Ramentor Oy

# ELMAS FMEA-RCM toimintaohje Versio 0.5

ELMAS RAMoptim Dynamic v4.3.43



SISÄLTÖ

FMEA:N JA RCM:N RAJAPINTA	. 3
ELMAS FMEA-RCM analyysi	.4
Analyysin aloittaminen	. 4
Kohteen valinta ja rajaus	. 4
Laitehierarkkisen puun mallintaminen	5
Mitkä ovat kohteen toiminnot ja suorituskykystandardit sen tämänhetkises toimintaympäristössä? Toimintohierarkkisen puun mallintaminen	ssä . 7 7
Mitä tapahtuu, kun kohde rikkoontuu (mitkä toiminnot jäävät tapahtumatta)? Mikä aiheuttaa kunkin kohteen toiminnon puuttumisen / vajaatoiminnan? Projektin solmujen solmutyyppien määrittäminen	<b>.9</b> .9 .10
Vikamuotojen ja toiminnallisten vikojen yhdistäminen	. 12
Mitä tapahtuu kunkin vikaantumisen yhteydessä?	14
Mitä vahinkoja kukin vikaantuminen aiheuttaa?	15
Projektitiedoston tallentaminen uudella nimellä	. 18
Mitä voidaan tehdä kunkin vikaantumismallin havaitsemiseksi riittävän ajoissa vikaantumisen estämiseksi? Mitä tehdään, jos sopivaa ennakoivaa toimenpidettä ei löydy?	tai 18 21
Analyysissä määritettyjen toimenpiteiden vaikutusten arviointi	21
Analyysista saatavat raportit	22
Lynyt toinintaonje ELMAS FMEA-RCM etenennisesta	ZO





# FMEA:N JA RCM:N RAJAPINTA

Laitteiden vika- ja vaikutusanalyysissä (FMEA) käydään läpi ensimmäiset neljä (1.-4.) RCM:n seitsemästä vaiheesta. FMEA-analyysia voidaan laajentaa ottamalla mukaan vikojen kriittisyyden (C) arviointi (5.), jolloin analyysissä vastataan jo viiteen RCM-analyysissä esitettyyn kysymykseen. FMECAanalyysi auttaa edetessään muodostamaan näkemyksen vikamuotojen ja toiminnallisten vikojen välisistä syy-seuraus suhteista. FMECA-analyysin lopputuotoksena on muodostunut listaus analysoitavan kohteen tunnistetuista vikamuodoista (vioittumistavoista) ja niiden aiheuttajista. Tämän lisäksi tunnistetut vikamuodot on arvioitu niiden eri järjestelmätasoille aiheuttamien vaikutusten suhteen. Kriittisimmille FMECA-analyysissä tunnistetuille vikamuodoille pyritään RCM:n kahdessa viimeisessä vaiheessa (6.-7.) etsimään tehokkaimmat toimintamallit vikamuodon estämiseksi tai siitä aiheutuvien seurausten lieventämiseksi. FME(C)A on hyvä menetelmä vikojen ja vaikutusten arviointiin jo sellaisenaan. Lisäksi se toimii hyvänä pohjana mahdollisesti myöhemmin suoritettavaa RCM-analyysia varten. Alla olevassa taulukossa (*Taulukko 1*) on esitetty perinteiset seitsemän kysymystä, joihin RCM-analyysissä pyritään vastaamaan.

- 1. Mitkä ovat kohteen toiminnot ja suorituskykystandardit sen tämänhetkisessä toimintaympäristössä?
- 2. Mitä tapahtuu, kun kohde rikkoontuu (mitkä toiminnot jäävät tapahtumatta)?
- 3. Mikä aiheuttaa kunkin kohteen toiminnon puuttumisen / vajaatoiminnan?
- 4. Mitä tapahtuu kunkin vikaantumisen yhteydessä?
- 5. Mitä vahinkoja kukin vikaantuminen aiheuttaa?
- 6. Mitä voidaan tehdä kunkin vikaantumismallin havaitsemiseksi riittävän ajoissa tai vikaantumisen estämiseksi?
- 7. Mitä tehdään, jos sopivaa ennakoivaa toimenpidettä ei löydy?

Taulukko 1: RCM-analyysin seitsemän vaihetta

Toimintaohjeen tulevissa kappaleissa on pyritty antamaan ohjeita FME(C)A- ja RCM-analyysin kulusta nykyisellä ELMAS-ohjelmistoversiolla (v4.3.43). Alla olevaan listaan on määritetty FME(C)A:ssa ja RCM:ssä yleisesti käytettyjä vikaantumiseen liittyviä termejä:

- Vikaantuminen (Failure) määritellään kohteen kykenemättömyydeksi täyttää siltä vaadittua toimintoa halutulla suorituskykytasolla (SFS IEC 50/191).
- Vika (Fault) on kohteen tila, joka seuraa vikaantumisesta.
- **Oirehtiva vika** (Potential failure) on havainnoitavissa oleva tila, joka osoittaa muutoksen tapahtuneen kohti toiminnallista vikaantumista.
- Vian syyllä (Failure cause) tarkoitetaan vian alkuperäistä syytä eli vikaantumiseen johtaneen prosessin tai tapahtumaketjun aiheuttajaa.
- Vikamuodolla (Failure mode) ymmärretään vian ilmenemismuotoa eli sitä, kuinka vika on havaittavissa. Käsitteelle vikamuoto yksi hyvä vastike on myös vikaantumistapa.
- Vian vaikutus (Failure effect) tarkoittaa sitä välitöntä vaikutusta, jonka vikamuoto saa aikaan. Toisin sanoen vastaa kysymykseen mitä tapahtuu vikamuodon myötä.
- **Toiminnallinen vikaantuminen** (Functional failure) on kohteen kykenemättömyys toteuttaa käyttäjän siltä edellyttämä toiminto käyttäjän hyväksymällä suorituskyvyllä.
- Vian seuraus (Failure consequence) tarkoittaa sitä seurausvaikutusta, joka kyseisestä vikaantumisesta aiheutuu. Vastaa siis kysymykseen mitä seurauksia vialla on. Yleensä vikaantuminen arvioidaan talous-, turvallisuus- ja ympäristöseurausten suhteen.
- **Toiminnolla** (Function) tarkoitetaan tehtävää, jota kohteen odotetaan tekevän nykyisessä toimintaympäristössään. Usein toimintoon liitetään myös suorituskykyrajat, joita kohteelta vaaditaan. Kohteella voi olla useita tehtäviä, jotka jaetaan pää- ja sivutoiminnoiksi.

Ramentor Oy	Tel. +358 (0) 40 746 6585
P.O. Box 916	Fax +358 (0) 3 280 6850
FI-33101 Tampere	www.ramentor.com



# ELMAS FMEA-RCM analyysi

#### Analyysin aloittaminen

FMEA-RCM analyysi aloitetaan ELMASissa luomalla ELMAS asetuksista (*Tools->Options->Model->Model Types->Add new tab type*) uusia projektivälilehtityyppejä (*kts. Kuva 1*). Alla olevaan esimerkkiprojektiin (*Kuva 1*) on luotu uudet välilehdet tarkasteltavan osajärjestelmän laitehierarkialle (*Device hierarchy*) ja toiminnoille (*Function hierarchy*).

Options							×				
Personal	2-Level Proc	ess Diagram		Devic	vice hierarchy Func		ion hierarchy				
Model	Model Types	Fault Tree	Ca	ause Tree	Cause-Consequ	uence Tree	Block Diagram				
Nodes	Model Types										
FMEA	Data key	Data key Graph type									
Expense Types	Tree				Top-Down Tree						
Other	Conseq				Left-Right Tree						
Dynamic	Sub block				Block Diagram Block Diagram						
		Add new model type  Remove selected model types  Tab Types									
	Tab type til Fault Tree Cause Tree Cause Tree Cause Conse Block Diagram 2-Level Proce Device hierar Function hier	Tab type title         Image: Add new tab type         Restore Default Model Options									
						¥ Cara					
ELMAS RAMoptim	Dynamic v4.3.40 (30	).7.2010)			UK UK	🙏 Cance	невр				

Kuva 1: Uusien projektivälilehtien luominen

#### Kohteen valinta ja rajaus

Tehokkaan RCM-analyysin vaatima syvyys voi jäädä saavuttamatta, mikäli tarkastelun kohteeksi valitaan liian laaja kokonaisuus. Suositeltavaa olisi, että analyysin kohteeksi valitaan jokin suuremmasta kokonaisuudesta rajattu merkittävä osakokonaisuus. Tällöin päästään kiinni tekijöihin, joiden toiminnalla on suurin mahdollinen merkitys koko kohteen turvallisen toiminnan kannalta.

Hyvä tapa analyysin kohteen valintaa helpottamaan on luoda tutkittavasta kohteesta (esim. tuotantolinjasta) yksi- tai kaksitasoinen lohkokaaviomalli kuvaamaan osaprosessien, järjestelmien ja laitteistojen välisiä suhteita tuotantolinjalla (*Kuvat 2 ja 3*). Lohkokaaviomallin solmut on määritetty niiden muodostamien toiminnallisten kokonaisuuksien mukaan. Määrittämällä esim. historiatietojen perusteella lohkokaaviomallin solmuille niiden vikaantumis- ja korjausaikatietoja kyetään mallia tutkimaan simulointitulosten perusteella. Lisäksi vikaantumisille ja epäkäytettävyydelle voidaan määrittää kustannukset, jolloin osaprosessit voidaan laittaa järjestykseen myös niiden aiheuttamien kustannusriskien suhteen. Simulointituloksia voidaan haluttaessa käyttää yhtenä analyysikohteen valinnan menetelmänä.



Tel. +358 (0) 40 746 6585 Fax +358 (0) 3 280 6850 www.ramentor.com





Kuva 2: Raaka-ainelinjan lohkokaaviomalli



Kuva 3: Raaka-aineen siirron tarkempi lohkokaaviomalli

Yksi tärkeistä analyysin kohteen valintaan vaikuttavista tekijöitä on investoinnin takaisinmaksukyky, eli voidaanko analyysiin käytetyllä panoksella ja sen aikana tehdyillä päätöksillä oleellisesti parantaa järjestelmän tuotantokykyä, käyttövarmuutta tai laatuun vaikuttavia tekijöitä. Ainoastaan *turvallisuuteen* ja *ympäristöön* vaikuttavissa tekijöissä kustannukset jäävät toissijaisiksi tekijöiksi päätöksiä tehtäessä. Analyysiin valitun kohteen tarkemmat rajat määritetään seuraavan vaiheen laitehierarkkiseen puumalliin.

# Laitehierarkkisen puun mallintaminen

Analyysin kohteen valinnan jälkeen luodaan tutkittavasta osajärjestelmästä sen laitehierarkkinen puumalli valitsemalla *Device hierarchy* projektivälilehtityypiksi (*kts. Kuva 4*). Tämän jälkeen painamalla **Create new graph tab** -nappia luodaan projektin laitehierarkian ensimmäinen solmu, joka kuvaa laitehierarkian ylintä tasoa (esim. osajärjestelmä). Laitehierarkiamallin on tarkoitus olla mahdollisimman visuaalinen kuvaus tarkasteltavasta kohteesta, joka osoittaa kohteen rajat analyysiin osallistuville ja myöhemmin sitä tarkasteleville henkilöille. Tämä nopeuttaa projektiin osallistuvien kykyä hahmottaa tarkasteltava kohde ilman epätietoisuutta siitä, mistä osista analyysiin tietoa kaivataan. Tämän lisäksi laitehierarkkista mallia voidaan hyödyntää myöhemmin tarkasteltavan kohteen käyttövarmuustarkasteluissa.



