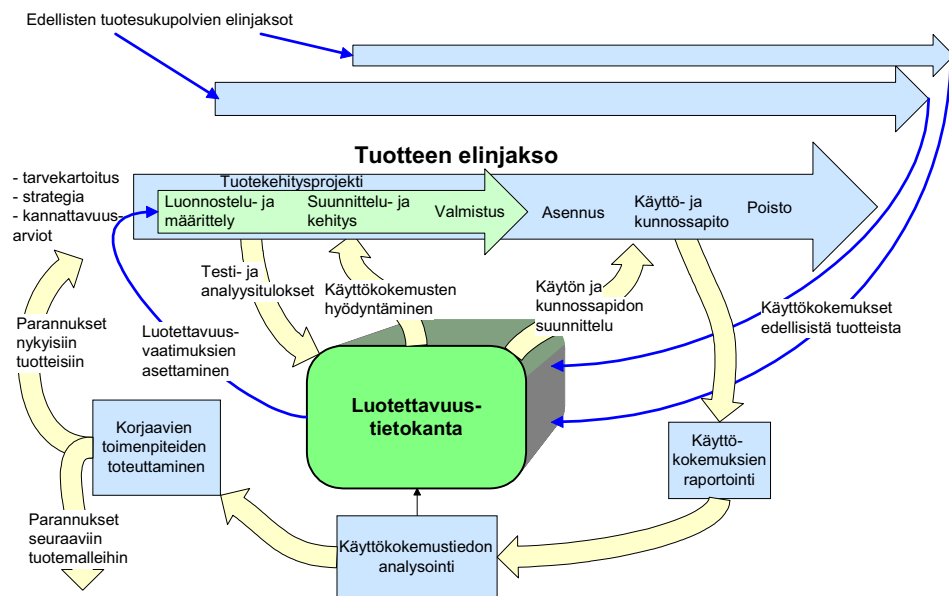


Tero Välisalo & Veikko Rouhiainen

Luotettavuusjohtaminen työkoneteollisuudessa



Luotettavuusjohtaminen työkoneteollisuudessa

Tero Välisalo & Veikko Rouhiainen

VTT Automaatio



ISBN 951-38-5761-1 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 2000

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

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

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 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 Automaatio, Riskienhallinta, Tekniikankatu 1, PL 1306, 33101 Tampere
puh. vaihde (03) 316 3210, faksi (03) 316 3499

VTT Automation, Riskhantering, Tekniikankatu 1, PB 1306, 33101 Tammerfors
tel. växel (03) 316 3210, fax (03) 316 3499

VTT Automation, Risk Management, Tekniikankatu 1, P.O.Box 1306, FIN-33101 Tampere, Finland
phone internat. + 358 3 316 3210, fax + 358 3 316 3499

Välisalo, Tero & Rouhiainen, Veikko. Luotettavuusjohtaminen työkoneteollisuudessa [Dependability management in mobile work machine industry]. Espoo 2000, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2061. 43 s. + liitt. 15 s.

Avainsanat dependability, reliability performance, maintainability performance, quality management, work machine sector, trouble-free functioning

Tiivistelmä

Työkoneissa luotettavuus merkitsee koneen häiriötöntä toimintaa halutulla toimintajaksolla. Käyttövarmuuden paraneminen tarkoittaa koneiden käytettävyyden paranemista, kunnossapidon suunnitelmallisuutta ja parempaa tuottavuutta. Käyttövarmuuden optimointi on tärkeä kilpailutekijä sekä koneen käyttäjälle että konevalmistajalle.

Käyttövarmuus muodostuu IEC-standardien mukaan kolmesta tekijästä: toimintavarmuudesta, kunnossapidettävyydestä ja kunnossapitovarmuudesta. Toimintavarmuus on se käyttövarmuuden osatekijä, joka yleisimmin mielletään luotettavuudeksi. Toimintavarmuudella tarkoitetaan koneen ominaisuutta toimia vikaantumatta mahdollisimman pitkään. Kunnossapidettävyyttä kuvaa koneen huollettavuusominaisuuksia eli käytännössä koneelle tehtävien huolto- ja korjaustöiden helppoutta. Kunnossapitovarmuus ei ole varsinaisesti tuoteominaisuus, vaan se on konetta ylläpitävän organisaation kyky saattaa järjestelmä vian jälkeen käyttökuntoon.

Uutta pontta luotettavuuden järjestelmälliselle kehittämiselle antaa suuntaus, jossa työkonvalmistaja yhä enemmän vastaa koneidensa toiminnasta varsinaisella käyttöpaikalla. Huoltosopimuksien avulla laitteen loppukäyttäjä keskittyy omalle erikoisosaamisalueelleen. Konevalmistajan kannalta tilanne on uusi, koska valmistajan tulee tämän jälkeen osata hinnoitella tuotteen ja sen ylläpidon muodostama kokonaisuus kannattavasti. Lisäksi valmistajan pitää pystyä osoittamaan, että huoltosopimuksen avulla saatu koneiden tuottavuuden kasvu riittää kattamaan asiakkaalle huoltosopimuksesta aiheutuvat kustannukset. Tässä tilanteessa konevalmistajan on tiedettävä tarkasti oman tuotteen käyttövarmuuden taso ja kunnossapitotoiminnan tehokkuus, jotta toiminta olisi pitkällä tähtäimellä kannattavaa.

Luotettavuusjohtaminen muistuttaa hyvin läheisesti laatujohtamista. Luotettavuusjohtamisen avulla tuotteen luotettavuusominaisuudet pyritään pitämään hallinnassa koko elinkaaren ajan. Luotettavuusjohtamisen avulla edellisistä tuotesukupolvista saadut käyttökokemukset hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasti uuden tuotteen suunnittelussa, ja samalla tuote suunnitellaan siten, ettei uusia luotettavuusongelmia pääse syntyämään. Luotettavuusjohtamisjärjestelmä ei ole eikä saa olla erillinen järjestelmä, vaan sen tulee integroitua valmistajan tapaan toimia omalla erikoisalallaan. Luotettavuusjohtamisjärjestelmän rakenteosien ja tehtävien tulee olla kuin mitä tahansa normaaleja tehtäviä tuotekehitys- tai tukitoimintojen kehitysprosessissa.

Välisalo, Tero & Rouhiainen, Veikko. Luotettavuusjohtaminen työkoneteollisuudessa [Dependability management in mobile work machine industry]. Espoo 2000, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2061. 43 p. + app. 15 p.

Keywords dependability, reliability performance, maintainability performance, quality management, work machine sector, trouble-free functioning

Abstract

In the work machine sector reliability stands for trouble-free functioning of a machine. Dependability is an important factor of competitiveness both to the operators and to the work machine manufacturers.

According to the IEC-standards dependability consists of three factors: reliability performance, maintainability performance and maintainability support performance. Reliability performance describes the ability of a machine to perform a required function for a period of time without failures and without maintenance. Maintainability performance describes how easy a machine is to maintain. Maintainability support performance is not a product feature; it describes the ability of support organisation to keep the machine running.

Dependability management system is designed to manage all the factors of dependability during the life cycle of a product. It is closely related to Quality Management. With the help of dependability management system it is possible to effectively utilise experiences achieved from previous machine models and simultaneously design a new product to be dependable.

Recently the machine manufacturers have expanded their traditional business to maintenance and service. In some cases the manufacturer is responsible for both the machine performance and the maintenance support system. At the same time a customer can require that the machine operates on a certain availability performance level. If an agreement is made over this topic the agreement is called as availability guarantee contract. Due to this development of the business opportunities the manufacturers must know the performance of their machines more precisely than before to avoid unprofitable commitments. In addition the manufacturer have to be able to demonstrate that the service contract is cost-effective to the customer.

Dependability management system should not be a separate system. It should be a part of the usual way the manufacturer operates on its special field of know-how.

Alkusanat

Tämä raportti on VTT Automaation ”Liikkuvien työkoneiden käyttövarmuuden hallinta” -tutkimusprojektin loppuraportti. Tutkimus tehtiin osana projektikonsortiota, jossa yritysosapuolina olivat Nordberg-Lokomo Oy, Sandvik Tamrock Oy ja Timberjack Oy:n tytäryhtiö Plustech Oy. Tämä tutkimus ja kunkin yrityksen oma tuotekehitysprojekti muodostivat tiiviin kokonaisuuden, jossa ylimpänä tavoitteena oli raskaiden liikkuvien työkoneiden käyttövarmuuden parantaminen.

Projektikonsortio työskenteli tiiviissä yhteistyössä vuoden 1998 alkupuolelta vuoden 2000 puoliväliin saakka. Haluamme kiittää kaikkia projektikonsortion edustajia avoimesta ja innostuneesta ilmapiiristä, joka mahdollisti konsortion piirissä syntyneen tutkimustiedon vapaan hyödyntämisen projektiosapuolien välillä. Erityiskiitos kuuluu yritysprojektien projektipäälliköille: Jorma Eschnerille (Plustech Oy), Juhamatti Heikkilälle (Nordberg-Lokomo Oy) ja Pekka Kämäräiselle (Sandvik Tamrock Oy).

Tekijät haluavat kiittää myös projektikonsortion johtoryhmää tutkimuksen ohjauksesta ja neuvoista sekä tutkijakollegoja tutkimuksen aikana syntyneiden julkaisujen kommentoinneista ja ajatuksia herättäneistä keskusteluista.

Tekijät

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Alkusanat	5
Sisällysluettelo	6
1 Johdanto	8
2 Luotettavuusjohtaminen	10
2.1 Tuotteesta riippumattomat luotettavuusjohtamisjärjestelmän tehtävät.....	11
2.2 Tuotteesta riippuvat projektikohtaiset luotettavuusjohtamisjärjestelmän tehtävät.....	12
2.3 Luotettavuusjohtamisen avulla saavutettavat hyödyt.....	13
3 Luotettavuusjohtamisjärjestelmän rakenneosien ja tehtävien soveltuvuus työkoneteollisuuteen.....	14
3.1 Tuotteesta riippumatta toteutettavat luotettavuusjohtamisjärjestelmän tehtävät.....	15
3.2 Tuotteesta riippuvat luotettavuusjohtamisjärjestelmän tehtävät.....	15
4 Luotettavuusjohtamisen implementointi yrityksen toimintoihin.....	17
4.1 Johdon sitoutuminen luotettavuusjohtamiseen	18
4.2 Koneiden nykyisen luotettavuustason selvittäminen	19
4.2.1 Käyttövarmuutta kuvaavat tunnusluvut	19
4.2.2 Olemassa olevat tietolähteet.....	21
4.3 Luotettavuusjohtaminen tuotesuunnittelussa.....	21
4.3.1 Vika-, vaikutus ja kriittisyysanalyysi	23
4.3.2 Potentiaalisten ongelmien analyysi	24
4.3.3 Kunnossapidettävyyssindeksien laskenta	26
5 Käyttökokemustiedon hankinta ja hyödyntäminen pitkällä tähtäimellä.....	28
5.1 FRACAS.....	28
5.2 Tiedonkeruu paperilomakkeilla	29
5.3 Käyttökokemustiedon keräämisen tulevaisuus	31
5.4 Data-analyysit	32

6	Luotettavuusjohtaminen alihankintayrityksissä	34
7	Testaukset osana luotettavuusjohtamisjärjestelmää	35
7.1	Työkoneiden kunnonvalvonta.....	35
7.2	Ostokomponenttien testaus	37
8	Käytettävyystakuut	39
8.1	Tarvittavat tiedot.....	39
8.2	Käytettävyystason ja hinnan määrittäminen	41
9	Yhteenveto	42
	Lähdeluettelo.....	43

LIITTEET

Liite A. Luotettavuusjohtamiseen liittyvät IEC 60300 -sarjan standardit tällä hetkellä

Liite B. Projektikohtaiset luotettavuusjohtamisjärjestelmän rakenneosat ja tehtävät
(IEC 60300-2)

Liite C. Luotettavuusjohtamisjärjestelmän rakenneosat ja tehtävät työkoneteollisuudessa

1 Johdanto

Luotettavuus on perinteisesti ollut hyvin tärkeä tuoteominaisuus liikkuvissa työkoneissa. Liikkuvat työkoneet ovat tavallisesti suuria, hankintahinnaltaan korkeita ja teknisesti monimutkaisia laitteita. Esimerkiksi kaivoksessa työkoneen vika tai toimintahäiriö saattaa aiheuttaa muiden työvaiheiden viivästymistä, ja näin välillisesti aiheutuvat kustannukset ovat varsinaisia koneen korjauskustannuksia huomattavasti suuremmat. Lisäksi liikkuvia työkoneita markkinoidaan maailmanlaajuisesti, jolloin koneyksilöiden toimintaympäristön olosuhteet vaihtelevat hyvinkin suuresti.

Työkoneisiin on viime aikoina yhä enemmän lisätty työntekoa helpottavaa ja tarkentavaa sekä tuottavuutta parantavaa automatiikkaa. Automaattisten toimintojen toteuttaminen vaatii monimutkaisia elektronisia järjestelmiä, joiden vikaantuminen voi aiheuttaa uudenlaisia käyttövarmuusongelmia. Automaatioviat ovat usein luonteeltaan sellaisia, ettei niitä pystytä korjaamaan kenttäolosuhteissa saatavissa olevilla työkaluresursseilla ja ammattitaidolla. Toisaalta täysin automaattisissa tai kauko-ohjatuissa työkoneissa pienetkin häiriöt saattavat aiheuttaa entistä pidempiä keskeytyksiä, koska käyttäjä ei enää ole fyysisesti koneen lähellä palauttamassa konetta toimintatilaan.

Joissakin tapauksissa koneiden suorituskyvyn lisääminen tehoa nostamalla ei enää onnistu ilman huomattavaa kustannusten nousua. Esimerkiksi käytettävien materiaalien ominaisuudet alkavat joissain tapauksissa rajoittaa tuotantomäärien kasvumahdollisuutta tehon nousun kautta. Tällöin koneiden tuottavuuden kasvua on haettava luotettavuuden paranemisen kautta.

Konevalmistajalle tuotteen luotettavuus on hyvin tärkeä imagotekijä. Nykyisin työkoneita hankkivat asiakkaat perustavat valintansa usein koneen tuottavuuteen ja elinjakso-kustannusten edullisuuteen. Koneen hankintahinta ei siis ole suurin tekijä hankintapäätöstä tehtäessä. Työkonevalmistajat ovat tästä syystä laajentamassa tuotetarjontaansa palvelutuotteiden suuntaan. Koneiden mukana on joissain tapauksissa mahdollista ostaa myös ylläpitohuolto. Näin koneen käyttäjä pystyy keskittymään omaan ydinosaamiseen eli tuotantoon jättäessään huoltotoiminnan tuotteen valmistajan vastuulle.

Huoltosopimuksien vuoksi koneen käyttökustannusten tulee olla tarkasti tiedossa. Työkonevalmistajan pitää tietää koneen hetkellisen teknisen suorituskyvyn lisäksi koneen pitkän aikavälin tuottavuus ja tuotannosta aiheutuvat kustannukset. Elleivät koneiden käyttökustannukset ole tarkasti arvioitavissa, joudutaan ottamaan suuria riskejä huoltosopimuksia solmittaessa. Väärä arvio voi kostautua paitsi kannattamattomana huoltosopimuksena myös sopimussanktioina; huoltosopimuksissa voidaan joutua takaamaan koneelle tietty käytettävyytaso tietyllä aikavälillä.

Edellä mainittujen asioiden: imagon, tuottavuusvaatimusten, huoltosopimusten yleistymisen ja käytettävyyshäviöiden takia konevalmistajien organisaatioissa on oltava toimiva luotettavuuden hallintajärjestelmä. Eräs luotettavuuden hallintajärjestelmä on kuvattu standardiperheessä IEC 60300, johon perustuvaa työkonevalmistajille sovellettua luotettavuusjohtamisjärjestelmää tässä julkaisussa käsitellään.

2 Luotettavuusjohtaminen

Luotettavuusjohtaminen muistuttaa hyvin läheisesti laatujohtamista, ja se on standardoinninkin perusteella suunniteltu osaksi laatustandardeja. Luotettavuusjohtamisen avulla tuotteen luotettavuusominaisuudet pyritään pitämään hallinnassa koko tuotteen elinkaaren ajan. Luotettavuusjohtamisesta käytetään myös usein termiä ”luotettavuuden hallinta”.

IEC:n (International Electrotechnical Commission) Technical Committee (TC) 56 on julkaissut sarjan standardeja nimikkeen ”luotettavuus” alla. Vaikka IEC on perinteisesti sähköteknillinen standardointiorganisaatio, on luotettavuusstandardit tarkoitettu yleisteknisiksi ohjeiksi. Luotettavuusstandardit jaetaan neljälle eri hierarkiatasolle (Rouhiainen 1998): tasoilla 1 ja 2 ovat ns. *sateenvarjostandardit* (IEC 60300-1 ja 60300-2, suomenkieliset käännökset SFS-EN 60300-1 ja SFS-EN 60300-2), tasolla 3 *sovellusstandardit* ja tasolla 4 *työkalustandardit*. Tällä hetkellä IEC 60300 -standardiperheeseen kuuluvat standardit on listattu liitteeseen A. Standardeissa kuvattu luotettavuusjohtaminen koskettaa erityyppisiä kestokulutushyödykkeitä, esimerkiksi työkoneita valmistavaa teollisuutta. Prosessiteollisuuden näkökulmasta se ei ole sovellettavissa.

Sovellusstandardien tavoite on antaa yleisiä ohjeita siitä, miten menetellä laajassa luotettavuusprojektissa sekä miten valita sopivat menetelmät ja työkalut luotettavuusohjelman tietyssä vaiheessa. Työkalustandardit kuvaavat luotettavuusjohtamisjärjestelmän tehtävissä käyttökelpoisia menetelmiä. Tyypillisiä työkalustandardeja ovat esimerkiksi standardit IEC 60812 Vika- ja vaikutusanalyysi ja IEC 61025 Vikapuuanalyysi. (Rouhiainen 1998).

Korkeimman hierarkiatason standardi IEC 60300-1 esittää luotettavuusjohtamisjärjestelmän peruseriaatteet, käsitteet ja määritelmät sekä sellaiset luotettavuusjohtamisjärjestelmän osat, joita tulee soveltaa projektista riippumatta käyttövarman tuotteen aikaansaamiseksi. Standardi määrittelee johtamistermein sen, mitä, miksi, koska ja miten luotettavuusjohtamista pitää toteuttaa. Se ei kuitenkaan organisaatioiden ja projektien erilaisuudesta johtuen määrittele sitä, kenen ja missä organisaatiossa johtamista pitäisi toteuttaa. IEC 60300-2 esittää ne tehtävät, jotka voidaan valita projektikohtaisesti räätälöityyn luotettavuusohjelmaan.

Luotettavuusjohtamisjärjestelmällä tarkoitetaan IEC 60300-1 -standardin mukaan ”luotettavuuden johtamisessa käytettävän organisaation rakennetta, vastuita, menettelyohjeita, toimintaprosesseja ja resursseja”. Luotettavuusjohtamisjärjestelmä koostuu projektista riippumattomista tehtävistä sekä projektista riippuvista tehtävistä. Luotettavuusjohtamisjärjestelmän osat jakautuvat siis karkeasti kahteen ryhmään: tuotteesta tai projektista riippumattomiin ja vastaavasti niistä riippuviin asioihin.

IEC 60300-2 -standardi esittää yleiset ohjeet *luotettavuusjohtamissuunnitelman* muodostamiseksi. Luotettavuusjohtamissuunnitelman tarkoituksena on varmistaa, että kaikki tuotteen toimintavarmuuteen, kunnossapidettävyyteen ja kunnossapitovarmuuteen liittyvät vaatimukset saadaan täytettyä. Tiettyyn tuotteeseen sovellettavat luotettavuusjohtamissuunnitelman rakenneosat ja tehtävät tulee valita tapauskohtaisesti. Tavallisesti toimittajan eli konevalmistajan luotettavuusjohtamissuunnitelma vastaa tuotteen toimintavarmuudesta ja kunnossapidettävyydestä. Huoltosopimusten yhteydessä toimittajan luotettavuusjohtamissuunnitelman tulee vastata myös koneen kunnossapitovarmuudesta.

Luotettavuusjohtamisjärjestelmän soveltamisessa käytäntöön pitää ottaa huomioon standardin mukaan seuraavat asiat (IEC 60300-2):

- tuotteen käyttötarkoitus
- sopimuksellinen tilanne
- sovellettavuus kaikkiin tai joihinkin elinjakson vaiheisiin
- tuotteeseen liittyvät ominaisuudet
- samanlaisten tuotteiden aiempi historia
- luotettavuusjohtamisjärjestelmän jokaisen tehtävän kustannukset ja hyödyt sekä
- laitteiston ja ohjelmiston välinen painotus.

IEC 60300-2:n mukaan luotettavuusjohtamisjärjestelmää voidaan soveltaa sekä tilanteessa, jossa toimittajan ja asiakkaan välillä on erityinen sopimus tuotteen valmistamisesta (räätälöity tuote), että tilanteessa, jossa sopimusta ei ole – tuote tuodaan markkinoille yleisesti tunnistettujen tarpeiden mukaisesti (sarjatuote).

2.1 Tuotteesta riippumattomat luotettavuusjohtamisjärjestelmän tehtävät

Tuotteesta riippumattomia luotettavuusjohtamisjärjestelmän tehtäviä on IEC 60300-1:ssä lueteltu neljä:

1. IEC 60300-1:n mukaan toimittajan eli konevalmistajan pitää pystyä *soveltamaan luotettavuusjohtamisjärjestelmää käytännössä*. Koska standardissa viitataan IEC 60300-2:ssa mainittuihin projektikohtaisiin tehtäviin, tulee toimittajalla tarvittaessa olla valmiudet suorittaa 60300-2-standardissa lueteltuja tehtäviä.

