

Menetelmäkuvaus inhimillisperäisten  
vikaantumisten ja yhteisvikojen  
järjestelmällisestä tutkinnasta  
voimalaitoksen kunnossapitohistoriasta.

Tilaaja: SAFIR/PPRISMA. Riskitietoisien turvallisuuden-  
hallinnan periaatteet ja käytännöt.

Julkinen	X	Rekisteröidään VTT:n tutkimusrekisteriin JURE:een	X
Luottamuksellinen	saakka / pysyvästi		
Sisäiseen käyttöön			
<b>Raportin nimi Menetelmäkuvaus inhimillisperäisten vikaantumisten ja yhteisvikojen järjestelmällisestä tutkinnasta voimalaitoksen kunnossapitohistoriasta.</b>			
Toimeksiantaja/rahoittaja ja tilaus pvm/nro SAFIR/PPRISMA. Riskitietoisien turvallisuuden hallinnan periaatteet ja käytännöt.		Raportin numero VTT-R -00948-07	
Projektin nimi. Kunnossapito- ja käyttökuntoisuusstrategiat		Suoritteen numero 3590	
Laatija(t) Kari Laakso, VTT/TUO		Sivujen/ liitesivujen lukumäärä 26/2	
<b>Avainsanat</b> Inhimilliset virheet, vikakorjaukset, yhteisviat, vika- ja kunnossapitoanalyysit, kunnossapito, käyttökuntoisuus, turvallisuus, ydinvoimalaitokset			
<b>Tiivistelmä</b> Tämä raportti sisältää menetelmäkuvauksen inhimillisperäisten vikaantumisten ja yhteisvikojen järjestelmällisestä tutkinnasta voimalaitoksen kunnossapitohistoriasta. Esimerkkikohteena virheiden tunnistamiselle, tutkinnalle sekä analyysitietojen käsittelylle ja tulosten esittämiselle on Loviisan voimalaitoksen kunnossapitohistoria.  Menetelmäkuvaus perustuu inhimillisten virheiden ja yhteisvikojen tutkintaa varten tarvittujen menetelmien kehitykseen ja käyttöön Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten 1990 luvun puolivälistä alkaen tehdyissä VTT:n analyysisovelluksissa. Käytettyjä tutkimusmenetelmiä ja tietorakennetta on sen jälkeen yksinkertaistettu käytännön analyysikäyttöön Loviisan ja Olkiluodon voimalaitosten ylläpidon ja kunnossapidon kanssa vuonna 2004 ja 2006 tehtyjen in-kind tutkimusten yhteydessä.			
Espoo, 31.1.2007			
Teknologiapäällikkö		Kari Laakso Erikoistutkija	Tarkastanut
Jakelu (asiakkaat ja VTT):			
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>			

**VTT TUOTTEET JA TUOTANTO**

 Tekniikantie 12, Espoo  
 PL 1301, 02044 VTT

 Puh. (09) 4561  
 Faksi (09) 456 6752

 etunimi.sukunimi@vtt.fi  
 www.vtt.fi/tuo  
 Y-tunnus 0244679-4

## Alkusanat

Tämä menetelmäkuvausraportti tehtiin osana tutkimusprojektia ”Riskitietoisien turvallisuudenhallinnan periaatteet ja käytännöt, PPRISMA” suomalaisten ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimusohjelmassa SAFIR. Menetelmäkuvausten tekeminen inhimillisperäisten vikaantumisten ja yhteisvikojen tutkintaa varten sisältyi PPRISMA-projektin osaprojektiin ”Kunnossapito- ja käyttökuntoisuusstrategiat”. Siinä kohteena olevat kunnossapitohistorian tutkimukset tekivät Fortum Power & Heat Oy:n Loviisan voimalaitoksen ylläpitöryhmän kehitysinsinööri Marko Leinon kanssa VTT:n allekirjoittanut erikoistutkija Kari Laakso ja Teollisuuden Voima Oy:n Olkiluodon voimalaitoksen kunnossapitotoimiston Veli-Matti Inkisen ja käyttöturvallisuustoimiston Olavi Hanskin kanssa Kari Laakso ja VTT:n tutkija Ilkka Männistö. Esimerkkiaineisto saatiin Loviisan voimalaitoksen tietojärjestelmän (LOTI) kunnossapitohistoriasta.

Menetelmäkehityksessä on voitu integroida tutkimuksen ja käytännön välistä yhteyttä kunnossapidon yhteydessä esiintyvistä virheistä oppimiseksi sekä tutkintamenetelmien osalta että virheiden estämiseksi ja myös analyysitiedon tuottamiseksi turvallisuusanalyysijä varten.

Espoo, 31.1.2007

Tekijä

# Sisällysluettelo

1	Johdanto ja tavoitteet	5
2	Tutkittavien historiatietojen laajuus	6
3	Peruskäsitteet ja määritelmät	7
3.1	Johdanto vikakäsitteisiin	7
3.2	Keskeiset käsitteet	8
4	Menetelmä ja sen kulku	10
4.1	Kunnossapitohistoriajärjestelmä	10
4.2	Tutkittavien vikahistoriatietojen karsintaprosessi	13
4.3	Työmääräintietojen analysoiminen ja luokittelu	14
4.4	Yhteisvika-ehdokkaiden tunnistaminen	17
4.5	Virheiden sekä niiden tekijöiden tilastollinen käsittely ja tarkastelu	17
5	Inhimillisperäisten yhteisvikojen analyysi	19
5.1	Yhteisvikaluokat	19
5.2	Yhteisvian sekä esteiden analysointi ja luokittelu	19
5.3	Yhteisvika-analyysien kulku	23
5.4	Yhteisvikojen turvallisuusmerkityksen tarkastelu	25
5.5	Yhteisvikojen sekä niiden tekijöiden tilastollinen käsittely ja tarkastelu	26
	Lähdeviitteet	27
	Liite_A_B_C.xls	28
	Virheanalyysijä	
	Yhteisvikaehdokkaita	
	Inhimillisperäisten yhteisvikaehdokkaiden virheanalyysitietoja	
	Liitteet C1-C8: Kunnossapitotapahtumaraportteja	

## Kuvat

Kuva 1. Malli virheen syntymisestä ja etenemisestä tarkastusten läpi vikaantumiseksi. Jokaisen esteen avulla pyritään havaitsemaan mahdollisia virheitä ja piileviä vikoja ja siten vähentämään epäkäytettävyyttä, mutta esteillä voidaan myös aiheuttaa uusia vikoja. .....	5
Kuva 2. Virheen aiheuttamat vikaantumisprosessit ja sen havaitseminen testillä. ....	10
Kuva 3. Yksittäisten virheiden jakautuminen eri laitelajeihin koneteknisissä laitteissa. ....	18
Kuva 4. Esimerkki kunnossapitotapahtumaraportista. ....	22
Kuva 5. Inhimillisperäisten yhteisvikojen analyysin suunniteltu kulku. ....	24
Kuva 6. Esimerkki laitoksen käyttötiloista, joissa vuosihuoltoseisokeista peräisin olevat yhteisvikojen viat on havaittu (jaksolla 1995-97). ....	26

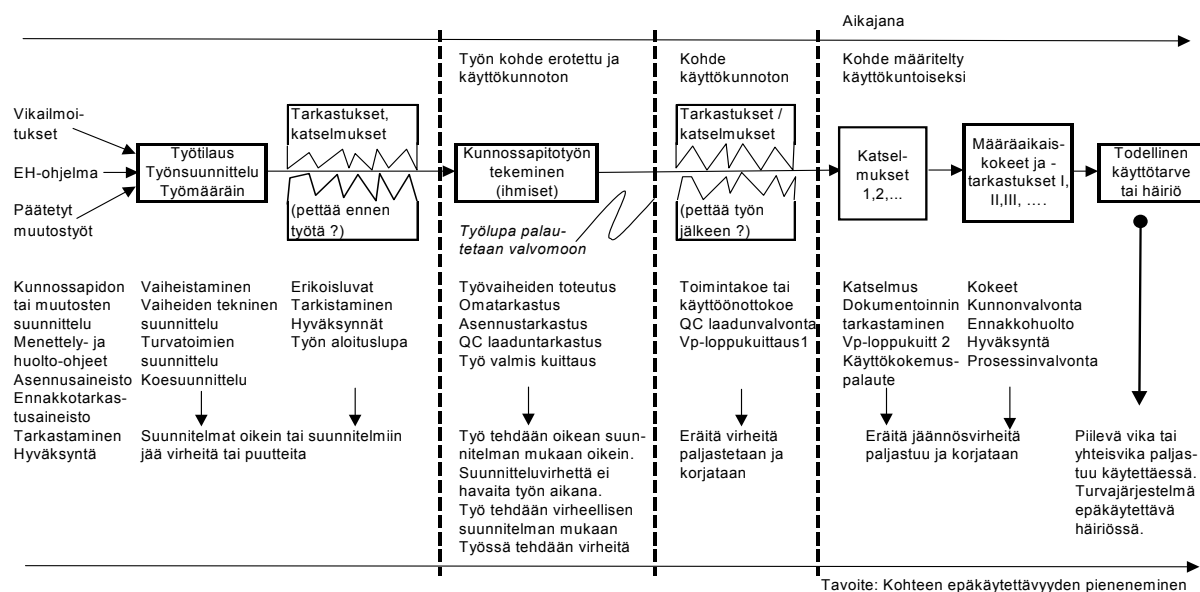
## Taulukot

Taulukko 1. Eräiden keskeisten käsitteiden määrittely. ....	8
Taulukko 2. Vian syyluokat (S), yleinen ryhmä Loviisan voimalaitoksen vikakorjaustöiden palautetiedoissa. ....	11
Taulukko 3. Vian todennäköisen syntyhetken luokittelu (C) LOTI:n palautetiedoissa. ....	11
Taulukko 4. Vian havaitsemistavan luokittelu (A) LOTI:n palautetiedoissa. ....	12
Taulukko 5. Inhimillisperäisten vikaantumisten määrät vuonna 2003 jaoteltuina kunnossapitohenkilöstön tekemän luokittelun mukaisesti. ....	14
Taulukko 6. Virheet kunnossapidon yhteydessä laitevikojen aiheuttajina. Luokittelumalli esimerkkeineen. ....	15
Taulukko 7. Luokat työtehtäville, joista virheet lähtöisin. ....	16
Taulukko 8. Periaatteet, joita sovelletaan luokiteltaessa inhimillisperäisiä vikaantumisia. ....	19
Taulukko 9. Yhteisvikojen perussyiden luokittelumalli. ....	20
Taulukko 10. Operatiiviset ja organisatoriset esteet. ....	21
Taulukko 11. Esimerkki toiminnallisesti kriittisten yhteisvikojen lajittelusta turvallisuusmerkityksensä mukaan. ....	25

# 1 Johdanto ja tavoitteet

Tehtävässä ”Inhimillisten virheiden, yhteisvikojen ja niiden esteiden tutkintamenettelyt” on tarkoituksena ollut tutkia kunnossapitohistoriasta virheitä, yhteisvikoja sekä niiden esteitä voimalaitoksen kunnossapitotoiminnassa. Aikaisemmat tutkimukset ja kokemus [Laakso, Pyy, Reiman 1998, Laakso 2006] ovat osoittaneet, että häiriöitä edeltävät puutteet ja virheet kunnossapitotoiminnassa voivat vaikuttaa häiriön vakavuuteen esimerkiksi estämällä turvallisuuden kannalta tärkeän laitteiston toiminnan tarvetilanteessa. Erityisesti moninkertaiset turvallisuusjärjestelmien viat (yhteisviat, common cause failures) voivat vaikuttaa merkittävästi reaktorisydämen vaurioitumisen todennäköisyyteen.

Tälle tutkimukselle on siten yhtenä lähtökohtana se, että voimalaitoksen laite tai kohde voi olla määritelty käyttökuntoiseksi, vaikka kohde ei välittömästi olisikaan valmis otettavaksi todellisen tarpeen mukaiseen käyttöön tai pystyisi täyttämään sille määritellyt tehtävät. Tämä ongelma voi johtua kunnossapitotyön virheiden lisäksi monista eri tekijöistä, esimerkiksi töiden jälkeisistä puutteellisista koestuksista, jolloin töistä tai niiden suunnittelusta mahdollisesti seuranneet viat ovat jääneet piileviksi. Siksi onkin hyödyllistä selvittää minkälaisia virheitä pääsee läpi tarkastuksista kunnossapidon yhteydessä ja jää piileviksi vioiksi järjestelmiin niiden epäkäytettävyydeksi. Tässä voidaankin sanoa, että käsite epäkäytettävyys on todennäköisyyspohjainen mitta, kun taas käyttökuntoisuuden käsitettä käytetään deterministisesti ydinvoimalaitosten turvallisuusteknisissä käyttöehdoissa. Tässä tutkimuksessa lähdetäänkin siitä oletuksesta, että asiantuntevan ja järjestelmällisen käyttökokemusanalyysin avulla voidaan laajasta ja hyvin dokumentoidusta vika- ja kunnossapitohistoriatietomassasta tunnistaa ja tutkia merkittävä osa niin sanotuista ”jäännösyhteisvioista” oppimista varten.



Kuva 1. Malli virheen syntymisestä ja etenemisestä tarkastusten läpi vikaantumiseksi. Jokaisen esteen avulla pyritään havaitsemaan mahdollisia virheitä ja piileviä vikoja ja siten vähentämään epäkäytettävyyttä, mutta esteillä voidaan myös aiheuttaa uusia vikoja.

