

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

NKONTK14

2016

Pekka Mustonen

KUNNOSSAPIDON TOIMINTA PROSESSINA JA KUNNONVALVONTA

Pekka Mustonen

KUNNOSSAPIDON TOIMINTA PROSESSINA JA KUNNONVALVONTA

Opinnäytetyön tarkoitus oli kartoittaa SSAB:n Hämeenlinnan putkitehtaan mekaanisen kunnossapidon toimintaa prosessina ja löytää menetelmiä ohjata kunnossapitoprosessia suunnitelmallisemmaksi. Suunnitelmallisuuden kasvattamisessa keskeisessä osassa ovat kunnonvalvonnan kehittäminen ja kokonaisuudessaan toimintakulttuurin pitkäjänteinen muutos.

Työtä tehdessä suoritettiin kokeita kahdesta kunnonvalvontamenetelmästä, jotka toimivat esimerkkeinä kunnonvalvonnan kehitysmahdollisuuksista ja soveltamisesta prosessiin. Työssä kartoitettiin myös nykyisen toimintaprosessin keskeisimmät ongelmakohdat, joihin etsitettiin ratkaisut ensimmäisiksi toimenpiteiksi kokonaisvaltaiseen prosessin kehittämiseen.

Tärkeimpänä työkaluna prosessin kehittämiseen esiteltiin kriittisyysanalyysi, jonka avulla pystytään priorisoimaan resurssien käyttö tuotannon kannalta tärkeimpiin kohteisiin. Kriittisyysanalyysistä seuraavina toimenpiteinä kriittisimmälle laitteistolle suoritettavista toimenpiteistä käsiteltiin RCM-prosessi ja sen osana vika- ja vaikutus analyysiä. Esitellyt työkalut mahdollistavat kunnonvalvonnan tehokkaan hyödyntämisen kunnossapidossa vikaantumista ehkäisevänä toimenpiteenä.

Yhteenvetona työssä käsitellyt työkalujen ja prosessin kehitysehdotukset muodostavat kokonaisuuden, mikä mahdollistaa kunnossapidon kokonaistuottavuuden kasvattamisen. Täten kunnossapidon on mahdollista kohottaa tehtaan tuotantolinjojen käyntiasteita optimaalisen kustannustehokkaasti.

Tämän työn tuloksista kriittisyysanalyysiä ja esiteltyjä kunnonvalvonnan menetelmiä on jo työtä tehdessä aloitettu hyödyntämään kunnossapidon toiminnassa. Myös RCM-prosessiin pohjautuvien työkalujen käyttöönotto on aloitettu. Kuitenkin tärkeimpänä lopputuloksena työn avulla on pystytty hahmottamaan yrityksen ylemmälle johdolle, millaisia taloudellisia mahdollisuuksia kunnossapidon toimintaan panostaminen tarjoaa.

ASIASANAT:

Kriittisyys, kunnonvalvonta, suunnitelmallisuus, kustannustehokkuus

Pekka Mustonen

MAINTENANCE AS PROSES AND CONDITION MONITORING

This thesis was made for SSAB's Hämeenlinna tubular products unit and its goal was to define mechanical maintenance's operations as proses and find solutions to guide it operate more systematically. To make maintenance process more systematical, most important things are to increase number of condition monitoring actions and start a long term working culture change.

As part of thesis two tests of new condition monitoring actions were made and they are supposed to act as example of condition monitoring possibilities as part of whole maintenance proses. Thesis also defines those parts of the current proses, which need improvement and solutions for them were planned to reach first step in long term proses developing.

The most important tool presented in this thesis for the process developing was the criticality analysis, which makes it possible to prioritize the use of resources to the most important things from productions point of view. Criticality analysis leads to RCM process and FMEA analysis with the most critical hardware. The presented tools together are making it possible for maintenance to effectively utilize condition monitoring in preventing breakdowns.

In summary, the tools and the process developing proposals dealt with in this thesis will make it possible to increase total productivity of maintenance. Therefore it is possible for maintenance to increase production lines operational time for optimal cost-effectively.

The results of this thesis, as criticality analysis and new condition monitoring techniques are already taken to part of maintenance process. Introduction of the RCM process based tools has also been started. After all, as the most important result, the thesis has made it possible to perceive for the company's management the kind of economic opportunities which investments in maintenance may offer.

KEYWORDS:

Criticality, condition monitoring, systematicality, productivity

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	8
1 JOHDANTO	10
1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet	10
1.2 Konserni	11
1.2.1 Hämeenlinnan putkitehdas	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
1.3 Putken valmistusprosessi	12
1.3.1 Aukikelaus, jatkohitsaus ja raina-akku	13
1.3.2 Muovaus	13
1.3.3 HF-hitsaus ja höyläys	14
1.3.4 NDT- testaus, kalibrointi ja profilointi	15
1.3.5 Määrämittasahaus ja niputus	16
1.4 Mekaanisen kunnossapidon organisaatio	16
2 KUNNOSSAPIDON NYKYINEN TOIMINTA	18
2.1 Kunnossapidon toiminta yleisellä tasolla	18
2.1.1 Mekaaniset vikatyöt	20
2.1.2 Mekaaniset ennakkohuollot ja ennustava kunnossapito	21
2.1.3 Kunnossapidon muut työt	23
2.2 Kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmä	24
2.3 Kunnossapidon taloudellinen merkitys	25
2.4 Varaosat ja niiden hallinta	26
3 KUNNOSSAPIDON TEORIA	28
3.1 Kunnossapitolajit PSK 7501 mukaan	28
3.1.1 Häiriökorjaukset	29
3.1.2 Suunniteltu kunnossapito	29
3.1.3 Kunnostaminen	30
3.1.4 Parantava kunnossapito	30
3.1.5 Ehkäisevä kunnossapito	30
3.2 Kuntoon perustuvan kunnossapidon suunnittelu	33
3.2.1 Kuntoon perustuvan kunnossapidon tavoitteet	33
3.2.2 Laitteiden kriittisyysluokitus	34
3.2.3 RCM	35

3.2.4 Kunnonvalvonta osana prosessia	37
3.2.5 TPM	39
4 SOVELLETTAVAT KUNNONVALVONTAMENETELMÄT	41
4.1 Öljyn puhtaus ja kunnonvalvonta	41
4.1.1 Öljyn puhtausluokat ja epäpuhtaudet	42
4.1.2 Öljyn kunnonvalvonta	46
4.1.3 Öljyn suodatus	47
4.1.4 Toimenpiteet tehtaalla	48
4.2 Värähtelymittaus	50
4.2.1 Värähtelyn peruskäsitteitä	50
4.2.2 Taajuusspektri	53
4.2.3 Kokonaisvärähtely	54
4.2.4 Kokonaisvärinämittauksen toteutus ja jatkotoimenpiteet	56
4.2.5 Mittaustulokset ja kehitysehdotukset	58
4.3 Kunnonvalvonnan jatkaminen tehtaalla	59
5 KUNNOSSAPIDON TOIMINNAN MUUTOSEHDOTUKSET	60
5.1 Kunnossapitoa tukevat toimet	60
5.1.1 Varaosat	60
5.1.2 Toiminnanohjausjärjestelmä	61
5.1.3 Käyttäjäkunnossapito	62
5.2 Kunnossapidon johtaminen	64
5.3 Kunnossapidon prosessin kehittäminen	66
5.3.1 Uudet toiminnan osa-alueet	67
5.3.2 Päivitysehdotukset	68
5.4 Jatkotoimenpiteet tiivistetysti	70
6 YHTEENVETO	73
LÄHTEET	75

LIITTEET

- Liite 1. Kriittisyysanalyysi PSK 6800 Linja 2
- Liite 2. Huolto-ohjeen malli
- Liite 3. Öljyn analysoinnin esimerkki tehtaalta
- Liite 4. VTV122 Tärinälähetin
- Liite 5. Laitekortti
- Liite 6. FMEA-lomake
- Liite 7. Työtyyppien käyttö

KAAVAT

Kaava 1. Kriittisyyslaskenta	34
Kaava 2. Taajuus	53
Kaava 3. Laakerin ulkokehän ohitustaajuus.	58

KUVAT

Kuva 1. Hämeenlinnan tehtaan erikoisprofiilit	12
Kuva 2. Putken valmistusprosessi	13
Kuva 3. Nauhan taipuminen muovauksessa.	14
Kuva 4. Hitsaustapahtuma.	14
Kuva 5. Putken profiloituminen vaiheittain.	15
Kuva 6. Mekaanisen kunnossapidon työvuorojärjestelmä.	17
Kuva 7. Toiminnanohjausjärjestelmän ominaisuudet.	25
Kuva 8. Kunnossapitolajit PSK 7501 mukaan.	28
Kuva 9. Erään vierintälaakerin PF-käyrä.	38
Kuva 10. TPM	40
Kuva 11. Öljyn puhtausluokat ISO 4406:1999 mukaan.	43
Kuva 12. Puhtausvaatimukset.	44
Kuva 13. Öljyn puhtausmittaus.	45
Kuva 14. Silmin erottuvat öljynlaadun erot.	46
Kuva 15. Kulumahiukkasien malleja	47
Kuva 16. Jousi-massasysteemi.	51
Kuva 17. Kiihtyvyyden, siirtymän ja nopeuden yhteys.	51
Kuva 18. Mittausparametrit.	52
Kuva 19. Useasignaalin aikatasosignaali ja sen muunnos taajuustasoon	53
Kuva 20. Kokonaisvärinän rajat ryhmittäin.	55

Kuva 21. Varastonhallintatyökalu.	61
Kuva 22. Käyttäjäkunnossapidon vaikutukset	62
Kuva 23. Kunnossapidon kehittymisen lähtökohdat.	71
Kuva 24. Kehitysportaat.	72

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

5S	Sorteeraus, Systematisoi, Siivous, Standardointi, Seuranta. Menetelmä työpisteiden ja työmenetelmien standardointiin.
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis, eli vika - ja vaikutusanalyysi. Määrittää vikaantumismallit ja niiden seuraukset.
Ennakkohuolto	Suunniteltu korjaus tai huolto ennen laitteen rikkoutumista.
Ennustava kunnossapito	Fyysisillä tai mittaavilla menetelmillä laitteiden kuntoa tutkivaa kunnossapitoa, synonyymi kunnonvalvonnalle.
HF -hitsaus	High frequency, eli suuritaajuuksinen sähkövirta induoidaan aihioon, joka kuumenee hitsauslämpötilaan. Hitsin muodostumiseen tarvitaan lisäksi ulkoinen fyysinen voima, joka saattaa hitsattavat pinnat yhteen.
Käyntiaste	Tuotantokoneen käyntiaika prosenttiosuutena miehityksen mahdollistamasta käyntiajasta.
Käytettävyys	Prosenttiosuus tuotantokoneen miehitetystä kalenteriajasta, milloin kone on teknisesti käyttökuntoinen.
MAG-hitsaus	Metal Active Gas, eli suojakaasu ei ole inertti, vaan vaikuttaa hitsaustapahtumassa hitsin ominaisuuksiin.
NDT-testaus	Materiaalia rikkomaton tarkistus.
Ohutseinäputki	Putken seinämävahvuus on 0,8-3mm, materiaalina kylmävalssattu ja mahdollisesti pinnoitettu teräs .
PPM	Parts per million, eli miljoonasosa.

RCM	Realibility centered maintenance, eli luotettavuuskeskeinen kunnossapito. Seitsenportainen laitteen toimintoja käsittelevä vikaantumisen estämiseen tähtäävä toimintamalli.
Raina	Kelalle rullatusta teräsnauhasta pituussuunnassa leikattu osuus, eli siivu kelasta.
Rakenneputki	Putken seinämävahvuus on yli 2mm ja materiaalina kuuma-valsattu teräs.
RTF	Run to failure, eli laitetta tietoisesti käytetään huoltamatta kunnes se vikaantuu.
TPM	Total productive maintenance, eli tuottava kunnossapito. Pitää sisällään kaikki kunnossapidon lajit, jotka kokonaisuutena muodostavat kunnossapidon kokonaistuottavuuden.

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Kunnossapito on usein mielletty korjaavaksi toiminnaksi, joka aloitetaan vasta vian vaikuttaessa laitteen toimintaan. Kyseinen toimintamalli ei ole enää kuitenkaan nykypäivää teollisuuden tuotantolaitoksissa, koska kustannuksia syntyy pääosin tuotantoprosessien katkoksista, varaosakustannusten lisäksi. Tällöin korjaavan kunnossapidon lisäksi tärkeäksi osaksi kunnossapitoa on muodostunut vikaantumisen ennakoiminen. Vikaantumisen ennakoimisella tarkoitetaan vikojen etsimistä ja niiden kehittymisen seuraamista, ennen kuin laite menee rikki. Tällöin voidaan puhua kuntoon perustuvasta kunnossapidosta, joka käsitteenä sisältää kunnonvalvonnan ja siihen perustuvan korjaavan kunnossapidon. Oikein kohdistettua ja oikean tyyppistä kunnonvalvontaa suorittamalla onkin mahdollista nykyisillä menetelmillä ennustaa laitteen vikaantuminen luotettavasti ajoissa. Se tarkoittaa käytännössä pienempiä korjauskustannuksia ja pienempiä tuotantotappioita.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on kartoittaa SSAB:n Hämeenlinnan putkitehtaan kunnossapidon toimintaprosessi ja etsiä keinot sen ohjaamiseksi kohti toimivaa, tehokkaasti kunnonvalvontaa hyödyntävää prosessia. Työssä käydään läpi mekaanisen kunnossapidon nykyinen prosessi ja muut toimintaan vaikuttavat lähtökohdat. Vertailuksi esitetään standardiin pohjautuva kunnonvalvonnan sisältävä toimintamalli. Vertailun pohjalta etsitään ne käytännön sovellutukset, joilla kunnossapidon prosessi saadaan pitkällä aikavälillä perustumaan suoraan laitteiston kuntoon, mikä suoraan laskee tuotantokustannuksia ja parantaa tuottavuutta. Varsinaisena työn tavoitteena pidetään kunnossapidon mahdollistamaa yhden prosenttiyksikön nousua tuotantolinjojen käyntiasteeseen vuoden tarkastelujaksolla.

Jo ennen varsinaista työn aloittamista on tiedostettu, että kunnossapidon toiminta vaatii joiltakin osa-alueilta määrätietoisia muutoksia. Eniten kehitystä vaativat kunnonvalvontamenetelmät eli niiden käytännön sovellusten määrän ja suoritustaajuuden kasvattaminen. Ongelmana on myös selkeästi määritetyn prosessin puuttuminen, mikä määrittää valvontatietojen perusteella korjaavat toimenpiteet. Käytännön sovelluksina kunnonvalvonnasta esitellään öljystä tehtävät mittaukset ja analyysi, sekä värinämittauksen käyttöönotto tuotantolinjan pääkäytöissä.

1.2 Konserni

SSAB on maailmanlaajuisesti toimiva terästä valmistava pörssi-yhtiö. Yhtiö on vahvasti erikoistunut pitkälle kehitettyihin lujiin teräksiin, joissa se on maailmanmarkkinoilla johtava tuottaja. SSAB:lla työskentelee noin 16 000 henkilöä maailmanlaajuisesti yli 50 maassa. Suurimmat tuotantolaitokset sijaitsevat Ruotsissa, Suomessa ja Yhdysvalloissa. Yhtiön liikevaihto oli vuonna 2015 57mrd Ruotsin kruunua. (SSAB 2016.)

Yhtiön päätuotteita ovat nauhamaiset ja levymäiset teräkset, sekä huomattavasti pienempinä määrinä putkeksi tai profiiliksi jalostetut tuotteet. Kokonaiskapasiteetti on 8,8 miljoonaa tonnia terästä vuosittain. (SSAB 2016.)

Putkien ja profiilien valmistus on keskittynyt pääosin Suomeen, missä putkitehtaita sijaitsee Hämeenlinnassa, Lappohjassa, Oululaisissa ja Pulkkilassa. Konsernin ainoa suomen ulkopuolinen putkitehdas toimii Virsbossa Ruotsissa. Kaikki profiilien valmistus tapahtuu Suomessa Toijalassa. (SSAB 2016.)

Hämeenlinnan tehdas on aloittanut toimintansa vuonna 1973, mikä tarkoittaa, että putkea valmistetaan yli 40 vuoden kokemuksella. Tehdas työllistää vakituisesti 83 henkilöä, joista 17 toimihenkilöitä ja 66 työntekijöitä. (Haastattelu Kiviranta 23.11.2016).

Tehtaalla on neljä tuotantolinjaa, joista kolme tuottaa ohutseinäputkea ja neljäs rakenneputkea. Putkia valmistetaan mittaryhmissä 25-88.9 millimetrin halkaisijalla, materiaalityypin vaihdelta 0.8-5 millimetriin. Vuotuisesti tehtaalla valmistetaan noin 67 tonnia putkea, joka kilometreiksi muutettuna on noin 33 000 kilometriä. (Isopahkala 23.11.2016.)

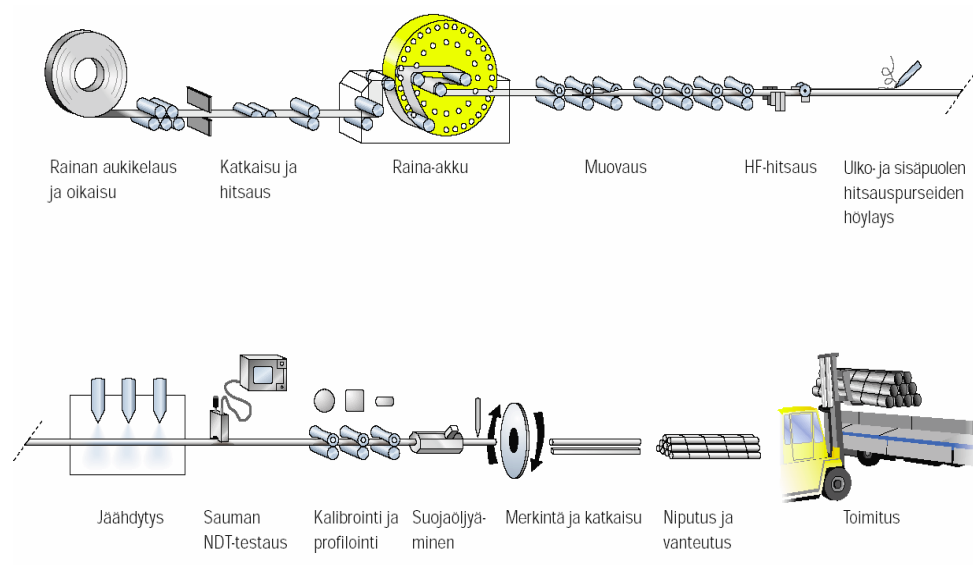
Tehtaan tuotannosta suurin osuus toimitetaan suomeen ja ruotsiin. Asiakkuuksia on myös muun muassa Tšekissä ja Puolassa. Toimitettavasta tonnimäärästä vuonna 2015 ohutseinäputkia oli noin 60 % ja rakenneputkia 40 %. Tehdas tuottaa pyöreiden ja neliskanttisten putkien lisäksi asiakkaiden toivomuksista erikoisprofiileita, joita on esitetty kuvassa 1. (Haastattelu Ouramo 23.11.2016.)



Kuva 1. Hämeenlinnan tehtaan erikoisprofiilit (SSAB 2016).

1.3 Putken valmistusprosessi

Putken valmistusprosessin raaka-aineena käytetään teräskelasta leikattuja rainoja. Rainojen materiaali voi olla kuumavalssattua terästä, kylmävalssattua ohutlevyä, pinnoitettua ohutlevyä. Tällä hetkellä materiaalina on myös kasvavassa määrin erikoislujia teräslaatuja. Hämeenlinnan putkitehtaalle materiaali toimitetaan valmiiksi leikattuna valmistettavan putken vaatiman materiaalileveyden mukaan muilta tuotantolaitoksilta. Putken tuotantolinjan alkupäässä käsitellään vain rainalta aukikelattavaa materiaalia nauhamaisena ja valmistellaan se muovausta varten. Koneosassa nauha muovataan lopulliseen putken muotoon, sekä katkaistaan määrämittaan, jonka jälkeen putket niputetaan ja pakataan asiakkaalle toimitettavaksi loppupäässä. Tarkemmin prosessi voidaan jakaa kuvan 2 mukaisiin osioihin.



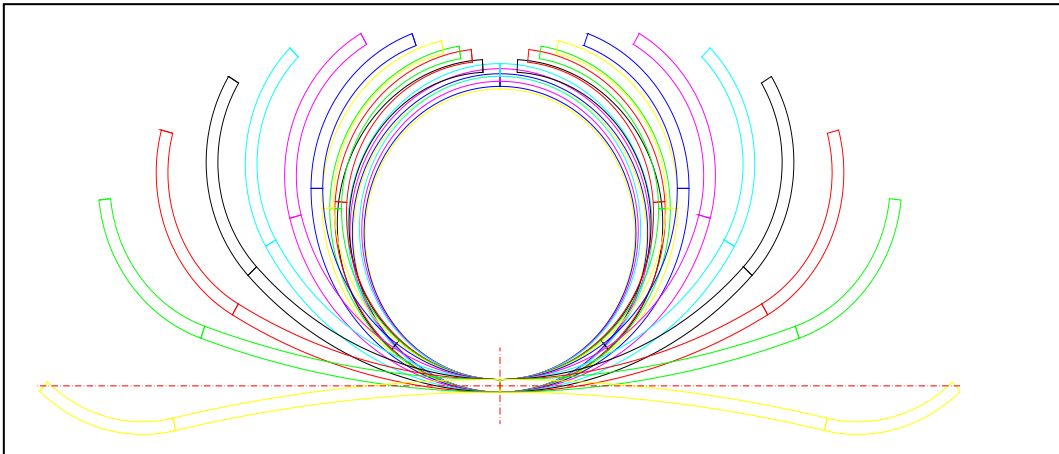
Kuva 2. Putken valmistusprosessi (SSAB esittelymateriaali).

1.3.1 Aukikelaus, jatkohitsaus ja raina-akku

Aukikelauksessa materiaalina oleva raina kelataan auki ja sen pää liitetään tuotantolinjassa jo valmiiksi olevan nauhan päähän kiinni MAG-hitsaamalla jatkohitsauksessa. Koska jatkohitsauksesta tulisi muutoin nauhan käsittelystä johtuvia pysähdyksiä tuotantolinjaan, linjoissa on raina-akut. Raina-akkuun nauhaa ajetaan päiden yhteen hitsaamisen jälkeen linjan tuotantonopeutta suuremmalla nopeudella, jolloin aikaa jää seuraavan rainan aukikelaamiseen ja nauhojen päiden yhteen liittämiseen. Näin tuotanto saadaan jatkumaan tauottomana prosessina.

1.3.2 Muovaus

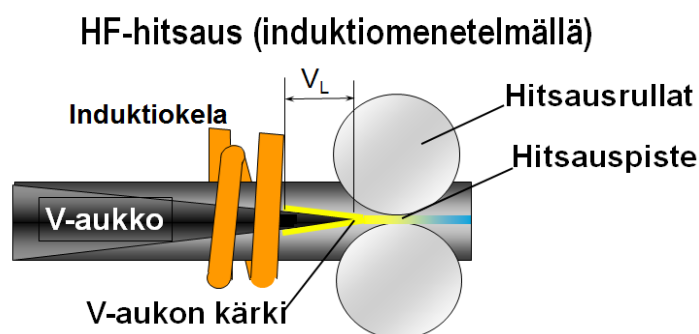
Muovauksessa nauhavaraajasta tuleva nauha muovataan useilla erilaisella geometrialta olevilla rullilla, jotka taivuttavat nauhaa vaihteittain pyöreän putken muotoon. Nauhaa voidaan taivuttaa muotoon painamalla ylä- ala suunnassa vetävillä muovausrullilla, ja painamalla vapaasti pyörivillä sivurullilla sivuilta. Muovausrullaston tehtävä on saada muovattua nauha putkimaiseksi siten, että nauhan reunat ovat mahdollisimman tarkasti samalla tavalla taipuneet oikeaan asemaan lähelle toisiaan hitsausta varten. Huomioitavaa on, että muovausrullaston on tarkoitus muovata nauhaa valssaamatta sitä ohuemmaksi. (Rajala 7.6.2016.)



Kuva 3. Nauhan taipuminen muovauksessa (SSAB esittelymateriaali).

1.3.3 HF-hitsaus ja höyläys

Hitsaukseen tullessa lähes putken muotoon muovattu nauha kulkee kuparisen kierukan läpi, joka indusoi putkeen korkeataajuuksisen sähkövirran. Putken sisällä oleva impederi, jonka sydän on ferriittistä materiaalia, kohdistaa sähkövirran, eli koko hitsaustehon putkiaihiion reunoihin kuumentaen ne sulamispisteeseen juuri ennen kuin putkiaihiö kulkee hitsausrullien välistä. Hitsausrullat eivät käytännössä enää muovaa aihiota, vaan ohjaavat taivutetut ja kuumennetut reunat yhteen muodostaen jatkuvan hitsin putkeen. Hitsausmenetelmänä HF-hitsaus on todella nopea hyvän tehonkohdistuksensa ansiosta ja tuotantolinjoilla voidaan parhaimmillaan hitsata saumaa 180 metriä minuutissa nopeudella. (Rajala 7.6.2016.)



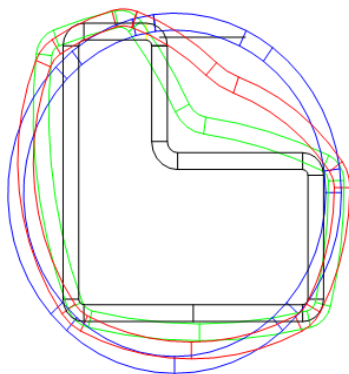
Kuva 4. Hitsaustapahtuma (SSAB esittelymateriaali).

Hitsaustapahtumassa aihion reunat yhteen puristettaessa on tärkeää saada sula pintakerros puristettua hitsattavista reunoista pois laadukkaan hitsin takaamiseksi, mikä synnyttää putken sisä- ja ulkopuolelle hitsauspurseen. Hitsauspurse höylätään sauman ollessa vielä kuuma putken ulkopinnalta ja sisäpuolelta tarvittaessa pois, jolloin saadaan virheetön pinta. Höyläyksen jälkeen hitsauksen synnyttämä lämpö jäähdytetään putkesta pois, minkä jälkeen putki on valmis kalibroivaksi. (Rajala 7.6.2016.)