2. Toimittajalla on oltava käytettävissään tehokkaat tilastolliset ja muut asianmukaiset *kuvailevat ja määrälliset menetelmät ja mallit*, jotka ovat tarkoituksenmukaisia tuotteen luotettavuusominaisuuksien ennustamisessa, analysoinnissa ja estimoinnissa. Konevalmistajan organisaatiossa pitää siis olla tietotaitoa luotettavuuden analysointia ja ennustamista varten.
3. Toimittajalla tulee olla käytössä *luotettavuustietopankki*, jota käytetään tuotesuunnittelussa, tuoteparannuksissa ja kunnossapitovarmuuden suunnittelussa. Tämä kohta velvoittaa toimittajan keräämään kentältä tai muista lähteistä tietoa käyttämistään komponenteista ja rakenteista luotettavuustietopankkiinsa.
4. *Luotettavuustiedostojen* suhteen toimittajalla tulee olla järjestelmä, joka ohjaa tiedostojen ja dokumenttien tallentamista määrämuodossa tarkoituksenmukaiseksi ajaksi määrättyyn paikkaan. Luotettavuusjohtamista käsittelevien dokumenttien tallentamiseen on konevalmistajalla yleensä olemassa laatujärjestelmä, jonka avulla voidaan säilyttää myös kaikki luotettavuuden kehittämiseen liittyvät dokumentit.

2.2 Tuotteesta riippuvat projekti-kohtaiset luotettavuusjohtamisjärjestelmän tehtävät

Tuotteesta riippumattomat eli projektikohtaiset luotettavuusjohtamisjärjestelmän rakenneosat ja tehtävät on esitetty standardissa IEC 60300-2. Luotettavuusjohtamisjärjestelmän rakenneosat ovat seuraavat (elementin sisältämät tehtävät suluissa):

- **Suunnittelu ja johtaminen** (Luotettavuusjohtamissuunnitelmat, Projektin päätösten hallinta, Jäljitettävyyden hallinta, Tuotemuutosten hallinta)
- **Sopimuskatselmus ja yhteydenpito asiakkaaseen** (Sopimuskatselmus, Johdon edustaja)
- **Luotettavuusvaatimukset** (Luotettavuusvaatimusten spesifiointi, Vaatimusten tulkinta, Vaatimusten osittaminen)
- **Suunnittelu** (Toimintavarmuuden suunnittelu, Kunnossapidettävyyden suunnittelu, Kunnossapitovarmuuden suunnittelu, Testaustekniikka, Inhimillisten tekijöiden suunnittelu)
- **Ulkopuolelta ostettavat tuotteet** (Alihankittavat tuotteet, Asiakkaan hankkimat tuotteet)
- **Analysointi, ennustaminen ja katselmointi** (Vika- ja vaikutusanalyysi, Vikapuu-analyysi, Rasitus- ja kuormitusanalyysi, Inhimillisten tekijöiden analyysi, Ennusteet, Vaihtoehtojen analyysi, Riskianalyysi, Suunnittelukatselmus)

- **Todentaminen, kelpuuttaminen ja testaaminen** (Todentamis-, kelpuutus- ja testi-suunnittelu, Eliniän testaaminen, Luotettavuuden testaaminen, Toimintavarmuuden kasvun testaaminen, Tuotantotestaaminen, Hyväksymistestaaminen, Toimintavarmuuden rasisuskarsinta)
- **Elinjakson kustannussuunnitelma** (Elinjakson kustannussuunnitelma)
- **Käytön ja kunnossapitovarmuuden suunnittelu** (Kunnossapitovarmuuden suunnittelu, Asennus, Tukipalvelut, Tuen suunnittelu, Varaosien hankinta)
- **Parannukset ja muutokset** (Parannusohjelmat, Muutosten valvonta)
- **Käyttökokemuspalaute** (Luotettavuustietojen hankinta, Luotettavuustietojen analyysi).

2.3 Luotettavuusjohtamisen avulla saavutettavat hyödyt

Jotta luotettavuusjohtamisen käyttöönotto olisi liiketaloudellisesti järkevää, tulee sen tuottaa lisäarvoa konevalmistajalle. Luotettavuusjohtamisjärjestelmän avulla voidaan saavuttaa esimerkiksi seuraavia etuja:

- Saadaan kilpailuetua muihin konevalmistajiin verrattuna tuotteiden luotettavuuden kasvaessa ja asiakastyytyväisyyden parantuessa.
- Hyödynnetään tehokkaasti käyttökokemustietoa uuden koneen suunnittelussa.
- Kehitetään koneen ylläpitoon liittyvää liiketoimintaa.
- Pienennetään riskiä huoltosopimuksien solmimisessa ja niihin liittyvien käytettävyytystakuiden myöntämisessä.
- Voidaan asettaa uusille koneille luotettavuustavoitteita ja todentaa niitä.

Edellä mainittujen etujen saavuttamiseksi on luotettavuusjohtamisperiaatteiden oltava integroituina yrityksen nykyiseen toimintatapaan. Luotettavuusjohtaminen ei siis voi olla muusta toiminnasta irrallaan oleva luotettavuuden varmistamistoiminto, vaan sen tulee olla osa normaalia toimintaa.

3 Luotettavuusjohtamisjärjestelmän rakenneosien ja tehtävien soveltuvuus työkoneteollisuuteen

Seuraavassa arvioidaan standardeissa IEC 60300-1 ja IEC 60300-2 esitetyn luotettavuusjohtamisjärjestelmän rakenneosien ja tehtävien soveltuvuutta työkoneteollisuuteen (kuva 1). Standardin esittämiä tehtäviä arvioidaan tarkemmin liitteessä C. Liitteen standardisitaatit on lainattu standardien suomennoksista SFS-EN 60300-1 ja SFS-EN 60300-2.



Kuva 1. Luotettavuusjohtamisjärjestelmästandardien soveltuvuutta työkoneteollisuuteen tutkittiin projektin aikana mm. Sandvik Tamrock Oy:n kanssa. Kuvassa Tamrock Axera T -porajumbo.

3.1 Tuotteesta riippumatta toteutettavat luotettavuusjohtamisjärjestelmän tehtävät

SFS-EN 60300-1:n mukaan toimittajan pitää pystyä *soveltamaan luotettavuusjohtamisjärjestelmää käytännössä*. Koska standardissa viitataan SFS-EN 60300-2:ssa mainittuihin projektikohtaisiin tehtäviin, tulee konevalmistajalla tarvittaessa olla valmiudet suorittaa 60300-2-standardissa lueteltuja tehtäviä.

Standardin mukaan ”toimittajalla on oltava käytettävissään tehokkaat tilastolliset ja muut asianmukaiset kuvailevat ja määrälliset *menetelmät ja mallit*, jotka ovat tarkoituksenmukaisia tuotteen luotettavuusominaisuuksien ennustamisessa, analysoinnissa ja estimoinnissa”. Tällaisia menetelmiä on luotettavuusmielessä käytetty erittäin vähän, ja silloinkin osaaminen on yleensä hankittu yrityksen ulkopuolelta. Luotettavuuden analysointimenetelmiä käyttäville henkilöille on laadittava ja toteutettava erityiset koulutusohjelmat, kuten standardissa on mainittu.

Konevalmistajilla on varsin paljon luotettavuuteen liittyvää tiedonkeruuta, mutta varsinaista standardissa tarkoitettua testaus- ja/tai käyttökokemuksiin perustuvaa *luotettavuustietopankkia*, jota käytetään tuotesuunnittelussa, tuoteparannuksissa ja kunnossapitovarmuuden suunnittelussa, ei ole olemassa. Tällaisen tietopankin rakentaminen voi olla hankalaa, mutta tuotteen luotettavuusominaisuuksia voidaan hallita ainoastaan järjestelmällisesti kerätyn ja analysoidun tiedon avulla.

Luotettavuustiedostojen suhteen työkonemistajilla on yleensä laatujärjestelmä, joka ohjaa tiedostojen ja dokumenttien tallentamista määrämuodossa määrättyyn paikkaan. Luotettavuusjohtamista käsittelevien dokumenttien tallentamiseen on jo siis olemassa valmis järjestelmä, jonka avulla voidaan säilyttää kaikki luotettavuuden kehittämiseen liittyvät dokumentit.

3.2 Tuotteesta riippuvat luotettavuusjohtamisjärjestelmän tehtävät

IEC 60300-2 -standardissa esitetyistä projektikohtaisesti sovellettavista luotettavuusjohtamisjärjestelmän tehtävistä sovelletaan työkoneteollisuudessa tällä hetkellä parhaiten projektin- ja dokumenttien hallintaan liittyviä tehtäviä. Tämä on toimivien laatujärjestelmien ansiota. Samoin luotettavuusasiat (kunnossapitovarmuus) otetaan erityisen hyvin huomioon tuotetuen suunnittelussa. Tuotetuen suunnittelu liittyykin läheisesti kehitykseen, jossa konevalmistajat solmivat yhä enemmän huoltosopimuksia asiakkaidensa kanssa. Koska suurta osaa projektin- ja dokumenttien hallintaan liittyvistä tehtävistä sovelletaan jo nyt, voidaan niiden sanoa soveltuvan hyvin työkoneteollisuuteen.

Suunnittelussa kaikki käyttövarmuuden osatekijät otetaan huomioon tuotekehitysprojektien aikana jollakin tavalla, mutta järjestelmälliset käyttövarmuuteen keskittyvät katselmukset ja/tai analyysit puuttuvat. Usein luotettavuusnäkökulmat assosioidaan turvallisuustarkasteluihin, joiden tekeminen on konedirektiivin asettamien vaatimusten mukaista, osittain jopa tiukempaa koneiden toimitusalueiden vaatimuksista riippuen. Vaikka turvallisuus ja luotettavuus ovatkin rinnakkaisia tarkastelukriteerejä, ei kummankaan voida katsoa korvaavan toistaan. Luotettavuusanalyysien suoritus sopii teknisten järjestelmien tarkasteluun erittäin hyvin. Käytännön soveltaminen vaatii kuitenkin koulutusta suunnittelijoille, jotta niiden suorittaminen projektien aikana olisi mahdollista. Muutamien luotettavuusanalyysimenetelmien soveltamisesta on lisää kohdassa 4.3.(Salmikuukka 1999).

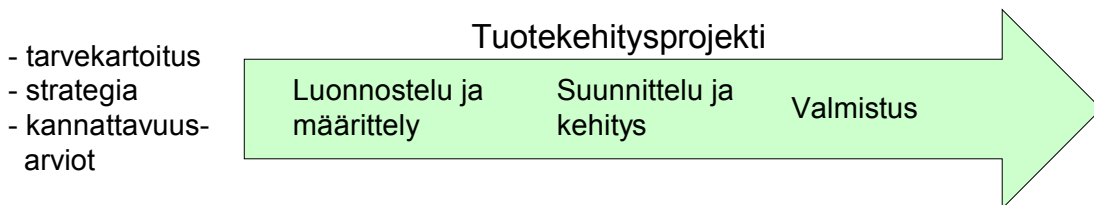
Käyttövarmuuden analysoinnin puutteeseen suurimpana syynä lienee työkalujen puute; suunnittelijoilla ei ole tarvittavaa taitotietoa luotettavuusanalyysien suorittamiseen eikä analyysimenetelmiä ole ohjeistettu. Tarpeellisiksi katsottavat analyysimenetelmät tulisi ohjeistaa muiden laatujärjestelmän ohjeiden mukaan, ja suunnittelijoille tulisi rakentaa koulutusohjelma erilaisista luotettavuusanalyysimenetelmistä. Perusanalyysimenetelmien periaatteiden tulisi olla jokaisen suunnittelijan tiedossa ja spesifimpien, esimerkiksi data-analyysien, suorittamiseksi tulisi luoda valmiudet joillekin tietyille henkilöille organisaation sisällä.

Erityinen huomio luotettavuusjohtamisjärjestelmästandardin rakenteessa on kiinnitettävä *suunnittelun ja analysoinnin, kelpuuttamisen ja testauksen* (jatkossa ak&t) suhteeseen. Ak&t sisältää useita tunnettuja luotettavuusanalyysimenetelmiä, jotka eivät ole eikä niiden pidäkään olla erillinen osa suunnittelua vaan osa sitä. Suunnittelussa erilaisia, tarpeellisiksi arvioituja työkaluja käyttäen saadaan aikaan tuote, joka täyttää asetetut luotettavuus- ym. vaatimukset. Tässä mielessä ak&t on työkalupakki, joilla saavutetaan rakenneosassa ”suunnittelu” mainitut tehtävät.

Suurimmat puutteet standardin projektikohtaisten tehtävien soveltamisessa työkoneteollisuudessa ovat luotettavuuteen liittyvien vaatimusten spesifioinnissa, seurannassa ja testaamisessa. Luotettavuusvaatimusten realistista spesifiointia varten tarvitaan riittävä määrä todellista dataa, jonka kerääminen on organisoitu ja menetelmät dokumentoitu. Tiedonkeruujärjestelmää tarvitaan, jotta luotettavuusvaatimusten toteutumista voidaan seurata ja todentaa samaan tapaan kuin esimerkiksi koneen suorituskykyvaatimusten kohdalla tehdään. Luotettavaa käyttökokemustietoa saadaan ehkä parhaiten sellaisista kohteista, joissa tiedonkeruusta vastaa konevalmistajan oma huolto-organisaatio, tai sellaisilta asiakkailta, joilla on omaa tiedonkeruuta koneidensa toiminnasta.

4 Luotettavuusjohtamisen implementointi yrityksen toimintoihin

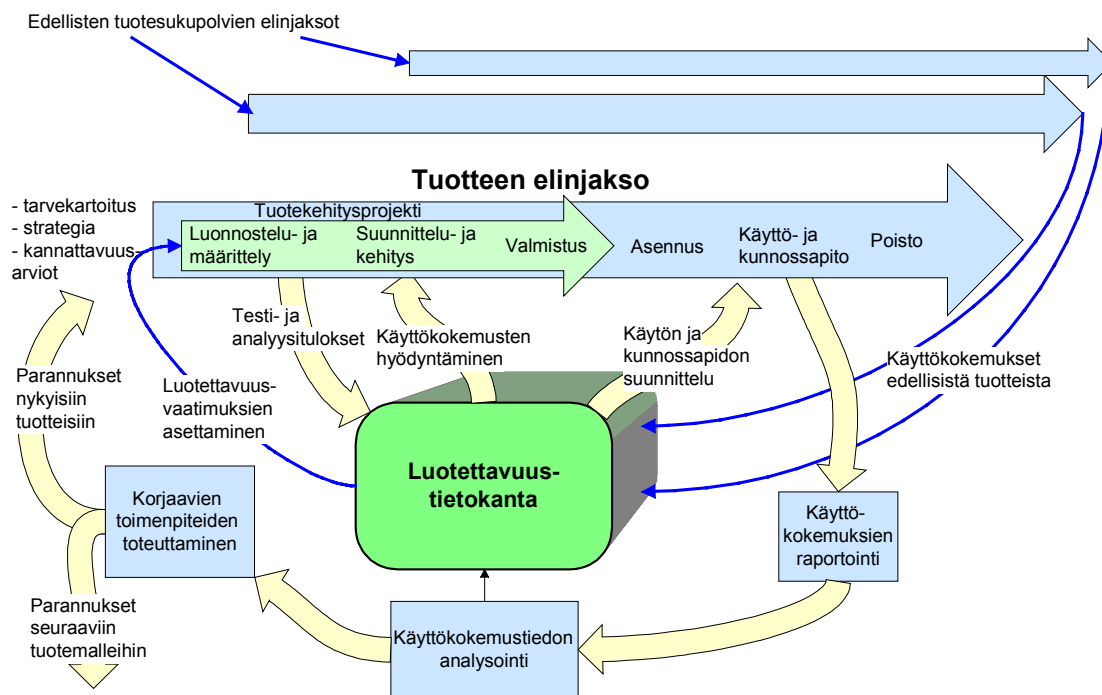
Luotettavuusjohtamisjärjestelmän implementointi yrityksen toimintoihin kannattaa aloittaa yksittäisen pilottiprojektin avulla pienessä mittakaavassa. Laajemmalla rintamalla tehty aloitus on riskialtista; virheelliset menettelytavat saattavat johtaa koko luotettavuusjohtamisajatuksen hylkäämiseen. Pienessäkin mittakaavassa tehty aloitus tarvitsee kuitenkin yritysjohtolta täyden tuen (ks. 4.1 Johdon sitoutuminen luotettavuusjohtamiseen). Kuvan 2 esimerkki perustuu suoraviivaiseen tuotekehitysprosessiin .



Kuva 2. Tavanomainen tuotekehitysprosessin kulku.

Luotettavuusjohtamisjärjestelmä tuo uusia velvollisuuksia, joihin ei yleensä konevalmistajan organisaatiossa ole varauduttu. Uusia asioita ovat ainakin luotettavuustietopankit ja erilaiset analysointi- ja testausmenettelyt. Luotettavuusjohtamisjärjestelmän luomiseen liittyykin läheisesti toimivan palautejärjestelmän luominen valmistajan ja asiakkaan ja/tai huoltoyhtiön tms. palautteen antajan välille. Luotettavuusjohtamisjärjestelmän suhde tuotekehitykseen ja tuotteen elinjaksoon esitetään graafisesti kuvassa 3.

Ennen tuotekehitysprojektin aloittamista on selvittävä markkinatarpeet ja projektin kannattavuus ja se, sopiiko projekti yrityksen strategiaan. Kun päätös projektin aloittamisesta on tehty, projekti toteutetaan käyttäen apuna tarpeelliseksi katsottuja analyysi- ja testausmenetelmiä. Tuotteen markkinoille laskemisen jälkeen tuotteesta kerätään käyttökokemustietoa, joka tallennetaan luotettavuustietopankkiin. Samalla kerätään tietoa aiemmista tuotemalleista uusien projektien tueksi. Luotettavuustietopankin tietoja käytetään hyväksi korjaavien toimenpiteiden toteuttamiseen joko nykyisissä konstruktioissa tai seuraavissa tuotemalleissa. Luotettavuustietokannan sisältöä voidaan hyödyntää tuotteen elinkaaren kaikissa vaiheissa: määrittelyvaiheessa luotettavuustavoitteiden asettamiseen ja suunnittelussa ratkaisuvaihtoehtojen valintaan sekä käytön ja kunnossapidon suunnitteluun.



Kuva 3. Luotettavuusjohtamisjärjestelmän suhde tuotteen elinjaksoon ja tuotekehityssessiin. Tuotekehitysprojektin ja tuotteen elinjakson vaiheet ovat IEC 60300-2:n mukaiset.

4.1 Johdon sitoutuminen luotettavuusjohtamiseen

Tärkein asia luotettavuusjohtamisen periaatteiden implementoinnissa yrityksen toimintoihin on johdon sitoutuminen luotettavuuden kehittämiseen. Johdon sitoutuminen laajamittaiseen luotettavuuden kehittämiseen tapahtuu käytännössä taloudellisin perustein. Tämän vuoksi tuotteen luotettavuuden merkitys sekä konevalmistajalle itselleen että konevalmistajan asiakkaalle pitää pystyä määrittelemään rahayksiköissä. Luotettavuutta kuvaavia tunnuslukuja konevalmistajan taholla voivat olla esimerkiksi reklamaatioiden lukumäärä tai takuukorjausten kustannukset.

Toinen, yleensä vähemmälle huomiolle jäävä kustannusluokka ovat tuotteen epäluotettavuudesta aiheutuvat epäsuorat kustannukset. Epäsuorilla kustannuksilla tarkoitetaan sellaisia kustannuksia, jotka eivät suoraan näy markkamääräisinä arvoina. Konevalmistajan kohdalla tällaisia ovat esimerkiksi uudelleensuunnitteluun kuluvat resurssit ja asiakastyytyvyyden heikkeneminen.

Johdon sitoutuminen eri asioihin näkyy käytännössä yrityksen strategian kautta, joten luotettavuuden järjestelmällisen kehitystyön pitää olla osa yrityksen strategiaa. Lisäksi yritysorganisaatiosta pitää osoittaa vastuullinen taho, osasto, tms., jonka tehtävänä on

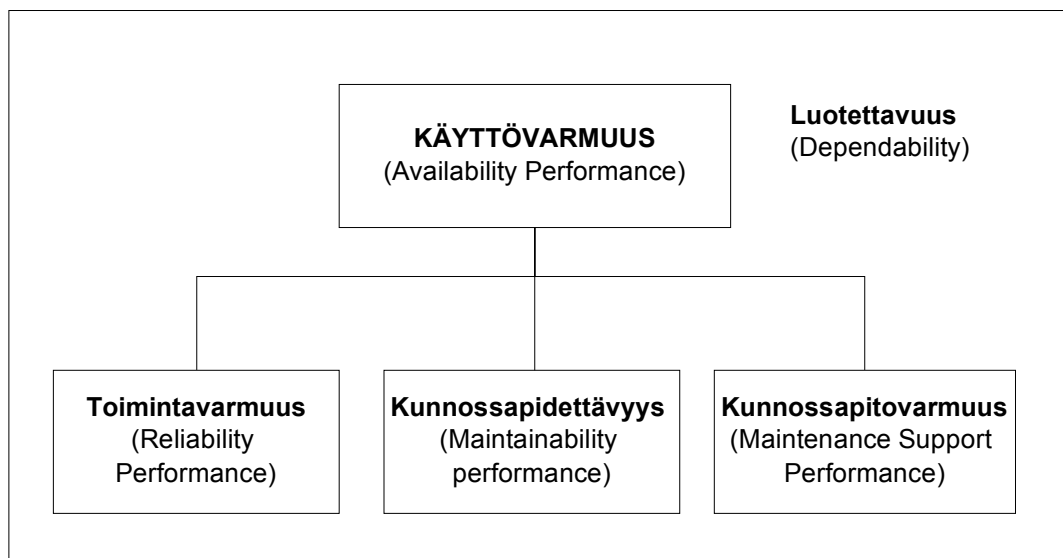
johtaa ja valvoa luotettavuuden kehittämistä. Luotettavuuden kehittäminen on periaatteessa kaikkien toimintojen asia, mutta vastuullisen tahon pitää olla käytännössä nimetty.

