

samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

TUOMAS NIEMINEN

Sokerilinkojen vika- ja vaikutusanalyysi, ennakkohuollot ja varaosien saanti

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
2025

TIIVISTELMÄ

Nieminen, Tuomas: Sokerilinkojen vika- ja vaikutusanalyysi, ennakkohuollot ja varaosien saanti
Opinnäytetyö, AMK
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Huhtikuu 2025
Sivumäärä: 71

Tässä työssä luodaan toiminnallinen opinnäytetyö sokerijuurikasta viljelyttävälle ja siitä suomalaista sokeria prosessoivalle Sucros Oy:lle. Toiminnallisen opinnäytetyön aiheena on luoda luotettavuuskeskeisen kunnossapitostrategian RCM:n mukainen vika- ja vaikutusanalyysi sokerilingoille, jonka pohjalta työssä esitetään tulosten hyödyntämistä kunnonvalvonnan, kunnossapidon kehittämisen ja varaosien saannin näkökulmasta.

Työn teoriaosuudessa käsitellään yleistä kunnossapidon teoriaa, kunnonvalvontaa, kunnossapidon varaosalogistiikkaa, riskeiltä suojautumista, kriittisyysanalyysien teoriaa ja kunnossapitostrategioita TPM & RCM. Toimeksiantajalle tehtävässä toiminnallisessa osuudessa tehtävä analyysi on luotettavuuskeskeisen kunnossapitostrategian mukainen, joten teoriaosuudessa käsitellään RCM:tä hieman enemmän.

Toiminnallisessa osuudessa luodaan kattava RCM-pohjainen vika- ja vaikutusanalyysi, jota toimeksiantajan on helppo käyttää tulevaisuudessa tämän työn ulkopuolellakin oleville laitteille. Analyysi on kattava, laitteiden askellusten mukaisesti etenevä ja siinä muodostetaan riskiprioriteetiluku RPN, jonka perusteella toiminnalliset viat saadaan järjestettyä suuremmasta pienempään lingo toimintojen mukaisesti. Analyysissa otetaan kantaa myös vian vaikutuksille tuotannon, laadun, toimitusten, ympäristön, kunnossapitokustannusten, turvallisuuden ja vian toistumisen myötä. Analyysin toimivuutta testattiin RCM-tiimin kokoontumisessa, ja osallistujat pääsivät sen tekemiseen helposti mukaan.

Toiminnallisen osuuden RCM-analyysissä löydettiin panostoimisille lingoille 39 toiminnallista vikaa ja jatkuvatoimisille lingoille 26 vikaa. Tarkempaan tarkasteluun panostoimisissa lingoissa otettiin toiminnalliset viat RPN-luvulla $250 < 1000$ ja jatkuvatoimisissa RPN-luvulla olevat viat välillä $90 < 1000$. Tarkempaan tarkasteluun otetuista toiminnallisista vioista muodostettiin palkkiagrammit, joissa viat on järjestelty korkeasta RPN-luvusta pienempään. Palkkiagrammit muodostettiin myös jokaisen askeleen toiminnallisista vioista suurimmasta pienimpään.

RCM-analyysin pohjalta toimeksiantajalle esitetään tulosten hyödyntämistä kunnonvalvonnan, kunnossapidon kehittämisen ja varaosalogistiikan näkökulmasta. Työ päättyy yhteenvetoon ja mietteeseen, jossa kunnossapidon todetaan olevan jatkuvaa parantamista Demingin ympyrän mukaisesti.

ABSTRACT

Nieminen, Tuomas: Failure and impact analysis of sugar centrifugal machines, preventive maintenance and supply of spare parts

Bachelor's thesis

Mechanical engineering

April 2025

Number of pages: 71

This work creates a functional thesis for Sucros Oy, a company that processes sugar beet and makes Finnish sugar from it. The topic of the functional thesis is to create a reliability-focused maintenance strategy based on RCM and impact analysis for sugar centrifuges, based on which the work presents the utilization of the results from the perspective of condition monitoring, maintenance development and spare parts logistics.

The theoretical part of the work covers general maintenance theory, condition monitoring, maintenance spare parts logistics, risk protection, critical cause analysis theory, maintenance strategies TPM & RCM. In the functional part of the work for the client, the analysis is in accordance with a reliability-oriented maintenance strategy, so RCM appears slightly more in the theory.

The functional part creates comprehensive RCM-based failure and impact analysis that can be easily used by the client in the future for devices outside this work. The analysis is comprehensive, progresses according to the steps of the devices, and a risk priority number RPN is formed, on the basis of which functional failures can be arranged from largest to smallest according to the functions of the centrifuge. The analysis also takes a position on the effects of the failure on production, quality, deliveries, the environment, maintenance costs, safety and failure recurrence. The functionality of the analysis was tested at a meeting of the RCM team, and people were easily able to participate in its implementation.

In the RCM analysis of the functional part, 39 functional defects were found for batch centrifuges and 26 for continuous centrifuges. For more detailed examination, functional defects with an RPN of $250 < 1000$ were taken for batch centrifuges and defects with an RPN of $90 < 1000$ for continuous centrifuges. Bar charts were formed of the functional defects to be taken for more detailed examination, in which the defects are arranged from high to low RPN. Bar charts were also formed of the functional defects of each step from highest to lowest.

Based on the RCM analysis, the client is presented with the utilization of the results from the perspective of condition monitoring, maintenance development and spare parts logistics. The work ends with a summary and reflection, in which maintenance is stated to be continuous improvement according to the Deming circle.

ALKUSANAT

Haluan erityisesti kiittää vaimoani opintojeni mahdollistamisesta kiireisen perhearjen keskellä, työnhajaaja, sekä työnantajaani ja tämän edustajia, jotka mahdollistivat opinnäytetyön tekemisen ja opiskeluni joustavasti päivittäisen tekemisen ohella. Haluan vielä lisäksi esittää kiitoksen RCM-tiimiin osallistuneille työkavereilleni, jotka lähtivät innolla mukaan analyysin tekemiseen!

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	8
1.1 Toimeksiantajan esittely	8
1.2 Opinnäytetyön tavoite ja rajaaminen	9
1.3 Sokerin keitto- ja linkous.....	9
1.4 Sokerilingon toiminta	10
2 TEOLLISUUDEN KUNNOSSAPITO	12
2.1 Kunnossapidon strategia	13
2.2 Kunnossapitolajit	14
2.3 Kunnonvalvonta.....	15
2.3.1 Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset	16
2.4 Kunnonvalvonnan lämpötilamittaukset	17
2.5 Kunnonvalvonta & öljyanalyysit	17
2.6 Kunnossapidon varaosalogistiikka	18
3 KRIITTISYYSANALYYSIT RISKIEN TORJUNNASSA	19
3.1 PSK6800	20
3.2 HAZOP	24
3.3 LOPA.....	25
4 VIKA- JA VAIKUTUSANALYYSI FMEA & FMECA	27
4.1 FMECAN suorittaminen.....	28
5 KUNNOSSAPITOSTRATEGIAT TPM & RCM	31
5.1 TPM suorittaminen	33
5.2 RCM suorittaminen.....	33
5.2.1 RCM seitsemän kysymystä	34
5.2.2 RCM analyysin logiikka yksittäistä laitetta koskien	35
6 VIKA- JA VAIKUTUSANALYYSIN SUORITTAMINEN SOKERILINGOILLE	40
6.1 Toimeksiantajan kriittisyysluokittelu.....	40
6.2 Toimeksiantajan RCM-pohja	41
6.3 RCM-ryhmän kokoontuminen ja analyysin laatiminen	46
6.4 RCM-analyysi panostoisille lingoille.....	47
6.5 RCM-analyysi jatkuvatoimisille lingoille	50
7 TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN KUNNONVALVONNAN, KUNNOSSAPIDON KEHITTÄMISEN & VARAOSALOGISTIIKAN NÄKÖKULMASTA	52
7.1 Yleisiä kehitysehdotuksia linkoaseman kunnossapidolle.....	52

7.2 Panostoimisten linkojen analyysin tulosten hyödyntämistä kunnonvalvonnan, kunnossapidon kehittämisen ja varaosalogistiikan näkökulmasta	54
7.3 Jatkuvat toimien linkojen analyysin tulosten hyödyntämistä kunnonvalvonnan, kunnossapidon kehittämisen ja varaosalogistiikan näkökulmasta	57
8 YHTEENVETO.....	59
LÄHTEET	61
LIITE 1: RCM-ANALYYSI JATKUVATOIMISET LINGOT	64
65	
LIITE 2: RCM-ANALYYSI JATKUVATOIMISET LINGOT	66
LIITE 3: PALKKIDIAGRAMMIT PANOSTOIMISET LINGOT	68
LIITE 4: PALKKIDIAGRAMMIT JATKUVATOIMISET LINGOT	70

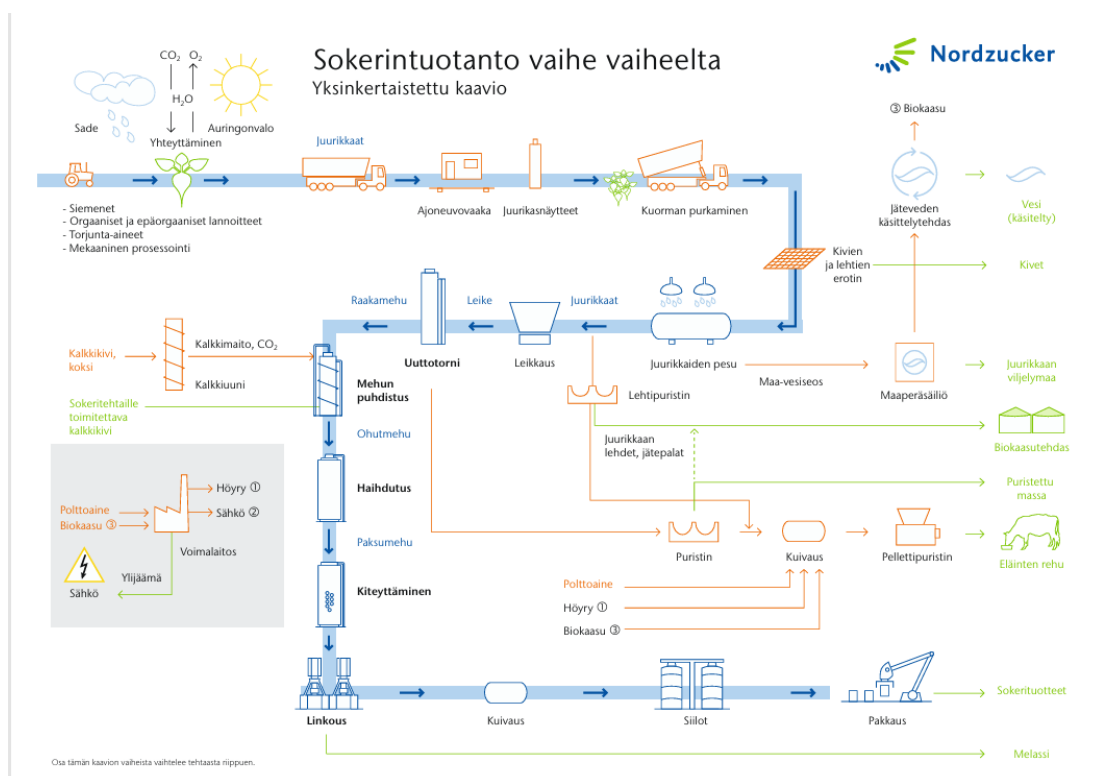
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Linkolava	Linkoasema, jossa lingot sijaitseva.
Maissi	Varastosäiliö, johon keitetty sokeri lasketaan keittoastioista.
Kate	Linkoustapahtumassa samalle väritasolle jäävä siirappi
Ryönä	Linkoustapahtumassa seuraavalle keittotasolle poistuva siirappi

1 JOHDANTO

1.1 Toimeksiantajan esittely

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Sucros groupin Säkylän sokerijuurikas-tehdas, joka on toimialallaan ainoa Suomessa sokerijuurikkaista valkosokeria jalostava tuotantolaitos. Sucros Groupiin kuuluu myös tytäryhtiö Suomen Sokeri Oy, joka sijaitsee Kirkkonummella. Kirkkonummella olevassa tuotantolaitoksessa on sokerin puhdistamo ja pakkaamo. Sucros Groupin pääomistus on saksalaisella Nordzucker konsernilla, mutta 20 prosentin vähemmistöosuuden omistaa suomalainen Apetit Oyj. Säkylässä on valmistettu sokerijuurikaspo-jaista valkosokeria jo vuodesta 1953. (Apetit Oyj, n.d.; Sucros Oy, n.d.)



Kuva 1. Sokerituotanto vaihe vaiheelta. (Dansukker, 2015)

1.2 Opinnäytetyön tavoite ja rajaaminen

Opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa Säskylän sokerijuurikastehtaalle toiminnallinen opinnäytetyö, jonka aiheena on keskipakoisvoimalla toimivien sokerikiteitä erottavien linkojen olemassa olevan vika- ja vaikutusanalyysin kehittäminen, ennakkohuoltojen kohdentaminen ja varaosien saannin varmistaminen kampanjan ollessa käynnissä. Opinnäytetyössä esitellään työhön liittyvää kunnossapidon teoriaa, vika- ja vaikutusanalyysin tekemistä ja sen tuloksien hyödyntämistä kunnossapidon kehittämisessä.

Opinnäytetyössä tehtävä vika- ja vaikutusanalyysi perustuu yritykselle kehitettyyn omaan pohjaan, johon on käytetty lähteenä SFS5438 standardia. Teoriapohjassa esitellään kriittisyysanalyysia, mutta sitä ei tehdä yritykselle toiminnallisessa vaiheessa, koska se on juuri toteutettu. Työ rajataan linkoasemalle A, B ja C väritason sokerilinkoihin, eikä siinä pureuduta yleistä esittelyä syvemmälle sokeritehtaan prosessien toimintaan.

1.3 Sokerin keitto- ja linkous

Sokerin kiteyttämisen prosessia kutsutaan sokerin keitoksi. Sokerin keitossa sokerimehun puhdistuksesta kulkeutunutta ja haihdutettua tiheää mehua keitetään alipaineessa olevassa kattilassa, jossa mehusta haihdutetaan vielä enemmän vettä. Keiton saavuttaessa yltäkylläisyyden, sitä siemennetään sokeripohjaisten siemenkiteiden avulla, jotka muodostavat pohjan keittimessä muodostuvalle sokeripitoiselle massalle. (Lehessaari, 2013, s. 7)

Sokeripitoinen massa pudotetaan varastosäiliöön, jota kutsutaan maissiksi. Varastosäiliöstä massaa johdetaan keskipakoisvoimalla toimiville sokerilingoille, jotka erottavat linkousprosessista kiteet sokeriliuoksesta. Kiteistä erotettua siirappia kutsutaan ryönäksi tai katteeksi. Ryönäksi kutsuttava siirappi pumpataan seuraavan väritason keitolle ja katesiirappi pumpataan samalle väritasolle, mistä lingottava keitto on prosessoitu. Säskylän sokeritehtaalla on käytössä kolme eri väritasoa sokerin keittämiseksi ja linkoukselle. Väritasoja kutsutaan A, B ja C-sokereiksi. Ryönää ja katetta voi erotella vain panostoimisilla

lingoilla, ja jatkuvatoimisten erottama siirappi on aina seuraavalle väritasolle siirtyvää ryönää. (Lehessaari, 2013, s. 8–12)

A-keitosta linkouksen avulla eroteltavat valkosokerikiteet ovat tehtaan pääasiainen myyntituote, B ja C-sokeri keitetään A-sokerin linkoustapahtumassa erotetusta ryönästä. B-sokeri keitto lingotaan B-lingoilla, joita tehtaalla on käytössä panos- ja jatkuvatoimisineina. Säkylän sokeritehtaalla C-sokerin linkousprosessissa käytetään jatkuvatoimisia linkoja. B ja C-sokerin linkousprosessissa erotetut kiteet johdetaan liuottamona toimivaan sekoittimilla varustettuun säiliöön, joihin virtaa myös haihduttimista tuleva puhdistettu juurikasmehu. B-linkouksen poistesirappi pumpataan C-keittomehuastiaan, josta keitetään C-keittotason keitto. C-keitto lingotaan jatkuvatoimisineilla C-lingoilla, jotka erottavat sokerikiteet liuotukseen ja joiden poistesirappi on yhtä prosessin lopputuotetta eli melassia. Melassia myydään sokeriprosessin sivutuotteena erilaisiin teollisuuden kohteisiin, kuten maatalouden kotieläinten rehuksi. (Dansukker, 2015)

1.4 Sokerilingon toiminta

Sokerilingot erottavat keskipakoisvoiman avulla sokerikiteet emäliuoksesta. Kidesokeri jää lingon sihtiverkkoon, ja erotettu siirappi kulkeutuu lingon sihdin läpi säiliöihin ja siitä pumppujen välityksellä seuraavalle väritasolle, ja viimeimpänä melassiksi. Sokerilingot voivat olla panos tai jatkuvatoimisineita. (BMA, n.d.-a)

Panostoimisen lingon prosessi alkaa täyttökierroksilta, jolloin laitteeseen syötetään varastosäiliöstä keitettyä sokeripitoista massaa. Lingolle halutun massan määrä asetetaan täytönvartijan avulla. Täytönvartijan lusikan kosketessa massapintaa täyttö katkeaa ja kone alkaa kiihdyttämään. Kiihdytyksen aikana kiteet erottuvat emäliuoksesta ja erotetulle kiteelle annetaan asetetun määrän verran vettä, jolloin siitä tulee valkoista. Linko siirtyy linkoamisvauhtiin, jolloin pesty kide kuivuu ja on valmis kaavattavaksi siirtokuljettimelle, josta se kulkeutuu elevaattorien välityksellä kuivurille ja varastoitavaksi tuotantosuunnitelman mukaisesti siiloon tai säkityslinjastolle. Prosessinohjaaja asettaa

lingon toiminnalle erilaisia parametrejä, joista tärkeimpinä voitaisiin mainita massan määrän, ryönän erotusajan, vesi- ja mehukattausajan sekä linkousajan. (BMA, n.d.-b)

Jatkuvatoimiset lingot saavat sokeripitoista emäliuosta nimensä mukaisella jatkuvatoimisella syötöllä, ja niiden poisteena menevä siirappi siirtyy aina seuraavalle keittotasolle loppuen C-linkkoukseen ja päätyen melassiksi. Jatkuva-toimiseen linkoon syötetään prosessinohjaajan asettama määrä massaa, jonka mukaisesti laitteeseen on säädetty kate vesi ja prosessihöyry. (BMA, n.d.-c)

Linkouksen vauhti on sovitettava prosessinohjaajan toimesta sokerin keittämisen tasolle, jotta saavutettaisiin optimaalinen kidesaanto ja varastosäiliöille massatasapaino.

2 TEOLLISUUDEN KUNNOSSAPITO

Teollinen toiminta mahdollistaa sen asiakkaille tai sidosryhmille palveluita, jotka toteuttavat asiakkaalle hyötyä ja luovat mahdollisen vastauksen asiakkaan oman prosessin raaka-aineen tarpeelle. Tarpeen kuvaamista voidaan konkretisoida yksinkertaisella esimerkillä. Leipomo tarvitsee leivontaan jauhoja, jotka jauhetaan myllyssä. Mylly taas ostaa raaka-ainekseen viljan, joka tulee välittäjän kautta alkutuotannosta. Tällaisessa ketjussa tarvitaan useita koneita, jotka toimivat mahdollistamassa perusraaka-aineena toimivan viljan kylvön, kasvinsuojelun, puinnin, kuljetuksen, jauhatuksen, pakkauksen ja leipomon prosessissa käsittelyn. (Leipätiedotus, n.d.-d; Työturvallisuuskeskus, n.d;)

Edellisessä yksinkertaistetussa esimerkissä olevat maatalouskoneet on suunniteltu aikaansaamaan puhdas vilja raaka-aineeksi elintarviketeollisuudelle. Koneille asetetaan hankintavaiheessa arvioitu käyttöikä, jonka ajan niiden on suoriuduttava tehtäväksi suunnitelluista toiminnoista, kuten viljan puinnista moitteetta. Koneet kuitenkin kuluvat käytössä, ja ilman niiden huoltamista ne eivät välttämättä suoriudu niille suunnitelluista toiminnoista teollisuuden vaatimuksien mukaan, vaan viljan joukkoon voi päätyä esimerkiksi olkia tai viljaa puimurin seulojen vaurioitumisen takia. Kunnossapidon tarkoituksena on pitää koneet sellaisessa kunnossa, että ne suoriutuvat niille alkuperäisesti asetettujen toimintojen täyttämässä vaarattomasti, tuloksellisesti ja asiakkaan vaatimusten mukaisesti. (Leipätiedotus, n.d.-e; Pinja, n.d.-f)

Osittain tässä opinnäytetyössä käytävä kunnossapidon teoria perustuu kahden Suomessa yleisesti käytössä olevaan kunnossapidon standardiin, jotka ovat PSK standardi PSK6201 ja Suomen Standardisoimisliiton eurooppalainen kunnossapidon standardi SFS-EN 13306:2017. Standardit ovat perusolemukseltaan hyvinkin samanlaisia, vaikkakin PSK standardoimis yhdistyksen standardia on täsmennetty enemmän teollisuutta silmällä pitäen. (PSK 6201:2022, 2022, s. 3; SFS 13306:2017, 2017, s. 1–36)

2.1 Kunnossapidon strategia

Kunnossapidon tavoitteena on pitää sen kohteena oleva kone, alue tai rakennus siinä kunnossa, johon yritys on sen liiketoimintansa mahdollistamiseksi hankkinut. Yrityksen on tarkoitus tuottaa omistajilleen voittoa, ja voiton tuottaminen mahdollistetaan keskeytymättömällä tuotannolla. Koneiden tai tuotantoympäristön ollessa kyvytön mahdollistamaan sille alkuperäisesti yrityksen strategiassa määritettyä tehtävää ei yrityksenkään tuotanto ole taloudellisesti kannattavaa tai sujuvaa.