1.3.4 NDT-testaus, kalibrointi ja profilointi

Ennen kalibrointia jäähtynyt putki kulkee linjassa pyörrevirtatarkistuslaitteen tarkistuskelan alta, mikä tarkistaa reaaliaikaisesti, onko putkessa havaittavissa hitsaamattomia alueita, huokoisia kohtia tai halkeamia. Mikäli tarkistuksessa havaitaan vikaa, lajitellaan viallisen kohdan sisältävä putki määrämittasahauksen jälkeen romuksi. (Isopahkala 23.11.2016.)

Koneen kalibroitiosan tehtävä on muovata putki haluttuihin mittoihin. Kalibroinnissa putki on aina pyöreä ja mikäli sitä halutaan profiloida muotoon, tapahtuu se heti kalibrointirullilla seuraavilla profilointirulliksi kutsuttavilla neljän rullan sarjoilla. Profiloinnissa kaikki rullat puristavat profiloitavaa putkea yhtäaikaisesti neljästä suunnasta, jolloin putki profiloituu rullien geometrian mukaiseen muotoon. Profilointirullastoja on tuotantolinjasta riippuen kahdesta neljään peräkkäin, eli profilointi lopulliseen muotoon tapahtuu asteittain. Profilointirullastojen asemaa toisiinsa nähden muuttamalla saadaan myös putki oikaistua tarvittaessa. Kun putki on profiloitu haluttuun lopulliseen muotoon, voidaan se suojata öljymällä ennen määrämittasahausta.



Kuva 5. Putken profiloituminen vaiheittain (SSAB esittelykalvot).

1.3.5 Määrämittasahaus ja niputus

Määrämittasahauksessa lentävä saha kalibroi nopeutensa linjanopeuteen, tarttuu putkesta kiinni, suorittaa katkaisun ja palaa kotiasemaansa odottamaan seuraavaa katkaisua. Lentävät sahat mahdollistavat jatkuvan tuotannon huippunopeudella 180 metriä minuutissa. Katkaisun jälkeen putki voidaan lajitella kuljettimilla pyörrevirtalaitteen havaintojen mukaan priimaksi, tai tarvittaessa romuun ennen niputuslaitteistoa.

Niputuslaitteistossa putket kasataan profiilin muodon määrittämän muotoisiksi nipuiksi automaattisesti tai käsin, jonka jälkeen nippu sidotaan teräsvanteella yhteen kuljetusta ja varastointia varten.

1.4 Mekaanisen kunnossapidon organisaatio

Hämeenlinnan putkitehtaan kunnossapidon organisaatio koostuu mekaanisesta ja sähköisestä kunnossapidosta, jotka toimivat yhden kunnossapito- ja kehitysinsinöörin alla.

Mekaanisessa kunnossapidossa työskentelee viisi asentajaa kiertävästi katkeavaan kaksivuorojärjestelmään perustuvassa järjestelmässä. Vuorojärjestelmä muutettiin kiertäväksi, sekä vastuualueita muokattiin tämän työn alkaessa, jotta tehtyä taustatyötä voidaan ruveta hyödyntämään ja uudet sovellukset saadaan heti käyttöön. (Isopahkala 5.10.2016.)

Työvuorot järjestelmässä on jaettu siten, että aamu, sekä iltavuorossa on aina yksi henkilö, joka vastaa päivystysluonteisten vikatöiden korjaamisesta. Päivävuorossa ja iltavuorossa on myös paikalla henkilöt, keiden vastuualueelle kuuluvat vähemmän akuutit korjaustyöt, huoltotyöt ja muutos ja kehitystyöt. Yksi asentajista vuorollaan työskentelee päivävuorossa pelkästään ennakkohuoltoja ja kunnonvalvontaa tekevänä henkilönä. Vuorojärjestelmä toimii viiden viikon sykleissä, jonka aikana jokainen asentaja vastaa kerran kustakin vastuualueesta. Kuvassa 6 on hahmotettu vuorojärjestelmä. (Isopahkala 5.10.2016.)

Mekaanisen kunnossapito työvuorot					
Nimi	Viikko 1	Viikko 2	Viikko 3	Viikko 4	Viikko 5
Asentaja 1	Aamu/laitosmies	Päivä/EH	Ilta/laitosmies	Aamu	ilta
Asentaja 2	Aamu	ilta	Aamu/laitosmies	Päivä/EH	Ilta/laitosmies
Asentaja 3	Ilta/laitosmies	Aamu	Ilta	Aamu/laitosmies	Päivä/EH
Asentaja 4	ilta	Aamu/laitosmies	Päivä/EH	Ilta/laitosmies	Aamu
Asentaja 5	Päivä/EH	Ilta/laitosmies	Aamu	ilta	Aamu/laitosmies
Vuorot:					
Aamu/Laitosmies (6-14)					
Aamu(7-15)					
Päivä/EH 7-15					
Ilta/laitosmies (14-22)					
Ilta (14-22)					

Kuva 6. Mekaanisen kunnossapidon työvuorojärjestelmä.

Asentajien esimiehenä toimii työnjohtaja, joka vastaa kunnossapito- ja kehitysinsinöörille mekaanisista töistä kokonaisuudessaan. Työnjohtajan vastuulla on organisoida ja jakaa työt asentajille, hankkia varaosat, sekä suunnitella kaikki työt, jotka eivät ole välittömiä vikakorjauksia. Työnjohdon vastuualueelle kuuluu myös pienen mittakaavan kehitystöiden suunnittelu. Työnjohtaja on myös veloitettu vastaamaan tehtaan liikkuvasta kalustosta. (Isopahkala 5.10.2016.)

Kunnossapito- ja kehitysinsinöörin tehtävä on vastata tehdaspäällikölle tuotantolinjojen toimivuudesta, kehittämisestä ja uusien laitteiden käyttöönotosta. Lisäksi hänelle kuuluu taloudellinen vastuu ja investointien esittäminen. Kunnossapidon taloudesta, töistä ja muusta toiminnasta tehtävien tilastojen ylläpito kuuluu myös kunnossapito ja kehitysinsinöörille. Vastuualueeseen sisältyy myös tietyn minuuttimäärän ylittävistä tuotannon katkaisevista vikakorjauksista juurisyyanalyysi ja korjaavien toimenpiteiden määrittäminen. Myös NDT-testaukseen käytettävien pyörrevirtalaitteiden ylläpito ja koulutustoitointa, sekä yleinen tuotantoprosessin kehittäminen kuuluvat vastuualueeseen. (Isopahkala 5.10.2016.)

2 KUNNOSSAPIDON NYKYINEN TOIMINTA

Tässä luvussa käsitellään pääpiirteittäin Hämeenlinnan putkitehtaan kunnossapidon nykyinen toimintaprosessi eri osa-alueista koostuvana kokonaisuutena. Toimintaa esitellessä tarkoituksellisesti nostetaan esille tehtyä kehitystyötä tai sen tarvetta tilastoihin ja taloudelliseen näkökantaan perustuen.

2.1 Kunnossapidon toiminta yleisellä tasolla

Mekaanisen kunnossapidon nykyinen toimintamalli on muovautunut usean vuosikymmenen aikana. Toiminnan laatu, sekä painopiste on vaihdellut riippuen kulloinkin vastuussa olevan työnjohtajan mukaan. Huomionarvoista on, että toiminnan pääpaino on ollut jo pitkään vikakorjauksissa, mihin on viimeisen kuluvan vuoden aikana päätetty määrätietoisesti lähdetty tekemään muutosta. Suurena vaikuttavana tekijänä kuitenkin on vanha konekanta, jota ei ole saatu uudistettua haluttua tahtia, koska rahaa investointien tekemiseen ei ole ollut talouden matalasuhdanteen ja vaikeiden teräsmarkkinoiden aikana mahdollista saada tarpeeksi. Investointien puuttuminen onkin aiheuttanut konekantaan korjausvelkaa, joka on lisää vikakorjausten määrää.

Kunnossapidon suoria ja välillisiä vaikutuksia tuotantolinjojen käyntiasteisiin on vaikea arvioida aivan tarkasti. Kunnossapidon toimintaa tilastoidaan seuraamalla käytettävyyss lukua, joka kertoo prosenttiosuuden käytettävissä olleesta miehitysajasta, kun tuotanto ei ole pysähtynyt vikojen takia. Mekaanisen kunnossapidon käytettävyyss luku on ollut vuonna 2016 ollut kohtalaisen lähellä sataa prosenttia tarkastelujaksolla ja verrattaessa noin prosenttiyksikön matalampi kuin sähköisen kunnossapidon käytettävyyss luku. Tilastointitapa ei kuitenkaan kerro suoraan kunnossapidon työsuorituksista, koska se ei huomioi muuta kuin tuotannon pysäyttävien vikojen korjausajan. Tuotannon vioista johtumattomien katkojen, kuten esimerkiksi koneiden asetusmuutosten aikana tapahtuu suuri osa korjaavasta toiminnasta ja huolloista. Jokaisella tuotantolinjalla pidetään myös neljän viikon välein kahdeksan tunnin huoltoseisokki, mihin on tavoitteena ajoittaa puhdistus ja kunnossapitotöitä mahdollisimman paljon. Määräaikaishuollot ja vaativat korjaukset kunnossapidossa on ajoittanut pääosin tuotannon kesäloman aikana olevaan kesäseisokkiin, tai tuotannon talviloman aikaiseen viikon mittaiseen seisokkiin kevättalvella. (Isopahkala 6.10.2016.)

Vuonna 2016 kesäkuun loppuun mennessä tilastoidusta tuotannon katkeamiseen johdaneista tapahtumista suurin osa on henkilöstöhäiriöitä. Tilastointimenetelmän heikkoutena on, ettei se erittele, onko käyttäjä itse voinut vaikuttaa tapahtumaan vai ei. Esimerkiksi työehtosopimuksessa sovitut tauot, koneiden käyttöön liittyvät toimenpiteet kuten lentävän sahan- tai höylän terän vaihto ovat pakollisia tuotannon keskeytyksiä. Vastaavasti koneiden käyttövirheisiin tai asetusvirheisiin käyttäjät voivat vaikuttaa suoraan. Sellaisia tuotannon häiriöitä tarkasteltaessa, joihin kunnossapito tai käyttäjät voivat vaikuttaa on karkeasti yli puolet tuotantokatkosajasta. Edellä mainituista häiriöistä noin kolmannes on koko kunnossapidon osuus tuotantokatkosajasta. Tästä voidaan vetää johtopäätöksenä, että kunnossapito voi toiminnallaan vaikuttaa suoraan isoon osaan tuotantokatkosajasta. Myös tuotantohenkilöstöstä johtuvaan tuotantokatkosajaan kunnossapito voi vaikuttaa välillisesti, kuten pitämällä laitteiston optimaalisessa kunnossa, jolloin niiden käyttöönotto on helpompaa ja nopeampaa. Lisäksi on havaittu, että tuotantolinjoille suoritettavilla huolloilla ja korjauksilla on ajoittain suuriakin positiivisia vaikutuksia tuotantohenkilöstön työskentelymotivaatioon. Välillisiä vaikutuksia on kuitenkin lähes mahdoton mitata ja tilastoida luotettavasti. Yhtäläisesti tulee huomioida myös tuotantohenkilöstön kunnossapitoa suurempi osuus tuotantokatkosajasta, mistä johtuen tuotantoprosessin kehittämiseen tulisi ohjata ehdottomasti lisää resursseja. (Isopahkala 6.10.2016.)

Kunnossapitotöiden jaotteluun kunnossapidolla on käytössä järjestelmä, joka on sovellettu PSK 7501 -standardista. Käytössä olevina perus työtyypeinä ovat ennustavat kunnossapitotyöt, ennakkohuollot ja vikakorjaukset. Vikakorjaukset voidaan korjaustyypin mukaan lajitella tarkemmin alalajeihin. Lisäksi käytössä olevina työtyypeinä ovat turvallisuustyöt, aloitetyöt, muutos- ja investointityöt, sekä normaalit työt. Myös käyttäjäkunnossapito on yksi tehtaalla suoritettavista kunnossapidon muodoista. Käyttäjäkunnossapitoa tehtaalla on alettu kehittää määrätietoisemmin vuoden 2016 aikana laaja-alaisemmaksi. Tehtäviä on tarkoitus määrittää tuotannon katkaisevien vikakorjausten, sekä normaalin työn yhteyteen huomattavasti enemmän. Lisäksi myös käyttäjien vastuuta vikaantumisen ennakoinnissa ja vikatilanteiden kehittymisessä tullaan kasvattamaan. Toistaiseksi käyttäjäkunnossapitoon kuuluvat tuotantolinjojen kuukausittaisten seisakkien aikana tapahtuva puhdistaminen ja tuotannon aikana tapahtuvat muut yksittäiset puhdistustehtävät.

Kunnossapidon töiden tilastointi eri työtyyppien kesken luotettavasti on haastavaa, sillä töitä on kirjattu kahteen eri tietojärjestelmään, mistä johtuen kirjauksissa voi ilmetä

päällekkäisyyksiä tai puutteita. Töiden kirjauksiin kiinnitetäänkin jatkuvasti paljon huomiota, koska vain kirjaamalla kaikki työt varsinaiseen järjestelmään nähdään todellinen kustannusten jakautuminen ja oikeat työmäärät.

Suurimpana ongelmana kunnossapidon toiminnassa on tuotantolinjalta tiedon kulku kunnossapidolle. Toistuvasti on tapauksia, joissa tuotantolinjalla on tiedostettu pitkään ongelmakohde, jota kunnossapito ei ole havainnut omatoimisesti ja siitä ei ole kunnossapitoa informoitu. Tästä johtuen kunnossapidon päivystäjät kiertävät tuotantolinjoilla säännöllisesti tarkistuskierroksilla, joihin sisältyy käyttäjien kuuleminen jokaiselta työpisteeltä. Vikatöistä johtuen kierroksia ei ole usein ehditty suorittaa, mistä johtuen asiaan on puututtu edellyttämällä vuorojärjestelmämuutoksen yhteydessä ennakkohuoltoja tekevältä henkilöltä perusteellista tarkistuskierrosta. Tuotantohenkilöstön kynnystä vikaantumiseen puuttumiseen on myös yritetty madaltaa asentamalla ilmoitustauluja tuotantolinjoille, joihin vikoja ja ominaisuuksia saa vapaasti ilmoittaa korjaavia toimenpiteitä odottamaan.

Selvänä puutteena toiminnassa on havaittu myös, ettei vikatöiden tai tuotantohenkilöstön ilmoitusten käsittelyyn ole määritelty selkeitä toimintaohjeita tiedonkulun ja sen kautta resurssien optimaaliseksi kohdentamiseksi. Toistaiseksi ilmoitus vikatilanteesta tehdään päivystäjälle puhelimella ja työnjohto saattaa saada tiedon jälkikäteen vasta pitkäänkin kestäneestä vikatilanteesta.

2.1.1 Mekaaniset vikatyöt

Vikatöiden määrää tarkasteltaessa olennaista on verrata vikatöiden määrää vikaantumista ennakoivan toiminnan määrään, mistä saatava suhdeluku kertoo kunnossapidon toiminnan pääpainon luotettavasti. Pääsääntöisesti vikakorjausten ja ennakoivan kunnossapidon osuudet voisivat olla karkeasti 20 % vikakorjauksia ja loput 80 % ennakoivaa kunnossapitoa, mihin sisältyvät myös ennustavat kunnossapitotyöt. Varsinaisista prosentiosuuksista riippumatta tarkastelua tulisi keskittää pääosin vain tuotannon keskeyttäviin välittömiin korjauksiin. Tehdaskohtainen lukema tulee kuitenkin laskea eri työtyyppien aiheuttamien kustannusten kautta. (Mäki 19.10.2016.)

Molemmista käytössä olevista järjestelmistä työmääriä haettaessa päällekkäisyydet mahdollisimman tarkasti poistettuna, vuoden 2016 tilastointiotannan aikana tehdyistä töistä suurin osuus oli vikakorjaustöitä, mikä tarkoittaa toimintaprosessin olevan vielä

kaukana karkean arvion optimaalisesta tilanteesta. Vertailuksi vuodelta 2015 vikatöiden vastaava luku oli korkeampi, mikä osoittaa kuluvan vuoden aikana tehdyn panostuksen ennakkohuoltoihin toimivaksi. (Isopahkala 21.10.2016.)

Vikakorjaustyöt jaetaan reagoinnin tärkeys järjestyksen mukaan välittömiin, siirrettyihin, ja ylläpitokorjauksiin, mistä vain välittömät korjaukset ovat tuotannon katkaisevia korjauksia.

Siirretyt vikakorjaukset ovat korjauksia, missä vioittuneen laitteen toimintakyky on heikentynyt tai sillä on laadullisia vaikutuksia, mutta sen korjaaminen voidaan ajoittaa seuraavan normaalin tuotantokatkoksen yhteyteen.

Ylläpitokorjaukseksi lasketaan korjaukset, missä laitteen osittain, tai kokonaan menetetty toimintakyky palautetaan, ennen kuin se vaikuttaa ratkaisevasti tuotantoon tai sen laatuun. Ylläpitokorjausta voidaan käyttää esimerkiksi, kun havaitaan koneessa laakeroinnin olevan huonossa kunnossa ja työn siirtämisellä myöhempään ajankohtaan ei ole laitteen toimintaan tai turvallisuuteen vaikutuksia. Ylläpitokorjaus ja huolto ovat sisällöltä lähellä toisiaan. Suurin ero on, että ylläpitokorjauksessa reagoidaan osien rikkoutumiseen tai vaurioitumiseen, siinä missä huollossa reagoidaan osien kulumaan.

Korjauksien luokittelu on nähty tarpeelliseksi, jotta kunnossapidon nykyisessä vikakorjauspainotteisessa tilanteessa voitaisiin reagoida vikoihin oikein, sen mukaan kuinka akuutteja ne ovat. Töiden luokitteluun vaikuttaa myös suoraan varaosien saatavuus.

2.1.2 Mekaaniset ennakkohuollot ja ennustava kunnossapito

Kunnossapidon suorittamista, ennen koneen vikaantumista suoritettavista töistä käyttämä termi ennakkohuolto vastaa sisällöltään pääosin standardissa PSK 6201 esitettyä määritelmää ehkäisevästä kunnossapidosta: *”Ehkäisevällä kunnossapidolla pidetään yllä kohteen käyttöominaisuuksia, palautetaan heikentynyt toimintakyky ennen vian syntymistä tai estetään vaurion syntyminen”*.

Kunnonvalvonnasta kunnossapidon käyttämä termi on ennustava kunnossapito. Sen toiminta pitää sisällään kunnonvalvonnalle tunnusomaisia aistein, sekä mitaten tehtäviä tarkastuksia, joilla on tarkoitus kartoittaa ja valvoa koneiden vikaantumisen kehittymistä suurempien vikojen ehkäisemiseksi.

Ennakkohuoltoja on mekaanisella kunnossapidolla ollut järjestelmässä vuodesta 2000 lähtien koko tehtaan kattavasti, mutta niiden ohjeistuksessa ja valvomisessa on ollut aiemmin suuria puutteita. Ennakkohuoltojen pääpaino onkin ollut kesäseisokissa, eli varsinaiset huollot on suoritettu kalenteriohjauksen perusteella, mistä johtuen huollot eivät ole perustuneet suoraan laitteiston kuntoon, mikä ei ole ollut aina optimaalisen resurssi- ja kustannustehokasta. Suuri osa ennakkohuolto-ohjelman huolloista on ollut tarkistusluontoisia, eli enemmän kunnonvalvontaa, mutta ajoitus niiden tekemiselle on ollut myös kesäseisokki. Tästä johtuen, vaikka huoltoa vaativia kohteita on löydetty, on niitten korjaaminen siirtynyt seuraavaan riittävän pitkään seisakkiin.

Ennakkohuolloista voiteluhuollolla on helpoin pidentää laitteiden käyttöikä (Niemi 26.10.2016). Voiteluhuoltoihin on tästä syystä keskitetty resursseja vuosina 2012 - 2014. Silloin voiteluhuoltojen ulkoistussopimus purettiin ja suunniteltiin tuotantolinjakohdattaiset voiteluohjelmat ja rakennettiin keskusvoitelujärjestelmiä. Resurssien kohdentuessa uudestaan vuonna 2015, ei kehitystyötä pystytty jatkamaan, mistä johtuen voitelujen osalta kokonaisuus ei ole vielä valmis. (Isopahkala 26.10.2016.)

Työnjohdon vaihtuessa keväällä 2015, päätettiin samalla lähteä muuttamaan määrätietoisesti kunnossapidon prosessia ennakkohuoltoihin huomattavasti enemmän painottuvaksi (Isopahkala 26.10.2016). Samaan aikaan aloitetun, Hydjan Oy:n suorittaman ennakkohuoltoanalyysin pohjalta jokaiselle tuotantolinjalle suositeltiin tehtäväksi kriittisyysanalyysit, joiden avulla tehtävät huollot osattaisiin kohdistaa oikein kriittisimpiin laitteisiin ensin. Analyysin keskeisin sisältö oli, että koko kunnossapidon toimintaprosessia on lähdettävä muuttamaan kuntoon perustuvan kunnossapidon prosessia vastaavaksi, missä kriittisyysanalyysi on ensimmäinen askel. (Kuusela 29.10.2016.)

Standardiin PSK 6800 perustuva kriittisyysanalyysi, mikä on esitetty liitteessä 1, tehtiin keväällä 2016 yhdelle tuotantolinjalle. Analyysin pohjalta tuotantolinjalle alettiin luoda uutta ennakkohuolto-ohjelmaa. Huolto-ohjelmassa on otettu lähtökohdaksi tutkia laitteiston kuntoa kriittisyysanalyysiin pohjautuvalla taajuudella kalenteriohjatun ohjelman mukaan. Huolto-ohjelma on kehitysvaiheessa suurimmaksi osaksi kunnonvalvontaa, minkä kautta määräytyvät muut ennakkohuolto- ja vikakorjaustyöt. Pitkällä aikavälillä huoltotarpeiden täsmentyessä toistuvat ennakkohuoltotyöt otetaan osaksi ohjelmaa ja niille määritetään riittävän tiheä huoltosykli. Myös huolto-ohjelman tarkastusväliä muokataan tarpeita vastaavaksi, jotta vikatoiden osuus saadaan laskemaan. Tarkastukset ovat toistaiseksi pääosin fyysisiä tarkistuksia kohteissa, sillä mittaavia tarkistusmenetelmiä ei ole lämpökameran sovellusten lisäksi säännöllisesti käytössä.

Tavoitetasoksi on asetettu, että varsinaisten ennakkohuoltojen ja kunnonvalvonnan työmäärät ovat keskenään lähes yhtä suuret huolto-ohjelman kehityksen aikana. Optimaalisessa tilanteessa ennustavan kunnossapidon osuus tulisi olla hieman suurempi, sillä vikatoiden määrän vähennyttyä huomattavasti ja laadukkaiden ja oikein kohdennettujen ennakkohuoltojen seurauksena aikaa kunnonvalvontaan jää huomattavasti enemmän. (Isopahkala 26.10.2016.)

Tavoitetason saavuttamisessa avainasemassa ovat töiden tasalaatuisuuden takaava laadukas, mutta riittävän pelkistetty työohjeistus ja töiden jälkeinen laadukas raportointi. Esimerkki työohjeesta esitetty liitteessä 2. Tästä syystä työohjeet on suunniteltu niitä suorittavien henkilöiden kanssa, mikä omaan työn vaikuttamisen kautta motivoi olemaan mukana toteuttamassa kunnossapidon toimintaprosessin suurta muutosta. Jatkokehityksen tulee myös tapahtua suorittajälähtöisesti, jotta motivointi toimii pitkällä aikavälillä ja mahdollistaa täten huolto-ohjelman jatkuvan kehityksen käyttämällä optimaalisemmin työnjohdon resursseja. (Kuusela 29.10.2016.)

2.1.3 Kunnossapidon muut työt

Kunnossapito suorittaa myös paljon töitä, mitkä eivät suoraan suoritushetkellä vaikuta tuotantoon. Tällaisia ovat turvallisuustyöt, aloitetyöt, muutos- ja investointityöt, sekä normaalit työt.

Turvallisuustöiksi voidaan määritellä mikä tahansa työ, millä pyritään minimoimaan johonkuhun tehtaan työntekijään kohdistuvia turvallisuusriskejä. Turvallisuustöiden sisältö voi olla esimerkiksi vääntyneen lattiaritilän vaihto tai suuremmassa mittakaavassa jonkin koneosuuden turvalogiikan päivitys. Turvallisuustyöt ovat kunnossapidolla aina prioriteettilistalla korkeimmalla tasolla. Ajoittain muuta kunnossapitotoimintaa haittaavana tekijänä turvallisuustöissä on se, että niiden teettämiseen riittää syyksi yhden henkilön hetkellinen mielipide asiasta, vaikka virallisen turvallisuusanalyysin perusteella minkäänlaista vaaranpaikkaa ei ole havaittavissa.

Aloitetyöt perustuvat tehtaalla toimivan aloitejärjestelmän tuloksiin. Aloitejärjestelmään kuka tahansa työntekijä voi jättää tehtaan toimintaan, tai koneisiin liittyvän kehitysehdotuksen. Aloitteita käsitellään aloitelautakunnassa, minkä kautta ne muutetaan tarvittaessa työmääräyksiksi. Aloitetöitä on vuosittain muutamia.

Muutos- ja investointitöiksi lasketaan virallisesti investointirahoitusta saaneet työt. Tällaisia töitä ovat esimerkiksi kokonaisten laitteistojen uusiminen tuotantolinjaan. Töiden huolelliseen suunnitteluun on pääsääntöisesti hyvin aikaa ja niiden toteuttaminen on helppo sovittaa muuhun kunnossapitotoimintaan. Investointityöt ovat kertaluontoisia ja niitä ei välttämättä edes tehdä vuosittain.

