



Voitelujärjestelmien toiminta- varmuuden ja kunnonvalvon- nan kehittäminen

Martti Hämylä

OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2020

Konetekniikka
Tuotantotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Tuotantotekniikka & Teollisuustalous

HÄMYLÄ, MARTTI:

Voitelujärjestelmien toimintavarmuuden ja kunnonvalvonnan kehittäminen

Opinnäytetyö 55 sivua
Marraskuu 2020

Opinnäytetyössä kehitettiin Metsä Board Kyron taivekartonkitehtaan kartonkikoneen voitelujärjestelmien toimivuutta ja kunnonvalvontaa. Kartonkikoneen kiertovoitelun virtauksista haluttiin luotettavampaa ja tarkempaa dataa, jota olisi mahdollista seurata koneen etävalvomoista. Öljyn kunnonvalvonnassa oli suuri aukko verrattuna muuhun mittauskunnossapitoon, minkä takia kunnonvalvontaan haluttiin vuonna 2015 investoidun värähtelyn online-mittauksen tueksi uudenlaista öljyn hiukkasmittausteknologiaa. Teknologian avulla voidaan löytää pienet alkavat vauriot, joita ei vielä värähtelymittauksissa pystytä toteamaan.

Projektin aikana tutkittiin perusteellisesti vanhoja kiertovoitelun mittaustauluja yhdessä eri laitetoimittajien kanssa. Virtausmittareihin vaadittavat kehityskriteerit tutkittiin, minkä pohjalta he tarjosivat päivitettyä mittauskokonaisuutta. Öljyn kunnonvalvontaan suunniteltiin myös kehitysmahdollisuuksia, joiden implementoinnin myötä siitä saataisiin toimivampi. Puhtausvaatimukset ja öljyn käyttöikä saataisiin myös sille tasolle kuin laakereiden voitelussa kuuluukin olla. Projektin aikana lokakuussa oli viikon mittainen vuosihuoltoseisokki, jonka aikana tehtiin voitelujärjestelmän kehitystöitä sekä tarkasteltiin ongelmakohtia kunnossapitotöiden ohessa.

Opinnäytetyön tuloksena luotiin kehityssuunnitelma kartonkikoneen voitelun parantamiseksi. Lisäksi voitelulaitteiden toimintaa päästiin kehittämään jo opinnäytetyön aikana erilaisilla kunnossapito- ja kehitystöillä.

On ollut onnekasta, että mitään isompia laiterikkoja ei ole päässyt tapahtumaan. Järjestelmän kehityksen laiminlyönnin takia öljyn laatu on ollut todella vaihtelevaa ja sen säädettävyys sekä kunnonvalvonta ovat olleet huonossa tilassa jo pitkään. Tämän takia olisi ehdottoman tärkeää modernisoida kiertovoitelun mittausjärjestelmä, investoida öljyn kunnonvalvonnan hiukkasanalysaattoriin, kiertovoitelusäiliön vedenpoisto ja suodatusyksikköön ja vettä suodattaviin huohottimiin. Tulevaisuudessa olisi syytä myös vaihtaa kiertovoitelun öljy uuteen, pestä säiliö tai mahdollisesti päivittää se pienempään, huuhdella linjat ja lopuksi vaihtaa kaikki suodattimet uusiin. Nämä implementoinnit tekemällä järjestelmästä saadaan luotettavampi ja kustannustehokkaampi.

Asiasanat: kunnossapito, voitelu, voitelujärjestelmä, kunnonvalvonta

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Production Technology and Industrial Economy

HÄMYLÄ, MARTTI:

Developing the Reliability and Condition Monitoring of Lubrication Systems

Bachelor's thesis 55 pages
November 2020

In the thesis, the functionality and condition monitoring of the lubrication systems of the board machine in Metsä Board Kyrö's folding boxboard mill were developed. There was a need for more reliable and accurate data from the circulating lubrication flows that could also be monitored from the remote control rooms of the machine. There was a large gap in oil condition monitoring compared to other measurement maintenance, which got a new type of measurement technology invested in 2015 to support the online particle detection system. There was a need for a system that could access minor incipient damage that cannot yet be detected by vibration measurements.

During the project, the old rotary lubrication measurement boards were thoroughly reviewed together with various equipment suppliers, who offered a modernisation model. Development opportunities were also planned for oil condition monitoring, which should be implemented in order to make it more functional. Purity requirements and oil life would also be brought to the level required for bearing lubrication. During the project, there was a week-long annual maintenance in October, during which development and maintenance work on the lubrication systems was carried out and its problem areas were reviewed.

As a result of this thesis, a development plan was created to improve the lubrication of the board machine. In addition, the operation of the lubrication equipment could already be developed during the thesis through various maintenance and development work.

There has been good luck that no major equipment breakdowns have occurred. Because the system developments have been neglected, the oil quality has been variable and the adjustability and condition monitoring have been in a bad state for a long time. It would be essential to modernise the circulating lubrication measurement system, invest in an oil particle analyser, a circulating lubrication tank, dewatering / filtration unit and water filtering breathers. In the future, there is also a need to change the lubricating oil to a new one, wash the tank or possibly upgrade it to a smaller one, flush the lines and finally replace all the filters with new ones. These implementations can make the system more reliable and cost-effective.

Key words: maintenance, lubrication, lubrication system, condition monitoring

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT	7
	2.1 Opinnäytetyön tarve	7
	2.2 Työn lähtöpiste ja tavoite	8
3	METSÄ BOARD KYRO	9
4	KARTONKIKONE BM1	10
	4.1 Perälaatikko	10
	4.2 Viiraosa	11
	4.3 Puristinosa	11
	4.4 Kuivatusosa	11
	4.5 Pintaliimaus	11
	4.6 Kalanterointi	12
	4.7 Rullain	12
	4.8 Pituusleikkuri	12
5	KUNNOSSAPITO	13
	5.1 Kunnossapidon määritelmä	13
	5.2 Kunnossapitolajit	13
6	ÖLJYN KUNNONVALVONTA	15
	6.1 Kunnonvalvonnan toteutus	16
	6.2 Kunnonvalvonta teollisuudessa	16
	6.3 Näytteenotto ja mittaustavat	18
	6.3.1 Mittausyhteen huuhtoutuminen	19
	6.3.2 In-Line-, On-Line- ja Off-Line-mittaukset	19
	6.3.3 Hiukkaslaskurit	24
	6.3.4 Magneettisiin pohjatulppiin pohjautuvat anturit	25
	6.3.5 Öljyn kosteus	26
	6.3.6 Kosteuden poistaminen öljystä	27
	6.3.7 Vesipitoisuusanturit	28
	6.3.8 Ilmapitoisuuden on-Line –mittaaminen	28
	6.3.9 Öljyn sähköiset ominaisuudet	29
	6.3.10 Öljyn väri	29
	6.4 Suodatustekniikat	30
7	LAAKERIEN KUNNOSSAPITO	31
	7.1 Laakerivauriot	31
	7.2 Laakerivaurion havaitseminen	31
	7.3 Epäpuhtauksien vaikutus laakerissa	32

8	VOITELUN PERUSTEET	33
8.1	Pintojen väliset kosketukset	33
8.2	Voitelun viskositeetti.....	34
8.3	Raja- ja sekavoitelu.....	35
9	VOITELUAINEET.....	36
9.1	Voiteluaineiden valinta	37
9.2	Mineraaliöljyt	37
9.3	Synteettiset nesteet.....	38
9.4	Öljyjen lisäaineet	39
10	VOITELULAITTEET JA -JÄRJESTELMÄT	40
10.1.1	Kiertovoitelujärjestelmä	40
10.1.2	Virtausmittaus	41
11	VOITELUN KEHITTÄMINEN	44
11.1	Voitelun ongelmat.....	44
11.1.1	Öljyn vesipitoisuus	44
11.1.2	Öljynvirtauksen säätö.....	46
11.1.3	Turvallisuus.....	47
11.2	Ongelmista aiheutuvat kustannukset.....	47
12	TYÖN TOTEUTUS.....	49
13	TOIMENPITEET	50
14	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	53
	LÄHTEET.....	54

1 JOHDANTO

Kunnollisella voitelulla on hyvin tärkeä osa kartonkikoneen suoritustehokkuudessa ja kunnossapitokustannuksissa. Ilman kunnollista voitelua laitteiden ja koneiden käyttöikä on lyhyempi ja pahimmassa tapauksessa huonosta tai ole-mattomasta voitelusta saattaa aiheutua laiterikkoja, joilla voi olla merkittäviä tuotannollisia ja taloudellisia vaikutuksia.

Oikeaoppinen voitelu on perusedellytys koneistojen hyvälle käyttövarmuudelle. Tällä tavoin saadaan merkittävää taloudellista hyötyä ja suoritustehokkuutta koneiden eliniän pidentyessä.

Opinnäytetyö on tehty Kyröskoskella sijaitsevan Metsä Board Kyron kartonkikoneen BM1:n voitelun kehitystä varten. Tarkoituksena oli antaa yritykselle kehityssuunnitelma, jonka pohjalta pystytään investoimaan kartonkikoneen voitelun kehitykseen.

Aloite kehityssuunnitelman tekemiseen tuli Metsä Board Kyröltä, jolla oli tarve päivittää kartonkikoneen voitelujärjestelmää. Modernisoinnin tarve oli ollut jo kauan tiedossa, mutta aikaa siihen perehtymiseen ei ole muiden projektien takia löytynyt.

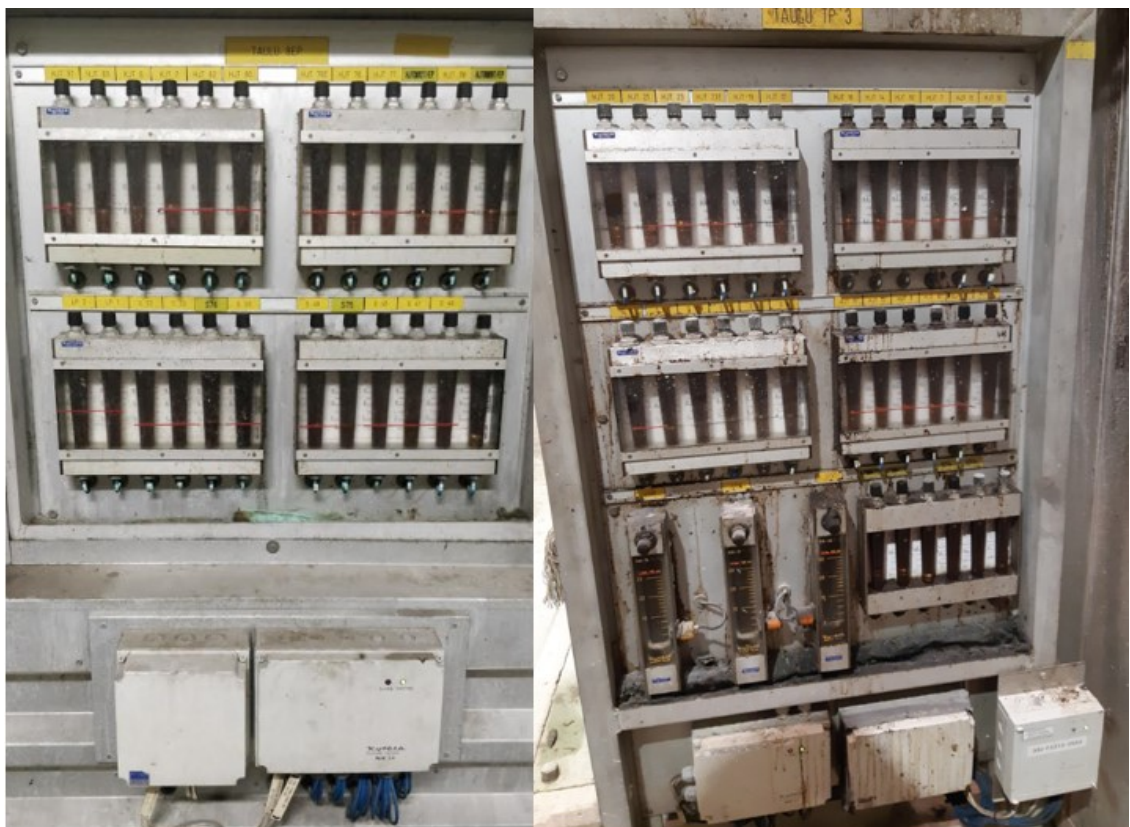
Tehtävänä oli perehtyä muun muassa erilaisiin kiertovoitelun virtausmittareihin, suodatustekniikkoihin, öljyn kunnonvalvontajärjestelmiin ja mittalaitteisiin. Aluksi työssä oli perehdyttävä yleisesti teollisuuden kunnossapitoon ja ennakko- huoltoon, kuten erilaisiin voitelutekniikkoihin. Tämän jälkeen aloitettiin tutkimaan nykyisiä menetelmiä ja kartoittamaan uusia mahdollisia vaihtoehtoja vanhojen laitteiden ja tekniikoiden tilalle.

