

Ramentor Oy

ELMAS 4

Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi

Versio 1.0

SISÄLTÖ

1	Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi (VVKA)	3
1.1	VVA tyypit	4
1.2	Termien määritelmät	4
1.3	FMEA lähestymistavat	5
1.3.1	Bottom-up FMEA lähestymistapa	5
1.3.2	Top-down FMEA lähestymistapa	6
2	ELMAS bottom-up FMEA	7
2.1	Kohteen toimintarakenteen määrittäminen	7
2.2	Valitaan kohteen osa analysoitavaksi	7
2.2.1	Tunnistetaan valitun osan potentiaaliset vikamuodot	8
2.3	Valitaan vikamuoto arvioitavaksi	9
2.3.1	Määritetään vikamuodon aiheuttajat/mekanismit	9
2.3.2	Määritetään vikamuodolle sen kohteen eri tasoille aiheuttamat vaikutukset	10
2.3.3	Määritetään vian havaitsemistavat	11
2.4	Määritetään vikamuodon merkittävyys	12
2.4.1	Vikamuodon vaikutusten vakavuuden määrittäminen	12
2.4.2	Vikamuodon toteutumisen määrittäminen	13
2.4.3	Vikamuodon havaitsemisen todennäköisyyden määrittäminen	14
2.5	Vikamuotojen kategorisointi riskiluvun mukaan	15
2.6	Toimenpidesuunnitelmien luominen kriittisimmille vikamuodoille	16
2.7	Toimenpiteiden implementointi	17
2.8	Vikamuodon riskiluvun uudelleenlaskenta	17
2.9	FMEA:n päivittäminen	18
3	Lähteet	19

KUVALUETTELO

Kuva 1:	ELMAS bottom-up FMEA toimintarakenne	7
Kuva 2:	Analysoitava osa	8
Kuva 3:	Analysoitavan osan potentiaaliset vikamuodot	9
Kuva 4:	Arvioitava vikamuoto	9
Kuva 5:	Vian aiheuttajat	10
Kuva 6:	Vian vaikutukset	11
Kuva 7:	Vian havaittavuus	11
Kuva 8:	Vikamuodon vaikutusten vakavuusluokat (S) (Design for reliability, Crowe D., Feinberg A.)	12
Kuva 9:	Vikamuodon vaikutusten vakavuus (S) ELMAS	12
Kuva 10:	Vikamuodon toteutumisen luokat (O) (Design for reliability, Crowe D., Feinberg A.)	13
Kuva 11:	Vikamuodon toteutuminen (O) ELMAS	13
Kuva 12:	Vikaantumisen kuvaaminen keskimäärin - vähintään - enintään menetelmällä	14
Kuva 13:	Vikamuodon havaitsemisen luokat (D) (Design for reliability, Crowe D., Feinberg A.)	14
Kuva 14:	Vikamuodon havaitsemisen todennäköisyys (D) ELMAS	14
Kuva 15:	Vikamuodolle muodostunut riskiluku (RPN)	15
Kuva 16:	Vikamuotojen kategorisointi ELMAS FMEA-työkalulla	15
Kuva 17:	Vikamuotojen kategorisointi riskilukujen avulla (Excel-taulukko)	16
Kuva 18:	Toimenpidesuunnitelma kriittiselle vikamuodolle	17
Kuva 19:	Toimenpiteiden implementointi	17
Kuva 20:	Riskiluvun uudelleenlaskenta	18

1 VIKA-, VAIKUTUS- JA KRIITTISYYSANALYYSI (VVKA)

Vika- ja vaikutusanalyysi (VVA) ja vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi (VVKA) ovat systemaattisia toimintavarmuuden tarkastelun menetelmiä, joilla pyritään tunnistamaan ja analysoimaan tapahtumia, jotka tapahtuessaan voivat johtaa kriittisyydeltään erilaisiin seurauksiin. Analyysissä keskitytään tarkastelemaan järjestelmän kaikkia mahdollisia vikaantumistapoja, eli vikamuotoja ja niiden aiheuttamia vaikutuksia eri järjestelmätasosille. Analyysi tähtää ensisijaisesti löytämään ratkaisuja kriittisten tunnistettujen vikamuotojen riskien pienentämiseksi tai havaitsemisen edistämiseksi.

Menetelmä soveltuu käytettäväksi eri vaiheissa järjestelmän elinkaarta, aina läpi koko suunnitteluvaiheen toiminnan tarkasteluista, käytönaikaiseen toiminnan kehittämiseen. Tyypillisiä menetelmän avulla tutkittavia sovelluskohteita ovat erilaiset tekniikkaa sisältävät järjestelmät, sekä ohjelmistot ja inhimilliset tekijät. Usein puhuttaessa vika- ja vaikutusanalyysistä sisällytetään siihen myös jonkin muotoinen vikamuotojen kriittisyyden arviointi, jolloin varsinaisesti puhutaan vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysistä. Nämä kaksi analyysiä ovat siten yleisesti ymmärrettävissä vika- ja vaikutusanalyysinä (Eng. FMEA).

Vika- ja vaikutusanalyysiä voidaan hyödyntää mm:

- **Valitsemaan** varhaisissa suunnitteluvaiheissa suunnitteluvaihtoehdot, joilla on korkea luotettavuus ja korkeat turvallisuusominaisuudet
- **Varmistamaan**, että kaikki mahdolliset vikaantumistavat ja niiden vaikutukset huomioidaan järjestelmän häiriöttömän toiminnan takaamiseksi
- Järjestelmän mahdollisten vikaantumistapojen **tunnistamiseen** ja niiden vaikutusten kriittisyyksien **arvioimiseen**
- Tuote/prosessi puuteiden **tunnistamisessa**
- Henkilöstön/organisaation hiljaisentiedon **kokoamisessa**
- Testauksen **suunnittelun** ja testivälineiden vaatimusten **kehittämisessä**
- Pohjatiedon **tarjoamisessa** kunnossapidon suunnittelulle
- Pohjatiedon **tarjoamisessa** kvantitatiiviselle luotettavuus- ja käyttövarmuusanalyysille
- **Havainnollistamaan** järjestelmän vikaantumisen syy-seuraus suhteet

Vika- ja vaikutusanalyysissä haetaan vastauksia seuraaviin peruskysymyksiin:

- Mikä voi mennä vikaan?
- Mitkä mekanismit voivat johtaa vikaantumiseen?
- Mikä vaikutus vikaantumisella on?
- Miten todennäköinen vika on?
- Mitkä ovat vian seuraukset?
- Mitä voidaan tehdä?
- Miten vikojen aiheuttajat voidaan poistaa?
- Miten vian vakavuutta voidaan vähentää?

