



Paperikoneen Valmet Machine Diagnosticsin hyödyntäminen sellun kuivatuskoneella

Kaisa Tikkanen

Opinnäytetyö, AMK

Lokakuu 2021

Tekniikan ala

Sähkö ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, Insinööri (AMK)

Tikkanen, Kaisa

Paperikoneen Valmet Machine Diagnosticsin hyödyntäminen sellun kuivatuskoneella

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Lokakuu 2021, 69 sivua.

Tekniikan ala, Sähkö- ja automaatiotekniikka (Insinööri AMK), Opinnäytetyö AMK

Julkaisun kieli: Suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: Kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Valmet Oyj. Valmet tarjoaa teollisen internetin sovelluksia, joihin sisältyy Machine Diagnostics -analyysisovellus. Sillä analysoidaan koneen suorituskykyä ja optimoidaan prosessia. Sellun kuivatuskoneella ei ollut koneen suorituskykyä analysoivaa sovellusta, joten sille haluttiin laajentaa Valmetin teollisen internetin Machine Diagnostics -sovellus.

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda laadullinen tutkimus paperikoneen Valmet Machine Diagnostiikan hyödyntämisestä sellun kuivatuskoneella. Tavoitteena oli, että tutkimusraportin avulla Valmet saa tiedon millaista jatkokehitystä sovellus vaatisi ja millä tavalla sitä voidaan soveltaa sellun kuivatuskoneelle. Toimeksiantaja halusi myös tutkittavan, millä tavalla sovellus toisi asiakkaalle lisäarvoa ja vaikuttaisi kunnonvalvontaan.

Tehtäväksi muodostui tutkia, millä tavalla paperikoneen kuivatuskoneen osat eroavat sellukoneen kuivatuskoneen osista. Opinnäytetyössä tutkittiin millaisia Machine Diagnostics -analyysseja paperikoneella oli jo olemassa ja miten analyysit ja niiden laskennat rakentuivat.

Tuloksena saatiin luotettava tutkimusraportti, siitä millaisia muutoksia paperikoneen Machine Diagnostics -analyysihin tulisi tehdä, jotta niitä voitaisiin käyttää sellun kuivatuskoneella. Tutkimuksessa esiteltiin miten analyysit rakentuvat ja mitä ne indikoivat. Tutkimukseen saatiin myös arvioitua sovelluksen lisäarvon tuottamista asiakkaalle ja sen vaikutusta kunnonvalvontaan.

Paperikoneen Machine Diagnostics oli hyödynnettävissä sellun kuivatuskoneelle, tarvittavat muutokset huomioiden. Opinnäytetyötä voitiin käyttää sellaisenaan taustatutkimuksena Valmet Machine Diagnosticsin jatkokehityksessä sekä yhtenä kehitystyökaluna.

Avainsanat (asiasanat)

Teollinen internet, suorituskyky, kunnonvalvonta, sellun kuivatus.

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Liitteet 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ja 9 ovat salassa pidettäviä, ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon peruste on Julkisuuslain 621/1999 24§, kohta 21, teknologista taikka muuta kehittämistyötä ja niiden arviointia koskevat tiedot. Salassapitoaika on kymmenen (10) vuotta, salassapito päättyy 29.9.2031.

Tikkanen, Kaisa

Paper machine Valmet Machine Diagnostics utilization on pulp drying machine.

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, October 2021, 69 pages

Engineering and technology. Degree Programme in Electrical and Automation Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The bachelor's thesis was assigned by Valmet Oyj. Valmet offers industrial internet applications, which includes Machine Diagnostics analysis application. It analyses machine performance and helps optimize the process. The pulp drying machine did not have an application for analysing machine performance, so there was a desire to expand Valmet Industrial Internet Machine Diagnostics application to the pulp drying machine.

The aim for the thesis was to create a qualitative research on the paper machine Valmet Machine Diagnostics utilization in a pulp drying machine. The aim for the research report was to provide information for Valmet what kind of further development the application would require and how it could be applied to the pulp drying machine. The client also wanted research on how the application would add value for the customer and its effects on condition monitoring.

The task of the thesis was to research how the drying machine parts of a paper machine differs from the drying machine parts of a pulp machine. In the thesis was researched what kind of Machine Diagnostics analyses on a paper machine already existed and how the analyses and their calculations were structured.

The result was a reliable research report on what kind of changes should be made to the paper machine Machine Diagnostics analyses in order that they could be used on a pulp drying machine. The research presented how the analyses are structured and what they indicate. The research also assessed the added value for the customer and its effects on condition monitoring.

Paper machine Machine Diagnostics was able to be utilized for the pulp drying machine, considering the necessary changes. The thesis could be used as such for background research in the further development of the Valmet Machine Diagnostics and as one of the development tools.

Keywords/tags (subjects)

Industrial internet, performance, condition monitoring, pulp drying.

Miscellaneous (Confidential information)

Appendixes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 and 9 are confidential and have been removed from public thesis. The basis for confidentiality is Act on the Openness of Government Activities 621/1999 24§, paragraph 21, documents concerning technological or other development project or the assessment of the same. The confidentiality period is ten (10) years, the confidentiality ends September 29, 2031.

Sisältö

1	Opinnäytetyön lähtökohdat	4
1.1	Opinnäytetyön tausta	4
1.2	Opinnäytetyön tavoite	5
1.3	Opinnäytetyön kartoittaminen ja rajaus.....	5
1.4	Aikaisemmat tutkimukset	6
1.5	Tutkimusasetelma	6
1.6	Valmet Oyj.....	8
2	Sellu ja sen valmistus	9
2.1	Sellu	10
2.2	Sellutyypit.....	10
2.3	Sellutuotanto.....	11
2.4	Sellun valmistus.....	11
2.5	Sellun kuivatuslinja.....	12
3	Sellun kuivatuskone	13
3.1	Märkäpää	13
3.1.1	Perälaatikko	14
3.1.2	Viiraosa	15
3.1.3	Puristinosa	17
3.2	Kuivauskaappi.....	20
4	Kunnossapito	21
4.1	Kunnossapito käsitteenä	21
4.2	Kunnossapidon tavoite.....	22
4.3	Kunnossapidon kannattavuus	23
4.4	Kunnossapidon suunnittelu	25
4.5	Kunnossapitotoimenpiteet.....	26
4.6	Seisokit	27
4.7	Vika.....	28
4.8	Kunnonvalvonnan mittaukset	28
4.9	Ennakoiva kunnossapito.....	29
4.10	Kunnossapidon laatujärjestelmä.....	30
4.11	Automaatiojärjestelmä	31
4.12	Kunnossapidon kehittyminen	32

5	Teollinen internet	33
5.1	Teollisen internetin määritelmä.....	33
5.2	Industry 4.0	34
5.3	Teollisen internetin hyödyt	34
5.4	Valmet Industrial Internet – VII.....	35
5.5	Valmet Performance Center	35
6	Machine Diagnostics	36
6.1	Machine Diagnosticsin toimintaperiaate	36
6.2	Machine Diagnosticsin tavoite	37
7	Paperikoneella olevat Machine Diagnostics -analyysit	38
7.1.1	Headbox eli perälaatikon analyysit.....	38
7.1.2	Steam box eli höyrylaatikon analyysit	38
7.1.3	Shoe press (SymBelt) eli kenkätelan analyysit	39
7.1.4	Suction rolls eli imutelan analyysit	39
7.2	Machine Diagnostics tuloksia.....	40
7.2.1	Esimerkki 1.....	40
7.2.2	Esimerkki 2.....	41
7.2.3	Esimerkki 3.....	41
8	Paperikoneen osien eroavaisuudet sellukoneen osiin analyysien suhteen	42
8.1	Perälaatikon eroavaisuudet	42
8.2	Höyrylaatikon eroavaisuudet	42
8.3	SymBelt kenkätelan eroavaisuudet.....	44
8.4	Imutelan eroavaisuudet	45
9	Tulokset	46
9.1	Tarvittavat muutokset Machine Diagnostics -analyysiin	46
9.1.1	Perälaatikon analyysimuutokset.....	46
9.1.2	Höyrylaatikon analyysimuutokset	47
9.1.3	SymBelt kenkätelan analyysimuutokset.....	48
9.1.4	Imutelan analyysimuutokset	48
9.2	Machine Diagnostics lisäarvo	49
10	Pohdinta	50
10.1	Tutkimuksen tulosten vertailu	50
10.2	Tutkimuksen luotettavuus	51
10.3	Lähitulevaisuuden jatkokehitys.....	52

Lähteet	54
Liitteet	58
Liite 1. Perälaatikon Paper Machine Diagnostics (salassa pidettävä)	58
Liite 2. Höyrylaatikon Paper Machine Diagnostics (salassa pidettävä).....	59
Liite 3. Kenkätelan Paper Machine Diagnostics (salassa pidettävä)	60
Liite 4. Imutelan Paper Machine Diagnostics (salassa pidettävä).....	63
Liite 5. Perälaatikon Pulp Machine Diagnostics (salassa pidettävä)	64
Liite 6. Höyrylaatikon Pulp Machine Diagnostics (salassa pidettävä)	65
Liite 7. Kenkätelan Pulp Machine Diagnostics (salassa pidettävä)	66
Liite 8. Imutelan Pulp Machine Diagnostics (salassa pidettävä)	67
Liite 9. COV laskenta (salassa pidettävä).....	68

Kuviot

Kuvio 1 Valmet, Jyväskylä	9
Kuvio 2 Sellun kuivatuslinja.....	13
Kuvio 3 Märkäpään layout, kitaformer	14
Kuvio 4 Perälaatikko.....	15
Kuvio 5 Höyrylaatikko	17
Kuvio 6 Valmet Imutela.....	19
Kuvio 7 SymBelt- kenkätela, ylempi tela.....	20
Kuvio 8 Muokattu Ennakoivan kunnossapidon vaikutus kustannuksiin.....	23
Kuvio 9 Kunnossapidon kustannuksien punnitseminen	24
Kuvio 10 Kunnossapidon suunnittelukriteerit	26
Kuvio 11 Ennakoivan kunnossapidon toteutusperiaate	29
Kuvio 12 Puristimen imutelan kuntoindikaattori näyttää suorituskyvyn heikkenemisen.....	41
Kuvio 13 Höyrylaatikon sijainti paperikoneella	43
Kuvio 14 Höyrylaatikon sijainti sellukoneella	44
Kuvio 15 Machine Diagnosticsin vaikutus takaisinmaksuun.....	50

1 Opinnäytetyön lähtökohdat

1.1 Opinnäytetyön tausta

Teollinen internet on nouseva trendi, jonka potentiaali halutaan hyödyntää jokaisella tehtaalla. Teollisen internetin kautta tuotetaan asiakkaalle lisäarvoa saavuttamalla suurempi tuotanto, parempi laatu sekä pienemmät kunnossapito- ja operointikustannukset. Teollisen internetin sovellukset perustuvat prosessiteknologian, palveluiden ja automaation yhdistelmään. Näissä käytössä oleva kehittynyt tietojen käyttö mahdollistaa ennakoitavuuden ja itsenäisemmän toiminnan tehtaassa. (Industrial Internet- VII solution for pulp n.d.)

Opinnäytetyö tehtiin Valmet Oyj:lle, joka toimittaa ja kehittää automaatiota, palveluita ja teknologiaa sellu-, energia- ja paperiteollisuudelle. Valmet tarjoaa teollisen internetin sovelluksia, joihin sisältyy myös Machine Diagnostics -analyysi, joka on koneen suorituskykyä analysoiva työkalu. Machine Diagnostics toimii kunnonvalvonnan ja prosessioperoinnin rajalla. Sillä pystytään ennakkoimaan kunnossapidollisia toimenpiteitä sekä optimoimaan tuotantoa. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, kuinka paperikoneella jo käytössä olevaa Machine Diagnostics -sovellusta voitaisiin hyödyntää käytettäväksi sellun kuivatuskoneella.

Valmetin teollinen internet sisältää jo sovelluksia ja applikaatioita sellulle, mutta sellun kuivatuskoneella ei koneen suorituskykyä analysoivaa sovellusta ollut vielä käytössä. Mittauksia toki sellun kuivatuskoneella on olemassa ja niitä hyödynnetään koneen ohjausjärjestelmässä sekä prosessin ajossa. Nämä niin sanotut nopeat mittaukset indikoivat vikatilanteita, mutta vain tehtaan valvomossa niistä voidaan nähdä muutokset prosessissa sekä tuotannossa prosessin ajon aikana. Lisäksi sellun tuotanto kasvaa jatkuvasti, koneet kehittyvät monimutkaisemmiksi ja tehtaot haluavat siirtyä autonomisempaan toimintamalliin. Sellun kuivatuksen on oltava nopeaa, kustannustehokasta ja toimintavarmaa, jotta siitä ei muodostu tuotannon pullonkaulaa. Kunnossapidolliset toimenpiteet halutaan ennakoida ja minimoida turhat seisokit tehtaalla. Näiden vuoksi Machine Diagnostics koettiin tärkeänä lisäarvon tuottajana teolliseen internettiin ja haluttiin laajentaa sen toiminta sellun kuivatuskoneelle.

1.2 Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda tutkimusraportti paperikoneen Valmet Machine Diagnosticsin hyödyntämiseen sellun kuivatuskoneelle. Valmetilla on tavoitteena laajentaa teollisen internetin sovelluksia sellun kuivatuskoneelle ja havaittiin, että koneen suorituskykyä analysoiva sovellus olisi hyvä tuottamaan lisäarvoa. Tavoitteena on, että tutkimusraportin avulla Valmet saa tiedon, millaista jatkokehitystä sovellus vaatisi ja millä tavalla sitä voidaan soveltaa sellun kuivatuskoneelle. Tutkimuksessa esitettäisiin, millä tavalla sovellus ja analysoinnit toimivat sekä kuinka analysointien algoritmit rakentuvat. Tavoitteena on, että työ pureutuu yksityiskohtaiselle tasolle rajatussa osuudessa, ei niin että jäätäisiin yleiselle tasolle laajalla alueella.

Tutkimuksessa haluttiin myös käsiteltävän kuinka tehtaat ovat aiemmin toimineet kunnonvalvonnan osalta ja mihin kunnossapidon suunnittelu on perustunut. Toimeksiantajan tavoitteena on kehittää raportin pohjalta toimiva Machine Diagnostics -analyysi ja tuottaa sillä lisäarvoa asiakkaalle. Tämän vuoksi työssä tulisi olla mukana myös kantavana ajatuksena kuinka sovelluksella tuotetaan lisäarvoa tehtaalle eli konkreettisesti esitettäisiin millä tavalla voidaan parantaa esimerkiksi tuotantoa ja laatua.

1.3 Opinnäytetyön kartoittaminen ja rajaus

Työn rajaaminen aloitettiin miettimällä, mitä kaikkea työhön sisällytetään. Ensimmäiseksi ajateltiin, että työhön voisi sisältyä analyysien kehittäminen ja sovelluksen tuottaminen sekä sen käytännön testaus yhteistyössä asiakkaan tehtaalla. Pian kuitenkin ymmärrettiin, että työstä tulisi liian laaja, eikä tällöin pureuduttaisi tarpeeksi yksityiskohtaisesti analyysien sisältöön ja niiden rakenteeseen. Tämän vuoksi työ rajattiin koskemaan vain tutkimusta ja sen raportointia. Jatkokehittäminen ja toteutus rajattiin työn ulkopuolelle.

Työtä jatkettiin kartoittamalla millaisia analyyskejä kartonki- ja paperilinjojen kuivatuskoneille on jo olemassa ja otettu käyttöön Machine Diagnostics -sovelluksessa. Toimeksiantajan ohjaajan Jukka Leinon kanssa päätettiin valita tutkimuksen kohteeksi kuivatuskoneen märkääpää, koska ne ovat molemmilla koneilla hyvin samankaltaisia. Jotta tutkimuksessa päästäisiin tarpeeksi yksityiskohtai-

selle tasolle oli tarpeen rajata vielä tutkittavien analyysien määrää. Työn yksityiskohtaisuuden kannalta päätettiin tutkimus rajata vielä tiettyjen koneen osien analyysiin, jotka esiteltäisiin yksityiskohtaisesti.

1.4 Aikaisemmat tutkimukset

Kunnonvalvonta ja siihen liittyvät järjestelmät eivät ole uusi asia teollisuudessa, vaan niitä on tutkittu ja hyödynnetty jo vuosien ajan. Teollinen internet ja siinä kunnonvalvonnan osana oleminen on puolestaan suhteellisen uusi käsite. Teollista internetiä ja sen käyttöä on tutkittu ja siitä on julkaistu esimerkiksi kirjoja. Täten aihealueesta tiedon saanti ei ollut hankalaa, vaan oli perustellumpaa tutkia luotettavaa aineistoa ja useammasta eri lähteestä. Opinnäytetyössä kehittämis- ja tutkimuskohteena oli kuitenkin jo markkinoilla käytössä oleva Valmet Machine Diagnostics -sovellus. Joten työssä pystyttiin hyödyntämään jo tästä kyseisestä sovelluksesta olevaa toimeksiantajan aineistoa. Siinä aineistossa itsessään on jo selkeästi tutkittu ja perehdytty aiheeseen. Työn tuloksien ja lisäarvon tuottamisen arvioinnissa vertailtiin tuloksia aiemmin kerättyyn tietoperustaan ja millä tavalla tulokset vaikuttavat lisäarvoon käytännössä.

Työhön liittyy oleellisesti myös koneen osien asiantuntijuus. Sellun kuivatuskoneita ja koneen osia on tutkittu ja valmistettu toimeksiantajalla jo pitkään ja sillä on takanaan laaja asiantuntijaverkosto. Työssä pyrittiinkin hyödyntämään näiden asiantuntijoiden tietoa ja kehitysideoita. Tämän vuoksi ei koettu tarpeelliseksi etsiä koneistosta aineistoa toimeksiantajan tietopankin ulkopuolelta.

1.5 Tutkimusasetelma

Työ on toteutettu laadullisena tutkimuksena, jolloin tuloksena on ratkaisu, mutta käytännön toteutus puolta ei tuoteta. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia millaista kehitystä paperikoneella jo käytössä oleva Valmetin teollisen internetin sovellus Machine Diagnostics tarvitsisi, jotta sitä voitaisiin käyttää sellun kuivatuskoneella. Jotta sovellusta voitaisiin kehittää toimivaksi sellun kuivatuskoneelle oli myös tunnettava, millä tavalla paperikoneen kuivatuskone eroaa sellun kuivatuskoneesta. Toimeksiantaja halusi myös tutkittavan, millä tavalla Machine Diagnostics tuottaa lisäarvoa asiakkaalle ja vaikuttaa kunnonvalvontaan. Toimeksiannon tavoitteena oli kehittää nykyistä

sovellusta hyödynnettäväksi eri koneelle. Sellun kuivatuskoneella ei ollut vielä käytössä sen toimintaa analysoivaa sovellusta ja tämän haluttiin olevan mahdollista tulevaisuudessa.

Jo opinnäytetyön suunnitteluvaiheessa tutkimusaineisto oli tarkoitus perustaa laatuun ja luotettavuuteen lähteisiin. Tutkimusperusta koostuu työn keskeisimmistä käsitteistä ja tietolähteinä käytettiin toimeksiantajan sisäistä tietokantaa, verkkojulkaisuja, kirjoja sekä asiantuntijoiden haastatteluja. Näiden pohjalta saatiin luotettava ja ajantasainen tietoperusta. Tietoperustan aineistoa kerättiin jo työn suunnitteluvaiheessa sekä työn aloittamisen, että työn aikana. Työssä pyrittiin käyttämään vain kvalitatiivista eli laadullista menetelmää ja suurin osa aineistosta olikin toimeksiantajan tietopankista, jolla laatu oli varmistettu jo valmiiksi. Tutkimus kohdistui jo täysin olemassa oleviin koneisiin ja sovelluksiin, jonka vuoksi näistä ei olisi ollut mahdollista saada luotettavaa tietoa muilta tahoilta.

Aineistoa analysoitiin koko sen keruuvaiheen ajan. Aineistoa verrattiin toisiinsa ja etsittiin vastauksia tutkimuskysymyksiin. Aineistossa käytettiin suurimmaksi osaksi vain alkuperäistä aineistoa. Aineiston analyysissa otettiin huomioon mihin tarkoitukseen aineisto on tuotettu ja siitä erotettiin olennaiset tiedot. Haastattelut kirjoitettiin tekstimuotoon jo haastattelun aikana ja käytettiin osana tietoperustaa.

Tutkimuksen luotettavuus varmistetaan vahvistamalla aineiston paikkaansa pitävyyttä asiantuntijoiden haastatteluissa. Myös toimeksiantaja vahvistaa aineiston tiedot oikeaksi lukiessaan työn ja antaessaan siitä palautetta. Tuloksissa voidaan arvioida kuinka ne toimisivat todellisessa tilanteessa eli mitä kehitetyillä analyyseillä voitaisiin ehkäistä.