 Ramentor Oy
 Tel. +358 (0) 40 746 6585

 P.O. Box 916
 Fax +358 (0) 3 280 6850

 FI-33101 Tampere
 www.ramentor.com





Kuva 4: Projektin aloitusnäkymä uusine välilehtityyppeineen

Laitehierarkiamallin solmujen nimeämisen lisäksi on suositeltavaa määrittää uudelleen myös solmun tunnukset eli ID:t. Solmujen ID:t voidaan määrittää vastaamaan esim. kunnossapitotietojärjestelmässä käytettyjä laitepaikkatunnuksia tai vastaavia tunnuksia, joilla kohteita kyetään tunnistamaan. Muuttamalla ID vastaamaan kunnossapitotietojärjestelmän tunnuksia voidaan vika-, korjausaika- ja huoltohistoria siirtää solmuille automaattisesti käyttämällä ELMASin Excel-siirtotyökalua. Alla olevaan solmun editorin kuvaan (Kuva 5) on laitteen nimeämisen lisäksi muutettu myös solmun ID vastaamaan yrityksen tietojärjestelmissä käytettyä tunnusta kohteesta (kuvitteellinen).

Edit node: De	vice#1 Pump	pu X					
General		Edit node					
Туре	ID:	Device#1					
Relations							
Failure	Name:	Pumppu					
Repair							
Line	Description:						
Risks							
Maintenance							
FMEA	Notes:						
Dynamic							
	Add attac	hment:					
ELMAS RAMoptim Dynamic v4.3.40 (30.7.2010)							

Kuva 5: Solmun editori

Laitehierarkiapuu rakentuu halutusta määrästä eri tasoja, joista alimman tason tulisi kuvata tarkasteltavan kohteen huollettavaa tasoa (suositeltu) eli tasoa, jonne vikamuodot kohdistuvat. Usein huollettavaksi tasoksi sovitaan osa/komponenttitaso. Yleensä ollaan vielä kiinnostuneita eri vikamuodoista, joita osilla/komponenteilla esiintyy, jolloin osille/komponenteille luodaan vielä tarkempi vikamuototaso. Esimerkkiprojektin laitehierarkkinen puumalli on nähtävillä alla olevassa kuvassa (Kuva 6). Laitehierarkian kolmannelle tasolle on sijoitettu osajärjestelmän laitteiden komponentit, jotka niille ominaisten loogisten ehtojen perusteella muodostavat eri laitteita. Laitehierarkkinen puu voidaan rakentaa esim. seuraavista tasoista:





- Osajärjestelmä (Subsystem)
- Laite (Device)  $\rightarrow$  muutettu ID (Device#)
- Osa/komponentti (Component) → muutettu ID (Comp#)



Kuva 6: Laitehierarkkinen puumalli (vikamuotoja ei määritetty)

Puun rakentaminen tämän vaiheen tasolle voidaan olettaa olevan hyvin yksinkertaista. Usein tämän vaiheen laitehierarkkinen malli voidaan rakentaa yrityksen tietojärjestelmissä käytetyn laitehierarkian pohjalta. RCM-analyysin ensimmäinen askel, jossa pohjustetaan analyysin kohde ja rajat, tulee täytetyksi edellä suoritettujen toimenpiteiden myötä.

# Mitkä ovat kohteen toiminnot ja suorituskykystandardit sen tämänhetkisessä toimintaympäristössä?

# Toimintohierarkkisen puun mallintaminen

Toimintohierarkkisessa mallissa voidaan kuvata tutkittavan järjestelmän toimintojen lisäksi sen laitteiden toiminnot. Päätös kuvattavasta toiminnallisesta tasosta tehdään analyysikohtaisesti riippuen analysoitavan kohteen laajuudesta ja halutun lopputuloksen tarkkuudesta. Laajoissa kohteissa laitteiden toimintojen kuvaaminen toimintohierarkkisessa mallissa kasvattaa merkittävästi mallissa olevien solmujen ja tasojen määrää. Analysoitavan kohteen laitteiden toimintojen kuvaus voidaan haluttaessa sijoittaa laitteita kuvaavien solmujen editoreiden kuvauskenttiin laitehierarkkiseen malliin, jolloin vältytään luomasta liian monitasoista mallia toimintohierarkkiseen malliin. Toimintohierarkkisen mallin tasojen tarpeellisuus tulee miettiä tapauskohtaisesti suoritettavan analyysin tarpeen mukaiseksi.

Toimintohierarkkisen puun mallintaminen aloitetaan valitsemalla uudeksi projektivälilehdeksi Function hierarchy -tyyppinen välilehti projektin aloitusnäkymästä (kts. Kuva 7). Valitun toimintotason pääja sivutoimintojen määrittäminen suoritetaan järjestelmää, osajärjestelmiä tai laitteita kuvaavien solmujen alle toimintohierarkiamalliin. Toimintojen arvioinnissa tulee huomioida myös toimintoympäristö, jossa tarkasteltavan kohteen on tarkoitus toimia. Eri järjestelmäosia kuvaavien solmujen ID:t tulee nimetä toimintohierarkiamalliin uudella nimellä laitehierarkiamallissa käytettyyn verrattuna. Nimeämällä ID:t solmutyypin perusteella (Function  $\rightarrow F$ #) helpotetaan projektin eri mallien simulointitulosten ja erilaisten projektiraporttien tarkastelua. Edellä mainittua ID:n nimeämistä solmutyypin mukaan tullaan käyttämään eri mallitasoja luotaessa esimerkkiprojektin edetessä.



Tel. +358 (0) 40 746 6585 Fax +358 (0) 3 280 6850 www.ramentor.com







Kuva 7: Toimintohierarkkisen puun mallintamisen aloitus projektin aloitusnäkymässä (ID muutettu)

Esimerkkiprojektissa toimintotasoksi (taso 2) on valittu osajärjestelmän (Subsystem) toiminnot. Solmun editorin nimi- tai kuvauskenttään on suositeltavaa lisätä suorituskykytasot, joita toiminnoilta edellytetään nykyisissä toimintaolosuhteissa. Esimerkkiprojektissa tarkasteltavalle osajärjestelmälle on määritetty kaksi toimintoa osajärjestelmää kuvaavan solmun alle (*kts. Kuva 8*). Vaihtoehtoisesti tarkasteltavan kohteen toiminnot voidaan määrittää myös laitesolmujen (Device) alle. Kuvassa 9 on näkymä mallista, jossa toiminnot on viety tarkemmalle tasolle.



Kuva 8: Toimintohierarkkinen malli (toiminnot määritetty osajärjestelmälle)









# Mitä tapahtuu, kun kohde rikkoontuu (mitkä toiminnot jäävät tapahtumatta)?

Toimintohierarkkisen mallin alimmalle tasolle määritetään tapoja, joilla aikaisemmin määritetyt toiminnot voivat estyä, eli mietitään toimintojen toiminnallisia vikoja. Usein toiminnoilla voi olla useita toiminnallisia vikoja, jotka kaikki tulisi määrittää. Alla olevissa kuvissa (*Kuvat 10 ja 11*) on nähtävillä toimintohierarkiamallit, joiden alimmalle tasolle on määritetty toiminnalliset viat (*Functional failure*). Toimintaohjeen tulevissa osioissa on keskitytty käsittelemään RCM-analyysin suorittamista osajärjestelmän toiminnot kuvaavalla mallilla (*kts. Kuva 10*).





# Mikä aiheuttaa kunkin kohteen toiminnon puuttumisen / vajaatoiminnan?

Kohteen toiminnallisia vikoja aiheuttavat vikamuodot tulisi analyysin seuraavassa vaiheessa määrittää laitehierarkkiseen malliin sen alimman tason solmuiksi. Vikamuodoilla pyritään kuvaamaan ensimmäisessä vaiheessa laitehierarkkisen mallin alimmalle tasolle määritettyjen osien/komponenttien vikaan-





tumisen tapoja. Vikamuotojen määrittämisessä osallistujilta vaaditaan hyvää kohteen ja osien/komponenttien tuntemista. Mallin osille/komponenteille täydennettäviä vikamuotoja ovat vikamuodot, jotka ovat jo tapahtuneet tai joiden voidaan hyvällä syyllä olettaa vielä tapahtuvan. Myös inhimilliset tapahtumat on hyvä sisällyttää tähän tarkasteluun. Vikamuotoja on helpompi käsitellä aluksi laitehierarkkisen mallin kautta, vaikka analyysin tulevassa vaiheessa vikamuodot yhdistyvätkin toimintohierarkkiseen malliin. Alla olevaan laitehierarkiamallin kuvaan (*Kuva 12*) on määritetty osien/komponenttien kaikki mahdolliset vikamuodot, joiden oletetaan olevan tyypillisiä ja mahdollisia (näkyvillä ainoastaan *Comp#1.1*:sen vikamuodot).

Laitehierarkiapuuhun lisätty taso:

- Vikamuoto (Failure Mode) → muutettu ID (FM#)



Kuva 12: Laitehierarkkinen puumalli (vikamuodot määritetty)

Laitehierarkiamallin alimman tason vikamuotosolmuille voidaan analyysin tässä tai myöhemmässä vaiheessa määrittää solmujen editoreihin vikaantumiseen ja korjaukseen liittyviä tietoja, kuten *MTTF*- ja *MTTR*- arvot. Mallin luettavuuden helpottamiseksi vikamuotoja kuvaavien solmujen ID:t on muutettu kuvaamaan solmutyyppiä.

# Projektin solmujen solmutyyppien määrittäminen

Projektin solmujen tyyppien määrittäminen nopeuttaa ja helpottaa erityyppisten solmujen yhdistämistä projektin seuraavissa vaiheissa. ELMASiin on määritetty oletuksena jo tiettyjä solmutyyppejä. Projektista riippuen voi olla, että valmiiksi ehdotetut solmutyypit eivät vastaa yrityksessä käytettyjä nimityksiä. Tällöin solmutyyppejä voidaan luoda lisää tai vanhoja nimetä uudelleen ELMASin asetuksista Tools -> Options -> Nodes -> Node types -> Add new node type (kts. Kuva 13). Vastaavasta paikasta voidaan myös poistaa haluttuja solmutyyppejä. Solmutyyppien poistaminen tapahtuu valitsemalla Node Types- listasta poistettavat solmutyypit ja painamalla **Remove selected rows** -nappia.





Options	Options X									
Personal	Node Types	Connecting tool	Categories							
Model	Node Types									
Nodes		Show node type se	lection in editor:							
FMEA	Node type ti	tle	Data key							
Expense Types			general							
Other			Failure Mode							
Durania			Component							
Dynamic			Device							
			Functional Failu	re						
			Function							
			System Sub-system							
	Ad	d new node type Restore Default Rest	Remove Node Type Op	selected rows						
ELMAS RAMoptim	ELMAS RAMoptim Dynamic v4.3.40 (30.7.2010)									

Kuva 13: Solmutyyppien uudelleen nimeäminen, lisääminen tai poistaminen

Projektin solmutyyppien määrittäminen voidaan tehdä koko projektin solmuille yhdellä kertaa käyttämällä ELMASin taulukkoyhteenvetotyökalua Tools -> Summary: Table (kts. Kuva 14). Saadaksesi yhtä aikaa kaikki projektin solmut näkyville taulukkoyhteenvetoon sinun tulee avata taulukkoyhteenvetotyökalu projektin aloitusnäkymän välilehdellä (kts. Kuva 4). Taulukkoyhteenvetotyökalussa valitaan taulukossa näytettäviksi sarakkeiksi ID, Name ja Node Type. Taulukon avaamisen jälkeen solmutyyppi voidaan valita alasvetovalikosta. Useiden peräkkäisten solmujen muuttaminen samantyyppisiksi voidaan tehdä kopioimalla solmutyyppi Exceliin ja siellä monistamalla sopiva määrä kyseistä solmutyyppiä. Tämän jälkeen haluttu määrä monistettuja solmutyyppejä voidaan kopioida ja liittää ELMASin taulukkoyhteenvedossa halutuille solmuille. Vaihtoehtoinen tapa useiden samaa tyyppiä olevien solmujen määrittämiseksi on käyttää apusaraketta solmutyypin monistamiseksi. Tämä tapahtuu valitsemalla taulukkoon ID, Name ja Node Type sarakkeiden lisäksi sarake (apusarake), johon projektin aikana ei ole määritetty tietoja. Solmutyyppi monistuu Node Type sarakkeeseen kopioimalla haluttu solmutyyppi, maalaamalla sekä apusarakkeen että Node Type sarakkeen alueelta haluttu määrä rivejä ja tämän jälkeen liittämällä kopioitu solmu valitulle alueelle.