1.1 VVA tyypit

VVA soveltuu käytettäväksi eri vaiheissa järjestelmän elinkaarta. Tyypillisesti VVA jaetaan suunnittelu, prosessi ja järjestelmä VVA:han riippuen analyysin tarkoituksesta ja sen toteutusajankohdasta.

- Suunnittelu VVA pyrkii poistamaan vikaantumismahdollisuudet suunnitteluvaiheen ratkaisulla suunnittelun aikana. Suunnitteluvaiheen VVA:lla pyritään huomioimaan laitteen koko elinkaaren aikaiset viat.
- Prosessi VVA tarkastelee laitteen valmistukseen, kunnossapitoon ja käyttöön liittyviä ongelmia.
- Järjestelmä VVA tutkii suurempien kokonaisuuksien potentiaalisia ongelmia ja pullonkauloja.

1.2 Termien määritelmät

Alla olevaan listaan on määritetty yleisiä VVA-analyysissä toistuvia termejä. Jatkossa VVA-analyysin etenemisen tarkastelussa tullaan käyttämään näitä vakiintuneita analyysille ominaisia termejä asioita käsiteltäessä.

- **VVKA (FMECA)** on vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi. Usein puhutaan pelkästä VVA:sta (FMEA) tarkoittaessa VVKA:ta
- **Toimintarakenne (Function hierarchy)** on analyysin kohdetta kuvaava hierarkiarakenne, joka koostuu eri hierarkiatasolle määritellyistä hierarkiaosista. Hierarkiaosat ja -tasot kytkeytyvät toisiinsa erilaisten toimintaa kuvaavien loogisten ehtojen mukaan.
- **Hierarkiataso (Hierarchy level)** kuvaa analysoitavan kohteen jotakin rakenteellista tasoa, jolle voidaan määrittää kullekin tasolle ominaisia kokonaisuuksia. Ylemmän hierarkiatason osa muodostuu useasta alemman hierarkiatason osasta. Esim. yhtenä hierarkiatasona toimintarakennemallissa voi olla kohteeseen kuuluvia laitteita kuvaava laitetaso.
- **Hierarkiatason osa (Item of hierarchy level)** on yksittäinen ylemmän hierarkiatason kokonaisuuteen kuuluva osa. Esim. ylemmälle hierarkiatasolle kuvattu laite voidaan purkaa alemmalle hierarkiatasolle komponenteiksi, joista jokainen komponentti on kyseisen hierarkiatason osa.
- **Huollettavataso (Maintainable level)** on hierarkkinen taso, jolta hierarkiatason osan toiminnan merkitykset koko järjestelmän toiminnalle voidaan johtaa. Vikamuotojen määrittäminen voidaan tehdä esim. laite tai komponenttitasolle, jolloin saavutetaan tehokkain mahdollinen toimenpidetaso.
- **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.
- **Vikaantuminen (Failure)** määritellään kohteen kykenemättömyydeksi täyttää siltä vaadittua toimintoa halutulla suorituskykytasolla (SFS IEC 50/191).
- **Vika (Fault)** on kohteen tila, joka seuraa vikaantumisesta.

- **Vikamuodolla** (*Failure mode*) ymmärretään vian ilmenemismuotoa, eli sitä kuinka vika on havaittavissa. Käsitteelle vikamuoto yksi hyvä vastike on myös vikaantumistapa. Vikamuoto kuvaa hierarkiassa ylemmällä tasolla olevan vian aiheuttajaa, eli syytä vikaantumiselle.
- **Vian syyllä** (*Failure cause*) tarkoitetaan vian alkuperäistä syytä, eli vikaantumiseen johtaneen prosessin tai tapahtumaketjun aiheuttajaa. Vian syynä voi myös olla itse vikamuoto riippuen analyysin tarkastelutasosta. Tarkemmin vian syy = vikamuoto = vikaantumistapa/-mekanismi = vikaantumisen juurisyy.
- **Vian vaikutus** (*Failure effect*) tarkoittaa sitä välitöntä vaikutusta, jonka vikamuoto saa aikaan. Toisin sanoen vastaa kysymykseen mitä tapahtuu vikamuodon myötä. Vian vaikutusten tarkastelu ylittää paikallisten vaikutusten tarkastelusta aina järjestelmätason vaikutusten tarkasteluun.
- **Riski** (*Risk*) on vikamuodosta järjestelmän ylimmälle tasolle aiheutuneen vaikutuksen ja vikamuodon esiintymistaajuuden tulo. Riskin esittämiseen voidaan käyttää ns. riskimatriisia.
- **Kriittisyys** (*Criticality*) on vikamuodon vaikutuksen vakavuutta kuvaava numeerinen suhdeluku.
- **Riskiluku** (*Risk priority number*) kuvaa vikamuodon merkitystä sen vaikutukselle, esiintymistodennäköisyydelle ja havaitsemiselle arvioitujen numeroarvojen antaman tulon muodossa. Vikamuoto on sitä merkittävämpi mitä suuremman riskiluvun se saavuttaa.

1.3 FMEA lähestymistavat

FMEA:n suorittamiseksi on olemassa kaksi lähestymistapaa ns. *bottom-up* ja *top-down* lähestymistavat. Molempien perimmäisenä tarkoituksena on ohjata analyysiryhmää luomaan syy-seuraussuhteet kuvaavat ketjut, jotka osoittavat kohteen mahdolliset vikaantumisketjut johtaen kriittisyydeltään erilaisiin seurauksiin. Näiden vikaantumisketjujen katkaisemiseksi tai niistä aiheutuvien seurausten vähentämiseksi sekä *bottom-up* että *top-down* lähestymistavat pyrkivät löytämään parhaat mahdolliset ratkaisut analyysin lopuksi.

1.3.1 Bottom-up FMEA lähestymistapa

Bottom-up FMEA lähestymistavassa kohteen jokainen hierarkian alimman tason osa analysoidaan täsmällisesti. Tässä lähestymistavassa keskitytään määrittelemään osan erilaisten vikamuotojen vaikutuksia järjestelmän toimintaan. Tämän lähestymistavan lopputuloksena saadaan selville miten vikamuoto vaikuttaa paikallisesti itse osaan ja sitä kautta koko kohteen turvalliseen toimintakykyyn.

