

Massatehtaan laatumittausten ennak- kohuolto-ohjelmien päivittäminen

Aku Pekonen

Opinnäytetyö
Joulukuu 2020
Tekniikan ala
Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikka

Tekijä(t) Pekonen, Aku	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Joulukuu 2020
	Sivumäärä 42	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Massatehtaan laatumittausten ennakkohuolto-ohjelmien päivittäminen		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikka		
Työn ohjaaja(t) Markku Ström ja Harri Tuukkanen		
Toimeksiantaja(t) Oy Botnia Mill Service Ab		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Laatu on avaintekijä tuotteiden valmistuksessa ja palvelujen tarjoamisessa sekä kansainvälisessä kaupankäynnissä. Metsä Fibren Äänekosken biotuotetehtaalla sellun laatua hallitaan erilaisten mittalaitteiden ja analysaattoreiden avulla. Tehtaan kunnossapidosta vastaavassa yrityksessä Botnia Mill Servicessä katsottiin tarpeelliseksi tarkastella sellun laatua mittaavien laitteiden ennakkohuolto-ohjelmia, joiden avulla mittalaitteet pidetään toiminnassa ja sellun laatu halutulla tasolla.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää massatehtaan laatumittausten ennakkohuolto-ohjelmien nykytila ja päivittää ne hyödyntäen luotettavuuskeskeisen kunnossapidon tärkeimpiä periaatteita.</p> <p>Työ aloitettiin perehtymällä kunnossapitoon ja kunnossapidon suunnittelussa käytettäviin menetelmiin. Tämän jälkeen selvitettiin mittalaitteiden ennakkohuolto-ohjelmien alkutila kunnossapito-organisaation toiminnanohjausjärjestelmää hyödyntäen. Ennakkohuolto-ohjelmien päivittämiseen valittiin menetelmäksi luotettavuuskeskeinen kunnossapito eli RCM. Itse päivittäminen tehtiin luotettavuuskeskeisen kunnossapidon keskeisiä menetelmiä käyttäen, kunnossapidon ja tuotannon henkilöstön avustuksella.</p> <p>Tuloksena oli toimeksiantajalle päivitettyt ennakkohuolto-ohjelmat massatehtaan laatumittauslaitteille. Osa laitteista ehkäisevän kunnossapidon määrä väheni, osassa lisääntyi. Myös uudelleensuunnittelun tarpeita todettiin joissain kohteissa.</p> <p>Johtopäätöksenä voidaan todeta, että RCM soveltunee parhaiten suurempien laitekokonaisuuksien ehkäisevän kunnossapidon suunnitteluun. Suuremmissa kokonaisuuksissa luotettavuuden parantuminen sekä kustannussäästöt ovat luultavasti suuremmat.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Kunnossapito, RCM, laatumittaus		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Pekonen, Aku	Type of publication Bachelor's thesis	Date December 2020
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 42	Permission for web publication: x
Title of publication A revision of maintenance programs of quality measurements in a pulp mill		
Degree programme Bachelor's degree programme in Electrical and Automation Engineering		
Supervisor(s) Markku Ström and Harri Tuukkanen		
Assigned by Oy Botnia Mill Service Ab		
<p>Abstract</p> <p>Quality is a key factor in manufacturing and providing services as well as in international trade. At Metsä Fibre's bioproduct mill in Äänekoski quality is controlled with the help of instruments and analyzers. At Botnia Mill Service, which is responsible of maintenance in Metsä Fibre's pulp mills, it was considered necessary to review and revise maintenance programs of quality measurements to ensure that these measurements are kept in working order and the quality of pulp in an acceptable level.</p> <p>The aim of the thesis was to find out the status of the maintenance programs of quality measurements and to revise them using basic principles of Reliability Centered Maintenance.</p> <p>The work was began by studying maintenance and maintenance planning methods. After this, status of the maintenance programs of the instruments was investigated using the ERP systems of the maintenance organization. RCM (Reliability Centered Maintenance) was selected as the method for revising the maintenance programs. The revising itself was carried out using key methods of RCM and with the help of maintenance and production personnel.</p> <p>The results were revised maintenance programs of quality measurements for the assignor. The amount of preventive maintenance decreased for some of the instruments and increased for some. A need for redesign was also identified in some items.</p> <p>In conclusion, RCM is likely to be best suited for the design of preventive maintenance for larger assemblies. In larger assemblies, the improvement in reliability as well as the cost savings are probably greater.</p>		
Keywords/tags (subjects) Maintenance, RCM, quality measurement		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

1	Johdanto	4
2	Opinnäytetyön lähtökohdat.....	5
2.1	Tavoitteet ja rajaus	5
2.2	Botnia Mill Service	5
2.3	Metsä Fibre ja biotuotetehdas	6
3	Kunnossapito.....	7
3.1	Mitä on kunnossapito?	7
3.2	Kunnossapitolajit	8
4	Luotettavuuskeskeinen kunnossapito (RCM).....	9
4.1	Mikä on RCM?	9
4.2	RCM:n periaatteet	10
4.3	RCM-prosessi	11
4.3.1	Toiminnot ja suorituskykyvaatimukset	11
4.3.2	Toiminnalliset viat	13
4.3.3	Vikaantumismallit	14
4.3.4	Vian vaikutukset	15
4.3.5	Vian seuraukset	15
4.3.6	Ennakoivat toimenpiteet	16
4.3.7	Korjaavat toimenpiteet	17
5	Laatumittaukset	17
5.1	Kappa-analysointorit	18
5.2	Alkali-analysointori	21
5.3	Vaaleusmittaus	22
5.4	pH-mittaus	23
6	Työn toteutus	25
6.1	Alkutilanne	26
6.2	Menetelmä	27
6.2.1	Informaatiolomakkeen käyttäminen	28

	2
6.2.2 Päätöksentekolomakkeen ja -kaavion käyttäminen	30
6.3 Ennakkohuolto-ohjelmien laatiminen	32
7 Tulokset ja pohdinta	34
7.1 Päivittämisen tuloksia	34
7.2 Pohdinta	35
Lähteet	36
Liitteet	38
Liite 1. Päätöksentekokaavio (Moubray 2002, 200, muokattu)	38
Liite 2. Informaatiolomake (Moubray 2002, 89, muokattu)	39
Liite 3. Päätöksentekolomake (Moubray 2002, 199, muokattu)	40
Liite 4. Esimerkin informaatiolomake	41
Liite 5. Esimerkin päätöksentekolomake	42
 Kuviot	
 Kuvio 1. Kunnossapitolajit (PSK 6201:2011, 22)	9
Kuvio 2. Luontainen toimintavarmuus ja haluttu suorituskky (Moubray 2002, 23, muokattu)	12
Kuvio 3. Varoventtiilin toiminnot ja toiminnalliset viat (Smith & Hinchcliffe 2003, 98).	14
Kuvio 4. Laatumittausten sijainnit yleensä massatehtaan prosessin eri kohdissa (Fardim 2011, 714)	18
Kuvio 5. Valmet Kappa QC (Valmet Kappa Analyzer – Valmet Kappa QC 2020, 10)	19
Kuvio 6. Mittakennot (Valmet Kappa Analyzer – Valmet Kappa QC 2020, 11)	19
Kuvio 7. Optisen kappa- ja vaaleusmittauksen toimintaperiaate (Kappaluvun mittaus 2020)	20
Kuvio 8. Valmet Alkali C (Valmet Cooking Liquor Analyzer – Valmet Alkali C 2015, 9)	22

Kuvio 9. Vasemmalla mittauselektrodi, oikealla vertailuelektrodi (Potentiometric pH measurement 2013).....	24
Kuvio 10. Vetyionit tuntoelimen sisä- ja ulkopinnalla (Potentiometric pH measurement 2013, muokattu).	25
Kuvio 11. Toimintojen listaaminen	28
Kuvio 12. Toiminnallisten vikojen listaaminen	28
Kuvio 13. Vikaantumismallien listaaminen.....	29
Kuvio 14. Vikojen vaikutusten listaaminen.....	29
Kuvio 15. Viitteen ja seurausten tyyppin merkitseminen	30
Kuvio 16. Valittujen kunnossapitotoimien kirjaaminen	31
Kuvio 17. Toimenpide, aikaväli ja suorittaja	31

1 Johdanto

Laatu on usein määritelty tuotteen tai palvelujen kyvyksi täyttää sille asetetut vaatimukset ja asiakkaan toiveet. Laatu on avaintekijä kansainvälisessä kaupankäynnissä. Hyvän laadun varmistaminen edellyttää, että laadun tärkeimmille parametreille on käytettävissä riittävän tarkka ja luotettava mittausta. (Aumala 2003, 20.)

Sellunvalmistuksessa laatumittaukset ovat välttämättömiä tehokkaan tuotannon ja lopputuotteen laadun kannalta. Niillä halutaan hallita sellun valmistusprosessia, laatua sekä tuotannon kustannuksia. Laatumittauksien avulla ohjataan ja tarkkaillaan prosessia sen eri vaiheissa. (Fardim 2011, 710–711.)

Metsä Fibren Äänekosken biotuotetehtaan massatehtaalla laatua mitataan ja hallitaan useilla sähköisillä mittauksilla ja analysointilaitteilla. Näiden laatumittauksien rooli on keskeinen tehtaan lopputuotteen laadun sekä tasaisen ja jatkuvan tuotannon varmistamisessa. Tästä seuraa, että laatumittauslaitteiden toiminnan varmistaminen on tärkeää tehtaan tavoitteiden saavuttamisen kannalta.

Mittalaitteet pyritään pitämään toimintakykyisinä säännöllisten huoltojen ja tarkastusten avulla. Huoltojen ja tarkastusten suorittamista organisoidaan ennakko- ja huolto-ohjelmilla. Ennakko- ja huolto-ohjelmissa on määritelty kyseisen laitteen tarkastus- ja huolto-ohjeet sekä aikavälit toimenpiteiden suorittamiselle. Osalle massatehtaan mittalaitteista on tehty tehtaan suunnittelu- ja rakennusvaiheissa ennakko- ja huolto-ohjelmat, ja niitä on myös muokattu jälkikäteen.

Massatehtaan laatumittauslaitteiden ennakko- ja huolto-ohjelmissa todettiin olevan tarve tarkemmalle selvitykselle sekä tarvittaessa muutoksille ja lisäyksille. Kaikilla mittalaitteilla, yhtä lukuun ottamatta, oli ennakko- ja huolto-ohjelmat ja osalle mittalaitteista tehtiin mm. tarkastuksia ja puhdistuksia. Ennakko- ja huolto-ohjelmien tarkasteluun ja päivittämiseen käytettäväksi menetelmäksi valikoitui luotettavuuskeskeinen kunnossapito eli RCM.

2 Opinnäytetyön lähtökohdat

2.1 Tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyöllä oli kaksi tavoitetta. Ensimmäinen tavoite oli selvittää massatehtaan laatumittausten ennakkohuolto-ohjelmien nykytila ja päivittää ne hyödyntäen RCM-menetelmän keskeisiä asioita. Toinen tavoite oli perehtyä luotettavuuskeskeiseen kunnossapitoon (RCM) sekä massatehtaan laatumittauslaitteisiin ja niiden mittausmenetelmiin.

Työ rajattiin massatehtaan laatumittausten tarkasteluun ja ennakkohuolto-ohjelmien päivittämiseen. Sellutehtaassa, kuten muissakin prosessiteollisuuden laitoksissa, on paljon erilaisia ns. perusmittauksia. Perusmittauksia ovat mm. lämpötila, paine ja pinnankorkeus. Tässä työssä ei tarkasteltu perusmittauksia, joita biotuotetehtaassakin on varmasti useita satoja. Työssä keskityttiin nimenomaan massatehtaan laatumittauksiin ja niiden ennakkohuolto-ohjelmiin.

Sellun laatuun vaikuttavia tekijöitä laatumittauksilla halutaan juurikin mitata. Laatumittaukset sijaitsevat sellutehtaassa pääosin massatehtaalla ja kuivaamolla, joissa itse sellun valmistus tapahtuu. Laatumittauksia on huomattavasti pienempi määrä, kuin perusmittauksia. Tässä työssä keskityttiin ainoastaan massatehtaan laatumittauksiin ja niiden ennakkohuolto-ohjelmien päivittämiseen.

