiluodon ydinvoimalaitosyksikkö 1
OL 2	Olkiluodon ydinvoimalaitosyksikkö 2
OL 3	Olkiluodon ydinvoimalaitosyksikkö 3
OL 4	Olkiluodon ydinvoimalaitosyksikkö 4
PSA	Todennäköisyysperustainen turvallisuusanalyysi (Probabilistic Safety Analysis)
PWR	Painevesireaktori (Pressurized Water Reactor)

RB	Reaktorirakennus (Reactor Building)
RCC	Säätösauva
RCCA	Säätösauvaelementti
RM	Polttoaineensiirtokone (Refuelling Machine)
SAHARA	Niin korkea turvallisuustaso kuin mahdollista (Safety As High As Reasonably Achievable)
SCI	Käyttöönoton standardikoeohje (System Commissioning Instruction)
SCP	Järjestelmän koeohjelma (System Commissioning program)
SFS	Suomen standardoimisliitto SFS ry
SESKO	Suomen sähkö- ja elektroniikka-alan kansallinen standardisoimis-järjestö
SIL	Toiminnallisen turvallisuuden eheystaso (Safety Integrity Level)
STUK	Säteilyturvakeskus
TET	Turvallisuuden eheystaso
TUKES	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto
TXP	Pääautomaatiojärjestelmä
TL1-4	Ydinteknillinen turvallisuusluokka 1-4
TPA	Tulppauselementti
TVO	Teollisuuden Voima Oyj
TVONS	TVO Nuclear Services Oy
UJA	Reaktorirakennus
YVL	STUK:n laatimat ohjeet ydinvoimaloille, ydinvoimalaitosohjeet

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on turvallisuusluokan 3 ydinpolttoaineen käsittelyjärjestelmän sähkö- ja automaatio-osuuksien kelpoistus. Aihe työlle on ajankohtainen, sillä Olkiluoto 3 tulevan ydinvoimalaitoksen polttoaineen siirtokonetta ei ole vielä kelpoistettu. Samanlaista järjestelmää ei ole vielä käytössä missään muussa ydinlaitoksessa Suomessa ja kyseinen laite on kelpoistettava viranomaisella ennen laitteen käyttöönottoa Olkiluoto 3 ydinlaitoksella. Lisäksi laitteen kelpoistaminen tähän asti on ollut haastavaa.

Tässä työssä perehdytään direktiivien, standardien ja Säteilyturvakeskuksen YVL-ohjeiden tuomiin vaatimuksiin polttoaineen siirtokoneen sähkö-, automaatio-osuuksien kelpoistamisessa lukuun ottamatta ohjelmistojen kelpoistamista. Opinnäytetyö on rajattu koskemaan sähkö- ja automaatio-osuuksien kelpoistamista. Varsinaista koko järjestelmän kelpoistusta ei käsitellä eikä laitteen vaatimusmäärittelyä tehdä. Työn ulkopuolelle jätettiin myös järjestelmän mekaniikka ja pneumatiikka ja keskityttiin sähkö- ja automaatio-osuuteen. Myöskään ympäristövaatimuksiin ei tässä perehdytä. Laitteen sähköjärjestelmän soveltuvuusarviota ei tässä työssä laadita, sillä STUK:en hyväksymä asiantuntija laatii laitteesta soveltuvuusarvion YVL5.2. mukaisesti. Automaatiojärjestelmän osalta soveltuvuusarvion laatijan ei tarvitse olla Säteilyturvakeskuksen hyväksymä henkilö YVL 5.5. mukaisesti.

Lopputuloksena opinnäytetyössä laaditaan myös suunnitelma miten laite (TL3) vaatimuksin saataisiin kelpoistettua suunniteltuun käyttötarkoitukseensa pohjautuen laitteen toimintoihin.

2 TYÖN TARKOITUS JA TAVOITTEET

Polttoaineen siirtokone on erityisesti rakennettu OL3-laitoksen polttoaineen käsittelyä varten. Laitetta käytetään ydinvoimalaitoksessa, joka puolestaan antaa laitteen suunnittelulle omat haasteensa samoin kuin komponenttien valinnalle. Laitteen suunnittelussa, hankinnassa ja toteutuksessa pitää ottaa huomioon erityisesti ydinvoimalalle tehdyt YVL-ohjeet, direktiivit ja standardit. Tässä työssä keskitytään YVL-ohjeiden tuomiin vaatimuksiin sekä KTA-standardin, IEC-standardien ja SFS-EN-standardien vaatimuksiin.

Tässä työssä käsitellään OL3 polttoaineen siirtokonetta ja sen kelpoistamista. Työ on rajattu vain turvallisuusluokan 3 polttoaineen käsittelyn sähkö- ja automaatiokomponenttien kelpoistamiseen, mekaaniset komponentit sekä pneumatiikka samoin kuin ohjelmistot ja ohjelmoitavat logiikat on jätetty pois. Automaation osalta laitteessa on myös turvallisuusluokan 4 käyttöautomaatiota. Työssä esitetään kelpoistuksen periaate eikä mennä syvälle yksittäisten komponenttien kelpoistamiseen.

Työssä on tarkoitus saada selville yleiset noudatettavat asiat kelpoistuksessa ja niiden perusteella laatia tarvittava luettelo dokumentaatiosta kelpoistusta varten. Tarkoitus on myös selvittää sähkökomponenttien, automaatiokomponenttien kelpoistuksen periaatteet ja tehdä suunnitelma kelpoistamisesta. Mekaanisten laitteiden ja pneumatiikan kelpoistus on rajattu työn ulkopuolelle samoin kuin ympäristöolosuhteisiin kelpoistaminen.

Johtopäätöksissä on tarkoitus antaa ohjeita ja parannusehdotuksia miten kelpoistaminen sujuisi tulevaisuudessa paremmin. Polttoaineen siirtokoneen toiminnot käsitellään järjestelmätasolla eli toiminnallisina ja rakenteellisina kokonaisuuksina.

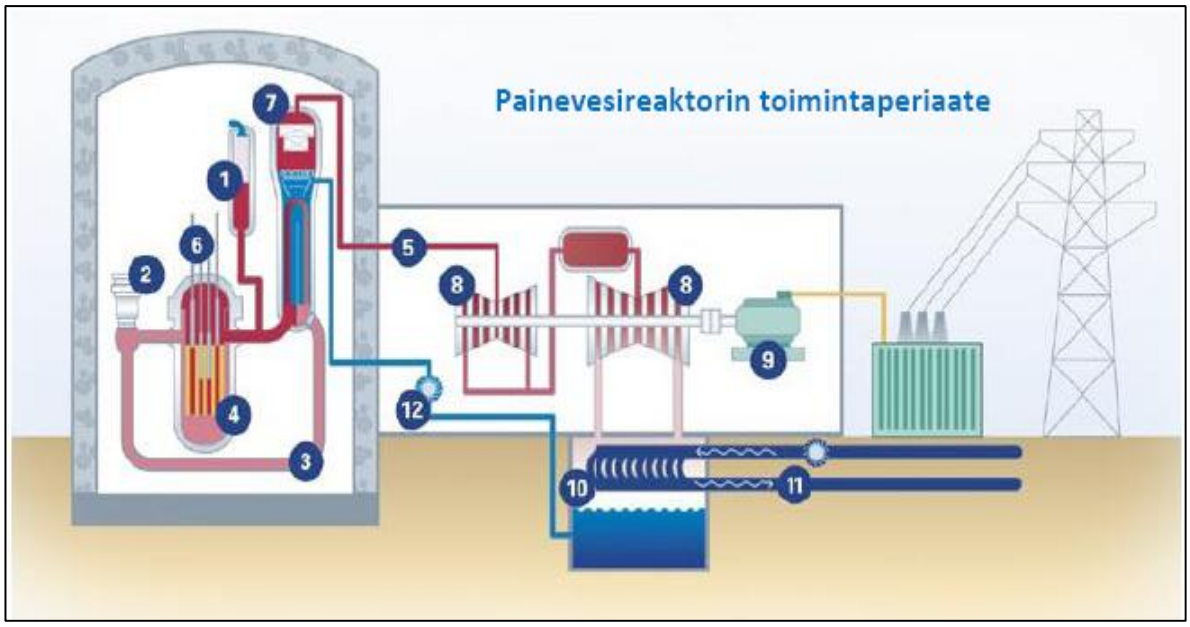
3 TEOLLISUUDEN VOIMA OYJ

Teollisuuden Voima Oyj (TVO) on vuonna 1969 perustettu julkinen osakeyhtiö, jonka tarkoituksena on tuottaa omistajilleen sähköä omakustannushintaan. TVO:n perustajina olivat 16 suomalaista teollisuus- ja voimayhtiötä. TVO sijaitsee Olkiluodossa Eurajoella ja se on osa Pohjolan Voima -konsernia. Konserniin kuuluvat TVO:n lisäksi tytäryhtiöt TVO Nuclear Services Oy (TVONS), Olkiluodon Vesi ja Perusvoima Oy sekä yhteistyöyritys Posiva Oy.

TVO:n tulevaisuuden visio on olla arvostettu suomalainen ydinvoimayhtiö ja alansa edelläkävijä. Tähän tavoitteeseen TVO pyrkii vastuullisesti, ennakoiden, jatkuvan parantamisen periaatetta noudattaen ja avoimesti, hyvässä yhteistyössä eri sidosryhmien kanssa.

TVO omistaa vuosina 1979 ja 1982 kaupalliseen käyttöön otetut kaksi ydinvoimalaitosyksikköä, Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2 laitosyksiköt, jotka ovat kiehutusvesireaktorilaitoksia (BWR). Näiden olemassa olevien voimalaitoksen rinnalle Olkiluotoon rakennetaan kolmatta ydinvoimalaitosta (OL3).

OL3 on tyypiltään painevesireaktori European Pressurized Water Reactor (EPR), jota myös kutsutaan painevesireaktoriksi (PWR). Rakenteilla olevan laitoksen teho tulee olemaan noin 1600 Megawattia. Laitosyksikön toimittaa AREVA NP:n ja Siemensin muodostama konsortio. Arevan vastuulla on reaktorilaitos ja Siemensin vastuulla on turbiinilaitos.



Kuva 1 Painevesireaktorin (PWR) toimintaperiaate (Teollisuuden Voima Oyj:n www-sivut, viitattu 20.2.2012 http://www.tvo.fi/uploads/File/2010/OL3_esite_FI.pdf)

PWR-laitoksen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 1.

PWR-voimalaitoksen toiminnalliset osat ovat:

1. Paineistin
2. Pääkiertopumput
3. Primääripiiri
4. Paineastia
5. Sekundääripiiri
6. Säätösauvat
7. Höyrystin
8. Korkea- ja matalapaineturpiini
9. Generaattori
10. Merivesilauhdutin
11. Merivesijärjestelmä
12. Syöttövesipumppu

PWR-laitoksissa on kaksi lämmönsiirtopiiriä; primääripiiri (3) ja sekundääripiiri (5). Primääripiirissä tapahtuu veden lämmittäminen paineastiassa (4), fissioreaktiossa vapautuvan lämmön avulla. Vesi pidetään korkeassa paineessa paineistimen (1) avulla, jotta reaktoripiirissä ei pääsisi tapahtumaan höyrystymistä. Fissioreaktiota säädetään säätösauvojen (6) avulla. Veden kierto reaktoripiirissä tapahtuu pääkiertopumppujen (2) avulla. Primääripiirin vesi kiertää höyrystimen (7) läpi, jossa se kiehuttaa sekundääripiirin syöttöveden höyryksi, jonka jälkeen syntynyt höyry johdetaan korkeapaineturpiinille (8). Korkeapaineturpiinissa paineenalaisen höyryn energia muutetaan liike-energiaksi, jonka avulla pyöritetään generaattoria (9).

Korkeapaineturpiinilta lauhtunut höyry johdetaan välitulistimelle, jossa höyry tulistetaan primäärihöyryn avulla. Tämän jälkeen tulistettu höyry johdetaan matalapaineturpiinille (8), jossa paineenalaisen tulistetun höyryn energia muutetaan jälleen generaattoria pyörittäväksi liike-energiaksi.

Matalapaineturpiinilta lauhtunut höyry johdetaan merivesilauhduttimeen (10), jossa höyry lauhdutetaan vedeksi, joka pumpataan syöttövesipumpun (12) avulla takaisin höyrystimeen ja turpiinipiirin kiertoon. Merivesilauhduttimessa lämmennyt merivesi (11) johdetaan takaisin mereen.

(Teollisuuden Voima Oyj:n vuosikertomus, 2010, Ydinvoimalaitosyksiköt Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2, Ydinvoimalaitosyksikkö Olkiluoto 3 ja Teollisuuden Voima Oyj:n www-sivut 2011.)