4.2 Koneiden nykyisen luotettavuustason selvittäminen

Kun johto on sitoutunut luotettavuusjohtamisjärjestelmän luomiseen, on seuraavaksi selvitettävä kehittämistyön lähtötaso. Lähtötason määrittäminen ja tarvittavien tunnuslukujen laskenta on käytännössä tehtävä joko oman organisaation keräämiin tietoihin tai asiakkailta saataviin toimintatietoihin perustuen. Koska konevalmistajilla on useita konemalleja, kannattaa kehittämistyö aloittaa kohteesta, jonka luotettavuuden varmistaminen ja parantaminen on konevalmistajan toiminnan kannalta tärkeää. Tällaisia malleja ovat sekä koneet, joita valmistetaan suuria sarjoja, että yksittäiset koneet, joiden statusarvo on suuri uudesta teknologiasta tai esimerkiksi suuresta tuotantokapasiteetista johtuen.

4.2.1 Käyttövarmuutta kuvaavat tunnusluvut

Käyttövarmuus koostuu IEC 60050(191) -standardin mukaan kolmesta osatekijästä: toimintavarmuudesta, kunnossapidettävyydestä ja kunnossapitovarmuudesta (kuva 4). Toimintavarmuus kuvaa koneen teknistä rakennetta ja koneen toimivuutta pitkään ilman korjauksia ennalta määrättyjen huoltojen avulla. Kunnossapidettävyys kuvaa koneen huolto- ja korjausominaisuuksia; korjaaminen ja huoltaminen on yksinkertaista ja nopeaa. Kunnossapitovarmuus ei kuvaa koneen teknistä rakennetta ja toimivuutta vaan koneen toimintaa valvovan ja varmistavan organisaation toimintakyvyn tehokkuutta. Yleisemmin käyttövarmuutta kuvaa termi ”luotettavuus”.



Kuva 4. Käyttövarmuuden osatekijät standardin IEC 60050(191) mukaan.

Käyttövarmuutta voidaan kuvata monia eri tunnuslukuja käyttäen, joista muutamia on määritelty IEC 60050(191) -standardissa. Tärkeitä käyttövarmuuden mittareita ovat toimintakelpoisuusaika (Up Time, UT) ja toimintakelvottomuusaika (Down Time, DT). Yleisin käyttövarmuuden mittari on käytettävyys (availability), jolla tarkoitetaan toimintakelpoisuusaajan suhdetta tarveaikaan. Käytettävyys ilmoitetaan tavallisesti prosenttilukuna.

Muita yleisesti tunnettuja tunnuslukuja ovat esimerkiksi seuraavat:

- toimintavarmuus: TTF (time to failure), aika, joka kuluu käyttöönotosta kohteen ensimmäiseen vikaantumiseen
- kunnossapidettävyys: TTR (time to restoration), vian jälkeiseen kunnostukseen kuluva aika
- kunnossapitovarmuus: Kunnossapitovarmuuden mittareita ovat mm. korjauksen odotusaika (WT, waiting time), hallinnollinen viive (AD, administrative delay) ja logistinen viive (LD, logistic delay). Näillä ilmaistaan kunnossapito-organisaation kykyä reagoida vikaantumiseen.

Usein edellä mainittujen tunnuslukujen selitteissä käytetään edellä kirjainta M (mean), joka tarkoittaa keskimääräistä tunnusluvun arvoa. Koska tunnusluvut eivät ole yksiselitteisesti standardoituja, on tunnuslukua käytettäessä hyvä esittää myös sen laskenta-kaava.

4.2.2 Olemassa olevat tietolähteet

Koneiden luotettavuuden nykytason määrittämiseksi pitää hyödyntää olemassa olevia tietokanavia, koska tuotekehitysprosessia aloitettaessa ei yleensä ole aikaa uusien tiedonkeruumenetelmien käyttöönottoon. Jatkossa tiedonkeruu- ja analysointimenetelmiä on kehitettävä vastaamaan luotettavuusjohtamisjärjestelmän vaatimuksia. Käyttökokeustietoa konevalmistajien organisaatioon tulee nykyisin monista eri lähteistä, mutta tieto on yleensä epämääräisessä ja vaikeasti hyödynnettävissä olevassa muodossa. Yleisimmin käyttökokeustieto tulee asiakkaiden, myyntiyhtiöiden ja huoltoliikkeiden kautta suorina yhteydenottoina puhelimitse tai sähköpostitse. Tiedot kirjataan vaihtelevassa määrin tietojärjestelmiin jatkokäsittelyä varten.

Tarkinta tietoa saadaan hyödyntämällä joko asiakkaiden itsensä keräämää tietoa tai omien huoltoyhtiöiden tekemiä tallenteita. Nämä tiedot on lähtökohtaisesti tarkoitettu kerääjän omaan käyttöön, joten niitä voidaan pitää mahdollisimman luotettavina. Samoin oman organisaation tekemät koekäyttöraportit ja muut testit ovat käyttökelpoisia koneen luotettavuuden nykytasoa selvitettäessä. Järjestelmällisintä ja helpoimmin käsiteltävää tietoa löytyy yleensä takuutiedoista, mutta niiden käyttöön luotettavuustavoitteita asetettaessa tulee suhtautua varauksella. Koska luotettavuutta kuvaavien tunnuslukujen laskentaa ei ole huomioitu näiden tietojen keräämisen yhteydessä, on tiedoista laskettavien tunnuslukujen määrä rajoitettu. Tämä on otettava huomioon asetettaessa luotettavuusvaatimuksia ja todennettaessa niitä projektin aikana ja sen jälkeen.

4.3 Luotettavuusjohtaminen tuotesuunnittelussa

Suurimmat tuotekehityshankkeet suoritetaan työkoneteollisuudessa projekteina. Ennen tuotekehitysprojektin aloittamista asetetaan projektille tavoitteet ja reunaehdot. Reunaehdoja projektille tulee mm. markkinatarpeista, teknologian kehittymisestä ja kustannustavoitteista. Tuotekehitysprojektin alkuvaiheessa tulee arvioida, miten tärkeä ominaisuus luotettavuus kehitettävälle tuotteelle on ja mitkä ovat esimerkiksi uuden teknologian käyttöönotossa mahdolliset riskit – kannattaako erityisesti luotettavuuteen panostaa. Luotettavuuden tärkeyttä arvioitaessa tulee huomioida koneiden odotettavissa oleva valmistusmäärä, julkisuusarvo ja hinta. Arvioista riippuen projektisuunnitelmiin sisällytetään tarpeellisiksi katsotut tehtävät luotettavuuden varmistamiseen.

Kun projektin aloittaminen on arvioitu kannattavaksi ja projektissa kehitettävän koneen tai osajärjestelmän luotettavuuskriittisyys on arvioitu, tehdään luotettavuusjohtamissuunnitelma. Projektikohtaiseen luotettavuusohjelmaan valitaan tehtävät IEC 60300-2-standardissa esitetystä tehtäväluettelosta (liite B). Luotettavuusjohtamissuunnitelma on ”johtamisen, suunnittelun ja valvonnan perusasiakirja, joka kuvaa luotettavuusjohtamisjärjestelmän toimeenpanon”. Koska periaatteena on se, että luotettavuusjohtaminen

sisältyy normaaliin toimintaan, tulee luotettavuusjohtamissuunnitelmat sisällyttää projektisuunnitelmaan.

Tuotekehitysprojektille pitää asettaa konkreettinen luotettavuustavoite, jonka mittaamistapa on spesifioitu. Liikkuville työkoneille on ominaista, että eri koneyksilöt toimivat hyvin erilaisissa ympäristöissä. Tämän vuoksi luotettavuusvaatimuksia asetettaessa on määritettävä myös olosuhteet, joissa vaatimus pätee. Näin luotettavuusvaatimusten todentaminen voidaan suorittaa projektin lopussa.

Standardin mukaan luotettavuusvaatimukset pitää määrittelyn lisäksi tulkita ja osittaa koneen eri järjestelmille. Tällä tarkoitetaan sitä, että koko koneen luotettavuusvaatimus pitää jakaa osajärjestelmille ja osille siten, että vaadittu kokonaisluotettavuus saavutetaan. Tässä voidaan käyttää apuna esimerkiksi QFD (quality function deployment) -pohjaista luotettavuusominaisuuksien osittamisen menettelyä (Virtanen 1996).

Suunnitteluprosessin aikana tulee käytettävissä olevien analysointi- ja katselmointimenetelmien avulla varmistaa tavoitteeksi asetetun käyttövarmuuden tason saavuttaminen. Analyysin suorittamisen kannattavuus tulee arvioida kohteen mukaan; elinkaareltaan lyhyissä tuotteissa analyysin vaatima työmäärä voi olla kohtuuttoman suuri. Elinkaareltaan pidempien tuotteiden kohdalla luotettavuusanalyysien laatimatta jättämisen tuoma säästö on usein näennäinen. Kun kone viedään markkinoille nopeasti lyhyen prototyyppivaiheen jälkeen, voivat siinä olevat rakenteelliset puutteet tai epäonnistuneet komponenttivalinnat aiheuttaa huomattavia menetyksiä kasvaneina takuukustannuksina ja asiakastyytyväisyyden heikentymisenä. Luotettavuusanalyysien käyttöönotolla on mahdollista saada koneen alkuvaiheen takuukustannuksia alemmas. Analyysissä voidaan myös tunnistaa ongelmia, jotka saattavat aiheuttaa ongelmia koneen toiminnassa vanhenemisen myötä. Luotettavuusongelmia vähentämällä asiakastyytyväisyys ja yrityksen kilpailukyky paranevat.

Koneen elinjakson aikana tehdään huomattava määrä korjaavaa suunnittelua. Joidenkin arvioiden mukaan nykyisin jopa puolet suunnittelijoiden työajasta kuluu olemassa olevien konemallien korjaavaan suunnitteluun. Ottamalla analyysimenetelmät suunnittelu-työkaluiksi ja analyysien laadinta yhdeksi olennaiseksi suunnitteluprosessin osaksi olisi mahdollista siirtää suunnittelijoiden ajankäyttöä enemmän korjaavasta suunnittelusta uustuotesuunnitteluun. Kun suunnittelijat voivat käyttää työaikaansa uusien, entistä innovatiivisempien ratkaisujen perusteelliseen suunnitteluun, yrityksen tuotteilla on paremmat mahdollisuudet olla alansa terävintä kärkeä.

Analyysien saattamisessa suunnittelussa käytettäväksi rutiininomaiseksi menettelyksi tarvitaan ainakin hetkellisesti lisäresursseja ja niitä voidaan saada ainoastaan silloin, kun yritysjohto sitoutuu luotettavuuden hallinnan kehittämiseen yrityksen kaikissa toiminnoissa.

4.3.1 Vika-, vaikutus ja kriittisyysanalyysi

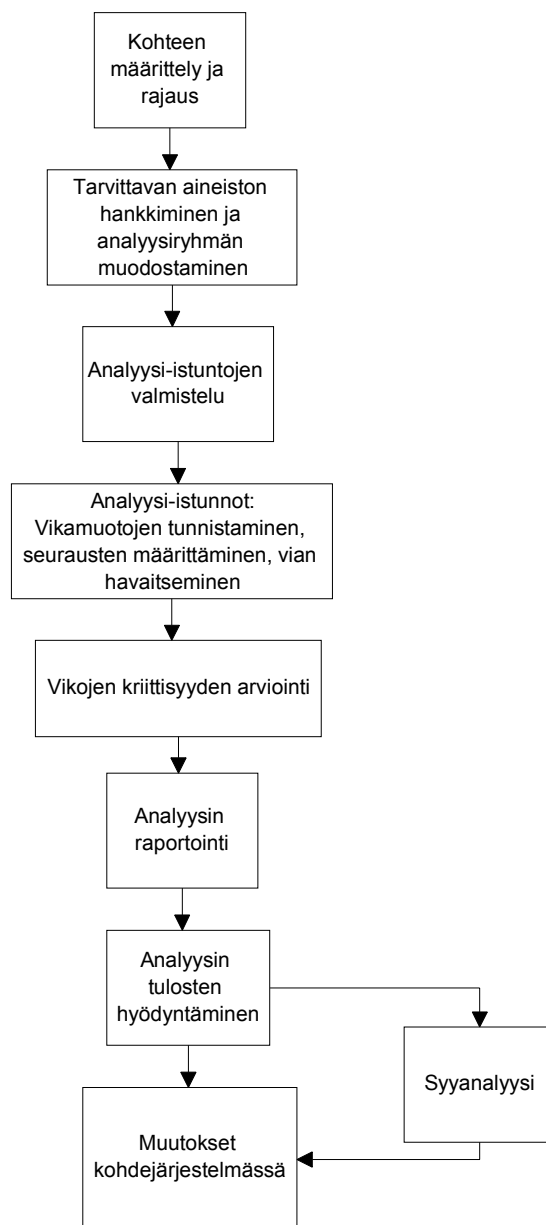
Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi (lyh. VVKA) on yleisesti todettu tehokkaaksi luotettavuuden analysointimenetelmäksi. VVKA-proseduuri on standardoitu menettely, joka kuvataan mm. SFS 5438:ssa. Työkoneteollisuuteen soveltuva sovellusesimerkki on julkaistu VTT-raportissa RIS B006 (Välisalo 1999). VVKA:ta ei ole yleisesti otettu työ-koneiden suunnitteluprosessin työkaluksi. Syynä tähän on toisaalta se, että tarvittavaa osaamista analyysin vetämiseen ei työkonevalmistajien organisaatioissa ole ollut, ja toisaalta se, ettei nykyisessä suunnitteluprosessissa ja -aikatauluissa ole varattu aikaa ja muita resursseja analyysien tekemiseen. Tuotekehitysprojektille asetettavien luotettavuusvaatimusten myötä VVKA:n kaltaisten menettelyjen käyttö todennäköisesti yleistyy tulevaisuudessa.

VVKA:n tarkoituksena on SFS 5438:n mukaan

- a) komponentin jokaisen tunnistetun vioittumistavan aiheuttamien vaikutusten ja tapahtumaketjujen arviointi järjestelmän usealla eri toiminnallisella tasolla
- b) kunkin vioittumistavan merkittävyyden ja kriittisyyden määrittäminen verrattuna järjestelmän virheettömään toimintaan ja suorituskykyyn ja vaikutuksen selvittäminen ko. prosessin toimintavarmuuteen ja turvallisuuteen
- c) tunnistettujen vioittumistapojen luokittelu tunnistettavuuden, määriteltävyyden, testattavuuden, yksikön korvattavuuden, huollettavuuteen liittyvien toimenpiteiden (korjaus, huolto ja huoltojärjestelmä jne.) ja muiden tärkeiden tunnuslukujen suhteen
- d) vian merkittävyyden ja vian todennäköisyyden arviointi edellyttäen, että tarvittavat tiedot ovat käytettävissä.

VVKA voidaan suorittaa monilla eri tarkastelutasoilla. Toiminnallista VVKA:a voidaan käyttää suurten kokonaisuuksien analysointiin. Perinteisin analysointitaso on kuitenkin komponenttitaso. Siinä tarkasti rajattu kokonaisuus käydään läpi komponentteittain. Tällainen järjestelmä voi olla esimerkiksi hydraulikkajärjestelmä, sähköjärjestelmä tai jokin mekaaninen kokonaisuus. VVKA voidaan suorittaa myös jollekin rajatulle kohteelle, joka sisältää monia eri teknologioita.

Kuvassa 5 on kaavio VVKA:n etenemisjärjestyksestä. Ennen varsinaista suoritusta on tärkeää asettaa analyysille selkeä tavoite, ts. määrittää, mitä ongelmia halutaan erityisesti saada selville. Analyysin kohde pitää rajata mahdollisimman yksiselitteisesti. Näin menettelemällä analyysin kulku saadaan mahdollisimman tehokkaaksi, kun tiedetään jo ennalta, mihin tulee keskittyä.



Kuva 5. Tuotekehitysprosessiin räätälöidyn vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysin osat.

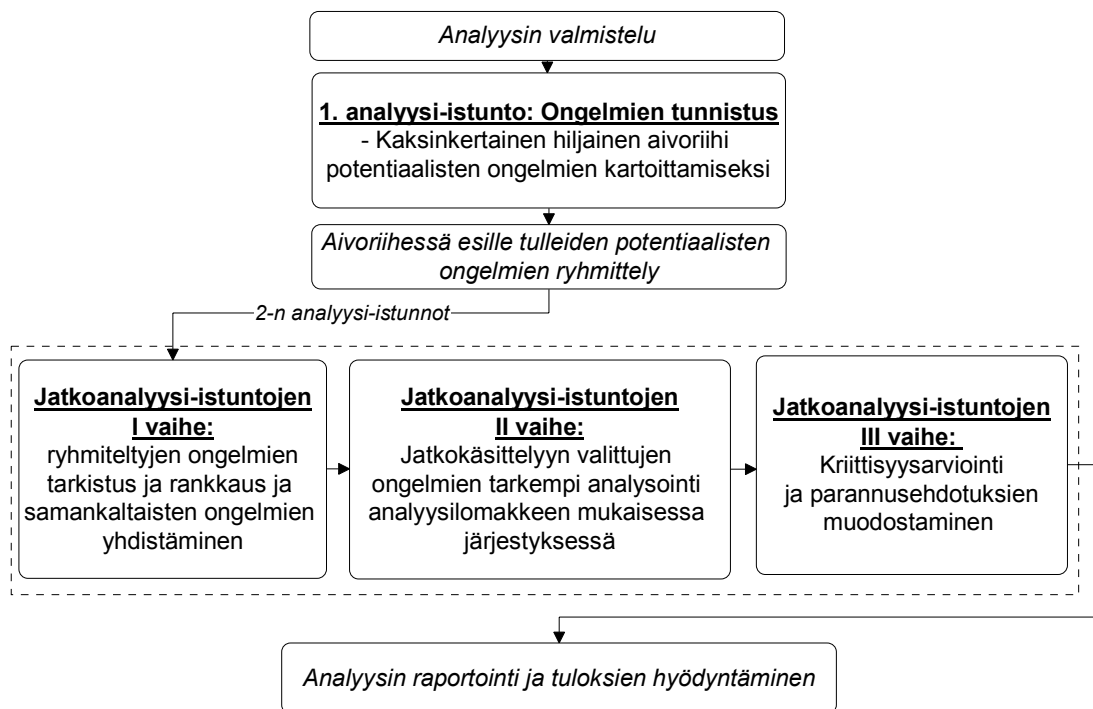
4.3.2 Potentiaalisten ongelmien analyysi

Suunnitteluprosesseissa on nykyisellään yrityksestä riippumatta melko kattava katselmointikäytäntö. Katselmuksissa projektiryhmä käy läpi suunniteltavan koneen ominaisuuksia ja yksityiskohtia. Katselmointikäytäntö on sinällään toimiva, mutta koska katselmuksissa ei käydä konetta kovinkaan järjestelmällisesti läpi, saattaa joitakin epäkohdita jäädä lopulliseenkin suunnitteluratkaisuun.

Potentiaalisten ongelmien analyysin (lyh. POA, engl. PPA, Potential Problem Analysis)

avulla voidaan nopeasti selvittää aiempiin kokemuksiin ja henkilöstön ammattitaitoon nojautuen tuotteen ongelmakohdat. Kun ongelmalliset kohteet saadaan nopeasti kartoitettua, mahdollisuudet luotettavuuteen ja toimivuuteen vaikuttavien asioiden huomioonottoon tuotekehitysprosessin aikana paranevat oleellisesti.

Potentiaalisten ongelmien analyysi on monivaiheinen menetelmä, joka soveltuu erityisesti laajojen kokonaisuuksien ongelmallisten kohteiden tunnistamiseen ja niiden kriittisyyden arviointiin. Työkoneteollisuudessa menetelmää voidaan hyvin käyttää joko kokonaisen koneen tai sen jonkun tietyn osakokonaisuuden tai -järjestelmän luotettavuuden ja turvallisuuden analysointiin. Kuvassa 6 on kaavio POA:n etenemisjärjestyksestä.



Kuva 6. Tuotekehitysprosessiin räätälöidyn potentiaalisten ongelmien analyysin osat. Jatkoanalyysi-istunnon kolme eri vaihetta voidaan suorittaa joko yhdellä kerralla tai erillisissä istunnoissa kohteen laajuudesta riippuen.

POA soveltuu erityisen hyvin edellisissä konemalleissa esiintyneiden ongelmien koaamiseen, jolloin analyysin tuloksia voidaan hyödyntää seuraavaa kone- tai laitesukupolvea kehitettäessä. Samoin POA:a voidaan ajatella käytettävän myös uuden konemallin käyttövarmuuden analysointiin, jos kohdejärjestelmästä on jo olemassa kuvia, havainnollisia piirustuksia ym. visuaalista materiaalia tai kun prototyypilaitteista on käyttökokemuksia. (Välisalo 2000)

Hyvin pieniä kokonaisuuksia ei POA:n avulla ole tarkoituksenmukaista analysoida; esimerkiksi vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi tai vikapuuanalyysi on niiden luotetta-

vuuden analysoinnissa tarkoituksenmukaisempi menetelmä. Lisätietoja POA:sta löytyy teoksesta *Rouhiainen, V. & Suokas, J. (eds.). Quality Management of Safety and Risk Analysis. Amsterdam, Elsevier Science Publishers B.V. 291 s.*

4.3.3 Kunnossapidettävyyksien laskenta

Liikkuvan työkoneen kunnossapidettävyyttä voidaan analysoida esimerkiksi SAE:n (Society of Automotive Engineers) kehittämää kunnossapidettävyyden pisteytysmenetelmää käyttäen. SAE:n ohje on tarkoitettu off-road -laitteiden kunnossapitoimenpiteiden suorittamisen helppouden arviointiin pisteytyksen avulla ja se on siten suoraan sovellettavissa liikkuvan työkoneen analysointiin. Pisteytyksessä arvioidaan huoltotoimenpiteiden (mm. voitelu) suorituksen helppoutta ja arviointi sisältää neljä arviointinäkökulmaa: kohteen sijainti, luoksepäästävyys, varsinaisen toimenpiteen suorituksen helppous ja muut huomiot. Em. arvioiden avulla saatu indeksi kerrotaan vastaavien kohteiden lukumäärällä ja huoltotyön suoritustaajuuskertoimella.

