

VTT SYMPOSIUM 188

Avainsanat:

reliability, failure analysis, working reliability,
data acquisition, operational control

Käyttövarmuuden ja elinjaksotuoton hallinta

Espoo, 19.11.1998

Toimittaja

Kenneth Holmberg

VTT Valmistustekniikka

Järjestäjä

VTT Valmistustekniikka



VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS
ESPOO 1998

ISBN 951-38-5261-X
ISSN 0357-9387

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1998

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Valmistustekniikka, Käyttötekniikka, Kemistintie 3, PL 1704, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 7002

VTT Tillverknings teknik, Driftsäkerhetsteknik, Kemistvägen 3, PB 1704, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 7002

VTT Manufacturing Technology, Operational Reliability,
Kemistintie 3, P.O.Box 1704, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 7002

ALKUSANAT

Käyttövarmuus kilpailutekijänä (KÄKI) -teknologiaohjelma käynnistyi Teknologian kehittämiskeskuksen päätöksellä syksyllä 1995. Ohjelma ja sen projektit on suunniteltu teollisuusvetoisesti siten, että osallistuvat yritykset ovat yhdessä tutkimuslaitoksien kanssa määritelleet ne kohteet, joissa kaivataan parannusta tuotteiden ja laitoksien käyttövarmuuteen ja käytettävyyteen.

Ohjelman projektit käynnistyivät kolmessa eri vaiheessa. Energiateollisuuden projektit käynnistyivät alkuvuonna 1996, prosessiteollisuuden projektit vuoden 1997 aikana ja metalliteollisuuden projekteja valmistellaan käynnistettäväksi vuoden 1998 loppuun mennessä. Lisäksi teollisuuden tuotekehitysprojekteihin liittyen on käynnistetty useita tutkimuslaitoksien vetämiä käyttövarmuusmetodiikan kehittämiseen keskittyviä tavoitetutkimusprojekteja. Ohjelma päättyy vuonna 2001.

Tähän kirjaan sisältyvät raportit edustavat tutkimustuloksia ja selvityksiä, jotka ovat syntyneet ohjelmassa sen kolmen ensimmäisen toteutusvuoden aikana. Tulokset esitettiin KÄKI-ohjelmaseminaarissa 19. marraskuuta 1998 Otaniemessä, Espoossa. Kirjoittajat tahtovat kiittää kaikkia niitä tahoja, jotka ovat osallistuneet tämän tutkimuskokonaisuuden rahoittamiseen ja myötävaikuttaneet tutkimustyön toteuttamiseen ja tukemiseen monella eri tavalla. Toimittaja kiittää VTT Valmistustekniikan Auli Leveistä ja Åsa Åvallia tämän kirjan raporttien erinomaisesta editointi- ja yhdenmukaistamistyöstä.

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	3
Käyttövarmuustakuut ja niiden määrittäminen <i>Jari Konola & Jukka Salmikuukka</i>	7
Suomen käyttövarmuus- ja luotettavuusalueen standardisointi osana kansainvälistä standardisointia <i>Veikko Rouhiainen</i>	19
Using the reliability data. Case: Analysis of power plant <i>Kimmo Räsänen</i>	29
Kaasuturbiinin käyttövarmuuden kehittäminen <i>Katariina Muhonen & Veli Taskinen</i>	39
Voitelujärjestelmän elinjaksotuoton tarkastelu <i>Esa Salovaara & Ville Taipale</i>	47
Venttiilin ja säätöpiirin hallintajärjestelmä <i>Jari Riihilahti</i>	57
Prosessiolosuhteiden hallinta laitoksen käyntiinajovaiheessa - sellun valkaisuolinjan käyttövarmuus kilpailutekijänä <i>Erkki Pulkkinen</i>	65
Less process variations through continuous control loop performance assessment by using KCL-CoPA <i>Marko Moisio, Risto Ritala & Lasse Nyström</i>	73
Paperikoneen käyttövarmuusmallin kehittäminen <i>Helena Kortelainen, Pasi Ristimäki & Kari Oinonen</i>	87
Reliability analysis of a gas-diesel engine's fuel injection system <i>Tuomo Jalovaara</i>	95
Komponenttien kriittisyyden määrittäminen <i>Risto Parikka & Matti Säynätjoki, VTT</i>	107
Käyttövarmuustietojen hankkiminen ja hyödyntäminen <i>Jyrki Tervo & Matti Säynätjoki</i>	121
LIITTEET	
1 Julkaisuluettelo	
2 Käyttövarmuus kilpailutekijänä -teknologiahankkeen organisaatio	

KÄYTTÖVARMUUSTAKUUT JA NIIDEN MÄÄRITTÄMINEN

Jari Konola, tutkija
VTT Valmistustekniikka, Turvallisuustekniikka
PL 1701, 33101 Tampere

Jukka Salmikuukka, tutkija
VTT Valmistustekniikka, Turvallisuustekniikka
PL 1701, 33101 Tampere

Tiivistelmä

Tuotantotehokkuuden merkityksen lisääntyessä on pelkän toimintavarmuuden ohella myös käyttövarmuuden merkitys korostunut. Vastuu laitteiden käyttövarmuudesta on jakautumassa osittain myös laitetoimittajien harteille. Käyttövarmuustakuut voidaan nähdä keinona tämän vastuun jakamisessa.

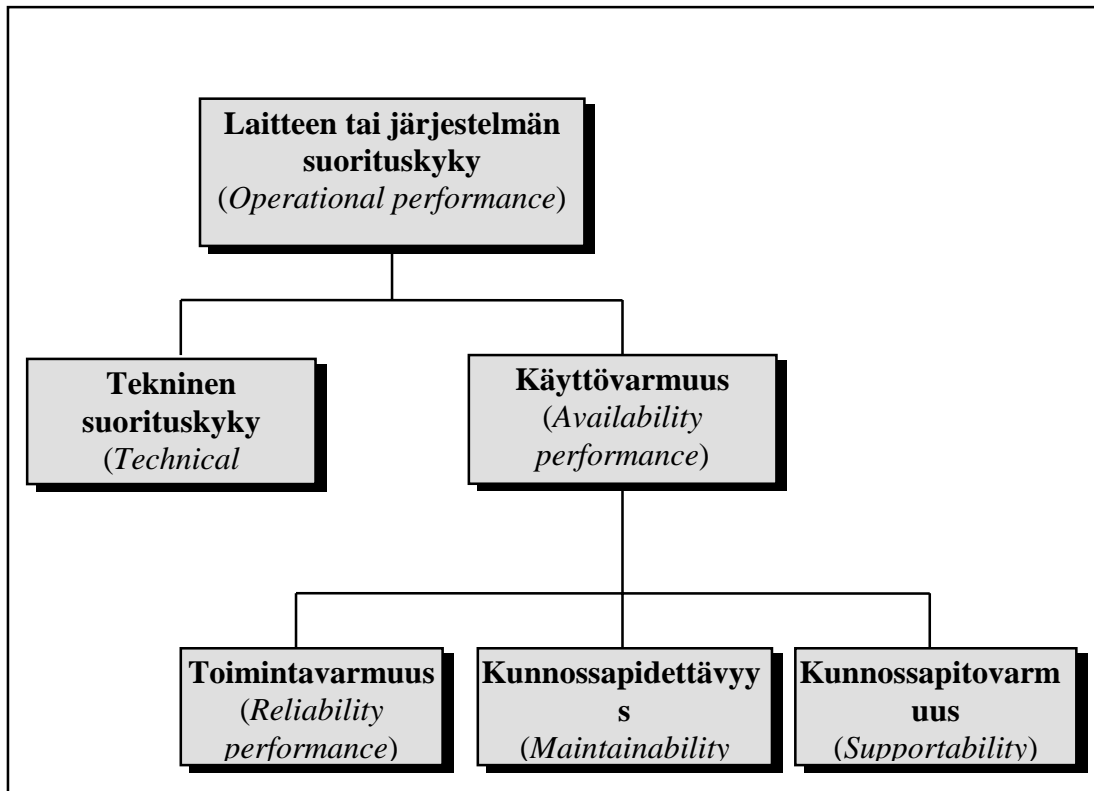
Ennen kuin laitetoimittajat myöntävät käyttövarmuustakuuta, on heidän oltava tietoisia laitteidensa vikatiheydestä käyttöolosuhteissa. Ellei laitetoimittajalla itsellään ole kerättyä vikatietao riittävän pitkältä ajalta täytyy sen tukeutua erilaisten datapankkien tai tietokantojen vikatietoihin. Yksi mahdollisuus saada tietoa on erilaiset analyysi-istunnot, kuten VVA, joissa tarvittavat tiedot selvitetään.

Asiakkaan ja laitetoimittajan on yhteistyössä määriteltävä takuuehdot ja -arvot. Käytännössä tämä tarkoittaa mm. sitä millaisia vikoja takuu koskee ja mitä suuria käytetään käyttövarmuuden mittareina kyseisessä tapauksessa. Lopuksi on sovittava miten takuuehtojen seurannan toteutumista seurataan. Tavoitteena takuiden myöntämisessä on luoda aiempaa kiinteämpi yhteistyösuhde laitetoimittajan ja asiakkaan välille yhä käyttövarmemman tuotantoprosessin aikaansaamiseksi.

1. MITÄ KÄYTTÖVARMUUDELLA JA KÄYTTÖVARMUUSTAKUILLA TARKOITETAAN

Käyttövarmuudella tarkoitetaan laitteen tai järjestelmän kykyä toimia vikaantumatta (*toimintavarmuus*), huollon helppoutta (*kunnossapidettävyyys*) sekä huoltoorganisaation kykyä järjestää tarvittaessa edellytykset kunnossapitoa varten (*kunnossapitovarmuus*).

Käyttövarmuustakuissa toimittaja takaa toimittamilleen laitteille tai järjestelmille tietyn luotettavuustason. Käyttövarmuustakuihin voidaan sisällyttää myös suosituksia laitetoimittajan suorittamista määräaikaishuolloista, tarkastuksista ja korjauksista, joilla tarvittaviin takuuarvoihin päästään.



Kuva 1. Käyttövarmuuden osatekijät (Lyytikäinen, 1987).

2. TIEDONKERUU KÄYTTÖVARMUUSTAKUIDEN ANTAMISTA VARTEN

Käyttövarmuustakuiden konkretisoimiseksi voidaan aihetta tarkastella kuvitteellisen esimerkin avulla. Laitevalmistaja Oy toimittaa Käyttjä Oy:lle kolme käyttäjän kannalta kriittistä konetta. Toimituksen ehdoksi Käyttjä Oy asettaa käyttövarmuustakuut. Laitevalmistaja Oy ei aiemmin ole antanut käyttövarmuustakuita koneilleen. Kuten usein teollisuudessa, heilläkään ei ole kerättyä kokemusperäistä vikatietaa laitteistaan. Tässä tilanteessa Laitevalmistaja Oy:ssä ryhdytään selvittämään, mistä saataisiin tietoa käyttövarmuustakuiden pohjaksi.

2.1 ASIAANTUNTIJOIDEN KÄYTTÄMINEN

Yhtenä vaihtoehtona käyttövarmuustakuissa tarvittavan datan hankinnassa on vika- ja vaikutusanalyysin (VVA) käyttö. VVA on analysointimenetelmä, jota voidaan käyttää sellaisten vikojen tunnistamiseen, joiden seurauksilla on merkittävä vaikutus järjestelmän suorituskykyyn. VVA-istunnoissa vetäjänä toimii usein yrityksen ulkopuolinen henkilö. Analyysiryhmä koostuu suunnittelijoista sekä käytöstä ja kunnossapidosta vastaavista henkilöistä. Ryhmän tehtävänä on analyysin vetäjän johdolla käydä läpi kohta kohdalta tarkasteltavaa kohdetta ennalta sovitun proseduurin mukaisesti. Tavoitteena on saada selville kohteessa esiintyvät viat, niiden syyt sekä esiintymistiheys ja arvioida vikojen keskimääräisiä korjausaikoja sekä vikojen vaikutusta prosessiin. Lisäksi analyysissä selvitetään miten vika havaitaan, ja pohditaan kohteen toimintavarmuuteen tai kunnossapidettävyyteen vaikuttavia parannuksia.

Vika- ja vaikutusanalyysillä voi useissa tapauksissa olla kehitystarpeita selkeyttävä ja suunnittelua kohdentava vaikutus. VVA-istunnot palvelevat myös tehokkaana tiedonsiirtokanavana eri sidosryhmien välillä.

Käyttövarmuustietoja voidaan hankkia myös asiantuntija-arviomenettelyn avulla. Asiantuntija-arviot perustuvat osapuolten omien ja usein myös ulkopuolisten asiantuntijoiden tietämyksen hyödyntämiseen. Eri asiantuntijoilta pyydetään arviot esimerkiksi kohteen vikaantumistiheydestä ja nämä arviot yhdistetään matemaattisten menetelmien avulla. Kehittyneissä asiantuntijamalleissa voidaan huomioida myös kunkin arvioitsijan asiantuntemus. VVA-istunnoille ja asiantuntijamalleille yhteistä on se, että molempien tavoitteena on jalostaa analyysiryhmän tai asiantuntijoiden kokemusperäinen tietämys konkreettisesti hyödynnettäväksi informaatioksi.

2.2 TIETOKANNAT JA DATAPANKIT

Käyttövarmuustietoa voidaan hankkia myös esimerkiksi erilaisista luotettavuustietopankeista. Tietopankeilla tarkoitetaan tässä yhteydessä paperi-, tai sähköiseen muotoon yhteen kerättyä dataa. Viime aikoina luotettavuusdataa käsittelevien tietokantojen, kirjojen ja lehtiartikkeleiden määrä on kasvanut. Kuitenkin ainoastaan harvat näistä uusista datalähteistä perustuvat uuteen raakadataan, vaan usein datalähteiden perustana ovat olleet WASH-1400 ja IEEE-Std.500 -tietokannat (Kortner, 1995).

Tietokantojen käyttö ei ole ongelmaton. Koska tietokannoissa olevat yleisten komponenttien vikaantuvuusarvot perustuvat aina historiatietoihin, niiden voidaan olettaa edustavan vanhentuneita, toimintavarmuudeltaan heikompia

komponentteja. Tämän lisäksi järjestelmää ja olosuhteita, joista tietopankin data on kerätty, ei aina voida rinnastaa omaan järjestelmään (Toola, 1996).

2.3 LAITEVALMISTAJA OY:N RATKAISU

Laitevalmistaja Oy päätyi VVA-istuntoihin, joissa arvioitiin käyttövarmuustakuiden pohjaksi tarvittavat tiedot. Toteutetuissa VVA-istunnoissa havaittiin myös joitakin laitteiden toimintaan ja huollettavuuteen liittyviä konkreettisia parannusehdotuksia, jotka istuntoihin osallistuneiden suunnitteluosaston edustajien mukana välittyivät koko suunnitteluportaalle.

Koska asiakkaat voivat jatkossakin vaatia käyttövarmuustakuita, Laitevalmistaja Oy:ssä päätettiin aloittaa vika- ja käyttötiedon kerääminen toimitettavista laitteista. Tietojen saamiseksi Laitevalmistaja Oy päätti liittää osaksi takuuehtoja vaatimuksen, että asiakkaan täytyy toimittaa heille vikatiedot takuun piirissä olevista laitteista.

3. TAKUUEHTOJEN JA -ARVOJEN MÄÄRITTELY

3.1 VIAN MÄÄRITTELY

Takuun alkamisaika, siihen liittyvät ehdot ja takuun kesto määritellään luonnollisestikin takuuehdoissa samoin kuin takuun kohteena olevat laitteet, osat ja järjestelmät. Takuuehtojen yhtenä lähtökohtana voidaan pitää vian määrittelyä: mitä vialla tarkoitetaan kyseisessä tapauksessa. Esimerkiksi IEC-standardissa IEC 50(191) määritellään viaksi tila, jossa kohde ei kykene suoriutumaan sille annettusta tehtävästä. Poikkeuksena tilanteet, joissa kohteelle suoritetaan ennakoivaa kunnossapitoa tai siihen rinnastettavia toimenpiteitä, tai kohde kärsii siitä riippumattomista ulkoisten resurssien (esim. raaka-aine, sähkö jne.) puutteesta.

IEC-standardin mukainen vian määrittely on sellaisenaan kattava yksinkertaisille komponenteille, mutta monimutkaisten laitteiden ja järjestelmien kohdalla tilanne ei ole aina yhtä selkeä. Laitehan voi sisältää viallisen komponentin, mutta redundanssin tms. johdosta laite pystyy kuitenkin suoriutumaan sille asetetusta tehtävästä. Laite ei näin ollen ole määritelmän mukaan vikaantunut. Laite voi sisältää myös komponentteja, joiden rikkoontuminen ei suoranaisesti estä laitteen toimintaa, eikä vikaa edes välttämättä ainakaan heti havaita. Vika voi olla myös sellainen, että se heikentää laitteen suorituskykyä, muttei pysäytä sen toimintaa. Mihin siis asetetaan raja viallisen ja toimivan laitteen välillä?

Käytännössä raja on asetettava siten, että huomioidaan vain viat, jotka voidaan riittävän luotettavasti todentaa. Tällaisia vikoja ovat nk. kriittiset viat, jotka pysäyttävät laitteen toiminnan. Lisäksi voidaan huomioida viat, jotka heikentävät laitteen toimintakykyä. Raja viallisen ja toimivan laitteen välillä voidaan määritellä esimerkiksi tietyinä prosenttiosuutena maksimitehosta.

3.2 MÄÄRITTELYISSÄ HUOMIOITAVIA TEKIJÖITÄ

Ennen laitteiden toimitusta olisi hyvä arvioida myös se, kuinka hyvin niiden kunnossapidosta voidaan huolehtia tuotanto-olosuhteissa. Arviointi voidaan toteuttaa esimerkiksi tuotantotiloissa pidettävien katselmusten avulla. Keskeisille kunnossapitotoimenpiteille voidaan myös toteuttaa ns. mallityöt, joiden avulla määritellään eri kunnossapitotöihin kuluvat ajat. Näin voidaan etukäteen huomioida laitteen kunnossapidettävyyteen liittyvien ulkoisten tekijöiden vaikutukset.

Käyttövarmuutta mittaavien suureiden tulee olla kulloiseenkin tilanteeseen sopivia ja mahdollisimman hyvin tarkasteltavaa ominaisuutta kuvaavia. Suureiden tulee olla myös numeerisesti määriteltyjä, mitattavissa ja varmennettavissa olevia. Käytettävät termit tulee määritellä riittävän selkeästi ja yksikäsitteisesti, jotta väärinkäsityksiltä ja tulkintaepäselvyyksiltä vältyttäisiin. Tärkeää on myös määritellä ehdot (käyttöolosuhteet, kunnossapitotoimet, koneelle tuleva kuormitus ym.), joiden voimassaollessa takuu on voimassa.

3.3 LAITEVALMISTAJA OY:N TAKUUEHDOT

- raaka-aineita on tarjolla normaalisti
- ympäristön lämpötila 0...40°C
- ennakoiva kunnossapito suoritetaan erikseen annettujen ohjeiden mukaisesti
- laitteen kuormitustaso on erikseen annettujen suositusarvojen mukainen.

Lisäksi Laitevalmistaja Oy voi edellyttää, että Käyttäjä Oy ostaa tietyt varaosat toimituksen mukana, jotta käyttäjän edellyttämään kunnossapitovarmuuteen päästään. Samalla Käyttäjä Oy voi ottaa varaosavaatimuksen huomioon vertaillessaan eri laitevalmistajien tekemiä tarjouksia.

Laitevalmistaja Oy määrittelee käyttövarmuustakuun piiriin kuuluviksi koneissa esiintyvät mekaaniset ja sähköiset viat, mutta ei prosessissa esiintyviä häiriöitä. Viaksi määritellään tila, jossa laite ei kykene suorittamaan sille annettua tehtävää

sovituisissa rajoissa. Raja-arvoksi määritetään 90 % koneen maksimitehosta.

Takuuajaksi sovitaan esimerkiksi kolme vuotta. Takuu astuu voimaan siitä päivästä kun tuotannollisessa koekäytössä saavutetaan erikseen sovitut määrä- ja laatuarvot. Käyttövarmuutta kuvaamaan voitaisiin valita esimerkiksi seuraavat suureet:

- Käytettävyys, (A), %
- Keskimääräinen korjausaika (“vika-aika”) ($MTTR$), h
- Keskimääräinen vikaväli ($MTBF$), h
- Käytön keskeyttävien vikojen lukumäärä, (N), kpl/v

Kaikki takuuehdoissa esiintyvät termit ja suureet on määriteltävä yksikäsitteisesti. Laittevalmistaja Oy:n ja Käyttäjä Oy:n välisissä takuuneuvotteluissa yritykset voivat sopia käytettävissä määrittelyistä. Etenkin kansainvälisissä laitehankinnoissa tai -toimituksissa on syytä tukeutua kansainvälisesti tunnustettujen standardien mukaisiin määritelmiin. Esimerkkitapauksessa sovittiin, että käyttövarmuuden tunnusluvut määritellään standardin SFS-IEC 50(191) ja standardiluonnoksen IEC/TC56(draft) mukaisesti.

Takuuehdot tulee määritellä ainoastaan luotettavasti todennettavissa olevien tekijöiden avulla. Esimerkiksi keskimääräiseen korjausaikaan ($MTTR$) sisältyvien yksittäisten tekijöiden (mm. erilaiset viiveet) luotettava mittaaminen ja todentaminen voi käytännössä olla ongelmallista. Takuuehdoissa käytettävien termin määrittelyssä tuleekin noudattaa erityistä huolellisuutta, sillä eri lähteissä esitetyt määritelmät voivat poiketa toisistaan huomattavasti.

Kunnossapidon mallitöiden suorittamisesta päätettiin kuitenkin luopua, sillä kumpikin osapuoli oli tyytyväinen VVA:ssa saatuihin arvioihin korjausajoista. Osapuolet päätyivät layout-katselmukseen Käyttäjä Oy:n tiloissa. Katselmuksen tarkoituksena on varmistua siitä, että huoltoreitit ja -tilat, nostomahdollisuudet sekä tuotantotekniset tekijät eivät estä, tai olennaisesti vaikeuta takuuehtojen saavuttamista.

4. TAKUUEHTOJEN SEURANTA

Takuuehtojen toteutumisen seuranta on käyttövarmuustakuiden keskeinen osa. Takuusopimuksessa tulee määritellä, miten takuuehtojen toteutumisen käytännön seuranta tapahtuu. Toteutustavan valintaan vaikuttavat olennaisesti mm. ostajan tiedonkeruujärjestelmä ja kerättävien tietojen laatu. Sopimuksessa on hyvä määritellä myös miten raportointi tapahtuu ja mitä asioita raporttiin kirjataan. Hyödyllistä on laatia takuusopimuksen liitteeksi raporttipohjat yhtenäistämään

vikojen, korjauksien ja ennakkohuoltojen raportointia ja seuranta. Takuuehtojen toteutumisen seurannan tehostamiseksi on hyvä sopia etukäteen myös yhteisten seurantalaverien ajankohdat.

Esimerkkitapauksessamme Laitevalmistaja Oy ja Käyttäjä Oy sopivat, että jokaisesta korjattuna viasta ja ennakkohuoltotyöstä, jotka Laitevalmistaja Oy toimesta takuuajana suoritetaan, tehdään kirjallinen ilmoitus. Käyttäjä Oy puolestaan laatii tekemistään huoltotoimenpiteistä, häiriöistä ja vioista raportin, joista käy ilmi vikaantunut osa, häiriön tai vian kuvaus, vian korjaamiseksi tehdyt toimenpiteet, toimintakelvottomuusajka, käytetyt varaosat ja materiaalit sekä korjaukseen käytetyt työtunnit. Tämän lisäksi osapuolet järjestävät kaksi kertaa vuodessa takuukatselmuksen, jossa seurataan takuuarvojen tilannetta.

Alentuneen toimintakyvyn osalta osapuolet sopivat, että Käyttäjä Oy kirjaa ylös ajankohdan, jolloin koneen toimintakyky laskee alle sovitun rajan. Epäkäytettävyys alkaa siitä hetkestä, jolloin asiasta on ilmoitettu sovitulla tavalla Laitevalmistaja Oy:lle.

5. TAKUUKORJAUKSET

Takuuehdoissa on hyvä määritellä toimenpiteet joihin ryhdytään, mikäli

- tapahtuu vikaantuminen
- sovittuihin takuuarvoihin ei päästä.

Edellä käsiteltyjen raportointikäytäntöjen lisäksi voi olla syytä luokitella mahdolliset vikamuodot siten, että määritellään viat, jotka edellyttävät laitetoimittajan kutsumista paikalle ja toisaalta viat, jotka käyttäjä voi korjata omatoimisesti. Laitetoimittajaa ei tällöin turhaan kuormiteta sellaisilla korjauksilla, jotka myös tehtaalla kunnossapitohenkilökunta voi tehdä, mutta järjestely takaa laitevalmistajan asiantuntijan saatavuuden tarvittaessa. Mikäli sovittuihin takuuarvoihin ei päästä, ryhdytään välittömästi selvittämään, mistä poikkeama johtuu, ja mitä ongelman korjaamiseksi on tehtävissä.

Takuusopimuksessa on järkevää eritellä myös kaikki kustannukset, joita takuuajana voi syntyä ja määrittää kenen hoidettaviksi ne kuuluvat. Joskus sopimuksissa voidaan määritellä myös esimerkiksi aikaraja, jonka kuluessa toimittajan on pystyttävä toimittamaan asiantuntija-apua paikalle vian ilmaannuttua.

Esimerkkitapauksessa osapuolet sopivat, että kaikista takuun piiriin kuuluvista korjauskustannuksista sekä korjauksista aiheutuneista puhdistuskustannuksista

vastaa Laitevalmistaja Oy. Laitevalmistaja Oy raportoi suoritettut takuukorjaukset Käyttäjä Oy:lle säännöllisin väliajoin.

Jos Laitevalmistaja Oy ei pysty saattamaan koneitaan kohtuulliseksi katsotussa ajassa toimintakuntoon voi Käyttäjä Oy hankkia tarvittaessa apua ulkopuolisilta tahoilta Laitevalmistaja Oy:n vastatessa kustannuksista sovittuun rajaan saakka.

6. PALKKIOT JA SANKTIOT

Sopimuksessa tulee määritellä myös mahdolliset palkkiot ja sanktiot jokaisen takuuehdoissa määritellyn suureen osalta. Palkkioiden osalta voidaan esimerkiksi sopia, että mikäli toimitetut koneet ylittävät takuuehdoissa määritellyn käytettävyyssrajan, saa Laitevalmistaja Oy tietyn bonuspalkkion. Käytännössä bonusten osalta kysymys on siitä, että Laitevalmistaja Oy saa osuuden tuotoista, jotka seuraavat suunnitellun käytettävyyden ylityksestä.

Sanktioiden enimmäismäärä tulee kirjata sopimukseen. Lisäksi tulee määritellä pienin tarkasteluajaväli, jolla takuuarvojen toteutumista tarkastellaan. Tämä on usein kalenterivuosi, mutta voi olla myös esimerkiksi takuukatselmusten väliä vastaava ajanjakso. Sopimukseen tulee tietenkin kirjata myös seikat, jotka johtavat esimerkiksi sanktioiden alenemiseen. Tyypillinen esimerkiksi on koneen käyttäminen ohjeiden vastaisesti.

Käytännössä mahdollisia sanktioita silmällä pitäen voidaan sopia, että tietty osa toimituksen hinnasta maksetaan vasta, kun takuu aika umpeutuu. Tällöin maksettavasta summasta vähennetään takuuajana mahdollisesti kertyneet sanktiot tai vastaavasti summaan lisätään mahdollisesti saavutetut bonuspalkkiot.

Sanktiot voitaisiin Laitevalmistaja Oy:n ja Käyttäjä Oy:n välisessä sopimuksessa määritellä esimerkiksi seuraavasti:

- Jos käytettävyydelle (A) asetettua takuuarvoa ei saavuteta takuuajana, suorittaa Laitevalmistaja Oy sovitun korvauksen jokaiselta asetetun käytettävyyssarvon alittavalta prosentilta.
- Mikäli keskimääräinen korjausaika (MTTR) ylittyy, suorittaa Laitevalmistaja Oy korvausta sovitusti jokaiselta ylimenevältä tunnilta.

- Jos keskimääräinen kulutusosan elinikä alittuu, suorittaa Laitevalmistaja Oy sovitun korvauksen jokaista kulutusosan keskimääräistä elinikää alittavaa vuorokautta kohti.
- Mikäli toteutuva keskimääräinen vikaväli (*MTBF*) on takuuehdoissa määritellyä pienempi, suorittaa Laitevalmistaja Oy korvausta sovitusti jokaista alentunutta viikkoa kohti.
- Lisäksi Laitevalmistaja Oy suorittaa korvauksen, mikäli takuussa määritelty käytön keskeyttävien vikojen lukumäärä ylittyy. Sanktioiden enimmäismääräksi voidaan kirjata esimerkiksi 10 % hankintasopimuksen arvosta.

Mikäli Käyttäjä Oy käyttää tai kunnossapitää koneita Laitevalmistaja Oy:n ohjeiden vastaisesti niin, että koneiden käytettävyyttä tämän johdosta alenee, ei tästä menettelystä johtuvia häiriöitä ja vikoja huomioida takuuseurannassa.

7. YHTEENVETO

Yksittäisen koneen, laitteen tai osajärjestelmän käytettävyyttä voi vaikuttaa merkittävästi tavalla kokonaisen tuotantojärjestelmän käyttövarmuuteen. Näin ollen koneen/laitteen/osajärjestelmän käyttövarmuus onkin hankintapäätöstä tehtäessä usein yksi keskeisimmistä valintakriteereistä. Laitehankintoja tehdessään asiakas joutuu hyväksymään laitteen käyttövarmuuteen liittyvät riskit, jotka toteutuessaan voivat olennaisesti heikentää koko tuotantojärjestelmän toimintaa. Laitevalmistajan myöntämät käyttövarmuustakuut siirtävät tätä asiakkaaseen kohdistuvaa riskiä osin laitevalmistajan kannettavaksi.

Käyttövarmuustakuu voi olla erinomainen markkinointivaltti laitetoimittajalle. Takuun myöntäjä ottaa vapaaehtoisesti osan toimitettavaan kohteeseen sisältyvästä riskistä kantaakseen, jolloin takuun myöntäjän on voitava varmistua mahdollisimman tarkkaan sovittujen ehtojen realistisuudesta.

Laitevalmistajilla ei useinkaan ole käytettävissä systemaattisesti kerättyä vikatietoa, vaan takuuehdot voidaan joutua määrittämään subjektiivisiin arvioihin perustuvien asiantuntijaistuntojen perusteella. Systemaattisesti käyttövarmuustakuuta myöntävät toimittajat ovatkin usein pyrkineet varmistamaan vikatiedon saannin asettamalla yhdeksi myönnettyjen takuiden ehdoksi sen, että asiakas sitoutuu toimittamaan vika ja joissakin tapauksissa myös käyttötietoa laitetoimittajalle. Tiedonkeruu palvelee tällöin tulevien takuuehtojen määrittämisessä.

Käyttövarmuustakuissa käytettävien suureiden tulee olla yksikäsitteisesti määritellyjä. Näin vältetään mahdollisilta tulkintaepäselvyyksien aiheuttamilta ristiriidoilta. Esimerkkitapauksessa käyttövarmuutta mittaamaan on valittu käytännössä hyväksi havaittuja suureita, jotka on määritelty yleisesti tunnustettujen standardien mukaisesti. Joissakin tapauksissa voidaan löytää takuuehtoihin paljon paremmin soveltuvia suureita ja määritelmiä.

Keskeistä käyttövarmuustakuissa on käyttäjän ja toimittajan välinen kiinteä yhteistyö, joka palvelee molempien osapuolten intressejä. Voidaankin ajatella, että yhä useammin yhteistyön kohteena on laitteiden hankinnan sijasta käyttövarma tuotantoprosessi. Laitevalmistaja siis tarjoaa pelkän yksittäisen laitteen sijaan prosessin tietyn toiminnon suoritusvarmuutta. Vastineeksi ostaja on puolestaan valmis aikaisempaa vaativampiin sopimusehtoihin, esimerkiksi luovutettavien käyttö- ja vikatietojen osalta.

LÄHTEET

IEC/TC56 Committee Draft. Mathematical expressions for reliability, availability, maintainability and maintenance support terms, 1996.

Kortner, H. A User's Guide to European Reliability Databases. Proceedings of the 8th ESReDA Seminar on Reliability Data Analysis & Use, 1995.

Lyytikäinen, A. Käyttövarmuuskäsikirja. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1987. (VTT Tiedotteita 678).

SFS-IEC 50(191). Sähkötekniillinen sanasto. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto, 1996.

Toola, A. Käyttövarmuustekniikan hyödyntäminen suomalaisissa yrityksissä. Tampere: VTT Valmistustekniikka, 1996. (Raportti VALB194).

LIITE 1. KÄYTTÖVARMUUSTERMIEIN MÄÄRITELMIÄ

Määritelmät perustuvat standardiin SFS-IEC 50(191) ja standardiluonnokseen IEC/TC56 COMMITTEE DRAFT.

Käytettävyys (*Availability, A*)

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} = \frac{MUT}{MUT + MDT},$$

jossa

<i>MTTF</i>	= keskim. vikaantumisaika (<i>Mean Time To Failure</i>)
<i>MTTR</i>	= keskim. vian korjausaika (<i>Mean Time To Repair</i>)
<i>MUT</i>	= keskim. toimintakelpoisuusaika (<i>Mean Up Time</i>)
<i>MDT</i>	= keskim. toimintakelvottomuusaika (<i>Mean Down Time</i>)

Keskimääräinen korjausaika (*Mean Time To Restoration, MTTR*)

$$\begin{aligned} MTTR &= MUFT + MAD + MLD + MACMT \\ &= MUFT + MAD + MLD + MTD + MRT, \end{aligned}$$

jossa

<i>MUFT</i>	= keskim. vian havaitsemisviive (<i>Mean Undetect Fault Time</i>)
<i>MAD</i>	= keskim. hallinnollinen viive (<i>Mean Administrative Delay</i>)
<i>MLD</i>	= keskim. logistinen viive (<i>Mean Logistic Delay</i>)
<i>MACMT</i>	= keskim. aktiivinen korjausaika (<i>Mean Active Corrective Maintenance Time</i>)
<i>MTD</i>	= keskim. tekninen viive (<i>Mean Technical Delay</i>)
<i>MRT</i>	= keskim. korjausaika (<i>Mean Repair Time</i>).

Keskimääräinen vikaväli (*Mean Time Between Failures, MTBF*) = jatkuvasti toimivan, korjattavan järjestelmän keskimääräinen kahden vikaantumisen välinen aika, *MTBF* voidaan määritellä myös muodossa

$$MTBF = MTTF + MTTR,$$

jossa **keskimääräinen vikaantumisaika** (*Mean Time To Failure, MTTF*) on kahden vikaantumisen välissä keskimäärin kuluva toiminta-aika.

SUOMEN KÄYTTÖVARMUUS- JA LUOTETTAVUUS- ALUEEN STANDARDISOINTI OSANA KANSAINVÄ- LISTÄ STANDARDISOINTIA

Veikko Rouhiainen, tutkimusprofessori
VTT Valmistustekniikka
PL 1701, 33101 Tampere

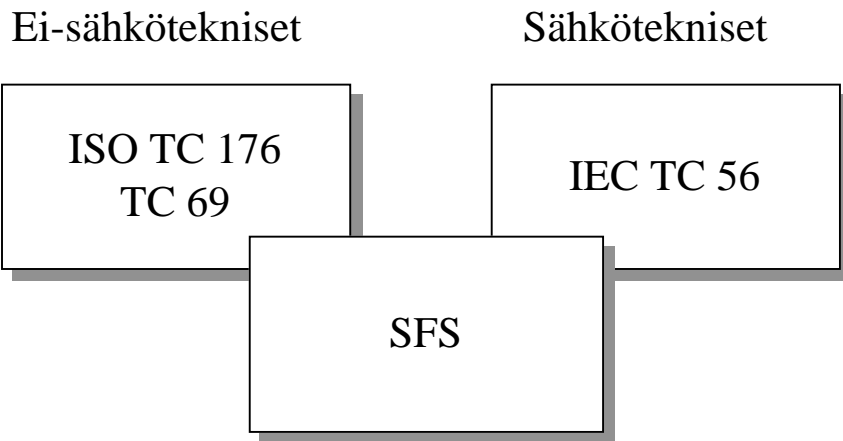
Tiivistelmä

International Organization for Standardisation (ISO) ja International Electro-technical Commission - IEC ovat yhdistäneet voimansa ja sopineet, että luotettavuusalan kansainvälisestä yleisstandardisoinnista vastaa IEC. Tämä tarkoittaa, että IEC hoitaa myös ISO:n mandaattia tällä alueella. Suomessa luotettavuustekniikan alueella Suomen Sähköteknillinen Standardisoi-misyhdistys SESKO ry muodostaa kansallisen vastinorganisaation kansainväliselle standardisointiorganisaatiolle. Artikkelissa kuvataan luotettavuusalan kansainvälisten standardien laatimisperiaatteita ja vastaavan työn organisointia Suomessa

1. KANSAINVÄLINEN YHTEISTYÖ STANDARDI- SOINNIN ALUEELLA

Kansainvälinen standardisointijärjestö - ISO tekee yhteistyötä sähköalan standardisointijärjestön - IEC:n kanssa laatu- ja luotettavuusalan standardien laatimiseksi. Tämä tarkoittaa, että vaikka IEC työskentelee sähköalalla, luotettavuusalan standardit ovat toimialariippumattomia, eli niitä voidaan soveltaa kaikilla tekniikan aloilla. Suomessa vastaavaa työtä organisoii Suomen standardisoi-misjärjestö SFS (kuva 1). SFS on Suomessa standardisoinnin keskusorganisaatio ja se:

- huolehtii Suomen edustuksesta ISO:ssa
- julkaisee kaikki suomalaiset SFS-standardit
- myy standardeja, joita ovat julkaisseet ISO, IEC, SFS jne.



Kuva 1. ISO ja IEC tekevät yhteistyötä luotettavuuden standardisoinnissa ja SFS muodostaa kansallisen organisaation Suomessa.

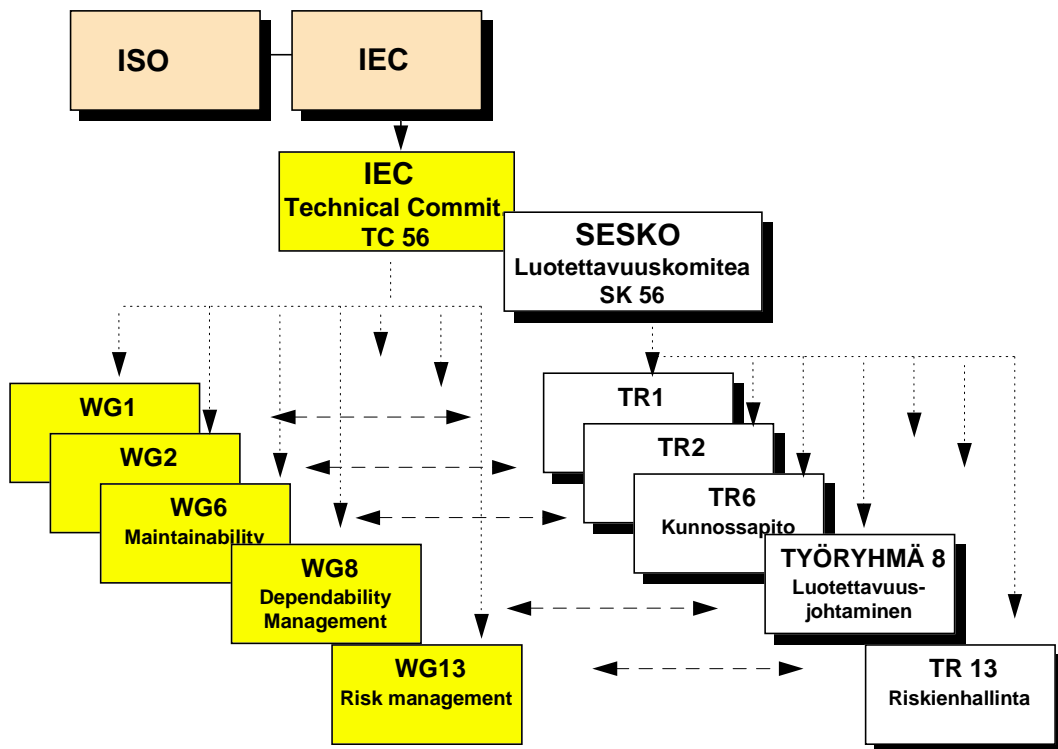
Laatu- ja tilastostandardien kehittämiseksi ISO:lla on ”Technical Committee TC 176: Quality” ja ”TC 69: Application of statistical methods”. International Electrotechnical Commission (IEC) on organisoinut luotettavuustekniikan standardisoinnin komitealle ”Technical Committee TC 56: Dependability”. Käytännön työ, ja todellinen työ, tehdään TC 56:n työryhmissä (Working Group - WG). Nykyinen työryhmien lukumäärä on 13 ja ne ovat:

- WG 1: Terms and definitions (terminologia)
- WG 2: Data collection (luotettavuustiedon keruu) (ei aktiivinen tällä hetkellä)
- WG 3: Equipment Reliability Verification (luotettavuustestaus)
- WG 4: Verification and evaluation procedures (luotettavuustodentaminen)
- WG 5: Formal design review (luotettavuuskatselmus) (ei aktiivinen tällä hetkellä)
- WG 6: Maintainability (kunnossapito)
- WG 7: Component reliability (komponentin luotettavuus)
- WG 8: Dependability management (luotettavuusjohtaminen)
- WG 9: Analysis techniques for system reliability (Luotettavuusanalysointimenetelmät) (ei aktiivinen tällä hetkellä)
- WG 10: Software aspects (ohjelmistojen luotettavuus)
- WG 11: Human aspects of reliability (ihmisen luotettavuus)
- WG 12: Risk analysis (riskianalyysi)
- WG 13: Project risk management (riskienhallinta).