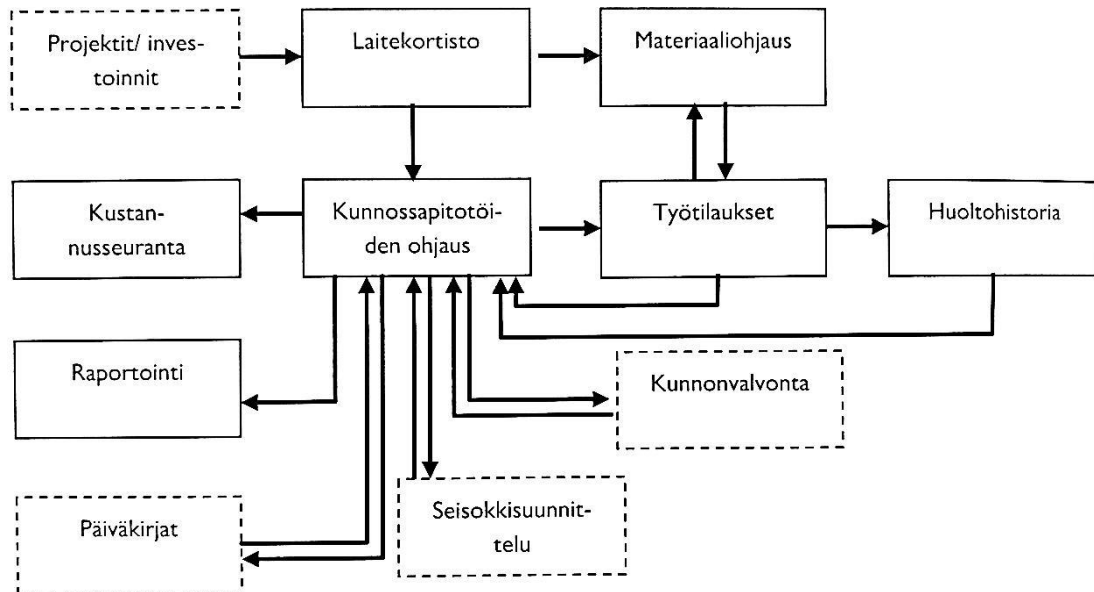
Normaaleiksi töiksi voidaan luokitella pääsääntöisesti työt, jotka eivät vaikuta suoraan tuotantoon, vaan parantavat esimerkiksi työskentelyoloja. Normaalityöksi merkataan usein myös töitä, jotka eivät sovi suoraan jonkin muun työ kategorian alle. Normaalityöitä ovat myös muualta kunnossapidon oman prosessin ulkopuolelta tulevat työt. Kyseessä voi olla esimerkiksi jonkinlainen testilaitteen suunnittelu ja rakentaminen, minkä tekemiselle myös aikataulu tulee kunnossapidon ulkopuolelta. Tämä vaikeuttaa ajoittain huomattavasti tuotantoon vaikuttavien töiden suunnittelua ja aikataulutusta, koska kyse on säännöllisen epäsäännöllisesti toistuvasta ilmiöstä, mihin voi vaihtelevasti joutua resursoimaan jopa yhden asentajan työviikon. (Isopahkala 20.10.2016.)

2.2 Kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmä

Kunnossapito käyttää toiminnanohjausjärjestelmänään Arttu-järjestelmää. Arttu-järjestelmän kautta tapahtuu lähes kaikki kunnossapitoon liittyvät työnjohdolliset toimenpiteet. Järjestelmän tärkeimmät ominaisuudet ovat töiden hallinta, työtunti kirjausten ylläpito, materiaalivirtojen hallinta, sekä kokonaisuuksien kustannusten hallinta. Järjestelmä vastaa ominaisuuksiltaan pääosin kuvassa 7. on esitettyä yksinkertaistettua kunnossapitojärjestelmää ominaisuuksiltaan. Kunnossapidon varsinaisista työnjohdollisista asioista lähes kaikki ohjataan järjestelmän kautta.

Yhtenä järjestelmän heikkoutena on kunnonvalvontaan tai vikatöihin liittyvien helppokäyttöisten raportointiominaisuuksien puuttuminen. Havainnot kirjataan järjestelmään raportteihin, mutta raportointi ei välity automaattisesti työnjohdolle, mikä hidastaa prosessia. Nopeamman informaation välitykseen pohjautuen järjestelmän oma päiväkirjaominaisuus on korvattu vikakorjausten ja yleisten pienten töiden raportoinnissa Excel-pohjalla toimiva päiväkirjalla. Päiväkirjan kautta informaation onkin havaittu välittyvän tehokkaammin (Niemi 27.10.2016).

Vaikka järjestelmä pääosin onkin vahva kokonaisuus, on siinä havaittu olevan joitakin vaikeakäyttöisempiä ominaisuuksia, joiden johdosta saatetaan kokea, ettei järjestelmä ole optimaalisen suorituskykyinen (Kosola 27.10.2016).



Kuva 7. Toiminnanohjausjärjestelmän ominaisuudet (Mikkonen, Miettinen, Leinonen, Jantunen, Kokko, Riutta, Sulo, Komonen, Lumme, Kautto, Heinonen, Lakka & Mäkeläinen 2009, 116).

2.3 Kunnossapidon taloudellinen merkitys

Kunnossapidon suorat kustannukset koostuvat henkilöstökustannuksista, varaosakustannuksista, sekä alihankintakustannuksista. Kunnossapidon vuosittainen kokonaisbudjetti, sisältäen henkilökulut oli vuonna 2015 vastaavan tyyppisen teollisuuden keskiarvon tasoa. (Isoaho 12.10.2016, Ramse Consulting 2012)

Kunnossapidosta johtuvia taloudellisia kokonaisvaikutuksia on vaikea arvioida tarkasti. Esimerkiksi välittömistä vikakorjauksista, eli linjapysähdyksistä johtuvia kustannuksia ei voida budjetoida vuosittain. Ne koostuvat esimerkiksi kiinteistä henkilöstökustannuksista, joiden tuottavuustehokkuutta tuotantokatkokset pienentävät. Jos huomioitaisiin myös tuotantokatkoksen aikana menetetyt tuotantomäärän myyntiarvo, nousevat kustannukset suurempaan kertaluokkaan. Kunnossapito käyttääkin välillisesti siitä johtuvien kustannusten arvioinnissa keskimääräistä tuotantolinjan tuotantokatkoshintaa tuntia kohden, milloin linjan henkilöstö on tuotantovalmiudessa. Keskimäärin linjapysäh-

dyksen suorat kustannukset ovat tyypillisesti satoja euroja tunnilta. (Isopahkala 6.10.2016.)

Tuntihinnan, häiriö- ja vika-ajan avulla laskemalla vuositasolla kustannukset nousevat korkeiksi. Tuotannon katkeamisesta kunnossapitoon ja henkilöstön virheelliseen toimintaan liittyvistä syistä kustannukset nousevat miljoonaluokkaan. Kunnossapidon toimintaan panostamalla, voitaisiinkin tehtaan taloudellista tehokkuutta parantaa selkeästi.

Tuotantokatkoista johtuvien epäsuorien kustannusten lisäksi kunnossapito voi vaikuttaa toiminnallaan ratkaisevasti vain varaosakustannuksiin, henkilökustannusten ollessa luonteeltaan huomattavasti kiinteämpiä. Henkilöstökustannuksia selvästi suuremmaksi nousevat kuitenkin varaosakustannukset. (Isopahkala 6.10.2016.)

2.4 Varaosat ja niiden hallinta

Varaosakustannuksia muodostuu kunnossapidolla eniten vikatilanteista, mutta myös ennakkohuolloista ajoitettuna osienvaihtona. Varaosien kulutus on tuotannon aikana pitkällä aikavälillä tasaista, kulutushuipun osuessa kesäseisokkiin. Toistuvasti kuitenkin syntyy tilanteita, ettei varaosia ole heti saatavilla omasta varastosta (Niemi 10.10.2016).

Tehtaan oma varaosavarasto ja sen hallinta ovat olleet pitkään kehityskohteenä. Varaosista suuri osuus on identifioitu osakohtaisella tavarakoodilla toiminnanohjausjärjestelmään, josta niiden oikean hyllypaikan ja saldon voi nähdä. Lisäksi järjestelmästä voidaan laitekortistosta nähdä mihin koneisiin varaosa sopii. Kokonaisuutena varaosien hallinta toimii pääsääntöisesti hyvin, ilman tuotannollisia vaikutuksia, mutta toistuvia ongelmiakin on.

Suurimpina ongelmina ovat varaosien saldojen ylläpito, sekä identifioimattomat varaosat. Identifioimattomien osien hallinta varastossa perustuu pääosin pelkästään muistinvaraiseen toimintaan. Kaikille varaosille tavarakohtaisen koodin saaminen on toistaiseksi ollut ensimmäisenä kehityskohteenä, mutta sitä ovat hankaloittaneet resurssipula, sekä rajatut oikeudet järjestelmässä (Isopahkala 10.10.2016).

Identifioitujen osien saldojen hallinta tapahtuu toiminnanohjausjärjestelmän kautta käsin kirjaamalla, mutta kaikilla varastoa käytävillä ei ole sinne vaadittavia oikeuksia.

Koska osien saldot toistuvasti ovat virheellisiä, täytyy inventaario koko varastoon toteuttaa vähintään kahdesti vuodessa, mikä sitoo kunnossapidon resursseja (Isopahkala 10.10.2016).

Varaosia ei ole myöskään koskaan tarkasteltu aidosti kriittisyysnäkökulmasta, vaan niiden kohdalla on toimittu samantyyppisten osien tilastoituun tarpeeseen perustuen. Tästä johtuen varastossa on paljon osia, joita ei välttämättä olisi ollut kannattavaa hankkia varastoon niiden vähäisen tai epätodennäköisen tarpeen takia. Varaosia tulisi tarkastella tuotantolinjan kriittisyysanalyysiin pohjautuen laitekohtaisesti. Osan kriittisyyden, hinnan ja toimitusajan pohjalta tulisi määrittää sen arvo pahimmassa skenaariossa, mihin perustuen tulisi ohjata jokaisen osan varastointitarvetta. (Kuusela 29.10.2016.)

Varastointijärjestelmän täydellisestä päivittämisestä Konecranesin valmistamaan ja ylläpitämään Agilon automaattivarastointijärjestelmään on käyty alustavaa keskustelua. Järjestelmä olisi lähes ehdoton ratkaisu, sillä se ratkaisisi indentifioimattomista varaosista johtuvat ongelmat, muu varaston materiaalivirran hallinta helpottuisi, eikä inventaarioita enää tarvittaisi. Agilonin käyttöönottoon yhdistämällä varaosien kriittisyystarkastelun, voitaisiin niistäkin saavuttaa optimaalisia kustannussäästöjä. (Isopahkala 10.10.2016.)

Järjestelmän hankinnan eli juoksevat kulut kattavat kustannussäästöt toteutuisivat varaston ylläpidon ja identifioimattomien osien, sekä inventaarioihin käytettyjen resursien vapautumisena varsinaiseen kunnossapitotyöhön. Lisäksi materiaalivirran hallinta voitaisiin osittain automatisoida, eli järjestelmä pystyisi lähettämään suoraan saldoihin perustuen tilauspyyntöjä hankintaosastolle, mikä vapauttaisi työnjohdon resursseja muuhun toimintaan. Lisäksi varastoon voitaisiin varastoida tuotannon oheistarvikkeet, jolloin niidenkin ylläpito vaatisi vähemmän tuotannon työnjohdon resursseja. (Isopahkala 10.10.2016.)

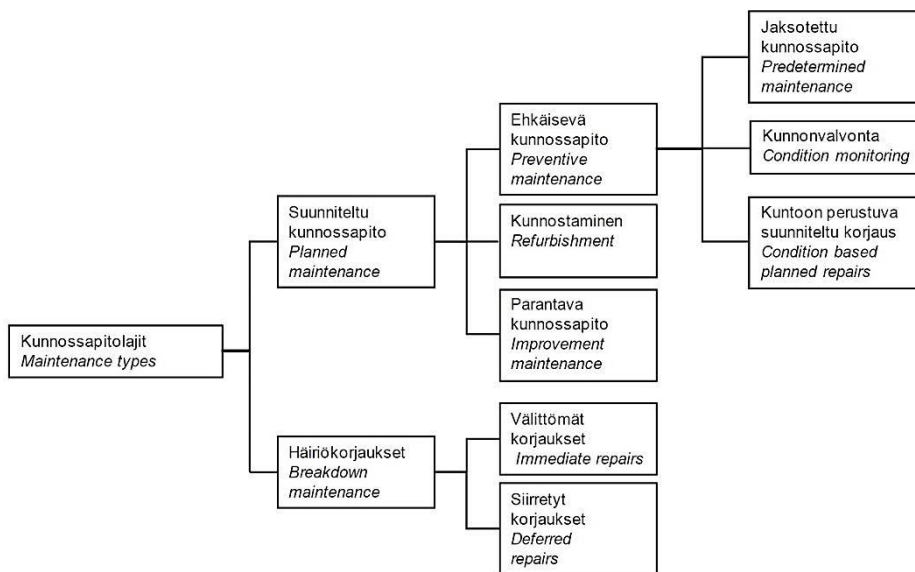
3 KUNNOSSAPIDON TEORIA

Tässä luvussa käsitellään standardien PSK 7501 ja PSK 6201 määrittämää kunnossapidon toimintaprosessiin, johon sisältyy keskeisesti kunnonvalvonta. Käsitellyssä painotetaan eniten kehitystä työn tilaajan näkökulmasta tarvitsevia kohteita, joiden soveltamisella SSAB:n Hämeenlinnan putkitehtaan kunnossapito saavuttaisi suurimmat hyödyt keskipitkällä aikavälillä.

3.1 Kunnossapitolajit PSK 7501 mukaan

Yleisesti kunnossapitolajien ja muun keskeisen termistön sisältö ovat riippuvaisia lähteestä. Tarkasteltavasta standardista riippuen termistö ja sisällön jaottelu poikkeavat toisistaan, mutta kokonaisuuksien sisällöt ovat hyvin samankaltaisia.

Kunnossapito jaetaan standardissa PSK 7501 korjaavaan ja suunniteltuun kunnossapitoon. Korjaava kunnossapito jakautuu välittömiin ja siirrettyihin korjauksiin. Suunniteltu kunnossapito jaetaan ehkäisevään ja parantavaan kunnossapitoon, sekä kunnostamiseen. Ehkäisevän kunnossapidon kokonaisuus muodostuu kunnonvalvonnasta, jaksotetusta, sekä kuntoon perustuvasta korjaamisesta. Standardin määrittelykaavio on esitetty kuvassa 8. (PSK 7501 2010, 32.)



Kuva 8. Kunnossapitolajit PSK 7501 mukaan (PSK 7501 2010, 32).

3.1.1 Häiriökorjaukset

Häiriökorjaukset ovat nimensä mukaan korjaavaa kunnossapitoa, mikä tarkoittaa vikaantumisen korjaamista vasta sen havaitsemisen jälkeen, jolloin vika voi ehtiä vaikuttaa laitteen toimintaan ja tuotantoon. Laitteen käyttö vikaantumiseen asti voi olla suunniteltuakin, milloin käytetään käsitettä RTF (run to failure) (Peltola 2011, 13). Häiriökorjauksia ei ole siis ennalta suunniteltu tai aikataulutettu.

RTF menettely voi olla taloudellisesti kannattavaa, esimerkiksi kun laite on lähitulevaisuudessa tarkoitus poistaa käytöstä. RTF ei ole kuitenkaan kunnossapitolaji, vaan se on tiedostettu vikaantumiseen johtava toimenpide.

Korjaava kunnossapito voidaan jakaa vian suunniteltuun korjaukseen vian havaitsemisen jälkeen tai välittömään häiriön korjaamiseen. Tätä varten on määritelty kunnossapitolajeiksi välittömät ja siirretyt korjaukset.

Välittömät vikakorjaukset määritellään korjauksiksi, jotka suoritetaan heti vian havaitsemisen jälkeen ja niillä palautetaan toimintakunto tai rajataan vian seuraukset hyväksyttävälle tasolle. Siirretyistä korjauksista vastaava määritelmä kertoo, että ne suoritetaan kohteen, tuotannon tai organisaation salliessa. (PSK 6201 2011, 23.)

Vikakorjaustoimenpiteitä ovat muun muassa vian määrittäminen, korjaus, väliaikainen korjaus ja toimintakunnon palauttaminen. Usein vikatilanteissa joudutaan käyttämään toimintakyvyn palauttavaa, usein paikanpäällä tapahtuvaa korjausta. Väliaikaisia korjauksia joudutaan tekemään esimerkiksi sopivien varaosien puuttuessa.

3.1.2 Suunniteltu kunnossapito

Suunniteltu kunnossapito jakautuu kolmeen osuuteen, kunnostamiseen, parantavaan kunnossapitoon ja ehkäisevään kunnossapitoon. Yhteistä kaikelle toiminnalle on sen suunnitelmallisuus, eli laitteiston tila ja olosuhteet pyritään tiedostamaan, tai määrittämään ja pitämään sellaisella tasolla, ettei yllättävää vikaantumista pääsisi syntymään.

3.1.3 Kunnostaminen

Kunnostaminen on määritelty standardissa PSK 6201 seuraavasti: ”*Kuluneen tai vaurioituneen käytöstä pois otetun kohteen palauttaminen käyttökuntoon korjaamalla.*”

Joissain tapauksissa määritelmän mukaan kunnostamisen voitaisiin katsoa olevan myös siirretty tai tuotantoon vaikuttamaton ylläpitokorjaus.

Standardissa SFS-EN 13306 kunnostamista ei ole suoraan määritetty vaan sen voi tapauskohtaisesti määrittää ehkäisevän kunnossapidon kuntoon perustuvaksi, tai jaksetuksi toiminnaksi (Mikkonen ym. 2009, 99). Vaikka raja kunnostamisen ja ehkäisevän kunnossapidon välillä ei olekaan tarkka, voidaan kunnostaminen lukea vikaantumista ennakoivaksi toimenpiteeksi.

3.1.4 Parantava kunnossapito

Parantavalla kunnossapidolla tähdätään koneen toiminnan parantamiseen ja huolto-toiminnan helpottamiseen, muuttamatta koneen toimintoa (PSK 6201 2011, 23).

Parantavaa kunnossapitoa voidaan tehdä kolmella tavalla. Koneen osia voidaan korvata modernimmilla osilla, mutta itse koneen suorituskyky ei muutu. Joissain tapauksissa kone voidaan osittain suunnitella uudelleen, millä tähdätään käyttövarmuuden paraneamiseen, eikä niinkään koneen suorituskyvyn muutokseen. Jos koneeseen tehdään suorituskykyä parantava muutos, voidaan puhua modernisoinnista. (Ovaska 2010, 17.) Modernisointi on kasvattanut nykyään suosiota koneiden korkeiden hankintahintojen ja pitkien elinkaarien johdosta.

3.1.5 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevä kunnossapito on säännöllisesti suoritettavaa tai mitattaviin suureisiin perustuvaa toimintaa, jonka tavoitteena on säilyttää kone käyttökuntoisena tai palauttaa sen heikentynyt toimintakyky ennen vikaantumista. Ehkäisevä kunnossapito on käsitteenä laaja ja sen alle voitaisiin sisällyttää kunnossapitolajit, jotka pyrkivät estämään tuotannon katkaisevan koneen vikaantumisen. Ehkäisevä kunnossapito rakentuu standardin PSK 7501 mukaan jaksetetusta kunnossapidosta ja koneen kunnonvalvonnasta, sekä

kunnonvalvontatietoihin perustuvista suunnitelluista korjauksista. Käytännössä standardi jakaa erilleen aikataulutetun kunnossapidon ja kuntoon perustuvan kunnossapidon. (Mikkonen ym. 2009, 98-99.)

Jaksotettu kunnossapito

Jaksotettu kunnossapito on ajoitettu toiminto, jonka suorituksen ajoitusta ohjataan esimerkiksi käyttötuntien tai tuotantomäärän mukaan. Jaksotettua kunnossapitoa on esimerkiksi laitevalmistajan suosittelemat toimenpiteet määrättyjen käyttötuntien jälkeen. Tunnusomaista jaksotetulle kunnossapidoille on, että koneen kunto on ajoittavaan teki- jään nähden toissijainen. Jaksotettua kunnossapitoa ovat esimerkiksi säännölliset voi- telu- ja puhdistustyöt. (Mikkonen ym. 2009, 98-99.)

Kuntoon perustuva kunnossapito

Kuntoon perustuva kunnossapito voidaan määritellä toimintana, joka seuraa kohteen suorituskykyä tai muita parametreja, minkä perusteella muu kunnossapitotoiminta ohja- taan. Kohteiden seuranta voidaan toteuttaa säännöllisen aikataulun mukaisesti tai sitä voidaan toteuttaa tarvittaessa. (Mikkonen ym. 2009, 100.) Kohteen huollot ja korjaukset suoritetaan siis puhtaasti kohteen tutkittuun kuntoon perustuen.

Kunnonvalvonnan, eli kohteiden kuntoa tutkivan toiminnan lisäksi kuntoon perustuvaan kunnossapitoon kuuluvat kuitenkin myös yleiset tarkastukset ja käyttöparametrien seu- ranta mittaavan, sekä tutkivan toiminnan lisäksi. Kuntoon perustuva kunnossapito on kunnossapitolajeista ainoa, jossa laitteen nykyinen tila ja sen perusteella tulevat huolto- tai korjaustoimenpiteet tunnetaan ennalta. (Mikkonen ym. 2009, 100.)

Kuntoon perustuva kunnossapito ja kunnonvalvonta ovat lähekkäisiä, mutta kuitenkin eriäviä käsitteitä, joiden erona on se, että kunnonvalvonta on tutkivaa työtä ja kuntoon perustuva kunnossapito toteutetaan kunnonvalvonnan tulosten perusteella. Kuntoon perustuva kunnossapito pitääkin laajana käsitteenä sisällään kaikki kohteen kunnon tutkimiseen ja siitä johtuvat toimenpiteet. Kuntoon perustuvasta kunnossapidosta käy- tetään joskus myös termiä ennustava kunnossapito. (Mikkonen ym. 2009, 100.)

Kunnonvalvonta

Kunnonvalvonnan tarkoitus on saada määritetyksi kohteen toimintakunnon tila ja luoda arvio sen kehittymisestä, minkä perusteella voidaan määrittää huollon, korjauksen tai vikaantumisen ajankohta (PSK 6201). Kunnonvalvonnan tehtävä usein on kerätä sellaisia tietoja, joiden avulla ajoitetaan huolto-, korjaus- ja parannustoimenpiteet, millä saavutetaan laitteelle halutun pituinen käyttöjakso (Mikkonen ym. 2009, 119).

Kunnonvalvontaa voidaan toteuttaa aistein tai mittalaittein, joilla saatavat tiedot analysoidaan suunnitteluun korjausta tai ehkäisevää kunnossapitoa varten. Mittaavaa kunnonvalvontaa on mahdollista toteuttaa pitkälle automatisoiduilla järjestelmillä, jotka voivat antaa ohjelmoitujen rajojen ylittyessä vikatiedon. (Mikkonen ym. 2009, 119.)

Mitä aiemmin kunnonvalvonta havaitsee vikaantumisen kehittymisen, sitä pidempi aika on käytettävissä korjaavien toimenpiteiden suunnitteluun. Vikaantumisen havaitsemisen jälkeen kunnossapidon suunnitteluun riittävät tiedoiksi yleensä hälytys nopeasti kehittyvissä vikatilanteissa, diagnoosi viasta, jäljellä olevan käyttöajan arvio, eli prognoosi ja korjaavien toimenpiteiden suunnittelu. (Mikkonen ym. 2009, 119.)

Kunnonvalvonta luo siis perustan ennustaa vikaantumista ja toteuttaa oikeita ennakoivia toimenpiteitä, mikä tekee siitä 4-10 kertaa taloudellisempaa, kuin vikakorjauksiin perustuva kunnossapito (Mikkonen ym. 2009, 110).

Kunnonvalvonta on siis avainasemassa vikaantumista ennakoivassa kunnossapidossa, mutta se vaatii toimiakseen kaikkien muidenkin kunnossapidon osa-alueiden riittävän huomioinnin. Myös suhdeluvut suunnitellulle ja suunnittelemattomalle kunnossapidolle tulee määrittää tehdaskohtaisesti. Keskimääräisen tuotantokatkoksen tuntihinnan ja asentajan keskimääräisen tuntihinnan avulla saatava suhdeluku on 20,5. Suhdeluku huomioi vain suorat kustannukset, joten sitä voi käyttää vain karkeasti suuntaa antavana.

3.2 Kuntoon perustuvan kunnossapidon suunnittelu

Kuntoon perustuvan kunnossapidon suunnittelu toimivaksi kokonaisuudeksi on kunnossapitolajeista vaikeimmasta päästä. Kuntoon perustuvaa kunnossapitoa suunniteltaessa ja toteuttamaan lähdetessä asetetaan sille yleensä selkeä vaatimustaso ja budjetti. Suunnittelussa resurssien oikein kohdistamiseksi tehdään usein kriittisyysanalyysi tuotantolaitoksissa. Kartoitettujen kriittisimpien kohteiden osalta RCM- prosessin avulla resurssien oikein kohdistaminen on yleensä kustannustehokasta. Kriittisyyden määrittämisellä ja RCM- prosessilla on tarkoitus löytää vioille juurisyyt, sekä määrittää vikaantumisprosessit. Täten kunnonvalvonta, sekä muut toimenpiteet osataan kohdistaa oikein kriittisimpiin kohteisiin ensin. (Mikkonen ym. 2009, 142, 146-147.)

3.2.1 Kuntoon perustuvan kunnossapidon tavoitteet

Kuntoon perustuvaa kunnossapitoa toteuttamaan lähdetessä ensimmäisenä on tiedettävä sille asetetut tavoitteet. Tavoitteet ovat yleensä liikejohdon asettamia taloudellisesta näkökulmasta ja sellaisia ovat esimerkiksi käytettävyyden parantaminen, sekä kunnossapidon suunnitelmallisuuden lisääminen. (Mikkonen ym. 2009, 142.) Tavoitteisiin pääsemistä seurataan tunnusluvuilla, kuten laitoksen käytettävyydellä ja euroa / käytettävyydsprosentti (Isopahkala 16.5.2016).

Kunnossapidon sisäiset, sen toimintaan yleisestikin liittyvät tavoitteet, niiden määrittely ja seuranta kuuluvat pelkästään kunnossapidon organisaatiolle. Kunnossapidon organisaatio vastaa siis omasta toiminnastaan annettujen taloudellisten ja tehollisten mittausten pohjalta. Tästä syystä kunnossapidolle annettavista tavoitteista on muistettava erotella tuotannolliset, sekä pitkän ja lyhyen aikavälin tavoitteet erikseen. Esimerkiksi jos tuotantoa on jatkettava ilman huoltokatkoja, on muistettava sen aikana syntyvä koiva riski vikaantumisesta. Kuntoon perustuvassa kunnossapidossa onkin erityisesti muistettava pitkän ja systemaattisen toiminnan tuomat taloudelliset hyödyt, koska lyhytjänteisellä päätöksenteolla säästämällä hetkellisesti, menetetään nopeasti pitkällä aikavälillä saavutetut hyödyt. (Mikkonen ym. 2009, 142.) Pitkään lyhytjänteisellä tärheimellä toimiessa korjausvelkaa voikin syntyä nopeasti paljon ja kunnonvalvonta menettää tällöin nopeasti merkityksensä.

