

Ville Heikkinen

Kalkkivilietteen tuotannon käyttövarmuuden parantaminen kriittisyysluokittelun ja vika- ja vaikutusanalyysin avulla

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Syksy 2020



**KAMK • University
of Applied Sciences**

Tiivistelmä

Tekijä(t): Heikkinen Ville

Työn nimi: Kalkkikivilietteen tuotannon käyttövarmuuden parantaminen kriittisyysluokituksen ja vika- ja vaikutusanalyysin avulla

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), konetekniikka

Asiasanat: kunnossapito, käyttövarmuus, kriittisyysluokittelu, vika- ja vaikutusanalyysi, PSK 6800

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli Terrafamen metallien talteenotto -osasto. Työn tarkoituksena oli parantaa kalkkikivilietteen tuotannon käyttövarmuutta kriittisyysluokittelun ja vika- ja vaikutusanalyysin avulla.

Kalkkikivilietettä käytetään Terrafamen omissa prosesseissa käyttöhyödykkeenä pH:n säätöön. Kalkkikivilietettä valmistetaan yksinkertaistettuna sekoittamalla kalkkikiveä ja vettä. Työssä käsiteltiin kalkkikivilietteen tuotannon prosessia raaka-aineen saapumisesta valmiin tuotteen jakeluun asti.

Kriittisyysluokittelu tehtiin PSK 6800 -standardin mukaisesti. Tarkasteltavaksi laitteiksi valittiin kalkkikivilietteen tuotannon päälaitteet käyttöpaikkatasolla, esimerkiksi automaatiolaitteet sekä putkistot rajattiin ulkopuolelle.

Kriittisyysluokittelun suoritus aloitettiin rajaamalla käsiteltävät käyttöpaikat ja lisäämällä ne standardin lomakkeelle. Käyttöpaikoille määriteltiin tuotannon menetyksen painoarvo, joka kertoo toimimattomuuden vaikutuksen tuotantoprosessiin. Seuraavaksi laitteiden kriittisyyttä arvioitiin vikaantumisvälin, keskimääräisen vikaantumisen aiheuttaman tuotannonmenetyksen, turvallisuus- ja ympäristöriskien sekä laatu-, korjaus- ja seurauskustannusten perusteella. Tietoa haettiin kunnossapitojärjestelmä Maximosta sekä haastattelemalla tuotannon ja kunnossapidon henkilöstöä. Kriittisyysluokittelun tuloksena saatiin jokaiselle laitteelle kriittisyysindeksi, jonka perusteella valittiin kriittisimmät laitteet vika- ja vaikutusanalyysiin.

Vika- ja vaikutusanalyysissä tutkittiin tarkemmin laitteen vikaantumisen syitä, seurauksia sekä ennaltaehkäisyä. Tuloksena saatiin monenlaisia toimenpidesuosituksia, mm. uuden ennakkohuollon luominen tai rakenteellinen muutos.

Työn tuloksena saatiin kalkkikivilietteen tuotannolle asianmukainen kriittisyysluokittelu sekä vika- ja vaikutusanalyysi. Vika- ja vaikutusanalyysin perusteella määritetyt toimenpidesuosituksukset tulevat todennäköisesti parantamaan prosessin käyttövarmuutta.

Abstract

Author(s): Heikkinen Ville

Title of the Publication: Criticality Classification, Failure Mode and Effect Analysis of Limestone Slurry Production

Degree Title: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Keywords: Maintenance, reliability, criticality classification, failure mode and effect analysis, PSK 6800

This thesis was commissioned by the metal recovery department of Terrafame Ltd. The purpose of the thesis was to improve the reliability of limestone slurry production, by performing criticality classification, as well as failure mode and effect analysis.

In Terrafame Ltd limestone slurry is used for the company's own processes in terms of adjusting their acidness. Lime-stone slurry is produced by simply mixing water and limestone. This work deals with the limestone slurry production process from raw material to the finished product.

Criticality classification was performed according to the PSK 6800 standard. The main devices of the limestone slurry production by place of use were picked for the classification. However, automation devices and pipes were not included.

Criticality classification was started by limiting the devices considered, and then attaching them to the standardized form. The next step was to specify the weighting factor of production loss, which tells how device failures impact the production. Then criticality of devices was estimated by weighting factors of time between failure, production loss of average failure, safety, environment, quality, as well as fixing costs. The data was searched from the maintenance system Maximo and by interviewing personnel from the production and maintenance departments. As a result, the criticality index was given to every device part of the criticality classification. Devices with the highest index were picked to the failure mode and effect analysis.

Device failure reasons, results and prevention were investigated in the failure mode and effect analysis. As a result, many operation recommendations were received, for example, new preventive maintenance work or structural modification.

The result of the thesis was the appropriate criticality classification, and failure mode and effect analysis for the lime-stone slurry production. Operation recommendations will probably improve the reliability of the process.

Alkusanat

Tämä opinnäytetyö on suoritettu Terrafame Oy:n metallien talteenotto -osaston toimeksiantosta. Haluan kiittää työn ohjaajaa kunnossapitoinsinööri Manne Komulaista ohjauksesta ja tuesta työn aikana. Lisäksi haluan kiittää tuotannon käyttöinsinööri Jarkko Korhosta avusta prosessiin liittyvissä kysymyksissä. Kiitokset myös Kajaanin Ammattikorkeakoulun Sanna Leinoselle työn ohjauksesta ja kaikille muille työssä auttaneille henkilöille.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Terrafame Oy	2
2.1	Yleistä	2
2.2	Tuotantoprosessi.....	2
2.3	Kunnossapitojärjestelmä Maximo.....	3
3	Kunnossapito	4
3.1	Kunnossapidon määritelmä.....	4
3.2	Kunnossapitolajit.....	4
3.3	Käyttövarmuus	6
4	Kalkkivilietteen tuotantoprosessi	8
4.1	Yleistä, käyttötarkoitus.....	8
4.2	Kalkkikiven varastointi ja murskaus	9
4.3	Kalkkikiven märkäjauhatus.....	9
4.4	Kalkkivilietteen jakelu	9
5	Kriittisyysluokittelu PSK 6800	10
5.1	Yleistä	10
5.2	Tuotannon menetyksen painoarvon määrittely	10
5.3	Laitteiden kriittisyysluokittelun määrittely.....	11
5.4	Tulokset ja niiden käsittely.....	13
6	Vika- ja vaikutusanalyysi.....	14
6.1	Toteuttaminen ja tiedonhankinta	14
6.2	Vikaantumismallit.....	15
7	Nykytilanne	17
8	Kriittisyysluokituksen suoritus.....	18
8.1	Käyttöpaikat	18
8.2	Tuotannon menetyksen painoarvon määrittely	18
8.3	Vikaantumisvälin määrittely	20
8.4	Turvallisuuden painoarvokertoimien määrittely	21
8.5	Ympäristöriskin painoarvokertoimien määrittely.....	22
8.6	Tuotannon menetyksen painoarvokertoimien määrittely.....	23

8.7	Korjaus- ja seurauskustannusten painoarvokertoimien määrittäminen	24
8.8	Laatukustannusten määrittäminen	25
8.9	Kriittisyysluokituksen tulokset ja niiden analysointi	25
9	Vika- ja vaikutusanalyysin suoritus	27
9.1	Laatiminen	27
9.2	Tulokset	30
10	Tulosten tarkastelu	31
11	Yhteenveto	32
	Lähteet	33
	Liitteet	

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tilaaja on Terrafamen metallien talteenotto -osasto. Terrafame Oy on suomalainen monimetalliyhtiö, joka osti Talvivaaran kaivoksen toiminnan vuonna 2015 Talvivaara Sotkamo Oy:n konkurssipesältä. Metallitehtaalla ja koko kaivoksella tavoitellaan korkeaa käyttöastetta, ja tämän takia tuotantolinjojen käyttövarmuuden on oltava hyvällä tasolla. Kunnossapidon resurssit ovat kumminkin rajalliset ja niiden kohdentaminen kriittisiin laitteisiin on erittäin tärkeää, jotta vältetään ylimääräisiltä tuotantokatkoksilta.

Työn tarkoituksena oli parantaa kalkkikivilietteen tuotannon käyttövarmuutta suorittamalla PSK 6800 standardin mukainen kriittisyysluokittelu sekä vika- ja vaikutusanalyysi. Kriittisyysluokittelun avulla saadaan nostettua esille kriittiset laitteet, joiden kunnossapitoon on tärkeää kohdistaa resursseja. Näille laitteille tehdään vika- ja vaikutusanalyysi, jotta päästään kiinni eri vikaantumistapoihin sekä niiden syihin, seurauksiin ja ennaltaehkäisykeinoihin. Tuloksena saadaan toimenpidesuosituksia, joilla parannetaan koko tuotantoprosessin käyttövarmuutta.

2 Terrafame Oy

2.1 Yleistä

Terrafame Oy on suomalainen monimetalliyhtiö, jonka toiminta alkoi syyskuussa 2015. Yhtiö osti Talvivaaran kaivoksen Talvivaara Sotkamo Oy:n konkurssipesältä. Nykyään Suomen valtio omistaa Terrafamesta noin 71 prosenttia, muita omistajia ovat Trafigura-konserni ja Sampo. Yhtiön liikevaihto vuonna 2019 oli 310,4 miljoonaa euroa, ja vuoden 2019 lopussa yhtiö työllisti 954 työntekijää. Näiden lisäksi alueella työskentelee liki saman verran kumppaniyritysten työntekijöitä. [1.]

Vuonna 2015 aloitettu tuotannon ylösajo on sujunut hyvin, ja vuonna 2018 yhtiö päätti investoida uuden akkukemikaalitehtaan rakentamiseen. Metallitehtaan nykyinen päätuote nikkeli-kobolttisulfidi jalostetaan jatkossa nikkeli-kobolttisulfaatiksi. [2.]

2.2 Tuotantoprosessi

Terrafamen tuotantoprosessi koostuu neljästä eri prosessivaiheesta: avolouhinta, malminkäsittely, bioliuotus ja metallien talteenotto. [3.]

Terrafamen kaivoksella käytetään avolouhintaa, sillä se on tehokkain ja taloudellisin louhintamenetelmä johtuen esiintymän sijainnista lähellä maan pintaa. Louhinnassa on tällä hetkellä Kuusilammen avolouhos, tulevaisuuden suunnitelmiin kuuluu Kolmisopin louhoksen avaaminen. Malmi räjäytetään irti kalliosta emulsioräjähteillä ja lastataan kiviautoihin, joilla malmi kuljetetaan esimurskaukseen. [3.]

Malminkäsittely koostuu nelivaiheisesta murskauksesta ja agglomeroinnista. Malmi kuljetetaan esimurskaamoon alle 1 m³ koossa ja malmi murskataan läpimitaltaan alle 250 millimetrin kokoiseksi. Esimurskaamolta malmi siirretään hihnakuljettimilla välivarastoon, jonka kapasiteetti on 20 000 tonnia. Sieltä malmi siirtyy syöttimien ja hihnakuljettimien avulla hienomurskaukseen. Hienomurskauksessa käytetään kolmivaiheista murskaus- ja seulontapiiriä, jonka jälkeen 80 % malmista on alle 8 mm raekoossa. Tämän jälkeen malmi siirretään agglomerointiin, jonka päätarkoituksena on kiinnittää hienojakoinen malmiaines isompiin malmipartikkeleihin. [3.]

Bioliuotuksen tarkoitus on hapettaa malmin sisältämät metallisulfidit mikrobitoiminnan avulla liukoiksi yhdisteiksi. Agglomeroinnista tuleva malmi kasataan 7–10 metriä korkeaksi primäärikasaksi, jota liuotetaan noin 1,5 vuotta. Primäärikasa koostuu neljästä lohkoista ja yhden lohkon koko on 400 m x 1200 m. 1,5 vuoden jälkeen malmi siirretään primäärikasasta sekundäärikasaan, joka on loppuun liuotetun malmin loppusijoituspaikka. Malmia liuotetaan kierrättämällä prosessiliuosta kasojen päällä olevien kasteluputkistojen kautta. Prosessi vaatii myös ilmaa, jota syötetään kasan alle puhaltimilla. Kun prosessiliuoksen metallipitoisuus on tarpeeksi korkea, sitä syötetään metallien talteenottoon. [3.]

Metallien talteenotossa nikkeli, sinkki, kupari ja koboltti saostetaan prosessiliuoksesta hydrometallurgisilla menetelmillä. Metallien saostus tehdään rikkivedyn avulla kolmessa vaiheessa. Saostuksen jälkeen sakka erotetaan liuoksesta sakeuttimissa. Tämän jälkeen sakka suodatetaan tuotteeksi ja siirretään tuotevarastoon odottamaan lastaamista junavaunuun. [3.]

2.3 Kunnossapitojärjestelmä Maximo

Terrafamalla on käytössä kunnossapitojärjestelmä Maximo. Maximon kautta hallitaan monia asioita, mm. ostotoiminta, töiden hallinta, varastotoiminta ja laitehallinta. Maximo on muokattava ja joustava järjestelmä, joka sopii monenlaisiin tarpeisiin isoista tuotantolaitoksista muutaman käyttäjän järjestelmiin asti. [8.]

Maximossa työtilaukset kohdistetaan käyttöpaikkoihin. Käyttöpaikka kertoo laitteen paikan ja tehtävän tuotantoprosessissa ja laitoksessa. Se koostuu numero- ja kirjainsarjasta, esimerkiksi 662KUL0002. Ensimmäinen numerosarja kertoo alueen, tässä tapauksessa kalkkikiven käsittely. Kolme kirjainta keskellä kertovat, että kyseessä on kuljetin. Viimeiset neljä numeroa ovat juokseva luku, joka annetaan yleensä prosessin kulkusuunnan mukaan. Käyttöpaikan alta löytyy laite ja sen tiedot, kuten tyyppi, valmistaja, tekniset tiedot ja varaosat. [9.]