Suomessa vastaava komitea on nimennyt edustajansa useimpiin työryhmistä. Tätä kautta saadaan usein tieto valmisteltavista standardeista ja voidaan tehokkaimmin vaikuttaa standardien sisältöön.

2 LUOTETTAVUUSALAN STANDARDISOINTI SUOMESSA

Suomessa käytännön työn on organisoinut Suomen Sähköteknillinen Standardisointiyhdistys SESKO ry. SESKO on Suomen edustaja IEC:ssä. SESKO:ssa ”Standardisoimiskomitea 56: Luotettavuustekniikka” (SK 56) muodostaa vastinorganisaation IEC TC 56:lle (kuva 2). Komiteassa on edustajia eri teollisuudenaloilta ja tutkimuslaitoksista.



Kuva 2. IEC TC 56:n työn organisointi ja vastinorganisaatio Suomessa (Rouhiainen 1991).

Suomen komitea SK 56 on jakanut työnsä edelleen siten, että kullakin IEC TC 56:n kolmella työryhmällä (WG) on kontaktihenkilö SK 56:ssa. Useilla kontaktihenkilöillä on myös oma suomalainen tukiryhmä, joka samalla muodostaa Suomen kansallisen työryhmän (TR). Tätä kautta standardisointiin osallistuu Suomessa kymmeniä henkilöitä, jotka edustavat eri teollisuusaloja. Kuitenkin lisää jäseniä ja erityisesti teollisuusedustajia toivotaan mukaan työhön.

Artikkelin kirjoitushetkellä seuraavat henkilöt ja organisaatiot osallistuvat SK 56 -komitean työhön:

- Pekka Louko (puheenjohtaja) RAMSE Consulting Oy
- Erkki Lanne (sihteeri) SESKO
- Veikko Anttila Sonera Oy
- Hannu Harju VTT Automaatio
- Kalle Jänkälä IVO Power Engineering Oy
- Veikko Rouhiainen VTT Valmistustekniikka
- Janne Sarsama VTT Valmistustekniikka
- Veli Siekkinen TTKK Koneensuunnittelu
- Leo Sorokin NOKIA Telecommunications Oy
- Josu Takala Vaasan yliopisto
- Paavo Tammi HTO Sähkötekniikka
- Veli Taskinen IVO Teknologikeskus
- Aarre Viljanen Metalliteollisuuden keskusliitto MET.

Suomen kansallinen komitea SK 56 osallistuu kansainvälisten standardien valmisteluun niiden valmisteluprosessin mukaisesti. Komitea myös valitsee kiinnostavimmat standardit ja kääntää ne Suomeksi julkaistavaksi esimerkiksi SFS-standardina. Viime aikoina resursseja ja työtä on pyritty suuntaamaan entistä enemmän uusien kansainvälisten standardien valmisteluun ja luonnosteluun. Olemassa olevien standardien kääntäminen Suomeksi on nähty toisarvoiseksi tehtäväksi.

3 MINKÄLAISIA STANDARDEJA KÄYTETTÄVISSÄ

IEC TC 56:n alueeksi on määritetty luotettavuus (dependability). Se on yleistermi, joka kuvaa käytettävyyttä ja siihen vaikuttavia tekijöitä: toimintavarmuutta, kunnossapidettävyyttä ja kunnossapitovarmuutta.

IEC:n julkaisemat luotettavuusalan standardit on lueteltu liitteessä 1. Kokonaisuuden selventämiseksi TC 56:ssa on nähty tarpeelliseksi, että standardit jaetaan hierarkkisesti neljälle tasolle:

- kaksi sateenvarjostandardia IEC 60300-1 ja IEC 60300-2 (tasot 1 ja 2)
- useita sovellusstandardeja IEC 60300-3-1,2,...n (taso 3)
- runsaasti vapaasti numeroituja työkalustandardeja (taso 4).

Vuonna 1997 standardien numerointi muuttiin siten, että tasojen 1, 2 ja 3 standardien numeron eteen tuli luku 60, joka ilmaisee standardisarjan. Työkalustandardien numeron eteen tuli vastaavasti numero 6. Siten entinen standardin IEC 300-1 numero on nyt IEC 60300-1 ja vastaavasti entinen standardin IEC 1025 numero on nyt IEC 61025.

On myös hyväksytty periaate, että luotettavuus on osa laatua. Tämän vuoksi ISO 9000 sarjan laatustandardeista on viittauksia luotettavuusstandardeihin.

Suomeksi on käännetty hyvin valikoidusti vain joitain luotettavuusalan standardeja. Käytännössä Suomessa tehtävä työ pyritään suuntaamaan kansainvälisten standardien valmisteluun ja niiden sisältöön vaikuttamiseen.

Sateenvarjostandardit

Korkeinta hierarkiatasoa edustaa standardi **IEC 300-1: Dependability programme management**. Tämä standardi on tarkoitettu sopimuksentekotilanteisiin. Se esittää vaatimuksia, joita voidaan soveltaa kun kahden osapuolen välinen sopimus edellyttää tuotteeseen tai projektiin liittyvien luotettavuusominaisuuksien varmistamista. Tätä standardia voidaan käyttää kun (Louko et al. 1991):

- tehdään suunnittelua ja/tai tuotteen ja kunnossapidon tukitoimintaa
- luotettavuusvaatimuksia on asetettu tai pitäisi asettaa
- luotettavuuden osoittamista edellytetään missä hyvänsä järjestelmän elinkaaren vaiheessa
- sopimus sisältää luotettavuuteen liittyviä takuita.

Tämä sateenvarjostandardi jakautuu kolmeen osaan, jotka kuvaavat vaatimuksia

- luotettavuusjohtamisjärjestelmälle
- pysyville järjestelmän elementeille
- projekti- tai tuotekohtaisille järjestelmän elementeille.

IEC 300-2 Dependability program elements and tasks esittää tehtävät, jotka on toteutettava parannettaessa tuotteiden luotettavuutta kustannustehokkaasti sekä elementit ja tehtävät, jotka voidaan valiten toteuttaa räätälöidyssä luotettavuusohjelmassa.

Sovellusstandardit

Sovellusstandardit kuvaavat syvällisemmin luotettavuusjohtamisjärjestelmän tehtäviä. Niiden tavoite on antaa yleisiä ohjeita siitä, miten menetellä laajassa luotettavuusprojektissa sekä miten valita sopivat menetelmät ja työkalut tiettyä käyttövarmuusohjelman elementtiä varten eri tilanteissa. Liitteessä 1 on lueteltu olemassa olevat sovellusstandardit.

Työkalustandardit

Työkalustandardit ovat yksilöllisesti numeroituja ja nimettyjä. Ne kuvaavat eri luotettavuusjohtamisjärjestelmän tehtävissä käyttökelpoisia menettelytapoja, tilastollisia menetelmiä ja analyysimenetelmiä. Tyypillisiä työkalustandardeja ovat esimerkiksi IEC 60812; vika- ja vaikutusanalyysin proseduuri, IEC 61025; vikapuuanalyysi sekä IEC 61078; luotettavuuslohkokaavio menetelmä..

4 MINKÄLAISIA STANDARDEJA VALMISTELLAAN

Luotettavuusalan standardisoinnin voidaan sanoa alkaneen tuotteiden valmistukseen liittyvistä rutiinitehtävistä, puolustusväline- ja aseteollisuuden menetelmistä sekä luotettavuuden kvantitatiivisista arviointimenetelmistä. Myöhemmin 80- ja 90 luvuilla ovat korostuneet valmistajan tarpeista lähtevä käyttövarmuuden varmistaminen, automaatiota ja ohjelmistoja sisältävät järjestelmät sekä teknisten ongelmien syvällisemmät analyysit.

Kun tullaan 2000-luvulle vaatimukset muuttuvat asiakkaiden edellyttäessä entistä kokonaisvaltaisempia ratkaisuja. Tarvitaan alihankkijoiden toiminnan tasoa kuvaavia mittareita. Tuotteiden ja palvelujen tarjonnassa kustannustehokkuudesta tulee kilpailutekijä. Luotettavuuden ja käyttövarmuuden toteuttamiskyvystä tulee palvelun laatuun ja asiakastyytyvyyteen vaikuttava avaintekijä. Tätä kehitystä pitäisi myös standardisoinnin kyetä tukemaan.

5 STANDARDISOINNILLA SAAVUTETTAVIA HYÖTYJÄ

Yrityksen toimintojen kansainvälistyessä standardien merkitys kasvaa. Enää ei voida nojata omiin yksilöllisiin toimintatapoihin ja menetelmiin. Standardit antavat velvoitteita, mutta kuitenkin enemmän hyötyjä ja uusia mahdollisuuksia. Suurin hyöty standardisoinnista koituu varmaan niille, jotka osallistuvat standardien valmisteluun. Osallistuminen standardien valmisteluun antaa mahdollisuuden

- seurata näköalapaikalta luotettavuusalan standardien kehittymistä
- kommentoida kansainvälisiä ja kansallisia standardeja ja äänestää niiden hyväksyttävyydestä
- osallistua lopulliseen päätöksentekoon kansallisiin standardeihin liittyen (mitä standardeja käännetään Suomeksi ja mikä on niiden sisältö)

- kommunikointiin saman alan asiantuntijoiden kanssa
- saada luonnoksia, tausta-aineistoa ja kokemuksia ulkomailta.

Vaikka ei olisi mahdollisuutta osallistua kansainvälisten tai kansallisten standardien valmisteluun voi niitä hyödyntää. Tästä voidaan tunnistaa ainakin seuraavia hyötyjä:

- kommunikointi tulee helpommaksi: luotettavuusala on aiemmin kärsinyt paljon liian epäkäytännöllisistä vaikkakin matemaattisesti oikein määritellyistä käsitteistä, määritelmistä ja kaavoista
- kommunikointi tulee täsmällisemmäksi: väärinkäsitykset vähenevät ja voidaan olla varmoja, että käsitteet ymmärretään samalla tavalla
- työskentelyn kustannustehokkuus paranee: voidaan viitata kansainvälisesti tai kansallisesti hyväksytyihin standardeihin sensijaan, että jouduttaisiin luomaan omia käytäntöjä.

LÄHTEET

Louko, P., Laakso, K. Rasilainen, H. 1991. Insights from Finnish participation in development of international dependability standards. In.: Malmén, Y. & Rouhiainen, V. SRE-Symposium 1991; Reliability and safety of processes and manufacturing systems. 1991. Elsevier. S. 1 - 14.

Rouhiainen, V. 1991. Development of Finnish dependability standard on risk analysis as a part of international standardization. In.: Malmén, Y. & Rouhiainen, V. SRE-Symposium 1991; Reliability and safety of processes and manufacturing systems. 1991. Elsevier. S. 355 - 358.

Yhteystietoja

Lisää tietoa luotettavuusalan standardisoinnista löytyy esimerkiksi seuraavista osoitteista:

- IEC/TC56 <http://www.iec.fi>
- SESKO/SK56 <http://www.sesko.fi>
- SK56:n puheenjohtaja Pekka.Louko@ramse.fi
- SK56:n sihteeri Erkki.Lanne@sesko.fi
- kirjoittaja Veikko.Rouhiainen@vtt.fi.

TÄRKEIMMÄT LUOTETTAVUUSALAN STANDARDIT

Huom. Standardien numerointi on muuttunut vuonna 1997. Tasojen 1, 2 ja 3 standardien numeron eteen tuli numero 60, siten että IEC 60300-1 oli ennen IEC 300-1. Vastaavasti työkalustandardien numeron eteen tuli numero 6, eli standardi IEC 61160 oli ennen IEC 1160.

Johtamisstandardit (tasot 1 ja 2):

- IEC 60300-1: Dependability programme management (SFS)
- IEC 60300-2: Dependability program elements and tasks (SFS tekeillä)

Sovellusstandardit (taso 3):

- IEC 60300-3-1 Analysis techniques for dependability. Guide on methodology (SFS)
- IEC 60300-3-2 Collection of dependability data from the field
- IEC 60300-3-3 Life cycle costing
- IEC 60300-3-4 Guide to the specification of dependability requirements
- IEC 60300-3-5 (draft) Reliability test conditions and statistical test principles
- IEC 60300-3-6 Software aspects of dependability, application guide
- IEC 60300-3-7 Reliability stress screening of electronic hardware
- IEC 60300-3-8 (draft) Human reliability
- IEC 60300-3-9 Risk analysis of technological systems (SFS tekeillä)
- IEC 60300-3-10 (draft) Maintainability and maintenance support
- IEC 60300-3-11 (draft) Reliability centered maintenance
- IEC 60300-3-12 (draft) Integrated logistic support
- IEC 60300-3-13 (draft) Technical risk management

Keskeisimmät työkalustandardit (taso 4):

- IEC 60605-1 Equipment reliability testing. Part 1: General requirements
- IEC 60605-2 Equipment reliability testing. Part 2: Guidance on the design of test cycles
- IEC 60706-5 Guide on maintainability of equipment. Part 5: Section four - Diagnostic testing
- IEC 60812 Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)

- IEC 61025 Fault tree analysis
- IEC 61078 Reliability block diagram method
- IEC 61160 Formal design review
- IEC 61163-1 Reliability stress screening. Part 1: Repairable items manufactured in lots
- IEC 61163-2 Reliability stress screening. Part 2: Electronic components
- IEC 61164 Reliability growth - statistical test and estimation methods
- IEC 61165 Application of Markov techniques
- IEC 61709 Electronic components - Reliability - Reference conditions for failure rates and stress models for conversion

Muita työkalustandardeja

- IEC 60319 Presentation of reliability data on electronic components (or parts)
- IEC 60409 Guide for inclusion of reliability clauses in specifications for components (or parts) for electronic equipment
- IEC 60410 Sampling plans and procedures for inspection by attributes
- IEC 60419 Guide for the inclusion of lot-by-lot and periodic inspection procedures in specification for electronic components or parts
- IEC 60605-3-1 Equipment reliability testing. Part 3: Preferred test conditions. Section 1: Indoor portable equipment - Low degree of simulation
- IEC 60605-3-2 Equipment reliability testing. Part 3: Preferred test conditions. Section 2: Equipment for stationary use in weatherproofed locations - High degree of simulation
- IEC 60605-3-3 Equipment reliability testing. Part 3: Preferred test conditions. Section 3: Test cycle 3: Equipment for stationary use in partially weatherproofed locations - Low degree of simulation
- IEC 60605-3-4 Equipment reliability testing. Part 3: Preferred test conditions. Section 4: Test cycle 4: Equipment for portable and nonstationary use Low degree of simulation
- IEC 60605-3-5 Equipment reliability testing. Part 3: Preferred test conditions. Section 5: Test cycle 5: Ground mobile equipment - Low degree of simulation
- IEC 60605-3-6 Equipment reliability testing. Part 3: Preferred test conditions. Section 6: Test cycle 6: Outdoor transportable equipment: Low degree of simulation
- IEC 60605-4 Equipment reliability testing. Part 4: Procedures for determining point estimates and confidence limits from equipment reliability determination tests
- IEC 60605-6 Equipment reliability testing. Part 6: Tests for the validity of the constant failure rate or constant failure intensity assumptions

- IEC 60706-1 Guide on maintainability of equipment. Part 1: Sections one, two and three - Introduction, requirements and maintainability programme
- IEC 60706-2 Guide on maintainability of equipment. Part 2: Section five - Maintainability studies during the design phase
- IEC 60706-3 Guide on maintainability of equipment. Part 3: Sections six and seven - Verification and collection, analysis and presentation of data
- IEC 60706-4 Guide on maintainability of equipment. Part 4: Section eight - Maintenance and maintenance support planning
- IEC 60706-6 Guide on maintainability of equipment. Part 6: Section nine - Statistical methods in maintainability evaluation
- IEC 60863 Presentation of reliability, maintainability and availability predictions
- IEC 61014 Programmes for reliability growth
- IEC 61070 Compliance test procedures for steady-state availability
- IEC 61123 Reliability testing - Compliance test plans for success/failure ratio
- IEC 61124 Reliability testing - Compliance tests for constant failure rate and constant failure intensity
- IEC 61649 Goodness-of-fit tests, confidence intervals and lower confidence limits for Weibull distributed data
- IEC 61650 Reliability data analysis techniques - procedures for comparison of two constant failure rates and two constant failure (event) intensities
- IEC 61704 (draft) Guide to test methods for dependability assessment of software
- IEC 61713 (draft) Guide to software dependability through the software life cycle processes
- IEC 61714 (draft) Software maintainability and maintenance aspects of a dependability programme
- IEC 61719 (draft) Guide to measures (metrics) to be used for the quantitative dependability assessment of software
- IEC 61720 (draft) Guide to techniques and tools for achieving confidence in software

Luokittelemattomat

- IEC 60050 (191) International Electrotechnical Vocabulary (IEV), Chapter 191: Dependability and quality of service
- IEC 61703 (draft) Mathematical expressions for reliability, maintainability and availability terms

USING THE RELIABILITY DATA. CASE: ANALYSIS OF POWER PLANT

Kimmo Räsänen, M.Sc. (Engineering)
Foster Wheeler Energia Oy
P.O. Box 201, FIN-78201 VARKAUS, Finland

Abstract

Nowadays customers are able to demand good availability and at no additional costs. The facts show that it is very important for a plant supplier, like Foster Wheeler Energia Oy, to have a proper RAM (reliability, availability and maintainability) programme. Furthermore, the knowledge in the areas like availability generally and life cycle costs (LCC) with unavailability costs, gives an outstanding competitive advantage for a boiler supplier in bidding competitions.

Foster Wheeler Energia Oy has developed a system to collect the reliability data of the circulating fluidized bed (CFB) boilers. Methods for systematic reliability data acquisition and analysis have been developed to get disturbance and shutdown data that allows effective decisions for boiler improvements. With quite simple statistical methods, the operational feedback data in the reliability database of Foster Wheeler Energia Oy can easily be modified for further analysis.

The introduced analysis method and programme proved their adequacy for the proposal activities. The risks of given guarantees can be quantified in some extent and also it is possible to predict the guarantee costs with simulation. Moreover, the redundant system testing can be made with these methods and, therefore, they can be integrated in the design process of the power plants.

Despite the plausible results so far, the RAM programme of Foster Wheeler Energia Oy has to be further developed. There are some other useful analysis methods in the fields of availability. For example, failure modes, effects and criticality analysis (FMECA) as well as hazard and operability study (HAZOP) could be very profitable in the power plant industry.

1 INTRODUCTION

1.1 DATA COLLECTION

Foster Wheeler Energia Oy has collected operational feedback data for several years. Fourteen Foster Wheeler CFB boiler plants are under the reliability monitoring. The main purpose of the data collection is to get disturbance and shutdown data that allows effective decisions for boiler improvements (technical, maintenance, operation), taking the same time into consideration the potential for production increase and cost savings for any identified boiler improvement. The data collected can also be used for reliability modelling and life cycle cost calculations.

The historical data collected from the plants is fed into the database. Boiler plant component and equipment reliability data are analysed using a concept of functional blocks and their components.

Forced shutdowns and disturbances (e.g. power restrictions) of a boiler plant are usually a final consequence and sum effect of different contributing events, not only a result of component or equipment failures. Thus, the database contains both shutdown and disturbance event data. The data consists of

- failure and failure consequences data;
- repair data;
- shutdown data; and
- cost data.

The data is obtained by interviewing experienced maintenance personnel and operators at power plants. The existing plant records and performance history are also studied. For more accurate, results Foster Wheeler Energia Oy has developed an on-line data gathering method for retrieving reliability data from the power plants.

As results, the data acquisition and developed reliability database provide the following features

- a wide continuously updated database on CFB boiler availability;
- tools for equipment selection for varying availability requirements;
- tool for boiler users to plan maintenance; and
- proper initial data for the further analysis of the reliability of power plants.

1.2 DATA PROCESSING

Before the data in the databases can be used as an initial data for reliability and availability analysis, like simulation, some data processing is needed. Figure 1 presents the rough procedure of data processing.

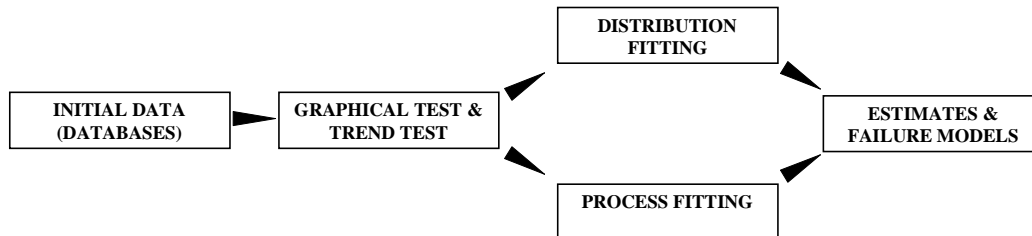


Figure 1. Data processing.

The most laborious part of the data processing is to produce parameters for failure models (i.e., parameters for failure rate function $\lambda(t)$). However, parameters can be found using so called trend analysis (e.g., Laplace trend test). In trend analysis, the observation data, that is, the failure data of a certain functional block, is examined graphically and also numerically with some trend test parameters.

If observation data follows a trend, the failure rate function parameters will be found via so called Weibull process (process fitting). If the trend does not exist, parameters are the estimated parameters of some life distribution; for example, exponential distribution or Weibull distribution. Thus, the outputs of the process are life distributions for functional blocks and also estimated parameters for corresponding failure rate functions (constant, ascending, descending or “bathtub” failure rate). Also, if the the failure rate follows the “bathtub” curve, corresponding time factors; for example, wear-in and wear-out times, will be found.

Data processing of the maintenance data contains statistical analysis, that is finding mean, standard deviation, distributions, etc. for maintenance costs, repair times and so on.

If there is a lack of proper initial data, expert judgements are used to complete the data. Experts are personnel of the existing plants which have been operated already for a while or technical experts of the subsuppliers. These experts know the behaviour (e.g., ageing and wearing) of a different equipment groups.

Confidence intervals for estimated parameters can be defined using the traditional statistical methods.

1.3 ANALYSING METHOD

This is an example of a reliability analysing method which has been successfully adapted for power plant analyses in Foster Wheeler Energia Oy. This method is the availability and unavailability cost simulation.

The important parameters of the plant reliability and availability depend on so many factors, that it is relevant to use some simulation method to quantify these parameters. With unavailability simulation, it is also possible to predict and define parameters for warranties, etc. These parameters include, for example availability, outage hours, etc., during a given lifetime of a plant.

As the reliability data of the components and equipment are collected using a concept of functional blocks, it is simple to model the plants with reliability block diagrams. These models are calculated using a commercial code.

Simulation program was selected on the basis of the following criteria: the comprehensiveness of the analysis framework, the support of Windows and Monte Carlo simulation support. The first criteria makes it possible to perform different types of analyses within the same user interface and data management. The second criteria secures a visually oriented user interface and an easy-to-learn analysis environment. The third criteria emphasises the role of Monte Carlo simulation as the proper analysis approach (Rosqvist 1996).

Simulation program is an availability simulator which allows the user to predict and optimise the performance of a technical system. Simulation program models maintenance and spare part costs allowing comparisons to be made between the overall system availability and the associated costs.

Simulation program may be used to analyse either single components of a system or whole production plants. The simulation process consists of repeatedly sampling times to failure and maintenance operation durations from failure and repair distributions and simulating the performance of the system over many life cycles to obtain a statistical estimate of system parameters which provide invaluable insight into optimising a system design.

Simulation program provides efficient modelling of the preventive and the corrective maintenance. The programme also estimates the efficiency of the maintenance personnel (with maintenance queuing). In failure models, simulation program allows the use of almost arbitrary “bathtub” curves. Moreover, cost aspects are ver

satiable and the user gets a lot of useful results, especially, when studying the unavailability costs.

2 CASE

2.1 DEFINITION OF SUBJECT

This chapter contains a case example of the power plant simulation in which the reliability data could be used. Availability and unavailability costs (costs of preventive and corrective maintenance and costs due to production losses) associated with the proposed power plant are estimated.

The power plant consists of one Foster Wheeler CFB boiler with natural circulation and one condensing turbogenerator with necessary equipment.

For further analysis, the power plant is divided into the functional blocks. In order to perform a simulation, the reliability block diagrams of the proposed power plant had to be created. The power plant includes redundant systems and the redundant systems are modelled with *k out of n* structures. For example, there is a 3×50% feed water pump system which means, two pumps out of three have to be in service in order to allow the plant to perform full availability.

The case power plant is divided into functional blocks and also into equipment groups. The division into groups helps to compare different parts of the plant. Figure 2 illustrates the top level reliability block diagram of the plant.

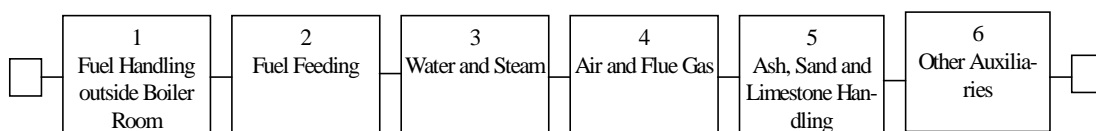


Figure 2. Top level reliability block diagram of case power plant.

2.2 INITIAL DATA AND ASSUMPTIONS

A simulation model of the simulation program consist of four different models: failure, corrective maintenance, preventive maintenance and inspection model. In this case only the failure and corrective maintenance models are under consideration. Inspections are excluded, because the failures are assumed to be immediately

revealed, i.e. inspections are not needed. The influence of preventive maintenance is taken into account with the assumed preventive maintenance operation cycle.

Initial data are only calculated for the blocks which cause unavailability or costs on a significant level, for example certain tanks are excluded. Simulation program would also let the modelling of the spare part and personnel categories, but in this study the spare part and labour costs are included in the total corrective maintenance action costs.

The two scenarios which will be simulated are

- two year life cycle; and
- a typical life cycle of a power plant.

Two year life cycle characterises the guarantee period of the plant. In the second scenario, the preventive maintenance is assumed to have a cycle of three years, which means that every three years the blocks will be as good as new.

2.3 SIMULATION RESULTS

Simulation over two years can give some guidelines for the guarantee contract. It is important to get support for the guarantee decisions, because, for example, the availability penalties could be quite significant.

Mean simulated availability over the guarantee period is 93.1%, which is also an expectation value (μ) of availability (A). Simulated availability is normally distributed with the standard deviation (σ) value of 0.76%. Using the normal distribution theorems, we can define probabilities for different availabilities. Variable Λ is defined (Råde & Westegren 1990):

$$\Lambda = \frac{A - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

For example, the probability for the mean availability of over 91%, can be calculated in the following way:

$$\begin{aligned} P(A > 91) &= P\left(\Lambda > \frac{91 - 93.1}{0.76}\right) \\ &= 1 - \phi(-2.76) \\ &= 1 - 1 + \phi(-2.76) \\ &= 0.997 \end{aligned}$$

This means that in the guarantee period the availability of over 91% can be attained with the probability of 99.7%. Table 1 includes the probabilities for certain availabilities. These probabilities can be used for quantifying the risks associated with availability guarantees.

Table 1. Probabilities for certain availabilities during guarantee period.

Availability [%]	Probability [%]
> 90	100.0
> 91	99.7
> 93	54.0
> 94	18.4

The simulated mean availability over the typical life cycle years for the case plant is 91.7%. Using the previously illustrated normal distribution theorems, we get the probability of ~100% for the availability of over 90%. Note, the predicted availability includes also failures caused by the incorrect operations of the operators.

The case power plant was divided into the equipment groups (Figure 2). Figure 3 shows the group percentages of the plant unavailability.

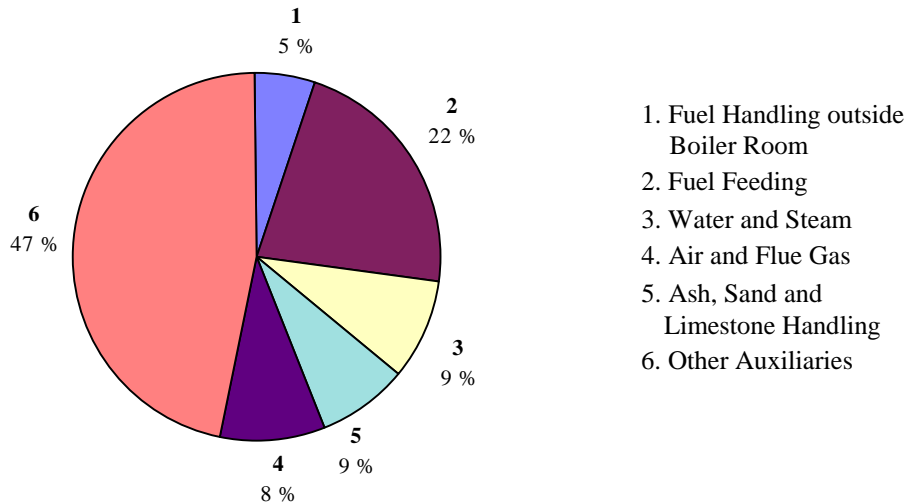


Figure 3. Group percentages of plant unavailability.

With the availability of 91.7%, the costs associated with production losses of the plant will be about 217 MFIM over the life cycle. The discounted value of losses is 92.4 MFIM.

Figure 4 illustrates the percentages of some individual blocks. The main unavailability source is the rotary feeder.

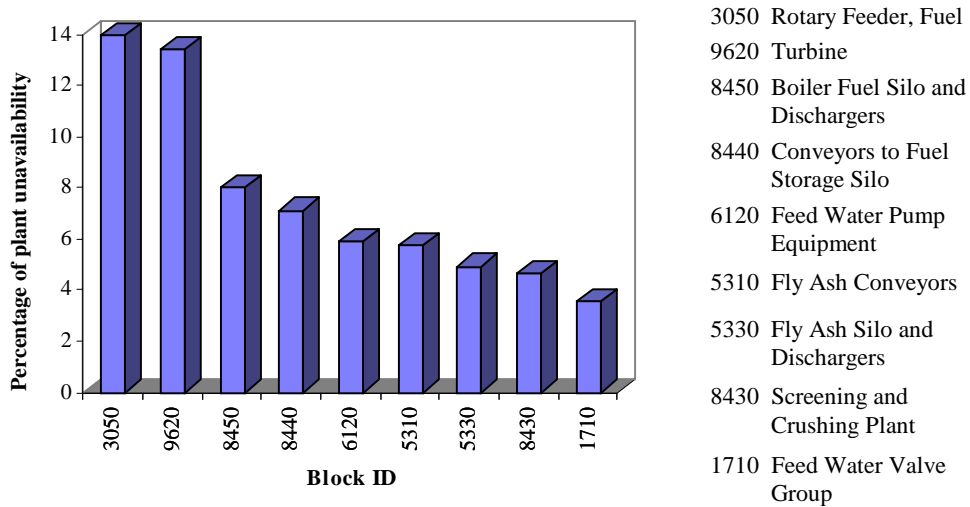


Figure 4. Block percentages of plant unavailability.

3 CONCLUSIONS

The results of the case simulation show that the unavailability costs category has a significant influence on the total life cycle costs of the plant. Most of the unavailability costs are due to production losses of the plants. Consequently, the unavailability costs of a power plant are highly related to the availability of the plant.

In the case simulation, there were many assumptions, for example the preventive maintenance cycle used in this study is not necessarily optimal for the case power plant. The cycle is only typical value.

In the future, the reliability databases will contain more data, but meanwhile the methods for reliable data replenishment should be developed. The data can be completed with assessments based on the expert judgements. Also, the modelling of the plants with simulation can be further defined, for example inspections and preventive maintenance should be taken into account more accurately.

Availability and also, the unavailability costs, are already determined in the proposal and design phases of a power plant. These phases are also almost the only phases in the life cycle of the plant, where availability factors and through these the unavailability costs can be affected.

The results of a simulation can be used for planning, because the simulation results reveal critical blocks and the results also reveal the cost driver blocks. The plant designer can also test different kinds of redundancies, for example change the feed water pump system from a 3×50% system to a 3×100% system, etc. in order to achieve optimal availability or costs.

Furthermore, results of a simulation give important support to proposal activities and to other decision making processes. For example, guarantees can be evaluated on the basis of these results, because, for example the risks associated with availability guarantees can be quantified. Consequently, availability simulation provides an efficient tool for availability analysis in the power plant industry.

REFERENCES

Rosqvist, T. 1996. Dependability analysis software. Tampere: Technical Research Centre of Finland - Manufacturing Technology. 100 p. (Report VALB190.)

Råde, L. & Westegren, B. 1990. Beta - Mathematics handbook. 2nd edition. Lund, Sweden: Chartwell-Bratt Ltd. 494 p. ISBN 0-86238-140-1.

KAASUTURBIININ KÄYTTÖVARMUUDEN KEHITTÄMINEN

Katariina Muhonen, tutkimusinsinööri
Veli Taskinen, luotettavuusinsinööri
IMATRAN VOIMA OY
IVO Teknologiaakeskus
01019 IVO

Tiivistelmä

Vuoden 1997 osuudessa työssä laadittiin vikaraporttilomake vika- ja kunnossapitodatan keräystä varten. Työssä arvioitiin myös käyttövarmuusmallinnusohjelmistojen soveltuvuutta. Valitulla ohjelmistolla tuotettiin käytettävyyssennusteet IVO Tuotantopalvelut Oy:n käyttämille ja kunnossapitamille Frame-6-kaasuturbiinilaitoksille sekä Neste Oy:n Frame-6-laitokselle käyttäen vikadatana laitosten tilastoihin perustuvaa, IVO:ssa kehitetyllä REPA-ohjelmistolla laskettua dataa. Kullekin laitokselle tuotetuista käytettävyyss- ja käytettävyyssjakautumaennusteista voitiin päätellä laitosten tuleva käytettävyyss- ja käytettävyyssjakautumaennusteista voitiin päätellä myös laitteet, joihin käytettävyyssmielessä kannattaa kiinnittää eniten huomiota.

Vuoden 1998 aikana projektissa kehitettiin menetelmää, joilla voidaan optimoida ennakkohuolto-ohjelmaa. Keinoina siinä käytetään ennakkohuolto-ohjelman tarkistusta sekä RCM-menetelmää. Ennakkohuolto-ohjelman tarkistuksessa analysoidaan nykyisen ENHU-ohjelman sopivuus: poistetaan tarpeettomat ennakkohuolto-toimenpiteet ja muunnetaan sopimattomat toimenpiteet ja niiden ajoitus sopiviksi. Dynaamisella tarkistuksella seurataan ENHU-toimenpiteiden sopivuutta, tehokkuutta, tarpeellisuutta ja ajoitusta määrävälein ennakkohuollosta saatujen tulosten ja vikaantumisten perusteella. RCM-menetelmän avulla lisätään ennakkohuolto-ohjelmaan puuttuvia ennakkohuoltotehtäviä tärkeimmille laitteille.

Se, kenen näkökulmasta asiaa tarkastellaan, vaikuttaa optimaalisen tuloksen määrittelyyn. Näkökulma voi olla omistajan, O&M-operaattorin tai kunnossapitoyrityksen.

1 JOHDANTO

Vuoden 1997 osuudessa tutkimuksessa haluttiin selvittää IVO Tuotantopalvelut Oy:n käyttämien ja kunnossapitämien kaasuturbiinien luotettavuutta ja niiden eroja sekä eri käyttötapojen vaikutusta luotettavuuteen. Tuloksia voidaan hyödyntää kunnossapidon sekä perusparannusten suunnittelussa. Tutkimusta varten oli hankittava tarvittava käyttökokemustietous, laskettava malleissa käytettävä data, laadittava käyttövarmuusmallit ja suoritettava laskelmat ja tulosten tulkinta.

Vuoden 1998 aikana projektin keskeisenä tavoitteena oli kehittää menettelyjä, joilla lähtötilanteesta riippuen voidaan optimoida toimintaa siten, että pystytään saavuttamaan parempi käytettävyys nykyisellä kustannustasolla tai pystytään ylläpitämään nykyinen käytettävyystaso alhaisemmilla kustannuksilla tai pystytään alentamaan kustannuksia hallitusti siten, että käytettävyys ei laske asiakkaan kanssa sovittujen tavoitearvojen alle.

2 KÄYTTÖVARMUUSENNUSTEET

2.1 DATAN HANKINTA

Käyttövarmuusmalleissa käytetyn datan pohjana oleva laitospopulaatio kattoi kaiken kaikkiaan yhdeksän Suomessa olevaa Frame-6-kaasuturbiinia. Vikadatan aikajänne kattoi vuodet 1989–95, yhteensä 48 laitosvuotta. Siten datapohja oli kohtalaisen laaja.

Kohteena olevista laitoksista osa oli peruskuormaluonteisessa käytössä, osaa käytettiin osan vuodesta jaksollisesti siten, että ne ajoivat vain päiväsaikaan. Tämä erilainen käytötapa on otettava huomioon valittaessa dataa uusien laitosten käyttövarmuuden arvioimiseksi. Tämän tutkimuksen tapauksessa tämä ”erilaisuus” otettiin huomioon laskemalla kullekin laitteelle tai laitososalle yksilölliset datansa.

Kohteista oli kerätty jo aikaisemmin vuosittain tehonrajoituksiin tai seisokkeihin johtaneiden vikatapahtumien ajankohdat, kestoajat sekä energianmenetykset. Myös laitostason kunnossapitokustannustiedot oli kerätty samassa yhteydessä osasta laitoksia. Tässä yhteydessä päivitettiin tämä data.

2.2 DATAN KÄSITTELY

Vikadatan laskentaan käytettiin Imatran Voimassa alunperin Loviisan ydinvoimalaitoksen riskianalyysiin kehitettyä REPA-ohjelmistoa. Se on kehitetty nimenomaan harvoin tapahtuvien vikojen datan laskentaan. Sillä voidaan määrittää

myös datan epävarmuusvälit. Ohjelmassa on sovellettu Parametric Robust Empirical Bayes -menetelmää (PREB) /1/.

Laskennassa otetaan huomioon koko laitospopulaatio ja tuotetaan datat sekä koko populaatiota edustavalle “yleislaitteille” että kunkin laitoksen kullekin laitteelle omansa. Laskenta ottaa siis huomioon koko populaation vikaantumiset sekä kunkin laitteen yksilölliset vikaantumisominaisuudet, ja siitä saadaan siten kunkin laitteen eroavuudet yleisestä tasosta.

Valittaessa tapahtumatietoja datan laskentaan suoritettiin samalla asiantuntija-arviointia sen suhteen, mitkä vikatapaukset ovat edelleen relevantteja otettavaksi laskennassa huomioon. Tämä merkitsi siis sitä, että osa tapahtumista jätettiin ottamatta huomioon datan laskennassa.