Yrityksen johto kohdentaa resurssit kunnossapidolle ja valitsee sille strategian. SFS-EN 13306:2017 standardin mukaisesti päästrategiat ovat ongelmia ennakoiva kunnossapito, jossa yrityksen strategiassa määritelty sille arvoa tuottava kone, laite tai toimintaympäristö pyritään pitämään kunnossa ennakoivia toimenpiteitä suorittamalla. Näitä voivat olla kunnonvalvonta, määräaikaishuollot ja toimintaympäristössä työskentelevien henkilöiden havainnot. (SFS 13306:2017, 2017, s. 5–22)

Toisena SFS-EN 13306:2017 standardin mukaisena strategiana toimii korjaava kunnossapito, joka ottaa ohjat käteensä vasta ongelman ilmetyä. Ongelma voidaan ratkaista siirtämällä niin, että otetaan esimerkiksi varajärjestelmä käyttöön tai varavaihtoehtojen puutteessa ajetaan tuotanto hetkellisesti alas, ja korjataan vikaantunut kohde. (SFS 13306:2017, 2017, s. 5–22)

Korjaava kunnossapito voidaan myös valita täsmennetyksi strategiaksi tuotantoympäristössä sijaitsevalle objektille, mikäli tämän vaurioituessa ei vaaranneta henkilöitä, tuotantoa tai ympäristöä. Tuotantoympäristössä voi olla vaikkapa kuljetin, jonka täysmittainen kunnossapito ei ole enää järkevää. Kuljettimen avulla kuljetetaan prosessista poistuvaa sivujaetta. Sivujaetta joudutaan käsittelemään joka tapauksessa pyöräkuormaajan avulla, ja yritys on strategiassaan valinnut prosessin tehostamisen suunnitelmaksi sivujakeen määrän pienentämisen. Sivujaetta käsiteltäisiin tällöin enää pyöräkuormaajan avulla, eikä kuljetinta tarvitse käyttää. Nykyisessä tilanteessakin kuljettimen vaurioituessa se pystyttäisiin ohittamaan täysin pyöräkuormaajan avulla. Kuljetin on

perustellusti korjaavan kunnossapidon piirissä, sen vaurioituessa sitä pyritään kunnostamaan, mutta kunnossapitokustannusten tai liian ison vaurion tapahduessa se voidaan poistaa pysyvästi käytöstä. (Manninen, 2023)

2.2 Kunnossapitolajit

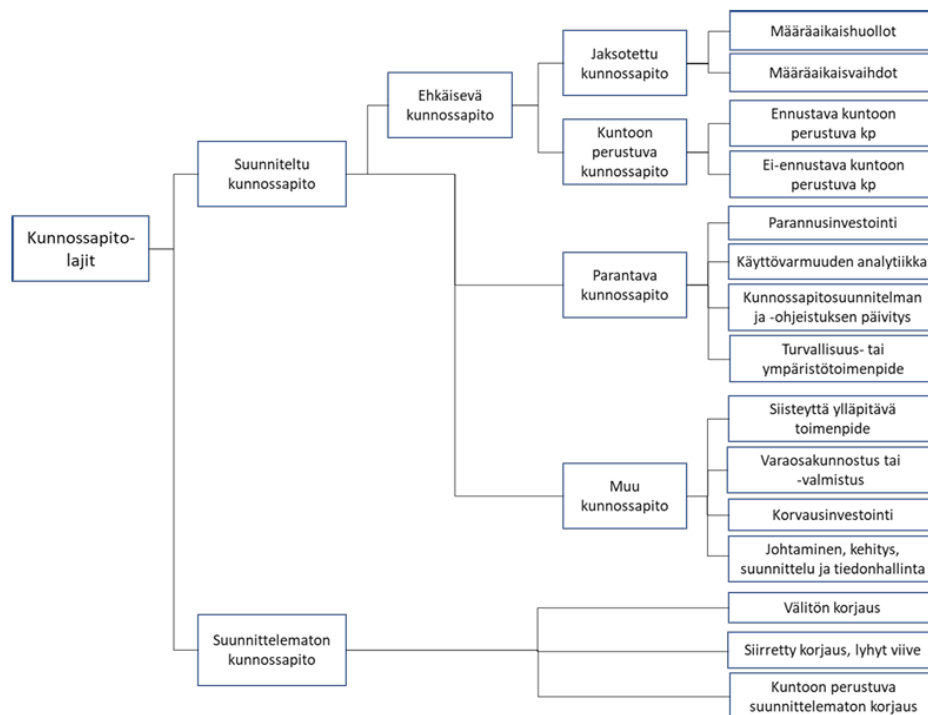
Laitteiden ja koneiden halutuiden ominaisuuksien säilyttämiseksi ja ylläpitämiseksi tehtävä kunnossapito voidaan toteuttaa erilaisilla kunnossapitomenetelmillä.

Puoliksi suunniteltu on hyvin tehty, ja tästä voidaankin johtaa ennakoivan kunnossapidon juurisyy. Tarkoituksena on taata tuotantoyksikölle keskeytymätön tuotanto, jota eivät laitteiden vikaantumiset vaivaa. Laitteiden ja koneiden vikaantumisia pyritään estämään ennakoimalla, ja työkaluina voidaan käyttää mittaavaa kunnossapitoa, käyttäjien havaintoja, valmistajan antamia määräaikaishuoltoja ja yrityksen omaan kokemukseen perustuvia toimenpiteitä. (PSK 6201:2022, 2022, s. 42)

Laitteiden parhaita kehitys- ja modernisointi-ideoita tulee niiden käyttäjiltä. Käyttäjiltä tulleena ehdotuksena voi toimia vaikkapa nostoapuvälineen lisääminen työskentelyalueelle, jolloin kappaleen nostaminen työkoneelle on turvallisempaa. Tällä voidaan välttää henkilön, koneen ja kappaleen vaurioituminen, kun työ on ergonomisesti sujuvampaa. Pinjan Novi kunnossapitojärjestelmän mukaan koneita käyttävän henkilöstön havaintojen perusteella voidaan karsia ennakoivasti jopa kolmasosa tuotantolaitteiden vikaantumisista. (Pinja, n.d.-g)

Suunnittelematon kunnossapito tarkoittaa korjaustarpeita, joihin on kohteen toiminnan ylläpitämiseksi tartuttava välittömästi. Suunnittelemattomaan kunnossapitoon kuuluu esimerkiksi laakerivaurio, jota ei ole ennakoivasti tarkkailtu, vaan se on jäänyt huomiotta, ja keskeyttää hajotessaan yrityksen tuotannon. Tuotanto voidaan mahdollisesti saada pidettyä väliaikaisesti yllä

käyttämällä esimerkiksi varakuljetinta, mutta ongelma on silti ratkaistava yleensä välittömästi. (PSK 6201:2022, 2022, s. 42)

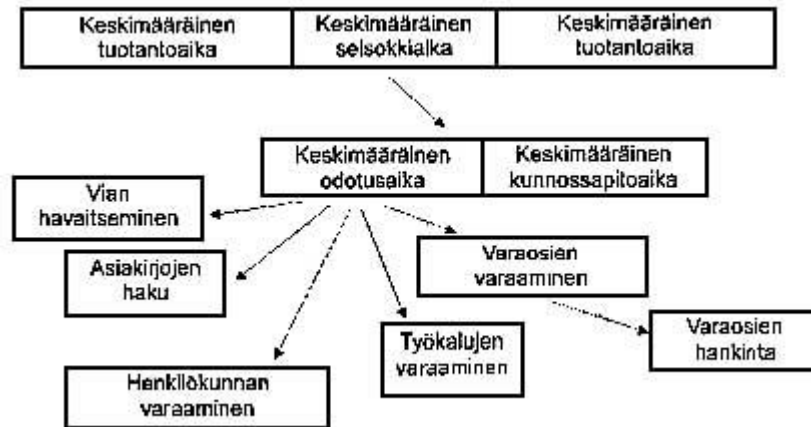


Kuva 2. Kunnossapitolajit. (PSK 6201:2022, 2022, s. 40)

2.3 Kunnonvalvonta

Kunnonvalvonnan avulla varmistetaan tuotannossa olevien laitteiden valmistajan niille suunnitteleminen toimintojen oikeanlainen toteutuminen. Kunnonvalvontaa voidaan tehdä erityisten siihen suunniteltujen laitteiden avulla tai käyttäjien konkreettisesti tekemien havaintojen perusteella. Kunnonvalvonta voi olla keskeytymätöntä tai kausittaista. (PSK 6201:2022, 2022, s. 31)

Kunnonvalvonnalla voidaan suunnitella teollisuuslaitoksen toimintaa pitkälle tulevaisuuteen. Yrityksen johto saa suoria viitteitä laitteiden ja toimintaympäristön uusinnan ja kunnossapitotarpeen määrittelystä. Kunnonvalvonta on myös avainasemassa kunnossapidon resursseja suunniteltaessa, sillä se kattaa työvoiman, työkalut, varaosat ja oikeat dokumentit. Kunnonvalvonnan avulla työnsuunnittelu ja työnjohto on vaivatonta, ja työhön päästään oikeaan aikaan kiinni ilman tulipalojen sammuttamista. (Kunnossapito, n.d.-h)



Kuva 3. Kunnossapitotyön vaikutus tuotantoaikaan. (Kunnossapito, n.d.-h)

2.3.1 Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset

Värähtelymittauksilla voidaan valvoa koneen värähtelyitä siihen kehitettyjen laitteiden avulla. Koneiden värähtelyn taajuus vaihtelee 10 Hz ja 1 kHz välillä, ja laakereiden värähtelyiden taajuus on yleisesti yli 2 kHz luokkaa. Värähtelymittauksia voidaan suorittaa liikuteltavilla mittareilla ja kiinteillä koneeseen asennetuilla antureilla, jotka muodostavat perusteellisen kunnonvalvontakokonaisuuden. Aiemmin värähtelymittauksien suorittaminen on vaatinut erityistä osaamista konemekaniikkaan liittyvien aihekokonaisuuksien hallintaan, mutta teknologian kehittyminen on mahdollistanut värähtelymittauksien ottamisen käyttöön tavanomaiseen kunnossapito-organisaatioon saakka. Värähtelymittauksien luotettava tulkitseminen vaatii silti ymmärrystä koneen toiminnasta, ympäristöstä ja käytettävyydestä. Nykyaikainen teknologia toimii hyvänä renkinä, mutta isännäksi sitä ei saa päästää. (Kunnossapito, n.d.-i)

Nykyaikainen liikuteltava värähtelymittari sisältää helppokäyttöisiä ominaisuuksia kohteen kunnonmääritykselle. Ilman asentajan erityisosaamista laitteen käyttöjärjestelmään sisällytetyn analytiikan avulla se voi esimerkiksi ilmaista yksinkertaisen indikaation avulla laakerin toimintakunnon. Nykyaikaisen mittarin avulla voidaan suorittaa helposti ennakkohuoltokierroksia ja ottaa koneiden tuottamia värähtelyitä ylös yrityksen kunnossapidon suunnittelun seurantaan. Värähtelymittarit ovat korvaamassa aiemmin teollisuudessa käytetyt värähtelykynät, joilla saatiin mitattua värähtelyt, mutta värähtelyjen

analysointi vaati aina erityisosaamista. Liikuteltava värähtelymittari soveltuu laajasti teollisuuden kunnossapitoon, sillä se sisältää mahdollisuuden pumpujen, vaihteistoiden ja koneenosien analysointiin. (Yleiselektronikka, n.d.)

2.4 Kunnonvalvonnan lämpötilamittaukset

Kunnonvalvonnan lämpötilamittauksilla mitataan yleisesti erilaisten koneenosien pintalämpötiloja. Lämpötilamittaukset voi olla toteutettu kiinteiden anturien avulla tai niitä voidaan suorittaa liikkuvana lämpökuvauksena, jolloin henkilö liikkuu lämpökameran kanssa ennalta määritetyssä toimintaympäristössä. Teollisuudessa yleisesti käytössä olevat kamerat ovat infrapunatoimisia. (Kunnossapito, n.d.-j)

Yleensä lämpötilamittaukset ovat helppoja suorittaa, koska ne eivät useassakaan tapauksessa vaadi kohteen varsinaista purkamista. Lämpötilamittauksen avulla voidaan mitata laakereiden lämpötilojen nousua, hydrauliiikan toimintaa ja rakennusten kuntoa. Niiden avulla voi hakea laajalla skaalalla erilaisten nesteiden vuotoa. Tätä nykyä lämpötilamittausten tuottamaa dataa on nopea analysoida paikan päällä, kun eri valmistajat antavat verkon välityksellä helposti tulkittavia dokumentteja komponenteilleen. (Kunnossapito, n.d.-j)

2.5 Kunnonvalvonta & öljyanalyysit

Teollisuudessa voidaan ottaa koneissa käytössä olevista voiteluöljyistä analyysejä, jotka tutkitaan siihen erikoistuneissa laboratorioissa. Näytteistä tehdyillä analyyseillä pystytään tuottamaan tietoa, jolla voidaan havaita esimerkiksi laakerivaurio tai muu mekaaninen kuluma. Teollisuusyritys saa myös arvokasta tietoa öljyjen soveltuvuudesta juuri omaan toimintaympäristöönsä, ja se pystyy tekemään kunnossapidon strategiaan muutoksia uusien tietojen valossa. Öljyanalyysin avulla pystytään täsmentämään juuri yrityksen omaan ympäristöön soveltuva määräaikaishuollon tarve öljyjen osalta, eikä tieto perustu enää arvauksiin vaan yritykselle kohdennettuun dataan. Öljyanalyysien ottamisessa puhtaus on puoli ruokaa, ja huolimattomasti otetulla näytteellä

voidaan saada vääristäviä tuloksia, joilla ryhdytään tarpeettomiin kunnossapitotoimiin. (YTM, n.d.)

2.6 Kunnossapidon varaosalogistiikka

Modernissa kunnossapidossa on yleensä käytössä digitaalinen kunnossapitojärjestelmä, jonka kautta kunnossapidolle tulevat työtilaukset käsitellään. Kunnossapitojärjestelmä on rakennettu niin, että toimintaympäristön laitteet on sijoitettu siihen. Kunnossapidossa työskentelevät henkilöt saavat kunnossapitojärjestelmästä tiedot laitteista, niihin aiemmin tehdyistä muutoksista ja dokumentaatiosta varaosatietoiin matalalla kynnyksellä. Kunnossapitojärjestelmä voi olla itsenäinen toiminto tai integroitu yrityksen toiminnanohjausjärjestelmään. (HUB logistics, n.d.-k; Pinja, n.d.-g)

Nykyaikaisessa teollisuuslaitoksessa ei välttämättä ole kaikille tuotannon toiminoille varajärjestelmiä, ja koneiden on toimittava mutkattomasti, jotta vältetään kalliilta tuotannon keskeytyksiltä. Tästä syystä laitehierarkian on oltava kunnossapitojärjestelmässä ajan tasalla, jotta oikeat varaosat dokumentteineen ovat aina saatavilla ilman riskiä, että ne vanhenisivat käyttökelvottomiksi. Ennakoivilla kunnossapitotoimilla pystytään hallitsemaan varastokapasiteettia, jotta se ei kasvaisi liian suureksi ja sitoisi pääomia varastoon. Tällä on myös merkittävä vaikutus kunnossapitotyön suorittamiselle, kun työlle voidaan varata ennakoivasti resurssit ja varaosat. Yrityksen laitteistolle tehty kriittisyysluokittelu auttaa varaosanimikkeiden hallinnassa, ja monesti riittää vain tärkeimpien varaosien sijaitsemisen yrityksen omalla tontilla. Toissijaisten varaosien saatavuudelle riittää, että pystytään varmistumaan varaosatoimittajan luotettavuudesta ja saamaan osa yrityksen tiloihin esimerkiksi päivän varoajalla. (HUB logistics, n.d.-k)

3 KRIITTISYYSANALYYSIT RISKIEN TORJUNNASSA

Suomessa prosessiteollisuutta harjoittavalla yrityksellä on oltava turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukesin mukaan pöytäkirjattu toimintamalli prosessiturvallisuudessa olevien merkittävien kriittisten laitteiden identifiointia varten. Tukesin tehtävänä on valvoa, että teollisuuden valmisteet, palvelut ja tuotannonprosessit järjestelmineen täyttävät lainsäädännön asettamat edellytykset turvallisuudelle ja kestäväälle toiminnalle. Prosessiteollisuudessa kriittinen laite hyödyntää toimintaansa paljon energiaa tai vaarallisia aineita, jotka voivat vikaantumistilanteessa aiheuttaa vaaraa ihmisille, ympäristölle tai tuotannolle. Kriittisellä laitteella tarkoitetaan myös tapaturmien estämiseen suunniteltua laitetta, kuten höyrykammion varoventtiiliä. (Tukes, n.d.)

Tukes on jo valmiiksi määrittänyt tietyjä merkittäviä prosessilaitteita, jotka vaativat määräaikaistarkastuksia jo lainvalvonnallisesta näkökulmasta. Tukesin määrittämään laitekategoriaan kuuluvat painelaitteet, sähköjärjestelmät, venttiilit, varoventtiilit, tulipalon ilmaistamiseen ja torjuntaan kuuluvat laitteet sekä säiliöt. Laitteiden käytölle asetettuihin edellytyksiin sisällytetään ennakointia mahdollista onnettomuustilannetta varten. Ennakoinnilla tarkoitetaan laitteen olevan turvallisuusmääräyksien mukaisessa todetussa kunnossa. Sen sijainti on tunnistettava tuotantolaitoksen prosessien ketjussa määrittäen laitteen asema kokonaiskuvassa ja onnettomuustilanteessa. Tällä vältetään ketjureaktio, jossa kriittiset painelaitteet sijaitsevat liian lähellä toisiaan ja muodostavat vaaran ihmisille, laitoksen tuotannolle ja ympäristölle. (Tukes, n.d.)

Kriittisyydellä kuvataan teollisen ympäristön aiheuttamien vaaratekijöiden vaikutusta yrityksen toiminnalle. Kriittisyysanalyysien avulla teollisuudessa dokumentoidaan standardien mukaisille pohjille yrityksen tuotantoon liittyvien koneiden, laitteiden ja tuotantoympäristön vaaratekijät. Kohteen kriittisyys määritellään turvallisuuden, aineellisten vahinkojen ja tuotantohäiriöiden ympärille. (PSK 6800:2008, 2008, s. 2)

Tukesin ohjeistuksen mukaisesti kunnossapitoyhdistyksen PSK6800 standardi ei toimintamallina riitä ainoastaan prosessiteollisuuden kriittisiä laitteita varten, vaan on käytettävä myös muita prosessiriskianalyysejä, kuten LOPA ja HAZOP analysointimenetelmiä. (Tukes, n.d.)