Seuraavat askeleet muodostavat bottom-up FMEA lähestymistavan:

- a) Valitaan kohteen osa analysoitavaksi
- b) Tunnistetaan osan potentiaaliset vikamuodot
- c) Valitaan vikamuoto arvioitavaksi
- d) Arvioidaan vikamuodolle sen eri kohdetasoille aiheuttamat vaikutukset

- e) Määritetään vikamuodon aiheuttajat. Voidaan ensimmäisessä vaiheessa keskittyä vikamuotoihin, joiden ylimmän kohdetason vaikutus johtaa ei toivottuun seuraukseen kohteessa.
- f) Määritetään vikamuodon havaitsemistavat
- g) Määritetään vikamuodon merkittävyys riskityökaluilla
- h) Toistetaan edelliset vaiheet kaikille kohteen osille ja niiden vikamuodoille
- i) Määritetään kriittisimmille vikamuodoille toimenpiteitä
- j) Arvioidaan suositeltujen toimenpiteiden vaikutus vikamuodon toteutumiseen ja siitä aiheutuviin seurauksiin
- k) Päivitetään FMEA-analyysiä suunnittelumuutoksissa ja kohteen tietojen karttuessa

1.3.2 Top-down FMEA lähestymistapa

Top-down FMEA lähestymistapaa käytetään pääsääntöisesti varhaisessa suunnitteluvaiheessa, ennen kuin koko järjestelmärakenne on päätetty tai vaihtoehtoisesti keskityttäessä olemassa olevan kohteen ongelmakohtiin. Menetelmässä kohteen toimintaa tarkastellaan sen toimintojen kautta. Tarkemmin ollaan kiinnostuneita kohteen toiminnallisista vioista, jotka johtavat lopulta kohteen jonkin toiminnon puuttumiseen. Toiminnalliset viat ovat aina seurausta jostain pienemmästä tapahtumasta, eli tässä tapauksessa vikamuodosta. Tässä lähestymistavassa keskitytään tarkastelemaan vaikutuksia, joita kohteen toiminnallisilla vioilla on ja mitkä vikamuodot aiheuttavat näitä toiminnallisia vikoja.

Seuraavat askeleet muodostavat Top-down FMEA lähestymistavan:

- a) Valitaan toiminto analysoitavaksi
- b) Valitaan toiminnallinen vika arvioitavaksi
- c) Määritellään toiminnallisen vian paikalliset ja ylimmän tason vaikutukset
- d) Jos ylimmän tason vaikutus johtaa ei toivottuun seuraukseen, määrittele laitteen vikamuodot, jotka voivat aiheuttaa toiminnallisen vian
- e) Arvioidaan vikamuoto bottom-up lähestymistavan d) - f) kohtien mukaisesti
- f) Määritellään vikamuodon merkittävyys riskityökaluilla
- g) Toistetaan edelliset vaiheet kaikille toiminnoille ja niiden toiminnallisille vioille
- h) Jatketaan vikamuotojen tarkastelua bottom-up lähestymistavan i) - k) kohtien mukaisesti

Seuraavassa kappaleessa esitetään yksi vaihtoehtoinen tapa suorittaa *bottom-up* FMEA:aa *ELMAS:lla*.

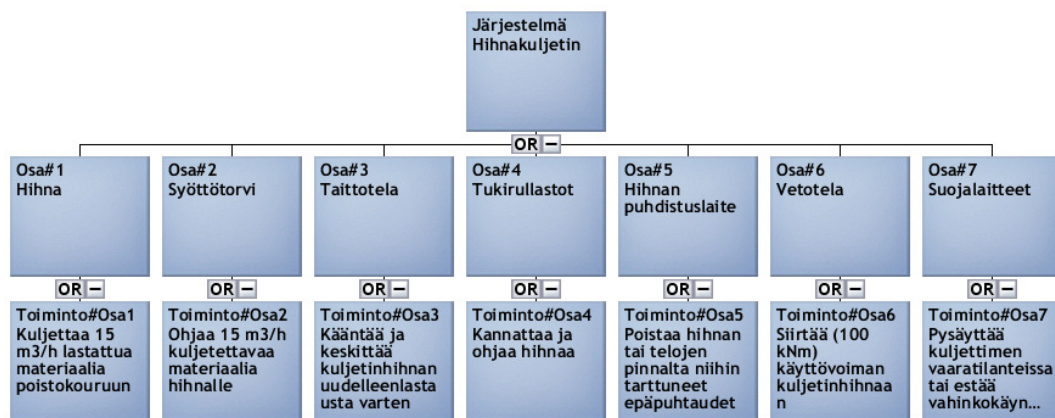
2 ELMAS BOTTOM-UP FMEA

2.1 Kohteen toimintarakenteen määrittäminen

Luodaan kohteen toimintaa kuvaava lohkokaavio ja/tai hierarkkinen vikapuumalli, jossa kuvataan kohteen osien muodostama *luotettavuustekninen* hierarkiarakenne. Määritetään kohteen osille niiltä vaadittu toiminto tai toiminnot suorituskyykyineen. Toiminnot jaetaan tyypillisesti sivu- ja päätoimintoihin. Kohteen osien toiminnoille tulee liittää tietoja käyttö- ja toimintaympäristö olosuhteista, joissa osan tulee toimia. Muodostettu kohteen rajat osoittava visuaalinen kohteen toimintarakennemalli auttaa varmistamaan, että analyysiin osallistuvat ryhmän jäsenet tulevat tutuksi tutkittavan kohteen kanssa. Analyysitaso tulee valita niin, että tunnistetuille vioille voidaan määrittää toimenpiteitä, joilla voidaan vaikuttaa suoraan vian aiheuttajiin.

Analysoitava kohde voi koostua seuraavista hierarkiatasoista:

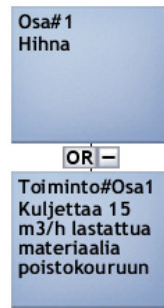
- Prosessi
- Osaprosessi
- Järjestelmä
- Alijärjestelmä
- Laite
- Osa
- Komponentti



Kuva 1: ELMAS bottom-up FMEA toimintarakenne

2.2 Valitaan kohteen osa analysoitavaksi

Valitaan kohteen osa, jonka toimintaa tutkitaan seuraavissa vaiheissa yksityiskohtaisemmin. Tässä vaiheessa ei ole väliä mistä kohteen osasta aloitetaan, koska kohteen kaikki osat tulee tarkastella seuraavien vaiheiden vaatimalla tavalla.