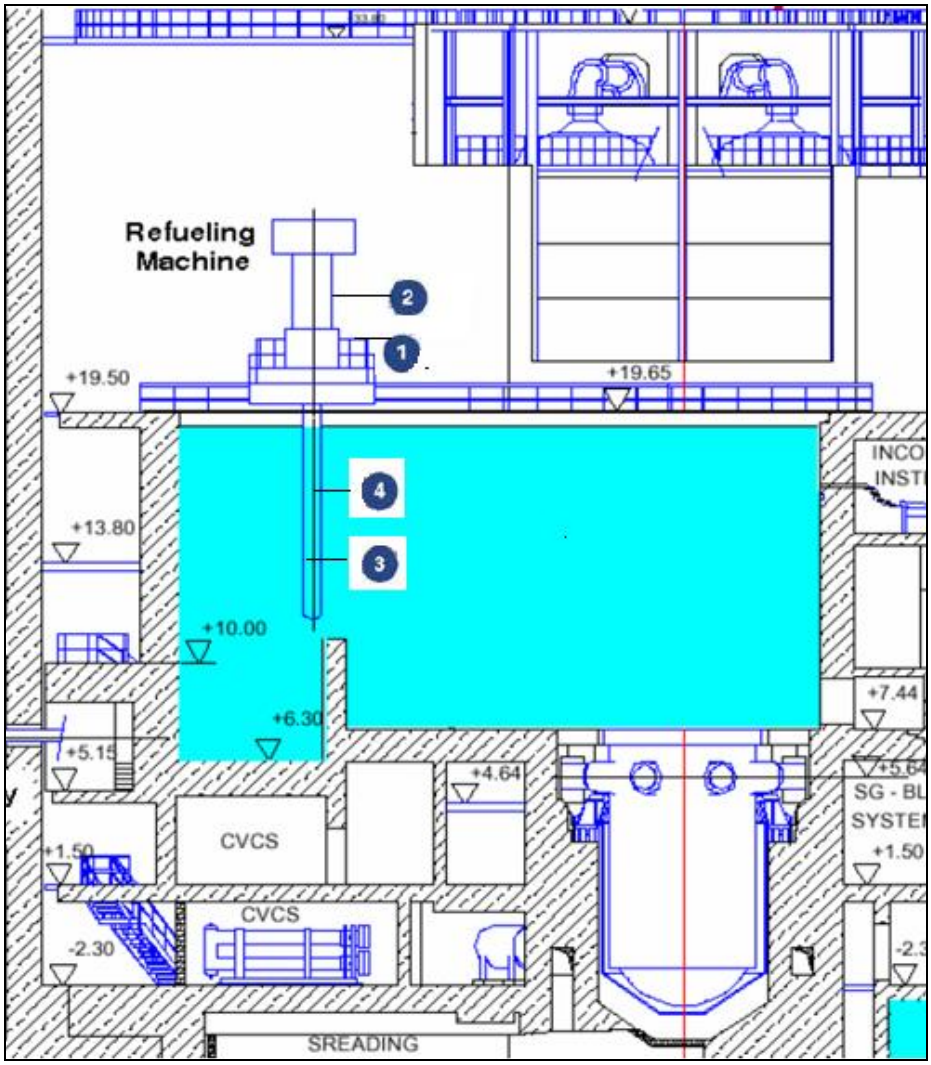
4 POLTTOAINEEN SIIRTOKONE

Tässä luvussa kerrotaan ydinvoimalan polttoaineen siirtokoneen yleiskuvaus ja yleiset suunnitteluvaatimukset laitteelle kappaleissa 4.1 ja 4.2. Polttoaineen siirtokoneen toimintojen luokittelua käsitellään kappaleessa 4.3. Kappaleessa 4.4. käsitellään polttoaineen siirtokoneen vaatimusmäärittelyssä, suunnittelussa, valmistusvaiheessa ja kelpoistusvaiheessa tarvittavia ohjeita, määräyksiä, YVL-ohjeita, KTA-standardin ja IEC-standardin sekä SFS-EN-standardin asettamia vaatimuksia polttoaineen siirtokoneelle.

4.1 Yleiskuvaus laitteesta

Polttoaineen siirtokone (RM - 30FCB01) on osa polttoaineen käsittelyjärjestelmää. Fyysisesti polttoaineen siirtokone sijaitsee reaktorirakennuksessa (UJA). Polttoaineen siirtokoneen päätoimintoja ovat veden alla tapahtuva polttoainenippujen osittainen tai kokonainen siirto ja lataus. Konetta käytetään polttoainenippujen siirtoon ja lataamiseen revisioiden eli huoltoseisokkien aikana. Laitteella käsitellään polttoainenippuja säätösauvaelementtien kanssa tai ilman niitä. Lisäksi laitteella siirretään säätösauvoja.

Polttoaineen siirtokone käsittelee polttoainetta veden alla. Määrätyn paksuinen vesipatja nippujen yläpuolella suojelee henkilöstöä ja ympäristöä säteilyltä. Lisäksi polttoaineen siirtokoneen nostot on normaalitilanteessa mekaanisesti estetty, jos vesipatja ei ole tarpeeksi korkea, ettei vahinkoa syntyisi. Epänormaalissa tilanteessa liike pysähtyy, jos säteilyn annostaso nousee liian korkeaksi. Säteilymittauksen taso pysäyttää liikkeen, jos vesipatja on liian alhaalla. Polttoaineen siirtokone ei saa vahingoittaa polttoainenippuja. Mikäli polttoaineniput vahingoittuisivat, syntyisi säteilyä ydinvoimalan reaktorilaitoksen halliin.
(OL3 FTF, SFMB, RM, NFE, AC - Qualification plan for SC3 electrical and I&C Systems, NLZ-F DC 117, Rev. E, 2012-01-19, https://dmsol3.tvo.fi/kronodoc/OL3/OL3-0000770512, luottamuksellinen.)



Kuva 2 Polttoaineen siirtokoneen yleiskuva (Refuelling machine)

Polttoaineen siirtokoneen tärkeimmät osat ovat:

1. Siltavaunu
2. Torni
3. Tarttuja
4. Polttoainenipun sisäosien tarttuja eli säätösauva (FAI)

Kuvassa 2 oleva polttoaineen siirtokone perustuu siltavaunuun (1), joka liikkuu lattialla kiskoja pitkin. Vaunussa on torni (2), jonka sisällä mastoja voi pyörittää. Torniin on liitetty kaksi erilaista teleskooppimastoa. Toisessa mastossa on tarttuja (3) polttoainenippujen siirtelyä varten eli polttoainetta ja siirtoelementtiä varten ja toisessa mastossa on polttoainenipun sisäosien eli tulppauselementin (TPA) ja säätösauvaelementin (RCCA) tarttuja (FAI) (4).

Mastot ovat 2-osaisia ja ne koostuvat kiinteästä mastosta ja teleskooppimastosta. Siirrettäessä tai liikuteltaessa polttoainenippua nippu nostetaan kiinteän maston sisään. Siirtokoneen masto liikkuu vaunun sillan avulla vaakasuunnassa. Nippujen nostoa varten masto liikkuu pystysuunnassa ja sillä voi tarvittaessa pyörittää polttoainenippua pystyakselin ympäri. Polttoaineniput kuitenkin yleensä laitetaan samassa kulmassa reaktorin sydämeen, joten pyöritys on epätodennäköistä toisin kuin kiehutusvesireaktorin polttoainenippuja ladattaessa. Sähkökatkon sattuessa käsittelyprosessin pitää pysähtyä paikalleen. Polttoaineen siirtokoneen tulee jäädä turvalliseen tilaan sähkökatkossa tai muussa häiriötilanteessa. Turvallinen tila on esim. toiminnon pysähtyminen, jonka ylläpitoon ei tarvita jatkuvaa ohjausta.

Siirtokoneen avulla tehdään sydämen lopputarkastus tarttujaan kiinnitetyn erikoiskameran avulla.

Polttoaineen siirtokone (RM) epäsuorasti osallistuu myös seuraavien turvafunktioiden suorittamiseen veden alla:
1. Reaktiivisuuden säätely: RM käsittelee polttoainenippuja yhtä kerrallaan ja varmistaen säätösauvallisten polttoainenippujen (RCCA) asemat
2. Jälkilämmön poisto ja henkilöstön säteilysuojelu
(Refuelling Machine - System Description, EYTM-100185, Rev. J, 2012-01-31, https://dmsol3.tvo.fi/kronodoc/OL3/OL3-0000043135, luottamuksellinen.)

4.2 Yleiset suunnitteluvaatimukset

Nostotoimintojen ja nostolaiteyksiköiden suunnittelun tulee perustua sekä syyseuraus-tarkasteluun perustuviin menetelmiin (deterministiset menetelmät) että todennäköisyyspohjaisiin menetelmiin. Determinististisissä menetelmissä lähtöarvot ja tulokset esitetään yksittäisinä lukuarvoina. Todennäköisyysmenetelmiin perustuva lähestymistapa on kuvattu esim. standardeissa IEC 61508 ja SFS-EN-62061.

Erityisesti seuraavat Säteilyturvakeskukset YVL-ohjeet antavat määräyksiä nostolaitteisiin liittyen, YVL 2.0, YVL 2.1, YVL 2.2, YVL 2.7, YVL 2.8, YVL 5.2, YVL 5.5 ja YVL 5.8.

Näissä ohjeissa kerrotaan millaiset analyysit vaaditaan todentamaan, että kriittisyyden esto, polttoaineen jäähdytys ja säteilysuojaus on varmistettu luotettavasti ja että polttoaineen vaurioitumisen todennäköisyys on erittäin pieni. Kriittisyyden estolla tarkoitetaan, että on fyysisesti esim. rakenteellisesti estetty ydinreaktion tapahtuminen. Kriittisyyden vaara voi liittyä tilanteisiin, joissa liian tiheään pakattu polttoaine joutuisi veden ympäröimäksi. (Eurasto T., Hyvärinen J., Järvinen M-L., Sandberg J., Sjöblom K-L, Ydinvoimalaitostekniikan perusteita, Säteilyturvakeskuksen www-sivut, viitattu 7.5.2012, www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/.../kirjasarjaV_ydinturvallisuus_2.pdf, 64.)

Varsinaista polttoaineen käsittelyä, suunnittelua, laadunhallintaa sekä kuljetusta, varastointia koskevat yksityiskohtaiset vaatimukset löytyvät ohjeissa YVL 6.2, YVL 6.4, YVL 6.5, YVL 6.7 ja YVL 6.8. (YVL 6.3 / 28.5.2003). Noudatettavista YVL-ohjeista ja niiden sisällöstä kerrotaan tarkemmin tämän opinnäytetyön luvussa 4.4.1.

Yleiset vaatimukset nostureiden ja niiden ohjauslaitteiden turvallisuutta koskeville analyyseille on kerrottu konedirektiiviin liittyvissä turvallisuusstandardeissa (Esim. SFS EN ISO 14121-1, SFS EN ISO 12100, SFS EN ISO 13849-1). (YVL 5.8./26.9.2008.) Näiden lisäksi suunnittelussa on otettava huomioon KTA 3902, KTA 3903 ja KTA 2201.4 standardeissa olevat vaatimukset.

YVL-ohje 2.1 määrittelee turvallisuusluokat 1, 2, 3, 4, EYT. Kohteet, joilla on suurin merkitys turvallisuuteen kuuluvat turvallisuusluokkaan 1. Suunnittelussa on lisäksi varmistettava, ettei alemman turvallisuusluokan sähkö- tai automaatiojärjestelmän vioittuminen vaaranna korkeamman turvallisuusluokan suunniteltua toimintaa. Myös standardissa IEEE 384 käsitellään riippumattomuusperusteita.

Koneturvallisuusdirektiivi 98/37/EY sekä Koneturvallisuusdirektiivin muutoksen 2006/42/EY mukaisesti koneiden suunnittelussa ja rakentamisessa on otettava huomioon turvallisuusnäkökohdat ja koneen käyttötarkoitukseen soveltuvuus. Turvallisuusasioiden huomioimisella pyritään eliminoimaan kaikki onnettomuusriskit koneen eliniän aikana. (Koneturvallisuusdirektiivi 98/37/EY / 22.6.1998 http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31998L0037:fi:NOT

ja 2006/42/EY / 17.5.2006
http://eurlex.europa.eu/JOHtml.do?uri=OJ:L:2006:157:SOM:FI:HTML.)

4.3 Toimintojen luokittelu

Tyypillisiä tämän polttoaineen siirtokoneen nosto- ja siirtotoimintoja ovat:
– polttoaineen vaihtolataukseen liittyvät nostot ja siirrot
– työkalujen nostot ja siirrot reaktorirakennuksen polttoainealtaassa

Polttoaineen siirtokoneen toiminnot luokitellaan toiminnallisiin ja ei-toiminnallisiin vaatimuksiin. Toiminnallisilla vaatimuksilla tarkoitetaan laitteen tekemiä turvallisuustoimintoja. Toiminnalliset ja ei-toiminnalliset vaatimukset turvallisuusluokan 3 automaatiojärjestelmille on listattu dokumentissa "Requirements specification for I&C [D-01.2] ".

Käsitteellä toiminnallinen vaatimus tarkoitetaan järjestelmän toimintaan liittyvää vaatimusta. Näitä ovat mm. toiminnot, mittaukset ja ohjaukset. Ei-toiminnallisella vaatimuksella taas käsitetään mm. toiminnon suorittamiseen kuluvaa aikaa nk. vasteaikaa, toimintavarmuutta. Näitä vaatimuksia tulee mm. projekti-, laatu- ja kelpoistussuunnitelmasta.
(System Quality Plan for SC3 Self Standing Systems - Fuel Handling Systems & Fuel Building crane, PELO-F DC 2, Rev. D, 2012-01-19, https://dmsol3.tvo.fi/kronodoc/OL3/OL3-0001722300, luottamuksellinen).

Alkutapahtumadokumentissa EYTM-100482, kuvataan mahdolliset koneen virhetoiminnot, joiden ehkäisemiseksi tarvitaan turvatoimintoja. Alkutapahtumat luokitellaan vakavuuden mukaan joko vähäisiksi tai merkittäviksi. Alkutapahtumien riskien välttäminen tehdään ensisijaisesti huomioiden riskit mekaanisessa rakenteessa ja lisätoimintoina sähköisesti tai automaatiolla toteutetuilla turvatoiminnoilla. Turvaluokan 3 toiminnot eli turvatoiminnot voivat olla ehkäiseviä turvatoimintoja tai varsinaisia turvatoimintoja. Turvatoimintoja toteuttavia laitteita ovat esim. anturit, ohjelmoitavat komponentit ja toimilaitteet. Postulated initiating events (PIE) listaa oletetut alkutapahtumat, joita voi esiintyä yhden tai useamman kerran polttoaineen siirtokoneen

käyttöaikana, jolloin kone voi siis toimia väärin tai tehdä virhetoiminnon. Riskit on luokiteltu vähäisiin ja merkittäviin niiden ydinturvallisuusmerkityksen mukaan. Merkittävillä riskeillä tarkoitetaan sellaisia riskejä, jotka voivat aiheuttaa radioaktiivisen päästön. Ei-toiminnallisilla vaatimuksilla taas tarkoitetaan esim. toimintaaikaa, jolloin tuon toiminnallisen tehtävän pitää tapahtua. Esimerkki ei-toiminnallisesta vaatimuksesta on se, että polttoaineen siirron/ liikkeen pitää pysähtyä 0,2 sekunnin ajassa. (Refueling Machine Postulated Initiating Events Jeopardizing Nuclear Safety Functions and Functional Requirements for the Safety I&C, EYTM-100482, Rev. N, 2012-01-24, https://dmsol3.tvo.fi/kronodoc/OL3/OL3-0000262956, luottamuksellinen.)