3.1 PSK6800

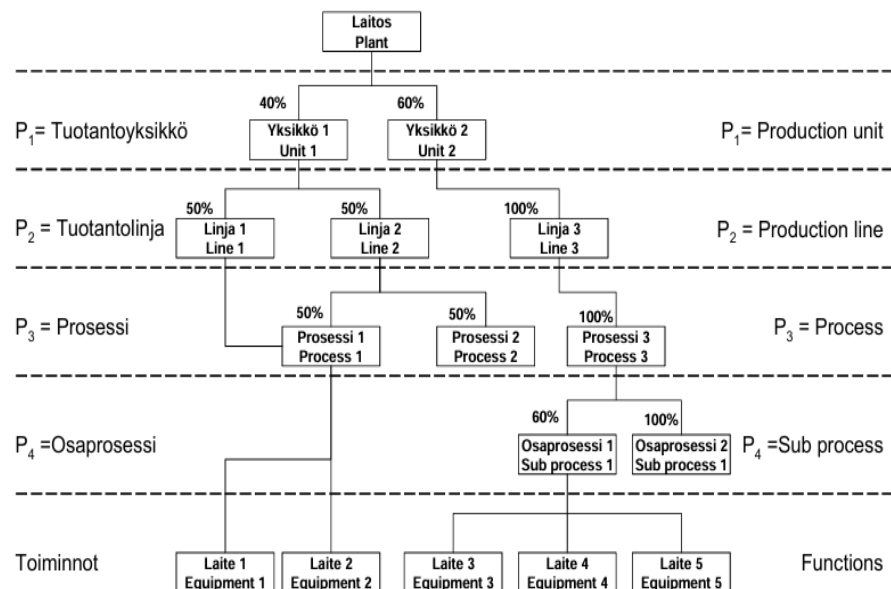
Teollisuudessa käytetään paljon kriittisyysanalyysia, joka pohjautuu PSK yhdistyksen julkaisemaan PSK6800 standardiin. Kriittisyysanalyysin avulla yritys voi valita ne kunnossapidolliset toimenpiteet, joilla se toteuttaa liiketoimintasuunnitelmaansa. Analyysin avulla yritys pitää tuotantoketjunsä suunnitelmien mukaisessa toimintakunnossa taaten ihmisille, tuotantoympäristölle ja laitoksesta tuotteena ulos menevälle hyödykkeelle parhaat mahdollisuudet kestävään ja turvalliseen toimintaan. Standardin mukaisesti tehty kriittisyysanalyysi rakentuu kolminaisuudelle, joihin kuuluvat tuotanto, turvallisuus ja ympäristö. Laitte muodostaa riskin, jos se ei täytä edellä mainitun kolminaisuuden ketjun ehtoja vaaditusti. (PSK 6800:2008, 2008, s. 2)

Analyysi laaditaan määrittämällä kriittisyystutkimuksen mittasuhteet. Mittasuhteiden määrittämisen jälkeen käytetään PSK6800 standardin taulukkoa 1, jossa määritetään laitetasen kriittisyyden tekijät eri painoarvoilla ja luvuilla. Standardin ohjeistuksen mukaan tarkastellaan, soveltuvatko standardin painoarvot yrityksen toiminnalle, ja jos ne eivät sovellu niin standardin mukaan niitä voidaan kohdentaa yrityksen toimintaan. (PSK 6800:2008, 2008, s. 2–3)

Standardin ohjeistuksen myötä ensimmäiseksi lasketaan tuotannon menetyskerroin W_p skaalalla 0–100. Painoarvoltaan 100 ja sitä lähellä oleva W_p luku laitetta kohti merkitsee sen olevan äärimmäisen tärkeä koko tuotantolaitokselle. Tuotantolaitos merkitsee aina täyttä painoarvoa. W_p luku lasketaan alla olevan kaavan 1 mukaisesti. (PSK 6800:2008, 2008, s. 3)

$$W_p = P_4 \cdot P_3 \cdot P_2 \cdot P_1 \quad (1)$$

P_4 luku merkitsee osaprosessin painoarvoa. Se on kertoimeltaan täydet sata prosenttia, mikäli se pysäyttää koko tuotannon tai laitoksen toiminnan. P_3 luvulla tarkoitetaan kokonaisen prosessin painoarvoa. Siinä loogisesti toisiaan seuraavat toiminnot muodostavat täyden sadan prosentin painoarvon, kun vierekkäiset prosessit ovat viidenkymmenen prosentin painoarvolla. P_2 luku merkitsee tuotantolinjaa, jonka määrittys voi olla taloudellinen tai tuotannollinen näkökulma. Kokonaisuudessaan sen painoarvo on standardin mukaan sata prosenttia. P_1 luku merkitsee tuotantoyksikön painoarvoa, joka on ainoalla tuotantoyksiköllä sata prosenttia, mutta esimerkiksi neljällä tuotantoyksiköllä kaksikymmentäviisi prosenttia per yksikkö. (PSK 6800:2008, 2008, s. 5–6)



Kuva 4. Tuotannon vaikutuskertoimet. (PSK 6800:2008, 2008, s. 5)

Tuotannon menetyksen painoarvon laskemisen ja painoarvojen kriittisyysanalyysin kohteena olevan laitoksen määrittelyjen jälkeen taulukoidaan analysoitavana olevat laitteet. Standardissa PSK6800 on taulukko 1, jonka mukaan valitaan laskentaa varten kertoimet. Laskennan jälkeen laitteet kriittisyysluokitellaan suuremmasta kriittisyysindeksi K arvosta pienimpään K arvoon. (PSK 6800:2008, 2008, s. 7)

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 osaprosesseille 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)		
	$M_r = 2$	Kesinkertaiset 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)		

Kuva 5. Laitetason kriittisyyden tekijät. (PSK 6800:2008, 2008, s. 7)

Analysoinnin kohteena olevien laitteiden ja painoarvojen taulukoinnin jälkeen on aika valita kriittisyyden tekijöille kertoimet standardin taulukosta 1 laitetason kriittisyyden tekijät. Tärkein analyysin kerroin K kriittisyysindeksi lasketaan standardissa kaavan (2) mukaisesti. (PSK 6800:2008, 2008, s. 7)

$$K = p \cdot (W_s \cdot M_s + W_e \cdot M_e + W_p \cdot M_p + W_q \cdot M_q + W_r \cdot M_r) \quad (2)$$

Laskennassa lasketaan myös viisi kriittisyyden osaindeksiä, jotka muodostavat kokonaisindeksin kriittisyydelle. Turvallisuuden osalta K_s indeksi lasketaan kaavan (3) mukaan. K_e indeksillä tarkoitetaan ympäristöä koskevaa laskentaa, joka kattaa teollisuusympäristöön ja sen ulkopuolisiin alueisiin kohdistuvan uhan. K_e indeksi lasketaan kaavan (4) mukaan. K_p indeksillä tarkoitetaan äkillisestä tuotannon katkeamisesta johtuvaa häiriötä, ja se lasketaan kaavan (5)

mukaan. K_q indeksi tarkoittaa arvoa tuotteen laadulle. Jos tuotteen laatu on tarkoituksen mukaista heikompaa, niin se ilmaistaan korkealla K_q arvolla. K_q indeksi lasketaan kaavan (6) mukaan. K_r arvolla tarkoitetaan suunnittelemattomia korjauskustannuksia, jotka hidastavat tai pahimmillaan pysäyttävät tuotannon. K_r osaindeksi huomioidaan taloudellisen menetyksen näkökulmasta. K_r arvo lasketaan kaavan (7) mukaan.

$$K_s = p \cdot (W_s \cdot M_s) \quad (3)$$

$$K_e = p \cdot (W_e \cdot M_e) \quad (4)$$

$$K_p = p \cdot (W_p \cdot M_p) \quad (5)$$

$$K_q = p \cdot (W_q \cdot M_q) \quad (6)$$

$$K_r = p \cdot (W_r \cdot M_r) \quad (7)$$

PSK6800 standardi sisältää muutaman esimerkkitaulukon, jotka on tehty paperiteollisuuden näkökulmasta. Alla olevassa kuvassa on puhdistamon kriittisyysluokittelussa kriittisimmän laitteen indeksin saanut lietekourun kaavain, joka sijaitsee ensimmäisellä selkeytysaltaalla. Lasketaan standardin kaavoilla (1)-(7) luvut auki numeerisilla arvoilla, jotta lukijan on helpompi päästä asiaan kiinni. Esimerkkilaskenta lähtee arvosta K , jonka jälkeen lasketaan osaindeksit taulukon mukaisessa loogisessa järjestyksessä K_s - K_q . Laskennasta huomataan jo kaavojakin (1)-(7) tarkasteltaessa, että kaava (2) muodostama kokonaisuus voidaan eritellä osaindeksien kaavoilla (3)-(7), jotka muodostavat summan kokonaisluvulle K . (PSK 6800:2008, 2008, s. 9–11)

- $K = 2 \cdot (30 \cdot 2 + 20 \cdot 8 + 100 \cdot 4 + 30 \cdot 2 + 20 \cdot 3) = 1480$
- $K_s = 2 \cdot (30 \cdot 2) = 120$
- $K_e = 2 \cdot (20 \cdot 8) = 320$
- $K_p = 2 \cdot (100 \cdot 4) = 800$
- $K_q = 2 \cdot (30 \cdot 2) = 120$
- $K_r = 2 \cdot (20 \cdot 3) = 120$

Taulukko 2 Puhdistamon kriittisyysluokittelu

		Laitos Paperiteollisuus		Kriittisyysluokittelun kohde Vedenpuhdistamo		Tekijät		Versio		Päiväys		3.3.2008		Kriittisyyden raja-arvo		400		100	
Toimintopaikan tunniste	Toimintopaikan nimitys	Vikaantumisväli (1...8)	Turvallisuus (0...16)	Ympäristö 0...16	Tuotannonmenetykset (0...4)	Lopputuotteen laatu- ja kustannus (0...4)	Korjauskustannus (0...4)	Kriittisyysindeksi	Kriittisyyden osaindeksit										
		Painoarvot W -->	30	20	100	30	20		K	Ks	Ke	Kp	Kq	Kr					
KO-6878	LIETEKOURUN KAAVIN SELKEYTYSALLAS 1	2	2	8	4	2	3	1480	120	320	800	120	120						

Kuva 6. Kriittisin laite PSK6800 standardin mukaisesta puhdistamon kriittisyysluokittelun taulukosta, jolle suoritetaan yllä numeerinen laskenta. (PSK 6800:2008, 2008, s. 13)

3.2 HAZOP

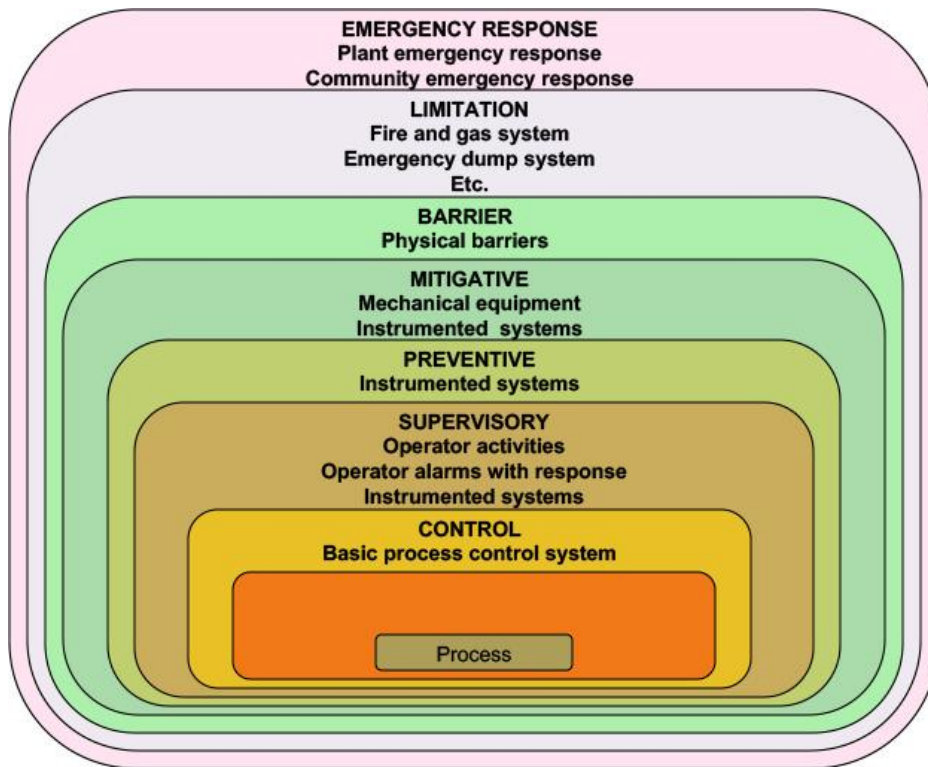
HAZOP on lyhenne englanninkielisestä termistä Hazard and Operability Study, joka suomeksi tarkoittaa poikkeamatarkastelua. HAZOP poikkeamatarkastelulla identifioidaan prosessin vaaroja systemaattisella tavalla. Poikkeama tarkoittaa tapahtumaa normaalin kehityskulun ulkopuolella, joka poikkeaa teollisessa prosessissa halutun toiminnon ulkopuolelle. Poikkeamatarkastelua voidaan käyttää mm. vaarallisiin aineisiin, laitoksen tuottamien hyödykkeiden tai henkilöiden uhkatekijöiden prosesseihin liittyvään arviointiin. Henkilöiden osalta on huomioitava, että kovinkaan yksityiskohtaista tietoa näiden töihin liittyvistä erityispiirteistä ei saada (Liikennevirasto, 2011, s.8–9)

HAZOP poikkeamatarkastelu suoritetaan usein isoissa tiimeissä, jotka lohkovat laitoksen pienempiin segmentteihin, joita käsitellään loogisesti prosessi- ja instrumentointikaavioita hyödyntäen. Menetelmällä saadaan teollisuudessa erityisesti tuotettua täsmennettyä tietoa prosessilaitoksen laitteista ja toimintaympäristöstä. HAZOP poikkeamatarkastelun suorittamisessa merkittävää on tiimin asiantuntemus. Ryhmää johtaa pitkän työkokemuksen omaava teollisuuden asiantuntija. (Liikennevirasto, 2011, s.5–9)

3.3 LOPA

LOPA menetelmän lyhenne tulee englanninkielisistä sanoista Layer Of Protection Analysis. Se perustuu yksiselitteiseen tietoon teollisuuden riskien arvioinnista. LOPA analyysissä poimitaan ennalta määritetyt tapahtumien muodostamat poikkeamat, jotka eivät ole haluttuja prosessin kannalta. LOPA menetelmä on usein jatkomenetelmä HAZOP poikkeamatarkastelulle tai riskien havainnointiin tehdyille matriisitarkastelulle, koska näillä päästään kiinni riskeihin, ja LOPA:n avulla muodostetaan toimintamallit, joilla riskeiltä suojaudutaan. LOPA tuottaa syvän tietämyksen riskeiltä suojautumisesta, eikä se käsitä vain paloilmaisimen asennusta paikkaan X. Paikkaan pureudutaan tarkemmin arvioinnin kautta, joka käsittää syvemmillä tasolla koko prosessiketjun määrittämisen. (Sigma-Hse, n.d.)

LOPA tarkastelulla tuotetaan toimet, jotka suojaavat poikkeamalta, mutta eivät ole suoranaissessa yhteydessä toisiinsa. Toimilla tarkoitetaan esimerkiksi operaattorin havaitsemaa tulipaloa, josta hän ilmoittaa hätäkeskukseen. Tulipalon ovat todennäköiset havainneet automaattiset palontorjuntajärjestelmät, jotka ovat ilmoittaneet palosta hätäkeskukselle automaatiojärjestelmän mahdollistaman savun havaitsemistekniikan myötä. Laitoksessa saattaa olla vielä erillinen sammutusjärjestelmä, joka käyttää omaa tekniikkaansa palolta suojautumiseen. Nämä kaikki segmentit ovat toisistaan erillisiä, ja ne pyrkivät estämään saman poikkeaman. Segmenttejä tarvitsee olla niin monta, että riski voidaan minimoida olemattomaksi. Yksinkertaisena esimerkkinä voidaan käyttää auton jarrujärjestelmää. Toisen piirin vaurioituessa toinen piiri pysyy kunnossa, ja jarrut toimivat ristiin mahdollistaen hetkellisen jarruttamisen ennen korjausta. Vakiosegmenttejä tarkastelussa ovat mm. hälytykset, erilaiset turvajärjestelmät, kuten sammutuslaitteisto ja hätäsulkuventtiilit, konkreettiset riskien leviämistä estävät objektit, kuten imeytyskentät tai paloesteet ja toimintaympäristössä työskentelevät henkilöt. (Sigma-Hse, n.d.)



Kuva 7. LOPA analyysi perustuu toisistaan irrallaan oleviin segmentteihin, joilla riski neutralisoidaan. (PrimaTech, n.d.)

4 VIKA- JA VAIKUTUSANALYYSI FMEA & FMECA

Teollisessa tuotannossa kilpailu on lisääntynyt ja liikevoitot prosessin tuottamaa tuotetta varten ovat vähentyneet. Prosesseille on haluttu varmistaa suunnitellun mukainen käyttö, josta on loogisella menetelmällä rajattu jo prosessia luodessa mahdolliset vikaantumiset syysseurausketjuineen. Failure mode and Effects analysis (FMEA) vika- ja vaikutusanalyysi on kehitetty tätä tarkoitusta varten. Failure mode, effects and critically analysis (FMECA) on FMEA:n iso-veli, jolla suoritetaan vika- ja vaikutusanalyysi, mutta C kirjain tuo tässä olevan oleellisen muutoksen eli kriittisyysarvionnin. Molemmat sovellutukset perustuvat ratkaisemiskeskeisyyteen, jolla havainnoidaan, ratkaistaan ja täsmennetään vikatilojen vaikutukset teolliseen tuotantoon. (Oppia, n.d.; Visure, n.d.)

FMEA ja FMECA prosessi lähtee liikkeelle perusteellisesta vikojen tunnistamisesta ja lajittelusta. Vikatila voi olla mekaaninen laakerin vaurioituminen tai vaikkapa sähköinen vikatila automaatiojärjestelmään liittyen, jolloin logiikka ei vastaa haluttuihin askeltoimintoihin ja pysäyttää prosessin. Vikaantumistilojen luokittelun jälkeen analysoidaan niiden vaikutukset prosessiin. Vaikutusanalysoinnilla saadaan selville vikaantumistilojen vaikutus koko prosessiin. Esimerkiksi yhden sokerilingon vaurioituessa sokeritehtaan käsittelykyky valkosokerin tuottamisessa rajallistuu, eikä tehdasta voida käyttää enää samaa vauhtia kuin normaalissa prosessitilanteessa. Vika- ja vaikutusanalyysillä saadaan kartoitettua mahdollisia puskureita, joita voitaisiin kutsua yksinkertaisen esimerkin avulla esimerkiksi paineentasaussäiliöiksi, jolloin vesipumpun ei tarvitse käydä epätasaisesti, ja järjestelmässä saadaan pidettyä haluttu paine systemaattisella järjestelmällä. (Visure, n.d.)

Edellisiin kappaleisiin viitaten FMEA ja FMECA ovat kuin veljeksiä, johon FMECA lisää kriittisyysanalyysin. Alla olevissa kappaleissa käsitellään analyysin tekemistä FMECA:n näkökulmasta. Huomioitavaa on, että menetelmiä ei ole virallisesti standardoitu, vaan ne tarjoavat mukautettavissa olevan analysointimallin erilaisiin yrityksiin ja kevennetyihin toimintamalleihin. (Visure, n.d.)

4.1 FMECAN suorittaminen

FMECA pohjaisen vika, vaikutus ja kriittisyysanalyysin suorittaminen lähtee tiimin kokoamisesta, johon kuuluu tuotantoon liittyviä eri tasolla työskenteleviä henkilöitä. He voivat olla kenttätöön, tuotannonjohdon, suunnittelun ja turvallisuusaspektien ammattilaisia. Tärkeää on, että analyysiin tulee kattavaa asiantuntemusta, eikä sitä tehdä vain yhden henkilön voimin. Tiimin ollessa kokoonpanoltaan vajavainen analyysi jää helposti puutteelliseksi, eikä kaikkia sen ketjuja ole tehty oikein.

Analyysia suoritettaessa lähdetään liikkeelle erottelemalla laitteiden riskit, joissa aiemman kappaleen mukainen asiantuntemus korostuu. Mekaaninen suunnittelija ei välttämättä erota automaatiojärjestelmien toiminnoissa ilmentyviä vikoja, joissa tarvitaan taas sähkö- ja automaatioalan asiantuntemusta. Laitteita käyttävä henkilöstö pystyy parhaiten havainnoimaan laitteiden käytössä ilmentyviä poikkeamia, joita voivat olla mm. suojusten puuttuminen, hankala järjestelmä tai huono työergonomia.

Laitteiden riskien identifioinnin jälkeen tiimi arvioi laitekohtaisesti vikaantumiset ja niiden muodostamat ketjut. Vanhemmalle laitekannalle analyysia tehtäessä huomioidaan niiden nykyiset vikaantumisen estojärjestelmät. Karrikoidusti vikaantumisketjua voidaan havainnollistaa yksinkertaisella esimerkillä: polkupyörästä renkaan räjähtäessä siitä voi vaurioitua vanne, joka taas voi aiheuttaa pintojen ja akselin vaurioitumisen. Vaurioituessaan akseli voi vahingoittaa runkoa ja rattaita tehden polkupyörästä korjauskelvottoman. Tärkeimpänä asiana polkupyörää koskevassa esimerkissä on henkilöturvallisuus. Vaikka rengasrikko ei aiheuttaisi itse laitteelle oleellisia vahinkoja renkaan korjaustarvetta lukuun ottamatta, voi polkupyöräilijä kaatua ja loukata itseään pahasti. Tätä ketjua varten polkupyöräilijän olisi toivottavaa suojata itsensä kypärällä ja muilla suojaimilla, sekä tarkistaa polkupyörä systemaattisesti ennen käyttöä.

Laitteiden riskien ja vikaantumisten jälkeen on aika priorisoida vikaantumisketjut. FMEA ja FMECA analyyseissä priorisointi suoritetaan laskemalla erityinen

RPN-luku, jonka kasvaessa laitteen tuotannolle, henkilöstölle ja ympäristölle aiheuttama uhka kasvaa. RPN luku lasketaan molemmissa analyyseissä samalla tavalla yksinkertaisella kaavan (8) mukaisella laskennalla. Englanniksi kaavan termit ovat Severity (S), Occurrence (O) ja Detection (D).

$$\text{Vaikutus (V)} \cdot \text{Esiintyvyys (E)} \cdot \text{Havaittavuus (H)} \quad (8)$$

Item	Function	Failure	Effect	S	Cause	O	D	RPN
Battery	Provide adequate relay voltage	Fails to provide adequate power	System fails to operate	8	Battery plates are shorted	5	1	40

Kuva 8. HBK yksinkertainen esimerkki RPN luvun laskennasta. (HBK, n.d.)

Yllä olevan kuvan 8 mukaan RPN luku on muodostettu akulle, jonka tehtävänä on antaa virtaa sähköjärjestelmälle. Alla olevassa kaavassa (9) hyödynnetään kaavaa (8) ja lasketaan RPN luku HBK esimerkille. RPN laskennan jälkeen voidaan käyttää FMECAN kriittisyysanalyysia, jolla päästään diagnosoimaan tarkemmin syyseuraus suhteita, joissa pyritään asiantuntevan tiimin avulla koostamaan kaikki vikaantumisketjut systemaattisesti. Ketjuille voidaan aina laskea uusi RPN luku, jonka avulla FMECA analyysia saadaan tarkemmaksi, mutta kannattaa huomioida, että analyysi voi olla hyvinkin aikaa vievä.

$$RPN = S \cdot O \cdot D = 8 \cdot 5 \cdot 1 = 40 \quad (9)$$

Sähköjärjestelmän lamauttavana vikana akku ei johda virtaa, jolloin järjestelmäkään ei toimi (kuva 8). Tässä esimerkin analyysissa akku on oikosulussa, eikä siksi toimi suunnitellusti. Vakavuus HBK esimerkissä on kahdeksan, koska akun ollessa vaurioitunut ei sitä virtalähteenäkään käytävä järjestelmä luontaisesti toimi. (HBK, n.d.)