Mikäli ao. laitteella tai laitososalla ei ollut sattunut vikoja, tehtiin valinta REPA:lla lasketun datan ja yleisdatan välillä asiantuntija-arvioon perustuen. REPA:lla voidaan joka tapauksessa laskea vikataajuus- tai vikaväliarvo, vaikka vikoja ei olisi sattunutkaan. Tässä käytetään sopivaa oletusta (pessimistinen, kompromissi tai optimistinen) siitä, miten kohteen oletetaan vikaantuvan nyt vikaantumatta kuluneen käyttötuntimäärän jälkeen. Jos valittiin REPA-data-arvo, niin siihen oli arvioitava viallisuus aika joka tapauksessa joko yleisdatan tai asiantuntija-arvion perusteella.

2.3 KÄYTETTÄVYYSMALLINNUS

2.3.1 Mallinnusohjelmistojen soveltuvuusarviointi

Työn yhteydessä suoritettiin myös käytettävyyssmallinnusohjelmistojen kartoitus ja -vertailu tarkoituksena selvittää, mikä on sopivin markkinoilla oleva ohjelmisto voimalaitosmallinnukseen. Kartoituksessa hyödynnettiin VTT:n KÄKI-projektissa aikaisemmin tekemää selvitystä. Mukaan vertailuun otettiin lisäksi myös IVO:ssa käyttövarmuusmallinnustyökaluna käytettävä MIRIAM-ohjelmisto.

Vertailun tuloksena todettiin MIRIAM-simulointiohjelmisto ominaisuuksiensa puolesta parhaaksi saatavilla olevaksi ohjelmistoksi. Muiden ohjelmistojen keskeisimpinä puutteina oli se, että niissä ei ole mahdollista ottaa huomioon tehontarpeen vaihteluja (esim. vuodenaikais- ja viikkovaihtelut) sekä eikä mahdollisuutta mallintaa osatehotapauksia, jotka ovat oleellisia esim. voimalaitosten energiakäytettävyyttä määritettäessä. Muutenkin MIRIAM:in ominaisuudet ovat kattavuudeltaan selvästi paremmat muihin verrattuna.

MIRIAM-ohjelmalla voidaan mallintaa periaatteessa mikä tahansa teollisuus- tai voimalaitosprosessi. Se on alunperin kehitetty Statoilin öljynporaus- ja öljyteolli

suuden prosessien käyttövarmuuden ennustamistyökaluksi. MIRIAM-mallissa voidaan ottaa huomioon mm. tehon tai tuotannon tarpeen ajalliset vaihtelut kullekin asiakkaalle erikseen, tuotannon osatehot, laitoksen erilaiset tuotteet (esim. sähkö, höyry, lämpö), tarvittavat kunnossapitoresurssit, varaosien saatavuus, ennakkokohuollot, korjausten siirrettävyys ym. ja sillä voidaan tuottaa asiakaskohtaiset, tuotanto-, energia- ja aikapohjaiset käytettävyystunnusluvut ja -todennäköisyysjakautumat, kriittisimpien laitteiden lista sekä niiden epäkäytettävyysoikutukset, tuotannon määrät, välivarastojen tasojen vaihtelut ym. "tuotantotilastot" simuloitujen tuloksina. Vika- ja kunnossapitodatajakautumavalikoima on hyvin kattava. Malli voidaan laatia graafisesti ja samalla syöttää perusmallin data saman liittymän kautta.

MIRIAM soveltuu erittäin hyvin erityisesti prosessimaisten, esimerkiksi voimalaitosten, kemian ja metsäteollisuuden tuotantolaitosten ym. mallinnukseen, mutta sillä voidaan mallintaa myös kappaletavara-tuotantotyyppisiäkin laitoksia.

2.3.2 Käytettävyyshallit

Työssä tehtiin käytettävyyshallit kullekin kaasuturbiinille: kolmelle IVOn sekä yhdelle Nesteen kaasuturbiinille. Lisäksi mallinnettiin myös kaasuturbiini - pakokaasukattila -yhdistelmät. Kaasuturbiinimallit olivat samanlaisia, mutta kussakin mallissa oli omat, edellä esitetyllä tavalla lasketut datansa.

Työssä valittiin Vanajan laitos laajimpana kokonaisuutena edustamaan Frame-6 laitoksia (kaasuturbiini apulaitteineen + pakokaasukattila) yleismallina. Laitoksen käyttötapana on oletettu Vanajan nykyinen käyttötapana eli lämmöntarpeen mukainen ajo. Käsiteltävänä olevat laitokset eroavat lähinnä pakokaasukattiloitten osalta.

Jokaiselle laitokselle tehtiin omat mallit ja niissä otettiin huomioon kunkin laitoksen rakenne sekä kullekin laitokselle IVOn REPA-ohjelmalla /1/ lasketut laitekohdittaiset vikataajuus- ja viallisuusaikadatat. Laitosmalleissa on käytetty energiantarve-ennusteina vuoden 1996 keskimääräisiä kuukausitehoja. Revisiot on otettu mukaan malleihin suunnitellun ohjelman mukaisesti.

2.4 TULOKSET

2.4.1 Käytettävyystunnusluvut

Tuloksena saaduista käytettävyystunnusluvuista nähtiin selvästi jaksottaisen ja jatkuvan käyttötapojen vaikutus: jatkuvasti käyville laiteyksiköillä käytettävyys on parempi.

Tuloksena saaduista todennäköisyysjakautumista voidaan päätellä myös käytettävyyseriskin suuruutta: mitä laakeampi jakautuma, sitä suurempi vaihtelu ja sitä suurempi riski käytettävyydessä on. Laitosten välillä oli selvästi näkyvissä myös tämä.

2.4.2 Kriittiset viat

Ennusteen tuloksena saatiin myös kunkin laitteen vikojen vaikutus laitoksen epäkäytettävyyteen. Suurin osa laitoksen epäkäytettävyydestä tulee tämän mukaan vain muutaman laitteen (tai laitososan) epäkäytettävyydestä.

2.4.3 Seisokkijakautumat

Tuloksina saatiin myös ennusteina kunkin laitoksen seisokkitaajuus- ja -kestoaikajakautuma.

2.4.4 Laitteiden luotettavuuserot

Tuloksina saatiin myös laitteiden eroavuudet yleisestä luotettavuustasosta. Tätä tietoa voidaan käyttää apuna päätettäessä esim. perusparannustarpeista.

2.4.5 Vertailu historiadata vs. malliennuste

Vertailun vuoksi laskettiin käytettävyydet myös pelkän historiatiedon pohjalta.

2.5 TOIMENPIDE-EHDOTUKSIA

2.5.1 Toimenpiteet kriittisten laitteiden kohdalla

Käytettävyyssennusteen osoittamien kriittisimpien laitteiden kohdalla suositeltiin esim. perussyyanalyysin käyttöä siihen, mistä vikaantuminen aiheutuu. Sen pohjalta voidaan tehdä tarvittavat toimenpiteet vikaantumisen vähentämiseksi. Eri laiteyksilöillä on "laiteyksilöitä", jotka poikkeavat vikaantumisominaisuuksiltaan yleisestä tasosta. Niitä, jotka poikkeavat tästä tasosta negatiiviseen suuntaan, on syytä tutkia samalla tavalla.

2.5.2 Vika- ja kunnossapitotilastoinnin kehittäminen

Jotta jatkossa voitaisiin vertailla vikatapauksia laajemman laitejoukon puitteissa, tarvitaan nykyistä yksityiskohtaisempia tietoja vikaantumisesta, ehkäisevästä ja

ennustavasta kunnossapidosta ja korjauksista sekä niiden välisestä riippuvuudesta. Myös kustannustiedot ovat tarpeen kunnossapidon optimoimiseksi.

Kun mallin halutaan muistuttavan kohdetta ja sen toimintaa mahdollisimman pitkälle, pitäisi kunkin laitteen satunnaisviat sekä muun tyyppiset viat pystyä erottelemaan datassa sekä mallintamaan. Nyt data on vielä sen verran yleisluonteista, ettei tällaista erottelua pystytä tekemään eikä varsinkaan vikaantumisen kehittymistä ajan mukana voida selvittää. Näin ollen malli antaa lähinnä suuntaviivoja kriittisistä kohteista perustuen keskimääräisiin arvoihin. Samoin käynnistysten vaikutus vikaantumiseen tulisi pystyä ottamaan huomioon ennusteissa.

Jo olemassaolevan vikahistoriatiedon täydentäminen säännöllisellä tietojen keräyksellä parantaa mahdollisuuksia päästä jo data-analysoinnissa nykyistä paljon syvällisemmälle ja hyödyllisemmälle tasolle.

3 KUNNOSSPIDON OPTIMOINNIN KEHITTÄMINEN

3.1 KUNNOSSAPIDON STANDARDIMALLIEN TUOTTAMISMENETELMÄN KEHITTÄMINEN

Projektin keskeisenä tavoitteena oli kehittää menetelmä kunnossapidon standardimallien tuottamista varten. Standardimalli sisältää laitteen vika-analyysin sekä vikakorjaus- ja ennakko-ohjelmallit (ENHU). Yksittäisen laitteen standardimalli tarkoittaa tietyn laitetyypin perushuolto- ja korjausohjetta, joista kokoamalla saadaan helposti laitoskohtainen ennakko-ohjelma. Malleja voidaan soveltaa myös samantyyppisiin laitteisiin suunniteltaessa erilaisia korjauksia.

Standardimalleja voidaan käyttää esim. uusien sopimuskohteiden kunnossapitojärjestelmien käyttöönoton yhteydessä ennakko-ohjelman suunnittelussa. Valmiita malleja voidaan käyttää myös korjaustöiden suunnittelussa sekä vanhojen kohteiden ENHU-ohjelmien tarkistuksessa ja päivityksessä.

Menetelmää sovellettiin käytäntöön tekemällä standardimalliesimerkkejä kaasuturbiinille ja generaattorille.

3.2 ENNAKKOHUOLTO-OHJELMAN ANALYSOINTIMENETELMÄN KEHITTÄMINEN

Tässä projektiosuudessa kehitettiin menetelmä tuotantolaitoksella olevan ennakko-ohjelman analysointia varten. Käytössä olevat ENHU-ohjelmat voivat

olla täysin laitevalmistajan suositusten mukaisia, jolloin niillä halutaan varmistaa laitteiden häiriötön toiminta takuuajana. Tällainen ENHU-ohjelma ei välttämättä ole joka suhteessa optimaalinen jatkuvassa käytössä, koska se voi sisältää myös turhia ENHU-tehtäviä tai ei-optimaalisia ENHU-tehtävien suoritusvälejä.

ENHU-ohjelman analysointimenetelmän avulla saadaan aikaan optimaalinen ohjelma, jossa on otettu huomioon laitteiden kriittisyydet, mahdollisten vikojen seuraukset ja riskit sekä karsittu turhat ENHU-tehtävät, lisätty puuttuvat ja määriteltä optimaalinen ENHU-tehtävien suoritusväli.

Menetelmää sovellettiin käytäntöön analysoimalla projektin case-kohteena olleen Vanajan kaasukombivoimalan ENHU-ohjelma.

3.3 FRAME-6-KAASUTURBIINILAITOSTEN KÄYTETTÄVYYS- JA KUNNOSSAPITOKUSTANNUSTIETOJEN PÄIVITYS

Projektin yhteydessä tehtiin Frame-6-kaasuturbiinilaitosten käytettävyys- ja kunnossapitokustannustietojen päivitys vuosilta 1996–97. IVO Teknologiakeskuksessa on tehty kyseistä raporttia kotimaan Frame-6-laitoksista jo vuodesta 1987 alkaen. Tähän uusimpaan päivitykseen lisättiin vertailutiedoiksi EGT:n (European Gas Turbines S.A.) julkaisemia käytettävyystietoja Euroopan Frame-6-kaasuturbiinilaitoksilta vuodelta 1996.

4 SELVITYS KÄYTTÖVARMUUSDATAN TILASTOLLISEN JAKAUMAN MÄÄRITTÄMISEEN JA JAKAUMAMALLIN PÄIVITTÄMISEEN SOVELTUVISTA OHJELMISTOISTA

Projektin yhteydessä teetettiin VTT:llä selvitys käyttövarmuusdatan tilastollisen jakauman määrittämiseen ja jakaumamallin päivittämiseen soveltuvista ohjelmistoista. Työssä kartoitettiin kerätyn käyttövarmuusdatan jakauman sekä jakaumaparametrien estimointiin soveltuvia ohjelmistoja ja asiantuntija-arvioihin perustuvan jakaumamallin päivittämiseen todellisen käyttövarmuusdatan sisältämällä informaatiolla soveltuvia ohjelmistoja.

5 VIKA- JA KUNNOSSAPITOTILASTOINTISOVELLUKSEN MÄÄRITTELYT

Projektin yhteydessä päivitettiin jo aikaisemmin tehdyt vika- ja kunnossapitotilastointisovelluksen määrittelyt kunnossapidon ja materiaalien hallinnan tietojärjestelmän täydentämistä varten. Tässä määriteltiin ne vikoihin ja kunnossapitotoimintaan liittyvät tiedot, joita tuotantolaitoksen on tarpeen kerätä tietojärjestelmäänsä käytettäväksi kunnossapidon optimoinnissa.

LÄHDE

1. Jänkälä, K. E. & Vaurio, J. K. 1987. Empirical bayes data analysis for plant safety assesment. Int. Topical Conference on Probabilistic Safety Assesment and Risk Management, Zürich, Aug. 31 - Sept. 4, 1987. Köln: Verlag TÜV Rheinland. Vol. 1, pp. 281 - 286.

VOITELUJÄRJESTELMÄN ELINJAKSOTUOTON TARKASTELU

Esa Salovaara, tuotekehityspäällikkö
Safematic Oy
PL 10, 40951 Muurame

Ville Taipale, tutkija
VTT Valmistustekniikka
PL 1701, 33101 Tampere

Tiivistelmä

Keskusvoitelujärjestelmän käyttöönotolla on selkeä yhteys käyttövarmuuden paranemiseen. Laskentamallin avulla suoritettavat laskelmat osoittavat voitelujärjestelmäinvestoinnin kannattavaksi. Tutkimuksen mukaan keskusvoitelujärjestelmä maksaa itsensä käyttäjälle keskimäärin alle vuodessa. Keskeisin tekijä on suunnittelemattomien seisokkien ja laakerivaurioiden määrän väheneminen.

Luotettava voitelujärjestelmä vähentää lisäksi laakereiden kulutusta ja parantaa asiakastyytyväisyyttä, koska yllättävistä katkoksista aiheutuvat toimitushäiriöt ja muut ylimääräiset järjestelyt vähenevät.

1 JOHDANTO

Prosessiteollisuuden osajärjestelmien, kuten voitelu- ja tiivistämisjärjestelmien, vaikutus kokonaisen prosessin käyttövarmuuteen on tähän asti ollut vain arvioiden varassa. Käytännössä on tiedetty, että vaikutus on ollut merkittävä, mutta mitään lukuarvoiksi muutettuja faktoja ei ole ollut olemassa.

Teknologiahanke käyttövarmuus kilpailutekijänä tarjosi hyvän mahdollisuuden tutkia tarkemmin osajärjestelmän käyttövarmuuden merkitystä kokonaisjärjestelmän käyttövarmuuteen.

Ilman kunnollista historiatietojen selvittämistä ei osajärjestelmän elinkaari-tuotto-laskelmia (LCP-laskelmia) ole voitu suorittaa, koska ei ole ollut tietoa vauriosta, joita voi syntyä, mikäli keskusvoitelu-järjestelmää ei ole asennettu, eikä tarkkaa

tietoa vaurioista, jotka jäävät syntymättä keskusvoitelu-järjestelmällä varustetussa prosessissa. Lisäksi piti selvittää näiden edellämainittujen tekijöiden taloudelliset vaikutukset käyttäjälle.

Ennen laskentamallin suunnittelua suoritettiin vikatietojen keruu sellutehtaissa. Vikatietoja analysoimalla hankittiin laskentamallin suunnittelua varten tärkeitä perustietoja.

Laskentamalla tullaan käyttämään voitelujärjestelmäinvestointeja suunniteltaessa ja niiden kannattavuutta arvioitaessa, sekä jo toteutettujen järjestelmien seuraamiseen yritysten välisten Partnership-sopimusten määritelmien mukaisesti.

2 PROJEKTIN MERKITYS SAFEMATIC OY:LLE

Seuraavassa selvitetään tärkeimmät perusteet, miksi projekti on haluttu käynnistää ja mihin tutkimuksessa on asetettu painopisteitä. Laskentamallin käyttö ja laskelmien tutkiminen ja tulkinta on tärkeää ja mielenkiintoista kaikille osapuolille, jotka ovat mukana kyseisessä tilanteessa. Laskemalla saadaan mittareita, joiden avulla arvioidaan eritasoista kumppanuutta asiakkaiden ja toimittajien kanssa.

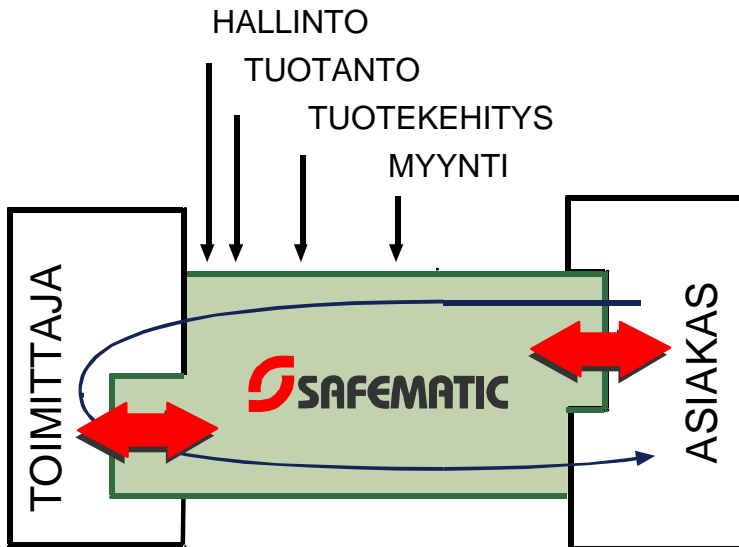
2.1 TOTAL PARTNERSHIP -TOIMINTAMALLI

Total Partnership on kumppanuusmalli, jolla loppuun asti vietyä tarkoitetaan raja-aitojen häipymistä sekä Safematic Oy:n ja asiakasyritysten organisaatioiden välillä että Safematic Oy:n ja tavarantoimittajien organisaatioiden välillä. Täydellisen kumppanuuden rakentaminen on pitkä prosessi, joka alkaa asiakkaiden tarpeisiin tutustumisella laajalla rintamalla organisaatioissa, jatkuu läpi Safematic Oy:n organisaation mahdollisesti tarpeiden välittämällä tavarantoimittajille ja muille yhteistyökumppaneille. Ongelmien ratkaisut, tuotteet ja palvelut palautuvat takaisin Safematic Oy:n organisaation kautta asiakkaan hyödyksi. Toimintaketjusta on vastuussa kyseisestä asiakassuhteesta vastaava avainasiakaspäällikkö.

Kehitystyön vaiheet ovat:

1. Perustilanteiden kartoitus ja toiminnan tavoitteiden asettaminen.
2. Säännöllinen ja tavoitteellinen kehitystyö.
3. Yhteisesti sovitut mitattavat toimintamallit, joihin voi sitoutua.

Kaikissa vaiheissa viitataan mittareihin ja mittaamiseen.



2.2 COMMITMENT TO RUNNABILITY – SITOUTUMINEN KÄYTETTÄVYYTEEN

Safematic Oy tarjoaa asiakkailleen järjestelmiä, tuotteita ja palveluja, jotka pitävät asiakkaiden tuotannon käynnissä ja lisäksi auttavat parantamaan käytettävyyttä. Safematic Oy haluaa tarjota jokaiselle asiakkaalle yksilöllisen ohjelman kapasiteetin lisäämiseksi käytettävyyttä parantamalla voitelu- ja tiivistämisjärjestelmien avulla. Luvattu hyöty on tietenkin pystyttävä mittaamaan, jotta toiminta olisi uskottavaa pitkällä aikavälillä.



2.3 ARGUMENTOINTI MARKKINOINNISSA

Kolmas käyttöalue LCP-laskentamallille on toimia myynnin työkaluna. Erityisesti ventialueilla, jossa toimitaan kaukana kotimaisista referensseistä tarvitaan laskentamallia ja tutkimuksia, joilla voidaan osoittaa asiakkaille mahdollisimman luotettavasti miten Safematic Oy:n järjestelmät, tuotteet ja palvelut voivat auttaa asiakkaita tekemään parempaa tulosta.

3 PROJEKTIN TULOKSET

3.1 LCC/LCP-LASKENTAMALLISSA KÄYTETTÄVÄT TIEDOT JA PERIAATTEET

Projektin alkuvaiheessa toteutettiin häiriö- ja vikatiedon keruu kahdelta eri sellutehtaalta. Tiedot hankittiin kohdetehtaiden kunnossapitojärjestelmistä ja niitä tarkennettiin asiantuntija-arvioilla. Häiriö- ja vikatietoja tarvittiin voitelujärjestelmän elinjakokustannuksia ja elinjakotuottoja määrittäessä sekä LCC/LCP-laskentamallia kehitettäessä.

Seuraavassa taulukossa on esitetty laskelmissa huomioidut kustannus- ja tuotto-ryhmät.

1. Kustannukset
• Keskusvoitelujärjestelmän hankintakustannus.
• Keskusvoitelujärjestelmän kunnossapitokustannus.
2. Tuotot
• Vähentyneet laakerivauriot.
• Vähentyneet tiivistevauriot.
• Vähentyneet muut laitevauriot (sähkömoottorit, pumput).
• Vähentyneet tuotannon menetykset.
• Vähentyneet seisokit ja siitä aiheutuva käytettävyyden paraneminen.
• Vähentynyt työvoiman tarve, voitelutyötä tehnyt henkilö voidaan siirtää muuhun tuottavaan työhön.
• Varastoarvon pieneneminen.
• Voiteluaineen käytön väheneminen.
• Voiteluaineesta aiheutuneiden jälkikäsitteilykustannusten väheneminen.

Voitelujärjestelmän hankinta- ja huoltokustannuksiin ei liity epävarmuuksia, kun taas järjestelmän tuomiin tuottoihin epävarmuuksia voi liittyä. Koska LCC/LCP-

laskentamallin tiedot perustuvat kohdetehtaiden todelliseen kunnossapitotietoon, on tietojen luotettavuus suhteellisen hyvä. Ne perustuvat usean vuoden käyttötilastoihin ja näiden tilastojen perusteella laskettuihin keskiarvoihin. Tämä menettely vähentää laskentamallin epäluotettavuutta mm. minimoimalla satunnaiset heilahdelut. Lisäksi on haastateltu kohdetehtaiden kunnossapitohenkilöstöä.

Laskelmia tarkasteltaessa tulee huomioida myös sellun hinnan vaihtelu ja lopputuotteen kysynnän vaihtelut. Tehdyt laskelmat perustuvat sellun nykyhintaan.

Laskelmissa ei huomioida vähentyneitä ympäristöongelmia, parantunutta ja siistimpää työympäristöä eikä parantuneen työturvallisuuden mukanaan tuomia tuottoja.

3.2 TULOKSET JA SEURANNAISVAIKUTUKSET

Laskentamallin avulla suoritettavat laskelmat osoittavat, että keskusvoitelujärjestelmän investointi on kannattava. Kokonaistuotto viisi vuotta keskusvoitelujärjestelmän asentamisen jälkeen on huomattava.

Kohdetehtaiden kunnossapidon tietojärjestelmistä kootut häiriö- ja vikatiedot osoittivat, että laakerivaurioiden ja suunnittelemttomien seisokkien määrä oli vähentynyt oleellisesti keskusvoitelujärjestelmän käyttöönoton jälkeen. Ennen keskusvoitelujärjestelmän asennusta laakerivaurioiden osuus suunnittelemttomista seisokeista oli 40 %. Voitelujärjestelmän asentamisen jälkeen laakerivaurioista johtuvia seisokkeja ei ole ollut. Tutkimuksen tulosta tukee SKF:n voiteluteoria, jonka mukaan 50 % laakerivaurioista johtuu voitelusta suoraan tai välillisesti. Keskusvoitelujärjestelmän käyttöönotolla on siis selkeä yhteys käyttövarmuuden paranemiseen

LCC/LCP-laskentamallin luotettavuus tarkistettiin herkkyyksianalyysiä käyttäen, epävarminta parametriä muutellen. Laakerivaurioista aiheutuvien seisokkien määrä on ratkaisevassa asemassa laskentamallissa, sillä niiden aiheuttamista tuotannonmenetyksistä kertyy suurin kustannuskokonaisuus. Tuotot ovat merkittävät, kun niitä verrataan keskusvoitelujärjestelmän hankintahintaan. Tuotot muodostuvat pääosin tuotannonmenetyksien vähentymisestä. Jo yhden seisokin välttäminen saattaa maksaa keskusvoitelujärjestelmän hinnan moninkertaisesti takaisin.

Tulee myös huomioida, että suunnittelemttom seisokki aiheuttaa kustannuseriä, joita ei useinkaan tiedosteta tai niitä on vaikea määrittää. Suunnittelemttom seisokki aiheuttaa tuotannon menetyksen lisäksi kustannustekijöitä tehtaalle

tulevien ja sieltä lähtevien toimitusten sekä tuotanto-ohjelmien uudelleen järjestelyissä. Sitä kautta häiriöt heijastuvat myös asiakassuhteeseen ja asiakkaan prosessiin. Sellutehtaan kyseessä ollessa saattaa olla, että varsinaista seisokkia ei tarvita pienemmän vaurion korjaamiseen, mutta tuotantoa joudutaan rajoittamaan tai turvautumaan välivarastoihin. Nämä toimitatavat jokatapauksessa saavat aikaan tuotantokatkoksiin verrattavia kustannuksia.

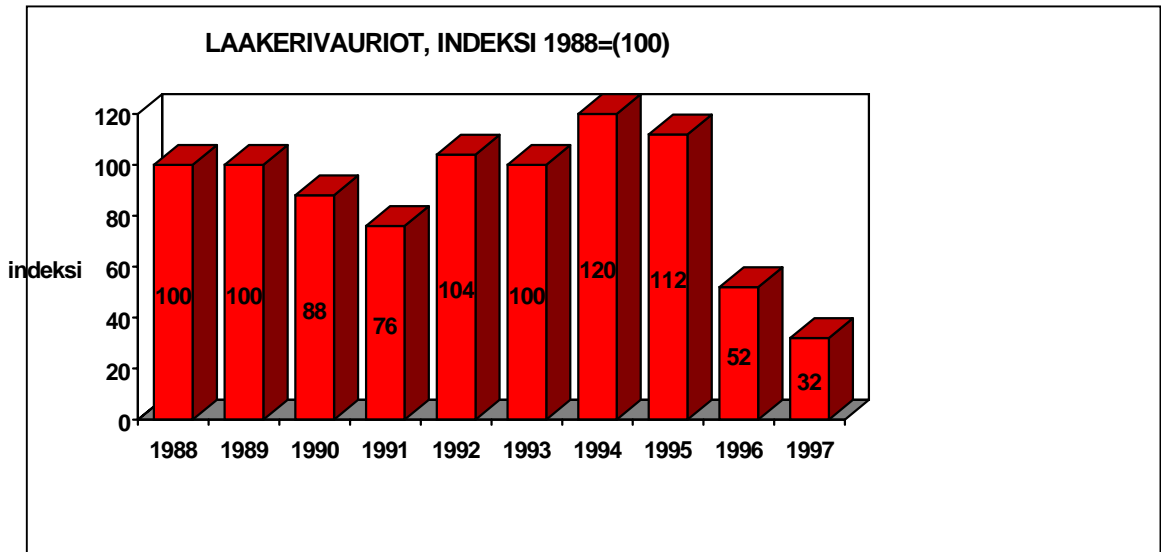
Seisokin jälkeinen käynnistys eli laadun trimmaus kohdalleen muodostaa myös merkittävän kustannuserän. Silloin ajetaan usein hylkyä pulpperiin tai rullalle. Hylyn ajoaika on tapauskohtainen ja usein se onkin merkittävä kustannuserä. Näitä kustannuseriä ei ole jatkossa esitetyissä laskelmissa kuitenkaan huomioitu, niiden vaikean määriteltävyyden vuoksi.

3.3 LCC/LCP-LASKELMA

Projektin ensimmäisen vaiheen LCC/LCP-laskelmassa tarkasteltavana kohteena on sellutehtaan massalinjan keittämo, lajittamo ja valkaisimo. Näitä kolmea osastoa pidetään yhtenä kokonaisuutena, tosin jokaisesta osastosta voidaan jatkossa muokata myös oma laskentamallinsa. Tämä kolmen osaston kokonaisuus sisältää yhteensä 579 voitelupistettä, joista 332 pistettä kuuluu keskusvoitelun piiriin. Loput voidellaan manuaalisesti.

Kohdelaitoksen massalinjalle on asennettu keskusvoitelujärjestelmä vuonna 1994. Laakerivauriot ovat kääntyneet merkittävään laskuun voitelujärjestelmän käyttöönottovuodesta lähtien. Laakerivaurioiden väheneminen tarkoittaa samassa suhteessa vähenevää yllättävän seisokin riskiä. Suurimmat tuotot saadaankin juuri seisokkien määrän vähenemisen kautta parantuneesta käyttövarmuudesta koko tuotantoketjussa.

Pylväsdiagrammiin on koottu kaikki yhden laitoksen massankäsittelyosastolla tapahtuneet laakerivauriot ajanjaksolla 1988–1997. Vuoden 1994 jälkeen keskusvoitelun piirissä on ollut 57 % voitelupisteistä.



Laskentaesimerkki

Laskentamalliin syötetään keskusvoitelujärjestelmän laajuus voitelupisteinä, jonka jälkeen se diskonttaa tuotot ja kustannukset viidelle vuodelle ja laskee elinjakso-tuoton sekä ensimmäiselle vuodelle että viiden vuoden päähän investointiajankohdasta. Seuraavassa on luetteloitu keskeisimmät kustannuksiin ja tuottoihin vaikuttavat tekijät:

- Voitelupisteen hankintahinta on tässä esimerkissä 2000 mk.
- Voitelupisteen huoltokustannus on vuodessa 60 mk/piste
- Investoinnin korko on 8 %.
- Laakerivaurioiden määrä vähenee 63 %.
- 8 % laakerivaurioista aiheuttaa keskimäärin suunnittelemtoman seisokin.
- Palkkakustannukset pienenevät. Keskimääräinen voitelujakso on kaksi viikkoa, yhden kohteen voiteluun menee kolme minuuttia ja palkkakustannus on 180mk/h.
- Voiteluaineen kulutus ennen keskusvoitelujärjestelmän käyttöönottoa on 9 kg voitelukohta/a ja voiteluaineen kulutus vähenee n. 31,4 %.
- Voiteluaineen hinta on n. 30 mk/kg.
- Voiteluaineen jälkikäsittelykustannukset (2*voiteluaineen ostohinta) pienenevät.
- Diskonttoteijä on 10 %.

				1. vuosi	2.vuosi	3.vuosi	4.vuosi	5.vuosi	YHT. mk
1. JÄRJESTELMÄN HINTA: voitelukohteiden lkm.?		800		1 600 000					723 200
2. JÄRJESTELMÄN HUOL- TO/A				48 000	39 840	36 000	32 640	29 760	186 240
3. KOROT (8%)				128 000	106 240	96 000	87 040	79 360	496 640
YHT mk				1 776 000				LCC	1 406 080
TUOTOT:									
1.LAAKERIVAURIOT VÄHENEVÄT 60%				696 375	577 991	522 281	473 535	431 752	2 701 934
2.SEISOKIT VÄHENEVÄT				1 465 567	1 216 420	1 099 175	996 585	908 651	5 686 398
3.PALKKAKUSTANNUKSET VÄHENEVÄT				187 200	155 376	140 400	127 296	116 064	726 336
4.VOITELUAINEEEN KULUTUS VÄHENEVÄT (-31,4 %)				68 095	56 519	51 071	46 305	42 219	264 210
5. VOITELUAINEEEN JÄLKIKÄSITTELY				136 191	113 038	102 143	92 610	84 438	528 419
YHT. mk				2 553 427				LCP	9 907 298
TULOS=TUOTOT-KUS- TANNUKSET mk				777 427				LCP-LCC	8 501 218
DISKONTTOTEKIJÄ i =-10 %									
LAINAN KOROKANTTA 8%									

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Laskelman tuloksesta nähdään, että voitelujärjestelmän investointi on kannattava, koska laitoksen käyttövarmuus paranee huomattavasti.

Tällä tutkimusaineistolla voitelujärjestelmän takaisinmaksuajaksi on saatu yhdeksän kuukautta. Herkkyysanalyysitutkimuksella voitiin varmistaa, että pitkällä tähtäimellä investointi pysyy edelleen kannattavana, vaikka kriittisiä muuttujia muutettaisiin laskelmassa.

Safematic Oy:ssa projektin tuloksia päästään hyödyntämään kokeiluluontoisesti muutamalla pilottikohteella seuraavan puolen vuoden aikana. Tarkoituksena on suorittaa seuranta ja tehdä laskelmia Partnership asiakkaiden kanssa ja kehittää siten saatujen kokemusten pohjalta laskentamallia edelleen projektin toisessa osassa, jonka tutkimuksellinen osuus ajoittuu syyskuksi 1999.

LÄHDELUETTELO

1. SKF:n tutkimusraportteja ja seminaarimateriaalia 1989-1996.
2. Taipale, V. Osajärjestelmän vaikutus prosessijärjestelmän elinjaksotuottoon, LCP-laskentamalli. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1998. 52 s. + liitt. 1 s. (VTT Tiedotteita 1920.)

VENTTIILIN JA SÄÄTÖPIIRIN HALLINTA- JÄRJESTELMÄ

Jari Riihilahti, johtava asiantuntija
Neles Controls Oy
PL 110, 00881 Helsinki

Tiivistelmä

Säätöventtiilin elinkaaren hallinta vaatii systemaattista tiedon keruuta aina mitoituksesta ja valinnasta elinkaaren loppuun asti. Tässä paperissa kuvaamme säätöventtiilin ja säätöpiirin hallintaan liittyviä tekijöitä.

Säätöventtiilit voidaan jakaa teknologian perusteella kolmeen eri sukupolveen. Perinteiset säätöventtiilit edustavat suurinta osaa asennetusta kannasta. Ensimmäisen sukupolven älykkäät säätöventtiilit hyödyntävät HART-teknologiaa, jolla analogisen mA-ohjauksen päälle voidaan lisätä digitaalinen tiedonsiirto. Täysin digitaalinen kenttäväylä mahdollistaa sekä digitaalisen ohjauksen että kommunikoinnin. Lisääntyvä tietomäärä edellyttää kehittyneitä säätöventtiilin elinkaaren hallintaa helpottavia työkaluja.

1. JOHDANTO

Säätöventtiilin vikadiagnostiikka ja testaus ovat olennainen osa kunnossapitoa.

Perinteisten venttiileissä ei ole sisäänrakennettua vikadiagnostiikkaa. Tällöin huoltotarpeet arvioidaan kokemuseräisesti tai vasta laitteen rikkouduttua. HART-teknologia mahdollistaa digitaalisen tiedonsiirron olemassa olevalla kenttäkaapeloinnilla ilman muutoksia ohjausjärjestelmään.

Kenttäväylä vaatii kokonaan uuden infrastruktuurin. Sekä tehtaan automaatiojärjestelmä että kenttälaitteet eroavat oleellisesti nykyisistä ratkaisuista. Digitaalitekniikan tulo kenttälaitteille asti asettaa uusia haasteita koko tehtaan automaatiojärjestelmälle.

2. PERINTEISTEN SÄÄTÖVENTTIILIEN KUNNONVALVONTA

Perinteisten säätöventtiilien kunnonarviointi perustuu usein seuraavanlaiseen vaiheistettuun konseptiin. Vaiheet ovat toteutusjärjestyksessä

- Käytönaikainen kunnonarviointi
- Venttiilin mitoituksen ja valinnan tarkistus
- Venttiilien testaus ja asennoittimien kalibrointi
- Huolto ja raportointi

Tavoitteena on kartoittaa kriittiset venttiilit ja kohdistaa huoltohenkilöstön rajalliset voimavarat tehokkaasti.

2.1 KÄYTÖNAIKAINEN KUNNONARVIOINTI

Venttiilien käytönaikainen kunnonarviointi kohdistetaan kaikkiin venttiileihin. Siinä pyritään visuaalisella tarkistuksella määrittelemään venttiilien perushuoltotarpeet. Asiakas saa arvioinnista yksityiskohtaisen raportin. Tämä arviointi venttiiliammattilaisen suorittamana selvittää venttiilien yleistilan ja sitä käytetään seuraavien toimenpiteiden apuvälineenä.

2.2 VENTTIILIN MITOITUKSEN JA VALINNAN TARKISTUS

Venttiilien mitoitus ja valinta suoritetaan kriittisille säätö- ja sulkuventtiileille. Mitoitus tarkistetaan tekemällä uudelleenmitoitukset mitoitus- ja valintaohjelmalla. Apuna käytetään todellisia prosessin toiminta-arvoja, jolloin päästään tarkkaan mitoitukseen.

Venttiilin väärä mitoitus aiheuttaa säädön epätarkkuutta, jota ei voida poistaa prosessisäätimen virityksellä. Valinnassa otetaan huomioon mm. venttiilityyppi ja materiaalivalinnat. Asiakas saa raportin tiedot tietokantaan talletettuina.

2.3 VENTTIILIEN TESTAUS

Säätöventtiileistä osa valitaan testattaviksi. Valinta voi perustua kriittisyyteen tai esimerkiksi määräajoin tehtävissä tarkastuksissa tiettyyn vuorojärjestykseen. Testit suoritetaan PC-pohjaisella säätöventtiilien testauslaitteistolla. Samalla laitteistolla suoritetaan myös asennoittimen kalibrointi.

Testauksen avulla voidaan määrittää venttiilin huoltotarve ilman, että venttiili otetaan pois putkistosta ja puretaan osiin. Testien perusteella tehdään ehdotus

huoltotoimenpiteistä. Asiakas päättää itse, mitkä toimenpiteet suoritetaan ja milloin.

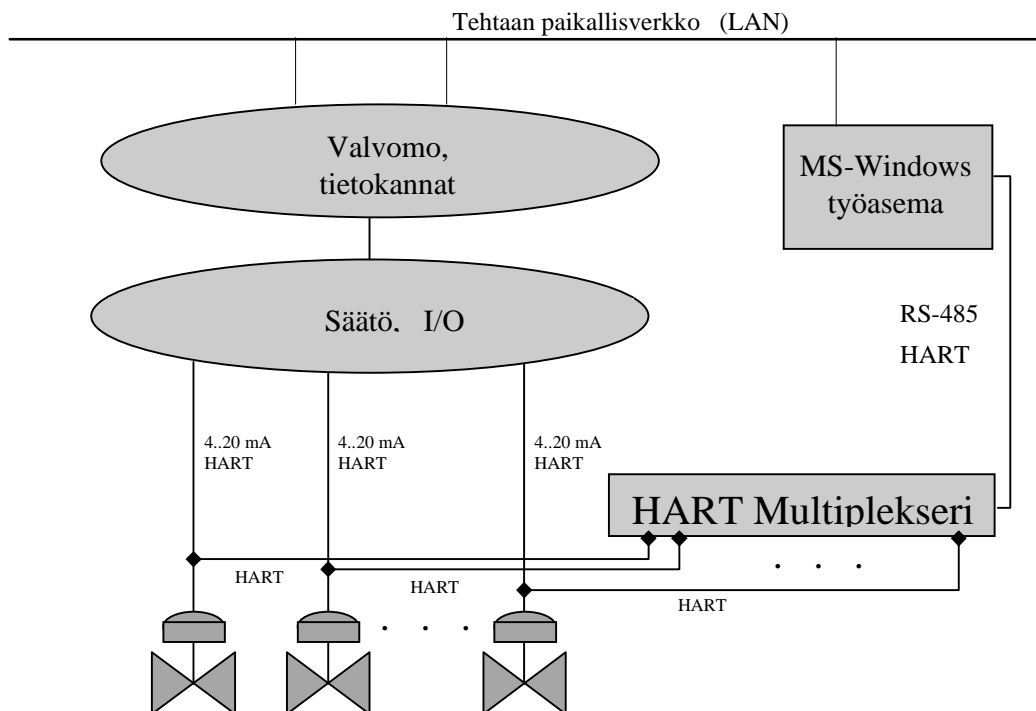
2.4 HUOLTO JA RAPORTOINTI

Huoltotoimenpiteet ja raportointi suosituksineen on aikaavievää mutta tärkeä osa huoltoprojektia. Huoltovälin määrittäminen on arvokasta tietoa tulville huoltoseisokille.