Maximossa ennakkohuoltotyöt generoituvat automaattisesti työlistoille ennalta määritetyn ajan välein. Ennakkohuoltotöitä ovat mm. tarkastukset, rasvaukset, laitosmieskierrokset, kunnonvalvontamittaukset, öljynvaihdot ja tiettyjen kulutusosien vaihdot. Ennakkohuollon alle lisätään työsuunnitelma, johon määritellään työn vaatimat resurssit, eli työvoima, materiaalit ja työn kesto. Työsuunnitelmaan voidaan määrittää myös tehtäviä, joilla voidaan kuvata tarkemmin työn eri vaiheita. [10.]

3 Kunnossapito

3.1 Kunnossapidon määritelmä

Kunnossapidosta on monia määritelmiä kansainvälisissä sekä kansallisissa standardeissa. Seuraavana on muutamia määritelmiä.

PSK 6201 -standardi: ”Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana.” [4.]

SFS-EN 13306 -standardi: ”Kunnossapito koostuu kaikista kohteen eliniän aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon.” [4.]

Alan edelläkävijä John Moubrey määrittää kunnossapidon näin: ”Kunnossapidolla varmistetaan, että laitteet jatkavat sen tekemistä, mitä käyttäjät haluavat niiden tekevän.” [4.]

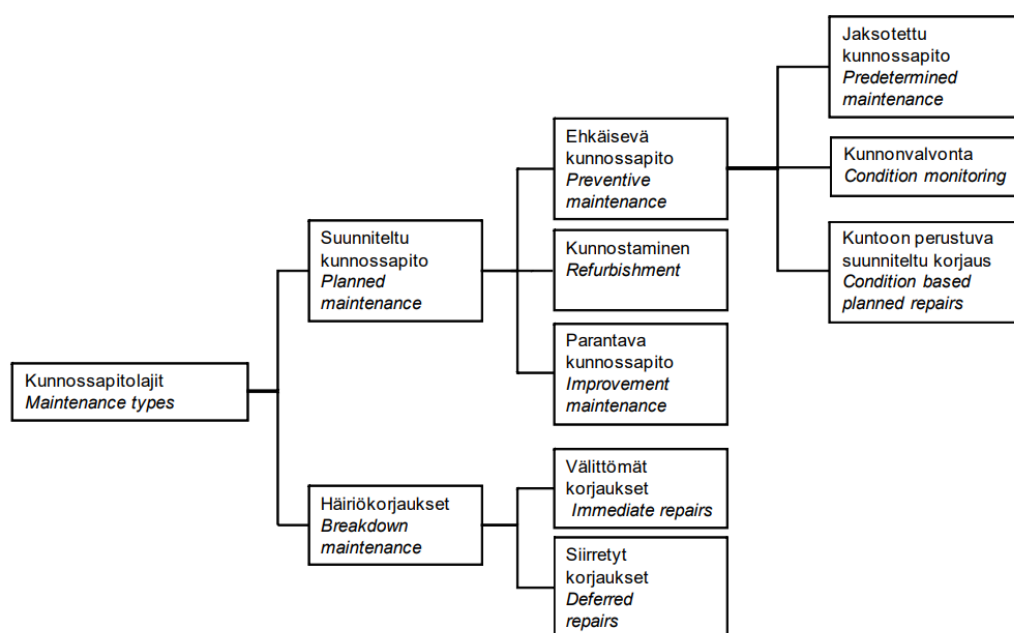
Nämä määritelmät ovat lähellä toisiaan, mutta Moubrey'n määritelmä korostaa sitä, että jonkun pitää tietää, mitä laitteen halutaan tekevän. Laitoksessa pitää siis olla selkeä näkemys siitä, millaista suorituskykyä laitteelta halutaan. Tämän perusteella sitten määritetään, millaista tasoa ja tulosta kunnossapidolta halutaan, ja tämä puolestaan määrittää laitoksen kunnossapitostrategian ja käytännön toimenpiteet. Jos tämä looginen ketju ei toimi tai sitä ei ymmärretä, koko kunnossapito on huonolla pohjalla. [4.]

3.2 Kunnossapitolajit

PSK 7501 standardin mukaan kunnossapitotyöt voidaan jaotella kahteen ryhmään: suunniteltuun kunnossapitoon ja häiriökorjauksiin. Kunnossapitolajit ja niiden suhteet toisiinsa on esitetty kuvassa 1.

- Siirretyt korjaukset ovat korjauksia, joita ei suoriteta heti vian havaitsemisen jälkeen, vaan se siirretään myöhemmäksi esim. seisakkiin.

- Välittömät korjaukset ovat heti suoritettavia vikakorjauksia, jotta palautetaan kohteen toimintakunto.
 - Parantavan kunnossapidon tarkoituksena on parantaa laitteen luotettavuutta tai kunnossapidettävyyttä kohteen toiminnon pysyessä samana.
 - Kunnostaminen tarkoittaa kuluneen tai rikkoutuneen käytöstä poistetun kohteen kunnostamista takaisin käyttökuntoon.
 - Kuntoon perustuva suunniteltu korjaus tarkoittaa kunnonvalvonnalla, aisteilla tai tarkastuksilla havaittujen kohteiden suunniteltua korjausta.
 - Kunnonvalvonta tarkoittaa kohteen toimintakunnon määrittämistä aistien ja mittalaitteiden avulla. Kunnonvalvonta on tärkeä osa ehkäisevän kunnossapidon suunnittelua.
 - Jaksotettu kunnossapito tarkoittaa tietyin jaksotuksin tehtäviä kunnossapitotöitä. Jaksotus voi olla käyttötuntien, kalenteriajan, tuotantomäärän tai energian käytön mukaan.
- [5.]



Kuva 1. Kunnossapitolajit [6]

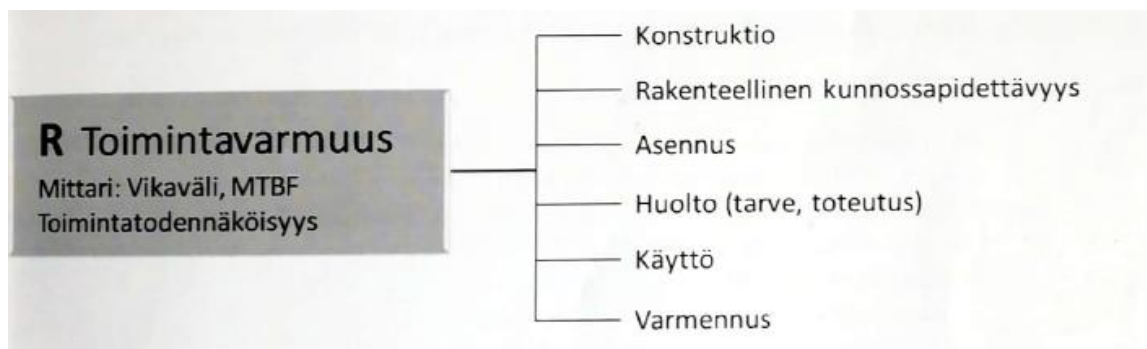
3.3 Käyttövarmuus

PSK 6201 -standardi määrittelee käyttövarmuuden näin:

”Käyttövarmuus on kyky toimia vaadittaessa vaaditulla tavalla. Tämä tarkoittaa kohteen kykyä olla tilassa, jossa se kykenee suorittamaan vaaditun toiminnon tietyissä olosuhteissa olettaen, että vaadittavat ulkoiset resurssit ovat saatavilla.” [5.]

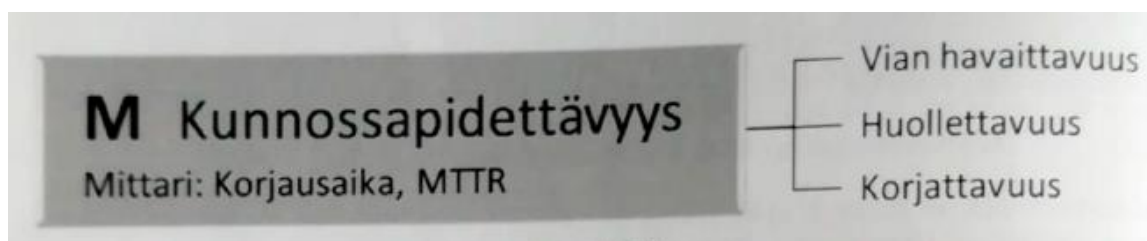
Käyttövarmuus koostuu kolmesta eri osatekijästä: toimintavarmuudesta, kunnossapidettävyydestä ja kunnossapitovarmuudesta.

Toimintavarmuus on kohteen kykyä suorittaa vaadittu toiminta määrätyissä olosuhteissa vaaditun ajanjakson. Toimintavarmuuden mittarina käytetään vikaväliä MTBF (mean time between failures) eli vikaantumisten keskimääräistä aikaväliä. Toimintavarmuuteen vaikuttavat tekijät on esitetty kuvassa 2. [7.]



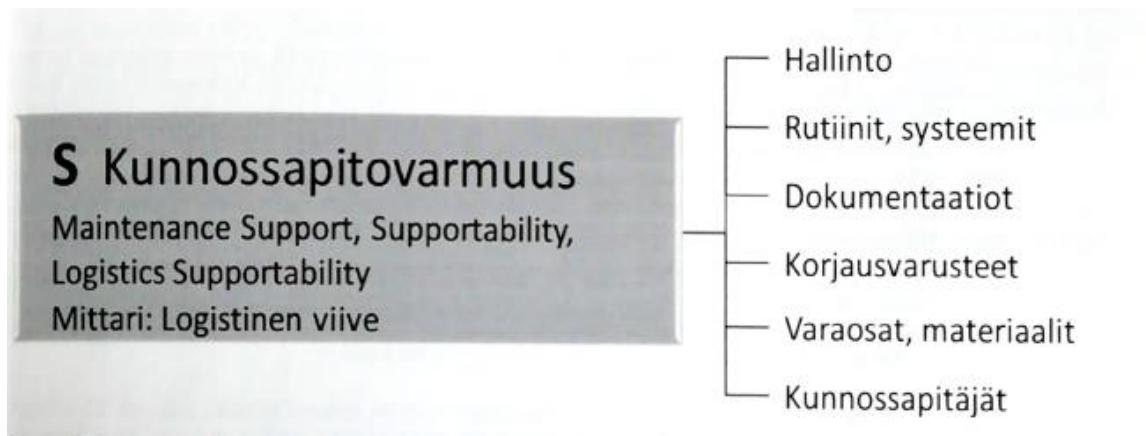
Kuva 2. Toimintavarmuuden osatekijät [7]

Kunnossapidettävyydellä tarkoitetaan kohteen ominaisuutta olla pidettävissä toimintakunnossa tai palautettavissa toimintakuntoon. Kunnossapidettävyyden mittarina käytetään keskimääräistä korjausaikaa MTTR. Kunnossapidettävyyden osatekijät on esitetty kuvassa 3. [7.]



Kuva 3. Kunnossapidettävyyden osatekijät [7]

Kunnossapitovarmuudella tarkoitetaan kunnossapito-organisaation kykyä suorittaa vaadittu toiminto tehokkaasti määrätyissä olosuhteissa vaaditulla ajanhetkellä. Kunnossapitovarmuuden mittarina käytetään logistista viivettä. Kunnossapitovarmuuden osatekijät on esitetty kuvassa 4. [7.]