Vuonna 2004 ja 2006 on Loviisan voimalaitoksen kanssa in-kind tutkimuksena analysoitu kunnossapitohistorian tietoja voimalaitoksen tietojärjestelmästä vuosilta 2003 ja 2005 [Leino & Laakso 2005]. Lisäksi vuonna 2006 on Olkiluodon voimalaitoksen kanssa in-kind tutkimuksena analysoitu kunnossapitohistorian tietoja laitejärjestelmästä vuodelta 2005 [Laakso & Männistö 2007]. Tutkimuksissa on etsitty, tunnistettu, kuvattu, luokiteltu ja koottu yhteen kunnossapitotoiminnan yhteydessä esiintyneitä virheitä, jotka ovat johtaneet vikakorjauksiin vuosina 2003 ja 2005. Tätä aikaisemmin oli laajoissa pilottitutkimuksissa tutkittu Olkiluodon voimalaitoksella kunnossapidon yhteydessä esiintyviä virheitä, jotka olivat johtaneet yksittäis- tai yhteisvikaantumisiin vuosina 1992-1994 [Laakso, Pyy, Reiman 1998] ja Loviisan voimalaitoksella vuosina 1995-1997 [Laakso & Saarelainen 2004]. Tavoitteena oli vähentää yhteisvikojen (moninkertaisten) ja toistuvien yksittäisten virheiden sekä laitteiden uudelleenkorjaustarpeiden (rework) määrää oppimisen ja oikeiden toimenpiteiden avulla. Lisäksi oli tarkoitus tuottaa tietoja inhimillisistä virheistä ja yhteisvikoista turvallisuusanalyysjä varten.

Virheisiin ja yhteisvikoihin kohdistuvalla käyttökokemusanalyysillä oli myös menetelmällinen tavoite: Kehittää ja kuvata tutkimusmenetelmästä laitokselle analyysimenettelytapa, jota voidaan käyttää laitoksella rutiininomaisesti tietojärjestelmään kerääntyvien kunnossapitotietojen jaksotettuun analysointiin, tarkasteluun ja yhteenvetoraportointiin sekä hyödyntää oppimiseen ja kunnossapitotoiminnan kehittämiseen.

## 2 Tutkittavien historiatietojen laajuus

Tutkimuksen lähtöaineistona ovat vikahistoriakokemukset koko voimalaitokselta. Mahdollinen onnettomuus, kuten reaktorisydämen vaurioituminen, aiheutuu alkutapahtumasta yhdessä turvallisuusjärjestelmien ja muiden onnettomuuksien estämiseksi ja lieventämiseksi käytössä olevien järjestelmien, epäkäytettävyyden kanssa. Mutta inhimillisperäiset vikaantumismekanismit ja laitteiden uudelleenkorjaustarpeet (rework) voivat olla samanlaisia laitoksen eri osissa, koska kunnossapidon ja muutostöiden suunnittelussa ja hallinnassa noudatettavat rutiinitkin, eräitä tarkastuksia lukuun ottamatta, ovat yhteiset koko laitokselle. Laitospaikan kummastakin laitosyksiköstä ja niiden kaikista osista on siksi haettava laajempi kuin vain turvallisuusjärjestelmiä kattava tietokanta yhteisvikojen ja virheiden tunnistamista, tutkintaa sekä virhemekanismien oppimista ja estämistä varten. Jatkoksi esitetään, että koko laitoksen eri järjestelmien vika- ja kunnossapitotiedoista tarkastellaan turvallisuusluokkiin 1, 2, 3 ja 4 ja kunnossapitoluokkiin 1, 2 ja 3 kuuluvat.

Jaksotetun tutkimuksen lähtötiedoiksi poimitaan voimalaitoksen tietojärjestelmästä tarkasteltavan ajanjakson esimerkiksi yhden kalenterivuoden kunnossapitohistorian vika- ja korjaustiedot. Vuoden aineisto kattaa siten esimerkiksi Loviisan voimalaitoksella muutamia tuhansia vikatöinä tilattuja korjauksia (KK) tai muita muutostöitä (KM), joiden työmääräntiedoista pyritään tunnistamaan inhimillisperäiset vikaantumiset, jotka ovat syntyneet tai esiintyneet kunnossapidon yhteydessä. Kun tarkasteltuja tietoja kerääntyy yhteen useammalta jaksolta niin voidaan myös tarkastella trendejä, samanlaisten virheiden toistuvuutta ja sitä, kuinka erilaiset parantavat tai korjaavat toimenpiteet ovat vaikuttaneet virheiden ja inhimillisperäisten yhteisvikojen esiintymiseen.

Ihmisen toimenpiteiden tärkeydestä huolimatta, ja myös virheellisesti toteutettujen tai puutteellisesti suunniteltujen toimenpiteiden arkaluontoisiksi koetun luonteen ja ihmisen toimintaan vaikuttavien tekijöiden monimutkaisuuden vuoksi, virheitä ei ole vikahistoriassa

osattu tai voitu selvittää syinä yhtä kattavasti kuin teknisiä vikaantumismekanismeja. Virheitä tunnistettaessa ja analysoidessa käytetäänkin siksi tutkimusaineistona myös tietojärjestelmän historiatietoja aikaisemmista huolloista, vikakorjauksista, muutostöistä ja koestuksista samoilla käyttöpaikoilla tai linjoissa vikaantumisten todennäköisen alkuperän ja ajankohdan selvittämiseksi asiantuntija-arviota hyväksi käyttäen.

Yhteisvikoina etsitään aineistosta samalla kertaa yksittäisistä tai useammista selittävien tekijöiden suhteen samanlaisista vikatyömääräimistä moninkertaisia vikaantumisia, jotka ovat esiintyneet samanaikaisesti rinnakkaisten linjojen tai redundanssien vastaavilla käyttöpaikoilla tai laitosten kesken. Aineistosta tunnistetaan siten erilaisia yhteisvikatapausten ehdokkaita jatkoanalyysiä varten.

Inhimillisperäisiä yhteisvikoja voidaan myös etsiä laitoksen tekemistä erikoisraporteista sekä perussyyanalyyseistä. Kunnossapitohistoriasta tunnistettuja yhteisvikaehdokkaita verrataan aina voimalaitoksen käyttötapahtumaraporttikantaan, jolloin samojen tapahtumien tapauksissa laitoksen käyttötapahtumaraportointi tiedot hyödynnetään tutkimusaineistona lukemalla ne.

## 3 Peruskäsitteet ja määritelmät

Seuraavassa esitetään peruskäsitteet ja määritelmät, joita käytetään kunnossapitotietojen ja virheiden järjestelmällisessä tutkinnassa.

### 3.1 Johdanto vikakäsitteisiin

Termiä inhimillisperäinen vikaantuminen käytetään tässä raportissa kuvaamaan eri syitä sille, kuinka ja miksi ihmisen väärät, puutteelliset tai toteuttamatta jättämät toimenpiteet ilmenevät ihminen- tekniikka- organisaatiojärjestelmässä. Kirjoittaja on tietoinen inhimillisperäisen vikaantumisen ja virheen käsitteiden monipuolisuudesta ja ihmisen toimintaan vaikuttavien tekijöiden monimutkaisuudesta. Inhimillistä virhettä käsitellään tässä tutkimuksessa siitä näkökulmasta, miten ja miksi ihminen aiheuttaa virheitä laitteeseen tai järjestelmään ja kuinka virheet vaikuttavat kohteena olevan laitteen tai teknisen järjestelmän toimintaan tai toimintakykyyn.

Ihmisen virhe on kansainvälisessä sähköteknisessä standardissa määritelty ihmisen toimenpiteenä, joka tuottaa epäonnistuneen tuloksen [IEC 50(191) 1990]. Monissa tapauksissa vain toimenpiteiden seuraukset osoittavat onko toimenpide oikea vai väärä [Rasmussen 1979]. Reason 1990 on määritellyt inhimillisen virheen epäonnistumisena suunnitellun toiminnan lopputuloksessa ilman jonkin odottamattoman tapahtuman esiintymistä. Reasonin esittämässä lähestymistavassa etsitään keinoja estää onnettomuuksia tai häiriöitä monimutkaisissa järjestelmissä kehittämällä erilaisia virheiden etenemistä estäviä suojausmekanismeja (defensive barriers). Inhimillinen virhe saattaa tapahtua organisaation millä tasolla tahansa [Oedewald 2001].

Inhimillisperäisiä vikaantumisia analysoidessa on ihmisen toimenpiteiden välinen riippuvuus käsitteenä tärkeä. Tässä sillä tarkoitetaan sitä, kuinka yhden toimenpiteen onnistuminen tai virheellisyys voidaan liittää joidenkin toisten toimenpiteiden onnistumiseen tai epäonnistumiseen. Kaksi tehtävää A ja B ovat toisistaan riippumattomia, jos tehtävän B



epäonnistumisen (tai onnistumisen) todennäköisyys on samansuuruinen tehtävän A epäonnistumisesta huolimatta. Kaikissa muissa tapauksissa riippuvuus on olemassa.

Toistuvien ihmisen toimenpiteiden välillä voi todennäköisyysriippuvuus ilmetä kahdella eri tavalla:

- Toistuvien virheellisten toimenpiteiden todennäköisyys vähenee, kun ihminen havaitsee virheen ja oppii siitä,
- Toistuvien virheellisten toimenpiteiden todennäköisyys kasvaa, kun ihminen ei opi virheestä vaan toistaa sen.

Mikäli epätoivotut seuraukset näkyvät heti toimenpiteen jälkeen on epätodennäköistä, että virhe toistetaan. Tärkein ryhmä ihmisen toimenpiteistä, jotka aiheuttavat riippuvuutta, on se, jonka aiheuttamista epätoivotuista seurauksista ei saada välitöntä palautetta, vaan seuraukset jäävät piileviksi. Eräät yhteisvikamekanismit kuten esimerkiksi ”väärän voiteluaineen valinta” vian aiheuttajana ja siitä seuraava vikaantumisprosessi ”venttiilin karan liikkeen jäykistyminen” voivat jäädä havaitsematta koestuksessa, joka tehdään välittömästi huolto- tai korjaustoimenpiteen jälkeen [Hänninen & Laakso 1992].

## 3.2 Keskeiset käsitteet

Ongelmalliset riippuvat inhimillisperäiset vikaantumiset jaetaan tässä tutkimuksessa toiminnallisesti kriittisiin yhteisvikoihin (CCF = Common Cause Failures) ja toiminnallisesti epäkriittisiin yhteisvikoihin (CCN = Common Cause Non-Critical Failures) [Laakso, Pyy, Reiman 1998]. Toiminnallisesti epäkriittiset yhteisvikat ovat myös kiinnostavia, koska ne paljastavat virhemekanismia ja vikaantumisprosesseja, jotka voivat johtaa tai johtavat edetessään laitteiden tai järjestelmien toimintakykyyn vaikuttaviin varsinaisiin yhteisvikoihin.

*Taulukko 1. Eräiden keskeisten käsitteiden määrittely.*

**Inhimillinen virhe (human error).** Ihmisen toimenpiteen epäonnistuminen inhimillisistä virhemekanismeista johtuen. Kirjallisuudessa on virheinä myös käsitelty puutteellista tehtävästä suoriutumista silloin kun toimijalla tai ryhmällä olisi kykynsä, tietonsa tai taitonsa perusteella ollut edellytykset suorittaa tehtävä onnistuneesti tavoitteiden tai annettujen vaatimusten mukaisesti. Tässä tutkimuksessa tarkastellut virheet voidaan vasta havaita, kun ne ovat tuottaneet epätoivotun tuloksen esimerkiksi kohteen toiminnan vikaantumisen. Virheellinen toimenpide voi ilmetä esimerkiksi siten, että paine-eromittauksen impulssiputket on kytketty virheellisesti ristiin dokumentaation tai tiedon puutteen tai huolimattomuuden vuoksi ja työn yhteydessä ei ole tarkistettu onko kytkennät tehty oikein. Virhe unohduksesta johtuen ilmenee esimerkiksi työn edellyttämien turvatoimien kuten impulssiventtiilien asennon palautusten toteuttamatta jättämisenä painekokeiden suorituksen jälkeen. Virhe kuten virheiden estäminenkin voi tapahtua millä organisaation tasolla tahansa, mutta virhe realisoituu kohteeseen toimijan tasolla.

**Vikaantuminen (failure)** on tapahtuma, jossa kohteelta vaadittu toiminta tai toimintakyky päättyy. Huomaa, että vikaantuminen on tapahtuma, mikä erottaa sen ”viasta = fault, defect”, mikä tarkoittaa tilaa, jolloin kohteessa on poikkeama vaadituista ominaisuuksista. [katso esim. EN 13306 1999]. Kohteeseen kohdistuva

virheellinen toimenpide tai oikean toimenpiteen toteuttamatta jättäminen voi aiheuttaa kohteen vikaantumisen, toiminnallisesti epäkriittisen tai kriittisen.