Tutkimuksen alussa kartutettiin tietoperustaa sellusta ja sen valmistuksesta sekä sellukoneesta. Aineiston tietoja voitiin vahvistaa asiantuntijan haastatteluissa häneltä saatuihin tietoihin. Jotta voitiin ymmärtää miten työllä voitaisiin vaikuttaa lisäarvon tuottamiseen, tuli tutkia miten kunnossapito on aiemmin toteutettu ja mitkä asiat siihen vaikuttavat. Myös tämä aineisto vahvistettiin haastattelemalla alan ammattilaista. Viimeisessä työn vaiheessa hyödynnettiin jo olemassa olevia Machine Diagnostics -analyysijä ja kehitettiin uusia esittämällä millaisia muutoksia ne vaatisivat, jotta ne palvelisivat sellun kuivatuskonetta. Myös nämä tulokset olivat asiantuntijoiden haastattelujen tulosta.

1.6 Valmet Oyj

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Valmet Oyj. Valmet on alan johtavassa asemassa oleva pörssi-yhtiö. Sillä on pitkä historia teollisuudessa, jo yli 200 vuoden ajalta ja se työllistää noin 14 000 henkilöä ympäri maailman. Valmetin liikevaihto vuonna 2020 oli noin 3,7 miljardia euroa. Valmetin neljä liiketoimintalinjaa ovat sellu ja energia, palvelut, automaatio sekä paperit. (Valmet lyhyesti n.d.)

Sellu ja energia- liiketoimintalinjan toimitukseen sisältyy kokonaisia tehtaita ja prosessilaitteita. Näitä käytetään kemialliseen ja mekaaniseen massavalmistukseen. Toimitukseen sisältyy myös voimalaitoksia, voimakattilayksiköitä ja ympäristöjärjestelmiä. Suurimmat markkina-alueet ovat Eurooppa, Etelä-Amerikka sekä Aasia. (Sellu ja energia n.d.)

Palvelut- liiketoimintalinjaan sisältyy noin 100 palvelukeskusta ja yli 6000 työntekijää, jotka palvelevat asiakkaita huoltoihin liittyvissä palveluissa ympäri maailmaa. Näihin palveluihin lukeutuvat muun muassa varaosat, kunnossapito- ja seisokkipalvelut sekä prosessien tuki kuin myös optimointi. Näillä palveluilla on suuri vaikutus asiakkaiden tehtaiden luotettavuuden, kapasiteetin ja laadun parantamisessa sekä kustannustehokkuudessa. Nykyään asiakkaat ulkoistavat tehtaiden huolto- ja kunnossapitotoimintoja mitä enemmän määrin. (Palvelut n.d.)

Automaatio-liiketoimintalinja toimittaa ja kehittää automaation sekä tiedonhallinnan järjestelmiä, sovelluksia ja palveluita. Noin puolet automaatio- liiketoimintalinjasta koostuvat palveluista. Automaatio-liiketoimintalinjalla on lähes 2000 työntekijää ympäri maailman. Valmetin automaatiokäsit maksimoivat asiakkaiden tehtaiden kannattavuutta ja vastuullisuutta parantamalla suorituskykyä sekä kustannus-, materiaali ja energiatehokkuutta. (Automaatio n.d.)

Paperit- liiketoimintalinja toimittaa koneita, laitteita ja koneiden uusintoja. Asiakkaat toimivat paperi-, kartonki- ja pehmopaperiteollisuudessa. Kiinassa uusien kartonki- ja paperikoneiden kysyntä on huomattavasti vilkastunut, kun taas muualla maailmassa niiden kysyntä on rauhallisempaa. (Paperit n.d.)

Valmetilla on toimipisteitä ympäri maailmaa yli kolmessakymmenessä maassa ja yhteensä 150 toimipistettä. Suomessa toimipisteitä on 30. Jyväskylän Rautpohjassa toiminta aloitettiin vuonna

1938, jolloin siellä valmistettiin tykkejä. Myöhemmin 1950- luvulla Rautpohjassa aloitettiin valmistamaan paperikoneita. Nykyään toimipisteellä on kartonki- ja paperikoneiden, sellunkuivatuskoneen märkää ja erikoiskomponenttien tuotantoa, sekä palveluita. Toimipisteellä toimii hallinto, tuotanto, myynti, palvelut, tuotekehitys ja paperiteknologiakeskus. (Valmetin toimipisteet n.d.) Rautpohjan alue työllistää noin 1500 henkilöä (Valmet Jyväskylä yleisesitys 2016).



Kuvio 1 Valmet, Jyväskylä (Valmet Jyväskylä yleisesitys 2016)

2 Sellu ja sen valmistus

Tässä työssä keskitytään olennaisesti sellukoneeseen ja sen toiminnan optimointiin. Ensimmäiseksi tarkastellaan kuitenkin mitä sellu on ja miten sitä jatkoohyödynnetään. Opinnäytetyössä käsitellään myös sitä, miksi sellutuotanto on maaillemme tärkeää. Tämän jälkeen pureudutaan tarkemmin siihen, kuinka sellua valmistetaan ja mitä sen kuivatuslinjalla tapahtuu.

2.1 Sellu

Sellu on kuitumateriaalia, joka koostuu puukuiduista. Puukuidut saadaan erotettua puusta kemiallisesti. (Mitä sellu on? n.d.) Sellua käytetään esimerkiksi paperin, pahvin ja pehmopaperin valmistukseen. Se voidaan valmistaa samalla tehdas alueella kuin esimerkiksi paperi, mutta se voidaan myös valmistaa omalla tehtaallaan. Mikäli sellu valmistetaan omalla tehtaallaan, se toimitetaan toiselle tehtaalle jatkojalostusta varten. (Pulp Drying training 2020.)

Seuraavaksi tarkastellaan tarkemmin mihin sellua voidaan käyttää. Latokartanon (2019) mukaan Metsä Fibren kehityspäällikkö Koponen kertoo, kuinka sellulla voidaan nykyään korvata muovia. Sitä voidaan käyttää muovin seassa ja valmistaa biokomposiittia, jossa voi olla jopa 70% sellua. Biokomposiittia voidaan taas käyttää muun muassa soitinten ja kodinkoneiden valmistukseen. Sellukuiduista voidaan valmistaa myös vaatteita tai jalostaa sellusta karboksimeetyliselluloosaa eli CMC:tä. CMC:tä käytetään stabilointi- ja täyteaineena elintarviketeollisuudessa. (Latokartano 2019.) Jo näistä edellä mainituista esimerkeistä nähdään, kuinka monikäyttöinen raaka-aine sellu todellisuudessa on.

2.2 Sellutyypit

Sellun ominaisuudet vaihtelevat sen mukaan mistä puulajista se on valmistettu. Erilaisilla lopputuotteilla on omanlaisensa vaatimuksensa sellulle. (Sellun käyttökohteet n.d.) Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan lähemmin kahta eri sellulajia. Molempia sellulajeja voidaan käyttää samoihin lopputuotteisiin, mutta niiden ominaisuudet riippuvat siitä, kumpaa sellulajia on käytetty.

Havusellua saadaan nimensä mukaisesti havupuista eli kuusista ja mänyistä. Havusellu on pitkäkuituista ja kuidut ovat etäällä toisistaan. Tämän vuoksi pitkillä kuiduilla saadaan selluun lujutta, jonka ansiosta havusellua käytetään usein kestävyyttä vaativiin lopputuotteisiin, kuten kartonkiin. Havusellulla saadaan myös hyvä imukyky tuotteisiin, minkä vuoksi sitä voidaan käyttää pehmopapereissa. (Massatyypit n.d.; Sellun käyttökohteet n.d.)

Lehtipuusellua saadaan koivusta, eukalyptuksesta ja akaasiasta. Näillä puulajeilla on lyhyet kuidut, joilla saadaan pehmeyttä ja voidaan helpommin vaikuttaa pintaominaisuuksiin. Suomessa sen valmistukseen käytetään pääasiallisesti koivua, mutta muualla maailmassa käytetään eukalyptusta ja

akaasiaa. Käyttökohteita ovat hienopaperit ja pehmopaperit. Lehtipuusellulla saadaan esimerkiksi kartongille paremmat painatusominaisuudet kuin havupuusellulla ja pehmopaperiin parempi pehmeys. (Massatyypit n.d.; Sellun käyttökohteet n.d.)

2.3 Sellutuotanto

1880-luvulla sellutuotannosta muodostui tärkeä osa suomalaiselle taloudelle. Sellun tuotanto voi olla hyvinkin kannattavaa ja siitä hyötyy koko yhteiskunta. Metsäteollisuus ja -talous tuovat verotuloja ja luovat työpaikkoja myös muillekin aloille kuin vain metsäteollisuudelle. (Vaurautemme lähde: Sellu ja sen jatkojalosteet 2019.) On hyvä huomata, että sellutuotannossa voidaan myös hyödyntää tukeiksi kelpaamaton puu sekä sahauksen sivutuotteena tuleva puru ja hake (Latokartano 2019).

Metsäteollisuuden tuotannosta menee vientiin jopa 50–97 %. Sellupohjaiset paperi ja kartonki ovat metsäteollisuuden merkittävimmät vientituotteet. Vuonna 2020 niillä oli vientiä 5,7 miljardin euron edestä. 97 % kartongista meni vientiin ja paperista 94 %. Myös sellu on vientituotteiden kärkisijoilla. Vuonna 2020 sitä meni vientiin 1,9 miljardilla eurolla ja 50 % tuotannosta. Metsäteollisuuden osuus koko Suomen viennistä on noin 18 %. (Viisi faktaa metsäteollisuuden viennistä 2021.)

2.4 Sellun valmistus

Sellun valmistus alkaa puutavaran tuomisesta tehtaalle. Puutavarasta osa menee suoraan sellun valmistusprosessiin ja osa varastoidaan tehdasalueelle. Seuraavaksi puut kuoritaan, jotta jatkoprosessissa päästään haluttuun puhtausasteeseen. Kun puu on kuorittu se pestään ja siitä erotetaan kivet ja muut ei halutut materiaalit. Tämän jälkeen puu haketetaan. Haketta varastoidaan ja osa syötetään keittimeen. Kemiallisessa sellumassan valmistuksessa puuraaka-ainetta keitetään kemialeissa, jotta siitä saadaan irrotettua kuituja sitovaa liima-ainetta. Keitossa on tärkeää sen hallinta ja tasaisuus, sillä keiton onnistumisella on suuri vaikutus prosessin jatkovaiheille ja lopputuotteen laadulle. (Sulfaattisellun valmistus n.d.)

Keiton jälkeen massa pestään, jotta siitä saadaan erotettua keittäessä siihen liuenneita aineita. Tässä vaiheessa prosessia massa on vielä ruskeaa. Seuraavaksi massa lajitellaan. Lajittelussa erotetaan massasta epäpuhtaudet, kuten keittymättömät hakepalat ja keittoon päässeet muut materiaalit. Lajittelun jälkeen on happidelignifiointi prosessin vuoro. Tässä prosessissa sellumassasta poistetaan vielä jäännösläiima-aineet. Tämän jälkeen sellu valkaistaan, jonka tarkoituksena on saada massaan vaaleutta ja parantaa puhtautta. Valkaisu tehdään useassa eri vaiheessa ja sellu pestään aina valkaisujen välissä. Valkaisun jälkeen massa syötetään kuivatuskoneelle, jossa massasta poistetaan vettä. Kuivatuslinjalla massaan saadaan haluttu kuiva-ainepitoisuus, jotta sen jatkokäsittely on mahdollista. Kuivauksen jälkeen sellumassa on muuttunut selluradaksi. Sellurata ohjataan leikkurille, jossa sellurata leikataan arkkimuotoon ja tämän jälkeen arkit ladotaan paaleiksi. Paaleina sellun käsittely ja jatkokuljetus on helppoa ja mahdollista toteuttaa. (Sulfaattisellun valmistus n.d.) Seuraavassa luvussa esitetään sellun kuivatuslinja tarkemmin.

2.5 Sellun kuivatuslinja

Sellun kuivatuslinjan tärkein toiminto on poistaa vettä sellusta. Kuivatuslinjalla ei voida enää vaikuttaa sellun laatuun kovin paljoa, vaan tämä tapahtuu aiemmin kuitulinjalla. Kuivatuslinjalla vaikutetaan vielä sellun likamäärään, radan kuivuuteen ja lämpötilaan sekä sellupaalin painoon. Kuivatuslinjaan sisältyy järjestyksessä linjan etuosasta takaosaan jälkilajittelu, perälaatikko, viiraosa, puristinosa, kuivatusosa ja leikkuri sekä paalaamo. Jälkilajitteluun kuuluu massan puhdistus ja massan purku. Jälkilajittelun jälkeen ennen perälaatikkoa on massajärjestelmä ja tätä kutsutaan myös lyhyeksi kierroksi. Lyhyen kierron tehtävänä on puhdistaa ja laimentaa, sekä syöttää massa tasaisesti perälaatikolle. Kuivatusosalla tärkeässä osassa on myös ilmastointi ja lämmöntalteenotto. (Pulp Drying training 2020.)

Sellun kuivatuslinjalla sellun kuiva-ainepitoisuus muuttuu koneen eri osissa. Valkaistun massan tornissa se on noin 10 %. Sekoitussäiliössä ja konesäiliössä se on noin 3 %, koska massan joukkoon lisätään vettä. Perälaatikkoon tullessaan massan kuiva-ainepitoisuus on enää vain noin 1,8 %. Kuitenkin jo nopeasti viiraosan jälkeen se on 25 %. Puristinosaalla päästään jo 50 % kuiva-ainepitoisuuteen, joka on tärkeää, jotta kuivatusosalla höyrykuivaukseen ei kulu liikaa energiaa. Lopulta kuivatusosalta tullessaan ja paalattuna sellun kuiva-ainepitoisuus on 90 %. (Pulp Drying training 2020.)



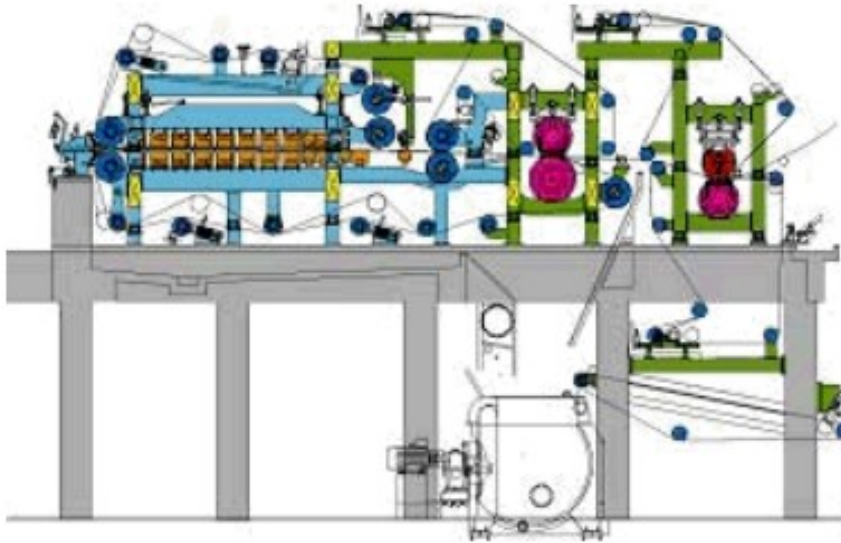
Kuvio 2 Sellun kuivatuslinja (Kurki 2019.)

3 Sellun kuivatuskone

3.1 Märkää

Perälaatikko, viiraosa ja puristinosa muodostavat yhdessä sellun kuivatuslinjan niin kutsutun märkääpään. Märkääpäällä selluradasta poistetaan vettä mekaanisesti suotauttamalla vettä viiran läpi ja puristamalla rataa telojen välissä. Viiraosalla vedenpoisto aloitetaan matalalla alipaineella, jotta sellurata ei rikkoudu. Tällaista rikkoutumista kutsutaan ratakatkoksi, joka voi aiheutua myös muista häiriöistä koneen märkääpäässä. Katkennut rata kuljetetaan hylkykuljettimella pulpperiin ja radan ajo joudutaan aloittamaan alusta. Pulpperi sijaitsee yleensä märkääpään alapuolella, jossa sellurata sekoitetaan uudelleen massaksi ja ajetaan takaisin kiertoön märkääpään alkuun. (Pulp Drying training 2020.)

Valmetin märkääpään toimituksista tehtaille on olemassa kolme yleisintä konseptia, joita voidaan vertailla tuotantomäärillä. Yleisimmistä konsepteista pienin tuotantomäärä sisältää tasoviiran ja kenkäpuristimen. Keskimäinen tuotantomäärä sisältää tasoviiran ja viiraosan lopussa olevan yläviirayksikön. Lisäksi tässäkin konseptissa on kenkäpuristin. Kolmas ja suurimman tuotantomäärän omaava konsepti pitää sisällään niin sanotun kitaformerin eli kaksoisviiran. Tämä tarkoittaa sitä, että koko viiraosan matkalla on ala- ja yläviirayksikkö. Tällöin vedenpoisto tapahtuu kokomatalla kahteen suuntaan. Lisäksi tässä konseptissa on kaksi kenkäpuristinta, jotta suuressa tuotantomäärässä saavutetaan haluttu kuiva-ainepitoisuus. (Pulp Drying training 2020.) Seuraavissa alaluvuissa esitellään tarkemmin märkääpäässä olevat koneen osat.



Kuvio 3 Märkäpään layout, kitaformer (Forming n.d.)

3.1.1 Perälaatikko

Perälaatikko on märkäpään tärkeimpiä osia, koska sillä vaikutetaan selluradan ominaisuuksiin. Perälaatikolla vaikutetaan siihen kuinka tasainen sellurata koneelle tulee. Valmetin yleisin käytössä oleva perälaatikko malli on laimennus kontrolloitu hydraulinen perälaatikko. Sillä voidaan määrittää selluradan profiili koneen suuntaisesti ja poikkisuuntaisesti. Valmetilla on olemassa myös reikätelaperälaatikko, jolla voidaan myös taata hyvä radan muodostuminen ja pieni neliöpaino. Reikätelaperälaatikolla saavutetaan tehokas vaimennus laajalla virtauksella ja sakeusalueella. Perälaatikot rakennetaan kestävästä ruostumattomasta teräksestä ja runko on hyvin kestävä. (Headbox n.d.)

Perälaatikossa on pillistö, joka kääntää massavirtauksen konesuuntaan ja tasaa painehäviön avulla paine- sekä virtausnopeus profiilia perälaatikon poikkisuunnassa. Turbulenssigeneraattori perälaatikon sisällä muodostaa matalan suuren skaalan turbulenssin, jonka avulla saadaan massaan hyvä stabiilisuus ja pieni neliöpainon vaihtelu. Laimennusvesi sekoittuu sellumassaan tullessaan pillistöön ja turbulenssi estää uudelleen flokkautumisen sekä parantaa radan muodostumista. Jakoputki jakaa massan koko koneen leveydelle ja se on suunniteltu siten, että massavirtaus on tasainen. Jakoputken painetasapainoon vaikutetaan ohikierron virtauksella ja sitä varten huulikanavassa on näkölasi, josta paineen tasapainon pystyy tarkistamaan. Huulikanava on kiilan

muotoinen avoin tila koko perälaatikon leveydeltä, sen tilan rajaa ylähuuli, alarunko ja sivuseinät. Virtaus tulee turbulenssigenaattorista, joka suunnataan huulikanavaan. Huulikanavan tarkoitus on varmistaa, että huulisuihkulla, joka poistuu perälaatikosta on tasainen profiili ja vaadittu nopeus sekä paksuus. Perälaatikot ovat yleisesti samanlaisia projektista riippumatta. Levein toimitettu perälaatikko on 11 metriä leveä ja siinä on laimennusventtiileitä on 70 kappaletta. Perälaatikon huulikorkeus on 30–100 mm riippuen sellun tyypistä. Massan sakeus on 1–2 %, kierrätys ja laimennus on maksimissaan 10 %. (Pulp Drying training 2020.)



Kuvio 4 Perälaatikko (Headbox n.d.)

3.1.2 Viiraosa

Viiraosan pituus on tyypillisesti 16–21 metriä. Tasoviirassa on alaviira ja loppuosassa myös yläviira. Tasoviira sisältää kiristystelan, ohjaustelan, imutelan ja puristintelan. Alaviirassa on ensin rintatela ja sen jälkeen on kaksi alalaatikkoa, joihin vesi poistuu painovoimaisesti eli suotautumalla viiran läpi ja näiden jälkeen on tyypillisesti 6–8 alipainelaatikkoa. Yläviira muodostuu neljästä imulaatikosta ja yläviiran jälkeen on vielä kaksi imulaatikkoa. Viimeisenä on imutela, joka on avoin tela ja se poistaa vettä radasta alipaineen avulla. (Pulp Drying training 2020.)