Seuraavaksi käsitellään esiintyvyyttä. Akun vaurioituminen voi johtua esimerkiksi käyttäjän tietämättömyydestä, jos hän kytkee navat väärinpäin. Se on arvioitu luvulla viisi, joka on alhainen. Luku voi esimerkiksi muotoutua siitä, että käyttäjä ei ole riittävän ammattitaitoinen tai lue ohjeistusta. Toki tässä on

varmasti otettu huomioon akun sisäisen oikosulun mahdollisuus, joka voi joutua tärinästä tai järjestelmän virtapiirissä tapahtuvan rikkoontumisen takia aiheutuvasta oikosulusta. (HBK, n.d.)

Havaittavuus on arvioitu luvulla yksi, koska järjestelmä ei toimi, ja laitetta käytettäessä sitä ei voi olla havaitsematta. Luvulla kahdeksan voitaisiin havaittavuudessa arvioida lähes mahdottomasti havaittava asia, joka voisi olla tavallisen käyttäjän osalta alkavan oikosulun mahdollisuus vaikeasti sijoitetussa sähköjärjestelmässä, jossa kaikki johtimet eivät ole käyttäjän helposti havaittavissa. (HBK, n.d.)

5 KUNNOSSAPITOSTRATEGIAT TPM & RCM

TPM eli tuottava kunnossapito (Total Productive Maintenance) tarkoittaa teollisuuslaitoksen kunnossapito-ohjelmaa, jossa asemasta riippumatta kaikki osallistuvat kunnossapidon tehokkuuden parantamiseen. TPM strategiassa laitoksen tuotannolle kriittisesti merkittävät laitteet ovat aina parhaassa mahdollisessa kunnossa, ja koneiden käyttäjien osallistuminen laitteistojen huoltoon on olennaista. Tuottavalla kunnossapidolla kiulu yrityksen sisällä toimivien organisaatioiden välillä kaventuu. Tuottavan kunnossapidon huomattavat vaikutukset ovat työympäristön ja laitteiden siisteys, sekä lisääntynyt korjausten ennakointi käyttäjien ja kunnossapidon yhteistyön lisääntymisen myötä. (Järviö & Lehtiö, 2012, s. 114)

Tuottavan kunnossapitostrategian tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluu luotettavan informaation kerääminen laitoksen laitteistosta. Informaatiota voidaan koostaa nykyaikaisen tekniikan tai organisaatioiden yhteistoiminnan havaintojen perusteella. Käyttäjähavainnot voivat pohjautua ennalta määrätyn huolto-ohjeen noudattamiseen, visuaaliseen havainnointiin ja koneen toiminnan ei-toivottujen muutosten toteamiseen. Tuottavalla kunnossapitostrategialla voidaan laskea suurien kunnossapitotöiden kulut investointeja varten ja edistää laitteiden toimintaa kokonaisvaltaisella yhteistyöllä ennen karille ajautumista, jolloin kone on kunnostamiskelvoton. Tuottavalla kunnossapidolla kunnossapitokustannusten hallinta ja johtaminen on haastavaa, jos korjauskohde on yllättävä. Yllättävä vikaantuminen voi aiheuttaa prosessien virtaamattomuutta tai pysähtymisen. (Järviö & Lehtiö, 2012, s. 143–144)

Luotettavuuskeskeinen kunnossapito strategia (Reliability-Centered Maintenance) pyrkii luomaan huolto-ohjelman laitteiden vikaantumisen ennalta ehkäisemisen, ja tarpeettomien kunnossapitotöiden vähentämisen. RCM perusolemus määrittää, että moottoriveneen moottorin hajotessa sen voi vielä soutea rantaan. Moottorin hajoamista ei ennakoivista toimista huolimatta olisi voitu välttää esimerkiksi karille ajettaessa, mutta airojen puuttuessa äkillistä moottorivauriota ei ole huomioitu. RCM kunnossapitostrategiaa valittaessa on

huomioitava, että alkuperäinen RCM on lentokoneteollisuudelle kehitetty paljon aikaa ja resursseja vievä toimintamalli. Kevyemmästä usein teollisuuteen suunnatusta RCM strategiasta puhutaan SRCM strategiana, joka tarkoittaa tiettyjen laitoksen toimintaketjujen muodostamista olettamina tai aikaisemmin hankittuna tietona. RCM ja SRCM strategia hiotaan aina kohdennetusti, eikä toisen laitoksen strategiaa voi suoraan käyttää kopioimalla. (Järviö & Lehtiö, 2012, s. 159–163)

RCM:n avulla saadaan kohdennettua kunnossapito-organisaation resurssit tuotantolaitoksen toiminnan kannalta tärkeisiin laitteisiin ja toimintaympäristöön. Laitteiden luokittelu on tässäkin strategiassa tärkeää. RCM strategiassa huomioidaan laitoksen toiminnan kannalta toiminnalliset ja toimettomat tekijät. Toiminnallisena tekijänä voi olla vaikkapa ennen pumppua oleva suodatin, jonka tukkeutuessa otetaan viereinen toimettomana oleva varasuodatin käyttöön. Varasuodattimen käyttöönoton jälkeen alkuperäinen suodatin puhdistetaan. Näin tuotannossa tarvittavien laitteiden aktiivisuus ja passiivisuus vaihtelee prosessin sujuvuuden mukaan. Toimintamallina RCM perustuu koulutukseen, luotettavaan tiedon keruuseen ja käsittelyyn. Laitoksen käytön sujuvuuden takia eri tilanteille on oltavissa valmiina olevat dokumentit. Dokumentteista voidaan yllättävän vikaantumisen sattuessa katsoa korjausohjeet vaikka tuotetta siirtävälle ruuvikuljettimelle. (Järviö & Lehtiö, 2012, s. 163–164)

Yrityksen huolto-ohjelmia suunniteltaessa erilaisia kunnossapitostrategioita voidaan yhdistellä, ja saada näin luotua kattava yritysکوhtainen huolto-ohjelma. Yritykset ovat aina ainutlaatuisia, ja niille ei välttämättä löydy suoraa mallia. Orjallinen kunnossapitostrategian läpi ajaminen voi johtaa käyttöönoton hiipumiseen, ja ohjelma todetaan yritykselle sopimattomaksi. Kunnossapidonstrategiaa suunniteltaessa on suositeltavaa käyttää asiantuntijoita, jotka auttavat prosessin suunnittelussa ja sisäänajovaiheessa. Onnistumisen taakkeena voidaan pitää myös sitouttamista uuteen aikakauteen, jos henkilöstöä otetaan mukaan suunnitteluun yrityksen eri rooleista.

5.1 TPM suorittaminen

Tuottavaan kunnossapitoon siirrytään arvioimalla prosessissa käytettävien laitteiden kunto ja kriittisyys esimerkiksi aiemmassa luvussa käsitellyn FMECA:n avulla. Suurimman RPN luvun saanut laite on prioriteetilistan kärjessä, jonka jälkeen laitteen RPN lukua pienentäviä toimia käsitellään. Työ jatkuu järjestyksessä siihen asti, kunnes kohdataan sellainen laite, jonka RPN luvun laskeminen ei tuota enää laitokselle välitöntä hyötyä. Laitteet voidaan myös arvioida tarkastelemalla prosessia ja laitteiden toimintaa menneinä aikoina. Laitteiden toiminta voidaan todeta esimerkiksi aiemmin suoritettujen huoltojen ja käyttäjien arvioinnin perusteella. Arviointien jälkeen laitteille laaditaan suunnitelmat, joilla se palautetaan siihen käyttökuntoon kuin se alkuperäistä investointia tehdessä on ollut. TPM strategiaa luodessa on tärkeää huomioida tiimin kattava osaaminen prosessista ja ymmärtää useampien henkilöiden merkitys muodostaessa kokonaisvaltaista tulevaisuuden toimintamallia. (Järviö & Lehtiö, 2012, s. 143–158)

5.2 RCM suorittaminen

RCM (Luotettavuus keskeinen kunnossapito) tutkii tuotantolaitoksen kaikki tekijät. Tutkimuksessa laitos eriytetään isoksi palapeliksi, jossa jokaisen palan syyseurausketjut tutkitaan tarkasti. Ketjujen tutkimisen jälkeen muodostetaan kunnossapidolliset toimet jokaista palaa eli laitetta kohden. Huomioitavaa on juuri perinteisen RCM:n raskaus, koska pienestäkin laitoksesta voi muodostua tuhansien palojen kokonaisuus, jota ei laiteta yhtenäiseksi kuukausissakaan. Tällöin on hyvä huomioida RCM:n keventämismahdollisuus, niin että muodostetaan strategia juuri arvioinnin kohteena olevaa laitosta varten. (Järviö & Lehtiö, 2012, s. 165–178)

5.2.1 RCM seitsemän kysymystä

RCM:n ytimen muodostavat sitä kehittämässä olleen John Moubrayn mukaan seitsemän kysymystä. Alla olevat kysymykset täytyy aina esittää yksittäisen laitteen kohdalla, kun kokonaista laitosta pilkotaan arvioitaviin osiin. Moubrayn mukaan neljä ensimmäistä kysymystä muodostavat vastauksen mihin osioihin kunnossapitotoimet syvennetään, viides asettaa toimet tärkeysjärjestykseen ja kaksi viimeistä kysymystä antavat vastauksen vikojen syyseuraus ketjun ennakoivaan hallintaan. (Järviö & Lehtiö, 2012, s. 164)

- 1. "Mitkä ovat laitteen toiminnot ja suorituskykystandardit sen tämänhetkisessä toimintaympäristössä?" (Järviö & Lehtiö, 2012, s. 164)
- 2. "Mitä tapahtuu, kun laite rikkoontuu?" (Huomioidaan laitteen rikkoutumisen takia toteutumatta jääneet toiminnot, ja niiden vaikutus turvallisuuteen ja ympäristöön.) (Järviö & Lehtiö, 2012, s. 164)
- 3. "Mikä aiheuttaa kunkin laitteen toiminnon puuttumisen?" (Huomioidaan mikä tapahtuma aiheuttaa toiminnallisen vian, ja mitä siitä seuraa, jos laite ei toiminnon puuttumisen vuoksi täytä toiminnalle asetettuja vaatimuksia.) (Järviö & Lehtiö, 2012, s. 164)
- 4. "Mitä tapahtuu kunkin vikaantumisen yhteydessä?" (Käsitellään yksilöllisesti esim. sähkömoottori ei saa sähkövirtaa, joten se ei pyöri). (Järviö & Lehtiö, 2012, s. 164)
- 5. "Mitä vahinkoja kukin vikaantuminen aiheuttaa?" (Eritellään jokaiselle yksittäiselle vialle) (Järviö & Lehtiö, 2012, s. 164)
- 6. "Mitä voidaan tehdä kunkin vikaantumismallin havaitsemiseksi riittävän ajoissa tai vikaantumisen estämiseksi?" (Vikaantumiset huomataan ennakoita esim. laakerivaurio ei aiheuta sekoittajan akselin vaurioitumista. Sekoittajan akselin vaurioituessa ilman ennakoivaa varatoimintoa aineet saattavat kerrostua) (Järviö & Lehtiö, 2012, s. 164)
- 7. "Mitä tehdään, jos sopivaa ehkäisevää toimenpidettä ei löydy?" (mm. Suunnitellaanko laite uusiksi, voidaanko tietyt vikaantumisketjut sallia?) (Järviö & Lehtiö, 2012, s. 164)

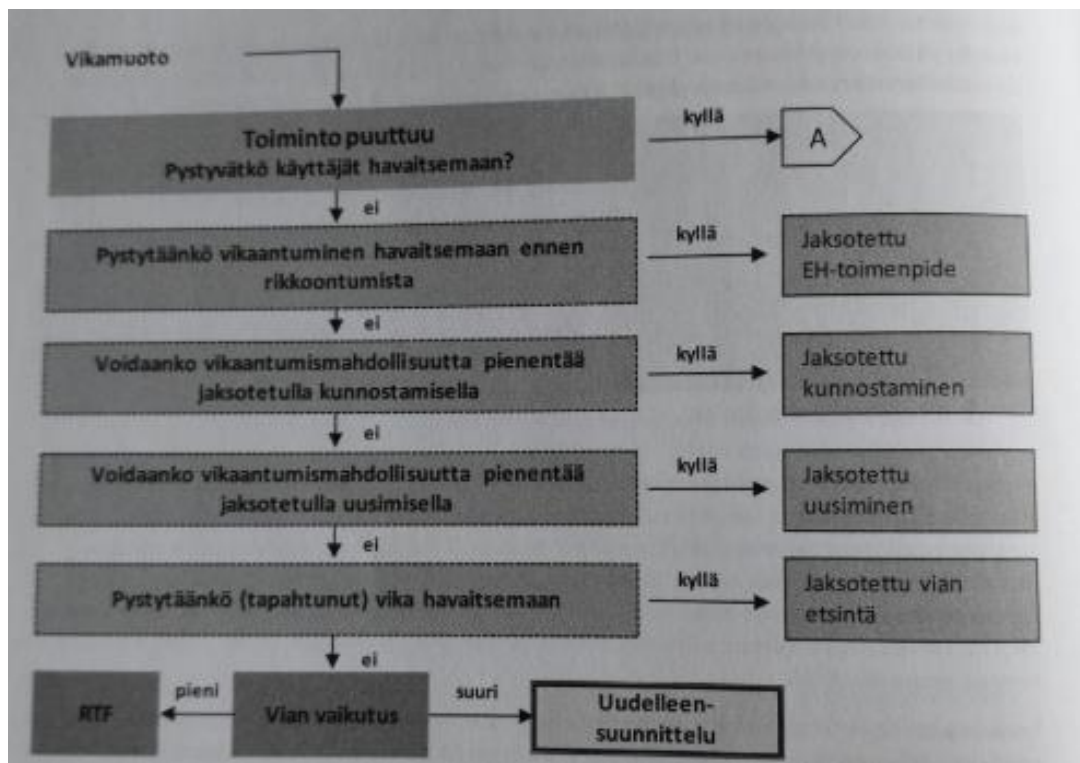
5.2.2 RCM analyysin logiikka yksittäistä laitetta koskien

Laitosta voidaan ajatella jälleen palapelinä, joka pirstotaan useisiin eri paloihin. Yksittäinen pala koskee aina prosessissa olevaa laitetta. Tämä pala otetaan käsittelyyn, jonka jälkeen sen toiminta puretaan pienempiin paloihin. Yksittäiset palat muodostavat laitteelle aina toiminnon, joka lopulta on osana mahdollistamassa laitteen kokonaisvaltaista toimintaa. Toimintaa analysoidaan esimerkiksi vika- vaikutus- ja kriittisyysanalyysi FMECA:n avulla, joka tuottaa tarkemmat syysseuraussuhteet muodostaen kriittisyysluvun RPN. Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysin suorittamisen jälkeen on aika muodostaa vikaantumisille luokitukset. Luokitukset menevät useissa RCM analyysissä A, B & C luokituksilla. A-luokituksella tarkoitetaan turvallisuusriskejä, B-luokituksella ympäristölle aiheutuvia riskejä, C-luokituksella vian vaikutusta tuotantoon. Luokitusten valitsemisen jälkeen suunnitellaan kunnossapitotoimenpide. (Järviö & Lehtiö, 2012, s. 170–173)

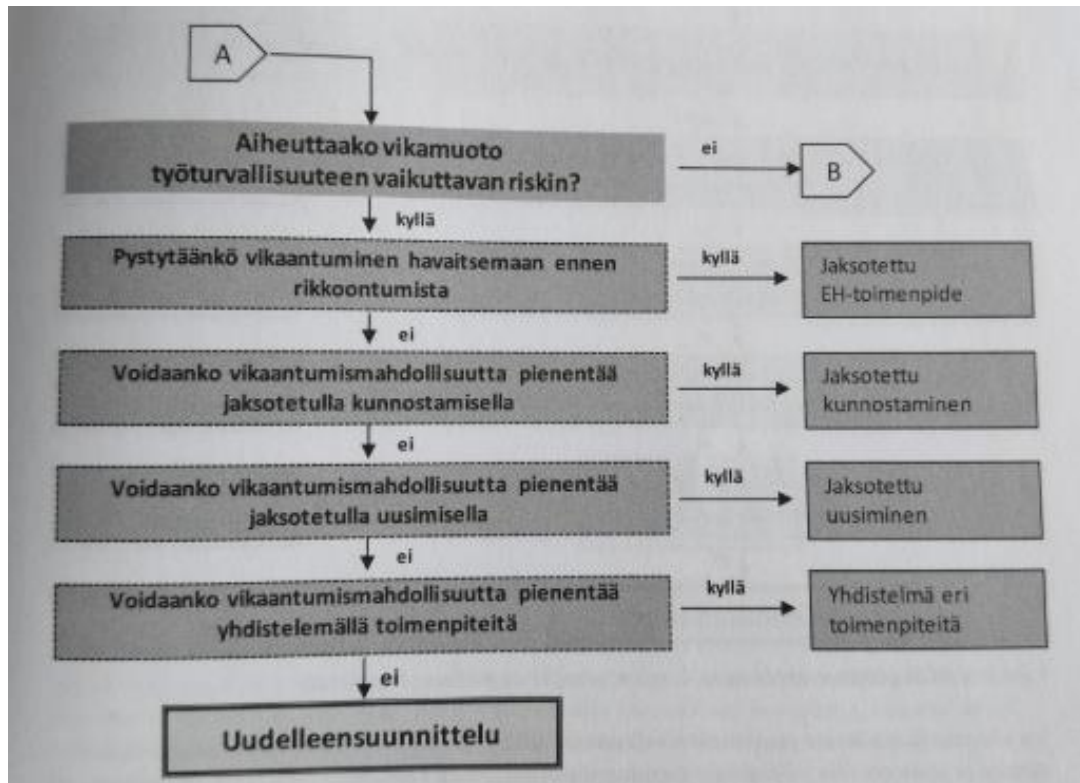
Kunnossapitotoimenpiteet voivat perustua suunniteltuun aikaväliin, laitteen toimintatilaan, toimintatilaa mittaaviin antureihin, laitteen uusimiseen tai modernisoimiseen. Laitteelle voidaan antaa myös mahdollisuus vikaantua, jos se ei ole turvallisuutta, taloutta tai ympäristöä kuormittavaa. Mahdollisuudella vikaantua voitaisiin ajatella vaikkapa pientä vesiputkea, joka tiputtaa vettä vähäisin määrin suoraan lattialle, jossa on kaadot viemäriin. Putkea ei kannata korjata, koska jos se otetaan käytöstä pois, voitaisiin prosessia joutua merkittävästi hidastamaan tai jopa ajamaan alas. Putki voidaan myös väliaikaisesti paikata kumipannan avulla. (Järviö & Lehtiö, 2012, s. 167–168)

Moubrayn RCM mallin lisäksi on olemassa muitakin tulkintoja luotettavuuskeskeisen kunnossapito-ohjelman luomiselle, kuten Anthony Smithin malli. Smithin tulkinnassa laitteisto otetaan käsittelyyn seitsemällä askeleella. Tarkasteluun otettava laite päätetään yleensä aikaisemmin tehdyn kriittisyysanalyysin tulosten perusteella, jonka jälkeen sen mekanismi havainnoidaan esimerkiksi taulukoimalla. Mekanismin havainnoinnin jälkeen laitteen toiminnoista muodostetaan taulukko, johon tulee toiminto ja aina toiminnon estävä vikatilanne. Kullekin vikatilanteelle tehdään vika- ja vaikutusanalyysi, joka käsittää jokaisen

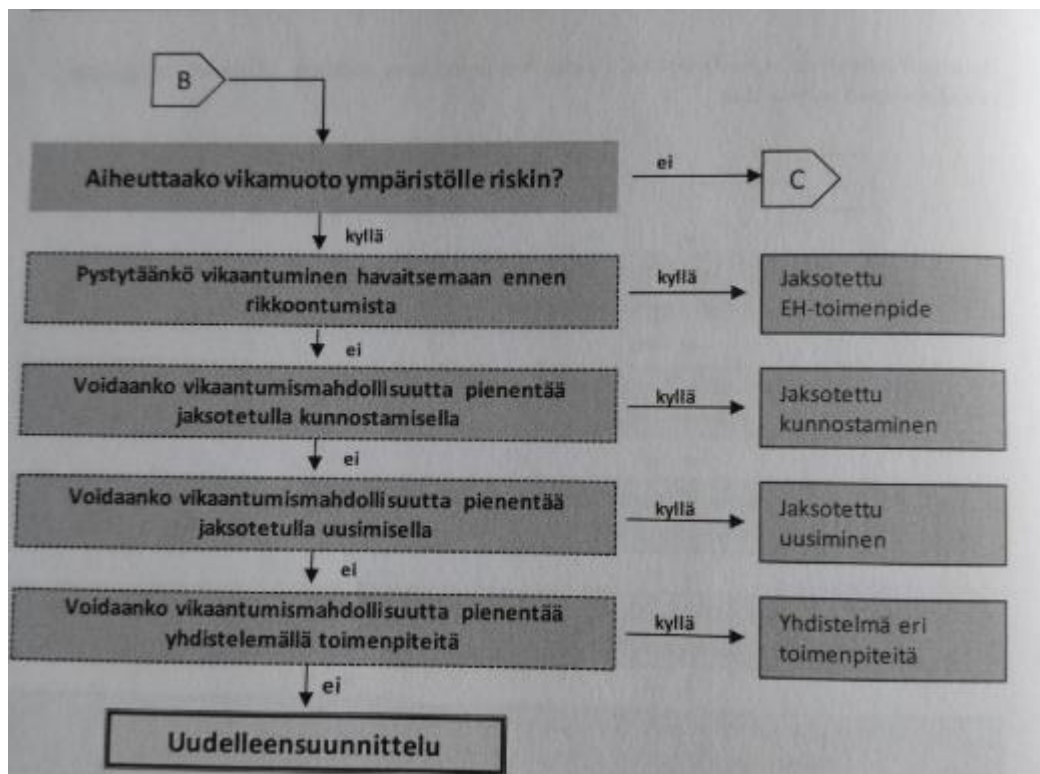
toiminnan syuseuraussuhteet. Vika- ja vaikutusanalyysin perusteella laitteelle Smithin mallissa (kuva 12) valitaan A, B, C tai D-tason vika. Vikaantumislukuisista A kuvaa turvallisuutta vaarantavaa, B kuvaa taloutta vaarantavaa, C vähäisesti yrityksen talouteen vaikuttavaa ja D piilovikaantumista. (Smith & Hinchcliffe, 2004, s. 71–115)