Turvallisuustoiminto on turvallisuuden kannalta tärkeä toiminto, jonka tarkoituksena on ehkäistä häiriöiden ja onnettomuuksien syntyminen tai eteneminen tai lieventää onnettomuuksien seurauksia. (YVL 2.0 / 1.7.2002).

Turvallisuuteen liittyvien toimintojen kuvaukset sisältävät toiminnallisuuden, niihin liittyvät turvallisuusasiat, toteutuksen ja toimintojen tarkoituksen ja periaatteen.

Turvallisuusluokan 3 turvatoimintoja suorittavien automaatioteknisten laitteiden tulee olla tyyppihyväksyttyjä soveltuvien standardien mukaan.
(YVL 5.8 / 26.9.2008).

4.4 Yleiset noudatettavat ohjeet ja määräykset

4.4.1 Noudatettavat YVL-ohjeet

Yleiset suunnitteluvaatimukset löytyvät YVL-ohjeesta 1.0. Suunnittelussa on tavoiteltava niin korkeaa turvallisuustasoa kuin käytännössä on mahdollista (SAHARA-periaate). Ratkaisujen on käytännössä perustuttava hyväksi havaittuun tekniikkaan ja luotettaviin koetuloksiin ja noudatettava turvallisuusluokkaan liittyviä laatuvaatimuksia.

Ydinvoimalan turvallisuusluokat määritellään myös Säteilyturvakeskuksen YVL-ohjeissa. YVL-ohje 2.1 määrittelee turvallisuusluokat 1, 2, 3, 4 ja EYT kaikille järjestelmille ja määrittelee niiden soveltamisen perusteet. Kohteet, joilla on suurin merkitys turvallisuutteen kuuluvat turvallisuusluokkaan 1. Ko. ohjeen mukaan ydinpolttoaineen nosto- ja siirtolaitteet kuuluvat turvaluokkaan 3. Järjestelmän luokka määritellään sen turvallisuusmerkityksen perusteella. Turvallisuusluokka myös määrittelee viranomaisvalvonnan laajuuden. Tarkastus- ja valvonta-asiat määritellään YVL-ohjeessa 2.0.

YVL-ohjeen 5.8. mukaan ydinpolttoaineen siirtoon käytettävät nostolaiteyksiköt eivät saa menettää kykyään kannattaa taakkaansa turvallisesti yksittäisvikautumisen seurauksena eli nostolaiteyksiköt ja niiden nostoapulaitteet on varustettava tarpeellisilla suojalaitteilla ja -toiminnoilla kuten:

- suojalaitteet, jotka pysäyttävät liikkeen kuorman merkittävästi keventyessä
- suojalaitteet nosto- ja siirtoliikkeen keskeyttämiseksi sähkön syötön katketessa
- syöttöjännitteen alentuessa toimintaa vaarantavasti sekä ylikuormitus- ja ylinopeustilanteissa
- suojalaitteet, jotka rajaavat siirrot sallituille alueille
- nosto-, lasku- ja siirtoliikkeiden mekaaniset liikerajoittimet
- nopeuden rajoitinlaitteet hidastetun nosto-, lasku- ja siirtonopeuden alueella
- samanaikaisen vaakasuoran ja pystysuoran liikkeen esto
- rajakatkaisimet, joilla estetään vaunun ja sillan liikkuminen ennalta määriteltyjen rajojen ulkopuolelle
- liikkeen pysäytys nostoköyden löystyessä
- kuorman luotettavan kiinnittymisen ja irtoamisen ilmaisu
- kuorman suuruuden näyttö fyysinen koko/paino eli kokonaispaino kuorma + työkalu ovat mukana painossa
- hätäpysäytyslaite, jolla kaikki työliikkeet voidaan samanaikaisesti pysäyttää
- instrumentointi polttoaineen tarkan sijainnin määrittämiseksi
- riittävä valaistus- ja TV-järjestelmä.

(YVL 5.8./26.9.2008.)

YVL-ohjeen 6.8. mukaan polttoaineen käsittelyjärjestelmän suunnittelun on perustuttava riskiarvioon.
Käsittelytoimenpiteet on suunniteltava siten, että

- raskaiden esineiden siirtoa polttoaineen päälle vältetään
- raskaiden esineiden siirtoa sellaisten paikkojen päälle vältetään, joissa taakan pudotus saattaisi vaarantaa turvallisuuden kannalta tärkeitä laitteita
- ne eivät vaaranna varastoaltaiden ja polttoaineen eheyttä
- säteilysuojaukseen tarvittava vesikerros säilyy riittävänä myös yksittäisvikautumisen seurauksena.

Polttoaineen siirtokone on varustettava riskianalyysin edellyttämillä suojalaitteilla ja -toiminnoilla, joita ovat ainakin seuraavat:

- rajakatkaisijat, jotka pysäyttävät liikkeen kuorman merkittävästi keventyessä
- rajakatkaisijat noston tai kierron keskeyttämiseksi sähkön syötön katketessa sekä ylikuormitus- ja ylinopeustilanteissa
- katkaisijat, jotka rajaavat siirrot sallituille alueille
- mekaaniset siirto-, nosto- ja laskurajaesteet
- hitaan noston, laskun ja siirron alue
- samanaikaisen vaakasuoran ja pystysuoran liikkeen esto
- sillan ja vaunun liikkeiden ennalta määriteltyjen rajojen rajakatkaisimet
- liikkeen pysäytys löysästä nostovaijerista
- kuorman kiinnittymisen ja irtoamisen ilmaisu
- kuorman suuruuden näyttö
- hätäpysäytyslaite, jolla kaikki työliikkeet voidaan samanaikaisesti pysäyttää
- instrumentointi polttoaineen tarkan sijainnin määrittämiseksi
- riittävä valaistus- ja TV-järjestelmä.

(YVL 6.8 / 27.10.2003.)

Jos "tietokonejärjestelmiä ja -komponentteja" käytetään erillisjärjestelmissä, on huomioitava YVL 5.2 luvun 4.6 ja YVL 5.5 luvun 4.6 ”Ohjelmistoa sisältävät komponentit/järjestelmät” vaatimukset.

YVL-ohje 5.2 ja YVL-ohje 5.5, jotka ovat tärkeimmät YVL-ohjeet sähkö- ja automaatiojärjestelmille ja -laitteille, näitä käsitellään tarkemmin luvussa 5 sähkö- ja automaatiolaitteiden kelpoistus.

YVL-ohjeita ollaan päivittämässä ja ne muuttuvat mm. sähkökomponenttien ja automaation osalta samoin kuin nosto- ja siirtolaitteiden osalta. Tällä hetkellä ohjeet ovat kommentoitavana ja niiden voimaantulosta ei ole vielä tarkkaa tietoa. Uusien YVL-ohjeiden tuomia vaatimuksia ei käsitellä tässä opinnäytetyössä.

4.4.2 Noudatettavat KTA-standardit

KTA 3902 (6/99) Design of Lifting Equipment in Nuclear Power Plants julkaisu esittää vaatimukset ydinvoimalaitosten eri nostolaitetyyppien suunnittelulle. Standardissa määritellään myös nostolaitteiden luokittelu, ympäristöolosuhteiden vaatimukset, yleiset vaatimukset nostolaitteille. Nostolaitteiden suunnittelu pitää tehdä yleisten turvallisuusmääräysten, sekä kansallisten määräysten mukaisesti ja näiden lisäksi luvuissa 3 ja 4 sekä luvussa 8 on erityisiä määräyksiä polttoaineen siirtokoneille. Sähkölaitteiden ja automaatiolaitteiden erityisvaatimukset määräytyvät kohdan 8.5. mukaisesti. Lisäksi liitteessä A olevassa taulukossa on kerrottu painevesilaitoksen erityismääräykset polttoaineen siirtokoneelle.
(KTA 3902 (6/99), Design of Lifting Equipment in Nuclear Power Plants, viitattu 26.3.2012, www.kta-gs.de/e/standards/3900/3902-e.pdf.)

KTA 3903 (6/99) Inspection, Testing and Operation of Lifting Equipment in Nuclear Power Plants -standardi antaa ohjeet nostolaitteiden tarkastuksiin, testaukseen ja käyttöön ydinvoimaloissa. Standardissa määritellään suunnittelun hyväksyttäminen, materiaalin valinta, materiaalin testaukset, NDT-testaukset, kelpoistustestaukset ja tarkastukset ja näistä tehtävä dokumentaatio. Tämän lisäksi standardissa määritellään lopputarkastuksessa tehtävät tarkastukset ja tarkastuksista tehtävä dokumentaatio. Polttoaineen siirtokoneen käytöstä ja huollosta annetaan yksityiskohtainen ohjeistus. Määräykset määräaikaishuolloista, vuosittaisista tarkastuksista kerrotaan myös tässä standardissa.

(KTA 3903 (6/99), Inspection, Testing and Operation of Lifting Equipment in Nuclear Power Plants, viitattu 26.3.2012, www.kta-gs.de/e/standards/3900/3903e.pdf.)

KTA 2201.4 (6/00) Design of Nuclear Power Plants against seismic events; Part 4: Requirements for procedures for verifying the safety of mechanical and electrical components against earthquakes määrittää laitteen suunnitteluvaatimukset maanjäristyksen kestoisuuden varalle.
(KTA 2201.4 (6/00), Design of Nuclear Power Plants against seismic events; Part 4: Requirements for procedures for verifying the safety of mechanical and electrical components against earthquakes, viitattu 26.3.2012, www.kta-gs.de/e/standards/2200/2201_4e.pdf).

Standardeihin KTA 3902 ja KTA 3903 valmistellaan muutoksia, mutta niitä ei ole vielä otettu käyttöön.

4.4.3 Noudatettavat IEC ja SFS-EN-standardit

EN IEC 61508, 2010-04-01, Functional safety of electrical/electronic, programmable electronic safety related systems, Sähköisten/ elektronisten/ ohjelmoitavien elektronisten turvallisuuteen liittyvien järjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Koneiden ja laitteiden turvallisuuden varmistamisen tavoite on, että koneet ja laitteet toimivat tavanomaisessa käytössä ja poikkeustilanteissa tarkoitetulla tavalla. Standardi määrittelee mm. vaara- ja riskianalyysin tekemisen, toiminnallisen turvallisuuden arvioinnin, todennustoimet, kelpoistustoimet, konfiguraation hallinnan, tapahtumien raportoinnin ja arvioinnin. Dokumentaation vaatimukset on esitetty standardin EN IEC 61508-1 kohdassa 5.
(EN IEC 61508, 2010-04-01 ja EN IEC 61508-1, 2010-04-30.)

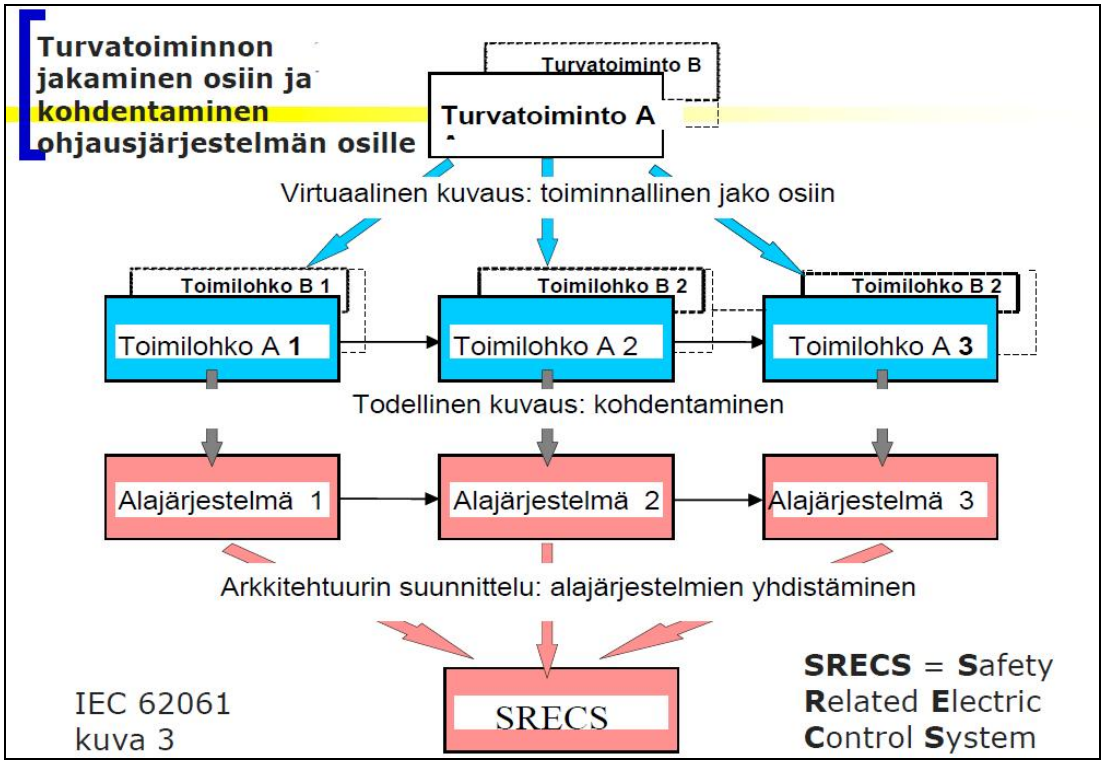
Standardin EN IEC 61508-1 kohdan 7.8 ja 7.14 mukaan suunnitellaan ja tehdään kokonaisuuden turvallisuuden kelpoistus sekä kohdan 7.18 mukaisesti tehdään todennustoimet. Vaara- ja riskianalyysi tehdään standardin EN IEC 61508-1 kohdan 7.4 mukaisesti. Standardi EN IEC 61508-2 kohta 7.4.4.1 alakohtineen määrittelee turvallisuuden eheystasot, TET 1-4 (SIL 1-4) automaatiolle.