Kitaformerissa on rintatela alhaalla ja ylhäällä ja sen jälkeen 6–7 suodosvesilaatikkoa alhaalla ja ylhäällä. Näiden jälkeen on imulaatikko ja siirtolaatikko sekä lopuksi vielä imulaatikko ennen imutela. Sen pituus on noin 15 metriä. (Pulp Drying training 2020.)

Höyrylaatikko

Höyrylaatikko sijaitsee viiraosan vedenpoiston viimeisessä kohdassa, kolmikammioisen imulaatikon yläpuolella (Pulp Drying training 2020). Sellukoneella höyrylaatikon tärkein tehtävä on lisätä radan lämpötilaa ja tätä kautta kasvattaa vedenpoiston määrää. Tämä taas mahdollistaa koneen nopeuden noston, jonka johdosta tuotanto kasvaa sekä säästetään höyryn käytössä kuivatusosalla. Höyrylaatikolla lämmitetään sellurataa, jolloin veden viskositeetti ja pintajännitys laskee. Höyry kondensoituu rataan, jolloin se on lämpöisempi kuin ilma, joka helpottaa veden poistumista radasta puristinosalla. Höyrylaatikosta saadaan paras teho, kun vesi kondensoituu rataan, eikä huopaan tai radan yläpuolelle. Höyrylaatikon suunnittelu mahdollistaa sen asennuksen lähelle sellurataa, jolloin sen suorituskyky on parhaimmillaan. (Räty 2020.) Höyrylaatikko suunnitellaan aina sijoituspaikan ja koneen kapasiteetin mukaan projektikohtaisesti (Lehtioksa 2021).

Höyrylaatikon avulla saadaan myös parannettua radan kosteusprofiilia, joka tarkoittaa parempaa laatua ja radan ajettavuutta koneella (Räty 2020). Profiililla tarkoitetaan koneen poikkisuuntaisen selluradan korkeutta. Profiloiva höyrylaatikko vaikuttaa radan profiiliin pitäen sen sopivan korkuisena ja tasaisena, tämä tapahtuu profiloivien toimilaitteiden avulla. (Valmet IQ Module 10: Profilers (Online) n.d.) Toimilaitteet voidaan asentaa perälaatikkoon myös jälkikäteen, mikäli niitä ei ole asennettu alun perin. Toimilaitteet ovat sijoiteltu paineistettuun ja eristettyyn koteloon. Höyrylaatikossa on reunaviivaimet, joilla voidaan säätää höyryn leveyttä ja suojata reunoja. Sellurataan höyry virtaa höyrylaatikon hajotinlevyn kautta, jossa on pieniä reikiä, joista höyry pääsee ulos. Höyry ohjataan höyrylaatikon tulistetun höyryn putkesta, jota viilennetään tarvittaessa erillisestä putkesta tulevalle lauhteelle ennen höyrylaatikon virtaamista. (Räty 2020.)



Kuvio 5 Höyrylaatikko (Räty 2020.)

3.1.3 Puristinosa

Ensimmäisenä puristinosalla on lumppari, joka on ylätela viiraosan imutelalle. Telojen välissä oleva nippi on pyörivien telojen väliin jäävä kosketusalue. Tähän alueeseen muodostuu nippipaine, joka on telojen väliin muodostuva pintapaine. Nippikuormalla mitataan telojen väliin muodostuvaa kuormitusta. Tämä aiheuttaa puristuksen telojen väliin ja vesi virtaa radasta telaan, joka sitoo vettä itseensä ja sitoutumaton osa vedestä syöksyy alatelan pinnan kautta pois radasta. Puristus on vielä tässä vaiheessa hyvin hento, sillä kuiva-ainepitoisuus radassa on noin 25 %. Hennolla puristuksella varmistetaan radan katkeamattomuus ja rullaus. (Pulp Drying training 2020.)

Seuraavaksi on Combi- puristin. Tämä koostuu kääntötelasta, Pick-Up imutelasta ja puristintelasta. Pick-Up imutela sijaitsee näiden kahden muun telan välissä yläpuolella ja muodostaa täten kaksi nippiä telojen kanssa. Viimeisenä on kenkäpuristin, joita voi olla kaksikin peräkkäin, mikäli tuotantomäärä on suuri. Kenkäpuristin koostuu kahdesta telasta. Valmetilla SymZL- tela toimii ylätelana ja alatelana SymBelt- tela, näiden väliin muodostuu nippi. Puristinosan pituus riippuu puristimien määrästä, mutta yleisimmän mallin pituus on hieman yli 11 metriä ja korkeus hieman alle 10 metriä. (Pulp Drying training 2020.)

Imutela

Valmetin imutela on tehty kestäväksi suurella suorituskyvyllä. Kestävyys on varmistettu lujuuslaskeilla ja optimoimalla valmistusmateriaali sekä panostamalla tuotannon laatuun. Lujuuslaskut pitävät sisällään telan mitoituksen, sille tulevan kuormituksen ja ympäristön vaikutuksen telaan, kuten

ympäristössä vaikuttavat kemikaalit. Imutelaan on tehty optimoidusti reiät suorituskyyvyn kasvattamiseksi ilman, että telan laatu kärsii vaikka reikiä on imutelassa kauttaaltaan. Imutelan imulaatikon suunnittelulla on myös suuri vaikutus sen suorituskyyvyn. Imutelalla optimoidaan maksimaalinen vedenpoisto, niin ettei rata kostu uudelleen siirtyessään eteenpäin telalta ja siirtyminen tapahtuu luotettavasti. Suorituskyyky pidetään hyvänä telan siisteydellä. Imureikien siisteys varmistetaan pesusuihkuilla, joissa käytetään suuttimia. Imuteloissa on käytössä tiivistevyöhyke. Tiivistevyöhykkeen alla on letkut, jotka paineistetaan ja näin letkut painavat tiivistettä imutelaa vasten tiivistäen liitoskohdan. Tällöin imutelan imupaine kasvaa ja vedenpoisto on tehokkaampaa. Sellun kuivatuskoneella imutela on käytössä viiraosalla ja sitä imutelaa kutsutaan Couch roll- nimellä ja puristinosalla olevaa imutelaa kutsutaan Pick-Up roll- nimellä. (Röyskö 2018.)

Viiraosalla oleva imutela muodostaa lumppurin eli painotelan kanssa puristin nipin. Vettä poistuu ylöspäin lumppurin huopiin ja alaspäin imutelan reikien kautta telan sisään, josta vesi siirtyy vedenerottimen kautta takaisin kiertoön viiravesisäiliöön. Vettä poistuu myös imutelan reikien kautta ulospäin telan alla olevaan kaukaloon. (Puristinos n.d.)

Pick- Up- imutela on ensimmäisenä puristinosalla viiran vetotelan kanssa. Puristinnippi muodostuu viiran vetotelan ja Pick- Up- imutelaan väliin, kun viiran vetotelaa puristetaan hydraulisesti Pick- Up- imutelaa vasten. Pick- up imutelassa on myös imuvyöhyke ja sen avulla rata pysyy kiinni telassa, sillä Pick- up imutela toimii myös radan kuljettajana. Kun rata on kiinni telassa se siirtyy telan kautta seuraavalle puristimelle. (Puristinos n.d.)

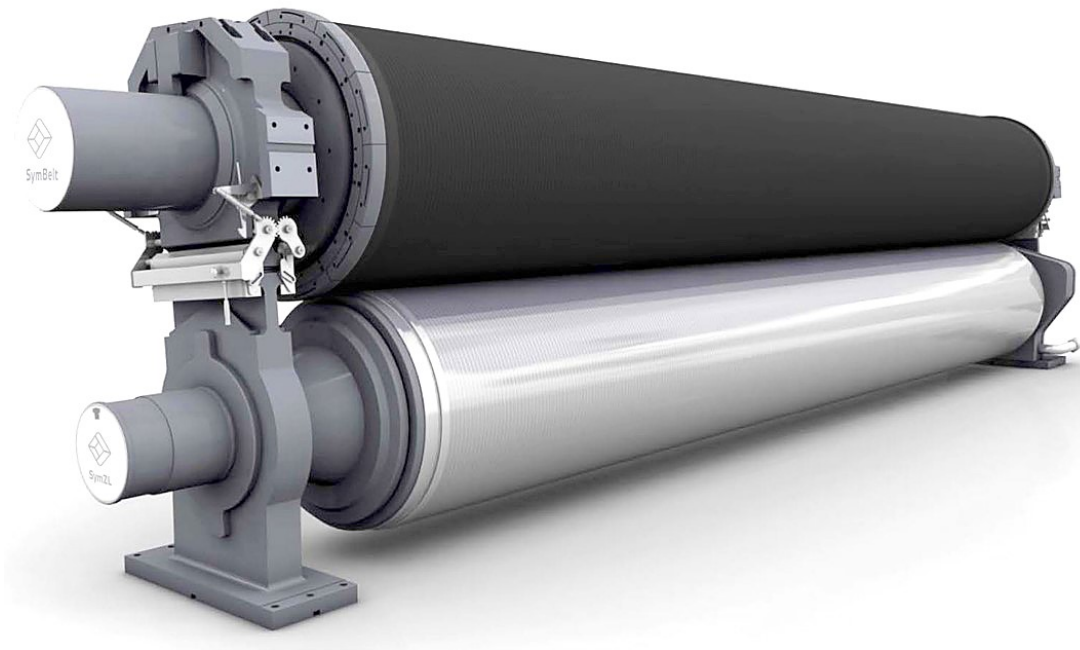


Kuvio 6 Valmet Imutela (Suoknuuti 2019.)

SymBelt- kenkätela

Kenkätelan avulla maksimoidaan vedenpoisto selluradasta puristinosalla. Kenkätelalla saavutetaan hyvä radan ajettavuus sekä luotettava ja vakaa operointi. Tehokas vedenpoisto saadaan luotua optimoidun puristin nipin ja toimivan huovan kanssa. Valmetin Symbelt- kenkätela koostuu puristin-kenkätelasta, joka on päällystetty polyuretaanihuovalla. Huovalla on usein uritettu pinta tehokkaampaa vedenkäsittelyä varten. Vesi poistuu radasta puristinnipissä, joka muodostuu Symbelt kenkätelan sisällä olevan painekengän ja SymZL- telan eli vastatelan väliin. Paineenkä painetaan hydraulisesti SymZL- vastustelan pintaa vasten. Suurin osa poistuneesta vedestä siirtyy ylös vedenpoistokourulle ja loput alaspäin vedenpoistokourulle. (Rajala 2021.)

Telalla on jäykkä rakenne, koska maksimikuorma voi olla jopa 1500 kN/m. Valmetin kenkätelassa on patentoitu hydraulinen öljyvoitelu. Lämpötilasäädetty öljy syötetään kengän keskelle taskuun, jossa tarvitaan eniten voitelua ja jäähdytystä. Öljyn ja kengän matalalla lämpötilalla mahdollistetaan alhaisempi energiankulutus sekä huovan pidempi elinkaari. Telassa on 4-5% korkeampi kuiva-ainepitoisuuden saavutus kuin muilla yleisillä huovilla ja hyvä kuorman kesto kyky. (Rajala 2021.)



Kuvio 7 SymBelt- kenkätela, ylempi tela (Rajala 2021.)

3.2 Kuivauskaappi

Märkápään jälkeen sellurata on noin 50 % kuiva-ainepitoisuudessa ja se ohjataan kuivauskaapille, jossa rataa kuivataan haihduttamalla, höyryenergiaa apuna käyttäen. Kuivauskaappi koostuu ohjaus- ja kääntöteloista sekä puhaltimista. Kuivauskaapin märkápään puolella on märkápään kääntötelojen torni ja selluradan ulostulo puolella on kuivanpään kääntötelojen torni, jonka puolelta sellurata ohjautuu leikkurille. Kuivauskaapin sisällä ei ole teloja lainkaan, eikä sellurata kosketa siellä koneen osiin. (Pulp Drying training 2020.)

Kuivauskaapissa on koko sen leveydeltä ja pituudelta puhallintorneja, joissa olevat puhaltimet puhaltavat kuumaa ilmaa suutinlaatikoiden kautta sellurataan, jolloin selluradasta haihtuu vettä pois.

Sellurata leijutetaan koneen läpi suutinlaatikoiden välissä ja aina kaapin reunaan tullessa se kääntetään kääntötelalla kulkemaan kaappi toiseen suuntaan läpi, kunnes se on kulkenut koko kaapin ylhäältä alas puolelta toiselle. Kuivauskaappi on yleensä noin 40–55 metriä pitkä ja 10–25 metriä korkea. Kuivauskaapissa on noin 100–300 kappaletta puhaltimia. Kaapin yläosasta ilma imetään lämmöntalteenottoon, jossa kuuman ilman energia otetaan talteen uudelleen käyttöä varten. Lämmöntalteenotolla on suuri merkitys energiatehokkuuteen. Lopulta sellurataa jäähdytetään vielä ennen kuin se siirtyy leikkurille. (Pulp Drying training 2020.)

4 Kunnossapito

4.1 Kunnossapito käsitteenä

Kunnossapito käsitteenä on hyvinkin laaja. Sen tarkoituksena on pitää koneiden ja laitteiden kunto alkuperäistä vastaavana. Kunnossapidon avulla saadaan pidettyä yllä turvalliset olosuhteet, kustannustehokkuus ja hyvä laatu. Kunnossapitoon sisältyy kunnonvalvonta, huollot, korjaamiset ja modifioinnit. Viat on pystyttävä korjaamaan nopeasti ja kustannustehokkaasti. Kunnossapitoon sisältyvään huoltoon kuuluu ennakoivat toimenpiteet, vianetsintä ja vikojen korjaaminen. Toimiva kunnossapito koostuu koneen oikeasta käytöstä, huolloista ja tarkastuksista. Vikaantumismuodot ja korjausmenetelmät on tunnettava voidakseen toteuttaa toimiva kunnossapito. Kunnossapito perustuu suunnitteluun, teknologiaan ja kunnossapidon perusteisiin. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)

Kunnossapidon teknologiat ovat menetelmiä, joita käytetään kunnossapitoa suoritettaessa. Ne ovat yleensä laite- ja ympäristösidonnaisia, esimerkkinä mittaukset, pinnoitukset, voitelut ja osien vaihdot. Suuressa osassa kehityksessä ja tutkimuksissa ovat vikadiagnostiikka, vikasietoisuus, älykkäät materiaalit ja tekoäly. Näitä tutkitaan konetiedon keräämisellä. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)

Kunnossapitoa toteutetaan monissa eri tehtävissä ja samassa tehtaassa myös eri yrityksissä. Kunnossapitoa suorittaa myös laitteen käyttäjä, joka tarkkailee konetta ja ilmoittaa kunnossapitoon, kun vikoja havaitaan mikäli korjaustarve ei ole välitön. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.) Kun korjaustarve on välitön suoritetaan korjaustoimenpiteet tuotannon omien työntekijöiden toimesta.

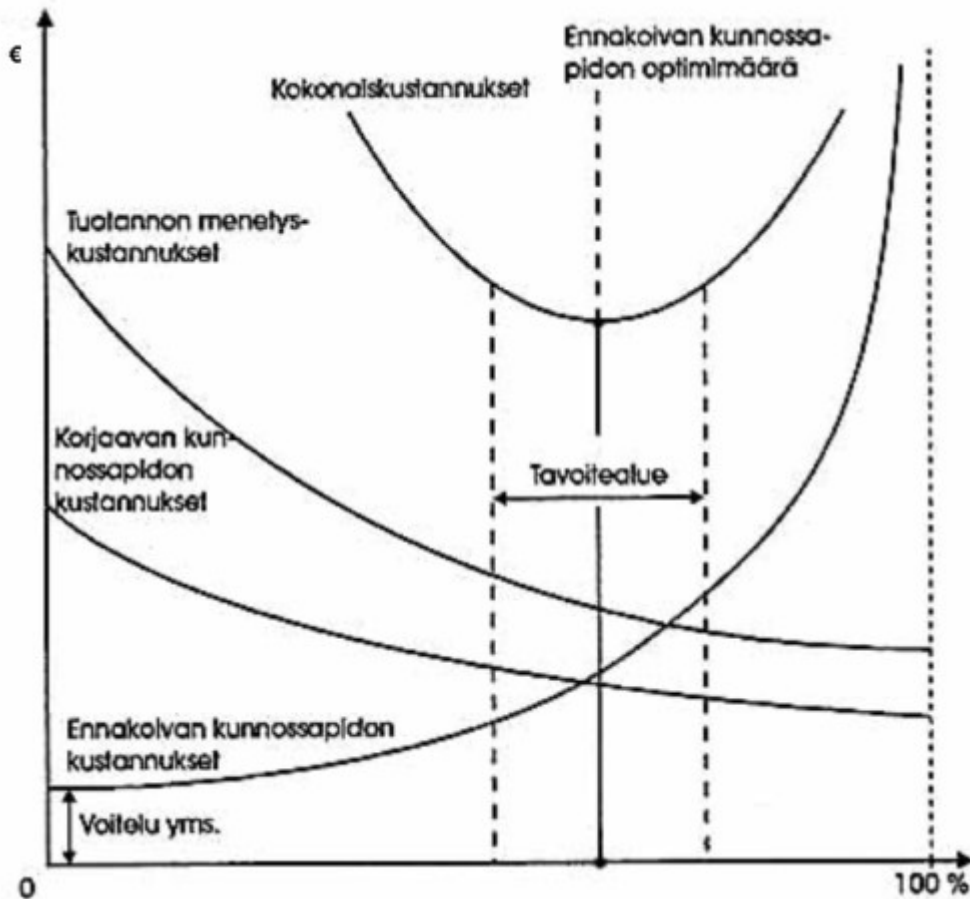
Yleisesti tehtailla on pyritty suunnittelemaan vuorot niin, että jokaisessa vuorossa on sähkö- ja automaatiotekniikan osaava, mekaniikan sekä värähtelymittauksien osaava henkilö. (Sipiläinen 2021.)

4.2 Kunnossapidon tavoite

Kunnossapidon tavoitteena on käyttövarmuuden toteuttaminen. Käyttövarmuus voidaan jakaa eri tekijöihin, joita ovat toimintavarmuus, kunnossapidettävyyys ja kunnossapitovarmuus. Toimintavarmuuteen sisältyy tuotantokoneiden ja laitteiden tuotesuunnittelu, kunnossapidon osalta käyttäjä, suunnittelu ja toteutus. Kunnossapidettävyyteen sisältyy myös tuotesuunnittelu ja kunnossapito. Kunnossapitovarmuus koostuu kunnossapidosta, tarkemmin sen koulutuksesta, logistiikasta ja suunnittelusta. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)

Kunnossapidolla voidaan vaikuttaa kierrätystarpeen vähenemiseen käyttöaikaa pidentämällä. Vaikka kunnossapito itsessään aiheuttaa jätettä, voidaan kuitenkin sen avulla pienentää jätteen määrää. Sillä suurempi osa koneesta pysyy käytössä pidempään, vaikka varaosia vaihdetaankin. Kunnossapidolla on myös suuri vaikutus työtapaturmien välttämiseen, sillä suuri osa työtapaturmista aiheutuu viallisista laitteista. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)

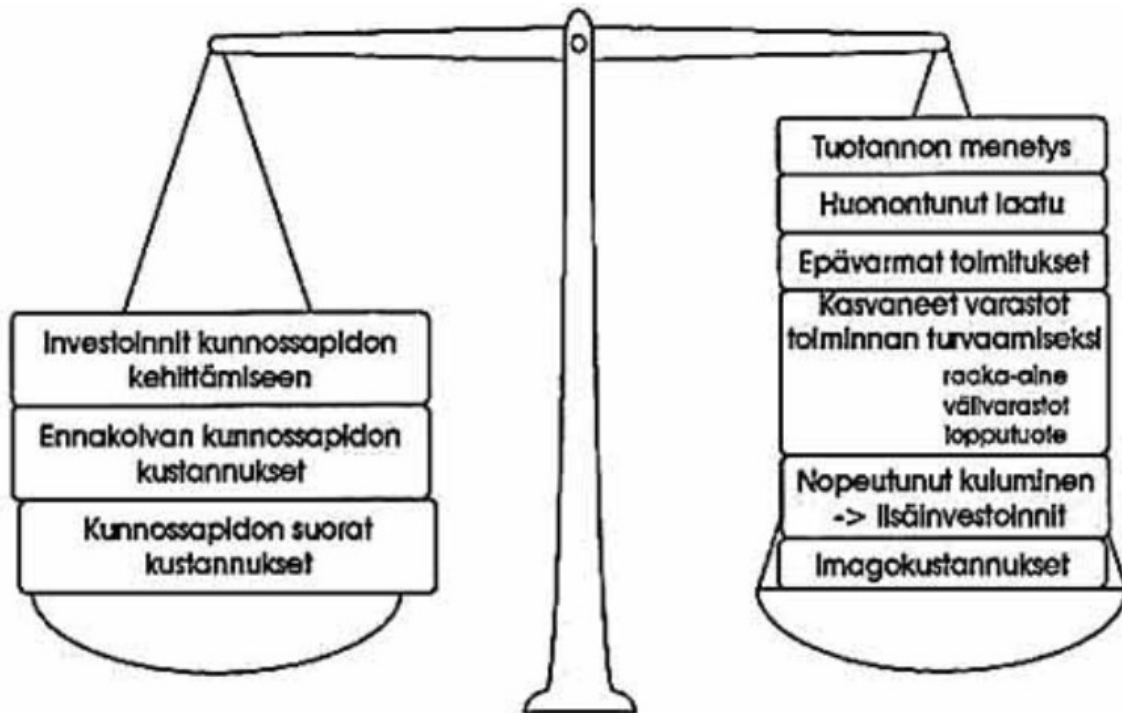
Kunnossapidon tavoitteena on myös löytää taloudellinen optimi ennakoivan ja korjaavan kunnossapidon suhteelle. Suhde ei ole määritettävissä tarkkaan rahallisesti, sillä siihen vaikuttavia kohtia kuten turvallisuutta, toimitusaikoja, ympäristövaikutuksia yms. on hankala mitata rahassa. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.) Alla oleva kuvaaja esittää, millä alueella taloudellinen optimi sijaitsee. Kuvaajasta voidaan myös nähdä, kuinka tavoitealueella kokonaiskustannukset ovat alhaisimmillaan ja ennakoivan sekä korjaavan kunnossapidon kustannukset ovat suurin piirtein saman verran.