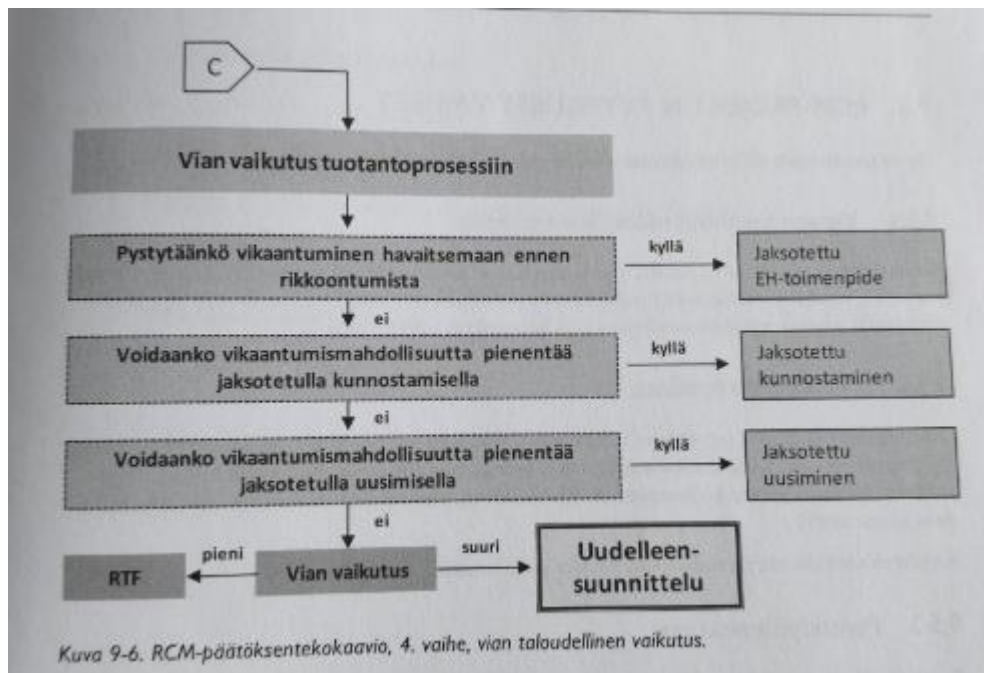
Kuva 8. Ensimmäinen vaihe päätöksen teosta. (Järviö & Lehtiö, 2012, s. 170)



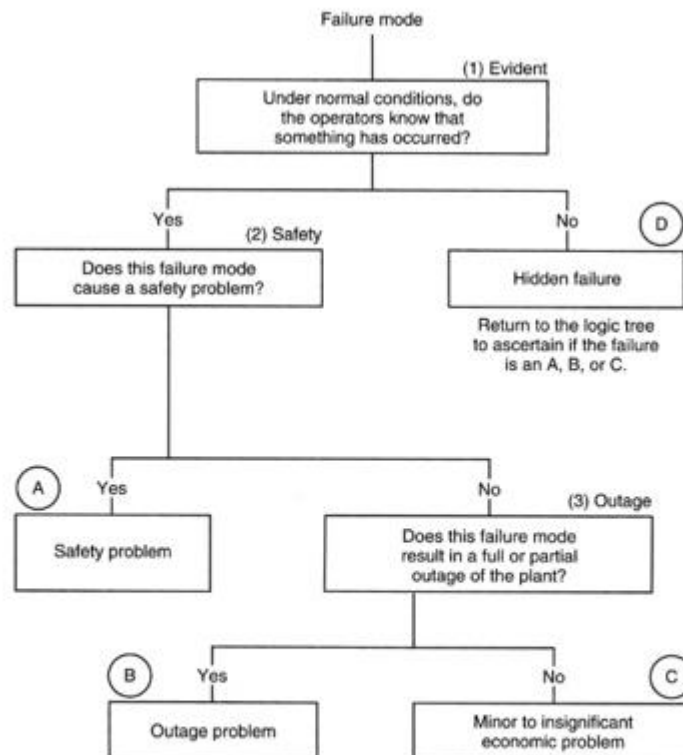
Kuva 9. A-luokan vaihe turvallisuus. (Järviö & Lehtiö, 2012, s. 171)



Kuva 10. B-luokan vaihe eli toimintaympäristö. (Järviö & Lehtiö, 2012, s. 172)



Kuva 11. C-luokan vaihe eli vaikutus talouteen. (Järviö & Lehtiö, 2012, s. 173)



Kuva 12. Smithin mallin vikamuodot. (Smith & Hinchcliffe, 2004, s. 110)

6 VIKA- JA VAIKUTUSANALYYSIN SUORITTAMINEN SOKERILINGOILLE

Toimeksiantajan laitteet ovat jo aikaisemmin kriittisyysluokiteltu PSK6800 standardin mukaisesti. Tässä opinnäytetyössä ei käsitellä toimeksiantajan kriittisyysluokittelua enempää, mutta sen tekemiseen tarvittava teoria on kerrottu luvussa neljä. Tässä työssä tehdään luotettavuuskeskeinen kunnossapito-ohjelma sokerilingoille, jotta niiden huoltotoimenpiteet mahdollistavat sujuvan toiminnan sokeritehtaan käyntikampanjan aikana. Huomattavaa on panos- ja jatkuvatoimisten linkojen samankaltaisuus, joten ne käsitellään RCM-ohjelmassa kahdessa analyysissä. Analyysejä ovat panostoiset A- ja B-lingot ja jatkuvatoimiset B- ja C-lingot. Tässä kappaleessa käsitellään RCM-ohjelmaa, vaikka se on kevennetty teollisuuden tehtävä SRCM-ohjelma. Tuotettavat analyysit mukailevat soveltaen John Moubrayn RCM-mallia.

Tässä opinnäytetyössä luotavat analyysit pyritään tekemään kattavassa tiimissä, jossa on mukana henkilöitä toimeksiantajan eri rooleissa.

6.1 Toimeksiantajan kriittisyysluokittelu

Kriittisyysluokittelussa on 4486 laitetta, jotka on jaoteltu kriittisyydeltään kuvan 13 mukaan A, B & C luokkaan. Toimeksiantajan A-sokerilingot ovat suoranaista tuotetta valmistavia laitteita. Niiden kriittisyysindeksi on 1280. Useamman A-lingon vaurioituminen pysäyttää prosessin, mutta yksittäisen laitteen rikkoontuessa prosessia joudutaan muutaman tunnin kuluessa hidastamaan. Kirjoittajan kokemusten mukaan raaka-aineen ollessa hyvää yksittäisen A-lingon tuotantovauhti on n. 10–12 tonnia per tunti.

	Positio	Laite	Nimi	Vikaantumisväh P	Tunallisuus Ms	Ympäristö Me	Tuotannon menetys Mp 1t	Loppuotteen laatuolosuhteet Ms 3	Korjauskustannus Mr	Kunnossapidettävissä ZL	Varaosavaroitus	Kriittisyysindeksi	Ks	Ke	Kp	Kq	Kr	Kriittisyys Ks=turvallisuus Ke=ympäristökriittisyys Kp=tuotannonmenetyksi Kq=laatu Kr=korjauskriittisyys
47	A	*	X610102 A1-Linko BMA G1750	4	8	0	0	0	2	2	0	1280	960	0	0	0	320	
48	A	*	X610103 A2-Linko BMA G1750	4	8	0	0	0	2	2	0	1280	960	0	0	0	320	
49	A	*	X610104 A3-Linko BMA G1750	4	8	0	0	0	2	2	0	1280	960	0	0	0	320	
50	A	*	X610105 A4-Linko BMA G1750	4	8	0	0	0	2	2	0	1280	960	0	0	0	320	
51	A	*	X610106 A5-Linko BMA G1750	4	8	0	0	0	2	2	0	1280	960	0	0	0	320	
487	B	*	X610346 C3-Linko BMA K3300	1	8	2	0	0	2	2	0	960	240	40	0	0	80	
491	B	*	X610348 C4-Linko BMA K3300	1	8	2	0	0	2	2	0	960	240	40	0	0	80	
1914	B	*	X610202 B1-Linko BMA K2300	1	0	0	0	0	1	1	0	40	0	0	0	0	40	
1916	B	*	X610204 B2-Linko BMA K2300	1	0	0	0	0	1	1	0	40	0	0	0	0	40	
1918	B	*	X610206 B3-Linko BMA K1000	1	0	0	0	0	1	1	0	40	0	0	0	0	40	
1920	B	*	X610210 B4-Linko BMA G1250	1	0	0	0	0	1	1	0	40	0	0	0	0	40	

Kuva 13. Rajattu kuva toimeksiantajan kriittisyysluokittelusta opinnäytetyön aiheena olevia linkoja koskien.

6.2 Toimeksiantajan RCM-pohja

Toimeksiantajalle linkoukseen tuotettava pohja (kuva 13) mukailee John Moubrayn RCM-analyysiä. Toimeksiantajalla oli olemassa vanha pohja, jota kehitin nykyaikaisemmaksi ja helppokäyttöisemmäksi. Uudistetussa analyysissä käytetään ”vaikutus” sarakkeissa kirjainlyhenteitä, joiden tausta selvitetään alla olevissa kappaleissa. Lisäksi rakensin analyysiin riskiprioriteettiluku RPN laskennan. Tuotettavan pohjan olisi tarkoitus tulevaisuudessa palvella toimeksiantajaa muissakin laadittavissa RCM-analyyseissä, ja siitä oli tarkoitus tehdä helppokäyttöinen, jotta analyysijä pystytään tekemään matalalla kynnyksellä. Analyysipohjassa on kolme erillistä sivulehteä, joista ensimmäinen on toiminnallinen malli. Toisella sivulehdellä on varsinainen analyysilomake (kuva 12) ja kolmannella RPN diagrammit (kuva 14). Analyysissä olevalla erillisessä sivulla tarkastellaan RPN-lukua palkkidiagrammeilla. Diagrammien avulla käydään läpi linkojen askeleiden kaikki toiminnalliset viat ja RPN kaikista toiminnallisista vioista panostoimisilla lingoilla arvolla $100 < 1000$ ja jatkuvatoimisilla lingoilla arvolla $90 < 1000$. Kaikista toiminnallisista vioista tarkasteltavaa RPN-lukua voidaan skaalata analyysin kohteen mukaan.

Analyysi noudattaa kronologisesti lingon normaalia sekvenssiä, joka lähtee liikkeelle lingon täyttämisestä jatkuen sokeripitoisen massan pesuun, sokerimassan linkoamiseen, valmiin sokerikiteen purkamiseen ja viimein tyhjentyn lingon pesuun.

Ensimmäisenä toimintona käsitellään lingon täyttämistä, ja sille toiminnallisenä vikana on lingon täyttymättä jättäminen. Täyttymättä jättäminen voi olla seuraus massaventtiin puutteellisesta toiminnasta, jonka aiheuttaa vikaantunut toimilaite. RCM-analyysissä käsiteltävälle koneelle merkitään toimeksiantajan koodi tai laitetunnus, jotka tässä opinnäytetyössä käsitellään kirjaimella X tai merkillä *. Vika vaikuttaa tuotantoon, sillä täyttymättä jäänyt linko on luonnollisestikin pois käytöstä siihen asti, kunnes vika korjataan. Vikatilanne havaitaan, kun jatkuvatoimisen lingon kierrokset eivät nouse tai ne nousevat raja-arvon ylitse antaen järjestelmähälytyksen.

Seuraavaksi arvioidaan vian vaikutukset tuotannolle, laadulle, toimituksille, ympäristölle, kunnossapidon kustannuksille, turvallisuudelle ja vian toistuvuudelle asteikolla A-E, josta arvoa A lähellä olevat kirjaimet merkitsevät vähäistä vaikutusta, kun taas luvut lähellä E merkitsevät kriittistä vaikutusta. Poikkeuksena on toistuvuus, jossa luku E merkitsee ”Ei lainkaan” toistuva vika. Laatu sarakkeessa E merkitsee ohjearvojen ylittymistä suuressa osassa tuotantoa. Ohjearvot laativat aina kampanjakohtaisesti tuotannon vetovastuussa olevat henkilöt, ja niitä voidaan muuttaa kunkin kampanjan aikana useita kertoja, jotta tehdasta pystyttäisiin ajamaan mahdollisimman optimaalisesti.

Vian aiheuttamissa tuotantokustannuksissa A-kirjain merkitsee ei kustannuksellisia vaikutuksia, B-kirjain merkitsee vaikutusten jäävän alle 1000 €, C-kirjain merkitsee vaikutusten olevan 1000–10000 € alueella, D-kirjain merkitsee kustannusten olevan 10000–100000 € vaihtelulla ja E-kirjain merkitsee tuotantokustannusten ylittävän 100000 €.

Vian aiheuttamia laadullisia ongelmia arvioidaan A-E asteikolla, joissa A-kirjain merkitsee ei vaikutusta laatuun, B-kirjain merkitsee vähäistä laadullista vaikutusta, C-kirjain merkitsee pitkäaikaista laatuvaikutusta, D-kirjain merkitsee ohjearvon ylitystä pienessä osassa tuotantoa ja E-kirjain merkitsee ohjearvon ylitystä suuressa osassa tuotantoa.

Vian aiheuttamia toimituksellisia ongelmia arvioidaan A-E asteikolla, joissa A-kirjain merkitsee ei vaikutusta toimituksiin, B-kirjain merkitsee pientä

vaikutusta toimitukseen, C-kirjain merkitsee suurta vaikutusta, joka voidaan kuitenkin hoitaa, D-kirjain merkitsee, että toimituksia ei voida hoitaa sopimusten mukaisesti ja E-kirjain merkitsee toimituksen olevan mahdotonta.

Vian aiheuttamia ympäristöongelmia arvioidaan A-E asteikolla, jossa A-kirjain merkitsee ei ympäristöön liittyviä ongelmia, B-kirjain merkitsee pientä ympäristövaikutusta, joka ei ylitä yritykselle asetettuja raja-arvoja, C-kirjain merkitsee riskiä raja-arvojen ylitykselle pidemmällä ajanjaksolla, D-kirjain merkitsee välitöntä raja-arvojen ylittämistä ja E-kirjain merkitsee vakavaa riskiä ympäristölle.

Vian aiheuttamia kunnossapidonkustannuksia arvioidaan A-E asteikolla, jossa A-kirjain merkitsee ei kunnossapidon kustannuksia, B-kirjain merkitsee kustannusten jäävän alle tuhanteen euroon, C-kirjain merkitsee kustannusten olevan 1000–10000 euron välillä, D-kirjain merkitsee 10000–100000 euron väliä ja E-kirjain merkitsee 100000 euron ylitystä.

Vian aiheuttamia turvallisuusriskejä arvioidaan loukkaantumisriskinä A-E asteikolla, jossa A-kirjain merkitsee ei loukkaantumisriskiä, B-kirjain merkitsee minimaalista loukkaantumisriskiä, C-kirjain merkitsee todennäköistä loukkaantumisriskiä, D-kirjain merkitsee vakavaa loukkaantumista ja E-kirjain merkitsee kuolemaan tai vakavaan vammautumiseen johtavaa riskiä.

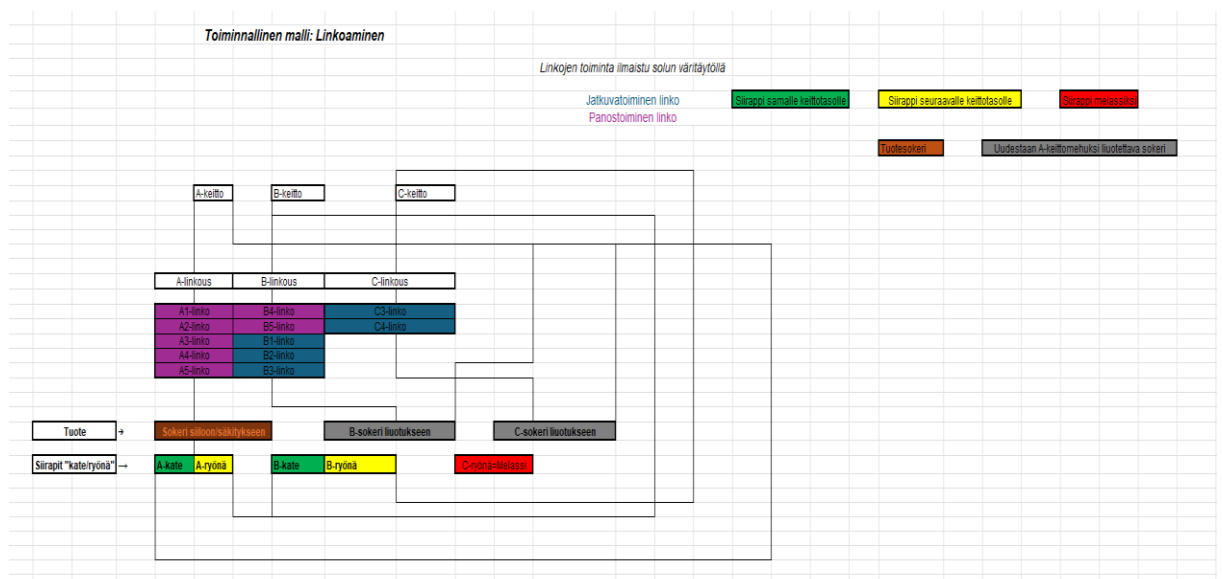
Vian toistuvuutta arvioidaan A-E asteikolla, jossa A-kirjain merkitsee kerran viikossa tapahtuvaa toistoa, B-kirjain merkitsee kuukausittain tapahtuvaa toistoa, C-kirjain merkitsee vakavaa kaksi kertaa vuodessa toistuvaa vikatilannetta, D-kirjain merkitsee kerran kymmenessä vuodessa tapahtuvaa vikaantumista ja E-kirjain merkitsee ei koskaan aiheutuvaa vikaantumista.

Seuraavaksi analyysissä tehdään perinteinen RPN-riskin laskenta, jossa tulon tekijöinä ovat vaikutus·esiintyvyy·havaittavuus. Tuloksena saadaan riskiluku 1–1000 väliltä, jossa luvun kasvu merkitsee huomattavaa riskiä, joka vaatii toimenpiteitä riskiluvun laskemiseksi. Tulon tekijät arvioidaan luvulla 1–10. Vaikutuksessa luku kymmenen merkitsee vian korkeaa vaikutusta linkoaseman

tehokkuuteen ja linkojen käytettävyyteen. Esiintyvyydessä luvulla kymmenen tarkoitetaan korkeaa esiintyvyyttä, jolloin vikaa esiintyy aina, ja se häiritsee konkreettisesti aseman toimintaa. Havaittavuudessa luku yksi tarkoittaa helppoa havaittavuutta, kun taas luku kymmenen merkitsee hankalaa vian havainnointia.

Vaikutusten ja riskien prioriteettiluvun jälkeen analyysissä on sarakkeet suoritettaville kunnossapidon toimenpiteille, vian korjaamiseen tarvittavat resurssit, varaosat toimeksiantajan järjestelmässä, jotka merkitään tässä opinnäytetyössä X-kirjaimella ja vapaavalintaiset huomiot, joita voi olla esimerkiksi muistiin tulevat kehitysehdotukset RCM ryhmän kokoontumisen yhteydessä.