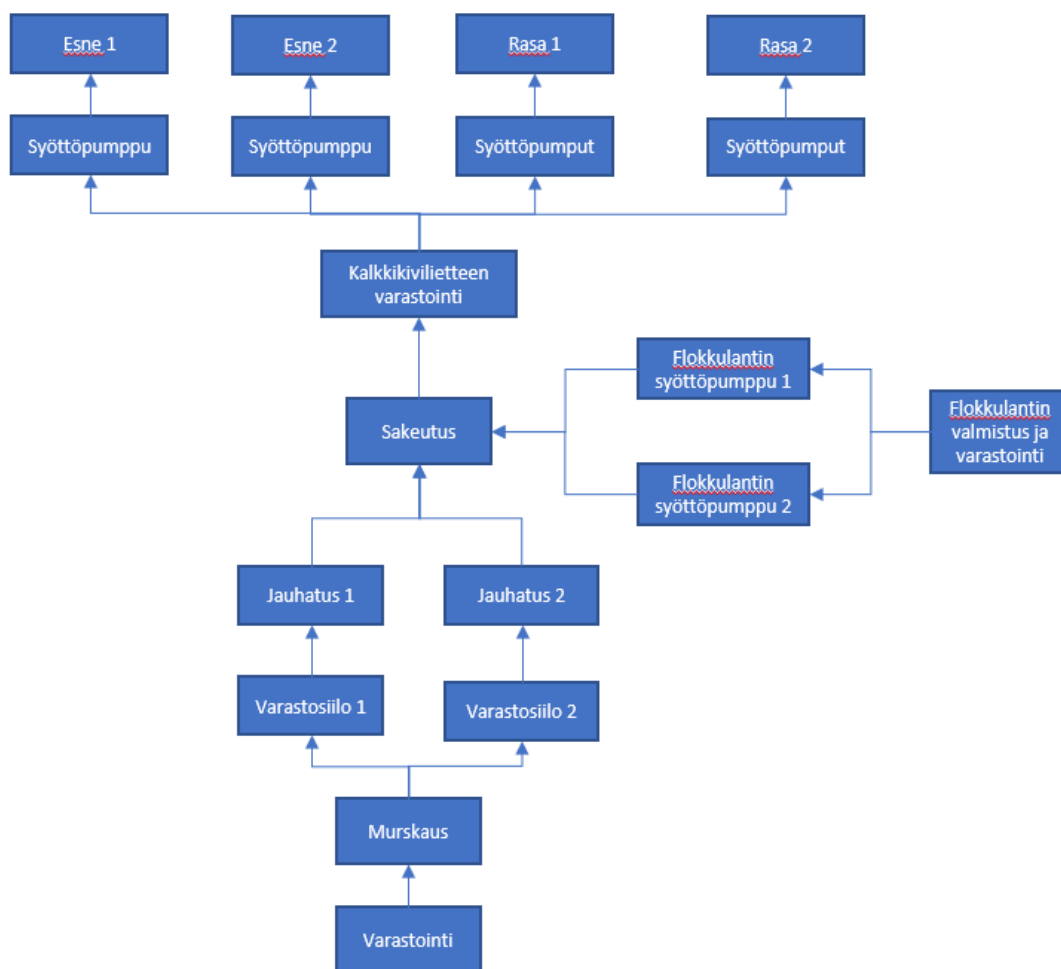


Kuva 4. Kunnossapitovarmuuden osatekijät [7]

4 Kalkkivilietteen tuotantoprosessi

4.1 Yleistä, käyttötarkoitus

Kalkkivilietettä valmistetaan sekoittamalla kalsiumkarbonaattia (CaCO_3) eli kalkkikiveä ja vettä. Terrafamalla sitä käytetään pH:n säätöön kahdessa eri prosessivaiheessa: esineutraloinnissa ja raudan saostuksessa. Kalkkiviliete on lievästi emäksistä: sen pH on noin 8–9. Kalkkivilietetutannon prosessikaavio on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Kalkkivilietteen käsittelyn prosessikaavio

4.2 Kalkkikiven varastointi ja murskaus

Kalkkikivi saapuu Terrafamelle junavaunuissa 0–150 mm raekoossa. Vaunu kipataan vaununkipauslaitteella hihnasyöttimeen, josta se siirretään hihnakuljettimilla kalkkikivivarastoon. Varastokapasiteetti on noin 12000 tn. Varaston alla on 8 kpl tärysyöttimiä, jotka syöttävät kalkkikiven hihnakuljettimelle ja sitä kautta esimurskaukseen. Esimurskaimena toimii Metson NP1315-iskupalkkimurskain. Esimurskauksesta kalkkikivi siirtyy 1. seulaan, josta ylite siirretään jälkimurskaimeen ja alite eteenpäin prosessiin. Jälkimurskaimena käytetään Barmac-keskipakomurskainta. Jälkimurskain ja 2. seula muodostavat suljetun seulontapiirin, eli kalkkikivi palautetaan takaisin jälkimurskaukseen niin kauan, kunnes raekoko on tarpeeksi pieni jauhatukseen. Molempien seulojen alite siirretään hihnakuljettimilla ja elevaattorilla kahteen varastosiiloon.

4.3 Kalkkikiven märkäjauhatus

Murskattu kalkkikivi syötetään varastosiiiloista lautassyöttimillä hihnakuljettimille ja siitä kahteen kuulamylyyn märkäjauhatukseen. Kuulamylyissä murskattu kalkkikivi ja vesi jauhetaan kalkkivilietteenä. Jauhinkuulina toimivat teräskuulat. Kalkkiviliete syötetään kuulamylyistä keskipakopumpulla sykloneihin, joiden tehtävä on luokitella lietettä. Syklonissa alite palautetaan kuulamylyille jauhatukseen ja ylite syötetään sakeuttimeen. Sakeuttimessa flokkulantin avulla erotetaan alite ja ylite toisistaan. Sakeuttimen alite syötetään kalkkivilietteen varastosäiliöön ja ylite takaisin kuulamylyille jauhatukseen.

4.4 Kalkkivilietteen jakelu

Kalkkiviliete varastoidaan 300 m² varastosäiliössä, jossa on lapasekoitin estämässä lietteen kerrostumisen. Kalkkiviliete syötetään varastosäiliöstä keskipakopumpuilla sitä tarvitseviin prosesseihin. Kalkkivilietteenä on kaksi käyttökohdetta: esineutralointi ja raudan saostus, joissa on molemmissa kaksi erillistä tuotantolinjaa. Kalkkiviliete syötetään käyttökohteisiin keskipakopumpuilla.

5 Kriittisyysluokittelu PSK 6800

5.1 Yleistä

Laitteiden kriittisyysluokitukseen teollisuudesta on tehty kotimainen standardi PSK 6800. Sen mukaan kriittisyys on omaisuus, joka määrittää kohteeseen liittyvän riskin suuruuden. Sitä voi käyttää moniin eri teollisuuden kohteisiin, ja sen takia jossain tapauksissa standardia joutuu soveltamaan. Kriittisyysluokittelun avulla saadaan nostettua esille kriittisimmät laitteet ja kohdistettua kunnossapidon resurssit näihin laitteisiin. Standardi luokittelee kriittisyyttä pääsääntöisesti taloudellisten vaikutusten perusteella.

Kriittisyysluokittelua käytetään kunnossapidon lähtötietojen tuottamiseen, ja sitä voidaan käyttää myös hankintavaiheessa tukena, kun määritellään hankittavan laitteen ominaisuuksia. [4.]

5.2 Tuotannon menetyksen painoarvon määrittely

Kriittisyysluokittelun alussa päätetään tarkasteltavan alueen laajuus. Se voi olla koko laitos, sen tuotantolinja tai muu erikseen rajattu kohde. Jos tarkastellaan laajaa kokonaisuutta, saattaa olla tarpeen määritellä osastokohtainen painoarvo tuotannon menetykselle. Sen avulla otetaan huomioon eri osastojen väliset erot kriittisyyttä määrittäessä. [4.]

Tuotannon menetyksen painoarvo määritellään siten, että koko laitoksen kannalta kriittinen laite saa 100 % painoarvon. Tuotannon menetyksen painoarvo W_p lasketaan kaavalla 1.

$$W_p = P_4 \times P_3 \times P_2 \times P_1 \quad (1) [11]$$

Kuvassa 6 on esitetty laitoksen prosessihierarkian vaikutus painoarvokertoimiin.

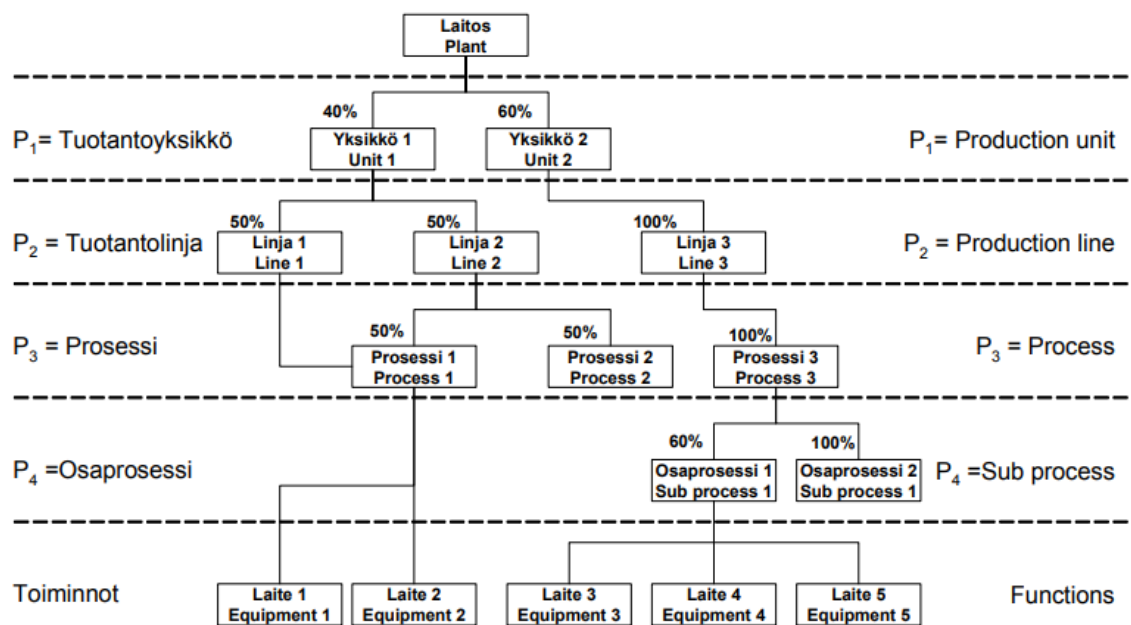
Laitoksen painoarvokerroin on aina 100 %.

Tuotantoyksikön painoarvokerroin p_1 on sen suhteellinen osuus koko laitoksen tuotantomäärästä. Jos laitoksessa on kaksi tuotantokapasiteetilta samanlaista linjaa, niiden painoarvokertoimet ovat 50 %.

Tuotantolinjan painoarvokerroin p_2 on sen suhteellinen osuus koko tuotantoyksikön tuotoksesta. Painoarvokertoimia määrittäessä tuotoksena käytetään tuotannon määrää, arvoa tai tuottoa.

Prosessin painoarvokerroin p_3 riippuu sen lähtövirran välttämättömyydestä palvelemilleen kohteille. Jos prosessin toimimattomuus pysäyttää tuotantolinjan, sen painoarvokerroin on 100 %. Prosessit voidaan kytkeä rinnan tai sarjaan. Sarjaan kytkettyjen prosessien painoarvokertoimet ovat yhtä suuret. Prosessitasolla käsitellään tuotosta tuotannon määränä.

Osaprosessin painoarvokerroin p_4 riippuu sen lähtövirran välttämättömyydestä palvelemilleen kohteille. Jos osaprosessin toimimattomuus pysäyttää tuotantolinjan tai prosessin, sen painoarvokerroin on 100 %. Osaprosessit voidaan kytkeä rinnan tai sarjaan. Sarjaan kytkettyjen osaprosessien painoarvokertoimet ovat yhtä suuret. Osaprosessitasolla käsitellään tuotosta tuotannon määränä. [11.]



Kuva 6. Prosessihierarkian vaikutus painoarvokertoimiin [11]

5.3 Laitteiden kriittisyysluokittelun määrittäminen

PSK 6800 standardi arvioi laitteiden kriittisyyttä turvallisuus- ja ympäristötekijöiden, tuotantovai-
kutuksen ja korjaus- ja seurauskustannusten perusteella. Taulukossa 1 on esitetty osatekijöiden
kertoimet ja painoarvot. Standardin painoarvot ovat suuntaa antavia, ja niiden soveltuvuus käsi-

teltävälle alueelle pitää aina arvioida tapauskohtaisesti ja tarvittaessa muokata painoarvoja. Tämän jälkeen listataan tarkasteltavat laitteet standardin taulukkopohjalle ja määritetään niille kertoimet. Kertoimien määrittäminen on hyvä tehdä ryhmässä, johon kuuluu monien eri ammattiryhmien osaajia, jotta kriittisyysluokittelusta saadaan mahdollisimman todennukainen. Myös ulkopuolisia asiantuntijoita on hyvä käyttää apuna. Taulukkoon annettujen kertoimien perusteella taulukkolaskenta antaa laitteille kriittisyysindeksin, joiden avulla voidaan verrata laitteiden kriittisyyttä toisiinsa nähden. [4.]

Kohde	Painoarvo [W]	Vikaantumisväli [p]	Kerroin [M]	Valintakriteeri
Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset	Turvallisuusriskit $W_s = 30$	1 = Pitkä vikaantumisväli esimerkiksi yli 5 vuotta 2 = Pitkähkö vikaantumisväli esimerkiksi 2 – 5 vuotta 4 = Lyhyehkö vikaantumisväli esimerkiksi 0,5 – 2 vuotta 8 = Lyhyt vikaantumisväli esimerkiksi 0 – 0,5 vuotta	$M_s = 0$	Ei turvallisuusriskiä
			$M_s = 2$	Vähäinen turvallisuusriski
			$M_s = 4$	Kohtalainen turvallisuusriski
			$M_s = 8$	Merkittävä turvallisuusriski
			$M_s = 16$	Vakava turvallisuusriski
	Ympäristöriskit $W_e = 20$		$M_e = 0$	Ei ympäristöriskiä
			$M_e = 2$	Vähäinen ympäristöriski
			$M_e = 4$	Kohtalainen ympäristöriski
			$M_e = 8$	Merkittävä ympäristöriski
			$M_e = 16$	Vakava ympäristöriski
Tuotantovaikutukset	Tuotannon menetykset $W_p = 0 \dots 100$	$M_p = 0$	Laitteen toimimattomuudella ei merkitystä osaprosessille tai osastolle	
		$M_p = 1$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi (esimerkiksi ≤ 3 h)	
		$M_p = 2$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi (esimerkiksi ≤ 10 h)	
		$M_p = 3$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi (esimerkiksi 10 - 24 h)	
		$M_p = 4$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi (esimerkiksi > 24 h)	
	Laatukustannus $W_q = 30$	$M_q = 0$	Laitteen toimimattomuus ei aiheuta lopputuotteen laatukustannuksia.	
		$M_q = 1$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 1 h)	
		$M_q = 2$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 3 h)	
		$M_q = 3$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 3-8 h)	
		$M_q = 4$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi > 8 h)	
Korjaus- tai seurauksenkustannukset $W_r = 20$	$M_r = 0$	Korjauskustannuksilla tai seurauksenkustannuksilla ei ole merkitystä suhteessa muihin menetyksiin.		
	$M_r = 1$	Vähäiset korjauskustannukset tai seurauksenkustannukset, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 2 h)		
	$M_r = 2$	Keskinkertaiset korjauskustannukset tai seurauksenkustannukset, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 10 h)		
	$M_r = 3$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauksenkustannukset, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 10-24 h)		
	$M_r = 4$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauksenkustannukset, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi > 24 h)		

Taulukko 1. Kriittisyyden osatekijöiden kertoimet ja painoarvot [11]

5.4 Tulokset ja niiden käsittely

Kriittisyysluokituksen tuloksena saadaan tarkastellut laitteet järjestettyä niiden kriittisyyden mukaan. Analyysin tulosta voidaan pitää luotettavana, kun sen tekoon on osallistunut eri ammattiryhmien osaajia. Kriittisyysluokituksen loppuun valitaan raja-arvo, jonka yläpuolella olevia laitteita pidetään kriittisinä. Tämä raja-arvo määritetään kokemuspäisessä. [4.]