3.2.2 Laitteiden kriittisyysluokitus

Kuntoon perustuvan kunnossapidon toimien oikein kohdistamiseksi on laitteiden kriittisyysluokitus ensimmäinen toimenpide. Kriittisyysluokituksen avulla osataan laitekoko-
naisuudesta poimia ne laitteet, joiden kunnossapitoon resursseja on kohdistettava ensimmäisenä. (Mikkonen ym. 2009, 146-147.)

Kriittisyysluokitukseen soveltuva työkalu on esimerkiksi standardi PSK 6800. Kriittisyys kuvataan siinä kohteen riskin suuruutena, joka saadaan vikaantumisen todennäköisyyden ja vaikutusten tulosta. (PSK 6800 2008, 2.)

Kriittisyysden määrittämisessä on rajattava ensin tarkasteltava alue. Mikäli tarkasteltava alue on monivaiheista prosessia toteuttava tehdas, voidaan esimerkiksi jokaiselle osastolle laskea oma painoarvonsa. Varsinainen analyysi tehdään laitekohtaisesti ja kokonaisuus koostuu kriittisyysjärjestykseen listatuista laitteista. (PSK 6800 2008, 3.)

Laitteen kriittisyysindeksi (K) lasketaan kaavalla:

$$K = p * x(W_s * M_s + W_e * M_e + W_p * M_p + W_q * M_q + W_r * M_r)$$

Kaava 1. Kriittisyyslaskenta (PSK 6800 2008, 7).

jossa

- W_s on turvallisuuden painoarvo ja M_s turvallisuuskerroin
- W_e on ympäristöriskien painoarvo ja M_e ympäristökerroin
- W_p on tuotannonmentyksen painoarvo ja M_p tuotannonmenetyserroin
- W_q on laatu- ja kustannuksien painoarvo ja M_q laatu- ja kustannuserroin
- W_r on korjauskustannusten painoarvo ja M_r korjauskustannuserroin

(PSK 6800 2008, 7.)

Laskennassa painoarvot eivät ole kiinteitä, vaan niitä voidaan muokata analysoinnin kohteena olevan laitteen omistaman yhtiön kunkin osa-alueen politiikan mukaisiksi. Myös kertoimet voidaan muokata tapauskohtaisesti. (PSK 6800 2008, 7.) Olennaista on, että kaikki tarkasteltavan kokonaisuuden laitteet luokitellaan saman painoarvojen ja kertoimien määrittämisen mukaan. Tarkasteltavan kokonaisuuden laitteiden kriittisyysjär-

jestykseen järjestämisen jälkeen voidaan kriittisimpien laitteiden osalta edetä suunnitteluprosessissa seuraavaan vaiheeseen, joka on RCM- prosessi.

3.2.3 RCM

Kriittisyysluokituksesta seuraa usein yksittäiseen laitteeseen kohdistuva RCM prosessi. RCM (Reliability centered maintenance) voidaan kääntää luotettavuuskeskeiseksi kunnossapidoksi. RCM- prosessissa määritellään laitekohtaisesti laitteen ominaisuudet, toiminnalliset viat, vikaantumismallit, vikojen vaikutukset, vikojen seuraukset, vikaantumista ennakoivat toimenpiteet ja korjaavat toimenpiteet. (Mikkonen ym. 2009, 75.)

Prosessin vaiheet sisältöineen toteutuksen mukaan kronologisessa järjestyksessä:

1. Määritetään tarkasteltavan laitteen ominaisuudet
 - Laitteelta vaadittavat toiminnot
 - Vaatimustaso, jolla toiminnoista laitteen on suoriuduttava
2. Mitkä viat johtavat laitteen epäonnistumiseen tarkoituksessaan
3. Määritetään vikaantumismallit
 - Mitkä vikaantumismekanismiit voivat johtaa vian syntymiseen
4. Miten syntyvä vika vaikuttaa laitteen toimintaan
 - Miten vika havaitaan laitteen toiminnassa
5. Mitä vikaantumisesta seuraa
 - Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset
 - Toiminnassa näkyvät vaikutukset
 - Epäsuorat vaikutukset
6. Ennakoivien toimenpiteiden määrittäminen huomioiden kohdan 5. vaikutukset
 - Säännöllinen tai jaksotettu huolto
 - Säännöllinen kunnostus
 - Kuntoon perustuva reagointi
7. Korjaavat toimenpiteet
 - Säännöllinen tarkastaminen
 - Parantava kunnossapito
 - RTF

(Mikkonen ym. 2009, 75-76.)

Prosessi on seitsemänportaisena raskas toteuttaa kokonaiselle tuotantolaitokselle, mistä syystä se on kannattavaa kohdistaa vain kriittisimpiin laitteisiin ensin. RCM- prosessin tarkoitus on tuottaa tarvittavat tiedot kunnossapitolajien ja kunnonvalvontakeinojen valitsemista varten. Menetelmän tarkoituksena on siis minimoida kunnossapidon tarve resurssien oikealla kohdentamisella, vaarantamatta laitteiden toimintakykyä. (Mikkonen ym. 2009, 75-76.)

Vikaantumismallit ja vikojen seuraukset

Vikaantuminen määritellään tapahtumana, joka johtaa vikatilanteeseen, eli tarkasteltavan kohteen suorituskyvyssä voidaan havaita muutos. Mekanismi, joka johtaa vikaantumiseen on vikaantumismalli. (Mikkonen ym. 2009, 153-154.)

Vikaantumismallilla kuvataan laitteen vaurioitumistapaa, mikä johtaa vian syntymiseen. Tällaisia mekanismeja ovat esimerkiksi fyysiset tai kemialliset syyt, esimerkiksi kuluminen, syöpyminen tai väsyminen. Vikaantumismallien tuntemus onkin kunnossapidolle erittäin tärkeää, jotta osataan valita oikea kunnossapitolaji vikaan reagoitaessa, koska eri vikaantumismalleille sopivat erilaiset kunnossapitomenetelmät. (Mikkonen ym. 2009, 140, 154-157.)

Vikaantumismallia määrittäessä on olennaista huomioida myös, onko normaali osan vanheneminen tai kuluma, vai onko laitteiston suorituskyky mahdollisesti pyritty ylittämään. Suorituskyvyn ylitys voi olla tarkoituksellinen, esimerkiksi laitteistoon tehdyn investoinnin tuoton maksimoinnista johtuva, tai vahingossa, esimerkiksi tuotantolaitteiston suorituskykyä nostettaessa saattaa prosessia rajoittava tekijä jäädä huomioimatta ja ilmetä yllättäen. Myös esimerkiksi käyttövirheistä johtuva äkillinen ylikuormitus tai komponenttien väärät materiaalit tulee huomioida. (Mikkonen ym. 2009, 154-156.)

Vikoja ja niiden seurauksia tarkasteltaessa käytetään VVA- analyysiä, eli vika- ja vaikutus analyysiä, mikä tunnistaa vian vaikutukset ja seuraukset laitteessa. Analyysiä tehtäessä on tunnettava laitteen vikaantumismallit, jotta voidaan suunnitella oikea kunnossapitostrategia vikojen ennalta ehkäisemiseksi. Analyysissä avainasemassa ovatkin vikaantuneen laitteen kanssa tekemisissä olevat käyttäjät ja kunnossapitohenkilökunta, koska heillä on ajankohtainen ja realistinen tieto ilmenevistä vioista, sekä niiden vaatimista korjaavista toimenpiteistä. (Mikkonen ym. 2009, 153-154.) VVA- analyysistä käy-

tettava englanninkielinen termi on FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) (Mäki 19.10.2016).

Vikaantumisen määrittämisellä ja VVA- analyysin keskeisenä tarkoituksena on tuottaa vastauksia aiemmin esitellyn RCM- prosessin portaisiin kolme ja neljä. Analyysiä voidaan kuitenkin käyttää RCM- prosessista irrotettunakin, mikäli halutaan keventää menettelyä. Analyysissä voidaan myös tarvittaessa mennä juurisyytä etsiessä komponentitasolle. Tällöin on mahdollista saada todella tarkat tiedot kunnossapidon käytettäväksi. (Mikkonen ym. 2009, 153, 156.)

3.2.4 Kunnonvalvonta osana prosessia

Kunnonvalvonta vaatii toimiakseen oikeat menetelmät, jotta laitteiden todennäköiset viat ja niiden kehittyminen kyetään havaitsemaan. Havaitseminen edellyttää myös, että laitteen vikaantumismallit tunnetaan. Mitä paremmin laitteille on saatu määritettyä vikaantumismekanismit, sen paremmin sen kunnonvalvontaan kyetään kohdistamaan oikeat menetelmät. Laitteen kunnon arviointi on mahdollista kun:

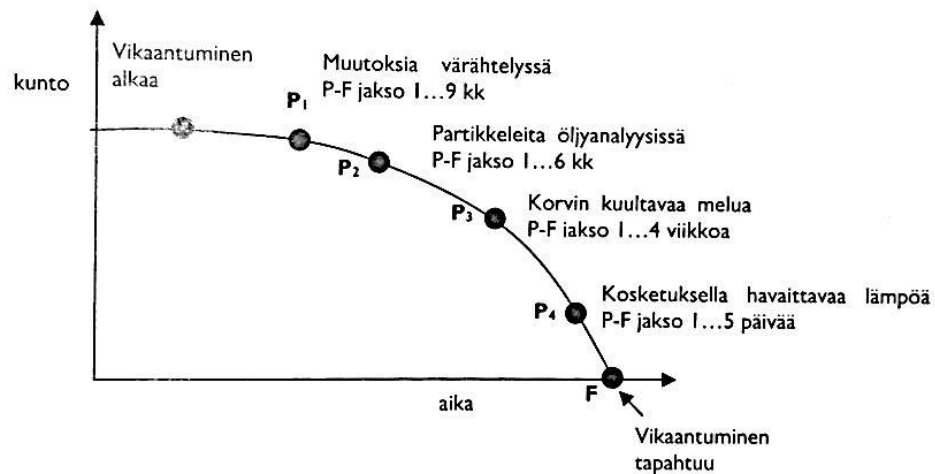
- Voidaan havaita oire tai mitata raja-arvo ennen vikaantumista
- Vikaantumisen toteutumisesta rikkoutumiseen on riittävän pitkä aika
- Vikaantumismekanismi tunnetaan ja vian kehitystä kyetään seuraamaan
- Mittaukset tai tarkastukset on mahdollista toteuttaa tiheästi tarvittaessa

(Mikkonen ym. 2009, 140.)

Vikaantumista voidaan kuvata PF- käyrällä, jossa pisteessä P vikaantuminen on havaittavissa jollain kunnonvalvontamenetelmällä ja pisteessä F laite menettää toimintakykynsä suunniteltuun toimenpiteeseen. Pisteiden välisen jakson pituus on riippuvainen valvontamenetelmistä, sekä valvonnan suoritustaajuudesta. Kuvassa 9 on kuvattuna vierintälaakerin PF- käyrä. PF- käyrä toimiikin kuntoon perustuvan kunnossapidon suunnittelun pohjana. (Mikkonen ym. 2009, 140 – 141.)

Kaikkien laitteiden ja niiden vikamuotojen ollessa tiedossa, voidaan niille mallintaa PF- käyrät ja valita oikea valvontamenetelmä, jotta täyden toimintakyvyn palauttamiseen jää tarpeeksi aikaa. Tutkitusti suuri osa vikaantumisesta on jossain määrin satunnaista ja ei ole aukottomasti estettävissä kunnonvalvonnasta seuraavilla toimenpiteillä. (Mik-

konen ym. 2009, 140 – 141.) Tästä syystä kunnonvalvonta kannattaa keskittää aluksi kriittisimpiin kohteisiin ja lähteä sen kautta vähentämään vikaantumista.



Kuva 9. Erään vierintälaakerin PF- käyrä (Mikkonen ym. 2009, 141).

Kunnonvalvonnan toteutus

Käytettävät kunnonvalvontamenetelmät ja tutkittavat suureet määräytyvät vikaantuvan komponentin ja sen vikaantumisprosessin perusteella. Laitteen nykykunnosta ja mahdollisesta alkavasta vikaantumisesta saadaan yleensä värähtelyn, poikkeavan lämpötilan, visuaalisen tarkastuksen, sähköteknisten mittausten tai kohteen öljyn analysoinnilla luotettavasti tuloksia. (Mikkonen ym. 2009, 162.) Soveltamalla useita valvontamenetelmiä säännöllisesti yhteen kohteeseen, saavutetaan suurin luotettavuus.

Kunnonvalvontaa toteutettaessa on laitekohtaisen kriittisyyden huomioimisen lisäksi tärkeää huomioida sovellettavien menetelmien sopivuus teknisestä näkökulmasta ja käyttöön otettavien menetelmien monipuolisuus. Valvonnan yksityiskohtaisuutta ja valvontataajuutta on kriittisyyden perusteella myös muistettava suunnitella aina taloudellisesta näkökulmasta. (Mikkonen ym. 2009, 162 – 163.) Kunnonvalvonnan voidaan karkeasti arvioida olevan taloudellista siinä tapauksessa, että sen kustannukset ovat pienemmät, kuin laitteen vaurioitumisesta ja tuotannon menetyksestä aiheutuvat kustannukset.

Mittauksia voidaan suorittaa kunnonvalvonnassa jatkuvasti erilaisilla online järjestelmillä ja määräaikaikaisilla, tai satunnaisilla tarkistuskierroksilla. Valvottavien kohteiden ja käytettävien menetelmien valinnan jälkeen on huomioitava suunnittelussa lisäksi raja-

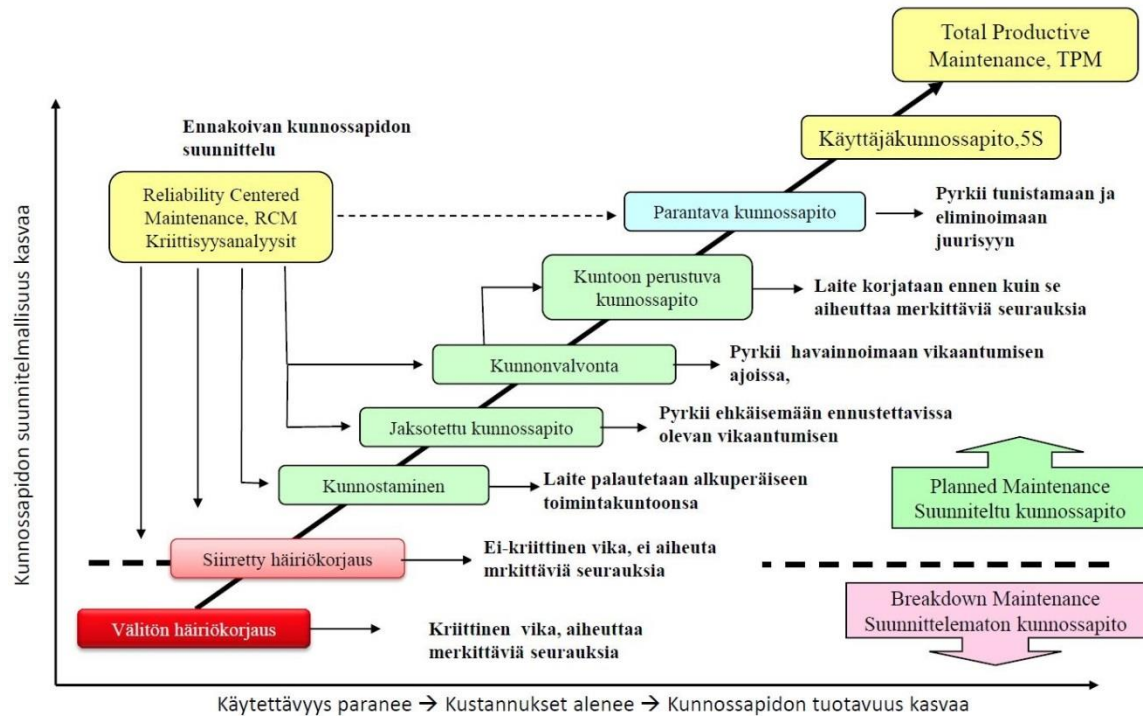
arvojen määrittäminen mitattaville suureille, jotta havaintojen perusteella voidaan määrittää oikeat toimenpiteet. Raja-arvot yleisesti määritetään varoitusta, hälytystä ja vauriorajaa varten. Raja-arvon pelkän ylittymisen lisäksi voidaan verrata arvoa aiempiin tilastoituksiin arvoihin ja suuren poikkeaman perusteella tehdä hälytys, tai arvon nopeasti kasvavan trendin perusteella hälyttää ennakoivasti. (Mikkonen ym. 2009, 162, 164.)

Mittaustuloksista on muistettava myös huomioida, ovatko ne kaikissa tilanteissa valideja. Esimerkiksi olosuhteiden tai kuormituksen muutokset voivat vaikuttaa joissain menetelmissä tuloksiin huomattavasti. Luotettavan mittaustuloksen saamiseksi mitausolosuhteiden tulee olla aina mahdollisimman tarkalleen vastaavat, kuin olosuhteet, joille raja-arvot on määritetty. (Kuusela 29.10.2016.)

Online kunnonvalvonnassa tilastointi ja seuranta on helppo toteuttaa automaattisesti, mutta fyysisten mittausten kanssa vastaava seuranta vaatii toimivaa raportointia mittauksista. Raportoitujen tulosten tulee olla helposti saatavilla käytettävästä toiminnanohjausjärjestelmästä, jotta niiden perusteella voidaan viiveettömästi suorittaa tarvittavat toimenpiteet. Aukottoman raportoinnin avulla tuloksia voidaan hyödyntää tehtävään tilastointiin ja seurantaan vastaavasti kuin online menetelmillä. (Kuusela 29.10.2016.)

3.2.5 TPM

TPM (Total productive maintenance) eli tuottava kunnossapito, on yläkäsite, joka sisältää kokonaisuudessaan kaiken tuottavuuteen tähtäävän kunnossapitotoiminnan. TPM filosofiassa keskitytään tuotantolaitteiston kunnon optimointiin, joka johtaa tuottavuuteen. Keskeistä on myös koko yrityksen henkilöstön sitoutuminen toimintaan, eli kunnossapito ei yksin tuota kokonaisuutta, vaan siihen osallistuu omalta osaltaan jokainen työntekijä. Kuvassa 10. on hahmotettu koko kunnossapito kokonaisuuden koostuminen, mihin on liitetty käyttäjäkunnossapito, sekä siihen liittyvä 5S toiminta. Olennaisinta on ymmärtää kunnossapitolajien liittyminen kokonaisuudeksi ja kunnossapidon tuottavuuden muodostavien toimien painoarvo koko toiminnassa. Toisin sanoen, TPM filosofian mukainen optimoidun tehokas ja tuottava toiminta ei ole mahdollista, mikäli yksikin sen osa-alue ei toimi. (Mäki 20.10.2016.)



Kuva 10. TPM (Mäki 2016).

4 SOVELLETTAVAT KUNNONVALVONTAMENETELMÄT

Tässä luvussa käsitellään kunnossapidon prosessiin liittyvistä kunnonvalvonnan sovelluksista hydraulioöljystä tehtävät mittaukset, sekä kokonaisvärähtelymittaus. Molempia sovelluksia myös testataan käytännössä tehtaalla. Värähtelymittauksen teoriaperusta käsitellään hyvinkin rajatusti, koska aihealue on erittäin laaja. Menetelmiin liittyvillä sovelluksilla on tarkoitus täydentää jo säännöllisessä käytössä olevien lämpötilojen mittaukseen ja fyysisiin tarkistuksiin perustuvan kunnonvalvonnan prosessia.

4.1 Öljyn puhtaus ja kunnonvalvonta

Hydrauliikassa öljyn pääasiallinen tehtävä on siirtää tehoa, mutta se toimii samalla myös voitelevana elementtinä.

Öllyvoitelu sovelluksissa voitelukalvo on tyypillisesti erittäin ohut, paksuudeltaan vain 0,3µm - 2µm. Tästä johtuen sovellukset ovat herkkiä epäpuhtauksille, jotka aiheuttavat voitelukalvon paikallisen rikkoutumisen, eli aiheuttavat kulumaa. (Promaint 2013, 109.)

Taloudellisinta onkin estää likapartikkelien joutuminen järjestelmiin. Koska järjestelmään joutuu kuitenkin partikkeleita jollakin aikavälillä sen ulkopuolelta, tai järjestelmän kulumisen seurauksena, on kunnonvalvonnalla hyödyllistä tutkia säännöllisesti hydraulijärjestelmien öljyn puhtausluokka ja vesipitoisuus. Tarvittaessa voidaan ottaa pulonäyte tarkempaa analysointia varten, minkä avulla voidaan määrittää öljyn kunto ja järjestelmään joutuneiden likapartikkelien lähde. (Kuusela 29.10.2016.)

Öljyn epäpuhtaudet ovat tyypillisesti peräisin voideltavan kohteen kulumismetalleista, järjestelmän maalatuista pinnoista, valmistuksesta ja asennuksesta, tiivisteistä, itse voiteluöljystä, tai usein järjestelmän ulkopuolelta. Tehokkaimmin öljy pysyy puhtaana, kun säiliön ilmansuodatus- ja järjestelmän tiivisteet ovat kunnossa, sekä järjestelmän toimintatila on puhdas. (Promaint 2013, 111.)

Tehdasolosuhteissa usein järjestelmät ovat alttiina jatkuvalla likakuormitukselle, milloin käynnin ja ennen kaikkea huoltojen aikana partikkelien joutuminen öljyn sekaan on todennäköisempää (Kuusela 29.10.2016).

4.1.1 Öljyn puhtausluokat ja epäpuhtaudet

Öljyn puhtausluokka voidaan määrittää usean eri standardin mukaan, joista kansainvälisesti käytetty ISO 4406:1999 on tarkoitettu hydraulinesteille. Standardi kertoo kumulatiivisesti laskien kolmessa kokoluokassa partikkelimäärät öljyssä. Partikkelien kokoluokat ovat $>4\mu\text{m}(c)$, $>6\mu\text{m}(c)$ ja $>14\mu\text{m}(c)$. Kumilatiivisuudella tarkoitetaan partikkelien laskennassa sitä, että edellinen kokoluokka, esimerkiksi $4\mu\text{m}(c)$, sisältää myös sitä suurempien kokoluokkien partikkelimäärät. Kokoluokkamerkinnän perässä oleva merkintä (c) tarkoittaa, että partikkelimäärät on laskettu automaattisella hiukkaslaskimella, joka vastaa ISO 11500 –standardia ja se on kalibroitu ISO 11171 –standardin mukaisesti. Standardin ISO 11171 mukainen kalibrointi tarkoittaa, että laskin laskee hiukkasen pinta-alan ja ilmoittaa sen koon pinta-alaa vastaavan ympyrän halkaisijana. (Promaint 2013, 117-118.)

Automaattisia laskureita käytettäessä puhtausluokan kertovan koodin rakenne on kolmiosainen, jossa kukin kauttaviivoilla toisistaan erotettu luku kertoo partikkelimäärät alkaen pienimmästä suurimpaan. Tarkasteltava näytetilavuus on yksi millilitra. ISO 4406:1999 puhtausluokan koodi ja sen määritystaulukko kuvassa 11. Mikäli partikkelimäärien määrittäminen tapahtuu mikroskoopilla manuaalisesti, käytetään silloin ISO 4407:1991 –standardin mukaista kahden kokoluokan laskentatapaa. Kokoluokat ovat $>5\mu\text{m}$ ja $15\mu\text{m}$, joiden partikkelimäärät tulkitaan yhtäläillä kuvan 11 taulukosta, ilmoittamalla puhtausluokkakoodi kaksiosaisena. (Promaint 2013, 118-119.)

ISO Code (acc. to ISO 4406)	Number of particles/100ml	
	from	up to
5	16	32
6	32	64
7	64	130
8	130	250
9	250	500
10	500	1000
11	1000	2000
12	2000	4000
13	4000	8000
14	8000	16000
15	16000	32000
16	32000	64000
17	64000	130000
18	130000	260000
19	260000	500000
20	500000	1000000
21	1000000	2000000
22	2000000	4000000
23	4000000	8000000
24	8000000	16000000
25	16000000	32000000
26	32000000	64000000
27	64000000	130000000
28	130000000	250000000

21 / 18 / 15
>4µm_(c) >6µm_(c) >14µm_(c)

Kuva 11. Öljyn puhtausluokat ISO 4406:1999 mukaan (Hydac 2007, 10).

Jotta öljyn puhtausluokan määrittämisestä olisi hyötyä, tulee tuntea mitattavan järjestelmän puhtausvaatimukset. Yleisenä puhtausvaatimuksien mitoitusperusteena voidaan pitää järjestelmän puhtainta öljyä vaativaa, toisin sanoen kriittisintä komponenttia. Erilaisille hydraulisille komponenteille on määritetty ISO 4406:1999 standardissa käytöpainesta riippuvainen tavoitepuhtausluokka. Käytännössä järjestelmän puhtaus kannattaa mitoittaa yhtä puhtausluokkaa puhtaammaksi, jolloin haitalliseen likaantumiseen on suurempi toleranssi ongelmatilanteissa. Kuvassa 12 esitetyssä taulukossa voidaan nähdä suosituspuhtausluokat eri komponenteille. (Hydac 2007, 11.)

Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että öljyn puhtaus on erittäin hyvällä tasolla, jos se on puhtaudeltaan 16/13/10. Huomioitava on, että puhtausluokan määrittäminen itsessään ei kerro öljyn kunnosta mitään. Puhtausluokan määrittäminen avulla onkin pääosin tarkoitus peilata järjestelmän kokonaiskuntoa, arvioida käytettävissä oleva käyntiaika, sekä määrittää seuraavan huollon sisältö ja ajankohta. (Kuusela 29.10.2016.)

Pumput ja moottorit:	Matala ja keskipainejärjestelmät < 140 bar	
	ISO 4406:1999 Tavoitepuhtaus	Suodatustarkkuus µm
Hammaspyörä tai siipi	20/18/15	20
Mäntä pumppu	19/17/14	10
Siippumppu, säätävä	18/16/13	5
Mäntäpumppu, säätävä	18/16/13	5
Käytöt		
Sylinterit	20/18/15	20
Hydrostaattinen voimansiirto	16/15/12	3
Testipenkit	15/13/10	3 (2)
Venttiilit		
Vastaventtiili	20/18/15	20
Suuntaventtiili	20/18/15	20
Virransäätöventtiili	20/18/15	20
Istukkaventtiili	19/17/14	10
Proportionaaliventtiili	17/15/12	3
Servoventtiili	16/14/12	3 (2)
Laakerit		
Liukulaakeri	18/15/12	10
Vaihdelaatikko	17/15/12	10
Kuulalaakeri	15/13/10	3
Rullalaakeri	16/14/11	5

Kuva 12. Puhtausvaatimukset (Hydac 2007, 11).