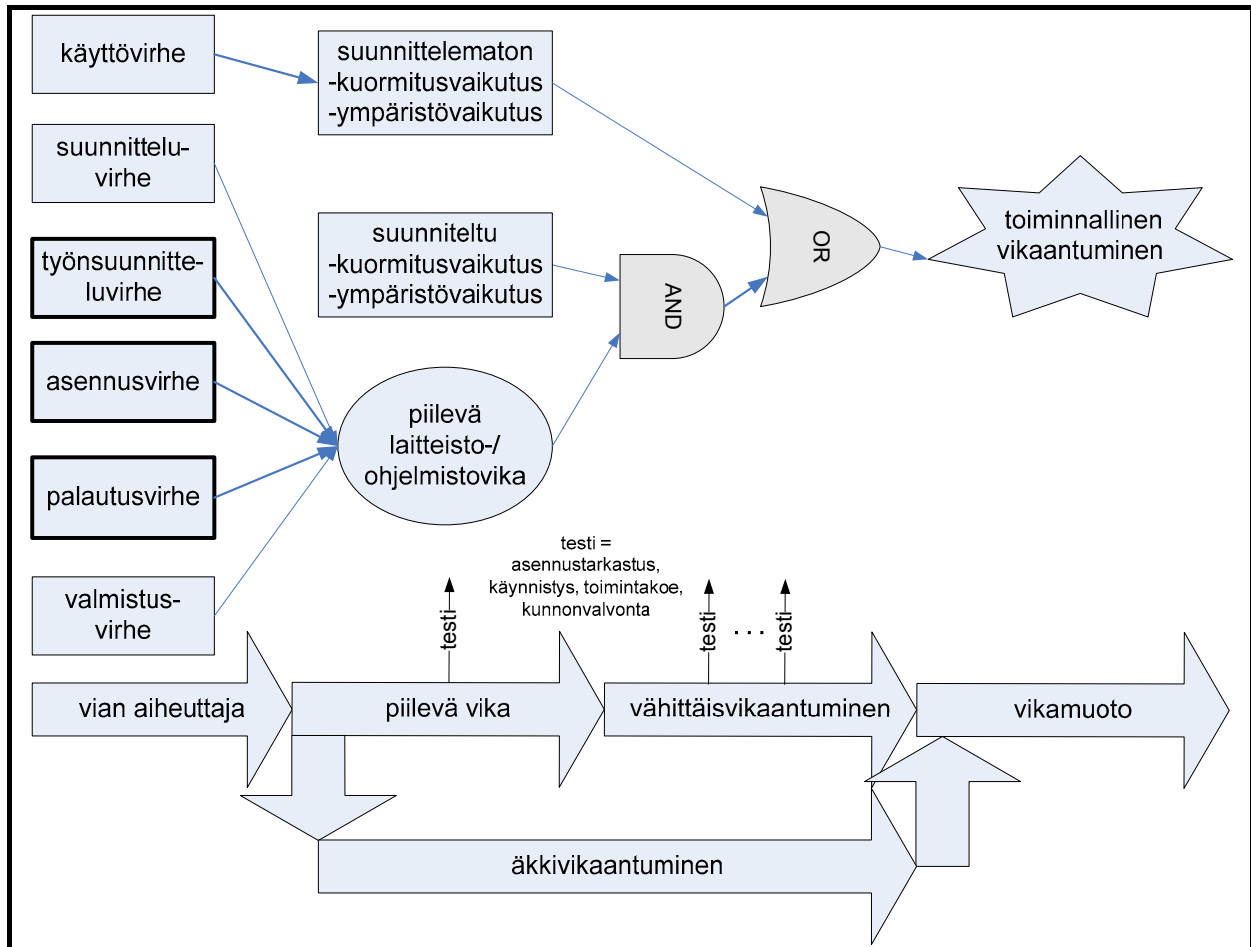
**Inhimillisperäinen vikaantuminen (human failure, human failure event).** Ihmisen tai ihmisten tahaton tai tarkoituksellinen toimenpide aiheuttaa kohteen välittömän toiminnallisen vikaantumisen tai synnyttää siihen vähittäisvikaantumisen joka kehittyessään johtaa kohteen toiminnan päättymiseen tai toimintakyvyn estymiseen. Inhimillisperäisen vikaantumisen seurauksena kohteessa ilmenee vikatilanne, jossa kohteen kuten laitteen tai teknisten järjestelmän toiminta päättyy, estyy, häiriintyy tai toimintakyky tai kunto poikkeaa vaadituista ominaisuuksista.

**Vika (failure).** Jos ei haluta eritellä ilmiöitä yksityiskohtaisesti voidaan kolmen kohteeseen liittyvän eri vikäkäsitteen vika, vikaantuminen, ja vikatilanne sijasta käyttää "vikaa" yleiskäsitteenä, kuten esimerkiksi on vakiintunut käsitteelle "yhteisvika" [katso esim. SFS 3750 1986].

**Yhteisvika (common cause failure).** Yhteisvikat (CCF) ovat samanlaisia vian syitä, aiheuttajia tai vikaantumismekanismeja, joista seuraa tai on seurannut samanaikaisesti vikaantuminen kahdella tai useammalla rinnakkaisella laitepaikalla, rinnakkaisissa linjoissa, kiskoissa, redundansseissa tai redundantisissa osajärjestelmissä todellisissa tarvetilanteissa (ovat kyvyttömiä toimimaan oikein tarvetilanteessa eli ovat toiminnallisesti kriittisiä).

**Epäkriittiset yhteisvikat (common cause non-critical failures).** Toiminnallisesti epäkriittiset yhteisvikat (CCN) ovat samanlaisia vian syitä, aiheuttajia tai mekanismeja, joista on seurannut rinnakkaisiin kohteisiin samanaikaisia puutteita tai poikkeamia vaadittuihin ominaisuuksiin verrattuna. Kehittyessään nämä yhteisvikojen esimuotomekanismit kuten esimerkiksi lievät puutteet laitteiden kunnossa, kapasiteetissa tai valvontainstrumenteissa voivat vähitään johtaa toiminnallisesti kriittisiin yhteisvikoihin. Epäkriittisiä yhteisvikoja ovat vaikutuksiltaan myös ne vuosihuoltotoista peräisin olevat laatuvirheet tai tehtävien unohdukset, jotka ehditään havaita ja korjata ajoissa reaktorin ollessa sammutettuna tai turpiinin seisokissa sellaisissa järjestelmissä, joiden toimintakykyä tarvitaan vasta edettäessä korkeampiin käyttötiloihin. (kuten esimerkiksi siirryttäessä ydinlämmitykseen tai tehoajolle). CCN vikaantumisia voi siten pitää varhaisina varoittajina syistä ja mekanismeista, jotka edelleen kehittyessään tai edetessään havaitsematta ja estämättä johtaisivat toiminnallisesti kriittisiin yhteisvikoihin.

Seuraavassa kuvassa 2 on esitetty erilaisten virheiden aiheuttamia vikaantumisprosesseja. Virhe, kuten työnsuunnittelu-, asennus- tai palautusvirhe kunnossapidon yhteydessä, voi aiheuttaa joko välittömän kriittisen eli toiminnallisen vikaantumisen, joka voidaan havaita esimerkiksi laitteen käynnistyksessä tai toimintakokeessa tai alkavan epäkriittisen vian, joka käynnistää vähittäisvikaantumisen. Kuormitus- ja ympäristö-vaikutuksista sen jälkeen etenevä vähittäisvikaantuminen voidaan usein havaita tehokkaalla testillä esimerkiksi toimintakokeella, määräaikauskokeella tai kunnonvalvonnalla ennen kuin siitä kehittyä kriittinen eli toiminnallinen vika.



Kuva 2. Virheen aiheuttamat vikaantumisprosessit ja sen havaitseminen testillä.

## 4 Menetelmä ja sen kulku

Seuraavassa kappaleessa esitetään menettelytapa, jota käytetään vika- ja kunnossapitohistorian järjestelmällisessä tutkinnassa. Tutkinta kohdistetaan vähintään kahden tai useamman vuoden kunnossapitohistoriatietokantaan kerrallaan yhdistämällä siihen aina tuoreimman vuoden analyysitietokanta lisää voimalaitoksen tietojärjestelmästä tutkien.

### 4.1 Kunnossapitohistoriajärjestelmä

Kunnossapitohistorian osajärjestelmä voimalaitoksen tietojärjestelmästä, [LOTI] sisältää Loviisan voimalaitoksen tapauksessa vika- ja korjaushistorian sekä käyttöpaikka- (KZ) ja laitenumero- (Lno) kohdehistorian. Käyttöpaikkakohtainen historia koostuu vioista, korjauksista, ennakkohuolloista, määräaikaikokeista ja muutostöistä. Laitostietojärjestelmä sisältää laitetiedot sekä kattavaa ja dokumentoitua kunnossapidon kokemustietoa runsaasti melkein 20:n vuoden ajalta.

Kunnossapito- ja käyttöhenkilöstö kirjaa työtilaus-, vika- ja korjaustiedot tietojärjestelmään. Kunnossapitohenkilöstö luokittelee työmääräimien palautetiedot, sen lisäksi käyttö kirjaa töiden prosessivaikutustiedot tietojärjestelmään. Kunnossapidon suunnittelu- ja ohjausjaos tarkastaa ajantasaisesti työtilausten ja työmääräimien palautetietojen laadun tietojärjestelmästä

sekä täydentää omalta osaltaan tietoja laitoksella noudatettavan työtilaus-, työsuunnittelu- ja työmääräinrutiinin mukaisesti. Laitoksen vikakorjaustyömääräimien palautetiedoissa on annettu vikojen syyluokittelu. Tämä niin kutsuttu S- luokittelu on nähtävissä seuraavassa taulukossa 2.

*Taulukko 2. Vian syyluokat (S), yleinen ryhmä Loviisan voimalaitoksen vikakorjaustöiden palautetiedoissa.*

<p>A VARUSTUS JA RAKENNE</p> <p>AA Konstruktio</p> <p>AB Materiaali</p> <p>AC Valmistus</p> <p><b>AD Asennus</b></p>	<p>C KÄYTÖN SEURAUUS</p> <p>CA Raja-arvon ylitys</p> <p>CB Ylikuormitus</p> <p>CC Tukkeumat, sakat, juuttuminen</p> <p><b>CD Vieraat esineet</b></p> <p>CE Normaali kuluminen (kestoikä)</p>
<p>B HENKILÖKUNTA</p> <p><b>BA Ohjaus- tai käyttövirhe</b></p> <p><b>BB Virheellinen asetus tai säätö</b></p> <p><b>BC Huolto- tai korjausvirhe</b></p> <p>BD Tekemätön tai myöhästynyt toimenpide</p>	<p>D SEKALAISET SYYT</p> <p>DA Seurausvika</p> <p><b>DB Ulkoinen vaikutus</b></p> <p><b>DC Työmääräin tai ohje virheellinen</b></p> <p>Z MUU SYY (syy mainittava lisätietorivillä)</p>

Tämän lisäksi LOTI:ssa on sähkötekniisten laitteiden ja instrumenttilaitteiden vikojen syyluokittelua S täydennetty erityisesti syyluokalla ”BE = inhimillinen virhe” ja esimerkiksi luokalla ”CG = katkos, liitosvika (sähkö) vuoden 1996 palautetiedoista lähtien.

Eräs Loviisan voimalaitoksen kunnossapidon palautetietojen ainutlaatuinen piirre on vian todennäköisen syntyhetken (C) määrittely. Vikakorjausten työmääräimille käytettävä syntyhetkiluokittelu on esitetty taulukossa 3.

*Taulukko 3. Vian todennäköisen syntyhetken luokittelu (C) LOTI:n palautetiedoissa.*

-	Ei määritely
01	Ennen edellistä koestusta
02	Ennen edellistä huoltoa tai korjausta
<b>11</b>	<b>Edellisessä koestuksessa</b>
<b>12</b>	<b>Edellisessä huollossa tai korjauksessa</b>
13	Edellisessä käytössä
21	Edellisen koestuksen ja havaintohetken välissä
22	Edellisen korjauksen tai huollon ja havaintohetken välillä
23	Edellisen käytön ja havaintohetken välillä
31	Välittömästi ennen havaintoa
32	Tarkastuskierron ja havaintohetken välillä

Laitevian, toimintahäiriön tai muun puutteen havaitsemisen tapauksessa tehdään laitoksella työtilaus, jossa selostetaan lyhyesti muunmuassa välitön havainto ja vikatyypin palautetietona. Vikatöiden tilauksissa annetaan palautetietona myös vian havaitsemistavan luokka. Seuraavassa taulukossa 4 on esitetty luettelo niistä tavoista, joihin vikojen havaitseminen on LOTI:ssa luokiteltu.

*Taulukko 4. Vian havaitsemistavan luokittelu (A) LOTI:n palautetiedoissa.*

1	Hälytys valvomosta
2	Havaittu välittömästi vian synnyttyä (ei valvomohälytys)
3	Vuorokierroksella
4	Määräaikaiskoestuksen yhteydessä
5	Ennakkohuoltotyön yhteydessä
6	Laitteen käynnistyksen yhteydessä (myös valvomokäynnistys)
7	Kunnon- ja laadunvalvonnan yhteydessä
8	Vikakorjauksen tai sen jälkeisen koekäytön yhteydessä
9	Havaittu sattumalta
0	Ei historiavaatimuksia (ulkoalueet, siivous, maalaus jne.)
-	Vain ennakkohuoltotyöt

Esimerkiksi havaitsemistavalla  $A = 8$  (vikakorjauksen tai sen jälkeisen koekäytön yhteydessä) tarkoitetaan sitä, että vika on havaittu huollon tai korjauksen jälkeisessä toimintakokeessa tai muun vian korjauksen yhteydessä.