Kuvio 8 Muokattu Ennakoivan kunnossapidon vaikutus kustannuksiin (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)

4.3 Kunnossapidon kannattavuus

Kunnossapidon kannattavuutta on hankala analysoida suoraan, sillä taloudellisilla laskelmilla on vaikea hallita tarkasteluihin liittyviä osia. Kunnossapidolla saavutettavat tuotot ovat ongelma. Selvästi kasvanut tuotanto ja parantunut laatu voi olla helppo todentaa taloudellisesti, mutta parantuneen toimintavarmuuden markkinaosuuden kasvu on hankala käsitellä laskelmissa rahallisesti. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)



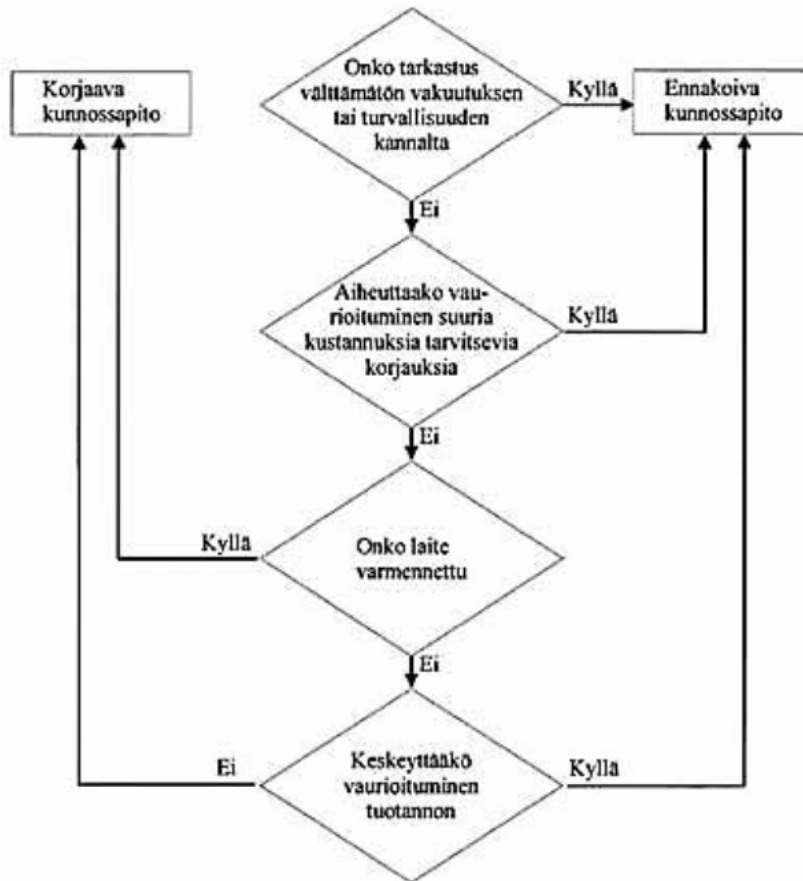
Kuvio 9 Kunnossapidon kustannuksien punnitseminen (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)

Kunnossapitoimenpiteiden laitetasolle jaotellut kustannuserittelyt ovat tehokkaita työkaluja kunnossapitoa kehitettäessä. Kustannukset voidaan jaotella käyttäjän suorittamaan käyttöseurantaan, kunnonvalvontaan, seisokkeihin, vikaantumisen ja kunnonvalvonnan seurauksena tehdyt korjaukset, modifioinnit, perusparannukset ja käytöstä poisto. Tuotannon lisäarvosta saatavat tuotot syntyvät kun seisokkiajat vähentyvät ja tuotantohyödyke tehostuu. Nämä saavutetaan kun seisokkiajat vähentyvät, tuotantonopeuden aleneminen eliminoidaan ja laatupuutteista päästään eroon. Lisäksi tuotannon lisäarvoa saadaan kun laatu paranee, toimitukset ovat varmempia, laitteiden käyttöikä pitenee ja mitä parasta, yrityksen imago paranee. Tuotannon lisäarvo toteutuu suhteellisen helposti, se tarvitsee vain kunnossapidon kehittämistä. Kehittäminen on aina investointi, mutta sen kautta saadaan kasvatettua tuotantoa. Käytännön kokemusten mukaan kunnossapidon kehityskohteiden oikein suunnittelu takaa lyhyet takaisinmaksuajat, yleensä alle vuosi. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)

4.4 Kunnossapidon suunnittelu

Kunnossapidon suunnittelu tehdään kunnossapidon perusteiden mukaisesti. Yleisesti suunnittelu tehdään aina ennen kunnossapidon suorittamista oli kyseessä päivittäiset kunnossapitotoimenpiteet tai laajemmat toimet esimerkiksi vuosihuoltoseisokin yhteydessä. Mikäli kunnossapidon tarve on yllättävä, jää suunnittelu-aikaa hyvin vähän. Tämän vuoksi olisi tärkeää pystyä ennakoimaan kunnossapidon tarvetta. Kunnossapidon suunnittelu vaatii laajaa tietopohjaa ja kunnossapidettävän kohteen suunnitteluperiaatteet on tunnettava, jotta se voidaan palauttaa alkuperäiseen toimintakuntoon. Kunnossapito suunnitellaan usein laitetoimittajien ja –suunnittelijoiden kanssa. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.) Laitetoimittaja määrittää manuaaliinsa huoltoväliohjeistuksen, jota nuodatetaan yleisesti ainakin elinkaaren alkuvaiheessa. Yleensä huoltoaikaväliä voidaan pystyä pidentämään takuuajan päätyttyä ja kun laitteista ja niiden käyttäytymisestä on opittu tarpeeksi. (Sipiläinen 2021.) Suunnittelu on tärkeää laitteen elinkaarta tarkasteltaessa (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d). Elinkaarisuunnitelma tehdään yleensä 10 vuoden ajalle ja sen jälkeen aina eteenpäin PTS eli pitkän tähtäimen suunnitelmana 3 vuotta kerrallaan eteenpäin (Sipiläinen 2021).

Alla olevassa kaaviossa käydään läpi kriteerit, joiden perusteella määritetään kunnossapitostrategiaa. Kunnossapitostrategiassa tärkeää on määrittää kunnossapitotoimien ajoitus ennen vikaantumista ja sen jälkeen. Sekä arvioida seisauttaako vika tuotannon kokonaan ja voiko se aiheuttaa suuremman vaurioitumisen. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.) Tässäkin tulee esiin suuressa roolissa suunnitelman ja kunnossapitopäätöksen tekijän tietotaito asiaan.



Kuvio 10 Kunnossapidon suunnittelukriteerit (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)

4.5 Kunnossapitotoimenpiteet

Kunnossapitotoimenpiteet jakautuvat useaan eri osaan, jotka ovat kaikki osaltaan läsnä tässäkin työssä käsiteltävään teolliseen internettiin ja nimenomaan Machine Diagnostics -sovellukseen. Asp, Tuominen ja Hyppönen (N.d.) mukaan erilaisia toimenpiteitä ovat ehkäisevä kunnossapito, käyttö seuranta, kunnonvalvonta, jaksotetut huollot, tarkastukset, testaukset, huollot, korjaukset ja käytöstä poisto. Ehkäisevä kunnossapito sisältää tarkastuksia, testauksia ja huoltotoimenpiteitä, joita tehdään ilman, että laitteessa on vikaa. Käyttö seuranta, jota tekevät laitteen käyttäjät käytännössä jatkuvasti. Kunnonvalvonta, jossa laitteen toimintaa tarkkaillaan ja mitataan jatkuvasti tai määrääjain. Tavoitteena on alkavan vian havaitseminen ja tämän jälkeen vian korjaaminen ennen kuin se aiheuttaa vikaantumisen koneeseen eli mahdollisen seisokin. Jaksotetut huollot, jolloin on määrätty tietty käyttöaika, käyttökerta tai muun mukaan jaksottuva huoltotoimenpide, joka tehdään aina koneen tai sen osan kunnosta riippumatta esimerkiksi öljynvaihto tai huovan vaihto kaksi kertaa vuodessa. Tarkastuksessa tarkastetaan koneen toimintakyky. Testauksessa koneen

toimintakyky tarkastetaan vertaamalla mitattuja tuloksia koneelle alun perin tarkennettuihin arvoihin ja näistä vertailuista tehdään päätelmiä koneen kunnosta ja suorituskyvystä. Huollossa koneelle tehdään ennalta laaditun suunnitelman mukaiset kunnonvalvonta- ja huoltotoimenpiteet. Korjauksessa korjataan aiheutunut vika. Käytöstä poistossa poistetaan käytöstä koko kone tai koneen osa, kun elinikä on täyttynyt, olisi tarve taloudellisesti kannattamattomalle korjaukselle tai modifioinnin vuoksi. Käytöstä poistossa voidaan hyötyä käyttä joitakin osia ja tehdään asianmukainen kierrätys. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)

4.6 Seisokit

Jaksotetut huollot, kutsutaan myös termillä vuosihuoltoseisokki lyhennettynä seisokki, jota käytetään tässä työssä, sillä se on vakiintunut termi tehtailla. Myös Asp ja muiden (N.d.) mukaan seisokit ovat tärkeä ja perinteisin kunnossapidon toimenpide. Seisokit ovat hyvin systemaattisia ja niiden vaatimukset sekä tavoitteet on suunniteltu yhdessä laitteen valmistajan ja käyttäjän eli tehtaisten kanssa. Tehtaat luovat kuitenkin laitteelle omaan järjestelmäänsä sopivan huoltomenettelyn. Tehtailla on oltava riittävä huolto-organisaatio omassa yrityksessään tai se hankkii sen alihankinnan kautta, näiden avulla saadaan huoltotyöt suoritettua ja tulokset todennettua. Tehtailla on myös järjestelmä, johon huoltotöiden tulokset ja kokemukset tallennetaan ja analysoidaan. Järjestelmän tavoitteena on, että seisokkeja kehitetään käyttökokemuksien ja tekniikan kehittymisen myötä. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)

Seisokit perustuvat yleisesti kalenteriaikaan, käyttöikänsä, käyttömäärään, kunnonvalvonnan tuloksiin ja käyttötilanteisiin. Kalenteriaika perusteisena hyvä asia on sen selvyys, sama aika joka vuosi ja ajankohta on aina tiedossa, joka helpottaa huollon työjärjestyksen laatimista. Huonona puolena, se ei ota huomioon todellista käyttöä ja kulumaa. Käyttöaika ottaa huomioon todellisen käytön ja kuluman, se vaatii kuitenkin käyttömäärän rekisteröinnin. Käyttömääränä esimerkiksi kuinka monta kertaa moottori on pyörinyt tai kuinka pitkän matkan leikkuri on leikannut. Kunnonvalvonnan tuloksiin perustuva seisokki perustuu mitattuihin tuloksiin, esimerkiksi öljynvaihto öljyanalyysin perusteella. Käyttötilanteeseen perustuen tehdään huolto tehtaalla sallien esimerkiksi muista syistä johtuvien seisokkien yhteydessä. Seisokkeihin sisältyy myös muita kunnossapidollisia toimenpiteitä, kuten puhdistus, voitelu, öljynvaihtoja ja erilaisia korjauksia. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)

4.7 Vika

Vika tarkoittaa vaaditun toiminnan päättymistä. Kun vika ilmenee puhutaan vioittumisesta tai vikaantumuksesta. Vika voi olla järjestelmässä tai sen osassa ja vikaantunut osa voi herkästi aiheuttaa myös muiden osien tai koko laitteen vikaantumisen. Vian kehittämisessä on kolme perusvaihetta, vian alku, kehittyminen ja viimeinen on vikaantuminen. Esimerkki vian kehittämisestä on väsymissärön syntyminen, särön kasvu ja viimeisenä lopullinen murtuminen. Kunnossapidossa on tärkeä tuntee laitteen vikaantumisen eteneminen. Tapahtuuko vikaantuminen nopeasti vai hitaasti, eli kuinka nopeasti korjaus tulee toimittaa. Vikaantumisen perusvaiheissa jokainen vaihe aiheutuu erisyyistä. Vioittumisen ehkäisemisessä tulee jokaisessa vaiheessa eri toimenpiteitä. Vikaantuminen aiheutuu usein eri tekijöistä. Yleensä pääsyy on kuitenkin helposti erotettavissa ja voidaan huomata mitkä muut tekijät ovat lisänneet ja nopeuttaneet sen vaikutusta. Vian analyysissä on tärkeä käydä läpi kaikki vikaantumiseen johtaneet syyt ja vian vauriot. Kun vikaantumiseen syyt erotetaan, on vikojen torjuminen paremmin hallinnassa. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)

4.8 Kunnonvalvonnan mittaukset

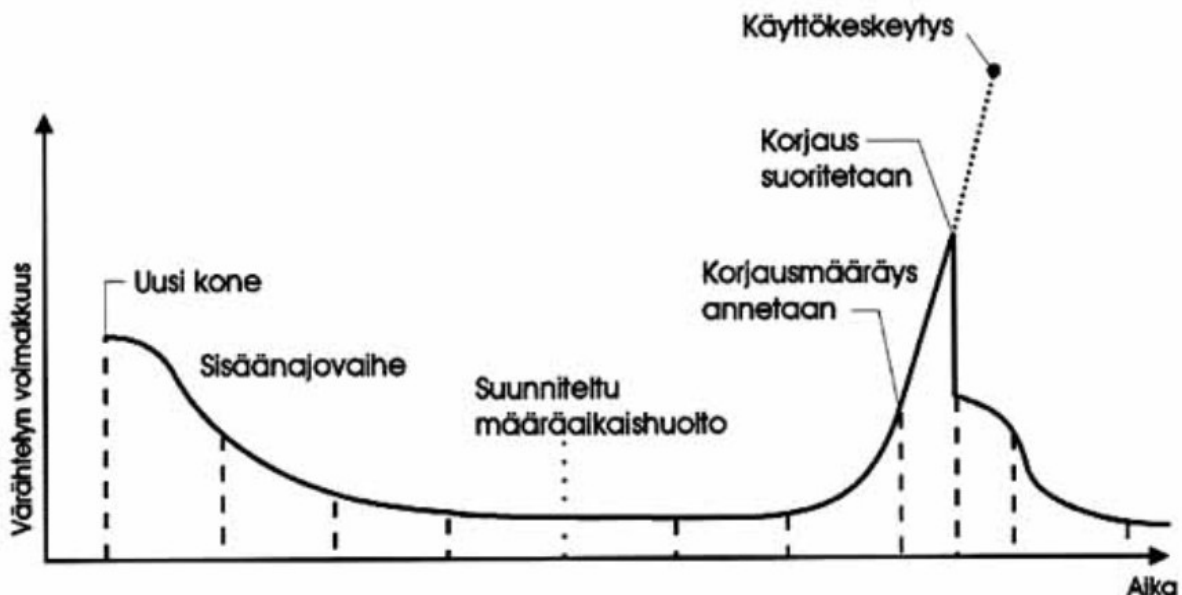
Kunnonvalvonnassa luokitellaan mittauksien suureet tai mittausmenetelmät. Mittausmenetelmiin lukeutuvat aistinvaraiset tarkistukset ja toimilaitteilla tehdyt mittaukset. Aistinvaraisiin tarkistuksiin kuuluvat ihmisen tekemät havainnot käyttäen omia aistejaan, näkö, kuulo, haju ja tunto. Aistit antavat tärkeän yleiskuvan, mutta niitä on vaikea dokumentoida ja kouluttaa. Havaintojen vertaaminen on myös vaikeaa, eikä se ole luotettavaa. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.) Ihmisen on esimerkiksi hankala havaita hitaasti tapahtuvaa muutosta, kunnes tietty raja ylittyy ja tällöin vaurio voi olla jo väistämätön.

Mittauksien suureita ovat fysikaaliset perussuureet. Näitä ovat lämpötila, paine ja dimensiot. Lämpötilaa voidaan käyttää energiatekniikassa, prosessiteollisuudessa, jäähdytys- ja voitelujärjestelmissä ja laakeroinneissa, esimerkiksi lämpökameralla voidaan havaita lämpö- ja nestevuodot. Paineita käytetään hydrauliiikka- ja pneumatiikkajärjestelmissä, voitelujärjestelmissä ja prosessiteollisuudessa. Dimensioita käytetään välyksissä, muodoissa ja sijainnissa. Sähköisiä perussuureita ovat jännite, virta, teho ja resistanssi. Näitä käytetään sähkölaitteissa ja -komponenteissa, kun määritetään sähköisissä käytöissä laitteiden yleiskuntoa. Ainetta rikkomattomia mittauksia

ovat ultraääni, röntgenkuvaus, pyörrevirta ja tunkeumaneste. Näillä havaitaan esimerkiksi rakenteiden halkeamat, väsymismurtumat, korroosiot ja vuodot. Värähtelymittauksia käytetään muun muassa pyörivien laitteiden laakeroinneissa ja hammasvaihteissa. Äänimittauksia käytetään laitteiden yleiskunnon mittaamisessa. Öljyanalyseja käytetään hydraulikassa, voitelujärjestelmissä ja kulumisanalyyseissa. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)

4.9 Ennakoiva kunnossapito

Ehkäisevä eli ennakoiva kunnossapito sisältää jatkuvan käyttöseurannan, joka tapahtuu käyttäjän normaalin työn ohessa. Jatkuva käyttöseuranta on esimerkiksi koneen tarkkailu, hoito ja huolto. Jaksotetut huollot sisältyvät myös ennakoivaan kunnossapitoon, sillä ne ovat etukäteen suunniteltuja ja ohjelmoituja kokonaisuuksia. Kunnonvalvonta on jatkuvasti tapahtuvaa toimintaa, jossa laitteen kuntoa seurataan mittausten avulla. Mittaukset itsessään voivat olla ajoittain tapahtuvaa tai jatkuvaa. Kunnonvalvonnan erottaa käyttöseurannasta ja jaksotetuista huolloista se, että se on laajempaa, jatkuvampaa ja pitkäkestoisempaa. Kunnonvalvonnan seuranta on aiemmin perustunut suurelta osin värähtelymittauksiin. Nykyään sen rinnalle on otettu paljon muita mittauksia kuten pinta, virtaus ja lämpötila. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)



Kuvio 11 Ennakoivan kunnossapidon toteutusperiaate (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)

Kunnonvalvonta-analyysiä luodessa valitaan mitattavan laitteen kunnontilaa parhaiten mittaavat suureet. Suureille määritetään mittauksen suoritustaajuudet ja raja-arvot, joiden alittuessa tai ylittyessä tulee hälytys. Analyysit ovat aina osa järjestelmää, johon luodaan suoritusjärjestelmä sekä tulosten tulkinta- ja tallennusjärjestelmä. Tämän lisäksi tulee olla hälytys- ja toteutusjärjestelmä mittaustuloksien esittämiselle. Kunnonvalvonnalla saavutetaan monia etuja kuten kustannussäästöjä, turvallisuutta, päästöjen minimoiminen, tehokkaampi käyttö ja parempi laatu. Lisäksi kunnonvalvonnalla saadaan tarvittaessa takuuajana kiistattomia argumentteja mittaustuloksista ja tuotekehitysprojekteille kerättyä tietoa. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)

Kunnonvalvonnan mittauksissa tärkeää on tuloksien tulkitseminen. Tuloksista tulkitaan onko mitaustulos raja-arvojen sisällä ja millainen on mittauksen trendi verrattuna aiempiin trendeihin. Kunnonvalvonnan hyöty näkyy eniten hitaissa kulumisissa eli voidaan estää vaurioiden syntyminen ja suunnitella tarvittavat korjaustoimenpiteet etukäteen. Nopeassa kulumisessa voidaan ehkäistä lisävaurioiden syntyminen. Mutta nopeassa vaurioitumisessa ei kunnonvalvonnasta ole apua vian ennakkoinnissa, sillä mittaustuloksia ei saada tarpeeksi nopeasti voidakseen ehkäistä vikaa. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)

Ennakoivan kunnossapidon järjestelmiä on yleensä tehtailla käytössä useita. On järjestelmiä, jotka valvovat värähtelymittauksia, toimilaitteiden kuntoa, sähkölaitteiden kuntoa, kuten taajuusmuuttajia, moottoreita ja sähkönjakelua. Järjestelmät voivat tulla laitetoimittajilta tai ne voivat olla kolmannen osapuolen järjestelmiä. (Sipiläinen 2021) Seuraavissa alaluvuissa perehdytään tarkemmin kunnonvalvonnassa hyödynnettäviin järjestelmiin ja millä tavalla niistä saadaan dataa.