roperues	Summary table		10							
Summary table										
ID	Name	Node type								
RAL1	Raaka-ainelinja	General								
RAL1_RAVO	Raaka-aineen vastaanotto	System								
RAL1_LAVO	Lisä-aineen vastaanotto	System								
RAL1_LAS	Lisä-aineen siirto	System								
RAL1_RAS	Raaka-aineen siirto	System								
RAL1_S	Raaka-aineen ja lisä-aineen sekoitus	System								
RAL1_RAS_PJ	Pumppausjärjestelmä	Sub-system								
RAL1_RAS_P	Raaka-aineen siirron putkistot	Sub-system								
DH	Pumppausjärjestelmä	General								
Device#1	Pumppu	Device								
Device#2	Käyttömoottori	Device								
Device#3	Kytkin	Device								
Device#4	Taajuusmuuttaja	Device								
Device#5	Ohjauslogiikka	Device								
Comp#1.2	Juoksupyörä	Component 🔄								
Comp#1.1	Imu- ja painepuolen putkisto	General								
Comp#1.3	Laakerit	Failure Mode								
Comp#1.4	Akseli	Component								
Comp#1.5	Tiivisteet	Device								
Comp#2.1	Moottorin laakerit	Euroctional Eailure								
Comp#2.2	Moottorin sähkökomponentit	Euroction								
Comp#3.1	Kytkimen puolikkaat ja joustoelementti	Custom								
Comp#4.1	Tuuletin/jäähdytysrivat	System								
Comp#4.2	Taajuusmuuttajan sähkökomponentit	Sub-system								
Comp#5.1	Ohjauslogiikan sähkökomponentit	Component	10							

Kuva 14: Yhteenvetotaulukko (solmutyypin määrittäminen)



Ramentor Oy P.O. Box 916



Solmujen tyypin määrittäminen on mahdollista tehdä myös jokaisen solmun editorissa erikseen valitsemalla solmun editorissa solmutyyppi *Type*-välilehden alasvetovalikosta (*kts. Kuva 15*). Isoissa projekteissa aikaa ja vaivaa voidaan kuitenkin säästää määrittelemällä solmutyypit taulukkoyhteenvetotyökalussa.

Edit node: FM	#1.1.1 Imu-	ja/tai painepuolen putkisto vuotaa	×					
General		Node type						
Type Relations Failure Repair Line Risks Maintenance	Node type:	Failure Mode General Failure Mode Component Device Functional Failure Function System Sub-system						
Dynamic								
ELMAS RAMoptim Dynamic v4.3.40 (30.7.2010)								

Kuva 15: Solmutyypin määrittäminen solmun editorissa

#### Vikamuotojen ja toiminnallisten vikojen yhdistäminen

Tärkeä osa analyysia on selvittää vikamuotojen ja toiminnallisten vikojen tapahtumayhteys. Tämä vaihe analyysissä voidaan toteuttaa käyttämällä ELMASin yhdistämistyökalua, jolla aikaisemmin määritettyjä erityyppisiä solmuja voidaan nopeasti yhdistää samalle projektivälilehdelle. Analyysin yhtenä tarkoituksena on tunnistaa tapahtumia (vikamuotoja), jotka jollain todennäköisyydellä aiheuttavat niille ominaisia toiminnallisia vikoja. Tämän vuoksi laitehierarkiapuuhun määritetyt vikamuodot tulisi nyt yhdistää toimintopuun toiminnallisiin vikoihin (*Failure Mode*  $\rightarrow$  *Functional Failure*).

Ennen varsinaisen yhdistämistyökalun avaamista tulee ELMASin asetuksista määrittää mitä solmuja projektissa halutaan yhdistellä. *Tools -> Options -> Nodes -> Connecting tool* polkua pitkin päästään ELMAS- asetusten välilehdelle, jossa halutut solmujen yhdistämistavat voidaan määrittää. Alasvetovalikoissa on valittavissa kaikki aikaisemmin määritetyt solmutyypit. Alla olevassa esimerkkiprojektin kuvassa (Kuva 16) on erityyppisten solmujen yhdistämiselle luotu tapa, jonka mukaisesti yhdistämistyökaluun syntyy vikamuodot ja toiminnalliset viat yhdistävä välilehti (*Failure Mode \rightarrow Functional Failure*).

Options	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	×							
Personal	Node Types Connecting tool Categories								
Model	Connecting Tool Tabs								
Nodes	Grouping node type Cause node type Consequence node type Model data key								
FMEA	Component Failure Mode Functional Failure Tree								
Expense Types Other Dynamic	General General General General General General Gomponent Device Functional Failure Function System Sub-system								
ELMAS RAMoptim	ELMAS RAMoptim Dynamic v4.3.40 (30.7.2010)								

Kuva 16: Solmutyyppien yhdistämisehdot





Solmujen yhdistämistapoja voi lisätä painamalla Add new connecting tool tab -nappia. Tämän jälkeen valitaan alasvetovalikoista ehdot, joilla yhdistäminen suoritetaan. Yhdistettävä syysolmun tyyppi (*Cause node type*) yhdistetään seuraussolmun tyyppiin (*Consequence node type*). Ensimmäisen sarakkeen kokoavan solmutyypin (*Grouping node type*) määrittämisellä voidaan yhdistämistyökalussa ryhmitellä samantyyppiset yhdistettävät solmut näkymään ylemmän tason solmutyypin mukaan (*kts. Kuva 17*).

ELMASin yhdistämistyökalu avautuu seuraamalla polkua *Tools -> Connecting tool.* Ensimmäisessä solmujen yhdistämisvaiheessa valitaan yhdistämistyökalun välilehdeksi *Failure Mode*  $\rightarrow$  *Functional Failure.* Vikamuotojen yhdistäminen toiminnallisiin vikoihin voidaan tehdä joko kaikille listatuille vikamuodoille samanaikaisesti avaamalla kaikki vikamuodot yhdistämistyökalussa **Show all Failure Mode nodes** -napilla tai jakamalla yhdistettävät solmut pienempiin ryhmiin kokoavan solmun avulla. Aikaisemmin ELMASin asetuksissa tekemämme *Grouping node type* määrityksen ansiosta voimme ryhmitellä vikamuodot komponenttikohtaisesti (Component). Valitsemalla tietyn komponentin yhdistämistyökalun yläosan komponenttien listasta, sen laitehierarkiamalliin määritetyt vikamuodot listautuvat yhdistämistyökalun vikamuotojenlistaan. Vikamuotojen yhdistäminen toiminnallisiin vikoihin tapahtuu painamalla hiiren vasenta nappia vikamuotoa ja toiminnallista vikaa yhdistävän ruudun kohdalla, jolloin ruutuun ilmestyy merkintä valinnasta (*kts. Kuva 17*). Vikamuotoon liittyvät tekijät listautuvat yhdistämistyökalun alaosaan valitsemalla vikamuoto vikamuotojen listasta. Vikamuotojen ja toiminnallisten vikojen määrittämisen jälkeen painetaan yhdistämistyökalun oikean alalaidan **OK** nappia, jolloin määritetyt yhteydet muodostetaan malleihin. Tämän jälkeen vikamuodot näkyvät toimintohierarkkisessa mallissa suoraan toiminnallisten vikojen alla.

Connectin	g Tool								ж		
Failure M	Falure Mode -> Functional Falure										
	Select Component which Failure Mode nodes are shown										
ID /	Component	Component									
Comp#1.	<ol> <li>Imu- ja painepuol</li> </ol>	len putki:	sto								
Comp#1.	2 Juoksupyörä										
Comp#1.	3 Laakerit										
Comp#1.	4 Akseli										
Comp#1.	5 Tiivisteet										
Comp#2.	<ol> <li>Moottorin laakerit</li> </ol>	t									
Comp#2.	2 Moottorin sähköke	omponer	ntit								
Comp#3.	<ol> <li>Kytkimen puolikka</li> </ol>	at ja jou	istoelementti								
Comp#4.	<ol> <li>Tuuletin/jäähdyty</li> </ol>	rivat									
Comp#4.	2 Taajuusmuuttajar	n sähkök	omponentit								
Comp#5.	<ol> <li>Ohjauslogiikan sä</li> </ol>	hkökomp	onentit								
						Show all Failure M	ode nodes				
					Conne	ect Failure Mode and	d Functional Failu	re			
ID	Failure Mode			FF#1.1 Ei pump	p FF#1.2 Pumppa.	FF#1.3 Riittämä	. FF#1.4 Pumppu	1 FF#1.5 Pumppu FF#	1.6 Pumpatt FF#2.1 Pumppa FF#2.2 Pumppau		
FM#1.1.1	<ol> <li>Imu- ja/tai painepuo</li> </ol>	olen puti	isto vuotaa						✓		
FM#1.1.3	2 Pumppu tai imuputk	i ei täysi	n täytetty	✓							
FM#1.1.3	3 Liian pieni imuputki				✓	✓			FF#1.6 Pumpattava neste karkaa järjestelmästä		
	FM#1.1.1 Imu-ja/tai painepuolen putkisto vuotaa										
	Node type	ID	Name						Gate		
Parents:	Component	Com	Imu- ja paine	puolen putkisto					OR		
	Functional Failure	FF#	Pumpattava r	neste karkaa järji	estelmästä				OR		
ELMAS RAM	Moptim Dynamic v4.3.44	4 (19.8.2	2010)						V OK X Cancel 🛞 Help		

Kuva 17: Vikamuotojen ja toiminnallisten vikojen yhdistäminen yhdistämistyökalulla

Vaihtoehtoinen tapa erityyppisten solmujen yhdistämiselle projektivälilehtien välillä on valita halutut solmut projektinäkymän oikean reunan solmulistasta ja yhdistää ne halutun solmun alle. Esimerkiksi laitehierarkkiseen malliin määritetyt vikamuodot voidaan yhdistää toimintohierarkkiseen malliin seuraavalla tavalla. Aluksi tulee avata toimintohierarkkinen malli, jonka jälkeen valitaan (maalataan) tietyn toiminnallisen vian aiheuttavat vikamuodot oikean reunan solmulistasta. Valitut vikamuodot yhdistyvät halutun toiminnallisen vian alle painamalla mallissa olevan toiminnallisen vian päällä hiiren oikeaa nappia ja valitsemalla avautuvasta valikosta *Add selected as children -> Add all selected*.





Nyt vikamuodoille on määritetty niiden vaikutus tutkittavan kohteen toimintoihin. Tästä tuloksena on saatu visuaalinen malli, joka kuvaa vikamuotojen ja toiminnallisten vikojen yhteyden johtaen lopulta jonkin toiminnon estymiseen tarkasteltavassa kohteessa (*kts. Kuva 18*).



Kuva 18: Toimintopuu vikamuotojen ja toiminnallisten vikojen yhdistämisen jälkeen

# Mitä tapahtuu kunkin vikaantumisen yhteydessä?

Vikamuotojen vaikutukset on hyvä kuvata vikamuodon solmun editorissa oleviin *FMEA*-sivun *Description*-välilehden kenttiin (*kts. Kuva 19*). Tavallisesti vikamuotojen vaikutukset jaetaan paikallisiin ja järjestelmätason vaikutuksiin. Vikamuotojen arvioinnissa pyritään vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

- Millaisia riskejä vikaantuminen aiheuttaa terveydelle tai ympäristölle?
- Miten vikaantuminen vaikuttaa tuotantoon tai toimintaan?
- Mitä konkreettisia vahinkoja vikaantuminen aiheuttaa?
- Mitkä ovat korjaustoimenpiteet?
- Mistä syystä vikamuoto syntyy?
- Mistä nähdään, että vikaantuminen on tapahtunut?