Vikatyömääräintiedoissa ovat virhe-ehdokkaiden tunnistamisen kannalta informatiivisimpia seuraavat tiedot:

- Työtilauksen selostus vian havaitsemisesta ja/tai vikatyypistä,
- Vian syyn teksti (jos täytetty),
- Syy (S) ja havaitsemistapa (A), raportointiluokat,
- Tehty toimenpide (E), teksti, ja
- Vian todennäköisen syntyhetken luokittelu C.

## 4.2 Tutkittavien vikahistoriatietojen karsintaprosessi

Koska suureen useasta tuhannesta vuotuisesta vikatyömäärästä koostuvan määräinjoukon (2963 kpl vuonna 2003 ja 2625 kpl vuonna 2005) läpilukeminen vaatisi liikaa asiantuntijaresursseja käytettävissä oleviin verrattuna, joudutaan tutkittavien vikakorjaustapausten lukumäärää karsimaan luomalla seulontamenettely.

Karsintaprosessin ytimeksi on asiantuntija-arvioihin perustuen valittu inhimillisperäisten vikaantumisten ja yhteisvikojen tutkinta niistä muutamasta kymmenestä vuotuisesta (24 kpl/vuonna 2003) vikatyömäärästä, joille on laitoksen raportoinnissa luokiteltu vian todennäköiseksi syntyhetkeksi ”edellinen huolto tai korjaus (C=12)”. Niistä määräämistä ovat löytyneet vikatyömäärämiä tutkittaessa pääasiassa ne vikatyömääräimien syyluokat, joissa esiintyy inhimillisiä virheitä kunnossapidon yhteydessä. Siten valitaan tutkimuksen kohteiksi seuraavaksi ainakin ne vikatyömääräimet, joiden syyluokissa on aikaisemmassa kalenterivuosiin 1995-97 kohdistuneessa yhteisvikatutkimuksessa [Laakso & Saarelainen 2004] todettu sisältyvän hallitseva osuus inhimillisiä virheitä kunnossapidon yhteydessä:

- asennus (S =AD),
- virheellinen asetus tai säätö (S= BB),
- huolto- tai korjausvirhe (S = BC), ja
- inhimillinen virhe S = BE.

Koska LOTI:n syntyhetkiluokan C =12 vikatyömääräimistä oli kuitenkin tunnistettu aikaisemmassa yhteisvikahistorian tutkimuksessa [Laakso & Saarelainen 2004] eräitä inhimillisiä virheitä kunnossapidon yhteydessä myöskin syyluokista BA (ohjaus- tai käyttövirhe), CG (katkos, liitosvika, sähkö) ja DB (ulkoinen vaikutus) niin nekin syyluokat päätettiin tarkastella kalenterivuosien 2003 ja 2005 vikahistorian tutkimuksessa virhe-ehdokkaiden hakuavaimen tarkentamiseksi todentamiseksi. Lisäksi valitaan tutkinnan kohteiksi sellaiset (esim. 7 kpl/vuonna 2003) vikatyömääräimet, joille vian todennäköiseksi syntyhetkeksi on annettu luokka C=11 (edellisessä koestuksessa).

Analyysiresurssisyyistä johtuen päätettiin kuitenkin edelleenkin jättää tutkimatta syyluokan AA (konstruktio) vikatyömääräimet sillä alustavalla laadullisella perusteella, että syntyhetkiluokasta (C =12 = edellinen huolto tai korjaus) vuodelta 2003 löytyneistä kahdesta AA- luokitellusta vikatyömääräimestä ei kumpikaan tutkittaessa osoittautunut inhimilliseksi virheeksi. Syyluokan CG (katkos, liitosvika, sähkö) vuoden 2003 vikatyömääräimistä ei tunnistettu inhimillisiä virheitä, mutta sen sijaan vuodelta 2005 tunnistettiin neljä virhettä. Myöskään syyluokan DC (työmääräin tai ohje virheellinen) vikatyömääräimistä vuodelta 2003 ei löydetty inhimillisiä virheitä, mutta vuodelta 2005 yksi virhe, ja sekin luokka päätettiin sisällyttää virhe-ehdokkaiden hakuun, koska ohjeissa ja työmääräimissä on muutenkin tunnistettu virheitä.

Syyluokkaan Z (muu syy) LOTI:ssa oli luokiteltu yhteensä tuhansia (2267 kpl/vuonna 2003) vikatyömääräimiä, mutta ne päätettiin jättää tutkimatta, koska käytössä olevalla analyysityöpanos oli perustellumpaa priorisoida ja kohdistaa inhimillisten virheiden tunnistamisen kannalta osuvammin karsittuihin vikatyömääräimiin. Seuraavassa taulukossa 4 nähdään kattava määrällinen yhteenvedo inhimillisten virheiden lähdetiedoista virheisiin parhaisiin osuvien syy- ja syntyhetkiluokittelujen (LOTI) mukaan jaoteltuna.

Seuraavassa taulukossa on havainnollistettu vuodelta 2003 suuruusjärjestyksessä ne LOTI:n syyluokat ja vikojen todennäköisen syntyhetken luokat, joista etsittiin ja tutkittiin

inhimillisperäisiä vikaantumisia kunnossapidon yhteydessä edellä kuvatun karsintaprosessin mukaisesti.

*Taulukko 5. Inhimillisperäisten vikaantumisten määrät vuonna 2003 jaoteltuina kunnossapito henkilöstön tekemän luokittelun mukaisesti.*

Syyluokka	Virheiden lkm	Loviisa 1	Loviisa 2	Yhteensä	Virheiden osuus vioista %
AD	18	6	12	34	53 %
BB	16	7	9	44	36 %
BC	15	11	4	20	75 %
BE	7	5	2	10	70 %
DB	6	3	3	40	15 %
C=11/12	6	3	3	21	29 %
BA	1	1	0	16	6 %
<b>Kokonais- määrä</b>	69	36	33	185	37 %

Siten tutkittavien virhe-ehdokkaiden hakuavaimeksi on tarkentunut seuraava:

- asennus (S = AD),
- virheellinen asetus tai säätö (S = BB),
- huolto- tai korjausvirhe (S = BC), ja
- inhimillinen virhe (S = BE),
- ulkoinen vaikutus (S = DB),
- ohjaus- ja käyttövirhe (S = BA),
- työmääräin tai ohje virheellinen (DC).
- vian todennäköinen syntyhetki edellisessä koetuksessa, huollossa tai korjauksessa (mikäli vika ei jo sisälly edellisten syyluokkien vikatyömääriin), C = 11/12.

Lisäksi tulee jatkossa tehdä kattava pistokoetarkastelu virhe-ehdokkaiden tunnistamiseksi seuraavissa syyluokissa, jotta epävarmuus virheiden kattavuudessa saadaan minimoiduksi:

- konstruktio S = AA.
- muu syy S = Z.

### 4.3 Työmääräintietojen analysoiminen ja luokittelu

Kaikki tunnistetut inhimillisperäiset vikaantumiset kunnossapidon yhteydessä analysoidaan käyttäen hyväksi luokittelumalleja, jotka kuvaavat *minkälainen virhe on tapahtunut* ja minkä tyyppiseen laitteeseen virhe on kohdistunut..

Tätä varten tarvittava virheiden ilmenemismuotojen luokittelumalli on kehitetty samanaikaisesti, kun inhimillisperäisiä vikaantumisia on tutkittu aikaisemmassa virhe- ja yhteisvika historian tutkimuksessa [Laakso & Saarelainen 2004]. Virheiden ilmenemismuotojen luokittelumalli poikkeaa laadullisesti ja tiedon rakenteeltaan LOTI:n vikojen syyluokittelusta (Taulukossa 2). Virheiden ilmenemismuotojen luokittelumallissa on jäsennetty ja valaistu käytännön esimerkkien avulla minkälaisilla tavoilla eri luokkiin kuuluvat ihmisen virheet ovat ilmenneet ja aiheuttaneet vikoja kunnossapidon kohteisiin. Virheiden luokittelumallissa otettiin turvallisuustutkimuksen tarpeiden lisäksi myös yksilöidysti huomioon, kuinka kunnossapidon laaturvirheet ilmenevät vian aiheuttajina. Mallin

eri luokkien esimerkit virheistä perustuvat Loviisan ja Olkiluodon voimalaitoksen tutkimuksista tunnistettuihin inhimillisperäisiin vikaantumisiin.

*Taulukko 6. Virheet kunnossapidon yhteydessä laitevikojen aiheuttajina. Luokittelumalli esimerkkeineen.*

Tehtävää ei toteutettu (error of omission):

1. Prosessierotusten ja turvatoimien purun tai teon virheet, kuten prosessi- ja impulssiventtiilien, erottimien, sulakkeiden, raja-arvojen, lukitusten palautusten tai merkintöjen tekemättä jättämiset. Vesitysten, säiliöiden tai linjojen täytön tekemättä jättäminen töiden lopussa.
2. Johdin tai elektroniikkakomponentti jätetty kytkemättä tai raja- tai asetteluarvon asettelu tai säätö tekemättä. Tiiviste, säätökomponentti tai esim. suojaputki tai eriste asentamatta. Huolto tai tarkastus jätetty tekemättä.
3. Vieraita esineitä unohdettu tai jätetty työkohteeseen työn jälkeen. Esimerkkejä voivat olla roskat, metallilastut, lika, työkalut, telineet tai suojapeitteet.

Virheellinen toimenpide (error of commission):

Väärä järjestys tai suunta,

4. Väärä järjestys, kuten kaapelit tai impulssiputket kytketty ristiin. Työvaiheet tehty väärässä järjestyksessä.
5. Väärä suunta, kuten venttiili ohjattu eri asentoon kuin oikea tarve. Tai asennettu venttiili, osa tai mittauksen tai osan toimintasuunta väärinpäin.

Väärä valinta,

6. Väärä paikka tai kohde, esimerkiksi kaapeli liitetty tai laite tai osa asennettu väärään paikkaan. Aseteltu väärä suojausehto, erotettu väärät liittimet, ohjattu väärä venttiili tai vesitetty väärä putkilinja. Laite tai kaapeli poistettu tai katkaistu väärältä käyttöpaikalta.
7. Väärä tai sekaantunut osa, kaapeli, materiaali, neste, kemikaali tai työkalu. Asennettu osa, laite, rakenne tai materiaali poikkeaa suunnitellusta.

Väärä asettelu, säätö, kalibrointi tai linjaus,

8. Väärä raja-, mittaus- tai asennonosoitusarvon tai –alueen tai säätöelimen asettelu. Väärä akselin, karan tai putken linjaus. Putkituen, laipan, kaapelin tai tiivisteen väärä asettelu.

Muut laatuvirheet,

9. Liian vähäinen voimankäyttö, esim. pultin, mutterin, kannen, kaapelin, liittimen,



sulakkeen tai ilmaisuuden löysä tai huono kiinnitys tai kiristys.

10. Liian paljon voimaa, esim. kohteen liiallinen kiristys, vääntö tai rasvaus.
11. Kohteen vahingoittaminen esim. materiaalin, osan tai työkalun putoaminen, osuminen tai törmäys kaapeleihin, kaapelihyllyihin, mittareihin, pienputkistoihin tai veteen kuljetuksissa tai siirroissa tai ahtaissa tiloissa tai huolimattomuuden vuoksi.
12. Muu huolimattomuus, jos luokat 1-11 eivät sovellu.  
Voi olla kuluneen tai viallisen työkalun käyttö, puutteellinen hitsisauma, juotos, hionta, eristys tai asennuksen laatu. Epäselvä laukaisu koestuksessa, asennuksessa tai huollossa esim. huonosta valmistelusta johtuen.  
Väärä ajoitus. Virheellinen tekstitys tai kirjaus.

Virheitä sisältävien vikatyömääraimien yksityiskohtaisessa analyysissä luokitellaan inhimillisperäiset vikaantumiset seuraavien selittävien tekijöiden suhteen:

- Virheen ilmenemismuoto, esim. väärä järjestys (4),
- Käyttötila havaitessa vika, esim. tehoajolla (KÄY),
- Vian havaitsemistapa, esim. hälytys valvomosta (1)
- Virheen arvioitu synty (käyttötila ja työtehtävä, taulukossa 6 ) sekä ajankohta, esim. latausseinokissa (LAT), korjaus (KORJ), 15.8.2002
- Oliko kyseessä yksittäinen virhe vai yhteisvika.

*Taulukko 7. Luokat työtehtäville, joista virheet lähtöisin.*

Vikakorjaus	KORJ
Kunnonvalvonta	KUVALV
Laitoksen rakentaminen	RAK
Muutostyö	MOD
Määräaikaishuolto	MH
Määräaikaiskoe	MKOE
Toimintakoe	TKOE

Käyttöpaikat ja laitenumerot, joihin virheet ovat kohdistuneet sekä vikojen havaitsemistavat (Taulukko 4) tunnistetaan ja tarkistetaan suoraan LOTI:n palautetiedoista virheanalyysiä varten. Laitetyypeinä kohteille, joihin virheet ovat kohdistuneet on käytetty LOTI:sta suoraan palautetietoja.