Standardissa EN IEC 61508-3 esitetään ohjelmistovaatimukset, ohjelmistovaatimusten arviointi, ohjelmiston suunnittelumenetelmien arviointi, ohjelmiston testausmenetelmien arviointi sekä konfiguraation hallinta.
(EN IEC 61508-1, 2010-04-30, EN IEC 61508-2, 2010-04-30, EN IEC 61508-3, 2010-04-30 ja TUKES www-sivut, viitattu 26.1.2011, tukes.fi/Tiedostot/kemikaalit.../Turva-automaatio_prosessiteollisuudessa.pdf.)

SFS-EN 62061, 2005-01-20, Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control system, turvallisuuteen liittyvien sähköisten, elektronisten sekä ohjelmoitavien elektronisten ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Standardi esittää ohjeita sähköisen / elektronisen ohjausjärjestelmän suunnitteluun sekä esittää ohjausjärjestelmälle asetettujen vaatimusten todentamisen ja kelpoistuksen vaatimukset ja ohjeet.

Standardi on "kattostandardin" IEC 61508 sovellusstandardi ja sen tarkoitus on auttaa suunnittelemaan ja arvioimaan turvallisuuteen liittyviä ohjausjärjestelmiä. Se myös esittää riskin arviointimenetelmän ja sen tulosten perusteella määritellään turvallisuuden eheystaso (SIL) jokaiselle turvallisuustoiminnolle. Tasot määritellään vaarallisten vikojen todennäköisyyksinä aikayksikkö kohti siten, siten että taso 4 on korkein.
(IEC 62061, 2005-01-20 ja Siirilä T, Koneturvallisuus EU:n direktiivien ja standardien soveltaminen käytännössä, 2. uudistettu painos 2008, Otavan kirjapaino Oy, Keuruu 2008).

Standardi myös esittää ohjausjärjestelmälle asetettujen vaatimusten kelpoistuksen ja todentamisen vaatimukset ja ohjeet. Kaikki turvallisuusvaatimusten määrittelyssä esitettävät ohjaustoiminnot on kelpoistettava. Standardissa esitetään vaatimuksia kelpoistussuunnitelmalle, testauslaitteistolle ja dokumentoinnille. Testauksissa ohjausjärjestelmän turvallisuuden eheystasosta riippuen pitää ottaa huomioon myös ympäristöolosuhteiden vaikutukset.
(Seskon www-sivut, viitattu 4.4.2012 Teollisuusautomaation standardit - Osio 4, www.sesko.fi/attachments/ohjeet/osio_4.pdf.)



Kuva 3 Turvatoiminnon jakaminen osiin ja kohdentaminen ohjausjärjestelmän osille (Sesko www-sivut, Teollisuusautomaation standardit - Osio 4, www.sesko.fi/attachments/ohjeet/osio_4.pdf).

Kuvassa 3 on esitetty turvatoimintojen jakaminen osiin ja kohdentaminen ohjausjärjestelmän osille. Turvatoiminnon toteuttava järjestelmä koostuu sarjamuotoisesta alajärjestelmien kokoonpanosta. Alajärjestelmä puolestaan koostuu elementeistä, jotka voivat olla myös rinnakkaisia.
(Sesko www-sivut, Teollisuusautomaation standardit - Osio 4, www.sesko.fi/attachments/ohjeet/osio_4.pdf.)

IEC 61513, 2011-08-25, Nuclear power plants - Instrumentation and control for systems important to safety - General requirements for system
Standardi sisältää turvallisuusluokiteltuun instrumentointiin ja järjestelmän ohjaukseen liittyvät yleiset vaatimukset järjestelmille. Standardi sisältää vaatimuksia sekä analogisten että ohjelmistopohjaisten ja näiden yhdistelmien arkkitehtuurin suunnitteluun sekä vaatimuksia arkkitehtuurin turvallisuudelle. Standardi sisältää yleisellä tasolla vaatimushallintaa turvallisuusluokan A ja B järjestelmien kelpoistukseen.
(IEC 61513, 2011-08-25.)

Turvallisuusluokan 3 tietokonepohjaisten järjestelmien ohjelmistoissa on huomioitava IEC 62138, 2004-01-16, Nuclear power plants - Instrumentation and control important to safety - General requirements for systems, vaatimukset. Tämä standardi esittää tietokonepohjaisten automaatiojärjestelmien ohjelmistojen vaatimusmäärittelyt B- ja C-kategorioiden turvallisuustoiminnoille. Se selventää toimintojen yleiset vaatimukset, ohjelmistojen valintavaatimukset, ohjelmistojen suunnitteluvaatimukset sekä vaatimusmäärittelyn ja täydentää ohjelmistoon liittyviä standardeja IEC 60880, 2006-05-09, Software for computers in the safety systems of nuclear power stations käsittelee turvallisuusluokan kategoria A toimintoja.
(IEC 62138, 2004-01-16, IEC 60880, 2006-05-09.)

IEC 61226, 2009-07-08, Nuclear power plants - Instrumentation and control important to safety - Classification of instrumentation and control functions määrittelee instrumentaation sekä turvaohjauksien luokittelun kategorioihin. Saatu luokittelu puolestaan määrittelee suunnitteluvaatimukset turvallisuustoiminnoille. Standardissa myös selvitetään kategoriat A, B ja C sekä luokittelematon ja mitkä ovat niiden rajat.
(IEC 61226, 2009-07-08.)

IEC 60780, 1998-10-16, Nuclear power plants - Electrical equipment of the safety system - Qualification kuvaa ydinvoimalaitoksen turvallisuusjärjestelmien sähkölaitteiden kelpoistuksen prosessin. Se sisältää yleisen kuvauksen kelpoistusprosessista sekä kelpoistusmenetelmät. Standardi antaa vaatimukset tyyppitestaukseen, käyttökokemuksen osoittamiseen ja tarkemmat määräykset kelpoistusanalyysien tekemisestä. (IEC 60780, 1998-10-16.)

5 SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOLAITTEIDEN KELPOISTAMINEN

Tässä luvussa kerrotaan ydinvoimalan polttoaineen siirtokoneen sähkö- ja automaatiolaiteiden kelpoistuksesta. Yleiset asiat kelpoistuksesta ja laatusuunnitelmasta käsitellään kappaleessa 5.1. Vaatimusmäärittelyä käsitellään tarkemmin kappaleessa 5.2. Kappaleessa 5.3. 5.4 ja 5.5. kerrotaan kelpoistusmenettelyt, sähköjärjestelmän ja sähkölaitteiden kelpoistus ja automaatiojärjestelmän kelpoistukseen liittyvät asiat polttoaineen siirtokoneelle.

5.1 Yleistä kelpoistuksesta ja laatusuunnitelma

Sähkökomponenttien kelpoistaminen tehdään YVL 5.2. ja automaatiokomponenttien kelpoistaminen YVL 5.5. sekä IEC, teollisuusstandardien määräyksiä noudattaen. Kelpoistuksen tarkoituksena on varmistaa, että kojeet ja laitteet toimivat oikein määritellyissä toiminta- ja ympäristöolosuhteissa, mukaan lukien sähkömagneettisen yhteensopivuuden häiriöt (EMC-häiriöt) ja maanjäristykset. Kelpoistus voidaan tehdä tyyppitestien, analyysien tai käyttökokemusten perusteella. Tyyppitestit osoittavat, että komponentin toiminta täyttää niille asetetut vaatimukset. Toiminnalliset testeillä taas todennetaan esim. vastusmittaukset, lämpenemätestit tai suojausluokka. Kelpoistusanalyysit voivat perustua kokemusperäiseen tietoon, osittaiseen tyyppitestaukseen tai näiden yhdistelmään. Dokumentointi on tehtävä näiden osalta kattavasti.
(Olkidoc tunnus 128916, Kopra Kimmo, laadittu 20.5.2011, viitattu 17.1.2012, luottamuksellinen.)

Laatusuunnitelma sisältää järjestelmän suunnittelua ja toteutusta koskevat laadunhallinta-asiat, myös automaatiojärjestelmän suunnittelua, toteutusta ja/tai muutoksia varten on laadittava laatusuunnitelma. Se kattaa organisaatioiden vastuunjaon, rajapintojen hallinnan, dokumenttien hallinnan ja versioiden hallinnan sekä muutosmenettelyn. Laatusuunnitelma esittää myös välitulosten tarkastustoimet, erityisesti niiltä osin kuin luvanhaltija osallistuu niihin. Lisäksi laatusuunnitelmassa esitetään vähintään yleisellä tasolla laitteiden kelpoistaminen.
(YVL 5.5, luku 4.2.2 ja kohta 6.3) ja (YVL 5.2 / 24.6.2004.)

5.2 Vaatimusmäärittely

Yleiset suunnitteluvaatimukset löytyvät valtioneuvoston päätöksestä (395/1991) 18 §:n 3 momentista, standardeista ja YVL-ohjeista. YVL-ohjeet ja standardit eivät pelkästään ole riittävä vaatimusperusta ydinlaitoksen järjestelmille ja laitteille. Näiden lisäksi pitää ottaa huomioon ydinlaitoksen yleiset sekä käyttöpaikkakohtaiset vaatimukset.

Vaatimusmäärittelyssä pyritään yhtenäisyyteen, ymmärrettävyyteen, muutettavuuteen, jäljitettävyyteen ylläpidettävyyteen. Periaatesuunnittelun vaatimusmäärittely pitää sisällään käyttäjävaatimukset. Laitteiden vaatimusmäärittely sisältää hankintamäärittelyt sekä laitteen vaatimusmäärittelyn. Ohjelmistojen vaatimusmäärittelyt sisältävät sovellusohjelmistot, perusohjelmistot sekä mahdolliset sulautetut ohjelmistot.

Esimerkki sisällysluettelosta:

- johdanto
- järjestelmän yleiskuvaus
- toiminnalliset vaatimukset automaatiolle
- ei toiminnalliset vaatimukset automaatiolle
- suunnittelu- ja valmistusprosessiin liittyvät vaatimukset
- asennus-, käyttöönotto - ja käyttövaiheeseen liittyvät vaatimukset
- turvallisuusvaatimukset
- rajoittavat tekijät

(VTT:n www-sivut, viitattu 26.1.2011, Turvallisuuteen liittyvä automaatio, luento 9, virtual.vtt.fi/alarp/aineisto/luento-09-moduuli-02-x4a.pdf.)

YVL-ohje 5.2 määrittelee myös, että turvallisuusluokitellun sähköjärjestelmän vaatimusmäärittelyn pitää sisältää kaikki merkittävät laitteen toiminnalliset, suorituskyky- ja luotettavuusvaatimukset. Lisäksi pitää ottaa huomioon ja määritellä selkeästi ympäristö- ja käyttöolosuhteet sekä rajapinta laitoksen muihin järjestelmiin. Vaatimusmäärittelyn pitää siis olla riittävän yksityiskohtainen soveltuvuusarviointia varten. (YVL 5.2 / 24.6.2004.)

YVL-ohjeen 5.5 mukaisesti järjestelmän suunnittelussa pyritään yksinkertaisuuteen ja vikasietoisuuteen ja suunnittelussa tulee käyttää virheitä välttäviä ja virheitä havaitsevia menetelmiä. Automaatiojärjestelmän ja -laitteen vaatimusmäärittelyyn on sisällytettävä kaikki merkittävät järjestelmän toiminnalliset, suoritus- ja luotettavuusvaatimukset. Vaatimusten on oltava ristiriidattomia ja yksiselitteisiä sekä riittävän yksityiskohtaisia. Järjestelmään valituista laitteista tehdään YVL 5.5. kohdan 4.4.7 mukainen soveltuvuusarvio. Vaatimusten toteutuminen pitää olla todennettavissa ja suunnittelussa pitää huomioida myös ympäristöolosuhteet, ympäristörasitukset, liityntöjä, määräaikaiskokeita, ylläpitoa, tietoturvallisuutta ja käyttöikää koskevat vaatimukset. Automaation rajapinta muihin järjestelmiin ja käyttäjiin on määriteltävä selkeästi. Vaatimusmäärittelyä täydennetään suunnittelun edetessä ja sen on oltava riittävän kattava sekä yksityiskohtainen, jotta toteutus on testattavissa tai todennettavissa kyseisiä vaatimuksia vasten.
(YVL 5.5 / 13.9.2002.)

Polttoaineen siirtokone on turvallisuusluokkaan 3 (TL 3) kuuluva erillisjärjestelmä. Yleiset suunnitteluvaatimukset eli vaatimusmäärittely turvallisuusluokan 3 erillisjärjestelmille kuvataan dokumentissa, Design Requirements for the Electrical and I&C Design and Layout of SC 3 classified Black Boxes, NGLTH/2004/en/0028. Dokumentissa on lueteltu yleiset vaatimukset erillisjärjestelmien valmistamiselle, yleiset vaatimukset ympäristöolosuhteille, laadunhallinnan vaatimuksille, laatusuunnitelmalle ja EMC-määrittelylle. Sähkökomponenttien vaatimuksien suhteen määritellään mm. standardit, joiden mukaan suunnittelu tehdään. Yleiset ympäristöolosuhteet, sähkönjakelujärjestelmä, kaapelimäärittelyt, virtalähteet, maadoitus, käytettävät kaapelit, kaapeleiden numerointi määritellään myös suunnitteludokumentissa. Instrumentointiin ja mittaukseen liittyen määritellään mm. mittalaitteet, mittaukset mm. virtausmittaukset, lämpötilamittaukset, painemittaukset ja pinnankorkeusmittaukset. Ohjaukseen liittyen määritellään mm. binäärisignaalit, analogiasignaalit, yleiseen ohjaukseen liittyvät asiat. Näiden lisäksi määritellään tarvittava dokumentaatio ja testaukset, laatusuunnitelma ja kyseisistä dokumenteista on myös esimerkit mallina dokumenteista sekä dokumentaation hyväksyttäminen viranomaisella.
(Design Requirements for the Electrical and I&C Design and Layout of SC 3 classified Black Boxes, NGLTH/2004/en/0028, Rev. F, 2009-04-14, https://dmsol3.tvo.fi/kronodoc/OL3/OL3-0000002160, luottamuksellinen.)