Edit node: FM	Edit node: FM#1.1.1 Imu- ja/tai painepuolen putkisto vuotaa 🛛 🗙											
General	Description RPN Actions											
Туре	Description of the Failure Mode											
Relations	Severity (how to reduce effects):											
Failure	Vian vaikutus: – Millaisia riskejä vikaantuminen aiheuttaa terveydelle tai ympäristölle											
Repair	– Miten vikaantuminen vaikuttaa tuotantoon tai toimintaan – Mitä konkreettisia vahinkoja vikaantuminen aiheuttaa											
Line	– Mitkä ovat korjaustoimenpiteet											
Risks	Occurrence (how to reduce causes):											
Maintenance	Vian aiheuttaja: – Mistä syystä vikamuoto syntyy											
FMEA	Mahdollisia syitä vikamuodon syntymiselle voivat olla esim: Inhimillinen virhe, ikääntyminen, liiallinen jännite/kuormitus,											
Dynamic	epäpuhtaus, jne											
	Detection (how to predict):											
	Vian havaitseminen: – Mistä nähdään, että vikaantuminen on tapahtunut											
ELMAS RAMopt	im Dynamic v4.3.40 (30.7.2010)											

Kuva 19: Vikamuodon vaikutusten kuvaus





Vikamuodon kriittisyyden luokitteluun voidaan käyttää sanallisen kuvauksen lisäksi RPN-arvoa (Risk Priority Number), joka muodostuu kolmen eri tekijän arvojen antamasta tulosta (kts. Kuva 20). Vikamuodot arvioidaan antamalla yhden ja kymmenen välillä oleva numerokerroin niiden vakavuuden, esiintymisen ja havaittavuuden suhteen. Näiden kolmen annetun kertoimen tulon mukaan vikamuoto saa RPN-arvonsa. Vikamuoto on sitä merkittävämpi mitä isomman RPN-arvon vikamuoto saa.

Edit node: FM	#1.1.1 Imu- ja/tai painepuolen putkisto vuotaa 🛛 🗙 🗙									
General	Description RPN Actions									
Туре	Risk Priority Number of the Failure Mode									
Relations	Draduct/item isonerable, with large									
Failure	Severity (S): 8 Very bid									
Repair										
Line										
Risks	Few failures may occur.									
Maintenance										
FMEA										
Dynamic	Moderately high chance the Design									
	Detection (D): 4 Moderately high cause/mechanism and subsequent									
	Failure mode.									
Risk Priority Number (S*O*D): 160										
ELMAS RAMoptim Dynamic v4.3.40 (30.7.2010)										
Kuva 20• V	Vikamuodon RPN-arvon muodostuminen									

# Mitä vahinkoja kukin vikaantuminen aiheuttaa?

Seuraavassa vaiheessa analyysiä haluamme selvittää mitä seurauksia kullakin toiminnallisella vialla on ja kuinka merkittäviä ne ovat. Tähän toiminnallisten vikojen seurausten luokitteluun käytämme solmujen editoreista löytyvää loogista päätöspuuanalyysia (LTA). Seurausvaikutusten luokittelun LTAkysymyspolku löytyy solmun editorin Risks-sivun LTA-välilehdeltä. Päätöslogiikkapuussa toiminnalliselle vialle esitetään sarja kysymyksiä, joihin vastaamalla toiminnallinen vika ohjautuu sille ominaisimpaan seurausvaikutusluokkaan. Toiminnallinen vika ohjautuu päätöslogiikkapuun lopuksi johonkin seuraavista kuudesta seurausvaikutusluokasta:

- Piilevä turvallisuuteen vaikuttava seuraus (HS)
- Piilevä tuotantoon vaikuttava seuraus (HO) •
- Piilevä välittömiä kustannuksia aiheuttava seuraus (HE)
- Havaittava turvallisuuteen vaikuttava seuraus (ES) •
- Havaittava tuotantoon vaikuttava seuraus (EO)
- Havaittava välittömiä kustannuksia aiheuttava seuraus (EE)

LTA:n tarkastelutasoa tai solmutyyppiä ei ole ohjelmistossa kiinnitetty, vaan se on täysin käyttäjän valittavissa. Suositeltu yleinen tapa on suorittaa ensimmäisen tason LTA-tarkastelut RCM-analyysissa toiminnallisten vikojen tasolle, mutta joissain tapauksissa voidaan joutua samat tarkastelut tekemään tasoa alemmaksi vikamuototasolle. Seuraavan sivun kuvassa (Kuva 21) on näkymä yhdelle esimerkkiprojektin toiminnalliselle vialle (FF#1.1 Ei pumppausta lainkaan) tehdystä päätöslogiikkapuusta ja sen myötä syntyneestä seurausvaikutuksen luokituksesta. Päätöslogiikkapuun kysymyspolkua läpikäytäessä on suositeltavaa, että jokaisen kysymyksen aikana tehdyt huomiot kirjataan kysymyskentän oikealla puolella sijaitsevaan tyhjään kenttään. Näin olennaiset päätöksentekoon vaikuttaneet ajatukset tulee dokumentoitua ja ne on myöhemmin helppo palauttaa mieleen.



Ramentor Oy

P.O. Box 916



Edit node: FF#1.1 Ei pumppausta lainkaan 🗙 🗙																				
General	LTA	Break	Downtime	Repair start	Repair time	Order	Resources													
Туре		Logic decision tree analysis of effect categorization																		
Relations		Detection Is the occurrence of a functional failure evident to the operator during the performance of normal duties? Toiminnallinen vika ifmenee käyttöhenkilöstölle väittömästi ilmetessään automaatti-Ilmoituksena													Detection					
Failure	Tatha																			
Repair	to the																			
Line	norma																			
Risks						Yes	O No													
Maintenance				Sat	fety															
FMEA	Does t	he function	hal failure or se	condary damage	Ei aiheuta h	enkilö- eikä	i.													
Dynamic	resulti operat	ng from it h ing safety	nave a direct a or other hazar	dverse effect on dous results?	ympäristötu	rvallisuude	lle riskejä													
	Ľ					○ Yes	No													
				Oper	ation		0													
	Does t effect	he functior on operati	nal failure have ng cabability?	a direct adverse	e Tuotanto es	tyy														
						Yes	◯ No													
	Result	oflta:	0 (Evident Op	erational): Evider	nt failure that af	fects the o	peration													
ELMAS RAMopt	El MAS RAMontino Dunamie val 3 do (30 7 2010)																			
	C		21																	

Kuva 21: Seurausvaikutusten luokittelu (LTA1)

LTA:n mukaisen seurausvaikutusluokittelun rinnalle voidaan lisäksi liittää erilaiset simuloinnista saatavat käytettävyys- ja kustannusriskitulokset seurausvaikutusten arvioinnin avuksi. Toimintohierarkkista mallia voidaan simuloida käytettävyys- ja riskitulostarkasteluja silmällä pitäen sen jälkeen, kun vikamuodoille on määritetty tietoja niiden nykyisistä ennakkohuoltotöistä, vikaantumisajoista, korjausajoista sekä korjauskustannuksista. Toiminnallisille vioille voidaan vielä määrittää niille ominaisia aika- tai kertaperusteisia epäkäytettävyyskustannuksia. Alla oleviin kuviin (*Kuvat 22 ja 23*) on kerätty toimintohierarkiamallin simuloinnista saatavia käytettävyys- ja riskituloksia.

Analysis: Sin	ulation Too	l			×			
Profile	Availabilit	y Unreliability Mean times Studie	ed period	]				
Simulation		Failures during studied	period					×
Basic			ponoa	_	Cumulati			
Conditional		Studied time period: 10 a				Distribution		
Importance	ID	Name	Failed tin	e Failures	7 d -			
Dicko	FH	Pumppausiäriestelmä	10 d 16 h	64.704	6 d			
RISKS	FF#1.5	Pumppu käy kuumana ja jumittuu	4d8h	19.429				
Line	FF#2.1	Pumppaus ei käynnisty	1d 4h	16.838	5 d -			
	FF#1.4	Pumppu kuluttaa liiallisesti energiaa	3 d 21 h	16.639	4 d			
	FF#2.2	Pumppaus pysähtyy yllättäen	1d 4h	16.135				
	FF#1.6	Pumpattava neste karkaa järjestelmästä	2 d 17 h	13.361	3 d			
	FF#1.1	Ei pumppausta lainkaan	2 d 11 h	12.213				
	FF#1.2 Pumppauskapasiteetti riittämätön		1 d 18 h	8.409	2 d			
	FF#1.3 Riittämätön paineen kehitys 1 d 18 h				1 4			
	L							
· · · · ·						2 4 4 4	6 9 8	a 10 a
Analysis: Sin	ulation Too	bl				2 4 4 4	0 4 0	
Profile	Selections	General Reduction Achievemer	nt			— Min (5%) — Me	an — Max (95	(%)
Simulation		Redu	ction res	ults		Show graph	plots table	
Basic		Chudied Store actived.		[10				
Conditional		Studied time period:		10.9				
Importance		Mean time that consequence is	failed:	4d8h				
Risks		Mean number of failures of cons	equence:	19.429				
Line								
Line	ID Name Time Time (%)					Count (%)		
	FM#1.3.1 Laakerit vikaantuneet 1 d 20 h 42.5		42.5	5.509	28.35			
	FM#1.2.1 Juoksupyörä kulunut/juoksupyörän lav 1 d 9 h 31.31		31.31	4.048	20.83			
	FM#3.1.1 Linjausvirhe 14 h 31 min 13.93		nin 13.93	4.794	24.68			
	FM#2.1.1 Moottorin laakerit vaurioituneet 10 h 12 min 9.79				2.56	13.18		
	FM#3.2.1	Kytkin kumi kulunut/rikkoutunut	2 h 32 mi	n 2.427	2.501	12.87		





Tel. +358 (0) 40 746 6585 Fax +358 (0) 3 280 6850 www.ramentor.com





ram	ente	or			
Analysis: Sin	ulation Tool				
Profile	Entity risks	Node risks	Subtree risks	Relative risks	C
Simulation			Risks	s of the entity	
Basic		Shud	iad time pariods	[10.5	
Conditional		5100	ieu une periou.	10.8	
		Tota	risk:	694 708	

	RISKS OF	the entity	
Conditional	Studied time period: 10	a	Cumulative Distribution Stack
Tenestance	Total risk: 694	1 708	€ 700 000
importance	_		600.000
Risks	Type of risk	Risk (€)	
Line	Downtime	640 655	500 000
	Repair start	30 871	400 000
	Repair time	23 182	
	L		300 000
			200 000
Analysis: Sin	iulation lool		100.000
Profile	Entity risks Node risks Subtree risks F	Relative risks Comb.	risks
Simulation			2a 4a 6a 8a 10
Simolodon		Relative risk	ks
Basic	Studied t	ime period: 10 a	Downtime A Repair start A Repair time
Conditional	Studied	To d	Show graph plots table
Importance	Show als	o zero lines: 📃	
importance			
Risks	ID Name	Downtime (€) Re	epair start (€) Repair time (€) Relative risk (€) -
Line	FH Pumppausjärjestelmä	640 655 30	871 23 182 694 708
	FM#1.2.1 Juoksupyörä kulunut/juoksupyörän	173 677 6 0	085 3 264 183 026
	FM#1.3.1 Laakerit vikaantuneet	117 901 5 5	521 4 431 127 853
	FM#1.5.1 Tiivisteet vuotaa	49 682 5 0	019 3 734 58 435
	FM#1.4.1 Akseli taipunut	43 517 4 0	D58 3 271 50 846
	FM#2.2.1 Moottorin sähkökomponentti vikaa	42 357 1 8	811 1 195 45 363
	FM#2.1.1 Moottorin laakerit vaurioituneet	40 743 1 2	283 1 021 43 046
	FM#1.1.1 Imu- ja/tai painepuolen putkisto vu	37 345 355	5 2 807 40 506
	FM#3.1.1 Linjausvirhe	38 641 0	1 452 40 093
	FM#4.2.1 Taajuusmuuttajan sähkökomponen	20 998 6 1	161 592 27 751
	FM#4.1.1 Taajuusmuuttaja ylikuumenee	21 205 0	598 21 803
	FM#1.1.3 Liian pieni imuputki	19 337 0	0 19 337
	FM#5.1.1 Ohjauslogiikan sähkökomponentti v	16 208 454	4 229 16 891
	FM#1.2.2 Väärä pyörimissuunta	10 151 0	127 10 278
	FM#1.1.2 Pumppu tai imuputki ei täysin täyte	5 528 0	208 5 736
	FM#3.2.1 Kytkin kumi kulunut/rikkoutunut	3 365 125	5 253 3 743

omb.risks Human resources

Kuva 23: Seurausvaikutusten luokittelu (kustannusriskit)

Edellä kuvattujen seurausvaikutusten luokittelulla ja erilaisilla riskianalyyseilla on tarkoituksena tuoda esille potentiaalisimmat kohteet (vikamuodot), joista oikeilla ennakkohuoltotehtävillä on mahdollista saada paras tuotto investoinneille. Investointeina voidaan tässä tapauksessa pitää huoltokustannuksia, uudelleensuunnittelua tai muita tilannetta parantavia toimenpiteitä. Kuten jo aikaisemmin toiminta-ohjeen alkupuolella todettiin, poikkeuksen potentiaalisimpien kohteiden listaan tekee turvallisuus- ja ympäristöseuraukset, jotka kustannuksista riippumatta siirtyvät seuraavan vaiheen tarkasteluihin. Toisin sanoen, mikäli toiminnallinen vika on saanut LTA- kysymyspolun päätteeksi HS- tai ES- seuraus-vaikutusluokituksen, on kaikille sen aiheuttamille vikamuodoille pakko suunnitella ehkäiseviä toimenpiteitä. Analyysin seuraavassa vaiheessa jokaiselle kriittiselle vikamuodolle pyritään löytämään soveltuvin ja tehokkain ennakkohuollollinen toimenpide kyseisen vikamuodon välttämiseksi tai siitä aiheutuvien seurausten lieventämiseksi.