Kustakin virhetapahtumasta on tehty tiivistetty kuvaus luokitteluineen (esimerkiksi vuonna 2003 yhteensä 69 kpl). Virhe-analyysit yksittäisvirheiden (2003) osalta on nähtävissä esimerkkeinä tämän raportin liitteessä A: Virhe-analyysejä. (Huom. ko. xls-taulukon kullakin rivillä on aina yksi virheanalyysi, minkä kunkin alkuosan sarakkeissa on LOTI:n vikatyömääräintiedot ja loppuosan sarakkeissa tehty virheanalyysi).

Virheen suoranaisen ilmenemismuodon luokitusta (eli minkälainen virhe tapahtui) voidaan myös pitää havaintojen jäsentämisenä, jonka pohjalta analyysin tekijällä on helpompi tunnistaa toistuvuuksia ja tunnistaa yhteisvikaehdokkaita rinnakkaisille käyttöpaikoille.

## 4.4 Yhteisvika-ehdokkaiden tunnistaminen

Yhteisvikoina etsitään samalla kertaa kuin virheitä analysoidaan yksittäisistä tai useammista selittävien tekijöiden suhteen samanlaisista vikatyömäärimistä moninkertaisia vikaantumisia, jotka ovat esiintyneet samanaikaisesti rinnakkaisten linjojen tai redundanssien vastaavilla käyttöpaikoilla tai laitousyksiköiden kesken. Virhe-aineistosta tunnistetaan siten erilaisia yhteisvikatapausten ehdokkaita niiden jatkoanalyysiä varten. Jatkoanalyysissä voivat sitten myös luokittelut muuttua osassa yhteisvikaehdokkaiden tapauksia, kun viat ja virheet tutkitaan tarkemmin kunnossapitotapahtumana.

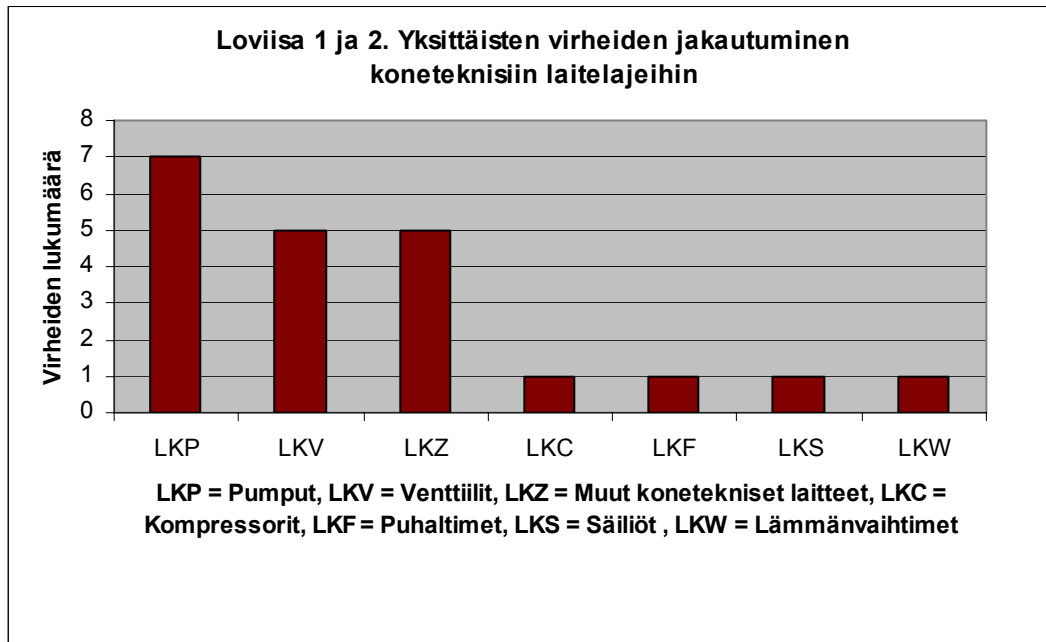
Yhteisvikaehdokkaista on nähtävissä esimerkkejä vuodelta 2003 tämän raportin liitteessä B: Yhteisvika-ehdokkaita. (Huom. eri yhteisvikaehdokkaat on xls-tilauksessa erotettu toisistaan paksulla vaakasuoralla väliviivalla ja saman yhteisvikaehdokkaan eri vikatyötilaukset ohuella väliviivalla).

## 4.5 Virheiden sekä niiden tekijöiden tilastollinen käsittely ja tarkastelu

Tarkoituksena onkin käsitellä tilastollisesti virheanalyysijä ja niiden eri luokkia esimerkiksi virheiden kohdistumista erilaisiin laitetyyppeihin, virheiden ilmenemismuotojen jakautumista, laitoksen käyttötiloja virheiden syntyessä ja havaittaessa niistä seuranneet viat, sekä niiden työtehtävien jakautumista, joista virheet ovat lähtöisin sekä joissa viat on havaittu.

Tällöin voidaan tunnistaa ja laadullisesti tarkastella virheiden analyysitietokannasta (liite A: iimkjl\_v2.xls/12.12.06 ML KJL) virheanalyysien ryhmiä, jotka koostuvat esimerkiksi kahden luokkatekijän yhdistelmästä. Näin voidaan esimerkiksi virheiden ilmenemismuodon ja laitetyypin luokituksen yhdistelmien muodostamisen avulla etsiä ja tunnistaa ongelma-alueita, joissa samanlaiset virheet toistuvat tietyillä laitetyypeillä.

Tämä tapahtuu Excel taulukkolaskentaohjelman avulla suodattamalla analyysitietokannasta määrätyn luokkaehdon tai -ehdot täyttävät virheanalyysit. Esimerkiksi seuraavassa kuvaan 3 on poimittu Loviisan voimalaitoksen vuoden 2003 yksittäisvirheanalyysitiedoista kaikki koneteknisiin laitteisiin kohdistuneet yksittäisvirheet. Mahdollisen toistuvuuden tunnistamiseksi ja johtopäätöksiä vetämiseksi luetaan ja tarkastellaan vielä poimituista virheanalyysistä niiden virhekuvaukset ja soveltuvat luokitukset. Seuraavassa poiminnassa on esimerkiksi tarkennettu suodatusta lajittelemalla tunnistetut yhteensä 21 koneteknistä yksittäisvirhettä vielä eri koneteknisiin laitelajeihin. Kuvan esimerkistä havaitaan koneteknisten latteiden virheitä esiintyneen eniten pumpuissa ja venttiileissä.



*Kuva 3. Yksittäisten virheiden jakautuminen eri laitelajeihin koneteknisissä laitteissa.*

Tutkimusraporttien virheanalyysitiedostot, kuten esimerkiksi liite A: Virheanalyysit, on laadittu siten, että tutkimusraportin lukija voi halutessaan tarkastella EXCEL taulukkolaskentaohjelman ja sen suodatustoimintojen avulla raportissa tunnistettuihin ongelma-alueisiin kuuluvia virheanalyysijä tai muita haluamiaan virheanalyysiryhmiä.

Kun tarkasteltuja virheanalyysitietoja kerääntyy useampien vuosien seurantajaksoilta niin virheanalyysitietokannasta voidaan myös tarkastella trendejä ja sitä, kuinka erilaiset parantavat tai korjaavat toimenpiteet ovat vaikuttaneet virheiden ja inhimillisperäisten yhteisvikojen esiintymiseen. Samoin voidaan määristä ja trendeistä tunnistaa ja tarkastella, missä ”ryhmissä” on edelleenkin tarvetta parantaviin toimenpiteisiin tai kunnossapitotoiminnan kehittämiseen.

## 5 Inhimillisperäisten yhteisvikojen analyysi

Seuraavassa kappaleessa kuvataan menettelytapoja yhteisvikojen analysoimiseksi sen jälkeen kun yhteisvika-ehdokkaista on vikaistoria- ja palautetiedoista tunnistettu (kts. kappaleet 4.3 ja 4.4) Tätä varten tarvittavat tutkimusmenetelmät on kehitetty ja otettu käyttöön aikaisemmissa Olkiluodon ja Loviisan voimalaitoksiin kohdistuneissa inhimillisperäisten yhteisvikojen ja niiden esteiden tutkimusten yhteydessä [Laakso, Pyy & Reiman 1998], [Laakso & Saarelainen 2004], [Laakso 2004]. Tutkimusmenetelmiä on käytetty ja tarpeen mukaan muokattu ja yksinkertaistettu vastaamaan paremmin rutiininomaisen ja jaksotetun analyysin sekä kohdevoimalaitoksen tietojärjestelmän tietorakennetta kalenterivuosi 2003 ja 2005 kattavissa in-kind tutkimuksissa [Leino & Laakso 2005, Laakso & Männistö 2007 b].

### 5.1 Yhteisvikaluokat

Periaatteet, joiden mukaan inhimillisperäiset vikaantumiset kunnossapidon yhteydessä jaetaan yksittäisiin virheisiin ja yhteisvikoihin (HCCF, HCCN ja HSEF) tai muihin riippuviin vikaantumisiin (ODF) on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 8. Periaatteet, joita sovelletaan luokiteltaessa inhimillisperäisiä vikaantumisia.

Syymekanismi	Epäkuntoinen laite yhdellä laitepaikalla *)	Epäkuntoiset laitteet rinnakkaisilla **) laitepaikoilla	Epäkuntoiset laitteet peräkkäisillä ***) laitepaikoilla
Samanlainen toistuva virheellinen tai toteuttamaton toimenpide	Yksittäinen vikaantuminen	HCCF/HCCN, tai ODF****)	ODF
Yksi virheellinen tai toteuttamaton toimenpide	Yksittäinen vikaantuminen	HSEF	HSEF
Useita erilaisia virheitä	Yksittäinen vikaantuminen	Yksittäisiä vikaantumisia	Yksittäisiä vikaantumisia

\*) Laitepaikalla tarkoitetaan KZ tunnuksella varustettua käyttöpaikkaa tai käyttöpaikan sisällä yksilöitävää laitekohdetta.  
 \*\*) Rinnakkaisilla laitepaikoilla eli fyysisesti rinnakkaisissa redundansseissa, linjoissa, kiskoissa tai piireissä samanaikaiset viat.  
 \*\*\*) Peräkkäisillä laitepaikoilla eli fyysisesti samassa linjassa, kiskossa tai piirissä samanaikaiset viat.  
 \*\*\*\*) Muu riippuva virhe, jos virheet havaittu ja korjattu ennen työluvan palauttamista valvomoon.

### 5.2 Yhteisvian sekä esteiden analysointi ja luokittelu

Yhteisvikaehdokkaiden tunnistaminen (HCCF:ät ja HCCN:ät rinnakkaisilla laitepaikoilla) ja tutkinta vaativat yksityiskohtaisempaa jatkoanalysointia kuin yksittäiset inhimillisperäiset vikaantumiset. Esimerkiksi Loviisan voimalaitoksen tapauksessa 34:n yhteisvikatapauksen aineistoksi tunnistettiin yhteensä 71 vikatyömääräintä vuosilta 1995-97, joten kunkin yhteisvian lähdeaineistona oli silloin keskimäärin noin kaksi vikatyömääräintä [Laakso & Saarelainen 2004].

Kalenterivuoden 2003 vikatyömääräistä tunnistettiin sen sijaan virheanalyysijä tehtäessä yhteensä kuusi ehdokasta HCCF- tai HCCN- tapauksiksi jatkoanalyysijä varten, yksi HSEF ehdokas sekä neljä ODF ehdokasta. Kun sitten inhimillisperäiset yhteisviat oli analysoitu yksityiskohtaisemmin, niin HCCF- tai HCCN- tapauksien määräksi osoittautuikin yksi vähemmän eli yhteensä 5 kappaletta, ODF tapauksiksi 4 kappaletta ja kaksi loppua yhteisviaksi epäiltyä osoittautuivatkin joko toistuvaksi tai yksittäiseksi virheeksi (kts. raportin liite C).

Yhteisvikojen synnylle etsitään aina perusteellisempaa vastausta eli selvitetään, *miksi moninkertainen virhe tapahtui*. Virheiden syytä ei LOTI:n vikatyömääräimissä ole annettuna, vaan tässä tutkimuksessa tehtävä selvitys perustuu asiantuntija-arvioon saman käyttöpaikan aikaisempien toimenpiteiden historiatietoja hyödyntäen ja selvitystä tukeviin haastatteluihin. Perussyyt virheille tutkitaan käyttäen hyväksi kysymyksiä ja luokittelua, jotka on esitetty, jäsennetty ja selostettu seuraavassa taulukossa 9.

*Taulukko 9. Yhteisvikojen perussyiden luokittelumalli.*

13. Puutteet kunnossapidon ja käyttökuntauisuuden suunnittelussa (Maintenance and operability planning deficiency)

Virhe, puute tai epäselvyys kunnossapidon ja käyttökuntauisuuden todentamisen kuten huoltotyö-, korjaustyö- asennustarkastus- ja koestusvaiheiden suunnittelussa. Puutteet muutosten käyttöönotto -ohjelmien kuten asennustarkastusten ja käyttöönottokokeiden kattavuudessa. Puutteet kunnossapito -ohjelman tai tarkastusohjelman kattavuuden määrittämisessä. Puutteet päätöksessä, työn laajuuden, työvaiheiden tai toimenpiteiden määrittämisessä, määräimessä tai ohjeessa.