5.3 Kelpoistusmenettelyt

Vaatimusmäärittelyn lisäksi TL3 järjestelmälle on laadittava erityinen järjestelmäkohtainen kelpoistussuunnitelma. Kelpoistussuunnitelman avulla todistetaan laitteen luotettavuus ja turvallisuus. (Sähkö- ja varavoimajärjestelmät (Ohje YVL 5.2 / 24.6.2004), Perehdytys YVL-säännöstöön Olkiluoto 13.1.2011 Riku Reinivaara, Tapani Eurasto.)

Kelpoistussuunnitelman laatii luvanhaltija ja se sisältää aineistoa neljältä osa-alueelta: suunnittelu- ja valmistusprosessi, testit, analyysit ja käyttökokemukset. Kelpoistussuunnitelmassa on huomioitava turvallisuusmerkitys ja järjestelmälle asetetut luotettavuusvaatimukset.
(YVL 5.2 / 24.6.2004.)

Kelpoistamisella osoitetaan, että automaatiojärjestelmä, sähköjärjestelmä, komponentit ja laiteet täyttävät toiminnalliset ja ei-toiminnalliset vaatimukset kaikissa sen käyttötilanteissa, niissä olosuhteissa, joihin se on suunniteltu. Kelpoisuussuunnitelmassa on otettava huomioon turvallisuusmerkitys ja luotettavuusvaatimukset TL3 järjestelmille ja laitteille. Kelpoistussuunnitelmassa määritellään laitteesta ja järjestelmästä tehtävät soveltuvuusarviot. Soveltuvuusarvioinnin sähkökomponenttien osalta tekee luvanhaltijan palveluksessa oleva, suunnittelusta riippumaton asiantuntija tai organisaatioyksikkö. Automaatiojärjestelmien soveltuvuusarvion laatijan ei tarvitse olla Säteilyturvakeskuksen hyväksymä. Automaation osalta on kelpoistettava suunnitteluprosessi, järjestelmä ja automaatiojärjestelmään liittyvät laitteet ja komponentit. Soveltuvuusarviossa arvioidaan toiminnallisuutta ja suorituskykyominaisuuksia vaatimusmäärittelyn vaatimuksia vasten. Soveltuvuusarviossa tarkastellaan ympäristöolosuhdetestejä, ohjelmiston arviointia, laitteen käyttökokemuksia sekä laitteen toiminnan luotettavuutta suhteessa laitteen turvallisuusmerkitykseen.
(YVL 5.2 / 24.6.2004 ja YVL 5.5 / 13.9.2002 sekä Perehdytys YVL-säännöstöön Olkiluoto 13.1.2011 Riku Reinivaara, Tapani Eurasto.)

IEC 60780, 1998-10-16, Nuclear power plants - Electrical equipment of the safety system - Qualification määrittelee yleisesti ydinvoimalaympäristön turvallisuusluokiteltujen sähkölaitteiden kelpoistuksen kulun ja kelpoistukseen tarvittavan dokumentaation.
(IEC 60780, 1998-10-16.)

5.4 Sähköjärjestelmän ja sähkölaitteiden kelpoistus

Turvallisuusluokan 3 sähköjärjestelmän ja sen laitteiden sovetuvuuden osoittamiseksi on laadittava järjestelmäkohtainen kelpoistussuunnitelma. Kelpoistussuunnitelmassa tulee olla aineistoa neljältä osa-alueelta: suunnittelu- ja valmistusprosessi, testit, analyysit ja käyttökokemukset. Kelpoistussuunnitelmassa on otettava huomioon järjestelmälle asetetut luotettavuusvaatimukset sekä järjestelmän turvallisuusmerkitys. Kelpoistuksen tarkoituksena on todeta, että järjestelmät laitteineen ovat vaatimusten mukaisia.

Polttoaineen siirtokoneen kelpoistaminen turvallisuusluokkaan 3 edellyttää laatusuunnitelman laatimisen lisäksi suunnittelu- ja valmistusprosessin aikaisia testejä. Näitä testejä ovat mm. yksikkö- ja järjestelmätestit. Testeillä varmistetaan se, että sähköjärjestelmä tai laite täyttää sille asetetut toiminnalliset ja suorituskykyvaatimukset. Nämä testaukset päättyvät tehdastesteihin. Testisuunnitelma, testien hyväksymiskriteerit ja testien tulokset dokumentoidaan siten, että niitä voidaan arvioida riippumattomasti.
(YVL 5.2 / 24.6.2004.)

Sähköjärjestelmän ja laitteiden kelpoistukseen kuuluu myös toiminnallisten ja suorituskykyvaatimusten toteutumisen osoittaminen analyysien avulla esim. kvantitatiivinen luotettavuusanalyysi. (YVL 5.2 / 24.6.2004) Luotettavuusanalyysejä käytetään osoittamaan sallitun riskitason saavuttaminen. Näiden avulla pyritään ymmärtämään järjestelmän vikaantumismekanismeja. Kvantitaatiiviset analyysit ja mallien laadinta tuovat järjestelmien suunnittelulle rinnakkaisen näkökulman, joka auttaa tunnistamaan järjestelmän heikkoja kohtia ja tuottamaan parannusehdotuksia.

(VTT:n www-sivut, viitattu 4.4.2012, Turvallisuuteen liittyvä automaatio, luento 9, virtual.vtt.fi/alarp/aineisto/luento-09-moduuli-02-x4a.pdf.)

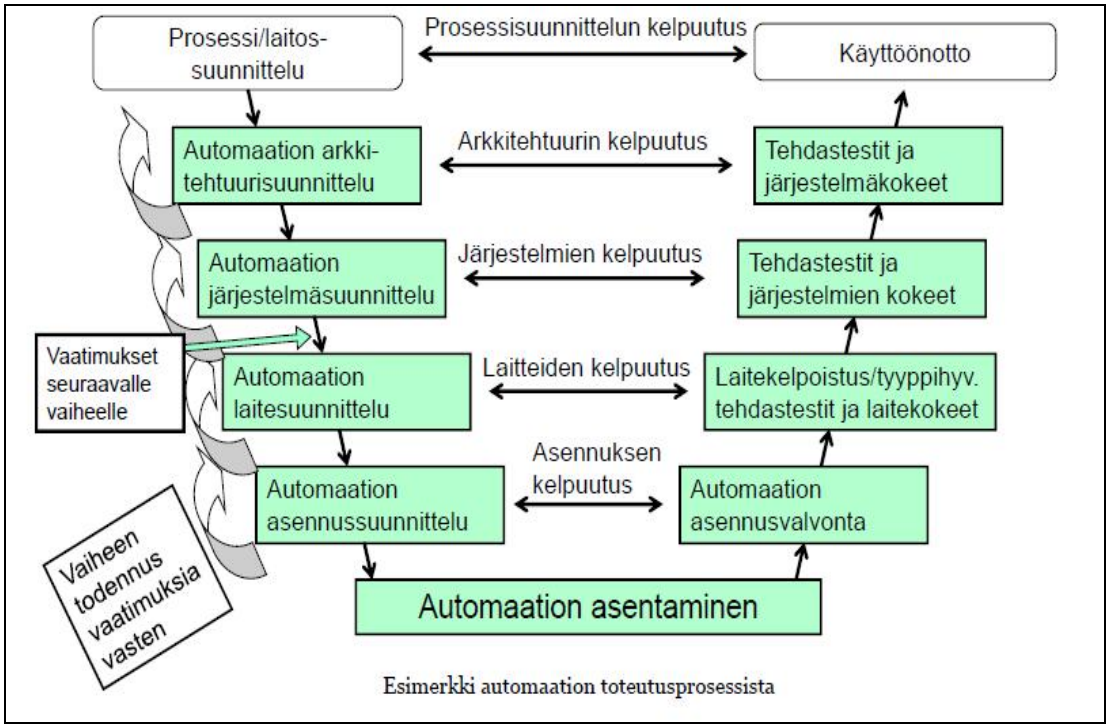
Muita tarvittavia analyysejä ovat yhteisvika-analyysi, vikautumistapojen ja -vaikutusten analyysi, käyttökokemusanalyysi sekä selektiivisyysanalyysi ja turvallisuusanalyysi. Selektiivisyysanalyysillä osoitetaan selektiivisyysvaatimusten täyttyminen ja turvallisuusanalyyseillä osoitetaan turvallisuusvaatimusten täyttyminen. Kelpoistuksen tulosaineistossa vaaditaan myös luvanhaltijan arvio kelpoistuksen toteutumisesta. Lisäksi tehdään käyttökokemusanalyysi hyvin määritellyn menetelmän mukaisesti. Käyttökokemusten tulee olla edustavia käsiteltävien turvallisuustoimintojen kannalta. ja niiden tulee olla perusteltuja.
(YVL 5.2 / 24.6.2004.)

5.5 Automaation kelpoistus

Polttoaineen siirtokoneen automaatiojärjestelmät ja niiden laitteet tulevat kelpoistaa käyttötarkoitukseensa. Tämä osoitetaan kelpoistussuunnitelmalla, joka sisältää suunnittelun, valmistusprosessin, testit, analyysit ja käyttökokemukset kuten sähköjärjestelmilläkin.

Kelpoistamisella osoitetaan, että automaatiojärjestelmä tai laite täyttää toiminnalliset ja ei-toiminnalliset vaatimukset kaikissa sen käyttötilanteissa niissä ympäristöolosuhteissa, joihin se on suunniteltu. Kelpoistus muodostuu järjestelmän eri vaiheisiin liittyvistä laadunvarmistustoimista. Automaation kelpoistaminen koostuu suunnitteluprosessin kelpoistamisesta, järjestelmän kelpoistamisesta sekä laitteiden ja komponenttien kelpoistamisesta. Perusedellytys on, että vaihetta aloitettaessa on käytössä riittävän yksityiskohtainen vaatimusmäärittely, jota vasten todennus tehdään. Toiminnalliset ja ei-toiminnalliset vaatimukset, kaupalliset vaatimukset, viranomaisvaatimukset, sekä standardit ja mahdolliset projektispesifikaatiot pitää ottaa kelpoistusta tehtäessä huomioon.

Turvallisuusluokan 3 järjestelmien ja laitteiden suunnittelussa ja toteutuksessa tulee käyttää standardiohjelmistotyökaluja, joiden versionhallinta, ylläpito ja vikatietojen keruu on dokumentoitu asianmukaisesti.
(YVL 5.5 / 13.9.2002 ja Wahlström, K. 2011. Laitteiden ja järjestelmien kelpoistaminen ydinvoimarakentamisessa. Viitattu 31.1.2011. http://www.lahtimechatronics.fi/filebank/1865-02_Kim_Wahstrom_esitys_Lahti_%5BYhteensopivuustila%5D.pdf.)



Kuva 4 Esimerkki automaation kelpoistuksen toteutusprosessista (Kim Wahlström, 2011, STUK)

Kuvassa 4 on esitetty esimerkki automaation kelpoistuksen toteutusprosessista. Polttoaineen siirtokoneen osalta kuvassa esitetty kelpoistuksen toteutusprosessin ensimmäinen vaihe on prosessilaitossuunnittelu. Erimerkkikuvasta poiketen automaation arkkitehtuurisuunnittelua tämän laitteen osalta ei tarvitse tehdä, sillä kyseessä on erillisjärjestelmä. Perussuunnittelun kelpoistuksen rinnalla tehdään automaation järjestelmäsuunnittelua, automaation laitesuunnittelua ja asennussuunnittelua. Kyseessä on siis rinnakkainen prosessi, jossa eri vaiheet nivoutuvat toisiinsa. Asennuksen kelpoistuksen kuuluu asennusvalvontaa ja asennuksen dokumentointi. Laitesuunnittelun kelpoistus todennetaan laitekelpoistuksella ja tyyppihyväksynnällä.

Varsinainen automaation järjestelmäsuunnittelu kelpoistetaan tehdastesteillä ja järjestelmien kokeilla.

Automaation osalta kelpoistetaan suunnitteluprosessi, järjestelmä ja automaatiolaitteet sekä komponentit. Kelpoistuksen osana tehdään soveltuvuusarviot joilla todennetaan komponenttien soveltuvuus käyttötarkoitukseensa.
Soveltuvuusarviossa osoitetaan seuraavat asiat:
– laite sopii suunnitteluperusteidensa (valmistajan ilmoittamat suorituskykyarvot) puolesta laitepaikan vaatimuksiin
– laite täyttää kelpoistuksen tulosaineiston ja tyyppihyväksynnän perusteella suunnitteluperusteensa
– valmistuksen laadunhallinta on kunnossa
– soveltuvuusarvion liitteenä ovat myös tehdastestien tulokset YVL 5.5 mukaisesti.
(YVL 5.5 / 13.9.2002.)

6 KELPOISTUKSEN DOKUMENTAATIO

Ydinvoimalaitoksessa pitää noudattaa lakeja ja asetuksia, valtioneuvoston päätöksiä, YVL-ohjeita ja kansainvälisiä teollisuusstandardeja. Keskeiset noudatettavat lait ja asetukset ovat Ydinenergialaki (990/1987), Ydinenergia-asetus (161/1988), Valtioneuvoston päätös ydinvoimalaitosten turvallisuutta koskevista yleisistä määräyksistä (395/1991), Säteilylaki (592/1991), Säteilyasetus (1512/1991), Ydinvastuulaki (484/1972). Muita keskeisiä teknisiä standardeja ovat esimerkiksi SFS, RakMK, ISO, ASME, ANSI, IEEE, DIN, KTA, IEC jne. ja tietenkin IAEA (mm. Design: Safety Standards Series NS-R-1).