Muut epäpuhtaudet

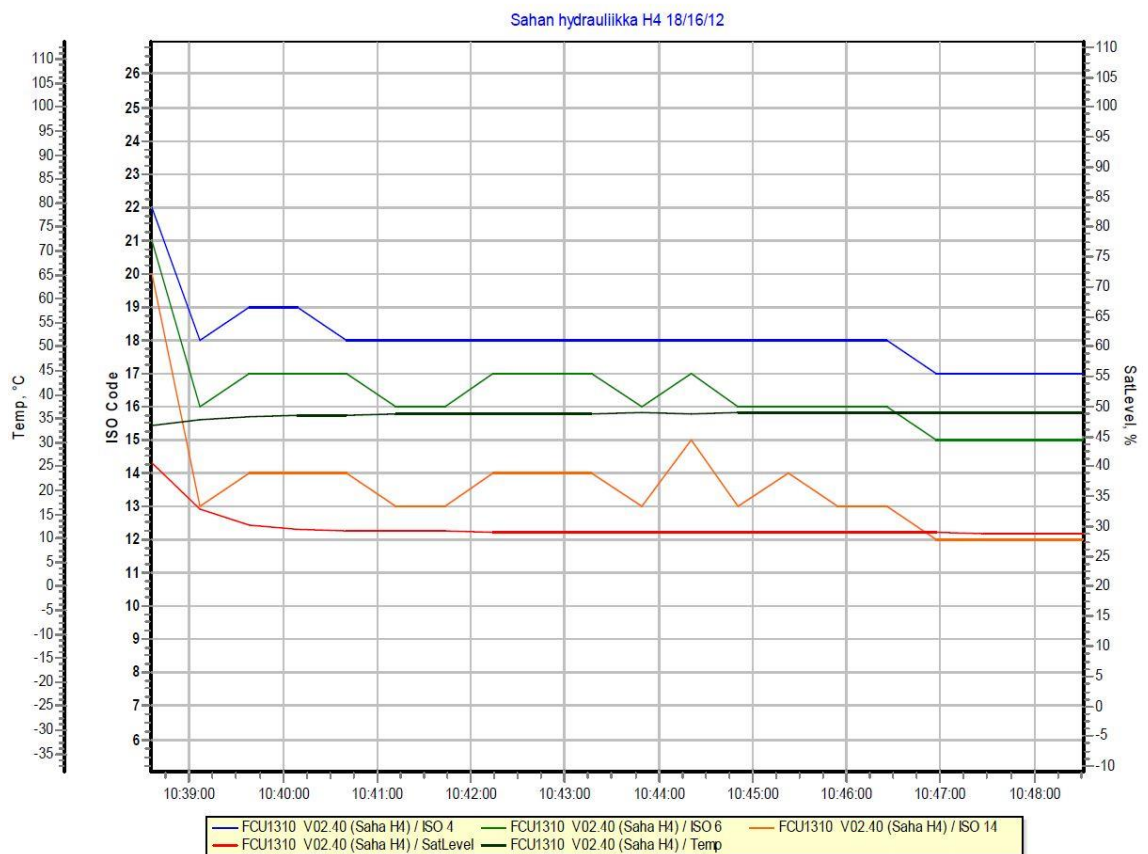
Öljyssä voi esiintyä kiinteiden partikkelien lisäksi muita epäpuhtauksia, kuten vettä, ilmaa, tai muita kemikaaleja. Vesipitoisuus öljyssä on yleinen ongelma ja se voi ilmetä monella eri tavalla. Vesi voi olla öljyssä liuenneena, vapaana tai emulgoituneena. (Promaint 2013, 126.)

Vesi voi aiheuttaa järjestelmissä tyypillisesti, korroosiota, kavitointia, hapettumista tai suodatettavuuden heikkenemistä. Yleistetyti edellä mainitut tapahtumat johtavat järjestelmän ennen aikaiseen kulumiseen tai vaurioitumiseen. Esimerkiksi vierintälaakereiden elinikä putoaa alle puoleen, kun vesipitoisuus ylittää öljyssä 0.5 %. Silmämääräisestäikin öljyn vesipitoisuuden voi havaita samentumana, kun vesipitoisuus ylittää 0,05 %.(Promaint 2013, 126-130, 167.)

Silmämääräinen vesipitoisuuden toteaminen ei ole kuitenkaan luotettava keino tarkempaan havainnointiin, vaan veden määrä öljyssä määritetään yleensä mittaamalla kahdella eri tavalla. Ensimmäinen keino on ottaa pullonäyte käytettävästä öljystä ja määrittää siitä laboratorioissa veden absoluuttinen ppm pitoisuus öljystä. Pullonäytteen ottoa kustannustehokkaampi keino on kuitenkin mitata järjestelmästä veden pitoisuus prosentteina öljyn saturaatiopisteestä kannettavilla mittalaitteilla. Saturaatiopisteessä öljyyn itseensä ei enää sitoudu enempää vettä, vaan sen ylittävä määrä pisaroituu öljyn

joukkoon, eli toisin sanoen seos on kylläinen. Saturaatiopisteen alapuolella vesi on siis sitoutunut öljymolekyyliin ja sen pitoisuus on silloin niin pieni, ettei siitä ole välitöntä haittaa järjestelmän toiminnalle. Huomioitavaa on, että saturaatiopiste vaihtelee öljyn iän, laadun ja lämpötilan mukaan. Järjestelmän öljyä voidaan pitää riittävän kuivana kun sen suhteellinen kosteus on 25 – 60 % saturaatiopisteestä. Tällöin reagoinnille jää riittävä turvamarginaali. (Kuusela 29.10.2016.)

Kuvassa 13 on esitettyä öljyn puhtausmittauksesta saatava mittausdata tehtaalla suoritusta aiemmasta mittauksesta, missä eri hiukkaskoot, lämpötila ja suhteellinen kosteus ovat eriteltyinä.



Kuva 13. Öljyn puhtausmittaus (Kuusela 2016).

4.1.2 Öljyn kunnonvalvonta

Perinteinen keino öljyn kunnon määrittämiseen on uuden ja käytössä olleen öljyn värin vertaaminen. Öljyä käytettäessä pitkään, siihen kertyy partikkeleita ja muita epäpuhauksia. Myös öljyn lisäaineistuksen ja itse öljyn ominaisuudet heikkenevät. Edellä mainitut muutokset johtavat öljyn värin samenemiseen, mistä voidaan silmämääräisesti jo todeta öljynvaihhtarve. Öljyn visuaalisesti nähtävät kuntoerot on esitetty kuvassa 14. (Kuusela 29.10.2016.)



Kuva 14. Silmin erottuvat öljynlaadun erot (Virolainen 2013).

Tarkempi öljyn kunnonvalvonta voidaan toteuttaa ottamalla esimerkiksi hydraulijärjestelmän säiliöstä öljynäyte näytteenottopulloon tarkempaa laboratorioanalysointia varten. Analysoinnissa öljystä voidaan todeta sen perusominaisuudet, tehdä hiukkasanalyysi ja analysoida kulumametallit. Analysointi on ainoa keino saada öljyn ominaisuuksista luotettavasti tietoa, esimerkiksi lisäaineistuksesta saadaan tarkat pitoisuudet, joiden avulla voidaan verrata jäljellä olevia ominaisuuksia uuteen öljyyn. Pienikokoisissa järjestelmissä usein kuitenkin riittävä tieto öljyn kunnosta saadaan puhtausmittauksella ja silmämääräisellä tarkistuksella, vaikka varsinainen järjestelmän kunto jääkin osittain selvittämättä. Järjestelmän tilavuuden kasvaessa, on kustannustehokkaampaa analysoida näytteitä, minkä avulla voidaan saavuttaa öljylle maksimaalinen käyttöikä. (Promaint 2013, 163-173.)

Pienienkin järjestelmien osalta hiukkasten ja kulumametallien analysoinnista on hyötyä, sillä niiden avulla pystytään määrittämään kohteiden kuluneisuutta, likaantumisen lähdettä ja arvioida seuraava vikaantuva kohde. Hiukkasten muodosta esimerkiksi voidaan päätellä kulumien laatua ja määrää eri kohteissa. Kuvassa 15 on esitettyä erilaisista kulumisesta muodostuvia hiukkastyyppejä. (Promaint 2013, 167-173.)

Kulumametallianalyysillä voidaan vielä tarkemmin arvioida järjestelmän komponenttien kulumista, kun käytettävien komponenttien mallit ovat tiedossa. Esimerkiksi kohonnut messinkipitoisuus hydraulijärjestelmässä voi viitata tietyillä pumpputyypeillä kulumaan ja kohonnut kromipitoisuus sylinterien varsien kulmaan. Analysoinnista saatava esimerkkiraportti liitteenä 3. Pullonäytteen ottamisella saatavien tulosten perusteella voidaan suunnitella järjestelmiin parantavaa kunnossapitoa, sekä voidaan varmuudella ajoittaa ajoissa useiden komponenttien vaihdot. (Kuusela 29.10.2016.)

 <p>1 Hiontakulumishiukkaset</p> <p>hiutalemainen sileä pinta 0,5 – 5 µm</p>	 <p>2 Leikkautumiskulumishiukkaset</p> <p>spiraalimaisia mukana hiekkaa ym. 25 – 100 µm</p>
 <p>3 Pallomaiset kulumishiukkaset</p> <p>pallomaisia laakerin väsyminen 1 – 5 µm</p>	 <p>4 Levymäiset kulumishiukkaset</p> <p>karkea pinta ja reuna hammaspyörien väsyminen yli 20 µm</p>
 <p>5 Voimakkaan kulumisen hiukkaset</p> <p>terävät kulmat uurteisia yli 20 µm</p>	<p>6 Muut hiukkaset</p>  <p>hiekkä polymeerit ruoste</p>

Kuva 15. Kulumahiukkasien malleja (Promaint 2013, 170).

4.1.3 Öljyn suodatus

Öljyn suodatuksen voidaan katsoa olevan järjestelmissä aina tarpeellista. Uusikaan toimitettava öljy ei ole koskaan täydellisen puhdasta, vaan sen puhtausluokka vaihtelee tyypillisesti 22/21/18 ja 19/18/15 välillä toimitustavasta riippuen. (Promaint 2013, 113.)

Kuvan 12 taulukossa puhtausluokkien lisäksi on esitetty niille ohjeelliset suodatusvaatimukset. Suodatus voidaan järjestää hydraulijärjestelmässä kuudella eri tavalla. Öljyn suodatus on tyypillisesti toteutettu järjestelmissä painesuodatuksena, paluukierron suodatuksena, tai sivuvirtauksen suodatuksena. Järjestelmän säiliön huohotusilma tulee myös erottaa ilmansuodattimella ympäröivästä ilmasta. Lisäksi voidaan asentaa lisäsuodattimia ennen herkimpiä komponentteja. Kokoamisvaiheessa tai huoltojen yhteydessä voidaan käyttää myös erillistä kierrättävää huuhtelusuodatusta. (Promaint 2013, 142-143.)

Suodatustavan lisäksi öljyn puhtauteen vaikuttavat ennen kaikkea käytettävät suodattimet. Tyypillinen suodatin on lasikuidusta, paperista ja metalliverkosta koostuva kerroksille laskostettu reikäputkella tuettu patruuna. Vaikka suodattimien suodatuskyvystä puhuttaessa käytetään termiä absoluuttisuodatin, eivät kaikki ilmoitettua suodatustarkkuutta suuremmat hiukkaset ole kadonneet öljystä yhden suodatuksen jälkeen. Suodattimien absoluuttilukeman suodatustehon saavuttamiseksi öljyn on kierrettävä suodattimen läpi useita kertoja, mikä tulee huomioida esimerkiksi uutta öljyä lisättäessä. (Promaint 2013, 145-147.) Suositeltavaa onkin, että uusikin öljy lisätessä kiertää erillisen, järjestelmän omaa suodatusta kertaluokkaa tarkemman suodatuksen läpi. Suodattimia järjestelmään valittaessa on ehdottomasti varottava halpoja suodattimia, sillä niiden ominaisuudet poikkeavat merkkivalmistajien suodattimista huomattavasti. Halvat suodattimet voivat luhistua yllättäen käynnistyksessä syntyvästä paine-erosta, eikä niiden suodatusteho ole yhtä hyvä. (Kuusela 29.10.2016.)

4.1.4 Toimenpiteet tehtaalla

Tehtaalla suoritettavissa mittauksissa voidaan todeta olevan taloudellisesti järkevintä keskittyä tarkkailemaan kaikkien hydraulijärjestelmien ja tiettyjen vaihteistojen öljyn puhtautta. Saatujen puhtaustulosten perusteella voidaan arvioida suhteellisesti suuremmissa kohteissa tarkemman analysoinnin tarvetta. Tarkempi analysointi olisi kuitenkin kannattava teettää järjestelmiin pitkällä aikavälillä, mikäli halutaan todeta kulutuksen tarkka tilanne. Liitteenä 3 on tehtaalta H1 linjalta otettu testimittaus öljyn laadusta, mistä käyvät tarkemman analysoinnin tulokset ilmi.

Tehtaalla on suoritettu aiemmin jo öljyn puhtausmittauksia, mutta niiden kattavuus ei ole ollut 100 % ja toistuvuus satunnaisempaa. Mittauksille onkin ensiarvoisen tärkeää saada säännönmukainen aikataulu, jotta mittauksista saadaan maksimaalinen hyöty irti. Järkevintä olisi tarkistaa järjestelmät kahdesti vuodessa, jolloin mittaustuloksien kehittymisestä voidaan piirtää kehitystä ennustavaa kuvaajaa. Säännöllisten mittaustulosten tulisi johtaa myös tehtaalla normaaleihin seisokkeihin ajoitettaviin huoltotoimenpiteisiin. Lisäksi tehtaan hankinnan tulisi varmistaa käytettävien suodattimien laatu, sillä yksikin rikkoutunut suodatin tekee kunnonvalvonnasta turhaa.

Tehtaalla mittausten toteuttamiselle tulisi varata normaaleiden viikkoseisokkien yhteyteen aikaa. Mittauskierrosten tulisi tapahtua huhti - toukokuussa keväällä, sekä marras – joulukuun vaihteessa loppuvuodesta. Tällöin tulosten saamisen jälkeen jää tarpeeksi

aikaa huoltotoimenpiteiden suunnitteluun ja niiden toteutus talviloma ja kesäseisokkien aikana on mahdollista. Kalenterista voitaisiin valita kiinteät viikot mittauksille, jolloin voitaisiin sopia niitä tekevän yhteistyökumppanin kanssa aikataulu vuosittain etukäteen ilman erillistä suunnittelua. Mittaussykliä voidaan myös tarvittaessa tihentää, mikäli tarvetta ilmenee. Kuitenkin kahdesti vuodessa tapahtuvien puhtausmittausten pitäisi antaa kohtalaisen kattava kuva järjestelmän kunnosta, jos voidaan olettaa, että suodatus ja muut perusasiat ovat kunnossa. Myös pullonäytteiden ottamista järjestelmistä tulisi kokeilla ja tulosten perusteella säännöllistää. Ensimmäisenä toimenpiteenä järkevintä olisikin ottaa jokaisen tuotantolinjan isoimmasta koneikosta pullonäytteet ja niistä saatavien tulosten perusteella suunnitella näytteidenoton taajuus ja kattavuus. Näytteidenotto ja niiden taajuus tulisi tarkastella laitteiden kriittisyyden kautta, mutta kunnonvalvonnan ylösajon aikana kannattavinta on pyrkiä kokonaisvaltaisesti estämään vikaantumista ja saatujen tulosten perustella optimoida toimintaa.

Mittauksia ei ole kannattava ottaa oman kunnossapidon tehtäväksi, sillä siihen vaadittavan laitteiston takaisinmaksuaika on pitkä ja sen käyttö vaatii koulutusta. Järkevintä olisikin, että hydraulikkojen kanssa kaikki toiminta keskitettäisiin yhdelle yhteistyökumppanille, eli he toimittaisivat suodattimet, tekisivät huollot ja mittaukset, koska nykyisellä toimintamallilla kunnossapidolla ei ole omia resursseja toteuttaa toimintaa kokonaisvaltaisesti. Myös tähän asti hyvin yhteistyökumppanin kanssa toiminutta parantavaa kunnossapitoa on kannattava jatkaa, sillä esimerkiksi suodatuksen ja lämmönhallinnan muutostöiden mitoittamiseen ei oman kunnossapidon ammattitaito ole aukottoman riittävä. Parantavan kunnossapidon kanssa tulee edetä kriittisyyden, mittaustulosten ja vikaantumistaajuuden perusteella. Järkevintä olisi tehdä parannuksille vuosittainen aikataulu, joka johtaisi järjestelmien jatkuvaan kehitykseen toimintavarmuuden kannalta. Taloudellisesti kehitystyö maksaa itsensä nopeasti takaisin, sillä muutosten kustannukset suhteessa vikaantumisen aiheuttamaan tuotantomenetykseen ovat todella pienet.

Pelkkien öljynpuhtauteen ja kuntoon keskittyvien mittausten lisäksi jokaiselle mittauskohteelle tulisi määrittää erikseen tapahtuva visuaalinen tarkastus mittausten väliselle ajankohdalle, jotta kunnonvalvonta olisi kattavampaa. Tarkastukseen olisi hyödyllistä yhdistää dokumentoitava lämpötilan mittaus, sillä kohonnut lämpötila liittyy poikkeavaan toimintaan. Paras mahdollisuus olisi saada järjestelmiin jatkuva online lämmön ja paineen mittaus, mikä mahdollistaisi yllättävien tapahtumien ennakoinnin vieläkin paremmin. Jatkuvan mittauksen ja tiedonkeruun avulla pystyttäisiin raja-arvojen ja kes-

kiarvojen ylittymisen perusteella luotettavasti seuraamaan tilannetta, mikä antaisi huomattavasti lisää reagointiaikaa korjaaviin toimenpiteisiin, mikä vähentäisi välittömiä vikakorjauksia.

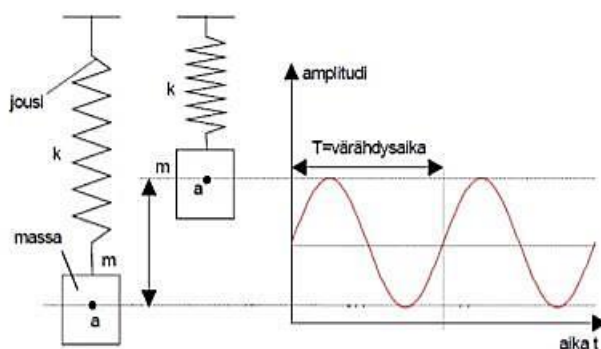
4.2 Värähtelymittaus

Kunnonvalvonnassa yksi eniten yleisesti käytetty menetelmä on värähtelymittaus. Yleisesti värähtelymittaus mittaa kohteen mekaanista värähtelyä, jota on jollain tasolla havaittavissa kaikissa laitteissa, joissa on pyöriviä komponentteja. Niitä dynaamisia voimia, jotka saavat rakenteen värisemään, kutsutaan herätteiksi. Herätteitä syntyy normaalin toiminnan ohella esimerkiksi vikaantumisen, epätasapainosta tai asennusten epätarkkuuksista. Mittausten perusteella tapahtuva vikaantumisen havainnointi perustuu herätteiden ja niiden muutosten selvittämiseen. (Mikkonen ym. 2009, 224.)

Pyöriviin kappaleisiin suoraan värähtelymittaus on vaikea toteuttaa, joten mittaus toteutetaan yleisesti rungosta mahdollisimman läheltä kohdetta johon värähtely johtuu, esimerkiksi mahdollisimman läheltä laakeripesää (Koskinen 2015, 20).

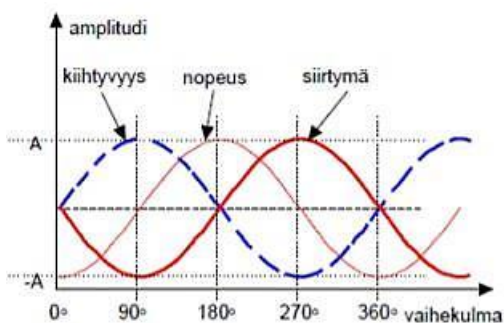
4.2.1 Värähtelyn peruskäsitteitä

Värähteleviä laitteita voidaan kuvata jousi-massasysteemin avulla, joka on hahmotettu kuvassa 16. Kuvatun kaltaisessa systeemissä, jossa ulkoisia vaikuttavia voimia ei ole, tuottaa systeemi harmonista värähtelyä, eli sen liike on jaksottaista. Käytännössä mitattavissa kohteissa vaikuttaa systeemiin jokin ulkoinen voima, jolloin puhutaan pakkovärähtelysysteemistä. Pakkoverähtelysysteemissä ulkoisena voimana voi toimia esimerkiksi pyörivän kappaleen pyörimisakselilta poikkeava painopiste. Kuvassa 16 esitetyssä aika * amplitudi kordinaatistossa värähtelevä massa liikkuu yhden värähdysliikkeen aikana maksimi ja minimiasemaansa muodostaen sinimutoisen käyrän kordinaatistoon. Sinimuotoista käyrää kutsutaan aikatasosignaaliksi. Värähtelyä mitattaessa anturi muuttaa massan mekaanisen liikkeen sähköiseksi aikatasosignaaliksi. Aikatasosignaali voi olla sisällöltään siirtymää, nopeutta tai kiihtyvyyttä. (Mikkonen ym. 2009, 181.)



Kuva 16. Jousi-massasysteemi (Koskinen 2015, 20).

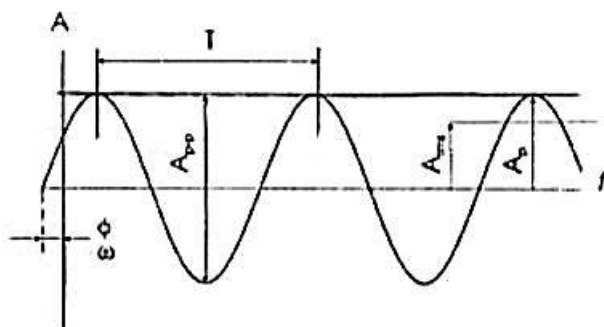
Yleisesti mittaussuurena kunnonvalvonnassa käytetään värähtelynopeutta, jonka lisäksi voidaan käyttää nopeutta tai siirtymää. Tarkasteltaessa jousi-massasysteemin käyttäytymistä edellä mainituilla suureilla, havaitaan kuvan 17 kordinaatistosta, että ne noudattavat kaikki vastaavia käyriä, mutta käyrien välillä on 90 asteen vaihe-ero. Tämä tarkoittaa, että tunnettaessa yksi suure, voidaan sen perusteella laskennallisesti määrittää muut kuvatut suureet. Tämä mahdollistaa sen, että voidaan käyttää kohteiden vaatimusten mukaan erilaisia mittausmenetelmiä. (Mikkonen ym. 2009, 227-229.)



Kuva 17. Kiihtyvyyden, siirtymän ja nopeuden yhteys (Koskinen 2015, 23).

Mitattava suure riippuu keskeisesti mitattavasta kohteesta ja tarkemmin sen tuottaman värähtelyn taajuusalueesta. Yleisesti nopeutta voidaan mitata 10 – 1000Hz taajuusalueella, kun taas siirtymää on helpompi havainnoida matalilla taajuuksilla. Kiihtyvyys soveltuu parhaiten korkeiden taajuuksien tarkasteluun. (Mikkonen ym. 2009, 228-229.)

Mitattavien suureitten lisäksi värähtelyyn liittyy muitakin perusparametreja, joiden avulla mitatusta aikatasosignaalista saadaan tuotettua enemmän informaatiota. Kuvassa 18 on esitetty keskeisimpien perusparametrien liittyminen aikatasosignaaliin. (Mikkonen ym. 2009, 231.)



Kuva 18. Mittausparametrit (Koskinen 2015, 24).

Kuvassa 18 esitetyt suureet:

- T Jakson aika
- A_{p-p} Huipusta huippuun arvo
- A_p Huippuarvo
- A_{rms} Tehollisarvo
- ϕ Vaihekulma

Kuvassa esitetyistä arvoista huipusta huippuun arvo kertoo matkan minimiarvosta maksimiarvoon, joka on noin kaksinkertainen huippuarvoon verrattuna, eli värähtely ei ole aina harmoonista (Mikkonen ym. 2009, 231).

Vaihekulmaa käytetään osoittamaan jakson ajankohdan ero vertailukohtaan, eli sitä voidaan käyttää kuvaamaan suureiden välisiä vaihe eroja (Mikkonen ym. 2009, 231).

Arvoista tehollisarvolla on yhteys värähtelyn sisältämään energiaan. Sitä ei suoraan voida mitata, mutta se saadaan laskennallisesti siniaaltokäyrästä jakamalla huippuarvo $\sqrt{2}$, eli se on noin 0,707 kertaa huippuarvo. (Mikkonen ym. 2009, 231.)

Mikäli halutaan kuvata signaalin piikikkyyttä, puhutaan huippukertoimesta, joka on suhdeluku ja muodostuu jakamalla huippuarvo tehollisarvolla. Korkea huippukerroin viittaa iskumaisiin heräätteisiin, joka voi kertoa esimerkiksi laakeriviasta. (Mikkonen ym. 2009, 231.)

4.2.2 Taajuusspektri

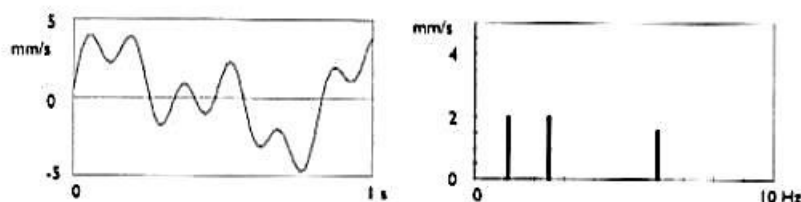
Värähtelyä tarkasteltaessa aikatasosignaalia yleisempi käsite on taajuustasosignaali. Aikatasosignaalin hyödyntäminen vaatisi, että koneen osien värähtely olisi eroteltavissa selkeästi yksittäisiksi komponenteiksi, mikä on käytännön tilanteissa kuitenkin mahdollista. Esitettäessä värähtely aika- taajuuskordinaatistossa voidaan eritellä useista taajuuksista koostuva aikatasosignaali yksinkertaisempaan muotoon. Esitystavan etuna on se, että siitä voidaan havaita suoraan tietyillä taajuusalueilla tapahtuva värähtely, joka voidaan suoraan yhdistää esimerkiksi vioittuneen vierintälaakerin eri osien tuottamiin taajuuksiin. (Mikkonen ym. 2009, 233, 313.)