14. Puutteet teknisessä suunnittelussa (Design deficiency)

Virhe tai puute teknisen muutoksen, laitteen, järjestelmän tai ohjelmiston suunnittelussa tai dokumentoinnissa. Dokumentaatio jätetty päivittämättä. Käyttöpaikan tunnus ja kilpi puuttuvat.

15. Ohjeen tai määräimen noudattamatta jättäminen (Violation of procedure)

Rikkomus tietämättömyyden tai heikon tiedottamisen johdosta. Poikkeamat ohjeesta tai määräimestä johtuen ”huonojen tapojen” vähittäisestä oppimisesta organisaatiossa tai johtuen tahallisesta rikkomuksesta.

16. Puutteellinen koordinointi, valvonta tai tiedon kulku (Poor coordination, supervision or information transfer)

Puutteellinen projektien koordinointi tai alihankkijoiden valvonta. Huono tiedon kulku organisaatiomuutoksista tai -rajoista johtuen. Puutteellinen kokemusten hyödyntäminen tai laadunvalvonta.

17. Puutteellinen tietämys (Insufficient knowledge)

Puuttuva koulutus, tai toiminnallinen tai erityisosaaminen työ- tai suunnittelutehtäviä varten.

Perussyyt ovat luonteeltaan sellaisia, että ne eivät ole välittömästi korjattavissa (repair) vaan niiden toistumisen estämiseksi tarvitaan parantavia toimenpiteitä (remedies).

Suunnitteluvirheet, puutteellinen tiedon kulku, rikkomukset tai puuttuva osaaminen selvitetään tyypillisinä perussyinä yhteisvioille. Perussyitä ei selvitetä yksittäisten virheiden aiheuttamille vikaantumisille, joille selvitetään vain minkälainen virhe tapahtui. Perussyyluokat yhteisvioille on pyritty määrittelemään ja jäsentämään siten, että kunkin

luokan syitä vastaavat tietyntyyppiset parantavat toimenpiteet (englanniksi remedial actions). Siten tarvittavien parannustoimenpiteiden etsiminen ja määrittely yhteisvikojen syiden ehkäisemiseksi jäsenyyty ja yksilöityy perusteellisen analyysin avulla. Esimerkiksi päättämällä, suunnittelemalla, ja vaiheistamalla, kattavuudeltaan oikeat yksilöidyt asennustarkastukset ja/tai toimintakokeet vaikeampien ja virheille alttiimpien kunnossapitotoimenpiteiden yhteyteen voidaan parantaa käyttökuntoisuuden todentamista ja siten estää näissä tutkimuksissa tunnistettuja syyluokan ”puutteet kunnossapidon ja käyttökuntoisuuden suunnittelussa, 13” mukaisia yhteisvikoja toistumasta. Myös muutosten asennustarkastusten ja käyttöönottokokeiden suunnittelu ovat vaativia tehtäviä, joissa tarvitaan kohdekohtaista räätälöintiä sekä kohteiden teknistä erityisosaamista ja vaikutusten toiminnallista osaamista., mikä voi olla riittämätöntä syyluokan ”puutteellinen tietämys, 17” mukaisesti.

Perussyyluokittelusta ilmenee, että organisatorisia ja inhimilliset tekijöitä on painotettu tutkittaessa yhteisvikoja. Tämä johtuu siitä, että seurauksiltaan merkittävämpiä yhteisvikoja moninkertaisia virheitä voidaan paremmin estää kehittämällä ja priorisoimalla valikoidusti kohteiden teknistä ja kunnossapidon suunnittelua, sekä kehittämällä valikoidusti kunnossapidon ja käytön rutiineja, menettelytapoja ja koulutusta. Voidaan esimerkiksi päätellä että viat, joita ovat aiheuttaneet tärkeiden käyttöpaikkojen riittämätön ehkäisevä kunnossapito, voi luokitella kunnossapidon suunnittelun puutteiksi vain siinä tapauksessa, että tarvittavasta kunnossapito-ohjelman muutoksesta ei ole päätetty eikä sitä toimeenpantu, vaikka ongelmat olisivat toistuneet yli kahden käyttöjakson ajan.

*Taulukko 10. Operatiiviset ja organisatoriset esteet.*

<b>Operatiiviset esteet tai tarkastukset</b>	
Toimintakoe	TKOE
Määräaikaiskoe	MKOE
Käyttööttokoe	KKOE
Kunnonvalvonta	KVAL
Asennustarkastus	ASTARK
Perustilojen tarkastus	PERUS
Laitoskierto, kiertolista	KIERTO
Määräaikaishuolto	MH
Säätö, asetus	SÄÄTÖ
Valvomon käytönvalvonta	VUORO
Aikaisempi todentaminen ei mahdollinen	EI
<b>Organisatoriset esteet tai tarkastukset</b>	
Kunnossapitotöiden suunnittelu tai sen tarkastus	TYÖNS
Tekninen suunnittelu tai sen tarkastus	STARK
Käyttöönotto-ohjelman suunnittelu tai tarkastus, muutos	KTARK
Toimintakokeiden suunnittelu tai tarkastus	KOES
Alihankkijoiden valvonta	ALIHV
QC laaduntarkastus	QCTARK
Koulutus	KOUL
Käyttökokemuspalautteen hyödyntäminen	PAL
Aikaisempi todentaminen ei mahdollinen	EI

Yhteisvikojen estämismahdollisuuksien jatkoanalyysiä ja tilastollista käsittelyä varten jäsennettiin ja määriteltiin sekä operatiiviset että organisatoriset (hallinnolliset) esteet tai tarkastukset, joiden avulla moninkertainen virhe voidaan havaita ennen kuin siitä kehittyy toiminnallisesti kriittinen tai estää virheiden vaikutus laitteiden toimintaan tarvetilanteessa.

Yllä olevan taulukon 10 luokittelumallissa luetellaan ne esteet, joiden peittäminen tutkitaan ja joissa peittämissä on tunnistettu aikaisemmissa piilevien yhteisvikatapausten jatkoanalyysissä. Näistä operatiivisista ja organisatorisista esteistä tunnistetaan asiantuntija-arvion perusteella yhteisvian todetun etenemisen tapauksessa se este tai esteet, joiden heikkous olisi ensisijaisesti ja tehokkaasti eliminoitavissa oikealla parantavalla toimenpiteellä.

Yksi yhteisvika-analyysien päätavoitteista on tunnistaa ja kuvata vian alkuperä, yhteisvikamekanismi sekä heikkoudet esteissä ja tarkastuksissa virheiden ja piilevien tai kehittyvien vikojen eliminoimiseksi. Yhteisvikojen tapauksissa selvitetään siten ”tapahtumaketju”, jossa yhteisvian alkuperä, suoranainen ja perussyy sekä heikkoudet operatiivisissa ja organisatorisissa esteissä tapahtuman etenemisen estämiseksi on etsitty ja tunnistettu. Siten kunkin ”kunnossapitotapahtuman” tutkinnassa ei ole rajoitettu yhden syyn tutkintaan vaan on tehty useiden tapahtuman etenemiseen myötävaikuttavien ”syiden” tutkinta.

Laadittavat kunnossapitotapahtumaraportit pitäisi sisältää tiivistetysti:

- Kuvauksen moninkertaisen virheen vaikutuksista järjestelmään,
- Kuvauksen työtehtävästä, missä virheet syntyneet ja syyn miksi virheet syntyneet
- Kuvauksen ensisijaisesta puutteesta käyttökuntoisuuden todentamisessa sekä vikojen piilevyydestä, ja
- Kuvauksen korjaavasta toimenpiteestä ja parantavan toimenpiteen tarpeesta.

Esimerkki ”kunnossapito-tapahtuma”-raportista esitetään seuraavassa kuvassa 4.

Riippuva virhe	Tilausaika (työnumero)	Otsikko. Tapahtuman ja virheen kuvaus.	Käyttö-tapahtuma-raportti
1HCCFYP12	18.10.1996  238769D/C12, 238769A/C12, 238769B, 238769C.	<p><u>Paineistimen ulospuhalluslinjojen sulkuventtiilien toimilaitteiden virheelliset asetelut ja puutteelliset koestukset muutostöissä.</u></p> <p>Moottorisulkuventtiilit 11YP12S036 ja 11YP12S037 sekä 12YP12S038 ja 12YP12S039 eivät olleet tiiviitä tehoajolla 8.10.1996.</p> <p>Moottorisulkuventtiilit oli uusasennettu edeltävässä vuosihuoltoseisokissa syyskuussa 1996.</p> <p>Puutteellisesti asetellut ja koestettut sulkuventtiilit jouduttiin ajamaan käsiohjauksella kytkinlaitokselta kiinni 9.10.1996 tehoajolla.</p> <p>Virheet olivat päässeet vuosihuoltoseisokista läpi tehoajolle, koska rajojen asetelu pelkästään kylmänä oli riittämätön ilman muutoksen käyttöönottotarkastusta ja -koetta heti kuumana.</p>	Ei

Kuva 4. Esimerkki kunnossapitotapahtumaraportista

Lisäksi kunnossapitotapahtumaraportissa annetaan yhteisvian luokitus sekä viitataan lähdeyö määräimeen ja mahdolliseen laitoksella tehtyyn käyttötapaturmaraporttiin. Laitoksella tehtyjä käyttötapaturmaraportteja samalta ajanjaksolta voidaan hyödyntää referenssiaineistona niissä tapauksissa, jotka havaitaan selvittävän joko samoja tai samanlaisia tapauksia kunnossapitohistoriasta kuin tunnistettavat yhteisvika (HCCF- ja HCCN- tai mahdollisesti HSEF)-tapaukset.

Esimerkkejä useammista inhimillisistä yhteisvikoista tehdyistä kunnossapitotapahtumaraportteista luokitteluineen on nähtävissä tämän raportin xls- liitteen A\_B\_C.xls alakansioista 12HCCFMTC, 12HCCNSA10, 1HCCNSQ12 ja 2HCCNRM11, 1ODFQX, 1ODFTH52, 2ODFTJ11 ja 1ODFVC60. Näistä alakansiosta ja alakansiosta B ja C nähdään myös, että loppuista kahdesta jatkoanalyysissä yksittäisvirheeksi osoittautuneesta yhteisvikaehdokkaasta ei ole tehty kunnossapitotapahtumaraporttia. Kunnossapitotapahtumaraporttien esimerkit ovat myös nähtävissä tämän raportin tekstiin kirjoitettuna liitteinä C1- C8.

### 5.3 Yhteisvika-analyysien kulku

Periaate sille miten yhteisvika analysoidaan, ja koko analyysimenettelyn kulku, on esitetty seuraavassa kuvassa 5. Analyysiä jatketaan katkoviivan alapuolelle vuokaavion vaiheesta ”Perussyyn tunnistaminen ” alkaen, jos vika tai viat on todettu yhteisvika-ehdokkaaksi analyysin aikaisemmassa vaiheessa ”Virheanalyysin kuvaus”.

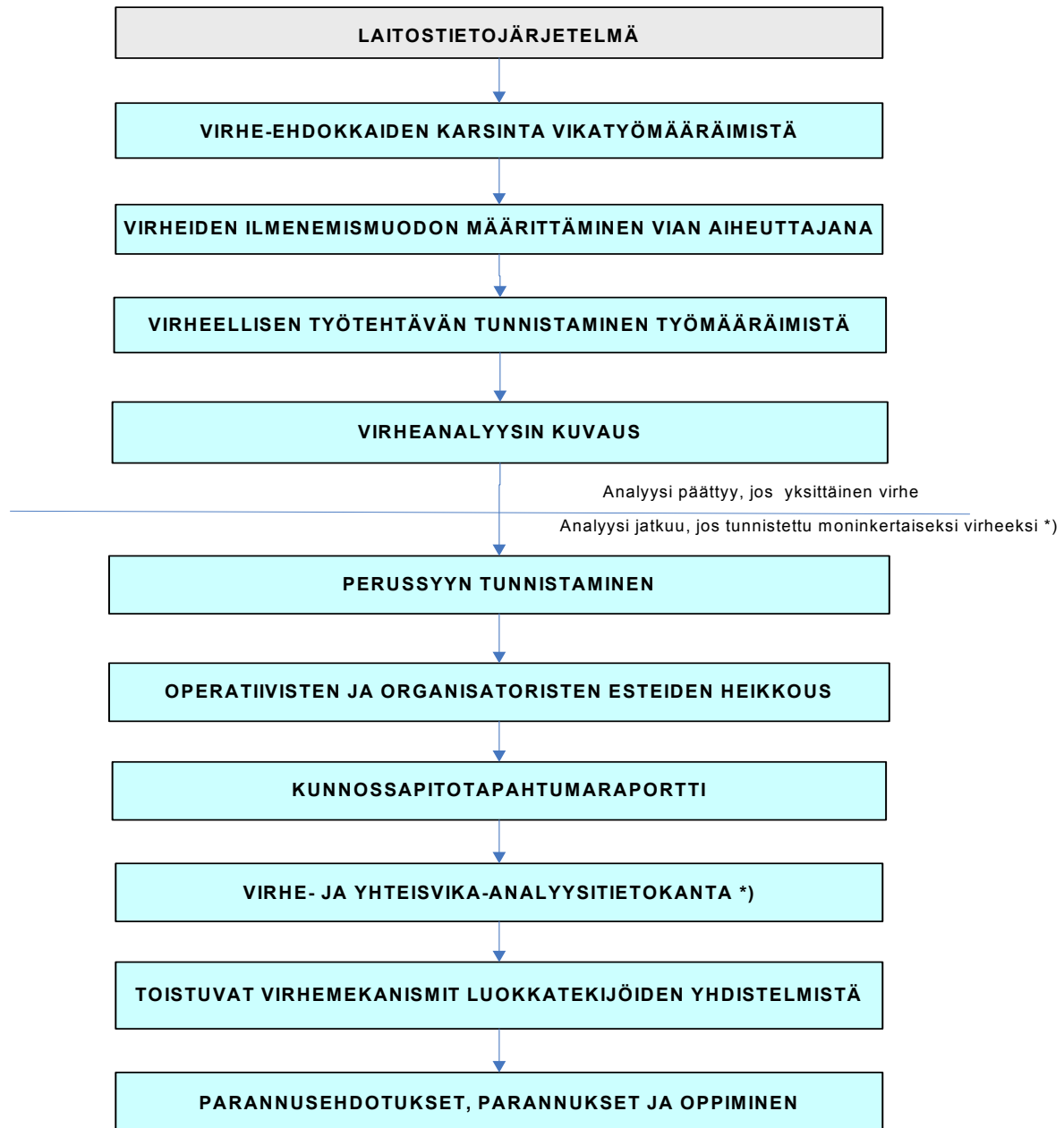
Vikatyötilauksen ja työmääräimen palautetietojen pohjalta tehdään aina aikaisemmat analyysivaiheet ”Virheiden ilmenemismuodon määrittäminen” ja ”Työtehtävästä, jossa virhe syntyi”, mikäli tutkinta osoittaa vikaantumisen virheeksi.