2.2 Botnia Mill Service

Toimeksiantaja on Botnia Mill Servicen Äänekosken yksikkö. Oy Botnia Mill Service Ab eli BMS on kunnossapidon palveluyhtiö, joka tarjoaa metsäteollisuuden käynnissäpito-, kunnossapito- ja asennuspalveluja sekä projektointi- ja suunnittelupalveluja. BMS tarjoaa palveluja yksittäisistä työtilauksista kokonaisvaltaiseen teollisuuslaitoksen kunnossapitoon. Liikevaihto oli 60 milj. euroa vuonna 2018. Työntekijöitä BMS:llä on noin 380, yhteensä seitsemällä paikkakunnalla: Joutsenossa, Kemissä, Kuopiossa,

Raumalla, Tampereella, Vantaalla ja Äänekoskella. BMS on perustettu vuonna 1997 ja sen omistaa Metsä Fibre ja Caverion. (Botnia Mill Service 2020.)

BMS vastaa Metsä Fibren kaikkien Suomessa sijaitsevien sellutehtaiden prosessikunnossapidosta kokonaisvaltaisesti (Botnia Mill Service 2020). BMS:llä ja Metsä Fibrellä on strateginen kumppanuus, jonka tavoitteena on ylläpitää Metsä Fibren tehtaiden käytettävyyttä, hallita niiden kunnossapitokustannuksia sekä varmistaa BMS:n liiketoiminnan kannattavuus (Botnia Mill Service 2020). Käytännössä tämä ilmenee siten, että Metsä Fibren tehtailla ei ole omaa kunnossapito-osastoa tai -henkilöstöä, vaan kunnossapidon hoitaa kokonaan BMS.

2.3 Metsä Fibre ja biotuotetehdas

Metsä Fibre on sellua, sahatavaraa, biokemikaaleja ja bioenergiaa tuottava, alan johtava yritys. Sellua ja muita biotuotteita valmistetaan Suomessa neljällä tehtaalla: Joutsenossa, Kemissä, Raumalla ja Äänekoskella. Sahatavaraa tuotetaan kuudella sahalla, joista yksi on Venäjällä ja loput Suomessa. Metsä Fibre on osa Metsä Groupia, joka on suomalainen metsäteollisuuskonserni. (Metsä Fibre lyhyesti.)

Työntekijöitä Metsä Fibrellä on 1300. Sellua tuotetaan 3,3 miljoonaa tonnia vuodessa, josta 1,3 milj. tonnia Äänekosken biotuotetehtaalla. Sahatavaraa tuotetaan 1,9 miljoonaa kuutiota vuodessa. Liikevaihto on 2,2 miljardia ja liiketulos 249 milj. euroa. (Metsä Fibre lyhyesti.)

Metsä Groupin biotuotetehdas Äänekoskella on havu- ja koivusellua valmistava sellutehdas. Sellua valmistetaan kartongin, pehmo- ja painopaperin sekä erikoistuotteiden raaka-aineiksi 1,3 miljoonaa tonnia vuodessa. Biotuotetehdas on pohjoisen pallonpuoliskon suurin puuta jalostava laitos ja suurin investointi Suomen metsäteollisuuden historiassa, arvoltaan 1,2 miljardia euroa. Tehtaan puunkulutus on 6,5 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. (Uuden sukupolven biotuotetehdas Äänekoskella, n.d.)

Tehdasta kutsutaan biotuotetehtaaksi sen takia, että sillä valmistetaan sellun valmistuksessa syntyvistä sivuvirroista erilaisia biotuotteita suuremmalla mittakaavalla,

kuin perinteisellä sellutehtaalla. Biotuotteista merkittävimpiä ovat mäntyöljy, tärpätti, bioenergia, tuotekaasu ja rikkihappo. (Uuden sukupolven biotuotetehdas Äänekoskella, n.d.)

Massatehdas on yksi biotuotetehtaan osasto ja osa kuitulinjaa. Kuitulinja koostuu puunkäsittelystä, massatehtaasta ja kuivaamosta. Sellutehdas koostuu kuitulinjasta ja talteenottolinjasta. Puunkäsittelyyn puut tuodaan kuorma-autoilla ja junilla. Puut kuoritaan ja haketetaan, jonka jälkeen hake syötetään massatehtaalle. Massatehtaalla haketta keitetään keittimessä paineen ja kemikaalien avulla, jolloin siitä tulee massaa. Massaa pestään ja valkaistaan kemikaaleilla useassa vaiheessa. Tämän jälkeen valkaistu massa kulkeutuu kuivaamolle, jossa se kuivataan ja leikataan arkeiksi.

3 Kunnossapito

3.1 Mitä on kunnossapito?

Kunnossapidolla tarkoitetaan kaikkia toimenpiteitä, joiden avulla pidetään jokin kohde tai toiminto suorittamassa sille määriteltyä tehtävää. Kyseisiä toimenpiteitä ovat mm. tekniset huolto- ja korjaustoimet sekä niihin liittyvät hallinnolliset ja johtamisen toimenpiteet. Kunnossapidosta on erilaisia määritelmiä ja käsityksiä. Standardit ja teokset määrittelevät kunnossapidon hieman eri lailla toisistaan, mutta pääpiirteittäin niillä on yhtenevät tavoitteet: pitää tuotantolaitoksen tai järjestelmän toiminnot käyttökunnossa ja palauttaa ne käyttökuntoon niiden rikkoutuessa. Kunnossapito on määritelty mm. PSK- ja EN-standardeissa sekä alan kirjallisuudessa (Mikkonen, H., Miettinen, J., Leinonen, P., Jantunen, E., Kokko, V., Riutta, E., Sulo, P., Komonen, K., Lumme, V.E., Kautto, J., Heinonen, K., Lakka, S. & Mäkeläinen, R. 2009, 25).

Standardi PSK 6201 määrittelee kunnossapidon seuraavasti: ”Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa

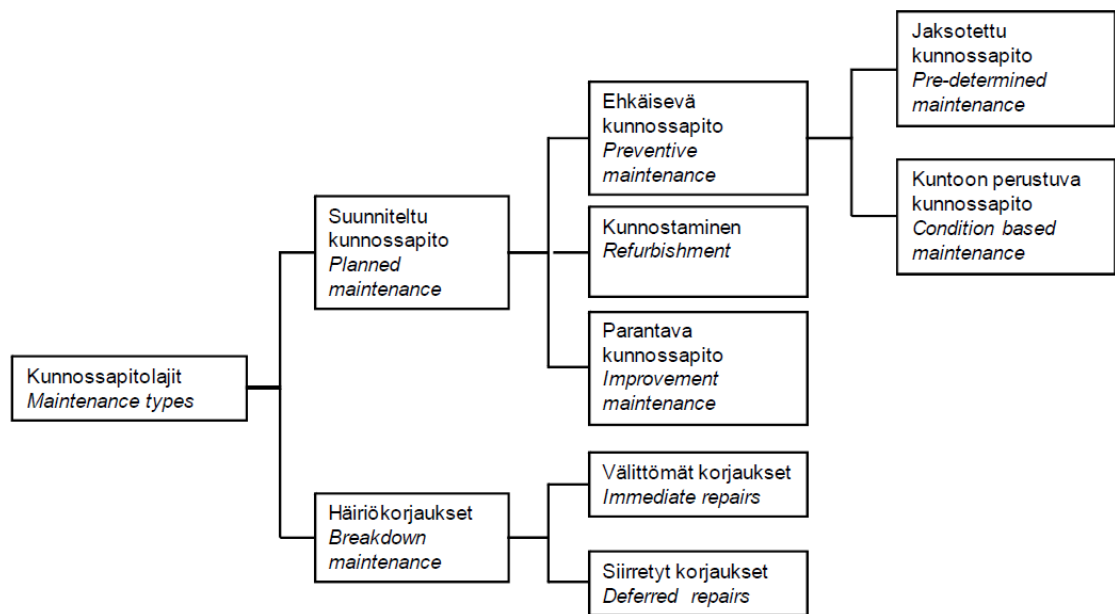
se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana.” (PSK 6201 2011, 2.)

Kunnossapito on tärkeässä roolissa monessa eri toiminnassa. Lähes kaikkeen tekemiseen, tuotteiden valmistukseen, palvelujen tarjoamiseen, liittyy kunnossapitoa jollain tavalla. Kunnossapito on merkittävässä roolissa prosessiteollisuuden tuotantolaitoksissa, joissa monimutkaisilla laitteilla ja järjestelmillä tuotetaan myytävää lopputuotetta. Järjestelmien ja laitteiden on oltava toimintakykyisiä sekä niiden vikaantumisia pitäisi pystyä ennakoimaan ja ennaltaehkäisemään, jotta saavutettaisiin mahdollisimman tasainen ja häiriötön tuotanto sekä lopputuotteen hyvä laatu. Nämä asiat osaltaan mahdollistavan kannattavan liiketoiminnan.

3.2 Kunnossapitolajit

Kunnossapito on jaoteltu eri lajeiksi (Järviö, J. & Lehtiö, T. 2017, 46). Jaottelu on perusedellytys toiminnan tehokkaalle johtamiselle (mts. 46). Jaottelun avulla seurataan mm. kunnossapidon tehokkuutta vertailemalla eri työlajien kustannuksia ja tehtyjen tuntien määrää (mts. 46). Kunnossapito voidaan jakaa kahteen päätyyppiin, proaktiiviseen ja reagoivaan kunnossapitoon (mts. 47). Proaktiivinen kunnossapito tarkoittaa suunniteltuja toimia, reagoiva kunnossapito suunnittelemattomia korjauksia.

Eri standardeissa kunnossapitolajit on jaoteltu hieman eri tavoilla. Myös kunnossapidon termeissä ja määritelmissä on eroja. Kuviossa 1 on esitetty standardin PSK 6201:2011 kunnossapitolajien jaottelu.



Kuvio 1. Kunnossapitolajit (PSK 6201:2011, 22)

Tässä työssä käsiteltävät ennakkohuolto-ohjelmat ovat jaksotettua kunnossapitoa. Ennakkohuolto-ohjelmissä on määritelty kullekin kohteelle tarkastus-, puhdistus- ja muut huoltotoimenpiteet sekä näiden suorittamisen aikavälit. Ennakkohuollon tarkoituksena on ennakoida vikaantumisia sekä pitää laitteen haluttu toiminto kunnossa. Jaksotettu kunnossapito on ehkäisevän kunnossapidon toimenpide (PSK 6201:2011, 22).

4 Luotettavuuskeskeinen kunnossapito (RCM)

4.1 Mikä on RCM?

Alun perin siviili-ilmailun tarpeisiin kehitetty RCM (Reliability Centered Maintenance) eli luotettavuuskeskeinen kunnossapito on menetelmä, jolla kehitetään tai optimoidaan kunnossapito-ohjelma tuotanto-omaisuudelle, kuten koneelle tai laitteelle. RCM:n perusidea on tunnistaa laitteiden toiminnot ja niiden pohjalta luoda kunnossapito-ohjelma, jolla varmistetaan, että laitteet jatkavat niille määritettyjen toimintojen suorittamista (Smith & Hinchcliffe 2003, 72).

RCM2-menetelmän kehittäjä John Moubray (2002, 7) määrittelee luotettavuuskeskeisen kunnossapidon seuraavasti: ”a process used to determine what must be done to ensure that any physical asset continues to do what its users want it to do in its present operating context”. Tämä suomennettuna: ”prosessi, jolla määritellään mitä tulee tehdä, jotta tuotanto-omaisuus jatkaa sille määriteltyjen toimintojen suorittamista sen nykyisessä toimintaympäristössään”.

RCM-prosessille ominaista on laitekohtainen vikaantumisien seuraamuksien selvittäminen ja sopivien kunnossapitomenetelmien määrittely tapauskohtaisesti. RCM:ssä priorisoidaan seurausvaikutukset ja kohdistetaan kunnossapitoa kohteisiin, joissa kunnossapito on tehokasta. Tästä seuraa, että tehottomien kunnossapitotöiden määrä vähenee merkittävästi. (Järviö & Lehtiö 2017, 172.)

RCM-prosessin tuloksena on tarkasti määritellyt laitteiden toiminnot sekä toimintojen ylläpitämiseksi vaaditut kunnossapitotoimet. Kunnossapitotoimien määrittelyyn käytetään päätöksentekokaaviota, joka on esitetty liitteessä 1. Alaluvuissa 4.2 ja 4.3 kerrotaan RCM-prosessista ja sen periaatteista, jotka tulee ymmärtää ennen toimintojen määrittelyä ja päätöksentekokaavion käyttämistä.

4.2 RCM:n periaatteet

RCM-prosessissa tärkein asia on kohteen toiminnan varmistaminen (Smith & Hinchcliffe 2003, 64). Vikoja ei voida aina välttää, mutta niiden seuraukset voidaan, tai seurauksia pystytään ainakin pienentämään siedettävälle tasolle (Järviö & Lehtiö 2017, 168).