Opinnäytetyön pääpaino keskittyi kiertovoitelun virtausmittareiden uusimiseen ja öljyn kunnonvalvonnan toteutukseen.

2 OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT

2.1 Opinnäytetyön tarve

Kyron kartonkitehdas on viimevuosina panostanut laitteiden ja prosessin modernisointiin sekä ennakkohuollon merkitykseen ja on täten pysynyt mukana paperiteollisuuden kehityksessä. Voitelujärjestelmän modernisointi on parhaillaan käynnissä ja kiertovoitelun kehitykseen ollaan tekemässä suuria investointisuunnitelmia. Syy järjestelmän vanhentuneeseen tekniikkaan on kartonkikoneen ikä. Kartonkikone on rakennettu vuonna 1994, jonka kiertovoitelua on päivitetty ainoastaan kerran sen jälkeen. Rotametrit (kuva 1) ovat alun perin vuodelta 1994 ja niitä on lisätty vuonna 2011 koneen laajenuksessa, jolloin koneeseen lisättiin mm. kuivatussylintereitä. Rotametritaulujen huoltovarmuus on huono ja käyttökustannukset liian korkeat, jonka takia taulut tulisi päivittää. Iso ongelma on myös se, että kiertovoitelulinjoissa tai säiliössä ei ole minkäänlaista öljyn kunnonvalvontaa. Tällä hetkellä kaikki valvonta tapahtuu silmämääräisesti tarkastelemalla. Kunnonvalvontamittareilla pystyttäisiin löytämään tuleva mekaaninen vaurio jo hyvin aikaisessa vaiheessa.



KUVA 1. Kartonkikoneen rotametritaulut

2.2 Työn lähtöpiste ja tavoite

Työn aloitusta helpotti kuuden kesän työkokemus erilaisissa työtehtävissä Kyrön kartonkitehtaalla, minkä johdosta tehdas, tehtaan henkilöstö ja toimintatavat olivat jo ennestään tuttuja. Kunnossapidon esimiehenä toimiminen on antanut minulle myös mahdollisuuden kommunikoida suoraan laitetoimittajien kanssa. Opinnäytetyön tavoitteena on voitelujärjestelmien toimivuuden ja kunnonvalvonnan kehittäminen. Se pitää sisällään rotametrien uusimissuunnitelman, kunnonvalvonnan mittareiden lisäämisen ja yleisesti ajankohtaisiin voiteluongelmiin paneutumisen. Lähtökohtana on pystyä säätämään öljynvirtaus sopivaksi voideltaisiin kohteisiin ja seuraamaan sitä etävalvomoista, joihin tulee myös voitelukohtaiset hälytykset. Öljyn kunnonvalvontaan on tavoitteena hankkia analyysointia, jolla saataisiin jatkuvaa dataa öljyn kunnosta nopeammin ja varmemmin kuin tämänhetkellä pullonäytteenotolla. Säännöllinen öljyn analysointi ehkäisee suunnittelemattomia seisokkeja ja tekee tuotannosta kustannustehokkaampaa.

3 METSÄ BOARD KYRO



KUVA 2. Metsä Board Kyro, Intranet

Metsä Board Kyro (kuva 2) on Kyröskoskella sijaitseva vuonna 1870 perustettu tuotantolaitos, joka kuuluu Metsä Board osakeyhtiöön. Metsä Board on osa Metsä Group konsernia, jota hallinnoi Metsäliitto osuuskunta. Metsä Board on johtava eurooppalaisten ensiluokkaisten kuitupahvien valmistaja ja kestävän kehityksen edelläkävijä. Metsä Boardilla on tuotantolaitoksia Kyröskosken lisäksi Husumissa ruotsissa, Kemissä, Simpeleellä, Tampereella ja Äänekoskella sekä CTMP-tehtaat Kaskisissa ja Joutsenossa. Metsä Boardin henkilöstömäärä on 2351 (Metsä Board 2019).

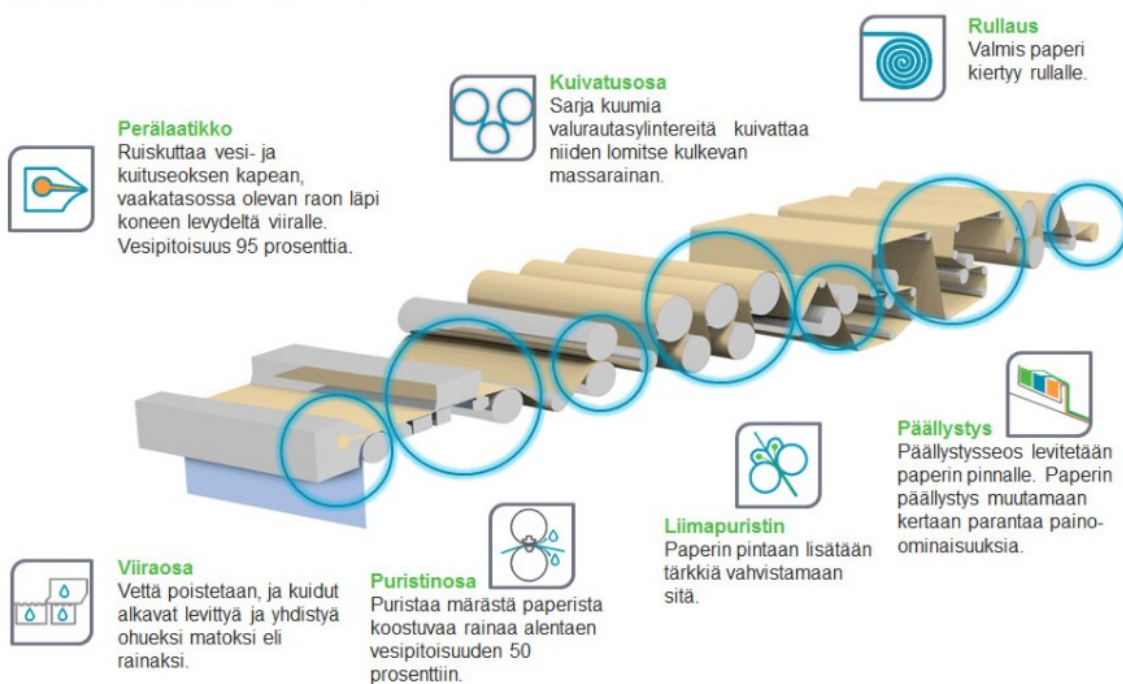
Metsä Board Kyron tehdas tuottaa korkealaatuista, täysin päällystettyä taivekartonkia vaativiin pakkaus- ja graafisiin sovelluksiin. Kartonkikone BM1:n mitoituskapasiteetti on 190000 tonnia kartonkia vuodessa ja sen henkilöstömäärä on 150.

4 KARTONKIKONE BM1

Kartonkikone BM1 on rakennettu vuonna 1994 ja konetta laajennettiin vuonna 2011 lisäämällä konelinjaan mm. kuivatussylintereitä ja yksi päällystysasema. Koneen hyötysuhdeleveys (trimmileveys) on 3,30 m ja ajonopeus 700 m/min. Ne-liömassa-alue on 170–380 g/m². (Metsä Board Home)

Kartonkikoneen pääosia ovat perälaatikot (pinta, runko ja selkä), viiraosa, puristinosa, kuivatusosa, liimapuristin, päällystys, rullaus ja leikkaus (Paperin valmistusprosessi 2019). Perälaatikko, viiraosa ja puristinosa muodostavat kokonaisuuden, jota kutsutaan märeksi pääksi. Kuivaksi pääksi kutsutaan koneen loppuosaa kuivatusosasta alkaen.

Paperin valmistusprosessi



KUVA 3. Kartongin valmistusprosessi (Paperin valmistusprosessi) Valmet

4.1 Perälaatikko

Perälaatikko sijaitsee lyhyen kierron ja viiraosan välissä. Perälaatikon tehtävänä on syöttää massa edelleen mahdollisimman tasaisesti sekä tasalaatuisena että flokittomana viiran päälle koko paperikoneen levyisenä suihkuna. Perälaatikkoon massa ohjataan massan etenemissuunnassa kapenevan jakotukin avulla. (Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003, 131)

4.2 Viiraosa

Viiraosan tehtävänä rainanmuodostuksessa on poistaa perälaatikon suihkuttamasta massasuspensiosta vettä suodattamalla se sihtinä toimivan viirakudoksen läpi. Viiraosa aiheuttaa rainaan riittävän suuruisia hydrodynaamisia voimia flokkien syntyminen estämiseksi ja niiden hajottamiseksi ja hallitsee vedenpoistoa ja hydrodynaamisia voimia siten, että kuitu- ja täyteaineretentiot ovat tasaiset ja halutun suuruiset. Se myös saattaa rainan riittävän korkeaan kuiva-ainepitoisuuteen, jotta rainan siirto viiralta puristimelle on helppoa ja puristinosalla saavutetaan hyvä ajettavuus. (Tuotantoprosessit: Kartonkikone 2020.)

4.3 Puristinososa

Puristinosan tehtävänä on poistaa rainasta mahdollisimman paljon vettä ja samalla tiivistää sitä. Puristimella pyritään saavuttamaan riittävän suuri märkäluku, jotta rainan siirto kuivatusosalle onnistuu ilman katkoja. Toisaalta rainan tiivistyminen mahdollistaa lujien kuitujen välisten sidosten muodostuminen rainaa kuivattaessa. (Tuotantoprosessit: Kartonkikone 2020.)

4.4 Kuivatusosa

Kuivatusosa on paperikoneen neljäs osa perälaatikon, viiraosan ja puristinosan jälkeen. Kuivatusosa vie eniten energiaa, koska siinä pyritään poistamaan rainasta vesi pois haihduttamalla ennen mahdollista kalanterointia, leikkaamista ja rullaamista. (Wikipedia, kuivatusosa)

4.5 Pintaliimaus

Pintaliimauksessa kartongin pintaan lisätään liimakerros, joka parantaa kartongin ominaisuuksia, kuten pintalujuutta, jäykkyyttä, pölyämättömyyttä ja imeytymisominaisuuksia. Raina läpäisee kahden telan välisen nipin, jossa liimana käytetty

liuos sijaitsee. Pintaliimaus sijaitsee kuivatusosalla niin, että esikuivautusosaksi sanottu ensimmäinen kaksi kolmasosaa kuivatusosasta on ennen pintaliimausta ja jälkikuivatusosaksi sanottu kuivatusosan viimeinen kolmannes on sen jälkeen. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 180.)

4.6 Kalanterointi

Kalanteroinnissa muutetaan kartongin muotoa puristamalla sitä vähintään kahden telan välissä. Kalanterointi on viimeinen mahdollisuus vaikuttaa huomattavasti valmistuvan paperin ominaisuuksiin. Ominaisuudet, joihin kalanteroinnilla voidaan vaikuttaa ovat kartongin sileyks ja kiilto, paksuus ja paksuusprofiilin tasaaminen. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 204.)