4.10 Kunnossapidon laatujärjestelmä

Laatujärjestelmän tavoite on määritetyn laadun pysyvyyden varmistaminen järjestämällä kunnossapitotoiminta. Tärkeä osa laatujärjestelmää on toimintojen dokumentointi ja ohjeistus, johon sisältyy asetettavien vaatimuksien kirjaaminen. Laatujärjestelmän kunnossapitotoiminta on kuitenkin varsin hankalaa ja ongelmallista toteuttaa tilanteissa, jotka esiintyvät äkillisesti ja joita ei pystytä ennustamaan. Silloin on erityisen tärkeää, että keskeisimmät toimintaperiaatteet kirjataan ja varmistetaan. Kiireellisissä tilanteissa poikkeavat menettelyt jäävät usein kirjaamatta, joka johtaa siihen, että kirjaaminen jätetään kokonaan tekemättä. Tällöin alkaa syntyä niin sanottua hiljaista tietoa. Tämän vuoksi kirjaukset tulisi tehdä saman tien, mikäli tämä ei ole mahdollista tulisi

järjestää aika kirjata tiedot väliaikaisesti muualle ja kirjata tiedot jälkikäteen järjestelmään. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)

4.11 Automaatiojärjestelmä

Tehtaiden tuotannon tehokkuutta ja toimintavarmuutta parannetaan automaatiojärjestelmillä, joista saatavia tietoja voidaan hyödyntää kunnonvalvonnassa. Sen avulla voidaan myös vaikuttaa tuotteiden laatuun ja vaikuttaa tehtaalla työskentelevien henkilöiden määrään, kuten poistaa ihmisiltä työtehtäviä, jotka ovat vaarallisia tai yksitoikkoisia. Automaatiojärjestelmä myös valvoo tehtaan toimintaa ja ilmoittaa, kun toiminta ei ole enää varmaa eli se tuottaa tarvittaessa hälytyksiä operoinnille.

Automaatiojärjestelmä voi olla hyvinkin pieni ja yksinkertainen. Tehtailla kyseessä on kuitenkin suuri koko tehtaan toiminnanohjaukseen tehty järjestelmä. Automaatiojärjestelmä koostuu valvomoasemasta ja laitteistoon liitetyistä I/O- yksiköistä. I/O- yksiköt ovat kaapelilla kytkettynä ohjausväylään, jotka liittävät laitteet valvomoasemaan. Valvomoasema koostuu PC- laitteistosta, jolla automaatiojärjestelmästä saatu tieto esitetään näytöillä erilaisissa kaavioissa ja trendeissä.

Ohjausväylässä käytetään yleisesti kuparikaapelia, parikaapelia tai valokaapeliväyliä ja sitä voidaan kutsua myös kenttäväyläksi. Nämä väylät ovat liitettynä tehtaalla oleviin laitteisiin kuten ohjausyksiköihin, toimilaitteisiin ja antureihin. Ohjausyksiköiden kanssa samassa sijainnissa ovat säätimet ja logiikkayksiköt, jotka ohjaavat toimilaitteiden ohjauksia. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)

Logiikkaohjausyksikkö sisältää keskusyksikön eli PLC:n, jonka tulot eli Input vastaanottavat siihen liitettyjen anturien, kytkimien ja lähettimien tiedot eli esimerkiksi lämpötila-anturin mittaaman lämpötilatiedon. PLC lukee nämä tiedot laitteen sisäisiin muistipiireihin ja käsittelee tietojen arvot siinä olevan ohjelman mukaisesti. Tämän jälkeen se päivittää lähdöt eli Output ohjelman määrittämiin arvoihin. Tieto päivittyy lähdöistä ohjausväylän kautta toimilaitteille, jotka ottavat niille määritetyn tilan eli esimerkiksi venttiilin avauma suurenee. Anturit mittaavat ja välittävät uudelleen ohjausmuutoksesta arvotiedot ohjausyksikölle ja näin kierto alkaa alusta. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.) Seuraavaksi käydään läpi esimerkki tällaisesta kierrosta. Säiliössä on kylmää vettä, jota käytetään viilentämään toisessa Säiliössä olevaa kuumaa vettä. Säiliöiden välillä on säätöventtiili, jonka avaumaa säädetään sen mukaan, kuinka paljon kylmää vettä tarvitsee siirtää kuuman veden

säiliöön. Kuuman veden säiliössä on lämpötila-anturi, joka mittaa säiliössä olevan veden lämpötilaa. Lämpötilan asetusarvoksi eli sille halutuksi veden lämpötilaksi on määritetty automaatio-ohjelmaan 40 astetta. Kun lämpötila alkaa nousta ja logiikanohjausyksikkö vastaanottaa tämän tiedon, antaa se käskyn toimilaitteelle eli venttiilille suurentaa sen avaumaa. Avauman suurentamisella säiliöön virtaa enemmän kylmää vettä ja lämpötila pysyy halutussa asteessa.

4.12 Kunnossapidon kehittyminen

Kunnossapidon kehittämisessä päätyökaluna on analysointi. Analysoinnin kautta selvitetään, mitkä tekijät ja toiminnot tarvitsevat parantamista ja kehittämistä. Kunnossapidon kehittämisessä pureudutaan käyttövarmuuden eri tekijöihin eli sitä parannetaan aina osa kerrallaan, sillä jokaiseen osaan vaikutetaan eri menetelmillä ja välineillä. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)

Aikaisemmin tehtailla oli työntekijöitä paikalla paljon enemmän, joka mahdollisti henkilöiltä yksityiskohtaisemman koneen seurannan. Jokaista konetta kohden oli oma koneenkäyttäjä ja laitospäällikö vastaa huolloista. Nykyisin kilpailukykyyn vuoksi on samalla määrällä koneita vain muutama koneenkäyttäjä ja pari huoltomiestä. Koneet ovat kuitenkin vuosien saatossa kehittyneet ja muuttuneet monimutkaisemmiksi, joten niiden huolto ja seuranta vaatii entistä enemmän koulutusta, suunnittelua ja huoltoa. Työkalujen kanssa vikoja korjaavasta laitosmiehestä kunnossapito on vuosien aikana kehittänyt yrityksen toimintastrategiaa turvaavaksi toiminnaksi, joka on suunniteltua ja jatkuvasti kehittyvää. (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.)

1990-luvulla kunnossapidon suunnittelu perustui vahvasti ennakkohuoltoon, sekä värähtelymitaukseen. Suunnittelu perustui henkilöiden osaamiseen yksikkötasolla, eikä suunnitelmia kirjattu mihinkään järjestelmään. Kunnossapito on kehittänyt merkittävästi, niin että se on järjestelmän kautta ohjattua ja systemoitua. Samanlainen tekeminen on kuitenkin edelleen taustalla kuin aiemminkin. Kunnossapidon suunnittelussa pyritään standardisoimaan suunnitelma kaikille saman yrityksen tehtailla ja samanlaiseen ympäristöön. Tämä edesauttaa kunnossapidon systemaattisuutta. Myös päivittäinen suunnittelu on pyritty kehittämään suunnittelun avulla ohjatuksi, kun aiemmin päivittäinen kunnossapito on ollut enemmän suullista ohjausta tuotannon puolesta. (Sipiläinen 2021.)

Digitalisaation mukana on tullut paljon työkaluja ja kunnossapidossa voidaan hyödyntää tiedon jalostamista. Järjestelmät ja niistä kerätty tieto, ovat edistäneet ennakoivaa tekemistä. Kuitenkin edelleen diagnooseja tehdään perustuen epätäydelliseen tietoon, eikä tunnisteta riittävän hyvin vian aiheuttajaa. Tämän vuoksi tiedon hyödyntäminen ja sillä johtaminen on edelleen tavoitteena. (Sipiläinen 2021.)

5 Teollinen internet

5.1 Teollisen internetin määritelmä

Viimevuosina on selkeästi ollut havaittavissa, termin teollinen internet esiintyvän, lähes jokaisessa teollisuuden kehittämiseen liittyvässä keskustelussa. Mitä tämä teollinen internet sitten oikeastaan tarkoittaa ja mitä sillä saavutetaan. Teollista internettiä voidaan Collinin ja Saarelaisen (2016) mukaan kuvailla niinkin helposti kuin yhdellä sanalla, työkalu. Vaikka teolliseen internettiin sisältyy paljon eri osia ja sen päämääriä voidaan määritellä eri näkökulmilla, on sen päätarkoitus kuitenkin tuottaa tietoa. Teollisessa internetissä laitteet ovat yhdistetty internettiin, johon niistä saatava valikoitu tieto tallentuu. Data-analytiikan avulla tätä tietoa voidaan hyödyntää laitteiden operointiin ja valvomiseen. Vaikkakin teollinen internet yhdistetään useimmiten teollisuusalaan, on sitä kuitenkin käytössä muun muassa myös terveydenhuoltoalalla. (Collin & Saarelainen 2016.) Tässä luvussa keskitytään kuitenkin siihen, mitä teollinen internet on teollisuusalalla.

Teollisuudessa aiemmin ohjaus- ja laadunhallintajärjestelmien, mittauksien sekä kunnonvalvonnan tiedot olivat sisäistä tietoa. Näitä automaatiosovelluksien tietoja käsiteltiin vain tehtaalla. Nykyään tiedot siirtyvät tietoturvallisesti internetin yli asiantuntijoille, jotka voivat ennakoidusti vaikuttaa prosessien toimintaan. Tällainen toimintatapa vapauttaa tehtaiden operaattoreita muihin tehtäviin ja auttaa paremmin optimoimaan tehtaiden toimintaa. (Lindberg 2021.) Myös Collinin ja Saarelaisen (2016) mukaan työtehtävät muuttuvat, kun koneet alkavat optimoimaan ja ohjaamaan itseään.

Tehtaat haluavatkin siirtyä autonomisempaan suuntaan ja teollinen internet on mahdollistava askel siihen. Autonomisella tehtaalla koneet ja prosessit olisivat itsenäisempiä. Ne oppisivat optimoimaan itseään ja käyttämään siinä historiadataa sekä asiantuntijoiden niille opettamia tietoja. Tällöin tehtaat toimisivat ilman ihmisten aktiivista operointia. (Lindberg 2021.)

5.2 Industry 4.0

Teollisen internetin yhteydessä on hyvin usein käytetty termiä Industry 4.0. Industry 4.0 on alun perin Saksassa määritelty konsepti ja tätä nykyä maailmanlaajuisesti käytössä. Konsepti edustaa neljättä teollistavallankumousta. Sillä tarkoitetaan teollisen internetin käyttöä parantamaan suoriutuskykyä älykkäissä tehtaissa. (Sisinni, Saifullah, Han, Jennehag & GIBLUND 2018; Collin & Saarelainen 2016.) Älykkäällä tehtaalla tarkoitetaan tehdasta, jossa on käytössä koneita ja laitteita, jotka kommunikoivat keskenään (Collin & Saarelainen 2016). Älykkään tehtaan ja autonomisen tehtaan kuvaukset ovat samanlaisia, prosessit ovat itsenäisiä ja optimoimaan oppivia. Collinin ja Saarelaisen (2016) mukaan teollinen internet koetaan niin merkittävänä ympäri maailman, että sitä verrataan teolliseen vallankumoukseen. On kuitenkin olemassa useampaa eri tulkintaa, monesko vallankumous on todella kyseessä. (Collin & Saarelainen 2016.)

5.3 Teollisen internetin hyödyt

Teollinen internet on luonut kysyntää sen vaatimille komponenteille, kuten antureille, verkkoteknologialle, analytiikalle ja ohjelmistoille. Näitä tarjoavia yrityksiä on tullut lisää viime vuosien aikana, myös Suomessa. Monet vanhatkin yritykset ovat alkaneet tarjota palveluita ja tuotteita teollisen internetin saralla. Markkinat ovatkin tällä saralla kasvaneet suuresti ja monet yritykset ovat saaneet hyvän jalansijan markkinoilla. (Collin & Saarelainen 2016.)

Tärkeimpänä hyötynä teollisesta internetistä halutaan sen tuottavan lisäarvoa liiketoiminnalle. Lisäarvon tuottaminen vaatii kuitenkin kerrytetyn datan hyödyntämisen ja se on teollisen internetin suurin hyöty. Aiemmin ongelmana koettiin kerätyn datan käyttämättä jättäminen. Dataa voitiin käyttää reaaliaikaisen toiminnan seuraamiseen valvomossa, kuten vikojen hälyttämiseen. Mutta optimointiin tai vikojen ennustamiseen dataa ei kuitenkaan käytetty läheskään niin usein ja juuri tästä suurin lisäarvo saadaan. (Collin & Saarelainen 2016.) Valmetilta Jari Almi kertoo, että optimoivalla sovelluksella voidaan optimoida tuotannon volyymi, tuotteen laatu ja kokonaiskustannukset. Näiden avulla vaikutetaan koko tehtaan kannattavuuteen, parannetaan tehokkuutta ja pienennetään ympäristövaikutuksia. (Lindberg 2021.)

5.4 Valmet Industrial Internet – VII

Valmet Industrial Internet eli Valmetin teollinen internet pitää sisällään edistyneitä valvonta- ja ennustesovelluksia, optimoivia prosessisäästöjä ja prosessisimulaattoreita sekä Valmetin etäpalvelukeskuksen VPC- Valmet Performance Center. (Valmetin teollinen internet - VII n.d.)

Tätä palvelua tarjotaan sellun, kartongin, paperin, pehmopaperin ja energian tuottajille. Palveluna on hyödyntää dataa ja Valmetilla olevaa asiantuntemusta, niin että toimintoja voidaan optimoida ja parantaa laatua sekä prosessien luotettavuutta ja tehokkuutta. (Valmetin teollinen internet - VII n.d.) Tällä palvelulla tarjotaan asiakastehtaille parannettua ennustettavuutta ja suorituskykyä, joka johtaa ajan ja rahan säästöön. (Greenpac turns data to value n.d.)

Asiakkailla on pääsy Valmet's Customer Portal eli asiakasportaaliin ja sieltä he pystyvät olemaan yhteydessä VPC:hen sekä pääsevät käsiksi Industrial Internet sovelluksiin. Sieltä asiakkaat voivat tarkkailla tärkeimpiä suorituskykyindikaattoreita ja nähdä suorituskykyraportit. (Salmenpää 2020.)

5.5 Valmet Performance Center

Valmetilla on kahdeksan Performance Centeriä, jotka ovat VII:n ydin. Etäpalvelukeskus on asiakkaiden saatavilla ja asiantuntijoilla on siellä käytössään työkalut ja etäyhteydet. (Valmet Industrial Internet – VII. n.d.) Valmet Performance Centereistä viisi on erikoistunut tiettyyn teollisuudenalaan. Ruotsista löytyy sellun ja pehmopaperin centerit ja Suomesta löytyvät energia, automaatio sekä kaksi pahvi ja paperi centeriä. Kolme centereistä ovat alueellisia, jotta asiakkaita voidaan palvella äidinkielellään. Nämä centerit löytyvät Pohjois- ja Etelä- Amerikasta sekä Kiinasta. (Valmetin suorituskykykeskukset. n.d.)

Performance Centerissä työskentelevillä asiantuntijoilla on osaaminen koneista, prosesseista ja automaatiosta. He tarjoavat asiakkaille tukea ja ohjeistusta etäyhteyksien kautta. Palvelut kattavat teollisen internetin sovellukset, asiantuntijatuen sekä etäseurannan ja optimoinnin. Mikäli koneen toiminnassa huomataan epäkohtia ottavat asiantuntijat asian käsittelyyn. Viiveettä he tarkistavat prosessin etänä ja selvittävät mistä ongelma aiheutuu. Asiantuntijat ovat tehtaaseen yhteydessä, kertovat havainnot sekä ratkaisun, ennen kuin tehtaalla on edes ehditty huomaamaan minkään olevan vialla. (Greenpac turns data to value n.d.)

Asiantuntijoiden käytettävyydessä on suuri etu asiakkaalle myös se, että asiantuntijat ovat yhteistyössä monien eri tehtaiden ja täten koneiden epänormaaliin käytöksen kanssa. Heidän tietotaitonsa ei siis koostu vain tietyltä tehtaalta ja vain sieltä havaituilta ongelmilta. Ongelmien ratkaisuun voidaan hyödyntää jo muualla opittuja tapoja ehkäistä vikoja ja optimoida prosessin toimintaa. Asiantuntijoiden kautta saadaan laajempi otanta ja suurempi määrä dataa, jota voidaan hyödyntää, kuin taas tehtaalla paikallisesti työtä tekevillä on käytettävissään.

6 Machine Diagnostics

Machine Diagnostics vapaasti suomennettuna konediagnostiikka on Valmetin tarjoama tuote, joka sisältyy Valmetin teollinen internet palveluun. Machine Diagnostics on Valmetin teollisessa internetissä osana luotettavuuden sovelluksia. Machine Diagnostics on suunniteltu paperi- ja kartonkikoneille ja nyt Machine Diagnostics -sovellus on tarkoitettu laajentaa myös sellulinjalle. Machine Diagnostics on sovellus, jonka avulla voidaan tarkkailla ja jäljittää koneen toimintaa. Sovellus kertoo, onko koneen tai koneen osan suorituskyky normaalitasolla. Jokaiselle koneen osalle ja prosessille suunnitellaan oma uniikki diagnostiikka ja suorituskykyindikaattorit. Sovelluksessa yhdistyy data useasta eri lähteestä kuten koneen ohjausjärjestelmästä, laadun ohjausjärjestelmästä ja muista tehtaan tietojärjestelmistä. (Greenpac turns data to value n.d.) Tuloksena saadaan parannettu palvelun ja huollon ennustettavuus, vähemmän suunnittelemattomia seisokkeja ja parannettua suorituskykyä. (Savioja 2021b.) Sitä voidaanakin ajatella yhtenä kunnonvalvonnan työkaluna.

6.1 Machine Diagnosticsin toimintaperiaate

Paperikoneen Machine Diagnostics on voitu toteuttaa niin ettei uusia mittauksia ole ollut tarpeen asentaa. Kerätty data syötetään algoritmiin, joka on suunniteltu asiantuntijoiden kanssa. (Greenpac turns data to value n.d.) Dataa kerätään ohjausjärjestelmän signaaleista. Signaalit ovat muun muassa mittauksia kuten paine ja lämpötila, asetusarvoja, outputteja ja rajakytkimiä. Signaalit siirtyvät Valmet pilveen, jossa tapahtuu laskenta ja analysointi. Jokaisella signaalilla on omat ylä- ja alarajat, sekä normaaliraja. Raja on riippuvainen prosessiarvoista, kuten moottorin nopeus, nipin kuormitus status jne. Jokaiselta tehtaalta tarvitaan aina identifioivat signaalien tagit, jotta analysoidaan oikeita tietoja. Suurimmassa osassa analyysseja vertaillaan eri mittauksien paineita tai käytetään muuta laskentaa. Laskennassa lasketaan kuntoindeksi ja mikäli se ei ole kohdillaan tulee hälytys. Analysoinnin jälkeen sovelluksesta saadaan ajantasaisena tieto, mikä on koneen suorituskyky

ja kunto sekä historiatieto. Nämä tiedot on visualisoitu trendinä. Näiden tietojen avulla voidaan ennustaa ja välttää tuotantohäviöitä, kasvattaa ja parantaa tuotantoa sekä prosessin luotettavuutta. (Savioja 2021a.)

Machine Diagnostics on hitaamman datan keruun ja seurannan sovellus. Sen tarkoituksena on huomata hitaasti tapahtuvia muutoksia. Nopeammat mittausvälit ja trendit saadaan tehtaalla sen omista järjestelmistä. (Savioja 2021b.) Koneen alentuneesta kunnosta, tulee automaattinen ilmoitus VPC:lle. Machine Diagnostics tarvitsee toimiakseen sähköisiä kenttälaitteita, mittauksia, venttiileitä, rajakytkimiä yms., sekä modernihkon koneohjausjärjestelmän, jossa I/O on yhdistetty kenttälaitteisiin. Lisäksi tarvitaan datan keräys ja yhteys Valmet Cloudiin eli pilveen, jonka kautta data siirretään ja asetetaan pilvessä. Edellä mainittujen toimintojen suorittamiseen tarvitaan myös sovellus, visualisointi ja pääsyoikeudet. (Savioja 2021a.)