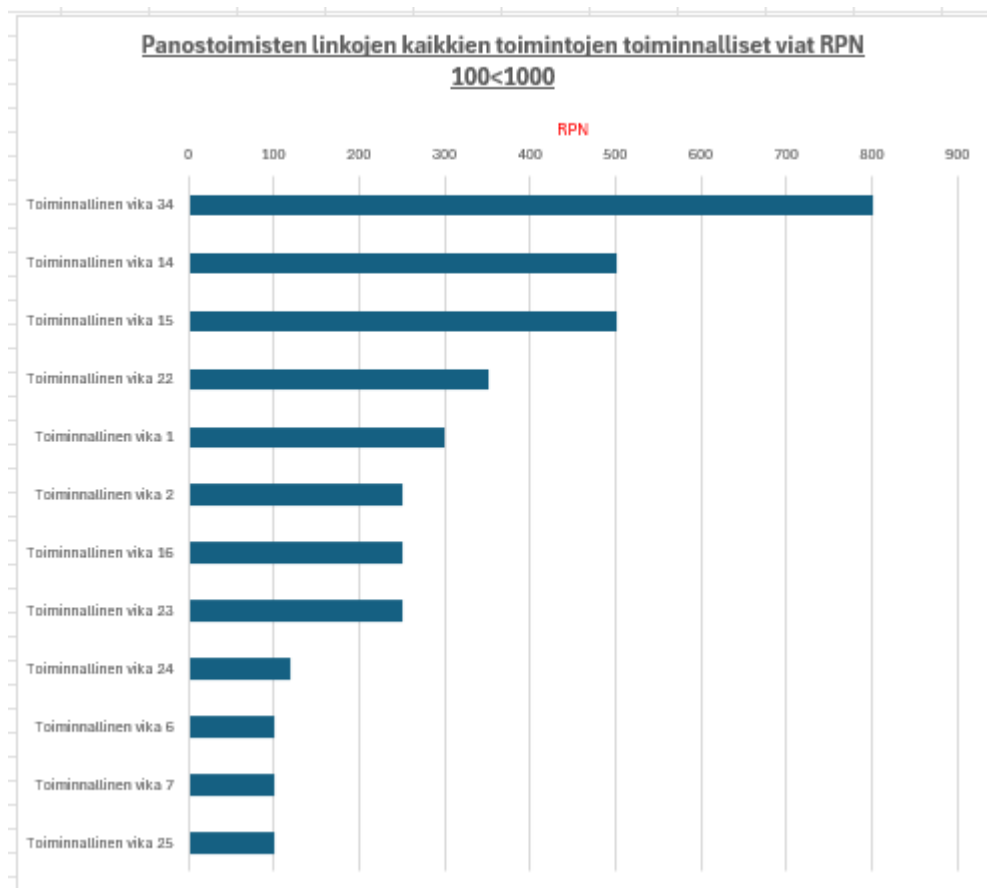
Analyysin excel pohjassa on käytetty huomautukset toimintoa, josta analyysin käyttäjä voi tarkistaa esim. vaikutusten kirjainten A-E merkityksen, RPN analyysin tulon tekijöiden lukujen 1–10 taustat. Lisäksi toiminto, toiminnallinen vika, aiheuttajat, laite ja vaikutuksen tuotantoon otsikoiden alle on laitettu pystytekstillä otsikoiden tarkoitukset, jotta samaa analyysipohjaa olisi tulevaisuudessa mahdollista käyttää muihinkin toimeksiantajan kohteisiin pienellä kynnyksellä.



Kuva 12. Yksinkertainen toiminnallinen malli, jossa linkojen toiminta on ilmaistu väritäytöllä.

Toiminto & vian nro	Toiminnollinen vika	Aiheuttajat	Laite	Aiheuttajat	Vaikutukset tuotantoon	Miten havaittu	Vaikutus	Riskiprioriteetti	Riskilu	Kp-toimenpide	Resurssit	Varaosat	Huom.							
	Mitä kohde tekee & millä suorituskyvyillä?																			
	Mitkä tavalliset toiminnon esytymisen vaikutukset?																			
	Mitkä tapahtumat aiheuttavat toiminnollisen vian?																			
	Laite																			
	Miten vika vaikuttaa tuotantoon?																			
	Miten havaittu?																			
	Tuotantokustannuksien																			
	Tuotantokustannuksien																			
	Komponenttien																			
	Tuotantokustannuksien																			
	Toistavuus																			
	Vaikutus																			
	Esintyyvyys																			
	Havaittavuus																			
	Riski / RPN																			
	Kp-toimenpide																			
	Resurssit																			
	Varaosat																			
	Huom.																			
Panostimiset linkot A1, A2, A3, A4, A5, B4 & B5																				
Toiminto: Linkon täyttäminen																				
Toiminnallinen vika 1	Linko ei täyty	Massa venttiili ei aukea	X	Vika toimilaitteessa	Vikaantunut laite pois käytöstä, kunnes vikallanne selvitetty.	Järjestelmähälytyk	B	A	D	A	B	C	10	5	1	50	Ennakkotarkastus / Vikaantuneissa automaatioasentaja	Operaattori, laitosmies & automaatioasentaja	X	Painelmasaanti

Kuva 13. Toimeksiantajalle muodostettu RCM-analyysi



Kuva 14. Panostimisten kaikkien toimintojen toiminnallisten vikojen 100<1000 RPN-diagrammi.

6.3 RCM-ryhmän kokoontuminen ja analyysin laatiminen

Kun toimeksiantajalle tuleva nykymuotoinen RCM-pohja valmistui, oli aika järjestää ensimmäinen RCM-ryhmän kokoontuminen. Ryhmään kuului kunnossapidon suunnittelija, kunnossapidon työnjohtaja, linkojen huolloista vastaava asentaja (joka toimii käyntikaudella operaattorina linkoasemalla) ja kaksi käyntikaudella linkoasemalla työskentelevää operaattoria.

RCM-ryhmän kokoontuminen aloitettiin PowerPoint esityksellä, jossa kerroin taustaa opinnäytetyöni teoriasta, kunnossapitostrategioista ja luotettavuuskeskeisestä kunnossapidosta. PowerPoint-esityksessä esiteltiin myös tekemääni RCM-analyysi pohjaa, jotta tiimin olisi helppo päästä käytäntöön kiinni. Analyysipohjan laatimisen lisäksi opinnäytetyön tekijä sai vetää lingoille toteutettavien analyysiryhmien kokoontumisia, ja taustalla toimi pitkän kokemuksen omaava kunnossapidon suunnittelusta vastaava henkilö.

Ensimmäisessä kokoontumisessa käsiteltiin panostojen toimintaa ja tiimi laati analyysin niistä. Toisessa kokoontumisessa käsiteltiin jatkuvatoimisia linkoja, jotka ovat toiminnaltaan yksinkertaisempia kuin panostojen linkot. Keskustelu osoittautui todella aktiiviseksi ja innostuneeksi. Tiimiläiset kokivat mielekkääksi tuoda omaksumiaan tietoja analyysiin, jotta kunnossapitoa voidaan kehittää jouhevammaksi. Huomautukset sarakkeeseen saatiin myös uusia kehitysideoita, joilla linkoaseman toimintaa voidaan kehittää paremmaksi. Henkilöt kokivat myös analyysin toimivan eräänlaisena tukimateriaalina uusille operaattoreille, josta he voivat tarkistaa mahdollisten vikatilanteiden syitä, seurauksia ja toimenpiteitä niiden ratkaisemiseksi. RCM-analyysipohja toimi hyvin, oli helposti omaksuttava ja RPN riskiprioriteettiluvun laatimiseen tarvittavien tulon tekijöiden valinnassa näkemykset olivat hyvin samantlaisia.

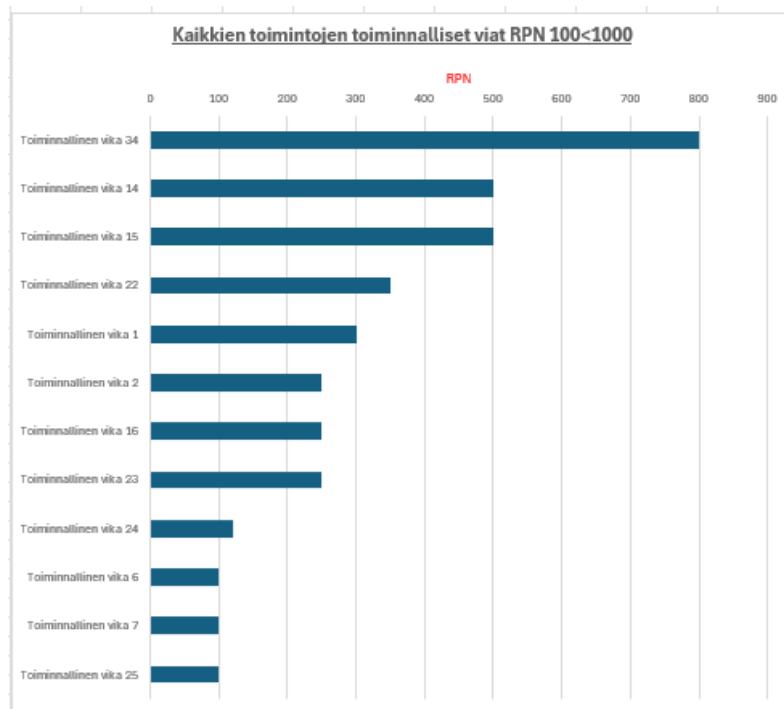
Alla olevissa kappaleissa 6.4 ja 6.5 käydään RCM-analyysiä läpi panostojen- ja jatkuvatoimisten lingoille. Tarkempaan tarkasteluun on otettu rajatulla RPN-luvuilla esiintyvät toiminnalliset viat. Kappaleessa 7 käydään tarkemmin analyysin tuottamien tulosten hyödyntämistä kunnonvalvonnan,

kunnossapidon kehittämisen & varaosalogistiikan näkökulmasta. Varsinaiset analyysit ja palkkidiagrammit ovat tämän opinnäytetyön liiteosuudessa.

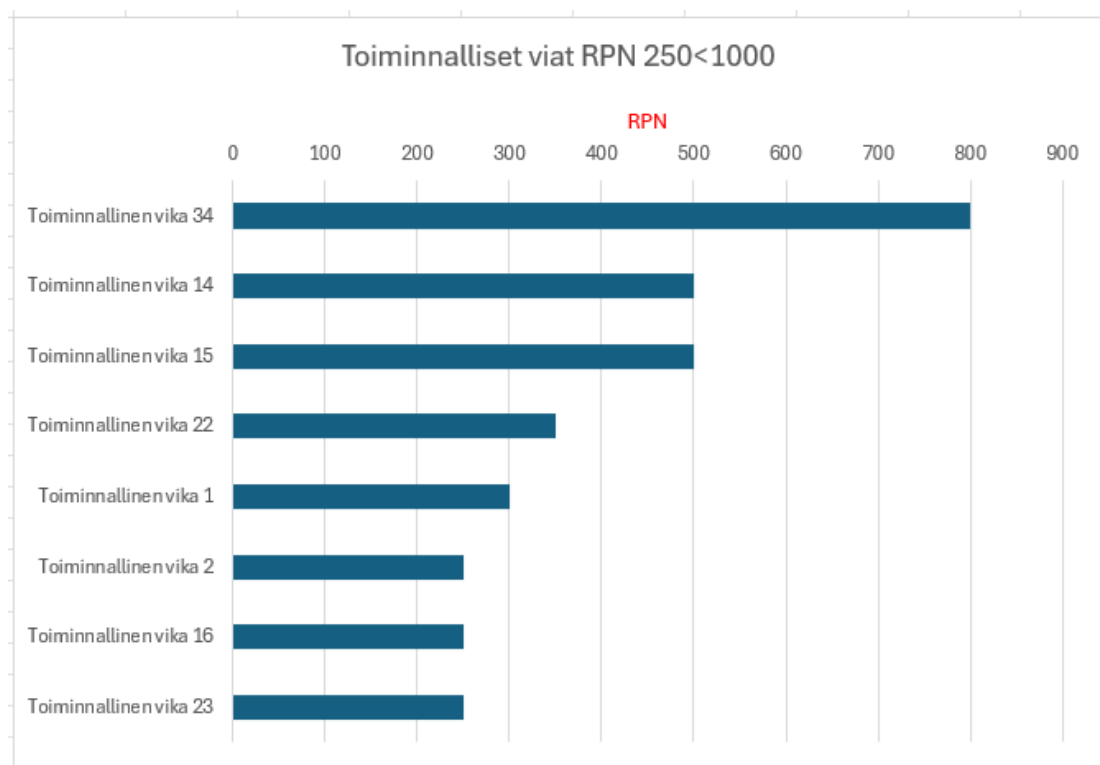
6.4 RCM-analyysi panostoimisille lingoille

RCM-analyysi laadittiin ensimmäiseksi panostoimisille A- ja B-lingoille. Panostoimiset lingot ovat askeleittain toimivia, ja linkoavat sokerikidettä aina panostoimisesti. Analyysi lähtee liikkeelle samoin askelein kuin linkokin. Ensimmäiseksi käsitellään lingon täyttymistä, sitten sokeripitoisen massan pesua, sokerimassan linkoamista, sokerikiteen purkamista ja viimeiseksi lingon pesua. Analyysissä saatiin yhteensä 39 toiminnallista vikaa, jotka tulivat oman otsikkonsa alle lingon toimintasekvenssin mukaisesti. Jokaisen toiminnon toiminnalliset viat järjestettiin RPN-luvun mukaisesti korkeasta pienempään ja kaikista toiminnoista täytyminen, sokeripitoisen massan pesu, sokerimassan linkoaminen, sokerikiteen purkaminen ja lingon pesu muodostettiin palkkidiagrammi RPN-luvun tarkasteluun. Lopuksi rajasin analyysistä erillisen RCM-analyysin RPN-luvuille $100 < 1000$. Tästä tarkastelusta muodostettiin kaksi palkkidiagrammia $100 < 1000$ ja $250 < 1000$.

RPN-luvun $100 < 1000$ saavuttivat 11 toiminnallista vikaa, jotka ovat kuvassa 14. Huomioitavaa on, että prosessiteknisistä syistä aiheutunut vikatilanteen aiheuttaja löytyi vain yhdestä viasta numero yksi. Pylväsdiagrammiin määrittämäni RPN-luvun alaraja 100 on mielestäni suhteellisen alhainen, koska RPN-luvun maksimi arvo on 1000. Tarkastelun alarajaa nostettiin lukuun 250, ja muodostettiin pylväsdiagrammi uudestaan (kuva 15), jolloin toiminnallisia viakoja tuli kahdeksan kappaletta. Tätä tarkastelua käsitellään alemmassa kappaleessa.



Kuva 14. Kaikkien toimintojen toiminnalliset viat 100<1000.



Kuva 15. Kaikkien toimintojen toiminnalliset viat 250<1000.

Tarkasteltaessa kuvan 15 mukaisia toiminnallisia vikoja RPN-luku $250 < 1000$. Suurimpana toiminnallisena vikana tarkastelussa on toiminnallinen vika 34 RPN-luvulla 800, joka aiheuttaa kalkkeutumista lingon runkoon. Vika aiheutuu prosessissa käytettävissä välttämättömistä apuaineista, mutta pidempiaikainen reagoimattomuus kalkkeutumien suhteen johtaa laitteen tukkeutumiseen.

Toiminnallisten vikojen 14 ja 15 RPN-luku oli 500. Molempien vikojen toiminnallisena vikana on siirappien jakamisen eri siirtosäiliöihin suorittavan jakolämpän toimintahäiriö, joka on mekaaninen komponentti. Sen toimimattomuus johtaa linkoustapahtumassa olevien palautesiirappien virtaamisen ei haluttuun siirtosäiliöön aiheuttaen prosessissa häiriöitä tai tehottomuutta.

Toiminnallinen vika 22 RPN-luku oli 350, jossa tuote ei purkaudu lingosta oikein. Vian syy johtuu pohjakuvun toimintahäiriöstä. Prosessiteknisestä vaihteluista johtuu vika 1, jossa linko ei täyty oikein massan vaihteluitten takia. Toiminnallisessa viassa 22 linko ei täyty oikein, koska lingon viallinen magneettiventtiili ei anna täyttölämpän avautua ja aiheuttaa järjestelmähälytyksen.

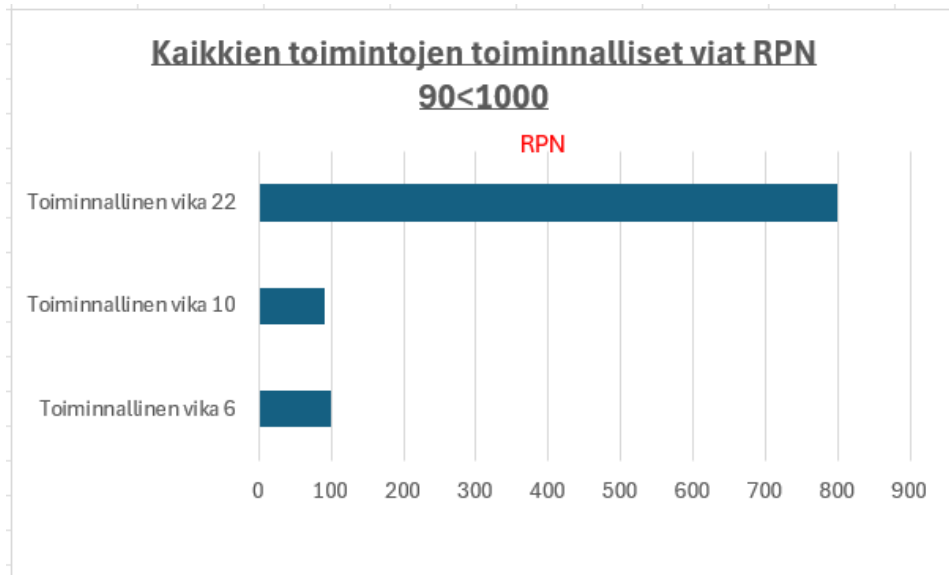
Toiminnallisessa viassa numero 16 lingon sihtiverkko on vaurioitunut. Sihtiverkon tarkoituksena on erottaa lingottavasta massasta sokeri ja poistesiiirapit. Vaurioitunut sihtiverkko päästää sokeria poistesiiirappien joukkoon aiheuttaen prosessissa tehottomuutta ja lingon mahdollista tärisemistä. Vaurioituneen sihdin palaset saadaan poistettua kiteen joukosta tarvittaessa tehokkaiden magneettien avulla, joten niistä ei ole välitöntä haittaa laadulle.

Viimeisessä rajatussa RPN-luvun tarkastelussa $250 < 1000$ on vika 23, jossa tuote ei purkaannu oikein lingosta viallisen kaavarin sylinterin ilmavuodon takia. Vian 23 mukaisessa vikatilanteessa linko kaavaa sokerin sihdiltä, mutta sylinterissä ei välttämättä ole tarpeeksi voimaa painaa kaavaria sihtiä päin, jolloin siihen jää sokeria. Puhdasta sokeria menee lingon pesusekvenssissä turhaan poistesiiirappien joukkoon, ja se voi aiheuttaa myös pidempään kertyessään tärinähäiriöitä, kun lingon rummun tasapainoasema muuttuu.

6.5 RCM-analyysi jatkuvatoimisille lingoille

RCM-analyysi suoritettiin jatkuvatoimisille lingoille toisessa RCM-tiimin koontumisessa. Jatkuvatoimiset lingot ottavat nimensä mukaisesti jatkuvalla syötöllä lingottavaa massaa sisäänsä purkaen sokeria liuotukseen paksumehun joukkoon uudelleen keitettäväksi. Jatkuvatoimiset lingot ovat rakenteeltaan ja ohjaukseltaan panostoimisia linkoja yksinkertaisempia, ja niiden linkoama sokeri liuotetaan kuumaan haihduttimilta tulevaan paksumehuun. Jatkuvatoimisista lingoista ainoastaan B3-lingon linkoama kide puretaan kuljetinruuville, josta se kulkeutuu liuottamoon liuotettavaksi paksumehun joukkoon.

Toiminnallisia vikoja jatkuvatoimisille lingoille saatiin 26 kappaletta. Lingot toimivat jatkuvalla syötöllä, mutta perusmoodi on sama kuin panostoimisilla lingoilla. Analyysissä omiksi otsikoiksi otettiin lingon täytyminen, sokeripitoisen massan pesu, sokerimassan linkoaminen, sokerikiteen purkaminen ja lingon pesu. Toiminnalliset viat järjestettiin omien otsikkojensa alle korkeasta RPN-luvusta pienempään. Tarkempaan tarkasteluun otettiin toiminnalliset viat RPN-luvulla $90 < 1000$. Tarkasteltavia vikoja asetetulle välille tuli kolme kappaletta, joita ovat toiminnallinen vika 22, toiminnallinen vika 6 ja toiminnallinen vika 10. Toiminnallinen vika 22 on samanlainen kuin panostoimisten linkojen vika 34, se aiheuttaa kalkkeutumista linkojen runkoon. RPN-luvuksi kalkkeumia aiheuttavalle vialle 34 saatiin 800. Toiminnallisessa viassa kuusi sokeripitoinen massa ei valkene, koska pesusuutin on tukossa. Vika ilmenee operaattorin suorittaman tarkastelun lisäksi useimmiten säännöllisesti otettavissa laboratoriotesteissä, joissa paksumehun väri nousee. Toiminnallisessa viassa numero kuusi on sähkömoottorin ja lingon rummuston väliset löysät käyttöhihnat, jotka aiheuttavat turhaa tärisemistä ja kulumaa.



Kuva 16. Jatkuvatoimisten linkojen toiminnalliset viat RPN-luku 90<1000.