4.7 Rullain

Rullauksen tarkoituksena on muuntaa tasomaiseksi valmistettu kartonki helpommin käsiteltävään muotoon. Kiinnirullaimella kartonkikoneen jatkuva prosessi katkeaa ensimmäistä kertaa ja siirrytään jaksoittain tapahtuvaan toimintaan. Tämä jaksottaisuus pyritään tekemään mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella, jotta tehtyä työtä ei haaskattaisi. (Tuotantoprosessit: Kartonkikone 2020.)

4.8 Pituusleikkuri

Kone rullaa paperirainan konerullaksi tampuuriraudan ympärille. Konerullan raina on täyslevyinen ja jopa yli 90 km pitkä, joten raina täytyy leikata asiakkaalle sopiviksi osarainoiksi ja rullata hylsyjen ympärille ennen asiakkaalle lähetystä. Leikkausosalla raina leikataan osarainoiksi tilausten mukaisesti ja rainan ohuet reunanauhat leikataan pois ja ajetaan pulpperiin, koska ne eivät täytä asiakasvaatimuksia. Rainaa leikkaa kaksi terää, ylä- ja alaterä. (Tuotantoprosessit: Kartonkikone 2020.)

5 KUNNOSSAPITO

5.1 Kunnossapidon määritelmä

Sekä Suomen Standardisoimisliitto SFS:llä että PSK Standardisoinnilla on omat määritelmänsä kunnossapidosta. Molempien määritelmät vastaavat sisällöltään toisiaan.

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

SFS –standardin mukaan kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana (SFS-EN 13306 2001).

5.2 Kunnossapitolajit

Teollisuuden kunnossapitolajeista on paljon erilaisia mielipiteitä, moneenko eri lajiin ne pitäisi jakaa. Yksinkertaisin vaihtoehto on jakaa ne kolmeen osaan; ennakoivaan, korjaavaan ja parantavaan kunnossapitoon.

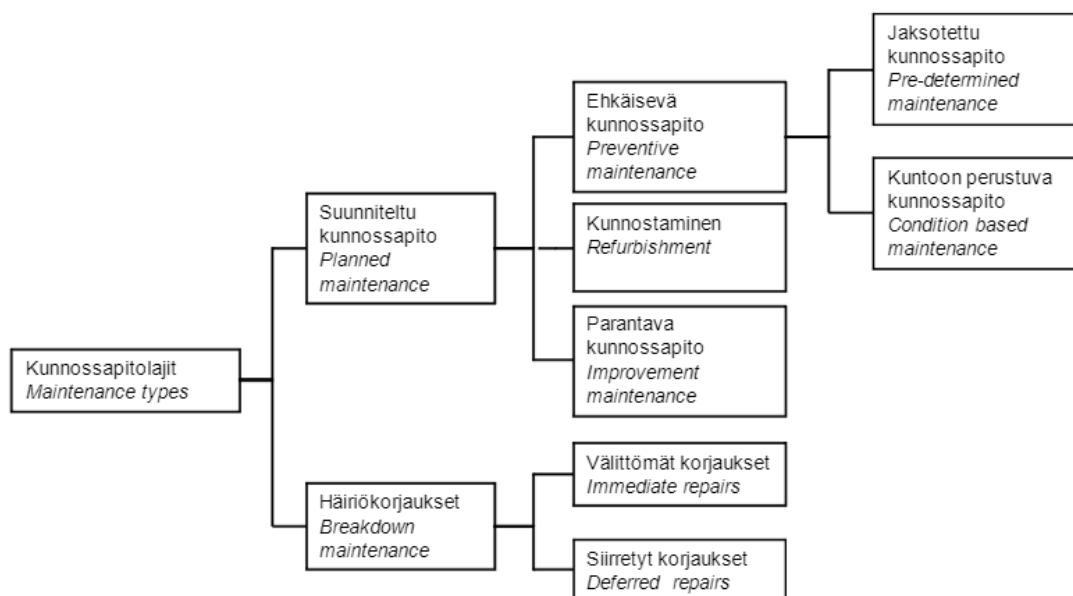
Ennakoivaa kunnossapitoa pyritään toteuttamaan silloin, kun koneita tai koneen osia huolletaan määrätyn välein ennen kuin mahdollisen vaurion ajatellaan syntyvän. Ennakoivaan kunnossapitoon kuuluvat mm. voiteluhuollot sekä kunnonvalvontamittaukset. Esimerkiksi värähtelymittauksen tulokset voivat kertoa alkavasta laakerivauriosta. Laitte voidaan silloin laittaa tarkempaan seurantaan ja suunnitella tarvittavat toimenpiteet ennen kuin vaurio aiheuttaa pahimmassa tapauksessa tehtaan alasajon.

Korjaavalla kunnossapidolla tarkoitetaan laitteen korjausta sen vikaannuttua, eli ajetaan niin kauan, kunnes laite hajoaa. Esimerkiksi pysähtynyt pumppu voidaan

vaihtaa toiseen ja rikkoutunut pumppu kunnostaa takaisin käyttökuntoiseksi varastoon. Tällainen ns. korjaava kunnossapito aiheuttaa suuria kustannuksia, koska koneen vikakehitystä ei seurata ja lopulliset vauriot kehittyvät yleensä hyvin vakavaksi. Myös tuotantomenetykset ovat suuria ja yllättäviä tuotantokatkoksia esiintyy runsaasti.

Parantavalla kunnossapidolla voidaan tavoitella esimerkiksi koneen käyttövarmuuden tai suorituskyvyn parantamista kunnonvalvonnan mittauksilla, jotka auttavat ehkäisemään yllättäviä häiriöseisokkeja. Tässä tapauksessa kunnossapidossa ollaan koko ajan selvillä koneen tämänhetkisestä kunnosta. Vauriokehitys pystytään ilmaisemaan jo vaurion varhaisessa vaiheessa, jolloin pystytään myös selvittämään, mitä osia on vaurioitumassa. Tämä antaa aikaa suunnitella häiriöseisokin tuotannon kannalta sopivaan ajankohtaan.

Ennakoivan, korjaavan ja parantavan kunnossapidon käyttö riippuu kunkin laitteen huollettavuudesta sekä kriittisyydestä prosessin kannalta. Kunnossapidon suunnittelu ja kunnossapidon johtaminen ovat avainasemassa, kun tavoitellaan hyvää käyttövarmuutta, turvallisuutta, kustannustehokkuutta sekä tuotannon kokonaistehokkuutta. Tiedonhallinta ja digitalisaation tarjoamat ratkaisut korostuvat tulevaisuudessa entisestään (Teollisuuden kunnossapito, Caverion).



KUVA 4. Kunnossapitolajit standardista PSK 7501

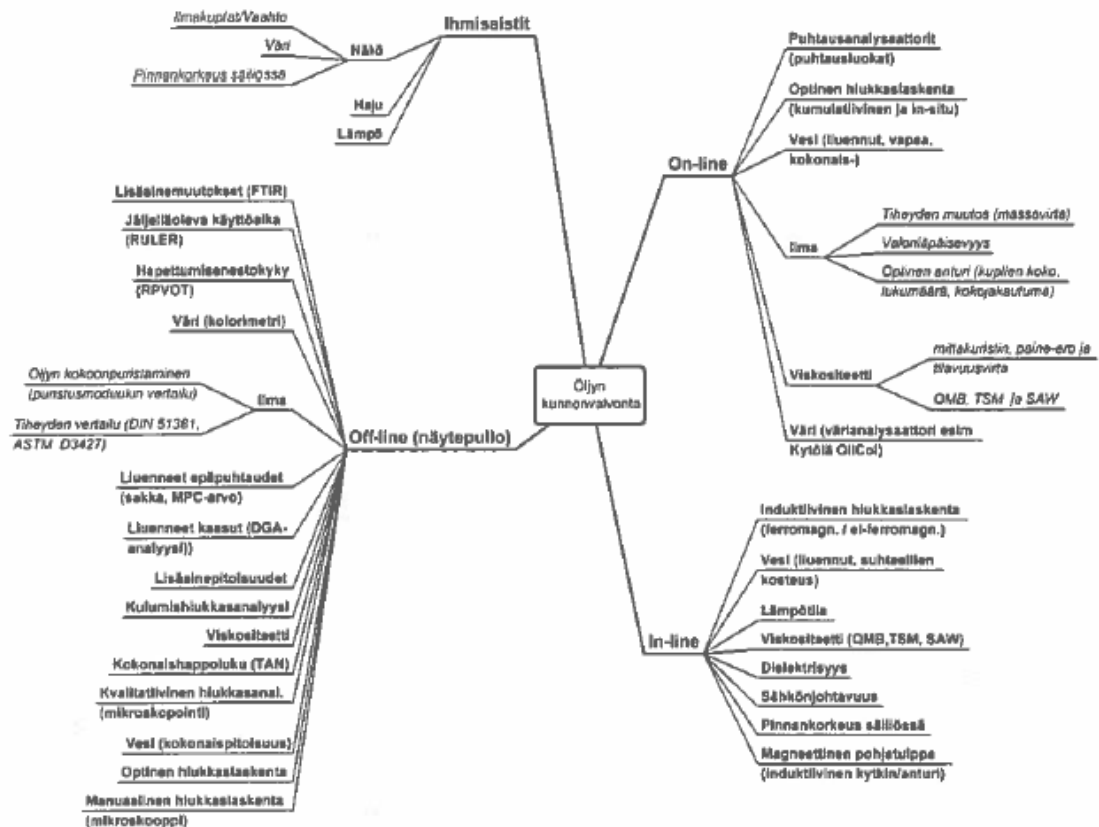
6 ÖLJYN KUNNONVALVONTA

Hydrauliikka- ja voiteluöljyjen kunnonvalvontaa on tehty jo kymmeniä vuosia osana ennakoivaa kunnossapitoa. Vielä 20 vuotta sitten öljyjen kunnonvalvontaa tehtiin pääsääntöisesti ottamalla pullonäyte järjestelmästä ja lähettämällä se laboratorioon tutkittavaksi. Öljynäytteen tutkiminen oli työlästä ja tulosten saaminen kesti vähintään muutamia päiviä. Yksittäisen pullonäytteen tutkiminen kertoo vain öljyn kunnon näytteenottohetkellä ja siksi johtopäätöksiä lyhyen aikavälin muutoksista on käytännössä hankala tehdä. Lisäksi näytteenottoaikaan, näytepullojen ja näytteenottovälineiden puhtauteen liittyvät epävarmuustekijät vaikuttavat tulosten luotettavuuteen. Uudet tekniikat mahdollistavat öljyn kunnon ja ominaisuuksien seuraamisen reaaliajassa, jolloin mahdolliset ongelmat havaitaan riittävän aikaisessa vaiheessa. Usean parametrin seuraaminen samanaikaisesti antaa laajemmin tietoa öljyn ja järjestelmän kunnosta. Yhdistämällä nämä tiedot voidaan tarvittavat huoltotoimenpiteet suunnitella hallitusti ja tehdä oikeaan aikaan.

Yli 80 prosenttia häiriöistä ja vaurioista keskusvoitelujärjestelmissä johtuu öljyssä olevista epäpuhtauksista, joten kunnonvalvonnalla on tärkeä merkitys mahdollisten ongelmien ennakoinnissa. Öljyn kunnonvalvonta ja -seuranta ovat ensiarvoisen tärkeitä osana tuotantolaitteiden käynnin varmistusta ja sitä tärkeämpiä mitä kriittisempi valvottava kohde on. Öljyjen kunnonmittauksella pyritään selvittämään ensisijaisesti kahta asiaa, järjestelmän kuntoa ja öljyn kemiallista kuntoa. Järjestelmän kuntoa selvitetään mm. epäpuhtauksien määrää, kokoa, muotoa ja väriä. Esimerkiksi alkavaa laakerivauriota epäillään, kun öljystä löytyy pallomaisia kulumishiukkasia. Keltainen messingin värinen kulumishiukkanen voi olla peräisin laakerin rullan pitimistä, jolloin on jo mahdollista ryhtyä ennakoivasti toimeen. Öljyn kemiallista kuntoa tarkasteltaessa tutkitaan, vastaavatko mm. öljyn lisäainestus, viskositeetti ja hapettumisluku TAN uuden öljyn arvoja. Lisäksi tarkastellaan, onko öljyssä kulumametalleja ja kuinka paljon niitä on. Öljyn kulumametalipitoisuudet voivat olla öljyyn liunneena tai pieninä alle 3 mikrometrin hiukkasina, mikä tarkoittaa, ettei öljyn kulumametalipitoisuus kerro välttämättä järjestelmän kulumisesta mitään (Luomala, V., ym. 2018, 8).