Valmet Performance Center toimii myös tämän sovelluksen asiantuntijapalveluna asiakkaalle. Raportointi Machine Diagnostics -sovelluksesta menee heille ja he ottavat yhteyden asiakkaaseen, mikäli koneessa huomataan suorituskyvyn aleneminen ja ratkaisu on löydetty. (Greenpac turns data to value n.d.) Joskus käy myös niin, että tehtaalla huomataan muutoksia suorituskyvyssä, tällöin he voivat kysyä suoraan Valmet Performance Centeristä apua. Avun saanti on helppoa, sillä asiantuntijoilla on saatavilla tehtaan kaikki data ja he voivat helposti etänä selvittää, mikä suorituskyvyn heikkenemisen aiheuttaa. (Savioja 2021b.)

6.2 Machine Diagnosticsin tavoite

Machine Diagnostics tavoitteena on pureutua kehitteillä olevaan ongelmaan ennen kuin vika on käynnissä. Sovellus toimii kunnossapidollisen ennakoinnin ja operoinnin rajalla. Sen tavoitteena on myös parantaa palveluiden toimintaa. Valmet pystyy tarjoamaan uutta toimilaitetta, kun vanhassa huomataan vikaantuminen. Tällaisen yksittäisen toimilaitteen vikaantuminen ei kuitenkaan aina aiheuta koko koneen vikaantumista. Esimerkiksi, kun yksittäinen höyrylaatikko on vioittunut, ei se ehkäise koneen toimintaa, mutta voi vaikuttaa suuresti tuotannon laatuun. Tavoitteena on löytää myös yksittäiset viat, sillä yksi ongelma voi kertaantua ja pian aiheuttaa koneen seisokin. Kuin taas jos yksittäinen vika korjataan, niin pystytään ehkäisemään seisokki ja palvelu tuottaa lisäarvoa. (Savioja 2021b.)

Tavoitteena on optimoida ja ennakoida huoltoja. Tämä voi tarkoittaa sitä, että esimerkiksi proportionaaliventtiili joudutaan vaihtamaan aikaisemmin kuin normaalisti olisi kalenterimukaisen huoltosuunnitelman mukaan vaihdettu, mutta sillä taas ehkäistään koko koneen alas ajava suunnitteleman seisokki. Toisaalta se voi ehkäistä myös turhat vaihdot. Kuten sellaisessa tilanteessa, jossa jokainen venttiili on vaihdettu aina viiden vuoden välein, vaikka oikeasti vain muutama venttiili pitäisi vaihtaa silloin ja loput toimisivat vielä hienosti pari vuotta pidempään. VPC:n tavoite on antaa apu silloin, kun sitä tarvitaan. VPC voi tarjota myös enemmän tietotaitoa kuin tehtaalta olisi suoraan saatavilla. VPC:n kautta poistuu myös asiantuntijan käynti tehtaalla ja sitä kautta matkakulut sekä turha seisokkiaika, kun odotetaan asiantuntijan saapumista.

7 Paperikoneella olevat Machine Diagnostics -analyysit

Paperikoneelle on suunniteltu ja otettu käyttöön jo useita Machine Diagnostics -analyyseja eri koneen osille. Analyysit ja niiden sisältö on tutkittu Valmet Machine Diagnostics -sovelluksesta. Tässä kappaleessa esitellään paperikoneen perälaatikon ja puristinosan analyyseja. Proportionaaliventtiilien analyyseja on mukana perälaatikon sekä puristin osan analyyseissa.

7.1.1 Headbox eli perälaatikon analyysit

Perälaatikolla on olemassa mekaanisia, laadullisia ja suorituskäylyllisiä analyyseja. Radan profiilista kertova analyysi mittaa radan stabiilisuutta. Analyysi aloitetaan kun, rata on ollut koneella jo tietyn aikaa, sillä kun kone on vasta käynnistetty, on radassa usein epästabiilisuutta. Stabiilisuus kertoo, mikäli suorituskäyly heikkenee ja asiantuntija voi alkaa etsimään tämän syytä.

Mekaanisia indikaattoreita on useita. Lisäksi mitataan koko perälaatikon painetta, sitä mitataan hoito- ja käyttöpuolelta. Kun kone on pysähtynyt, tulee hälytys, mikäli paine ei ole nollassa. Tällöin tiedetään, että painemittarit tulee kalibroida uudelleen. Tarkemmat analyysit ja algoritmien sisältö kuten myös laskentatavat on esitetty liitteessä 1.

7.1.2 Steam box eli höyrylaatikon analyysit

Höyrylaatikolta analysoidaan toimilaitteita. Höyrylaatikolta otetaan tiedot toimilaitteen avaumasta, sekä onko höyrylaatikko manuaali- vai automaattiohjauksella. Ohjausta tarkkaillaan lähinnä siksi, että mikäli operaattori muuttaa laitteen manuaalille on todennäköisesti jossain jotain

epänormaalia toimintaa, koska säätöä joudutaan tekemään käsin. Tällöin aloitetaan trendien tarkempi seuranta.

Toimilaitteen avauman analyysi hälyttää, mikäli trendi kasvaa, sillä tämä aiheuttaa ongelmia radan profilointiin. Mikäli höyryä menee enemmän kuin aiemmin, on höyrylaatikko todennäköisesti tukossa (Räty 2021). Höyrylaatikolta kerätään myös tieto toimilaitteiden hälytyksistä, sillä ne indikoivat, mikäli toimilaitteissa on jotain vikaa. Tarkemmat analyysit ja algoritmien sisältö kuten myös laskentatavat on esitetty liitteessä 2.

7.1.3 Shoe press (Symbelt) eli kenkätelan analyysit

Kenkätelalle on kehitetty hydraulisia ja mekaanisia analyyseja ja niistä suurin osa perustuu mittauksiin. Myös laskennallisia analyyseja on käytössä. Hydraulisilla analyyseilla seurataan hydraulikka koneiston pintamittauksia, eli miten öljy poistuu telalta. Öljysäiliön pinnan nousu indikoi ongelmia telan öljyn poistossa. Ongelma öljyn poistumisessa kerryttää öljyä telojen sisään, mikä voi aiheuttaa vaurioita telaan ja kudoksiin.

Myös nipin kuormituspaineen säätimen toimintaa seurataan pää- ja reunavyöhykkeillä. Kengän sisäistä taskun kuormituspainetta ja voitelupaineen eroa analysoidaan, jolla voidaan nähdä mikäli taskupaine romahtaa ja voiteluöljy poistuu kengästä. Ilmanpaineen säätimen toimintaa analysoidaan, sillä tämä vaikuttaa öljyn poistumiseen telalta. Ilmanpaineen suodattimen tukkeutumista seurataan myös omalla analyysillään. Paluu öljyn lämpötilaa analysoidaan, sillä öljyn lämpötila voi muuttua koneen ajonopeuden mukaan. Liian lämmin öljy voi aiheuttaa vaurioita. Huovan kireyttä analysoidaan, sillä ilmanpaineella saadaan pidettyä huopa paikallaan ja sopivalla kireydellä. Huovalla on suuri merkitys veden poistumiseen sekä siihen ettei ratakattoja synny. Tarkemmat analyysit ja algoritmien sisältö kuten myös laskentatavat on esitetty liitteessä 3.

7.1.4 Suction rolls eli imutelan analyysit

Imutelasta analysoidaan alipaineen mittauksen stabiilisuutta ja säätimen suhdetta siihen. Painemittauksen nollapistettä valvotaan pumpun ollessa pois päältä, tämä indikoi mikäli mittalaite tulee kalibroida uudelleen eli mitta-arvo on alkanut vierä. Vakuumijärjestelmän syöttötasoa seu-

rataan, sillä mikäli se on epästabiili on siellä todennäköisesti vuoto. Tiivistelistejen toimintaa analysoidaan, analysoimalla painemittauksen stabiilisuutta ja paineen mittauksen tulee pysyä tietyn rajan yläpuolella. Mikäli kumpikaan näistä ei ole OK- rajan puitteissa indikoi se vuotoa. Lukituksien ohjausta seurataan, sillä mikäli lukitusvuodot menevät päälle ja pois jatkuvasti on tiivisteissä mahdollisesti vuoto. Tarkemmat analyysit ja algoritmien sisältö kuten myös laskentatavat on esitetty liitteessä 4.

7.2 Machine Diagnostics tuloksia

Seuraavaksi käsitellään muutama esimerkki tapaus, jossa Machine Diagnostics -sovelluksesta on ollut selvää hyötyä ja se on tuottanut lisäarvoa tehtaalle. Esimerkit ovat paperi- ja kartonkitehtaista, joissa Machine Diagnostics on käytössä. Esimerkeistä voidaan myös havaita kuinka Machine Diagnostics -analyysit toimivat käytännössä.

7.2.1 Esimerkki 1

Greenpac Mill, joka starttasi vuonna 2013 on kartonkitehdas, jolla on käytössään Valmetin palvelusopimus ja sen myötä Machine Diagnostics -sovellus ja VPC-palvelu. Greenpac huomasi viikoittaisesta analyysiraportista, että puristimen imutelan kunto oli näyttänyt heikompaa suorituskykyä jo vähän aikaa. He ottivat yhteyttä Valmet Performance Centeriin, kysyäkseen neuvoa tilanteeseen. VPC asiantuntijat selvittivät tilannetta ja epäilivät, että tiivistenauha imukammiossa voisi olla kulu- nut tai vaipan imureikiä voisi olla osittain tukossa. Seuraavassa seisokissa imutela poistettaisiin paikaltaan ja vaihdettaisiin uuteen. Vaihtamalla imutela vältettiin suunnittelematon seisokki, kes- toltaan arvioitu 24 tuntia, joka olisi voinut aiheutua vioittuneesta imutelasta. Arvioitu säästökus- tannus oli 480 000 USD eli noin 400 000 euroa. Imutelan huoltoreportti todisti epäillyn vian. Alla oleva kuvaaja esittää puristimen imutelan kunnon 365 päivältä. Kunnon alenemisen huomaa vihre- ältä osalta. Säästö on laskettu sen mukaan, että tuottohävikki on 20 000 USD/h, kun kone on al- haalla. (Greenpac turns data to value n.d.)



Kuvio 12 Puristimen imutelan kuntoindikaattori näyttää suorituskyvyn heikkenemisen. (Greenpac turns data to value n.d.)

7.2.2 Esimerkki 2

Kartonkikone, jossa Machine Diagnostics löysi heikentyneen kunnon 1. siirtoimutelassa ja lähetti automaattisen ilmoituksen Valmet Performance Centeriin. (Savioja 2021a.) 1. siirtoimutelalla siirretään rata 1. puristimen alahuovalta 2. puristimen ylähuovan pintaan (Terminology tool n.d). Samaan aikaan koneen ohjausjärjestelmä ei ollut huomannut vikaa. VPC asiantuntijat alkoivat selvittää asiaa etänä ja huomasivat ongelman juurisyyn. Raportti toimitettiin asiakkaalle ja puristinosan tyhjiöjärjestelmä voitiin säätää. Tuloksena ehkäistiin tuotantohävikki, tästä tapauksesta ei ollut säästökustannusta laskettuna. (Savioja 2021a.)

7.2.3 Esimerkki 3

Koneen ohjausjärjestelmä ei näe ongelmaa hydraulikkajärjestelmässä, kaikki mittaukset ovat hyvissä rajoissa eikä hälytyksiä ole aktiivisena. Automaattinen ilmoitus tulee VPC:lle. Epänormaali korrelaatio säätimen outputin ja mittauksen välillä on havaittu asetusarvon vaihtumisen yhteydessä, verrattuna historia dataan samanlaisessa tilanteessa. Kuntoarvo proportionaaliventtiilissä laskee ja listalle tulee ilmoitus mikä venttiili on kyseessä. VPC raportoi tilanteesta ja ratkaisusta asiakkaalle. Venttiili on huollettu tai vaihdettu seuraavassa suunnitellussa seisokissa. Tuloksena vältettiin vikaantumisen ja suunnittelematon seisokki. Proportionaaliventtiilien epänormaali käyttäytyminen aiheuttaa arviolta n. 10 % puristinosan suunnittelemattomista seisokeista. (Savioja 2021a.) Machine Diagnostics -sovellus tuottaa lisäarvoa tehtaalle, jo kun yksikin suunnittelematon

seisokki voidaan välttää. Seisokkien tuotantohävikki on usein satoja tuhansia tai yli miljoonia euroja, riippuen kuinka pitkästä seisokista on kyse ja meneekö koneita rikki. (Greenpac turns data to value n.d.)

8 Paperikoneen osien eroavaisuudet sellukoneen osiin analyysien suhteen

Kun vertaillaan koneen osien eroavaisuuksia kartonki- ja paperikoneen ja sellukoneen välillä, haetaan vastauksia kysymyksiin, kuinka osat eroavat toisistaan mekaanisesti ja toiminnallisesti. Samalla tarkkaillaan myös millä tavalla näihin vaikuttaa koneen ajonopeus, sillä sellukone on hitaampi kuin kartonki- ja paperikone. Selvitetään myös millaisia muutoksia analyysit vaatisivat, jotta ne palvelisivat yhtä hyvin sellukonetta kuin kartonki- ja paperikonetta. Vaadittavat muutokset selitetään kuitenkin tarkemmin seuraavassa luvussa. Eroavaisuuksien selvittämiseen on hyödynnetty sellu- ja paperikoneiden suunnittelun asiantuntijoilta saatua tietoa haastattelemalla heitä.

8.1 Perälaatikon eroavaisuudet

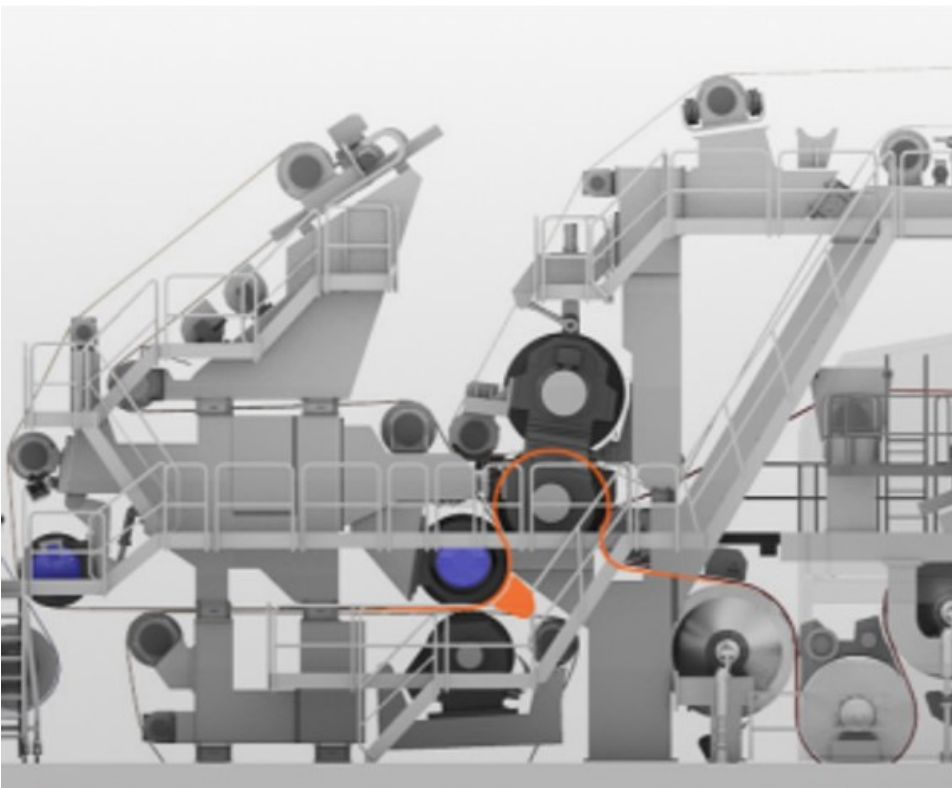
Kartonki- ja paperikoneen perälaatikko ei suuresti eroa sellukoneen perälaatikosta. Toiminnallisesti ja rakenteellisesti ne ovat samanlaisia keskenään. Kartonkiperälaatikossa on ilmatila, jossa on ylijuoksu. Ratakerros, joka on kosketuksissa ilmatilan kanssa ohjataan huulen yli ja otetaan pois. Sellukoneella ei ole tälle tarvetta, sillä prosessi ei ole niin tarkka tämän osalta. Paperikoneella hallitaan reuna-alueen neliöpainoa. Tämä toteutetaan reunavirtauksella, jolla saadaan kuituja käännettyä haluttuun suuntaan. Sellukoneella reunan hallinnalle ei ole tarvetta. Kartonki- ja paperikoneen perälaatikossa käytetään lämpökompensointia. Vettä kierrätetään rungoissa, jolla saadaan runko pysymään tasalämpöisenä. Lämpötilamuutos rungoissa aiheuttaa muutoksia radassa. Sellukoneella lämpökompensoinnille ei ole tarvetta, koska rungot ovat pienempiä, sillä ajonopeus on pienempi. (Länsimies 2021.)

8.2 Höyrylaatikon eroavaisuudet

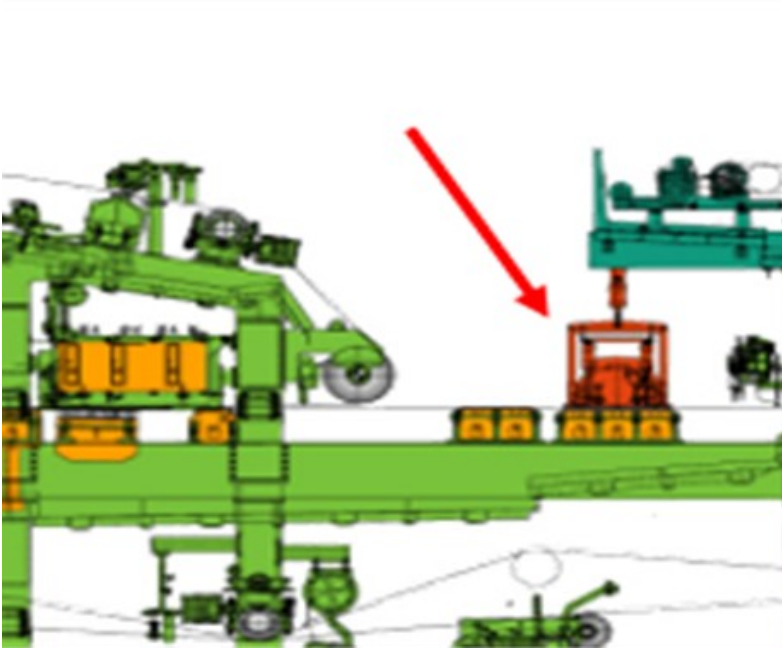
Toiminnallisesti kartonki- tai paperikoneen höyrylaatikko ei eroa suuresti sellukoneen höyrylaatikosta. Kartonki- ja paperikoneen höyrylaatikolla pyritään vaikuttamaan enemmän radan poikki-

suuntaisen profiilin parantamiseen, kun taas sellukoneella höyrylaatikolla halutaan enemmän vaikutusta kuiva-ainepitoisuuteen eli vedenpoiston määrään. Poikkisuuntaisen kosteusprofiilin parantamiseen höyryä syötetään eri määrä radan eri kohtiin poikkisuunnassa, kun taas kuiva-ainepitoisuuteen vaikuttaessa höyryä syötetään sama määrä joka kohtaan. Sellukoneella voidaan käyttää yksinkertaisempaa versiota höyrylaatikosta, jossa ei ole toimilaitteita lainkaan. (Lehtioksa 2021.)

Paperikoneella höyrylaatikko sijoitetaan usein puristinosalle. Se on kaareva ja imutelaa tai siirtoimutelaa vasten. Tämä antaa hyvän suorituskyvyn, eli vähemmän vettä lämmitetään arkin paremman kuivuuden johdosta. Seuraavalle nipille on lyhyempi matka, jolloin arkki ei ehdi jäähtyä ennen vedenpoistoa. Laminaarinen ilma ei myöskään aiheuta häiriöitä. Höyrylaatikko on 10–15 mm päässä radasta, jotta voidaan vaikuttaa parhaiten profiiliin. Kartonkikoneella höyrylaatikko on tasainen, imulaatikon tai –telan yläpuolella ja kaareva höyrylaatikko siirtoimutelaa vasten. Sellukoneella höyrylaatikko sijaitsee vain imulaatikon yläpuolella viiraosan lopussa ja sen profiili on tasainen imulaatikkoa vasten. Imulaatikko voi olla profiiliin vaikuttava tai ei. Etäisyys radasta on 15–20 mm. (Räty 2020.)



Kuvio 13 Höyrylaatikon sijainti paperikoneella (Räty 2020.)