RCM kysyy seitsemän kysymystä tarkasteltavana olevasta laitteesta tai järjestelmästä (Moubray 2002, 7):

1. Mitkä ovat laitteen toiminnot ja suorituskyykyvaatimukset sen nykyisessä toimintaympäristössä?
2. Millä tavoin laite ei toteuta sen toimintoja?
3. Mikä aiheuttaa toiminnon puuttumisen tai vajaatoiminnan?
4. Mitä tapahtuu, kun toiminnon puuttuminen tai vajaatoiminta esiintyy?
5. Millä tavoin toiminnon puuttumisella tai vajaatoiminnalla on merkitystä?

6. Mitä on tehtävissä, jotta toiminnon puuttuminen tai vajaatoiminta voidaan estää?
7. Mitä tulisi tehdä, kun sopivaa ennakoivaa toimenpidettä ei löydy?

RCM-prosessissa kunkin kohteen tarkastelu voidaan siis jakaa seitsemään kohtaan (Mikkonen ym. 2009, 76):

- Määritellään laitteiden toiminnot ja suorituskykyvaatimukset
- Määritellään toiminnalliset viat
- Selvitetään vikaantumismallit
- Selvitetään vian vaikutukset
- Määritellään vian seuraukset
- Määritellään ennakoivat toimenpiteet
- Määritellään korjaavat toimenpiteet

Nämä seitsemän kohtaa käydään läpi seuraavassa alaluvussa.

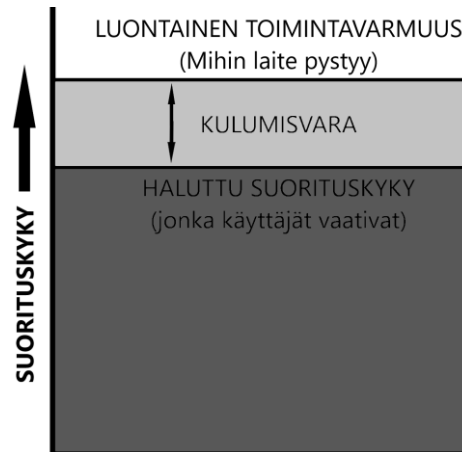
4.3 RCM-prosessi

4.3.1 Toiminnot ja suorituskykyvaatimukset

RCM-prosessin ensimmäisessä vaiheessa määritellään tarkasteltavana olevan laitteen (tai järjestelmän) toiminnot ja suorituskykyvaatimukset. Laitteen toiminnot ja suorituskykyvaatimukset tulee määritellä sen nykyisessä toimintaympäristössä. Laitteiden käyttäjät ovat keskeisessä asemassa toimintojen määrittelyssä. Heillä on usein paras tieto laitteen toiminnasta ja käytämisestä. (Moubray 2002, 8.)

Toimintojen määrittelemineen on tärkeää siksi, että kaikki laitteet hankitaan, koska joku haluaa, että niillä tehdään jotakin (mts 21). Tästä seuraa, että kunnossapidon tavoite tulisi olla säilyttää laite sellaisessa tilassa, jossa se pystyy tekemään sitä, mitä sen halutaan tekevän (mts. 21). Voi olla suuria eroja siinä, mitä laitteelta halutaan ja mihin se pystyy (mts. 21). Laitteita ei siis pyritä pitämään alkuperäisessä kunnossa, vaan sellaisessa kunnossa, jossa ne pystyvät suorittamaan vaaditun toiminnon (Smith & Hinchcliffe 2003, 72). RCM:ssä painotetaan nimenomaan tätä asiaa (Smith & Hinchcliffe 2003, 72).

Käyttäjät vaativat laitteilta tietyn toiminnon lisäksi myös tietyn suorituskyvyn tason, jolla toiminto suoritetaan (mts 22). Kulumisen myötä kaikkien laitteiden suorituskky kuitenkin laskee (mts 22). Tästä seuraa, että laitteen alkuperäinen suorituskky on oltava suurempi kuin siltä vaadittu suorituskky, jotta vaadittu suorituskvyn taso voidaan säilyttää kunnossapidon keinoin (mts 23). Tätä on havainnollistettu kuviossa 2.



Kuvio 2. Luontainen toimintavarmuus ja haluttu suorituskky (Moubray 2002, 23, muokattu)

Laitteen alkuperäisestä suorituskvyytä, eli mitä se pystyy tekemään, Moubray (2002, 23) käyttää termiä inherent reliability. Standardi SFS-EN 13306:2017 (2017, 7) kolmas painos suomentaa termin inherent reliability luontaiseksi toimintavarmuudeksi.

Laitteen toimintaympäristö on tärkeä tiedostaa, kun käytetään RCM-prosessia. Alla on lueteltu tärkeimmät tekijät toimintaympäristön merkityksen arvioinnissa (Moubray 2002, 29-33):

- Tuotantolaitoksen tuotantotyyppi
- Laitteen redundanssi
- Laatuvaatimukset
- Ympäristövaatimukset
- Työturvallisuusvaatimukset
- Työvuorojärjestelyt
- Keskenäinen tuotanto
- Korjausaika
- Varaosat
- Markkinatilanne
- Raaka-aineen saatavuus

Hyvin usein laitteilla on useampi kuin yksi toiminto. Koska kunnossapidon tavoite on pitää laitteet suorittamassa toimintoja, tulee kaikki toiminnot määritellä tarkasti suorituskyykyvaatimuksineen. Toiminnot jaetaan kahteen päätyyppiin, ensisijaisiin ja toissijaisiin. Nämä voidaan tarvittaessa jakaa vielä eri alaluokkiin. (Mts. 35.)

Yksittäisen laitteen hankintaan yrityksissä on yleensä yhdestä kolmeen eri syytä (mts. 35). Nämä syyt ovat ensisijaisia toimintoja ja ne tulee määritellä tarkasti (mts. 35). Ensisijaiset toiminnot ovat yleensä helppoja tunnistaa (mts. 36). Esimerkiksi leikkurin ensisijainen toiminto on leikata ja kuorimarummun ensisijainen toiminto on kuoria. Haastavampaa on määrittää suorituskyykyvaatimukset kyseisille laitteille (mts. 36). Ensisijaisten toimintojen suorituskyykyvaatimukset voivat koskea mm. nopeutta, määrää, varastoimiskykyä tai laatua (mts. 36).

Usein laitteilta halutaan myös toissijaisia toimintoja. Toissijaiset toiminnot jaetaan RCM:ssä seuraaviin kategorioihin (mts. 38-43):

- Ympäristöön liittyvät toiminnot
- Turvallisuuteen ja rakenteelliseen kestävyys liittyvät toiminnot
- Hallinnan ja ergonomian toiminnot
- Ulkonäkö
- Turvatoiminnot
- Taloudellisuus ja tehokkuus
- Tarpeettomat toiminnot

4.3.2 Toiminnalliset viat

Koska RCM:n periaate on säilyttää laitteiden toiminnot, tulee toiminnalliset viat määrittää. (Smith & Hinchcliffe 2003, 97). Toiminnallinen vika voidaan määritellä olevan tila, jossa laite ei suorita sen jotakin toimintoa halutulla suorituskyyvyllä (Moubray 2002, 47). Laitteen jokaisella toiminnolla voi olla useita toiminnallisia vikoja, jotka tulisi kaikki listata (mts. 48). Toiminnallisten vikojen määrittelyssä voi olla näkemyseroja ja laitteiden käyttäjien ja kunnossapitäjien tulisi määritellä toiminnalliset viat yhteistyössä. (Mts. 52.)

Kuvion 3 esimerkissä on listattuna varoventtiilin toiminnot ja toiminnalliset viat vastaavasti. Ensimmäinen toiminto on ehkäistä yli 1500 psi paine 10 % varmuusmarginaalilla, josta seuraa, että yksi toiminnallinen vika kyseiselle toiminnolle on tilanne, jossa varoventtiili toimii yli 1650 psi paineessa (Smith & Hinchcliffe 2003, 98). Toinen toiminnallinen vika on tilanne, jossa varoventtiili toimii alle 1500 psi nimellispaineen (mts. 98).

Function	Functional failure
1. Provide for pressure relief above 1500 psi.	a. Pressure relief occurs above 1650 psi. b. Pressure relief occurs prematurely (below 1500 psi).
2. Maintain a flow of 1500 GPM at the outlet of header 26.	a. Flow exceeds 1500 GPM. b. Flow is less than 1500 but greater than 1000 GPM. c. Flow is less than 1000 GPM.

Kuvio 3. Varoventtiilin toiminnot ja toiminnalliset viat (Smith & Hinchcliffe 2003, 98).

4.3.3 Vikaantumismallit

Vikaantumismalli on mikä tahansa tapahtuma, joka aiheuttaa toiminnallisen vian (Moubray 2002, 53). RCM:ssä jokaiselle toiminnalliselle vialle pyritään selvittämään kaikki vikaantumismallit, jotka jonkinasteisella todennäköisyydellä aiheuttavat toiminnallisen vian (Järviö & Lehtiö 2017, 169). Järviö ja Lehtiö (2017, 169) tarkoittavat jonkinasteisella todennäköisyydellä tapauksia, jotka ovat jo aiemmin tapahtuneet samanlaisella laitteella samanlaisessa toimintaympäristössä.

Vikaantumismalleja voi olla kymmeniä tai satoja, riippuen kuinka monimutkaisen tai suuren laitteen vikaantumismalleja tarkastellaan (Moubray 2002, 55). Näin ollen vikaantumismallien määrittely voi kohteesta riippuen olla hyvin raskas prosessi. Tässä korostuu vikaantumismallien todennäköisyyden arviointi sekä se, kuinka yksityiskohdaisesti vikaantumismalleja kuvataan. Vikaantumismallit tulisi kuvata riittävällä tarkkuudella, jotta voidaan kohdistaa asianmukaiset toimenpiteet toiminnallisten vikojen ehkäisemiseksi, mutta ei kuitenkaan liian tarkasti, jotta prosessista ei tulisi liian raskas ja aikaa vievä. (Moubray 2002, 55, 64.)

4.3.4 Vian vaikutukset

Vian vaikutukset kuvaavat, mitä tapahtuu, kun vika ilmenee. Vian vaikutukset ovat siis eri asia kuin vian seuraukset. Vian vaikutuksilla kuvataan mitä tapahtuu, kun vika ilmenee ja vian seurauksilla kuvataan sitä, miten vian ilmenemisellä on merkitystä. (Moubray 2002, 73.)

Moubrayn (2002, 73) mukaan vian vaikutuksien dokumentoinnissa tulisi huomioida seuraavat asiat:

- Miten vika ilmenee?
- Millä tavoin se vaikuttaa turvallisuuteen tai ympäristöön?
- Miten se vaikuttaa tuotantoon tai palveluihin?
- Mitä aineellisia vahinkoja se aiheuttaa?
- Miten vika korjataan?

4.3.5 Vian seuraukset

Kuten edellä todettiin, vian seuraukset kuvaavat sitä, miten vian ilmenemisellä on merkitystä. Kun vika ilmenee, laitteen omistava yritys joutuu käyttämään resursseja sen korjaamiseen (Moubray 2002, 90). Resurssien käytön määrään vaikuttaa vian seurausten vakavuus (mts. 90).

Jos vian seuraukset ovat vakavia, halutaan yrityksessä luonnollisesti käyttää paljon resursseja niiden ehkäisemiseksi tai pienentämiseksi. Turvallisuuteen ja ympäristöön vaikuttavia vikojen seurauksia halutaan yleensä minimoida mahdollisimman tehokkaasti. Jos vian seuraukset ovat pieniä, voi olla kustannustehokkaampaa ja järkevämpää antaa vian tapahtua, kuin kehittää ehkäiseviä toimenpiteitä seurausten pienentämiseksi. (Mts. 91.)

RCM jakaa vikojen seuraukset neljään ryhmään (Järviö & Lehtiö 2017, 170):

- Piilevien vikojen seuraukset: Piilevät viat eivät näy suoraan, mutta ne aiheuttavat suurempia vikoja
- Turvallisuus ja ympäristöseuraukset: Vika aiheuttaa tai altistaa tapaturmalle taikka se rikkoo ympäristöön liittyviä säädöksiä.

- Toiminnalliset seuraukset: Vika vaikuttaa tuotantoon (tuotannonmenetykset) tai palveluihin
- Ei-toiminnalliset seuraukset: Seuraukset ovat vain välittömiä kustannuksia, jotka aiheutuvat kohteen korjaamisesta

4.3.6 Ennakoivat toimenpiteet

Vikojen seuraamuksien selvittämisen jälkeen määritellään sopivat toimenpiteet, joilla hallitaan vikaantumista tai sen seurauksia (Järviö & Lehtiö 2017, 170). Järviö ja Lehtiö (2017, 170) jakavat nämä tehtävät kahteen ryhmään: proaktiiviset tehtävät sekä korjaus- tai toimintaohjeet.