Pisteytys voidaan tehdä esimerkiksi kuvan 7 taulukkoon.

Pisteytysmenetelmä on osoittautunut käyttökelpoiseksi välineeksi kunnossapitotöiden vaikeustasoa arvioitaessa. Suunnittelun aikana suoritettavaksi analyysiksi se soveltuu vähäisen henkilötyömääränsä vuoksi hyvin; periaatteessa suunnittelija pystyy käymään kohteen itsenäisesti läpi kysyen neuvoa ulkopuolisilta vain silloin, kun siihen on tarvetta. Valmiita analyysipohjia käyttämällä ja hyödyntämällä ohjekirjojen sähköisiä versioita analyysin suoritus nopeutuu entisestään.

Kokemusten perusteella SAE:n pisteytysmenetelmää kannattaisi soveltaa heti uuden koneen suunnittelun alkuvaiheessa kunnossapidettävyyssominaisuuksien tutkimiseen ja tuotekehitysprojektin lopussa huolto-ohjeiden tarkistamiseen. Kunnossapidettävyyksien laskennan sivutuotteena huolto-ohjeet tarkistetaan systemaattisesti ja niistä voidaan tehdä tarkemmin konemallikohtaiset.

Vaatimukset											
Kohde	Vaadittu huolto	Sijainti	Luoksepäästävyys	Työn suoritus	Muut	Välisumma 1	Lukumääräkerroin	Välisumma 2	Taajuuskerroin	Kohteen kunnossapidettävyyssindeksi	Kommentit

Kuva 7. SAE J817-2:ssä esitetty taulukko, jonka avulla kunnossapitotoimenpiteille lasketaan indeksit. Pisteytyksien ylä- ja alarajat ovat ohjeessa seuraavat: Sijainti 1–50, Luoksepäästävyys: 1–100, Työn suoritus (useita eri näkökulmia): 1–20 (max), Muut: 2–100, Taajuuskerroin: 1–50. Pisteytys ei ole lineaarinen, vaan asteikon jyrkkyys vaihtelee näkökulmasta riippuen.

5 Käyttökokemustiedon hankinta ja hyödyntäminen pitkällä tähtäimellä

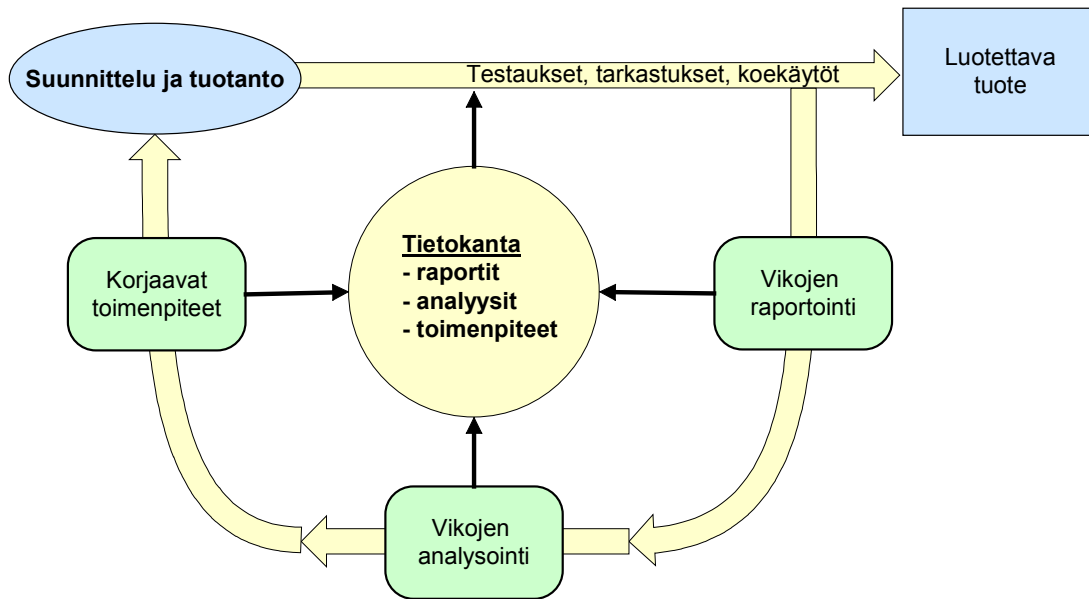
Tietoa työkoneiden toiminnasta kerätään järjestelmällisesti uusien koneiden takuuajan puitteissa. Takuuajalta saatava tieto ei kuitenkaan välttämättä kerro todellista koneen käyttövarmuuden tasoa. Käyttövarmuus voi oleellisesti muuttua koneen eliniän aikana. Takuuajaksolla ilmenee usein vikoja, jotka johtuvat asennusvirheistä, viallisista komponenteista tai muusta spesifikaatioista poikkeavista asioista. Näiden ns. lastentautien poistamiseen on keskitytty erityisen huolellisesti laatu järjestelmien ja testausmetodien kehityksen myötä. Luotettavuusjohtamisjärjestelmän yhteydessä huomio kiinnittyy koneen koko eliniän aikaiseen tiedonkeruuseen.

IEC 60300-2:ssa on tehtävä nimeltä ”luotettavuustietojen hankinta”, jonka mukaan ”suunnittelu- ja kehitysvaiheessa tuotteen testaamisen aikainen luotettavuustieto vioista ja sattuneista vikaantumisista pitäisi analysoida luotettavuusvaikutuksen määrittämiseksi. Luotettavuustiedon hankintaprosessin pitäisi jatkua kentältä tuotteista saatavaa luotettavuustietoa hyväksikäyttäen. Luotettavuustietoja pitäisi kerätä kentältä asennusjaksosta alkaen”.

Luotettavuustietojen lisäksi pitäisi standardin mukaan kerätä tietoja ympäristö- ja muista olosuhteista ja tuotteen rakenneosista, joita tarvitaan esimerkiksi myöhempisiin teknisiin ja tilastollisiin analyyseihin. Tietojen keruuseen, siirtoon ja varastointiin pitäisi luoda ja ylläpitää tehokkaita menettelytapoja ja työkaluja.

5.1 FRACAS

Luotettavuusjohtamisstandardeissa ei kuvata kovinkaan tarkasti käyttökokemustietojen takaisinkytkentää tuotekehitysprosessiin. Käyttökokemus- ja testautietojen kierrätystä tuotekehitysprosessiin kuvaa FRACAS (failure reporting, analysis and corrective action system) -järjestelmä (kuva 8).



Kuva 8. Yksinkertainen kaavio FRACAS-järjestelmästä.

Eräs kuvaus FRACAS-järjestelmästä löytyy US Armyn MIL-HDBK-2155:sta, käsikirjasta nimeltä *"Handbook for FRACAS"*. MIL-HDBK-2155 on käsikirjan muodossa oleva ohjeisto FRACASin soveltamisesta sotilaskäyttöön tarkoitettujen järjestelmien, laitteiden ja niihin liittyvien ohjelmistojen luotettavuuden ja kunnossapidon hallintaan. FRACAS on käsikirjan mukaan suljettu silmukka (closed loop), jossa sekä laitteiden viat että ohjelmistovirheet raportoidaan tiettyjen sääntöjen mukaan, viat ja virheet analysoidaan ja lisäksi suunnitellaan korjaavat toimenpiteet. MIL-HDBK:n mukaan FRACASia käytetään vain erilaisissa testitilanteissa ilmenneiden vikojen raportointiin, analysointiin ja korjaavien toimenpiteiden organisointiin; käyttötilanteissa tapahtuneet virheet eivät ole FRACAS-järjestelmässä korostetusti esillä. (Valkokari & Välisalo 1999)

5.2 Tiedonkeruu paperilomakkeilla

Työkoneyritykset tekevät yleensä itse tiedonkeruuta koneidensa toiminnasta. Tiedonkeruu liittyy toiminnan taloudellisen kannattavuuden seurantaan, mutta samalla kerätään usein tietoja koneiden korjauksista ja huolloista oman toiminnan kehittämiseksi. Työkoneneiden käyttäjien keräämät tiedot sisältävät monia tietoja, joita myös konevalmistaja voisi hyödyntää. Tällaisia tietoja ovat mm. koneiden varaosakulutuksien seuranta, työajat verrattuna tuottavuuteen, öljynvaihtovälit ja käyttöenergian kulutus. Usein yritykset keräävät niin tarkkaa tietoa, että se sinällään voi tyydyttää konevalmistajan tietotarpeet. Kun tiedonkeruuta asiakkaiden kanssa aloitetaan, heille pitää kertoa henkilökohtaisesti, mikä on tiedonkeruun päämäärä ja tarkoitus. Asiakkaiden tulee myös saada henkilökohtaista palautetta oman tiedonkeruunsa hyödyllisyydestä ja käyttökelpoisuudesta. Ko-

neurakoitsijoita kiinnostavat oman koneen toimintaa kuvaavat tunnusluvut ja mahdollisesti jatkossa saatavat vertailuluvut muiden vastaavien koneiden toiminnasta.

Käyttövarmuustiedon kerääminen on yleensä toteutettu vihkon tai muun paperilomakkeen avulla. Monien, osin jopa samoja tietoja keräävien paperilappusten täytöstä aiheutuu helposti motivaatio-ongelmia. Ei siis ole mikään ihme, että käyttäjien puolelta paperipohjaisten seurantamenetelmien käyttö saa poikkeuksetta kielteisen arvion. Jos tiedonkeruuta aiotaan toteuttaa paperisten lomakkeiden avulla, ensi vaiheessa olisikin syytä keskustella asiakkaiden oman seurannan ja konevalmistajan haluamien tietojen keräämisen yhdistämisestä.

Tiedot kerätään yleensä työpäivittäin tai työvuoroittain, mikäli kone on useammalla käyttäjällä vuorotyössä. Yleisimmät kerättävät perusasiat ovat:

- päivämäärä
- koneen työpaikan tunnistetiedot
- käyttäjän tunnistetiedot
- olosuhdetiedot (lämpötila, maaston ominaisuudet, muut erityisolosuhteet)
- tuottavuustiedot (esimerkiksi m³, tn)
- työvuoron pituus
- korjaus- tai huoltotöihin käytetty aika
- muut keskeytykset eriteltyinä (siirrot, työn suunnittelu, tauot yms.).

Edellä mainittujen perustietojen lisäksi kerätään tarkempia tietoja vikaantumisista, kuten

- koneen käyttötunnit vikaantumisen tapahtuessa
- korjauksen tai huollon kuvaus (kohde, kunnossapitotyön tyyppi)
- vaihdetut osat
- korjaukseen liittyvät ajat (varaosan tai korjaajan odotusaika, vianetsintään kulunut aika, aktiivinen korjausaika).

Edellä mainittujen tietojen avulla saadaan laskettua huomattava määrä koneen toimintaa ja luotettavuutta kuvaavia tunnuslukuja: vikavälit, kunnossapitoajat, kunnossapidon viiveet, käytettävyys. Paperilomakkeilla tapahtuvaa tiedonkeruuta kehitettiin ja pilotoitiin yhteistyössä Timberjack Oy:n kehitysyhtiö Plustechin kanssa.

5.3 Käyttökokemustiedon keräämisen tulevaisuus

Tiedonkeruu paperilomakkeilla on hyvin työllistävää ja vaivalloista sekä käyttäjän että konevalmistajan taholla. Paperilomakkeiden käsittely ja tietojen syöttäminen sähköisessä muodossa luotettavuustietokantaan on työkonevalmistajan kannalta erittäin työlästä ja aikaa vievää. Jatkossa on selvää, että tiedonkeruun laajentuessa ja työkoneiden tietojärjestelmien kehittyessä paperilomakepohjainen tiedonkeruu pitää muuttua sähköiseen muotoon.

Joissakin työkoneissa on jo nykyään mahdollista seurata hyvinkin tarkasti koneen toimintaa ja tuottavuutta tietojärjestelmien kautta. Koneisiin on myös mahdollista asentaa tiedonkeruulaitteita, joilla voidaan automaattisesti kerätä tietoa koneen kuormituksista ja toimintatiloista työvuorojen aikana (kuva 9). Koneiden tietojärjestelmiä hyödyntämällä ainakin osa kirjauksista saadaan tehtyä automaattisiksi. Tällaisia tietoja ovat koneen tunnistetiedot, tapahtumien ajankohdat; päivämäärät ja kellonajat sekä koneen eri toimintatilat, joissa se on päivän aikana työskennellyt. Jos koneen käyttäjä on koneen välittömässä läheisyydessä, esimerkiksi ohjaamossa, käyttäjän tiedot voidaan antaa järjestelmään vaikkapa älykorttien välityksellä.

Täysin automaattista seurantaan tuskin saadaan toteutettua lähitulevaisuudessa. Ihmisten tekemät kirjaukset ovatkin vielä välttämättömiä luotettavien vika- ja häiriötietojen hyödyntämisen kannalta: käyttäjän tekemä kirjaus saattaa olla ainoa tie, jolla vikaantumismekanismi voidaan varmasti päätellä valmistajalle toimitetuista tiedoista.

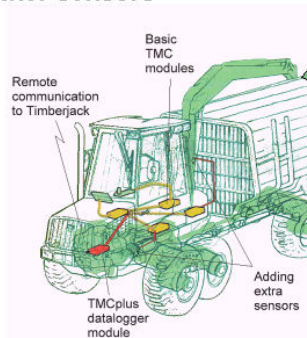
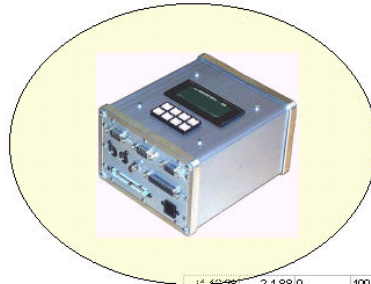
Kattavinta käyttökokemustietoa saadaan yhdistämällä automaattinen ja manuaalinen tiedonkeruu. Automaattisella tiedonkeruulla saadaan kerättyä puolueettomasti tietoa koneen käyntiajoista ja mittaussuureista, joiden avulla voidaan osoittaa esimerkiksi ylikuormitustilanteet. Hälytyksien perusteella voidaan melko tarkasti myös päätellä, mistä kone on vikaantunut. Manuaalisella tiedonkeruulla saadaan tietoa siitä, millaisina oireina koneen vikaantuminen on käyttäjälle näkynyt, sekä tietoja tauoista, jotka eivät johdu koneen toimintakelvottomuudesta vaan esimerkiksi ennakoivasta kunnossapidosta.

Jotta tiedonkeruu suoraan tietojärjestelmiin olisi mahdollista, tietojen kirjaaminen pitää tehdä mahdollisimman vaivattomaksi ja nopeaksi. Tähän päästään vain kirjausjärjestelmän käyttöliittymää kehittämällä. Yksi melko vähän käytetty mahdollisuus käytön helpottamisessa on kuvien ja grafiikan käyttö kohteen tunnistamisessa; korjatun tai huolletun kohteen osoittaminen kuvasta on huomattavasti helpompaa ja nopeampaa kuin saman asian selittäminen ainoastaan kirjallisin keinoin. Samalla kirjallisen selvityksen tulkintavirheiden osuus saadaan pienenemään. Tietojärjestelmien avulla olisi lisäksi mahdollista toteuttaa esimerkiksi varaosatilaukset suoraan työpaikalla olevasta koneesta.



INPUTS

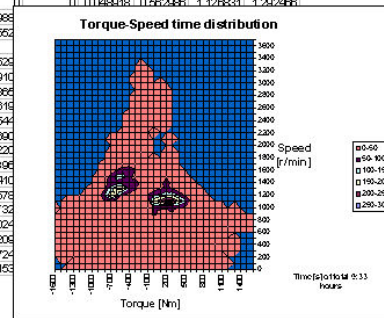
- 1. CAN-data from
 - TMC
 - TJ 3000
- 2. Additional sensors
 - crane
 - transmission
 - pumps
- Other sensors



Time	Speed [r/min]	Torque [Nm]	...
14-12-28	2.188	0	
	-1600	0	
	-1400	0,13685	
	-1300	0,07562	
	-1200		
	-1100	0,12502	
	-1000	0,42910	
	-900	0,06880	
	-800	0,15616	
	-700	0,24544	
	-600	0,26600	
	-500	0,62220	
	-400	2,4890	
	-300	1,23410	
	-200	0,51575	
	-100	2,3732	
	0	8,23024	
	100	2,80200	
	200	2,37724	
	300	2,61155	

OUTPUTS

- 1. Worktime
- 2. Loadrate
 - crane
 - transmission
 - pump
 - eg.
- 3. Productivity



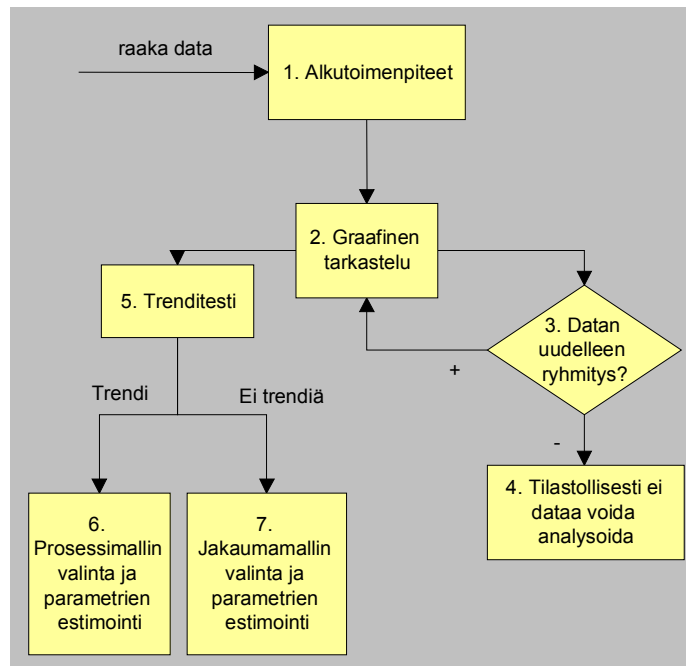
Timberjack

Kuva 9. Projektikonsortion aikana Plustech Oy kehitti automaattisen CAN-väyläteknologiaa hyödyntävän tiedonkeruulaitteen, PlusCANin. Kuvassa PlusCANin toimintaperiaate.

5.4 Data-analyysit

Kun luotettavuustieto saadaan siirrettyä muodossa tai toisessa koneen käyttöpaikalta konevalmistajan käytettäväksi, siitä voidaan tehdä monenlaisia analyysejä. Yksinkertaisimmillaan analyysit ovat edellä mainittujen tunnuslukujen laskemista tiettyihin luokitteluihin perustuen. Tietoja voidaan luokitella koneen teknisten osajärjestelmien tai esimerkiksi toiminnallisen mallin avulla.

Tarkempia tuloksia vikaantumiskäyttäytymisestä saadaan erilaisten tilastollisten analyysimenetelmien avulla. Tilastomatemattisen analyysin tavoitteena on luoda tilastollinen malli tarkasteltavan kohteen käyttäytymisestä. Tilastollisin menetelmin voidaan esittää esimerkiksi vikataajuusfunktio, joka on vikaantumisilmiötä kuvaava tilastomatemattinen malli. (Salmikuukka 1999). Käyttökokemustiedon tilastollisen analyysin vaiheet on esitetään yksinkertaistettuna kuvassa 10.



Kuva 10. Käyttökokemustiedon tilastollisen analyysin vaiheet (Bergman, 1997).

Kvantitatiiviselle analyysille on tunnusomaista pyrkimys täsmällisiin ja yksiselitteisiin tuloksiin. Tiedonkeruuprosessin merkitys kvantitatiivisten analyysien onnistumisessa on suuri. Tiedonkeruuta suunniteltaessa olisikin kyettävä arvioimaan, kuinka tietoja tullaan analysoimaan ja mitä vaatimuksia suoritettavat analyysit asettavat datalle. (Salmikuukka 1999)

6 Luotettavuusjohtaminen alihankintayrityksissä

IEC 60300 -sarjan standardeissa huomioidaan myös konevalmistajien alihankkijoiden rooli luotettavuusjohtamisessa. IEC 60300-2:n kohta ”Alihankittavat tuotteet” edellyttää, että toimittajan on varmistettava

- vaatimuksien kohdistaminen alihankkijan toimittamille osille
- että toimitettavien osien vaatimukset vastaavat riittävästi koko toimitettavalle tuotteelle asetettuja vaatimuksia.

Jotta alihankkijoille voitaisiin kohdistaa luotettavuusvaatimuksia, pitää koko tuotteen luotettavuusvaatimusten olla tiedossa ja vaatimusten pitää olla ositettuja alihankkijan tuotteelle. Jotta standardin mukainen toiminta olisi mahdollista, tulee konevalmistajan toimia läheisessä yhteistyössä alihankkijan kanssa. Luotettavuusjohtaminen pitäisi pitkällä tähtäimellä saattaa myös osaksi konevalmistajien lähellä toimivien alihankkijoiden jokapäiväistä toimintaa. Luotettavuusjohtamisjärjestelmän käyttöönotolla alihankkijat voivat vastata konevalmistajan taholta asetettuihin luotettavuusvaatimuksiin ja hallita valmistamiensa tuotteiden luotettavuusominaisuuksia.