Kuvio 14 Höyrylaatikon sijainti sellukoneella (Räty 2020.)

8.3 SymBelt kenkätelan eroavaisuudet

Kartonki- tai paperikoneen SymBelt kenkätela ei mekaanisesti eroa sellukoneen telasta. Telaar ei myöskään lähtökohtaisesti varustella mittauksellisesti eri tavalla kartonki- ja paperikoneella kuin sellukoneella (Ollila 2021). Suurimmat eroavaisuudet teloissa keskenään tulevat koneohjauksen ja hydrauliiikan osalta. Sellukone on huomattavasti hitaampi kuin kartonki- tai paperikone, koska sel-luradan neliömassa on suurempi ja rata on paksumpi kuin kartonki- tai paperikoneella. (Ollila 2021.) Sellupuolella SymBelt kenkätelaa käytetään alatelana, kun taas paperipuolella se on yläte-lana. Hydraulisessa kuormitusmielessä tela on taas täysin identtinen kuin sellupuolella. Maksimi-kuorma on sama sellu ja paperikoneella. (Möttönen 2021.) Kartonki- ja paperikoneella on käytössä pikapurku, joka ohjaa telan paineettomaksi ratakatkon tapahtuessa. Pikapurun avulla pystytään välttämään massan kasaantuminen puristin nippiin ratakatkojen yhteydessä. Sellukoneella pika-purkutoimintoa ei yleensä käytetä, sillä ratakatkoissa massan kasaantumista puristin nippiin ei nähdä ongelmaksi. (Järvenpää 2021.)

Kartonki- ja paperikoneen kengän voitelupainetta tarkastellaan mittaamalla taskupainetta telan sisäpuolelta. Mikäli rataa ajetaan liian kapeana, kengän taskupaine romahtaa ja taskusta pääsee vuotamaan öljyä pois. Tällöin telaan tulee pintavaurioita. Vaurio johtuu siitä, kun mekaaniset osat

osuvat toisiinsa, kun voiteluöljyä ei ole näiden välissä tarpeeksi. Samaan aikaan öljyä on telan sisällä liikaa ja tela alkaa niin sanotusti vellomaan. Sellukoneella voitelupainetta mitataan vain telan ulkopuolelta. Telan sisäisiä mittauksia ei sellukoneella tarvita, koska ajonopeus on huomattavasti pienempi eikä niin tarkkoja mittauksia tarvita kuin paperikoneella. Sellukonetta ajetaan tyypillisestä nopeusalueella 180 m/min, kun taas paperi- ja kartonkikoneella nopeus on selkeästi suurempi. (Ollila 2021.)

Paperi- ja kartonkikoneen kenkätelassa on käytössä puhallin, jolla saadaan telan sisälle yläpaine. Yläpaine säilyttää huovan muodon ja varmistaa öljyn poistumisen telalta. Puhaltimella luodaan myös alipaine paluuöljykammioon, joka kompensoi ylipainetta paluuöljylinjassa. Tällä tavalla varmistetaan öljyn poistuminen telalta. Luttisen (2021) mukaan sellukoneen kenkätelassa ei ole käytössä puhallinta, vaan siinä hyödynnetään instrumenteille syötettävää instrumentti-ilmaa, jota ohjataan proportionaaliventtiilillä (Luttinen 2021).

8.4 Imutelan eroavaisuudet

Imutela paperi- ja kartonkikoneessa ei muistuta sellukoneen imutelaa, sillä koneiden ajotapa on niin erilainen ja tämä vaikuttaa imutelan rakenteeseen. Sellukoneella imutela on suurempi ja siinä on huomattavasti isommat laakerit kuin paperikoneella. Myös telalle tulevat nippikuormat ovat sellukoneella noin kaksinkertaiset verrattuna paperikoneiden vastaaviin kuormiin. (Polvinen 2021.)

Sellukoneen operoinnin prioriteetti on ratakatkottomuus ja tämän vuoksi koneen ajonopeus on hidas ja käytössä ei ole tiivistelukituksia (Polvinen 2021). Paperi- ja kartonkikoneella imutelassa on käytössä Valmet Seal Strip Lock. Seal Strip Lock on tiivistevyöhykkeellä käytössä oleva lukitus, jonka avulla voidaan lukita tiivistevyöhyke tiettyyn asentoon, eikä tällöin tiivisteiden kuormitusta tarvitse pitää päällä jatkuvasti. (Röyskö 2018.) Lukituksella parannetaan tiivisteiden elinikää ja säästetään energiaa. Tiivisteiden eliniän parantaminen on tärkeää nimenomaan paperi- ja kartonkikoneilla, koska niiden ajonopeus on nopeampi ja tiiviste kuluu nopeammin kuin sellukoneella. Lukitus pitää tiivisteiden irti vaipan pinnasta, jotta ei muodostu kitkaa ja tämä näkyy moottorinkäyttötöissä. Koska sellukoneen nopeus on huomattavasti pienempi, ei suurta kitkaa muodostu ja tämän vuoksi sellukoneella lukitukselle ei ole tarvetta. Sellukoneen imutelalla tiiviste on jatkuvasti kuormituksella ja tiiviste on kiinni vaipassa. (Polvinen 2021.)

Sellukoneen imutelalla on käytössä pesusuihkut ja voitelusuihkut. Pesusuihkut ovat sellukoneella hyvin tärkeässä osassa, kun taas paperi- ja kartonkikoneilla ei, sillä massanlaatu ja kosteus on erilaista. Voitelusuihkut ovat sellukoneella yleisesti koko ajan päällä, jotta kone toimii mahdollisimman luotettavasti. Varsinkin Combi puristimella olevassa Pick- Up- imutelassa puhtaana pysyminen on koettu haastavaksi. (Polvinen 2021.)

9 Tulokset

9.1 Tarvittavat muutokset Machine Diagnostics -analyysiin

Työn tuloksena on esitetty millaisia muutoksia analyysiin ja niiden toteuttamiseen tarvittaisiin, jotta niitä voitaisiin hyödyntää sellun kuivatuskoneella. Muutoksien tutkimisessa on hyödynnetty koneen osien suunnittelijoiden asiantuntemusta sekä kehitysideoita. Jokaisessa analyysissä, jota hyödynnettäisiin sellun kuivatuskoneella tulee tarkistaa asiantuntijoiden kanssa algoritmien määrittäminen. Näihin sisältyvät myös raja-arvot eli milloin arvo ei ole normaalien rajoissa vaan siitä tulee hälytys VPC:lle. Tämä johtuu siitä, että toleranssit ovat eri kartonki- ja paperikoneilla kuin sellukoneilla johtuen muun muassa ajonopeuksista ja vaatimuksista. Raja-arvot ja normaalitilat ovat myös aina tehdaskohtaisia ja niiden määrittämistä tehdään käytön aloituksen jälkeen. Tutkimusvaiheessa ei otettu kantaa millaisia muutoksia itse algoritmit vaatisivat, sillä niiden muutokset vaativat laajempaa asiantuntijan kehitystyötä. Jokaisen koneen osan muutokset ovat selitettynä tarkemmin alla olevissa alaluvuissa.

9.1.1 Perälaatikon analyysimuutokset

Sellukoneen perälaatikossa ylijouksulle ei ole tarvetta, koska prosessi ei ole niin tarkka kuin paperikoneella. Tämän seuranta voidaan siis poistaa analyyseista. Reunanhallinnan seuraukset voidaan myös poistaa, koska reuna-alueen neliöpainon hallintaa ei tarvita sellukoneella. Lämpökompensointia ei käytetä sellukoneella, joten sen analyysi voidaan myös poistaa.

Yleisesti sellukoneella laimennusperälaatikko on ohjattu paine-erosäädöllä. Virtaussäätöä käytetään, kun viiraosa on kitaformerilla toteutettu, koska silloin perälaatikon huuli rakentuu eri tavalla. Perälaatikon ja formerin välinen liitos on suljettu, tällöin paine elää formerin vedenpoiston mukana. Tämä vaikuttaa jakoputken ja perälaatikon paineeseen. Tässä tilanteessa suoralla virtaussä-

döllä pidetään virtaama asetusarvoissaan, sillä paine ei anna aina suoraan luotettavaa arvoa. Virtaussäädön analyysi tarvitaan siis silloin kun kyseessä on kitaformerilla toteutettu projekti. Virtausmittaus olisi kuitenkin hyvä olla kaikissa toteutuksissa, sillä vaikka sillä ei toteutettaisi virtaussäätöä, kertoisi mittaus, jos linjassa on tukkeumia, sillä saman virtaamaan saavuttamiseksi pitää kasvattaa paine-eroa. (Leino 2021a; Länsimies 2021)

Venttiilien keskimääräinen venttiilien avauma tarvitsee kehitystä, jotta pystytään toteuttamaan sille analyysi. Venttiilien avauma vaikuttaa suuresti virtaamaan ja seuranta tähän olisi hyvä olla. Lisäksi projekteihin, jotka ovat toteutettu tai toteutetaan reikätelaperälaatikolla, olisi hyvä olla telan käyttökuorman analysointia, sillä moottorin kuorman kasvaminen indikoi rikki menemistä. Mikäli vauriota pääsee syntymään aiheuttaa se koko koneen seisahtumisen. Tällaista kuorman kasvua voi aiheuttaa muun muassa tukos. Analysointia varten tarvittaisiin moottorin pyörimisnopeus, kuorma ja kuorman hajonta. (Leino 2021a; Länsimies 2021.) Tarkemmat analyysit ja algoritmien sisältö kuten myös laskentatavat on esitetty liitteessä 5.

9.1.2 Höyrylaatikon analyysimuutokset

Höyrylaatikon Machine Diagnostics -sovellukseen haluttaisiin lisätä analyysi, joka kertoisi milloin tulistetun höyryn viilentämiseen käytetyt suuttimet ovat tukkeutumassa. Analyysi huomaisi, kun venttiilin avauma on suurempi kuin aiemmin, mutta höyry ei silti viilene niin paljon kuin aikaisemmissa vertailutilanteissa. Tilanteessa lauhde virtaa suuttimen pienistä rei'istä tulistetun höyryn sekaan, joka viilentää höyryä ennen sen virtaamista radalle. (Lehtioksa 2021; Leino 2021b.) Seuraamalla virtausmäärää voitaisiin nähdä, mikäli tarvitsee lisää vettä samaan jäähdytykseen kuin aiemmin. Tämä indikoisi ongelmasta suuttimissa. (Räty 2021.)

Lisäksi haluttaisiin lisätä analyysi, jolla nähtäisiin, toimiiko höyrylaatikko ylipäättänsä hyvin. Tämä saataisiin tietoon mittaamalla radan lämpötila ensimmäisen tai toisen nipin jälkeen puristinosalla. Lämpötila mitattaisiin pinnalta ja mikäli radan lämpötila nousee, mutta vesi ei poistu radasta on ongelma silloin vedenpoisto elementeissä. Tällöin nähtäisiin suoraan, että jos radan lämpötila nousee on höyrylaatikon toiminta kunnossa. (Lehtioksa2021; Leino 2021b.) Jos taas lämpötila lähtee laskuun, on höyrylaatikko tukossa ja mahdollisesti pesun tarpeessa. Lämpötilamittauksella voitaisiin myös optimoida prosessia, sillä nähtäisiin millä säädöillä tulee paras tulos radan lämpötilaan. (Räty 2021.) Tämä analyysi tarvitsisi uuden pintalämpötilamittauksen (Lehtioksa 2021; Leino

2021b). Lämpötilamittauksen tulisi olla höyrylaatikon jälkeen, jotta toimintaa voitaisiin analysoida. Toisaalta lämpötilamittaus voisi olla myös ennen höyrylaatikkoa, jotta saataisiin lämpötilaero ennen ja jälkeen höyrylaatikon. Lämpötilamittauksen OK- raja tulisi määrittää niin, ettei se hälytä jokaisesta muutoksesta. Hälytys saattaisi muuten tulla liian usein, koska alueella voi olla ajoittain paljon höyryä, joka vääristää mittaustulosta. (Räty 2021.)

Lisäksi lisättäisiin kosteusprofiilin ja sen stabiilisuuden analyysi. Tämän pystyisi toteuttamaan samalla tavalla kuin perälaatikossa on jo tehty. Koneensuuntainen hajonta poistetaan jo tällä hetkellä säätöohjelmissa, mutta poikkisuuntaiseen hajontaan ei vaikuteta. Tämän vuoksi sen seuraaminen ja hajonnan löytäminen auttaisi pääsemään vaikuttamaan siihen. (Lehtioksa, Leino 2021b.) Tarkemmat analyysit ja algoritmien sisältö kuten myös laskentatavat on esitetty liitteessä 6.

9.1.3 Symbelt kenkätelan analyysimuutokset

Sellukoneen Symbelt kenkätelasta puuttuvat telan sisäiset mittaukset, joten analyyseistä poistetaan telan sisäisen kuormituspaineen ja voitelupaineen vertailun analyysi. Lisäksi poistetaan ilmanpaineen suodattimen tukkeuman analyysi, sillä sellukoneen kenkätelassa ei tällaista ole. Koska sellukoneen telalla ei ole käytössä puhallinta, vaan siinä käytetään instrumentti-ilmaa, voidaan sen tuottoa seurata painemittauksella, jolla on ylä- ja alarajat. Mikäli ilmaa pääsee telasta ulos indikoi se huovassa olevasta reiästä. (Ollila 2021; Savioja 2021c).

Muutoin tarvittavat analyysit voidaan toteuttaa jo olemassa olevia analyysejä muokkaamalla soveltuvaksi sellukoneelle eli määrittämällä algoritmeja ja laskentoja uudelleen (Savioja 2021c). Telassa ei ole aiemmin ollut kaikkia näihin tarvittavia mittauksia, mutta ne on jo lisätty uusimpiin toimituksiin, jotta analyysit voidaan halutessaan ottaa käyttöön. Tarkemmat analyysit ja algoritmien sisältö kuten myös laskentatavat on esitetty liitteessä 7.

9.1.4 Imutelan analyysimuutokset

Sellukoneen imutelan analyyseistä voidaan poistaa tiivistelistojen toiminnan analysointi, sillä tiivistelistojen lukitusta ei ole käytössä. Tiivistelistojen kuormitusta voidaan seurata alipainetta tai kuormituspainetta mittaamalla, jonka mittaus on jo olemassa teloissa. Kun tiiviste kuluu tai jostain muusta syystä vuotaa, alkaa alipaine tippumaan, kun tiivisteiden ja vaipan väli ei ole tiivis. Alipaine

alkaa myös tippumaan, mikäli reiät tukkeutuvat ja tällöin myös vedenpoisto heikkenee. Reikien tukkeutumista ehkäisemässä on pesusuihkut. Mittauksellisesti ei tällä hetkellä muuten nähdä ovatko reiät tukossa. Mikäli reikiä tukkeutuu samalta alueelta paljon, aiheutuu tästä ratakatkoja Pick- Up- imutelalla. Ratakatkot johtuvat siitä, ettei rata jää kiinni Pick- Up- imutelaan, kun se olisi siirtymässä seuraavalle puristimelle. Rata on yleisesti myös reunoilta märempi, jonka vuoksi reunalla heikentynyt imu aiheuttaa radan katkeamisen. Puhdistusvyöhykkeelle olisi tarve kunnonvalvonnalle, jotta nähdään mikäli on tukkeumaa tai toiminta ei muuten ole hyvää. (Leino 2021c; Polvinen 2021.)

Laakerien ollessa isoja, ovat ne silloin myös arvokkaita ja niiden toimitusajat ovat pitkät. Tämän vuoksi niiden kunnon seuraaminen olisi erittäin tärkeää, jotta laakerien vaihto saataisiin suoritettua ennen vikaantumista. Laakeri rikki mennessään pysäyttää koneen ja aiheuttaa laajempaa tuhoa. Yleisesti laakerien kuntoa mitataan värähtelyllä, mutta sitä voitaisiin mitata myös lämpötilamittauksella. Laakereissa on käytössä öljyvoitelu, mikäli voitelu ei jostakin syystä ole toiminnassa menee laakeri kovinkin nopeasti rikki. Kunnonvalvonnan puolesta olisi tärkeää pystyä seuraamaan pesu- ja voiteluputkien toimintaa. Tutkittaisiin missä vaiheessa ne alkavat tukkeutua, sillä muun muassa vedessä oleva kalkki alkaa ajan mittaan aiheuttaa tukkeutumista. (Polvinen 2021.) Tarkemmat analyysit ja algoritmien sisältö, kuten myös laskentatavat on esitetty liitteessä 8.

9.2 Machine Diagnostics lisäarvo

Analyyseista voidaan havaita niiden vaikutus Machine Diagnosticsin hankinnan takaisinmaksuun sekä lisäarvon tuottamiseen. Vaikka tutkimuksessa ei pystytty esittämään varsinaista rahallista määrää lisäarvon tuottamiseen, on sen vaikutus kuitenkin havaittavissa. Analyyseista nähdään kuinka niillä voidaan ennakoita vikaantumisia ja seisokkeja sekä parantaa tuotteen laatua. Paperikoneella on olemassa jo aiemmin esiteltyjä esimerkkitapauksia, joissa Machine Diagnostics on ehkäissyt vikaantumisia ja näistä on voitu arvioida kustannussäästö. Samoja esimerkkitapauksia voidaan hyödyntää myös sellukoneen Machine Diagnosticsin lisäarvon tuottamista arvioidessa. Voidaan sanoa, että jo yksikin ennakoimattoman seisokin ehkäisy riittää Machine Diagnosticsiin investoimisen takaisinmaksuun.

Machine Diagnostics- sovelluksella voidaan myös vaikuttaa kunnonvalvonnan ja kunnossapidon toimenpiteiden kustannuksiin. Sillä voidaan ehkäistä toimilaitteiden turhat vaihdot seisokkien yhteydessä, kun koneen suorituskyvystä voidaan nähdä niiden vielä toimivan hyvin. Machine Diagnosticsin avulla voidaan myös optimoida kunnossapidollisten toimien suunnittelua. Ja kaikessa tässä voidaan hyödyntää Valmetin asiantuntijoiden apua ja tehtaan omien työntekijöiden tehtäviä voidaan resursoida muihin tehtäviin.

Machine Diagnostics takaisinmaksu			
	Vaikutuskohde	Vaikutus	Vaikutuksen arvo
Machine Diagnostics sijoitus (-€)	Tuotteen laatu	Parempi hinta	+
	Käytettävyys	Lisämyynti	+
	Toimintavarmuus	Asiakastyytyväisyys	+
	Energian käyttö	Säästö hankinnassa	+
	Raaka-aineiden käyttö	Säästö raaka-ainekuluissa	+
	Eliniän pidennys	Lisämyynti, pääoman tuottoaste	+
	Laitoksen parantaminen	Kustannussäästö	+
	Laitos- ja työturvallisuus	Imago	+

Kuvio 15 Machine Diagnosticsin vaikutus takaisinmaksuun

10 Pohdinta

10.1 Tutkimuksen tulosten vertailu

Opinnäytetyön tavoite oli toteuttaa laadullinen tutkimus siitä, kuinka paperikoneella käytössä olevaa Valmetin teollisen internetin sovellusta Machine Diagnostics voitaisiin hyödyntää käytettäväksi sellun kuivatuskoneella. Työ rajattiin koskemaan vain tiettyjä sellun kuivatuskoneen merkäpään koneen osia. Rajaus tehtiin, jotta tutkimuksessa päästäisiin yksityiskohtaiselle tasolle. Tavoitteena oli tutkia kuinka Machine Diagnostics -analyysit rakentuvat ja millaisia muutoksia niihin tarvittaisiin. Analyysien algoritmien ja laskentojen kehittäminen rajattiin työn ulkopuolelle, sillä ne vaatisivat asiantuntijoiden työpanosta. Tutkimuksessa tuli myös esittää, millä tavalla Machine Diagnostics tuottaa lisäarvoa asiakkaalle ja sen mahdollisia vaikutuksia kunnonvalvontaan.

Tutkimuksen tuloksena saatiin esitettyä millaisia muutoksia nämä paperikoneella jo olemassa olevat analyysit tarvitsisivat, jotta niitä voitaisiin hyödyntää sellun kuivatuskoneella. Analyysien tarvittavat muutokset on kehitetty yhdessä asiantuntijoiden kanssa ja niistä voidaan arvioida lisäarvon

tuotto asiakastehtaalle. Tuloksiin voidaan myös lukea tutkimustulokset siitä, kuinka paperikoneen kuivatusosa eroaa sellukoneen kuivatusosasta, sillä näillä eroavaisuuksilla on suuri vaikutus analyysiin tarvittaviin muutoksiin. Eroavaisuuksia voidaan myös hyödyntää analyysien algoritmien uudelleen määrittämisessä, kun voidaan arvioida eroavaisuuksien vaikutusta niiden arvoihin.