6.1 Kunnonvalvonnan toteutus

Öljyn kunnonvalvonnan toteutus alkaa voiteluhuolto-ohjelman suunnittelulla. Suunniteltaessa tehdään tärkeimmät päätökset luomalla käytännön työlle ja toiminnan ohjaukselle perusta. Eri kriittisyysluokkaa oleville laitteille määritellään öljyn kunnonvalvonnan taso, joka kertoo mistä, miten ja millaisilla laitteilla ja kuinka usein näytteitä otetaan. (Aarnio, M., ym. 2013, 157)



KUVA 5. Yleisimmät öljyn kunnonvalvontamenetelmät ryhmiteltyinä näytteenoton mukaan (Öljyn kunnossapito 2018, 10)

6.2 Kunnonvalvonta teollisuudessa

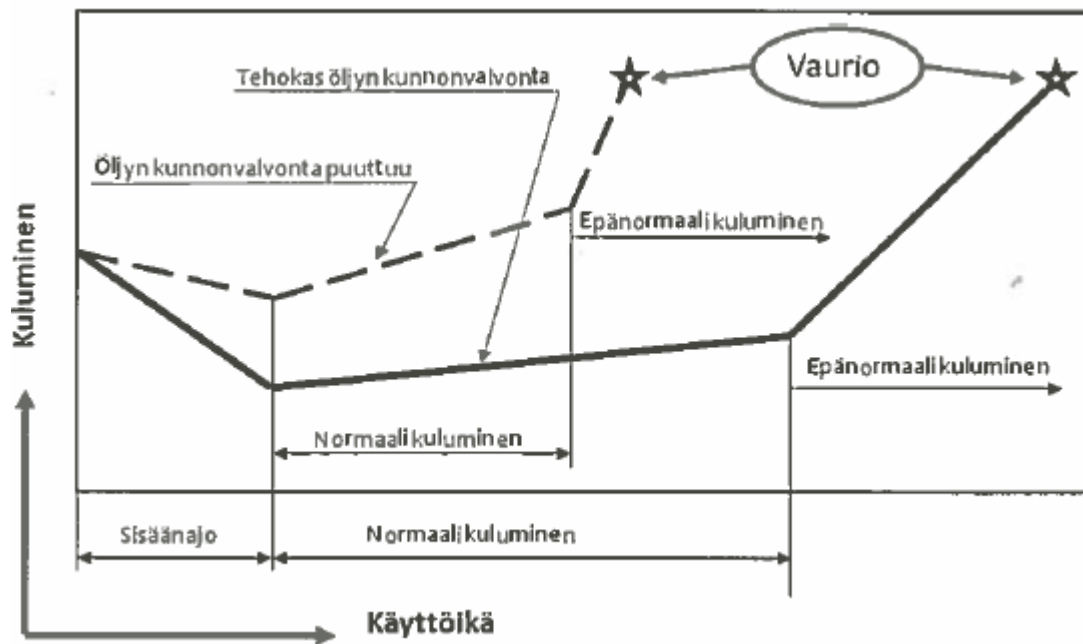
Teollisuuden tuotantolaitteiden käynnissäpito ja tehokas toiminta on mahdollista ainoastaan silloin, kun kunnonvalvonta ja kunnossapito on hoidettu hyvin.

Teollisuudessa suoritettu voiteluhuolto on tärkeässä osassa kulumisen ja kitkan aiheuttamien haittojen vähentämisessä sekä tuotantolaitteiden käynnissäpidossa. Teollisuuden alasta ja laitekannasta riippumatta ne ovat riippuvaisia voiteluaineiden jatkuvasta tarkkailusta ja huollosta (Aarnio, M., ym. 2013, 157).



KUVA 6. Öljyn kunnonvalvonnan tarpeiden jaottelu teollisuudessa pidentämisessä (Teollisuusvoitelu 2013, 158)

Öljyn kunnonvalvonta osana käynnin varmistusta on sitä tärkeämpää, mitä kriittisempi on valvottava kohde. Kustannukset voiteluhuollon vajaatoiminnasta tai pettämisestä muodostuvat koneiden ja laitteiden korjauskustannuksista, laatutappioista sekä seisokkien aiheuttamista tuotannonmenetyksistä. Voitelujärjestelmien öljyjen kunnon seuraaminen antaa tietoa järjestelmän kunnosta ja ennakoiviin huoltotoimenpiteisiin voidaan ryhtyä välittömästi tai tuotantoseisokeilla (Aarnio, M., ym. 2013, 159).



KUVA 7. Kuvassa nähdään öljyn kunnonvalvonnan ohjauksen mahdollisuudet laitteen kulumisen vähentämisessä ja käyttöiän pidentämisessä (Teollisuusvoitelu 2013, 159)

6.3 Näytteenotto ja mittaustavat

Öljyjen kunnonvalvontaan on tullut viime vuosina paljon uusia anturityyppejä, jotka mahdollistavat suureiden On-Line- tai In-Line-mittauksen. Koneiden käyttäjien ja huoltohenkilökunnan kasvavat tarpeet parantaa järjestelmien luotettavuutta ja käytettävyyttä ovat johtaneet On-Line mittauksen merkittävään kehitykseen viime vuosina. On hyvä sisäistää, että kaikissa mittauksissa on jonkin verran virhettä ja kaikilla mittaustavoilla on omat etunsa ja mittausrajoituksensa. Käyttämällä rinnakkain useampia mittaustapoja voidaan joko vahvistaa tehtyä analyysia tai sulkea siitä pois samansuuntaisen muutoksen aiheuttajan (Luomala, V., ym. 2018, 8).

Puhtausmittalaitteen valintaan pätevät samat lainalaisuudet, kuin muihinkin mittauksiin. Ensin on selvitettävä seuraavat seikat:

- Mistä mitataan ja mikä on mittaustaajuus
- Millaisia ovat mittauksien viiveet
- Millaisia ovat mittauksen mahdolliset häiriöiden vaikutukset
- Miten kalibrointi järjestetään

- Tarvitaanko mittaustietojen siirtoa tai ohjausta ohjausjärjestelmään
- Toimittajan tuki, sekä muut vastaavat kysymykset

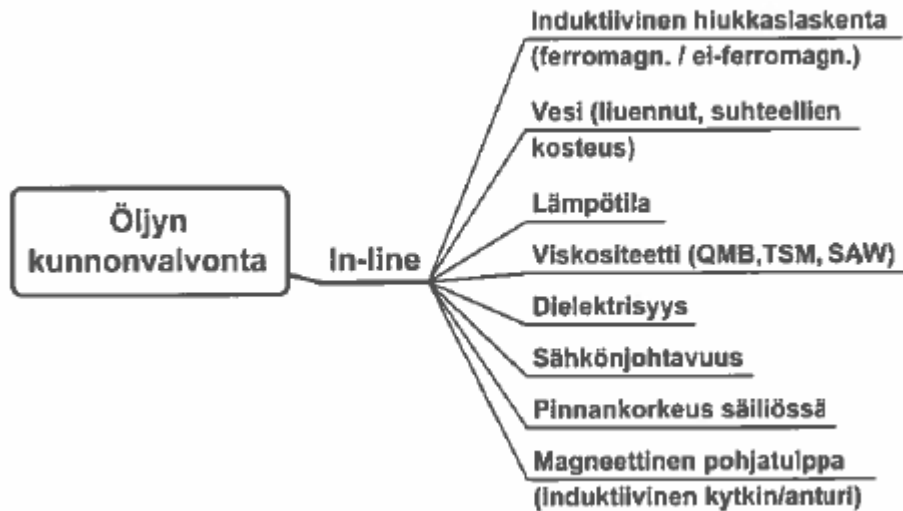
Pelkästään hinnan perusteella tehtävät valinnat johtavat yleensä huonoon lopputulokseen. Koneiden ja järjestelmien yleisesti nykypäivänä käytettävä värähtelymittaustekniikka ja öljyn kunnonvalvonta ovat toisiaan tukevia tekniikoita. Molempia tarvitaan mahdollisimman kattavan tiedon keräämiseksi toimivan koneen mahdollisten tulevien ”päällä olevien” toimintahäiriöiden selvittämiseksi ja jopa ennakoimiseksi (Luomala, V., ym. 2018, 8).

6.3.1 Mittausyhteen huuhtoutuminen

Kaikessa näytteenotossa on edustavan näytteen saamiseksi huolehdittava näytteiden ja mittausyhteiden riittävästä huuhtoutumisesta, käytetään sitten tuloksen analysointiin mitä menettelyitä tahansa. On-Line mittalaitteen mittausyhteen huuhtoutumisella tarkoitetaan aikaa, joka kuluu, ennen kuin mittaustulos asettuu näyttämään öljyjärjestelmän sisäistä puhtaustasoa. Tämä huuhtoutumisaika vaihtelee muutamasta minuutista jopa kymmeneen minuutteihin, riippuen mittausteen ja mittaletkujen puhtaudesta (Luomala, V., ym. 2018, 14).

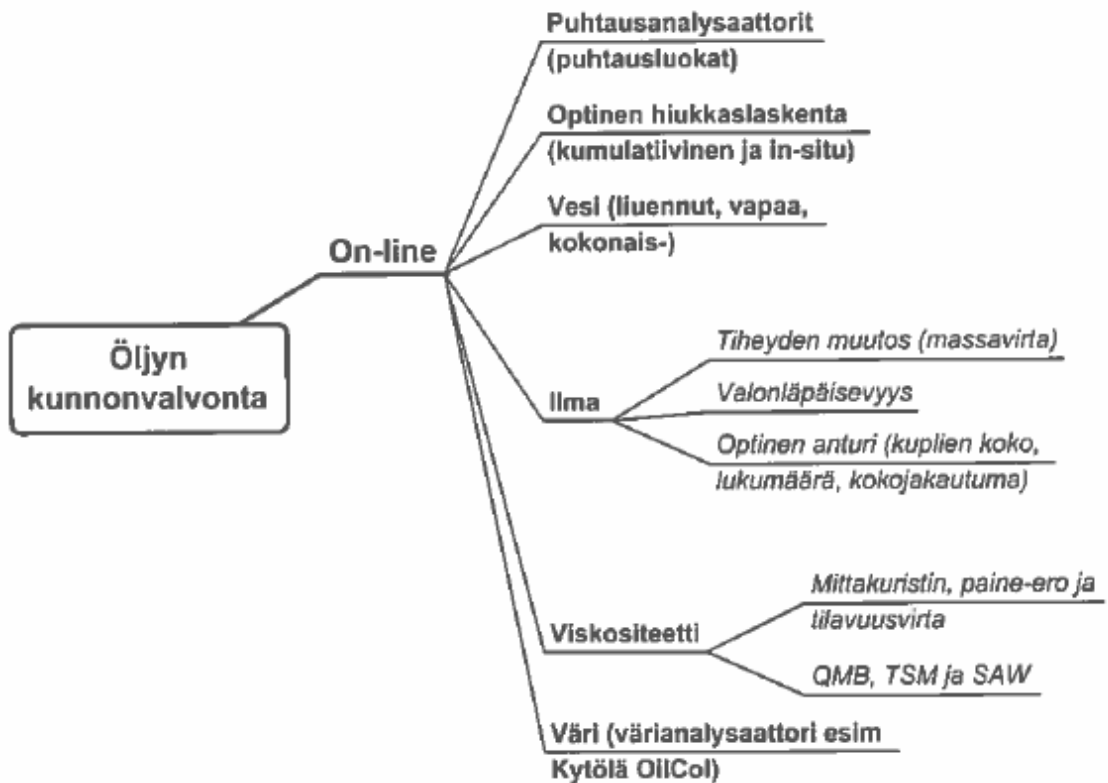
6.3.2 In-Line-, On-Line- ja Off-Line-mittaukset

In-Line (”putken sisällä”) tarkoittaa, että anturi sijaitsee suoraan virtauksessa. Induktiivisella periaatteella lasketaan yksittäisiä metallihiukkasia anturin läpi menevästä virtauksesta.