6 Vika- ja vaikutusanalyysi

6.1 Toteuttaminen ja tiedonhankinta

Vika- ja vaikutusanalyysi (VVA) on toimintavarmuuden analysointimenetelmä. Sen avulla voidaan tunnistaa viat, joiden seurauksilla on merkittävä vaikutus tarkasteltavan järjestelmän suorituskykyyn. VVA-analyysillä selvitetään myös vian vaikutukset ja seuraukset. Yleensä VVA-analyysiin kerätään seuraavia tietoja:

- Tutkittavan järjestelmän osan nimi
- Järjestelmän osan tehtävä
- Järjestelmän osan tunnus
- Vioittumistavat
- Vian aiheuttaja (vioittumissyyt)
- Vian vaikutukset
- Vian havaitsemistavat
- Laadullinen arvio vian merkittävydestä ja vaihtoehtoiset varokeinot
- Huomautukset [12.]

Tiedonhaussa kannattaa hyödyntää monia eri tiedonlähteitä. Aikaisemmin ilmenneiden vikojen lisäksi pitää myös ennustaa tulevia vikoja. Laitteen valmistajalla ja toimittajalla on paljon tietoa laitteesta, jota kannattaa hyödyntää VVA-analyysissä. Heidän tietonsa korostuu silloin, jos laitteesta ei ole vielä käyttökokemuksia. Joissakin tapauksissa laitevalmistajat toimittavat laitteen mukana valmiin VVA-analyysin. Valmistajan tietojen lisäksi analyysissä pitää käyttää myös käyttäjien kokemuksia, jotta analyysistä tulee todenmukainen ja kaikki näkökulmat otetaan huomioon.

Laitteiden käyttötiedoista saa myös tärkeää informaatiota. Käyttötiedoista yleensä selviää vain vioittumistapojen seuraukset ja suoritettavat korjaustoimenpiteet. Varsinainen vioittumistapa saattaa jäädä epäselväksi. Käyttötietojen toinen ongelma on se, että niistä ei selviä vaurioita, joita ei ole ikinä tapahtunut. Näiden syiden takia käyttötietoja pitäisi käyttää vain lisätietolähteenä.

VVA-analyysiä tehdessä paras tietolähde on yleensä laitteen käyttäjät ja kunnossapitäjät. He työskentelevät laitteen kanssa säännöllisesti, joten he tuntevat laitteet ja niiden komponentit läpikotaisin. Heidän asiantuntemustaan kannattaa ehdottomasti käyttää tehdessä VVA-analyysiä tehdessä. [4.]

6.2 Vikaantumismallit

Vikaantuminen on tapahtuma, joka vaikuttaa järjestelmän tai komponentin suorituskykyyn haitallisesti. Vikaantumismalli tarkoittaa mekanismia, jolla vikaantuminen tapahtuu. Vikaantumismallin määrittelyyn pitää sisältää riittävästi tietoa, jotta kohteeseen voidaan valita oikea kunnossapitostrategia. Vikaantumismallien listaamiseen paras tapa on listata ensin erilaiset toiminnalliset viat ja sen jälkeen vikaantumismallit, jotka johtavat kyseisiin vikatilanteisiin.

Yksi kunnossapidon perusedellytyksistä on vikaantumismallien tuntemus. Yksittäinen laite voi vikaantua monella eri tavalla, ja tuotantolinjatasolla erilaisia vikaantumisia voi olla jopa satoja. Monissa tapauksissa vikaantuminen havaitaan vasta vikaantumisen tapahduttua ja kunnossapidon tehtäväksi jää korjata vikaantumisen aiheuttamat vauriot. Kun vikaantumismallit tunnetaan, voidaan vikoja ennaltaehkäistä ja korjausta suunnitella jo ennen vikaantumista. Näin voidaan keskitää kunnossapidon resurssit seuraamuksiltaan vakavien vikojen ennaltaehkäisyyn.

Laitteen kunnossapidon suunnittelu perustuu eri vikaantumismallien tuntemukseen. Vikaantumismallin ja sen vaikutuksien perusteella päätetään tarvittavat toimenpiteet vian ennakoimiseksi, tunnistamiseksi, estämiseksi tai korjaamiseksi. Taulukossa 2 on esitetty pumppuryhmän vikaantumistapoja ja korjaavia toimenpiteitä.

Vikaantumistapa	Korjaava toimenpide
Juoksupyörä kuluu loppuun	Vaihdetaan juoksupyörä ennen eliniän loppua
Ulkoinen esine jumittaa juoksupyörän	Asennetaan suodatin imukanavaan
Juoksupyörä irtoaa (asennusvirhe)	Asennuskoulutus

Taulukko 2. Pumppuryhmän vikaantumistapoja [4]

Kuluminen on tärkeä vikaantumismalli. Joidenkin mukaan se on ainoa vikaantumismalli, mutta myös käyttö- ja suunnitteluvirheet aiheuttavat paljon vikaantumisia. Tämän takia VVA-analyysissä pitää ottaa huomioon kaikki vikaantumistavat, jotta voidaan suunnitella asianmukainen kunnossapitostrategia. Vikaantumismallit voidaan jakaa kolmeen luokkaan:

- Laitteen suoritustaso laskee halutun tason alapuolelle.
- Laitteen suoritustaso nousee laitteen maksimisuoritustason yläpuolelle.
- Laitteen toiminta ei täytä sille asetettuja vaatimuksia. [4.]

7 Nykytilanne

Kalkkikivilietteen tuotanto on tärkeä prosessi päätuotteen eli nikkelin tuotantoprosessille. Kalkkikivilietetuotannon loppuessa myös nikkeli tuotanto pysähtyy. Metallien talteenotossa tavoitellaan korkeaa käyttöastetta ja tämän takia myös kalkkikivilietettä pitää tuottaa ilman turhia viikaantumisia, jotka olisi voitu estää ennakoivalla kunnossapidolla.

Prosessin laitteille on olemassa jonkinlaiset ennakkohuoltosuunnitelmat. Niitä tehdessä ei ole ollut käytettävissä kriittisyysluokittelua sekä vika- ja vaikutusanalyysiä, joten näiden valmistumisen jälkeen ennakkohuoltotyöt pitää käydä läpi. Kunnossapidon rajalliset resurssit on tärkeää kohdistaa kriittisiin laitteisiin, jotta vältetään suunnittelemattomilta seisakeilta ja tuotannonmenetyksiltä.

8 Kriittisyysluokituksen suoritus

Kriittisyysluokittelu aloitettiin tarkastelemalla PSK 6800 -standardin mukaisia kriittisyyden osatekijöiden kertoimia. Standardia käytetään monilla eri teollisuuden aloilla, ja tämän takia kertoimet pitää määrittää sopivaksi käsiteltävälle alueelle. Työssä hyödynnettiin Terrafamelle aikaisemmin tehtyjen kriittisyysluokittelujen kertoimia.

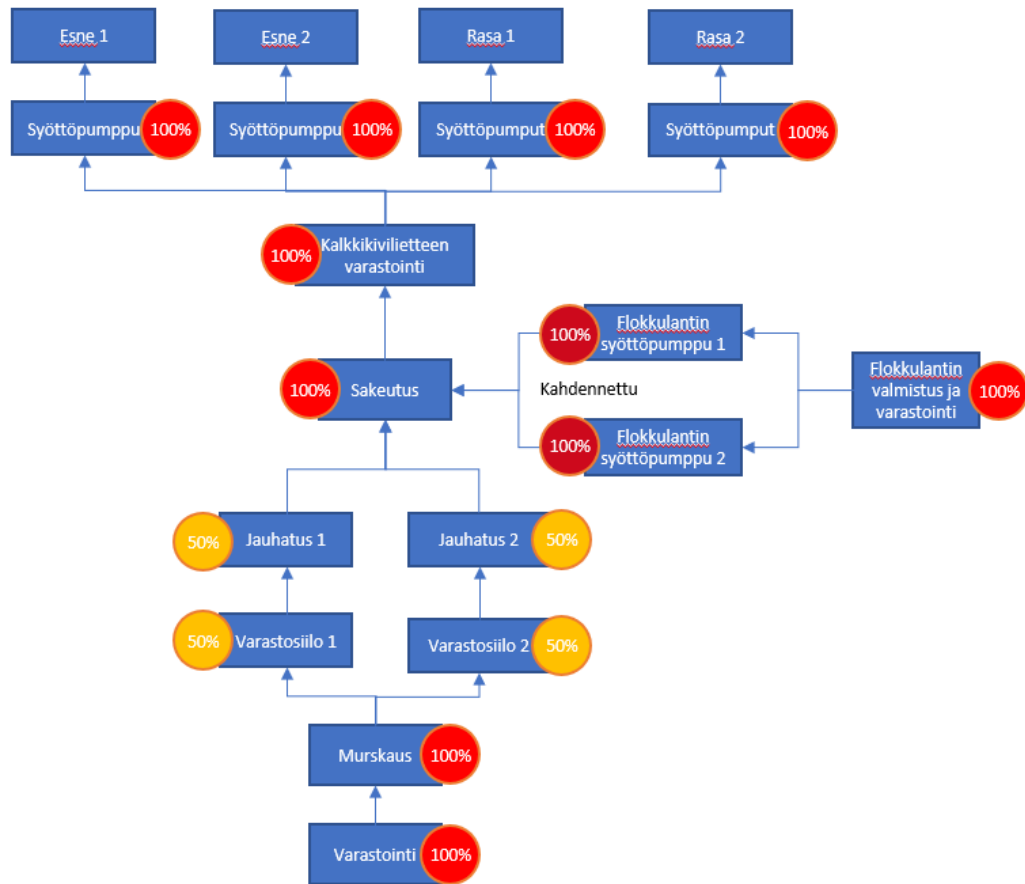
Käsiteltäväksi alueeksi rajattiin kalkkikivilietetuotannon päälaitteet kalkkikiven junanpurusta kalkkikivilietteen jakeluun saakka. Kriittisyysluokittelun ulkopuolelle rajattiin sähköautomaatiolaitteet, venttiilit ja putkistot.

8.1 Käyttöpaikat

Käyttöpaikkoja lähdettiin kartoittamaan Maximo-kunnossapitojärjestelmästä prosessihierarkian avulla. Maximosta käyttöpaikkatiedot sai ajettua Exceliin, josta karsittiin luokituksen ulkopuolelle jäävät käyttöpaikat pois. Käyttöpaikkojen joukossa oli myös käytöstä poistettuja sekä suunniteltuja, mutta toteuttamatta jääneitä laitteita. Käyttöpaikkojen olemassaolo varmistettiin tuotannon henkilöstöltä, pi-kaavioista sekä Metson DNA-järjestelmästä. Lopuksi kriittisyysluokittelussa käsiteltäviä käyttöpaikkoja jäi jäljelle 107 kpl ja siihen todettiin sisältyvän kaikki kalkkikivilietteen valmistuksen kannalta oleelliset laitteet. Käyttöpaikat siirrettiin standardin lomakepohjalle, joka on esitelty liitteessä 1.

8.2 Tuotannon menetyksen painoarvon määrittäminen

Tuotannon menetyksen painoarvon määrittämistä varten tehtiin olemassa olevasta prosessikaavioista yksinkertaistettu malli, josta selviää kalkkikivilietetuotannon eri vaiheet ja niiden painoarvot kokonaistuotantoon nähden. Kuvassa 7 on esitetty tuotannon menetyksen painoarvokaavio.



Kuva 7. Kalkkikiven käsittelyn tuotannon menetyksen painoarvot

Kalkkiviliete tuotetaan pääsääntöisesti yhdellä linjalla muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Murskauksen jälkeen kalkkikivi siirretään kahteen varastosiihoon, josta ne siirtyvät siilo-kohtaisilla kuljettimilla kahteen erilliseen jauhatuslinjaan. Varastosiihojen ja jauhatuksen tuotannon painoarvo on siis 50 %. Flokkulantin syöttöpumput on rinnakkaisvarmennettu, eli toisen pumpun vikaantuessa otetaan toinen käyttöön ja tuotanto ei häiriinny. Standardi ei tunneta rinnakkaisvarmennettuja järjestelmiä, joten niiden tuotannon painoarvon määrittämisessä käytettiin yrityksessä aikaisemmin käytettyä tapaa eli annetaan niille 100 % painoarvo, mutta laitteen vikaantumiseksi lasketaan vain molempien laitteiden yhtäaikainen vikaantuminen.