Proaktiiviset tehtävät (ennakoivat toimenpiteet) ovat tehtäviä, joita tehdään ennen kuin laitteen vikaantuminen on niin pitkällä, että laitteen toiminto on menetetty (mts 170). Proaktiiviset tehtävät jaetaan kolmeen ryhmään: jaksotettu korjaus, jaksotettu uusiminen sekä kunnonvalvonta (mts. 170). Korjaavista toimenpiteistä kerrotaan seuraavassa alaluvussa.

Jaksotettu korjaus (jaksotettu kunnostaminen) koostuu toimenpiteistä, joilla tavoitellaan laitteen alkuperäisen toimintakyvyn palauttamista (Moubray 2002, 134). Näitä toimenpiteitä ovat mm. laitteen tai sen osan määräaikaistarkastukset eliniän lopussa tai eliniästä riippumatta sekä säännölliset huoltotoimenpiteet (Järviö & Lehtiö 2017, 171; Mikkonen ym. 2009, 76).

Jaksotettu uusiminen tarkoittaa laitteen tai sen osan uusimista eli vaihtoa uuteen. Laitteiden tai osien vaihtaminen uusiin tehdään tietyin aikavälein riippumatta laitteen kunnosta. Aikavälit riippuvat siitä, miten usein laite tai osa yleensä vikaantuu. (Moubray 2002, 135).

Kunnonvalvonnalla pyritään havaitsemaan vikoja, joiden vikaantuminen on alkanut. Tämä edellyttää, että vikaantuminen on oireilevaa ja oireet pystytään havaitsemaan esimerkiksi mittauksilla tai aistein. Kunnonvalvonnan tavoite on huomata vikaantuminen ajoissa, jotta ehditään suunnittelemaan korjaustoimet. (Järviö & Lehtiö 2017, 171.)

4.3.7 Korjaavat toimenpiteet

Korjaaviin toimenpiteisiin eli korjaus- tai toimintaohjeisiin päädytään tilanteessa, jossa kohteelle ei ole mahdollista määritellä ehkäisevää toimintamallia. Korjaus- tai toimintaohjeilla tarkoitetaan dokumentoitua menettelytapaa, jonka mukaan toimitaan, kun laite lopettaa toimintonsa suorittamisen. Vian etsintä ja korjaava kunnossapito kuuluvat myös tähän ryhmään. (Järviö & Lehtiö 2017, 170.)

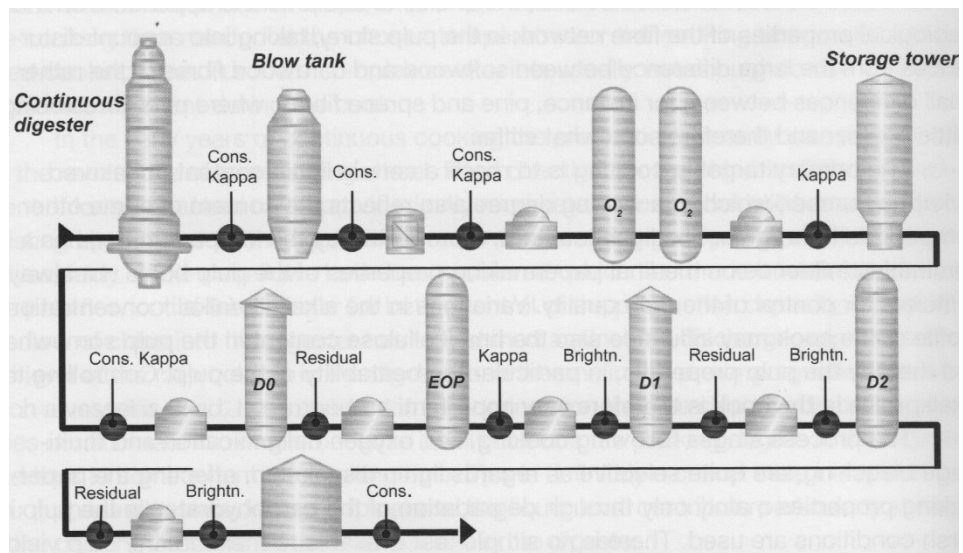
Moubrayn (2002, 170) mukaan sopiva korjaus- tai toimintaohje valitaan seuraavasti:

- Jos ehkäisevää toimenpidettä ei löydy, joka vähentää piilevien vikojen seuraukset siedettävälle tasolle, on tietyn aikavälein tehtävä vianetsintä sopiva toimenpide. Jos sopivaa vianetsintätoimenpidettä ei löydy, on laitteen tai osan uudelleensuunnittelu harkittava
- Jos ehkäisevää toimenpidettä ei löydy, joka vähentäisi turvallisuuteen tai ympäristöön liittyviä seurauksia siedettävälle tasolle, täytyy laite tai osa suunnitella uudelleen taikka sen toimintaa muuttaa
- Jos ehkäisevää toimenpidettä ei löydy, jonka kustannukset olisivat matalammat kuin toiminnalliset seuraukset, ei ennakoivaa kunnossapitoa kannata tehdä
- Jos ehkäisevää toimenpidettä ei löydy, jonka kustannukset olisivat matalammat kuin ei-toiminnalliset seuraukset, ei ennakoivaa kunnossapitoa kannata tehdä

5 Laatumittaukset

Tärkeimpiä parametreja, joita pyritään hallitsemaan sellunvalmistuksessa massatehtaalla ovat sellumassan ligniinipitoisuus, alkaliprofiili, koostumus ja vaaleus. Ligniinipitoisuutta kuvataan kappaluvulla, ja sitä mitataan kappa-analysaattorilla. Alkaliprofiilia mitataan alkalianalysaattorilla ja koostumusta sakeusmittauksilla. Prosessin eri kohdista mitataan myös happamuutta, jota kuvataan pH-arvolla. (Fardim 2011. 713–714.)

Sulfaattisellutehtaassa laatumittaukset sijaitsevat pääosin massatehtaalla, jossa itse sellunvalmistus tapahtuu (mts. 714). Kuviossa 4 on kuvattu, missä laatumittauksia yleensä sijaitsee massatehtaalla.

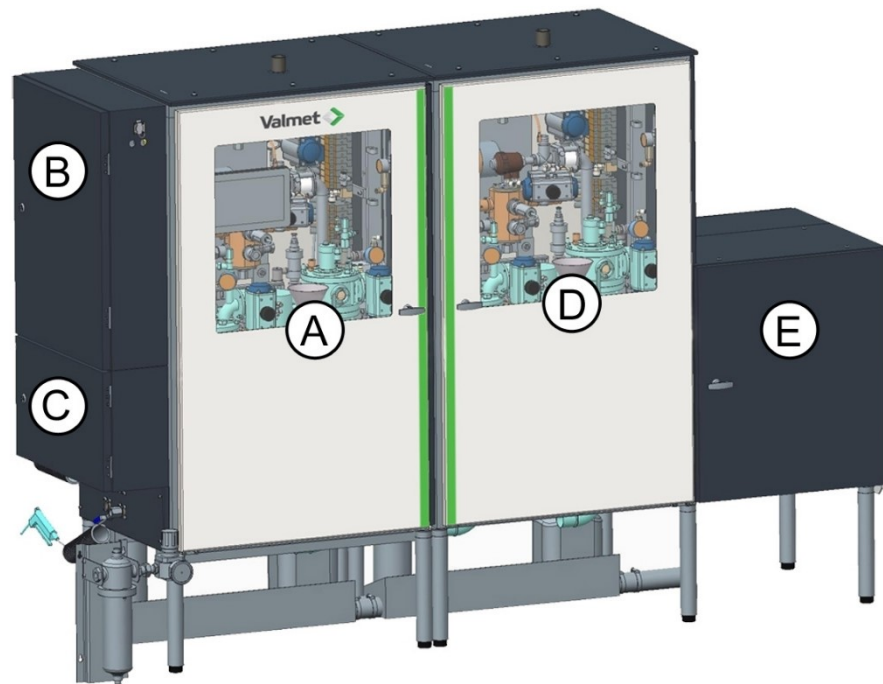


Kuvio 4. Laatumittausten sijainnit yleensä massatehtaan prosessin eri kohdissa (Fardim 2011, 714).

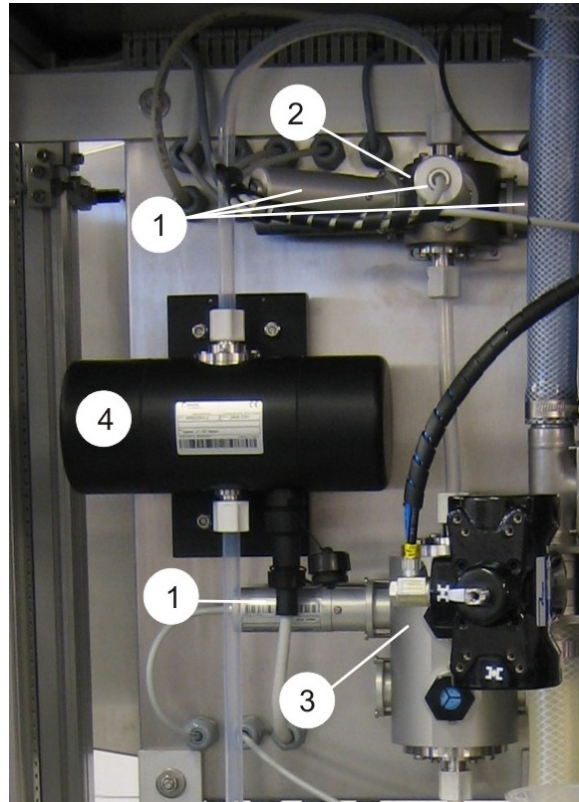
Biotuotetehtaan massatehtaalla on yhteensä 15 laatumittausta eli mittausta, joilla mitataan sellun laatuun vaikuttavia tekijöitä. Massatehtaan laatumittauksia ovat kappa-analysaattori, alkalianalysaattori sekä vaaleus- ja pH-mittaukset. Eniten on pH-mittauksia mittaamassa mm. pesureiden suodosten pH-arvoa. Kappa- ja alkalianalysointoreilla otetaan näytteitä useista kohtaa prosessia ja kappa-analysointorilla mitataan lisäksi myös kuidunpituutta ja vaaleutta. Vaaleutta mitataan kappakoneen lisäksi yhdellä erillisellä vaaleusmittarilla.

5.1 Kappa-analysaattorit

Massatehtaalla mitataan sellumassan kappalukua kahdella erilaisella kappa-analysointorilla. Ensimmäisellä Valmet Kappa QC -analysointorilla otetaan useasta kohtaa prosessia näytteitä. Sillä mitataan kappaluvun lisäksi myös vaaleutta ja kuidunpituutta. Analysointori koostuu mittausyksiköstä, laite-elektroniikkakotelosta ja kytkentäkotelosta. Kuviossa 5 A ja D ovat mittausyksiköitä, B laite-elektroniikkakotelo, C kytkentäkotelo ja E kuitu-tikku-moduuli. Kuviossa 6 kohdassa 1 on detektorit, 2 kappamittakenno, 3 vaaleusmittakenno ja 4 sakeusanturi.