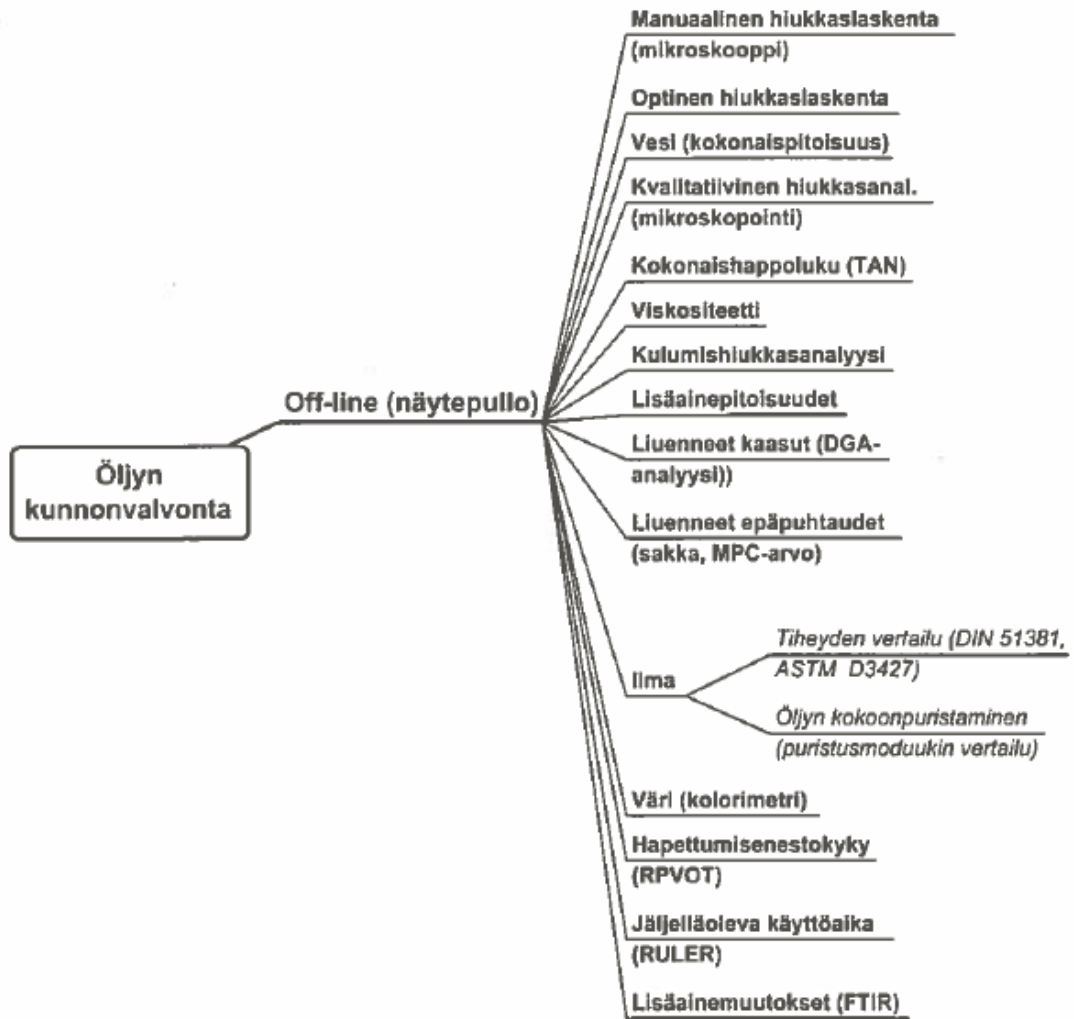
KUVA 8. In-Line-öljyanalyysit (Öljyn kunnossapito 2018, 11)

On-Line ("putken päällä") tarkoittaa, että neste tuodaan mittalaitteeseen letkulla tai putkella. On-Line mittauksen etuja ovat:



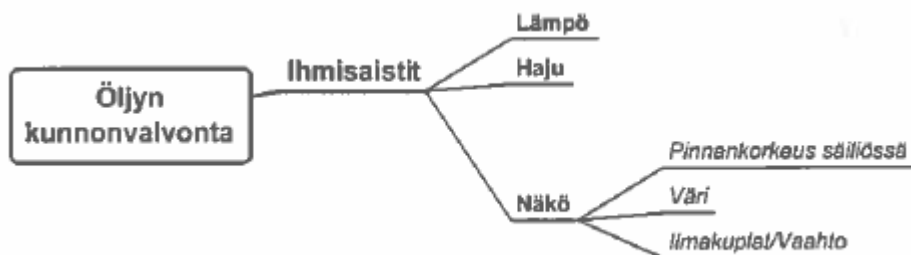
KUVA 9. On-Line-öljyanalyysit (Öljyn kunnossapito 2018, 11)

Off-Line ("putkesta pois") tarkoittaa, että nesteestä otetaan näyte, joka analysoidaan kentällä tai laboratoriossa.



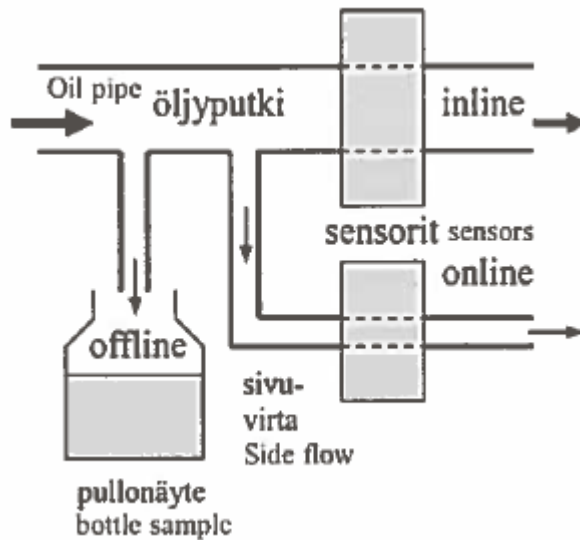
KUVA 10. Off-Line-öljyanalyysit (Öljyn kunnossapito 2018, 12)

Aistinvaraisissa tarkistuksissa käytetään ihmisen aisteja eli näkö-, kuulo-, hajuja tuntoaistia. Aistihavainnot antavat yleiskuvan, mutta eri henkilöiden eri aikoina tekemien havaintojen ja dokumentointien vertailukelpoisuus voivat olla ongelma.



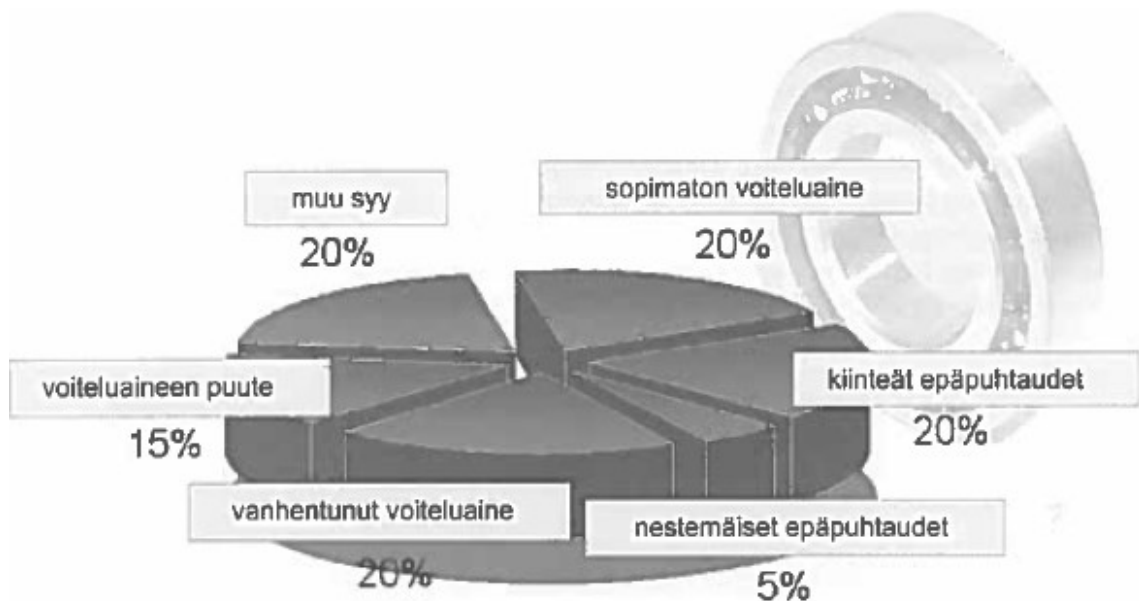
KUVA 11. Ihmisaisteihin perustuvat öljyanalyysit (Öljyn kunnossapito 2018, 10)

Mittalaitteita käytettäessä on otettava huomioon mittauspaikan, ilmakuplien, öljyn lisäaineiden, kosteuden ja sameuden vaikutus. Valvontajärjestelmä valitaan riippuen valvottavasta järjestelmästä ja suureesta, kuten öljyn puhtaus, kulumisesta syntyneet hiukkaset, kemiallinen kunto tai vesipitoisuus (Luomala, V., ym. 2018, 14).



KUVA 12. Mittauksen kytkeminen prosessiin eri tavoilla (Öljyn kunnossapito 2018, 13)

Monet tutkimukset osoittavat, että suurin osa voitelujärjestelmien vaurioista voidaan tunnistaa öljyanalyysien avulla. Esimerkkinä (kuva 13) on tutkimus rullalaa-kerien vaurioista öljyn epäpuhtausyyppien mukaan jaoteltuna.



KUVA 13. Öljyn epäpuhtauksien aiheuttamien vaurioiden jakautuminen ongelmatyyppien mukaan (Öljyn kunnossapito 2018, 34)

Hydrauli- ja kiertovoitelujärjestelmien vaatimusten takia on siirrytty käyttämään perusöljyistä ja erilaisista lisäaineista valmistettuja voiteluaineita. Muun muassa järjestelmien lämpötilojen nousun takia on siirrytty perinteisistä ryhmän I perusöljyistä ryhmien II-V perusöljyjen käyttöön. Ryhmien II-V perusöljyillä on mm. paremmat hapettumisenkesto-ominaisuudet ja näin ollen pidempi kestoikä etenkin kuumina käyvissä järjestelmissä. Lisäksi joissain tapauksissa on siirrytty myös käyttämään sinkittömään lisäaineteknologiaan perustuvia lisäainepaketteja. Alla on esitetty jaottelutaulukko (kuva 14) erityyppisille öljyille riippuen valmistustavasta ja öljyn kemiallisesta perusrakenteesta (Luomala, V., ym. 2018, 63–64).