YVL ohjeisto jakaantuu kahdeksaan pääsarjaan:

1. Yleisiä vaatimuksia
2. Järjestelmäsuunnittelu
3. Painelaitteet (mekaaniset laitteet ja rakenteet)
4. Rakennustekniikka
5. Muut rakenteet ja laitteet (mm. sähkö- ja automaatio, ilmastointi)
6. Ydinmateriaali (mm. polttoaine)
7. Säteilysuojelu
8. Ydinjätehuolto

(Reinman, L., STUK 23.9.2003, YK1, Ydinturvallisuus Osa 1, luento 1.9 ja Juhani Hyvärinen, STUK 26.9.2003, YK1, Ydinturvallisuus Osa 4, luento 1.)

Näiden kaikkien lakien, asetusten, standardien ohjeita pitää noudattaa dokumentaatiossa. Tässä luvussa kerrotaan tarkemmin järjestelmätason ennakkotarkastuksen dokumentaatiosta kappaleessa 6.1 ja sähköjärjestelmän dokumentaatiosta kappaleessa ja kappaleessa 6.2. automaatiojärjestelmän dokumentaatiosta.

6.1 Järjestelmätason dokumentaatio (ETA)

Ennakkotarkastusaineiston (ETA) tulee sisältää laatusuunnitelma, jossa esitetään järjestelmän suunnittelua ja toteutusta koskevat laadunhallinnan keinot.

Selvitys tehdyistä riippumattomista turvallisuustarkastuksista ja niiden tuloksista, mikäli niitä on tarvittu järjestelmän hyväksyttävyyden osoittamiseksi. Järjestelmän koekäytöstä tulee toimittaa hyväksyttäväksi koekäyttöohjelma (YVL 2.0 / 1.7.2002.)

Turvallisuusluokan 3 sähköjärjestelmän ennakkotarkastusaineiston ja lopullisen turvallisuusselosteen tulee sisältää seuraavat selvitykset:

- järjestelmän yksityiskohtaiset suunnitteluperusteet
- järjestelmän yksityiskohtainen toiminta- ja rakennekuvaus
- järjestelmän käyttö- ja ympäristöolosuhteet ja -rasitukset ja niistä aiheutuvat suunnitteluvaatimukset
- järjestelmän ja siihen liittyvien laitteiden sähkötekninen mitoitus
- järjestelmän sähköisen suojauksen tekninen kuvaus ja selektiivisyysselvitys
- turvallisuudelle tärkeiden osajärjestelmien sijoittelu, erottelu ja suojaus (palo-osastointi, fyysinen suojaus)
- vaikutukset ydinvoimalaitoksen muihin järjestelmiin ja riippuvuudet muista järjestelmistä (esim. jäähdytys ja apusähkö) sekä vikojen leviämisen estäminen
- todennäköisyyspohjainen tarkastelu järjestelmän vaikutuksesta laitoksen turvallisuuteen
- laatusuunnitelma
- kelpoistussuunnitelma
- kelpoistuksen tulosaineisto
- suunnittelijan turvallisuusarvio siitä, miten järjestelmä täyttää sille asetetut turvallisuusvaatimukset
- ohjeen YVL 2.0 kohdan 2.3 mukainen luvanhaltijan oma turvallisuusarviointi
- järjestelmää koskevat turvallisuusteknisten käyttöehtojen vaatimukset
- mahdollinen tietoturvallisuussuunnitelma
- muut tarvittavat selvitykset. (YVL 5.2 / 24.6.2004 / 24.6.2004, kappale 6.3.)

Turvallisuusarviolla osoitetaan YVL-ohjeiden ja vaatimusmäärittelyn vaatimusten täyttyminen sekä vaikutus todennäköisyysperustaiseen turvallisuusanalyysiin eli PSA:han. (YVL 5.2 / 24.6.2004, kappale 6.3.)

6.2 Sähköjärjestelmän dokumentaatio

Sähkökomponentit luokitellaan dokumentissa OL3 FTF, SFMB, NFE, AC - Qualification plan for SC3 electrical and I&C systems, Rev. E, 2012-01-19, sähköisiin laatuluokkiin EE1 ja EE2.
Viranomaiselle toimitettavien dokumenttien listat ovat YVL-ohjeista 5.2 ja 5.5.

Ylätason dokumentaatioon kuuluvat:

- järjestelmäkuvaus
- toimintakuvaus
- riskiarviointi
- vaatimusmäärittelydokumentti

Yksityiskohtaiseen dokumentaatioon kuuluvat mm.

- yksityiskohtaiset toimintakuvaukset
- rakennesuunnitelma
- piirikaaviot, signalointi- ja lukituskaaviot
- mitoituslaskelmat

Käyttöönottodokumentaatio

- Järjestelmän koeohjelma (SCP)
- Järjestelmän käyttöönotto-ohje (SCI)

Huolto- ja käyttöohjeet:

- yksityiskohtaiset sähkölaitteiden määräaikaistarkastusten ohjeet
- yksityiskohtaiset ohjeet huoltojen tekemisestä ja määräväleistä

Huolto- ja käyttöohjeita ei tarvita kelpoistuksessa, mutta ne kuuluvat osana dokumentaatioon, joita ei tarvitse lähettää Säteilyturvakeskuksen hyväksyttäväksi.

6.3 Automaatiojärjestelmän dokumentaatio

Automaation suunnittelussa ja dokumentoinnissa määritellään ensin vaatimukset ja toiminnot ja sen jälkeen vasta laitteisto- ja ohjelmistototeutus. Puhutaan nk. määrittelyvaiheesta, jonka jälkeen tulee varsinainen suunnitteluvaihe ja toteutusvaihe sekä käyttöönotto ja testaus. Kaikkien näiden vaiheiden jälkeen, laite otetaan käyttöön ja käyttöä ja huoltoa varten tarvitaan ohjeita. Jokainen vaihe pitää dokumentoida ja dokumentaatiota syntyy kaikissa vaiheissa. (Automaatioseura ry, Automaatiosovellusten ohjelmistokehitys suunnittelun työtavat, välineet ja sovellusarkkitehtuurit.)

Automaatiokomponenttien dokumentaatio sisältää nk. vaatimusmäärittelydokumentaation eli puhutaan myös nk. ylätason dokumentaatiosta. Ylätason dokumentaatio käsittää seuraavat dokumentit polttoaineen siirtokoneeseen liittyen:

1. Dokumentti Refueling machine - Requirement Specifications for I & C, PELO-F DC 1, Rev. D, 2012-01-20, sisältää järjestelmään kohdistuvat vaatimukset automaatiolle.

2. Dokumentti Refueling Machine List of I&C Functions, Sensors and Actuators, NLN-F DC 49, Rev. F, 2012-01-20, sisältää turvatoimintojen periaatteelliset toimintakuvaukset. Dokumentissa myös kuvataan toteutettavat turvatoiminnot järjestelmässä eli ydinturvallisuuteen liittyvät turvatoiminnot (NSF) ja konventionaalisiin riskeihin liittyvät turvatoiminnot (CSF).

3. Dokumentti Decoupling Requirements for Safety Classified Cranes & Fuel Handling Systems, NLE-F DC 265, Rev. E, 2012-01-19 sisältää järjestelmään kohdistuvat erotteluvaatimukset turvallisuusluokitelluille nostureille ja polttoaineenkäsittelylaitteille. Dokumentissa kerrotaan erotteluvaatimukset TL3 ja TL4 välillä. Erotteluvaatimukset laitteella ovat ylijännitesuojaus, turvallisuusluokkien erotus, EMC ja redundanttinen komponenttien erottelu. Dokumentin mukaisesti alemman turvallisuusluokan toiminto ei saa vaikuttaa ylemmän turvallisuusluokan toimintoon. Tiedonkulku on siis sallittu vain turvallisuusluokasta SC3 turvallisuusluokkaan SC4 eli turvatoimintoihin ei osallistu alemman turvallisuusluokan (SC 4) signaaleja.

4. Dokumentti Refueling Machine System description of I&C, NLE-F DC 70, Rev. K, 2012-01-20 järjestelmäkuvaus kuvaa järjestelmän arkkitehtuurin, turva- ja käyttötoimintojen allokoinnin, järjestelmän ulkoiset ja sisäiset rajapinnat, käyttöolosuhteet ja antaa yleiskuvauksen järjestelmän toiminnoista.

5. Dokumentti System Quality Plan for SC3 Self Standing Systems - Fuel Handling Systems & Fuel Building crane, PELO-F DC 2, Rev. D, 2012-01-19 TL3 järjestelmän laatusuunnitelma polttoaineen käsittelyjärjestelmille sekä polttoainenostureille. Laatusuunnitelmassa määritellään järjestelmän suunnittelua ja toteutusta koskevat laadunhallinnan keinot.

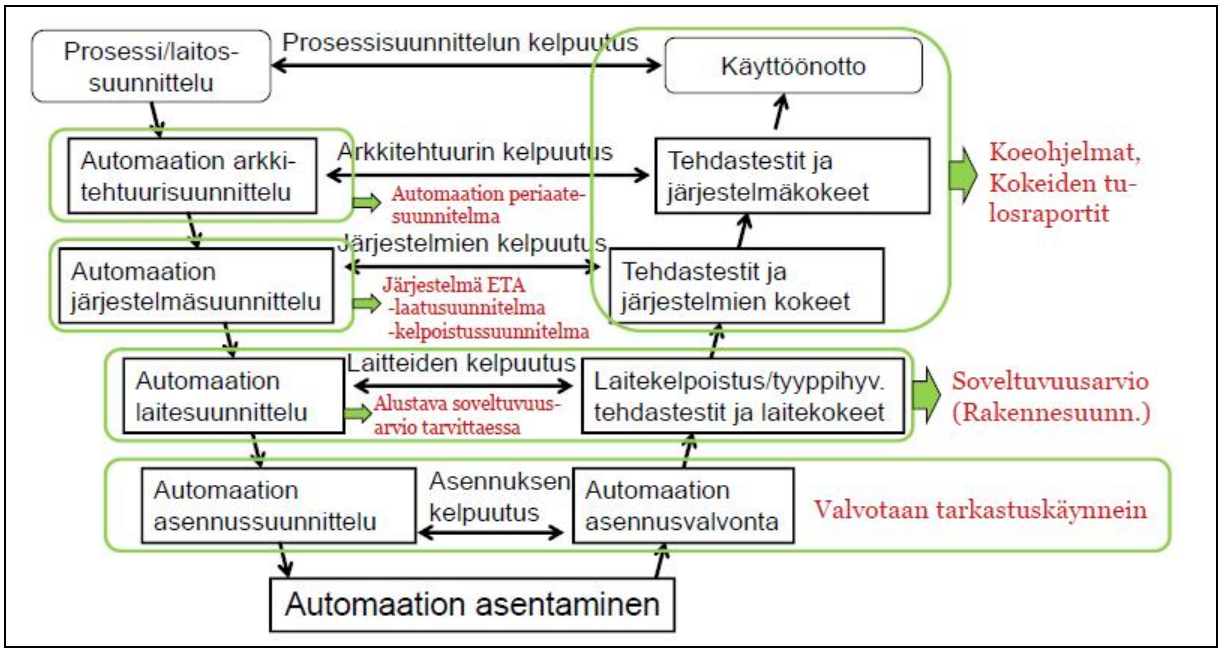
6. Dokumentti Refuelling Machine - Specification of Software Safety Functions, NLN-F DC 15, Rev. E, 2012-01-20 sisältää erittelyt ohjelmallisesti toteutetuista turvafunktioista.

7. Dokumentti Refuelling Machine - Assessment of conventional risks, NLN-F DC 17, Rev. H, 2012-01-24, sisältää arvion polttoaineen siirtokoneen konventionaalisista riskeistä.

8. Dokumentti OL3 FTF, SFMB, RM, NFE, AC - Qualification plan for SC3 electrical and I&C systems, NLZ-F DC 117, Rev. E, 2012-01-19 kelpoistussuunnitelma TL3 sähkö- ja automaatiojärjestelmille.

9. Dokumentti Refueling Machine Postulated Initiating Events Jeopardizing Nuclear Safety Functions and Functional Requirements for the Safety I&C, EYTM-100482, Rev. N, 2012-01-24, kuvaa nk. alkutapahtumat niiden vakavuuden mukaan. Alkutapahtumien riskien välttämiseksi määritellään toiminnalliset vaatimukset.

Yksityiskohtaisemmissa dokumenteissa määritellään polttoaineen siirtokoneen ohjelmiston ja automaation yksityiskohtaiset toteutukset. Yksityiskohtaisia dokumentteja ovat mm. logiikka- ja sekvenssikaaviot, ohjelmistokuvaukset ja järjestelmäkaaviot.



Kuva 5 STUK:ille kelpoistuksen yhteydessä toimitettavat automaation dokumentit (Kim Wahlström, 2011, STUK)

Yllä oleva kuva 5 kertoo automaation kelpoistuksen yhteydessä Säteilyturvakeskukselle lähetettävän dokumentaation. Ensimmäinen vaihe eli kelpoistus alkaa prosessisuunnittelun validoinnista. Toisessa vaiheessa kelpoistetaan automaation arkkitehtuuri, johon kuuluu myös periaatesuunnitelma. Automaation järjestelmäsuunnittelu on kolmas vaihe, johon kuuluu laitteiden kelpoistaminen. Alustavalla soveltuvuusarviolla ja myöhemmin lopullisella soveltuvuusarviolla osoitetaan laitteiden soveltuvuus käyttötarkoitukseensa. Laitekelpoistukseen kuuluvat mm. tyyppihyväksynnät, tehdastestit ja laitekokeet. Automaation järjestelmäsuunnitteluun ja arkkitehtisuunnitteluun kuuluu myös tehdastestejä ja järjestelmäkokeita, joilla osoitetaan sopivuus käyttötarkoitukseen. Neljännessä vaiheessa asennuksen kelpoistusta Säteilyturvakeskus valvoo yhdessä luvanhaltijan kanssa tarkastuskäynnein. Viimeisenä vaiheena on käyttöönotto.