Perusyksikkönä taajuudelle käytetään SI- järjestelmän mukaista suuretta Hz (Hertsi), joka esitetään jakson ajan kautta lyhenteellä f kaavan 2 mukaisesti, missä f on taajuus ja T jakson aika:

$$f = \frac{1}{T}$$

Kaava 2. Taajuus (Mikkonen ym. 2009 133).

Kuvassa 19 on esitetty usean eri siniaaltoisen signaalin käyttäytyminen taajuustasossa. Taajuustasosignaalista käytetään nimitystä taajuusspektri, joka voidaan laskea aikatasosignaalista FFT (Fast Fourier Transform) muunnoksella. Usein käytetäänkin termiä FFT spektri. FFT Laskennan teoria on monimutkaisempi, mutta nykyiset mitauslaitteistot kykenevät muuntamaan mitatun signaalin suoraan taajuustasoon.



Kuva 19. Useasignaalin aikatasosignaali ja sen muunnos taajuustasoon (Mikkonen ym. 2009, 233).

4.2.3 Kokonaisvärähtely

Koneiden kunnonvalvontaan värähtelymittaus soveltuu hyvin, koska usein värähtelyn muutos indikoi mahdollista vikaantumista. Vaikeutena onkin arvioida koska värähtely on sellaisella tasolla, että kone on huollettava. Siksi eri kansainväliset ja suomalaiset standardit, kuten myös laitevalmistajat määrittelevät laitteille tärinärasituksen raja-arvoja. Raja-arvot ovat kuitenkin kone, ja laitekohtaisia. Hyödyllistä onkin seurata värähtelyn muutoksia ennemmmin, kuin absoluuttisia raja-arvoja. (Mikkonen ym. 2009, 292.)

Värähtelymittaussovelluksista kokonaisvärähtely on yksinkertainen ja mitattavan kohteen kunnosta suuntaa antava menetelmä. Kokonaisvärähtelystä ei voida erotella erillisiä taajuuksia, joten se ei sovellu komponenttikohtaiseen valvontaan kovinkaan hyvin. Suurin hyöty sillä saavutetaan yhdistettynä muihin menetelmiin. (Mikkonen ym. 2009, 292.) Kokonaisvärähtelymittausta voidaankin verrata jossain määrin käsin koettamalla tapahtuvaan mittaukseen, huomioiden kuitenkin anturien suuremman tarkkuuden ja erottelukyvyyn.

Standardissa PSK 5704 esitetään yli 15kW käyttötehoisten, pyörimisnopeudeltaan 120 – 15000RPM koneiden ohjeellisia värähtelytasoja. Standardi perustuu kansainväliseen ISO 10816 -standardiin, joka käsittelee raja-arvoja erilaisille teollisuuden koneille, höyry, ja kaasuturbiineille, sekä mäntäkoneille. (Mikkonen ym. 2009, 292.)

PSK 5704 –standardi määrittelee koneet neljään ryhmään käyttötehon, akselikorkeuden ja -liitosten, sekä alustan jäykkyyden mukaan. Alustaa voidaan pitää jäykkänä, kun sen ominaisvärähtelytaajuus on vähintään 25 % suurempi kuin sen päällä olevan laitteen tyypillisimmän herätteen taajuus. Koneiden luokittelu on seuraava:

1. Suuret koneet, yli 300 kW nimellisteho, akselikorkeus vähintään 315 mm
2. Keskikokoiset koneet, enintään 300 kW nimellisteho, akselikorkeus 160-315 mm
3. Pumput puhaltimet, kompressorit, yli 15 kW, moottorista erillinen käyttöakseli
4. Pumput puhaltimet, kompressorit, yli 15 kW, moottorin kanssa yhteinen käyttöakseli

(PSK 5704 2013, 4.)

Standardi määrittelee myös tärinärasituksen tasot neljään eri ryhmään. Tasojen kokonaisvärinärajat koneluokittain on esitetty kuvassa 20. Tasojen määrittely:

- Uuden käyttöönotetun koneen tärinärasitusalue
- Takuuajan jälkeinen tärinärasitusalue, yläraja voidaan tarkentaa tarvittaessa
- Hälytysalue, alustava vaurioraja, jota voidaan tarkentaa tarvittaessa
- Vaurioalue

(PSK 5704 2013, 5.)

Tärinärasitus Vibration severity V_{rms} (mm/s)	Koneryhmät 2 ja 4 Machine groups 2 and 4		Koneryhmät 1 ja 3 Machine groups 1 and 3	
	Jäykkä Rigid	Joustava Flexible	Jäykkä Rigid	Joustava Flexible
11				D 11,0
10				
9		D	D	C
8				
7		7,1	7,1	7,1
6				
5	D 4,5	C 4,5	C 4,5	B
4				3,5
3	C 2,8	B 2,3	B 2,3	
2	B 1,4			
1		A	A	A

Kuva 20. Kokonaisvärinän rajat ryhmittäin (PSK 5704 2013, 5).

4.2.4 Kokonaisvärinämittauksen toteutus ja jatkotoimenpiteet

Tehtaalla käytössä olevat kokonaisvärinämittauksen testauskohteena olevat sähkökäytöt ovat nimellisteholtaan 250 kW, pyörimisnopeus 994 rpm ja akselikorkeus 355 mm. Käytöt eivät tietojensa puolesta sovi suoraan mihinkään luokkaan, mutta akselikorkeus ylittää luokan 2 rajat, joten käyttöjä tarkastellaan luokassa 1, huolimatta niiden matalammasta nimellistehosta. Pyörimisnopeus käyttöille on nimellinen, koska niitä ohjataan taajuusmuuttajien kautta, joten pyörimisnopeus tulee tarkastella aina mittauksen yhteydessä.

Moottorien teho siirretään kytkimellä eteenpäin käyttöakselille, joka jakaa tehon neljälle vaihteistolle. Jokaisen vaihteiston välissä on kytkin. Vaihteistoista tai linjausvirheistä johtuvaa värinää onkin vaikea erottaa itse moottorin tuottamasta värinästä, joka voi tuoda mittaukseen epätarkkuuksia. Alustan jäykkyyttä ei pystytä luotettavasti toteamaan, mutta se oletetaan jäykäksi, koska moottorissa ilmenevä värinä ei välity alustaan.

Moottoreihin valittiin kokeiltaviksi IFM VTV122 anturit, jotka perustuvat toimintaperiaatteeltaan värähtelyn nopeuden mittaukseen. Anturit tuottavat analogista 4-20 mA standardisignaalia, jonka arvo muunnetaan ohjauslogiikassa tehollisarvoksi. Anturien mitta-alue on 10-1000 Hz ja ne kykenevät mittaamaan tehollisarvoltaan 0-25 mm/s värähtelyä. Erottelutarkkuus on +/- 3% loppuarvosta. Anturien kiinnitys käyttöihin tapahtuu fyysisesti vaarnaruuvilla ja kiinnitys on ohjeistettu tehtäväksi pystysuoraan pyörivään akseliin nähden. Anturien tekniset tiedot esitetty liitteessä 4.

Mittaustieto antureilta menee suoraan linjan logiikalle, mistä kokonaisvärähtelyn määrä nähdään suoraan. Reaaliaikainen värähtelytieto myös tallennetaan, joten pitkäaikainen keskiarvoperusteinen seuranta on mahdollista.

Seurantaan suositellaankin tehtäväksi konekohtaisiin keskiarvoihin perustuvien raja-arvojen määrittämisen kautta. Raja-arvot voidaan määrittää vähintään kymmenen edustavan mittauksen perusteella seuraavasti:

- Huomautusraja = keskiarvo + 3 kertaa keskihajonta
- Varoitusraja = 1,6 kertaa keskiarvo + 2 kertaa keskihajonta
- Vaurioraja = 4 kertaa keskiarvo + 2 kertaa keskihajonta

(Mikkonen ym. 2009, 296.)

Pidempiaikaista seuranta varten logiikkaan luodaan edellä mainittuja rajoja vastaavat rajat testivaiheen aikana kerättyjen mittaustulosten perusteella ja niitä tarkennetaan tarvittaessa myöhemmin.

Tarkentava jatkomittaus

Koska erillisiä taajuuksia ei kokonaisvärähtelymittauksella voi erotella, tulisi asetettujen rajojen ylittyessä kohdetta mitata esimerkiksi kannettavalla taajuusspektriä käyttävällä mittalaitteella, jonka avulla pystyttäisiin tarkemmin erittelemään värinän aiheuttaja. Vaikka toistaiseksi käytössä olevilla mittavälineillä ei pystytä tarkemmin analysoimaan herätteiden lähdettä, on syytä kuitenkin tiedostaa vahvoja herätteitä aiheuttavia kohteita laitteistossa.

Aiemmin todettiin, että kytkimien ja akselien linjausvirheet aiheuttavat usein värinää. Linjausvirhe ei pahene ajan kuluessa, mutta sen vaikutukset voivat olla suuria. Räjkeimmät linjausvirheet voivat ilmetä FFT spektrissä pyörimistaajuuden monikertoina. (Mikkonen ym. 2009, 303.)

Linjausvirheiden lisäksi kohteessa todennäköisimmin värähtelyä voi aiheuttaa laakerien voitelu ja epätasainen kuormitus, vikaantumisen lisäksi. Tyypillisesti sähkökäytössä voi esiintyä esimerkiksi roottorisauvojen ohitustaajuudesta, ilmavälin epäkeskeisyydestä tai virtapulsseista ja jännitevaihtelusta johtuvia herätteitä. Herätteet ovat luonteeltaan keskimäärin piikikkäitä ja taajuusalueet herätteen lähteestä riippuen hyvinkin erilaisia. (Mikkonen ym. 2009, 327-340.)

Laakerien vikaantumista voidaan myös tutkia FFT- spektristä, kun lähtötietoja on tarpeeksi. Käyttöjen laakerointi on toteutettu kahdella kuulalaakerilla, 6317 M C3 ja 6324 J C3. Laakerinumeroiden perusteella voidaan etsiä laakerien värinämittausta varten SKF katalogista mittatiedot ja vierintäelinten lukumäärä, joiden perusteella voidaan laskea laakerin eri osien vikaantumisen oletetut ilmenemistaajuudet. Laakerien vikaantuminen yleensä alkaa ulkokehältä vierintäradalta, mistä se leviää vierintäelimiin, pitiimeen ja sisäkehälle. Vaurio voidaan havaita usein tietyllä taajuudella ilmenevänä iskusysäyksenä, koska vierintäelin ns. putoaa vierintäradalla olevaan kulumaan. Sysäysmäisestä luonteesta johtuen laakerivaurio voidaan helposti sekoittaa kytkimen tai laakerin linjausvirheeseen, joissa ilmenemistapa on samankaltainen. (Mikkonen ym. 2009, 312-315.)

FFT- spektrissä ulkokehän vikaantumiseen viittaava, ulkokehän ohitustaajuus voidaan laskea kaavalla:

$$f_u = \frac{N}{2} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \beta \right) \cdot n$$

Kaava 3. Laakerin ulkokehän ohitustaajuus (Mikkonen ym. 2009, 313).

Kaavassa tekijät ovat:

- N = vierintäelinten lukumäärä
- n = akselin pyörintätaajuus, kun ulkokehä ei pyöri
- D = vierintäelinten keskipisteiden liikeradan halkaisija
- d = vierintäelimen halkaisija
- β = vierintäratojen kulma akselin pinnan normaalin suhteen

Vastaavan laskennan saa laakerikohtaisesti suoraan SKF sivuilta laakerilaskurilla, mistä laakerille 6317 ulkokehän taajuudeksi saadaan 51,2Hz ja 6324 ulkokehän taajuudeksi 51,9Hz pyörimisnopeudella 994 rpm (SKF 2016).

4.2.5 Mittaustulokset ja kehitysehdotukset

Anturien asentamisen jälkeen mittauksia alettiin toteuttaa jatkuvana tietoa keräävänä online-mittauksena. Ohjauslogiikasta tarkasteltavien kokonaisvärähtelyjen tehollisarvo liikkui 0,5 mm/s rms – 1,3 mm/s rms välillä kuormituksesta ja pyörimisnopeudesta riippuen, eli käytöt voitiin toistaiseksi havaita lähes uudenveroiseksi värinä tiedon perusteella. Tosin arvoja tulee tarkastella pidemmällä aikavälillä ja seurata niiden kehittymistä. Myös käyttöjen nykytilasta saadaan tietoa nyt tarvittaessa ilman, että se vaatii kunnossapidolta varsinaisesti resursseja ja seurantaa voidaan pitää luotettavana. Seurannan kautta mahdollisiin vikaantumisiin voidaan nyt puuttua ajoissa huomattavasti suuremmalla todennäköisyydellä, kuin aiemmin. Tämä myös mahdollistaa sen, että käyttöjen huollon ajoittaminen normaaliin seisokkiin osataan kerättävän tiedon perusteella tehdä ja täten varamoottoria ei tarvitse hankkia vikatilannetta varten.

Anturien asennuksen vaatiman työ rajoittui kaapelointiin ja logiikan ohjelman valmisteluun antureita varten, joten niiden kokonaiskustannukset jäivät pieniksi. Seurantaa kannattaisikin ehdottomasti laajentaa tehtaalla myös muihin kriittisiin kohteisiin lähitule-

vaisuudessa. Esimerkiksi kuukauden mittaisen seurantajakson aikana nähdään, vaikuttavatko koneen kuormitustasot ratkaisevasti kerättävän tiedon laatuun. Mikäli kerättävä tieto pysyy vertailukelpoisena jatkuvasti, olisi järkevää tehdä listaus, sekä toteutusaikataulu kriittisten kohteiden valvonnasta.

Toistaiseksi kannattaisi kriittisten kohteiden valvontaan hyödyntää jo olemassa olevaa kannettavaa SKF CMAS 100-SL kokonaisvärähtelymittaria. Käyttöä varten tulisi kunnossapidolle suunnitella mittauskierrokset kriittisiin kohteisiin, merkata niihin mittauspisteet ja kerätä mittaustulokset pöytäkirjaan ylös. Kannettavan laitteiston mittaustuloksiin liittyy tietysti epävarmuustekijöitä, kun esimerkiksi väärä mittaustekniikka, tai mittauskohta vaikuttavat lopputulokseen. Mittauskierroksia tulisi toteuttaa kohtalaisen tiheästi, jotta saataisiin kerättyä riittävän suuri määrä mittaustuloksia keskiarvoon ja keskihajontaan perustuvaan tilastolliseen seurantaan.

Kokonaisvärähtelymittausta kunnonvalvontamenetelmänä olisi parasta soveltaa käyttöön yhdessä muiden menetelmien kanssa. Esimerkiksi vaihteiston värinää tutkittaessa voisi mittaukseen yhdistää lämpötilamittauksen ja tarvittaessa öljyn kulumametallianalyysin. Tällöin muutamien mittausten kokonaisuudella saataisiin erittäin luotettava kuva vaihteiston kunnosta optimaalisella resurssien käytöllä.

4.3 Kunnonvalvonnan jatkaminen tehtaalla

Tuotantolinjan koostuessa useista kriittisistä kohteista ei yhden kohteen valvonnasta ole kokonaisuuden kannalta niin ratkaisevaa hyötyä. Mikäli koko tuotantolinjan tai tehtaalla kattavaa kunnonvalvontaa halutaan toteuttaa, tulee kaikkiin tietyn kriittisyyden ylittäviin koneisiin ja laitteisiin asentaa jokin kohteen ominaisuuksia riittävällä tarkkuudella valvova online mittausmenetelmä. Mittauksiin yhdistettäessä jaksottaisia, toisilla menetelmillä tapahtuvaa valvontaa, saadaan valvonta kattavaksi ja vikaantumistaajudet laskemaan varmuudella huomattavasti.

Toimivan kunnonvalvonnan kustannustehokkuudesta on olemassa käytännön esimerkejäkin, joissa pitkäjänteisellä kunnonvalvonnan kehitystyöllä on tuottavuutta parannettu huomattavasti ja vikatoiden määrä radikaalisti pieneneen. Avainsana kuitenkin kunnonvalvonnan toteutuksessa on pitkäjänteisyys, koska lyhyellä tähtäimellä, esimerkiksi kvartaalitasolla hyötyjä ei saada näkyviin ja valvonnan keskeytys tarkoittaa aina lähtöpisteeseen palaamista. (Mäki 20.10.2016.)

5 KUNNOSSAPIDON TOIMINNAN MUUTOSEHDOTUKSET

Tässä luvussa käsitellään kunnossapidon toimintaan liittyviä kehityskohteita pääosin standardeihin, esitettyihin kunnonvalvontamenetelmiin ja aiemmin käsiteltyihin prosesseja parantaviin toimiin pohjautuen. Kehitysehdotusten pohjalla vaikuttavat keskeisesti myös omat kokemukset kunnossapidon työnjohdon ja johdon sijaisena toimimisesta. Luvun tarkoituksena on osoittaa selkeimmät toiminnan kipupisteet, joihin tarjotaan käyttönotettavaksi erilaisia ratkaisuja. Prosessin käsittelyssä otetaan myös kantaa kunnossapidon ulkopuolisiin, sen toimintaan keskeisesti vaikuttaviin tekijöihin. Ulkopuolisia tekijöitä ei aiemmissa luvuissa ole kaikkia varsinaisesti käsitelty, mutta niiden esille tuominen on välttämätöntä, koska ne vaikuttavat keskeisesti kokonaisuuden toimintaan.

5.1 Kunnossapitoa tukevat toimet

Kunnossapitoa tukevista toimista keskeisimmässä osassa ovat varaosien hallinta, toiminnanohjausjärjestelmän kehitys ja suurimpana osana käyttäjäkunnossapito. Kyseisillä alueilla olevan kehitysmäärän tarve on kohtalaisen suuri ja vaikuttavien muutosten aikaansaaminen vaatii määrätietoista toimintaa ja resurssien kohdistamista, sekä täysmääräisessä toteutuksessa niiden lisäämistä.

5.1.1 Varaosat

Varaosien hallintaan tulisi keskittää projektiluontoisesti kunnossapidon omia resursseja, jotta nykyiset varaosat saataisiin kaikki merkattua kerralla järjestelmään tavarakohtaisille koodeille. Kun kaikki osat olisivat identifioituja, voitaisiin aloittaa niiden tarpeen tarkastelu kriittisyysnäkökulmasta. Myös hankinnan tulisi osallistua prosessiin osien toimitusaikojen ja tilausmenettelyjen kehittämisen osalta. Nykyhetkellä varaosien toimitusajat voivat olla kuukausia, eikä asioiden etenemiseen voi luottaa aukottomasti. Myös virheellisten toimitusten reklamoinnissa ja palauttamisessa on kehitettävää.

Varaosien kriittisyyden arvioinnissa apuna toimisi esimerkiksi kuvan 21 mukainen varaosien kokonaiskustannukset arvioiva varastotyökalu. Työkalun tehokas käyttö vaatii kuitenkin, että kaikkien tuotantolinjojen kriittisyysanalyysit on tehtynä, tai varaosien tarpeesta olisi johonkin muuhun faktatietoon, kuten kulutukseen perustuva tarvearvio, minkä pohjalta varaosia lähdetään tarkastelemaan. Kun varaosien tarkastelu on tehtynä ja kaikki varaosat on identifioitu tavaraakohtaisella koodilla, olisi järkevintä hankkia nyt jo suunnitteluvaiheessa oleva Agilon automaattivarasto. Täten päästäisiin lähes täysin, muutamien kuukausien aikajänteellä eroon nykyisistä varaosia koskevista ongelmista kustannustehokkaasti.

Varaosa/Nimikekuvaus	Tyyppi E = Erikois S = Standardi K = Kulutus V = Vakuus	Keskim. Toim.aika - osa tehtaalle (tuntia)	Toim.aika A = Pitkä B = Kohtalainen C = Lyhyt	Keskim. Tilaukust (EUR per tilaus)	Keskim. Puitokust (EUR per h)	Keskim. Max Puite kust. (EUR)	Puute A = Suuri B = Kohtalainen C = Pieni	Keskim. Kulutus (osaa per vuosi)	Kulutust A = Suuri B = Kohtalainen C = Pieni	Keskim. varaosan hinta (EUR)	Hinta A = Korkea B = Kohtalainen C = Alhainen	Vuotuinen varastokust. % hinnasta (sis. % capital)	Varastokust A = Korkea B = Kohtalainen C = Pieni	Varastoon suositus
Hydraulipumppu	S	24,0	B	200	10 000	20 000	B	3,3	B	1 500	C	20 %	B	Kyllä
Laakeri	K	5,0	C	100	2 000	3 000	C	0,1	C	200	C	5 %	C	Kyllä

Kuva 21. Varastohallintatyökalu (Kuusela 2016).

5.1.2 Toiminnanohjausjärjestelmä

Toiminnanohjausjärjestelmän suurin haaste on sen vaikeakäyttöisyys. Sen kaikkien toimintojen hallitseminen vaatisi sen käyttäjille koulutusta, mutta sellaista ei pääsääntöisesti ole saatavilla. Nykyisellään järjestelmän ominaisuuksia voisi kuitenkin hyödyntää kunnossapidon käytössä huomattavasti enemmänkin. Kehityskohteet painottuvat työnjohdollisiin ja kunnossapidon päällikön toimiin liittyviin asioihin, sillä asentajan näkökulmasta järjestelmästä löytyy kaikki päivittäiseen työhön tarvittava nykyisellään.

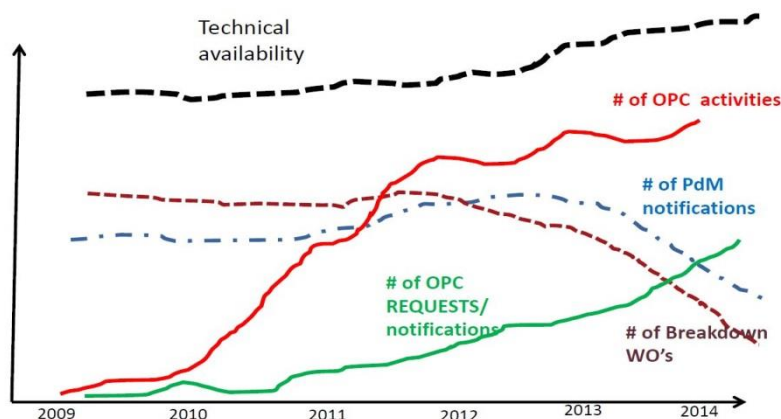
Järjestelmässä on mahdollista saada työmääriä ja muita asioita tilastoivia automaattisia raportteja, joiden koekäyttöä on pyritty aloittamaan tämän työn tekemisen aikana. Kunnossapidon johtamisen kannalta hyödyllisimpiä olisivat viikottaisia työmääriä seuraavat työtilauksia ja valmistuneita töitä tilastoivat raportit. Työtilauksissa tulisi myös ottaa käyttöön olemassa oleva töiden kriittisyysluokittelu kaikille töille, jolloin raporteissa voitaisiin eritellä työmäärät kriittisyyden perusteella. Kriittisyydelle annettu A, B, C asteikko on kuitenkin kunnossapidon vuositavoitteissa määritetty, johon liittyen työmääräimiin pitäisi merkitä halutut valmistuspäivämäärät aina. Kriittisyysluokittelun käytöstä olisi hyötyä myös suoraan työnjohdolle viikoittaisessa työkuormituksen suunnittelussa. Myös asentajakohtaista työkuormitusta tulisi seurata kuukausitasolla, jolloin henkilö-

kohtaista työkuormaa on helpompi realistisesti arvioida. Kriittisten töiden kehityssuunta seuraamalla voidaan myös arvioida kehitettävän kunnonvalvonnan merkitystä työmääriin.

5.1.3 Käyttäjäkunnossapito

Käyttäjäkunnossapito on yksi keskeisimpiä osia TPM filosofian mukaista toimintaa. Usein käyttäjäkunnossapidosta puhuttaessa ensimmäinen mielikuva liittyy käyttäjälähtöisiin vikakorjauksiin. Käytännössä käyttäjäkunnossapito kuitenkin koostuu käyttäjien tekemistä tarkastusluontoisista ja puhdistavista töistä. Toisinsanoen voitaisiin puhua joiltain osin käyttäjäpohjaisesta kunnonvalvonnasta. Usein kuitenkin käyttäjäkunnossapidon tarkistukset mielletään kunnossapidon tehtäviksi, jolloin niitä ei toteuteta. Yleensä toimivan käyttäjäkunnossapidon toteutus vaatiikin asenteista johtuen useiden vuosien mittaisen aikajänteen kehitykseen, jotta toimintakulttuuri saadaan muuttumaan. Toimivalla käyttäjäkunnossapidolla kuitenkin voidaan vaikuttaa hyvinkin paljon tuottavuuteen, kun vikaantumisia pystytään ennakoimaan optimaalisesti. Samanaikaisesti kunnossapidon tarkistusluontoisten töiden määrän tulisi vähentyä, kun käyttäjät havaitsevat itse oman vastualueensa kehittyvät viat, vapautuu kunnossapidon resursseja varsinaiseen kunnossapitotyöhön. (Mäki 20.10.2016.)

Kuvassa 22 on eräältä Neste Oil:n öljynjalostamon osaalueelta seurattu käyttäjäkunnossapidon kehitystä ja sen vaikutuksia käytettävyyteen. Musta katkoviiva kuvassa kuvaa käytettävyyttä, punainen käyrä käyttäjäkunnossapidon tarkistusmääriä, vihreä käyrä käyttäjäkunnossapidon havaintoja, sininen katkoviiva kunnossapidon tekemiä havaintoja ja ruskea katkoviiva toimintaan vaikuttavien vikojen määrää.



Kuva 22. Käyttäjäkunnossapidon vaikutukset (Mäki 2016).

Käyttäjäkunnossapidon tärkeys on tiedostettu pitkään, mutta sen eteen tehty kehitystyö ei ole johtanut tehtaalla kuin yksittäisiin konkreettisiin toimenpiteisiin. Huomioitavaa on, että suurin osuus tuotantokatkoksista on suoraan käyttäjistä riippuvaisia, jonka lisäksi he voivat pienillä toimilla tukea kunnossapidon toimintaa ja täten vaikuttaa välillisesti tuotantolinjojen käytettävyyteen huomattavasti. Käyttäjistä riippuvan osuuden ollessa niinkin suuri, tulisi huomiota kiinnittää käyttäjäkunnossapidon lisäksi moneen muuhunkin kohteeseen todella paljon.