Tutkimuksen tuloksia olisi voitu parantaa tutkimalla sellun kuivatuskonetta myös käytännössä, ei vain teoriasolla. Maailmalla vaikuttavan poikkeustilanteen vuoksi ei kuitenkaan ollut mahdollista vierailta tehtaalla, jossa koneen osiin olisi voinut tutustua tarkemmin. Tämän vuoksi työssä turvautttiin asiantuntijoiden tekemään aineistoon sekä haastatteluihin. Mikäli koneeseen olisi päässyt tutustumaan esimerkiksi seisokin aikana koneen ollessa pysähdyksissä, olisi nähty millaisia osia vaihdetaan ja miten ne ovat kuluneet sekä miten mittauksia on käytännössä toteutettu nykyisellään. Myös koneen ollessa ajossa olisi voitu tutkia miten sen suorituskykyä tarkkaillaan ja millaisia muutoksia ajossa tehdään sen toiminnan parantamiseksi. Näistä tilanteista olisi voitu oppia uutta analyysien kehittämisessä. Analyysien uudelleen määrittäminen olisi myös ollut käytännöllisempää, mikäli siinä olisi käytetty todellista mittausdataa useamman kuukauden ajalta. Opinnäytetyön aikataulussa, tätä ei kuitenkaan ollut mahdollista toteuttaa.

10.2 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuksen luotettavuudella oli suuri arvo työn aikana, sillä tavoitteena oli työn käyttäminen sellaisenaan jatkokehityksessä. Tämän vuoksi oli suuressa arvossa, että työssä esiintyvä tietoperusta ja tulokset ovat luotettavia. Olettamuksiakin jouduttiin tekemään aiempien kokemusten ja asiantuntijatiedon pohjalta, sillä käytännön testausta työssä ei voitu toteuttaa. Vaikka aihealue ei ollut uusi ja aikaisempia tutkimuksia on tehty, ovat ne kuitenkin aina jokaisen yrityksen omia ja salassa pidettäviä tietoja. Machine Diagnostics -sovelluksen kaltaisia järjestelmiä on käytössä samalla alalla myös muille yrityksillä. Niistä ei kuitenkaan ole saatavilla aineistoja, joita voisi hyödyntää tutkimukseen. Analyysien algoritmit ja tarkat mittausmenetelmät ovat aina salattuja aineistoja. Tämän vuoksi työssä hyödynnettiin jo olemassa olevaa Valmet Machine Diagnostics- sovellusta ja siitä saatavia aineistoja sekä referenssitilanteita. Näiden aineistojen vertaaminen sellukoneelle toteutettiin asiantuntijoiden haastattelujen perusteella, joilla voitiin vahvistaa tuloksien ja tietoperustan luotettavuus. Tietoperustassa käytettiin kirjallisuutta, artikkeleja, haastatteluja sekä koulutus- ja opetusmateriaaleja. Aineistossa hyödynnettiin myös alalla toimivien yritysten materiaalia.

Tietolähteinä käytettiin kotimaisia ja kansainvälisiä lähteitä. Lähteet olivat korkeintaan viisi vuotta vanhoja tai alati päivittyvää opetusmateriaalia.

Opinnäytetyön tuloksiin tulee kuitenkin suhtautua kriittisesti, siltä osin kuinka valmiit muutoksien määrittelyt analyysihin on. Analyysit rakentuvat monista eri osa-alueista ja tässä tutkimuksessa on keskitytty pääsääntöisesti mittauksellisiin muutostarpeisiin, sekä mekaanisiin ja prosessillisiin eroavaisuuksiin. Tutkimuksen tulokset ovat niin luotettavat kuin ne tässä vaiheessa voivat olla, sillä käytännössä ei voida tietää kuinka hyvin ne toimisivat. Toisaalta tutkimuksen tarkoitus oli olla taustatutkimus sovelluksen jatkokehitykseen ja siltä osin tavoite on saavutettu. Tutkimusta tulee käsitellä taustatutkimuksena ja ymmärtää, että jatkokehitystä tarvitaan jotta sovelluksesta saadaan luotettava.

10.3 Lähitulevaisuuden jatkokehitys

Opinnäytetyöllä nähdään suuri merkitys Valmetin teollisen internetin sovelluksen Machine Diagnosticsin kehittämiseksi sellun kuivatuskoneelle. Tuloksia voidaan hyödyntää sellaisenaan sovelluksen jatkokehityksessä. Jatkokehityshankkeessa määritettäisiin analyysien algoritmit ja toteutettaiisiin tarvittavat mittauksien lisäykset. Jotta analyysija voitaisiin hyödyntää käytännössä kehitettäisiin käyttöpaneeli ja mittaristot, jotta mittaukset voitaisiin esittää visuaalisesti sovelluksessa.

Sovelluksen kehittämisessä suurta osaa ottaisi sen testaus. Jotta voidaan varmistaa sovelluksen lisäarvon tuotto ja sen luotettava toiminta, tulee sen olla testattu ja käyttöönotettu. Käyttöönotaminen tarkoittaisi sen implementointia asiakastehtaalte, jotta sieltä saataisiin ulos haluttu mitausdata ja algoritmeja voitaisiin kehittää datan avulla. On mahdollista, että markkinointimateriaali tulisi kirjoittaa ennen kuin käyttöönotto olisi mahdollista, sillä sovelluksen potentiaali ja lisäarvon tuotto tulisi olla jo valmiiksi arvioitavissa. Sovelluksen potentiaali on suuri ja siinä on vielä paljon jatkokehittävää. Tehtaiden autonomisuus ja siihen pääseminen on yksi suurimmista tulevaisuuden visioista ja tämä on sen saavuttamisessa askel eteenpäin.

Käyttöönotto on sovelluksen kehittämisen suurimmista vaatimuksista on se myös suurin haaste. Analyysien kehittäminen ja tuotanto sekä sovelluksen visualisointi on helppo toteuttaa yrityksen sisäisessä työssä. Tätä työtä nimittäin tapahtuu jatkuvasti jo olemassa olevien sovelluksien saralla.

Haasteena olisi saada sovellus testaukseen asiakastehtäälle ja näin ollen saada sen kehittämiseen tarvittava mittausdata. Tämän vuoksi on pystyttävä esittämään sovelluksen potentiaali ja lisäarvo. Näiden esittämisessä tehty tutkimus ja paperikoneella käytössä olevan sovelluksen referenssit ovat hyvin tärkeässä roolissa. Jotta sovelluksen potentiaali voidaan esittää on sen tutkintaan panostettava ja sen on oltava luotettava. Tästä syystä tutkimuksessa haluttiinkin päästä yksityiskohdaiselle tasolle rajatussa osuudessa, jotta sen kehitystä voidaan jatkaa.

Lähteet

Asp, R., Tuominen, T. & Hyppönen, H. N.d. Kunnossapito menestystekijä. v. 2.0. Opetusmateriaali opetushallituksen verkkosivuilla. Viitattu 26.7.2021. <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet.html>.

Automaatio. N.d. Liiketoimintalinjojen esittely Valmetin verkkosivuilla. Viitattu 3.5.2021. <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/liiketoiminnat/automaatio/>.

Collin, J. & Saarelainen, A. 2016. Teollinen internet. E-kirja. Helsinki: Talentum. Viitattu 22.8.2021. <https://janet.finna.fi/>, Bisneskirjasto (Alma Talent Pro).

Forming. N.d. Valmet kitaformerin ja kenkäpuristimen kaavio Valmetin verkkosivuilta. Viitattu 5.5.2021. <https://www.valmet.com/pulp/pulp-drying/wet-end/forming/>.

Greenpac turns data to value. N.d. Artikkelin Greenpac Machine Diagnostics referensseistä Valmetin kotisivuilla. Viitattu 7.6.2021. <https://www.valmet.com/media/articles/services/greenpac-turns-data-to-value/>.

Headbox. N.d. Perälaatikon esittely Valmetin verkkosivuilla. Viitattu 10.5.2021. <https://www.valmet.com/pulp/pulp-drying/wet-end/headbox/>.

Industrial Internet- VII solution for pulp. N.d. Esittely Valmetin verkkosivuilla. Viitattu 31.8.2021. <https://www.valmet.com/pulp/services-for-pulp/industrial-internet-solutions/>.

Järvenpää, S. 2021. Senior Chief Engineer, PAP PM AE Fluid Engineering FI. Valmet Oyj. Haastattelu 8.6.2021.

Keskihajonta ja otoskeskihajonta. N.d. Oppimateriaali Siikalatvan lukion verkkosivuilla. Viitattu 26.8.2021. <https://peda.net/siikalatva/siikalatvan-lukio/oppiaineet/matemaatiikka/maa102/mappi2/mappi/kjo:file/download/a4fb66926de912b5d118c533c0e233799f639510/Keskihajonta%20ja%20otoskeskihajonta.pdf>.

Kurki, J. 2019. Pulp drying training opetusmateriaali Valmetin sisäisessä oppimisympäristössä. Viitattu 7.5.2021. <https://wd3.myworkday.com/valmet/learning/lesson/Od550d6b69640173f56381c0762d6dee?record=b40f1b43daba8145834e03c33c010f33&type=7c48590b52571000094b3e81aef006a>.

Latokartano, M. 2019. Sellusta on moneksi artikkeli Metsä Fibren verkkosivuilla. Viitattu 27.8.2021. <https://www.metsafibre.com/fi/media/Erinomaisuus-ja-Innovaatiot/Pages/Sellusta-on-moneksi.aspx>.

Lehtioksa, J. 2021. Product Manager, AUT CMS Quality Management Solutions FI. Valmet Oyj. Haastattelu 7.7.2021.

Leino, J. 2021a. Manager, Technology and R&D, P&E WPU Pulp Drying FI. Valmet Oyj. Haastattelu. 7.7.2021.

Leino, J. 2021b. Manager, Technology and R&D, P&E WPU Pulp Drying FI. Valmet Oyj. Haastattelu. 7.7.2021.

Leino, J. 2021c. Manager, Technology and R&D, P&E WPU Pulp Drying FI. Valmet Oyj. Haastattelu. 10.8.2021.

Lindberg, L. 2021. Avaimet autonomisempien tehtaiden kehittämiseen artikkeli Paperi ja puu verkkosivuilla. Viitattu 22.8.2021. <https://paperijapuu.fi/avaimet-autonomisempien-tehtaiden-kehittamiseen/>.

Luttinen, J. 2021. Department Manager. Etteplan Finland Oy. Haastattelu 8.6.2021.

Länsimies, V. 2021. Chairman. Engineering office Ville Länsimies Ltd. Haastattelu 7.7.2021.

Massatyypit. N.d. KnowPulp - Sellutekniikan ja automaation oppimisympäristö. v. 19.0. Prowledge Oy & AEL Oy. Viitattu 27.8.2021. http://www.knowpulp.com/extranet/suomi/kps/ui/pulp_grades/massatyypit_ui.htm.

Mattila, M. 2021. Hajontaluvut. Kvantitatiivisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Viitattu 26.8.2021. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvanti/hajontaluvut/hajontaluvut/>.

Mitä sellu on? N.d. Artikkelit UPM:n verkkosivuilla. Viitattu 27.8.2021. <https://www.upmpulp.com/fi/vastuullinen-sellu/mita-sellu-on/>.

Möttönen, T. 2021. Project Engineer, Automation. Fimpec Oy. Haastattelu 8.6.2021.

Ollila, T. 2021. Senior Development Engineer, PAP PM Rolls R&D FI. Valmet Oyj. Haastattelu 3.6.2021.

Palvelut. N.d. Liiketoimintalinjojen esittely Valmetin verkkosivuilla. Viitattu 3.5.2021. <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/liiketoiminnat/palvelut/>.

Paperit. N.d. Liiketoimintalinjojen esittely Valmetin verkkosivuilla. Viitattu 3.5.2021. <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/liiketoiminnat/paperit/>.

Polvinen, J. 2021. Engineering Manager, Rolls, PAP PM Roll Engineering FI. Valmet Oyj. Haastattelu 10.8.2021.

Pulp Drying training. 2020. Microsoft stream- koulutusvideo Valmetin sharepointissa. Viitattu 5.5.2021. <https://web.microsoftstream.com/video/c5133493-dd79-427f-a001-93d38edb2210?referrer=https:%2F%2Fvalmet.sharepoint.com%2F>.

Puristinosa. N.d. KnowPulp - Sellutekniikan ja automaation oppimisympäristö. v. 19.0. Prowledge Oy & AEL Oy. Viitattu 6.8.2021. http://www.knowpulp.com/extranet/suomi/pulping/finishing/2_drying_machine/3_wet_end/3_press_section/frame.htm.

Rajala, J. 2021. Valmet press section shoe press rolls myyntimateriaali Valmetin sisäisellä sivustolla. Viitattu 11.9.2021.

[https://valmetsites.secure.force.com/solutionfinderintranet/SolutionFinderContents?productId=a015800000AoVR9AAN&materialType=&selectedLanguage=&searchName=Valmet+press+section+shoe+press+rolls&latestMaterial=.](https://valmetsites.secure.force.com/solutionfinderintranet/SolutionFinderContents?productId=a015800000AoVR9AAN&materialType=&selectedLanguage=&searchName=Valmet+press+section+shoe+press+rolls&latestMaterial=)

Räty, T. 2020. Valmet IQ Steam Profiler presentation Valmetin sisäisellä sivustolla. Viitattu 7.7.2021.

[https://valmetsites.secure.force.com/solutionfinderintranet/SolutionFinderContents?productId=a015800000EXKG1AAP&materialType=&selectedLanguage=&searchName=steam+profiler&latestMaterial=.](https://valmetsites.secure.force.com/solutionfinderintranet/SolutionFinderContents?productId=a015800000EXKG1AAP&materialType=&selectedLanguage=&searchName=steam+profiler&latestMaterial=)

Räty, T. 2021. Product Manager, AUT CMS Quality Management Solutions FI. Valmet Oyj. Haastattelu 18.8.2021.

Röyskö, K. 2018. Suction rolls sales presentation Valmetin sisäisellä sivustolla. Viitattu 10.8.2021.

[https://valmetsites.secure.force.com/solutionfinderintranet/SolutionFinderContents?productId=a015800000AoVQfAAN&materialType=&selectedLanguage=&searchName=suction+rolls&latestMaterial=.](https://valmetsites.secure.force.com/solutionfinderintranet/SolutionFinderContents?productId=a015800000AoVQfAAN&materialType=&selectedLanguage=&searchName=suction+rolls&latestMaterial=)

Salmenpää, S. 2020. New Valmet Industrial Internet – VII solutions launched to customers. Artikkelin Valmetin sisäisellä Sharepoint- sivustolla. Viitattu 24.5.2021.

[https://valmet.sharepoint.com/sites/flow/newscenter/internal/Lists/Posts/Post.aspx?List=41810ac8%2D7a03%2D4617%2Da364%2Da3c67376ca34&ID=4022&Web=432eaf60%2Df483%2D49bd%2Db479%2Ddc06c32d5f17.](https://valmet.sharepoint.com/sites/flow/newscenter/internal/Lists/Posts/Post.aspx?List=41810ac8%2D7a03%2D4617%2Da364%2Da3c67376ca34&ID=4022&Web=432eaf60%2Df483%2D49bd%2Db479%2Ddc06c32d5f17)

Savioja, M. 2021a. Valmet Machine Diagnostics myyntimateriaali Valmetin sisäisellä verkkosivulla.

Viitattu 24.5.2021. [https://valmetsites.secure.force.com/solutionfinderintranet/SolutionFinderContents?productId=a014H000011ml6uQAE&materialType=&selectedLanguage=&searchName=machine+diagnostics&latestMaterial=.](https://valmetsites.secure.force.com/solutionfinderintranet/SolutionFinderContents?productId=a014H000011ml6uQAE&materialType=&selectedLanguage=&searchName=machine+diagnostics&latestMaterial=)

Savioja, M. 2021b. Global Product Manager, SER BTS Board and Paper Service Technology. Valmet Oyj. Haastattelu. 25.5.2021.

Savioja, M. 2021c. Global Product Manager, SER BTS Board and Paper Service Technology. Valmet Oyj. Haastattelu. 3.6.2021.

Sellu ja energia. N.d. Liiketoimintalinjojen esittely Valmetin verkkosivuilla. Viitattu 3.5.2021.

[https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/liiketoiminnat/sellu-ja-energia/.](https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/liiketoiminnat/sellu-ja-energia/)

Sellun käyttökohteet. N.d. Artikkelin Metsä Fibren verkkosivuilla. Viitattu 27.8.2021.

[https://www.metsafibre.com/fi/Sellu/Sellun-kayttokohteet/Pages/default.aspx.](https://www.metsafibre.com/fi/Sellu/Sellun-kayttokohteet/Pages/default.aspx)

Sipiläinen, P. 2021. Tulosityksikön päällikkö. Botnia Mill Service Oy. Haastattelu 22.7.2021.

Sisinni, E., Saifullah, A., Han, S., Jennehag, U. & Gibrund, M. 2018. Industrial Internet of Things: Challenges, Opportunities, and Directions. Artikkele julkaissussa IEEE transactions on Industrial informatics. Viitattu 22.8.2021. <https://janet.finna.fi/>, IEEE Electronic Library (IEL)

Sulfaattisellun valmistus. N.d. KnowPulp - Sellutekniikan ja automaation oppimisympäristö. v. 19.0. Proledge Oy & AEL Oy. Viitattu 20.9.2021. <http://www.knowpulp.com/extranet/suomi/kps/ui/process/general/ui.htm>.

Suoknuuti, A. 2019. Wet end press section myyntimateriaali Valmetin sisäisellä sivustolla. Viitattu 7.7.2021. <https://valmetsites.secure.force.com/solutionfinderintranet/SolutionFinderContents?productId=a01580000yXLxRAAW&materialType=&selectedLanguage=&searchName=wet+end+press+section&latestMaterial=>.

Terminology tool. N.d. Valmetin sisäisellä verkkosivulla oleva terminologian työkalu. Viitattu 7.6.2021. <https://terminology.valmet.com/Terminology/default>.

Valmet Industrial Internet – VII. N.d. Valmet Industrial Internet esittely Valmetin verkkosivuilla. Viitattu 24.5.2021. <https://www.valmet.com/automation/industrial-internet/>.

Valmet IQ Module 10: Profilers (Online). N.d. IQ tuotteiden opetusmateriaali Valmetin sisäisessä oppimisympäristössä. Viitattu 7.7.2021. <https://wd3.myworkday.com/valmet/learning/course/c8f51d6f44da01f41961722546053430?type=9882927d138b100019b928e75843018d&record=d953494b9f250116be4b669f3f01825e>.

Valmet Jyväskylä yleisesitys. 2016. Powerpoint- esitys Valmetin sharepointissa. Viitattu 3.5.2021. https://valmet.sharepoint.com/sites/flow-locations/Shared%20Documents/Valmet_Jyvaskyla_yleisesitys_111016_FI.pptx?web=1.

Valmet lyhyesti. N.d. Valmetin yritysesittely Valmetin verkkosivuilla. Viitattu 3.5.2021. <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/>.

Valmetin teollinen internet - VII. N.d. Valmetin teollisen internetin esittely Valmetin verkkosivuilla. Viitattu 24.5.2021. <https://www.valmet.com/fi/automaatio/teollinen-internet/>.

Valmetin toimipisteet. N.d. Toimipisteiden esittely Valmetin verkkosivuilla. Viitattu 3.5.2021. <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/yhteystiedot/valmetin-toimipisteet/#finland>.

Valmetin suorituskykykeskukset. N.d. Valmetin suorituskykykeskusten esittely Valmetin verkkosivuilla. Viitattu 6.6.2021. <https://www.valmet.com/fi/automaatio/teollinen-internet/valmet-suorituskykykeskukset/>.

Vaurautemme lähde: Sellu ja sen jatkojalosteet. 2019. Artikkele Metsäteollisuuden verkkosivuilla. Viitattu 27.8.2021. <https://www.metsateollisuus.fi/uutishuone/vaurautemme-lahde>.

Viisi faktaa metsäteollisuuden viennistä. 2021. Artikkele Metsäteollisuuden verkkosivuilla. Viitattu 27.8.2021. <https://www.metsateollisuus.fi/uutishuone/viisi-faktaa-metsateollisuuden-viennista>.

Liitteet

Liite 1. Perälaatikon Paper Machine Diagnostics (salassa pidettävä)

Liite 2. Höyrylaatikon Paper Machine Diagnostics (salassa pidettävä)

Liite 3. Kenkätelan Paper Machine Diagnostics (salassa pidettävä)

Liite 4. Imutelan Paper Machine Diagnostics (salassa pidettävä)

Liite 5. Perälaatikon Pulp Machine Diagnostics (salassa pidettävä)

Liite 6. Höyrylaatikon Pulp Machine Diagnostics (salassa pidettävä)

Liite 7. Kenkätelan Pulp Machine Diagnostics (salassa pidettävä)

Liite 8. Imutelan Pulp Machine Diagnostics (salassa pidettävä)

Liite 9. COV laskenta (salassa pidettävä)