Käyttöönottovaiheessa varmistetaan testaamalla, että laitteet ja niiden ohjaukset toimivat toivotulla tavalla käyttöympäristössään. Testaus perustuu testaussuunnitelmiin ja testisuunnitelmiin.

Testisuunnitelmien laatimisessa ja testaustyössä tarvitaan säätö-, logiikka-, ja sekvenssikaavioita, lukituskuvauksia ja hälytyslistoja sekä toiminnalliset kuvaukset että ajotapatiedot. Testauksen aikaiset huomautukset korjataan ns. punakynäversioon dokumenttista. Yhteenvedoksi luodaan testauksista raportit.

Huolto- ja käyttöohjeissa kerrotaan laitteiden määräaikaistarkastusten, huoltojen tekemisestä. Lisäksi annetaan yksityiskohtaiset ohjeet huoltojen tekemiseen sekä huoltojen aikatauluihin ja siihen kuinka usein huoltoja tehdään. Huolto- ja käyttöohjeita ei tarvitse kelpoistaa viranomaisella.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

7.1 Oma arvio opinnäytetyön kulusta

Kelpoistussuunnitelman laatiminen polttoaineen siirtokoneelle opinnäytetyönä oli haastava ja kokoaikaisen päivätyön ohella vapaa-ajalla tehtynä myös raskas tehtävä. Alussa toimeksianto oli laajempi, mutta aikaa myöden tavoitteet selkenivät ja vähitellen työn tavoitteetkin kirkastuivat. Opinnäytetyössä alussa oli myös ohjelmistojen kelpoistaminen ja uusien YVL-ohjeiden tutkiminen mukana. Uudet YVL-ohjeet ovat vasta kommentointikierroksella ja todennäköisesti muuttuvat nykyisestä muodosta, joten ne jätettiin pois. Ohjelmistojen kelpoistaminen jätettiin myös pois ja keskityttiin sähköjärjestelmien ja automaatiojärjestelmien kelpoistukseen. Opinnäytetyön tekemisen aikana selkiytyivät kelpoistukseen liittyvät standardit, YVL-ohjeet, vaatimusmäärittely, kelpoistusmenettelyt, polttoaineen siirtokoneen sähköjärjestelmän kelpoistus samoin kuin automaatiojärjestelmän kelpoistuskin. Teoriapohdinnan jälkeen olisi mielenkiintoista päästä tekemään kelpoistusta käytännössä.

Opinnäytetyön aloitusvaiheessa olisi mielestäni pitänyt määritellä tarkemmin tavoitteet työlle, jotta olisi voinut keskittyä tarkemmin ydinasioihin. Aikataulu toteutui lähes suunnitelmien mukaisesti, sillä tavoite oli saada työ valmiiksi huhti-toukokuussa. Opinnäytetyön tekeminen työn tilaajan eli TVO:n ohjaajan ryhmäpäällikkö Tapani Heinisen kanssa on sujunut erinomaisesti. Häneltä olen saanut paljon hyödyllistä palautetta, myös kriittistä palautetta, jonka pohjalta on helppo ollut parantaa työtäni. Satakunnan Ammattikorkeakoulun ohjaava opettaja sähkötekniikan lehtori Esko Nieminen on myös antanut palautetta opinnäytetyöstäni, jonka perusteella on työtä päivitetty.

Toteutusvaiheessa aiheen rajauksessa pysyminen tuotti ongelmia. Työtä tehdessäni alkuvaiheessa aihepiirissä pysyminen tuotti ongelmia, mutta lopulta sain työstä sellaisen kuin itsekin toivoin eli tavoitteet työlle täyttyivät. Opinnäytetyö on hyödyllinen myös TVO:lle ja sen tavoitteet täyttyivät myös TVO:n näkökulmasta.

7.2 Johtopäätökset

Tässä työssä haettiin vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

1. Miten kannattaisi tehdä tulevaisuuden projekteissa vastaavanlainen kelpoistaminen?

Yhteenvetona kelpoistuksen suunnitelmaksi päädyin seuraavaan mallin:

Ensimmäisessä vaiheessa tarvitaan hyväksyntä Säteilyturvakeskukselta järjestelmätason ennakkotarkastusaineistolle, joka sisältää seuraavat dokumentit:

1. Toimintojen luokitteludokumentti, jossa määritellään turvatoiminnot ja toiminnalliset sekä ei-toiminnalliset vaatimukset.
2. Laatusuunnitelma, jossa määritellään järjestelmän suunnittelua ja toteutusta koskevat laadunhallinnan keinot sekä yleiset suunnitelmat laaduntarkastusten järjestämisestä suunnittelu-, valmistus-, vastaanotto-, asennus- ja käyttöönottovaiheessa. Suunnitelmat on toimitettava Säteilyturvakeskukselle hyväksyttäväksi ennen kutakin edellä mainittua vaihetta.
3. Kelpoistussuunnitelma, jonka avulla todistetaan laitteen luotettavuus ja turvallisuus, sekä valmistajan vakuutukset laitteiden ja komponenttien soveltuvuudesta tarkoitukseensa.
4. Turvallisuusarvio kertoo, miten järjestelmä täyttää sille asetetut turvallisuusvaatimukset.
5. Mahdollinen tietoturvasuunnitelma.

Seuraavassa vaiheessa keskitytään yksityiskohtaiseen suunnitteluun ja lähetetään Säteilyturvakeskukselle seuraavat aineistot:

1. Yksityiskohtaiset dokumentit sähkö- ja automaatiojärjestelmiin sekä sähkö- ja automaatiokomponentteihin liittyen lähetetään tiedoksi viranomaisille. Dokumentteja ovat mm. piirikaaviot, kaapelilistat, kuluttajalistat, toiminnalliset kaaviot, sijoittelupiirustukset (layout)-piirustukset, varaosalistaukset, ohjauskaaviot ja signalointikaaviot. Yksityiskohtaiset dokumentit, jotka lähetetään Säteilyturvakeskukselle tiedoksi, määritellään suunnitteluvaatimusten dokumentaation yhteydessä. Nämä dokumentit lähetetään tiedoksi säteilyturvakeskukselle.

2. Alustavassa soveltuvuusarviossa (vaihe 1), joka tehdään ennen tehdastestejä (FAT), esitetään dokumentit siitä, että on käytetty riittävän hyviä komponentteja ja todisteet siitä, että komponentit toimivat niiden käyttö- ja ympäristöolosuhteissa. Soveltuvuusarvioon kuuluvat myös kelpoistuksen tulosaineistot, jotka toimitetaan Säteilyturvakeskukselle suunnittelun ja toteutuksen edettyä asianomaiseen vaiheeseen tiedoksi.
3. Automaation vaatimusmäärittely lähetetään tiedoksi Säteilyturvakeskukselle.
4. Automaatiojärjestelmän koekäyttöohjelmat lähetetään hyväksyttäväksi Säteilyturvakeskukselle.
5. Sähköjärjestelmien testiohjelmat toimitetaan hyväksyttäväksi Säteilyturvakeskukselle.
6. Automaatiojärjestelmän soveltuvuusarvio lähetetään hyväksyttäväksi Säteilyturvakeskukselle. Soveltuvuusarvio sisältää järjestelmän kelpoistukseen, suunnitteluprosessin kelpoistukseen, automaatiolaitteisiin ja -komponentteihin liittyvät soveltuvuuden arvioinnit.

Viimeisessä vaiheessa keskitytään yksityiskohtaisesti komponenttien kelpoistamisen dokumentaation ja hyväksytetään Säteilyturvakeskuksella seuraavat aineistot:

1. Lopullisessa soveltuvuusarviossa (vaihe 2) määritellään komponenttikohtainen kelpoistaminen. Vaiheen 2 soveltuvuusarvio todennetaan polttoaineen siirtokoneen ja komponenttien soveltuvuus ja suorituskyky. Liiteaineistona toimitetaan lisäksi laitteen laitos- ja sovelluskohtaiset vaatimusmäärittelyt, laitteen suunnitteluperusteet, laitteen toiminta- ja rakennekuvaukset sekä piirustukset, tiedot laitteen toimittajasta sekä laitteen laatusuunnitelma ja tehdastestien tulosdokumentaatio.
2. Automaatiojärjestelmän koekäyttöohjelmat lähetetään Säteilyturvakeskukselle hyväksyttäväksi. Järjestelmäkohtaiset koekäytön tulosraportit, jotka ovat osa järjestelmäkohtaista soveltuvuusarviota, lähetetään Säteilyturvakeskukselle tiedoksi.
3. Sähköjärjestelmien testiohjelmat sekä sähköjärjestelmien järjestelmätestien tulosraportit toimitetaan hyväksyttäväksi sekä aikataulut ennen testausten aloittamista tiedoksi Säteilyturvakeskukselle.

Kelpoistuksen edellytykset määritellään siis IEC-standardeissa, KTA-standardeissa, muissa teollisuusstandardeissa, sähköturvallisuusmääräyksissä, laeissa ja asetuksissa sekä YVL-ohjeissa. Koneen valmistajalla pitää myös olla ISO9001 laatujärjestelmä käytössä. Komponenttien valmistaminen pitää tehdä teollisuusstandardien mukaisesti samoin kuin niiden testaaminen.

Tyyppitestauksessa tarvittavat raportit ja sertifikaatit, joiden mukaan testaukset tehdään, pitää olla dokumentoitu kattavasti ja jäljitettävissä.

Soveltuvuusarvio polttoaineen siirtokoneen soveltuvuudesta, jonka tässä polttoaineen siirtokoneen osalta laatii laitostoimittaja, pitää toimittaa Säteilyturvakeskukselle hyväksyttäväksi YVL-ohjeen 5.2 ja YVL-ohjeen 5.5 mukaisesti. Soveltuvuusarvio on siis osa kelpoistamista, johon viranomainen voi tarvittaessa antaa myös vaatimuksia ja huomautuksia, jos he huomaavat esim. turvallisuuspuutteita tai muita huomioita.

Kelpoistussuunnitelman laatii polttoaineen siirtokoneen osalta laitostoimittaja, mutta kelpoistus on luvanhaltijan eli TVO:n vastuulla. Kelpoistussuunitelman toteuttaminen eli kelpoistuksen käytännön työt ovat sekä laitostoimittajan että luvanhaltijan eli TVO:n vastuulla.

TVO:n olisi mielestäni enemmän pitänyt osallistua aiemmin tuohon kelpoistussuunnitelman laatimiseen, sillä laatiminen on ollut haastavaa ja hidasta.

Muulla laitteella kuin polttoaineen siirtokoneella voidaan soveltuvuusarvio laittaa pelkästään tiedoksi turvallisuusluokasta riippuen.

Kokonaisuus pitää sisällään runsaasti sähkökomponentteja, automaatiota sekä ohjelmoitavia komponentteja, jotka eivät välttämättä ole suoraan kelpoistettavissa. Lisäksi laitteessa on käytetty runsaasti esim. rajakytkimiä, useita erilaisia, samaan tarkoitukseen. Komponenttien valinnan helpottamiseksi olisi ollut hyvä laatia listaus komponenteista, joiden väliltä valinta tehdään ja komponenttien valinta olisi pitänyt tehdä etukäteen määriteltyjen komponenttien joukosta.

Kelpoistaminen olisi huomattavasti helpompaa, jos olisi käytetty rajattua määrää erilaisia komponentteja. Komponenttien kelpoistamista varten olisi pitänyt selvittää etukäteen komponentteja, joita on jo aikaisemmin kelpoistettu ydinvoimalakäyttöön muille ydinvoimalaitoksille vastaaviin ympäristöolosuhteisiin. Näiden komponenttien käyttäminen olisi ollut suotavaa myös tässä laitteessa.

Yhteistyössä Teollisuuden Voiman ja Fortumin kanssa löydettäisiin sopivat kelpoistettavissa olevat komponentit, jolloin kelpoistaminen olisi helpompaa. Tällaisen listan antaminen laitostoimittajalle nk. valintalista olisi auttanut kelpoistamisen tekemisessä. Useiden erilaisten komponenttien käyttö aiheuttaa kelpoistamisvaiheessa enemmän työtä ja mahdollisesti komponenttien vaihtoja, jos komponentit eivät ole kelpoistettavissa ydinvoimalaitokseen. Laitteen turvatoimintojen määrittelyt pitäisi lisäksi toteuttaa mahdollisimman yksinkertaisina. Turvatoiminnoissa pitäisi käyttää komponentteja, jotka on jo hyväksytty/kelpoistettu määrättyjen vaatimusten mukaisesti.

Säteilyturvakeskukseen pitää lähettää kelpoistuksen alkuvaiheessa hyväksyttäväksi nk. ETA eli ennakkotarkastusaineisto, jonka osana on laatusuunnitelma, jossa esitetään järjestelmän suunnittelua ja toteutusta koskevat laadunhallinnan keinot. Lisäksi alkutapahtumaraportti EYTM-100482, joka listaa alkutapahtumat niiden vakavuuden mukaan, pitää lähettää hyväksyttäväksi Säteilyturvakeskukselle samoin kuin muut automaation nk. ylätason dokumentit.

Näiden hyväksymisen jälkeen vaiheessa kaksi keskitytään yksityiskohtaisten suunnitelmien tekemiseen. Yksityiskohtaisissa suunnitelmissa on tärkeää, että käytetään riittävän hyviä komponentteja ja että ne ovat kelpoistettavissa polttoaineen siirtokoneeseen. Tässä projektissa dokumentaation tuottaminen on ollut Arevan vastuulla. Tämä ei ole toiminut hyvin, vaan TVO:n olisi pitänyt auttaa enemmän dokumentaation laatimiseen yhdessä Arevaa sekä tehdä yhteistyötä Säteilyturvakeskuksen kanssa.