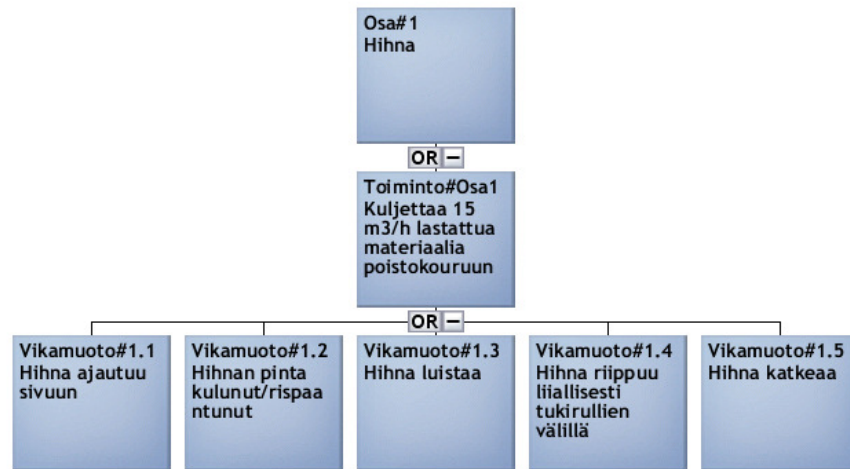
Kuva 2: Analysoitava osa

2.2.1 Tunnistetaan valitun osan potentiaaliset vikamuodot

Mietitään analysoitavalle osalle potentiaalisia vikamuotoja, eli tapoja joilla osa voi vikaantua johtaen sen suorittaman toiminnon estymiseen. Potentiaalsiin vikamuotoihin sisällytetään kaikki ne vikamuodot, joita on havaittu tarkasteltavalla tai vastaavanlaisella osalla historian aikana ja vikamuodot, jotka voidaan hyvällä syyllä olettaa vielä esiintyvän kohteen käyttö- ja kuormitusolosuhteissa. Arvokasta tietoa tutkittavan osan vikamuodoista voidaan saada kunnossapidon historiatiedoista, suunnittelijoilta, käyttäjiltä, kunnossapitäjiltä sekä järjestelmän toimittajalta. Vikamuodot tulee määrittää fysikaalisia tai teknisiä termejä käyttäen. Tyypillisesti vikamuoto voidaan käsittää olevan ylemmän tason vikamuodon aiheuttaja tai vaihtoehtoisesti sen voidaan katsoa olevan vian vaikutus alemman tason vikamuodolle.

Hankaantunut	Räjähtänyt	Loveentunut	Irtikytkeytynyt
Kipinöidä	Piiri auki	Ylikuumentunut	Likaantunut
Hidastunut	Metalli väsynyt	Lämmennyt	Estynyt
Epätasapaino	Heilahteleva	Ylikuormittunut	Venynyt
Linjausvika	Kulunut	Ylirasittunut	Syöpynyt
Taipunut	Virheellinen toiminta	Ylipaine	Oikosulku
Takertunut	Katkonainen toiminta	Ylinopeus	Väljä
Sulake palanut	Jumiutunut	Puhjennut	Sulanut
Murtunut	Vuotovirta	Katkennut	Käsittelyvaurio
Vääntynyt	Leikkaantunut	Naarmuuntunut	Väärä osoitus
Palanut	Säröytynyt	Eriytynyt	Epästabiili
Hiertynyt	Vaurioitunut	Murskaantunut	Vääristynyt
Kolhiintunut	Puutteellinen	Värähtely	Ei jää paikalleen
Tukkeutunut	Irronnut	Haljennut	Vuoto
Sortunut	Heikentynyt	Kovettunut	Harhatoiminto

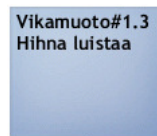
Taulukko 1: Tyypillisiä vikamuotoja



Kuva 3: Analysoitavan osan potentiaaliset vikamuodot

2.3 Valitaan vikamuoto arvioitavaksi

Edellisessä vaiheessa tutkittavan kohteen osille määritetyistä vikamuodoista valitaan yksitellen vikamuoto arvioitavaksi seuraavaan analyysivaiheeseen. Vikamuotojen arviointijärjestyksellä ei ole tässä tapauksessa väliä koska analyysissa edellytetään, että jokainen vikamuoto arvioidaan vastaavalla tavalla.



Kuva 4: Arvioitava vikamuoto

2.3.1 Määritetään vikamuodon aiheuttajat/mekanismit

Tunnistetaan ja kuvaillaan vikamuodon aiheuttajat sekä mekanismit, eli syyt vikamuodon syntymiselle. Aiheuttajat/mekanismit tulee määrittää mahdollisimman selkeästi, niin että aiheuttajille voidaan määrittää parannuskeinoja tai muita toimenpiteitä. Vian aiheuttajien ja mekanismien määrittäminen on syytä tehdä huolella sillä jatkossa parannuskeinojen miettiminen on järkevää ainoastaan, jos vikaantumisen perimmäiset syyt ovat tiedostettuja. Tällöin toimenpide voidaan kohdistaa tietyn syyn poistamiseksi ja siitä aiheutuvien seurausten pienentämiseksi.

Vian aiheuttajiin lukeutuvat mm. seuraavat tekijät:

- Ylikuormitus
- Riittämätön voitelu
- Sopimaton kunnossapito-ohje
- Riittämätön suojaus
- Sopimaton materiaali

- Sopimaton viimeistely

Vian mekanismeina voi esiintyä esim.:

- Korroosio
- Eroosio
- Väsyminen
- Kuluminen

ELMAS:ssa vian aiheuttajat voidaan kuvata haluttaessa omina solmuinaan vikamuotojen alle, tai vaihtoehtoisesti vikamuotosolmun editorin *FMEA-sivun Kuvaus*-välilehdellä olevaan *Toteutuminen*-kenttään. Alla olevaan kuvaan 5 *Toteutuminen*-kenttä on muutettu *ELMAS FMEA*-asetuksista *Vian aiheuttaja* -kentäksi.

Kuva 5: Vian aiheuttajat

2.3.2 Määritetään vikamuodolle sen kohteen eri tasoille aiheuttamat vaikutukset

Määritetään vikamuodolle siitä aiheutuvat vaikutukset. Vaikutus liittyy suoraan osan kykyyn suorittaa siltä vaadittua toimintoa. Vikamuodon vaikutukset kuvataan huomioiden kohteen eri tasot aina paikallisista vaikutuksista kohteen ylimmän tason vaikutuksiin asti. Tyypillisesti vikamuoto voi aiheuttaa erityyppisiä vaikutuksia liittyen asiakastyytyväisyyteen, tuotantoon, turvallisuuteen, ympäristöön tai tuotantolaitteeseen. Vaikutukset tulisi kuvata yksityiskohtaisesti solmun editorin *FMEA-sivun Kuvaus*-välilehden *Vakavuus*-kenttään. Vaikutusten yleisluotoisella kuvaamisella hankaloitetaan potentiaalisten riskien tunnistamista.