Toiminto & vian nro	Toiminnollinen vika	Aiheuttajat	Laite	Aiheuttajat	Vaikutukset tuotantoon	Miten havaittu	Vaikutus										Riskiprioriteetti	Riskiluk./Kp-toimennope	Resurssit	Varaajat	Huom.
							C	B	A	B	D	A	A	A	10	10					
Toiminnallinen vika 22	Linko ei peseydy kaktu jäsmissä lähtien rungossa	Prosessista pöyhäyt välikäsin/takuumat	X	Apuaineet/ mekaniikka	Tuokilaitteita, linjoja ja pöyhäyt ajon kuluessa aiheuttaa todellisen ongelman.	Operaattori tarkastaa linjojen parku tehtaan välikäsin.	C	B	A	B	D	A	A	10	10	8	800	Puhdistus välikäsin.	Välikäsin kunnossapitoseurust	X	Prosessi on tulle välikäsin (prosessi saattaa olla ei ole havaittu)
Toiminnallinen vika 6	Sokeripöyhäyt massa ei valkene	Pesupöyhäyt tukossa	X	Lika linjassa	Välikäsin kettomelu	Operaattori havaittu & laboratorion	C	D	A	A	B	A	C	10	2	5	100	Suuttimen avaus	Operaattori/Laborantti	X	Laitteen huoltoon ei ole havaittu prosessiä.
Toiminnallinen vika 10	Linko tärisee	Häiriöt töissä	X	Vieruminen	Linkin osatasteen liikkuminen hihnojen karkureissa/alkuperäisessä	Operaattori havaittu & kireydenmittaus	C	B	B	B	C	B	B	6	5	3	90	Hihnojen kireyden tarkistus	Operaattori	X	Välikäsin tarkistus

Kuva 17. Jatkuvatoimisten RCM-analyysi 90<1000 listaus korkeasta RPN-luvusta pienempään.

7 TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN KUNNONVALVONNAN, KUNNOSSAPIDON KEHITTÄMISEN & VARAOSALOGISTIIKAN NÄKÖKULMASTA

Tuotettavat analyysit hyödyntävät kunnossapidon suunnittelua vikojen hallinnan ja kunnossapidon resurssien kohdentamisen myötä. Analyysien laatimiseen saatiin koottua kattava tiimi, joka käsitti kunnossapidon suunnittelun, työnjohdon, linkoihin erikoistuneen asentajan ja kaksi käyntikaudella asemalla toimivaa operaattoria. Uskon pohjan toimivan keskeisenä työkaluna tulevaisuuden luotettavuuskeskeiselle kunnossapidolle, sillä henkilöt kokivat itsensä tärkeänä osana isoa palapeliä. Tässä työssä käsiteltiin yhtä palasta eli linkousta.

7.1 Yleisiä kehitysehdotuksia linkoaseman kunnossapidolle

Linkoasemalla työskentelee tällä hetkellä käyntikaudella useamman vuoden aseman operoinnista vastanneita operaattoreita, mutta RCM-analyysin tekemisen yhteydessä havaittiin jälleen operaattorien tietojen täydentävän toisiinsa. RCM-tiimin kokoontumisen yhteydessä havaitsin henkilöiden sitoutumisen ja innostuneisuuden kunnossapidon kehittämiseksi häiriöttömän käyntikauden varmistamiseksi.

Toimeksiantajalla on käytössä toiminnanohjausjärjestelmä SAP ja vuoropäiväkirja shiftbook, joihin operaattorit kirjaavat vikailmoituksia kampanjan ja huoltokauden aikana. Kehitysehdotuksena esitetään silti, että prosessissa asemalla ilmenneitä poikkeavuuksia ja niiden vikaketjuja kirjattaisiin matalalla kynnyksellä myös erilliseen excel-tiedostoon. RCM-analyysin pohja voisi toimia tällaisena. Kampanjan jälkeen jokaisen alueen analyysi voitaisiin tarkentaa ja päivittää ajankohtaiseksi jatkuvan parantamisen näkökulmaa silmällä pitäen.

Analyysejä tehdessä keskusteltiin käyttäjien tekemistä säädöistä, ja niissä tietämätön asentaja saa aikaiseksi enemmän haittaa kuin hyötyä. Vaikka laitteista on olemassa valmistajan ohjeet ja nykyisin asemalla työskentelevät

operaattorit ovat kokeneita, niin ehdotetaan, että perustoimenpiteille kuten kaavarin säädöille, sihdin ja magneettiventtiin vaihdolle ja laitteen erottamiselle prosessista tehtäisiin yksinkertaistetut runsaasti kuvitetut ohjeistukset. Ohjeistuksia tehtäessä ennakkohuoltojen yhteydessä otetaan valokuvia tai videomateriaalia, kun linkoihin perehtynyt vanhempi asentaja suorittaa edellä mainittuja huoltotöitä välikaudella.

Tämä työ on rajattu linkoihin, mutta linkoaseman hoitajien virallinen titteli on sokeripään hoitaja, ja ehdotetaan linkoasemalle hankittavaksi siirrettävää värähtelymittaria. Esimerkiksi Fluken 805-värähtelymittari on helppokäyttöinen, eikä vaadi välitöntä syvempää koulutusta värähtelydiagnostiikasta. Asemalla työskentelee eri ikäpolvien edustajia, ja mittarin saa asetettua suomenkieliseksi. Mittarin antamien tulosten perusteella voidaan suunnitella laitteen huoltoa ja prosessin hallittua hidastamista huollon ajaksi. Fluken mittari ilmaisee yksinkertaisella neljän portaan asteikolla tarkasteltavan laitteen kunnon. Laitteen datan voi siirtää tietokoneelle ja se on kevyt kantaa. Tällaisen laitteen avulla operaattori voisi suorittaa esimerkiksi kerran neljäpäiväisen aamuvuoronsa aikana värähtelytarkastelun aseman laitteille. Kaikissa panostoisissa lingoissa ja jatkuvatoimisista lingoissa C3 & C4-lingot ovat varustettu värinämittauksin, mutta ehdottaisin jatkossa B1-, B2- ja B3- lingo varustettavan vastaavanlaisissa värähtelyantureilla kuin C3- ja C4-lingoissa. (Fluke, n.d.)

Tätä työtä tehdessä linkoaseman varaosavarasto siirtyy alueen välittömään läheisyyteen, eikä se ole enää useamman askeleen päässä asemasta, josta ei kuule hälytyssireeniä. Tämä helpottaa varaosalogistiikkaa, kun kaikki tarvittavat varaosat ovat aseman välittömässä läheisyydessä, eikä operaattori ole niitä etsimässä toisella puolella laitosta. Varaosavaraston siirtymisen yhteydessä varaosat tulevat inventoitua, mutta ehdottaisin, että asemalla toimivat operaattorit inventoisivat varaston aina käynnin jälkeen. Varaosat kyllä merkaataan yrityksen toiminnanohjausjärjestelmään, jossa varastosaldojen pitäisi pitää paikkansa, mutta varaosatarve voi tulla hektiseen aikaan. Hektisyys voi aiheuttaa unohtamista ja varaossaldo jää puuttelliseksi. Huomioitavaa on myös tietojärjestelmien mahdolliset häiriöt varastosaldoissa.

7.2 Panostoimisten linkojen analyysin tulosten hyödyntämistä kunnonvalvonnan, kunnossapidon kehittämisen ja varaosalogistiikan näkökulmasta

RCM-analyysissä panostoimisia vikoja asteikolla RPN-luku $250 < 1000$ löytyi kahdeksan kappaletta. Korkeimman RPN-luvun 800 antanut toiminnallinen vika 34 johtuu laitteisiin kertyvästä kalkkeumasta, jonka aiheuttajana on prosessissa käytettävät välttämättömät apuaineet. Analyysin laatimisen jälkeen käytiin keskustelua linkoihin perehtyneen asentajan kanssa, jonka mielestä ongelmaan päästään kiinni välikaudella tehtävän huolellisen putsaamisen myötä. Asentaja kertoi Bristle-kiekon tehokkuudesta laitteen puhdistamisessa (kuva 18) ja totesi, että asianmukaisesti varustautuneena laitteen putsaaminen vie hieman aikaa, mutta se tulee asiallisesti puhdistettua, eikä asentaja pitänyt puhdistusta ”mahdottomana”.



Kuva 18. Bristle-hiomakiekkö.

Siirappien jakoläppiin liittyvä toiminnallinen vika 14 havaittiin välikauden alettua, kun laitteistoa ruvettiin purkamaan. Laboratorioanalyysissä huomattiin kampanjan aikana heilahtelua, jossa poistesiiirappi oli liian sokeripitoista, mutta tätä saatiin kompensoitua muita linkoja säätämällä. Jakoläpät tarkastettiin visuaalisesti, mutta niiden sisälle ei näe ilman purkamista, ja yhden jakoläpän akselista oli sokka poikki. Läppä ei siis kääntynyt, vaikka akseli visuaalisesti liikkui. Vika on harvinainen, ja ehdotetaan välikaudella jakoläppien sokkien uusimista, sillä sokat eivät lähtökohtaisesti ole kalliita, ja niitä on toimeksiantajan varastossa useita erilaisia. Toiminnallinen vika 15 liittyy myös jakoläppiin, ja niihin ei ole rakennettu rajatietoa, jossa tiedettäisiin järjestelmästä jakajan asento. Ehdottaisin myös rajojen asentamista jakoläpille, jotta jakajien toimintaa voitaisiin seurata prosessinohjausjärjestelmästä, eikä vain visuaalisesti jalkautumalla kentälle. Prosessin ollessa hektistä voi visuaalinen seuraaminen unohtua, ja yksittäinen jakaja voi olla väärässä asennossa vaikka vuorokauden.

Toiminnallisessa viassa 22 RPN-luku on 350, ja pohjatäryt eivät toimi. Tämä aiheuttaa lingon pohjan tukkeutumisen, jolloin sulkukupu ei aukea ja sokeri ei purkaudu laitteesta ulos. Tätä työtä tehdessä A-linkojen täryt ovat huolletut, ja niiden pitäisi toimia moitteettomasti käyntikaudella. Operaattorin normaaleihin toimenpiteisiin kuuluu seurata linkojen toimintaa ja reagoida, jos kertymiä alkaa tulla. Panostoisissa B-lingoissa ei täryjä ole, ja pohjia on pesty kuumalla vedellä, mutta välillä niiden pesu on unohtunut. Tämä aiheuttaa ongelmia pohjakuvun kanssa. B-linkojen sokeri menee uudestaan liuotukseen ja sieltä A-keittoon. Ehdotetaan yksinkertaisen pesujärjestelmän rakentamista putkesta, jossa on suuttimet tai reiät, joista ruiskutetaan vettä joko manuaalisesti tai hienommin rakennetussa järjestelmässä automaattisesti tietyin väliajoin lingon pohjaan. Tämä puhdistaa kertymiä ja vakauttaa laitteiden häiriötöntä toimintaa.

Toiminnallisessa viassa yksi RPN-luku on 300. Linko ei täyty oikein prosessin takia. Tämä kuuluu prosessiin, ja linkoaseman operaattorin on seurattava täyttymistä kertoen sokerinkeitosta vastaavalle operaattorille, mikäli keitot ovat

löysiä. Linkoaseman operaattorin on laitettava tarvittaessa täytönvartijaa pienemmälle, jotta linko ei tankkaa massaa liikaa.

Toiminnallisessa viassa kaksi RPN-luku on 250. Linko ei täyty täyttöläpän avautumisen takia, jonka aiheuttaa viallinen magneettiventtiili. RCM-tiimin koontumisessa käytiin yleisestikin läpi magneettiventtiilin vaihtoja, joita tehdään asemalla kampanjan aikana paljon ja välillä turhaan. Siksi ehdotetaan kaikkien panostoimisten linkojen magneettiventtiilien määräaikauskunnostusta, jolloin ennen kampanjaan lähtöä niiden tiedetään olevan täydessä toimintakunnossa, eikä venttiileitä vaihdeta turhaan. Määräaikauskunnostus voitaisiin tehdä vaikkapa viiden vuoden välein. Huomioon on otettava, että venttiilit testataan ennen käyntiä ja tarvittaessa vaihdetaan. Lingot tekevät vuorokaudessa useita liikkeitä, jolloin magneettiventtiili voi lakata toimimasta. Niiden toimintakunnon varmistaminen ilman määräaikaishuoltoja on hankalaa. Toki venttiilin vaihtaa suhteellisen nopeasti, mutta tämä aiheuttaa aina vaihteluita prosessissa.

Toiminnallinen vika 16 RPN-luku on 250. Ongelmana on sihdin rikkoutuminen, joka havaitaan operaattorin säännöllisellä tarkastuksella tai laboratorioanalyysien perusteella. Tätä on vaikea välttää, mutta se on suhteellisen harvinaista. Kahden viime kampanjan aikana on hajonnut panostoimisista lingoista yksi sihti per kampanja, mutta allekirjoittaneella on takana useampia kampanjoita, joissa hajoamisia ei ole tapahtunut. Sihdin vaihtaminen vaatii lisätyövoiman hälyttämistä ja laitteen huolellista erottamista prosessista. Tähän olisi hyvä tehdä kuvallinen ohje, koska laitoshenkilöiden osa on suhteellisen uusia työntekijöitä tehtaalla.

Toiminnallisessa viassa 23 RPN-luku on 250. Tuote ei purkaudu lingosta, koska laite ei jaksaa kaavata ilmavuotojen takia kunnolla. Ilmavuodot ovat haastavia havaita melun takia, ja laitteiden toiminnan tarkastelu pitkin työvuoroa onkin tärkeää. Ilmavuotoja voitaisiin tutkia jatkossa tehtävään soveltuvalla vuodonilmaisella, kuten elintarviketeollisuuteen soveltuvilla vuodonilmaisimilla.

Alemman RPN-luvun kuin <250 käsittäville vioille tehtävinä toimenpiteinä on yhteistä ennakkohuoltojen suorittaminen ja suuttimien puhdistaminen vesiajojen jälkeen. Tällöin putkistosta helposti irtoaa putkistoa tukkeuttavia partikkeleja. Tärkeää on myös sähköosaston suorittamat laitteiden raja-antureiden tarkastukset. Toiminnallinen vika 25 RPN-luku on 100. Vika aiheutti ennen kampanjan 24 alkua rummun vaurioitumisen rajatietojen puuttuessa logiikan silti suorittaessa askelta loppuun. Tämän pitäisi olla mahdotonta tulevaisuudessa, mutta logiikkoihin perehtyneen asiantuntijan pitäisi tarkistaa järjestelmä juuri ennen kampanjan alkua.

7.3 Jatkuvatoimisten linkojen analyysin tulosten hyödyntämistä kunnonvalvonnan, kunnossapidon kehittämisen ja varaosalogistiikan näkökulmasta

Jatkuvatoimiset lingot ovat toiminnaltaan yksinkertaisempia ja ennako-odotukset olivat, että niistä tulee vähemmän toiminnallisia vikoja. Laitteet ovat toimineet kampanjoiden aikana erittäin hyvin, eikä niistä ole juuri "murhetta" ollut. Toiminnallisia vikoja oli 26, joista tarkempaan tarkasteluun otin viat RPN-luvulla $90 < 1000$. Vikoja tälle tarkastelulle löytyi kolme kappaletta.

Toiminnallinen vika 22 on sama kuin panostoimisten linkojen vika 34. Viat johtuvat apuaineista, jotka aiheuttavat kalkkeumat laitteiden pinnalla. Vioissa RPN-luku on 800. Toiminnalliseen vian ennaltaehkäisemiseen soveltuu välikaudella sama Bristle-hiomakiekolla suoritettu hionta kuin panostoimisten linkojen kanssa. Huoltokaudella kannattaisi aloittaa kalkkeutumien poisto Bristle-hiomakiekkojen tai vastaavien avulla laitteiden pesujen jälkeen (kuva 18).

Toiminnallisessa viassa kuusi RPN-luku on 100. Viassa jatkuvatoimisen lingon pesusuutin on tukossa, jolloin liuotukseen menevä sokeri värjää keittomehua. Suuttimen avaaminen vaatii laitteen irrottamista prosessista ja suuttimen puhdistamista. Suurimman työn vie laitteen erottaminen ja huoltoluukkujen avaaminen, jotta suuttimeen päästään käsiksi. Puhdistustyöltä vältetään vesiajojen yhteydessä linjojen huolellisella huuhtelulla ennen veden päästämistä suuttimille asti. Vesiajojen yhteyteen esitetään tarkempaa excel-taulukkoa

linkoaseman putkistoista. Taulukossa on toimenpiteet linjoja koskien, ja operaattori kuittaa aina taulukkoon, kun linja on huuhdeltu. Näin ei tule unohtuksia.

Toiminnallisessa viassa 10 RPN-luku 90 on hihnojen löystyminen, joka selviää visuaalisesti usein operaattorien tarkkailukierrosten yhteydessä. C3- ja C4-linjoissa on värähtelyanturit, jotka ilmoittavat myös alkavasta ongelmasta ja samalla kertovat linkojen tärinästä, mikäli lingottavassa massassa on ongelmia. Vastaavat anturit kannattaisi asentaa B1-, B2- ja B3-linkoihin, ja sitä kautta prosessinohjausjärjestelmään, josta tulee järjestelmähälytys.

8 YHTEENVETO

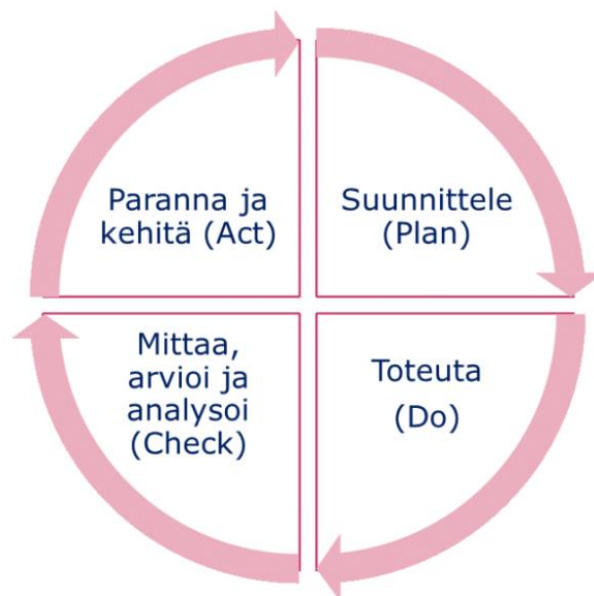
Tässä työssä luotiin kattava kunnossapidon teoriapohja, jossa esiteltiin yleisesti kunnossapitoa, kunnossapidon strategioita, kunnonvalvontaa erilaisine mittauksineen ja analyysineen. Tämän jälkeen teoriassa edettiin syvemmälle kunnossapidon kriittisyysanalyysien tekemiseen ja riskeiltä suojautumiseen. Kriittisyysanalyysin tekemisen ja laitteiden pisteyttämisen jälkeen voidaan suorittaa vika- ja vaikutusanalyysi, joka tässä työssä tehtiin RCM-luotettavuuskeskeisen kunnossapidon näkökulmasta. Luotettavuuskeskeisen kunnossapidon ottaminen kunnossapitostrategiaksi voidaan tehdä yhdessä tuottavan kunnossapitostrategian TPM kanssa, jolloin ne täydentävät toinen toisiaan. Molemmat strategiat esitellään työn teoriaosuudessa.

Teoriaosuuden jälkeen työssä luodaan toimeksiantajalle RCM-pohjainen vika- ja vaikutusanalyysi sokerilingoille, jonka avulla päästään riskiprioriteettiluku RPN avulla järjestämään toiminnalliset viat askeleittain kriittisyysjärjestyksessä suurimmasta pienempään. Toimeksiantajan on tällöin helpompi päästä suuriin riskilukuihin välittömästi kiinni.

RPN-lukua voidaan skaalata toimeksiantajan tarpeen mukaan 0–1000 välillä, jossa korkea luku merkitsee korkeata riskiä, jota yritetään erilaisin toimenpitein laskea. RCM-analyysissä päästään RPN-luvun lisäksi tarkempiin tarkasteluihin vian aiheuttamista ongelmista tuotannolle, laadulle, toimituksille, ympäristölle, kunnossapitokustannuksille, turvallisuudelle ja vian toistuvuudelle. Analyysi on looginen ja siinä on ohjeet, miten pohjaa käytetään. Pohjassa olevassa toiminnallisessa mallissa kuvataan karkeasti käsiteltävänä olevan kohteen toiminta, jotta analyysia on helpompi ymmärtää ja käsitellä. Huomioon on otettava, että tiimiläisten on kuitenkin omattava hyvät tiedot analyysin kohteena olevasta laitteesta. Pohja tuli testatuksi RCM-tiimin kokoontumisten yhteydessä ja osoittautui toimivaksi. Tiimiläiset pääsivät heti juoneen kiinni, ja analyysin laatiminen päästiin aloittamaan alkupuheen jälkeen ja työ oli luontevaa.

Tarkempaan tarkasteluun otettiin panostoimisilla lingoilla RPN-luku $250 < 1000$ ja jatkuvatoimisilla lingoilla RPN-luku $90 < 1000$. Panostoimisilla lingoilla skaalatulle välille tuli kahdeksan toiminnallista vikaa ja jatkuvatoimisilla lingoilla kolme toiminnallista vikaa. Vikatarkastelun perusteella tehtiin kehitysehdotukset analyysin tulosten hyödyntämistä kunnonvalvonnan, kunnossapidon kehittämisen ja varaosalogistiikan näkökulmasta. Kehitysehdotuksien avulla päästään laskemaan riskiprioriteetilukua ja vikojen vaikutusta tuotannolle, laadulle, toimituksille, ympäristölle, kunnossapitokustannuksille, turvallisuudelle ja vian toistuvuudelle.

Tässä työssä tulevat kehitysehdotukset ovat suhteellisen helppoja toteuttaa, ja niissä on kentällä työskentelevien koneita käyttävien ja huoltavien operaattorien mielipide vahvasti läsnä. Analyysiä tehdessä oli ilo havaita, kuinka täysillä RCM-tiimiläiset olivat mukana. Tämän työn luoman pohjan avulla toimeksiantajan on helppo jatkaa tulevaisuudessa uusien luotettavuuskeskeisen RCM-analyysien luomista ja kehittää kunnossapitoaan jatkuvasti parantaen Demingin ympyrän (kuva 19) mukaisesti.



Kuva 19. Demingin ympyrä. (Arter, n.d.)