Tuotannon menetyksen painoarvoja lisätessä lomakkeelle huomattiin, että standardin mukaisella lomakepohjalla painoarvo on sama kaikille lomakkeen laitteille. Yritykselle aikaisemmin tehtyjen kriittisyysluokitusten tapaan lomakkeelle lisättiin ylimääräinen sarake, jotta saatiin määritettyä laitekohtainen tuotannon menetyksen painoarvo. Painoarvot määriteltiin välillä 0–1, arvon 1 vastatessa 100 % painoarvoa. Painoarvolla kerrottiin tuotannon painoarvokerroin, joka on 100 %.

8.3 Vikaantumisvälin määrittäminen

Vikaantumisvälin data haettiin Maximo-kunnossapitojärjestelmästä. Vikaantumishistoriaa haettiin ajanjaksolta 1.1.2015–30.9.2020, eli lähes kuuden vuoden ajalta. Myös vanhempaa tietoa oli saatavilla, mutta sen tiedettiin olevan erittäin sekavaa ja vaikeasti hyödynnettävää, joten se jätettiin huomiotta. Vikaantumisvälin määrittämisessä käytettiin suoraan standardin kertoimia, jotka on esitelty taulukossa 3.

Kerroin	Vikaantumisväli	Määritelmä
1	Yli 5 vuotta	Pitkä vikaantumisväli
2	2-5 vuotta	Pitkähkö vikaantumisväli
4	0,5-2 vuotta	Lyhyehkö vikaantumisväli
8	0-0,5 vuotta	Lyhyt vikaantumisväli

Taulukko 3. Vikaantumisvälin kertoimet [11]

Vikaantumisiksi laskettiin laitteen toiminnan pysäyttäneet mekaaniset viat. Sähköisiä vikoja, kuten taajuusmuuttajien vikoja ei otettu huomioon. Vikaantumisvälin määrittäminen oli yksi työn haastavimpia osuuksia, johtuen töiden sekavasta kirjauksesta. Joissain töissä lokitietoja ei ollut ollenkaan, joten oli vaikea arvioida, voidaanko työ laskea vikatyöksi. Tämä ongelma korostui erityisesti vuonna 2018 vanhemmissa töissä. Ennen vuotta 2018 työlle oli valittavissa vain kaksi kunnossapitolajia: vikatyö ja ennakkohuoltotyö. Näitä oli myös käytetty ristiin, eli selkeä vikatyö oli kirjattu EH-työksi ja toisinpäin. Vuonna 2018 yrityksessä otettiin käyttöön päivitetty Maximo, jossa on siirrytty standardiin mukaisiin kunnossapitolajeihin. Tämä helpottaa tulevaisuudessa kriittisyysluokituksen tekoa. Jos järjestelmää käytetään ohjeiden mukaan, niin vikaantumisvälin voi määrittää helposti katsomalla välittömien vikatoiden määrän. Tässä työssä jouduttiin kumminkin käymään yksitellen läpi jokainen työ ja arvioimaan, voidaanko työ laskea vikatyöksi, sillä yli puolet tarkasteluvälin historiasta olivat vanhan Maximon ajalta.

Joissakin laitteissa huomattiin rakenteellisen muutoksen vaikuttaneen huomattavasti vikaantumisväliin. Esimerkiksi kalkkikiven jälkimurskaimessa roottorin teräspaloja särkyi jopa viikoittain kalkkikiven seassa murskaan joutuneiden metallipalojen takia. Vuonna 2019 jälkimurskainta syötävälle hihnakuuljettimelle lisättiin kestopagneetti, joka poistaa metallit kalkkikiven seasta. Tämän

jälkeen roottorin teräpaloja ei juurikaan ole särkynyt. Ennen magneetin lisäystä tapahtuneita teräpalojen vikaantumisia ei työssä otettu huomioon, sillä korjaavat toimenpiteet on jo tehty ja jotta vikaantumisväli pysyisi todenmukaisena.

8.4 Turvallisuuden painoarvokertoimien määrittäminen

Turvallisuuden painoarvokertoimet määritettiin suoraan standardin kertoimien mukaan. Kriittisyysluokituksessa turvallisuutta arvioidaan vain laitteen vikaantumisesta johtuvien turvallisuusriskien osalta. Laitteen vian korjauksesta syntyviä turvallisuusriskejä ei tässä käsitellä, niiden arviointiin on omat menetelmänsä. Turvallisuuden painoarvokertoimet on esitetty taulukossa 4.

Kerroin	Turvallisuusriski	Määritelmä
0	Ei	Laitteen vikaantuminen ei aiheuta loukkaantumis- tai terveysvaaraa.
2	Vähäinen	Laitteen vikaantuminen voi aiheuttaa lievän loukkaamisen tai sairastumisen.
4	Kohtalainen	Laitteen vikaantuminen voi aiheuttaa vakavan sairastumisen tai loukkaantumisen, josta jää pysyvä haitta.
8	Merkittävä	Laitteen vikaantuminen voi aiheuttaa yhden tai useamman kuolonuhrin.
16	Vakava	Laitteen vikaantuminen voi aiheuttaa yhden tai useamman kuolonuhrin ja vakavan vaaratilanteen tehtaan ympäristössä.

Taulukko 4. Turvallisuusriskin kertoimet [11]

Suurin osa laitteista sai kertoimeksi 0, eli laitteen vikaantuminen ei aiheuta minkäänlaisia turvallisuusriskejä. Osa laitteista sai kertoimeksi 2, eli laitteen vikaantuminen voi aiheuttaa lievän loukkaantumisen tai sairastumisen. Nämä laitteet ovat pumppuja sekä pölynpoistoon liittyviä suodat-

timia ja puhaltimia. Pumpuissa riskinä nähtiin paineyhteen vikaantuminen, jonka takia kalkkivilietettä voi lentää paineella työntekijän päälle. Pölynpoiston vikaantumisesta johtuva runsas pölyäminen nähtiin myös lievänä turvallisuusriskinä.

8.5 Ympäristöriskin painoarvokertoimien määrittäminen

Myös ympäristöriskin painoarvokertoimet määritettiin suoraan standardin painoarvokertoimilla. Ympäristöriskejä arvioidaan vain laitteen vikaantumisesta suoraan johtuvista ympäristövaikutuksista. Ympäristöriskien painoarvokertoimet on esitetty taulukossa 5.

Kerroin	Ympäristöriski	Määritelmä
0	Ei	Laitteen vikaantuminen ei aiheuta ympäristön saastumisen vaaraa.
2	Vähäinen	Laitteen vikaantuminen voi aiheuttaa ympäristön likaantumista laitosalueella.
4	Kohtalainen	Laitteen vikaantuminen voi aiheuttaa paikallista laitosalueen saastumista.
8	Merkittävä	Laitteen vikaantuminen voi aiheuttaa laitosalueen ja lähiympäristön saastumista.
16	Vakava	Laitteen vikaantuminen voi aiheuttaa saastumista laitosalueella ja laajalla alueella sen ympäristössä, jonka korjaaminen vaatii suuria taloudellisia panostuksia ja palautuminen voi kestää useita vuosia.

Taulukko 5. Ympäristöriskin kertoimet [11]

Kalkkivilietetuotannon laitteet saivat kertoimeksi 0, 2 tai 4. Ympäristöriskejä ei siis ole ollenkaan, ne ovat vähäisiä tai kohtalaisia. Ympäristöriskeinä nähtiin öljyvuodot, pölyhaitat sekä isot kalkkivilietevuodot. Kalkkilaitoksen sisällä on lattiavesien keruujärjestelmä, joka pystyy käsittelemään pienet öljyvuodot. Tämän takia kalkkilaitoksen sisällä olevista laitteista ympäristöriskinä

nähtiin vain ison öljytilavuuden omaavat laitteet, jotka saivat kertoimeksi 2. Pölynpoistosuodattimien vikaantuessa kalkkilaitoksen ulkopuolelle syntyy lievää ympäristön likaantumista, joten ne saivat kertoimeksi 2. Ainoana laitteena kertoimen 4 sai kalkkikivilietteen varastosäiliö, joka vikaantuessaan voi aiheuttaa ison kalkkikivilietevuodon. Varastosäiliön alla on varoallas mutta jos se monen tekijän summana tulvii yli, niin se voi aiheuttaa paikallista laitosalueen saastumista.

8.6 Tuotannon menetyksen painoarvokertoimien määrittäminen

Tuotannon menetyksen painoarvokertoimen määrittämisessä käytettiin suoraan standardin kertoimia. Määritelmä perustuu suunnitteleamattoman seisakin aiheuttamaan menetettyyn tuotantoaikaan. Tähän aikaan lasketaan vian korjauksen lisäksi alasajoon, työkuntoon saattamiseen, mahdollisiin telinetöihin sekä käyttöönottoon kuluva aika. Menetettyä tuotantoaika arvioitiin keskimääräisen vikaantumisen pohjalta. Tuotannon menetyksen painoarvokertoimet on esitelty taulukossa 6.

Kerroin	Määritelmä
0	Laitteen toimimattomuudella ei merkitystä osaprosessille tai osastolle.
1	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi. (esimerkiksi <3 h)
2	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi. (esimerkiksi <10 h)
3	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi. (esimerkiksi 10-24 h)
4	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi. (esimerkiksi >24 h)

Taulukko 6. Tuotannon menetyksen kertoimet [11]

Suurin osa laitteista sai kertoimeksi 0, 1 tai 2, mutta myös kertoimia 3 ja 4 esiintyi. Junanpurun laitteet saivat kertoimeksi 0, sillä niiden vikaantuminen ei vaikuta tuotantoon kalkkikivivaraston suuren koon takia. Kertoimen 4 sai kaksi laitetta: kalkkikivilietteen varastosäiliö ja sen sekoitin.

Molempien vikaantumisen aiheuttaa yli vuorokauden tuotannon menetyksen, sillä niiden työkuuntoon saattaminen vaatii monta työvaihetta ja paljon aikaa.

8.7 Korjaus- ja seurauskustannusten painoarvokertoimien määrittäminen

Standardin mukaan vikaantumisen aiheuttamia korjaus- ja seurauskustannuksia verrataan vian aiheuttamaan tuotannonmenetykseen. Kalkkiviljettä tuotetaan oman prosessin käyttöhyödykkeeksi, joten sille ei pysty määrittämään tuotannonmenetyksen aiheuttamaa hintaa. Tämän takia korjaus- ja seurauskustannuksen painoarvokertoimien määrittämisessä käytettiin yrityksessä aikaisemmin käytössä ollutta pohjaa, joka on esitelty taulukossa 7. Korjaus- ja seurauskustannuksia määritettiin keskimääräisen vikaantumisen pohjalta.

Kerroin	Määrittäminen	Korjaus- ja seurauskustannukset/keskimääräinen vika
0	Merkityksetön	100 e tai alle
1	Vähäinen	Yli 100 e, mutta alle 1000 e
2	Keskinkertainen	Yli 1000 e, mutta alle 5000 e
3	Merkittävä	Yli 5000 e, mutta alle 10000 e
4	Erittäin merkittävä	Yli 10000 e

Taulukko 7. Korjaus- ja seurauskustannusten kertoimet

Suurin osa laitteista sai kertoimiksi 0, 1 tai 2. Myös kertoimia 3 ja 4 esiintyi; näissä laitteissa oli lähes poikkeuksetta yhdistävänä tekijänä vikaantumisen aiheuttamat suuret seurauskustannukset. Kertoimen 4 saivat kuulamylyn liukulaakereiden ja hammaskehien voitelukoneikot, jotka vikaantuessaan voivat aiheuttaa liukulaakerin ja hammaskehän vikaantumisen. Kalkkiviljetteen varastosäiliön sekoitin sai kertoimen 4 erittäin merkittävien korjauskustannusten takia. Tiivisteveden paineenkorotuspumppu sai myös kertoimen 4, sillä sen vikaantuessa tiivisteveden paine romahtaa ja pumppujen mekaaniset liukurengastiivisteet vikaantuvat.

8.8 Laatukustannusten määrittäminen

Standardin mukaan laatuvirheiden aiheuttamia kustannuksia verrataan tuotannonmenetykseen. Koska kalkkivilijetetuotannolle ei pysty määrittämään tuotannonmenetyksen hintaa, päätettiin laatukustannusten määrittelyyn käyttää yrityksessä aikaisemmin käytettyä pohjaa, joka on esitelty taulukossa 8.

Kerroin	Vaikutus laatutekijöihin
0	Olematon tai merkityksetön
1	Vähäinen tai keskinkertainen
2	Merkittävä

Taulukko 8. Laatukustannusten kertoimet

Kalkkivilijetteen laatua voidaan seurata sen sisältämän kuiva-ainepitoisuuden avulla. Suurin osa laitteista sai kertoimeksi 0, kertoimia 1 ja 2 esiintyi jonkin verran. Laitteiden vaikutusta laatuun arvioitaessa korostuivat prosessin loppupään laitteet. Sakeuttimessa flokkulantin avulla erotetaan sakea alite ja kirkas ylite toisistaan, ja sen takia flokkulantin valmistuslaitteet ja sakeutin saivat kertoimeksi 2. Kalkkivilijetteen varastosäiliön sekoittajan vikaantuessa kalkkivilijete kerrotaan nopeasti säiliössä, joten se sai kertoimen 2. Vähäisiä laatuvaikutuksia arvioitiin olevan seuloilla sekä kuulamylyillä, ne saivat siis kertoimen 1.

8.9 Kriittisyysluokituksen tulokset ja niiden analysointi

Kertoimet syötettiin standardin lomakepohjalle, ja tuloksena saatiin jokaiselle laitteelle kriittisyysindeksi. Valmis kriittisyysluokittelu on esitelty liitteessä 2. Lomakkeessa on varsinaisen kriittisyysindeksin lisäksi osaindeksit turvallisuuden, ympäristön, tuotannon menetyksen, laadun ja korjauskustannusten näkökulmasta. Osaindeksejä ei tässä työssä käsitellä, mutta niiden avulla voi tutkia laitteiden kriittisyyttä tarkemmin eri näkökulmista.