Toinen alihankkijatyypistä toimintoa ohjaava tehtävä on ”Asiakkaan hankkimat tuotteet”. Tällä kohdalla tarkoitetaan sitä, että tapauksissa, joissa asiakas hankkii osia toimitettavaan tuotteeseen, toimittajan pitää vaatia asiakasta toimittamaan (IEC 60300-2)

- todiste siitä, että osa on suunniteltu ja valmistettu tai tullaan suunnittelemaan ja valmistamaan luotettavuusjohtamisjärjestelmän mukaisin ehdoin,
- asiakkaan hankkimaa osaa koskeva asianmukainen luotettavuustieto ja informaatio, jota tarvitaan lopputuotteen luotettavuusanalyysiin ja arviointeihin,
- kaikkien osaa koskevien mahdollisten ongelmien tunnistus.

Työkonesektorilla tällainen tilanne tulee vastaan harvoin. Yleensä asiakkaan toivomukset täytetään tehtaalla mahdollisimman pitkälle, jolloin vastuu modifikaatioiden luotettavuudesta on konevalmistajalla.

7 Testaukset osana luotettavuusjohtamisjärjestelmää

Seuraavassa Nordberg-Lokomo Oy:n kokemuksia uusien testausmenetelmien käytöstä osana järjestelmällistä tuotteiden luotettavuuden kehittämistä.

7.1 Työkoneiden kunnonvalvonta

Juhamatti Heikkilä, Nordberg-Lokomo Oy:

Kunnonvalvonnalla tarkoitetaan aistien tai mittalaitteiden avulla tapahtuvaa koneiden käyttökunnon seurantaa, jonka tavoitteena on koneiden käytettävyyden parantaminen. Mittauslaitteiden ja -menetelmien kehittyminen on pienentänyt mittausten suorittajien kokemuksen merkitystä ja näin ollen parantanut tulosten luotettavuutta. Työkoneympäristöön soveltuvia mittausmenetelmiä ovat

- öljyanalyysit (partikkelilaskenta)
- värähtelymittaukset (spektripohjainen kunnonvalvonta)
- dynaamiset painemittaukset
- lämpötilamittaukset
- sähköjärjestelmän mittaukset.

Kunnonvalvonta tarjoaa useita etuja etenkin liikkuvissa työkoneissa, joissa kuormitus ja olosuhteet vaihtelevat huomattavasti ja komponenttien elinikä on vaikeasti määriteltävissä. Kunnonvalvonnan avulla vikaantuminen havaitaan jo hyvin aikaisessa vaiheessa, jolloin korjaaminen voidaan tehdä suunnitellusti. Varaosavarastojen tarve pienenee, koska varaosat ehditään tilata riittävän ajoissa. Kunnonvalvonnan avulla päästään eroon tarpeettomista osien vaihtamisista, koska korjauspäätökset perustuvat komponenttien todelliseen kuntoon. Kunnonvalvonnassa kerättävä tieto on myös erittäin hyödyllistä tuotekehitystoiminnalle.

Kunnonvalvonta paljastaa komponentin toimintaolosuhteissa tapahtuvat muutokset. Esimerkiksi vierintälaakerin asennusvirhe tai puutteellinen voitelu voidaan havaita mittaamalla, jolloin olosuhteiden korjaaminen estää komponentin ennenaikaisen kulumisen ja vikaantumisen. Kunnonvalvonta takuuajana vähentää huomattavasti takuukustannuksia, koska esimerkiksi asennusvirheestä tai kuljetusvauriosta johtuva nopeampi kuluminen voidaan havaita, ennen kuin se ehtii synnyttää pysyvän vaurion.

Kunnonvalvontamittaukset kannattaa aloittaa jo koekäyttövaiheessa. Tällöin saadaan tieto koneen lähtöarvoista sekä huomataan mahdolliset vialliset komponentit (esim. viallinen tai virheellisesti asennettu pumppu tai moottori). Suorittamalla mittaukset uudestaan koneen käyttöönoton yhteydessä havaitaan mahdolliset kuljetusvauriot.



Kuva 11. Nordberg-Lokomo on testannut värähtelymittausten toimivuutta liikkuvien murskauslaitosten kunnonvalvonnassa. Kuvassa Nordbergin suurin (LT160) sekä pienin (CC63) tela-alustainen murskauslaitos. Oikealla kehitysinsinööri Juhamatti Heikkilä suorittamassa kunnonvalvontamittausta.

Kunnonvalvonta ei ole aina helppoa. Ensinnäkin sopivan laitteiston hankkiminen kohtuulliseen hintaan edellyttää aktiivista tutkimustyötä. On selvitettävä, mitkä kohteet ovat niin kriittisiä, että niitä kannattaa mitata. Kriittiset komponentit voidaan määrittää esimerkiksi yksinkertaistetun vika- ja vaikutusanalyysin avulla. Toiseksi mittaustulosten oikea tulkitseminen edellyttää vertailupohjaa, jota voidaan saada joko aikaisemmista mittauksista tai vastaavista koneista tehdyistä mittauksista. Kolmanneksi mittausten suorittaminen voi olla joskus hyvin hankalaa tai jopa vaarallista. Niinpä mittaustaustausten etsintä ja järjestäminen edellyttävät selvitystyötä.

Käytettävyys- ja huoltosopimuksissa valmistaja takaa asiakkaalle tietyn käytettävyyden tai kapasiteetin, jonka saavuttamatta jääminen oikeuttaa asiakkaan korvauksiin. Kunnonvalvonnan avulla valmistaja voi merkittävästi pienentää omaa riskiään näissä sopimuksissa. Kunnonvalvonnasta voi jopa muodostua uusi palvelutuote, jota voidaan myydä koneen optiona lisävarusteiden tapaan.

7.2 Ostokomponenttien testaus

Rami Salminen, Nordberg-Lokomo Oy, Juhamatti Heikkilä, Nordberg-Lokomo Oy:

IEC:n luotettavuusjohtamisjärjestelmästandardien mukaan ”toimittajan pitää luoda ja ylläpitää todentamis-, kelpuutus- ja testausmenettelyjä komponenteille, joilla todenneetaan luotettavuusvaatimusten täytyminen”.

Liikkuivissa murskauslaitoksissa olevat komponentit joutuvat toimimaan hyvin vaativissa olosuhteissa. Useimmiten nämä olosuhteet ovat huomattavasti rasittavampia, kuin mihin komponenttivalmistajat ovat tuotekehityksessään varautuneet. Komponenttivalmistajien oma testaustoiminta ei yleensä ole riittävää murskauslaitosten vaatimuksia ajatellen.

Ulkoisia rasituksia, joille murskauslaitos altistuu, ovat värinä, iskut, pöly, lämpötila, ylikuorma ja kosteus. Sisäisiä rasituksia ovat hydraulijärjestelmän painepiikit, hydraulioiljyn lämpötila, öljyn likaisuus, sähköjärjestelmän jännitevaihtelut sekä teräsrakenteiden jännitysvaihtelut.

Systemaattisella ostokomponenttien testauksella saavutetaan mm. seuraavia etuja:

- Hankintavaiheessa voidaan testata useamman valmistajan komponentteja.
- Testitulosten perusteella komponenttivalmistajat voivat tehdä parannuksia tuotteisiinsa jo ennen ensimmäisiä toimituksia.
- Riittävä määrä kuormituskertoja voidaan saada nopeammin kuin kentällä tapahtuvassa testauksessa (esim. painekytkimen toimintakerrat).
- Testaustoiminnan esitteleminen asiakkaalle luo uskottavuutta tuotteiden luotettavuudelle.
- Testaustoiminta mahdollistaa tuotteiden kustannusten jatkuvan alentamisen ilman lisääntyviä takuukuluja.
- Takuukustannuksia voidaan alentaa merkittävästi.
- Osa testattavista komponenteista saatetaan saada veloitusetta testituloksia vastaan.

Testaustoiminnassa pyritään jäljittelemään komponenttiin kohdistuvia rasituksia laboratorio-olosuhteissa. Käytettävät testausmenetelmät valitaan aina tapauskohtaisesti riippuen komponentin tyypistä, sijoituspaikasta käyttökohteessa, valmistajan suosituksista sekä komponentin kriittisyydestä prosessin kannalta.

Tarve testaamiseen syntyy yleensä, kun

- otetaan käyttöön uudentyyppinen komponentti
- laitetaan vanha tunnettu komponentti sellaiseen sovellukseen, jonka olosuhteet poikkeavat merkittävästi vanhasta sovelluksesta,
- halutaan korvata vanha kalliimpi komponentti uudella edullisemmalla vaihtoehdolla tai halutaan korvata epäluotettava komponentti mahdollisimman nopeasti (esim. sarjatuotteen komponenttiongelman)
- halutaan varmistaa, vastaako toimittajan komponentti spesifikaatiota (reklamointimahdollisuus).

Nordberg-Lokomo Oy:n valmistamissa tela-alustaisissa murskauslaitoksissa on paljon ostokomponentteja. Hydraulikomponenteista testattavia ovat pumput, moottorit, ohjausventtiilit, sylinterit ja paineanturit, mahdollisesti myös letkut ja liittimet. Sähkökomponenteista generaattorin, sähkömoottorien ja erityisesti anturien testaamista voidaan ajatella.

Komponenttitestaus voidaan organisoida periaatteessa kahdella eri tavalla. Joko komponenttitoimittaja tekee tai teettää työkonevalmistajan vaatimat testit tai työkonevalmistaja tekee itse tai teettää yhteistyökumppaneilla haluamansa testaukset.

8 Käytettävyystakuut

Liikkuvia työkoneita valmistavan teollisuuden asiakaskunnan piirissä on viime aikoina alettu vaatia entistäkin luotettavampia laitteita. Asiakasyritykset ovat havahtuneet siitä tosiasiaista, että koneen vikaantumisen tapahtuessa suurimmat kustannukset eivät aiheuduakaan koneen saattamisesta takaisin toimintakuntoon, vaan usein ne aiheutuvat tuotannon menetyksistä, jotka kone toimimattomuudellaan aiheuttaa.

Tämä kehitys on johtanut siihen, että asiakkaat vaativat työkonevalmistajilta käytettävyystakuuta. Käytettävyystakuulla tarkoitetaan sellaista takuuta, jossa valmistaja takaa (tiettyjen ehtojen puitteissa) koneen toiminnan tietyllä käytettävyyssprosentilla tietyissä tuotanto-olosuhteissa.

Koska koneen käytettävyyden taso on erittäin riippuvainen kunnossapito-organisaation toiminnasta, on liikkuvan työkoneen käytettävyystakuu käytännössä yhdistettävä huoltosopimukseen. Kun kone on huoltosopimuksen piirissä, kunnossapitajat ovat paremmin koulutettuja sekä varsinaiseen kunnossapitotyöhön että koneen käytettävyysslaskentojen kannalta oleellisten tietojen hankintaan. Näin saatavat tiedot ovat konevalmistajan taholla arvokkaita huolto-organisaation toiminnan (esim. uusien vastaavien sopimusten) ja tuotekehityksen kannalta.

Käytettävyystakuun myöntäminen ei ole tällä hetkellä rutiinia työkonevalmistajien keskuudessa. Kuitenkin käytettävyystakuun määrittelyistä riippuu joskus hyvinkin pitkälle kaupan kannattavuus. Tästä syystä käytettävyystakuun myöntämisen tulee olla ohjeistettua. Määrämuotoisen menettelyn avulla huoltosopimuksessa ja siihen liittyvässä käytettävyystakuussa mainitut asiat (määritelmät, rajoitukset, vastuut, velvollisuudet, bonukset, sanktiot) tulevat huomioiduiksi.

Kun huoltosopimusten ja niihin liittyvien käytettävyystakuiden myöntäminen on prosessoitu ja niihin liittyvät taloudelliset riskit ovat hallinnassa, voidaan ajatella, että jokaisen uuden konemallin suunnittelun yhteydessä luodaan edellytykset huoltosopimuksen solmimiseksi. Huoltotoiminnasta voi parhaimmillaan kasvaa uusi ja kannattava liiketoiminnan alue, joka täydentää konevalmistajan tuotevalikoimaa ja siten parantaa yrityksen kilpailukykyä.

8.1 Tarvittavat tiedot

Pääsääntönä työkoneelle myönnettävässä käytettävyystakuussa on se, että aina käytettävyystakuun myöntämisen yhteydessä asiakkaalle myydään myös huoltosopimus. Konevalmistajan on tällöin selvitettävä

- käytettävyytstakuun kohde ja rajaukset
- asiakkaan tuotantotarve (numeroissa ilmaistuna) ja tuotantoprosessi
- mitkä ovat asiakkaan normaalit työajat ja mitä poikkeuksia niissä on
- millaiset liikenneyhteydet koneen käyttöpaikalle ovat käytettävissä
- käytettävyytstakuuvaatimus; mitä asiakas tällä todella tarkoittaa, voidaanko vaatimus esittää numeroina
- onko käytettävyytstakuun myöntäminen kaupan toteutumisen ehto
- myönnettävän käytettävyytstakuujakson pituus
- taattava käytettävyyssarvo ja rajoitukset
- varaosien hankintamenettelyt, mahdolliset varaosapaketit ja niiden hinta
- kriittisten varaosien varaston ylläpitomaksu
- kunnossapito- ja seurantasopimuksen hinta
- koulutuksen aiheuttamat matkakustannukset
- tarveajan määrittely ja sen rajoitukset
- viiveet ja niiden vaikutus käytettävyyden laskentaan
- sopimussanktiot tai bonukset
- muut tekijät (esim. kauppahinta).

Mikäli aikaisempia tapauksia on tiedossa, otetaan ne selville ja verrataan niitä ja työn alla olevaa tapausta keskenään. Mikäli on havaittavissa samankaltaisuutta mm. tuotantoprosessin ja olosuhteiden suhteen, sitä voidaan käyttää hyväksi uuden sopimuksen muotoilussa.

Käytettävyytstakuun alaiselle koneelle on aina järjestettävä erityinen tiedonkeruu. Tiedonkeruu voidaan jakaa kolmeen pääalueeseen: *kunnonvalvontaan*, jossa tutkitaan määrittäytyjen komponenttien kuntoa erityisten mittalaitteiden avulla, *automaattiseen tiedonkeruuseen*, jolla tarkoitetaan ns. mustan laatikon asentamista koneeseen prosessi- ja mittaustietojen tallentamista varten, sekä *manuaaliseen tiedonkeruuseen*, jossa käyttäjät ja kunnossapitäjät tekevät merkintöjä koneen toiminnasta ja suoritetuista kunnossapitotöistä joko paperikaavakkeille tai tietojärjestelmiin.

Käytettävyytstakuun alaisen koneen mukana on hyvä myydä kulloinkin erikseen määri-

teltävä määrä varaosia varastossa pidettäväksi työkohteessa. Samalla määritellään menettelyt, joilla varaosavarastoa pidetään yllä.

Mahdollisuudet käytettävyystvaatimusten delegointiin alihankkijoille tulee selvittää, ja samalla tulee määrittää delegoinnista aiheutuvat kustannukset.

Käytettävyystakuujaksolla tarvitaan normaalia enemmän konevalmistajan henkilötyöresursseja erilaisten seurantamenettelyjen ja analyysien suorittamiseen. Takuujakson pituudesta ja tarvittavan seurannan intensiivisyydestä johtuen henkilötyömäärä voi vaihdella huomattavasti.

Jos henkilöresursseja tarvitaan normaalia enemmän käytettävyystakuun alaisen koneen suunnittelussa, ne tulee määrittää ennen sopimuksen solmimista. Mikäli käytettävyystakuun vaatimusten takia tuotteeseen joudutaan vaihtamaan uusia komponentteja, niiden määrä tulee selvittää.

Käytettävyystakuusopimuksessa luvatussa käytettävyyden saavuttamatta jäämisestä aiheutuvat sanktiot ja tason ylittämisestä johtuvat bonukset tulee tarkentaa ennen sopimuksen solmimista niin, ettei ristiriitatilanteita pääse syntymään.

8.2 Käytettävyyden ja hinnan määrittäminen

Edellä mainittujen tehtävien avulla saatujen tietojen perusteella määritetään koneen käytettävyyden taso ja sen saavuttamiseen liittyvät ehdot. Mikäli käytettävyyden taso ei ole näillä ehdoilla mahdollinen, määritellään käytettävyyden taso ja sen ehdot uudelleen. Kun iterointikierroksia on tehty riittävä määrä ja käytettävyyden taso on saatu ehdoiltaan sopivaksi, määritetään käytettävyyden tason kokonaishinta.

Kun taattava käytettävyyden taso, ehdot ja hinta on määritetty, valmistellaan käytettävyyden takuuteksti. Kun kauppa on päätetty, aloitetaan kaupan kohteena olevan laitteen suunnitteluprojekti projektikohtaista luotettavuusjohtamissuunnitelmaa noudattaen.

9 Yhteenveto

Luotettavuuden kehittäminen ei ole uusi asia työkoneteollisuudessa. Suunnittelijat ovat aina pyrkineet suunnittelemaan mahdollisimman tehokkaan, toimintavarmen ja kunnossapidettävän koneen tai sen osajärjestelmän annettujen resurssien rajoissa. Yrityksen tuotetuki ja huolto pyrkivät samalla varmistamaan, että koneen tukipalvelut ovat kunnossa, kun tuote lasketaan markkinoille.

Luotettavuusjohtamisen avulla kaikki tuotteen käyttövarmuuteen liittyvät osatekijät pyritään ottamaan huomioon koko tuotteen elinkaaren aikana, ei vain tuote- tai tuotetuen suunnittelussa. Tärkein asia työkoneiden luotettavuuden järjestelmällisessä kehityksessä on toimiva kenttäpalautejärjestelmä. Työkoneteollisuudessa käyttökokemustiedon saaminen kentältä korostuu, koska valmistajalla ei ole ajallisia eikä taloudellisia resursseja pitkiin testijaksoihin, joissa tuotteen luotettavuusominaisuuksien kehittymistä pystyttäisiin seuraamaan. Lisäksi koneiden työympäristö vaihtelee suuresti. Luotettava käyttökokemustieto on avain järjestelmälliseen luotettavuuden kehittämiseen. Ilman sitä koneiden käyttövarmuuden kehittäminen on arvailujen varassa.

Kun koneiden käyttövarmuuden taso on kerätyn käyttökokemustiedon avulla selvitetty, voidaan koneille asettaa luotettavuustavoitteita. Vain tavoitteita asettamalla tuotekehitys- tai tuoteparannusprojekteissa voidaan pyrkiä kohti käyttövarmempia laitteita. Työkonesovelluksissa luotettavuustavoitteet tulee sitoa tiettyihin ympäristöolosuhteisiin, koska käyttöympäristön ominaisuudet vaikuttavat oleellisesti koneen käyttövarmuuteen.

Jotta käyttövarmuustavoitteet voitaisiin saavuttaa, tulee suunnittelussa käyttää apuna tarpeelliseksi katsottuja analyysi- ja testausmenetelmiä. Luotettavuusanalyysimenetelmien soveltaminen suunnitteluprosessin työkaluina on kokemusten mukaan hyvinkin mahdollista. Analyysimenetelmien käyttöönotto ei ole välttämättä lisäresursseja vaativa tehtävä; analyysija voidaan käyttää tehostamaan tai kokonaan korvaamaan joitakin nykyisin käytössä olevia katselmuskäytäntöjä.

Suuntaus kohti huoltosopimuksia ja niiden mukana tulevia käytettävyydestä johtaa siihen, että konevalmistajien tulee tietää ja hallita omien tuotteidensa käytettävyydestä. Luotettavuusjohtamisen käyttöönoton avulla voidaan pienentää huoltosopimukseen liittyvää taloudellista riskiä ja parhaimmillaan luoda uusi, tuotetarjontaa täydentävä palvelutuote, joka on konevalmistajalle kannattava ja tuottaa lisäarvoa konevalmistajan asiakkaalle.

Luotettavuusjohtaminen on laatujohtamisen ja -järjestelmän laajennus samaan tapaan kuin ympäristöjohtaminen on tällä hetkellä. Tulevaisuudessa luotettavuusjohtaminen lienee työkoneteollisuudessa samanlainen kilpailutekijä kuin laatujohtaminen oli aiemmin.

Lähdeluettelo

Bergman, E. 1997. Korjattavien järjestelmien vikatietojen tilastollinen käsittely. Teoksessa: Holmberg, K. Käyttövarmuus kilpailutekijänä. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT. S. 39–51. (VTT Symposium 175.) ISBN 951-38-4566-4

Rouhiainen, V. 1998. Suomen käyttövarmuus- ja luotettavuusalueen standardisointi osana kansainvälistä standardisointia. Teoksessa: Holmberg, K. Käyttövarmuuden ja elinjaksotuoton hallinta. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT. S. 19–28 (VTT Symposium 188.) ISBN 951-38-5261-X

SAE J817-2. Surface vehicle information report. Engineering design serviceability guidelines – construction and industrial machinery – maintainability index – off road machines. Society of automotive engineers (SAE). 13 s.

Salmikuukka, J. 1999. Käyttövarmuuden hallintamenetelmät. Helsinki: Metalliteollisuuden keskusliitto MET. 28 s. (12/99.) ISBN 951-817-717-1

Salminen, R. 2000. Murskauslaitosten ostokomponenttien testaus toiminnan kehittäminen (Insinööri työ). 100 s. Luottamuksellinen.

SFS-EN 60300-1. Luotettavuuden hallinta. Osa 1: Luotettavuusjohtaminen. Suomen standardisoimisliitto SFS. 24 s.