Tehtaalla toteutettu käyttäjäpohjainen 5S toiminta, eli työpaikkojen siisteyteen, organisoituun, sekä standardisoituun toimintaan tähtäävä malli on havaittu toteutustavoiltaan toimivaksi ja sen toteutuksesta tulisi ottaa mallia käyttäjäkunnossapidon kehittämiseen. 5S on lähellä käyttäjäkunnossapitoa, mutta se keskittyy pääosin työpisteiden järjestykseen ja siisteyteen, kun taas käyttäjäkunnossapito keskittyy koneiden toiminnallisiin ominaisuuksiin. Toteutettavassa 5S toiminnassa tietyn tuotantolinjan tai työskentelyalueen henkilöstö kootaan yhteen säännöllisesti tunniksi ja kierretään ennalta valittu tarkastusreitti läpi, missä havaitut puutteet korjataan. Vastaavaa menetelmää olisi järkevä soveltaa myös käyttäjäkunnossapitokohteiden etsimiseen ja sopimiseen, sillä silloin jokaisella työntekijällä on mahdollisuus tuoda oma näkemyksensä esille kriittisistä kohteista. Tästä olisi huomattava hyöty, sillä käyttäjät tuntevat työpisteensä eniten huolenpitoa vaativat kohteet keskimäärin parhaiten. Koska käyttäjät ovat koneen välittömässä läheisyydessä, he ensimmäisenä havaitsevat suurimmalla todennäköisyydellä kehittyvät vikatilat. Käyttäjiä on myös koulutettava vikaantumisten havaitsemiseen, sillä teknisen osaamisen määrä on vaihteleva. Lähtökohtaisesti tarkistusten tulisi liittyä silmämääräisesti havaittaviin selkeisiin vikoihin, esimerkiksi vaikka kulutuspalojen kulumiseen tai öljyvuotojen havaitsemiseen. Puhdistustöistä esimerkkinä voisi olla sähköisten rajojen puhdistus. Käyttäjäkunnossapidolle tarvittavaa aikaa saadaan esimerkiksi hyödyntämällä vikakorjausajat, sekä tuotevaihtojen välinen aika.

Käyttäjäkunnossapitokohteita etsiviä kierroksia varten tulisi laatia ennalta jokaisen tuotantolinjan kattava konelistaus, mistä valittu osa-alue käytäisiin läpi. Läpikäyntien lopputuloksena jokaiselle kohteelle luodaan yksiselitteinen kuvallinen tarkastusohje, jossa on tarkastustaaajuus ilmoitettuna. Tietysti kohteiden valinnassa tulee huomioida kohteen kriittisyys ja sen vaikutukset kunnossapidon toimintaan. Jokaisen tuotantolinjan tarkistusohjeet tulee olla koottuna linjakohtaisesti nimettyyn paikkaan linjan välittömään läheisyyteen. Ohjeiden yhteydessä tulee olla myös lista, mihin kuitataan tehty tarkistus.

Työnjohdon velvollisuudeksi jää valvoa, että sovitut kohteet on tarkastettu asianmukaisesti, sekä toimittaa uusi kuittauslista, kun edellinen on täyttynyt. Käyttäjien tulisi ilmoittaa käyttäjäkunnossapidossa havaituista asioista suoraan tuotannon työnjohdolle, joka kirjaa alustavan työtilauksen kunnossapidolle. Työtilauksen perusteella kunnossapidon työnjohtaja käsittelee ja päättää jatkotoimet, sekä tarvittaessa tiedustelee lisätietoja havainnon tekijältä.

Koska tehtaalla toimintamallit ovat kehittyneet kymmeniä vuosia, ei kehittyneen toimintakulttuurin muutos tule olemaan helppo, mutta se on mahdollinen määrätietoisilla toimenpiteillä. Käyttäjäkunnossapidon valvonnassa onkin olennaista olla siis ehdoton toimenpiteiden toteuttamisen osalta, mutta samalla tulee muistaa pitää toimenpiteiden vaatimustaso sopivana. Nykyisen palkkausmallin ollessa osittain urakkapohjainen, on myös käyttäjien muistettava, että käyttäjäkunnossapidon kautta heillä on mahdollisuus vaikuttaa suoraan tuotantolinjojen tuottavuuteen ja täten omaan palkkaansa. Esimerkiksi SSAB:n Lappohjan putkitehtaalla käyttäjäkunnossapito on toiminut pitkään käyttäjien omistakin aloitteista ja käyttäjät toteuttavat myös vikakorjauksia. Lappohjan toimintamallista tulisikin ottaa mallia, kun ajatellaan käyttäjäkunnossapidon tavoitteita.

5.2 Kunnossapidon johtaminen

Kunnossapidon johtamisen tehtaalla on havaittu olevan ajoittain todella haastavaa useista eri syistä johtuen. Suurimpia haasteita ovat tiedonkulku ja töiden aikataulutus.

Kunnossapidon ulkopuolelta kohdistetaan kunnossapitoon jatkuvasti paineita, osittain tosin turhaan. Ajoittain kunnossapidolle esitetään vaatimuksia tehdä välittömästi tai todella lyhyellä aikavälillä töitä, mitkä eivät ole oikeasti kriittisiä. Tällöin kunnossapito joutuu muuttamaan suunniteltua töiden toteutusjärjestystä ja kaikkia kriittisiäkään töitä ei ehditä hoitaa, koska ulkopuolelta yllättäen määrätyt työt täytyy tehdä ensin. Tähän osasyynä on, että kunnossapidon ulkopuolisilla tahoilla ei ole aina realistista käsitystä kunnossapidon työkuormituksesta. On myös havaittavissa, että kunnossapidon toimintaan ei välttämättä luoteta ajoittain täysin. Tämä ilmenee esimerkiksi kokouksissa, joissa kunnossapidon näkemyksiä kyseenalaistetaan ja kysellään miksi joitakin asioita ei ole hoidettu, vaikka kyseessä olisi kriittisyydeltään matalia töitä. Myöskään investointikohteiden valinnassa kunnossapidon näkemykset jäävät ajoittain taka-alalle, mikä on johtanut korjausvelan määrän kasvamiseen. On myös havaittavissa, että eri tahot ovat selkeästi jakautuneet omiksi vastuualueiden mukaisiksi osa-alueikseen, joiden rajat

yllittävä yhteistyö ei ole kovinkaan sujuvaa. Usein myös päätetään aloittaa uusia kehitysprojekteja, jotka hiljalleen loppuvat joko resurssien, tai vastuuhenkilön puuttumisen takia. Kunnossapidolla pinnassa onkin pettymys kokonaisuuteen, missä omalla toiminnalla ei ratkaisevasti voida vaikuttaa kokonaisuuteen positiivisesti, vaikka päätäntävaltaa näennäisesti asioihin olisi.

Ensimmäisenä korjaustoimenpiteenä on tiedostettava, että kyseenalaistava tai syyttelevä toimintamalli ei johda hyviin tuloksiin. Lähtökohtana tulisi olla kaikkien osapuolten välinen saumaton yhteistyö ja kuorman jakaminen. Eri tahojen välisistä tiukasta omiin osa-alueisiin jakautumisesta tulisi pyrkiä siirtymään yhteistyöhön, missä johtoajatukseen on asioiden eteenpäin vieminen ja toisten tukeminen. Kunnossapidon johdon ohi kunnossapidon asioista päättäminen kertoo kuitenkin toimintamallien muutoksen tarpeesta, mihin toimiva ratkaisu olisi avoin keskustelu aiheesta. Muutoksen tarpeesta riippumatta täytyisi kaikissa tilanteissa kaikkien töiden kulkea kunnossapidon johdon kautta, missä tehdään arvio työn kriittisyydestä ja aikataulutetaan, sekä toteutetaan se suunnitellusti.

Kunnossapidon puolelta kehittäviä toimenpiteitä ovat työlistaukseen ja töiden suunnitteluun panostaminen. Eräs keino olisi tehdä edeltävällä viikolla seuraavan viikon työlistaus valmiiksi, mihin on eroteltuna työt kriittisyyden mukaan, jättäen marginaalia reagointiin. Tällöin kaikki tahot tiedostaisivat kunnossapidon suunnitellun kuormituksen. Tietysti kiireellisiä kriittisiäkin töitä tulee ja niihin tulee voida reagoida, mutta vetovastuu säilyy kunnossapidon johdolla ja muilla tahoilla on toteutusta tukeva rooli. Kyseenalaistavasta toiminnasta eroon pääseminen edellyttää myös selkeää vastuuhenkilöiden nimeämistä kullekin yksittäiselle toteutettavalle asialle. Tällöin toimenpiteet nopeutuvat ja yhteistyö paranee, kun kukin tiedostaa selkeästi oman roolinsa asioiden eteenpäin viemisessä. Kunnossapidon osalta avaintekijä parempaan toimintaan on myös avoimuus tehtävien toimenpiteiden ja aikataulujen osalta. Töiden seurannassa voitaisiin käyttää myös asentajakohtaista töiden tilastointia esimerkiksi kuukausitasolla, jolloin jokainen hahmottaisi oman vastualueensa vaikutuksen kokonaisuuteen. Tällöin myös työkuormitus olisi työnjohdon näkökulmasta helpompi pitää tasaisena.

Tiedonkulku on usein myös toiminnan kompastuskivenä. Koska viikoittain pidetään viikkokokous, missä kaikki tahot ovat paikalla, olisi se looginen paikka käydä läpi kunnossapidon viikon tuleva työkuormitus. Samassa tilaisuudessa kunnossapidolle voitaisiin esittää uusia työtarpeita, jotka otettaisiin toteutukseen kriittisyyden mukaan. Kunnossapidon puolelta edellisellä viikolla tehtyjen töiden listaus voitaisiin myös esittää

samalla. Tällöin tiedonkulku molempiin suuntiin huomiota vaativissa tilanteissa pysyisi avoimena, sekä selkeänä, kun tärkeistä asioista kommunikoinnille on yksi paikka ja aika. Tiedonkulun voisi kuitenkin keskittää yhteistä ajankäytön tehokkuutta silmälläpitäen laatuasioiden osalta omaan kokoukseensa. Esimerkiksi kerran viikossa lyhyesti koontumalla kunnossapito ja laatuosasto pystyisivät käymään keskeisimmät asiat tehokkaasti läpi, mikä mahdollistaisi myös sujuvan jatkuvan kehityksen. Yleisesti toiminnan toteuttamisessa tulisi tähdätä järjestelmällisyyteen, sillä se johtaa tehokkuuteen.

Toiminnan muutoksien tiedetään tarvitsevan kunnossapidon sisälläkin napakampaa johtamista. Kunnossapidon omissa kokouksissakin on jäänyt toistuvasti asioita päättämättä valmiiksi asti, osittain myös johtuen siitä, että ennalta on tiedetty, ettei tehtävää päätöstä kunnioiteta kokonaisuudessaan. Ensisijaisen tärkeää olisi kuitenkin tälläkin johtamisen tasolla muistaa nimetä aina vastuuhenkilö ja tehdä selkeitä päätöksiä, joista pidetään kiinni. Työnjohto on myös avainasemassa töiden organisoinnin ja varaosien hankinnan kautta. Asentajat ovat esittäneetkin toivomuksia entistä napakammasta työnjohdosta, mikä pyrkisi tukemaan enemmän suorittamista töiden valmistelulla.

Tehdastasollakin tarkasteltaessa on havaittu useilla tasoilla johtamisessa parannuskohteita ja niiden tärkeys on tiedostettu, mutta toimenpiteiden tulisi olla huomattavasti näkyvämpiä tilanteen korjaamiseksi. Kunnossapidon, sekä koko tehtaan toimintaan vaikuttavat keskeisesti vuorotyönjohdon ja tehdaspäällikön lisäksi koko putkiryhmän ylemmän johdon päätökset. Tästä syystä olisi ensiarvoisen tärkeää, että tieto ylemmällä tasolla tehtävistä linjaavista päätöksistä välittyisi mahdollisimman hyvin. Kunnossapidon lisäksi muidenkin tahojen toiminta helpottuisi, kun tiedonkulku olisi huomattavasti avoimempaa ja kehitykselle olisi selkeä suunta. Yhteenvedona toiminnassa tulisi muistaa kehitystä ajatellen Matti Alahuhdan sanoma johtamisesta: ” *Tärkeintä on kirkkaan suunnan näyttäminen ja ihmisten saaminen mukaan muutokseen.*”

5.3 Kunnossapidon prosessin kehittäminen

Kunnossapidon toimintaprosessissa kehityskohteet jakautuvat uuden käyttöönottoon ja vanhojen mallien päivittämiseen. Eniten uutta kunnossapidolle tarjoavat kunnonvalvonta, RCM pohjainen vikojen ja vikaantumisen käsittely, sekä niiden yläkäsitteenä TPM. Nykyisistä malleista työlajien uudelleenjärjestely ja siihen liittyvä seuranta, sekä töiden

tilastointi ovat keskeisimmät asiat. Lisäksi toimintaa muuttamalla monissa yksittäisissä asioissa, voidaan saavuttaa kokonaisuuteen vaikuttavia tuloksia.

5.3.1 Uudet toiminnan osa-alueet

Kunnossapidolla avainasemassa nykyisillä resursseilla on kuntoon perustuvan kunnossapidon toteuttaminen. Se tarkoittaa siis käytännössä kunnonvalvonnan määrän huomattavaa kasvattamista, jotta välittömien vikakorjausten määrä saadaan laskemaan. Huomioitavaa on tietysti, että kunnonvalvonnan suunnitteluun tulisi tulosten saavuttamiseksi hankkia lisää resursseja, mikä olisi tosin kustannustehokkainta nykyisessä tilanteessa.

Kustannustehokkuus perustuu siihen, että, keskimääräisesti varsinaisen suorittavan työn osuus on tutkitusti vain 25 - 35 % suomalaisissa teollisuuslaitoksissa, muun osuuden ollessa taukoja ja tukitoimintoja. Kun tukitoimien osuus minimoidaan, on työn tehokkuus keskimäärin 55 % luokkaa. Esimerkiksi tehokkuuden ollessa 30 % ja tehtaalla kunnossapitoa toteuttaa 5 henkilöä, saadaan 37,5 tunnin työviikolla 55 tunnin työpanos. Kun suunnitteluun lisätään yksi henkilö, ja kunnossapitäjien tukitoimet vähenevät, voidaan tehokkuus laskea $5 \times 37,5 \text{ h} \times 55 \% = 103 \text{ tuntia}$. Täten lisäämällä resursseja työn suunnitteluun saadaan varsinaisen työn tekemisen tehoa kasvatettua niin paljon suoraan, että työn kokonaistuottavuus kasvaa lisäresurssien kustannuksista huolimatta. (Järviö & Lehtiö 2012, 104.) Tehtaan nykytilanteessa kun työn suunnittelua ei varsinaisesti ole, voitaisiin resurssien lisäämisellä saavuttaa välittömästi huomattavia tuloksia. Kunnonvalvonta on todettu 4-10 kertaa kustannustehokkaammaksi kuin korjaava kunnossapito (Mikkonen ym. 2009, 110). Tästä syystä resurssien ohjaus sen kehittämiseen olisikin kannattavinta.

Kunnonvalvontamenetelmistä eniten kannattaisi panostaa fyysisten tarkistusten lisäksi online menetelmien kehittämiseen. Mikäli kaikkiin kriittisiin laitteisiin saataisiin yksi tilaa jatkuvasti valvova menetelmä, saataisiin siihen määräaikaista fyysisiä tarkistuksia yhdistämällä mahdollisimman kustannustehokas, mutta kattava kokonaisuus. Fyysisiin tarkastuksiin tulisi olla jokaiselle tuotantolinjalle laitekohtaiset riittävän yksinkertaiset tarkistusohjeet, joita tulisi päivittää havaittujen ominaisuuksien mukaan jatkuvasti. Tarkistusten aikataulutamisessa toimisi pohjana jokaiselle tuotantolinjalle tehty kriittisyysanalyysi, minkä avulla tarkistustaajuus voidaan optimoida. Lopputuloksena kunnossapidolla tulisi olla käytettävissään ajantasaiset tarkistusohjeet aikataulutettuun tarkasta-

miseen jokaiseen kohteeseen, joiden havaintojen perusteella voitaisiin määrittää ja ohjeistaa aikataulutetut huoltotyöt kattavasti. Online-kunnonvalvonnan avulla puolestaan kriittisille laitteille voitaisiin suunnitella pidemmät fyysisten tarkastusten välit resurssien säästämiseksi, koska valvontaa tapahtuisi aina jollain tasolla. Kokonaisuudessaan kattavalla kunnonvalvonnalla huoltotarve voitaisiin minimoida ja huollot ajoittaa parhaaseen mahdolliseen ajankohtaan, kun aikaa reagointiin olisi nykyistä enemmän. Kunnonvalvonnan kehitys olisikin avainasemassa, jotta voitaisiin päästä kohti TPM filosofian kaltaista toimintamallia.

Kunnonvalvonnan toteutus tarvitsee kuitenkin pohjaksi RCM analyysin, eli tiivistysti laitteiden vikaantumismekanismit ja laitekohtaiset vaadittavat toiminnot tulisi määrittellä. Tähän pohjaksi tarvittaisiin kriittisyysanalyysi ensimmäisten määriteltävien kohteiden valitsemiseksi. Koska kokonaisuudessaan tarkastelu on raskas, olisi sitä järkevä nykyisillä resursseilla toteuttaa kunnossapidon vikoja käsittelevissä kokouksissa. Koska vikaantumista tapahtuu toistaiseksi kohtalaisen usein, voisi havaittujen vikojen pohjalta tehdä vikaantumisanalyysin, josta seuraisi kunnonvalvonta, tai huolto-ohjeita jokaisen vian havaitsemisen jälkeen. Jokaiselle laitteelle tulisi siis luoda aluksi laitekortti, johon listataan laitteelta vaaditut toiminnot ja vikaantumismallit, mitä täydennettäisiin havaittujen vikojen perusteella jatkuvasti. Laitekortista on esitetty yksinkertaistettu malli liitteessä 5. Jokaista vikaantumismekanismia kohden kaavakkeessa osoitettaisiin kunnonvalvontamenetelmä tai säännöllinen huoltotyö. Tämä vaatii tietysti vikaantumisanalyysin, mihin voisi soveltaa liitteen 6 kaltaista analysointikaavaketta. Mikäli kokonaisuudesta haluttaisiin kattava tuloksia tuottavalla aikataululla, tarvittaisiin sen kehittämiseen lisäresursseja, koska vaadittava työmäärä on todella suuri. Lopputuloksena analyysien pohjalta tulisi saada tehtaan jokaiselle laitteelle täydelliset laitekortit, joihin on listattuna kunkin laitteen ennakoivan ja parantavan kunnossapidon toimenpiteet.

5.3.2 Päivitysehdotukset

Kunnossapidon nykyisessä toiminnassa työlajeja kannattaisi muokata vastaamaan enemmän standardeja, jolloin töiden kriittisyys ja niiden tilastointi helpottuisivat. Pääosin töiden luokittelu on nykyisellään toimiva, mutta siihen pienten muutosten tekeminen selkeyttäisi töiden organisointia ja seurantaa.

Nykyisistä työlajeista ylläpitokorjaus vastaa sisällöltään PSK 7501 -standardin määritelmää kunnostamisesta, joten sitä ei tulisi enää laskea vikatyöksi. Koska järjestelmäs-

tä puuttuvat kuntoon perustuvat työt ja kunnonvalvonta, tulee työtyyppien käytössä tehdä uudelleenjärjestelyä, koska uusia työtyyppejä ei ole saatavilla sinne helposti. Standardissa esitetyt jaksotetut kunnossapitotyöt sopivat nykyisessä mallissa huoltotyö käsitteen alle, jota tulisi käyttää enemmän. Huoltotyöksi tulisi laskea kaikki selkeästi aikataulutetut työt, joiden sisältö ei ole riippuvainen koneen kunnosta. Kuntoon perustuvan kunnossapidon työt voidaan taas merkitä nykyisillä työtyypeillä ylläpitokorjauksiksi tilastoinnin helpottamiseksi. Ylläpitokorjaukset olisivat siis aina lopputulos kunnonvalvonnasta. Nykyisen merkintätavan mukaiset ylläpitokorjaukset voitaisiin nimetä jatkossa siirretyiksi korjauksiksi.

Nykyiset eh-työt tulisi muuttaa huoltotoiksi ja käyttää eh-työtä vain kunnonvalvonnassa. Tällöin ylläpitokorjausten ja eh-töiden määrästä nähdään kunnonvalvonnan tehokkuus. Kunnossapidon johto voisikin käyttää töiden tilastoinnissa kriittisten töiden listauksen ohella tilastointia kuukausitasolla kaikista töistä, mistä välittömien korjausten ja ylläpitokorjausten suhdeluku laskettaisiin kehitysmittariksi. Esimerkki olemassa olevien työläjien uudelleenmäärittelystä on esitetty liitteessä 7. Mikäli järjestelmään saisi uudeksi työtyypiksi kunnonvalvonnan, voisi eh-työtä käyttää kuntoon perustuvana työnä ja muita nimikkeitä kuten aiemminkin.

Vikatöiden osalta, etenkin välittömien tuotannon pysäyttävien vikakorjausten osalta olisi ehdottoman tärkeää merkata kaikki työt toiminnanohjausjärjestelmään, esimerkiksi työn keston ollessa yli 5 minuuttia. Samat työt ja vielä lyhyemmät korjaukset olisi hyvä merkitä kuitenkin myös päiväkirjaan, koska sieltä vikojen etsintä ja tilastointi on nopeampaa. Välittömiksi vikakorjauksiksi tulisi laskea kaikki tuotantoon vaikuttavat korjaukset. Siirretyiksi korjauksiksi tulisi merkata vain ne vikatyöt, joilla ei ole suoraa vaikutusta tuotantoon.

Turvallisuustyöt ovat myös yksi keskeinen osa työluokittelun muutosta. Koska SSAB:n visio on olla maailman turvallisin yhtiö, tulisi saman vision välittyä myös turvallisuustöiden tekemiseen. Tähän ratkaisuna olisi turvallisuustöiden välitön suorittaminen, siitä riippumatta, vaikuttavatko ne tuotantoon. Tällöin jokainen turvallisuushavainto tulisi korjattua välittömästi ja koska vaakakupissa painaisi tuotannon pysäytys, tulisi jokainen työ arvioitua varmasti realistisesti.

Tiedonkulku vikatilanteissa on myös tuottanut ongelmia. Ajoittain vikojen kanssa kamppaillaan kauan tuotantolinjalla, mutta kunnossapitoa ei kutsuta paikalle ollenkaan. Jokaisen vian, tai selkeästi viaksi kehittymässä olevan ominaisuuden havaitsemisen

yhteydessä pitäisi ehdottomasti aina kutsua kunnossapito paikalle. Mikäli vikatila vaikuttaa vakavalta ja sen arvioitu kesto on esimerkiksi yli 30 minuuttia, tulee kunnossapidon asentajan tiedottaa asiasta työnjohtoa ja pyytää tarvittaessa apuvoimia. Työnjohdon tehtävä olisi tällöin tiedottaa tuotannon esimiestä tilanteesta ja arvioidusta vian kestosta. Tällöin tuotantohenkilöstö voidaan ohjata suorittamaan käyttäjäkunnossapitoa tai muita tuotannon oheistoimia aikaa hukkaamatta. Vikatilanteiden korjaamisen jälkeen korjaava asentaja ilmoittaa suoraan tuotantolinjan henkilöstölle linjan olevan käyntivalmis. Saman ilmoituksen hän tekee kunnossapidon työnjohdolle, joka välittää tiedon tuotannon työnjohdolle, joka varmistaa tuotannon jatkumisen. Toimintamallista riippumatta tärkeintä on kuitenkin, että valitaan yksi selkeä menettelytapa, minkä kaikki tuntevat ja noudattavat sitä, jolloin tieto kulkee varmasti.

Myös tuotantoon vaikuttamattomien vikojen osalta tiedonkulkua tulisi tehostaa. Käytössä olevien linjakohtaisten vikailmoitustaulujen käyttöä tulisi tehostaa tai ohjeistaa linjamiehistö välittämään tieto kunnossapidon työnjohdolle suoraan. Useasti vikakohteita tiedostetaan, mutta niistä ei viitsitä kertoa, ennen kuin ne vaikuttavat tuotantoon. Tähän yhtenä ratkaisuna on kunnossapidon aktiivinen toiminta, jotta vikailmoitustaulujen havainnot korjataan, jolloin niiden toimintaan luotto kasvaisi.

5.4 Jatkotoimenpiteet tiivistetysti

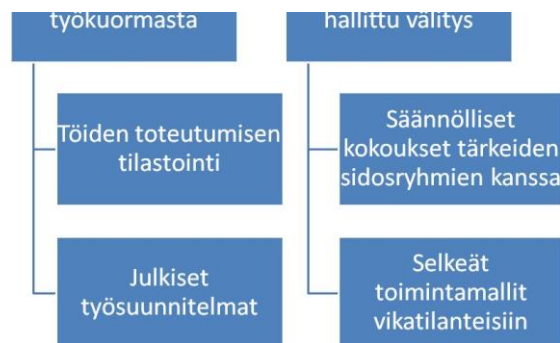
Nykyiseen toimintaan kunnossapidon tulisi ottaa mukaan avoin töiden tilastointi. Työkuormituksen suunnittelu kriittisyydet huomioiden olisi helpoin tapa hahmottaa kunnossapidon ulkopuolisille tahoille työkuormitusta. Kuormituksen lisäksi toteumaa seurattaessa jokainen pystyisi muodostamaan totuudenmukaisemman käsityksen kunnossapidon toiminnasta. Lisäksi kuukausitasolla tapahtuva eri työläjit erotteleva tilastointi auttaisi hahmottamaan toiminnan painopistettä ja seuraamaan kehityssuuntia. Kunnossapidon johdolle olisi myös asentajakohtainen työmäärien ja lajien tilastointi hyödyllinen. Sen avulla kuorman jakautuminen, sekä töiden monipuolisuus olisi mahdollista pitää tasaisempana. Lisäksi jokainen asentaja näkisi tällöin suoraan oman vaikutuksensa kokonaisuuteen. Töiden tilastoinnin lisäksi tulisi sopia selkeät toimintamallit vikatilanteisiin ja varmistaa niiden mukaan toimiminen. Tällöin kunnossapidon reagointia vikatilanteisiin saataisiin parannettua ja epäselvyydet vikoihin liittyen vähensivät. Myös laatuosaston kanssa viikoittain pidettävä lyhyt kokous liittyy keskeisesti tiedonkulun parantamiseen. Edellä mainittujen parannusehdotusten on tarkoitus toimia kunnossapidolla

ensimmäisenä askeleena kokonaisvaltaisessa muutoksessa ja edesauttaa kokonaisvaltaisen johtamisen kehittämistä kokonaisuudessaan avoimemmaksi. Parannusehdotukset voidaan tiivistää kuvan 23 mukaisesti kehitysaskeliksi.