Komponenttien valmistusvaiheessa on tärkeää kiinnittää huomiota kaikki valmistusvaiheet kattavaan dokumentointiin. Polttoaineen siirtokoneen osalta olisi pitänyt varmistaa, että kaikki vaiheet on dokumentoitu riittävästi valmistusvaiheessa. Valmistusvaiheen valvonta on tärkeää, johon pitäisi myös luvanhaltijan osallistua säännöllisesti. Samoin tehdastarkastuksiin olisi hyvä panostaa enemmän samoin kuin valmistajien arviointiin eli auditointeihin, jotta selvitetään noudatetaanko ohjeita ja määräyksiä. Dokumentaation tekeminen ja jäljitettävyys koko valmistuksen ajan on tärkeää, sillä jälkeenpäin dokumenttien tekeminen on lähes mahdotonta ja valmistusvaiheiden jäljitettävyys ja todentaminen valmistuksen laadukkuudesta erittäin vaikeaa. Sopimusvaiheessa olisi pitänyt jo sopia pelisäännöt, miten dokumentointi ja muut todistelut laaditaan. Käyttökokemukset komponenttien käytöstä ja niiden sopivuudesta olisi hyvä selvittää myös perussuunnitteluvaiheessa. Näin varmistuttaisiin sopivuudesta ydinvoimalaolosuhteisiin.

7.3 Parannusehdotuksia kelpoistuksen tekemiseen

Vaatimusmäärittelyn tavoite on kuvata polttoaineen siirtokoneen sähköjärjestelmä ja automaatiojärjestelmä niin tarkasti, että suunnittelu on helppo tehdä vaatimusmäärittelyn mukaisesti. Tässä polttoaineen siirtokoneen tapauksessa vaatimusmäärittelyä ei ollut tehty riittävän hyvin, samoin suunnittelu on tästä johtuen ollut hankalaa. Vaatimusmäärittelyyn suosittelen seuraavissa projekteissa luvanhaltijan parempaa ja kattavampaa työpanosta ja tarkempia vaatimusmäärittelyjä laitteen suunnittelua varten. Tällä tavalla suunnittelu ja sen kelpoistus voidaan hoitaa nopeammin ja paremmin.

Vastuut, mikä on laitevalmistajan vastuu, mikä on TVO:n vastuu, onko vastuunjako selvä laitevalmistajan ja tilaajan välillä?

Vastuu polttoaineen siirtokoneen kelpoistamisesta on laitossopimuksessa ostettu laitostoimittajalta. Kelpoistamisen dokumenttien teossa on ollut puutteita ja yhteistyötä luvanhaltijan ja laitostoimittajan välillä ei ole ollut riittävässä määrin.

Dokumentaation puuttuminen ja dokumentoinnin huono laatiminen valmistusvaiheessa ovat viivästäneet projektia.

Tulevaisuuden projekteissa suosittelen seuraavaa:

1) Yhteistyötä luvanhaltijan ja laitostoimittajan välillä hyvin aikaisessa vaiheessa, niin ettei vastuu ole kokonaan laitostoimittajalla tai luvanhaltijalla. Laitostoimittajan asiantuntemus yhdistettynä luvanhaltijan asiantuntemukseen antaa paremman lopputuloksen, kuin pelkästään laitostoimittajan näkemyksien mukaan toimiminen.

2) Selkeämpiä määrityksiä laitossopimukseen luvanhaltijan ja laitostoimittajan välisistä vastuista ja rajapinnoista.

3) Polttoaineen siirtokoneen kelpoistamisessa on myös ilmennyt YVL-ohjeiden tulkintaerimielisyyksiä luvanhaltijan ja Säteilyturvakeskuksen välillä. Tätä asiaa voitaisiin parantaa esim. seuraavasti:

3.1) YVL-ohjeiden tulkinnasta voitaisiin järjestää koulutusta, kouluttajana toimisi Säteilyturvakeskuksen henkilöstö.

3.2) Säteilyturvakeskuksen kanssa voitaisiin käydä kahdenvälisiä neuvotteluja ja kysyä tulkintoja YVL-ohjeista, jotka liittyvät kelpoistamiseen.

3.3) Puhelinkeskustelut ennen aineistojen lähettämistä Säteilyturvakeskuksen kanssa olisivat hyödyllisiä kelpoistuksen nopeuttamisessa.

3.4) Malliesimerkkien tai ennakkolähetysten tai epävirallisten lähetysten käsittely ennen varsinaista lähetystä auttaisi kelpoistuksen nopeuttamiseen.

3.5) Varsinaisen dokumenttien hyväksyntäkäsittelyn aikana olisi hyvä pitää yhteisiä neuvotteluja laitostoimittajan, luvanhaltijan ja säteilyturvakeskuksen välillä.

Lisätutkimusaiheita asian tiimoilta ovat esim. ohjelmiston ja ohjelmoitavien logiikoiden kelpoistaminen sekä mekaanisten komponenttien kelpoistaminen. Yksittäisten sähkö- ja automaatiokomponenttien kelpoistamisen helpottamiseksi kannattaisi tässä vaiheessa etsiä listoja jo kelpoistetuista komponenteista.

Listojen perusteella voitaisiin määritellä sellaiset komponentit, joiden vaihtaminen jo kelpoistettuihin komponentteihin olisi mahdollista. Tässä työssä ei näitä aiheita käsitelty, mutta ennen kuin polttoaineen siirtokone pystytään kelpoistamaan käyttötarkoitukseensa, näiden asioiden kelpoistaminen on tehtävä. Ohjeistus kelpoistuksen suhteen on edelleen myös puutteellista, joten ohjeistuksen laatiminen olisi hyvä tehdä luvanhaltijalle ja sitä noudattaa myös tulevissa projekteissa.

Tämä työ on esimerkki polttoaineen siirtokoneen kelpoistuksesta. Kaikilla järjestelmillä kelpoistusprosessi ei mene samalla tavalla, vaan niissä on järjestelmäkohtaisia eroavaisuuksia. Tämän opinnäytetyön johtopäätöksissä esitettyä mallia voidaan käyttää tulevaisuudessa TVO:lla erillisjärjestelmien kelpoistuksen pohjana ja mallina.

LÄHTEET

Automaatioseura ry, Automaatiosovellusten ohjelmistokehitys suunnittelun työtavat, välineet ja sovellusarkkitehtuurit

Decoupling Requirements for Safety Classified Cranes & Fuel Handling Systems, NLE-F DC 265, Rev. E, 2012-01-19, https://dmsol3.tvo.fi/kronodoc/OL3/OL3-0001087158, luottamuksellinen

Design Requirements for the Electrical and I&C Design and Layout of SC 3 classified Black Boxes, Rev. F, 2009-04-14, https://dmsol3.tvo.fi/kronodoc/OL3/OL3-0000002160, luottamuksellinen

Eurasto T., Hyvärinen J., Järvinen M-L., Sandberg J., Sjöblom K-L, Ydinvoimalaitostekniikan perusteita, Säteilyturvakeskuksen www-sivut, viitattu 7.5.2012, www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/.../kirjasarjaV_ydinturvallisuus_2.pdf, 64.)

Koneturvallisuusdirektiivi 98/37/EY / 22.6.1998, http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31998L0037:fi:NOT ja 2006/42/EY / 17.5.2006 http://eurlex.europa.eu/JOHtml.do?uri=OJ:L:2006:157:SOM:FI:HTML

OL3 FTF, SFMB, RM, NFE, AC - Qualification plan for SC3 electrical and I&C Systems, NLZ-F DC 117, Rev. E, 2012-01-19, https://dmsol3.tvo.fi/kronodoc/OL3/OL3-0000770512, luottamuksellinen

Olkidoc tunnus 128916, Kopra Kimmo, laadittu 20.5.2011, viitattu 17.1.2012, luottamuksellinen

Refuelling Machine - Assessment of conventional risks, NLN-F DC 17, Rev. H, 2012-01-24, https://dmsol3.tvo.fi/kronodoc/OL3/OL3-0001078616, luottamuksellinen

Refueling machine - Requirement Specifications for I&C, PELO-F DC 1, Rev. D, 2012-01-20, https://dmsol3.tvo.fi/kronodoc/OL3/OL3-0001722301, luottamuksellinen

Refuelling Machine - Specification of Software Safety Functions, NLN-F DC 15, Rev. E, 2012-01-20, https://dmsol3.tvo.fi/kronodoc/OL3/OL3-0001213960, luottamuksellinen

Refueling Machine - System Description, EYTM-100185, Rev. J, 2012-01-31, https://dmsol3.tvo.fi/kronodoc/OL3/OL3-0000043135, luottamuksellinen

Refuelling Machine List of I&C Functions, Sensors and Actuators, NLN-F DC 49, Rev. F, 2012-01-20, https://dmsol3.tvo.fi/kronodoc/OL3/OL3-0001078614, luottamuksellinen

Refueling Machine Postulated Initiating Events Jeopardizing Nuclear Safety Functions and Functional Requirements for the Safety I&C, EYTM-100482, Rev. N, 2012-01-24, https://dmsol3.tvo.fi/kronodoc/OL3/OL3-0000262956, luottamuksellinen

Refuelling Machine System description of I&C, NLE-F DC 70, Rev. K, 2012-01-20, https://dmsol3.tvo.fi/kronodoc/OL3/OL3-0000262959, luottamuksellinen

Reinman L., STUK 23.9.2003, YK1, Ydinturvallisuus Osa 1, luento 1.9 ja Juhani Hyvärinen, STUK 26.9.2003, YK1, Ydinturvallisuus Osa 4, luento 1

Seskon www-sivut, viitattu 4.4.2012 Teollisuusautomaation standardit - Osio 4, www.sesko.fi/attachments/ohjeet/osio_4.pdf

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

System Quality Plan for SC3 Self Standing Systems - Fuel Handling Systems & Fuel Building crane, PELO-F DC 2, Rev. D, 2012-01-19, https://dmsol3.tvo.fi/kronodoc/OL3/OL3-0001722300, luottamuksellinen

Sähkö- ja varavoimajärjestelmät (Ohje YVL 5.2 / 24.6.2004), Perehdytys YVL-säännöstöön Olkiluoto 13.1.2011 Riku Reinivaara, Tapani Eurasto

Teollisuuden Voiman www-sivut. Viitattu 29.1.2012. http://www.tvo.fi/

Teollisuuden Voiman www-sivut. Viitattu 29.1.2012. http://www.tvo.fi/uploads/File/yksikot-OL1-OL2.pdf

Teollisuuden Voiman www-sivut. Viitattu 20.2.2012, http://www.tvo.fi/uploads/File/2010/OL3_esite_FI.pdf

TUKES www-sivut, viitattu 26.1.2011, tukes.fi/Tiedostot/kemikaalit.../Turva-automaatio_prosessiteollisuudessa.pdf

Wahlström, K. 2011. Laitteiden ja järjestelmien kelpoistaminen ydinvoimarakentamisessa. Viitattu 31.1.2011. http://www.lahtimechatronics.fi/filebank/1865-02_Kim_Wahstrom_esitys_Lahti_%5BYhteensopivuustila%5D.pdf

VTT:n www-sivut, viitattu 4.4.2011, Turvallisuuteen liittyvä automaatio, luento 9, virtual.vtt.fi/alarp/aineisto/luento-09-moduuli-02-x4a.pdf

Työssä on käytetty seuraavia YVL-ohjeita:

YVL 2.0 http://www.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/YVL2-0

YVL 2.1 http://www.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/YVL2-1

YVL 2.2 http://www.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/YVL2-2

YVL 2.7 http://www.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/YVL2-7

YVL 2.8 http://www.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/YVL2-8

YVL 5.2 http://www.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/YVL5-2

YVL 5.5 http://www.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/YVL5-5

YVL 5.8 http://www.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/YVL5-8

YVL 6.2 http://www.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/YVL6-2

YVL 6.4 http://www.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/YVL6-4

YVL 6.5 http://www.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/YVL6-5

YVL 6.7 http://www.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/YVL6-7

YVL 6.8 http://www.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/YVL6-8

Työssä on käytetty seuraavia standardeja:

IEC 60780, 1998-10-16, Nuclear power plants - Electrical equipment of the safety system - Qualification, 59 sivua

IEC 60880, 2006-05-09, Nuclear power plants - Instrumentation and control systems important to safety - Software aspects for computer-based systems performing category A functions, 217 sivua

IEC 61226, 2009-07-08, Nuclear power plants - Instrumentation and control important to safety - Classification of instrumentation and control functions, 64 sivua

EN IEC 61508, 2010-04-01, Functional safety of electrical/electronic, programmable electronic safety related systems, 1000 sivua

EN IEC 61508-1, 2010-04-30, Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems - Part 1: General requirements, 127 sivua

EN IEC 61508-2, 2010-04-30, Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems - Part 2: Requirements for electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems, 187 sivua

IEC 61513, 2011-08-25, Nuclear power plants - Instrumentation and control important to safety - General requirements for systems, 205 sivua

IEC 62061, 2005-01-20, Safety of machinery: Functional safety of electrical, electronic and programmable electronic control systems, 205 sivua

IEC 62138, 2004-01-16, Nuclear power plants - Instrumentation and control important to safety - General requirements for systems, 95 sivua

KTA 2201.4 (6/00), Design of Nuclear Power Plants against seismic events; Part 4: Requirements for procedures for verifying the safety of mechanical and electrical components against earthquakes, www.kta-gs.de/e/standards/2200/2201_4e.pdf

KTA 3902 (6/99), Design of Lifting Equipment in Nuclear Power Plants, www.kta-gs.de/e/standards/3900/3902-e.pdf

KTA 3903 (6/99), Inspection, Testing and Operation of Lifting Equipment in Nuclear Power Plants, www.kta-gs.de/e/standards/3900/3903e.pdf

SFS-EN 62061, 2005-01-20, Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control system, 197 sivua