SFS-EN 60300-2. Luotettavuuden hallinta. Osa 2: Luotettavuusjohtamisjärjestelmän rakenneosat ja tehtävät. Suomen standardisoimisliitto SFS. 55 s.

SFS-IEC 50(191) Sähköteknillinen sanasto. Suomen standardisoimisliitto SFS. 143 s.

Valkokari, P. & Välisalo, T. 1999. Failure reporting, analysis and corrective action system – kirjallisuustutkimus. Tampere: VTT Automaatio. 39 s. (RIS B004.)

Virtanen, S. 1996. Käyttövarmuus tuotesuunnittelussa - suunnitteluvaatimusten määrittäminen. Espoo: Teknillinen korkeakoulu. 92 s. (B 20.) ISBN 951-22-3267-7

Välisalo, T. 1999. Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi tuotekehitysprosessissa. Suoritusohjeet luotettavuuden analysointiin laite-/komponenttitasolla VVKA:lla. Tampere: VTT Automaatio. 23 s. (RIS B006.)

Välisalo, T. 2000. Potentiaalisten ongelmien analyysi (POA) tuotekehitysprosessissa. Suoritusohjeet työkoneiden luotettavuuden analysointiin POA:lla. Tampere: VTT Automaatio. 26 s. (RIS B011.)

Liite A. Luotettavuusjohtamiseen liittyvät IEC 60300 -sarjan standardit tällä hetkellä

Tällä hetkellä standardiperheeseen kuuluvat IEC:n WWW-sivujen (<http://www.iec.ch>) mukaan seuraavat standardit:

- IEC 60300-1 (1993-04) Dependability management - Part 1: Dependability programme management
- IEC 60300-2 (1995-12) Dependability management - Part 2: Dependability programme elements and tasks
- IEC 60300-3-1 (1991-11) Dependability management - Part 3: Application guide - Section 1: Analysis techniques for dependability: Guide on methodology
- IEC 60300-3-2 (1993-10) Dependability management - Part 3: Application guide - Section 2: Collection of dependability data from the field
- IEC 60300-3-3 (1996-09) Dependability management - Part 3: Application guide - Section 3: Life cycle costing
- IEC 60300-3-4 (1996-08) Dependability management - Part 3: Application guide - Section 4: Guide to the specification of dependability requirements
- IEC 60300-3-6 (1997-11) Dependability management - Part 3: Application guide - Section 6: Software aspects of dependability
- IEC 60300-3-7 (1999-05) Dependability management - Part 3-7: Application guide - Reliability stress screening of electronic hardware
- IEC 60300-3-9 (1995-12) Dependability management - Part 3: Application guide - Section 9: Risk analysis of technological systems
- IEC 60300-3-11 (1999-03) Dependability management - Part 3-11: Application guide - Reliability centred maintenance

Suomennettuina standardeja edellä mainituista IEC-standardeista ovat:

- SFS-ISO 9000-4 EN 60300-1: Luotettavuuden hallinta. Osa 1: Luotettavuusjohtaminen
- SFS-EN 60300-2: Luotettavuuden hallinta. Osa 2: Luotettavuusjohtamisjärjestelmän rakenneosat ja tehtävät.

Seuraavat uudet standardit tai olemassa olevien muutokset ovat tekeillä tämän raportin julkaisuhetkellä:

- IEC 60300-1 Ed. 2.0 Dependability management - Part 1: Dependability programme management and guidelines for its applications
- IEC 60300-2 Ed. 2.0 Dependability management - Part 2: Dependability programme elements and tasks
- IEC 60300-3-1 Ed. 2.0 Revision of IEC 60300-3-1: Dependability management - Part 3-1: Application guide - Analysis techniques for dependability - Guide on methodology
- IEC 60300-3-10 Ed. 1.0 Dependability management - Part 3-10: Application guide - Maintainability and maintenance support
- IEC 60300-3-12 Ed. 1.0 Dependability management - Part 3-12: Application guide - Integrated logistic support
- IEC 60300-3-3 Amd.1 Ed. 1.0 Supporting information to IEC 60300-3-3 - Dependability management - Part 3-3: Application guide - Life cycle costing
- IEC 60300-3-5 Ed. 1.0 Dependability management - Part 3-5: Application guide -Reliability test conditions and statistical test principles (Revision of IEC 60605-1)

Liite B. Projektikohtaiset luotettavuusjohtamisjärjestelmän rakenneosat ja tehtävät (IEC 60300-2)

Luotettavuusjohtamissuunnitelman tehtävät suhteessa tuotteen elinkaaren vaiheisiin (SFS-EN 60300-2)

ELEMENTTI/TEHTÄVÄ	TUOTTEEN ELINKAAREN VAIHE						
	STD:n kohta	Konsepti- ja määrittelyvaihe	Suunnittelu- ja kehitystyö	Tuotantovaihe	Asennusvaihe	Käyttö- ja kunnossapitovaihe	Tuotteen poistaminen käytöstä
SUUNNITTELU JA JOHTAMINEN							
Luotettavuusjohtamissuunnitelmat	6.1.1						
Projektiin päätösten hallinta	6.1.2						
Jäljitettävyyden hallinta	6.1.3						
Tuotemuutosten hallinta	6.1.4						
SOPIMUSKATSELMUS JA YHTEYDENPITO ASIAKKAASEEN							
Sopimuskatselmus	6.2.1						
Johdon edustaja	6.2.2						
LUOTETTAVUUSVAATIMUKSET							
Luotettavuusvaatimusten spesifointi	6.3.1						
Vaatimusten tulkinta	6.3.2						
Vaatimusten osittaminen	6.3.3						
SUUNNITTELU							
Toimintavarmuuden suunnittelu	6.4.1						
Kunnossapidettävyyden suunnittelu	6.4.2						
Kunnossapitovarmuuden suunnittelu	6.4.3						
Testaustekniikka	6.4.4						
Inhimillisten tekijöiden suunnittelu	6.4.5						
ULKOPUOLELTA OSTETTAVAT TUOTTEET							
Alihankittavat tuotteet	6.5.1						
Asiakkaan hankkimat tuotteet	6.5.2						
ANALYSOINTI, ENNUSTAMINEN JA KATSELMOINTI							
Vika- ja vaikutusanalyysi	6.6.1						
Vikapuuanalyysi	6.6.2						
Rasitus- ja kuormitusanalyysi	6.6.3						
Inhimillisten tekijöiden analyysi	6.6.4						
Ennusteet	6.6.5						
Vaihtoehtojen analyysi	6.6.6						
Riskianalyysi	6.6.7						
Suunnittelukatselmus	6.6.8						
TODENTAMINEN, KELPUUTTAMINEN JA TESTAAMINEN							
Todentamis, kelpuus ja testisuunnittelu	6.7.1						
Eliniän testaaminen	6.7.2						
Luotettavuuden testaaminen	6.7.3						
Toimintavarmuuden kasvun testaaminen	6.7.4						
Tuotantotestaaminen	6.7.5						
Hyväksymistestaaminen	6.7.6						
Toimintavarmuuden rasituskarsinta	6.7.7						
ELINJAKSON KUSTANNUSSUUNNITELMA							
Elinjakson kustannussuunnitelma	6.8						
KÄYTÖN JA KUNNOSSAPITOVARMUUDEN SUUNNITTELU							
Kunnossapitovarmuuden suunnittelu	6.9.1						
Asennus	6.9.2						
Tukipalvelut	6.9.3						
Tuen suunnittelu	6.9.4						
Varaosien hankinta	6.9.5						
PARANNUKSET JA MUUTOKSET							
Parannusohjelmat	6.10.1						
Muutosten valvonta	6.10.2						
KÄYTTÖKOKEMUSPALAUTE							
Luotettavuustietojen hankinta	6.11.1						
Luotettavuustietojen analyysi	6.11.2						

Liite C. Luotettavuusjohtamisjärjestelmän rakenneosat ja tehtävät työkoneteollisuudessa

Standardilainaukset on otettu IEC 60300-1 ja IEC60300-2 -standardien suomennoksista SFS-EN 60300-1 ja SFS-EN 60300-2

1. Projektista riippumatta toteutettavat luotettavuusjohtamisjärjestelmän tehtävät

1.1. Luotettavuusjohtamisjärjestelmän soveltaminen käytäntöön

SFS-EN 60300-1: ”Toimittajan on kyettävä soveltamaan käytäntöön luotettavuusjohtamisjärjestelmää, jonka tehtävät on valittu standardin IEC 60300-2 perusteella, varmistaakseen, että määritellyt luotettavuusvaatimukset saavutetaan. Luotettavuusjohtamisjärjestelmän rakenne ja osat sekä yksityiskohtaiset kuvaukset luotettavuusominaisuuksien määrittelyssä, seurannassa ja arvioinnissa käytetyistä menettelyohjeista, analyysimenetelmistä, työkaluista ja tilastollisista periaatteista dokumentoidaan.”

Toimittajan, eli tässä tapauksessa työkonevalmistajan, pitää pystyä soveltamaan luotettavuusjohtamisjärjestelmää käytännössä. Koska standardissa viitataan projektikohtaisesti sovellettaviin tehtäviin, tulee konevalmistajalla olla valmiudet tarvittaessa suorittaa 60300-2-standardissa lueteltuja tehtäviä.

Luotettavuusjohtamisjärjestelmän rakenne, toiminta ja vastuut tulee dokumentoida samaan tapaan, kuin laatujärjestelmänkin rakenne on kuvattu. Erillistä dokumenttia ei luotettavuusjohtamisjärjestelmästä pidä tehdä, vaan sitä koskevat periaatteet ja ohjeet tulee sisällyttää laatujärjestelmän ohjeistuksiin.

1.2. Menetelmät

SFS-EN 60300-1: ”Toimittajalla on oltava käytettävissään tehokkaat tilastolliset ja muut asianmukaiset kuvailevat ja määrälliset menetelmät ja mallit, jotka ovat tarkoituksenmukaisia tuotteen luotettavuusominaisuuksien ennustamisessa, analysoinnissa ja estimoinnissa. Kaikille näitä menetelmiä käyttäville henkilöille on laadittava ja toteutettava erityiset koulutusohjelmat.”

Työkonevalmistajalla tulee olla riittävästi tietotaitoa, jotta luotettavuusjohtamisjärjestelmässä mainitut tehtävät suorittaa voidaan tarpeen vaatiessa. Toimialalla tarkoituksenmukaiset luotettavuusominaisuuksien analysointimenetelmät tulee dokumentoida ja ohjeistaa ja niiden raportointikäytännöt tulee yhtenäistää esimerkiksi laatujärjestelmän ohjeiden avulla. Samalla tulee järjestää riittävä määrä koulutusta henkilökunnalle sekä kvantitatiivisten (määrällisten, esim. data-analyysien) että kvalitatiivisten (laadullisten, esim. vika-vaikutusanalyysin) käytöstä ja mahdollisuuksista.

1.3. Luotettavuustietopankit

SFS-EN 60300-1: ”Toimittaja luo ja pitää yllä testaus- tai käyttökokemuksiin tai molempiin perustuvat luotettavuustietopankit, joista saadaan tietoja tuotesuunnittelun tukemiseksi, tuotteen parantamiseksi ja sen kunnossapitovarmuuden suunnittelemiseksi tai joita muuten tarvitaan luotettavuusjohtamisjärjestelmässä.”

Työkonevalmistajilla on varsin paljon luotettavuuteen liittyvää tiedonkeruuta. Tiedot ovat kuitenkin varsin hajallaan, ja niiden hyödyntäminen on vaikeata. Yhtenäistämällä eri järjestelmien sisältämät tiedot yhdeksi yhtenäiseksi tietopankiksi voidaan saada aikaan riittävä määrä dataa, jota voidaan analysoida ja edelleen käyttää luotettavuusvaatimusten perustana. Tietojärjestelmien kehittyessä ja tuotetiedon hallinnan parantuessa tähän suuntaan ollaan jo tällä hetkellä menossa.

1.4. Luotettavuustiedostot

SFS-EN 60300-1: ”Kaikki dokumentit, jotka sisältävät luotettavuusvaatimuksia ja vaatimusten osittamista, vaatimuksia luotettavuusjohtamissuunnitelmista ja luotettavuusanalyysien ja ennusteiden tuloksia, luotettavuustestien ohjeita ja tuloksia sekä käyttöolosuhteissa saatujen kokemusten analysointitallenteita, säilytetään tuotteen oletetun elinajan kannalta tarkoituksenmukaisen ajan. Luettelo asiaankuuluvista dokumenteista ja niiden muutoksista luodaan ja pidetään yllä standardin ISO 9001 kohdan 4.5 mukaisesti.”

Yleensä työkonevalmistajilla on toimiva laatujohtamisjärjestelmä, joka ohjaa tiedostojen ja dokumenttien tallentamista määrämudossa määrättyyn paikkaan. Luotettavuusjohtamista käsittelevien dokumenttien tallentamiseen on siis jo olemassa valmis järjestelmä. Luotettavuusasioita käsitteleviä dokumentteja pitää säilyttää yhtä kauan kuin muitakin projektien asiakirjoja.

2. Projektikohtaiset luotettavuusjohtamisjärjestelmän tehtävät

Kaikkia seuraavassa mainittuja tehtäviä ei standardin mukaan pidä toteuttaa jokaisessa tuotekehitysprojektissa, vaan tehtäväpaletista tulee valita sellaiset tehtävät, jotka suunnittelun kohteena olevan tuotteen luotettavuusvaatimusten saavuttamiseen tarvitaan.

2.1 Suunnittelu ja johtaminen

Luotettavuusjohtamissuunnitelmat SFS-EN 60300-2: ”Luotettavuusjohtamissuunnitelma on johtamisen, suunnittelun ja valvonnan perusasiakirja, joka kuvaa luotettavuusjohtamisjärjestelmän toimeenpanon.”

Luotettavuusjohtamissuunnitelman tulee olla olennainen osa projektisuunnitelmaa, jos luotettavuusjohtamista sovelletaan. Määrittelyvaiheessa luotettavuusasioista ovat vastuussa suunnittelu- ja johtamispäälliköt. Projekteista ovat vastuussa projektipäälliköt, jotka edelleen delegoivat varsinaiset luotettavuusjohtamissuunnitelman tehtävät eteenpäin.

Projektin päätösten hallinta SFS-EN 60300-2: ”Projektin päätösten hallinta on projektin johtamisen se osa, joka liittyy oikea-aikaiseen projektin valvontaan.”

Projektin päätösten hallinnan pitää olla osa projektisuunnitelmaa. Luotettavuusjohtamissuunnitelmat sisältävässä projektisuunnitelmassa on selitetty vastuut ja aikataulut, joten luotettavuuden var-

mistamiseksi vaadittavat tehtävät voidaan hyvin liittää siihen. Projektipäällikkö jakaa projektin ku- luessa vastuuta projektiryhmäläisille ja määrittää suoritusaikataulut. Luotettavuuden varmistaminen voidaan siis lisätä uutena tarkastelunäkökulmana projektisuunnitelmassa mainittuihin tehtäviin.

Jäljitettävyyden hallinta SFS-EN 60300-2: ”Jäljitettävyyden varmistamiseksi pitäisi olla käytettävissä tehokkaita keinoja, joihin sisällytetään järjestelyt kunkin luotettavuusaktiviteetin tarkkailuun. Organisaatiossa pitäisi olla käytössä korjaavan toiminnan järjestelmä (ISO 9004-1, kohta 15) tunnistettujen luotettavuusongelmien ratkaisemiseksi.”

Yleensä laatu järjestelmän ohjeissa määritellään, että projektimappiin tms. arkistointijärjestelmään kerätään tietyt dokumentit tai ainakin mapissa tulee olla viite siitä, mistä kyseinen dokumentti löy- tyy. Luotettavuuden varmistamiseen liittyvät asiat tulee lisätä uutena näkökulmana projektin doku- mentoinnin hallintaan. Projektimapin sisällysluettelon muoto on usein ohjeistettu, joten ohjeistuk- seen tulee tehdä tarvittavat muutokset.

Tuotemuutosten hallinta SFS-EN 60300-2: ”Mikäli tarkoituksenmukaista, pitäisi tuotteen eri elinjakson vaiheissa tehtävien muutosten valvontaa ja dokumentointia varten perustaa tuotemuutosten hallintajärjestelmä (ISO 9004-1, kohta 8.8, tai tarvittaessa ISO 9003-3, kohta 6.1). Luotettavuusspesifikaatiot edustavat perustasoa luotettavuuden hallintajärjestelmässä.”

Tuotemuutosten hallinta liittyy läheisesti projektin aikana syntyneiden dokumenttien arkistointiin ja säilytykseen. Tuotemuutosten tekemiseen liittyvät asiakirjat pitää säilyttää tuotekehitysprojektin jälkeen siten, että tuotteeseen tehtyjen muutosten suunnitelmat ym. asiakirjat arkistoidaan samaan paikkaan. Tuotemuunnosten hallinnan kehittäminen on mielekästä pitkäjänteisen toiminnan kan- nalta: Työkoneet saattavat muuttaa jopa nimeään elinkaarensa aikana, jolloin vanhojen projektiasia- kirjojen löytäminenkin on hankalaa.

2.2. Sopimuskatselmus ja yhteydenpito asiakkaaseen

Sopimuskatselmus SFS-EN 60300-2: ”Sopimuskatselmus pitäisi pitää spesifioitujen luotettavuusvaatimusten osalta. Katsel- moitaviin, luotettavuudesta riippuviin sopimusvaatimuksiin saattaa sisältyä: luotettavuustoimenpiteiden laajuus ja aikataulus, toi- mitustavoitteet ja toimitettavat aineistot, määritellyt käytäntöön sovellettavat resurssit, dokumentointivaatimukset, testaus- tai toden- tamisjärjestelyt, takuu, sakko ja erityisesti kannustavat yksityiskohdat sekä ympäristöolosuhteet, joissa tuotetta on määrä käyttää.”

Erityisesti asiakkaalle räätälöityjen tuotteiden kohdalla on tarkoituksenmukaista pitää sopimuskat- selmus, jossa asiakkaan asettamat vaatimukset käydään läpi. Asiakas voi asettaa laitteille käytettä- vyyksivaatimuksia tai vaatia käytettävyydestä. Tällöin sopimuskatselmus on välttämätön.

Johdon edustaja SFS-EN 60300-2: ”Johdon edustajilla pitäisi olla riittävästi tietoa tuotteesta ja sen tuesta, luotettavuusperiaat- teista ja käytännöistä. Johdon edustajalla pitäisi olla valta tehdä päätöksiä asiakas-toimittajasuhteissa, jotka koskevat luotettavuus- vaatimusten spesifointia, katselmointia ja muuttamista, toisen osapuolen kanssa tehtäviä sopimuksia, jotka koskevat luotettavuus- tietoja, dokumentointia, yhteistä luotettavuusjohtamisjärjestelmää ja suunnittelukatselmuksia, sen varmistamista, että vastaavat orga- nisaatiot kunnioittavat luotettavuudesta tehtyjä sopimuksia, sekä luotettavuuden kelpuutuksen määrittämisestä, hyväksymismenettelyta- poja ja -kriteereitä.

Yrityksen johdon pitäisi olla tietoinen luotettavuudesta ja sen merkityksestä. Luotettavuudelle pitäi- si määritellä oma vastuorganisaatio ja -henkilö samalla tavalla kuin laadulle on laatu järjestelmä- standardin mukaan määritetty. Vastuuhenkilön tulisi olla nimetty henkilö esimerkiksi laatuorgani-

saation sisällä ja hänellä pitäisi olla laaja-alainen näkemys sekä tuotteesta että luotettavuuden kehittamisestä.

2.3. Luotettavuusvaatimukset

Luotettavuusvaatimusten spesifiointi SFS-EN 60300-2: ”Toimittajan (tai asiakkaan) pitäisi valmistella tuotteelle, sen osille ja tuotteen tuelle luotettavuusvaatimukset. Tämän tehtävän pitäisi sisältää perusta tuotteen toimintavarmuus- ja kunnossapidettävyyksivaatimuksille, em. ominaisuuksien numeerisille mittareille, testattavuusvaatimuksille sekä kunnossapitovarmuuden laadullisille ja numeerisille vaatimuksille (tai olosuhteille). Jokaisen luotettavuusspesifikaation perusta on määritelmä sellaisista vikatilanteista, joilla voi olla vaikutus tuotteen tehokkaaseen käyttöön. Vaatimusten pitäisi olla yksikäsitteisiä, arvioitavissa olevia, johdonmukaisia ja jäljitettäviä. Kunkin vaatimuksen spesifikaation pitäisi myös osoittaa keinot ja menettelytavat spesifikaationmukaisuuden todentamiseksi ja ne elinjakson vaiheet, jolloin spesifikaation mukaisuus todennetaan.”

Vaatimusten tulkinta SFS-EN 60300-2: ”Vaatimusten tulkinnan pitäisi sisältää analyysi niistä olosuhteista ja reunaehdoista, jotka ovat tyypillisiä tuotteen aiotulle käytölle ja jotka saattavat vaikuttaa tuotteen luotettavuuteen. Se sisältää käyttö- ja kunnossapito-olosuhteet, esimerkiksi toiminnon tyypit ja kestoajat, tuotteen aiotusta käytöstä aiheutuvan kuormitus- ja toimintajaksojen tunnistamisen sekä tuotteen sellaisten ympäristö- ja käyttöolosuhteiden määrittelyn, jotka esiintyvät käyttövaiheessa kunkin kunnossapito- ja tukitoimenpiteen (esim. kuljetuksen ja varastoinnin) aikana. Kaikki vaatimusspesifikaatioon sovitut sopimustulkinnat pitäisi virallisesti dokumentoida ja liittää luotettavuusspesifikaatioon.”