Vikamuotojen vaikutuksia voidaan arvioida seuraavien kysymyksien pohjalta:

- Millaisia riskejä vikaantuminen aiheuttaa terveydelle tai ympäristölle?
- Miten vikaantuminen vaikuttaa tuotantoon tai toimintaan?
- Mitä konkreettisia vahinkoja vikaantuminen aiheuttaa?
- Mitkä ovat korjaustoimenpiteet?

Alla olevaan kuvaan 6 *Vakavuus*-kenttä on muutettu *ELMAS FMEA*-asetuksista *Vian vaikutukset* -kentäksi.

Kuva 6: *Vian vaikutukset*

2.3.3 Määritetään vian havaitsemistavat

Määritetään vian havaitsemistavat, eli vastataan kysymykseen mistä nähdään, että vikaantumisen on tapahtunut. Vian havaitsemistavat ovat mekanismeja, joilla estetään vikamuodon aiheuttajan esiintyminen tai joilla vika havaitaan, ennen kuin tuote saavuttaa asiakkaan. Prosessi FMEA:an kohdalla vian havaitsemistapojen määrittäminen tyypillisesti tarkoittaa, että kirjataan erilaiset mahdolliset tavat havaita vikamuoto. Tällaisia voivat olla esim. erilaiset toiminnan testaukset, hälytykset, kunnonvalvonta, muut havainnointikeinot ja jne..

ELMAS:ssa vian havaitsemistavat määritetään vikamuotosolmun editoriin *FMEA*-sivun *Kuvaus*-välilehdellä olevaan *Havaitseminen*-kenttään. Alla olevaan kuvaan 7 *Havaitseminen*-kenttä on muutettu *ELMAS FMEA*-asetuksista *Vian havaittavuus* -kentäksi.

Kuva 7: *Vian havaittavuus*

2.4 Määritetään vikamuodon merkittävyys

Kriittisyysanalyysin tarkoituksena on *kategorisoida* vikamuodot niiden aiheuttamien vaikutusten vakavuuksien, esiintymistodennäköisyyksien ja havaitsemiseen liittyvien tietojen pohjalta. Riskianalyysin lopputuloksena vikamuodoille muodostuu ns. *riskiluku (RPN)* kuvaamaan vikamuodon merkittävyyttä. Riskiluku muodostuu kolmen eri tekijän antamasta tulosta saaden arvon 1-1000 väliltä. Mitä suurempi riskiluku on, sitä merkittävämpi vikamuoto on. Riskianalyysin avulla saadaan selville ne vikamuodot, joille ensisijaisesti tulisi löytää parantavia toimenpiteitä vikamuodon esiintymistodennäköisyyden, vaikutusten pienentämiseksi tai havaittavuuden parantamiseksi. Vaihtoehtoisesti vikamuotojen riskien luokittelemiseksi voidaan käyttää vian vaikutuksen ja esiintymistodennäköisyyden muodostamaa *riskimatriisia*.

2.4.1 Vikamuodon vaikutusten vakavuuden määrittäminen

Vikamuodon vaikutusten vakavuudella (*severity*) arvioidaan kuinka merkittävä vaikutus vikamuodolla voi pahimmillaan olla kohteen turvalliselle toiminnalle. Vakavuuden arviointiin käytetään suhteellista 1:stä 10:een asteikkoa, jossa 1 tarkoittaa erittäin matalaa vakavuutta ja 10 merkitsee vahingonvaaraa ilman varoitusta.

Rating	Guideline	Rank
Very High	Indicates a potential failure mode that could cause death (9 with warning, 10 without warning).	10 9
High	High customer dissatisfaction due to the nature of the failure, such as a major system (e.g., automobile engine) function being inoperative.	8
High to Moderate	Can also be an inoperable convenience system (e.g., air-conditioning system). Do not involve safety aspects.	7
Moderate	Failure causes some customer dissatisfaction.	6
Moderate to Low	Customer is made uncomfortable or is annoyed by the failure.	5
Low	Customer will notice some subsystem or vehicle performance deterioration.	4
Low to Minor	The nature of failure causes only slight annoyance. The customer will probably only notice a slight deterioration of the performance.	3
Minor	Unreasonable to expect that the minor nature of this failure would cause any real effect on the system performance.	2
Very Minor	Most customers would probably not even notice the failure.	1

Kuva 8: Vikamuodon vaikutusten vakavuusluokat (S) (Design for reliability, Crowe D., Feinberg A.)

ELMAS:ssa vikamuodon kohteen ylimmälle tasolle aiheuttaman vaikutuksen vakavuus arvioidaan solmun editorin FMEA-sivun RPN-välilehden Vakavuus-alasvetovalikkoon.

Kuva 9: Vikamuodon vaikutusten vakavuus (S) ELMAS

2.4.2 Vikamuodon toteutumisen määrittäminen

Vikamuodon toteutumisen kvalitatiivisella määrittämisellä arvioidaan vikamuodon esiintymistäajuutta osan suunnitellun elinkaaren aikana. Toteutumisen arviointiin käytetään suhteellista 1:stä 10:een asteikkoa, jossa 1 tarkoittaa hyvin epätodennäköistä tapahtumisen mahdollisuutta ja 10 merkitsee hyvin usein toistuvaa tapahtumaa.

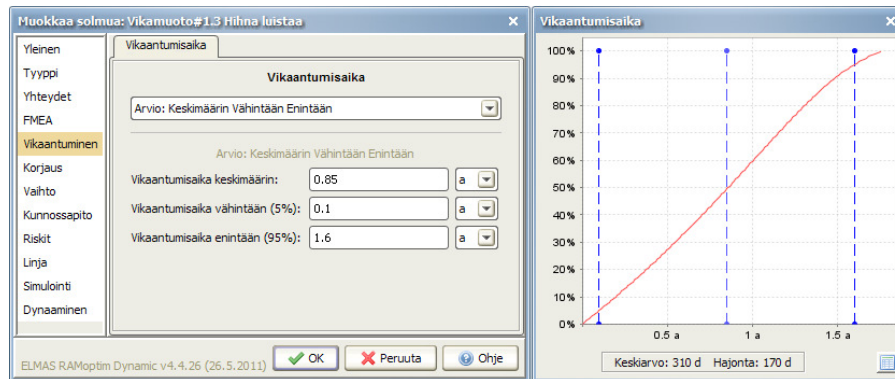
Failure Rate	Likelihood of Failure	Ranking	Occurrence per Unit Time
Very High	Failure is almost inevitable.	10	1 in 2 (50%)
		9	1 in 3 (33%)
High	Repeated failures.	8	1 in 8 (12.5%)
		7	1 in 20 (5%)
Moderate	Occasional failures.	6	1 in 80 (1.25%)
		5	1 in 400 (0.25%)
		4	1 in 2,000 (0.05%)
Low	Relatively few failures.	3	1 in 1,500 (666 PPM)
		2	1 in 150,000 (6.66 PPM)
Remote	Failure is unlikely.	1	1 in 1,500,000 (0.66 PPM)

Kuva 10: Vikamuodon toteutumisen luokat (O) (Design for reliability, Crowe D., Feinberg A.)