3. ÄLYKKÄÄT SÄÄTÖVENTTIILIT

Nykyiset älykkäät säätöventtiilit perustuvat HART-teknologiaan. Analogisen ohjaussignaalin päälle lisätään korkeataajuuksinen digitaalinen signaali, joka ei vaikuta itse ohjaukseen. Tällöin digitaalista tiedonsiirtoa voidaan hyödyntää konfiguroinnissa ja diagnostisoinnissa jo olemassa olevien automaatiojärjestelmien kanssa.

Kuvassa 1 on esitetty automaattinen kunnonvalvonta -järjestelmä, jolla voidaan lähes reaaliaikaisesti seurata kenttälaitteiden tilaa. Kenttälaitteet on kytketty multiplekseriverkkoon, joka sijaitsee ristiinkytkentähuoneessa. Multiplekserit on kytketty RS485-väylällä työsamaan, joka on edelleen tehtaan paikallisverkossa.



Kuva 1. Multiplekseriverkko kytkettynä tehtaan paikallisverkkoon.

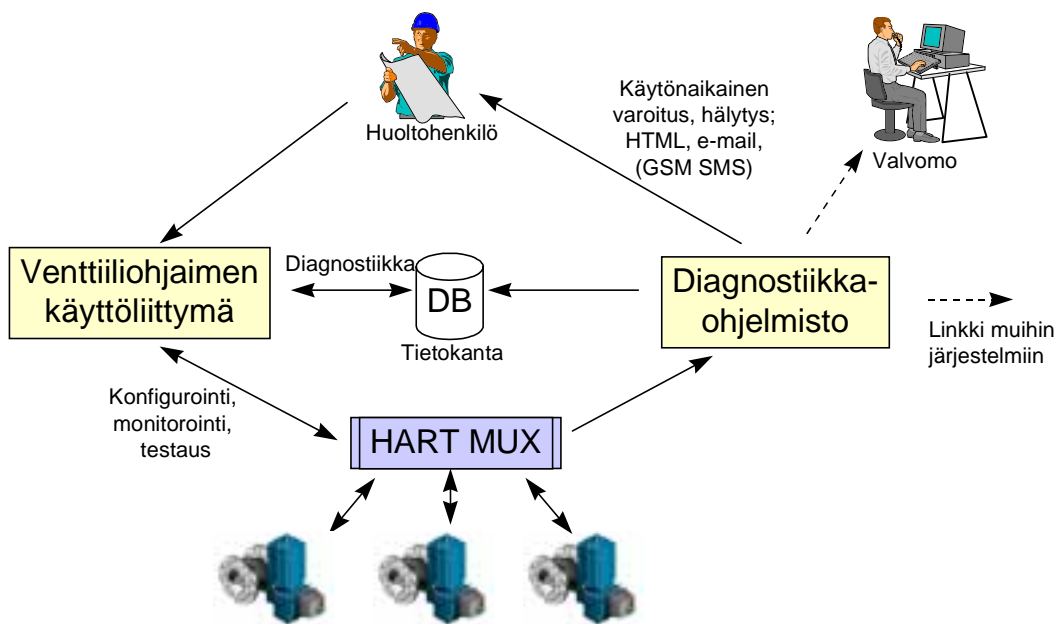
Järjestelmä mahdollistaa suoran tiedonsiirron kenttälaitteilta toimistolle.

Diagnostiikkaohjelmisto kerää tietoa automaattisesti kenttälaitteilta. Se seuraa laitteiden tilaa ja lukee laitteiden diagnostiikkatiedot määräajoin yhteiseen tietokantaan. Laitteiden tilassa tapahtuvista muutoksista lähetetään tieto sovituille henkilöille. Tilamuutoksia ovat mm. kalibroinnit, varoitukset ja hälyytykset. Tieto voidaan toimittaa huoltohenkilöille mm.

- tehtaan sisäisellä sähköpostilla
- GSM-puhelimeen (tekstiviestillä)
- määräajoin päivitettävällä HTML-sivulla (esim. intranetissa)
- DDE-linkillä toiselle ohjelmistolle.

HART on “master-slave”-protokolla, eli kenttälaitte ei lähetä mitään tietoa ulospäin ilman, että isäntälaitte kysyy. Tiedonsiirtonopeus on 1200 baudia, mikä asettaa rajoituksia järjestelmän reaaliaikaisuudelle. Mitä enemmän kenttälaitteita samaan multiplekseriverkkoon asennetaan, sitä hitaammaksi kommunikointi tulee. Kenttälaitteet voidaan kuitenkin luokitella niiden kriittisyyden mukaan. Kriittisimpiä laitteita luetaan useammin kuin vähemmän kriittisiä laitteita.

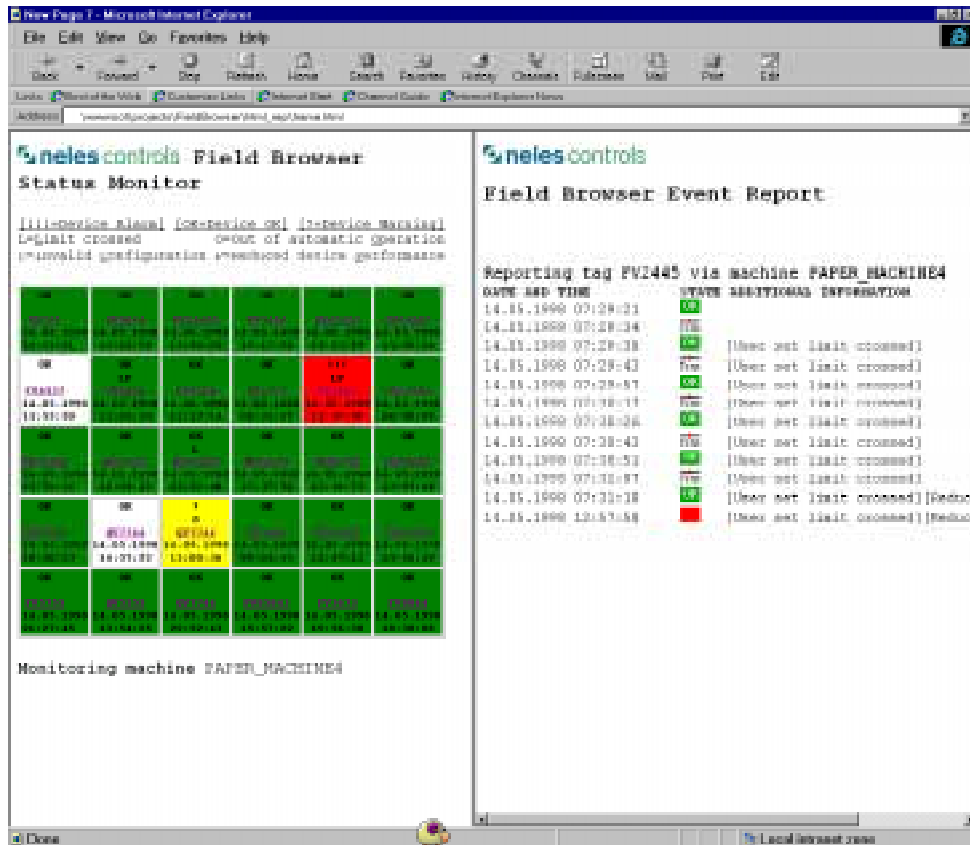
Mikäli havaitaan poikkeamia laitteiden tilassa (esim. varoitus tai hälytys), niihin saadaan yhteys käyttöliittymäohjelmistolla. (ks. kuva 2)



Kuva 2. Diagnostiikkajärjestelmä.

Kuvan 3 esimerkissä yksi yhden laitteen status-ikoni on punainen, mikä tarkoittaa, että laite on vioittunut. Keltainen väri ilmoittaa, että laitteen jokin hälytysrajoista on ylittynyt. Kaksi valkoista ikonia kuvaavat, että kyseisiin kenttälaitteisiin ei ole saatu sillä hetkellä yhteyttä. Laitteen tilahistorian saa selville klikkaamalla kyseistä ikonia.

HTML-sivun seuraaminen on mahdollista esim. Inter-/Intranetin avulla kaukana kenttälaitteista.



Kuva 3. Esimerkki HTML-sivusta, joka kertoo kenttälaitteiden tilan ja historian.

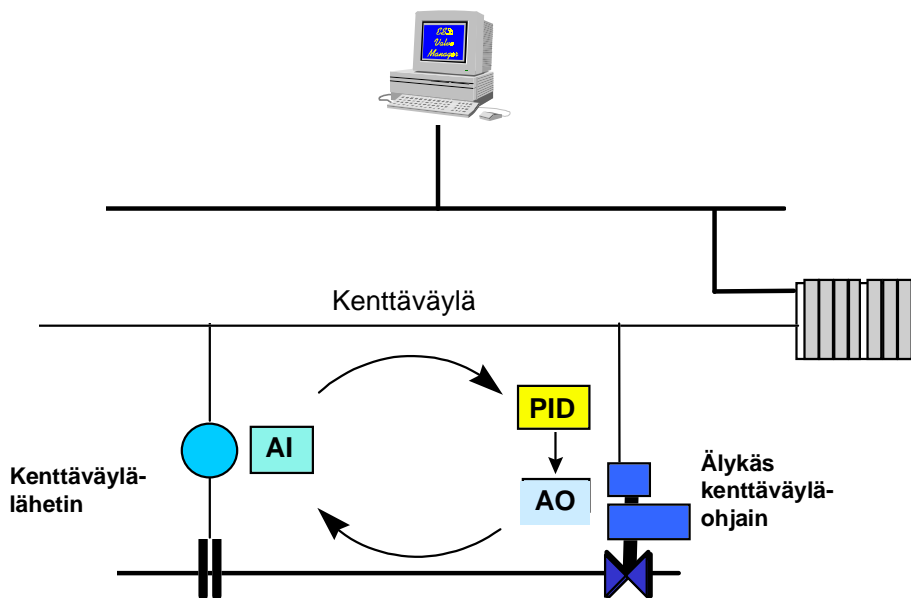
4. PROSESSIAUTOMAATION KENTTÄVÄYLÄ

Prosessiautomaation kenttäväyläratkaisut tulevat markkinoille lähivuosina. Vahvimpana vaihtoehtoja tällä hetkellä ovat Foundation Fieldbus ja Profibus PA.

Molemmat mahdollistavat täysin digitaalisen tiedonsiirron kenttälaitteen ja prosessiohjauksen välillä. Profibus PA on saatavilla. Tosin sitä tukevia kenttälaitteita on tarjolla hyvin rajallinen määrä.

Foundation Fieldbus mahdollistaa kenttälaitteisiin hajautetun prosessinsäädön. Tämä tulee toteutuessaan muuttamaan koko automaatiojärjestelmä- ja kenttälaitte hierarkiaa.

Kuvassa 4 on esitetty toimintolohkoilla toteutettu kenttäsäätö. Lähettimessä sijaitsee *AI-lohko* (analog input), joka linkitetään säätöventtiilissä sijaitsevaan *PID-säädinlohkoon*. Venttiilisäätimen *AO-lohko* ohjaa venttiilin avautumaa.



Kuva 4. Foundation Fieldbus -kenttäväylällä toteutettu hajautettu säätö.

Säädön ja toimintojen hajauttaminen kentälle asettaa uusia vaatimuksia kenttälaitteille. Säädön lisäksi diagnostiikan merkitys kasvaa. Kenttälaitteet tulevat olemaan yhä keskeisempiä laitteita prosessin säädössä. Ne hoitavat kenttänsäädön, diagnosioivat itseään ja kommunikoiivat muiden verkossa olevien laitteiden tai ohjelmistojen kanssa.

Diagnostiikan on myös kehityttävä. Ei riitä, että tuotetaan paljon uusia mittauksia. Saatavissa oleva tieto on puristettava mahdollisimman yksinkertaiseen ja kompaktiin muotoon jo kenttälaitteessa, jolloin suuren järjestelmän hallinta olisi yksinkertaisempää.

5. YHTEENVETO

Säätöventtiilin diagnostisointijärjestelmä mahdollistaa oikea-aikaiset huoltotoimenpiteet, joilla voidaan optimoida laitteiden elinkaarta ja prosessin tuottoa. Nykyinen HART-teknologia mahdollistaa automatisoidun diagnostiikan jo olemassa

oleviin laitoksiin. Säätoventtiilien rooli tulee muuttumaan oleellisesti kenttäväylän myötä. Kenttäväylien nopeampi tiedonsiirtoverkko tarjoaa uuden alustan seuraavan sukupolven diagnostiikkajärjestelmille. Se vaatii moninkertaista tuotekehityspanosta nykyisiin järjestelmiin verrattuna.

LÄHDELUETTELO

1. Pyötsiä, J. & Riihilahti, J. A predictive maintenance system for control valves. ISA/94. Advances in Instrumentation and Control, Volume 49.
2. Fieldbus Foundation, www.fieldbus.org.
3. Neles Controls, Field Browser User's Guide, 1998.

PROSESSIOLOSUHTEIDEN HALLINTA LAITOKSEN KÄYNTIINAJOVAIHEESSA – SELLUN VALKAISULINJAN KÄYTTÖVARMUUS KILPAILUTEKIJÄNÄ

Erkki Pulkkinen, tuotepäällikkö
Ahlstrom Machinery Oy, Kuitulinja
PL 34, 57100 Savonlinna

Tiivistelmä

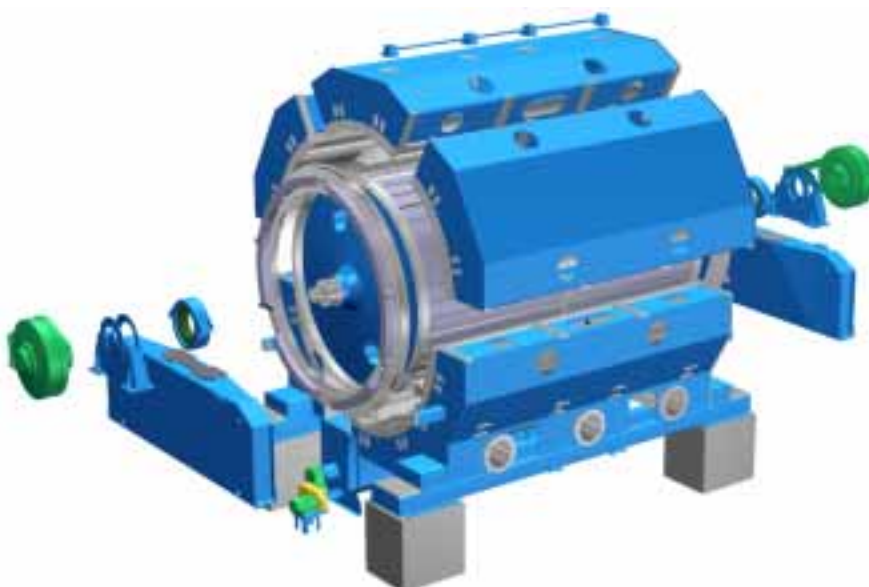
Viime vuosikymmenen voimakas valkaisu-prosessien kehitys yhdessä laitekehityksen kanssa on luonut uusia mahdollisuuksia toteuttaa uudentyyppisiä valkaisu-konsepteja. DD-pesurin kehitys mahdollisti valkaisun keskisakeudella. Toimitimme UPM-Kymmeneen Kaukaan sellutehtallemme uuden valkaisulaitoksen, jossa pesut oli toteutettu DD-pesureilla. Valitsimme DD-pesureiden materiaalit sen tiedon perusteella, joka meillä oli perinteisistä valkaisuista. Halusimme varmistua ratkaisumme oikeellisuudesta ja päätimme asentaa kaikkiin DD-pesureihin korroosiota mitattavia antureita. Mittaukset aloitettiin maaliskuussa 1997 ja niitä jatkettiin puolitoista vuotta. Mittausten ja silmämääräisten tarkastusten perusteella varmistuimme, että DD-pesureiden korroosio-olosuhteet ovat tiukat, mutta ne eivät ole materiaalien pitkien käyttöikien esteenä. Valintamme oli onnistunut nappiin. Valkaisulinjan käyttäjän kannalta viimeisimmän D-vaiheen jälkeisen klooridioksidijäännöksen eliminointiin on suhtauduttava vakavasti.

1 JOHDANTO

Valkaisu-prosessien viime aikainen voimakas kehitys on mahdollistanut uusien ja tehokkaampien laitteiden käytön itse valkaisussa. Ahlströmillä kehitetty DD-pesuri mahdollistaa valkaisun suorittamisen kokonaisuudessa MC-sakeudessa (~12 %) verrattuna aikaisempaan matalaan 1 %:n sakeuteen. Valkaisussa tarvittavaa vesimäärää on siten pystytty pienentämään. Toisaalta DD-pesurin toimintatapa mahdollistaa valkaisun suodoskiertojen uudelleen järjestelyyn.

1.1 DD-PESURI

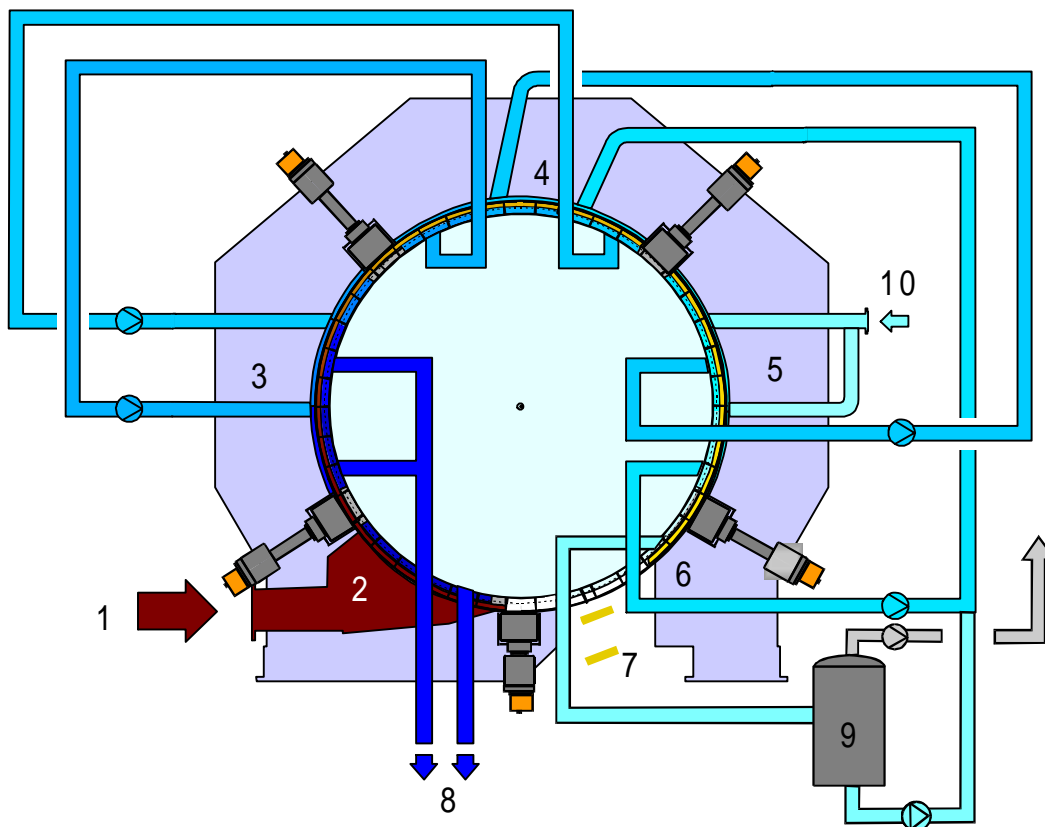
DD-pesurin keskeisin osa on pyörivä rumpu, jonka pinta on jaettu pitkittäisillä jakokiskoilla lokeroiksi. Lokeroiden pohjille on muodostettu tuki- ja reikälevyistä suodokselle pitkittäiset virtauskanavat. Virtauskanavat ovat rummun päädyn kautta yhteydessä pesurin päädyissä oleviin jakoventtiileihin. Pesurin rakenne on esitetty kuvassa 1 räjäytettynä ja kuvassa 2 poikkileikkauskaaviona. Massa tuodaan pesurille syöttöputkea (1) pitkin ja se jaetaan syöttölaatikossa koko pesurin pituudelle. Syöttölaatikossa (2) massa menee lokeroiden pohjalla olevien reikälevyjen päälle ja alkaa sakeutumaan sitä vasten niin, että lokero poistuessa syöttölaatikosta pyörimisen vuoksi on massan sakeus noin 10 %. Massan sakeutumisesta syntyvä sakeutussuodos virtaa virtauskanavaa pitkin jakoventtiiliin, josta se poistetaan suodossäiliöön. Syöttölaatikko (2) on eristetty tiiviste-elementillä ensimmäisestä pesuvaiheesta (3).



Kuva 1. DD-pesurin räjäytyskuva.

Kuvassa 2 on esitetty kolmivaiheisen pesurin periaate. Pesuvaiheiden (3), (4) ja (5) välillä käytetään myös tiiviste-elementtejä. Pesuvesi (10) tuodaan kolmanteen pesuvaiheeseen (5) vastakkaiselle puolelle pesuria kuin massa. Massan pesu toimii pesurin sisällä ns. vastavirtaperiaatteella. Pesuvesi menee lokerossa olevan massakakun läpi ja virtauskanavaa pitkin se virtaa pesurin pätyihin. Päädyissä olevilla jakoventtiileillä pesuvesi tai paremminkin suodos kerätään talteen ja pumpataan toiseen pesuvaiheeseen (4). Toisesta pesuvaiheesta suodos pumpataan vastaavasti ensimmäiseen pesuvaiheeseen (3). Viimeisen tiiviste-elementin jälkeen pesurissa on tyhjövaihe (6), jonka aikana kanavassa ja kakussa ollut ylimääräinen

suodos imetään tyhjöjärjestelmän (9) avulla pois. Tyhjöjärjestelmästä imusuodos palautetaan toiseen pesuvaiheeseen (4). Viimeisenä vaiheena pesurissa on kakun irrotusvaihe (7), jossa lokerossa oleva massakakku irrotetaan paineilmasyöksellä.

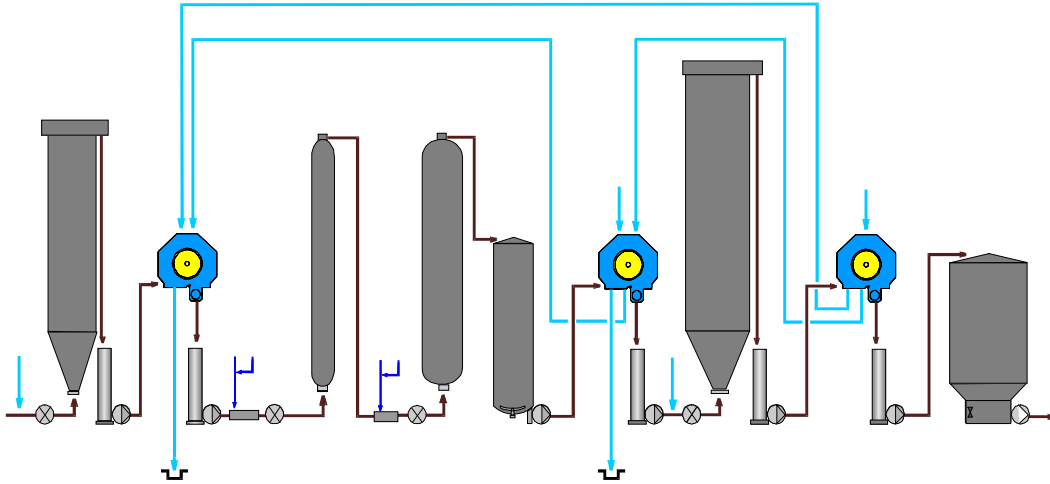


Kuva 2. Kolmivaiheinen DD-pesuri: 1. Syöttöputki, 2. Syöttölaatikko, 3. 1. Pesuvaihe, 4. 2. Pesuvaihe, 5. 3. Pesuvaihe, 6. Tyhjövaihe, 7. Kakun irrotusvaihe, 8. Suodoksien ulostulo, 9. Tyhjösäiliö, 10. Pesuvesien sisäänmeno.

1.2 DD-PESUREILLA TOTEUTETTU VALKAISU

UPM-Kymmene Kaukaan sellutehtaalla toteutettu ECF-valkaisulinja on esitetty kuvassa 3. Valkaisuun massa tulee happidelignifioinnista puristimen läpi. Puristimella suoritetaan ns. vedenvaihto eli massa pyritään tuomaan valkaisuun mahdollisimman kuivana. Valkaisussa massa etenee MC-sakeudessa eli sen sakeus on koko ajan keskimäärin noin 10 – 12 % ja pesu tapahtuu vastavirtaperiaatteella. Valkaisusekvenssi on kolmivaiheinen, jossa ensimmäisenä vaiheena on D₁-vaihe, toisena EOP-vaihe ja viimeisenä vaiheena taas D₂-vaihe. Oleellinen ero perinteisiin valkaisuihin verrattuna on DD-pesureille menevien pesuvesien ja DD-pesurilta tu-

levien suodosten fraktiointi. Esimerkiksi viimeiseltä D₂-vaiheen DD-pesurilta tu-
leva suodos on jaettu kahtia ja toinen niistä on johdettu EOP-vaiheen DD-pesurille
ja toinen ensimmäisen D₁-vaiheen DD-pesurille.



Kuva 3. UPM-Kymmene Kaukaan ECF-valkaisulinja.

2 KORROOSIOMONITROINTI

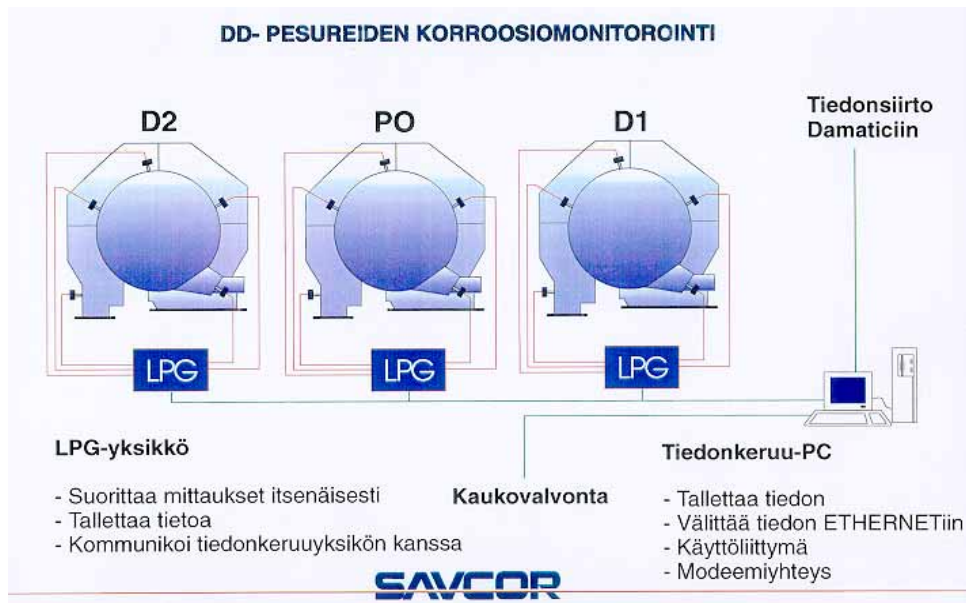
2.1 PERUSTEET KORROOSIOMONITROINNILLE

Kun olimme rakentamassa Kaukaan uutta sellulinjaa, näimme tarpeelliseksi määrittää valkaisulinjassa vaikuttavat korroosio-olosuhteet. Syyt olivat seuraavia. Kaukaan valkaisulinja oli ensimmäinen, missä DD-pesureita käytettiin ECF-pohjaisessa valkaisussa. Aikaisemmin DD-pesureita on kuitenkin käytetty TCF-pohjaisessa valkaisussa. Toiseksi haluttiin tietää miten suodosten fraktiointi vaikutti korroosio-olosuhteisiin. Perinteisissä suodinpohjaisissa valkaisuissa suodosten jakamista ei voida hyödyntää. Kolmanneksi haluttiin varmistua materiaalivalinnoista. D-vaiheiden DD-pesurit oli tehty superausteniittisestä ruostumattomasta teräksestä eli lyhyesti 254 SMO:sta. Suurin huolenaihe oli kuitenkin EOP-vaiheen DD-pesurin, koska sinne johdettiin viimeisestä D₂-vaiheen DD-pesurista hapanta suodosta. DD-pesuri oli tehty tavallisesta haponkestävästä teräksestä (SS2343).

2.2 MONITOROINNIN TOTEUTUSTAPA

Monitorointi suoritettiin Savcor Oy toimittamalla korroosiomonitorointilaitteistolla. Kuhunkin DD-pesuriin asennettiin viisi korroosiomonitorointianturia, jotka mittasivat lämpötilaa, rummun korroosio-potentiaalia, koepalojen potentiaaleja, REDOX-potentiaalia ja koepalojen korroosionopeutta. Kuvassa 4 on esitetty monitoroinnin periaate. Yhteensä antureita oli 15 kpl. Ennen mittausten aloittamista ja muutaman kerran mittausten aikana antureista mitattiin myös polarisaatiokäyrät, joista voitiin todeta materiaalien riskialttuus piste-, rako- ja jännityskorroosiolle. Tiedot antureista kerättiin 5 anturin ryhmissä erillisiin LPG-yksiköihin, jotka suorittivat mittaukset ja välittivät tiedot tiedonkeräysyksikköön, josta monitoroinnin tuottamaa tietoa voitiin tutkia trendejä seuraamalla. Tiedonsiirtoyksiköstä tiedot voitiin siirtää modeemia pitkin Savcorille tai GTW-aseman kautta Datamaticin tietojärjestelmään, missä niitä voitiin seurata yhtäaikaan muiden prosessitietojen kanssa.

Kuva 4. Korroosiomonitoroinnin periaate.



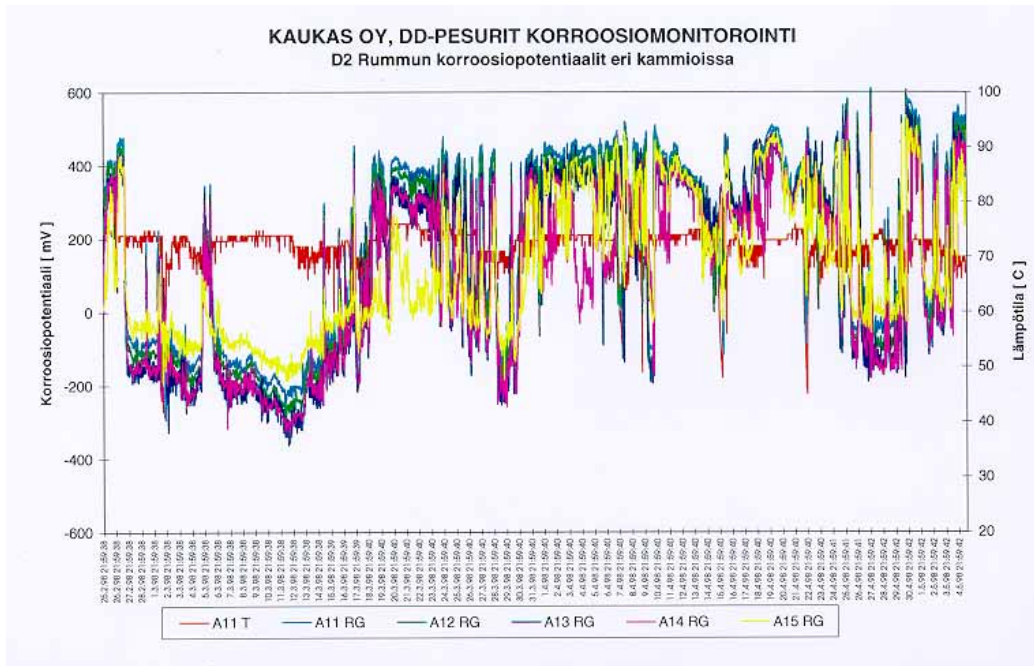
2.3 TULOKSET

Korroosiomonitoroinnin tuloksena saatiin aikaan iso kasa erilaisia polarisaatiokäyriä ja trendejä erilaisista korroosio-olosuhteista. Kuvassa 5 on esitetty mittausjakson aikana tehty D₂-vaiheen DD-pesurin syöttölaatikossa olleen hitsipalan polarisaatiomittauskäyrä. Kuvassa 6 on esitetty saman pesurin korroosionopeusmittauksia ja kuvassa 7 REDOX-potentiaaleja. Yllätyksenä voidaan pitää EOP-vaiheen olosuhteita, jotka eivät

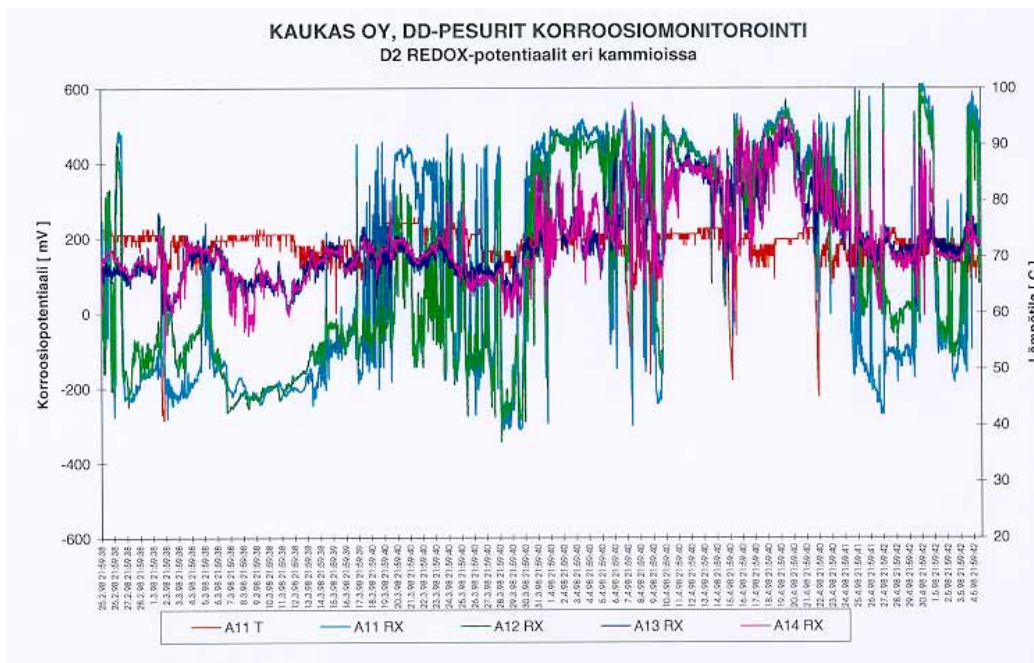


Kuva 5. D₂-vaiheen DD-pesurin syöttölaatikossa olevan hitsikoepala polarisaatiokäyrä.

olleetkaan niin pahat kuin ennakoita kuviteltiin. Korroosio-olosuhteiden kannalta pahin paikka oli viimeisen D₂-vaiheen DD-pesurin syöttölaatikko, johon massa tulee. Pahimmat hetket korroosion kannalta olivat tilanteet, jolloin viimeisen D₂-vaiheen tornista tulevan massan klooridioksidijäännöstä ei kyetty eliminoimaan pois. Tämä heijastui viimeisen D₂-vaiheen muihin pesuvaiheisiin ja myös ensimmäisen D₁-vaiheen sekä EOP-vaiheen DD-pesureille. Sakeutusvaiheesta ja ensimmäisestä pesuvaiheesta otettu likaisempi suodos vietiin ensimmäisen D₁-vaiheen DD-pesurille ja toisesta pesuvaiheesta otettu puhtaampi suodos EOP-vaiheen DD-pesurille. Korroosiomonitorointi kesti kaiken kaikkiaan puolitoista vuotta. Samanaikaisesti mittauksien kanssa tutkimme varsinkin viimeisen D₂-vaiheen DD-pesuria seisakkien yhteydessä silmämääräisesti mahdollisten korroosion havaitsemiseksi. Silmämääräiset havainnot tukevat mittausdataa. Pesureiden sisällä on havaittavissa jotain värimuutoksia, jotka kertovat, että korroosio-olosuhteissa olemme löytäneet materiaalin käytön kannalta mahdolliset rajat. Kuvassa 8 on massan syöttöputkessa havaittua pistekorrosiota.



Kuva 6. D₂-vaiheen DD-pesurin korroosionopeuksia eri paikoissa.



Kuva 7. D₂-vaiheen DD-pesurin REDOX-potentiaaleja eri paikoissa.



Kuva 8. Massan syöttöputkessa havaittua pistekorroosiota.

3 JOHTOPÄÄTÖKSET

Korroosiomonitorointi osoitti, että DD-pesureihin valitut materiaalit olivat ihan oikeita ja korroosion kannalta riittäviä. Tehtaan kannalta mittaukset osoittivat, että viimeisen D-vaiheen jälkeiseen klooridioksidijäännöksen eliminointiin kannattaa panostaa. Nykyisen jäännösmittauksen rinnalle he ovat ottaneet myös DD-pesurin syöttölaatikon korroosiopotentiaalin arvioimaan mahdollista klooridioksidijäämän määrää. Myös meidän laitetoimittajana on muistettava, kun toimitamme uusia installaatioita, että meidän on kiinnitettävä huomiota jäännösten eliminointiin. Mikäli jäännösten määrät liikkuvat moninkertaisissa määrissä, mitä nyt mitattiin, niin riskit korroosion esiintymiselle ovat ilmeiset. Lievät korroosiojäljet löytyivät vähemmän kriittisimmistä osista kuten miesluukun reunasta, mittausyhteistä (väärä materiaali) tai syöttöputken tulolapasta. Rummista, jotka ovat pesureiden kriittisimpiä osia, ei löytynyt korroosion jälkiä.

LESS PROCESS VARIATIONS THROUGH CONTINUOUS CONTROL LOOP PERFORMANCE ASSESSMENT BY USING KCL-CoPA

Marko Moisio, M.sc.
Risto Ritala, Dr.
KCL Development Oy
Tekniikantie 2, FIN-02150 Espoo, Finland

Lasse Nyström, Control eng.
UPM Kymmene Voikkaa Paper Mill
45910 Voikkaa, Finland

Abstract

In a modern paper mill controller tuning, process instrumentation maintenance and troubleshooting have rather small resources. If staff were supported by suitable tools utilizing information technology, work load as well process variability level would be decreased considerably. A study to find and develop reliable methods and system for assessing the performance of control loops in a paper machine was conducted in the Finnish Pulp and Paper Research Institute. Several methods described in literature were evaluated. From those the normalized control performance index was selected for use. Also some new parameters describing different phenomena in control loop were developed. All the methods were tested by simulation and field test in a paper mill.

Mill experience in using the information provided by the loop monitoring system has helped to derive guidelines on the procedures that can be put in place to make use such a system efficient. This includes WWW/intranet based tools.

1 MOTIVATION FOR CONTROL PERFORMANCE ANALYSIS

Distributed process control (DCS) and information systems have become common place in the pulp and paper industry, and are the key factor in reducing product variability and maximizing system efficiency. The basis of any process control system is the regulatory control loop, still mostly implemented using the ordinary PI-algorithm. If these loops are not regularly maintained, the foundation of the mill-wide control and information system is undermined.

In a modern paper mill there are hundreds, possibly thousands of control loops. It is nearly impossible to monitor the performance of more than a few most critical control loops without assessment tools utilizing modern signal analysis methods and information technology. At present, actions to improve tuning are almost always based either on request from production personnel or on regular tuning rounds that are carried out rather infrequently. Malfunctions of the process control loops, including the sensing and actuation components, such as control valves, are very common in mill environment [1]. They introduce excess variability throughout the process thereby reducing machine runnability, increasing costs and disturbing final product quality control. When a poorly performing control loop is detected, it is necessary to diagnose the underlying cause before e.g. retuning or changing the valve.

If an important controlled variable oscillates the operating staff detects it quickly. Because of the inherent stability of the process, it is possible to make quite good quality even with control loops rather far from their optimal behaviour. Although it is clear to operators how much a variable is allowed to oscillate before disturbing runnability, operators rarely know how much a variable can oscillate without adversely affecting quality. The most of the processes and control loop structures are such that if some controllers function poorly the overall process performance is still acceptable. In general, it has proved very difficult to show the relationship between the performance of a control loop and uniformity of paper quality. The reason for this is that the process is highly complex and inherently stable. Furthermore quality is mostly measured in laboratory at very low sampling frequency and thus the measurements do not reveal the true variability.