Vaatimusten osittaminen SFS-EN 60300-2: ”Tuotteen osien luotettavuusvaatimusten kohdistamisessa pitäisi ottaa huomioon tuotteen rakenne ja kunnossapitojärjestelyt, vaatimusten todentamis- ja kelpuutusmahdollisuudet ja suunnitteluprosessi. Osittamiset pitäisi sisällyttää lopputuotteen kaikille alihankittaville osille, ja niitä pitäisi käyttää perusteena todentamis-, kelpuutus- ja testausmenettelyspesifikaatioille ja suunnittelulle.”

Projektsuunnitelmassa pitäisi olla maininta luotettavuusvaatimuksista (vrt. testausvaatimukset). Luotettavuusvaatimuksia ei tällä hetkellä spesifioida/tulkita/ositeta, koska riittävän luotettavaa tietoa koneiden toiminnasta ei ole. Olosuhdevaatimukset pitäisi huomioida luotettavuusvaatimusten rinnalla, ja niiden selville saamiseksi tulee saada selville todelliset lämpötila, kosteus, värinä, yms. olot, joille laite tulee oikeassa käyttöympäristössään altistumaan. Vaatimus voidaan osittaa koko koneelta osajärjestelmille, jolloin kehittämispanostus voidaan kohdentaa oikein.

2.4. Suunnittelu

Toimintavarmuuden suunnittelu SFS-EN 60300-2: ”Vaadittu toimintavarmuus aikaansaadaan soveltamalla sellaisia suunnittelutekniikoita, joilla estetään vikojen sattuminen tai eliminoidaan niiden vaikutukset. Kun suunnittelutyö perustuu olemassa olevaan tuotteeseen, pitäisi tuotteen toimintavarmuus selvästi dokumentoida ja kaikki tunnetut ongelmat ottaa harkintaan kehitysvaiheen aikana. Toimintavarmuuden suunnittelun pitäisi myös sisältää luotettavuuden kannalta kriittisten kohteiden tunnistuksen.”

Standardin kohtaa sovelletaan työkonesuunnittelussa erityisesti turvallisuusasioissa. Käytännössä toimintavarmuuden suunnittelu tehdään suunnittelun yleisiä ohjeita noudattaen. Varsinainen toimintavarmuuden suunnittelu on suunnitteluinsinöörien osaamisaluetta.

Kunnossapidettävyyden suunnittelu SFS-EN 60300-2: ”Kunnossapidettävyyssuunnittelun pitäisi sisältää yksityiskohtaisten kunnossapidettävyyden suunnittelukriteerien johtamista tuotteen spesifioituista kunnossapidettävyyksivaatimuksista ja säännöllistä katselmointia. Menetelmiä ja tekniikoita pitäisi soveltaa, jotta minimoidaan: kunnossapidon monimutkaisuus, tuotteen suunnittelun sanelemien ehkäisevän kunnossapitotoimenpiteiden taajuus, tuotespesifinen toimintakelvottomuusaika vaikutus, tuotteen suunnittelun

sanelemat kunnossapitovarmuuskustannukset, kunnossapitohenkilöstön taitovaatimukset sekä kunnossapitovirheiden mahdollisuudet. Kun suunnittelutyö perustuu olemassa olevaan tuotteeseen, tuotteen kunnossapidettävyyttä pitäisi selvästi dokumentoida ja kaikki tunnetut ongelmat ottaa harkittaviksi kehitysvaiheen aikana.”

Tuotekehitysprojektin aikana tehtävissä katselmuksissa katselmoidaan myös huollettavuusasioita, Huollettavuuskatselmusten toteuttamisen apuna voisi harkita käytettäväksi jotakin soveltuvaa analyysimenetelmää. Eräs työkoneympäristössä sovellettavissa oleva menetelmä on SAE:n (Society of Automotive Engineers) julkaisema ohje SAE J817-2, joka on ohje off-road-kaluston kunnossapidettävyyksien laskemiseen. Ohje on sovellettavissa työkonesuunnittelun työkaluksi lähes sellaisenaan, ja sen suoritus on melko nopea ja vähän henkilötyöresursseja kuluttavaa.

Kunnossapitovarmuuden suunnittelu SFS-EN 60300-2: ”Kunnossapitovarmuus vaatii resursseja ja ohjeita. Tämän tehtävän pitäisi kattaa menettelytavat ja resurssit, joita tarvitaan keräämään, analysoimaan ja arvioimaan luotettavuustietoriippuvaisia vika- ja kunnossapitoraportteja; menettelytavat ja resurssit, joita tarvitaan prosessoimaan tuotevaihdo- ja muutosvaatimukset ja tuotemuutokset; niiden aikavälien tunnistamisen, jolloin toimittaja ja vastaavasti jolloin käyttäjä tulee tukemaan tuotetta. Kun suunnittelutyö perustuu olemassa olevaan tuotteeseen, tuotteen kunnossapitovarmuusedellytykset pitäisi katselmoida ja tunnetut ongelmat ottaa käsittelyyn.”

Tuotekehitysprojekteissa vastuussa kunnossapitovarmuuden suunnittelusta ovat kaikkien toimintojen edustajat. Kunnossapitovarmuus tulee suunnitella koko markkina-aluetta silmälläpitäen.

Testaustekniikka SFS-EN 60300-2: ”Sekä tuotteen toimintavarmuuteen että kunnossapidettävyyteen vaikuttavat sisäänrakennetut tai ulkoiset valmiudet, joilla havainnoidaan ja paikallistetaan vikoja ja kaikkia tuotteen ominaisuuksien heikentymisiä. Kun suunnittelutyö perustuu olemassa olevaan tuotteeseen, tuotteen testattavuusominaisuudet pitäisi selkeästi dokumentoida ja kaikki tunnetut ongelmat ottaa harkintaan kehitysvaiheen aikana.”

Koneisiin pitää rakentaa valmiudet tarpeelliseksi arvioituja testejä varten. Esimerkiksi hydraulijärjestelmään pitää rakentaa valmiit mittapisteet painemittauksia ja öljyanalyseja varten, mikäli mitaamismahdollisuuden luominen on tärkeää koneen luotettavuuden seurannassa. Testattavuuden suunnittelun pitää olla yhteydessä luotettavuusvaatimusten spesifointiin, koska testien tuloksien avulla todennetaan luotettavuusvaatimusten täyttymistä.

Inhimillisten tekijöiden suunnittelu SFS-EN 60300-2: ”Tuotteen suunnittelutehtävien pitäisi tähdätä inhimillisen virheen ja sen seurausten minimoointiin valmistus- ja asennusvaiheissa ja kunnossapito- ja poistovaiheissa. Inhimillisten tekijöiden suunnittelun pitäisi vaikuttaa myös todentamis-, kelpuutus- ja testaustoimenpiteiden suunnitteluun ja toteutukseen, jotta varmistetaan tuotteen yleisten tavoitteiden saavuttaminen.”

Inhimillisten tekijöiden suunnittelu turvallisuusmielessä on työkonevalmistuksessa normaalia toimintaa. Inhimillisten tekijät tulevat automaattisesti esille suunnittelukatselmuksissa, joissa on mukana kokeneita huollon edustajia. Tässä tehtävässä ei käsitellä käytön aikaisien inhimillisten virheiden poistamista, vaan se tehdään tehtävässä ”inhimillisten tekijöiden suunnittelu”.

2.5. Ulkopuolelta ostettavat tuotteet

Alihankittavat tuotteet SFS-EN 60300-2: ”Kun toisen tason toimittajat (alihankkijat) toimittavat tuotteen osia, toimittajan on varmistettava, että luotettavuusjohtamisjärjestelmästä aiheutuvat tarkoituksenmukaiset vaatimukset on kohdistettu tämän standardin

mukaisesti toimitettaville osille ja että toimitettavien osien vaatimukset vastaavat riittävästi koko toimitettavalle tuotteelle asetettuja vaatimuksia.”

Luotettavuusmäärittelyjen pitää olla ensin selvillä työkonevalmistajalla, jotta niitä voitaisiin kohdentaa alihankkijalle. Luotettavuutta ei useinkaan ole spesifioitu omassa tuotekehityksessä, joten vaatimuksia ei vielä pystytä vyöryttämään alihankkijoille. Kaikki alihankkijalta vaadittavat erityistoimenpiteet pitää pystyä spesifioimaan. Suunnittelun pitää tehdä spesifikaatiot sen perusteella, miten kriittiseksi luotettavuus tuotteessa arvioidaan. Standardikomponenttien ominaisuuksiin ei työkonevalmistaja juurikaan pysty vaikuttamaan, mutta erikoisempiin, erikseen tilattaviin komponentteihin työkonevalmistaja pystyy paremmin vaikuttamaan.

Asiakkaan hankkimat tuotteet SFS-EN 60300-2: ”Sellaisissa tapauksissa, joissa asiakas hankkii osia toimitettavaan tuotteeseen, toimittajan pitäisi vaatia asiakasta toimittamaan todisteen siitä, että osa on suunniteltu ja valmistettu tai tullaan suunnittelemaan ja valmistamaan luotettavuusjohtamisjärjestelmän mukaisin ehdoin, asiakkaan hankkimaa osaa koskevan asianmukaisen luotettavuustiedon ja informaation, jota tarvitaan lopputuotteen luotettavuusanalyysiin ja arviointeihin, sekä kaikkien osaa koskevien mahdollisten ongelmien tunnistuksen.”

Työkonevalmistajan tulee erityisissä katselmuksissa päättää, hyväksytäänkö asiakkaan vaatimus. Tällaisia tapauksia työkonevalmistuksessa tulee varsin harvoin, sillä yleensä asiakaskohtaiset räätälöinnit tehdään jo tehtaalla.

2.6. Analysointi, ennustaminen ja katselmointi

Vika- ja vaikutusanalyysi SFS-EN 60300-2: ”Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi (VVKA) pitäisi tehdä tuotteen laitteisto- ja ohjelmisto-osuuksille siinä laajuudessa, jota toiminnallisuus ja turvallisuus edellyttävät. VVKA on menettelytapa, jota käytetään tuotteen mahdollisten vikamuotojen, näiden vikojen vaikutusten ja kriittisyyksien järjestelmälliseen tunnistamiseen. VVKA:a käytetään luotettavuusanalyysien perustana. Analyysien paikkansapitävyyttä pitäisi tarkastella uudelleen suunnittelun edistyessä. Analysoija pitäisi myös käyttää: luotettavuudelle kriittisten tuotteen osien tai tukitoimintojen tunnistamiseen sekä eliniältään rajoitettujen kohteiden tunnistamiseen, jotka tulevat vaatimaan jatkuvaa huomiota ja jotka saattavat johtaa perustellusti kunnossapidon toteutustapojen muuttamiseen.”

Vika- ja vaikutusanalyysi (lyh. VVA, engl. FMEA, failure mode and effect analysis) ja sen johdannainen vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi (VVKA, engl. failure mode, criticality and effect analysis, FMECA) ovat parhaiten tunnettuja kvalitatiivisia luotettavuuden analysointimenetelmiä. VVA on standardoitu SFS-standardisarjassa (SFS 5438; suomennos IEC 60812:sta). Perusmuodossaan VVA on varsin raskas menetelmä, mutta menettelyä muokkaamalla sitä voidaan käyttää tuotesuunnittelun työkaluna. VVA:sta ja sen käytöstä on julkaistu useita ohjeita. Tämän projektikonaisuuden aikana julkaistiin VTT-raportti RIS B006 ”Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi tuotekehitysprosessissa – suoritusohjeet luotettavuuden analysointiin VVKA:lla”.

VVA:ta ei ole työkonevalmistajien tuotekehitysproesseissa sovellettu muutamia yksittäisiä kokeiluja lukuun ottamatta. Tämä johtuu yleensä tiukoista projektiaikatauluista; aikaa ja resursseja analyysin suoritukseen ei ole varattu.

Vikapuuanalyysi SFS-EN 60300-2: ”Vikapuuanalyysi (FTA) pitäisi tehdä tuotteen laitteisto- ja ohjelmisto-osuuksille. Vikapuuanalyysiä pitäisi käyttää analyttisenä työkaluna tunnistamaan vikamuotojen syyt ja selvittämään tunnistettujen vikamuotojen perussyyt.”

Vikapuuanalyysi (IEC 61025) on menetelmä, jossa huipputapahtuma (esimerkiksi jokin vikaantumisen) hajotetaan osatekijöihinsä. Vikapuumenetelmää voidaan käyttää luotettavuuslaskentaan, jolloin vikaantumisen todennäköisyys pyritään määrittämään matemaattisin keinoin. Vikapuuanalyysejä ei ole perinteisesti sovellettu työkonevalmistajien tuotekehitysprosessissa.

Rasitus- ja kuormitusanalyysi SFS-EN 60300-2: ”Rasitusanalyysi pitäisi tehdä laitteisto-osuuksille ja kuormitusanalyysi ohjelmisto-osuuksille. Komponenttien huononemisen pitäisi olla hyväksytyjen kunnossapidon toteutustapojen mukainen lukuun ottamatta tapauksia, jotka on erikseen dokumentoitu. Rasitus- ja kuormitusanalyysien tuloksia pitäisi käyttää suunnittelu- ja kehitystoimintojen syöttötietoina.”

Menetelmiä rasitus- ja kuormitusanalyysien suorittamiseen ei ole standardissa määritelty tarkemmin. Kenttämittauksia koneiden kestävydestä on tehty mm. venymäliuskujen ja paineanturien avulla. Mittauksien kautta saadaan luotettavaa kuormitustietoa oikeista olosuhteista.

Inhimillisten tekijöiden analyysi SFS-EN 60300-2: ”Tuotteen ja sen kunnossapito henkilöstön väliset vuorovaikutukset pitäisi analysoida ihmisen virheiden mahdollisuuksien ja vaikutusten tunnistamiseksi tuotteen vikamuotoina. Erityistä huomiota pitäisi kiinnittää tuotteen analysointiin siten, että varmistetaan ihmisen vuorovaikutuksen ja tarvittavien ihmisen toimintojen tunnistaminen, rajapinnalla tapahtuvien ihmisen virhemahdollisuuksien, niiden syiden ja seurausten arviointiin sekä tuotteen ja/tai menetelytapojen muutosten käynnistämiseen virheiden ja niiden seurausten mahdollisuuksien alentamiseksi.

Käyttäjän virhemahdollisuuksia käydään suunnittelun aikana läpi lähinnä käytönaikaisista turvallisuusnäkökohdista ja konedirektiivin vaatimuksesta. Perinteisistä inhimillisten tekijöiden analyysistä esimerkkinä mainittakoon toimintovirheanalyysi.

Ennusteet SFS-EN 60300-2: ”Ennusteita pitäisi käyttää heti suunnittelu- ja kehitysvaiheessa. Ennustaminen käsittää mallin rakentamisen kaksivaiheisesti: rakenteen mallintaminen, jolla tarkoitetaan yksilöiden riippuvuuksia, tiloja tai toimintoja kuvaavien loogisten mallien muodostamista; matemaattinen mallintaminen, jolla tarkoitetaan rakennemalleja kuvaavien matemaattisten mallien ja kaavojen johtamista. Loogisten mallien elementeille hankittu luotettavuustieto syötetään matemaattisiin malleihin tulosten saamiseksi.”

Matemaattisia luotettavuusmalleja laitteista ei ole tehty. Tämän tehtävän jälkimmäisen osan suorittamista varten konevalmistajalla pitää olla tarkkaa tietoa koneiden toiminnasta sekä työkalut ja osaaminen tarvittavien data-analyysien suorittamista varten. Koneen toiminnan mallintamista voidaan hyödyntää muissakin tehtävissä, esimerkiksi VVA:ssa tai riskianalyyseissä.

Vaihtoehtojen analyysi SFS-EN 60300-2: ”Vaihtoehtojen suunnittelu sallii eri elinjaksen vaiheissa vaadittavan luotettavuustason valinnan. Erityisten vaihtoehtoistarkastelujen pitäisi sisältää: toimintavarmuus vs. kunnossapidettävyyttä/ kunnossapidettävyyttä vs. kunnossapitovarmuus/ toimintavarmuus vs. tuotteen ominaisuudet; suunnitteluvaihtoehtojen luotettavuus elinjaksokustannusten funktiona.”

Tehtävää on työkoneteollisuudessa sovellettu esimerkiksi tapauksissa, joissa laitteen jonkin osan toimintavarmuuden parantaminen on vaikeaa mutta kunnossapidettävyyttä on hyvällä tasolla, eli hin-

naltaan halpa osa voidaan vaihtaa nopeasti ja helposti eikä heikko toimintavarmuus ole varsinaisesti ongelma. Kuluvien osien vaihdon helppoutteen on perinteisesti kiinnitetty huomiota.

Riskianalyysi SFS-EN 60300-2: ”Mallintamis- ja ennustamismenettelyihin perustuvat riskianalyysit pitäisi tehdä sellaisille tuotteille, joiden käytönaikainen vikaantuminen voisi vaarantaa ihmisiä tai aiheuttaa suuria taloudellisia menetyksiä, esim. ympäristövahinkoja. Analyysien pitäisi sisältää kriittisten tuotteen osien tai vikamuotojen tunnistamisen, kriittisten osien ja vikamuotojen vian havaitsemismahdollisuuksien analyysin, riskien kvantifioimisen sekä riskejä alentavien välttämättömien muutosten tunnistamisen.”

Tehtävän suoritus tarkoittaa käytännössä kattavan turvallisuustarkastelun suorittamista koneelle. Tämä velvollisuus on suurimmalta osin täytetty jo nykyisten konedirektiivin vaatimien tarkastelujen kautta.

Suunnittelukatselmus SFS-EN 60300-2: ”Suunnittelukatselmuksia pitäisi toteuttaa tärkeissä tarkistuspisteissä. Luotettavuuden keskittyneiden katselmusten tarkoituksena on varmistaa, että kehitetty tuote tulee täyttämään luotettavuusvaatimukset. Toimintavarmuuden, kunnossapidettävyyden ja kunnossapitovarmuuden asiantuntijoiden pitäisi osallistua luotettavuuskatselmuksiin. Asiakas saattaa vaatia toimittajaa kutsumaan asiakkaan osallistumaan suunnittelukatselmuksiin.”

Suunnittelukatselmuksia ovat normaali käytäntö tuotekehitysprosessin aikana. Katselmuksia pidetään eri näkökulmista, lähtökohtana esim. turvallisuus, huollettavuus tai ergonomia. Luotettavuutta ei yleensä erikseen katselmoita, koska tuotteen luotettavuusvaatimuksia ei määritellä projektin alkuvaiheessa. Luotettavuuskatselmuksen suorituksen apuvälineeksi soveltuu esimerkiksi analyysimenetelmä nimeltä *Potentiaalisten ongelmien analyysi* (POA). POA:n menetelmäkuvauksesta on tämän projektin aikana tehty julkinen VTT-raportti RIS B011. POA soveltuu myös projektin alkuvaiheessa uusien ideoiden tai edellisissä tuotemalleissa esiintyneiden ongelmien keräämiseen.

2.7. Todentaminen, kelpuuttaminen ja testaaminen

Todentamis-, kelpuutus- ja testisuunnittelu SFS-EN 60300-2: ”Toimittajan pitäisi luoda ja ylläpitää todentamis-, kelpuutus- ja testaamismenettelytapoja, joilla todennetaan luotettavuusvaatimusten täyttäminen. Testeillä pitäisi kattaa toimintavarmuus ja kunnossapidettävyyden simuloituissa vikatilanteissa. Kunnossapidettävyydestin pitäisi testata sekä manuaalisia että automaattisia kunnossapitoimenpiteitä, jotka ovat ominaisia testattavalle tuotteelle. Testisuunnitelmien pitäisi määrittää testattava kohde, testiolosuhteet ja testimenetelmät yhdessä vikaraportoinnin ja -analysoinnin sekä sovellettavien tilastollisten arviointitekniikkojen kanssa.”

Työkoneteollisuudessa testit ovat pääasiassa toimivuustestejä, luotettavuustestausta ei ole kannattavaa tehdä. Joillekin osajärjestelmille luotettavuustestausmenetelmien luominen olisi mahdollista. Direktiivien ja standardien vaatimusten täytyminen todennetaan suunnittelukatselmuksissa. Luotettavuusvaatimusten puuttuessa niiden todentamismenettelyjä ei ole olemassa.

Eliniän testaaminen SFS-EN 60300-2: ”Eliniän testaaminen pitäisi suorittaa suunnittelu- ja kehitysvaiheen aikana, jotta havaitaan ja tunnistetaan tuotteen heikkoudet, vahvistetaan tuotteen kulutuskestävyys, saadaan tietoja korjaaville toimenpiteille ja kunnossapitovarmuuden suunnitteluun jne.”

Koko työkoneen eliniän testaaminen ei ole mielekästä. Joillekin komponenteille se saattaisi erikseen harkittuna olla tarkoituksenmukaista. Varsinaisen elinikätestauksen suorittavat asiakkaat kenttäolosuhteissa.

Luotettavuuden testaaminen SFS-EN 60300-2: ”Toimintavarmuuden ja kunnossapidettävyyden todentamistestaukseen toimenpiteet voidaan suorittaa erikseen tai yhdessä aikaista suunnitteluvaihetta seuraavien vaiheiden aikana.”

Työkoneiden suunnittelussa huollon helppous on esillä alusta alkaen. Kunnossapitotoimenpiteiden tekemistä kokeillaan satunnaisesti. Vanhoja konemalleja tutkimalla saatua tietoa kunnossapidettävyydestä hyödynnetään uudessa laitteessa. Korjausaikojen kellottaminen voisi olla mahdollista, ja hyödyllistä se olisi erityisesti huoltosopimuksien solmimisenäkökulmasta. Luotettavuuden testaaminen on todentamis-, kelpuutus- ja testisuunnittelutehtävissä luotujen testien toteuttamista.