ELMAS:ssa vikamuodon toteutumisen todennäköisyys arvioidaan solmun editorin FMEA-sivun RPN-välilehden Toteutuminen-alasvetovalikkoon. Vikamuodon kvantitatiivista toteutumista voidaan tarkastella ELMAS:ssa simuloinnin avulla määrittämällä vikamuotosolmuille vikaantumisen- ja korjausaikojen mukaiset vikaantumisen ominaispiirteet solmujen editoreihin.

Kuva 11: Vikamuodon toteutuminen (O) ELMAS

ELMAS:ssa vikaantumisen ominaispiirteet voidaan kuvata solmun editorin Vikaantuminen-sivulla, jossa vikaantumisaajan tiedoilla ja kuvaajilla voidaan määrittää vikaantumistaipumuksen luonne. Vikaantumisen kuvaamisessa on huomioitava käytettävissä olevien tietojen laatu ja luotettavuus, jotta vikaantuminen saadaan kuvattua mahdollisimman hyvin todellisuutta vastaavalla tavalla.



Kuva 12: Vikaantumisen kuvaaminen keskimäärin - vähintään - enintään menetelmällä

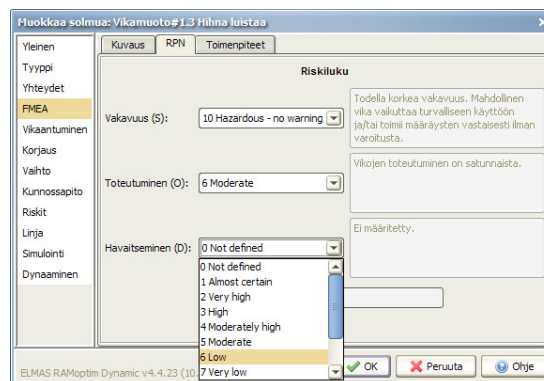
2.4.3 Vikamuodon havaitsemisen todennäköisyyden määrittäminen

Vian havaittavuudessa arvioidaan todennäköisyyttä, jolla vika tai sen aiheuttaja havaitaan sille aiemmin määritetyllä havaitsemistavalla. Tai vaihtoehtoisesti todennäköisyyttä, että vika havaitaan määritetyllä havaitsemistavalla, ennen kuin tuote saavuttaa asiakkaan. Havaitsemisen arviointiin käytetään suhteellista 1:stä 10:een asteikkoa, jossa 1 tarkoittaa, että vika havaitaan hyvin suurella todennäköisyydellä määritetyllä havainnointitavalla ja 10 merkitsee hyvin epätodennäköistä mahdollisuutta havaita vikaa.

Rating	Guideline	Rank
Certainty of Nondetection	Screening cannot detect a potential failure mechanism, or there is no screen.	10
Very Low	Screening probably will not detect a potential failure mechanism.	9
Low	Screening not likely to detect a potential failure mechanism.	8 7
Moderate	Screening may detect a potential failure mechanism.	6 5
High	Screening has a good chance of detecting a potential failure mechanism.	4 3
Very High	Screening will almost certainly detect a potential failure mechanism.	2 1

Kuva 13: Vikamuodon havaitsemisen luokat (D) (Design for reliability, Crowe D., Feinberg A.)

ELMAS:ssa vian havaitsemisen todennäköisyys arvioidaan solmun editorin FMEA-sivun RPN-välilehden Havaitseminen-alasvetovalikkoon.



Kuva 14: Vikamuodon havaitsemisen todennäköisyys (D) ELMAS

2.5 Vikamuotojen kategorisointi riskiluvun mukaan

Kun kaikki vikamuodot on kuvattu ja arvioitu edellisten vaiheiden vaatimilla tavoilla, voidaan vikamuodot *kategorisoida* niiden merkittävyyden suhteen. Tähän käytetään aiemmin mainittua *riskilukua* tai vaihtoehtoisesti *riskimatriisia* (Ks. luku 2.4). Seuraavan vaiheen toimenpiteiden suunnittelu aloitetaan riskiluvun tai riskimatriisin mukaan *kriittisimmiksi* osoittautuneille vikamuodoille. Riskiluvulle tulee määrittää hyväksyttävä riskilukuraja osoittamaan riskiluvun arvo, jota vikamuoto ei saa ylittää. Hyväksyttävän riskilukurajan määrittäminen tehdään analyysi- tai yrityskohtaisesti vastaten tarkasteltavalle kohteelle ominaista riskinsietokykyä. Kaikille sovitun riskilukurajan ylittäneille vikamuodoille tulee miettiä keinoja pudottaa riskiluku sovitun rajan alapuolelle seuraavassa analyysivaiheessa.

Kuva 15: Vikamuodolle muodostunut riskiluku (RPN)

Merkittävin yksittäinen riskiluvun muodostumisessa mukana oleva arvo on vikamuodon vaikutuksen *vakavuuden* arvo. Sen yksittäinen arvo voi nousta kyseisen vikamuodon riskilukua merkittävämmäksi tekijäksi vikamuodon kriittisyyttä arvioitaessa. Tämän johdosta seuraavan vaiheen toimenpiteiden määrittämiseen tulee ottaa mukaan myös vikamuodot, joiden vaikutusten vakavuus on arvioitu hyvin merkittäväksi (9 tai 10) vaikka varsinainen riskiluku ei olisikaan ylittänyt ei-hyväksyttävää riskilukurajaa. Tällä tavoin varmistetaan, että vikamuoto ei jää huomioimatta, vaikka esiintymistodennäköisyyden ja havaitsemisen arvioinnit olisikin tehty virheellisesti.