Laitteet lajiteltiin kriittisyysindeksin mukaan, ja tuloksena saatiin selkeä kriittisyysluokittelu. Kriittisyysindeksit jakaantuivat välille 2400-0. Jakaantumassa on havaittavissa selkeä piikki, jota myös

kriittisyysluokituksessa haettiin. Tämän piikin avulla saadaan valittua jatkokäsittelyyn kriittisimmät laitteet, joiden kunnossapitoon on syytä kohdistaa resursseja.

Standardi ei tarjoa suoraa vastausta siihen, millä kriittisyyspisteillä laite on kriittinen. Tämä raja-arvo määritetään aina tapauskohtaisesti, mutta hyvänä nyrkkisääntönä on pidetty kriittisten laitteiden edustavan 10–20 prosenttia käsiteltävästä laitekannasta. Kriittisyysluokitus käytiin läpi palaverissa, johon osallistui tuotannon ja kunnossapidon edustajia. Kriittisyysluokituksen kertoimet käytiin läpi ja määriteltiin kriittisyyden raja-arvoksi 650. Raja-arvon ylittäviä laitteita löytyi 19 kpl, ja nämä edustavat noin 18 prosenttia käsiteltävästä laitekannasta. Määrän todettiin olevan riittävä ja kriittisyysluokittelun asianmukainen. Näitä laitteita käsitellään tarkemmin vika- ja vaikutusanalyysissä.

9 Vika- ja vaikutusanalyysin suoritus

9.1 Laatiminen

Vika- ja vaikutusanalyysiä lähdettiin tekemään yrityksessä aiemmin käytössä olleelle pohjalle, joka on esitelty liitteessä 2. Vika- ja vaikutusanalyysin valittiin kriittisyysluokituksen perusteella 19 käyttöpaikkaa. Tähän joukkoon kuului yhteensä viisi erilaista laitetta: kuulamyly, keskipakopumppu, elevaattori, täriseula ja kuulamylyn liukulaakerin voitelukoneikko.

Vika- ja vaikutusanalyysin laatiminen aloitettiin jakamalla laite eri rakenneseisiin. Esimerkiksi täriseula jaettiin viiteen rakenneseeseen: voimansiirtoon, tärykselistöön, seulukoriin ja ylite- ja alitesuppiloon. Seuraavaksi rakenneseille määriteltiin potentiaaliset vikaantumismuodot ja vikaantumisen seuraukset. Vikaantumisen seuraukselle määriteltiin vikaantumisen vakavuus (S, severity), joka sai kertoimen väliltä 1–5. Vakavuuden kertoimet on määriteltä taulukossa 9.

Kerroin	Määritelmä
1	Pieni, käyttäjät eivät välttämättä havaitse vikaantumista
2	Pienuhkö, aiheuttaa hieman prosessiongelmia alentuneena tuotona yms.
3	Keskisuuri, aiheuttaa prosessin epäkäytettävyyttä tai laadullista ongelmaa
4	Suuri, aiheuttaa suorituskyvyn romahtamisen, tuotannon väliaikaisen katkeamisen
5	Erittäin suuri, aiheuttaa välittömän alasajon tai henkilöriskin

Taulukko 9. Vakavuuden kertoimet

Potentiaalisille vikaantumismuodoille määriteltiin vian aiheuttaja, joka oli esimerkiksi materiaalin väsyminen tai puutteellinen rasvaus. Vian aiheuttajalle määriteltiin esiintymisen kerroin (O, occurrence), jonka arvo oli väliltä 1–5. Esiintymisen kertoimet on esitetty taulukossa 10. Kertoimen määrittäksessä hyödynnettiin Maximon vikaantumisdataa sekä kokemuseräistä tietoa.

Kerroin	Määritelmä
1	Harvinainen, vika toistuu harvemmin kuin 5 vuoden välein
2	Vika toistuu 2–5 vuoden välein
3	Vika toistuu 1–2 vuoden välein
4	Vika toistuu 3–12 kk välein
5	Vika toistuu useammin kuin 3 kk välein

Taulukko 10. Esiintymisen kertoimet

Tämän jälkeen oli vuorossa vian ennaltaehkäisykeinojen ja havaittavuuden määrittäminen. Ennaltaehkäisykeinoilla tarkoitetaan keinoja, joilla vikaantumisen voidaan estää. Näitä ovat esimerkiksi säännöllinen tarkastus tai rakenteellinen muutos. Havaittavuudella tarkoitetaan niitä keinoja, joilla vikaantumisen kehittyminen voidaan havaita ennen itse vikaantumista. Osa vikaantumisista on sellaisia, että niitä on erittäin vaikea havainnoida etukäteen. Esimerkiksi keskipakopumpun liukurengastiivisteiden vikaantumisen huomaa vasta sen vuotaessa. Tällöin havainnointi on myöhäistä, sillä vikaantuminen on jo tapahtunut. Havaittavuudelle (D. detectability) määriteltiin kerroin 1–5 taulukossa 11 esiteltyjen määritelmien perusteella.

Kerroin	Määritelmä
1	Vian kehittyminen on helppo havaita aistihavainnoin.
2	Vian kehittymisen pystyy havaitsemaan kiinteään kunnonvalvonnan apuvälinein (esim. värinämittaus).
3	Vian kehittymisen pystyy havaitsemaan kunnonvalvonnan apuvälinein (esim. lämpökamera).
4	Vian kehittymisen havaitseminen hankalaa, vian voi havaita ainoastaan laitteen pysäyttämällä.
5	Vian kehittymistä ei voi havaita, laitteen suojarakenne estää havaitsemisen tai vika kehittyy niin nopeasti.

Taulukko 11. Havaittavuuden kertoimet

Vika- ja vaikutusanalyysin pohja laski vakavuuden, esiintymisen ja havaittavuuden perusteella kullekin vikaantumiselle RPN-luvun (Risk Priority Number). Tämän luvun avulla erilaisten vikaantumisten kriittisyyttä voitiin vertailla keskenään. RPN-lukua kannattaa hyödyntää jatkotoimenpiteitä määrittäessä ja kohdistaa eniten resursseja suurimpien RPN-luvun saaneiden vikojen ehkäisyyn.

Viimeisenä kullekin vikaantumiselle määriteltiin suositellut toimenpiteet. Näitä voivat olla esimerkiksi uuden ennakkohuoltotyön luominen, työohjeen luominen, rakenteen muuttaminen tai nykyisen ennakkohuollon jatkaminen. Toimenpiteelle päätettiin myös suorittaja, joka oli joko tuotanto tai kunnossapito. Suositellun toimenpiteen jälkeistä vikaantumista arvioitiin määrittämällä uudestaan vakavuuden, esiintymisen ja havaittavuuden kertoimet ja näiden perusteella uusi RPN-luku. Tämän perusteella voidaan arvioida, onko toimenpide järkevä toteuttaa. Tämä on kummin-kin vain ennuste ja toimenpiteiden todelliset vaikutukset selviävät vasta vuosien kuluttua toteutuksesta.

9.2 Tulokset

Vika- ja vaikutusanalyysi tehtiin viidelle eri laitteelle. Analyysin avulla laitteista saatiin tarkasteltua vikaantumisten syitä ja seurauksia perusteellisesti. Jokaiselle vikaantumismuodolle määriteltiin vian seuraukset, vian aiheuttaja, ennaltaehkäisykeinot ja havaitsemiskeinot. Näiden tietojen pohjalta luotiin suositeltavat toimenpiteet, joilla vikaantuminen pyritään estämään. Täryseulan valmis vika- ja vaikutusanalyysi on esitelty liitteessä 4.

Vika- ja vaikutusanalyysin tuloksena saatiin monenlaisia suositeltuja toimenpiteitä. Osalle laitteista määriteltiin uusia ennakkohuoltotöitä, joilla estetään vikaantuminen sen jo kehittyessä. Jotkut rakenneosat olivat selvästi alimitoitettuja käyttökohteeseen, näille suositeltiin rakennemuutosta. Suositeltuja toimenpiteitä tuli myös ennakkohuollon jatkamisesta nykytasolla, työohjeiden laadinnasta ja automaatio-ohjelmallisista muutoksista. Suositellut toimenpiteet tulevat kasvattamaan ennakkohuoltojen määrää, mutta todennäköisesti äkilliset vikaantumiset vähenevät.

10 Tulosten tarkastelu

Opinnäytetyön tuloksena saatiin kalkkivililietteen tuotannosta kriittisyysluokittelu PSK 6800 -standardin mukaan, sekä siinä kriittisiksi arvioituille laitteille vika- ja vaikutusanalyysi. Kriittisyysluokittelu käytiin läpi palaverissa, johon osallistui sekä tuotannon että kunnossapidon henkilöstöä. Palaverissa käytiin läpi laitetasolla kriittisyyden osatekijöiden kertoimet ja millä perusteella niihin oli päädytty. Näiden jälkeen määritettiin kriittisyyden raja-arvo, jonka ylittäneille laitteille tehtäisiin vika- ja vaikutusanalyysi. Kriittisyysluokittelussa sekä vika- ja vaikutusanalyysissä käytettiin yrityksessä aiemmin käytössä olleita pohjia.

Vika- ja vaikutusanalyysin tuloksena saatiin lukuisia toimenpidesuosituksia. Toimenpidesuosituksissa korostui erityisesti oikeiden työkalujen ja menetelmien käyttö. Nämä puolestaan edellyttävät asianmukaisia työohjeita, jotta oikeat työtavat eivät ole muistin varassa. Muita toimenpidesuosituksia olivat muun muassa rakennemuutokset ja uudet ennakkohuoltotyöt. Näiden suoritus tulee olemaan opinnäytetyön ensimmäinen jatkotoimenpide.

Työn tärkeintä tavoitetta eli käyttövarmuuden paranemista voi arvioida vasta muutaman vuoden kuluttua. Voi kumminkin olettaa, että työn tuloksena saatujen toimenpidesuositusten avulla käyttövarmuus tulee paranemaan ja äkillisten tuotantokatkosten määrä vähenemään.

11 Yhteenveto

Tämä opinnäytetyö tehtiin Terrafame Oy:n metallien talteenotto -osaston toimeksiannosta. Kalkkilaitoksen toiselle prosessille eli kalkkimaidon tuotannolle oli aiemmin tehty kriittisyysluokittelu sekä vika- ja vaikutusanalyysi, ja tämän takia päädyttiin tekemään vastaava työ myös kalkkivilietteen tuotannolle.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin selville kalkkivilietteen tuotannon kriittiset laitteet ja näille tehtyä vika- ja vaikutusanalyysi. Kriittisten laitteiden vikaantumista tutkittiin vika- ja vaikutusanalyysissa ja saatiin lukuisia toimenpidesuosituksia, joilla parannetaan käyttövarmuutta. Ennakkohoitojen määrä tulee hieman kasvamaan, mutta samalla vähennetään äkillisien vikaantumisien aiheuttamaa työkuormaa. Uudet toimenpiteet pitää laittaa seurantaan ja muutaman vuoden kuluessa arvioida uudelleen niiden vaikutus vikaantumisväliin ja käyttövarmuuteen.

Työssä haasteita aiheutti erityisesti Maximon sekava ja puutteellinen vikaantumishistoria. Töitä jouduttiin käymään yksitellen läpi, jotta saatiin selville, mitä oli tapahtunut, minkä takia, ja mitä korjaustoimenpiteitä oli tehty. Työtä tehdessä huomasin, miten tärkeää on kirjata työt oikeaoppisesti sekä kirjata tarkasti tapahtunut vikaantuminen ja tehdyt korjaustoimenpiteet. Vikaantumishistoriassa oli selkeä muutos parempaan päin vuonna 2018, jolloin otettiin käyttöön päivitetty Maximo. Yli puolet tarkastellusta vikaantumishistoriasta oli kuitenkin ajalta ennen tätä muutosta, joten Maximon päivityksen tuomia hyötyjä ei päästy täysin hyödyntämään tässä työssä.

Lähteet

- (1) Terrafame-yleispresentaatio (ID 25157). Terrafamen koulutuskäyttöön tarkoitettu materiaali. 2020.
- (2) Kotisivut. Terrafame Oy. Terrafame yritysesittely. <https://www.terrafame.fi/terrafame-oy.html>. Haettu 15.9.2020
- (3) Terrafame ympäristövaikutusten arviointiselostus. https://www.terrafame.fi/media/mediapankki/kaivostoimintaa-koskeva-yva/yva-selostus/aa-terrafame_tuonto_yva_selostus_180817_web.pdf. Haettu 20.9.2020.
- (4) Mikkonen, H. Kuntoon perustuva kunnossapito. KP-Media Oy; 1. painos 2009.
- (5) PSK Standardisointiyhdistys ry. Standardi PSK 6201. Kunnossapito. käsitteet ja määritelmät. 3. painos 2011.
- (6) PSK Standardisointiyhdistys ry. Standardi PSK 7501. Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. 2. painos 2010.
- (7) Järviö J., Piispa T., Parantainen T., Åhström T. Kunnossapito. KP-media Oy; 4. painos 2007.
- (8) Esite. MaxiPoint Oy. Maximo Easyflex. maxipoint.fi/images/Maximo_EasyFlex.pdf. Haettu 25.9.2020.
- (9) Maximo 7.6.1 käyttöpaikat, hierarkiat, laitteet ja varaosat. Terrafamen sisäiseen käyttöön tarkoitettu materiaali. 2020.
- (10) Maximo 7.6 Ennakkohuolto-ohje. Terrafamen sisäiseen käyttöön tarkoitettu materiaali. 2020.
- (11) PSK Standardisointiyhdistys ry. Standardi PSK 6800. Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa. 2008.
- (12) Riskianalyysimenetelmien tarkastelu. Lapin AMK. <https://www.lapinamk.fi/loader.aspx?id=14f882d8-7843-42f6-bff1-48b9507169c6>. Haettu 2.10.2020.