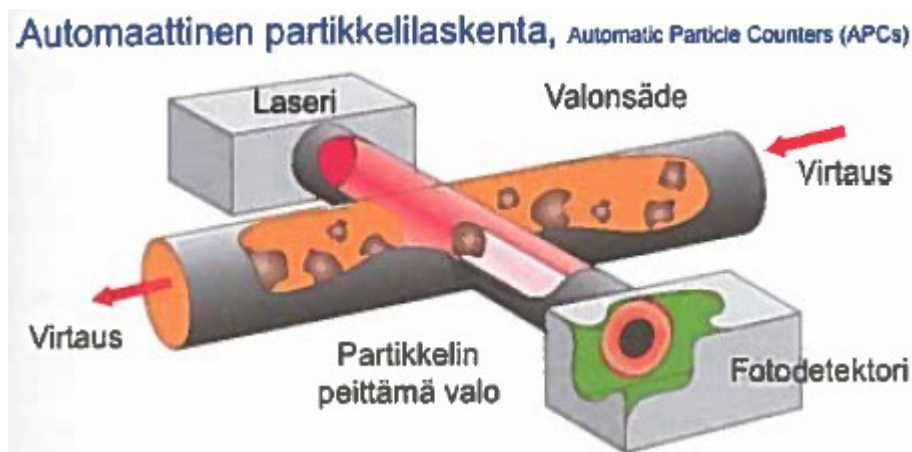
	API-ryhmä				
	I	II	III	IV	V
Perusöljyn tyyppi	Mineraali- öljy	Vetykäsitelt y mineraaliölj y	Synteettinen öljy	PAO	Mm. esterit
Tyydyttyneet hiilivedyt	< 90 %	> 90 %	> 90 %	100 %	0 %
Polariteetti	Korkea polariteetti	Vähemmän polaarinen	Lähes polaariton	Polaariton	Polaariton
Lakan liukoisuus	Korkea	Keskisuuri	Heikko	Heikko	
Sähkön johtavuus	Hyvä	Huono	Alhainen	Alhainen	
Rikkihaittoisuus %	> 0,03	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,03
Viskositeetti-indeksi	< 90	> 90	> 90	> 90	> 90

KUVA 14. API (American Petroleum Institute) –luokitukset erityyppisille perusöljyille ja öljyjen perusominaisuuksien vertailua tyyppin mukaan (Öljyn kunnossapito 2018, 64)

6.3.3 Hiukkaslaskurit

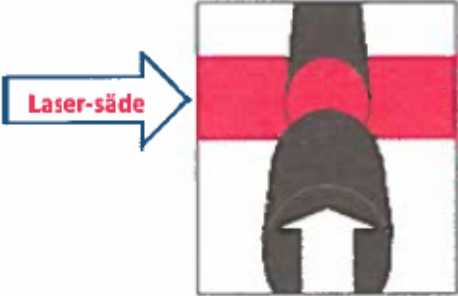
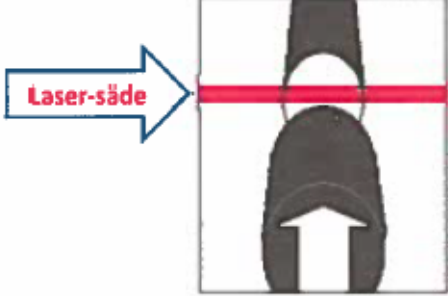
Hiukkaslaskureiden soveltaminen koneiden kunnonvalvontaan ja paluu- tai vuoto-
tolinjoista tapahtuvaan näytteenottoon edellyttää varmatoimista näytteenotto-
pumppua, joka sietää tyhjänä pumppausta ja pieniä epäpuhtauksia. Optisten
hiukkaslaskureiden periaate on yksinkertainen (kuva 15). Neste virtaa mittausan-
turin läpi, johon ohjataan valoa, ja vastaanotin mittaa nesteen läpi tulevan valon
määrää. Hiukkasten ollessa mittausanturissa osa valosta ei pääse vastaanotti-
meen, jolloin voidaan määrittää hiukkasten koko.

Kaikilla mittausmenetelmillä on rajoituksensa, jotka voivat vaikuttaa mittaustulok-
siin. Esim. nestemäiset ja kaasumaiset epäpuhtaudet öljyn seassa, kuten myös
ei-liuenneet öljykomponentit (lisäaineet), voidaan havaita kiinteinä hiukkasina.
Optisten hiukkaslaskureiden perinteinen ongelma on öljyssä vapaana esiintyvä
ilma. Ilmakuplat pyritään liuottamaan takaisin öljyyn paineen avulla ennen näyt-
teen ottoa. (Luomala, V., ym. 2018, 23)



KUVA 15. Optisen hiukkaslaskurin toimintaperiaate (Öljyn kunnossapito 2018, 23)

Eri valmistajien sensorit soveltuvat omille käyttöalueilleen sen mukaan, kuinka suuresta näytevirtauksen osasta hiukkaslaskenta tehdään (kuva 16).

Volumetrinen sensori: 100 %:n näyteala	In-situ-sensori: Optisesti määritelty näyteala
 <p data-bbox="571 752 715 779" style="text-align: center;">Näytevirtaus</p> <p data-bbox="320 808 815 913">Hiukkaslaskenta tehdään koko näytevirtaukselle Soveltuu hyvin puhtaille nesteille, koska jokainen hiukkanen lasketaan.</p>	 <p data-bbox="1145 752 1289 779" style="text-align: center;">Näytevirtaus</p> <p data-bbox="895 801 1417 925">Hiukkaslaskenta tehdään vain optisesti määritellylle alueelle, esimerkiksi 10–50 %:lle koko näytevirtauksesta. Laskentatulokset kerrotaan ko. suhteella vastaamaan koko aluetta.</p> <p data-bbox="895 943 1310 1066">Sopii hyvin likaisille nesteille, koska virtauspoikkipinta voi olla suurempi kuin volumetrisessä sensorissa, jolloin riski tukkeentumiselle on pienempi.</p>

KUVA 16. Optisten hiukkaslaskureiden mittaustapojen vertailut (Öljyn kunnossapito 2018, 24)

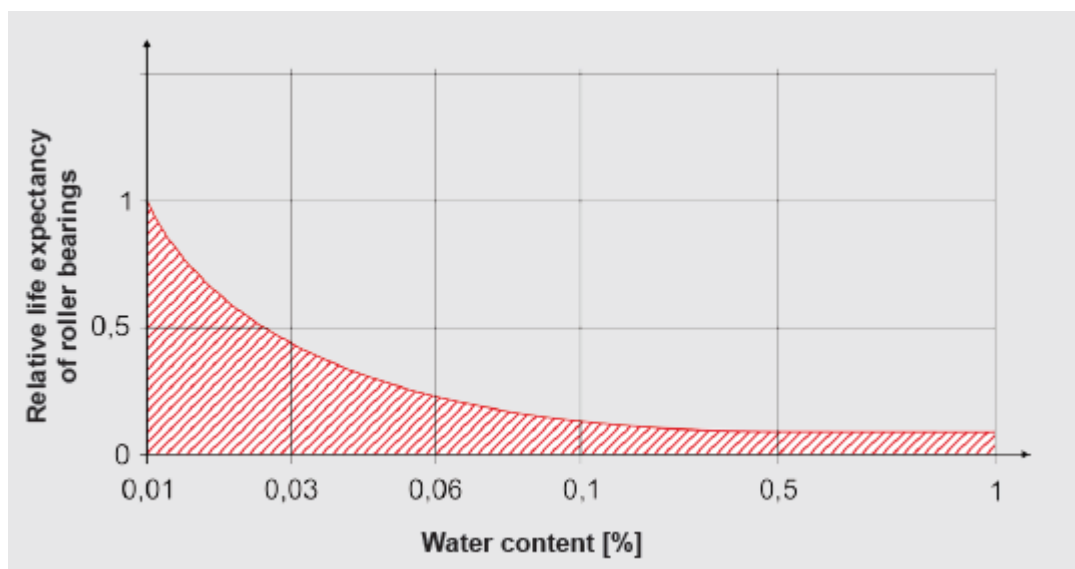
6.3.4 Magneettisiin pohjatulppiin pohjautuvat anturit

Moottorien ja vaihteistojen öljypohjien öljynpoistopropuissa aiemmin vakiovarusteena ollut magneettinen päätyosa keräsi ja poisti öljyn mukana kulkevia magneetoituvia hiukkasia. Hydraulikka komponenttien kunnonvalvontaa varten kehitettiin tulpasta ensin induktiivinen kytkin, joka antoi kytkintiedon, kun rautaa kertyi anturin päähän kytkentäarvon ylittävä määrä. Myöhemmin siitä kehitettiin induktiivinen anturi, joka antaa anturin pinnalle kertyvästä raudan määrästä analogisen signaalin sekä erottelee karkeasti pinnalle tarttuneiden hiukkasten kokoa. (Luomala, V., ym. 2018, 26)

6.3.5 Öljyn kosteus

Öljy pystyy sitomaan itseensä tietyn määrän vettä ilman, että vesi erottuu pisaroina ympäröivään öljyyn. Öljyyn sitoutuvan veden määrä riippuu lämpötilasta sekä öljyn ominaisuuksista (perusöljystä ja käytetyistä lisäaineista). Vesi öljyssä aiheuttaa monia erilaisia ongelmia, mm:

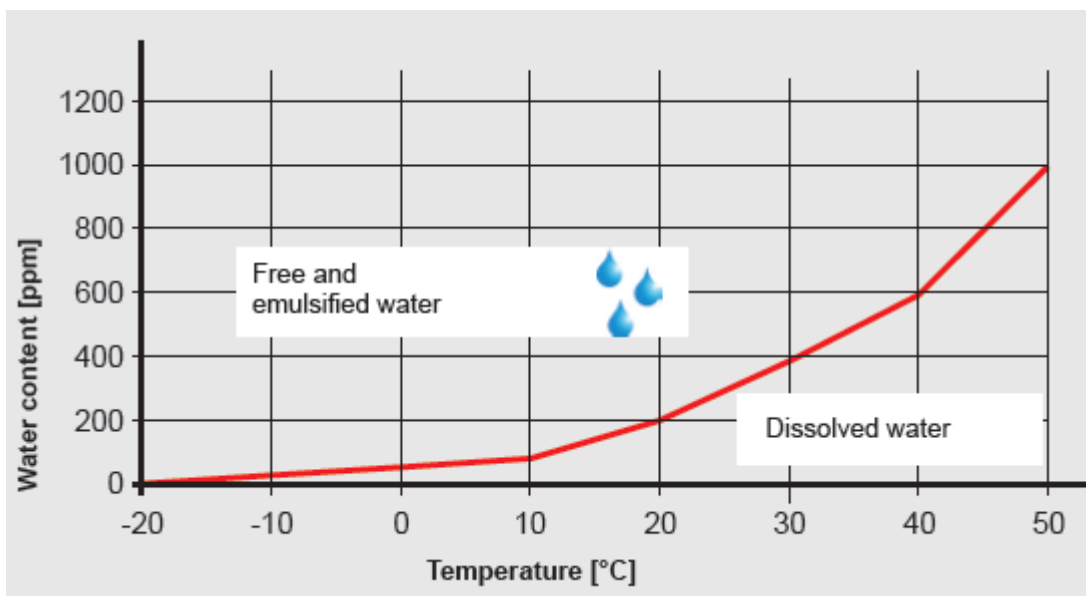
- estää joitakin lisäaineita toimimasta ja reagoi muiden kanssa muodostaen korrodoivia ja syövyttäviä sivutuotteita, jotka kuluttavat tiettyjä metalleja
- vähentää voitelukalvon lujuutta, mikä jättää kriittiset pinnat alttiiksi kulumiselle ja korroosiolle
- heikentää suodatettavuutta ja tukkii suodattimet
- lisää hapen tunkeutumista järjestelmään
- kasvattaa kavitaation todennäköisyyttä.



KUVA 17. Laakereiden elinajanodote suhteessa vesipitoisuuteen (Fluid Control Contamination Handbook, Hydac).

Vesi voi esiintyä öljyssä liuenneena tai vapaana vetenä tai höyrymäisessä muodossa. Vesi öljyssä on erityisen haitallista sekä itse öljyn kemiallisille ominaisuuksille että järjestelmän toimivuudelle. Veden liukeneminen (saturaatiopiste) (kuva 17) riippuu lämpötilasta ja öljyn ominaisuuksista. Öljyn lisäaineilla voidaan vaikuttaa huomattavasti siihen, kuinka paljon vettä liukenee öljyyn ennen kuin se alkaa erottua vapaana vetenä. Suhteellisen kosteuden mittaaminen välillä 0–100 prosenttia antaa tiedon, kun vapaata vettä alkaa muodostua järjestelmään.