Virheiden ja yhteisvikojen analyysitietokannasta pyritään tunnistamaan ja laadullisesti tarkastelemaan samanlaisia ryhmiä virheitä, jotka koostuvat esimerkiksi kahden luokkatekijän yhdistelmästä.. Näin voidaan esimerkiksi virheiden ilmenemismuodon ja laitetyypin luokituksen yhdistelmien muodostamisen avulla tunnistaa ongelma-alueita, joissa samanlaiset yksittäiset virheet tai yhteisviat toistuvat tietyillä laitetyypeillä.

Yksittäisen virheen tapauksessa katkaistaan virheen analysointi katkaistaan vaiheeseen ”Virheanalyysin kuvaus”, jossa laaditaan tiivistetty virheen kuvaus luokitteluineen. Myös yksittäiset virheet viedään analyysitietokantaan.

Tehtyjen virheanalyysien ja yhteisvika-analyysien massan tarkastelujen avulla tunnistetuille ongelma-alueille tehdään parannusehdotuksia ja tunnistetaan parannuksia sekä hyödynnetään virhe- ja yhteisvika-analyysijä oppimiseen.





\*) virheitä rinnakkaisilla ja samanlaisilla laitepaikoilla samanaikaisesti

Kuva 5. Inhimillisperäisten yhteisvikojen analyysin suunniteltu kulku.

## 5.4 Yhteisvikojen turvallisuusmerkityksen tarkastelu

Yksi tärkeä aihe tutkittaessa inhimillisperäisiä yhteisvikoja on niiden turvallisuusmerkitys. Mahdollinen onnettomuus, kuten reaktorisydämen vaurioituminen, voi aiheutua alkutapahtumasta yhdessä turvallisuusjärjestelmien ja muiden onnettomuuksien estämiseksi ja lieventämiseksi käytössä olevien järjestelmien epäkäytettävyyden kanssa.

*Taulukko 11. Esimerkki toiminnallisesti kriittisten yhteisvikojen lajittelusta turvallisuusmerkityksensä mukaan.*

Riippuva virhe	Kunnossapitotapahtuma	Turva-luokka	TTKE vaatimukset	Moninker-taisuus	Redun-danssit	Laitos-yksikkö	Toimintakyvyt-tömyysaika / h
1HCCFYP12	Paineistimien ulospuhalluslinjojen sulkuventtiilien toimilaitteet aseteltu virheellisesti kylmänä ja käyttöönotkoestettu puutteellisesti muutostöiden lopussa	1	TTKE	2/2	2	1	480
12HCCFVF62	Sivumerivesipiirin läppäventtiilien asentorajat oli jätetty asettelematta putkistopinnoitustyön vaatiman irroituksen ja takaisinasennuksen jälkeen johtaen läpivuotoon käyttöjaksolla	2	TTKE	4/6	2	1 & 2	1645
12HCCFTH50	Työnsuunnitteluperiaatteiden ja työhallinnan epävarmuuksien aiheuttamat yhtäaikaiset käyttökunnottomuudet sumprikaivoihin liittyvissä lämpötilamittausketjuissa niiden ennakkohuoltotöinä tehtyjen määräaikaistestien yhteydessä	3	TTKE	2/2	1 & 2	1 & 2	8
2HCCFTB33	Boorisuuttopumppujen virtausmittaus ei toiminut pumppauksen aikana käyttöjaksolla, koska ensisulkuventtiilit oli unohdettu kiinni vuosihuollon muutostöiden jälkeen	-	-	2/2	1	2	5000
1HCCFUW23	Ilmastointivalvomon kirjoittimet unohdettu kytkä päälle niille vuosihuollossa tehdyn ennakkohuollon jälkeen	3	TTKE	2/8	1	1	380
2HCCFRD11	Korkeapaine-esilämmittimen pinnanmittauksen ensisulkuventtiilit unohdettiin kiinni vuosihuollon 97 jälkeen	-	-	2/2	1	2	483
1HCCFRQ11	Omakäyttöhöyryjärjestelmän vuosihuollossa kunnostettujen sulkuventtiilien toimilaitteiden asetelut tehty virheellisesti kylmänä johtaen momenttilaukaisuun suljettaessa tehoajolla	EYT	-	2/2	1	1	100
1HCCFRL30	Uusasennettujen syöttöveden ultraäänivirtausmittausten anturikaapelit sulivat ylösajossa virheellisen eristyksen johdosta	-	-	2/2	2	1	69
1HCCFRN13	Sivulauhdepiirien sulkuventtiilien korjauksena vaihdettujen toimilaitteiden raja-asettelut tehty virheellisesti kylmänä johtaen jäykkyyteen ja momenttilaukaisuun käytettäessä lämpimässä käyttötilassa	EYT	-	2/2	2	1	64
2HCCFRD50	Kaksi KP-välitöihöyryjen sulkuventtiiliä meni kiinni 3 minuuttia hitaammin alasajossa, koska kipperiorteista puuttui signaalien hystereesi vuosihuollon jälkeen	EYT	-	2/3	1	2	5000
1HCCFSD72	Pääejektorien sulkuventtiilien vuosihuollossa vaihdettujen toimi-laitteiden asetelut tehty virheellisesti kylmänä johtaen niiden momenttilaukaisuun ennen kiinnirajaa suljettaessa lämpimänä	EYT	-	2/3	1	1	54

Taulukosta 11 nähdään, että osa esimerkkeinä esitetyistä toiminnallisesti kriittisistä inhimillisperäisistä yhteisvikatapauksesta (HCCF) kohdistui käyttö- tai laitepaikkoihin, joille oli määritelty TTKE vaatimuksia. Yhteisviat on yllä yritetty lajitella merkityksensä mukaiseen järjestykseen [Laakso 2004]. Taulukon järjestystä voi pitää vain karkeana siinä käytettyihin turvallisuuskriteereihin perustavana arviona, koska yhteisvikojen turvallisuusmerkitystä ei ole selvitetty PSA:n riskitärkeysmittojen kuten riskin noususuhteiden tai Fussel-Veselyn tärkeysmittojen avulla.

Yhteisvikojen merkittävyyteen vaikuttaa oleellisesti virheiden piilevyysaika ja yhteisvikakohteiden arvioitu toimintakyvyttömyysaika, mikä tieto on annettu taulukon viimeisessä sarakkeessa. Turvajärjestelmien, ja turvallisuuteen vaikuttavien järjestelmien, yhteisvikojen turvallisuusmerkitystä (esimerkiksi kahta ensimmäistä tapausta) voisikin yrittää selvittää formaalimmin ja kvantitatiivisemmin, kuin yllä käyttökokemusanalyysitietoihin perustuen, Living PSA:n (Living Probabilistic Safety Assessment) ja riskitärkeysmittojen avulla.

Edellä olevaan yhteisvikatapauksien analyysiin viitaten esitetään, että yhteisvika-tapahtumien in-kind tarkastelut voimalaitoksen ylläpito- ja kunnossapitoyhmien kanssa tehdään aluksi kuitenkin yllä olevan taulukon kriteereihin perustuen.

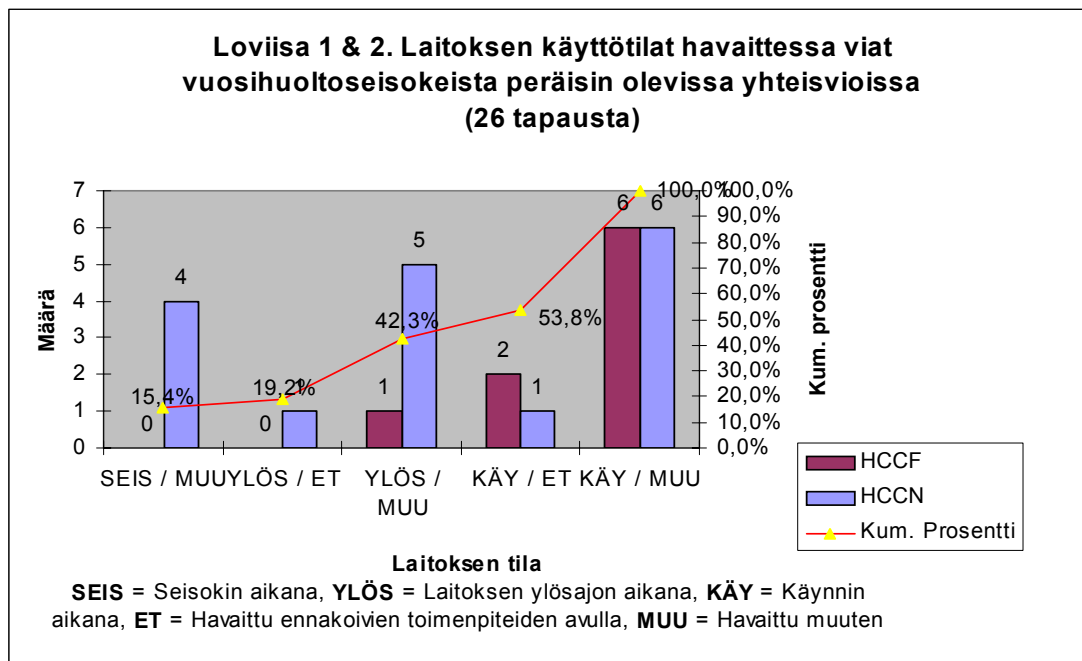
## 5.5 Yhteisvikojen sekä niiden tekijöiden tilastollinen käsittely ja tarkastelu

Tarkoituksena on käsitellä tilastollisesti yhteisvika-analyysijä ja niiden eri luokkia esimerkiksi inhimillisperäisten yhteisvikojen kohdistumista erilaisiin laitetyyppeihin, yhteisvikojen syiden jakautumista, laitoksen käyttötiloja moninkertaisten virheiden syntyessä ja havaittaessa niistä seuranneet viat, sekä niiden työtehtävien jakautumista, joista virheet ovat lähtöisin, sekä erityisesti yhteisvikojen esteiden heikkouksien esiintymistä.

Tällöin voidaan laajemmasta yhteisvika-analyysikannasta tunnistaa ja laadullisesti tutkia hallitsevia ryhmiä virheitä esimerkiksi kahden eri selittävän luokkatekijän suhteen. Näin voidaan esimerkiksi yhteisvikojen aiheuttajien tai perussyiden ja laitetyyppien luokituksen yhdistelmien muodostamista ryhmistä tunnistaa ongelma-alueita, joissa samanlaiset moninkertaiset virheet toistuvat ja joihin siten kohdistuu kehitystarpeita.

Esimerkiksi seuraavassa kuvassa 6 on esitetty esimerkkinä yhteensä 26:n toiminnallisesti epäkriittisen tai kriittisen yhteisvian havaitsemisen jakautuminen laitoksen eri käyttötiloihin, joissa vuosihuoltoseisokkien kunnossapito- ja muutostöistä peräisin olevat virheiden aiheuttamat moninkertaiset viat oli havaittu.

Kuva 6. Esimerkki laitoksen käyttötiloista, joissa vuosihuoltoseisokeista peräisin olevat yhteisvikojen viat on havaittu (jaksolla 1995-97).



## Lähdeviitteet

EN 13306 1999. Maintenance Terminology. European Standard prEN 13306. Final draft. April 1999. Brussels. 53 p.

Hänninen, S., Laakso, K. 1993. Experience based reliability centered maintenance - An application on motor operated valve drives. Helsinki: Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety. 1993. 51 p. + app. 10p. (STUK-YTO-TR 45).

IEC 50(191) 1990. International Electrotechnical Vocabulary. IEC Chapter 50 (191). First edition 1990-12. International Electrotechnical Commission. 112p.

Laakso, K., Pyy, P., Reiman, L. 1998. Human errors related to maintenance and modifications (TVO:n laitos kohteena). Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety STUK, Helsinki. 42 s. STUK-YTO-TR 139. ISBN 951-712-242-X.