ID	Vikamuoto	Vian aiheuttaja	Toteutuminen (O)	Vian vaikutukset	Vakavuus (S)	Vian havaitseminen	Havaitseminen (D)	RPN (S*O*D)
Vikamuoto #1.1	Hihna ajautuu sivuun	- Hihnan sivuun ajautuessa laipista ovi esiin. - Vossaa oleva taitto- tai vetotila - Materiaali liikkunut hihnan toiselle reunalle - Tuluräskä suussa - Tuluräskä vossaa toisella nähdä	6 Moderate	- Järjestelmä: Hihnan ajautuu tuluräskä ylä ja jumiutuu. Hihnan irrottaminen ja uudelleen linsiminen. - Pakalliset: Hihnan ajautuu tuluräskä ylä ja jumiutuu. Hihnan irrottaminen ja uudelleen linsiminen. - Järjestelmä: Hihnan ajautuu tuluräskä ylä ja jumiutuu. Hihnan irrottaminen ja uudelleen linsiminen.	9 Hazardous - with w...	- Hihnan sivuun ajautuminen voidaan havaita silmänsäädillä käytönoikealla tarkastuksella. Hihnan rajoitustulla voidaan havaita hihnan sivuun ajautuminen.	3 High	162
Vikamuoto #1.2	Hihnan pinta kulunut...	- Materiaalin syöttö laatuun kuluu hihnaa - Väärä hihnan hihnanpinta kuluu hihnaa - Hihnan vaurioituminen pinnan pinnan - Hihna vastaa kuluttamista tuluräskä	6 Moderate	- Järjestelmä: Hihnan pinta kuluu hihnaa. - Pakalliset: Hihnan pinta kuluu hihnaa. - Järjestelmä: Hihnan pinta kuluu hihnaa.	4 Very low	- Ripaantumisen ja kulumisen voi havaita silmänsäädillä käytönoikealla tarkastuksella.	5 Moderate	120
Vikamuoto #1.3	Hihna luistaa	- Vaurioitunut vetotila pinnasta - Vaurioitunut hihnan laipista - Vetotilan laipista laipista - Vetotilan laipista laipista - Vetotilan pinnalla kuluu alustavaa materiaalia	6 Moderate	- Järjestelmä: Hihna luistaa. - Pakalliset: Hihna luistaa. - Järjestelmä: Hihna luistaa.	10 Hazardous - no wa...	- Hihnan laipista voidaan viime vaiheessa havaita silmänsäädillä tarkastuksella.	6 Low	360
Vikamuoto #1.4	Hihna ripuu laipista...	- Tuluräskä voi liian suuri - Epäilettömän hihnan laipista - Hihna laipista	5 Low	- Järjestelmä: Hihna ripuu laipista. - Pakalliset: Hihna ripuu laipista. - Järjestelmä: Hihna ripuu laipista.	3 Minor	- Hihnan laipista voidaan viime vaiheessa havaita silmänsäädillä tarkastuksella.	6 Low	90
Vikamuoto #1.5	Hihna kallea	- Hihnan laipista kallea - Laipista kallea - Hihnan reuna tarttuu kuluttamiseen	6 Moderate	- Järjestelmä: Hihna kallea. - Pakalliset: Hihna kallea. - Järjestelmä: Hihna kallea.	8 Very high	- Yli havaitaan prosessitiedoista ja silmänsäädillä tarkastuksella.	3 High	144

Kuva 16: Vikamuotojen kategorisointi ELMAS FMEA-työkalulla

Projekti: FMECA-esimerkkiprojekti Kohde: Hihnekuljetin Historia: Versio 1.23,5,2011 Vastuuhenkilö(t): Ramentor Oy					RPN-rajat ≥150 90<150 ≤90					
komponentti ID	komponentti nimi	Toiminto nimi	Vianmuoto nimi	Vianaiheuttaja	Toteutuminen (D)	Vianvaikutukset	Valaistus (S)	Vian havaittavuus	Havaitseminen (D)	RPN (S*D)
Osa#1	Hihna	Kuljettaa 15 m ³ /h lastattua materiaalia poistokouruun	Hihna ajautuu sivuun	- Vinossa oleva taitto- tai vetotela - Materiaali keskitetty hihnan toiselle reunalle - Tukirullia jumissa - Tukirullat vinossa toisiinsa nähden	6 Moderate	Paikalliset: Hihna ajautuu tukirullien yli ja jumittuu. Hihnan irrottaminen ja uudelleen linjaaminen. Järjestelmätasot: Kuljetin pitää pysäyttää 4 h ajaksi. Jumittunut hihna yhdessä pyörivän vetotelan kanssa synnyttää tarvittavan lämmön hihnan tai kuljetettavan materiaalin syttymiselle.	9 Hazardous - with warning	Hihnan sivuun ajautuminen voidaan havaita silmämääräisillä käytönaikaisilla tarkastuksilla. Hihnan raja-antureilla voidaan havaita hihnan sivuunajautuminen.	3 High	162
			Hihnan pinta kulundu/rispaantunut	- Materiaalin syöttö lastausalueella kuluttaa hihnaa - Vikaantunut hihnanpuhdistaja kuluttaa hihnaa - Hihnaan valittu liian pehmeä pintamateriaali - Hihna vastaa kuljettimen tukirakenteeseen	6 Moderate	Paikalliset: Rispaantumisen/kulumisen aiheuttajan selvittäminen. Hihnan vaihto ennen hihnan katkeamista. Hihnan vaihto 6 h. Järjestelmätasot: Tuotanto estyy hihnan vaihdon ajaksi. Seisokki 6h.	4 Very low	Rispaantumisen ja kulumisen voi havaita silmämääräisillä käytönaikaisilla tarkastuksilla.	5 Moderate	120
			Hihna luistaa	- Vaurioitunut vetotelan pinnoite - Virheellinen hihnan kiristys - Vetotelan kiinnitys löysällä - Taittotelan kiinnitys löysällä - Vetotelan pinnalla kitkaa alentavaa materiaalia	6 Moderate	Paikalliset: Synnyttää lämpöä, joka voi vakavimmillaan johtaa kuljetettavan materiaalin ja polyn kanssa tulipaloon. Hihnan kiristys 1 h tai vetotelan vaihto 8 h. Järjestelmätasot: Ajautuu turvallisuuksa vaara, joka voi johtaa tulipaloon. Hihnakuljettimen pysäyttäminen 1-8 h ajaksi. Tuotanto estyy 1-8 h ajaksi.	10 Hazardous - no warning	Hihnan luistaminen voidaan viime vaiheessa havaita silmämääräisillä tarkastuksilla.	6 Low	360
			Hihna riippuu liiallisesti tukirullien välillä	- Tukirullien väli liian suuri - Epätasainen hihnan lastaus - Hihna löysällä	5 Low	Paikalliset: Lastausmäärää pudotettava tai lisättävä tukirullia kannattelemaan hihnaa paremmin. Tarkastettava hihnan lastiton ja lastattu kireys. Hihnan kireyden tarkastus ja säätö kestävät noin 3 h. Järjestelmä: Osa tuotannosta voi karista pois hihnakuljettimelta. Kuljettimen vaatima energia voi lisäntyä. Tuotannon pysäytys hihnan kireyden tarkastuksen ja säädön ajaksi noin 3 h.	3 Minor	Hihnan liiallinen riippuminen voidaan havaita silmämääräisillä käytönaikaisilla tarkastuksilla.	6 Low	90
			Hihna katkeaa	- Hihnan liitos tehty virheellisesti - Liiallinen kuormitus - Hihnan reuna tarttuu kuljettimen tukirakenteisiin	6 Moderate	Paikalliset: Hihna pysähtyy välittömästi. Hihnan vaihto 8 h. Järjestelmä: Tuotanto pysähtyy 8 h ajaksi.	8 Very high	Vika havaitaan prosessitiedoista ja silmämääräisellä tarkastuksella.	3 High	144