Mittaus voidaan tehdä samanaikaisesti kuin öljyn puhtausluokan määrittäminen tai vaihtoehtoisesti erillisellä kosteusanturilla, joka mittaa samalla myös öljyn lämpötilan. Kondensaatio, vuodot vesijäähdyttimessä tai vesipitoisen öljyn lisääminen järjestelmään aiheuttavat tyypilliset vesiongelmat. Kaikissa olomuodoissaan vesi kuitenkin aiheuttaa suuria ongelmia kiertovoitelu- ja hydraulijärjestelmille. (Luomala, V., ym. 2018, 92)



KUVA 18. Veden kyllästymisraja öljyssä, eli lämpötilan vaikutus veden saturaatiopisteeseen (Fluid Control Contamination Handbook, Hydac).

6.3.6 Kosteuden poistaminen öljystä

Veden poistamiseen käytettävän menetelmän valinta riippuu siitä, missä muodossa vesi öljyssä esiintyy. Vapaana esiintyvää vettä voidaan poistaa esimerkiksi suodattamalla. Öljyssä liuenneena esiintyvää vettä voidaan poistaa esimerkiksi alipainekäsittelyllä tai vaikkapa käyttämällä vesimolekyyleihin reagoivia aineita, jotka sitovat veden esimerkiksi kiinteään aineeseen.

Kiertovoitelu- ja hydraulijärjestelmissä veden poistoon käytetään nykyään lähinnä suodattamista tai keskipakovoimaa perustuvaa erottelua, jos vesi esiintyy vapaana öljyssä. Liuenneen veden erottamiseen käytetään lähes aina alipainekäsittelyyn perustuvia yksiköitä. (Luomala, V., ym. 2018, 92)

6.3.7 Vesipitoisuusanturit

Infrapunamenetelmässä mittaus perustuu veden ominaisuuteen absorboida tiettyä infrapunasäteilyn aallonpituutta. Tutkittava öljy kulkee mittauskyvetin läpi, jonka toisella puolella on infrapunasäteilyn lähde ja toisella puolella ilmaisin.

On-Line-anturilla mittaus perustuu kapasitiiviseen mittaustekniikkaan. Öljyn sisältämän vesimäärän muuttuessa muuttuu myös anturin sähköpiirin kapasitanssi ja sen avulla voidaan määrittää öljyssä olevan veden saturaatioprosentti.

PPM-vesipitoisuusanturi mittaa öljyssä olevaa absoluuttista vesimäärää vedessä, ja tulos ilmoitetaan prosentteina tai yksikkönä ppm (parts per million).

Öljyyn upotettavalla In-Line-anturilla saadaan mitattua öljyn suhteellinen kosteus prosentteina. Anturi perustuu siinä olevan kalvon resistanssi muutokseen öljyn vesipitoisuuden mukaan. (Luomala, V., ym. 2018, 25)

6.3.8 Ilmapitoisuuden on-Line –mittaaminen

Perinteinen ilmapitoisuuden mittaustapa perustuu öljyn tiheyden mittaukseen, jossa verrataan ilmattoman öljyn tiheyttä ilmapitoisen näyte öljyn tiheyteen.

Öljyn valonläpäisevyyteen perustuvassa mittauksessa öljy virtaa läpinäkyvässä putkessa. Putken toiselta puolelta öljyyn kohdistetaan kirkas valo ja toisella puolella putkea on valonherkkä sensori, joka mittaa öljyvirtauksen läpäisseen valon intensiteettiä ja mahdollisesti myös spektriä.

Massavirta-anturin käyttö öljyn ilmapitoisuuden mittauksessa perustuu öljyn tiheyden mittaukseen ja siihen, että tunnistetaan ilmapitoisuuden aiheuttamat muutokset öljyn tiheyteen.

Käytettäessä joko laser- tai led-valoon perustuvia optisia antureita, voidaan mitata öljyssä virtaavien ilmakuplien kokoa, määrää ja kokojakautumaa, ja näistä voidaan laskea öljyssä oleva ilmapitoisuus.

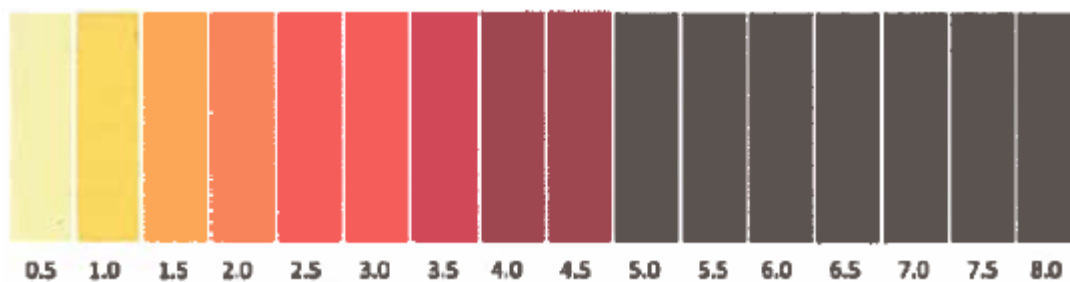
Öljyn kokoonpuristuvuuteen perustuva menetelmä perustuu näytteen kokoonpuristamiseen puristussylinterissä. Menetelmässä mitataan puristussylinterin männän liikamatka ja paineen muutos sylinterissä, sekä taltioidaan näytteen lämpötila. Tiedoista määritetään näytteen puristusmoduuli, jota verrataan ilmattoman nesteen puristusmoduuliin. Tiedoista lasketaan öljyn sisältämä vapaan ilman määrä. (Luomala, V., ym. 2018, 27)

6.3.9 Öljyn sähköiset ominaisuudet

Öljyn kuntoa voidaan seurata myös sähköisillä mittauksilla. Mitattavia suureita ovat öljyn suhteellinen dielektrisyys ja sähkönjohtavuus. Suhteellisen dielektrisyiden mittaamiseen on olemassa useita tekniikoita ja antureita. Yleisimmin käytetään kapasitiivisia antureita. Tuoreen öljyn sähkönjohtavuus riippuu käytetystä perusöljystä ja sen lisäaineista. Useissa uusissa öljyissä on matala sähkönjohtavuus, mutta öljyn vanhentuessa sen sähkönjohtavuus yleensä kasvaa. Sähkönjohtavuuden muutosta mittaamalla voidaan siis seurata öljyn vanhenemista. Koska suhteellinen dielektrisyys riippuu lämpötilasta ja tiheydestä, verrataan On-Line-mittauksessa saatua arvoa referenssilämpötilan arvoon. Myös viskositeetin nousu alentaa sähkönjohtavuutta (Luomala, V., ym. 2018, 32).

6.3.10 Öljyn väri

Monet eri kemialliset ja fysikaaliset tekijät vaikuttavat öljyn laatuun ja sen suorituskykyyn käyttötarkoituksessaan. Värin muutos on hyvä indikaattori sille, että ominaisuudet ovat muuttuneet ja tilanteen tarkempi analysointi on ajankohtaista. Öljyn väriä on käytetty mittasuurena erityisesti petrokemiallisen teollisuuden jalostusprosesseissa. Yleisimmin öljyille käytetty väriasteikko perustuu standardiin ASTM D 1500 (Standard test method for ASTM color of petroleum products (ASTM Color Scale)), jossa värin luokitukseen käytetään 16 arvoa sisältävää lukusarjaa. Arvo 0.5 vastaa hyvin vaaleaa (oljenkorren sävy) ja arvo 8.0 syvän punaista (lähes mustaa) (kuva 19). Menetelmänä väri edustaa visuaalista vertailevaa mittausta. Aiemmin värin määrittäminen tapahtui Off-Line-mittauksena kolorimetriellä. Nykyisin on käytössä On-Line-mittauksiin soveltuvia automaattisia värianalyysiaattoreita, joissa tarkkuus on perinteistä menetelmää parempi johtuen mm. inhimillisen tekijän puuttumisesta (Aarnio, M., ym. 2013, 33).



KUVA 19. Öljyväriasteikko ASTM D 1500 (Öljyn kunnossapito 2018, 33)

6.4 Suodatustekniikat

Kiertovoitelujärjestelmän öljyn suodatuksessa käytetään kahta tapaa – päävirtausuodatusta tai säiliökiertosuodatusta. Päävirtasuodatus tunnetaan myös nimellä putkistosuodatus, painesuodatus tai suojasuodatus. Suodatin sijoitetaan joko välittömästi pumpun jälkeen tai suojasuodattimeksi ennen kulutuskohdetta. Toinen suodatustapa on säiliökiertosuodatus, joka tunnetaan myös nimellä sivuvirtasuodatus. Säiliökiertosuodatuksessa käytetään kahta erillistä säiliötä – yhtä likaiselle ja yhtä puhtaalle. Öljyn suodattimet ja pieni pumppu ovat näiden säiliöiden välissä. Tällöin suodatuspainetta ja suodatusolosuhteita voidaan pitää tasaisena riippumatta linjan muusta toiminnasta. Puhtaan öljyn säiliöstä voidaan öljy pumpata suoraan voitelukohteisiin (Luomala, V., ym. 2018, 143–145).



KUVA 20. Kuivanpään kiertovoitelukoneikon Pall-merkkiset painesuodattimet. Kiertovoitelusäiliössä käytetään ainoastaan päävirtausuodatusta

7 LAAKERIEN KUNNOSSAPITO

Laakerien kunnossapito on hyvin riippuvainen laakerityypistä ja sen käyttöolosuhteista. Jotkut laakerit vaativat jatkuvaa valvontaa ja voitelua, mutta osa laakereista on kertavoideltuja, joten ne yksinkertaisesti jätetään voitelun osalta rauhaan asennuksen jälkeen. (SKF 1994)

Öljyvoideltujen laakereiden yhteydessä valitaan voiteluaineen viskositeetti käyttölämpötilassa ja voiteluainetyyppi vallitsevien käyttöolosuhteiden mukaan.

7.1 Laakerivauriot

Vaikka kestavoidellut ja tiivistetyt laakerit voidaan asennuksen jälkeen unohtaa, niin 36 % ennenaikaisista vaurioista johtuu väärästä rasvavalinnasta tai liian vähäisestä voitelusta. Toinen kolmannes taas johtuu epäpuhtauksista ja laakereiden virheellisestä käsittelystä. Loput laakerit vaurioituvat huonon linjauksen, epätasapainon, tärinän tai muiden vastaavien seikkojen seurauksena.

Huonosti voideltu laakeri hajoaa aina ennenaikaisesti. Laakerit ovat yleensä vaikeimmin saavutettavia koneen osia, joten riittämättömästä voitelusta tulee usein ongelma.

7.2 Laakerivaurion havaitseminen

Vähitellen tapahtuva laakerin toiminnan heikkeneminen on usein ensimmäinen merkki laakerivauriosta. Yksittäiset asennusvirheestä tai voitelun puutteesta johtuvat vauriot, jotka johtavat koneen välittömään alasajoon, ovat harvinaisia. Olosuhteista riippuen, laakerin vaurioitumisen alkamisesta laakerin varsinaiseen viikaantumiseen saattaa kulua muutamasta minuutista muutamaan kuukauteen.

Epänormaali värähtely on myös selvä merkki alkavasta laakerivauriosta. Värähtelyn syitä voivat olla epätasapaino, linjausvirhe, laakerin vierintäelinten tai hammaspyörän vauriot. Värähtelyn analysointilaitteet ja -järjestelmät havaitsevat ongelmat jo alkuvaiheessa, jolloin tilanne voidaan korjata ajoissa.

7.3 Epäpuhtauksien vaikutus laakerissa

Laakeri on tarkkuustuote, joka toimii moitteettomasti vain, jos laakeri ja sen voiteluaine eivät pääse kosketuksiin epäpuhtauksien kanssa. Koska vain osa laakereista on kestovoideltuja ja tiivistettyjä, 14 % kaikista ennen aikaisista vaurioista johtuu epäpuhtauksista. Voitelukalvo on todella ohut, sen paksuus on tyypillisesti vain 0,3–2 µm. Siksi pienetkin epäpuhtaudet haittaavat ratkaisevasti voitelutilannetta rikkoen voitelukalvon ja alentaen voideltavan kohteen elinikää ja käyttövarmuutta.