The variability audits at many pulp and paper mills have clearly shown how performance degradation of control loops has seriously crippled the ability to manufacture uniform product [1]. One key finding has been that the degradation has occurred over weeks and months rather than hour or days, and has thus been

largely unnoticed before serious consequences on runnability or quality. Operating staff often accepts daily performance as normal, having no other “yardstick”. Of course, if the production line is running at top speed without any major problems, most of the control loops have to be performing quite well. But systematic monitoring of the process control performance will reveal those hidden cases which may cause malfunctions in near future. Typically a paper machine has over 200 control loops and the number of automation maintenance technicians is only 4-5 [2].

An example of poor performing control loop is given in Figure 1: the level control of mixing tank. The difference between measurement and setpoint, the error signal, is shown. The amplitude of these oscillations is mostly under 2%, which itself is not a severe problem, but may cause considerable flow variations around the tank which in turn cause quality variations. The most likely reason for oscillations is too integrating PI-controller tuning.

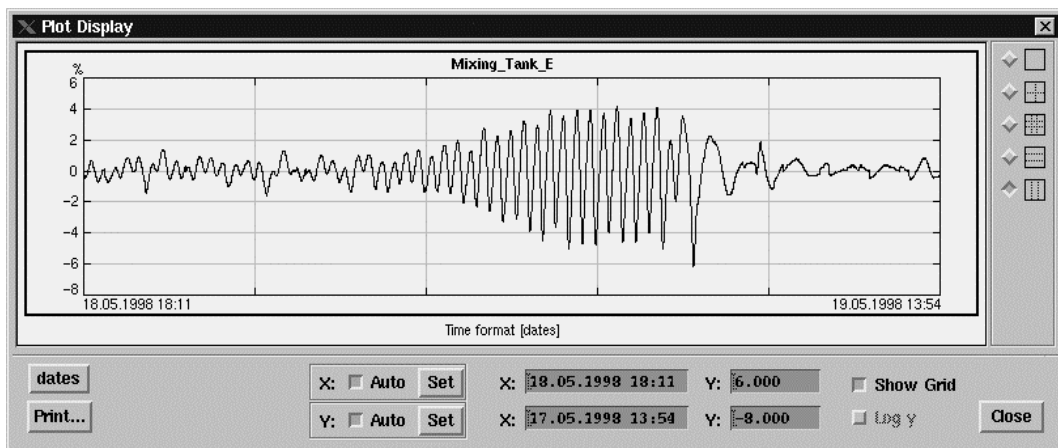


Figure 1. The error signal of mixing tank level control loop.

2 MONITORING BASED ON PERFORMANCE INDICES

The goal of a performance monitoring system is to provide early detection of malfunction and, once detected, to aid in problem diagnosis to the greatest possible extent.

KCL-WEDGE is a process analysis system developed by the Finnish Pulp and Paper Research Institute for process operators and engineers. It has been applied mainly in the analysis of process fluctuations, in particular in reducing end product variations.

A software tool was set up in the KCL-WEDGE-process analysis environment for control loop performance analysis. The tool detects the worst loops among all the hundreds of loops based on five indices characterizing performance. The combination of the index values can be then used to find out the likely reason for poor behaviour. The tool has been given the acronym KCL-CoPA (KCL Control loop Performance Assessment). As a result the number of the control loops that need to be studied more carefully is reduced considerably and maintenance staff can concentrate on these only. This has been the main objective for our development work.

The different performance indices are:

- The normalized performance index
- The coefficient of variation (COV)
- The oscillation index
- The slowness index
- The step index

It is showed that a lower bound on the closed loop output variance could be obtained directly from closed loop data and calculating a normalized performance index [3]. This index is used for assessment of controller performance against the benchmark of minimum variance control. The value of the index is scaled between zero and one. The larger the index, the poorer the performance.

Coefficient of variation is defined as ratio of standard deviation and the mean of a process variable expressed in percentages.

While the normalized control performance index shows the potential improvement that can be achieved in terms of reducing process variability by fixing control problems, COV is an indication of the damage caused by poor control.

When both COV and the normalized performance index are high, this means that the loop in question requires more detailed investigation. The limits of the alarming situation are 0.6 for the normalized control performance index and one percent for COV. The combination of these two criteria helps to reduce the number of the control loops for further analysis.

The likely reason for poor behaviour is obtained from the three other indices. The oscillating or too slow tuned control loops are identified by checking the values of

the corresponding indices. The step index is intended to identify control valves with stick-slip tendency.

However, it should be noted that the indices do not provide a definitive conclusion as to the cause of a problem. Further troubleshooting poor loops using these calculated indices and simple tests can be made according to the following scheme:

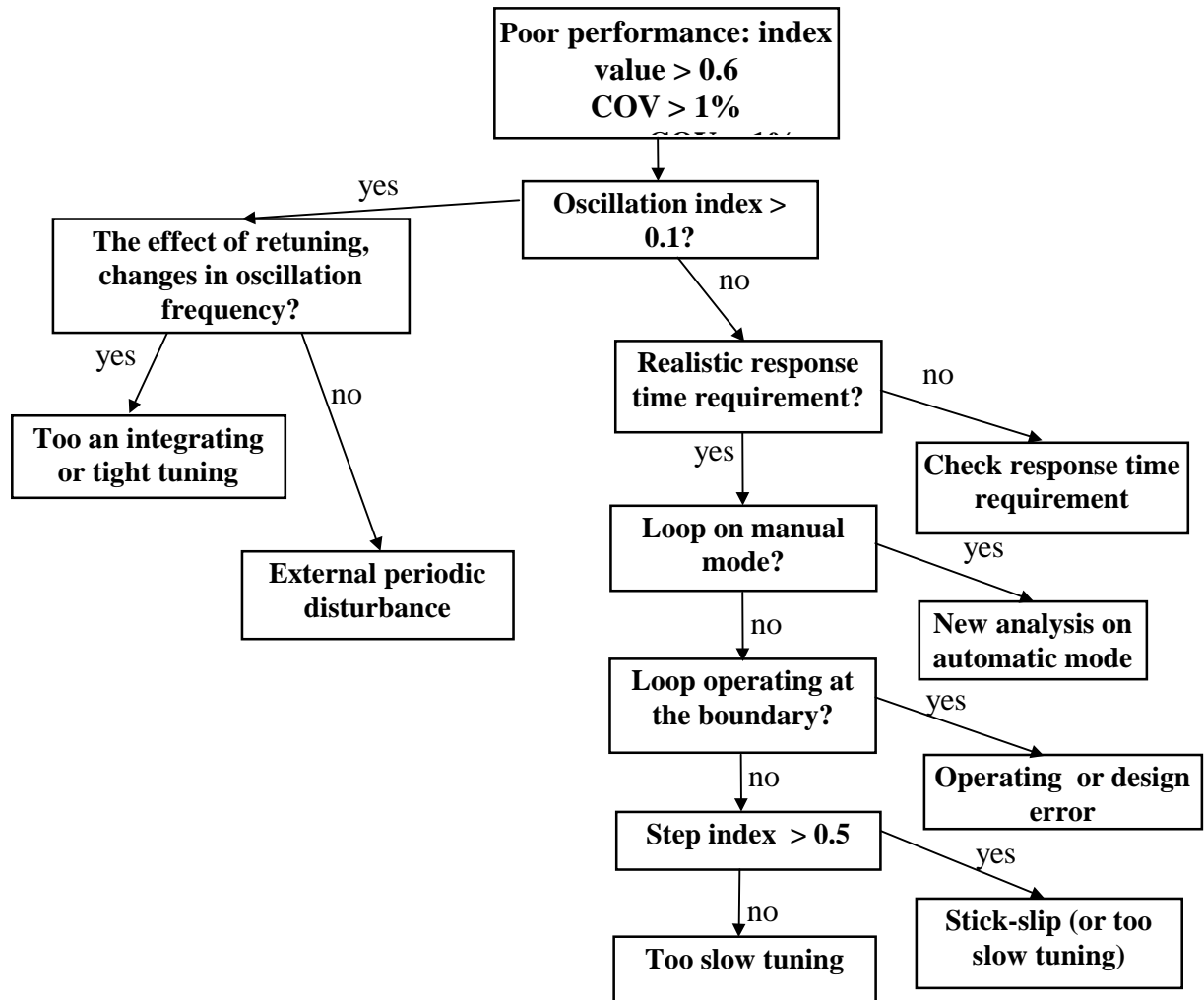


Figure 2. Control loop diagnostic scheme.

If performance index is larger than 0,6 and $COV < 1\%$ the same troubleshooting logic can be applied, but the problem is less acute.

A KCL-CoPA installation calculates indices regularly and stores them in a database. This provides the users information about how the behaviour of the control loops has changed over time: how they depend on grades and is there slow degradation indicating wear out.

3 USER INTERFACES

KCL-CoPA is provided with two separate user interface: one for more detailed study used mainly by control engineers and another giving more structured access to main analysis results.

The first one is an extension of graphical user interface in KCL-WEDGE, which is mainly intended for the control engineers at the paper mills. Through KCL-WEDGE real time plant data for selected control loops are available at any time, along with performance assessment tool. This tool features a parameter table representation of control loops that can be sorted according to any of the parameters: this can be used to direct the resources to work on loops that have problems. Through this table sorting mechanism, additional performance parameters assist the user in finding the cure for observed poor performance (Fig. 3). For instance, if a poor value of the normalized performance index was suspected due to oscillation, the value of oscillation index indicates whether the assumption is correct.

	Time req. [s]	Performance Ind.	Steadiness Index	Oscillation Index	Variation coeff.	Stop Index
Tayvir_E	30	0.913	33	0.0196	2.52	0.697
Rytvir_E	30	0.56	3.23	0.0406	0.349	0.476
Ben_vir_E	30	0.524	24.3	7.89e-10	1.41	0.23
Selkannos_vir_E	30	0.515	6.89	0.00401	0.613	0.539
Tarvir_E	30	0.180	1.65	0	0.64	0.446
Tartain_E	30	0.155	1.39	0	0.655	0.399
Konvir_E	30	0.136	2.07	0	0.264	0.254
Aunan_E	30	0.0642	0.852	0	1.6	0.326
Hevir_E	30	0.0329	0.809	9.16e-06	1.54	0.422

Figure 3. The index matrix.

A report on each loop, containing the error signal, its autocorrelation function and power spectrum can be also displayed. This provides an experienced user more information about the nature of the variation in the loop. The autocorrelation function and the power spectrum are useful for visualising the effectiveness or the malfunctions of control, and serve as a starting point for other analysis. Also the performance indices are displayed with these graphs.

The index trends stored in the database can be compared with other process signals and production data, such as different paper grades or production speed by using standard KCL-WEDGE trend tools.

If the user has previous experience of KCL-WEDGE, KCL-CoPA is very easy to learn within one day. Otherwise 2 - 3 days training period is needed.

The second user interface is based on WWW/intranet technology. The web browser guide the user through the results of the performance analyses in a structured manner. This interface is intended for instrumentation technicians at the paper mills. KCL-WEDGE is serving as the calculation engine in background either directly responding to user requests or providing access to index history database. Naturally, this interface does not support all the functionality of KCL-WEDGE.

WWW-based user interface allows direct links to any detailed documents concerning the control loop in question, provided that the documentation is available in HTML format. When using Web technologies management of information - publishing, reviewing, distributing and updating etc. - is very efficient and quick.

Sätöpiiri	Tila	Suorituskykyind. **	Variaatiokerrain [%] **	Värähtelyind. **	Hitausind. **	Askelind. **	Nopeusvaastimus
Tarvir_E	Hälytyk Hidas vntys ja nopeusvaastimus	0,8	1,5	0,08	4,0	0,2	XXXX
Tarvain_E	Tuleva ongelm? Värähtelevä vntys ja muiden pntien vaikutus Askettava vntys	0,6	0,4	0,13	0,8	0,5	XXXX
Rehtai_E	Huomautus Lievästi värähtelevä vntys ja muiden pntien vaikutus Lievästi hidas vntys ja nopeusvaastimus	0,4	0,8	0,05	2,5	0,1	XXXX
Ben_vir_E	OK	0,1	0,3	0,05	2,0	0,1	XXXX

Figure 4. The index matrix on www-based user interface.

4 IMPLEMENTATION EXAMPLE

KCL-CoPA has been installed at UPM-Kymmene Voikkaa paper mill, which has four paper machines: PM11, PM16, PM17 and PM18. During the field tests over 80 control loops were under examination, including pressure, flow, level, consistency and temperature control loops. These were chosen from two the newest production lines, PM11 and PM18, which are producing MFC and LWC respectively. The performance indices of the control loops were evaluated in a one hour cycle for an eight hour period by using data sampled every 10. The calculated indices have been stored in a now over 7 months. Full KCL-WEDGE user interface has been used.

This implementation can be consider as prototype with exceptionally high involvement of KCL staff. For example, the control loops studied were chosen by our research personnel only.

When all these control loops were analysed with KCL-CoPA, it was soon noticed that a substantial portion of the level control loops were oscillating. Considerable improvement of control performance was achieved by tuning these loops systematically. However, all the tunings were made by KCL staff.

This experience has clearly shown that monitoring and diagnosis control loops is only a part of maintenance program. Without mill personnel who can make corresponding decisions and take proper actions the tool has no value. Its success to a large extent depends on its efficient use by the staff at the mills.

5 USER EXPERIENCES

KCL-CoPA extracts control loop information from large amount of raw process data. Since the carrier of the information is much more condensed after extraction, utilization of the information becomes easier. This basic concept was exploited many times during field tests also by the mill maintenance staff.

Besides the normalized control performance index and COV, of the complementary indices, the oscillation index and the slowness index performed acceptably in everyday use. Now we have come up with a step index that has proved to be promising in our testing, and it would be very useful for checking control valves if it functions properly on future.

The main problem when utilising KCL-CoPA arose when the maintenance technicians tried to interpret the result table. Because the order of the control loops

on result matrix was different depending on sorting criteria, it was too confusing to distinguish the essential information on the practical point of view. The table sorting mechanism was easy to use, but the conclusions were not straightforward or unambiguous. Shortly: the combination of different indices was not simple enough to help in diagnosing the real performance of a certain control loop.

To fix this problem we are developing the result table further in the www user interface. The system will add comments which describe the most likely reason for poor performance, see Figure 4. These comments are generated automatically by using the logic of Figure 2.

Furthermore, automation technicians used the system without any training, which proved to be totally unacceptable approach. When KCL-CoPA is applied for the use at paper mill environment widely, training must be top priority.

The number of the control loop problems which need further analysis can be reduced by using alarm limits. These alarm limits were not tested by mill personnel, and it might be too early to speculate how practical they will be on constant use. Preliminary results made by authors appear promising.

5.1 TWO CASE STUDIES

In order to illustrate the effectiveness of constant performance monitoring, following experiment was done at the Voikkaa paper mill: First some control loops were tuned as tight as possible. After a couple weeks these loops were re-tuned as they were before, i.e. the originally used PI-controller tuning parameters were restored. This period lasted only one week. After that control loops were re-tuned again.

Consider Figures 5 and 6. Figure 5 represent a typical data set taken from starch flow from paper mill wet end. In the center of the time series there is a point when tuning parameters of PI-controller has been changed. The controller's ability to track setpoint is slow up. Figure 6 demonstrates deterioration and improvements of performance due to controller tuning. At first period the normalized performance index and slowness index has been at level 0.15 and 1...2. When the original tuning parameters were on use, the level lifted to 0.6 and over 5. Thus the changes in tuning are clearly seen from time series performance data. The results of same kind could be achieved also with 5 other control loops.

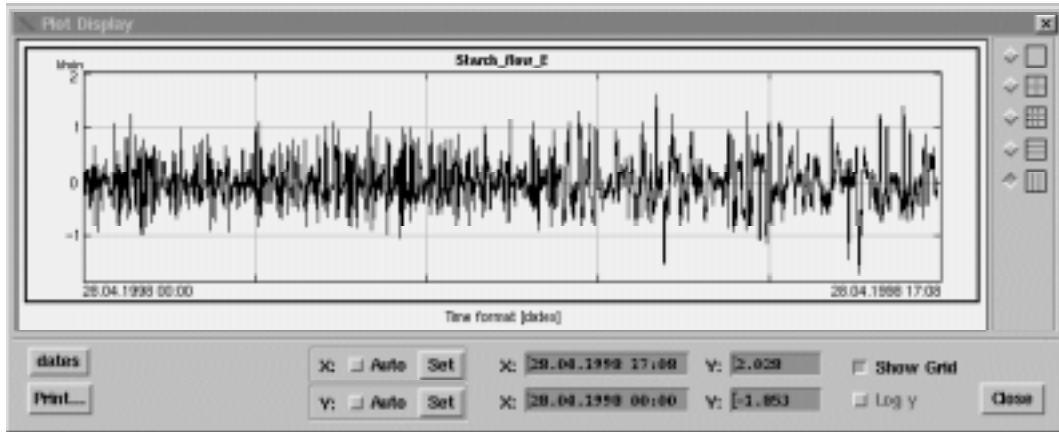


Figure 5. The error signal of the starch flow control loop. The tuning parameters of the PI-controller has been changed on April 28th at 9.30 o'clock.

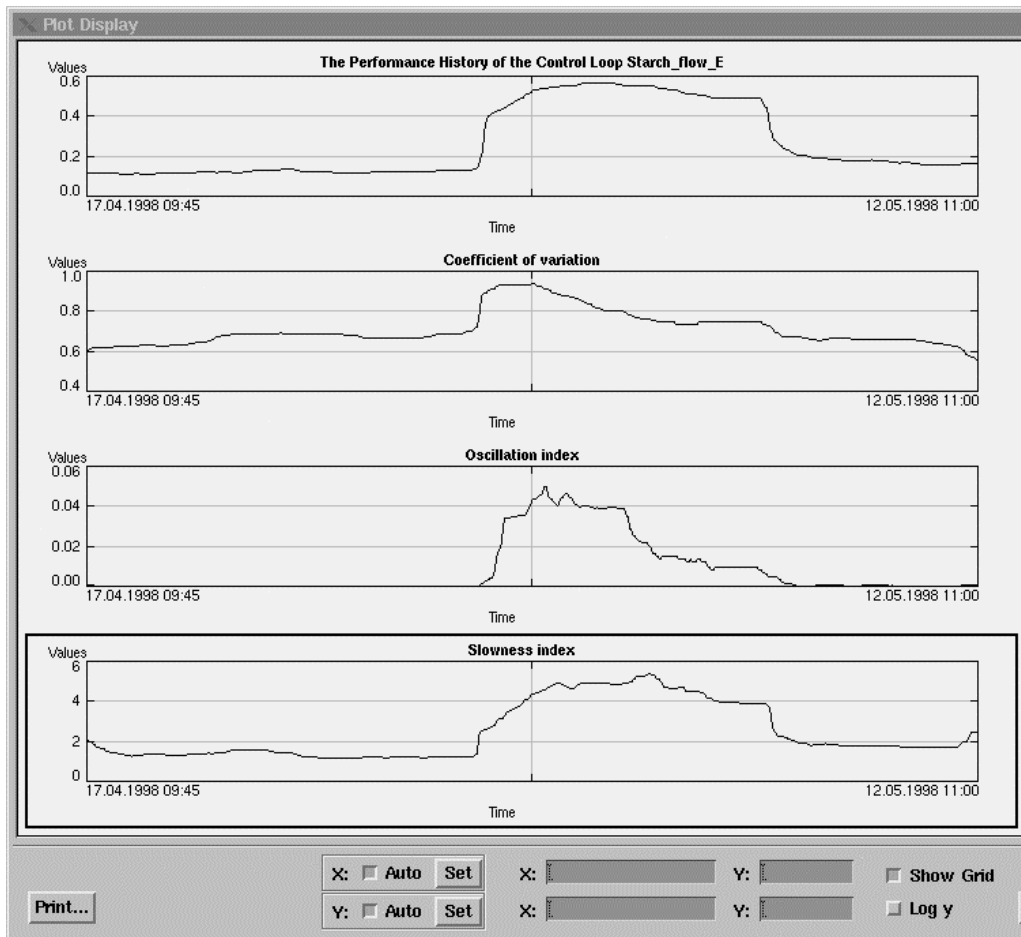


Figure 6. The performance history. After tuning and re-tuning the PI-controller the index levels has been restored.

Level control loops are often tuned too integrating. Figure 7 illustrates one typical situation. The amplitude of the oscillations is 1 - 2%. When the volume of the tank is large, this kind of variation might have influence on outgoing flow too. The performance index and the oscillation index were very poor for this control loop. After retuning the oscillation disappeared entirely and the values of the performance indices lowered.

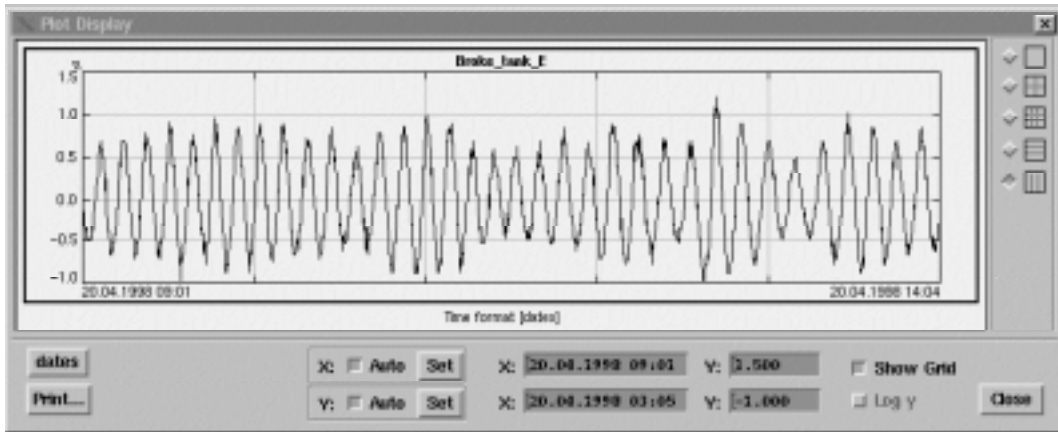


Figure 7. The error signal of the broke tank level control loop.

6 CONCLUSION

It is obvious that the normalized control performance index and the complementary indices are valid methods for identifying problems in control loops with respect to poor control performance. A computational tool for monitoring control performance was set up in KCL-WEDGE-process analysis environment. Tool features a parameter table representation of control loops that can be sorted according to any of the used performance indices which can be used to direct the resources to work on loops that have problems. A mill will benefit from its investment in information tools only if they are used properly by the right people. Without a basic understanding of the mill, it is impossible to interpret collected analysis data.

To set up the monitoring system, following procedure will be pursued:

Step 1.

KCL-CoPA is installed upon KCL-WEDGE by KCL staff.

Step 2.

Control loops for the system are chosen together with mill automation maintenance personnel. The system is started only with a limited amount of

control loops and it is expanded gradually. When more experience is gained, the users at the mills are more skilful and motivated. At the very beginning only one person is on charge of the system at the mill. The extending of the monitoring system is done by KCL staff.

Step 3.

The parameters related to analysis are chosen and adjusted together with mill and KCL staff. This procedure is done at the same time as step 4.

Step 4.

During the training period that lasts 1 - 2 days all the control loops under monitoring are studied. The meaning of different indices is illustrated with tuning tests. Only the limited amount of control loops are along with these test and training. In some instances, poor control loop performance is caused by the effect of web breaks or process upset situations at the time when data is collected. This must also be explained. It should be noted that the analysis does not provide a definite conclusion as to cause of a problem. What it does is to provide a set of indicators which assist users in their diagnosis. Especially this basic thing must be crystal clear also for people at the mill. Of course, KCL staff is on charge of the training.

Step 5.

The co-operation among personnel from process control, instrumentation maintenance and operation at the mills is another very important question. The information of the control loops performance will only have value if it is made available to the right people who can make corresponding decisions and take proper actions. How to organize co-operation is left for the staff at the mill.

Step 6.

The assistance of the KCL staff is needed during the first months after setting up the system. There may be situations where the performance monitoring system is not useful at all, for instance some control loops are on manual operating mode at most of the time. To gain and share this practical knowledge is very important for everyone involved. If any modifications for the system is needed, these are done by KCL staff.

REFERENCES

1. Bialkowski, W. J., Dreams vs. reality: A view from both sides of the gap, Control Systems '92, Whistler BC, Canada, 29 September - 1 October, 1992, pp. 283 - 295.
2. Puonnas, Matti & Koivo, Heikki, Action model of tuning of controllers in a paper mill, Control Systems '98, Porvoo, Finland, September 1 - 3, 1998, pp. 282 - 288.
3. Harris, T. J. & Desborough, L., Performance assessment measures for univariate feedback control, The Canadian Journal of Chemical Eng., Vol. 70 (1992), pp. 1186 - 1197.

Other references

Moisio, M. & Piipponen, J., Control loop performance evaluation, Control Systems '98, Porvoo, Finland, September 1 - 3, 1998, pp. 251 - 258.

Lin, L., Paradis, F. & Roche, A., Several practical issues in control loop monitoring and diagnosis, Control Systems '98, Porvoo, Finland, September 1 - 3, 1998, pp. 245 - 250.

Åkesson, I., Model based regulatory control for preventive maintenance, Control Systems '98, Porvoo, Finland, September 1-3, 1998, pp. 259 - 266.

Horch, A. & Isaksson, A., Assessment of the sampling rate in control systems, Control Systems '98, Porvoo, Finland, September 1 - 3, 1998, pp. 267 - 274.

Forsman, K. Performance monitoring of sensors, controllers and actuators with applications to paper making, Control Systems '98, Porvoo, Finland, September 1 - 3, 1998, pp. 275 - 281.

Harris, T. J., Assessment of control loop performance, The Canadian Journal of Chemical Eng., Vol. 67 (1989), pp. 856 - 861.

PAPERIKONEEN KÄYTTÖVARMUUSMALLIN KEHITTÄMINEN

Helena Kortelainen, tutkija
VTT Valmistustekniikka
PL 1701, 33101 Tampere

Pasi Ristimäki, tutkija
VTT Valmistustekniikka
PL 1701, 33101 Tampere

Kari Oinonen, tuotekehitysinsinööri
Valmet Oyj Rautpohja
PL 587, 40101 Jyväskylä

Tiivistelmä

Sellu- ja paperiteollisuudessa tuotantolinjojen, koneiden ja laitteiden korkea käyttövarmuus on merkittävä tekijä pyrittäessä ylläpitämään ja parantamaan laitosten tuottavuutta. ‘Tuotantolinjan käyttövarmuuden kokonaismalli’ -projektissa tuotantolinjan käyttövarmuusmalli on laadittu yhdistämällä käytettävyyden laskenta laitoksen toiminnalliseen kuvaukseen.

1 JOHDANTO

Sellu- ja paperiteollisuudessa tuotantolinjojen, koneiden ja laitteiden korkea käyttövarmuus on merkittävä tekijä pyrittäessä ylläpitämään ja parantamaan laitosten tuottavuutta. Korkea käyttövarmuus on kilpailutekijä niin sellun ja paperin tuottajille kuin paperiteollisuuden kone- ja laite toimittajillekin.

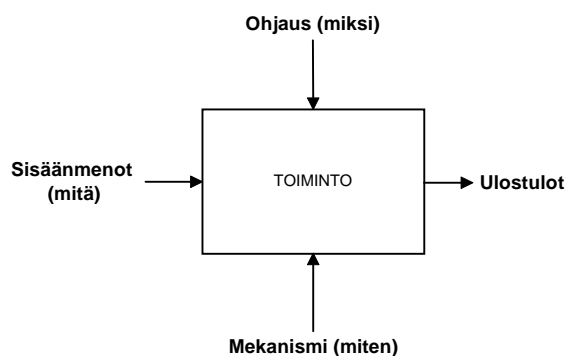
Käyttövarmuudella tarkoitetaan kohteen kykyä suorittaa vaadittua toimintoa, kun ulkoiset edellytykset toiminnon suorittamiselle ovat olemassa (SFS-IEC 50(191)). Käyttövarmuuden analysointia varten kohde - tuotantolinja tai sen osa - on mallinnettava. Käyttövarmuusmalli voi olla luonteeltaan toiminnallinen kuvaus, johon yhdistetään kvantitatiivista käytettävyyden laskentaa. Käyttövarmuuden mallinnuksessa voidaan hyödyntää esimerkiksi vikapuita tai luotettavuuslohkokaavioihin perustuvia luotettavuusmalleja, ja käytettävyyden kehitystä voidaan ajan funktiona tarvittaessa simuloida.

Käyttövarmuus Kilpailutekijänä teknologiaohjelman projektissa 'Tuotantolinjan käyttövarmuuden kokonaismalli' on sovellettu toiminnallista kuvausta ja kuvaukseen liitettyä käyttövarmuuden laskentaa paperin ja sellun tuotantolinjoille. Projektiin osallistuvat VTT Valmistustekniikan lisäksi Ahlstrom Machinery Oy, Valmet Oyj, UPM Kymmene Oyj Kajaanin ja Kaukaan tehtaat, Metsä-Serla Savon Sellu Oy sekä ABB Industry Oy Pulp&Paper.

2 TOIMINNALLINEN KUVAUS

Toiminnallinen kuvaus on toimintatapa, jota käytetään mallintamaan järjestelmäsuunnittelijan määrittelemien tavoitteiden ja käyttäjän asettamien toimintovaatimusten avulla. Toiminnot yhdistävät laitteet, ohjelmistot, työorganisaation ja muut laitoksen osat toisiinsa. Pienten ja yksinkertaisten kohteiden toiminnallinen kuvaus saattaa yhtyä kohteen fyysiseen rakenteeseen. Tuotantojärjestelmien kuvaus toteutetaan hierarkkisesti ja fyysinen toteutus määritetään vasta alimmilla hierarkiatasoilla.

Useimmat toiminnallisen kuvauksen menetelmät perustuvat kuvassa 1 esitetyn SADT:n (Structured Analysis and Design Technique) toimintoa kuvaavan lohkon käyttöön (Ross 1985, www.idef.com). Tyypillistä menetelmille on myös tuotettujen kuvausten hierarkisuus. Päätoiminto tai -tavoite hajotetaan osatoimintoihin (-tavoitteisiin) ja edelleen tarvittaessa aina komponentteihin saakka, jotta toimintoihin vaikuttavat tekijät ja mahdollisesti niiden välillä olevat riippuvuudet saadaan selville.



Kuva 1. SADT:n toimintoa kuvaava lohko (Ross 1985).

Toiminnallisiin kuvauksiin voidaan liittää analysointiin sopivia osia, kuten tila-kaavioita (Ward & Mellor 1985) tai tavoitteen toteutumiseen liittyvää tapahtuma-

ketjua kuvataan loogisten operaattoreiden avulla (Chen & Modarres 1992, Papazoglou 1998).

Toiminnallinen kuvaus edustaa yleistä ”kehikkoa”, jonka avulla laitoksen toiminta esitetään laitteiden, operaattorin toimenpiteiden, organisaatioiden jne. muodostamana sosio-tekni- senä järjestelmänä. Tämän kehikon avulla voidaan tuotantolin- jaan ja sen laitteisiin liittyvä käyttövarmuustietoa analysoida ja esittää havainnolli- sella tavalla. Toiminnallista kuvausta voidaan käyttää myös tiedonsiirtoon suun- nittelijoiden, käyttäjien ja laitetoimittajien välillä (Kortelainen et al., 1998).

3 KÄYTTÖVARMUUSMALLI

Järjestelmän käytettävyys määräytyy sen osien käytettävyyksien ja järjestelmän luotettavuusteknisen rakenteen perusteella. Järjestelmän osat voivat olla luotetta- vuusteknisessä mielessä toisiinsa nähden sarjassa tai rinnan, tai kyseessä on ns. k/n-rakenne. Tuotantolinjaa tarkasteltaessa toiminnallisen kuvauksen avulla luotu rakenne on myös riittävän tarkka pohja käyttövarmuusmallin rakentamiselle. Mi- käli tarkastelua halutaan syventää, on järjestelmän eri osille laadittava luotetta- vuustekniset mallit. Kvantitatiivista käytettävyyden laskentaa tukevat luotetta- vuuslohkokaaviot (Reliability Block Diagram, RBD) tai vastaavilla periaatteilla luodut käyttövarmuuslohkokaaviot (Availability Block Diagram, ABD).

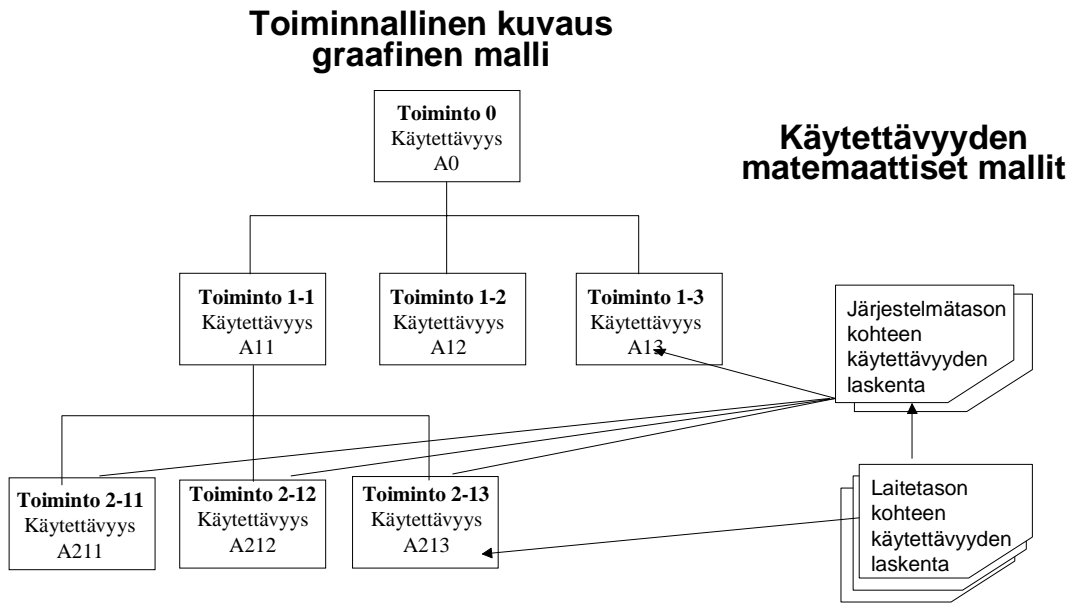
Käyttövarmuuden mittari on käytettävyys. Käytettävyys kuvastaa sekä vikataajuuden ja korjausajan sekä ehkäisevän kunnossapidon aiheuttaman seisok- kajan vaikutuksia. Jokaiselle kohteelle - tuotantolinjalle, sen osalle, laitteelle tai yksittäiselle komponentille, käytettävyys voidaan ilmaista toteutuneen toiminta-ajan (T_{op}) ja suunnitellun toiminta-ajan suhteena (T_{pl})

$$A = \frac{T_{op}}{T_{pl}} \quad \{1\}$$

4 TOIMINNALLISEEN KUVAUKSEEN LIITETTY KÄYTTÖVARMUUSMALLI

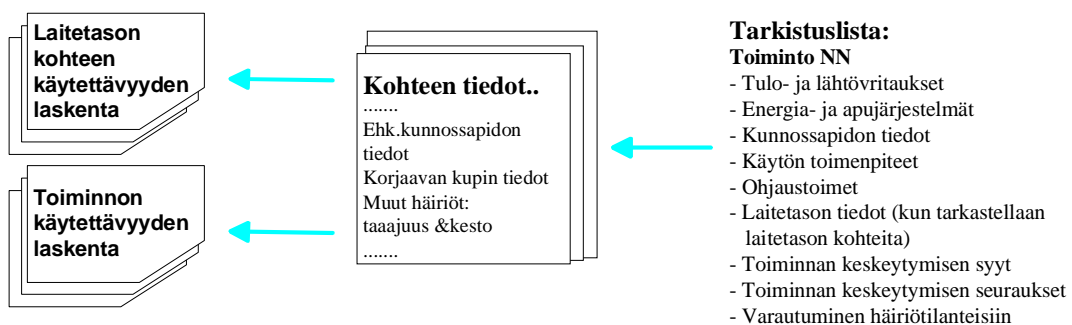
‘Tuotantolinjan käyttövarmuuden kokonaismalli’ -projektissa sovelletaan SADT- menetelmän hierarkkista kuvaustapaa, ja kuvausta laajennetaan eräiden kriittisim- pien kohteiden osalta laitetasolle asti. Tuotantolinjan toiminnallinen kuvaus on esitetty graafisesti ja siihen liitetty käytettävyyden laskenta on toteutettu taulukko- laskentaohjelmalla. Laskennan tulokset esitetään toiminnallisessa kuvauksessa

kunkin lohkon kohdalla. Menetelmää on havainnollistettu kuvassa 2.



Kuva 2. 'Tuotantolinjan käyttövarmuuden kokonaismalli' -projektissa sovellettu käytettävyyden laskenta toiminnallisen kuvauksen yhteydessä.

Toiminnallinen kuvaus muodostaa pohjan käytettävyyden laskennalle. Käytettävyyden laskentaa varten jokaisen tarkasteltavan toiminnon kohdalla on hankittava kohteen kunnossapitoon, käyttöön, ohjaustoimiin, vikoihin ja häiriöihin sekä korjaustoimenpiteisiin liittyviä tietoja. Projektissa päädyttiin selvittämään tarvittavat tiedot laitoksen henkilökuntaa haastatteleamalla tätä tarkoitusta varten laaditun tarkistuslistan avulla (kuva 3). Laitoksen henkilökunnan tietämystä hyödyntämällä suuriakin kokonaisuuksia pystyttiin käsittelemään suhteellisen nopeasti.



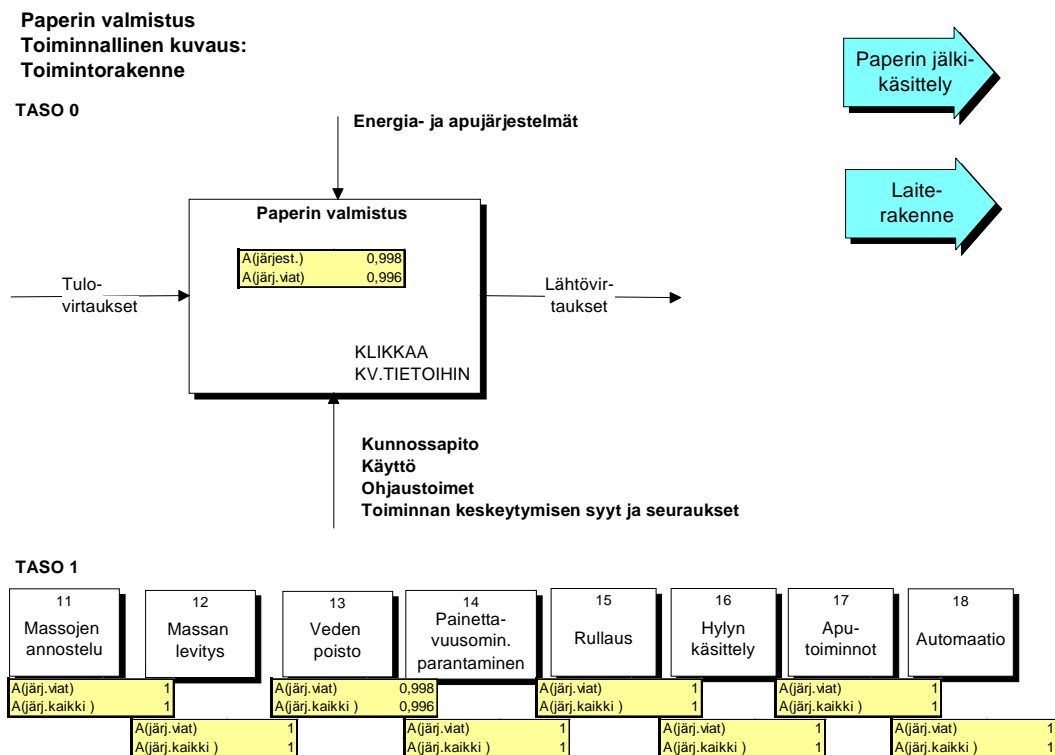
Kuva 3. Käyttövarmuustietojen kerääminen laitoksen henkilökuntaa haastatteleamalla.