Kuva 17: Vikamuotojen kategorisointi riskilukujen avulla (Excel-taulukko)

2.6 Toimenpidesuunnitelmien luominen kriittisimmille vikamuodoille

Pyritään miettimään tapoja, joilla vikamuodolle muodostunutta riskilukua voitaisiin pienentää. Käytännössä tämä tarkoittaa toimenpiteiden määrittämistä, joilla voidaan vaikuttaa vian *vakavuuteen*, *esiintymistodennäköisyyteen* tai *havaitsemiseen*. Tyypillisesti vian vakavuuden laskeminen on kaikista vaikeinta, koska usein sen laskeminen vaatii fyysisten muutosten tekemistä prosessilaitteisiin tai -rakenteeseen. Poistamalla vian aiheuttajia tai valvomalla vikaantumisen kehittymistä voidaan vian esiintymistodennäköisyyttä laskea. Vian havaitsemisen todennäköisyyttä voidaan parantaa erilaisten tarkastusten avulla, kuten esim. hälytysjärjestelmät, työohjeet, menettelytavat, ennakko huollot ja kahdennus.

Suositteltoimenpide	Vastuullinen	Päivämäärä	Tila	Tehty toimenpide	S	O	D	RPN
Hihnan kireyden määräävä tarkastus					0	0	0	0
Vetotelan kumipinnoitteen vaihtaminen keraamiseen pinnoitteeseen					0	0	0	0
Uuden telan lisääminen vetotelan ja hihnan pitopinnan lisäämiseksi					0	0	0	0

Kuva 18: Toimenpidesuunnitelma kriittiselle vikamuodolle

2.7 Toimenpiteiden implementointi

Toimenpidesuunnitelma kuvaa mitä vaiheita määritettyjen ratkaisujen implementointiin kuuluu. Toimenpidesuunnitelma sisältää tietoja mm. toimenpiteiden suorittajista ja niille määritetyistä valmistusajankohdista. Tyypillisesti toimenpidesuunnitelmassa toimenpide kuvataan seuraavien kysymysten perusteella:

- Kuka?
- Mitä?
- Milloin?

Suositteltoimenpide	Vastuullinen	Päivämäärä	Tila	Tehty toimenpide	S	O	D	RPN
Hihnan kireyden määräävä tarkastus	Mekaaninen kunnossapito	23.5.2011	Aloitettu	Hihnan kireyden tarkastus 1kk välein	0	0	0	0
Vetotelan kumipinnoitteen vaihtaminen keraamiseen pinnoitteeseen	Mekaaninen kunnossapito	23.5.2011	Aloitettu	Keraamipinnoitteinen vetotela tilattu	0	0	0	0
Uuden telan lisääminen vetotelan ja hihnan pitopinnan lisäämiseksi					0	0	0	0

Kuva 19: Toimenpiteiden implementointi

2.8 Vikamuodon riskiluvun uudelleenlaskenta

Edellisessä vaiheessa määritettyjen suositeltujen toimenpiteiden suorittamisen jälkeen arvioidaan uudelleen vakavuus, esiintymistodennäköisyys ja havaitseminen. Tällä vaiheella todennetaan toimenpidesuunnitelman mukaisten toimenpiteiden vaikutus vikamuodon riskilukuun. Tarkoituksena on arvioida suositellun toimenpiteen vaikutusta riskiluvun pudottamiseksi halutulle tasolle.

Muokkaa solmua: Vikamuoto#1.3 Hihna luistaa

Yleinen Kuvaus RPN Toimenpiteet

Yhteiset

FMEA

Vikaantuminen

Korjaus

Vaihto

Kunnossapito

Riskit

Linja

Simulointi

Dynaaminen

Toimenpiteet

Suosittelut toimenpide	Vastuullinen	Päivämäärä	Tila	Tehty toimenpide	S	O	D	RPN
Hihnan kireyden määräaikainen tarkastus	Mekaaninen kunnossapito	23.5.2011	Aloitettu	Hihnan kireyden tarkastus 1kk välein	10	3	3	90
Vetotelan kumipinnoitteen vaihtaminen keraamiseen pinnoitteeseen	Mekaaninen kunnossapito	23.5.2011	Aloitettu	Keraamipinnoitteinen vetotela tilattu	10	3	6	180
Uuden telan lisääminen vetotelan ja hihnan pitopinnan lisäämiseksi					0	0	0	0

Lisää toimenpide Poista valitut

OK Peruuta Ohje

ELMAS RAMOptim Dynamic v4.4.27 (22.6.2011)

Kuva 20: Riskiluvun uudelleenlaskenta

2.9 FMEA:n päivittäminen

FMEA-analyysitietoja tulee päivittää suunnittelu tai prosessimuutosten yhteydessä. Tämän lisäksi muuttuneet arviot vikamuodoista ja uuden tiedon tunnetuksi tuleminen vaativat FMEA -analyysitietojen päivittämisen vastaamaan sen hetkistä tietämystä.

3 LÄHTEET

Crowe D., Feinberg A., 2001. Failure Modes and Effects Analysis. Design for reliability. Boca Raton, CRC Press LLC. Chapter 12.

[http://www.qualitytrainingportal.com/resources/fmea/fmea_10step_pfmea.htm]. Luettu 9.5.2011

Rausand M. 2005. System Analysis Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis. [<http://www.fmeainfocentre.com/presentations/fmea.pdf>]. Luettu 22.4.2011.

American Bureau of Shipping. 2004. ABS Guidance notes on reliability-centered maintenance. Houston, American Bureau of Shipping. 145 s.

SFS 5438. 1988. Järjestelmän luotettavuuden analysointimenetelmät. Vika- ja vaikutusanalyysi (VVA). Suomen standardisoimisliitto SFS. 12 s.