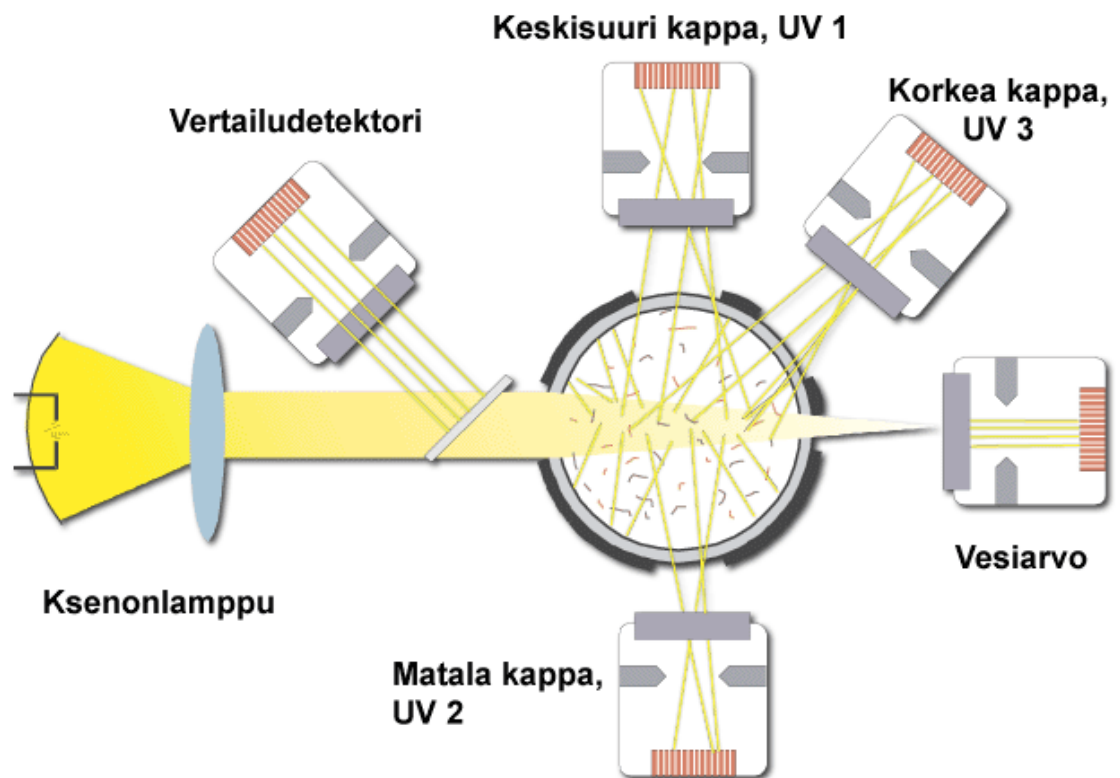


Kuvio 5. Valmet Kappa QC (Valmet Kappa Analyzer – Valmet Kappa QC 2020, 10)



Kuvio 6. Mittakennot (Valmet Kappa Analyzer – Valmet Kappa QC 2020, 11)

Kappa- ja vaaleusmittauksen toimintaperiaate on optinen (Valmet Kappa Analyzer – Valmet Kappa QC 2020, 11). Mittakennoissa olevaan massanäytteeseen suunnataan xenon-valo, jonka sirontaa ja absorptiota mitataan eri aallonpituuksilla (mts. 11). Kappaluku saadaan määriteltä ligniiniin absorboituneen UV-säteilyn voimakkuudesta (Kappaluvun mittaus 2020). Kuviossa 7 on havainnollistettu kappa- ja vaaleusmittauksen toimintaperiaatetta.



Kuvio 7. Optisen kappa- ja vaaleusmittauksen toimintaperiaate (Kappaluvun mittaus 2020)

Näyte saadaan mittakennoon näytteenottimien avulla (Kappaluvun mittaus 2020). Näytteenotin ottaa linjasta massaa ja kuljettaa sen veden avulla putkia pitkin analysaattorille (mt.). Analysaattorilla näyte pestään ja siitä mitataan alkusakeus (mt.). Tämän jälkeen mitataan kappaluku ja analysaattori pestään ennen seuraavaa näytettä

(mt.). Vaaleusmittaus tapahtuu samalla menetelmällä mutta omassa mittakennossa.

Kuidunpituus mitataan omassa moduulissaan kameran ja valon avulla alipikselilaskentaa hyödyntäen. Näytteen tullessa moduuliin se laimennetaan matalaan sakeuteen, jonka jälkeen näyte virtaa mittauskennon läpi. Näytteen virratessa mittauskennon läpi kamera kuvaa sitä ottamalla 50 kuvaa sekunnissa (Kuitupituuden mittaaminen 2020).

Toisella BTG:n valmistamalla kappa-analysaattorilla mitataan ainoastaan yhdestä putkilinjasta sellumassan kappalukua. BTG:n laitteen kappaluvun mittaus perustuu myösoptiseen mittaukseen, mutta siinä käytetään xenon-lampun sijaan UV-LED-valoa (SPK-5500 Single Point Kappa 2016, 7). BTG:n laite on asennettu suoraan putkilinjaan ja se sisältää näytteenotto-, lajittelu, tyhjennys ja pesutoiminnot.

5.2 Alkali-analysaattori

Alkaliprofiilia mitataan Valmet Alkali C -analysaattorilla, joka on titraattori. Sillä analysoidaan keiton valkolipeänäytteitä SCAN 30:85-standardin mukaisesti sekä mustaliipeän jäännösalkalinäytteitä standardin SCAN 33:94 mukaan. Analysaattori koostuu näytteenkäsittelymoduulista, titrausmoduulista, järjestelmämoduulista ja liitäntäkoTELOSTA. (Valmet Cooking Liquor Analyzer – Valmet Alkali C 2015, 9.)

Alkaliprofiilin mittaus perustuu titraukseen, jossa prosessista otettu lipeänäyte liotetaan veteen ja titrataan suolahapolla (Keittoliuoksen mittaukset 2020). Hapon lisäämisen myötä liuoksen pH-arvo laskee (mt.). pH-arvo mitataan ja tallennetaan (mt.). Mittaustilanteessa saadaan yleensä kolme kyllästymispistettä, jotka johtuvat kemikaalien reaktioista (mt.). Hapon kulutuksesta kyllästymispisteisiin titrattaessa voidaan laskea eri ionien konsentraatiot (mt.). Itse sähköinen mittaus kyseisessä alkalianalysaattorissa perustuu siis pH-mittaukseen. Näytteenotto tapahtuu näytteenottimilla, joilta näyte johdetaan putkia pitkin analysaattorille. Kuviossa 8 on Valmet Alkali C -analysaattori.



Kuvio 8. Valmet Alkali C (Valmet Cooking Liquor Analyzer – Valmet Alkali C 2015, 9)

5.3 Vaaleusmittaus

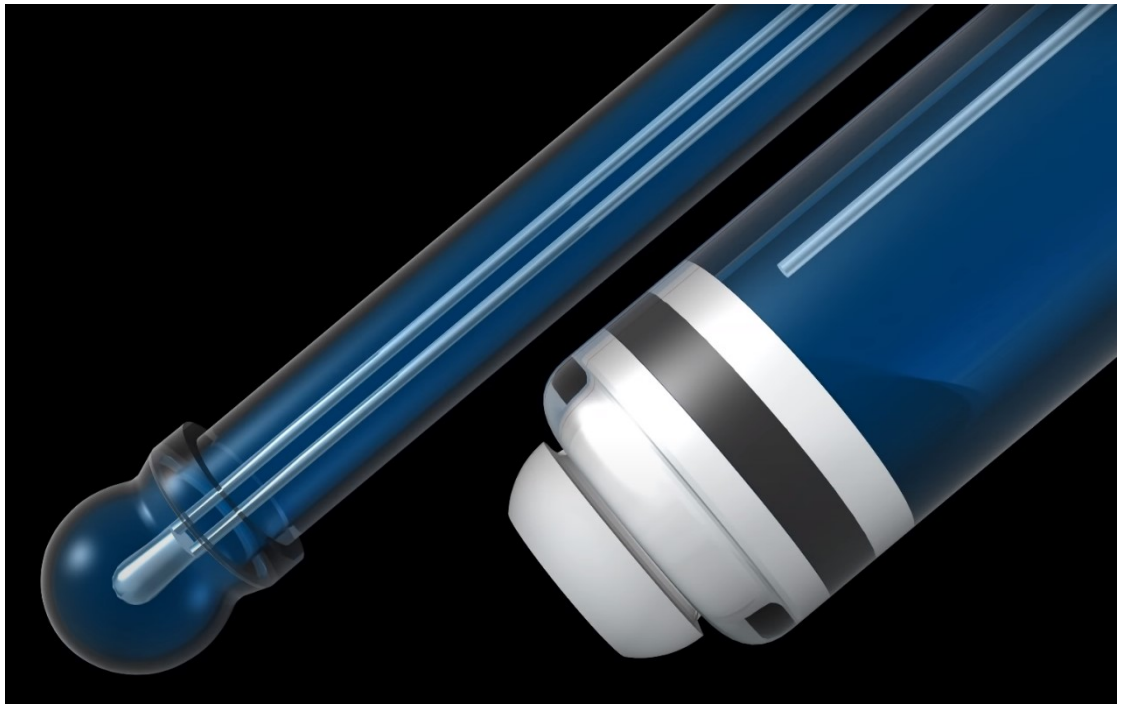
Vaaleutta mitataan massatehtaalla kahdentyyppisellä mittalaitteella: yhdellä in-line- ja yhdellä on-line-mittarilla. In-line-tyyppinen mittari, Valmet Cormec5, on putkilinjasta suoraan massan vaaleutta mittaava laite (Vaaleuden mittaus 2020). On-line-tyyppinen mittari on aiemmin tarkasteltu putkilinjasta erillään oleva analysaattori Valmet Kappa QC, joka ottaa näytteitä (mt.).

In-line-tyyppisen Cormec5-mittalaitteen toiminta perustuu valon heijastuksen mittaamiseen. Neljä väreistä koostuvaa valoa kulkeutuu valokuituja pitkin linssin läpi massaan, josta ne heijastuvat ja kulkeutuvat toisia kuituja pitkin detektoreille.

5.4 pH-mittaus

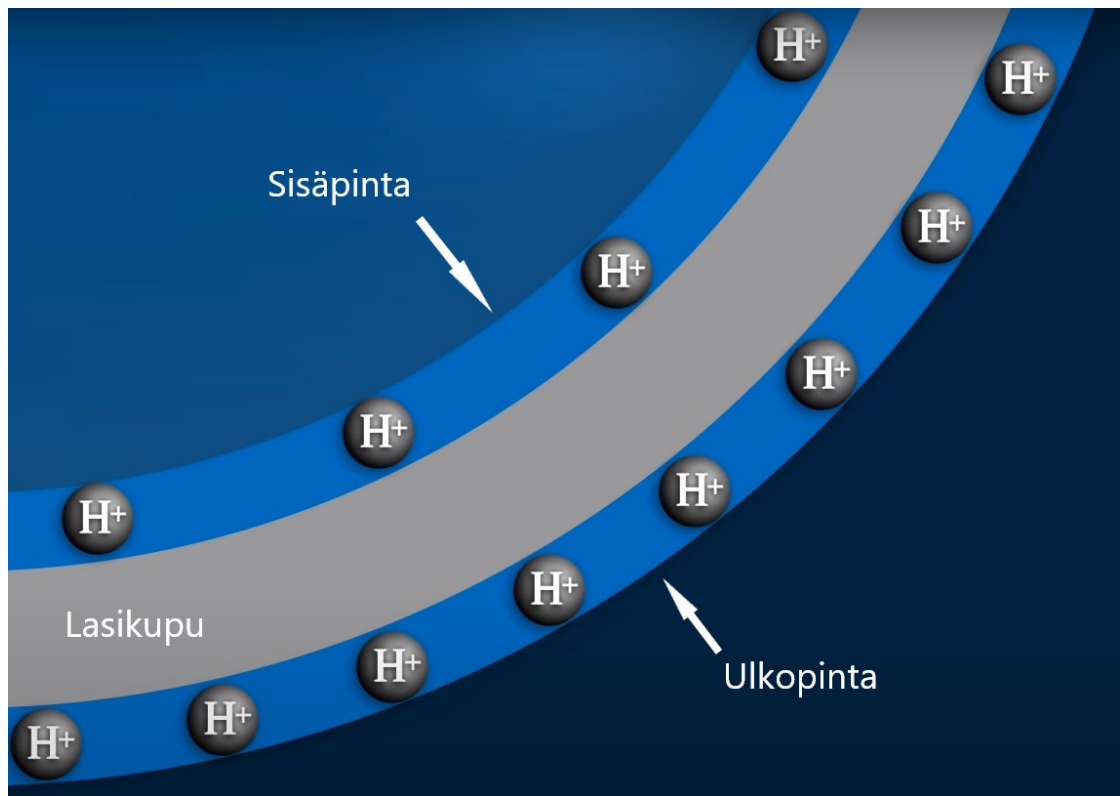
Sellumassan tai sen pesusuodoksien happamuutta mitataan yhteensä 11 kohdasta massatehtaalla. Sähköinen pH-arvon mittaus perustuu potentiaalieron mittaamiseen (Aumala 1998, 206). Potentiaalieron mittaamiseen käytetyt elektrodit voivat olla valmistettu lasista tai muista materiaaleista (Potentiometric pH measurement 2013). Massatehtaan pH-mittauksissa käytetään pelkästään Endress+Hauserin valmistamia lasielektrodeja, joten tässä työssä ei esitellä muiden elektrodityyppien toimintaa.

Lasielektrodi koostuu kahdesta sisäkkäisestä lasiputkesta (Potentiometric pH measurement 2013). Sisempi putki on mittauselektrodi ja ulompi vertailuelektrodi (mt.). Mittauselektrodi on täytetty neutraalilla (pH 7) puskuriliuoksella ja se sisältää elektrodijohtimet (mt.). Vertailuelektrodi on mitattavan liuoksen kanssa samassa potentiaalissa (Aumala 1998, 206). Vertailuelektrodi on myös täytetty neutraalilla puskuriliuoksella ja siinä on elektrodijohdin (Potentiometric pH measurement 2013). Kuviossa 9 on esitetty sisäkkäiset elektrodit erillään, joista vasemmanpuoleinen lasiputki on mittauselektrodi ja oikeanpuoleinen vertailuelektrodi.