Terrafame Oy
 Kalkkilaatos, Kalkkikiven käsittely
 Ville Heikkinen
 V/1
 25.10.2020

Krittisyyden raja-arvo
 Tuotannon menetyksen painoarvokerron Wp

650
 100

Toimintopaikan tunnistus	Toimintopaikan nimitys	Vikaantumsväli (1...8)	Turvallisuus (0...16)	Ympäristö 0...16	Lisäkerroin: Tuotannon menetyksen painoarvo (0-1)	Tuotannon menetys (0...4)	Lopputuotteen laatuksien menetys (0...4)	Korjaus- ja seurauksellisuus (0...4)	Kritiikkisyydeksi	Krittisyyden osaindeksit					
										K	Ks	Ke	Kp	Kq	Kr
661HDK0001	Kalkkikiven varastointi kippauslaitteen hydraulikonkikko	1	0	2	1	0	0	1	K	0	0	0	0	0	20
661KUL0001	Kalkkikiven varastointi hihnalujelin 1 vastaanottoa risteysasemalle	4	0	2	1	0	0	1	240	0	160	0	0	0	80
661KUL0002	Kalkkikiven varastointi hihnalujelin 2 risteysasemalla varastoon	1	0	2	1	0	0	1	60	0	40	0	0	0	20
661KUL0003	Kalkkikiven varastointi hihnalujelin 3 jalko varastoklasohin	4	0	0	1	0	0	1	80	0	0	0	0	0	80
661KUL0004	Kalkkikiven varastointi hihnalujelin 4 varastoklasojen purku	4	0	2	1	1	0	1	640	0	160	400	0	0	80
661KUL0005	Kalkkikiven varastointi hihnalujelin 5 siirto varastosta käsitelyyn	1	0	2	1	1	0	1	160	0	40	100	0	0	20
661KUL0013	Kalkkikiven varastointi siirtomoottori (hihnalujelin 3:n yhteydessä 661KUL0005)	1	0	0	1	0	0	1	20	0	0	0	0	0	20
661STN0001	Kalkkikiven varastointi hihnasydän 1 purkausosupiolilla	8	0	2	1	0	0	1	480	0	320	0	0	0	160
661STN0002	Kalkkikiven käsittely tärysydän 1	1	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
661STN0003	Kalkkikiven käsittely tärysydän 2	1	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
661STN0004	Kalkkikiven käsittely tärysydän 3	1	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
661STN0005	Kalkkikiven käsittely tärysydän 4	1	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
661STN0006	Kalkkikiven käsittely tärysydän 5	1	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
661STN0007	Kalkkikiven käsittely tärysydän 6	1	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
661STN0008	Kalkkikiven käsittely tärysydän 7	1	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
661STN0009	Kalkkikiven käsittely tärysydän 8	1	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
661SVP0001	Kalkkikiven varastointi purkausuppiho	1	0	0	1	0	0	1	20	0	0	0	0	0	20
661TVK0001	Kalkkikiven varastointi junaunurin kippauslaite	4	0	2	1	0	0	1	240	0	160	0	0	0	80
662ELV0001	elevarattori	4	0	2	1	2	0	2	1120	0	160	800	0	0	160
662HDK0001	Kalkkikivisäkeuttimen hydraulikonkikko	1	0	2	1	1	2	1	220	0	40	100	60	20	20
662JHN0001	Kalkkikiven käsittely kuulamyli 1	8	0	2	0,5	2	1	2	1680	0	320	800	240	320	320
662JHN0002	Kalkkikiven käsittely kuulamyli 2	4	0	2	0,5	2	1	2	840	0	160	400	120	160	160
662KUL0001	Kalkkikiven käsittely hihnalujelin 1 varastosta esimurskaimelle	4	0	0	1	1	0	1	480	0	0	400	0	0	80
662KUL0002	Kalkkikiven käsittely hihnalujelin 2 esimurskaimella seula 1	2	0	0	1	1	0	1	240	0	0	200	0	0	40
662KUL0003	Kalkkikiven käsittely hihnalujelin 3 seula 1 jalkimurskaimelle	4	0	0	1	1	0	1	480	0	0	400	0	0	80
662KUL0004	Kalkkikiven käsittely hihnalujelin 4 jalkimurskaimella seula 2	2	0	0	1	1	0	1	240	0	0	200	0	0	40
662KUL0005	Kalkkikiven käsittely hihnalujelin 5 seula 2:lla hihnalujelin 3:lle	4	0	0	1	1	0	1	480	0	0	400	0	0	80

Toimintopaikan tunnistie	Toimintopaikan nimitys	Vikaanturmi swäll (1...8)	Turvallisuus (0...16)	Ympäristö 0 0...16	Lisäkerroin: Tuotannon menetyksen palnoarvo (0-1)	Tuotannon menetyks (0...4)	Lopputuotteen laatuksuunnus (0...4)	Korjaus- ja seurauksuunnus (0...4)	K	Krittisyyden osaindeksit					
										Ks	Ke	Kp	Kq	Kr	
662KUL0006	Kaikkivien käsittely hihnakuljetin 6 seula 1 ita hihnakuljetin 8 ite	1	0	0	1	1	0	1	120	0	0	100	0	20	
662KUL0007	Kaikkivien käsittely hihnakuljetin 7 seula 2 ita hihnakuljetin 8 ite	2	0	0	1	1	0	1	240	0	0	200	0	40	
662KUL0008	Kaikkivien käsittely hihnakuljetin 8 syötö 662KUL0009 lle	2	0	0	1	1	0	1	240	0	0	200	0	40	
662KUL0009	Kaikkivien käsittely hihnakuljetin 9 elevaattorille	4	0	0	1	1	0	1	480	0	0	400	0	80	
662KUL0011	Kaikkivien käsittely hihnakuljetin 10 lautaspyölin 1 itä kuulamyly 1 ille	1	0	0	0,5	1	0	1	70	0	0	50	0	20	
662KUL0012	Kaikkivien käsittely hihnakuljetin 12 lautaspyölin 3 ita kuulamyly 2 ille	4	0	0	0,5	1	0	1	280	0	0	200	0	80	
662KUL0014	Kaikkivien käsittely fokuulanin arnostelukuljetin	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
662KUL0015	Kaikkivien käsittely polyruuvikuljetin	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
662LHV0001	Kaikkivien käsittely lämmönvaihdin fokuulanin syötöveden lämmitys	1	0	0	1	0	0	1	80	0	0	0	0	20	
662MRK0001	Hydrauliikkakoneikko: murskain 1: NP 1315-äskupakkimurskain	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
662MRK0001	Kaikkivien käsittely esimurskain	2	0	0	1	1	0	2	280	0	0	200	0	80	
662MRK0002	Kaikkivien käsittely jakimurskain	4	0	0	1	1	0	2	560	0	0	400	0	160	
662PPU0001	Kaikkivien käsittely syötöpumppu 1 kuulamyly 1 ita luokin 1 ille	4	2	0	0,5	1	0	2	600	240	0	200	0	160	
662PPU0002	Kaikkivien käsittely syötöpumppu 2 kuulamyly 2 ita luokin 2 ille	4	2	0	0,5	1	0	2	600	240	0	200	0	160	
662PPU0004	Kaikkivien käsittely alitepumpu (runnpaus varastosäiliöön)	4	2	0	1	1	0	2	800	240	0	400	0	160	
662PPU0005	Kaikkivien käsittely fokuulanin syötöpumppu 1	1	0	0	1	0	2	1	80	0	0	60	0	20	
662PPU0006	Kaikkivien käsittely fokuulanin syötöpumppu 2	1	0	0	1	0	2	1	80	0	0	60	0	20	
662PPU0007	Kaikkivien käsittely polvyletteen syötöpumppu (syötö jauhatukseen)	4	2	0	1	1	0	1	720	240	0	400	0	80	
662PUH0001	Kaikkivien käsittely jäähdytyspuhalin voitelupumppu kuulamyly 1 laakeri	1	0	0	0,5	1	0	0	50	0	0	50	0	0	
662PUH0002	Kaikkivien käsittely jäähdytyspuhalin voitelupumppu kuulamyly 1 laakeri	1	0	0	0,5	1	0	0	50	0	0	50	0	0	
662PUH0003	Kaikkivien käsittely jäähdytyspuhalin voitelupumppu kuulamyly 2 laakeri	1	0	0	0,5	1	0	0	50	0	0	50	0	0	
662PUH0004	Kaikkivien käsittely jäähdytyspuhalin voitelupumppu kuulamyly 2 laakeri	1	0	0	0,5	1	0	0	50	0	0	50	0	0	
662PUH0007	Kaikkivien käsittely jäähdytyspuhalin voitelupumppu kuulamyly 2 laakeri	2	0	0	0,5	1	0	0	50	0	0	50	0	0	
662PUH0008	Kaikkivien käsittely polvyloistopuhallin 1	4	2	0	1	0	0	1	320	240	0	0	0	80	
662PUH0011	Kaikkivien käsittely polvyloistopuhallin 2	4	2	0	1	0	0	1	320	240	0	0	0	80	
662PUH0012	Kaikkivien käsittely jäähdytyspuhalin voitelupumppu kuulamyly 1 vaihdelaatikko	1	0	0	0,5	1	0	0	50	0	0	50	0	0	
662PUH0012	Kaikkivien käsittely jäähdytyspuhalin voitelupumppu kuulamyly 2 vaihdelaatikko	1	0	0	0,5	1	0	0	50	0	0	50	0	0	
662PUH0013	Kaikkivien käsittely jäähdytyspuhalin	1	0	0	1	1	0	0	100	0	0	100	0	0	

Toimintopaikan tunnistie	Toimintopaikan nimitys	Vikaantumi svaali (1...8)	Turvallisuus (0...16)	Ympärist ö 0...16	Lisäkerroin: Tuotannon menetyksen painoarvo (0-1)	Tuotannon menetyks (0...4)	Lopputuotti een laadukustannus (0...4)	Korjaus- ja seurauksust annus (0...4)	K	Kritiisyyden osaindeksit					
										Ks	Ke	Kp	Kq	Kr	
662RY/K0001	Kaikkiven käsitteley voitelupumpu kuulamylly 1 laakeri 1	4	0	2	0,5	1	0	4	680	0	180	200	0	320	
662RY/K0002	Kaikkiven käsitteley voitelupumpu kuulamylly 1 laakeri 2	4	0	2	0,5	1	0	4	680	0	160	200	0	320	
662RY/K0003	Kaikkiven käsitteley voitelupumpu kuulamylly 2 laakeri 1	4	0	2	0,5	1	0	4	680	0	180	200	0	320	
662RY/K0004	Kaikkiven käsitteley voitelupumpu kuulamylly 2 laakeri 2	4	0	2	0,5	1	0	4	680	0	160	200	0	320	
662RY/K0007	Kaikkiven käsitteley voitelupumpu kuulamylly 1 vaihdelaatikko	1	0	2	0,5	1	0	1	110	0	40	50	0	20	
662RY/K0008	Kaikkiven käsitteley voitelupumpu kuulamylly 2 vaihdelaatikko	1	0	2	0,5	1	0	1	110	0	40	50	0	20	
662RY/K0010	Kaikkiven käsitteley voitelupumpu kuulamylly 1 hammaskehä	1	0	0	0,5	1	0	4	130	0	0	50	0	80	
662RY/K0011	Kaikkiven käsitteley voitelupumpu kuulamylly 2 hammaskehä	2	0	0	0,5	1	0	4	260	0	0	100	0	160	
662RY/K0013	Kaikkiven jälkimurskamen Rasvausyksikkö	1	0	0	1	1	0	3	160	0	0	100	0	60	
662SEK/0001	Sekotin polylietosäiliö	1	0	0	1	0	0	2	40	0	0	0	0	40	
662SEK/0004	Sekotin fookkulantäsiällo	1	0	0	1	0	2	1	80	0	0	0	0	20	
662SEU/0001	Kaikkiven käsitteley seula 1	8	0	0	1	2	1	2	2160	0	0	1600	240	320	
662SEU/0002	Kaikkiven käsitteley seula 2	8	0	0	1	2	1	2	2160	0	0	1600	240	320	
662SHR/0001	Kaikkiven käsitteley sakeudinhara	1	0	0	1	3	2	2	400	0	0	300	60	40	
662SL/0002	Kaikkiven käsitteley syöttösäilio 1	1	0	0	0,5	2	0	1	120	0	0	100	0	20	
662SL/0003	Kaikkiven käsitteley syöttösäilio 2	1	0	0	0,5	2	0	1	120	0	0	100	0	20	
662SL/0005	Kaikkiven käsitteley fookkulantin anostelusäilio	1	0	0	1	0	2	0	60	0	0	0	60	0	
662SKA/0001	Kaikkiven käsitteley sakeudinharas	1	0	0	1	3	0	1	320	0	0	300	0	20	
662SL/0001	Kaikkiven käsitteley säilio 1 (syöttö kuulamylly 1:nä)	1	0	0	0,5	1	0	0	50	0	0	50	0	0	
662SL/0002	Kaikkiven käsitteley säilio 2 (syöttö kuulamylly 2:nä)	1	0	0	0,5	1	0	0	50	0	0	50	0	0	
662SL/0004	Kaikkiven käsitteley fookkulantin sekotussäilio	1	0	0	1	0	2	0	60	0	0	0	60	0	
662SL/0005	Kaikkiven käsitteley fookkulantin varastosäilio	1	0	0	1	1	2	0	160	0	0	100	60	0	
662SL/0006	Kaikkiven käsitteley polylietosäilio	1	0	0	1	0	0	1	20	0	0	0	0	20	
662SSY/0002	Kaikkiven käsitteley sulatusyötin 2 (syöttö polyinpoistoyksikkö 1:nä polyyru vinkuljettimelle)	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
662STN/0001	Kaikkiven käsitteley tärysyötin (jälkimurskamen yläpuolella)	1	0	0	1	1	0	0	100	0	0	100	0	0	
662STN/0002	Kaikkiven käsitteley lautasyyötin 1	4	0	2	0,5	1	0	1	440	0	160	200	0	80	
662STN/0003	Kaikkiven käsitteley lautasyyötin 2	4	0	2	0,5	1	0	1	440	0	160	200	0	80	
662SUD/0001	Kaikkiven käsitteley polyinpoistoyksikkö 1	4	2	2	1	0	0	2	560	240	180	0	0	180	
662SUD/0002	Kaikkiven käsitteley polyinpoistoyksikkö 2	4	2	2	1	0	0	2	560	240	160	0	0	180	