Toimintavarmuuden kasvun testaaminen SFS-EN 60300-2: ”Tehtävän pitäisi sisältää suoritettavien testien suunnittelun, toteutuksen ja arvioinnin. Tarkoituksena on parantaa tuotteen toimintavarmuutta tunnistamalla, analysoimalla ja korjaamalla vikoja ja todentaa korjaavan toimenpiteen tehokkuus.”

Koko työkoneen tasolla toimintavarmuuden kasvua ei ole perinteisesti tehtaalla testattu, mutta joissakin osajärjestelmissä tuotteisiin tehtävien parannusten vaikutuksia testataan. Komponenttityyppien vaihdon yhteydessä komponentteja testataan – kestäkö uusi komponentti pidempään kuin entinen komponentti.

Tuotantotestaaminen SFS-EN 60300-2: ”Tämän tehtävän pitäisi sisältää sellaisten testien suunnittelun, toteutuksen ja arvioinnin, joiden tavoitteena on varmistaa tuotantoyksilöiden toimintavarmuus ja toimintavarmuuden määritystestin demonstroiman saavutetun toimintavarmuuden yhdenmukaisuus.”

Sarjatuotannossa olevan koneen testaaminen kestotestimielessä ei ole mielekästä. Koekäyttöttestaukset ovat yleensä suhteellisen pitkiä.

Hyväksymistestaaminen SFS-EN 60300-2: ”Hyväksymistestaamisen tavoitteena on osoittaa tuotteen luotettavuus ja muiden vaatimusten mukaisuus.”

Normaalisti kaikki valmistuneet työkoneet testataan ennen asiakkaalle toimitusta. Testaus on yleensä toimivuustestausta, ei luotettavuustestausta.

Toimintavarmuuden rasisuskarsinta SFS-EN 60300-2: ”Toimintavarmuuden rasisuskarsinta on prosessi, joka käyttää ympäristö- ja/tai käyttörasituksia keinoina valmistusvikojen havaitsemiseksi kiihdyttämällä ne havaittaviksi vioiksi. Tehtävän pitäisi kattaa karsintaprosessin suunnittelu, toteuttaminen ja arviointi. Edelleen sen pitäisi sisältää sovellettavien karsintaolosuhteiden määrittely, kokeen spesifikaation valmistelu, tulosten arviointi ja raporttien valmistelu.”

Miljoonaluokan koneita ei ole kannattavaa rasisustestata tehtaalla vikaantumiseen saakka. Tämä tehtävä ei ole kovinkaan hyvin sovellettavissa työkoneellisuuden suoraan, mutta alihankkijoiden toimittamille tuotteille rasisuskarsintaa voitaisiin suorittaa.

2.8. Elinjakson kustannussuunnitelma

Elinjakson kustannussuunnitelma SFS-EN 60300-2: ”Menettelyn elinjakson kustannusten analysoimiseksi pitäisi olla käytössä, ja sitä pitäisi soveltaa jokaisessa elinjakson vaiheessa ennen tuotteen toimittamista. Analyysien tuloksia pitäisi käyttää johdon päätösprosessissa tarkoituksena opastaa erilaisten luotettavuusvaatimusten osittamista ja niiden välisiä vaihtoehtoistarkasteluja, tunnistaa luotettavuustekijöiden kriittisyyttä elinjaksonkustannukseen, optimoida luotettavuusominaisuuksia rajoitetulla elinjaksonkustannuksella sekä valita tuotteen käytöstäpoistomenetelmiä ja kustannusvaihtoehtoja ja -rajoituksia.”

Huoltosopimukseen liittyvä käyttökustannusten laskenta on lähellä LCC-laskentaa, vaikka varsinainen elinjaksokustannuslaskenta onkin työkonealalla uutta. Kun konevalmistaja tuntee koneensa hankintahinnan, elinikäiset käyttökustannukset ja lisäksi mahdolliset käytöstä poistamisesta johtuvat kustannukset, ovat LCC-laskentoihin vaadittavat elementit suurimmalta osin olemassa.

2.9. Käytön ja kunnossapitovarmuuden suunnittelu

Kunnossapitovarmuuden suunnittelu IEC 60300-2: ”Kunnossapitovarmuuden suunnittelun pitäisi perustua luotettavuus-spesifikaation asianmukaisiin elementteihin ja sen pitäisi johtaa tuotteelle käytettävien osittamis- ja kunnossapitotasojen ja kunnossapitoportaiden spesifointiin, henkilöstön taitojen, kunnossapidon työkalujen ja laitteiden spesifointiin sekä tuotekokonaisuuksien tai osien tukemisjaksojen spesifointiin.”

Työkoneen kunnossapitovarmuuden suunnittelu on tehtävä tuotekehitysprojektin aikana. Kunnossapito-organisaatiolla tulee olla valmiudet uuden tuotteen ylläpitoon heti lanseeraamishetkestä alkaen. Kunnossapitovarmuuden suunnittelu tarkoittaa käytännössä varaosasuositusten tekemistä ja jakelun järjestämistä sekä huoltohenkilökunnan kouluttamista uusien mallien kunnossapitotöitä varten.

Käytön ja kunnossapitovarmuuden suunnitteluun liittyvät läheisesti tuotteen elinjaksokustannuslaskelmat (LCC, Life cycle cost). IEC-standardeissa LCC-kustannusten suunnittelu on omana luotettavuusjohtamisjärjestelmän rakenneosanaan. Koska huoltosopimuksien solmiminen on yleistymässä, on konevalmistajien tunnettava koneidensa käyttökustannukset hyvin.

Asennus IEC 60300-2: ”Asennusprosessin pitäisi sisältää menettelytavat hyväksymistestiä ja luotettavuusominaisuuksien mittojen todentamista varten. Nämä ominaisuudet voidaan testata ja todentaa asennusprosessissa voimassa olevissa olosuhteissa.”

Työkoneen toimituksen yhteydessä tehdystä ensimmäisestä käynnistyksestä asiakkaan luona voidaan joissain tapauksissa tehdä raportti, johon kirjataan mahdolliset häiriöt koneen toiminnassa. Tähän käynnistysraporttiin voidaan yhdistää joitain tiettyjä elementtejä, joilla todennetaan koneen luotettavuusominaisuuksia.

Tukipalvelut IEC 60300-2: ”Kunnossapitovarmuuspalvelut pitäisi suunnitella tuotteen kunnossapidon edellyttämien resurssien varaamiseksi. Palveluja voivat tuottaa asiakas, toimittaja, kolmas osapuoli tai jokin yhdistelmä edellä mainituista.

Ellei tuotetuki ole ajan tasalla, kone seisoo vikojen takia pitkään, koska asiakkaan edustajat eivät välttämättä osaa korjata teknisesti korkeatasoisia laitteita. Tukipalveluita pitää olla tarjottavissa asiakkaille eri markkina-alueet ja suunniteltu myyntivolyymi huomioiden. Hankaluutena on se, että tukipalveluiden vaikutus koneen käyttövarmuuteen on hankala mitata. Tehtävä liittyy kunnossapitovarmuuden suunnitteluun.

Tuen suunnittelu IEC 60300-2: ”Tämän tehtävän pitäisi sisältää suunnittelutoimenpiteitä, joiden tavoitteena on ratkaista tuotteen käyttöönoton jälkeiset kunnossapitovarmuusongelmat ja puutteet. Toimenpiteiden pitäisi keskittyä kunnossapitohenkilökunnan, koulutuksen, testi- ja tukilaitteiden, hankintatuen, teknisen dokumentaation ja kunnossapitovälineiden alueille.”

Tuotekehitysprojektien osana pitää olla myös tukipalveluiden suunnittelu alusta alkaen.

Varaosien hankinta IEC 60300-2: ”Tämän tehtävän pitäisi sisältää korjaavaan ja ehkäisevään kunnossapitoon tarvittavien varaosien tyyppin ja lukumäärän arviointi voimassa olevien kunnossapidon toteutustapaohjeiden mukaisesti.”

Varaosasuositukset tehdään uusille laitteille käyttökustannuslaskelmien pohjalta.

2.10. Parannukset ja muutokset

Parannusohjelmat IEC 60300-2: ”Luotettavuusjohtamisjärjestelmään pitäisi luoda ja ylläpitää menettelytavat, joilla systemaattisesti tunnistetaan ja sovelletaan käyttöön mikä tahansa tuotteen toimintavarmuuden ja kunnossapidettävyyden sekä kunnossapitovarmuuden välttämätön parannus. Luotettavuuden parannusjärjestelmien pitäisi perustua asianmukaiseen luotettavuustietoon, jota analysoidaan tarkoituksenmukaisilla tilastollisilla tekniikoilla. Erityisesti järjestelmän pitäisi keskittyä tuotteen luotettavuuden kannalta kriittisiin osiin. Tehokkaan ja oikea-aikaisen vikaraportoinnin ja analyysin menettelytavat pitäisi luoda ja ylläpitää koko tuotteen elinkaaren ajan.”

Parannuksien tekemisessä työkoneteollisuudessa ollaan menossa järjestelmällisten parannusohjelmien suuntaan. Tilastollisia tekniikoita ei välttämättä voida käyttää parannustoimenpiteiden valinnassa, koska joistakin laitteista ei kerry tilastollista aineistoa pienistä tuotantomääristä johtuen. Komponentin luotettavuuden parantaminen voidaan tehdä monin eri tavoin: kestäväällä teknologialla ratkaisulla, lisälaitteella normaaliin ratkaisuun tai tehokkaalla huoltostrategialla.

Muutosten valvonta IEC 60300-2: ”Tuotteeseen tehtävien muutosten valvomiseksi pitäisi luoda menettelytapa, joka sisältää keinot käsitellä muutosvaatimuksia, arvioida muutosten seurauksia, hyväksyä ja valtuuttaa muutoksiin ja määrittellä soveltamis- ja todentamisvastuut. Yleisesti voidaan sanoa, että kaikki tuotteen tai sen tuen muutokset pitäisi alistaa samantasoiselle luotettavuuden todentamiselle kuin alkuperäinen tuote ja sen tuki. IEC 60300 -standardisarjan tämän osan ehdot pitäisi ottaa tarkasteltaviksi, ja muutosta varten pitäisi luoda ja ylläpitää luotettavuusjohtamisjärjestelmää. Tämä on erityisen tärkeää pitkän odotettavissa olevan käyttöajan tuotteille ja usein päivitettävillä ja uusittavilla ohjelmistotuotteille.”

Asia lähellä ”tuotemuunnosten hallintaa”. Muutoksista pitää informoida organisaatiota, ja niiden taustat pitää pystyä tarpeen vaatiessa jäljittämään. Tietojärjestelmä uudistukset parantavat muutosten valvontaa ja tuotemuunnosten hallintaa lähitulevaisuudessa.

2.11. Käyttökokemuspalaute

Luotettavuustietojen hankinta IEC 60300-2: ”6.11.1. Suunnittelu- ja kehitysvaiheessa tuotteen testaamisen aikainen luotettavuustieto vioista ja sattuneista vikaantumisista pitäisi analysoida luotettavuusvaikutuksen määrittämiseksi. Luotettavuustiedon hankintaprosessin pitäisi jatkua kentältä tuotteista saatavaa luotettavuustietoa hyväksikäyttäen. Luotettavuustietoja pitäisi kerätä kentältä asennusjaksosta alkaen. Tämä pitää sisällään luotettavuustiedot, joita tarvitaan arvioitaessa: toimintavarmuutta (sattuneet viat ja niiden vaikutukset); kunnossapidettävyyttä (kunnossapidettävyyden mittaamiseen tarvittavat tiedot, aktiivisen korjaavan kunnossapidon ajat, ennakoivan kunnossapidon ajat); käyttövarmuutta (merkittäviin vikoihin liittyvä toimintakelvottomuus aika); kunnossapitovarmuutta (hallinnolliset ja logistiset viiveet) ja kunnossapitokustannuksia. Lisäksi pitäisi kerätä tietoja ympäristö- ja muista olosuhteista ja tuotteen rakenneosista, joita tarvitaan esimerkiksi myöhempiin teknisiin ja tilastollisiin analyyseihin. Tietojen keruuseen, siirtoon ja varastointiin pitäisi luoda ja ylläpitää tehokkaita menettelytapoja ja työkaluja.”

Työkonevalmistajilla on käytössä tällä hetkellä maailmanlaajuiset tuote-, takuu- ja kenttäpalaute-tietokannat, joihin tieto tulee suoraan paikallisilta myyntiyhtiöiltä ja tiedoista saadaan tehtyä koosteita katselmointia varten. Kentältä tuleva tieto pitää saada selkeässä muodossa konevalmistajan organisaatioon, jotta suunnittelu pystyisi tekemään oikeita parannustoimenpiteitä. Luotettavien vi-

kavälianalyysien tekeminen ja niiden hyödyntämisen saattaminen jatkuvaksi toiminnaksi on työlästä ilman automaattisia laskentatyökaluja.

Luotettavuustietojen analyysi IEC 60300-2: ”Kaikista sopivista lähteistä saatavia tietoja vikaantumista ja kunnossapito-toimenpiteistä pitäisi käyttää luotettavuusteknisiin analyyseihin vikaantumis- ja vikasyiden määrittämiseksi sekä tuotteen tai sen käyttöehtojen että tuotteen tuen muutosten ehdottamiseksi tilastollisiin analyyseihin. Em. analyysien tulisi muodostaa toisiaan täydentävä kokonaisuus. Ollakseen tehokkaita toimenpiteet saattavat edellyttää johdon sitoutumista työpanoksella, esimerkiksi osallistumista vikakatselmointiryhmään. Asiakkaan pitäisi kehittää menettelytavat luotettavuuteen liittyvän käytönaikaisen informaation varastoinnaksi ja analysoinniksi.”

Luotettavuustietojen analysointia hidastaa saatavan tiedon kirjavuus. Osa tiedoista on jo nyt sähköisessä muodossa, ja niitä voidaan käsitellä nopeasti matemaattisin työkaluin. Osa tiedoista tulee edelleen ilman luokittelua, jolloin ne pitäisi käydä läpi käsin ennen varsinaisten analyysien suorittamista. Tällainen toiminta on hidasta, eivätkä sen antamat tulokset välttämättä ole totuudenmukaisia.



Tekijä(t) Välisalo, Tero & Rouhiainen, Veikko			
Nimeke Luotettavuusjohtaminen työkoneteollisuudessa			
Tiivistelmä Työkoneissa luotettavuus merkitsee koneen häiriötöntä toimintaa halutulla toimintajaksolla. Käyttövarmuuden paraneminen tarkoittaa koneiden käytettävyyden paranemista, kunnossapidon suunnitelmallisuutta ja parempaa tuottavuutta. Käyttövarmuuden optimointi on tärkeä kilpailutekijä sekä koneen käyttäjälle että konevalmistajalle. Käyttövarmuus muodostuu IEC-standardien mukaan kolmesta tekijästä: toimintavarmuudesta, kunnossapidettävyydestä ja kunnossapitovarmuudesta. Toimintavarmuus on se käyttövarmuuden osatekijä, joka yleisimmin mielletään luotettavuudeksi. Toimintavarmuudella tarkoitetaan koneen ominaisuutta toimia vikaantumatta mahdollisimman pitkään. Kunnossapidettävyyttä kuvaa koneen huollettavuusominaisuuksia eli käytännössä koneelle tehtävien huolto- ja korjaustöiden helppoutta. Kunnossapitovarmuus ei ole varsinaisesti tuoteominaisuus, vaan se on konetta ylläpitävän organisaation kyky saattaa järjestelmä vian jälkeen käyttökuntoon. Uutta pontta luotettavuuden järjestelmälliselle kehittämiselle antaa suuntaus, jossa työkonemistä yhä enemmän vastaa koneidensa toiminnasta varsinaisella käyttöpaikalla. Huoltosopimusten avulla laitteen loppukäyttäjä keskittyy omalle erikoisosaamisalueelleen. Konevalmistajan kannalta tilanne on uusi, koska valmistajan tulee tämän jälkeen osata hinnoitella tuotteen ja sen ylläpidon muodostama kokonaisuus kannattavasti. Lisäksi valmistajan pitää pystyä osoittamaan, että huoltosopimuksen avulla saatu koneiden tuottavuuden kasvu riittää kattamaan asiakkaalle huoltosopimuksesta aiheutuvat kustannukset. Tässä tilanteessa konevalmistajan on tiedettävä tarkasti oman tuotteen käyttövarmuuden taso ja kunnossapitotoiminnan tehokkuus, jotta toiminta olisi pitkällä tähtäimellä kannattavaa. Luotettavuusjohtaminen muistuttaa hyvin läheisesti laatujohtamista. Luotettavuusjohtamisen avulla tuotteen luotettavuusominaisuudet pyritään pitämään hallinnassa koko elinkaaren ajan. Luotettavuusjohtamisen avulla edellisistä tuotesukupolvista saadut käyttökokemukset hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasti uuden tuotteen suunnittelussa, ja samalla tuote suunnitellaan siten, ettei uusia luotettavuusongelmia pääse syntymään. Luotettavuusjohtamisjärjestelmä ei ole eikä saa olla erillinen järjestelmä, vaan sen tulee integroitua valmistajan tapaan toimia omalla erikoisalallaan. Luotettavuusjohtamisjärjestelmän rakenneosien ja tehtävien tulee olla kuin mitä tahansa normaaleja tehtäviä tuotekehitys- tai tukitoimintojen kehitysprosesseissa.			
Avainsanat dependability, reliability performance, maintainability performance, quality management, work machine sector, trouble-free functioning			
Toimintayksikkö VTT Automaatio, Riskienhallinta, Tekniikankatu 1, PL 1306, 33101 Tampere			
ISBN 951-38-5761-1 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Projektinumero S8SU00473	
Julkaisu-aika Marraskuu 2000	Kieli suomi, engl. tiiv.	Sivuja 43 s. + liitt. 15 s.	Hinta
Projektin nimi Liikkuvien työkoneteollisuuden käyttövarmuuden hallinta		Toimeksiantaja(t) Teknologian kehittämiskeskus (Tekes), Nordberg-Lokomo Oy, Plustech Oy, Sandvik Tamrock Oy, VTT Automaatio	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Myynti:	

Published by



Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
Phone internat. +358 9 4561
Fax +358 9 456 4374

Series title, number and
report code of publication

VTT Research Notes 2061
VTT-TIED-2061

Author(s) Välisalo, Tero & Rouhiainen, Veikko			
Title Dependability management in mobile work machine industry			
Abstract <p>In the work machine sector reliability stands for trouble-free functioning of a machine. Dependability is an important factor of competitiveness both to the operators and to the work machine manufacturers.</p> <p>According to the IEC-standards dependability consists of three factors: reliability performance, maintainability performance and maintainability support performance. Reliability performance describes the ability of a machine to perform a required function for a period of time without failures and without maintenance. Maintainability performance describes how easy a machine is to maintain. Maintainability support performance is not a product feature; it describes the ability of support organisation to keep the machine running.</p> <p>Dependability management system is designed to manage all the factors of dependability during the life cycle of a product. It is closely related to Quality Management. With the help of dependability management system it is possible to effectively utilise experiences achieved from previous machine models and simultaneously design a new product to be dependable.</p> <p>Recently the machine manufacturers have expanded their traditional business to maintenance and service. In some cases the manufacturer is responsible for both the machine performance and the maintenance support system. At the same time a customer can require that the machine operates on a certain availability performance level. If an agreement is made over this topic the agreement is called as availability guarantee contract. Due to this development of the business opportunities the manufacturers must know the performance of their machines more precisely than before to avoid unprofitable commitments. In addition the manufacturer have to be able to demonstrate that the service contract is cost-effective to the customer.</p> <p>Dependability management system should not be a separate system. It should be a part of the usual way the manufacturer operates on its special field of know-how.</p>			
Keywords dependability, reliability performance, maintainability performance, quality management, work machine sector, trouble-free functioning			
Activity unit VTT Automation, Risk Management, Tekniikankatu 1, P.O.Box 1306, FIN-33101 Tampere, Finland			
ISBN 951-38-5761-1 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Project number S8SU00473	
Date November 2000	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 43 p. + app. 15 p.	Price
Name of project Liikkuvien työkonien käyttövarmuuden hallinta		Commissioned by Technology Development Centre of Finland (Tekes), Nordberg-Lokomo Oy, Plustech Oy, Sandvik Tamrock Oy, VTT Automation	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Sold by	

Julkaisussa esitetään Nordberg-Lokomo Oy:n, Plustech Oy:n, Sandvik Tamrock Oy:n sekä VTT Automaation yhteistyönä kehitetty malli työkoneteollisuuden luotettavuusjohtamiseen. Kuvaus perustuu IEC:n luotettavuusjohtamisjärjestelmästandardeihin.

Luotettavuusjohtamisen avulla tuotteen luotettavuusominaisuudet pyritään pitämään hallinnassa koko elinkaaren ajan. Luotettavuusjohtamisen avulla edellisistä tuotesukupolvista saadut käyttökokemukset hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasti uuden tuotteen suunnittelussa, ja samalla tuote suunnitellaan siten, ettei uusia luotettavuusongelmia pääse syntymään.

Luotettavuusjohtamisjärjestelmä ei ole eikä saa olla erillinen järjestelmä, vaan sen tulee integroitua valmistajan tapaan toimia omalla erikoisalallaan. Luotettavuusjohtamisjärjestelmän rakenteosien ja tehtävien tulee olla kuin mitä tahansa normaaleja tehtäviä tuotekehitys- tai tukitoimintojen kehitysprosesseissa.

Tätä julkaisua myy
VTT TIETOPALVELU
PL 2000
02044 VTT
Puh. (09) 456 4404
Faksi (09) 456 4374

Denna publikation säljs av
VTT INFORMATIONSTJÄNST
PB 2000
02044 VTT
Tel. (09) 456 4404
Fax (09) 456 4374

This publication is available from
VTT INFORMATION SERVICE
P.O.Box 2000
FIN-02044 VTT, Finland
Phone internat. + 358 9 456 4404
Fax + 358 9 456 4374