Kuvio 9. Vasemmalla mittauselektrodi, oikealla vertailuelektrodi (Potentiometric pH measurement 2013).

Itse pH-arvo saadaan laskemalla mittauselektrodin ja vertailuelektrodin välisestä potentiaalierosta. Potentiaaliero syntyy mittauselektrodin puskuriliuoksen ja mitattavan liuoksen välille, kun vetyionien määrä tuntoelimen pintakerroksissa eroaa toisistaan. Mitattavan liuoksen vetyionit imeytyvät tuntoelimen ulkopintaan ja puskuriliuoksen vakiomäärä vetyioneja on imeytynyt tuntoelimen sisäpintaan. Kuviossa 10 on havainnollistettu tätä tilannetta. (Potentiometric pH measurement 2013.)



Kuvio 10. Vetyionit tuntoelimen sisä- ja ulkopinnalla (Potentiometric pH measurement 2013, muokattu).

Kun tuntoelimen sisäpinnassa olevien vetyionien määrä on pienempi, kuin ulkopinnassa olevien, on mitattava liuos hapan (pH alle 7). Kun vetyionien määrä on yhtä suuri tuntoelimen sisä- ja ulkopinnoissa, ei potentiaaliero synny, joten mitattava liuos on neutraali (pH 7). Vastaavasti sisäpinnassa olevien vetyionien määrän ollessa suurempi, kuin ulkopinnassa olevien, on mitattava liuos emäksinen (pH yli 7). (Potentiometric pH measurement 2013.)

6 Työn toteutus

Tässä työssä päivitettiin kaikkien mittausten alkuperäiset ennakkohuolto-ohjelmat. Yhteensä 15 mittausta käytiin siis läpi. Käytännössä päivittäminen tehtiin siten, että jokaiselle mittalaitteelle laadittiin uusi ennakkohuolto-ohjelma samalla menetelmällä. Menetelmä perustuu RCM:n seitsemään kohtaan, eikä sen ollut tarkoitus olla täydellinen RCM-prosessin mukainen käsittely. ”Oikeaoppisesti” tehtynä RCM-projekti vaatisi tuotannon ja kunnossapidon henkilöiltä sekä RCM:ään koulutetulta

ohjaajalta useita kokoontumisia, jossa yhteistyössä tarkasteltaisiin laitteita. RCM-projekti saattaa tarkasteltavan laitekokonaisuuden laajuuden mukaan kestää kuukausia tai jopa vuosia. Tähän ei olisi käytännössä ollut mahdollisuutta itseni, eikä toimeksiantajan puolesta tässä työssä.

Työ aloitettiin kirjallisuuskatsauksella kunnossapidosta ja kunnossapidon menetelmistä sekä laatumittauslaitteista. Kunnossapidon suunnitteluun ja kehittämiseen on olemassa useita filosofioita. RCM vaikutti sopivimmalta menetelmältä johtuen sen konkreettisista keinoista ehkäisevän kunnossapidon suunnitteluun. Muut menetelmät ovat enemmänkin koko tuotannon järjestämiseen tarkoitettuja filosofioita, kuin työkaluja, joilla tehdä tai tarkastella ennakkohuolto-ohjelmia. Kun sopiva menetelmä löytyi, selvitettiin ennakkohuolto-ohjelmien alkutilanne.

Seuraavaksi aloitettiin ennakkohuolto-ohjelmien laatiminen menetelmällä, joka perustuu RCM:n seitsemään kohtaan. Nämä seitsemän kohtaa olivat:

- Määritellään laitteiden toiminnot ja suorituskysyvaatimukset
- Määritellään toiminnalliset viat
- Selvitetään vikaantumismallit
- Selvitetään vian vaikutukset
- Määritellään vian seuraukset
- Määritellään ennakoivat toimenpiteet
- Määritellään korjaavat toimenpiteet

Ennakkohuolto-ohjelmien laatiminen tehtiin osittain yhteistyössä kunnossapidon ja tuotannon henkilöiden kanssa. Luvussa 6.1 kerrotaan alkutilanteesta. Luku 6.2 kuvaillee ennakkohuolto-ohjelmien laatimisessa käytettyä menetelmää. Luvussa 6.3 kerrotaan, miten ennakkohuolto-ohjelmat käytännössä laadittiin.

6.1 Alkutilanne

Kaikille tässä työssä käsiteltäville mittalaitteille oli ennakkohuolto-ohjelma olemassa lukuun ottamatta erillistä vaaleusmittausta. Kappa- ja alkalianalysaattoreiden ennakkohuolto koostui pääosin analyyseissa tarvittavien nesteiden täytöistä viikon välein.

Lisäksi alkalianalysaattorille oli määritelty tehtäväksi pH-anturin viritys neljän viikon välein. pH-mittauksille oli määritelty puhdistus, silmämääräinen tarkastus sekä mittauksen tarkastus vertailumittauksen avulla viikoittain tehtäväksi.

Massatehtaan laatumittauslaitteiden ennakko- ja huolto-ohjelmat ovat laitekohtaisesti kunnossapito-organisaation SAP-toiminnanohjausjärjestelmässä. Laitteiden ennakko- ja huolto-ohjelmat ovat huoltoriveillä, yksi huoltorivi vastaa yhden laitteen ennakko- ja huolto-ohjelmaa. Huoltorivi sisältää laitteen tiedot, sille tehtävät toimenpiteet, haluttu aikaväli toimenpiteiden suorittamiselle sekä toimenpiteiden suorittajan. Huoltorivit on järjestetty huoltosuunnitelmiin, jotka kattavat suuremman laitekokonaisuuden tai -ryhmän.

6.2 Menetelmä

Työssä käytetty menetelmä perustuu kahden RCM:n mukaisen lomakkeen ja päätöksentekokaavion käyttöön. Lomakkeet ovat informaatiolomake ja päätöksentekolomake, jotka ovat liitteissä 2 ja 3. Päätöksentekokaavio on liitteessä 1. Lomakkeet ovat John Moubrayn (2002, 89, 199) kirjassa esitettyjen mukaisia. Päätöksentekokaavio on myös Moubrayn (2002, 200) kirjassa esitetyn mukainen. RCM:n seitsemän kohtaa tulee käsitellyksi menetelmää käyttäessä. Laitteiden toiminnot ja suorituskykyvaatimukset, toiminnalliset viat, vikaantumismallit sekä vian vaikutukset määritellään informaatiolomakkeelle. Vian seurauksia punnitaan päätöksentekokaaviota käytettäessä. Päätöksentekokaavion avulla myös määritellään sopivat ennakoivat tai korjaavat toimenpiteet vian seurauksien mukaan.

Jokaiselle tarkasteltavalle laitteelle tehdään informaatiolomake ja päätöksentekolomake. Informaatiolomakkeelle dokumentoidaan laitteen toiminnot, toiminnalliset viat, vikaantumismallit sekä vian vaikutukset. Päätöksentekolomakkeelle dokumentoidaan kunkin vikaantumismallin seurauksen tyyppi, sopivan kunnossapitotoimenpiteen tyyppi, itse kunnossapitotoimenpide sekä toimenpiteen alustava suoritusajaväli ja suorittaja. Päätöksentekolomakkeelle päätökset saadaan päätöksentekokaavioilla, joka kysyy vian seurauksiin ja kunnossapitotoimenpiteisiin liittyviä kysymyksiä. Seuraavissa alaluvuissa on esimerkit, miten lomakkeita käytetään.

6.2.1 Informaatiolomakkeen käyttäminen

Alla esimerkki kuvitteellisen painemittauksen informaatiolomakkeen täyttämisestä. Informaatiolomake on ensimmäinen kahdesta lomakkeesta, jotka täytetään kunkin laitteen tarkastelussa.

Laite: Painemittaus

TOIMINTO		TOIMINNALLINEN VIKA	
1	Mitata säiliön x painetta alueella 1...3 bar, tarkkuudella $\pm 0,1$ %		

Kuvio 11. Toimintojen listaaminen

Kuviossa 11 on esitetty, miten laitteiden toiminnot listataan informaatiolomakkeelle. Toiminnossa tulisi huomioida myös suorituskyykyvaatimus, joka tässä tapauksessa on mittausalue ja -tarkkuus. Toimintoja voi olla useita tarkasteltavan laitteen mukaan.

TOIMINTO		TOIMINNALLINEN VIKA	
1	Mitata säiliön x painetta alueella 1...3 bar, tarkkuudella $\pm 0,1$ %	A	Ei mittaa lainkaan
		B	Mittaustulos epätarkka
		C	Mittaustuloksessa heiluntaa

Kuvio 12. Toiminnallisten vikojen listaaminen

Kuviossa 12 on listattu toiminnalliset viat toiminnolle. Toiminnallinen vika on tila, jossa toimintoa ei suoriteta halutulla suorituskyyvyllä tai ollenkaan. Jokaisella toiminnolla voi olla useita toiminnallisia vikoja.

TOIMINNALLINEN VIKA		VIKAANTUMISMALLI	
A	Ei mittaa lainkaan	1	Anturin kalvo rikkoutuu prosessissa olevien metallikappaleiden takia
		2	Prosessiyhde jätetty huolto-asentoon
B	Mittaustulos epätarkka	1	Anturin kalvoon syntyy kerrostumaa

Kuvio 13. Vikaantumismallien listaaminen

Vikaantumismallien listaamisesta on esimerkki kuviossa 13. Jokaiselle toiminnalliselle vialle listataan kaikki vikaantumismallit, joilla vika jonkinasteisella todennäköisyydellä ilmenee. Jonkinasteinen todennäköisyys tässä yhteydessä tarkoittaa tapauksia, jotka ovat sattuneet aikaisemmin tai joita yleensä samanlaisissa laitteissa ilmenee samanlaisessa toimintaympäristössä. Vikaantumismallienkin määrä riippuu tarkasteltavasta laitteesta tai laitteistosta.

VIKAANTUMISMALLI		VIAN VAIKUTUS
1	Anturin kalvo rikkoutuu prosessissa olevien metallikappaleiden takia	Prosessinohjausjärjestelmässä mittauksen piiri-ikkunassa ilmaistaan vikatila. Korjaamiseen kuluva aika 2-3 tuntia
2	Prosessiyhde jätetty huolto-asentoon	Prosessinohjausjärjestelmässä mittauksen piiri-ikkunassa paineen arvo näyttää nollaa. Korjaamiseen kuluva aika 2-3 tuntia
1	Anturin kalvoon syntyy kerrostumaa	Vika ei näy suoraan. Valvomossa operaattori saattaa kiinnittää huomion epätarkkaan mittaustulokseen. Puhdistamiseen kuluva aika noin 2 tuntia

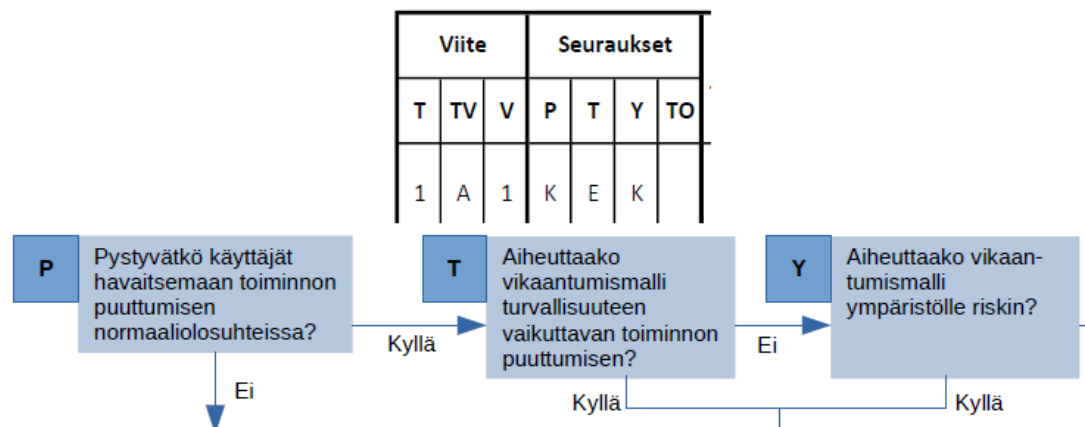
Kuvio 14. Vikojen vaikutusten listaaminen

Kuviossa 14 on esitetty vikojen vaikutusten listaaminen informaatiolomakkeelle. Vian vaikutus -kohdassa selitetään, miten vika ilmenee sekä arvio korjaukseen kuluva

ajasta. Myös turvallisuuteen, ympäristöön tai tuotantoon liittyvät vaikutukset tulisi listata, jos niitä on.