Toimintopaikan tunnistus	Toimintopaikan nimitys	Vikaantumi svaili (1...8)	Painoarvot W->	Turvallisuus (0...16)	Ympäristö 0...16	Lisäkerroin: Tuotannon menetyksen painoarvo (0-1)	Tuotannon menetyks (0...4)	Lopputuotteiden laadukustam nus (0...4)	Korjaus- ja seuraukskust annus (0...4)	Kriti- syy- s- indeksi	Kritiisyyden osaindeksit					
											Ks	Ke	Kp	Kq	Kr	
662SUP0003	Pudotussupplio kuulamylly 1 lastauspää	4		0	0	0,5	1	0	0	200	0	0	200	0	0	
662SUP0004	Pudotussupplio kuulamylly 2 lastauspää	1		0	0	0,5	1	0	0	50	0	0	50	0	0	
662SUP0005	Pudotussupplio kalkkikiven varastosäiliölle	1		0	0	1	1	0	0	100	0	0	100	0	0	
662SY/K0001	Kalkkikiven käsittely luokkin 1	1		0	0	0,5	1	2	1	130	0	0	50	60	20	
662SY/K0002	Kalkkikiven käsittely luokkin 2	2		0	0	0,5	1	2	1	260	0	0	100	120	40	
633PPUJ1101	Esineurablonit 1 syöttöpumppu CaCO3-ileite 660SLU0003:lla reaktoreille	4		2	0	1	2	0	2	1200	240	0	800	0	160	
633PPUJ1102	Esineurablonit 1 MTO:n palautuspumppu CaCO3-ileite 660SLU0003:lle	4		2	0	1	2	0	2	1200	240	0	800	0	160	
633PPUJ2102	Esineurablonit 2 MTO:n palautuspumppu CaCO3-ileite 660SLU0003:lle	4		2	0	1	2	0	2	1200	240	0	800	0	160	
660PPU0001	Kalkkikiven käsittely ylijempumppu (pumppaus jauhatukseen)	4		2	0	1	2	0	2	1200	240	0	800	0	160	
660SEK0002	Kalkkivilletteen varastosäiliön sekoitin	1		0	0	1	4	2	4	540	0	0	400	60	80	
660SLU0001	Kalkkikiven säiliön säkeutuksen ylijesäiliö	1		0	0	1	3	0	1	320	0	0	300	0	20	
660SLU0003	Kalkkivilletteen varastosäiliö	1		0	4	1	4	0	3	540	0	80	400	0	60	
635PPUJ1101	Rauta 1 syöttöpumppu 1 CaCO3-liuos kalkkivillettevarastosäiliöitä	4		2	0	1	2	0	2	1200	240	0	800	0	160	
635PPUJ1102	Rauta 1 syöttöpumppu 2 CaCO3-liuos kalkkivillettevarastosäiliöitä	1		2	0	1	2	0	2	300	60	0	200	0	40	
635PPUJ2101	Rauta 2 syöttöpumppu 1 CaCO3-liuos kalkkivillettevarastosäiliöitä	8		2	0	1	2	0	2	2400	480	0	1600	0	320	
635PPUJ2102	Rauta 2 syöttöpumppu 2 CaCO3-liuos kalkkivillettevarastosäiliöitä	4		2	0	1	2	0	2	1200	240	0	800	0	160	
662ERT0001	Elektroni kalkkivir fokuksilanti	1		0	0	1	0	2	0	60	0	0	60	0	0	
662ERT0002	Elektroni kalkkivir fokuksilanti	1		0	0	1	0	2	0	60	0	0	60	0	0	
662PUH0010	Kalkkikiven käsittely fokuksilantin pölypoistopuhallin	1		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
662SEK0005	Sekoitusputki	1		0	0	1	1	2	0	160	0	0	100	60	0	
662SLU0001	Kalkkikiven käsittely välivarastonsäiliö (jalkimurkaimen yläpuolelle)	1		0	0	1	1	0	0	100	0	0	100	0	0	
660PPU00010	Paineenkorotuspumppu VRA, kalkkiliuos	4		0	0	1	1	0	2	560	0	0	400	0	160	
660PPU00020	Paineenkorotuspumppu VTI, kalkkiliuos	1		0	0	1	1	0	4	180	0	0	100	0	80	

			Vika-vaikutusanalyysi	RPN = Risk priority number		Laatija:	Ville Heikkinen							
		Terrafame				Lsnr:	Ville Heikkinen							
Toiminnot			Potentiaaliset vikaantumisuodot	Potentiaaliset vikaantumisen syyt					Huomi! Tämä on vain ennuste! Toimintatapojen vaikutukset	Vakavuus	Esiintyminen	Havaittavuus	Uusi RPN	
Kritisyys	Prosessin	Laiteen rakenne	Potentiaalinen vikaantumismuuttos	Vakavuus (S)	Uusi RPN	Esityminen	Havaittavuus ()	RPN	Suositellut toimenpiteet	Suositeltava toimenpiteiden vaikutukset (Suositeltava Kupa)	Vakavuus	Esiintyminen	Havaittavuus	Uusi RPN
indeksi	laitepaikka	laite	seuraus	Vian aiheuttajat/laite osat	Esityminen	Vian ennaltaehkäisy	Havaittavuus ()	RPN	Suositellut toimenpiteet	Suositeltava toimenpiteiden vaikutukset (Suositeltava Kupa)	Vakavuus	Esiintyminen	Havaittavuus	Uusi RPN
	662SEU0001 Kalkkikiven käsitely (Ihinnakäyttö) seula 1	Voimansito	Killahinat luistavat	Seula pysähtyy pyörintäväkhiin, hihnat katkeavat/vinkuvat	5 Hihnapyörän kuluminen	4 Säätämölinen valimo	4 Hihnan väsäsi kireys	15 Hihnojen tarkastuksen/validon yhteydessä kireyden tarkastus kireysmittarilla, saman käytön hihnat ollaava samaa paistoa samaa	10 Järketaam tarkastusta Btk välein, tarkastuksessa käytettävä killahinnapyörätulkkia	5	1	1	5	
	662SEU0001 Kalkkikiven käsitely (Ihinnakäyttö) seula 2	Voimansito	Killahinnapyörät väsiin Iinjartu	Hihnapyörän ja mootorin laakereit kuluvat emenaikaisesti, hihnan vinkuvat/katkeavat	4 Asemuusvike	2 Työohjeen tekö	2 Työohje,	8 Työohje, hihnapyörän linjatus lasenllä	8 Hihnapyörän linjatus lasenllä	4	1	1	4	
	662SEU0001 Kalkkikiven käsitely (Ihinnakäyttö) seula 1	Voimansito	Hammashihna katkeaa	Epiäkoskosteiden ajotus menee piteleen --> seula ei enää tärisee --> seula oksentaa kivet	5 Kuluminen	3 Säätämölinen valimo	3 Työohjeen tekö	60 Enakkohuoltoyo hammashihnan vaihdosta vuoden välein	60 Enakkohuoltoyo hammashihnan vaihdosta vuoden välein	5	2	4	40	
	662SEU0001 Kalkkikiven käsitely (Ihinnakäyttö) seula 1	Voimansito	Hammashihna katkeaa	Seula oksentaa kivet	5 Hihnan väsäsi kireys	3 Työohjeen tekö	3 Työohje,	60 Työohje, kireysmittarin käyttöä	60 Työohje, kireysmittarin käyttöä	5	1	4	20	
	662SEU0001 Kalkkikiven käsitely (Ihinnakäyttö) seula 1	Voimansito	Hammashihna katkeaa	Saula oksentaa kivet	5 Hihnapyörässä reisiä	1 Hihnapyörän säätämölinen tarkastus	1 Hihnapyörän säätämölinen tarkastus	20 Järketaam tarkastusta Btk välein	20 Järketaam tarkastusta Btk välein	5	1	4	20	
	662SEU0001 Kalkkikiven käsitely (Ihinnakäyttö) seula 1	Voimansito	Hihnapyörän laakeri vikaantuu	Laakeri kuumenee, kolisee ja lopulla leikkaa kiinni	4 Kuluminen	2 Säätämölinen rasvaus	2 Säätämölinen rasvaus	24 Rasvanpant lsäys laakerille ja säätämölinen rasvaus	24 Rasvanpant lsäys laakerille ja säätämölinen rasvaus	4	1	3	12	
	662SEU0001 Kalkkikiven käsitely (Ihinnakäyttö) seula 2	Voimansito	Hihnapyörän laakeri vikaantuu	Laakeri kuumenee, kolisee ja lopulla leikkaa kiinni	4 Hihnan väsäsi kireys	2 Tarkastus määräajoin	2 Tarkastus määräajoin	32 Järketaam tarkastusta Btk välein, kireysmittarin	32 Järketaam tarkastusta Btk välein, kireysmittarin	4	1	4	16	

Toiminnot		Potentiaaliset viikaantumismuodot		Potentiaaliset viikaantumisen syyt		Huomi! Tämä on vain ennuste! Toimenpiteiden vaikutukset										
Kriittisyys- indeksi	Prosessin käyttöpaikka	Laitteen rakenne	Potentialinen viikaantumismuod	Vikaantumisen seuratukset	Vakavuus (S)	Vian aiheuttajakäytteen umismekanismi	Vian esiintymisen ennakointi	Vian havaitseminen	Havaittavuus (RPN)	Suosittelut toimenpiteet	Suositeltava (tuotanto)Kuppi	Vakavuus	Esiintyminen	Havaittavuus	Uusi RPN	Huomiot
		Teräsfame	Vilka-valiokursanalyysi	RPN = Risk priority number				Laatia: Läsnä:	Ville Heikkinen Ville Heikkinen							
2160	662SEU0001, Kalkkikiven käsitely seula 1	Voimansiirto (Ih:nakajntö)	Kardaanin pulit kaikeanratroavat	Voima ei väljty tärykselle	5	Pulitin väsära kireyys	2	Kriisivys momentittauaimella	5	50	Kuppi	5	1	5	25	
2160	662SEU0001, Kalkkikiven käsitely seula 2	Voimansiirto (Ih:nakajntö)	Kardaanin ruvlet vilkaavuaret	Voima ei väljty tärykselle	4	Kuluminen	2	Rasvayus ja taikastus määräsjain	3	24	Kuppi	4	2	3	24	
2160	662SEU0001, Kalkkikiven käsitely seula 1	Tärykselaitto	Tärykselaitto kuluu purkki	Tärykselaitto vuotavat seulan sisään	4	Kuluminen	1	Tarkastus määräsjain	4	16	Kuppi	4	1	4	16	
2160	662SEU0001, Kalkkikiven käsitely seula 2	Tärykselaitto	Läbyrinttiivaste päästää öljy pihalle	Tärykselaitto vuotavat uios	4	Puuteellisen rasvayus	1	Säännöllinen rasvayus öljyn vuotaaessa	4	16	Kuppi	4	1	4	16	
2160	662SEU0001, Kalkkikiven käsitely seula 1	Tärykselaitto	Huohottin rukossa	Läbyrinttiivaste päästää öljy pihalle	4	Tukkeutunut huohottin --> paine kasvaa öljylässa	1	Huohottimen vaihto määräsjain	4	16	Kuppi	4	1	4	16	
2160	662SEU0001, Kalkkikiven käsitely seula 2	Tärykselaitto	Laakerivika	Laakeri vilkaantuu	4	Likainen öljy	1	Öljynvaihto määräsjain	3	12	Kuppi	4	1	3	12	
2160	662SEU0001, Kalkkikiven käsitely seula 1	Seulakori	Jouset/kakeavat	Seulakorin likerata muuttuu	4	Kuluminen	1	Silmänsäätäinen tarkastus	1	4	Kuppi	4	1	1	4	
2160	662SEU0001, Kalkkikiven käsitely seula 1	Seulakori	Seulaverkkojen kuluminen	Verkkosen aukot kuluvat liikaa --> aliteen raekoon kasvu	3	Kuluminen	2	Tarkastus määräsjain kalkkikululleen laadussa	2	12	Kuppi	3	2	2	12	
2160	662SEU0001, Kalkkikiven käsitely seula 1	Seulakori	Reunamoduulin kilat iroavat	Reunamoduuliroaa ja voi aiheuttaa ylliespillossakuljet imella	3	Tärinä ilbiyysääkilola	2	Tarkastus määräsjain	4	24	Kuppi	3	2	4	24	