Kuvassa 24 on nähtävillä esimerkkiprojektin toimintohierarkkinen malli seurausvaikutustarkasteluiden jälkeen. Toiminnallisia vikoja kuvaaville solmuille on ilmestynyt kullekin ikoni kuvaamaan sille LTAkysymyspolun lopuksi muodostunutta seurausvaikutusluokkaa. Päätöslogiikkapuun myötä toiminnalliselle vialle muodostunutta seurausvaikutusluokkaa voidaan pitää hyvänä vinkkinä siihen vaikuttavien laitteiden/komponenttien/vikamuotojen soveltuvimmasta kunnossapitostrategiasta. Seurausvaikutuksiltaan merkittävimpien toiminnallisten vikojen huollot on pakko tehdä (*HS ja ES*) ja vähemmän merkittävämpien toiminnallisten vikojen huollot pitäisi (*HO ja EO*) tai voisi (*HE ja EE*) tehdä.



Tel. +358 (0) 40 746 6585 Fax +358 (0) 3 280 6850 www.ramentor.com





Kuva 24: Toimintohierarkkinen malli (seurausvaikutukset määritetty LTA:ssa)

# Projektitiedoston tallentaminen uudella nimellä

Tähän mennessä projektimallien mallintamisessa ja solmutietojen määrittämisessä on keskitytty kohteen nykyisen toiminnan kuvaamiseen. Projektin seuraavassa vaiheessa siirrytään arvioimaan erilaisten tehtävien ja toimintamallien vaikutusta kohteen toimintaan. Analyysin seuraavissa vaiheissa määritettyjen toimenpiteiden vaikutuksia kohteen toimintaan voidaan vertailla alkuperäisestä mallista ja uudesta mallista saatujen simulointitulosten perusteella. Tätä varten alkuperäistä ja uutta tilannetta kuvaavat mallit olisi hyvä pitää toisistaan erillään. Tähän riittää se, että tallentaa projektitiedoston uudella nimellä ennen seuraavaa työvaihetta eli tehtävien määritystä.

# Mitä voidaan tehdä kunkin vikaantumismallin havaitsemiseksi riittävän ajoissa tai vikaantumisen estämiseksi?

RCM tarjoaa päätöslogiikkakaavion sopivien huoltotehtävien määrittämiseen kullekin vikamuodolle niiden seurausluokituksen perusteella. Erityyppisten huoltotehtävien soveltuvuuden ja tehokkuuden tarkastelu tehdään huollettavaa tasoa kuvaaville vikamuotosolmuille solmujen editoreissa *Maintenance*-sivun *LTA*-välilehdellä. Huoltotehtävien tarkastelu aloitetaan määrittämällä vikamuodolle kriitti-syys (Criticality) alasvetovalikosta (*kts. Kuva 25*). Usein vikamuodon kriittisyys on sama kuin sen aihe-uttamalla toiminnallisella vialla. Seurausvaikutus ei kuitenkaan periydy vikamuodolle suoraan edelli-sen vaiheen toiminnalliselta vialta, vaan käyttäjän tulee valita vikamuodon kriittisyys erikseen alasve-tovalikosta. Huoltotehtävien määrityspolku ei avaudu, mikäli vikamuodolle ei määritetä kriittisyyttä.





Edit node: FM	#1.3.1 Laal	kerit vikaant	uneet			×	
General	Repla	cement	Finding	Rede	sign	RTF	
Туре	LTA	Preventiv	/e Ins	pection	Res	toration	
Relations		Logic decis	sion tree analy	sis of main	itenance		
Failure	Criticality:			-			
Repair	LU-L. To a	<u> </u>					
Line	Hint: To ma categorizatEvident failure that affects the safety (ES)						
Risks	some pare	Evident failur	e that affects t	e operation	(EO)		
Maintenance		Evident failur Hidden failure	e that causes o e that affects th	osts (EE) e safety (HS	)		
FMEA		Hidden failure	e that affects th	e operation (	(НО)		
Dynamic	Result of L	THidden failure	e that causes co	sts (HE)			
ELMAS RAMoptim Dynamic v4.3.43 (9.8.2010)							
Kuva 25: V	ikamuod	on kriitti	syyden ar	/iointi (L	TA2)		

Vikamuodon kriittisyys-luokituksesta riippuen vikamuodolle esitetään erilaisia kunnossapidettävyyteen liittyviä kysymyksiä. "Kyllä" tai "Ei" vastauksen lisäksi on suositeltavaa kirjata tekstimuotoinen kuvaus mahdollisten tehtävien soveltuvuudesta ja tehokkuudesta erityyppisten huoltotehtävien kysymyskenttien oikealla puolella oleviin tyhjiin kenttiin. Tehtävien määrityspolun päätteeksi vikamuodolle syntyy ehdotus sopivimmasta kunnossapitoluokasta. Jokainen tehtävätyyppi suunnitellaan tarkemmin omalla välilehdellään, joita ovat Preventive, Inspection, Restoration, Replacement, Finding, Redesign ja RTF. Näillä tehtävätyyppien välilehdillä voidaan tarkemmin tarkastella erityyppisten tehtävien soveltuvuutta ja tehokkuutta tarkasteltavalle vikamuodolle. Erityyppisten ennakkohuoltotehtävien soveltuvuuden ja tehokkuuta tarkastelussa arvioidaan vikamuodon oirehtimiseen liittyvien oireiden ja aikojen lisäksi iän vaikutusta vikaantumistodennäköisyyteen, suoritusvälejä, resursseja ja huoltotehtävästä aiheutuvia kustannuksia. Soveltuva ja tehokas toimenpide on kuvattava tarpeeksi yksityiskohtaisesti erityyppisten tehtävien välilehdillä, ettei työn suorittajalle jatkossa jäisi mitään epäselvyyttä tehtävästä.

Kuvassa 26 on nähtävillä koko FM#1.3.1 Laakerit vikaantuneet -vikamuodolle suoritettu soveltuvimpien ja tehokkaimpien tehtävien määrityksen kysymyspolku. Vikamuoto on kysymyspolun päätteeksi saanut ehdotukseksi aikataulutetun kunnossapidon (Scheduled maintenance) sille soveltuvimmaksi kunnossapitoluokaksi.







Kuva 26: Soveltuvien ja tehokkaiden tehtävien määrittäminen piilevälle tuotantoon vaikuttavalle vikamuodolle (LTA2)

Vikamuodolle *FM#1.3.1 Laakerit vikaantuneet* määritetty kunnonvalvontatoimenpide on nähtävissä seuraavassa kuvassa (*Kuva 27*). Ominaiseksi P-F -jaksoksi vikamuodolle on arvioitu 40 päivää *Symptom detect time* -kenttään. P-F -jaksolla tarkoitetaan aikaväliä, joka kuluu oirehtivan vian ilmenemisestä kohteen toiminnalliseen vikaantumiseen. Usein tarkasteltavan kohteen P-F -jaksot eivät ole vakioita vaan niissä esiintyy vaihtelevuutta. Tällöin huoltovälit tulisi määrittää lyhimmän P-F -jakson mukaisesti. Vikamuodon oireita on kuvailtu *Failure symptoms* -kenttään. Varsinaiselle huoltotehtävälle määritettyjä asioita ovat huoltoväli, huoltokerran kustannus sekä kommentit kenttään kirjatut työn nimi ja suorittaja. Huoltovälin *Repeat*-kenttä on valittuna sillä oletuksella, että työ toistetaan määritetyn ajan välein.

Edit node: FM	#1.3.1 La	akerit vikaar	ntuneet					×		
General	LTA	Preventive	Inspection	Restoration	Replacem	ent Finding	Redesign	RTF		
Туре		Inspections								
Relations	General	Consequently it is as searched to saw usual the scheduled condition menitoring actions. If (1) it is possible to								
Failure	define a	define and detect the symptoms of the failure early enough, 2) P-F-period (Point Failure) is moderately								
Repair	solid an	d 3) it is practic	al to control t	the object in short	er time perio	ds than the P-F-p	eriod.			
Line			Värähtelymi	ttauksilla (spektriv	alvonta) hav	aittavat kohonne	et			
Risks	Failure s	Failure symptoms: laakereiden vikataajuuden amplitudit osoittavat vikaantumisen kehittymistä. Lopulta laakerit lämpenevät ja alkavat pitämään ääntä,								
Maintenance			jonka jälkee	n täydellinen hajo	aminen on jo	hyvin lähellä.				
FMEA	Symptor	n detect time:	40.0					d 💌		
Dynamic		P			(5) 5					
	Inspe	ction time (a)	10	st of an inspect	ION (E) CO	omments /ÖN NIMI: Värähti	elymittaus	epeat		
	30.0		15.	U	SL	JORITTAJA: Enna	kkohuolto			
			Add	inspection	Remove s	elected rows				
		Inspec	tion interval	unit:	t V					
		Only f	irst from the	list if overlap:	✓					
	Repair time of detected symptom: 0.0 h									
ELMAS RAMopt	ELMAS RAMoptim Dynamic v4.3.41 (2.8.2010)									

Kuva 27: Vikamuodolle FM#1.3.1 Laakerit vikaantuneet määritetty tarkastustehtävä





# Mitä tehdään, jos sopivaa ennakoivaa toimenpidettä ei löydy?

Vikamuodoille, joille ei tehtävien määrityspolun aikana kyetä määrittämään soveltuvaa ja tehokasta ennakkohuoltotoimenpidettä, tulisi tarkastella muita mahdollisuuksia vaikuttaa vikamuotojen toteutumiseen. Usein esim. inhimillisistä virheistä tai suunnitteluvirheistä aiheutuneille vikamuodoille ei voida määrittää varsinaista ennakkohuoltotehtävää. Näiden vikamuotojen aiheutumisen perimmäinen syy on toimintatavoissa, joihin ei voida ennakkohuollon keinoin varautua. Kriittiset vikamuodot, joihin ennakkohuollolla ei voida vaikuttaa, huomioidaan RCM- analyysissa kertaluonteisilla toimenpiteillä tai toimintaohjeilla.