Laakso, K. & Saarelainen, P. 2004. Inhimillisperäiset yhteisviat kunnossapitotoiminnan yhteydessä. Kunnossapitohistorian järjestelmällinen tutkinta ja analyysi Loviisan voimalaitokselle VTT tutkimusraportti BTU062-041220, Espoo 107 s + liitt. 26 s. 8.1.2004.

Laakso, K. 2004. Inhimillisperäisten yhteisvikojen esteiden jatkoanalyysi kohteena Loviisan voimalaitos. VTT tutkimusraportti BTU062-031211. Espoo. 33 s + liitt. 17 s. 10.08.2004.

Leino, M. & Laakso, K. 2005. Inhimillisperäisten vikaantumisten tutkinta Loviisan voimalaitoksen vuoden 2003 kunnossapitohistorian avulla. Fortum P & H raportti. Hästholmen. 30 s + liitt. 28.02.2005.

Laakso, K. 2006. Systematic analysis and prevention of human originated common cause failures in relation to maintenance activities at Finnish nuclear power plants. Raportti STUK YTO-TR 217. Joulukuu 2006. 33 s.

Laakso, K. & Männistö, I 2007 a. Inhimillisperäisten vikaantumisten tutkinta Olkiluodon voimalaitoksen vuoden 2005 kunnossapitohistorian avulla. VTT tutkimusraportti. 32 s + liitt. 31.1.2007.

Laakso, K. & Männistö, I 2007 b. Inhimillisperäisten vikaantumisten tutkinta Loviisan voimalaitoksen vuoden 2005 kunnossapitohistorian avulla. VTT tutkimusraportti. x s + liitt. Luonnos 15.2.2007.

Oedewald, P. 2001. Kunnossapidon inhimillisten virheiden seulonta- ja analyysimenettelyn tarkastelua käyttäytymistieteellisestä näkökulmasta. VTT raportti TAU A 005. Maaliskuu 2001. 10 s.

Rasmussen, J., 1979. On the structure of knowledge - A morphology of mental models in man-machine system context. Tech. Report No. Risø- M-2192. Roskilde, Denmark: Risø National Laboratory.

Reason, J. 1990. Human Error. Cambridge University Press. Cambridge.

## Liite\_A\_B\_C.xls

Liite A: Virhe-analyysejä (Taulukossa iimkjl\_v2.xls/12.12.2006 ML KJL).

Liite B: Yhteisvika-ehdokkaita (Taulukossa iimkjl\_v2/20.12.2004 ML KJL).

Liitteet C: Inhimillisperäisten yhteisvika-ehdokkaiden virheanalyysitietoja (Taulukossa iimkjl\_v2/12.12.2006 ML KJL IIM & MR).

- Liitteet C1-C8: Kunnossapitotapahtumaraportit 12HCCFMTC, 12HCCNSA10, 1HCCNSQ12, 2HCCNRM11, 1ODFQX, 1ODFTH52, 2ODFTJ11, 1ODFVC60.

### Liite C1. Suojarakennuksen terässuojakuorten kaapeliläpiviennit jääneet auki tai epätiiviksi (12HCCFMTC)

Tunnus	Tilaus pvm	Työnumero	Laitos	Käyttöpaikka	Tapahtuman kuvaus	Käyttö-tapahtu-maraportti
					<b>Suojarakennuksen terässuojakuorten kaapeliläpiviennit jääneet auki tai epätiiviksi</b>	
12HCCFMTC	13.1.2003	348424A	2	JB63, SB73, SB147, SB265, SB303	Tammikuussa 2003 havaittiin sattumalta, että Loviisa 2:n suojarakennuksen höyrystintilan ja sisemmän välitilan väliseen terässuojakuoreen oli jäänyt 7 avointa instrumentti- ja sähkökaapeleiden MTC-läpiviennit. Myös Loviisa 1:ltä löydettiin 5 avointa läpiviennit maaliskuussa 2003. Siten höyrystintilan ja sisemmän välitilan välinen palo-osastointi ei ollut tiivis. Läpiviennit oletetaan jääneen sulkematta vuosihuollossa 2002 tehtyjen muutos- ja korjaustöiden jälkeen. Osa läpiviennistä näytti kuitenkin olleen auki jo paljon pidempään. Läpiviennit olivat jääneet sulkematta, koska avatuista läpiviennistä ei ole pidetty työmääräimissä kirjaa. Näin ollen ei ole myöskään ollut yksilöityä tietoa siitä mitkä läpiviennit pitää sulkea ja on suljettu.	KT 8/2003
	14.3.2003	350906A	1	REAKTORIRAK.		
	16.4.2003	352212A	2	20XG08/S01, S21, S23	Lisäksi sähköläpiviennin sulkuasennusten tiiveyskoestuksessa huhtikuussa 2003 havaittiin kolmen sähköläpiviennin vuotavan, koska läpiviennin alumiinitivisteet oli asennettu huonosti. Siten höyrystimen ja ulomman välitilan välinen kuori ei ollut tiivis, vaan olisi mahdollistanut aktiivisuuden leviämisen suojarakennuksesta ympäristöön onnettomuuden sattuessa. Vuosihuollossa 2002 suojarakennuksen tiiveyskoestuksessa vuoto ei kuitenkaan ylittänyt TKE:n sallimaa vuotorajaa. Vuosittainen sähköläpiviennin tiiveyskoestus kattaa vain 10 % suojakuoren 1016:sta läpiviennistä, joten niissä ei epätiiveyttä havaittu.	

### Liite C2. Kummankin laitoksen molempien turpiinien kunnonvalvontajärjestelmien akselisiirtymämittaukset konfiguroitu väärään suuntaan (12HCCNSA10)

Tunnus	Tilaus pvm	Työnumero	Laitos	Käyttöpaikka	Tapahtuman kuvaus	Käyttö-tapahtu-maraportti
					<b>Kummankin laitoksen molempien turpiinien kunnonvalvontajärjestelmien akselisiirtymämittaukset konfiguroitu väärään suuntaan</b>	
12HCCNSA 10/50	26.2.2003	350246D	1/2	10SA10V101, 10SA50V101, 20SA10V101, 20SA50V101	Edellisessä vuosihuollossa suoritettuna turpiinien kunnonvalvontajärjestelmien mittayksiköiden määräaikaistarkastuksessa oli turpiin akselin suhteellisen siirtymän ohjelmistopohjaiset mittaukset konfiguroitu virheellisesti. Se aiheutti KP- ja MP-turbiinien välillä olevan akselin siirtymämittauksen päinvastaisen toimitus suunnan ja siirtymätiedon molempien laitteiden kummillakin turpiineilla.	-
					Siirtymäanturien liikuttelukoe ja välyksen tarkistus tehdään 2 vuoden välein vuosihuoltoseisokissa. Mittausten virityksien virheellisen tulkinnan vuoksi virheellistä konfiguraatiota ei havaittu.	
					Myöskään turbiinien ylösajojen yhteydessä vuosihuoltoseisokeista ei havaittu yhden siirtymämittapisteiden erisuuntaista poikkeavuutta muista akselisiirtymämittausarvoista.	
					Virheet havaittiin myöhemmin käyttöjaksolla talvella.	

Liite C3. Kummankin generaattorin y-suunnan laakerivärähtelymittausten anturikaapelit asennettu ristiin z-suunnan värähtelymittausten kanssa (1HCCNSQ12)

Tunnus	Tilaus pvm	Työnumero	Laitos	Käyttöpaikka	Tapahtuman kuvaus	Käyttö-tapahtuma-raportti
					<b>Kummankin generaattorin y-suunnan laakerivärähtelymittausten anturikaapelit asennettu ristiin z-suunnan värähtelymittausten kanssa</b>	
1HCCNSQ12	26.8.2003	359313A	1	10SQ12V105, 10SQ52V105, 10SQ12V106, 10SQ52V106	Vuosihuollossa tehtyjen korjaustoimenpiteiden jälkeen kummankin generaattorin y- suunnan laakerivärähtelymittausten 10SQ12V105 ja SQ52V105 anturikaapelit oli asennettu alajakokotelolta ristiin z-suunnan värähtelymittausten V106 kanssa. Tästä seurasi, että värähtelymittauksten hälytysrajat ylittyivät tehoajon alussa.	-
					Anturikaapeleiden ristikkäisasennusvirheiden oletetaan tapahtuneen generaattorin tiivistelaakerin vuosittaisen tarkastuksen jälkeisen antureiden takaisinasennuksen yhteydessä.	
					Laakeritarkastuksen työmääräimeen ei ollut määritelty tehtäväksi asennustarkastusta irroitettujen antureiden takaisinasennuksen jälkeen.	

Liite C4. Päälauhdepumppujen moottoreiden laakereiden rasvauksessa käytetty väärää rasvaa (1HCCNRM11)

Tunnus	Tilaus pvm	Työnumero	Laitos	Käyttöpaikka	Tapahtuman kuvaus	Käyttö-tapahtuma-raportti
					<b>Päälauhdepumppujen moottoreiden laakereiden rasvauksessa oli käytetty väärää rasvaa</b>	
2HCCNRM11	5.3.2003	348524A	2	20RM11D001	Päälauhdepumpun 20RM11D001 moottorin laakereiden rasvauksessa oli käytetty väärää rasvaa. Mahdollisesti myös toiseen sillä hetkellä rasvausvuorossa olevaan moottoriin 20RM51D001 oli lisätty samaa rasvaa.	-
					Päälauhdepumppujen moottoreiden laakereissa ei kuitenkaan havaittu myöhemmin vikaantumisia.	

## Liite C5. Aluemonitorien lähettimen ja detektorin väliin asennettu väärät kaapelit (1ODFXQ)

Tunnus	Tilaus pvm	Työnumero	Laitos	Käyttöpaikka	Tapahtuman kuvaus	Käyttö-tapahtumaraaportti
					<b>Aluemonitorien lähettimen ja detektorin väliin oli asennettu väärät kaapelit.</b>	
1ODFXQ	13.1.2003	348425A	1	10XQ	Loviisa 1:n uusittujen aluemonitorien lähettimen (LPDU:n) ja detektorin väliin oli asennettu väärät kaapelit. Kaapelit piti vaihtaa 20 m ja 60 m pituisista kaapeleista 5 m kaapeleiksi.	-
					Kaapeleille oli määritelty maksimipituudeksi 50 m. Vain yli 50 m pituiset detektorikaapelit voivat aiheuttaa mittauksiin epätarkkuutta. Liian pitkät kaapelit eivät kuitenkaan vaikuttaneet mittauksen toimintaan.	
					Lisäksi on mahdollista, että liian pitkät kaapelit jäävät sikin sokin lattialle ja mahdollistavat esim. kompastusvaaran tai sotkeutumisen liikuteltavien monitorien kaapeleiden kanssa.	

## Liite C6. Painemittausten korjausten tieltä irrotetut suojaputket jätetty asentamatta takaisin (1ODFTH52)

Tunnus	Tilaus pvm	Työnumero	Laitos	Käyttöpaikka	Tapahtuman kuvaus	Käyttö-tapahtumaraaportti
					<b>Painemittausten korjausten tieltä irrotetut suojaputket jätetty asentamatta takaisin paikolleen</b>	
1ODFTH52	13.10.2003	360951A	1	12TH52P001, 12TH52P002, 12TH60P001	Ilmeisesti edellisessä vuosihuollossa oli hätäjähdytyspumpun 12TH52D001 imu- ja painepuolen painemittausten sekä 12TH60 vuotolinjan painemittauksen 12TH60P001 kaapeleiden suojaputkia jouduttu irrottamaan korjaustöiden tieltä ja töiden valmistumisen jälkeen olivat suojaputket jääneet asentamatta paikolleen.	-



Liite C7. KP-hätälisävesipumpun moottorin lämpötilamittaukset asennettu ristiin  
(2ODFTJ11)

Tunnus	Tilaus pvm	Työnumero	Laitos	Käyttöpaikka	Tapahtuman kuvaus	Käyttötapahtumaraportti
					<b>KP-hätälisävesipumpun moottorin lämpötilamittaukset asennettu ristiin korjauksen yhteydessä</b>	
2ODFTJ11	18.3.2003	351006A	2	21TJ11T005, 21TJ11T007	Korkeapainehäätälisävesipumpun moottorin lämpötilamittaukset T005 ja T007 asennettu ristiin pumpun korjauksen yhteydessä.	-
					Virhe havaittu korjauksen jälkeisessä koekäytössä.	
					Lämpötilamittausten virheellinen kytkentä ei estänyt korkeapaine-hätälisävesipumpun toimintaa.	

Liite C8. Apujäähdytysvesilinjan putkiplokiin uusinnassa laippatiivisteet väärää materiaalia  
(1ODFVC60)

Tunnus	Tilaus pvm	Työnumero	Laitos	Käyttöpaikka	Tapahtuman kuvaus	Käyttötapahtumaraportti
					<b>Apujäähdytysvesilinjan putkiplokiin uusinnassa laippatiivisteet väärää materiaalia</b>	
1ODFVC60	20.8.2003	359100A	1	10VC60Z001	VC60 apujäähdytysvesilinjan putkiplokiin uusinnan yhteydessä putkiplokeihin asennettu kumiset laippatiivisteet, jotka eivät soveltuneet käyttökohteeseen ja vuotivat ylösajossa.	-
					Tilalle vaihdettiin grafiittitiivisteet.	