Eräitä käytettävyyden suhteen tärkeitä prosessilaitteita tai vastaavia kohteita (esim. yhtä paperikoneen puristinosan huopakiertoa) tarkasteltiin yksityiskohtaisesti vika- ja vaikutusanalyysin (VVA) avulla. VVA:n avulla tunnistetaan kohteen mahdolliset vikamuodot, vikojen syyt ja seuraukset sekä eri vikamuotojen vikataajuudet, korjausajat ja mahdollisten seisokkien kestot.

5 PAPERIKONEEN KÄYTTÖVARMUUSMALLI

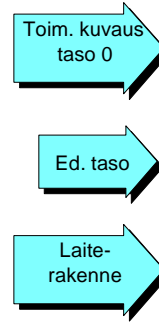
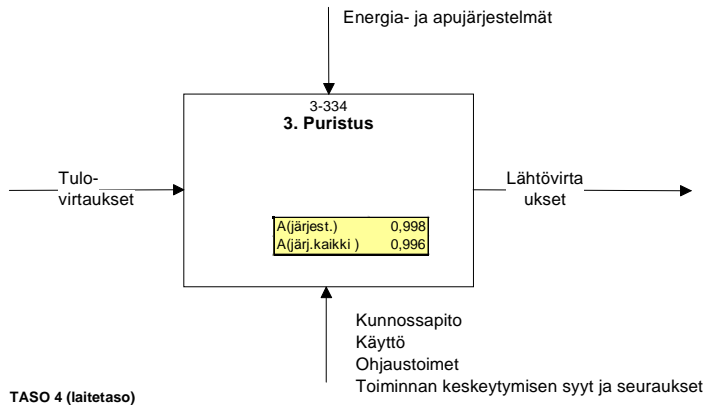
Paperikoneen toiminnallinen kuvaus on toteutettu hajottamalla päätoiminto "Paperin valmistus" osatoimintoihin kuvan 4 osoittamalla tavalla. Eräs osatoiminnoista, "Veden poisto" on hajoitettu edelleen alemman hierarkiatason osatoimintoihin. Alimmalla tarkastelutasolla ovat toiminnon toteuttamiseen vaaditut laitteet, kuten kuvassa 5 on esitetty.

Toiminnallinen kuvaus voidaan pitää myös toimintopohjaisena alimmalle hierarkiatasolle asti, jolloin toiminnon suorittamiseen tarvittavat laitteet esitetään toiminnalliseen kuvaukseen linkitetystä laiterakenteesta. Rakenteiden yhteiskäyttöä käyttövarmuustietojen hallinnassa on käsitelty tarkemmin viitteessä Kortelainen et. al. 1998.



Kuva 4. Osa paperin valmistuksen toiminnallista kuvausta. A(järjest.) vastaa käytettävyyttä, joka on laskettu paperinvalmistuksen keskeyttävien vika- ja häiriötaajuuksien perusteella. Ehkäisevän kunnossapidon aiheuttamat seisokit on huomioitu käytettävyyssarvossa A(järj.kaikki).

**Toiminnallinen kuvaus:
Toimintorakenne
TASO 3**



4-3341	4-3342	4-3343	4-3344	4-3345	4-3346	4-3347	4-3348	4-3349
Sym tela	Keskitelä	Kuormitus-sylinteri	pneum. sylinterit	kuormitus-sylinteri	Puristin-huopa	kaareva levitystela	karvinkääntö-laitte	huopaimuri
A(vikaant)= 0,9998 A(ehk+korj) 0,9996	A(vikaant)= 0,9998 A(ehk+korj) 0,9996	A(vikaant)= 0,9998 A(ehk+korj) 0,9996	A(vikaant)= 0,9997 A(ehk+korj) 0,9995	A(vikaant)= 0,9998 A(ehk+korj) 0,9996	A(vikaant)= 0,9998 A(ehk+korj) 0,9996	A(vikaant)= 0,999817 A(ehk+korj) 0,999589	A(vikaant)= 0,9998 A(ehk+korj) 0,9996	A(vikaant)= 0,9998 A(ehk+korj) 0,9996

Kuva 5. Toiminnallisen kuvauksen alimmalla hierarkiatasolla voidaan esittää toiminnan suorittamiseen tarvittavat laitteet ja ihmisten toimet.

Käyttövarmuuteen liittyvät tiedot on kerätty laitoksen henkilöstöä haastatteleamalla pääosin toiminnallisen kuvauksen hierarkiatasolle 1 ja joidenkin rajoitettujen kohteiden, kuten kuvassa 5 esitetty puristimen huopakierro, osalta laitetasolle. Toimintojen ja laitteiden käytettävyydet lasketaan vastaavien häiriö- ja vikataajuuksien, korjausaikojen sekä ehkäisevän kunnossapidon tietojen avulla. Seuraavilla hierarkiatasoilla käytettävyys lasketaan alempien tasojen käytettävyysarvoista olettaen, että toiminnot ovat luotettavuusteknisesti sarjassa.

6 YHTEENVETO

Toiminnallisen kuvauksen avulla järjestelmä mallinnetaan suunnittelijan määrittämien tavoitteiden ja käyttäjän asettamien toimintovaatimusten avulla. Pienten ja yksinkertaisten kohteiden toiminnallinen kuvaus saattaa yhtyä kohteen fyysiseen rakenteeseen. Tuotantojärjestelmien kuvaus toteutetaan hierarkkisesti ja fyysinen toteutus määritetään vasta alimmilla hierarkiatasoilla.

‘Tuotantolinjan käyttövarmuuden kokonaismalli’ -projektissa toiminnallinen kuvaus muodostaa pohjan käytettävyyden laskennalle. Tuotantolinjan käyttövarmuusmalli koostuu graafisesta tuotantolinjan toimintorakenteesta ja kuhunkin toi

mintoon liitetystä käytettävyyden laskennasta. Data kerätään laitoksen henkilökuntaa haastatteleamalla mallin yksityiskohtaisimmalle tasolle, joka voi kuvauksen eri osissa vaihdella. Haastatteleamalla saatua dataa voidaan myöhemmin päivittää ja tarkentaa esimerkiksi tehtaan tietojärjestelmistä saatavalla vika- ja häiriödatalla.

Käyttövarmuusmallin avulla laitoksen käytettävyyteen liittyvää, eri lähteistä saatavaa tietoa voidaan yhdistää ja analysoida. Toiminnallinen kuvaus on havainnollinen, jolloin käytettävyyden kannalta kriittiset toiminnot tulevat selkeästi esille. Käyttövarmuusmallilla eri toimenpiteiden vaikutusta tuotantolinjan käytettävyyteen voidaan testata jo suunnitteluvaiheessa ja eri vaihtoehtoja voidaan vertailla keskenään. Toiminnallista kuvausta ja siihen liitettyä käytettävyyden laskentaa voidaan käyttää myös tiedonsiirtoon suunnittelijoiden, käyttäjien ja laitetoimittajien välillä.

KIRJALLISUUS

Chen, L. W. & Modarres, M. 1992. Hierarchical decision process for fault administration. *Computers and Chemical Engineering*, vol 16, nro 5, s. 425 - 448.

Kortelainen, H., Välisalo, T. & Oinonen, K. 1998: Tuotantolinjan toiminnallinen kuvaus. VALB 308. Tampere, 19 s.

Papazolou, I. 1998. Functional block diagrams and automated construction of event trees. *Reliability Engineering and System Safety*, vol 61, s. 185 - 214.

Ross, D. 1985. Applications and Extensions of SADT. *IEEE*. April 1985, s. 25 - 34.

SFS-IEC 50(191). 1996. Sähkötekniillinen sanasto. Suomen Standardisoimisliitto. 143 s.

Ward, P. & Mellor, S. 1985. *Structured Development for Real-Time Systems*. Vol 1: Introduction and Tools. Prentice-Hall Inc. ISBN 0-13-854787-4.

RELIABILITY ANALYSIS OF A GAS-DIESEL ENGINE'S FUEL INJECTION SYSTEM

Tuomo Jalovaara
HUT Dept. of Internal Combustion Engines
P.O.Box 4100, FIN-02015 TKK, Finland

Abstract

Reliability analysis methods employed in the early stages of product development are in scarce use in Finland today. The lack of suitable tools has been one reason for this situation. This article presents the practical use of a new method, which has been developed as a part of the Competitive Reliability -program's E4/M2 project, which enables the effective prediction of a product's reliability in explicit form. The method provides a development team with the means to judge new and innovative ideas on the basis of their conceived reliability, and helps the team to focus on the right target with their reliability engineering efforts.

This article is based on the author's Master's Thesis, and describes the application of the reliability analysis method to determine the reliability of the Wärtsilä 32 GD gas-diesel engine's fuel injection equipment that is assembled to the engine body. A four cylinder in-line model was chosen as the target engine. Due to the confidential nature of the work, numerical as well as other data have been changed in this account.

1 INTRODUCTION

In the contemporary world of ever decreasing product development times, shorter life cycles, and limited resources, the design team has to be able to concentrate its reliability engineering efforts where they will count the most. In order to do so, they must have suitable tools at their disposal to determine the reliability of a product. It is not sufficient though for the design team to just estimate the reliability of the product and compare the results with the manufacturer's own point of view, but rather the customer should be the one to dictate the reliability requirements and the focus of the analysis.

The principle of the method, which is illustrated in Figure 1, will be first examined briefly.

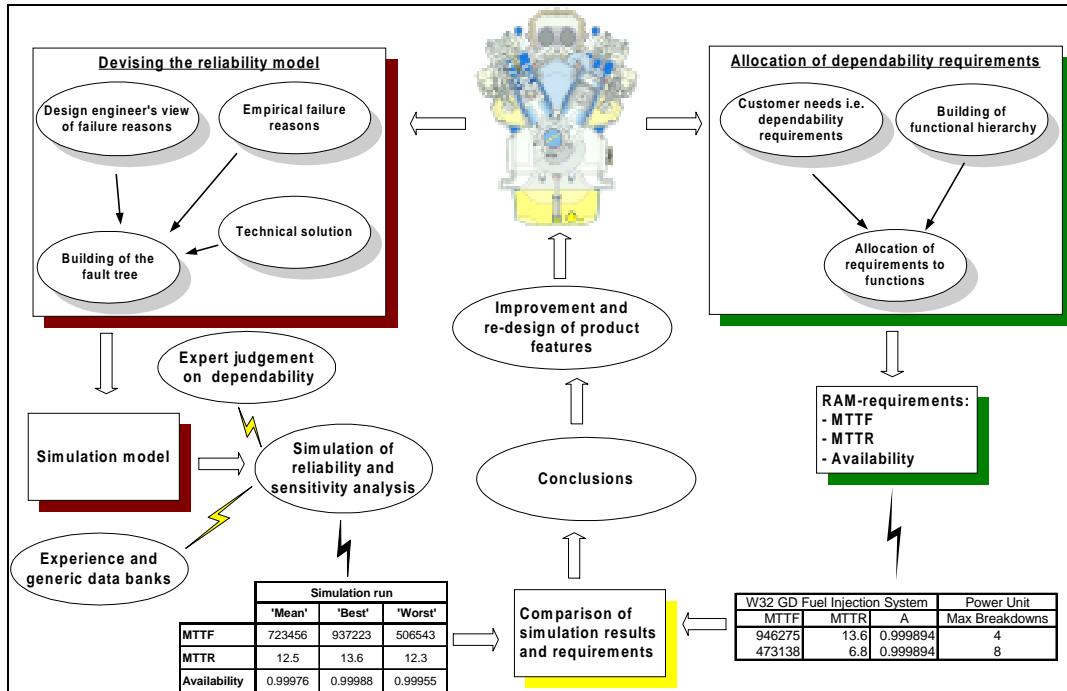


Fig. 1. Principle of the reliability analysis method.

The procedure is divided into three phases. The first phase deals with the allocation of the dependability requirements to the system, subsystem, or component of interest. The second phase deals with verifying the reliability performance of the target system by building a reliability model of it, collecting and processing reliability data, and using these to simulate the system reliability. The last phase deals with the examination of the results and drawing the appropriate conclusions.

The method makes use of the following tools:

- the RAM-model for the allocation of requirements
- the fault tree analysis for the building of the reliability model
- the BMW-adaptation for manipulation of reliability data, and
- simulation

2 BUILDING THE RAM-MODEL

The RAM-model [1] (RAM = Reliability, Availability, Maintainability) is a top-down hierarchical model that presents the system's functional structure. The key word is functional, while every component and system of a product has its own function, and thus adhering strictly to the technical solution in the representation might narrow the design engineer's view of possible solutions. The allocation is extended to that sublevel which provides a purposeful resolution. This is often

dictated by the available failure data, although the method is not restricted by this fact.

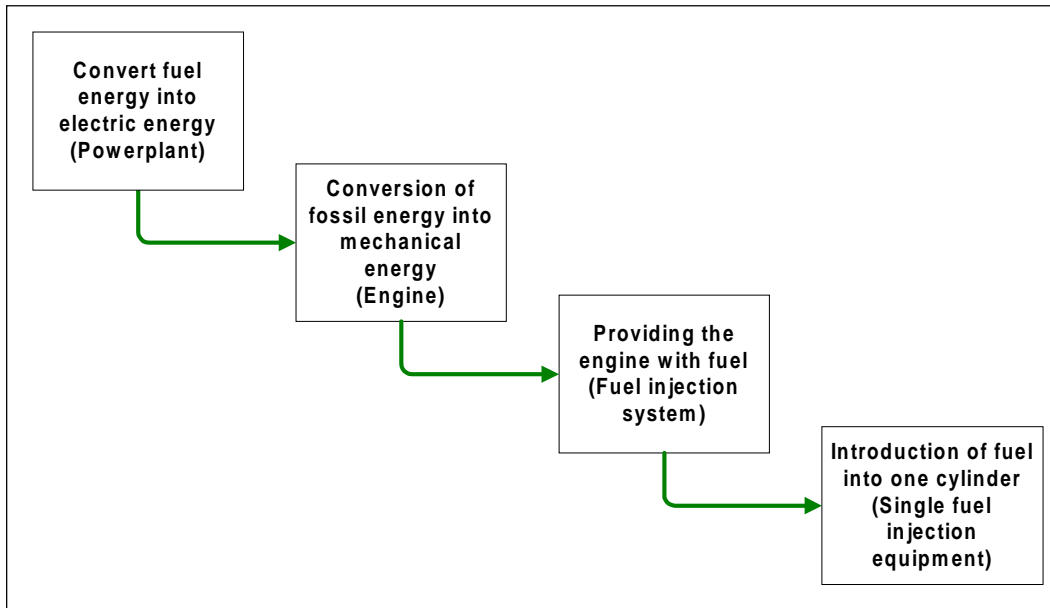


Fig. 2. Principle of RAM-allocation.

The first phase of the allocation dealt with the identification of the different functional properties of the system at the various hierarchical levels. To reach the target of interest, we started by dividing the product as a whole into functions. Next, the function of interest was divided into sublevel functions and this procedure was repeated until the desired resolution was attained. Figure 2 illustrates the principle of the RAM-allocation in this case.

The second phase consisted of defining the complexity and importance factors for every function at each of the various hierarchy levels. Paired comparison was used to acquire these factors, i.e. at each hierarchy level every function was compared against each of the other functions. The complexity factor takes into account the number of parts, the amount of human involvement, and the amount of new technology to implement a certain function. The importance factor takes into account the amount of human, environmental, property, and business damage that would likely occur when a specific function failed. As an example, the definition of the complexity factors for the fuel injection system level is illustrated in Figure 3. The high pressure oil pump was included at this level of allocation, since it provides each of the four individual fuel injection valves with HP oil to act as sealant and control media.

Function	Complexity factor	weight factor c_j	Cylinder 1 FIE		Cylinder 2 FIE		Cylinder 3 FIE		Cylinder 4 FIE		HP oil pump		Amount of parts, human activities, and new technology: 1 = more or equal 0 = less					
			Number of Parts	Human activities	State of the art	Number of Parts	Human activities	State of the art	Number of Parts	Human activities	State of the art	Number of Parts				Human activities	State of the art	
Cylinder 1 FIE	Number of Parts	$c_1 = 0.43$	1			1			1			1			5	0.2	0.10	0.238
	Human activities	$c_2 = 0.29$		1			1			1			1		5	0.2	0.07	
	State of the art	$c_3 = 0.29$			1			1			1			1	5	0.2	0.07	
Cylinder 2 FIE	Number of Parts	$c_1 = 0.43$	1			1			1			1			5	0.2	0.10	0.238
	Human activities	$c_2 = 0.29$		1			1			1			1		5	0.2	0.07	
	State of the art	$c_3 = 0.29$			1			1			1			1	5	0.2	0.07	
Cylinder 3 FIE	Number of Parts	$c_1 = 0.43$	1			1			1			1			5	0.2	0.10	0.238
	Human activities	$c_2 = 0.29$		1			1			1			1		5	0.2	0.07	
	State of the art	$c_3 = 0.29$			1			1			1			1	5	0.2	0.07	
Cylinder 4 FIE	Number of Parts	$c_1 = 0.43$	1			1			1			1			5	0.2	0.10	0.238
	Human activities	$c_2 = 0.29$		1			1			1			1		5	0.2	0.07	
	State of the art	$c_3 = 0.29$			1			1			1			1	5	0.2	0.07	
HP oil pump	Number of Parts	$c_1 = 0.43$	0			0			0			1			1	0.0	0.02	0.048
	Human activities	$c_2 = 0.29$		0			0			0			1		1	0.0	0.01	
	State of the art	$c_3 = 0.29$			0			0			0			1	1	0.0	0.01	
													21			1.00	1	
													21					
													21					

Fig. 3. Defining the complexities of the functions with paired comparison.

After the complexity and importance factors were defined, it was then possible to allocate the customer's dependability requirements, such as mission time, availability, maximum number of unexpected breakdowns, and maximum active corrective maintenance time. This allocation took into account the perceived importance and complexity of every function in such a way, that the more complex a function was, the larger share of failure possibilities was allocated to it, i.e. a smaller mean time to failure. On the other hand, the more important the function was to the customer, the smaller proportion of failure possibilities was then allocated to it. This allocation was accomplished with the use of a help function $z(x)$, whose value is larger the smaller x is and vice versa. The RAM-model distributed the customer requirements throughout the model and down to the function of interest and translated them into the following dependability parameters:

- mean time to failure (MTTF) and its reciprocal failure rate (λ)
- availability (A)
- mean active corrective maintenance time (MACMT)
- maximum active corrective maintenance time (ACMT₉₅)
- down-time

Figure 4 illustrates the allocation of these parameters to the lowest level of the RAM-model.

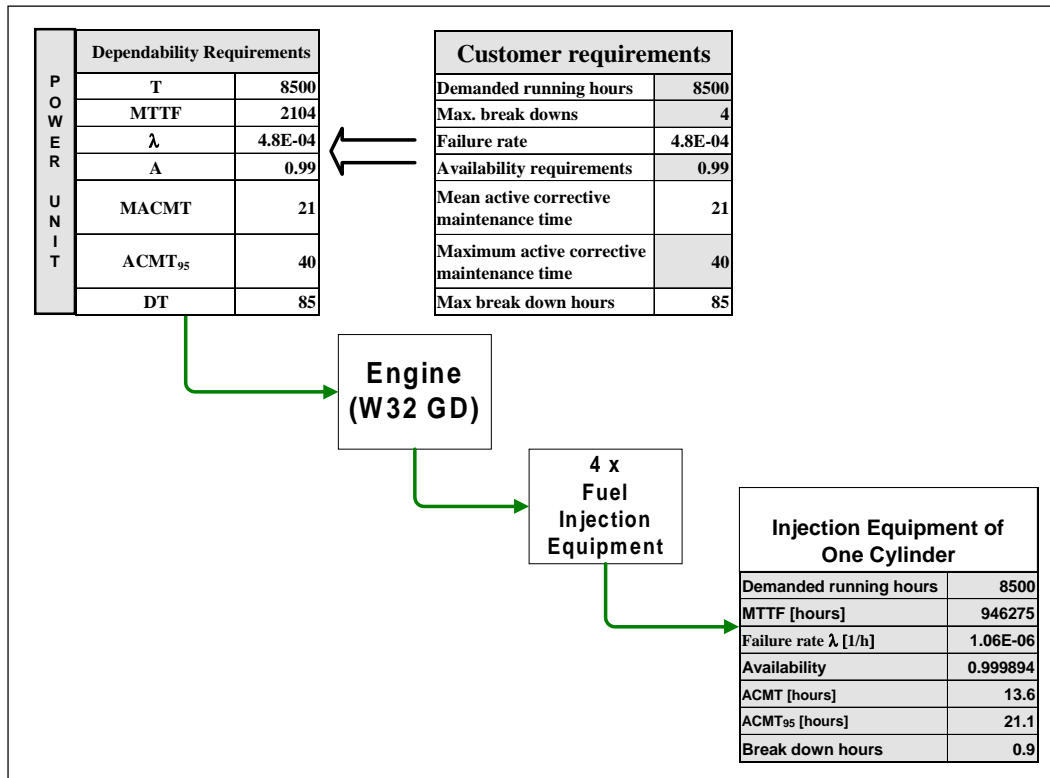


Fig. 4. Allocation of customer requirements to the function of interest.

3 BUILDING THE FAULT TREE

The building of the fault tree [2] is a deductive, i.e. ‘top-down’, process which starts with the selection of a ‘TOP-event’ and then continues with the investigation to find out the chains of events that lead to this undesired event. When the tree is completed the primary failure reasons are located at the bottom of the tree. In this case ‘Fuel Injection Equipment malfunction’ was selected as the top-event and the technical solution of the fuel injection equipment formed the basis in the construction of the fault tree. Part of the fault tree is illustrated in Figure 5.

The resolution of the fault tree is dependent on the available failure data as well as the expertise of the design and maintenance personnel. While most of the primary failure modes are identified by these experts, product specific failure data, that is based on experience, provides a useful help to establish these primary failure modes. In this case altogether 45 primary failure modes were found to exist, of which 16 were maintenance related. These 16 failure modes mainly consisted of such failure mechanisms as cavitation, corrosion, erosion, and heavy wear, which do not instantaneously lead to a failure, but advance within time until sufficient deterioration will lead to failure. A failure will occur, though, only if the condition monitoring and preventive maintenance actions fail to prevent this progress. This is signified by the ‘Inhibit’-gate in the fault tree.

Providing the special conditions imposed on these maintenance related failure modes, it was deemed that the occurrence of any of the 45 failure modes would lead to the top event and hence all the rest of the logical gates in the fault tree are ‘OR’-gates.

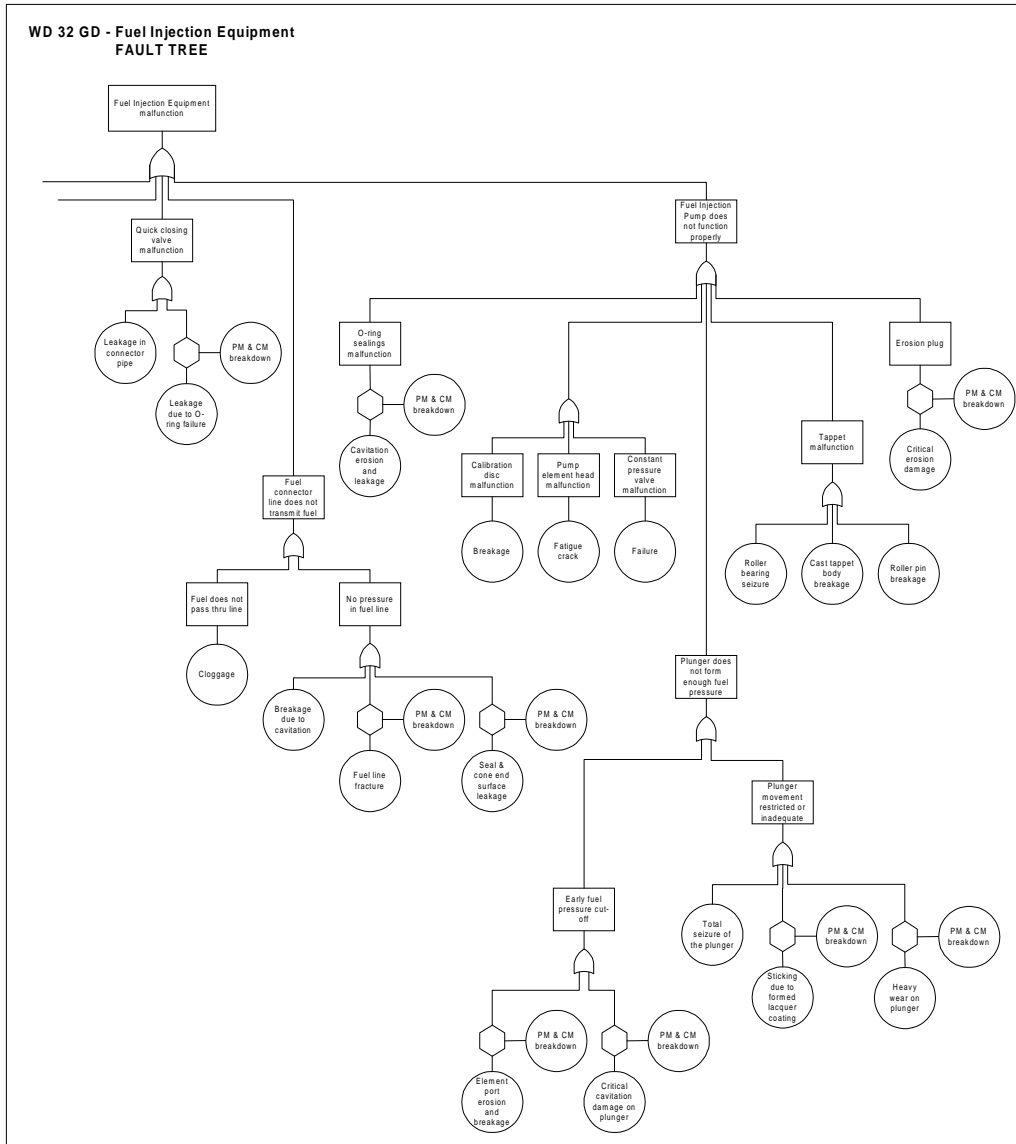


Fig. 5. Part of the W32 GD fuel injection equipment fault tree.

4 PROCESSING THE FAILURE DATA

In order to be able to simulate the system reliability, it was necessary to acquire failure data for the different failure modes recognized during the construction of the fault tree.

In general, and as was the case here, failure data and the sources used consist of:

- product specific data, i.e. failure data gathered from power plants
- generic data, i.e. failure data from data banks and literature
- expert judgement data, i.e. Wärtsilä NSD’s design engineers’ and maintenance personnels’ estimates about the failure behavior

The object was to find three estimates for each of the failure modes from each of the data sources. These estimates were:

- the ‘Best’ value which corresponds to the 5% limit
- the ‘Mean’ value which corresponds to the 50% limit
- the ‘Worst’ value which corresponds to the 95% limit

As often is the case, the sources for product specific data and generic data revealed partially incomplete data. On the other hand, the expert judgement data, though possibly somewhat biased, provided all the necessary failure estimates, as well as the estimates for the mean and maximum active corrective maintenance times, which were also needed for the simulation.

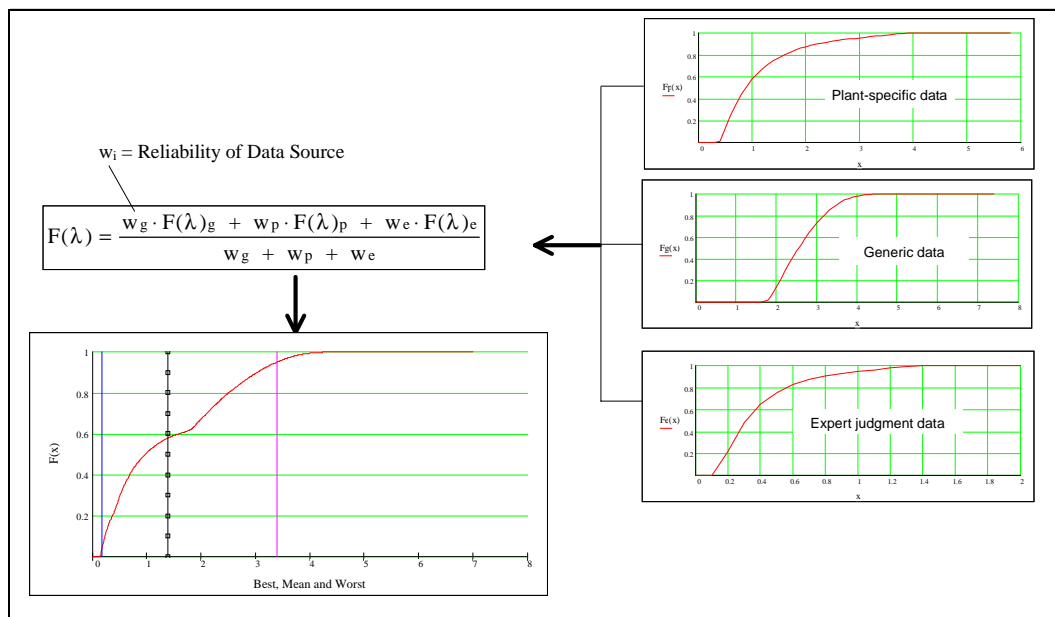


Fig. 6. Combining failure data with the BMW-adaptation.

The distribution of the raw data is generally unknown. Other methods try to forcefully adapt the data to some standard distribution, whereas with the method used in this case, it was processed into useful information with the BMW-adaptation [3], which will create an individual cumulative distribution function corresponding to the data set of the ‘Best’, ‘Mean’, and ‘Worst’ values from every source and for each of the failure modes. The applicability of the data from each

source was then evaluated, which gave a weighting co-efficient for that source, and the cumulative distribution functions were then combined, as is illustrated by Figure 6.

5 SIMULATING THE SYSTEM RELIABILITY

The simulation process consisted of four runs: the ‘Best’, ‘Mean’ and ‘Worst’ case scenarios as well as the sensitivity analysis, which will be covered in the following section. An individual simulation run consisted of defining the failure rates over time, i.e. the ‘bathtub-curves’, the actual simulation, and the perusal of the results.

With the exception of the failure modes affected by maintenance, whose failure rates were constant and unchanged throughout each of the runs, every basic failure mode had a unique bathtub-curve for each of the runs. After the failure data for the different failure modes had been modified with the BMW-adaptation method, the results were used as input data to create the bathtub-curves. In order to do this, one had to define the periodic mission time, the burn-in period length, the constant failure rate period length, and a point in time in the wear-out stage, where the failure rate had grown to approximately double that of the constant failure rate. The maintenance data obtained by the expert judgment questionnaire was inserted to facilitate the calculation of the maintenance times and availabilities.

The bathtub-curves for a certain failure mode were calculated in principle in the following way:

- the constant failure rate was defined as the corresponding value for that particular run, e.g. the mean failure rate value for the simulation run ‘Mean’
- the starting point of the ‘Mean’ -curve was the value of the worst failure rate.
- the starting point of the ‘Worst’ -curve was the difference between the constant failure rates of the ‘Worst’ and ‘Mean’ -curves added to the constant failure rate of the ‘Worst’ -curve
- the starting point of the ‘Best’ -curve was the difference between the constant failure rates of the ‘Best’ and ‘Mean’ -curves subtracted from the constant failure rate of the ‘Worst’ -curve
- the wear-out stages of these curves were user defined depending on the above mentioned point in time

Figure 7 illustrates the definition of the bathtub-curves for a single failure mode.

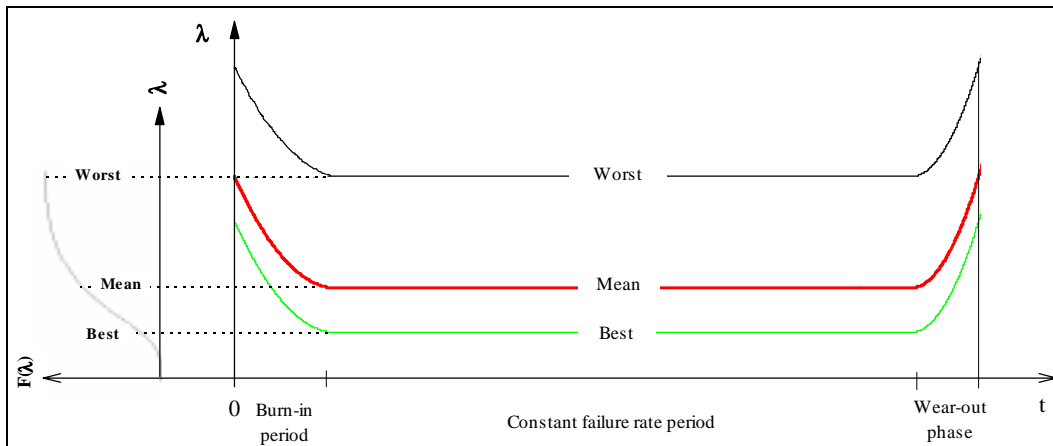


Fig. 7. The 'Best', 'Mean' and 'Worst' failure rates of a failure mode as a function of time.

The simulation [4] requires that a structure function of the fault tree is given in mathematical form. With the maintenance times, the structure function, and the failure rates as functions of time, it was then possible to simulate the system reliability over a period of time, and to establish the reliability parameters, e.g. the availability, the MTTF, and the MTTR.

After having performed the three basic simulation runs the next step was the comparison of the obtained results with the RAM-requirements as illustrated in Figure 8. In this comparison most of the attention was directed towards the conformity of the RAM-requirements and the results of the 'Mean' -case simulation, since it represented the presumable situation, and gave a general idea of the system's reliability performance, which formed the basis for the conclusions and future actions.

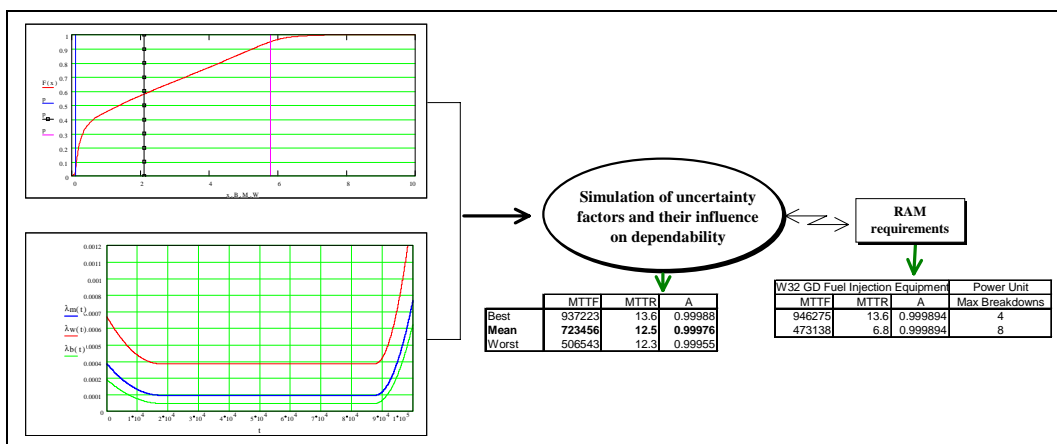


Fig. 8. System reliability simulation and comparison of simulation results with RAM-requirements.

6 SENSITIVITY ANALYSIS

The sensitivity analysis was performed to illustrate the improvement in the system reliability, that could be achieved with a concentrated engineering effort on some particular failure modes. These failure modes were selected on the basis of the 'Mean' -case simulation results. They included those modes that are responsible for either the largest portions of all the failures or those that have the largest deviations between the 'Best' and 'Worst' failure rates. Altogether five failure modes, that were responsible for 31.7% of all failures, were selected.

The failure rates of the selected modes were then changed to their 'Best' -values as if rework on the respective components had been done while the rest were kept untouched, and the sensitivity analysis simulation run was performed, in which the proportion of these failure modes dropped down to 16.1% of all failures.

The results of this run were then compared against the results of the 'Mean' run enabling the design engineer to decide if it was justifiable to expend the effort to eliminate these particular failure modes. These results are presented in Table 1, where it may be observed that notable improvement could be achieved in the MTTF with the modification of the system.

Table 1. Comparison of 'Mean' simulation run and sensitivity analysis results.

	Expected ('Mean')	Modified system	Improvement
MTTF	723456	876305	21.1%
MTTR	12.5	13.1	-4.8%
Availability	0.99976	0.99982	0.01%

7 CONCLUSIONS

This account presents the framework done in the process of analysing the reliability of the Wärtsilä 32 GD fuel injection equipment. It would not make sense though, to speculate on fictitious conclusions in this article, when the real conclusions of the analysis are hidden behind the curtain of confidentiality. Instead, four reasons are given why a system that is analysed, may not adhere to the reliability requirements:

1. the reliability model does not correspond to reality. The whole analysis is built upon a correct RAM-model and a correct fault tree, and they should represent the best knowledge that the design team possesses.
2. the reliability data for the failure modes is insufficient, inaccurate or unreliable. This may especially be the case, if the data is heavily based on expert opinions, which may be biased, or the experts are not familiar with the product.
3. the customer requirements are too demanding. This is the case, if our product is so good, that there is truly no room left for improvement.
4. the product or target system is simply not reliable enough and needs improvement.

This research project pointed out clearly that, using the RAM allocation model, it is possible to effectively determine the dependability of a product on the basis of the customer requirements and the product development team's technical know-how. This connection is important in order to avoid promising something that can not be achieved, or its achievement will come too expensive. With this reliability analysis method one can ensure, that the solutions selected in the design process meet the requirements set for the product's dependability.

REFERENCES

- [1] Virtanen, Seppo. Reliability in Product Design - Specification of Dependability Requirements. Otaniemi: Helsinki University of Technology, 1996. 81 pp. Laboratory of Machine Design Publication Nr. B 23. ISBN 951-22-3906-X.
- [2] Henley, Ernest & Kumamoto, Hiromitsu. Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists. 2nd ed. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 1996. 597 pp. ISBN 0-7803.
- [3] Virtanen, Seppo & Hagmark, Per-Erik. Reliability in Product Design - Assurance of Product Dependability. Otaniemi: Helsinki University of Technology, 1998. 37 pp. Internal Combustion Engine Laboratory Publication Nr. 71. ISBN 951-22-4163-3.
- [4] Virtanen, Seppo & Hagmark, Per-Erik. Reliability in Product Design - Seeking Out and Selecting Solutions. Otaniemi: Helsinki University of Technology, 1997. 61 pp. Laboratory of Machine Design Publication Nr. B 22. ISBN 951-22-4163-3.

KOMPONENTTIEN KRIITTISYYDEN MÄÄRITTÄMINEN

Risto Parikka, tutkija
Matti Säynätjoki, tutkija
VTT Valmistustekniikka
PL 1702, 02044 VTT

Tiivistelmä

Tämän tutkimuksen tavoitteena on luoda olemassaolevia luotettavuustekniikan analyysimenetelmiä hyväksikäyttäen metodiikka laitteen tai järjestelmän kriittisten komponenttien määrittämiselle. Tavallisimmat analyysimenetelmät esitellään lyhyesti, ja niistä valitaan sopivimmat lähempää tarkastelua varten. Kriittisyystason arviointiin esitellään erilaisia menetelmiä. Lopuksi esitetään laitteen tai järjestelmän laajuudesta riippumaton proseduuri komponenttien kriittisyyden määrittämiseen, jota voidaan käyttää osana laitejärjestelmän käyttövarmuuden määrittelyyn ja kehittämiseen tähtäviä toimenpiteitä.

1 JOHDANTO

Laitteiden ja järjestelmien komponenttien kriittisyyden arviointi on osa komponenttien käyttövarmuus- ja elinikä tarkasteluja. Järjestelmän tarkastelun lähtökohtana on sen historiaa kuvaavan vikadatan keräys ja analysointi, järjestelmän teoreettista ymmärtämistä kuvaavat mallit sekä sen tämänhetkistä tilannetta ja kuntoa kuvaava mitattu kunnonvalvontadata. Järjestelmän kriittiset osat ja komponentit identifioidaan soveltamalla olemassaolevia systemaattisia tai tilastollisia menetelmiä.