Esimerkkiprojektin vikamuoto *FM#1.1.2 Pumppu tai imuputki ei täysin täytetty* on kysymyspolun päätteeksi saanut RTF-luokituksen (Run-to-failure), eli sille ei tehdä aikaan eikä kuntoon perustuvaa kunnossapitoa. RTF-luokituksen saaneille vikamuodoille tulee määrittää erilliset toimintaohjeet vikaantumisen korjaamisesta huollon RTF-välilehdelle. Lisäksi ajatuksia voidaan kohdistaa muutostoimenpiteisiin, joilla RTF-luokituksen saanut vikamuoto voitaisiin poistaa tai vähentää siitä aiheutuvia seurauksia. Potentiaalisimpia vikamuotoja tällaisille tarkasteluille ovat jo aikaisemminkin mainitut suunnittelusta ja inhimillisistä virheistä aiheutuvat vikamuodot. Esimerkkiprojektin kuvassa 28 on kuvattu yhden inhimillisestä virheestä aiheutuneen vikamuodon poistamiseksi tehtyjä toimenpiteitä. Vikamuodolle on määritetty erillinen kertaluontoinen tehtävä *FMEA*-sivun *Actions*-välilehdelle, jolla pyritään vaikuttamaan sen syntymisen alkutekijöihin (*kts. Kuva 28*). Tällaiset muut kertaluonteiset tehtävä ton hyvä kirjata ylös kyseiselle välilehdelle, jossa niiden edistymistä voidaan seurata.

Edit node: FM	#1.1.2 Pumppu tai imuputi	ki ei täysin täyt	etty						×
General	Description RPN Ac	tions							
Туре				Ac	tions				
Relations	Recommended Action	Responsible	Due date	State	Action taken	5	0	D	RPN
Failure Repair	Alkuperäinen tilanne		1.1.2010	Lähtötilanne	Ei aikataulutettuja huoltotoimenpiteitä	8	4	9	288
Line Risks	Koulutuksen järjestäminen käyttö- ja kunnossanitohenkilöstölle	Mekaanisen kunnossapidon tväniohto	19.5.2010	Suunnittelu	Paikka ja aika sovittu	8	4	9	288
Maintenance FMEA	Ohjeistus pumpun esitäytöstä pumpun käyttäjille ja	Mekaaninen kunnossapito ja käyttö	21.6.2010	Suoritettu	Mekaaninen kunnossapito- ja käyttöhenkilöstö ohjeistettu pumpun huollon jälkeisessä käynnistyksessä	8	1	9	72
Dynamic	Uusi tilanne		23.6.2010	Uusi	Ohjeistusta parannettu	8	1	9	72
Add action									
ELMAS RAMopt	ELMAS RAMoptim Dynamic v4.3.41 (2.8.2010)								

Kuva 28: Vikamuodolle määritetty muu kertaluonteinen tehtävä ja sen edistyminen

# Analyysissä määritettyjen toimenpiteiden vaikutusten arviointi

Analyysin aikana määritettyjen toimenpiteiden vaikutusta käytettävyyteen ja kustannusriskien syntymiseen voidaan tarkastella laite- tai toimintohierarkkista mallia simuloimalla. Simulointituloksia tarkastellessa tulee huomioida, että ohjelmisto olettaa, ettei simuloinnin aikana tarkastus- tai kunnonvalvontatoimenpiteellä havaitun oireilevan vikaantumisen korjaaminen aiheuta lainkaan seisontamenetyksiä eikä korjaukseen välittömästi liittyviä kustannuksia. Lisäksi vikamuodoille määritettyjen Redesign- ja RTF-toimenpiteiden kustannukset eivät siirry lainkaan simuloinnin riskituloksiin.

Esimerkkiprojektin simuloinnista saatavista suhteellisista riskituloksista (*kts. Kuva 29*) voidaan havaita, että toiminnon *F#1 Pumpata ympäristölle haitallista prosessiainetta 500 l/min 24 h/vrk* toiminnan varmistamiseen tullaan käyttämään reilut 25 000 € kymmenen vuoden aikana RCM-analyysissa suunniteltujen ennakkohuoltotöiden johdosta. Toiminnon odotetaan suoritettavista EH-töistä huoli-





matta aiheuttavan lähes 100 000 € seisontamenetykset tarkastelujakson aikana. Suhteellisten riskitulosten välilehdellä on *Maintenance* % -sarake, jossa huoltokustannusten osuutta verrataan simuloinnissa syntyviin epäkäytettävyyskustannuksiin (mm. seisontamenetys sekä korjauskerran ja korjausajan kustannukset). Suuri *Maintenance* % -osuus kuvaa kunnossapitoon käytettävien resurssien olevan lähellä syntyviä epäkäytettävyyskustannuksia ja päinvastoin. Suhteellisista riskituloksista voidaan havaita esim. kohteet, joita yli- tai alihuolletaan.

Analysis: Sin	nulation Too							
Profile	Entity risks	Node risks Subtree risks	Relative risks Co	mb.risks Human r	esources			
Simulation				Polativo	rieke			
0				Relative	lisks			
Basic			Studie	d time period: 10 a				
Conditional								
Importance			Show a	also zero lines: 📃				
Risks	70	-	D 11 (C)	0.1.1.10	D			D 1 1: 1 (0)
	ID /	Name	Downtime (€)	Repair start (E)	Repair time (€)	Maintenance (€)	Maintenance (%)	Relative risk (€)
Line	F#1	Pumpata ymparistolie naitallista pro	. 97 140	1 18/	3 788	25 205	19.8	12/ 320
	+#2	Pysayttaa ja aloittaa pumppaus oh	42 183	2 0 9 1	1 249	10 260	18.39	55 /84
	FF#1.1	Ei pumppausta lainkaan	4 283	31/	246	6 8 10	58.43	11656
	FF#1.2	Pumppaus kapasiteetti riittämätön	7 710	469	345	600	6.576	9 124
	FF#1.3 Rittämätön paineen kehitys 7 710 469 345		345	600	6.576	9 124		
	FF#1.4	Pumppu kuluttaa liallisesti energiaa	16 848	776	871	6 655	26.46	25 150
	FF#1.5	Pumppu käy kuumana ja jumittuu	13 510	785	777	9 390	38.39	24 462
	FF#1.6	Pumpattava neste karkaa järjestel	47 079	143	2 709	14 315	22.28	64 246
	FF#2.1	Pumppaus ei käynisty	19 182	2 091	1 0 7 6	7 115	24.15	29 465
	FF#2.2	Pumppaus pysähtyy yllättäen	23 00 1	1 690	1 210	8 440	24.58	34 341
	FH	Pumppausjärjestelmä	139 323	3 278	5 0 3 7	35 465	19.37	183 103
	FM#1.1.1	Imu- ja/tai painepuolen putkisto vu	45 326	0	2 608	7815	14.02	55 749
	FM#1.2.1	Juoksupyörä kulunut/juoksupyörän	. 17 138	469	247	600	3.252	18 453
	FM#1.2.2	Väärä pyörimissuunta	10 277	0	99	0	0.0	10 375
	FM#1.3.1	Laakerit vikaantuneet	7 248	268	209	4 235	35.41	11 959
	FM#1.4.1	Akseli taipunut	3 537	258	204	1 500	27.28	5 499
	FM#1.5.1	Tiivisteet vuotaa	1 753	143	101	6 500	76.5	8 497
	FM#2.1.1	Moottorin laakerit vaurioituneet	1 976	49	38	2 575	55.52	4 6 3 8
	FM#2.2.1	Moottorin sähkökomponentti vikaa	23 165	1 235	810	2 250	8.194	27 460
	FM#3.1.1	Linjausvirhe	9 885	0	284	1 980	16.3	12 150
	FM#4.1.1	Taaiuusmuuttaia vlikuumenee	4 940	0	173	3 145	38.08	8 258
	FM#4.2.1	Taaiuusmuuttaian sähkökomponen	1 121	401	39	1 820	53.82	3 382
	EM#5.1.1	Ohjauslonikan sähkökomponentti v	12 957	456	227	3 0 4 5	18.25	16 684

Kuva 29: Simuloinnin Suhteelliset riskit -välilehti

# Analyysista saatavat raportit

Tehtävien hyväksynnän jälkeen RCM-analyysistä on mahdollista luoda erilaisia raportteja. Analyysin yleisiä asioita voidaan liittää esim. *HTML*- tai *Excel*-muotoisiin raportteihin. HTML-raportti luodaan *Tools -> Summary:HTML* polkua pitkin. HTML-yhteenvedon alustusnäkymästä (*kts. Kuva 30*) voidaan valita raporttiin liitettävät datakentät **Edit selections** -napista painamalla. Datakenttä liitetään osaksi raporttia valitsemalla se avautuvasta hierarkkisesta puusta ja hyväksymällä valinnan **Select**-nappia painamalla. Valittuja datakenttiä voidaan poistaa valittujen joukosta valitsemalla listasta aikaisemmin valittu datakenttä ja painamalla **Remove selection** -nappia. Analyysistä ja sen tekijöistä kertovia tietoja voi kirjata HTML-yhteenvedon alustusnäkymän tietokenttiin. Raportti luodaan valittujen datakenttien ja kirjattujen yleistietojen mukaisesti **Create HTML summary** -nappia painamalla. ELMAS luo HTML-raportin **Users/käyttäjä/ELMAS/temp** -kansioon **ELMAS HTML-yhteenveto** - *Otsikko* -nimellä. Raportti (*kts. Kuva 31*) on tämän jälkeen tarkasteltavissa **View**-nappia painamalla, jolloin se avautuu oletuksena olevalle Internet-selaimelle.





HTML Summary Tool	×						
	Selected data fields						
ID Name Result of LTA Result of LTA Actions when failure occurs Severity (how to reduce effects) Occurrence (how to reduce causes) Detection (how to predict) Actions							
Load select	tions Save selections Edit selections						
	ELMAS HTML Summary						
Title:	Raaka-ainelinia						
Description:	Pumppausjärjestelmä						
Notes:							
Project name:	RCM-analyysi						
Created:	11.8.2010						
Responsible:	Ramentor Ov						
Summary Show no Style:	v of: all nodes of current tab v de pictures: as links v compact v Compact v View						
ELMAS RAMoptim Dynamic v4.	3.45 (23.8.2010) VK X Cancel OHP						