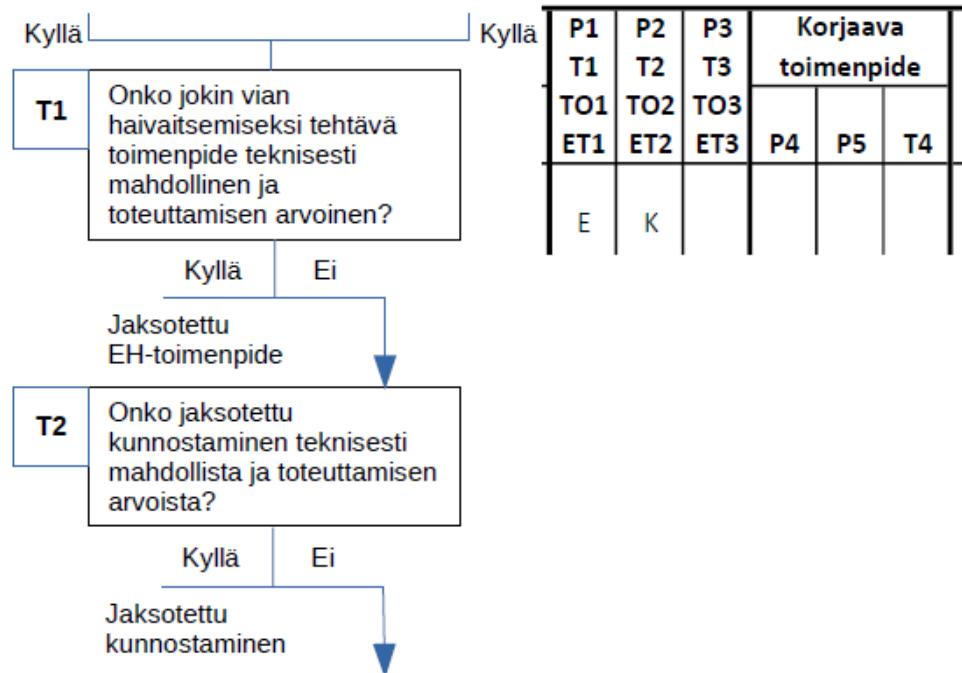
6.2.2 Päätöksentekolomakkeen ja -kaavion käyttäminen

Alla esimerkki päätöksentekolomakkeen ja -kaavion käyttämisestä edellisen esimerkin painemittaukseen. Päätöksentekolomake on toinen kahdesta lomakkeesta, jotka täytetään kunkin laitteen tarkastelussa.



Kuvio 15. Viitteen ja seurausten tyypin merkitseminen

Kuviossa 15 on esitetty informaatiolomakkeeseen viittaaminen ja vian seurauksen tyypin merkitseminen. Viite-alueen T-sarakkeessa viitataan tarkasteltavan laitteen toimintoon informaatiolomakkeella. TV-sarakkeessa viitataan toiminnalliseen vikaan. V-sarakkeessa viitataan vikaantumismalliin. Seuraukset-alueen sarakkeilla P, T, Y ja TO tarkoitetaan piileviä seurauksia, turvallisuusseurauksia, ympäristöseurauksia ja toiminnallisia seurauksia vastaavasti. Sarakkeisiin merkitään "K" eli kyllä tai "E" eli ei päätöksentekokaavion (liite 1) kysymysten mukaan.



Kuvio 16. Valittujen kunnossapitotoimien kirjaaminen

Kuviossa 16 on esitetty kunnossapitotoimien tyypin valinnan kirjaaminen päätöksentekolomakkeelle. Sarakkeeseen P1/T1/TO1/ET1 merkitään vastaus sen mukaan, miten päätöksentekokaavion kysymyksiin vastataan ja kohtiin P2/T2/TO2/ET2 ja P3/T3/TO3/ET3 samalla tavalla. ET tarkoittaa ei-toiminnallisia seurauksia. Tässä kohdassa päätöksentekokaavion avulla valitaan kunnossapitotoimenpiteen tyypiksi ennakoiva toimenpide taikka korjaus- tai toimintaohje. Ennakoivia toimenpiteitä ovat kunnonvalvonta (jaksotettu ennakkohuoltotoimenpide), jaksotettu korjaus (jaksotettu kunnostaminen) sekä jaksotettu uusiminen. Korjaus- tai toimintaohjeisiin päädytään tilanteessa, jossa sopivaa ennakoivaa toimenpidettä ei löydy, joka olisi teknisesti mahdollinen ja toteuttamisen arvoinen.

Ehdotettu toimenpide	Alustava aikaväli	Toimenpiteen suorittaja
Jaksotetun kunnostamisen toimenpide...	2 vko	Kunnossapitoasentaja

Kuvio 17. Toimenpide, aikaväli ja suorittaja

Viimeisinä tietoina päätöksentekolomakkeella on kuviossa 17 näkyvät ehdotettu toimenpide, alustava aikaväli ja toimenpiteen suorittaja. Ehdotettuun toimenpiteeseen kuvaillaan riittävällä tarkkuudella valittu kunnossapitotoimenpide. Toimenpiteen suorittaja valitaan toimenpiteen vaatiman osaamisen mukaan joko tuotannon tai kunnossapidon henkilöstöstä. Liitteissä 4 ja 5 on tämän esimerkin kokonaiset informaatio- ja päätöksentekolomakkeet sekä liitteessä 1 päätöksentekokaavio, jolla päätöksentekolomakkeella olevat päätökset on tehty.

6.3 Ennakkohuolto-ohjelmien laatiminen

Mittalaitteiden toiminnot, toiminnalliset viat ja vikaantumismallit selvitettiin yhdessä kunnossapitohenkilöstön edustajan kanssa palaverissa hyödyntäen myös prosessinohjausjärjestelmästä saatavia laitteiden toimintakuvauksia. Vian vaikutukset selvitetiin prosessinohjausjärjestelmän avulla. Toiminnot, toiminnalliset viat, vikaantumismallit ja vian vaikutukset dokumentoitiin informaatiolomakkeille.

Vikojen seuraukset selvitettiin tuotannon henkilöstön edustajan avustuksella sekä perehtymällä PI-kaavioihin ja mittauksien toimintakuvauksiin. Kunnossapitotoimenpiteet määritettiin RCM:n päätöksentekokaavion mukaan hyödyntäen laitteiden käyttöohjeita sekä kunnossapitohenkilöstön kokemusta kyseisten mittalaitteiden parissa työskentelystä. Päätöksentekokaavion mukaiset päätökset sekä ehdotetut toimenpiteet dokumentoitiin päätöksentekolomakkeelle.

Ennakkohuolto-ohjelmien laatiminen aloitettiin toimintojen määrittelyllä. Toiminnot olivat melko yksinkertaisia määrittää johtuen mittalaitteiden yksinkertaisesta syystä, miksi ne on hankittu. Niillä halutaan yleensä mitata yhtä tiettyä suuretta tai arvoa lukuun ottamatta kappa-analysointia, jolla mitataan kolmea eri arvoa prosessin eri kohdista. Suorituskykyvaatimusten määrittely oli helpompaa kappa- ja alkalianalysointoreille. Niissä suorituskykyvaatimukset koskivat näytteenottotajuuutta eli sitä, montako näytettä otetaan tunnissa. Vaaleus- ja pH-mittauksissa suorituskykyvaatimusten määrittely oli haastavampaa, joten niissä huomioitiin mitta-alue, jolla kyseistä parametria haluttiin mitata.

Seuraavaksi määriteltiin toiminnalliset viat. Toiminnallisia vikoja oli vähemmän yksinkertaisemmissa mittareissa. Analysaattoreilla toiminnallisia vikoja ilmeni yhdestä kahteen jokaista toimintoa kohden. pH-mittauksilla myös tunnistettiin muutama. Vaaleusmittauksella tunnistettiin kaksi toiminnallista vikaa. Vikaantumismallien selvittämisessä keskityttiin sellaisiin tapahtumiin, jotka olivat aiemmin ilmenneet ja joita yleensä on ilmennyt samantyyppisissä laitteissa. Vikaantumismallejakin oli vähemmän yksinkertaisissa mittalaitteissa, kuten vaaleus ja pH, ja enemmän monimutkaisemmissa analysaattoreissa.

Vian vaikutukset selvitettiin prosessinohjausjärjestelmästä saatavien toimintakuvausten avulla. Niistä selvisi, mitä tapahtuu vian ilmetessä. Vian vaikutuksiin sisällytettiin myös arvio korjaamiseen kuluva ajasta, joka alkaa siitä hetkestä, kun tiedetään mikä laitteessa on vikana. Arvio perustuu aiempiin vastaaviin tapauksiin, joissa kyseinen vika on korjattu. Vian vaikutuksissa oli jonkin verran samankaltaisuutta kaikissa mittalaitteissa johtuen siitä, että mittalaitteiden viat ilmenevät yleensä samalla tavalla prosessinohjausjärjestelmän kautta. Valvomossa huomataan, jos jokin tärkeä mittaus ei toimi odotetusti ja lisäksi useissa tapauksissa epänormaalista toiminnasta käynnistyy hälytys tai varoitus valvomossa.

Vian seurauksia tarkasteltiin päätöksentekokaaviota käyttäessä. Piileviä vikoja ei tarkasteltavissa mittalaitteissa tullut vastaan. Työturvallisuutta vaarantavia ja suoria ympäristöseurauksia ei myöskään ilmennyt yhdenkään mittalaitteen vikaantuessa. Toiminnallisia seurauksia sen sijaan oli. Kaikki mittaukset ovat tärkeitä sellunvalmistuksessa, mutta eivät kuitenkaan niin kriittisiä, että tuotanto pysähtyisi nopeasti.

Ehdotetut toimenpiteet valittiin päätöksentekokaavion avulla hyödyntäen kunnossapitohenkilöstön kokemusta sekä laitteiden käyttö- ja huolto-ohjeita. Alustava aikaväli perustuu siihen, miten kyseisiä vikoja on aiemmin ilmennyt. Toimenpiteen suorittaja valittiin tuotannon henkilöstöstä tai kunnossapitohenkilöstöstä toimenpiteen vaativan erityisosaamisen mukaan.

7 Tulokset ja pohdinta

Työn tuloksena oli päivitettyt ennakkohuolto-ohjelmat, jotka jäivät toimeksiantajalle informaatio- ja päätöksentekolomakkeiden muodossa. Ennakkohuoltotoimenpiteet määriteltiin kaikille tarkasteltaville laitteille samalla menetelmällä, joka kuvailtiin aiemmin. Osalle mittalaitteissa päädyttiin hieman kevyempiin ennakkohuoltotoimenpiteisiin, osalla taas ennakkohuollon määrä lisääntyi hieman. Osaan kohteista ehdotettiin uudelleensuunnittelua toiminnan parantamiseksi. Osalle mittalaitteista löytyi uusia huollettavia kohteita, jotka eivät olleet alkuperäisissä ohjelmissa. Lomakkeet sisältävät yksilöiviä tietoja tehtaan laitteista, niiden toiminnoista ja sijainneista prosessissa, joten niitä ei julkaista tässä raportissa. Seuraavassa kuitenkin tarkastellaan yleisellä tasolla tuloksia.

7.1 Päivittämisen tuloksia

Toisen kappa-analysaattorin osalta muutaman vikaantumismallin seurauksia voitaisiin vähentää uudelleensuunnittelulla. Kyseisen laitteen tarkastelussa ilmeni tietyn vian ilmaantuvan melko usein, mutta siihen ei ollut olemassa järkevää ehkäisevää toimenpidettä, jolla vikaantuminen voitaisiin estää. Uudelleensuunnittelulla voitaisiin luultavasti jonkin verran parantaa toimintaa. Samassa analysaattorissa ilmeni myös yhden komponentin vikaantuminen, jota voitaisiin ennakoida säännöllisellä tarkastuksella, jota ei alkuperäisissä ennakkohuolto-ohjelmissa ollut.

pH-mittauksille ilmeni yksi uusi säännöllisesti tehtävä toimenpide, jolla voitaisiin ennakoida toiminnon menettämistä. Lisäksi alkuperäisessä ennakkohuolto-ohjelmassa ollut anturin puhdistus jäi pois uusissa ennakkohuolto-ohjelmissa syystä, että pH-mittauksia tarkasteltaessa ei ilmennyt tapauksia, joissa mittauksen toiminto olisi menetetty likaantumisen takia.