Luotettavuustekniikassa käytetään erilaisia kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia analyysimenetelmiä. Kvalitatiivisia luotettavuusanalyysimenetelmiä on lukuisia, esimerkeinä vika- ja vaikutusanalyysi (VVA) ja huollon vaikutusanalyysi (HVA). Kvantitatiivisia luotettavuustekniikan menetelmiä ovat luotettavuusmallit, joita ovat esim. lohkokaaaviot, syy- ja seurauskaaviot sekä vika- ja tapahtumapuut. Käyttövarmuusmallien avulla kuvataan tärkeiden vikaantumistapahtumien käyttäytyminen ja määritetään niiden esiintymistodennäköisyys. Analyysien tavoite riippuu paljolti siitä, missä tuotteen elinkaaren vaiheessa ne tehdään. Suunnittelun aikana analyysijä voidaan käyttää suunnittelun tukena mm. estämään mahdollisten virhei-

den synty, ja käytössä olevan järjestelmän analysoinnilla voidaan tukea tuotannon suunnittelua, kunnossapitoa ja muutostöitä koskevaa päätöksentekoa.

2 LUOTETTAVUUSTEKNIKAN ANALYYSIMENETELMIÄ

Laitteiden ja järjestelmien luotettavuuden ja turvallisuuden arvioinnilla on pitkät perinteet erityisesti ydinvoima- ja lentotekniikan alueilla. Luotettavuuden arviointiin on vuosien saatossa kehitetty paljon erilaisia menetelmiä. Taulukossa 1 esitetään esimerkkejä eri analyysimenetelmien soveltuvuudesta erilaisiin kohteisiin.

Taulukko 1. Esimerkkejä keskeisten analyysimenetelmien soveltuvuudesta erilaisiin kohteisiin ja erilaisten tavoitteiden saavuttamiseen [1].

Analyysimenetelmä	Mihin kohteisiin soveltuu	Mihin ei sovellu tai soveltuu huonosti
Potentiaalisten ongelmien analyysi (POA)	Koko laitos ja kaikki sen toiminnot	Laitoksen osajärjestelmien yksityiskohtien järjestelmällinen tutkiminen
Reaktiomatriisi (RM)	Erlaisia kemiallisia aineita sisältävät kohteet	Vaarakohtien ja onnettomuustekijöiden etsiminen
Poikkeamatarkastelu (HAZOP)	Kemialliset prosessit, materiaalivirtojen tarkastelu	Standardoidut järjestelmät
Toimintovirhe-analyysi (TVA)	Rajattujen ja selvän toimintasarjan muodostavien työtehtävien järjestelmällinen tutkiminen	Muuttuva työympäristö, jäsentymättömät työtehtävät
Vika- ja vaikutusanalyysi (VVA)	Rajatut tekniset järjestelmät, laajoihin kohteisiin vain karkealla tasolla	Koko laitoksen tutkiminen, vikakombinaatioiden tutkiminen
Organisaation turvallisuusanalyysi (MORT)	Koko laitoksen organisaatio tai sen osa, muuttuvat työympäristöt, sattuneen onnettomuuden perussyiden tutkiminen	Teknisten järjestelmien ja työtehtävien yksityiskohtainen tutkiminen
Vikapuuanalyysi (VA)	Vikojen syiden ja seurausten yksityiskohtainen tutkiminen, vaihtoehtoisratkaisujen kvantitatiivinen vertailu	Huipputapahtuman seurausten analysointi
Tapahtumapuu-analyysi (TPA)	Ajallisesti etenevien tapahtumaketjujen tutkiminen, vaihtoehtoisratkaisujen kvantitatiivinen vertailu	Vaarojen syiden tunnistaminen, monimutkaisten syy-seuraussuhteiden kuvaaminen
Syy-seuraus-kaavio (SSK)	Kriittisen alkutapahtuman seurausten tutkiminen, monimutkaisten syy-seuraussuhteiden tutkiminen	Järjestelmän ongelma-alueiden etsiminen

Laitteiden kriittisten komponenttien tunnistamiseen on mahdollista käyttää menetelmiä, jotka soveltuvat rajattujen teknisten järjestelmien analysointiin. Edettäessä järjestelmätasolta alaspäin voidaan toimintojen priorisoimiseen ja riskien tunnistamiseen käyttää erilaisia menetelmiä ja niiden yhdistelmiä. Usein edellytetään esimerkiksi vikapuuanalyysin, syy- ja seurauskaavion tai luotettavuuslohkokaavioiden käyttöä muiden menetelmien tukena.

3 KOHDE JA KÄYTETTÄVÄT MENETELMÄT

3.1 KOHTEEN JA MENETELMIEN VALINTA

Ennen kuin varsinaisia analyysimenetelmiä lähdetään soveltamaan, tarkastelukohteesta ja sitä muistuttavista järjestelmistä on kerättävä riittävästi taustatietoja. Valmistelut voidaan esimerkiksi jaotella seuraavasti:

- järjestelmän raja
- toiminnan kuvaus
- vikojen kuvaus
- ympäristön kuvaus.

Komponentti on laitteen pienin toiminnallinen kokonaisuus. Näin ollen laitteessa tai järjestelmässä olevien komponenttien kriittisyyden määrittäminen on aloitettava luetteloimalla komponentit. Kunkin komponenttityypin mahdolliset vioittumistavat kaikissa toimintatilanteissa kannattaa listata, jolloin saadaan muistilistan kaltainen luettelo.

Taulukon 1 mukaan luotettavuus- ja turvallisuusanalyseissä käytettävistä menetelmistä tulevat komponenttien kriittisyyden määrittämisessä kyseeseen lähinnä vika- ja vaikutusanalyysi (VVA) ja vikapuuanalyysi (VPA), jotka soveltuvat rajattujen järjestelmien yksityiskohtaiseen analysointiin. Seuraavassa esitellään lähemmin vika- ja vaikutusanalyysin ja vikapuumallin käyttöä.

3.2 VIKA- JA VAIKUTUSANALYYSIN (VVA) PÄÄPERIAATTEET

Seuraavassa esitellään standardin SFS 5438 mukaisia VVA:n pääperiaatteita. Monet VVA:n standardin mukaiset kohdat ovat lähes sellaisenaan sovellettavissa komponenttien kriittisyyden arvioinnissa.

VVA vaatii:

- järjestelmän jakamista osiin
- kaaviot järjestelmän toiminnallisesta rakenteesta

- vioittumistapojen määrittelyt
- kriittisyyden määrittelyn, jos kriittisyysanalyysi tehdään.

VVA:ta suoritettaessa on tärkeää määrätä, miten alhaisella osajärjestelmätasolla analyysi suoritetaan. Järjestelmä voidaan jakaa esimerkiksi osajärjestelmiin, pie-nimpiin korjattaviin osiin tai komponentteihin. Kun halutaan kvantitatiivisia tu-loksia, tarkastelutaso valitaan siten, että saadaan riittävästi tietoa kunkin vioittu-mistavan arviointia varten, tai siten, että vioittavuudelle voidaan arvioida järkevä oletusarvo.

Järjestelmän rakenteen ja toiminnan symbolisia esityksiä, kuten kaavioita, voidaan käyttää. Yleisimmin käytetään lohko-kaavioita, jotka tuovat esiin kaikki järjestel-män tärkeät toiminnot. Graafiset esitykset sekä analyttisiä menetelmiä muistutta-vat kuvaukset auttavat ymmärtämään paremmin järjestelmän rakennetta ja toimin-taa.

Jokaisen oletetun vioittumistavan mahdolliset syyt tulee tunnistaa ja kuvailla niin pitkälle kuin mahdollista. Kunkin oletetun vian vaikutukset järjestelmän osan toi-mintaan, tehtävään tai tilaan määritellään, arvioidaan ja merkitään muistiin. Myös vian havaitsemistapa kuvataan. Vika- ja vaikutusanalyysi voidaan laatia lomak-keille, jotka ovat riittäviä dokumentteja myöhempääkin tarkastelua varten. [2], [3]

3.3 VIKAPUUANALYYSI

Vikapuita käyttämällä lasketaan jonkin tapahtuman (nk. huippu- eli TOP-tapahtu-man) todennäköisyys sen aiheuttavien perustapahtumien todennäköisyyksien avul-la. Perustapahtumia ovat komponenttien vioittumiset ja muut vastaavat tapahtu-mat.

Vikapuumallin rakentamisen edellytyksenä on, että järjestelmän toiminnasta ja käyttäytymisestä eri olosuhteissa ollaan hyvin perillä. Kun järjestelmän toiminta on määritetty, selvitetään tärkeimmät järjestelmäviat tai vaaratilanteet (TOP-ta-pahtumat), joille kullekin laaditaan oma vikapuunsa. TOP-tapahtumaan johtavat ensisijaiset syyt selvitetään ja näille haetaan puolestaan osasyyt halutuille perusta-pahtumatasoille asti. Näin kartoitetut tapahtumat liitetään toisiinsa loogisten JA-sekä TAI-porttien ja vikapuusymbolien avulla. Kun järjestelmälle on laadittu vika-puu, analyysi voidaan suorittaa kvalitatiivisesti ja/tai kvantitatiivisesti.

Kvalitatiivisessa analyysissä redusoidaan vikapuun perustapahtumiin, jotka ovat riittäviä TOP-tapahtuman esiintymiselle. Jokainen tällainen perustapahtumakom

binaatio on nimeltään minimikatkosjoukko. Kuvassa 1 on yhden mittaisia katkosjoukkoja 4 kpl (A, B, C, D) ja kahden mittaisia 1 kpl (E*F), joista minkä tahansa esiintyminen johtaa TOP-tapahtumaan. Kvalitatiivinen vikapuu auttaa näkemään, mitkä “oksat” vaikuttavat eniten tietyn tapahtuman syntymiseen.

Kvantitatiivisessa analyysissä puun rakenne muutetaan todennäköisyysmuotoon ja TOP-tapahtuman todennäköisyys lasketaan perustapahtumien todennäköisyyksien avulla.

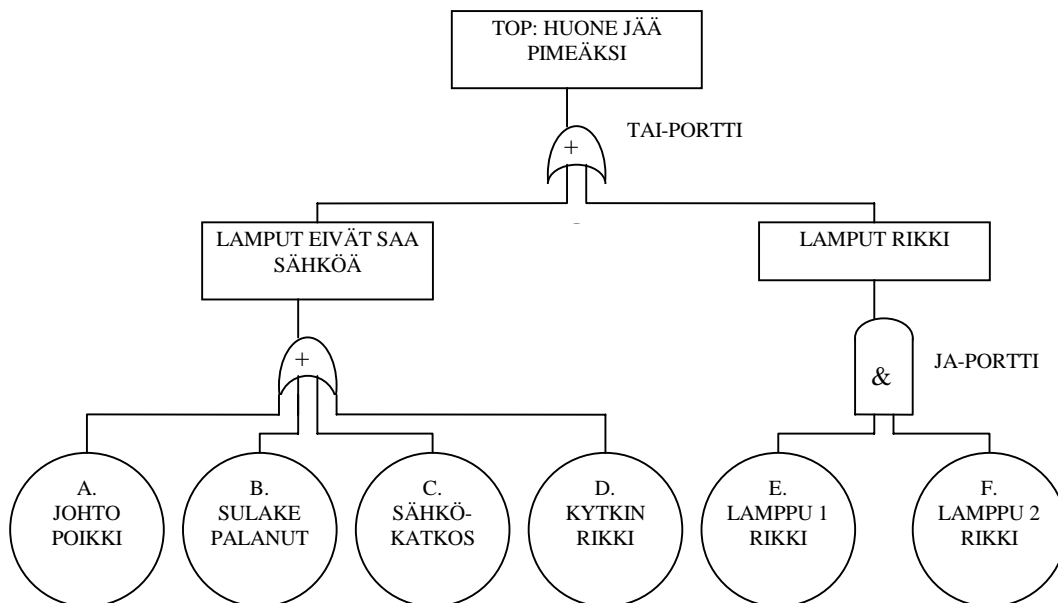
JA-portilla yhdistettyjen tapahtumien todennäköisyydet:

$$P(A_1, A_2, \dots, A_N) = P(A_1)P(A_2)\dots P(A_N)$$

Tai-portilla yhdistettyjen tapahtumien todennäköisyydet:

$$P(A_1+A_2+\dots+A_N) = \sum_{n=1}^N P(A_N)$$

Huipputapahtuman todennäköisyys lasketaan siirtymällä näitten kaavojen avulla tasolta toiselle kunnes päästään puun juurelle. Kun perustapahtumien lukumäärä kasvaa, todennäköisyydet kannattaa laskea koneellisesti.



Kuva 1. Huonetilan valaistuksen vikapuu. [4]

Vikapuun menetelmälle tyypillisenä ongelmana on se, että osa merkittävistä syytapahtumista voi jäädä huomiomatta. Puutteita voi esiintyä myös siksi, että tapahtumien välistä riippuvuutta tai toisensa poissulkevia tapahtumia ei ole otettu huomioon. Vikapuun käyttö voi myös johtaa päällekkäisyyksiin, jos halutaan tarkastella useita eri huipputapahtumia. [4], [5]

4 KRIITTISYYDEN ARVIOINTI

4.1 VAHINKOMAHDOLLISUUKSIEN TUNNISTAMINEN

Laitteen tai järjestelmän käyttövarmuutta voidaan arvioida turvallisuus- ja luotettavuusanalyysillä. Arviointi voidaan suorittaa jo tuotteen suunnittelun ja kehityksen yhteydessä, ja se voi olla luonteeltaan kvalitatiivinen eli laadullinen, jolloin keskitytään vaarojen ja niiden seurausten tunnistamiseen, tai kvantitatiivinen eli määrällinen, jolloin turvallisuudelle ja käyttövarmuudelle voidaan määrittää numeerisia tunnuslukuja.

Järjestelmien käyttövarmuusanalyysit aloitetaan vahinkomahdollisuuksien tunnistamisella, jossa apuna voidaan käyttää esimerkiksi potentiaalisten ongelmien analyysia (POA) ja erilaisia tarkistuslistoja. Menetelmillä saadaan yleiskuva järjestelmään liittyvistä riskeistä, ja vahinkomahdollisuudet saadaan nopeasti selville yleisellä tasolla. Vahinkojen yksityiskohtaisia syitä ei näillä menetelmillä saada selville, mutta ne antavat hyvän pohjan syiden etsimiseen soveltuvia yksityiskohtaisempia analyysimenetelmiä (VVA, VPA) varten. [4]

4.2 VIOITTUMISTAVAT

Vioittumistapa on kuvaus, joka ilmaisee miten vikaantuminen tapahtuu. Laitteen tai järjestelmän mahdolliset vioittumistavat on syytä luetteloida. Vioittumistapojen luokitteluun kaksi tavallisinta luokittelutapaa ovat [2]:

- yleisten vioittumistapaluokkien määrittäminen
- vioittumistapojen luetteloiminen niin täydellisesti kuin mahdollista.

4.3 KRIITTISYYSLUOKAT

Kriittisyysanalyysissä jokaisen tarkasteltavan vian vaikutus luokitellaan sen avulla kuinka kriittinen se on koko järjestelmän vaatimusten, tehtävän ja rajoitusten valossa. On olemassa yleisesti hyväksytyjä tasoja ja luokitteluja, jotka soveltuvat useimpiin laitteisiin. Nämä tasot perustuvat seuraavassa luettelossa esitettäviin seurauksiin, jotka luokitellaan kvalitatiivisesti vakavuuden perusteella [2]:

- a) käyttöhenkilökunnan tai väestön kuolemantapaukset tai vammat
- b) ulkokuolisen laitteiston tai ko. laitteiston vauriot
- c) taloudelliset menetykset toiminnon puuttumisen takia
- d) tehtävän suorittamisen keskeytyminen, joka johtuu laitteen kykenemättömydestä suorittaa päätoimintonsa.

Kriittisyystasojen valinta vaatii huolellisia ja harkittuja päätöksiä, koska ne vaikuttavat järjestelmää arvioitaessa sellaisiin tekijöihin kuten suorituskyky, hinta, aikataulut, turvallisuus ja riskit. Luokkien lukumäärä voidaan valita varsin mielivaltaisesti. Taulukossa 2 esitetään esimerkki kriittisyyden luokittelusta.

Taulukko 2. Esimerkki vian vaikutuksen luokittelusta kriittisyyden perusteella.

Kriittisyystaso	Kriittisyyden ehdot
1.	Ympäristökatastrofi
2.	Kuolema tai vammautuminen
3.	Ympäristön tai työympäristön vahingoittuminen
4.	Tuotantoprosessin pysähtyminen
5.	Tuotteen laadun heikkeneminen
6.	Tuotannon nopeuden putoaminen
7.	Energian tai raaka-aineen kulutuksen kasvaminen
8.	Tuotantolaitteen vanhenemisen kiihtyminen
9.	Ei vaikutusta

4.4 ESIMERKKI RISKIN ARVIOIMISEEN KÄYTETTÄVÄSTÄ PISTEYTYSMENETelmäSTÄ

Riskin arvioimiseen voidaan käyttää erilaisia pisteytysmenetelmiä. Seuraavassa esitetään esimerkki karkeasta arvioimismenetelmästä, jota on käytetty mm. potentiaalisten ongelmien analyysin yhteydessä. Arvioinnin tavoitteena on riskien asettaminen tärkeysjärjestykseen eikä niinkään riskien absoluuttisten suuruusarvojen määrittäminen.

Riskin suuruus arvioidaan sen toteutumisen todennäköisyyden sekä henkilö- materiaali- ja keskeytysvahinkojen seurausten perusteella. Riskin suhteellinen suuruus saadaan kaavasta [6]:

$$R = T * (H + M + K)$$

missä R riskin suhteellinen suuruus
T riskin toteutumisen todennäköisyys
H henkilövahinkojen suuruus
M materiaalivahinkojen suuruus
K keskeytysvahinkojen suuruus.

Eri tekijöille määritellään tapauskohtaisesti tarkoituksenmukainen pisteytys.

4.5 KRIITTISYYDEN ARVIOIMINEN

Kriittisyyden arvioimisessa voidaan käyttää apuna kriittisyysverkkoa (riskitasoesitystä). Siinä kriittisyystasot voidaan asettaa pystyakselille ja vian esiintymistodennäköisyys tai -taajuus vaakakselille. Kuvassa 2 esitetään esimerkki, jossa sekä kriittisyystasot että esiintymistodennäköisyydet tai -taajuudet on jaettu mielivaltaisesti neljään luokkaan. Kun vioittumistavat on luokiteltu ja niille on määrätty esiintymistodennäköisyys tai -taajuus, ne sijoitetaan verkossa niille kuuluvaan ruutuun. Mitä kauempana ruutu on origosta lävistäjän suuntaan, sitä suurempi on kriittisyys ja sitä kiireellisemmin tarvitaan korjaavia toimenpiteitä. Jokaista toimenpidettä varten tulee määrittää erityiset esiintymistodennäköisyyksien tai -taajuuksien alueet.

Kriittisyys- tasot				
IV				
III				
II				
I				
	hyvin pieni	pieni	keskimäär.	suuri
	Vian esiintymistodennäköisyys			

Kuva 2. Esimerkki kriittisyysverkosta [2].

5 KÄYTTÖKOKEMUSTIEDOT JA TEKNINEN DATA

5.1 KOKEMUSPERÄISEN KÄYTTÖDATAN KERÄÄMINEN

Käyttövarmuustekniset laskennat edellyttävät käyttökokemustietoa ja dataa tutkitavasta tai sitä vastaavasta kohteesta. Tehtaiden käytöstä, tehdaspalvelusta ja turvallisuudesta vastaava henkilökunta on usein sopiva tietolähde. Vika-, kunnossapito- ja testausraporteista saadaan tietoa, jos dokumentointi on asianmukaisesti hoidettu. Kyseiset tiedot ovat kuitenkin usein laitteiston systemaattisen analysoinnin kannalta puutteellisia. Yhtenä tietolähteenä voidaan mainita laitteiden ja järjestelmien huollon suorittavat yritykset, joiden varaosamyntitilastot voivat esimerkiksi antaa tietoa laitteiden ja komponenttien käyttövarmuudesta. Dokumen

toidun datan saaminen on usein vaikeaa, jolloin käyttökelpoisia lähteitä voivat olla kansalliset tai kansainväliset kyseistä alaa koskevat tietokannat. [7]

5.2 LUOTETTAVUUSTIETOJEN TILASTOLLINEN KÄSITTELY

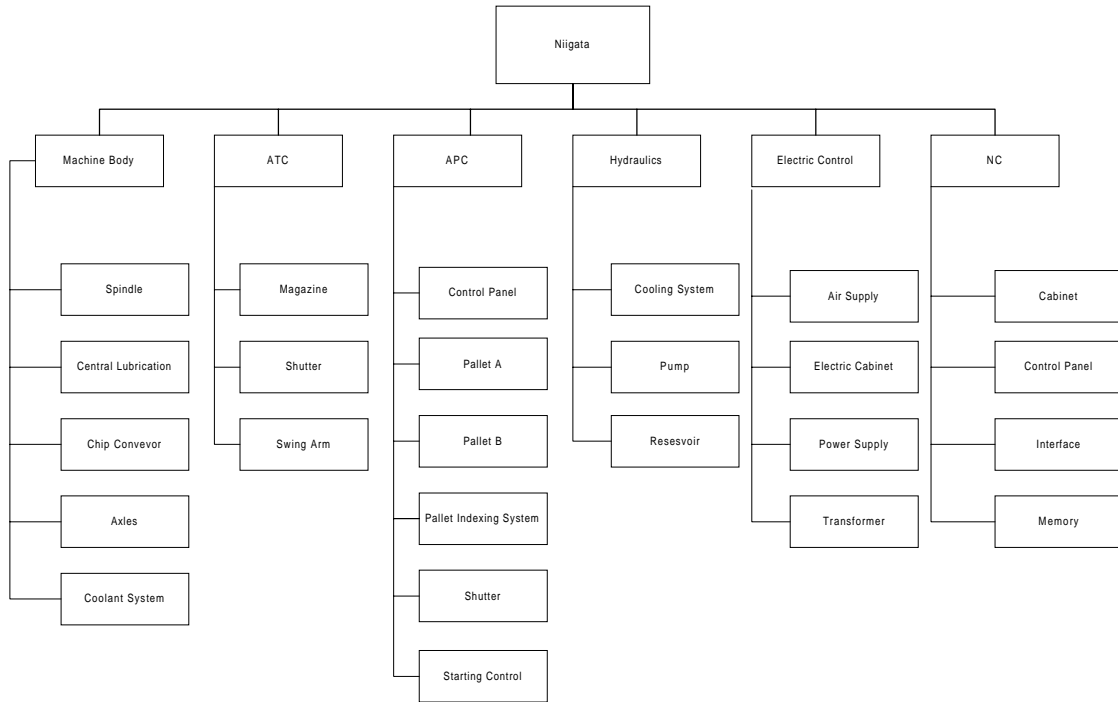
Kriittisyyden yksi määräytymisperuste on vian vaikutuksen ohella vikaantumisen tiheys tai todennäköisyys. Tietyissä toimintaympäristössä tietyn vioittumistavan todennäköisyysennusteet vaativat tilastollisesti merkittävän luotettavuustietoaineiston. Luotettavuustietojen tilastollista käsittelyä ja erilaisten käyttövarmuustunnuslukujen laskentaa on käsitelty mm. lähteissä [4] ja [5].

5.3 TAPAHTUMAKETJUN MALLINTAMINEN

Käyttökatkosten ja vioittumistiheyksien arvioimiseksi on usein tarpeellista mallintaa näihin johtavat tapahtumaketjut systemaattisessa muodossa. Malleja muodostettaessa valittavana on kaksi etenemistapaa: aloittamalla käsittely viasta ja etsimällä järjestelmällisesti sen syyt, tai lähtemällä alkutapahtumista, joiden seurauksena vioittuminen tai häiriö voi aiheutua. Tavallisimpia mallintamismenetelmiä ovat vika- ja tapahtumapuut sekä syy- ja seurauskaaviot. Sijoittamalla luotettavuustiedot tapahtumaketjuihin voidaan yksittäisten vikojen esiintymistodennäköisyyksiä arvioida. Varsinkin pienten järjestelmien kohdalla ketjumalleilla voidaan jo yksistään saada selville tavoiteltu informaatio, kuten alkutapahtuman kannalta kriittiset komponentit.

5.4 TEKNISEN DATAN KERÄÄMINEN

Kriittisyysarvioinnin suorittamisen edellytyksenä on luotettavan vikadatan ohella laitteen tai järjestelmän teknisen rakenteen tunteminen. Yleensä laite tai järjestelmä voidaan jakaa eritasoisii toiminnallisiin kokonaisuuksiin, jotka jakaantuvat edelleen pienempiin osiin. Laitteen tai järjestelmän komponenttirakenne on syytä selvittää vaiheittain pääkomponenteista alkaen niin alhaiselle tasolle saakka kuin se on tarkastelun kannalta tarkoituksenmukaista. Kuvassa 3 on esitetty esimerkki, jossa on selvitetty Niigata-koneistuskeskuksen pääkomponenttirakenne. Kerättävään tekniseen tietämykseen kuuluu myös tarkasteltavien komponenttien mahdollisten vikaantumismekanismien tunnistaminen.



Kuva 3. Niigata-koneistuskeskuksen jakaminen osajärjestelmiin.

6 KRIITTISTEN KOMPONENTTIEN VALINTA

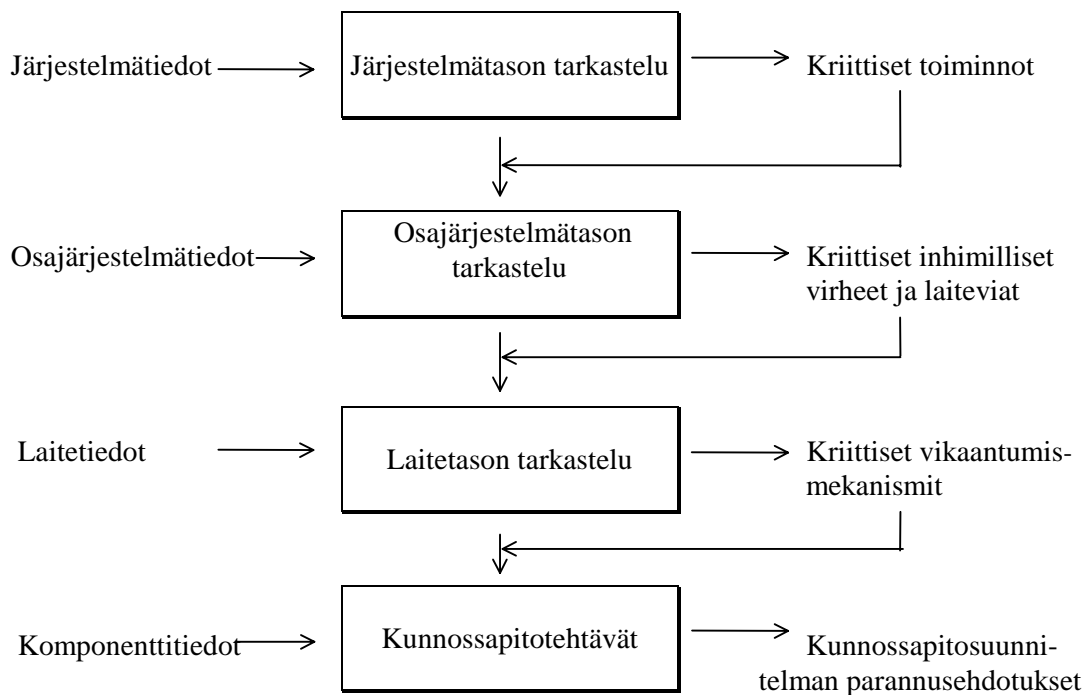
6.1 JÄRJESTELMÄN TAI LAITTEEN TILAT JA TOIMINNOT

Samoin kuin tekninen järjestelmä voidaan jakaa osajärjestelmiin, myös monimutkaiset toiminnot voidaan jakaa useampiin yksinkertaisempiin osatoimintoihin. Järjestelmällä tai laitteella voi olla erilaisia tiloja, kuten aktiivitila ja odotustila. Kussakin tilassa järjestelmällä on yleensä erilaisia tehtäviä, jotka se toteuttaa toimintojen kautta. Tarkastelua voidaan helpottaa huomattavasti, jos rakenteiden selvittämisen jälkeen tilat ja toiminnot voidaan priorisoida ja jättää tarkastelusta pois tavoitteiden kannalta vähiten kriittiset osat heti tarkastelun alussa.

6.2 VIKOJEN KOHDISTAMINEN YKSITTÄISILLE KOMPONENTEILLE

Toiminnon suorittaminen voi kuitenkin estyä. Kaikki toiminnon suorittamisen kannalta oleelliset vikamuodot tulee määrittää ja selvittää vikaantumiseen johtavat syyt. Jokaisella vian aiheuttajalla voi olla edelleen useita mahdollisia aiheuttajia. Nämä tulee selvittää siihen saakka, kunnes viat voidaan kohdistaa yksittäisille komponenteille.

Jo verraten yksinkertaisen laitejärjestelmän kaikkien “haarojen” käsittely johtaisi varsin mittavaan kaavion kokoon. Kun järjestelmän käyttövarmuuden ja kunnossapidon analyysi suoritetaan ylhäältä alaspäin, yleiset ylemmän tason toiminnot analysoidaan ja priorisoidaan aluksi jatkoanalyysia varten, minkä jälkeen toiminnon estymisen aiheuttaneiden vikamuotojen syyt voidaan esimerkiksi seurausten vakavuuden ja esiintymistaajuuden perusteella priorisoida, ja jättää jatkoanalyysistä pois vaikutuksiltaan vähäpätöisimmät ja harvinaisimmat vikamuodot. Viimeisessä vaiheessa päädytään komponenttien vikamuotojen ja -mekanismien analyysiin, jonka perusteella voidaan määrittellä kunnossapitoon ja turvallisuuden parantamiseen tähtäävät jatkotoimenpiteet.

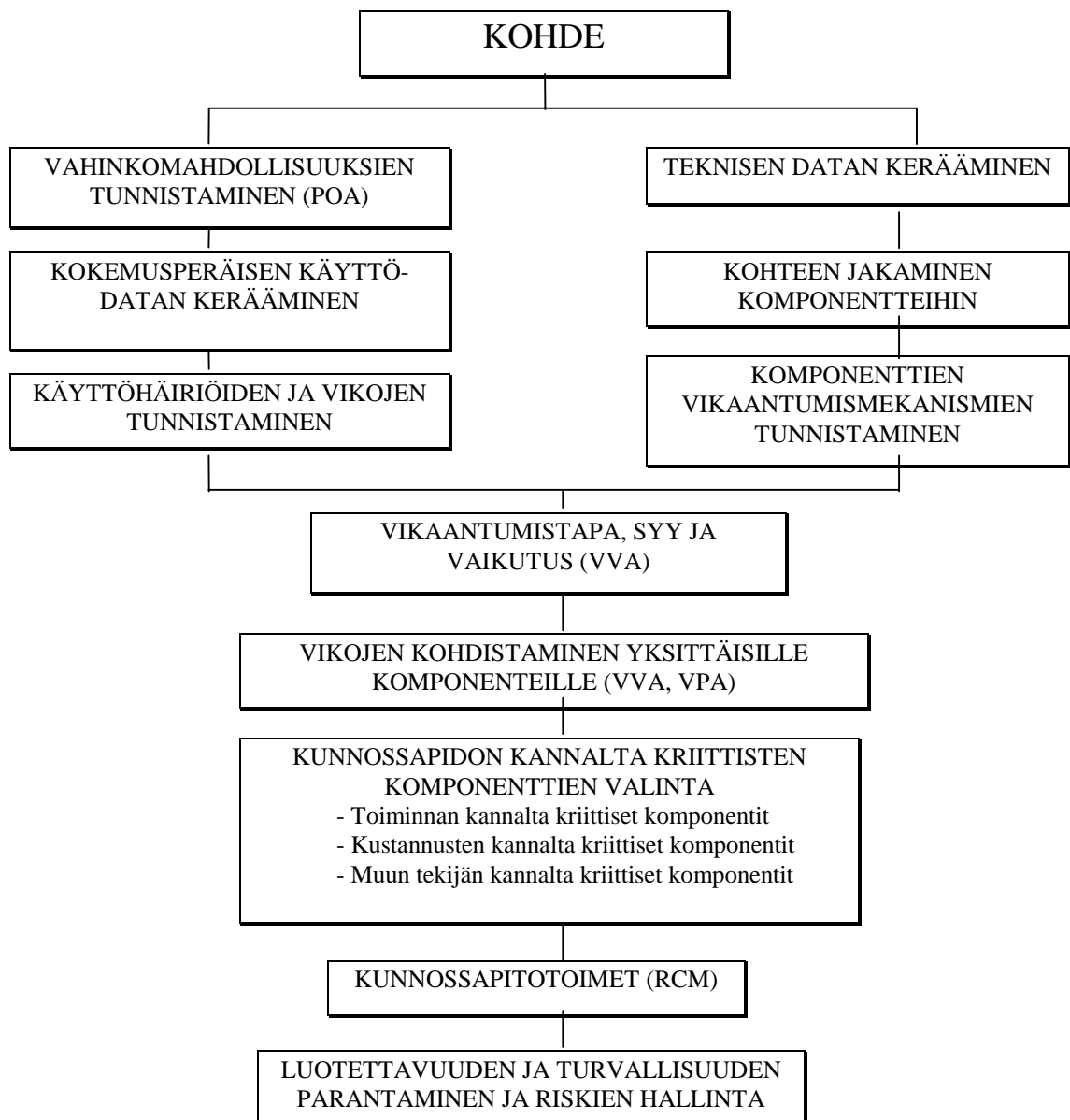


Kuva 4. Järjestelmän analyysivaiheet [8].

Analyysia voidaan tukea sen eri vaiheissa lomakkeilla, joihin vikamuodot, vikojen aiheuttajat, vaikutukset, suhteelliset osuudet jne. kirjataan. Standardin SFS 5438 mukaiset VVA-lomakkeet tarkoituksenmukaisesti muokattuina soveltuvat analyysin eri vaiheiden dokumentointiin. Kaavio vaihteittaisesta tarkastelusta on esitetty kuvassa 4.

6.3 YLEINEN PROSEDUURI KRIITTISTEN KOMPONENTTIEN MÄÄRITTÄMISEKSI

Edellä esitellyt menetelmät ja työvaiheet voidaan yhdistää kuvassa 5 esitettyyn kaaviomuotoon.



Kuva 5. Yleinen proseduuri komponenttien kriittisyyden määrittämiseksi.

7 YHTEENVETO

Laitteen tai järjestelmän kriittisten komponenttien määrittämisen ensimmäisenä edellytyksenä on tieto komponentin vaurioitumisen aiheuttaman vahingon vakavuudesta. Siitä syystä on tarpeellista määrittää tapauskohtaisesti arvoasteikko seurausten vakavuuden luokittelemiseksi. Toisena päätehtävänä on selvittää kunkin vikatyypin esiintymistiheys tai -todennäköisyys ja kyseisen vikatyypin suhteellinen osuus kaikista vikatyypeistä. Yhdistämällä seurausten vakavuus ja vikatiheys

tai -todennäköisyys voidaan kriittisyyttä arvioida. Arviointiin voidaan käyttää esimerkiksi riskitasoesitystä ja erilaisia pisteytysmenetelmiä.

Luotettavuustekniikassa käytetään lukuisia erilaisia kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia analyysimenetelmiä. Näistä useita voidaan käyttää apuna järjestelmän kriittisten komponenttien määrittämisessä. Vika- ja vaikutusanalyysin (VVA) periaatteet ovat monilta osin käyttökelpoisia kriittisyyсарviointissa. Varsinkin monimutkaisissa järjestelmissä, joissa on käsiteltävä suurta tietomäärää, on esimerkiksi komponenttien tärkeyden määrittämiseksi tarpeen käyttää vika- tai tapahtumapuuanalyysia tai luotettavuuslohkokaavioita analyysin tukena.

Varsinkin tarkasteltaessa melko laajoja järjestelmiä on hyvä tarkastella aluksi järjestelmän eri toimintatiloja ja toimintoja, jotka järjestelmän tulisi kussakin tilassa suorittaa. Näin voidaan jo tarkastelun alussa rajata pois laitteen tai järjestelmän vähiten kriittiset toiminnot, ja keskittyä tarkastelemaan vain kaikkein tärkeimpiä toimintatiloja. Näin voidaan edetä taso tasolta alaspäin niin kauan, kunnes vikaantumisen mahdollisesti aiheuttanut syy voidaan kohdistaa yksittäiselle laitteen komponentille, eli vian syy voidaan selittää jonkin komponentin vikaantumisella. Tarkastelun eri vaiheissa voidaan vaikutuksiltaan vähäpätöisimmät ja harvinaisimmat vikamuodot ja vian aiheuttajat jättää pois jatkotarkastelusta.

Laitteiden ja järjestelmien komponenttien kriittisyyden arviointi on osa komponenttien käyttövarmuus- ja elinikä tarkasteluja. Arvioinnin seurauksena on järjestelmä- tai komponenttitason toimenpiteitä, joilla parannetaan mm. turvallisuutta sekä järjestelmän suorituskykyä ja käyttövarmuutta.

LÄHDELUETTELO

1. Rouhiainen V. & Suokas J. Turvallisuusanalyysin laadun ohjaus. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1989. 70 s. + liitt. 28 s. (Tutkimuksia 643).
2. SFS 5438. Järjestelmän luotettavuuden analysointimenetelmät. Vika- ja vaikutusanalyysi (VVA). 1988. 12 s.
3. Himanen, R. & Salo, R. Vioittumis- ja vaikutusanalyysin käyttö kemian prosessilaitosten käyttövarmuus- ja turvallisuustutkimuksessa. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Sähkötekniikan laboratorio, 1980. 18 s. + liitt. 13 s. (Tiedonanto 54).

4. Lyytikäinen, A. Käyttövarmuuskäsikirja. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1987. 147 s. + liitt. 6 s. (Tiedotteita 678) .
5. Virtanen, S. & Hagmark, P.-E. Käyttövarmuus tuotesuunnittelussa - ratkaisujen etsiminen ja valinta. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, 1997. (Koneensuunnittelun laboratorion julkaisuja B21).
6. Reunanen, M. & Rouhiainen, V. Kotimaisten polttoaineiden turvallinen tuotanto ja käyttö. Osa 6. Turvelaitosten turvallisuusanalyysit. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1987. 46 s. + liitt. 7 s. (Tiedotteita 780).
7. Leinonen, H. & Säynätjoki, M. Komponenttien käyttöhistoriatiedot käyttövarmuustarkasteluissa. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. (Julkaistaan 1998).
8. Rosqvist, T. ym. Tuotantojärjestelmän käyttövarmuuden ja kunnossapidon karkea analyysi. Kunnossapito, Vol. 2, 1997, s. 36 - 39, 42.

KÄYTTÖVARMUUSTIETOJEN HANKKIMINEN JA HYÖDYNTÄMINEN

Jyrki Tervo, erikoistutkija
VTT Valmistustekniikka
PL 1702, 02044 VTT

Matti Säynätjoki, tutkija
VTT Valmistustekniikka
PL 1702, 02044 VTT

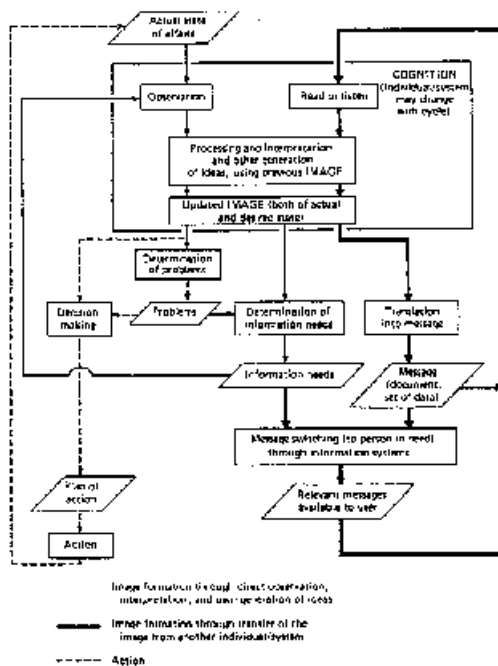
Tiivistelmä

Käyttövarmuustiedon keruu on erityisesti ennakoivan ja ennustavan kunnossapidon työkalu, mistä kuitenkin on hyötyä koko yrityksen ohjauksessa. Mittaustulosten ja havaintojen perusteella voidaan päätellä komponentin tai laitteen kunto ja huollon tarve. Luotettava ja jäljitettävissä oleva historiatieto auttaa ennustamaan kunnan heikkenemistä. Käyttövarmuustiedon kerääminen ja organisointi tulee järjestää hierarkisesti yrityksen organisaatorakenteen mukaisesti. Tiedon keräämiseen tulee voida osallistua koko organisaatio.