Kuva 30: HTML-yhteenvedon alustusnäkymä

CAUsers/Ville/ELMASitemp/ELMAS HTML Summary - Raaka-aineinja/undex.htm			_		+ × C	Live Search		
Suosikit 🌼 🍘 Ehdotetut sivustot 👻 🖉 Web Slice -valikoima 👻 ELMAS HTML Summery				<u>ه</u>	- 🛛 - 🖻	i 👼 = Siyu = Suojaus =	ТубР	alyt •
aaka-ainelinja	FM#1.1.2 Pumppu tai imupu	ıtki ei täysin täytetty						
FIORI FH Pumppausjärjestelmä → IORI FH Pumpata ympäristel haitallista prosessiainetta 500 Vmin 24 hArk → IORI FH 1 5 Furenzaausta lainkaan.	General							
- FM#1.1.2 Pumppu tai imuputki ei täysin täytetty	10:	FM#1.1.2						
-O: FM#1.3.1 Laakerit vikaantuneet	Name:	Pumppu tai imuputki ei täysin	täytetty					
FMR2.1.1 Montorin laakeet vauriduneet     FMR2.12 Pumppus kapsaiteetti riittämätön     FMR1.1.3 Uian pieni imputki     FMR1.1.3 Uian pieni imputki     FMR1.2.1.uoksuurvõis kulunut/juoksuurvõini laest taipuneet	Risk LTA							
<ul> <li>FM#1.2.2 Väärä pyörimissuunta</li> </ul>	Result of LTA:	Logic decision tree analysis or	if effect categorizat	tion is not	yet finished.			
ORI FF#1.3 Riittamiiton paineen kehitys     OFME1.3 Lipao pieni imugutki     OFME1.3 Lipao pieni imugutki     OFME1.2 Lipao pieni imugutki     OFME1.2 Valami kehityseurutka	Maint. LTA							
IOR] FF#1.4 Pumppu kulutaa lialisesti energiaa	Result of LTA:	Proposed action: No schedule	ad maintenance. D	lefine the in	nstructions m	sore accurately on the interle-	af "R1	Æ*.
O FM#1.2.1 Juoksupyörä kulunut/juoksupyörän lavat taipuneet     O FM#1.4.1 Akseli taipunut     O FM#1.2.2 Väärä pyörimissuunta     O FM#1.2.1 Meetini kulunut juoken kunuitiihement	RTF							
→ FMR(1.1 Monitorin lasers valuationes → FMR(1.1 Linjausithe → [OR] FFMI.5 Pumppu kity kournana ja jumituu → ○ FMR(2.1 Junkeuworkis kulundrichkeuworkin laset taiouneet	Actions when failure occurs:	Title Cost (6) Responsib Koulutus 1 000.0 Mekaanine	o <i>le</i> en kunnossapito ja	Co käyttö	mments			
C File(2):1 Subscription Instantion of press and a subscription of the subscripti	Description							
Ormal 21 Stytin kan kalunutrikkoutunut     Old FFMI 5 Purpatiwa neste karkas jägestelmistä     Ormat 1.1 Innu-jakai perseven putkisto vuotas     Ormat 5.1 Tinksteat vuotas     Ormat 5.1 Tinksteat vuotas	Severity (how to reduce effects):	Vian vaikutus: Vikamuoto ei ai Tuotanto estyy vikamuodon jol Vikaantuminen voi pahimmillai korjaustoimenpiteitä Pumpun pesä tulee täyttää ni	iheuta riskejä heni hdosta an johtaa pumpun esteellä ja tarkista	kildturvallis sisäisten o a että imus	uudelle eikä osien välisiin putki on koko	ympäristölle. kosketuksiin aiheuttaen purr maan nestepinnan alapuolella	npulle	
IORI F#2 Pysayttaa ja alottaa pumppaus orgauskatekysta     IORI FF#2 1 Pumppaus ei kävnisty	Occurrence (how to reduce causes):	Vian aiheuttaja: Vikamuoto s	yntyy asennusvirh	een tai inhi	imillisen ereh-	vdyksen johdosta		
OR] FF#2.2 Pumppaus pysähtyy yllättäen	Detection (how to predict):	Vian havaitseminen: Vikamur	odon voi havavaita	pumpun ar	anesta, varahr	telyistä tai prosessitiedoista		
xpand/Collapse: Expand All	Actions							
		Recommended Action	Responsible	Due date	State	Action taken	S C	O RF
		Alkuperäinen tilanne		1.1.2010	Lähtötilanne	Ei aikataulutettuja huoltotoimenpiteitä	84	9 28
		Koulutuksen järjestäminen käyttö- ja kunnossapitohenkilöstölle	Mekaanisen kunnossapidon työrjohto	19.5.2010	l Suunnittelu	Paikka ja aika sovittu	В 4	9 28
	Actions:	Ohjeistus pumpun esitäytöstä pumpun käyttäjille ja kunnossapitäjille	Mekaaninen kunnossapito ja käyttö	21.6.2010	l Suoritettu	Mekaaninen kunnossapito- ja käyttöhenkilöstö ohjeistettu pumpun huollon jalkeisessä käynnistyksessä huomioitavista asioista	8 1	9 72
		Uusi tilanne		23.6.2010	J Uusi	Ohjeistusta parannettu	8 1	9 72

Kuva 31: HTML-raportti

Vastaavanlainen raportti on mahdollista luoda myös Excel-muotoon. Excel-raportti (kts. Kuvat 32 ja 33) luodaan painamalla Write data to Excel file -nappia ja nimeämällä Excel-raportti seuraavan polun päätteeksi Tools -> Summary:Excel -> Export.





Excel File Summ	ary Tool					
Usage history	/ Mair	ntenance	Failure order	r costs	Dynami	c constants
Export		Exact fa	ailure		Failure hist	ory
		Exce	el file operations e data to Excel file			
5	ave					×
ſ	.ook In: 👔	Raaka-ainelinj,	a usjärjestelmä.xls		9 <b>()</b>	
F	Files of Type:	Excel file (*.>	ds)			
				l	Save	Cancel
ELMAS RAMoptim	Dynamic v4.3.4	43 (9.8.2010)		🖌 ОК	🗙 Cancel	🛛 🚱 Help

Kuva 32: Excel-raportin tallennusnäkymä

	Off Excel - NU	M-Pumppau	sjørjestelmä							(CHICH
Tied	losto <u>M</u> uck	kaa <u>N</u> äytä	Lisās Mi	uotoile Työk	calut Tiedot Jkkuna <u>O</u> hje			Kirjoita kyoym	95	
18		-4 D 145	AND NOT		0 . N . 153 Q		Arial		49.1	A.A
-			100 20	14 42 · V	455 Se - OF AF	10 mm			*,0 1	
	200	O CI E	3 9 0	9 Tollshets		misen				
K45	•	f#								
A	B	C	D	E	FG		н	j. j.	J	K
Eu	Inction	hiors	rchw	FH Du	mnnausiäriestelmä					
i u	inction	mere	incity.	Inru	mppausjarjescenna					
							AC172000			
_	ID	Taso 1	Taso 2	1aso 3	1aso 4		түүррі	Nimi	1aso #	Kuvaus
	FH	Pumppaus	jarjesteima	and the second second	the second s	1.1.	menen	Pumppausjarjesteima	1	
	F#1		Pumpata	ymparistolle	haitallista prosessiainetta 600 Vmin 24 h	<u>Mrk</u>	Function	Pumpata ympäristölle haitallista prosessiainetta 500 l/min 24 h/vr	: Z	
	FF#1.1			El pumppa	austa lainkaan		Functional Failure	Ei pumppausta lainkaan	3	
	FM91.1.2				Pumppu tai imuputki ei täysin täytett	¥	Failure Mode	Pumppu tai imuputki ei täysin täytetty	4	
	FM#1.3.1				Laakent vikaantuneet		Failure Mode	Laakerit vikaantuneet	4	
	FM962.1.1			-	Moottorin laakent vaurioituneet		Failure Mode	Moottorin laakerit vaurioituneet	4	
	FF#1.2			Pumppau	s kapasiteetti riittamaton		Functional Failure	Pumppaus kapasiteetti riittämätön	3	
	FM#1.1.3				Lilan pieni imuputki		Failure Mode	Lilan pleni imuputki	4	
	FM97.2.1				Juoksupyöra kulunut/juoksupyörän la	vat taipuneet	Failure Mode	Juoksupyora kulunut/juoksupyoran lavat taipuneet	4	
3	EM#1.2.2				Váara pyörimissuunta		Failure Mode	Väärä pyörimissuunta	4	
1	FF#1.3			Rittamato	in paineen kehitys		Functional Failure	Rittamaton paineen kehitys	3	
2	FM#1.1.3				Liian pieni imuputki	and the second se	Failure Mode	Lilan pleni imuputki	4	
3	FM91.2.1				Juoksupyörä kulunut/juoksupyörän la	vat taipuneet	Failure Mode	Juoksupyörä kulunut/juoksupyörän lavat talpuneet	4	
4	FM#1.2.2				Vaara pyörimissuunta		Failure Mode	Vaara pyorimissuunta	4	
5	FF#1.4			Pumppu k	culuttaa hallisesti energiaa		Functional Failure	Pumppu kuluttaa liialisesti energiaa	3	
<u>.</u>	FM91.2.1				Juoksupyörä kulunut/juoksupyörän la	vat taipuneet	Failure Mode	Juoksupyörä kulunut/juoksupyörän lavat taipuneet	4	
7	EM#1.4.1				Akseli taipunut		Failure Mode	Akseli taipunut	4	
8	FM#1.2.2				Väärä pyörimissuunta		Failure Mode	Väärä pyörimissuunta	4	
9	FM#2.1.1				Moottorin laakerit vaurioituneet		Failure Mode	Moottorin laakerit vaurioituneet	4	
3	F M983 1.1				Linjausvirhe		Failure Mode	Linjausvirhe	4	
1	FF#1.5			Pumppu k	tay kuumana ja jumittuu		Functional Failure	Pumppu kay kuumana ja jumittuu	3	
Ζ	EM#1.2.1				Juoksupyörä kulunut/juoksupyörän la	vat taipuneet	Failure Mode	Juoksupyörä kulunut/juoksupyörän lavat talpuneet	4	
3	FM#1.3.1				Laakent vikaantuneet		Failure Mode	Laskerit vikaantuneet	4	
4	EM#2.1.1				Moottorin laakerit vaurioituneet		Failure Mode	Moottorin laakerit vaurioituneet	4	
5	FM#3.1.1				Linjausvirhe		Failure Mode	Linjausvirhe	4	
5	FM#3.2.1				Kytkin kumi kulunut/rikkoutunut		Failure Mode	Kytkin kumi kulunut/rikkoutunut	4	
7	FF#1.6			Pumpatta	va neste karkaa järjestelmästä		Functional Failure	Pumpattava neste karkaa jarjestelmästä	3	
3	PM#1.1.1				Imu- ja/tai painepuolen putkisto vuota	8	Failure Mode	Imu- ja/tai painepuolen putkisto vuotaa	4	
2	F M#1.5.1				Limsteet vuotea		Failure Mode	Tilvisteet vuotaa	4	
0	192		Pysäyttää	a ja atoittaa p	umppaus ohjauskaskystä		Function	Pysäyttää ja aloittaa pumppaus ohjauskäskystä	Z	
1	FF#2.1			Pumppau	s ei käynisty		Functional Failure	Pumppaus ei käynisty	3	
2	FM#2.2.1				Moottorin sähkökomponentti vikaantu	nutroystynyt	Failure Mode	Moottorin sankökomponentti vikaantunut/löystynyt	4	
3	FM#4.2.1				Taajuusmuuttajan sähkökomponentti	wkaantunut/löystynyt	Failure Mode	Taajuusmuuttajan sähkökomponentti vikaantunut/löystynyt	4	
4	EM#5.1.1			-	Ohjauslogiikan sähkökomponentti vik	aantunut/loystynyt	Failure Mode	Ohjauslogiikan sähkökomponentti vikaantunut/löystynyt	4	
5	FF#2.2			Pumppaus	s pysähtyy yllättäen		Functional Failure	Pumppaus pysähtyy yllättäen	3	
6	EM#2.2.1				Moottorin sähkökomponentti vikaantu	nut/loystynyt	Failure Mode	Moottor in sähkökomponentti vikaantunut/löystynyt	4	
7	FM#4.1.1				Taajuusmuuttaja ylikuumenee		Failure Mode	Taajuusmuuttaja ylikuumenee	4	
8	EM#5.1.1				Ohjauslogiikan sähkökomponentti vik	aantunut/löystynyt	Failure Mode	Ohjauslogiikan sähkökomponentti vikaantunut/löystynyt	4	
	A Davisa	in the D	0.0	Gunstin	a bissarda . DU Duman / Duration	himmeles DI Davie	lame / part	-		
	AN Device L	nex arcriy - D	in Krubban	Arunctio	in meranuly - HH Pumpp ( Function	menarchy - HH Devic	A CLAMAS / KALI		and in the second	

Kuva 33: Excel-raportti

Taulukkomuotoisia raportteja analyysista voidaan luoda *taulukkoyhteenveto-* tai *FMEA-taulukkotyökalun* avulla. Taulukkoyhteenvedon (*Tools -> Summary:Table*) *Properties-*välilehdellä (*kts. Kuva 34*) määritetään taulukossa näytettävät tietokentät. Taulukkoon voidaan sisällyttää projektivälilehden kaikki solmut valitsemalla **Show all nodes of current tab** aktiiviseksi tai vain mallin alimman tason juurisolmut aktivoimalla **Show only root nodes of current tab**. Taulukko luodaan valittujen tietokenttien mukaisesti, joko painamalla **Open table** -nappia tai siirtymällä *Table-*välilehdelle. Taulukkoyhteenvedossa luotu taulukko (*kts. Kuva 35*) on mahdollista kopioida liitettäväksi Exceliin painamalla taulukon päällä hiiren oikeaa nappia ja valitsemalla avautuvasta valikosta *Copy whole table-*toiminto.