LÄHTEET

Apetit. (n.d.). Kaikki alkoi sokerijuurikkaasta. Haettu 6.1.2025 osoitteesta <https://apetit.fi/historia/>

Arter. (n.d.). Havainnoinnista mittaamiseen- mittaamisesta tietämykseen. Haettu 30.3.2025 osoitteesta <https://www.arter.fi/havainnoinnista-mittaamiseen-mittaamisesta-tietamykseen/>

BMA. (n.d.-a). Machinery & equipment. Haettu 15.1.2025 osoitteesta <https://www.bma-worldwide.com/centrifugation.html>

BMA. (n.d.-b). Centrifugation. Haettu 15.1.2025 osoitteesta <https://www.bma-worldwide.com/centrifugation.html>

BMA. (n.d.-c). Batch centrifugals from BMA. Haettu 15.1.2025 osoitteesta <https://www.bma-worldwide.com/centrifugation/batch-centrifugals.html>

Dansukker (2015). Sokerintuotanto vaihe vaiheelta [PDF-dokumentti]. https://www.dansukker.fi/Files/product-cataloge/broschyrrer/pdf/NZ_Zucker-gewinnung_Druck_2015_Finland.pdf

Fluke. (n.d.). Fluke 805- värähtelymittari. Haettu 20.3.2025 osoitteesta <https://www.fluke.com/fi-fi/tuote/mekaaninen-kunnossapito/varahtelyanalyysi/fluke-805>

HBK. Failure modes, effects and critically analysis. Haettu 7.2.2025 osoitteesta <https://www.hbkworld.com/en/knowledge/resource-center/articles/failure-modes-effects-and-criticality-analysis>

Järviö, J. & Lehtiö, T. (2012). Kunnossapito. Tuotanto-omaisuuden hoitaminen. KP-media Oy.

HUB logistics. (n.d.-k). Varaosalogistiikka. Haettu 6.2.2025 osoitteesta [Varaosalogistiikka - Varastointipalvelut yrityksille](#)

Kunnossapito. (n.d.-h). Kunnossapito. Menestystekijä. Haettu 4.2.2025 osoitteesta http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k1_johdanto_kunnonvalvontaan.html

Kunnossapito. (n.d.-i). Värähtelymittaukset. Menestystekijä. Haettu 4.2.2025 osoitteesta http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k2_varahtelymittaukset.html

Kunnossapito. (n.d.-j). Lämpökamera. Menestystekijä. Haettu 4.2.2025 osoitteesta http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k5_lampokamera.html

Leipätiedotus. (n.d.-d). Tietoa leivästä. Kasvukauden vaiheet ja sadonkorjuu. Haettu 31.1.2025 osoitteesta <https://www.leipatiedotus.fi/tietoa-leivasta/pellolta-poytaan/viljan-tuotanto/kasvukausi-ja-sadonkorjuu.html>

Leipätiedotus. (n.d.-e). Tietoa leivästä. Haettu 31.1.2025 osoitteesta <https://www.leipatiedotus.fi/tietoa-leivasta/pellolta-poytaan/myllyn-toiminta.html>

Liikennevirasto. (2011). Ohje riskienhallinnan menetelmistä. Liikennevirasto julkaisut. <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto>

Manninen, J. (4.1.2023). Mikä on kunnossapitostrategia? <https://www.aneo.fi/fi/kunnossapito/mika-on-kunnossapitostrategia>

Oppia.fi. (n.d.). Teollisuuden riskikartoitus haettu 7.2.2025 osoitteesta <https://oppia.fi/courses/quality-knowhow-karjalainen/yleinen-riskikartoitus-fmea/customized>

Pinja. (n.d.-f). Teollisuuden kunnossapito. Haettu 31.1.2025 osoitteesta <https://blog.pinja.com/fi/teollisuuden-kunnossapito#ennakoivakunnossapito>

Pinja. (n.d.-g). Novi operaattorikunnossapito. Haettu 3.2.2025 osoitteesta <https://blog.pinja.com/fi/teollisuuden-kunnossapito#ennakoivakunnossapito>

PrimaTech. (n.d.). Layers of protection analysis. Haettu 7.2.2025 osoitteesta <https://www.primatech.com/technical/layers-of-protection-analysis>

PSK 6201:2022. (2022). Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. PSK Standardisointiyhdistys. <https://psk-standardisointi.fi/>

PSK 6800:2008. (2008). Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa. PSK Standardisointiyhdistys. <https://psk-standardisointi.fi/>

SFS 13306:2017. (2017). Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. Suomen Standardisointiliitto. <https://online.sfs.fi>

Sigma-Hse. LOPA. Meanings and uses. Haettu 7.2.2025 osoitteesta <https://sigma-hse.com/news-insights/lopa-meaning/#a-layer-of-protection-under-the-microscope-alarms-and-operator-intervention>

Smith, A. & Hinchcliffe, G. (2004). RCM: gateway to world class maintenance. Butterworth-Heinemann.

Sucros Oy. (n.d.). Sucros Oy. Haettu 6.1.2025 osoitteesta <https://www.sucros.fi/irj/go/to/fi/sucros-oy/sucros-oy>

Tukes. Prosessiturvallisuusjärjestelmä. Käyttö ja kunnossapito. Haettu 7.2.2025 osoitteesta <https://tukes.fi/prosessiturvallisuusjarjestelma/kaytto-ja-kunnossapito>

Työturvallisuuskeskus. (n.d.). Teollisuus. Haettu 31.1.2025 osoitteesta <https://ttk.fi/tyoturvallisuus/toimialakohtaista-tietoa/teollisuus/>

Visuresolutions. Riskien hallinta ja FMEA. Kattava opas. Haettu 7.2.2025 osoitteesta <https://visuresolutions.com/fi/riskienhallinnan-fmea-opas/fmeca/>

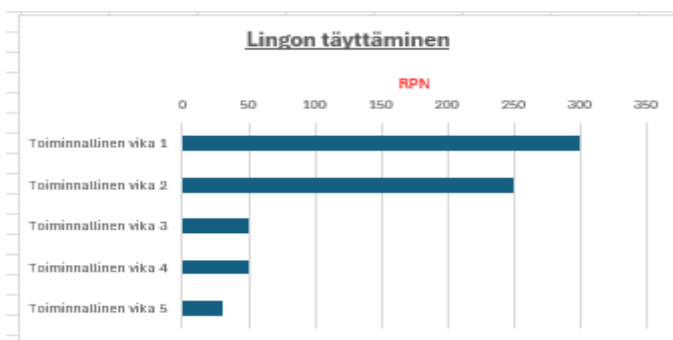
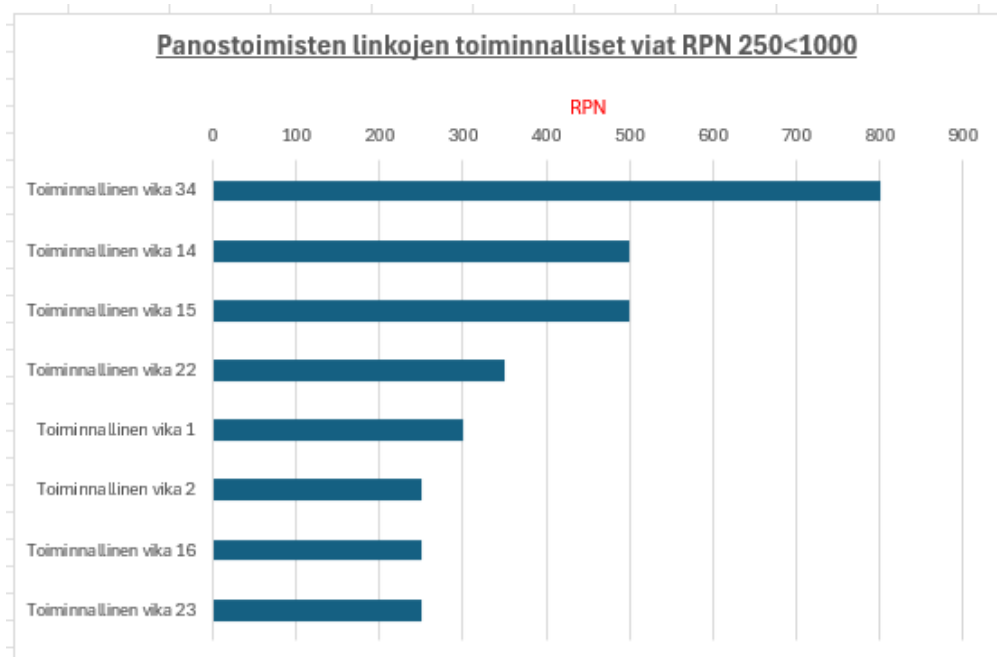
Yleiselektroniikka. (n.d.). FLUKE 805 värähtelymittari. Haettu 5.2.2025 osoitteesta <https://www.yeint.fi/mittaus-ja-testaus/varahtelytesterit/varahtelymittari?srsltid=AfmBOop7uyXfYSY-8esweBwFKsazz4RqTBIH1DDg-WRChj2WS9IfNHBet>

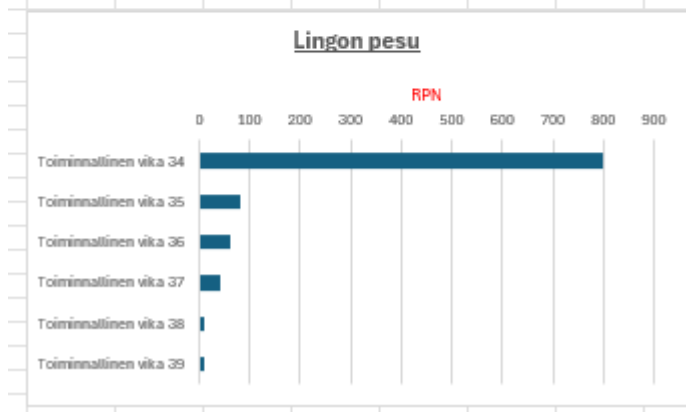
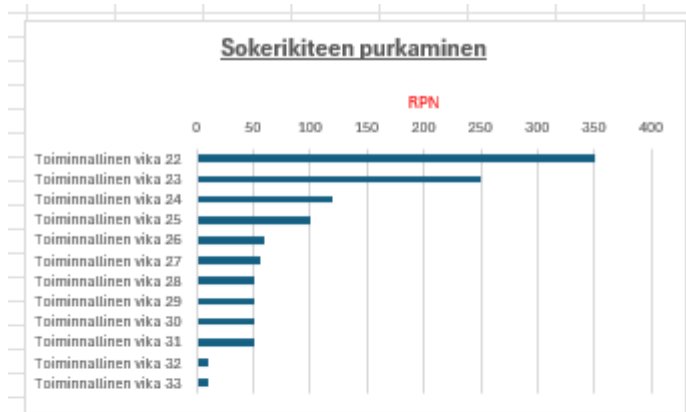
YTM. (n.d.). Öljyanalyysi ja öljyn kunnonvalvonta. Haettu 6.2.2025 osoitteesta <https://www.ytm.fi/oljyanalyysi-ja-oljyn-kunnonvalvonta/>

LIITE 1: RCM-ANALYYSI JATKUVATOIMISET LINGOT

Toiminto & vian nro	Toiminnollinen vika	Aiheuttajat	Laite	Aiheuttajat	Vaikutukset tuotantoon	Miten havaittu	Vaikutus										Riskiprioriteetti	Riskiluku	Kp-toimenpide	Resurssit	Varaosat	Huom.
							Uusiutuminen	Uusiutuminen	Uusiutuminen	Uusiutuminen	Uusiutuminen	Uusiutuminen	Uusiutuminen	Uusiutuminen	Uusiutuminen	Uusiutuminen						
Panos-toimiset lingot A1, A2, A3, A4, A5, B4 & B5																						
<i>Toiminto: Lingon täyttäminen</i>																						
	Mitä kohda tekee & millä suorituskyvyllä?	Mitä tavalla toiminnon estynyt vaikuttaa?	Mitä tapahtuma aiheuttaa toiminnallisen vian?	Laite nimi tai SAP tunnus	Mikä tapahtuma aiheuttaa toiminnallisen vian?	Miten vika vaikuttaa tuotantoon?	Miten havaittu?	Uusiutuminen	Uusiutuminen	Uusiutuminen	Uusiutuminen	Uusiutuminen	Uusiutuminen	Uusiutuminen	Uusiutuminen	Uusiutuminen	Uusiutuminen	Uusiutuminen	Uusiutuminen	Uusiutuminen		
Toiminnallinen vika 1	Linko ei täyty	Linko ei täyty oikein massanvaihteluista johtuen	X	Prosessitekniset vaihtelet	Laitteissa tärinähäiriöitä Linko-osaman tehokkuuden määrittäminen.	Järjestelmähälytys & operaattorin tarkkailukierrokset	C	B	B	A	A	C	B	B	10	6	5	300	Operaattori & tuotannonjohto	X	Ilmoitetaan häiriöistä välittömästi vuoromestarille -> vievät asian eteenpäin laiton venttiilin määrärahoilla huolot. Tavistaiden uusinta.	
Toiminnallinen vika 2	Linko ei täyty	Täyttötäppä ei avaudu	X	Magneetti venttiili / Sylinteri vioittunut	Vikaantunut laite pois käytöstä kunnes vikailianne selvitetty.	Järjestelmähälytys	B	A	B	A	B	B	C	B	10	5	5	250	Vikaantuneen komponentin vaihtaminen	Operaattori	X	
Toiminnallinen vika 3	Linko ei täyty	Massa venttiili ei aukea	X	Vika toimilaitteissa	Vikaantunut laite pois käytöstä kunnes vikailianne selvitetty.	Järjestelmähälytys	B	A	B	A	B	B	C	B	10	5	1	50	Ennakoitarkastus /Vikaantuneessa automaatioasentaja	Operaattori, laitosmiehet & automaatioasentaja	X	Paineliman saanti
Toiminnallinen vika 4	Linko ei täyty	Täytöntartija ei saavuttanut rajatietoa	X	Rajateidoissa vika	Vikaantunut laite pois käytöstä kunnes vikailianne selvitetty.	Järjestelmähälytys	B	A	B	A	B	B	C	B	10	5	1	50	Korjatus, tartijan "laatikossa" pieni ilmasyirtinen vuorilunni-> uusittaan.	Operaattori, laitosmiehet & automaatioasentaja	X	
Toiminnallinen vika 5	Linko ei täyty	Massaputki tukossa kertyneestä sokerista	X	Puutteellinen tarkastus/ Linja jäänyt törfen massa prosessin keskeytyksistä johtuen	Vikaantunut laite pois käytöstä kunnes vikailianne selvitetty.	Järjestelmähälytys	B	A	B	A	B	B	C	B	10	3	1	30	Avataan tukokset	Operaattori & laitosmiehet	X	Höyryntäuki täyttövientiilit
<i>Toiminto: Sokeripitoisen massan pesu</i>																						
Toiminnallinen vika 6	Sokeripitoinen massa ei saa mehua tastausta	Suutin tukossa	X	Roskaa linjastossa & siirapissa epäpuhtauksia	A-lingoissa tuotteen laatu voi heiketä & B-lingoissa keittomehun väri nousee.	Järjestelmähälytys Sokerin väri A-puoli. B-puoli keittomehun väri. Molemmissa operaattorin tarkastukset	C	B	A	A	B	B	D	B	10	2	5	100	Vaihdetaan/putsaataan suutin. Huolellinen tärinästä ennen kampanjaa, vaihdetaan viortunut osa (kampanjan aikana suoritellaessa "sokerin väri" vesiajoja.	Operaattori & laitosmiehet	X	linkous, jossa kuitenkin järjestelmästä "sokerin väri" Neltec indikaattorilla
Toiminnallinen vika 7	Sokeripitoinen massa ei valkene	Vesitukki ei toimi halutulla tavalla	X	Rajateidot, magneettiventtiilit, mekaaninen vika hukakiskokorjaukset	A-lingoissa tuotteen laatu voi heiketä & B-lingoissa keittomehun väri nousee.	Järjestelmähälytys Sokerin väri A-puoli. B-puoli keittomehun väri. Molemmissa operaattorin tarkastukset.	C	B	A	A	B	B	D	B	10	5	2	100	Linkkojen ennakoitu huolot ennen kampanjaa, vaihdetaan viortunut osa (kampanjan aikana suoritellaessa "sokerin väri" magneettiventtiili)	Operaattori & laitosmiehet	X	Kriittisempi A linkous, jossa kuitenkin järjestelmästä "sokerin väri" Neltec indikaattorilla
Toiminnallinen vika 8	Sokeripitoinen massa ei valkene	Pesusuutin tukossa	X	Likaa linjassa	A-lingoissa tuotteen laatu voi heiketä & B-lingoissa keittomehun väri nousee.	Järjestelmähälytys Sokerin väri A-puoli. B-puoli keittomehun väri. Molemmissa operaattorin tarkastukset.	B	C	B	A	B	B	C	B	10	3	3	90	Erotaan laite huolellisesti prosessista & avataan/ vaihdetaan suutin.	Operaattori & laitosmiehet	X	Kriittisempi A linkous, jossa kuitenkin järjestelmästä "sokerin väri" Neltec indikaattorilla
Toiminnallinen vika 9	Sokeripitoinen massa ei valkene	Pesusuutin tukossa	X	Putkistosta irtoaa aineita	A-lingoissa tuotteen laatu voi heiketä & B-lingoissa keittomehun väri nousee.	Järjestelmähälytys Sokerin väri A-puoli. B-puoli keittomehun väri. Molemmissa operaattorin tarkastukset.	B	C	B	A	B	B	C	B	10	3	3	90	Erotaan laite huolellisesti prosessista & avataan/ vaihdetaan suutin.	Operaattori & laitosmiehet	X	Kriittisempi A linkous, jossa kuitenkin järjestelmästä "sokerin väri" Neltec indikaattorilla
Toiminnallinen vika 10	Sokeripitoinen massa ei valkene	Pumppu ei nosta painetta	X	Viallinen pumppu, kierrosettoimi, tukokset	A-lingoissa tuotteen laatu voi heiketä & B-lingoissa keittomehun väri nousee.	Järjestelmähälytys Sokerin väri A-puoli. B-puoli keittomehun väri. Molemmissa operaattorin tarkastukset.	B	C	B	A	B	B	C	B	10	2	2	40	Korjataan viortunut pumppu. Varmistetaan kriittiset pumput ennen kampanjan aloitusta.	Operaattori, laitosmiehet & sähköasentaja	X	Kriittisempi A linkous, jossa kuitenkin järjestelmästä "sokerin väri" Neltec indikaattorilla
Toiminnallinen vika 11	Sokeripitoinen massa ei valkene	Pumppu ei nosta painetta suodattimet	X	Suodattimet tukossa	A-lingoissa tuotteen laatu voi heiketä & B-lingoissa keittomehun väri nousee.	Järjestelmähälytys Sokerin väri A-puoli. B-puoli keittomehun väri. Molemmissa operaattorin tarkastukset.	B	C	B	A	B	B	D	B	10	2	1	20	Vaihdetaan suodattimet ennen kampanjan aloitusta. Kampanjan aikana laitteiden erottaminen haastavampaa.	Operaattori & laitosmiehet	X	Kriittisempi A linkous, jossa kuitenkin järjestelmästä "sokerin väri" Neltec indikaattorilla
Toiminnallinen vika 12	Sokeripitoinen massa ei saa mehua tastausta	Linja kiteytyy umpeen	X	Huuhtelemlata jäätynyt linja	A-lingoissa tuotteen laatu voi heiketä & B-lingoissa keittomehun väri nousee.	Järjestelmähälytys Sokerin väri A-puoli. B-puoli keittomehun väri. Molemmissa operaattorin tarkastukset.	C	B	A	A	B	B	D	B	10	1	1	10	Avataan linjat, huolellinen laitteiden erottaminen prosessista ja varmistus, että ei ole jäänyt sokeria.	Operaattori & laitosmiehet	X	Vesiajoit ennen kampanjan aloitusta.
Toiminnallinen vika 13	Sokeripitoinen massa ei saa mehua tastausta	Pumppu ei tuota painetta	X	Vioittunut pumppu	A-lingoissa tuotteen laatu voi heiketä & B-lingoissa keittomehun väri nousee.	Järjestelmähälytys Sokerin väri A-puoli. B-puoli keittomehun väri. Molemmissa operaattorin tarkastukset.	C	B	A	A	B	B	D	B	10	1	1	10	Korjataan viortunut pumppu. Varmistetaan kriittiset pumput ennen kampanjan aloitusta.	Operaattori, laitosmiehet & sähköasentaja	X	Vesiajoit ennen kampanjan aloitusta.
<i>Toiminto: Sokerimassan linkaaminen</i>																						
Toiminnallinen vika 14	Siirapit eivät etene oikeisiin "sääliihin"	Jakoläppä ei toimi	X	Sokkia poikki, läppä ei mene oikeaan asentoon.	Siirapit menevät "väärin" sääliihin. Energiakokkiuusi keittomehun laadun huononeminen.	Haastava havaita. V.2024 kampanjan aikana havaittiin huoltojen yhteydessä.	D	B	B	A	C	A	D	B	10	5	10	500	Flakennetaan jakoläppille rajateidot varmistamaan liikkuu.	Välkkauden huolto. Laajahaastaja kampanjan aikana.	X	Haastava havaita, missä vika. Kerran ollut sokki poikki (läppä ei liiku) Rajat?

LIITE 3: PALKKIDIAGRAMMIT PANOSTOIMISET LINGOT





LIITE 4: PALKKIDIAGRAMMIT JATKUVATOIMISET LINGOT