1 JOHDANTO

Minkä tahansa tuotannon taloudellisesti järkevä ylläpitäminen vaatii käytettäviltä laitteilta ja järjestelmiltä luotettavuutta. Kokonaisen järjestelmän toimivuus on korkeintaan yhtä hyvä kuin sen heikoimman komponentin. Järkevällä ja järjestelmällisellä kunnossapidolla voidaan rajalliset resurssit kohdistaa järjestelmän kannalta kriittisille komponenteille. Kriittisten komponenttien ja oikeiden menetelmien löytäminen vaatii käyttövarmuustietoa.

Käyttövarmuustiedon keräämisen merkitystä tuskin kukaan kyseenalaistaa. Ongelmalliseksi asian tekevätkin kerättävän tiedon määrä, laatu ja tiedon saatavilla olo. Tiedon määrä edellyttää tiedon luokittelua hyödylliseen ja hyödyttömään. Kaikki tieto ei ole hyödyllistä. Tähän vaikuttaa myös tiedon laatu - kuinka hyvin se kuvaa kohdettaan. Aika asettaa omat vaatimuksensa erityisesti ennakoivassa kunnossapidossa. Lopulta tieto on hyödyllistä vain jos sitä käytetään – jos on olemassa käytännöllinen toimintamalli tiedon käsittelylle ja talletukselle, sekä tiedon nojalla tehtävien päätösten tekemiselle ja toimintaan ryhtymiselle (kuva 1). Tarvitaan siis selkeät menetelmät, työkalut ja vastuuhenkilöt.



Kuva 1. Kaavio tiedon hyödyntämisprosessista (Soergel, 1985).

2 TIEDONKERUUN TAVOITTEET

Tiedonkeruun tavoitteet ovat pelkistetysti saada vastauksia kysymyksiin mitä, miksi, miten ja milloin. Yrityksen ylin johto tarvitsee tietoa mm. budjetoinnin ja tuloseennusteen tueksi esim. investointitarpeista ja kunnossapidon kustannuksista. Yksityiskohtaisempaa käyttövarmuustietoa tarvitaan mm. suunnittelussa, tuotannon ohjauksessa ja kunnossapidossa. Käyttövarmuustiedon avulla voidaan osoittaa parannustarpeita esim. nykyisille järjestelmille, vaatimuksia korvaaville tai uusille investoinneille ja kunnossapitomenetelmille. Käyttövarmuustiedon avulla voidaan tunnistaa erilaiset vikatyypit, vikaantumissyöt ja mekanismit, joilla vioittuminen tapahtuu. Kerättyjen tietojen avulla voidaan verrata ennustettua tai odotettua suorituskyyä todelliseen, ja informoida laite- tai komponenttitoimittajia heidän tuotteidensa suorituskyyvystä.

Käyttövarmuustieto on tuotannon jatkuvan kehittämisen perusraaka-ainetta, jota ilman ei kehitystyötä voida rationaalisesti tehdä.

3 TIEDON LUOKITTELU

Tieto voidaan jaotella sen sisällön perusteella. Perusinformaatio tai laitetieto, jota aina tarvitaan ja joka on yleensä helposti saatavilla, pitää sisällään järjestelmän, laitteen tai komponentin nimen, sijainnin, toimittajan, osa- ja sarjanumeron, valmistusvuoden, toimituspäivän, asentajan ja käyttöönottopäivän. Tärkeä osa perusinformaatiota ovat käyttöohjeet ja piirustukset, jotka tulee tallettaa huolellisesti.

Käyttöympäristö kuuluu myös laitetietoon. Käyttöympäristö vaikuttaa merkittävästi esiintyviin vauriotyyppeihin (Andersson ym, 1998), joten varsinkin normaalia aggressiivisemmat ympäristöt tulee määrittää huolellisesti. Tällaisia ympäristöjä esiintyy runsaasti varsinkin sellu-, paperi- ja kemianteollisuudessa.

Varsinainen vikatieto pitää sisällään laitteen tai järjestelmän vikaantumishistorian. Laitteiden ja komponenttien suorituskyky muuttuu ajan myötä. Aikariippuvia vikaistoriatietoja ovat mm. komponentin vaurioitumisaika, korjaukseen käytetty aika, käytössäoloaika ja seisokkiaika (Leinonen ja Säynätjoki, 1998). Erilaisten vikamuotojen luokitteluun voidaan käyttää mm. vikojen esiintymistapaa, kuten esimerkiksi: ohimenevä vika, pysyvä vika, nopea vikaantuminen ja vähittäinen vikaantuminen (Ristimäki, 1998).

Kunnossapidon tietoja tarvitaan resurssien suunnittelussa ja vikakustannusten arvioimisessa. Kunnossapidon tietoja ovat mm. kunnostustyön ajankohta, kunnossapitotehtävä ja kunnossapidon työtunnit (Ristimäki, 1998).

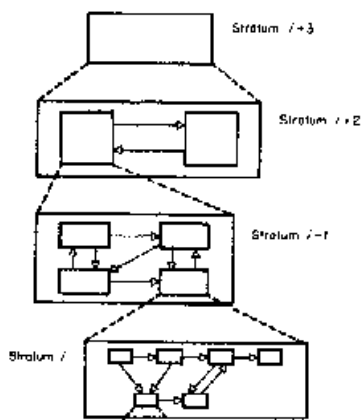
Vikakustannustiedot ovat tärkeitä tiedon keruun ja valvonnan kohdentamisessa. Suurimmat panokset tulee kohdistaa sinne, mistä saadaan suurimmat hyödyt. Vikakustannuksiin tulee sisällyttää tuotannon menetykset, kunnossapidon kustannukset ja yleensäkin kaikki oleelliset vian aiheuttamat kustannukset.

4 TIEDON HIERARKKISUUS

Tietoa kuvataan eri tasoilla. Jokaisella tasolla on joukko käsitteitä ja muuttujia, jotka kuvaavat järjestelmän toimivuutta. Termit saattavat olla spesifisiä kullekin nimenomaiselle tasolle. Kyseisten termien hyödyllinen käyttö ei välttämättä vaadi tuntemusta muiden tasojen käsitteistä, mutta auttaa hahmottamaan kokonaisuutta.

Esimerkiksi automaattisen tuotantolinjan kuvaamisessa tarvitaan vähintään kolme eri kuvaamisen tasoa. Päälimmäinen taso on taloudellisuus, jossa tarkastellaan linjan tuottavuutta ja tehokkuutta. Taloudellisten parametrien mukaan voidaan linjan tavoitteet suunnata oikein. Toinen taso on säätö- ja ohjausjärjestelmä, jolla linjaa ohjataan tavoitteiden mukaisesti. Kolmantena tasona on tuotteiden valmistus fyysisillä toimenpiteillä. Kaikilla tasoilla ollaan tekemisissä saman tuotantoprosessin kanssa, mutta jokaisen tason kuvaus on erilainen.

Järjestelmän tai organisaation jokainen osa palvelee kokonaisuutta ja sen tavoitteita. Siten koko organisaation suorituskyyky riippuu sen yksittäisten osien suorituskyvystä. Tavoitteiden yhdenmukaisuus saavutetaan ylhäältä lähtevältä tavoitteiden asetannalla ja ylemmän tason oikeudella puuttua alemman tason toimintaan. Lisäksi monimutkaisen järjestelmän kokonaisvaltainen ja yksityiskohtainen kuvaaminen niin, että yksi henkilö sen pystyisi ymmärtämään, on lähes aina mahdotonta. Kokonaisuuden hallinta on mahdollista tiedon hierarkisella jaottelulla (kuva 2).



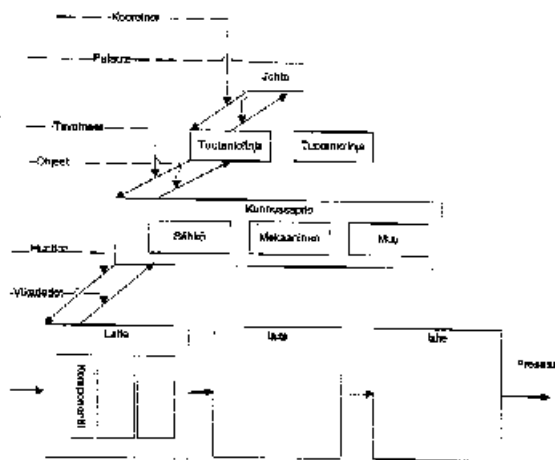
Kuva 2. Informaation laatu eri hierarkiatasoilla. Siirryttäessä alhaalta ylöspäin muuttuu tieto kapea-alaisesta ja syvällisestä yleiseksi ja laajaksi (Mesarvoc, 1970).

Useimmat yritykset ovat rakenteeltaan hierarkisia, mitä voidaan hyödyntää käyttövarmuustiedon keräämisessä. Tiedon kerääminen on mahdollista järjestää organisaation rakenteen mukaisesti, jolloin kerätty tieto automaattisesti palvelee sen tarvitsijaa. Sen vuoksi tiedon keräämiseen ja sen hyödyntämiseen tulee osallistua henkilöitä organisaation jokaiselta tasolta, mieluiten koko organisaatio.

Tiedon tarve on erilainen organisaation eri tasoilla (kuva 3). Ylimmän johdon tiedon tarve poikkeaa mm. kunnossapidon ja laitteita käyttävän henkilökunnan tiedon tarpeesta. Ylin johto tarvitsee osastojen tai tuotantolinjojen taloudellisia tunnuslukuja, jotka kuvaavat työn tuottavuutta ja kustannuksia.

Tuotanto pyrkii välttämään seisokkeja ja ennakoimaan huollon tarpeen. Huollon vaatimat tuotantokatkokset on kyettävä suunnittelemaan mahdollisimman edullisiksi. Laitteita käyttävä henkilökunta tarvitsee viimekädessä tietoa siitä kuinka laitetta käytetään ja kuka on yhteyshenkilö silloin, kun laite ei toimi toivotulla tavalla.

Kunnossapidon tarvitsema tieto on yksityiskohtaista ja syvällistä. Tiedon tarpeita ovat monitoroitavien kohteiden valinta, kunkin laitteen ja komponentin tarvitseman huollon rationaalinen taajuus ja laatu, varaosatarve, huoltoon kuluva aika ja huoltoon sitoutuvat resurssit, sekä yksityiskohtainen komponenttietieto.



Kuva 3. Käyttövarmuustiedon hyödyntäminen monitasoisessa organisaatiossa.

5 TIEDONKERUUSUUNNITELMAN LAATIMINEN

Käyttövarmuustiedon keräämisen tulee perustua käyttövarmuusanalyysiin, jossa määritellään tuotantojärjestelmän käyttövarmuuden kannalta kriittiset komponentit ja toiminnot. Analyysin perusteella laaditaan tiedonkeruusuunnitelma, jossa yksilöidään ne kriittiset kohteet, joista tietoa järjestelmällisesti kerätään. Lisäksi tiedonkeruusuunnitelmassa määritellään mm. tiedonkeruun budjetti, laajuus (rajaus), toteuttamistavat, vastuuhenkilöt, tiedon arkistointi ja arkiston sijainti. Luonnollinen suunnittelun etenemissuunta on yleisestä yksityiskohtaiseen ja ylhäältä alaspäin. Alemman tason tiedonkeruun tulee palvella kokonaisuutta.

Vastuuhenkilön valinta on tärkeä vaihe. Tiedonkeruusta päävastuullisen henkilön tulee olla sellainen, jolla on todellinen tarve kerätylle tiedolle ja riittävästi päätäntävaltaa toimenpiteisiin ryhtymiselle. Luonnollisia valintoja päävastuuhenkilöksi ovat esimerkiksi kunnossapitopäällikkö tai laatupäällikkö.

Tiedonkeruusuunnitelmassa on huomioitava että valittujen keruumenetelmien tulee olla riittävän helppoja käyttää ja kerätyn tiedon tulee olla luotettavaa. Tietoja ei kannata kerätä, ellei niiden perusteella kyetä tekemään johtopäätöksiä, tai tietoja ei voi käyttää tilastolliseen seurantaan. Tiedonkeruu tulee voida perustella taloudellisesti.

Tiedonkeruun suunnittelussa voidaan käyttää apuna erilaisia graafisia menetelmiä, jolloin työhön voi samanaikaisesti osallistua suuri joukko ihmisiä. Henkilöstön sitoutuminen äriestelmälliseen tiedonkeruuseen edellyttää osallistumista suunnitelman laatimiseen ja toteuttamiseen. Suunnittelukokouksiin tulisi osallistua ihmisiä kaikista tärkeimmistä henkilöstöryhmistä, eli asiantuntijoita, suunnittelijoita, kunnossapidon henkilöstöä ja laitteiden käyttäjiä.

Ryhmätyöhön sopivia ja nopeasti omaksuttavia ajattelua helpottavia työkaluja ovat esimerkiksi aivoriihi, seinätaulukniikka, prosessi- ja vuokaaviot, sekä vika-vaikutus diagrammit.

Aivoriihitekniikkaa voidaan käyttää ongelmien etsimiseen ja ratkaisuvaihtoehtojen luomiseen.

Vuokaavion avulla tunnistetaan ja eritellään reitit, joita pitkin tuote etenee. Erityisen tärkeitä tiedonkeruun kohteita ovat erilaiset vuokaavion solmukohdat, joissa useat eri tuoteprosessit ovat riippuvaisia samasta koneesta tai järjestelmästä. Vuokaavion laativat ne henkilöt, jotka todella tuntevat prosessin.

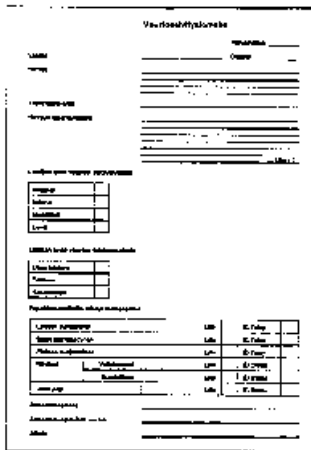
Vika-vaikutus kaavion avulla voidaan tutkia hyvinkin yksityiskohtaisesti suuri määrä ongelmiin vaikuttavia tekijöitä.

Tiedonkeruusuunnitelmassa tulee määritellä myös tiedon tallettavaksi hyväksymisen kriteerit. Tiedon on oltava luotettavaa ja jopa jäljitettävää. Jos jokin tieto osoittautuu käytännössä epäluotettavaksi, tulee samasta lähteestä aikaisemmin saatu tieto voida tarkastaa.

6 TIEDON KERÄÄMISEN JA TALLENNUKSEN TOTEUTTAMINEN

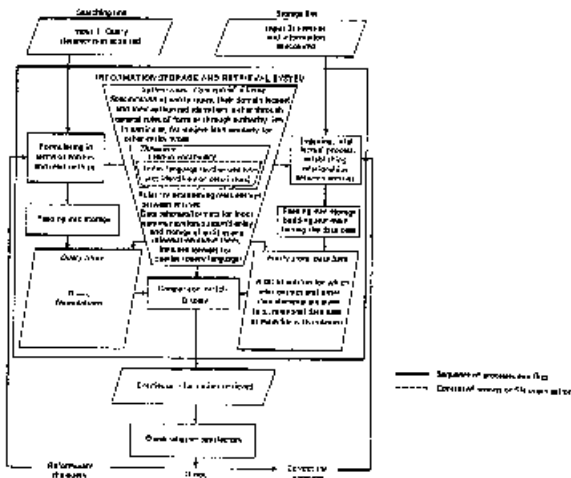
Tiedon kerääminen voidaan järjestää automaattiseksi tai manuaaliseksi. Automaation avulla saadaan runsaasti tietoa, ilman että ihmisten motivaatiopulmat tai muut inhimilliset tekijät pääsevät vaikuttamaan saatavaan tietoon tai niiden tallennukseen. Automaattisen tiedonkeruun hyviä puolia on myös se, että tietojen hyödynnettävyys on melko varmasti mietitty tarkasti jo tiedonkeruun toteuttamisvaiheessa. Jos prosessin ohjaus on automatisoitu, voidaan automaatiojärjestelmään usein liittää lisää mittauksia.

Kaikkea tietoa ei kuitenkaan voida kerätä automaattisesti. Tiedonkeruu lattiatasolla voidaan toteuttaa esimerkiksi vikaraporttilomakkeiden (kuva 4) avulla, jotka ovat helposti kaikkien yrityksessä toimivien saatavilla. Lomakkeiden tulee olla sellaisia, että eri henkilöt voivat tehdä niihin täydentäviä merkintöjä. Lomakkeella tulisi olla tiedot ainakin vioittuneesta laitteesta, vian havaitsemisajankohdasta, arvio viasta, onko tehty korjaustoimenpiteitä ja kenelle vastuuhenkilölle/asiantuntijalle tieto on toimitettu. Vastuuhenkilö huolehtii tarkemmista kirjauksista korjaustoimenpiteiden edistyessä ja tiedon määrän lisääntyessä, sekä järjestää tarvittavan seurannan vioittuneelle laitteelle.



Kuva 4. Esimerkki vikaraportista (Leivo ym., 1998).

Tiedon tallennuksen tulee perustua tiukasti suunniteltuihin kriteereihin, sillä ylimääräinen tieto ainoastaan kuormittaa. Tiedon tarkoituksenmukaisuus ja oikeellisuus on tärkeämpää kuin tiedon määrä. Tärkeintä on että tieto on helppo löytää, kun sitä tarvitaan. Tiedon luokitteluun ja avainsanojen valintaan tulee siis kiinnittää erityistä huomiota. Siitä syystä tiedon talletukseen olisi hyvä käyttää jotakin yleisesti hyväksyttyä järjestelmää tai tietokantaa (kuva 5).



Kuva 5. Tiedonkeruujärjestelmän kaaviollinen kuvaus (Soergel, 1985).

7 KERÄTTYJEN TIETOJEN HYÖDYNTÄMINEN

Tuotantoyksikköjen ja kunnossapidon tärkeimmät työkalut käyttövarmuustiedon analysoimisessa ovat laadun parantamisen tilastolliset menetelmät (Kume, 1989).

Tarkistuslistojen käyttö on suositeltavaa silloin, kun kerätään havaintoja jonkin tietyn ilmiön toistumisesta. Tarkistuslistan avulla saadaan tieto siitä kuinka usein tietty tapahtuma toistuu.

Paretokaavioita hyödyntäen voidaan ongelmat laittaa tärkeysjärjestykseen, jolloin korjaava työ voidaan kohdistaa oleellisimmille asioille. Paretokaaviota voidaan hyödyntää myös tiedonkeruusuunnitelman laatimisessa ja sen tarkentamisessa.

Syy-seuraus kaavion avulla voidaan tunnistaa ja esittää kaikki ongelman syyt. Havaittaessa usein toistuva ongelma, voidaan sen syyt jaotella käyttäen kyseistä tekniikkaa. Tällöin voidaan korjaavat toimenpiteet ja kehitystyö kohdistaa oikeisiin kohteisiin.

Valvontakaavioiden avulla tutkitaan ovatko muutokset prosessissa satunnaisia vai onko syynä jokin ulkoinen häiriö, kuten vikaantuminen.

8 YHTEENVETO

Tiedon keräämisen tulee olla suunnitelmallista ja palvella yrityksen toimintaa. Käyttövarmuustiedon kerääminen ja organisointi tulee järjestää hierarkisesti yrityksen organisaatorakenteen mukaisesti. Tiedon keräämiseen tulee voida osallistua koko organisaatio. Talletettavan tiedon tulee olla luotettavaa ja jäljitettävissä olevaa. Tallennusjärjestelmästä tulee voida etsiä tietoa useiden kriteereiden avulla.

LÄHDELUETTELO

Andersson, P., Varis, P., Volkov, T., Mahiout, A., Mäkinen, S., Säynätjoki, M., Auerkari, P., Rahka, K., Konekomponenttien materiaalien vaurioitumismekanismi. VTT Valmistustekniikka, Raportti VAL13-316, 1998.69s.

Kume, H., Laadun parantamisen tilastolliset menetelmät. Helsinki, Metalliteollisuuden Kustannus Oy, 1989. 229 s.

Leinonen, H., Säynätjoki, M., Komponenttien käyttöhistoriatiedot käyttövarmuus-tarkasteluissa. Tulee julkaistavaksi VTT Tiedotteita -sarjassa.

Leivo, M., Malinen, R., Strengell, K., Vihersalo, L, Voiteluvaurioiden käsittely ja luokittelu. Raportti, Kunnossapitoyhdistys ry, Voitelutekninen toimikunta. Tulee julkaistavaksi 1998.

Mesarovic, M., Macko, D., Takahara, Y., Theory of Hierarchical, Multilevel, Systems. New York, Academic Press, 1970.

Ristimäki, P., KÄKI-kesäseminaari, Innopoli, Espoo, 12.8.1998.

Soergel, D., Organizing Information – Principles of Data Base and. Retrieval. Systems. Orlando, Florida, Academic Press, 1985. 450 p.

KÄYTTÖVARMUUS KILPAILUTEKIJÄNÄ (KÄKI) TEKNOLOGIAHANKKEEN JULKAISULUETTELO

MO Koordinointi, **K. Holmberg**

Julkaistu:

1. **Käyttövarmuus kilpailutekijänä.** 1995. Tutkimus- ja tuotekehityshankkeen yleissuunnitelma:Helsinki, VTT Valmistustekniikka, joulukuu 1995. 18 s.
2. **Competitive Reliability.** 1996. The Finnish National Research and Product Development Program: Helsinki, VTT Manufacturing Technology, toukokuu 1996. 13 s.
3. **Toola, A., Rosqvist, T. ja Sarsama J.** 1996. Käyttövarmuus kilpailutekijänä. Voima ja Käyttö, 3/1996, s. 36.
4. **Holmberg, K., Rouhiainen, V. ja Kleimola, M.** 1996. Käyttövarmuudesta kilpailutekijät Suomen teollisuudelle. Ohutlevy MET, 2/1996, s. 25.
5. **Holmberg, K. ja Aho-Mantila I.** 1996. Käyttövarmuus kilpailutekijänä. AEL, Käyttövarmuuden kehittäminen, Vantaa 17. - 18.9.1996. s. 4.
6. **Häyrynen, J. ja Holmberg, K.** 1996.Suomen prosessiteollisuus -taustamateriaalia. Espoo, VTT Valmistustekniikka, 1996. s. 27.
7. **Toimintavarmuus tuo tilauksia ja turvallisuutta,** 1997, esite. Helsinki: TEKES, toukokuu 1997. 4 s.
8. **Operational reliability brings orders and safety,** 1997, esite. Helsinki, TEKES, toukokuu 1997. 4s.
9. **Holmberg, K.** 1997. Advanced Solutions for Operational Reliability Improvements. COMADEM'97 Conf., Helsinki, Finland 9. - 11.6.1997. VTT Symposium 171, Vol. 1, s. 11 - 28.
10. **Sohlberg, S.** 1997. Käyttövarmuudesta yritysten tärkeä kilpailutekijä. Kunnossapitolehti, no 6, s. 16 - 18.
11. **Holmberg, K.** 1997. Käyttövarmuus kilpailutekijänä. Tehdaspalvelu 97, Kunnossapitopäivä, kongressi, Lahti 22. - 24.10.1997. 5 s.
12. **Holmberg, K.** 1997. Käyttövarmuutta selvitetään laajassa teknologiaohjelmassa. VTT Kiila, marraskuu 1997. 3 s.
13. **Holmberg, K.** 1998. Improving operational reliability by monitoring and diagnostics. Int. conf. Energiadiagnostica and Condition Monitoring. Moscow, Russia, 12-16.10.1988, 7 s.
14. **Holmberg, K. & Säynätjoki, M.** 1998. Tribology in reliability design and operational control. COMADEM'98 Cof. Launceston, Australia, 8.11.12.1998, 7 s.

Tarjottu julkaistavaksi:

Käsikirjoitus:

Luottamuksellisten raporttien lukumäärä:

M1 Järjestelmätarkastelut, Jukka Salmikuukka

1. **Bergman E.** 1997. Korjattavien järjestelmien vikatietojen tilastollinen käsittely. VTT Symposium 175: Käyttövarmuus Kilpailutekijänä. Espoo.
2. **Bergman, E.** 1998. Vikatietojen tilastollinen käsittely -sensuroinnin vaikutus Weibull-mallien estimoinnissa. VTT Tutkimuksia. Espoo.
3. **Kortelainen H.** 1997. LCC - Tuotteen elinjaksokustannukset. VTT Symposium 175: Käyttövarmuus Kilpailutekijänä. Espoo.
4. **Kortelainen, H.** 1997. LCC - Life Cycle Cost Tuotteen elinjaksokustannus. Raportti VALB 231. Tampere.
5. **Rosqvist, T.** 1996. Dependability Analysis Software. VALB 190. Tampere.
6. **Rosqvist, T. ja Sarsama, J.** 1996. Käytettävyyden simulointi. Ohjelmat RAMCommander, AvSim ja SPAR. VALB 210. Tampere.
7. **Rosqvist, T.** 1996. Järjestelmien kunnossapidon suunnittelu. Kunnossapito 6/1996. ss. 38-42.
8. **Rosqvist, T.** 1997. Asiantuntija-arviot käyttövarmuustekniikassa. Raportti VALB 238. Tampere.
9. **Rosqvist T., Kortelainen, H. ja Bergman E.** 1997. Käyttökokemusdatasta informaatioon, VALB 286. Tampere.
10. **Rosqvist, T.** et al. 1997. Tuotantojärjestelmän käyttövarmuuden ja kunnossapidon karkea analyysi. Kunnossapito, Vol 2. 1997. ss. 36-39, 42.
11. **Rosqvist T. & Sarsama J.** 1997. Käyttövarmuuden simulointijärjestelmä. VTT Symposium 175: Käyttövarmuus Kilpailutekijänä. Espoo.
12. **Rouhiainen, V.** 1997. Hierarkkinen riskianalyyssimalli. Valtakunnallinen tapaturmatutkijoiden ja -asiantuntijoiden seminaari 1997. Työterveyslaitos. 4 s. Vantaa.
13. **Rouhiainen, V.** Käyttövarmuus: Häiriömahdollisuuksien tunnistaminen ja analysointi. Kunnossapidon työnsuunnittelun kehittämisseminaari. Pohto 21.-22.4.1997. 10s + liitteet 4s.
14. **Sarsama, J.** 1997. Luotettavuustekniikan termejä standardiin SFS IEC 50 (191) pohjautuen. VALB 222. Tampere.

15. **Sarsama, J.** 1998. Kattilalaitoksen riskianalyysi. BALTICA IV -Symposium, Energiatuotannon kunnossapitokokemukset. Helsinki-Tukholma 7.-8.9.1998
16. **Toola, A.** 1996. Käyttövarmuustekniikan hyödyntäminen suomalaisissa yrityksissä. VALB 194. Tampere.
17. **Toola, A., Rosqvist, T. ja Sarsama, J.** 1996. Käyttövarmuus kilpailutekijänä. Voima ja Käyttö -lehti 3/1996. s. 36.

Tarjottu julkaistavaksi:

18. **Konola J. & Salmikuukka J.** 1998. Käyttövarmuustakuut. Käyttövarmuus Kilpailutekijänä-ohjelma-seminaari 1998.

+ 1 lehtiartikkeli tulossa

Käsikirjoitus:

19. **Rosqvist, T.** 1996. A framework for option generation and decision making in complex organizations. (Manuscript to European Journal of Operations Research, Autumn 96)
20. **Rosqvist, T.** 1997. An epistemological assessment of dependability management information systems. (Manuscript to Reliability Engineering & System Safety, vedettiin pois, julkaistaan muualla)
21. **Rosqvist, T.** 1997. Life Cycle Profit and Utility of capital investment options. Alustavasti hyväksyttiin esitykseksi seuraavassa konferenssissa: 22ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS AND INDUSTRIAL ENGINEERING, ICC & IE DECEMBER 20-22, 1997, CAIRO EGYPT. Vedettiin pois konferenssista. Julkaistaan muualla.

Luottamuksellisten raporttien lukumäärä: 3 kpl (+ 1 tulossa)

M2 Käyttövarmuus tuotesuunnittelussa, S. Virtanen

Julkaistu:

1. **Virtanen S.** Käyttövarmuus tuotesuunnittelussa - suunnitteluvaatimusten määrittäminen. Teknillinen korkeakoulu, Koneensuunnittelun laboratorion julkaisuja B20. 82 s. 1996. ISBN 951-22-3267-7.
2. **Virtanen S., & Hagmark P-E.** Käyttövarmuus tuotesuunnittelussa - ratkaisujen etsiminen ja valinta. 1997, Teknillinen korkeakoulu, Koneen-suunnittelun laboratorion julkaisuja B21. ISBN 951-22-3596-X. 60 s.

3. **Virtanen S., Hagmark P-E.** Tuotteen käyttövarmuuden arviointi suunnittelukatselmuksessa. Teknillinen korkeakoulu, Polttomoottori-laboratorion julkaisuja. No. 71. 37 s. 1998. ISBN 951-22-4276-1.
4. **Virtanen S.,** Reliability in Product Design - Specification of Dependability Requirements. Helsinki University Of Technology, Laboratory of Machine Design, Publication No. B23. ISBN 951-22-3906-X. 81 pp.
5. **Virtanen S., & Hagmark P-E.** Reliability in Product Design - Seeking out and selecting solution. 1997, Helsinki University of Technology, Laboratory of Machine Design, Publication No. B22. ISBN 951-22-3901-9. 61 pp.
6. **Virtanen, Seppo & Hagmark, Per-Erik.** Reliability in Product Design - Assurance of Product Dependability. Otaniemi: Helsinki University of Technology, 1998. 37 pp. Internal Combustion Engine Laboratory Publication Nr. 71. ISBN 951-22-4163-3.
7. **Virtanen S.,** Reliability in Product Design - Specification of Dependability Requirements. Proceeding of the 11th International Conference on Engineering Design, ICED 97. Tampere, August 19-21, 1997. Vol 3. pp. 845 - 850.
8. **Virtanen S.,** Reliability in Product Design - Specification of Dependability Requirements. VTT Symposium 172, COMADEM '97. 10th International Congress and Exhibition on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management, Espoo 9-11 June, 1997. Vol 2. Pp. 355 - 364.
9. **Virtanen S.,** Reliability in Product Design - Specification of Dependability Requirements. 12th International ESReDA Seminar On: Decision Analysis and its application in Safety and Reliability. VTT, Otaniemi, Espoo May 15 - 16. 1997. 9 pp.
10. **Virtanen S.,** Reliability in Product Design - Specification of Dependability Requirements. International Symposium on Product Quality and Integrity - The Reliability and Maintainability Symposium (RAMS). January 19 - 22, 1998 Anaheim Marriott, CA 92802 USA.
11. **Virtanen S.** Käyttövarmuus tuotesuunnittelussa - suunnitteluvaatimusten määrittäminen. Lisensiaatintyö 1997, Teknillinen korkeakoulu, Espoo. 92 s.
12. **Alfred Schuller,** Power Plant Reliability Analysis a New Method, In association with Wärtsilä Diesel Oy, Vaasa. Diplomarbeit. 1997 Helsinki Institute of Technology. 110 pp.
13. **Väänänen Marko.** Käyttövarmuuden parantaminen paperikoneen kiinnirullaimessa. Diplomityö 1998, Teknillinen korkeakoulu, Koneensuunnittelun laboratorio. 104 s.
14. **Kiviluoma Markku.** Reliability Engineering in Diesel Generator's Development. Master's Thesis 1998. Teknillinen korkeakoulu, Polttomoottoritekniikan laboratorio. 87 s.
15. **Virtanen S. & Hagmark P-E.** Tuotesuunnitteluratkaisujen optimointi: VTT Symposium 175. Käyttövarmuus kilpailutekijänä. Espoo 18.11.1997. s. 77 - 91.
16. **Virtanen S.** Käyttövarmuus tuotesuunnittelussa. Artikkelit. Kunnossapito 3/98 **Virtanen, S. ja Hagmark, P-E.** 1997. Käyttövarmuus tuotesuunnittelussa - ratkaisujen etsiminen ja valinta. Espoo, Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu, konetekniikan osasto, koneensuunnittelun laboratorio. 60 s. + liitt. 4 (B 21).

17. **Virtanen, S.** 1996. Käyttövarmuus tuotesuunnittelussa - suunnitteluvaatimuksien määrittäminen. Espoo, Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu, konetekniikan osasto, koneensuunnittelun laboratorio. 92 s. + liite 1 (B 20).
18. **Virtanen, S.** 1997. Reliability in product design - specification of dependability requirements. COMADEM'97 Conf., Helsinki, Finland 9. - 11.6.1997. VTT Symposium 172, Vol. 2. s. 355 - 364.

Tarjottu julkaistavaksi:

Käsikirjoitus:

Luottamuksellisten raporttien lukumäärä:

M3 Komponenttitarkastelut, M. Säynätjoki

Julkaistu:

1. **Säynätjoki, M., Andersson, P. and Volkov, T.** 1997. Unstationary tribomechanisms: a survey on material deterioration mechanisms occurring alternatively simultaneously and in parallel. World Tribology Congress, London, GB, 8. - 12.9.1997. Poster.
2. **Säynätjoki, M., Andersson, P. and Volkov, T.** 1997. A survey on material deterioration mechanisms occurring alternatively simultaneously and in parallel. Machinery Failures and Safety Symposium, Helsinki, Finland, 3.9.1997. 10 s.
3. **Säynätjoki, M., Andersson, P.,** 1997. Comprehensive failure analysis. Teoksessa VTT Symposium 175: Käyttövarmuus kilpailutekijänä -ohjelmaseminaari 18.11.1997, toim. K. Holmberg, ss 93-105. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, Espoo 1997
4. **Leinonen H., Säynätjoki M.,** 1997. Komponenttien käyttöhistoriatiedot käyttövarmuustarkaste- luissa. Teoksessa Teoksessa VTT Symposium 175: Käyttövarmuus kilpailutekijänä -ohjelmasemi- naari 18.11.1997, toim. K. Holmberg, ss 107-117. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, Espoo 1997
5. **Andersson, P., Varis P., Volkov T., mahiout A., Mäkinen S., Säynätjoki M., Auerkari P., Rahka K.,** 1998. Konekomponenttien materiaalien vaurioitumismekanismit. Raportti VTT VAL B- 316, 69 s. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, Espoo 1998
6. **Mäkelä K., Säynätjoki M.,** 1998. Componen failure analysis - methods and means. Konferenssiesi- telmä OST-98 Symposiumissa, 1.-3.10.1998, kirjallinen versio julkaistaan Oulu yliopiston julkaisusarjassa.

Tarjottu julkaistavaksi:

7. **Parikka R., Säynätjoki M.**, 1998. Komponenttien kriittisyyden määrittäminen. Esitelmä Käyttövarmuus kilpailutekijänä ohjelmaseminaarissa 19.11.1998. Julkaistaan VTT Symposium-sarjassa.
8. **Tervo J. Säynätjoki M.**, 1998. Käyttövarmuustietojen hankkiminen ja hyödyntäminen. Tarjottu julkaistavaksi VTT Symposium-sarjassa.
9. **Holmberg K., Säynätjoki M.**, 1998. Tribology in reliability design and operational control. Koinferenssiesitelmä, joka esitetään Comadem '98-konferenssissa, 8.-11.12.1998 Australiassa. Kirjallinen versio julkaistaan tulevaisuudessa.
10. **Mäkelä K., Säynätjoki M.**, 1998/1999. Component operability evaluation. Hyväksytyt esitettäväksi IFToMM-konferenssissa Oulussa 20-24.6.1999.

Käsikirjoitus:

11. **Leinonen, H. ja Säynätjoki M.** 1997. Komponenttien käyttöhistoriatietojen kerääminen käyttövarmuustarkasteluja varten. VTT, B-sarja. 34 s.
12. **Parikka R., Säynätjoki M.**, 1998. Komponenttien kriittisyyden määrittäminen. VTT VAL B-sarja

Luottamuksellisten raporttien lukumäärä: 12 kpl

M4 MEMS anturiselvitys, J. Halme

Julkaistu:

1. **Halme, J.** 1997. Mikromekaaniset MEMS-anturit ja niiden käytettävyys kunnonvalvonnassa. Espoo: VTT Valmistustekniikka. 40 s. (VALB 255).

Tarjottu julkaistavaksi:

Käsikirjoitus:

Luottamuksellisten raporttien lukumäärä:

M5 Paperikoneen säätöjen suorituskykyanalyysi, R. Ritala

Julkaistu:

1. KÄKI-Seminaari 1997
2. KÄKI-Seminaari 1998
3. **Moisio M., Piipponen J.** Control loop performance evaluation, Control Systems '98: information tools to match the evolving operator role, Sept. 1.-3.1998. Porvoo, Finland, Ed. R Ritala, s. 251-258

Tarjottu julkaistavaksi:

Käsikirjoitus:

Luottamuksellisten raporttien lukumäärä: 2

E1 Höyrykattilat, A. Hotta

Julkaistu:

Tarjottu julkaistavaksi:

Käsikirjoitus:

Luottamuksellisten raporttien lukumäärä: 3 kpl

E2 Kaasuturbiinivoimalaitokset, P. Kangas ja J. Uronen

Julkaistu:

Tarjottu julkaistavaksi:

Käsikirjoitus:

Luottamuksellisten raporttien lukumäärä:

E3 Venttiilit, K. Laitinen

Julkaistu:

Tarjottu julkaistavaksi:

Käsikirjoitus:

Luottamuksellisten raporttien lukumäärä: 1 kpl

E4 Dieselvoimalat, A. Skåtar

Julkaistu:

Tarjottu julkaistavaksi:

Käsikirjoitus:

Luottamuksellisten raporttien lukumäärä: 2 kpl (tilanneraportti sekä menetelmäkuvaus).

P1 Tuotantolinjan käyttövarmuuden kokonaismalli, Helena Kortelainen ja Marjo Kuusio

Julkaistu:

Tarjottu julkaistavaksi:

Käsikirjoitus:

Luottamuksellisten raporttien lukumäärä:

P2 Tuotantojärjestelmän käyttökokemustiedon hallintajärjestelmä, Pekka Taskinen ja Jari Konola

Julkaistu:

Tarjottu julkaistavaksi:

Käsikirjoitus:

Luottamuksellisten raporttien lukumäärä: 1

P3 Venttiili ja säätöpiirin hallintajärjestelmä, Jari Riihilahti

Julkaistu:

Tarjottu julkaistavaksi:

Käsikirjoitus:

Luottamuksellisten raporttien lukumäärä: 1 kpl

P4 Prosessiolosuhteiden hallinta laitoksen käyntiinajovaiheessa, Erkki Pulkkinen

Julkaistu:

Tarjottu julkaistavaksi:

Käsikirjoitus:

Luottamuksellisten raporttien lukumäärä:

P5 Prosessijärjestelmän elinjaksotuotto, Esa Salovaara

Julkaistu:

1. **Taipale, V.** 1998. Osajärjestelmän vaikutus prosessijärjestelmän elinjaksotuottoon, LCP-laskentamalli, 54 s . VTT Tiedotteita-sarjan raportti
2. **Taipale V., Peltonen M., Rouhiainen V.** Kunnossapito 8/98. Elinjaksokustannusten ja -tuottojen tarkastelu investointipäätösten tukena. Tarkastelukohteena Safematic Oy:n voitelu- ja tiivistämisjärjestelmät. s. 40 - 42.

Tarjottu julkaistavaksi:

3. **Ville Taipale, Esa Salovaara** Voitelujärjestelmän elinjaksotuoton tarkastelu , 8 s. Esitelmä KÄKI syysseminaarissa 1998.
4. Esa Salovaara , Ville Taipale Safematic Oy mukana käyttövarmuustutkimuksessa. Artikkelinä Safematic Way Safematic Oy:n henkilöstö- ja asiakastiedotus julkaisu.

Käsikirjoitus:

5. Lyhennelmä englanniksi VTT Tiedotteita - sarjan raportista: Ville Taipale. Osajärjestelmän vaikutus prosessijärjestelmän elinjaksotuottoon. LIFE CYCLE COST - PROFIT ANALYSIS TO SUPPORT INVESTMENT DECISIONS IN PULP AND PAPER INDUSTRY, Ville Taipale, Esa Salovaara , 7 s.

Luottamuksellisten raporttien lukumäärä: 4

KÄYTTÖVARMUUS KILPAILUTEKIJÄNÄ - TEKNOLOGIAHANKKEEN ORGANISAATIO