Table Summary Tool X
Properties Table
Selected data fields
ID
Name
Criticality
Result of LTA
Preventive maintenance
Inspections
Restorations
Replacements
Failure finding
Recession strategy
Actions when halidre occurs
Load selections Save selections Edit selections
Show table
Show all nodes of current tab
<ul> <li>Show only root nodes of current tab</li> </ul>
Open table
ELMAS RAMoptim Dynamic v4.3.45 (23.8.2010) V OK Cancel I Help

Kuva 34: Taulukkoyhteenvedon tietokenttien määrittäminen Properties-välilehdellä

Та	Table Summary Tool X										
ſ	Properties Table										
ſ	Summary table										
	ID /	Name	Criticality	Result of LTA	Preventive maintena	Inspections	Restorations	Replacements	Failure finding	Redesign strategy	Actions when failure o
	FM#1.1.1	Imu-ja/tai painepuolen put	Evident failure that affects the safety (ES)	Re-design is mandatory. Define proposed actions more accurately on the interleaf "Re-desing".	7.0 15.0 Putkiston visuaalinen tarkistus vikkokierroksen aikana true true						
	FM#1.1.2	Pumppu tai imuputki ei täys	Hidden failure that affects the operation (HO)	Proposed action: No scheduled maintenance. Define the instructions more accurately on the interleaf "RTF".							Koulutus 1 000.0 Mekaaninen kunnossapito ja käyttö
	FM#1.1.3	Lilan pieni imuputki	Evident failure that affects the operation (EO)	Proposed action: Re-design						Imuputken uudeleensuunnittelu ja mitoitus> pumpun toimintapisteen muuttaminen 3 500.0 Käyttö 500.0 Käyttö Ulkopuolinen yritys suorittaa suunnittelun ja mitoituksen	
	FM#1.2.1	Juoksupyörä kulunut/juoks	Evident failure that affects the operation (EO)	Proposed action: Scheduled maintenance		60.0 10.0 TYÓN NIMI: Värähtelymittaus SUORITTAJA: Ennakkohuolto true true					
	FM#1.2.2	Väärä pyörimissuunta	Evident failure that affects the operation (EO)	Proposed action: No scheduled maintenance. Define the instructions more accurately on the interleaf "RTF".							Koulutus 250.0 Sähkökunnossapito Toimintaohjeet
	FM#1.3.1	Laakerit vikaantuneet	Evident failure that affects the operation (EO)	Proposed action: Scheduled maintenance	30.0 20.0 TYÖN NIMI: Voitelu ja puhdistus SUORTITAJA: Rasvari true true	30.0 15.0 TYÖN NIMI: Värähtelymittaus SUORITTAJA: Ennakiohuaito true true				Automaattivoitelun harikinnan suunnittelu 0.0 Mekaaninen kunnossapikoKohteen sirkämistä automaattivoitelun piiviin nykyisen voitelukikerroksen sijaan suunnitellaan	Y
EMAS RAMoptin Dynamic v4.3.45 (23.8.2010)											

Kuva 35: Taulukkoyhteenveto

# Lyhyt toimintaohje ELMAS FMEA-RCM etenemisestä

- 1. Kohteen valinta tuotantolinjan lohkokaaviomallista esim. simuloinnin käytettävyys- ja riskikustannustulosten pohjalta.
- 2. Valitun kohteen tarkempien rajojen määrittäminen laitehierarkiamalliin *Device hierarchy* projektivälilehdelle:
  - Osajärjestelmä (Subsystem)
  - Laite (Device)
  - Osa/komponentti (Item/Component).
- 3. Kohteen toimintojen puumallin luonti Function hierarchy projektivälilehdelle.
  - Osajärjestelmä (Subsystem)  $\rightarrow$  ID muutettu laitehierarkiamallissa käytetystä.
  - Osajärjestelmien (tai haluttaessa laitteiden) pää- ja sivutoimintojen (*Functions*) määrittäminen suorituskykytasot mukaan lukien .

Ramentor Oy	Tel. +358 (0) 40 746 6585
P.O. Box 916	Fax +358 (0) 3 280 6850
FI-33101 Tampere	www.ramentor.com



- 4. Toiminnallisten vikojen määrittäminen kohteen pää- ja sivutoiminnoille.
  - Toiminnalliset viat (tavat, joilla osajärjestelmien toiminnot voivat estyä) (Functional failure).
- 5. Vikamuotojen (Failure mode) / huollettavan tason määrittäminen laitehierarkiamalliin.
  - Laitteiden toimintojen kuvaukset voidaan haluttaessa kirjata solmun *editorin Description*-kenttään. Laitteiden toiminnot voidaan haluttaessa kuvata myös omina solmuinaan *Function hierarchy* -projektivälilehdellä.

- Vikamuotojen määrittäminen osille/komponenteille. Nimeämisessä suositeltavaa ilmoittaa myös komponentti, jonka vikamuodosta on kyse. Tämä helpottaa vikamuotojen ja toiminnallisten vikojen yhdistämisen jälkeistä luettavuutta.

- Vikamuotojen tapahtumiseen liittyvät tiedot, kuten esim. vikavälit, korjausajat ja kustannusriskit tulisi syöttää solmun editorin *Failure-*, *Repair-* ja *Risks-*sivuille.
- 6. *Device hierarchy* -projektivälilehden vikamuotojen yhdistäminen *Function hierarchy* projektivälilehden toiminnallisten vikojen alle.
  - Mikä tapahtuma aiheuttaa toiminnallisen vian?
- 7. Vikamuotojen vaikutusten määrittäminen solmun editorin *FMEA*-sivulle. Vaikutuksia arvioidaan seuraavien kysymysten pohjalta:
  - Mistä nähdään, että vikaantuminen on tapahtunut? (Detection)
  - Millaisia riskejä vikaantuminen aiheuttaa terveydelle tai ympäristölle? (Severity)
  - Miten vikaantuminen vaikuttaa tuotantoon tai toimintaan? (Severity)
  - Mitä konkreettisia vahinkoja vikaantuminen aiheuttaa? (Severity)
  - Mitkä ovat korjaustoimenpiteet? (Severity)
  - Vikamuodon aiheuttaja(t) eli syyt vikamuotojen syntymiselle voidaan listata vikamuodon solmun editorin *FMEA*-sivun *Description*-välilehden *Occurence*-kenttään. Pienemmissä kohteissa vikamuodon aiheuttajat voidaan lisätä vikamuotojen alle omina solmuinaan ilman, että mallin luettavuus kärsisi siitä.
  - Vikamuotojen vaikutusten numeerinen arviointi RPN-arvolla solmun editorin *FMEA*-sivun *RPN*-välilehdellä.
- 8. Toiminnallisten vikojen seurausten arviointi.
  - Toiminnallisen vian seurausvaikutukset arvioidaan solmun editorin *Risks*-sivun *LTA*-välilehdellä.
  - LTA-kysymyspolun päätteeksi syntynyttä seurausvaikutusluokkaa voidaan pitää toiminnallisen vian kunnossapitostrategiana.
- 9. Projektin tallentaminen uudella nimellä.
  - Alkuperäinen tilanne kuvattu → Seuraavaksi suunnitellaan toimenpiteitä alkuperäisen tilanteen parantamiseksi.
  - Suunniteltujen toimenpiteiden vaikutuksia simulointituloksiin voidaan jatkossa vertailla helposti tallentamalla alkuperäistä ja uutta tilannetta kuvaavat mallit omilla nimillään.
- 10. Soveltuvimpien ja tehokkaimpien tehtävien määrittäminen.
  - Tehtävien määrittäminen suoritetaan vikamuodoille, jotka aiheuttavat edellisessä vaiheessa kriittisimmiksi määritettyjä toiminnallisia vikoja.
  - Vikamuodoille, jotka aiheuttavat HS- tai ES-luokan seuraukset, on pakko tehdä parantavia toimenpiteitä. HO- ja EO- luokiteltujen toiminnallisten vikojen vikamuodot pitäi-

Ramentor Oy	Tel. +358 (0) 40 746 6585
P.O. Box 916	Fax +358 (0) 3 280 6850
FI-33101 Tampere	www.ramentor.com



si pyrkiä estämään huoltotoimenpiteellä tai muilla keinoin. Vähimmälle huomiolle voidaan jättää vikamuodot, joiden aiheuttamien toiminnallisten vikojen seuraukset yltävät ainoastaan *HE*- tai *EE*-seurausvaikutusluokkaan.

- Soveltuvimmat ja tehokkaimmat toimenpiteet kriittisimmille vikamuodoille määritetään vikamuotojen solmujen editoreissa *Maintenance*-sivun *LTA*-välilehdellä.
- Ennen soveltuvimpien ja tehokkaimpien toimenpiteiden määritystä tulee alasvetovalikosta valita vikamuodon kriittisyys *LTA*-välilehdellä (usein sama kuin sen aiheuttamalla toiminnallisella vialla). Vikamuoto, joka aiheuttaa eri seurausvaikutusluokan omaavia toiminnallisia vikoja, tulee arvioida kriittisimmän seurausvaikutuksen mukaan. Seurausvaikutusluokka ei periydy suoraan toiminnalliselta vialta vikamuodolle.
- Toimenpiteiden määrityksen päätteeksi vikamuodolle ehdotetaan sille sopivinta kunnossapitoluokkaa *LTA*-välilehdellä.
- Toimenpiteiden tarkemmat määritykset tulee tehdä erityyppisillä huolto- ja muiden toimenpiteiden -välilehdillä.
- 11. Määritettyjen tehtävien vaikutuksia käytettävyyteen, vikalukumääriin sekä epäkäytettävyysja huoltokustannuksiin voidaan tarkastella simuloimalla projektin eri välilehtiä.
  - Simuloimalla omilla nimillään tallennettuja alkuperäistä ja uutta tilannetta kuvaavia malleja voidaan arvioida analyysissä määritettyjen toimenpiteiden vaikutuksia.
  - Esille alkuperäiset ja uudet käytettävyydet, vikalukumäärät ja epäkäytettävyyskustannukset.
  - Epäkäytettävyyskustannuksien ja huoltokustannusten suhde  $\rightarrow$  Ylihuollettu/alihuollettu.
  - Turvallisuus- ja ympäristöseurausvaikutuksia aiheuttavien toiminnallisten vikojen vikalukumäärät → Mahdollista syntyä simulointitulosten perusteella → Määritettävä lisää toimenpiteitä, jos toteutumisen todennäköisyys edelleen suuri.
- 12. Raportointi
  - Analyysista saatavia raportteja ovat: *HTML* ja *Excel*-muotoisten raporttien lisäksi erilaiset taulukkomuotoiset yhteenvedot.
  - HTML-raportti luodaan Tool -> Summary:HTML -> Create HTML summary. Raportista syntynyt kansio löytyy Users/käyttäjä/ELMAS/temp -polusta. HTML-raportti avautuu Internet selaimeen View-nappia painamalla.
  - Excel-raportti luodaan *Tools -> Summary:Excel File -> Export -> Write data to Excel file* polkua pitkin. Luotu Excel-raportti löytyy sille luontivaiheessa määritetystä kansiosta määritetyn nimen mukaisena.
  - Solmujen FMÉA-sivun Description- ja RPN-välilehdille kirjattuja kuvauksia voidaan koota taulukkomuotoon (Tools -> FMEA tool -> Table). Taulukon siirtäminen Exceliin tapahtuu painamalla taulukon päällä hiiren oikeaa nappia ja valitsemalla avautuvasta valikosta Copy whole table, jonka jälkeen taulukko on liitettävissä Exceliin.
  - Solmujen FMEA-sivun Actions-välilehdille kirjatut toimenpiteet on mahdollista koota yhdeksi toimenpidetaulukoksi Tools -> FMEA tool -> Actions summary polun päätteeksi löytyvään toimenpiteiden taulukkoon. Toimenpidetaulukon siirtäminen Exceliin tapahtuu vastaavalla tavalla, kuin edellisen vaiheen taulukon siirto.
  - Edellä mainittujen raportointimenetelmien lisäksi analyysistä on mahdollista luoda taulukoita, joihin sisällytetään erilaisia tietosarakkeita. Taulukkoyhteenvetotyökalu avautuu *Tools -> Summary:Table* polkua pitkin. Luotavalle yhteenvetotaulukolle mää-ritetään taulukossa esitettävät sarakkeet *Properties*-välilehdellä. Taulukko muodostetaan *Table*-välilehdelle *Properties*-välilehdellä määritettyjen ominaisuuksien mukaisesti. Taulukko on mahdollista siirtää tarkasteltavaksi Exceliin *Copy whole table* toiminnon avulla.

Ramentor Oy	Tel. +358 (0) 40 746 6585
P.O. Box 916	Fax +358 (0) 3 280 6850
FI-33101 Tampere	www.ramentor.com