Mikäli parannusehdotuksia ruvetaan toteuttamaan ja kunnossapidon kokonaisvaltainen kehitys päätetään aloittaa esitettyjen muutosehdotusten mukaan, voisivat kehityksessä seurattavat askeleet olla kuvan 24 mukaisia. Ensimmäisellä tasolla kuvassa ovat kaikki toimintaprosessin kannalta kriittiset asiat tiivistetysti, joiden kehityksellä voidaan päästä seuraavissa tasoissa esitettyihin tuloksiin pitkäjänteisellä toiminnalla. Tuottava kunnossapito vaatiikin tasaisesti kaikkiin ensimmäisellä tasolla kuvassa esitettyihin osa-



Kuva 23. Kunnossapidon kehittymisen lähtökohdat.



alueisiin panostamisen toimiakseen. Yksittäisten osa-alueiden kehittämällä kokonaisyöty jää pieneksi suhteessa tarvittavaan työmäärään. Tehtäviä toimenpiteitä on kuitenkin niin paljon, että realistista aikataulua korjaavien toimien tekemiselle ei nykyresursseilla voida luoda. Tästä huolimatta kunnossapidon edun mukaista olisi aloittaa välittömästi projektin eteenpäin vieminen edes pitkällä aikataulutuksella.



Kuva 24. Kehitysportaat.

6 YHTEENVETO

Tämän työn keskeisin tarkoitus oli löytää keinot Hämeenlinnan putkitehtaan mekaanisen kunnossapidon toimintaprosessin muuttamiseksi enemmän kuntoon perustuvaa kunnossapitoa soveltavaksi ja hahmottaa toimenpiteet, joilla prosessin saa ohjattua kohti korkeampaa kokonaistuottavuutta. Työtä tehdessä ilmeni kuitenkin kunnossapidon oman toiminnan kehitystä pohdittaessa useita asioita kunnossapidon ulkopuolelta, joilla on ollut keskeinen vaikutus kunnossapidon toimintaan pitkään.

Työssä käsitelty aihealue on todella laaja, minkä hahmottamiseksi työn ensimmäisissä luvuissa esiteltiin yksityiskohtaisesti tehtaan toimintaprosessi ja nykyiset toimintamallit. Esitely teoriaosuus suoraan standardeihin perustuvana on yleisesti teollisuuden johtotasolla tunnettu kohtalaisen hyvin, mutta sen esittelemisellä yksityiskohtaisesti haluttiin luoda pohja sovelluksille ja parannusehdotuksille.

Esitelyjen kunnonvalvontamentelemien käyttöönotolla pyrittiin hahmottamaan käytännön toteutusmahdollisuuksia toimivalle kunnonvalvonnalle, koska käytännössä kunnonvalvontaa tehtaalla ei ole ollut ennen 2016 aloitettua ennakkohuoltoprojektia.

Yhteenvetona työn tuloksista tärkeimmäksi asiaksi voidaan kuitenkin nostaa johtamisen kehittäminen, kaikilla kunnossapidon toimintaan vaikuttavilla tasoilla. Vaikka yksittäin johtamisella on jo suuret vaikutukset, lopputuloksia tulee kuitenkin tarkastella kokonaisuutena kehitysprosessin suuntaviivoina. Vaikka kehitystarpeita havaittiin paljon, on muutoksen lähdeittävä liikkeelle kunnossapidon oman toiminnan parannuksista, jotka mahdollistavat suuremman muutoksen aloittamisen. Tähän työkaluiksi määritettiin avoin tiedottava toiminta työkuormasta ja uusien toimintamallien hakeminen tiedonvälitykseen.

Kehitysprosessin seuraavassa vaiheessa, kun johtaminen ja yleisesti yhteistyökulttuuri ovat ottaneet kehitysaskelia kunnossapidon avoimen toiminnan seurauksena, tulee jokaiselle tuotantolinjalle toteuttaa kriittisyysanalyysi. Kriittisyysanalyysistä tulee seurata projektiluontoinen varaosatilanteen päivitys, sekä konekohtaisen RCM-analyysin tekeminen, joka johtaa kunnonvalvonnan käyttöönottoon laaja-alaisesti. Kunnonvalvonnan avulla määritetään säännölliset huoltotyöt. Online-kunnonvalvonnan kehitystä tulee tehdä myös pitkällä aikavälillä ja pyrkiä ulottamaan se kaikkiin kriittisiin kohteisiin. Tärkeä osuus onnistumisessa on, että fyysisille kunnonvalvontamenetelmille ja huolto-

töille laaditaan selkeä ohjeistus, mitä on tehtaalla jo aloitettukin. Jotta laaditut ohjeet ja kriittisyysanalyysit pitävät paikkansa, olisi ne päivitettävä säännöllisesti, esimerkiksi vuosittain. Kattavan kunnonvalvonnan ja varaosien tilanteen pohjalta voidaan myös ajoissa havaita laitteiden päivitystarpeet ajoissa, mikä edesauttaisi investointien tehokasta kohdistamista.

Tuottavuutta tavoiteltaessa ei lopputuloksista voida valita yksittäisiä asioita, vaan ainoastaan kokonaisvaltaisella kehittämisellä voidaan saavuttaa tuottavampaa ja tehokkaampaa toimintaa.

Työtä ja siihen liittyvistä asioista keskusteltaessa kunnossapidon henkilöstön kanssa nousi pinnalle selkeästi tyytymättömyys nykyiseen tilanteeseen ja halu uudistua. Työn aikana havaittiin selvästi, mikäli kokonaisuuden kehittämiseen saataisiin lisäresursseja, pystyttäisiin tehtaan tuottavuutta kasvattamaan muutamien vuosien aikajänteellä täysin erilaiselle tasolle, kuin mitä se nyt on.

LÄHTEET

Hydac International 2007, Voiteluhuollon kartoitus ja öljynpuhtaiden perusteet, esittelymateriaali.

Järviö, J & Lehtiö, T. 2012. Kunnossapito. Tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 5. uudistettu painos. Helsinki: KP-Media Oy.

Koskinen, J. 2015 Laakerien värähtelumittaukset vi turvalla. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Saatavilla sähköisesti osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2015110515978>.

Mikkonen, H. Miettinen, J. Leinonen, P. Jantunen, E. Kokko, V. Riutta, E. Sulo, P. Komonen, K. Lumme, V. Kautto, J. Heinonen, K. Lakka, S & Mäkeläinen, R. 2009 Kuntoon perustuva kunnossapito. 1. painos. Helsinki: KP-Media Oy.

Mäki, K. Kunnossapidon johtaminen ja kehittäminen. 19. – 20.10.2016, 15.11.2016. Kurssimateriaali. Ael.

Ovaska, M. 2010 Ennakkohuollon muutos ja sen hyödyt. Saimaan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Saatavilla sähköisesti osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2010082512770>.

Peltola, J. 2011. PK10 ennakkohuollon nykytilan selvitys ja laitteiden kriittisyysanalyysi. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Saatavilla sähköisesti osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2011102514000>.

Promaint 2013. Voitelutekninen toimikunta. Teollisuusvoitelu. 5. uudistettu painos. Helsinki: KP-Media Oy.

PSK 5704. 2013. Kunnanvalvonta. Värähtelymittaus. Vastaanottotarkastus ja värähtelyraajat. 7.p. PSK Standardisointiyhdistys ry.

PSK 6201. 2011. Kunnossapito, käsitteet ja määritelmät. 3. p. PSK Standardisointiyhdistys ry.

PSK 6800. 2008. Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa. PSK Standardisointiyhdistys ry.

PSK 7501. 2010. Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. 2.p. PSK Standardisointiyhdistys ry.

Virolainen, T. Teollisuuden voitelujärjestelmät ja niiden huoltokohteet kurssimateriaali. Ael.

SKF 2016. Bearing calculator. Saatavilla sähköisesti osoitteesta <http://www.skf.com/group/knowledge-centre/engineering-tools/skfbearingcalculator.html>.

SSAB esittelykalvot. Sisäinen esittelymateriaali 2016.

SSAB 2016. SSAB lyhyesti. Viitattu 5.10.2016 www.ssab.fi > SSAB lyhyesti

SSAB 2016. SSAB ohutseinäputket. Viitattu 23.11.2016 www.ssab.fi > SSAB ohutseinäputket

Kriittisyysanalyysi PSK 6800 Linja 2

Tunnus	Nimi	Kriittisyyspiste	Vikaantumistaajuus	Turvallisuuskertoimen painoarvo 40	Tuotannonmenetyksen painoarvo 25	Varaosatilan kerron painoarvo 20	Laatuvaikutuskertoimen painoarvo 15
52150	NAUHAVARAAJA	6400	16	4	4	4	4
52201	SUURTAAJUUSHITSAUSKONE	5280	16	2	2	4	8
52290	YANTEUTUSKONE	4960	16	4	4	1	2
52140	RAINALEIKKURI JA JATKOIHITSAUSLAITE	4480	16	2	4	2	4
52190	DIKAIKONE 2, LAUTASRULLASTO, MUOVAUSRULLA	3680	8	4	4	4	8
52120	AUKIKELAIN	1900	4	8	4	2	1
52335	EMULSIOLAITTEET	1600	8	2	1	4	1
52272	MAGNEETTINDSTIN	1600	8	2	2	2	2
52202	SINKKIRUISKU	1520	8	1	2	2	4
52230	PYÖRÖSAHA	1400	4	4	2	4	4
52280	NIPPUKULJETIN 1,2 ja välikuljetin	1040	4	4	2	1	2
52204	HÖYLÄ	900	2	2	2	4	16
52110	RAINANPÄÄN AVAUSLAITTEISTO	810	2	8	2	1	1
52205	LASTUNKÄSITTELYLAITTEISTO	755	1	8	4	16	1
52210	KALIBROINTIRULLASTO	680	2	2	4	2	8
52250	RULLARATA 1 ja romu	620	2	1	2	8	4
52515	HYDRAULIIKKAYSIKÖ, LOPPUPÄÄ	610	2	4	2	4	1
52310	NIPPUKIPPI ja nipputaso, nippukuljetin	560	4	1	2	1	2
52260	SIVUSIIRIN 1 ja ottotaso, rivin tasaaja	380	2	1	2	2	4
52512	HYDRAULIIKKAYSIKÖ, VAJHTOKASETTI JA HÖYLÄT	355	1	4	4	4	1
52513	HYDRAULIIKKAYSIKÖ, JATKOIHITSAUS, DIKAIKONE	355	1	4	4	4	1
52220	PROFILOINTIRULLASTO	350	1	4	2	1	8
52511	HYDRAULIIKKAYSIKÖ, AUKIKELAIN	315	1	4	4	2	1
52130	YETO- JA DIKAIKONE 1	310	2	2	1	1	2
52514	HYDRAULIIKKAYSIKÖ, SAHA	305	1	4	2	4	1
52231	LASTUKULJETIN	265	1	1	2	8	1
52225	ÖLJYÄMSLAITTEISTO	230	1	1	2	4	4
52206	JÄÄHDYTYSSALLAS	190	1	1	2	2	4
52252	NÄYTTTEENDTTO	115	1	1	1	1	2
Vikaantumisvälikerroimet	Turvallisuuskertoimet	Laatukustannuskertoimet	Tuotannonmenetyksen kerron	Varaosatilan kerron			
Taajuus 1kk	16 Ei turvallisuusrisiä	0 Vastaa 1h tuotannon menetystä	1 Tuotantokatto 1h	1 Kriittiset osat varastossa			1
Taajuus 2kk	8 Vähäinen turvallisuusrisi	2 Vastaa 2h tuotannon menetystä	2 Tuotantokatto 2h	2 Kriittiset osat saatavissa alle 1h			2
Taajuus 3kk	4 Kohtalainen turvallisuusrisi	4 Vastaa 4h tuotannon menetystä	4 Tuotantokatto 4h	4 Kriittiset osat saatavissa alle 4h			4
Taajuus 6kk	2 Merkittävä turvallisuusrisi	8 Vastaa 8h tuotannon menetystä	8 Tuotantokatto 8h	8 Kriittiset osat saatavissa 1vk			8
Taajuus 12kk	1 Vakava turvallisuusrisi	16 Vastaa 16h tuotannon menetystä	16 Pidempi tuotantokatto	16 Kriittisten osien saatavuus epävarma			16

Huolto-ohjeen malli



SSAB

Ennakkohuolto-ohje HÄP H2 – Sinkkiruiskun ennakkohuolto

Turvallisuus

- Muista aina turvallistaa työmaa! Irrota sinkkiruisku virtalähteestä ja paineilmasta ennen huollon aloittamista.
- Henkilökohtaiset suojavälineet (suojalasit, hanskat, turvakengät, suojavaatteet).
- Mikäli ilmenee työtapoihin tai turvallisuuteen liittyvää kysyttävää, käänny tehtävään koulutetun henkilöstön tai työnjohdon puoleen.

Työkalut/koneet

- Valkoinen voitelurasva tuubista
- Grafiittipulveri
- Lenkkiavaimet koneenpään syöttöpyörien ja syöttöputkenpäiden irrotukseen
- Talttapäämeisseli ruiskunpään syöttöpyörien irrotukseen
- Kuusiokolosarja
- Jakoavain
- Pieni teräsharja/messinkiharja. Smirgelin teräsharjapäällä puhdistus onnistuu myös
- Ultraäänipesuri

SSAB

Huollon on tarkoitus olla mahdollisimman tarkka ja kattava. Sen tekemiseen täydessä laajuudessa täydellä huolellisuudella on varattu aikaa yksi työvuoro.

Irrota&puhdistu

- Langan syöttöputket kelalta oikaisurullille, vaihda tarvittaessa
- Oikaisurullat, säädä tarvittaessa
- Syöttöpyörästöt koneen päässä
- Vetopyörästöt ruiskutus päässä
- Alumiinikaulus ja keskitysrenkas ruiskutus päästä
- Keskitystappi
- Ilmasuutin
- Suuttimien virtarunkojen pitimet ruiskutus päässä
- Suuttimien virtarunkojen pitimien o-renkaat
- Suuttimien virtarunkojen o-renkaat
- Kaapelien kiinnitykset molemmista päistä

Ultraäänipesuri irrottaa likaisista osista kuumalla pestessä tehokkaasti sinkkiä.

Vaihda

- Syöttöputkien sisäosat
- Suuttimien pitimet
- Suuttimet

Rasvaa

- Kevyesti syöttöpyörästöjen kytkimet koneen päässä
- Langan syöttöputket grafiittipulverilla

Tarkista

- Paineilman vedenerotin ja suodatin, vaihda suodatin tarvittaessa
- Paineilmaliitännät, myös koneen sisältä kaikki mitkä pystyy
- Käyttöönottaessa paineilman primääripaineen tulee olla 2,5 - 4,2bar (35 - 60 PSI)

Työn lopuksi ilmoita sähkömiehille, että nollaavat linjalla olevan huoltohälytyksen.

SSAB

Kuvat

Oikaisurullasto ja syöttöpyörästä koneen päässä.



Syöttöpyörästä ruiskutus päässä. Pyörästä alapuolella suuttimien runkojen pitimet.



Kaapelien ja paineilman liitäntöjä syöttöpyörästä etupuolelta koneen sisältä.



15.6.2016

MUP33223

SSAB Europe Oy | Ennustava huoltotyö

3

Öljyn analysoinnin esimerkki tehtaalta

RAPORTTI 1(2)

7.12.2016 Laboratorionumero: H53326

ASIAKAS
Hydjan Oy
Rattitie 10
00770 Helsinki

YHTEYSHENKILO
Onni Kuusela
050 439 2572
onni.kuusela@hydjan.fi

NÄYTE
Asiakas: SSAB Hämeenlinna / Putkitehdas
Järjestelmä (kone/laitte): Alkupään hydraulikka
Järjestelmän tunnus: 251118
Näytteenotto: Säiliöstä pullonäyte
Näytteenottaja: Onni Kuusela
Öljy: Mobil DTE 25
Suodattimet:

Öljyn kunto

Kuluminen

Puhtaus

KOMMENTIT JA DIAGNOOSI

Öljyn kunto: Öljyn lisäaineistus alhainen ilmoitetuksi öljyalauduksi. Joko käytössä on toinen öljytyyppi tai öljy on sekoitus kahta eri öljyalaatua. Ikkääntymistuotteita tai öljysakkaa ei havaittu.

Kuluminen: Kulumametalien määrä oli alhainen sekä mikroskooppitarkastelussa että alkuanemittauksessa. Kiihtyneen tai epätavallisen kulumisen merkkejä ei havaittu.

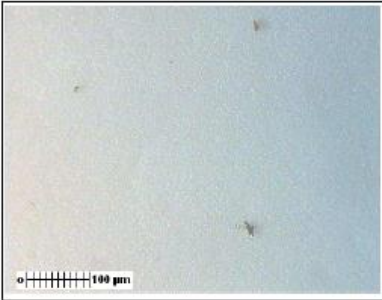
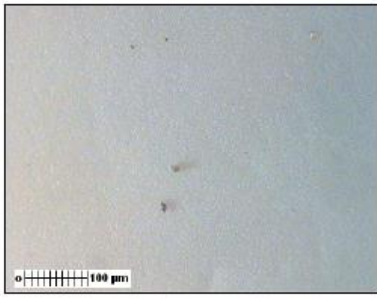
Öljyn puhtaus: Kosteuspitoisuus oli alhaisella, hyvällä tasolla. Öljyn hiukkaspuhtaus on hydraulikkakohteeksi tyydyttävällä tasolla.

Tarkastakaa käytetty öljytyyppi. Mikäli öljyn pitäisi olla ilmoitettua öljyalaatua, suosittelemme vaihtamaan öljyn sen alhaisen lisäaineistuksen takia.

TULOKSET

Näytteenottopäivä		25.11.2016	
Laboratorionumero		H53326	
ÖLJYN KUNTO			
		Menetelmä	
Viskositeetti	+40 °C	cSt	ASTM D445
	+100 °C		46,11
Viskositeetti-indeksi	-		
Väri	-		
			ASTM 1500
Öljyn ulkonäkö	kirkas, rusk.		
Öljyn hapettuminen	-TAN	mgKOH / g	ASTM D664
	-IR	A / cm	
	-Memb. väri		vaalea
Lisäaineet - ICP			
		ppm	ASTM D5185
	Kalsium		23
	Magnesium		13
	Boori		0
	Sinkki		153
	Fosfori		227
	Barium		0
	Rikki		7554

Mikroskooppikuva: (suodatettu näytemäärä: 50 ml)

Fluidlab Oy | PL 407 | 20101 Turku | Puh. +358 (0)2 469 0025 | info@fluidlab.fi | www.fluidlab.fi



RAPORTTI

2(2)

7.12.2018

Laboratorionumero: H53328

TULOKSET

Näytteenottopäivä	25.11.2018			
Laboratorionumero	H53328			
JÄRJESTELMÄN KULUMINEN JA ÖLJYN KONTAMINAATIO		Menetelmä		
Kulumametallit - ICP	ppm	ASTM D5185		
Rauta			2	
Kromi			1	
Tina			0	
Alumiini			0	
Nikkeli			0	
Kupari			5	
Lyijy			1	
Molybdeeni			0	
PQ-indeksi	-			
Kontaminantit - ICP		ppm	ASTM D5185	
Pii			0	
Kalium			0	
Natrium			2	
Vesipitoisuus	ppm	ASTM D6304 C	10	
Puhtausluokka	ISO4406:1999	ISO11500	17/15/12	
Hiukkaslaskenta (A=autom., M=mikrosk.)			A	
ISO4406:1999	ISO4406			
> 4 µm	(> 2 µm)	kpl / 100 ml	97540	
> 6 µm	(> 5 µm)		31350	
> 10 µm	(> 10 µm)		9390	
> 14 µm	(> 15 µm)		3305	
> 21 µm	(> 20 µm)		770	
> 25 µm	(> 25 µm)		475	
> 38 µm	(> 50 µm)		30	
> 70 µm	(> 100 µm)			
Visuaalinen hiukkastunnistus (> 5 µm)	%	in-house		
Kirkas metalli				
Keltainen metalli				
Musta metalli				
Ruoste				
Silika ja muut pölym.				
Polymeerit				
Kuidut				
Muut				
Lisäanalyytit				

VTV122 Tärinälähetin

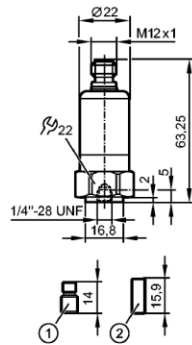
efector800



VTV122

VIBRATION TRANSMITTER

diagnostiikkajärjestelmät



1: Kierreadapteri 1/4\"-28 UNF / M8 x 1,25 mm
2: Kierreadapteri 1/4\"-28 UNF
kiristysmomentti 8 Nm



Tuotteen ominaisuudet

Tärinälähetin

VTV

M12-pistokeliitäntä

Tärinälähetin ISO 10816 mukaan

Mittausalue veff: 0...25 mm/s

Analogialähtö 4...20 mA

2-johdinliitântäteknologia

Sovellutus

Sovellutusalue

Tärinälähetin Vrms ISO 10816 mukaan

Sähköiset tiedot

Käyttöjännite

[V]

9,6...32 DC

Suojausluokka

III

Tulot / lähdöt

Tulot / lähdöt (yhteismäärä)

1

Lähdöt

analoginen

mA-lähtö

[mA]

4...20

Maks. kuormitus

[Ω]

maks. (U_b - 9,6 V) x 50; 720 / U_b = 24 V

Mittaus- / asettelualue

Mittausalue

[mm/s]

0...25 RMS

Taajuusalue

[Hz]

10...1000

Tarkkuus / poikkeamat

Tarkkuus

[% loppuarvosta]

< ± 3

Toistotarkkuus

< 0,5 %

Lineaarisuus

0,25 %

Käyttöolosuhteet

Ympäristölämpötila

[°C]

-30...125, für UL-Applikation: max. 80 °C

Suojausluokka

IP 67 / IP 68 / IP 69K

Laitekortti

Laitekortti		
Laitenumero	51120	
Laitteen nimi	Kaksoisaukikelain	
Kriittisyys	B	Kriittisyysanalyysin pistemäärä 1180
Varaosatilanne	C	Varaosia ilman tako-koodia, ei tarkasteltu kriittisyysnäkökulmasta
Laitteelta vaaditut toiminnot ja ominaisuudet		
<p>Tuurna laajenee, Tuurna supistuu, Syöttörullat pitävät rainan pään paikallaan. Kelain suorittaa käännön, ym.</p>		
Esiintyvät viat, jotka voidaan ehkäistä suunnitelmallisella kunnossapidolla		Työnumero
Puristusruullien sylinteri vuotaa		268807
Esiintyvät viat, ennaltaehkäisevät toimenpiteet määritetty. (FMEA tehty)		Työnumero
Tuurnan käpy jumittaa		100368
Esiintyvät viat, joiden ehkäiseminen vaatii parantavia toimenpiteitä		Työnumero
Keskimääräinen vikaantumisen kesto (h)		2
Keskimääräiset varaosakustannukset (€)		1000
Keskimääräiset vikaantumisen kustannukset (€)		2560
Yllättävä vikaantuminen aiheuttaa turvallisuusriskin (kyllä/ei)		ei
Yllättävä vikaantuminen aiheuttaa ympäristöriskin (kyllä/ei)		ei

FMEA lomake

FMEA kaavake

Vikaantunut kohde (nro)	52290
Kohteen nimi	Vanteutuskone

Vikaantunut osuus	Leukakoneisto
Vikaantunut osa / osat	Lukitusleuka, vasen. Lävistystyynt.

Vikaantumiseen johtanut tapahtuma
Normaalin vanteutuksen aikana lukitusleuka murtunut. Toistuu noin 20 000 lukituksen välein.

Vikaantumisen oletettu syy
Lukitusleukojen materiaali testattu ja todettu kovuudeltaan oikeanlaiseksi. Murtumajäljet viittaavat kuitenkin väsymismurtumaan. Kokeiltu erilaisia koneiston leikkauksvällyksiä, sekä erilaista lukitusvannetta, ilman huomattavia vaikutuksia. Juurisyytä ei toistaiseksi löydetty. Puhdistus saattaa pidentää kestoikää.

Vikaantumismalli
Materiaalin väsyminen, osittain kuluma

Voitelun vaikutus vikaantumiseen (kyllä/ei) Tarkista tarvittaessa voiteluohjelma	ei
Voideaanko puhdistuksella vaikuttaa vikaantumiseen (kyllä/ei)	kyllä
Voideaanko säännöllisellä tarkastamisella vaikuttaa vikaantumiseen (kyllä/ei)	ei
Voideaanko laitteen rakennetta tai toimintaa muuttamalla vaikuttaa vikaantumiseen (kyllä/ei)	kyllä

Lisäkysymyksiä lisätään tarvittaessa, ohjelma suosittelee vastauksien perusteella toimenpiteet

Suosittelavat toimenpiteet				
Käyttäjäkunnossapito	Kunnonvalvonta	Parantava kunnossapito	Voitelun päivitys	Pelkkä vikakorjaus
kyllä	ei	kyllä	ei	ei

Korjaavat toimenpiteet	Työnumero
Haetaan uudelle vanteuttimelle investointia, keskitytään toistaiseksi puhdistaviin toimenpiteisiin	

Työtyyppien käyttö

Työtyyppi	Selite
Vika, välitön korjaus	Linja pysähtyy vian korjaamiseksi välittömästi
Vika, siirretty korjaus	Korjaus siirretty seuraavaan riittävän pitkään luonnolliseen linjan pysähtymiseen
Vika, ylläpitokorjaus	Käytetään EH-töiden- ja huoltokierros havaintojen kirjauksiin. Sisältö määräytyy EH-työn havaintojen ja kohteen kunnan mukaan.
Huoltotyö	Kohde toimintakuntoinen, huolto aikataulutettu ja sisältö ei riipu kohteen kunnosta
Aloitetyö	Käytetään edelleen vain aloitteista seuranneissa töissä
Turvallisuustyö	Parantaa kohteen turvallisuutta, suoritetaan välittömästi riippumatta tuotannosta
Normaali työ	Muut työt
Investointityö	Investointirahoitus myönnetty työlle
EH-työ	Käytetään kunnonvalvontatöillä