Alkalianalysaattorin tarkastelussa ei tässä työssä ilmennyt eroja kunnossapitotoimenpiteiden suhteen. Myös toisen kappamittauksen sekä vaaleusmittauksen ennakkohuolto-ohjelmiin ei tullut merkittäviä muutoksia, joilla voitaisiin vähentää vikaantumisia järkevästi.

Näillä huomioilla toimeksiantaja voi osalla laatumittauslaitteista tehdä pieniä parannuksia mittalaitteiden luotettavuuteen tai ainakin vikojen ennakkoinnin kautta huoltotöiden suunnitelmallisuuteen. Nämä osaltaan voivat auttaa lopputuotteen laadun pitämisessä riittävällä tasolla. Työssä ei kuitenkaan ilmennyt suuria puutteita alkuperäisissä ennakkohuolto-ohjelmissä tämän työn perusteella. Työn tarkoituksena ei ollut tehdä oppikirjamaista RCM-prosessia, vaan soveltaa tärkeimmät periaatteet siitä. Toimeksiantaja oli tyytyväinen työn lopputulokseen.

7.2 Pohdinta

Onnistuin mielestäni luotettavuuskeskeisen kunnossapidon periaatteiden ymmärtämisessä. Sain hyvän käsityksen sen tärkeimmistä asioista sekä siitä, miten sitä kuului käyttää. RCM on kuitenkin melko raskas ja jonkin verran yrityksen resursseja vievä prosessi, joka saattaa kestää kuukausia tai vuosia oikeaoppisesti tehtynä ja laajempaan laitteistoon tai järjestelmään käytettynä. Sen hyödyt tulevat varmastikin suuremmiksi ja selkeämmiksi laajemmissa laitekokonaisuuksissa, joiden laitteilla on esimerkiksi redundanssit, joiden vikaantumisella on piileviä seurauksia. Tällaisissa tilanteissa saadaan luultavasti suuremmat parannukset luotettavuudessa sekä suuremmat ehkäisevän kunnossapidon kustannussäästöt.

Tässä työssä käsitelty laatumittauslaitteet ovat tärkeitä prosessin ohjaamisessa laadun kannalta, mutta useimmat niistä ovat toiminnoiltaan kuitenkin melko yksinkertaisia. Tästä seurannee niiden melko yksinkertainen kunnossapitotoimenpiteiden määrittely, jossa RCM, varsinkin täysimittaisesti käytettynä, saattaa olla turhan raskas prosessi. Lisäksi toimintoja on tämän työn tulosten perusteella mittalaitteissa melko vähän. Toisaalta mittalaitteidenkin kohdalla tulokset voisivat olla erilaiset, mikäli tehtäisiin perusteellinen RCM-käsittely.

Lähteet

Uuden sukupolven biotuotetehdas Äänekoskella. N.d. Esite Metsä Fibren sivuilla. <https://www.metsafibre.com/fi/yhtio/Tuotantolaitokset/Biotuotetehdas/Documents/Biotuotetehtaan%20esite%20FIN.pdf>

Botnia Mill Service. 2020. Viitattu 28.9.2020. <https://www.caverion.fi/tietoa-caverionista/liiketoiminta-ja-palvelut/botnia-mill-service>

Metsä Fibre lyhyesti. Viitattu 28.9.2020. <https://www.metsafibre.com/fi/yhtio/Pages/default.aspx>

Mikkonen, H., Miettinen, J., Leinonen, P., Jantunen, E., Kokko, V., Riutta, E., Sulo, P., Komonen, K., Lumme, V.E., Kautto, J., Heinonen, K., Lakka, S. & Mäkeläinen, R. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki: KP-media Oy.

Moubray, J. 2002. Reliability-centred maintenance. 2. painos, 3. revisio. Oxford: Butterworth-Heinemann.

PSK 6201:2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. 3. painos. PSK standardisointi. 15.8.2011. <https://psk-standardisointi.fi/>

Järviö, J. & Lehtiö, T. 2017. Kunnossapito. Tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 6. täydennetty painos. Helsinki: Promaint Oy.

Smith, A.M. & Hinchcliffe, G.R. 2003. RCM--Gateway to World Class Maintenance. Elsevier Science & Technology.

Aumala, O. 2003. Mittaustekniikan perusteet. 12. painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

Fardim, P. 2011. Papermaking science and technology: Chemical pulping part 1, fibre chemistry and technology. 2. painos. Helsinki: Paperi ja Puu Oy.

Aumala, O. 1998. Teollisuusprosessien mittaukset. 4. uudistettu painos. Tampere: Pressus Oy.

Potentiometric pH measurement. 2013. Video. Endress+Hauser Group Services AG. Viitattu 23.10.2020. <https://www.youtube.com/watch?v=P1wRXTI2L3I>

Valmet Kappa Analyzer – Valmet Kappa QC. 2020. Owner's manual K03303 V2.53 EN. Saatu Valmet Automation Oy:n edustajalta.

SPK-5500 Single Point Kappa. 2016. Kappalukuanalysaattori. Käyttöopas. M2083/5fi. Saatu toimeksiantajan toiminnanohjausjärjestelmästä.

Kappaluvun mittaus. 2020. KnowPulp - Sellutekniikan ja automaation oppimisympäristö. Viitattu 12.11.2020. <https://www.knowpulp.com/>

Valmet Cooking Liquor Analyzer – Valmet Alkali C. 2015. Owner's manual K14548 V1.1 EN. Saatu Valmet Automation Oy:n edustajalta.

Keittoliuoksen mittaukset. 2020. KnowPulp - Sellutekniikan ja automaation oppimisympäristö. Viitattu 12.11.2020. <https://www.knowpulp.com/>

Principle of electrical conductivity measurement. 2014. Video. Endress+Hauser Group Services AG. Viitattu 13.11.2020. <https://www.youtube.com/watch?v=5qxenj3NpE0>

Sakeuden mittaaminen. 2020. KnowPulp - Sellutekniikan ja automaation oppimisympäristö. Viitattu 16.11.2020. <https://www.knowpulp.com/>

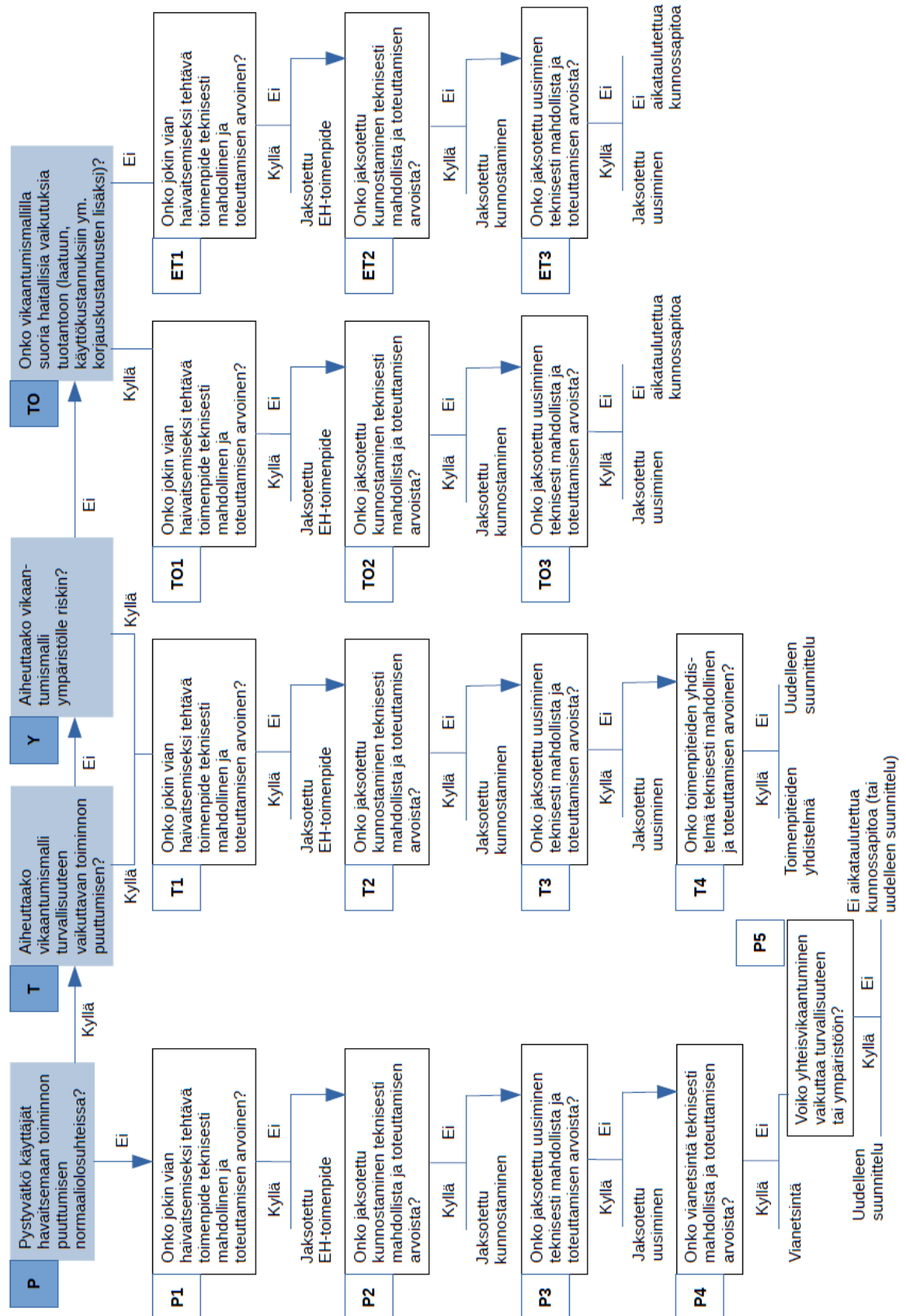
Vaaleuden mittaaminen. 2020. KnowPulp - Sellutekniikan ja automaation oppimisympäristö. Viitattu 16.11.2020. <https://www.knowpulp.com/>

SFS-EN 13306:2017. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. 3. painos. SFS online. Vahvistettu 8.12.2017. online.sfs.fi

Kuitupituuden mittaaminen. 2020. KnowPulp - Sellutekniikan ja automaation oppimisympäristö. Viitattu 12.11.2020. <https://www.knowpulp.com/>

Liitteet

Liite 1. Päätöksentekokaavio (Moubray 2002, 200, muokattu)



[illegible]

Liite 3. Päätöksentekolomake (Moubray 2002, 199, muokattu)

Laite:

Päättöksentekolomake

Sivu 1/1

[illegible]

Liite 4. Esimerkin informaatiolomake

Sivu 1/1

Informaatiolomake

Laitte: Painemittaus

TOIMINTO		TOIMINNALLINEN VIKA		VIKAANTUMISMALLI	VIAN VAIKUTUS
1	Mitata säiliön x painetta alueella 1...3 bar, tarkkuudella ±0,1 %	A	Ei mittaa lainkaan	1 Anturin kalvo rikkoutuu prosessissa olevien metallikappaleiden takia	Prosessinohjausjärjestelmässä mittauksen piiri-ikkunassa ilmaistaan vikatila. Korjaamiseen kuluva aika 2-3 tuntia
				2 Prosessiyhde jätetty huolto-asentoon	Prosessinohjausjärjestelmässä mittauksen piiri-ikkunassa paineen arvo näyttää nollaa. Korjaamiseen kuluva aika 2-3 tuntia
		B	Mittaustulos epätarkka	1 Anturin kalvoon syntyy kerrostumaa	Vika ei näy suoraan. Valvomossa operaattori saattaa kiinnittää huomion epätarkkaan mittaukseen. Puhdistamiseen kuluva aika noin 2 tuntia
		C	Mittaustuloksessa heiluntaa	1 Johdin/johtimet löysällä	Mittauksen piiri-ikkunassa paineen arvossa esiintyy heiluntaa. Korjausaika vian paikallistamisen jälkeen joitain minuutteja

Liite 5. Esimerkin päätöksentekolomake

Sivu 1/1

päätöksentekolomake

Laite: Painemittaus

Viite		Seuraukset				P1 T1	P2 T2		P3 T3	Korjaava toimenpide				Ehdotettu toimenpide	Alustava aikaväli	Toimenpiteen suorittaja
		T	TV	V	P	T	Y	TO		TO1 ET1	TO2 ET2	TO3 ET3	P4	P5	T4	
1	A	1	K	E	K	E	K			E	K				2 vko	Kunnossapitoas entaja
1	A	2	K	E	K	E	K			E	E	E		E		
1	B	1	E			K									1 pv	Prosessinhoitaja
1	C	1	K	E	K	E	K			E	E	E				