Epäpuhtaudet voiteluaineissa, olivatpa ne kiinteitä, nestemäisiä tai kaasumaisia, ovat haitallisia voitelun toimivuudelle. Huolellinen voiteluaineen ja voitelujärjestelmien tarkkailu yhdessä voiteluaineen analyysitoiminnan kanssa antaa mahdollisuuden ehkäistä tehokkaasti voiteluongelmia.

Laakerit on yleisin voideltava komponentti. Laakereiden oikealla voitelulla voidaan vaikuttaa merkittävästi laitteiden käyttövarmuuteen, tuotantokustannuksiin ja kunnossapitokuluihin.

8 VOITELUN PERUSTEET

Tehokkain tapa vähentää toistensa suhteen liikkuvien kosketuspintojen kitkaa ja kulumista on erottaa ne voiteluainekalvolla. Voiteluaineena voi periaatteessa olla mikä tahansa helposti leikkautuva materiaali kiinteässä, kaasumaisessa tai nestemäisessä muodossa. Voitelun tärkeimpiä tehtäviä ovat:

- erottaa pinnat toisistaan
- pienentää kitkaa ja siitä aiheutuvaa tehohäviötä
- vähentää kulumista
- jäähdyttää kosketusta
- estää epäpuhtauksien tulo voideltavaan kohteeseen
- kuljettaa epäpuhtaudet ja kulumishiukkaset pois
- vaimentaa värähtelyä ja suojata osia korroosiolta

Tehokkaalla voitelulla saadaan aikaan merkittävää taloudellista hyötyä. Alhainen kitka säästää energiaa ja nostaa suoritustehokkuutta. Vähäinen kuluminen mahdollistaa koneiden eliniän pidentymisen. Oikeaoppinen voitelu on myös perusedellytys konejärjestelmien hyvälle käyttövarmuudelle (Luomala, V., ym. 2018, 11).

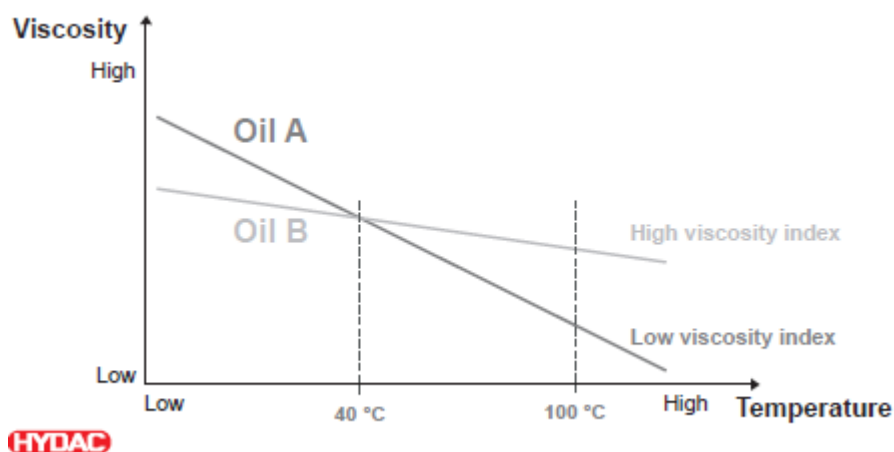
8.1 Pintojen väliset kosketukset

Koneiden osien pinnanvälisissä kosketuksissa toimitaan aina elastisella alueella. Pintojenväliset kosketustilanteet voidaan jakaa karkeasti kolmeen ryhmään: Vierintäkosketuksiin (esim. vierintälaakeri), liukukosketuksiin (esim. liukulaakeri) ja näiden yhdistelmään. Kosketukselle tunnusomaisia piirteitä ovat:

- Kosketuskuvio on kuormittamattomana piste tai viiva, eli kosketuspinta-ala on nolla
- Pienikin kuormitus aiheuttaa deformaatiota ja suuria paikallisia jännityksiä
- Jännitykset eivät ole suoraan verrannollisia kuormitukseen
- Jännitystila on 3- akselinen, mistä seuraa, että paikallinen jännitys voi nousta hyvin suureksi aiheuttamatta silti vauriota (Luomala, V., ym. 2018, 22).

8.2 Voitelun viskositeetti

Viskositeetti on nestemäisen voiteluaineen tärkein ominaisuus. Se kuvaa voiteluaineen sisäisen kitkan suuruutta. Viskositeetti kertoo öljyn (tai muun nesteen) juoksevuuden. Viskositeetin yksikkö on centistoke (cSt), mutta yleisesti viskositeetin ilmaisemiseen käytetään SAE-standardissa määriteltyjä viskositeettiluokkia. Viskositeettiluokka määrittää mitattavat raja-arvot, joiden sisällä öljyn viskositeetin tulee pysyä. Mitä pienempi viskositeettiluokan lukuarvo, sitä juoksevampaa (tai ohuempaa) öljy on. Poikkeava viskositeetin nousu johtuu esimerkiksi puutteellisesta suodatuksesta, väärän öljyn lisäämisestä järjestelmään, emulgointuneesta vedestä tai öljyn hapettumisesta. Viskositeetin lasku johtuu tyypillisesti vapaasta vedestä, väärän öljyn lisäämisestä järjestelmään tai öljyn leikkautumisesta eli lisäainepolymeerien katkeamisesta raskaissa käyttöolosuhteissa esimerkiksi kovan paineen alaisena. Pääsääntönä pidetään, että öljyn viskositeetti saa käytön aikana muuttua korkeintaan +/-10 % alkuperäisestä arvosta. Öljyn ominaisuuksia mittaavan sensorin avulla voidaan seurata viskositeetin muutosta ja tarvittaviin toimenpiteisiin voidaan ryhtyä riittävän ajoissa. Öljyn viskositeetin muutosta on käytännössä mahdoton korjata, varsinkin jos se johtuu hapettumisesta, joten se johtaa yleensä öljynvaihtoon.



KUVA 21. Kuvasta nähdään, mitä korkeampi öljyn viskositeetti-indeksi on, sitä pienempi viskositeetin muutos suhteessa lämpötilaan (Fluid Control Contamination Handbook, Hydac).

8.3 Raja- ja sekavoitelu

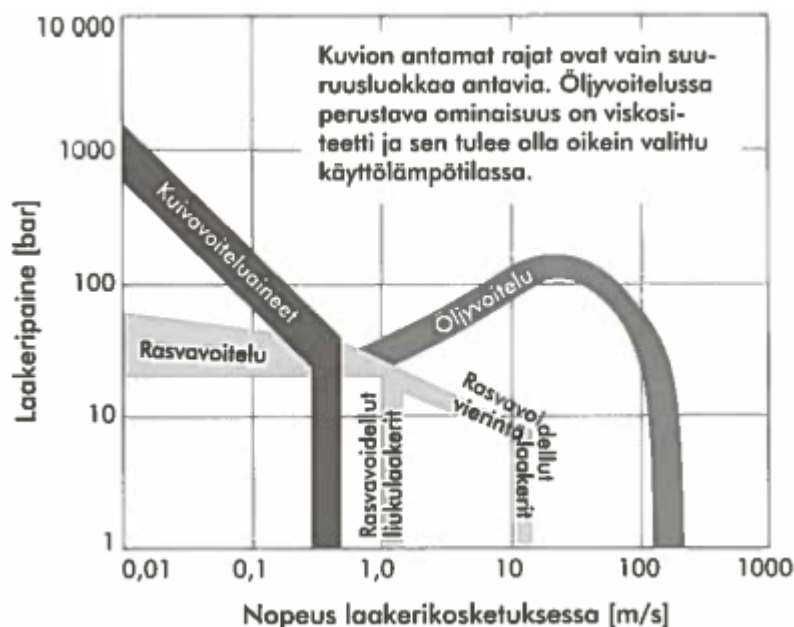
Raja- ja sekavoitelualueella toimivat verrattain pienillä nopeuksilla pyörivät liuku- ja vierintälaakerit, hammaspyörät, hammaskytkimet ja murrosnivelet. Nämä sovellutukset toimivat useimmiten rasvavoideltuina, mikä asettaa rasvojen ja voiteluöljyjen lisäaineille ja niiden toimivuudelle korkeat vaatimukset. Usein tapahtuvat käynnistykset johtavat esimerkiksi nopeasti pyörivien työstökarojen esijännitettyjen laakereiden kulumiseen, vaikka laakerit normaalikäytössä toimivatkin nestevoitelumekanismilla (elastohydrodynaamisella voitelulla). Näitä voitelutilanteita esiintyy erityisesti käynnistykseen ja pysäytykseen yhteydessä myös öljyvoidellussa kosketuksessa. Esimerkiksi paperikoneen märänpään telojen laakerit toimivat voiteluaineen viskositeetista riippuen seka- tai elastohydrodynaamisella voitelulla. Kuivatusosalla kuivatussylinterien laakerit toimivat sekavoitelulla tai jopa rajavoitelulla, laakerien läpimenevien höyryputkien eristyksestä ja koneen ajonopeudesta riippuen. Käynnistettäessä tai pysäytettäessä, sekä konetta ryömitettäessä laakerit toimivat yleensä epäedullisella rajavoitelualueella (Luomala, V., ym. 2018, 34).

Raja- ja sekavoitelussa täydellistä hydrodynaamista voitelukalvoa ei enää synny, joten vastinpintojen pinnankarheushuiput koskettavat toisiaan. Hallitussa voitelussa keskitytään nopeasti syntyvien ja suojaavien pintakalvojen muodostamiseen lisäaineiden avulla. Materiaaliparin tribologisiin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa käyttämällä pinnoitteita, pintakäsittelyä, kiinteitä voiteluaineita sekä voiteluaineen tehokkaalla tuonnilla voideltavaan kohteeseen (Luomala, V., ym. 2018, 34).

9 VOITELUAINEET

Voiteluaineen päätehtävät ovat kitkan vähentäminen ja kulumisen pienentäminen. Usein voiteluaineen avulla voidaan toteuttaa muitakin käytön kannalta olennaisia tehtäviä, kuten jäähdytystä, korroosionestoa, värähtelyjen vaimentamista tai epäpuhtauksien poistamista voitelun kosketusalueelta. Voiteluaine on suunniteltu toimimaan tietyn tyyppisissä laakereissa tietyissä olosuhteissa (kuva 22). Se on kahden kiinteän pinnan väliaine ja voi olla kaasua, nestettä tai kiinteää ainetta. Voiteluaineista valtaosa on nestemäisessä muodossa ja ne ovat yleisimmin öljypohjaisia.

Kunnollisen voitelun edellytyksenä on oikein valitun voiteluaineen lisäksi puhtaus varastoinnissa ja jakelussa sekä voiteluaineen oikea käyttö oikeissa määrissä tavalla, joka takaa laitteiden kunnollisen toiminnan. Ei pidä väheksyä säännöllisiä puhdistuksia ja tarkastuksia, jotka koskevat sekä laitetta että järjestelmän muita komponentteja: suodattimia, lämmönvaihtimia, säiliöitä ja voitelulaitteita (Luomala, V., ym. 2018, 199).



KUVA 22. Eri voitelutyyppeiden soveltuvuus liuku- ja vierintälaakereiden nopeuden ja kuormituksen suhteen (Teollisuusvoitelu 2013, 49)

9.1 Voiteluaineiden valinta

Sopivan voiteluaineen valinta tietylle laakerille on erittäin tärkeää, jotta laakeri toimisi odotetulla tavalla käyttökohteessaan. Voiteluaineen valinnan lähtökohdaksi on aina käyttöolosuhteiden määrittäminen. Samanlaisia laitteita voidaan käyttää eri puolilla maapalloa hyvinkin poikkeavissa olosuhteissa. Olosuhteet vaihtelevat voimakkaasti vuodenaikojen vaihdellessa ja myös tehtaiden sisällä olosuhteet vaihtelevat, hyvänä esimerkkinä voidaan pitää kartonkikonetta.

Lopullisen valinnan yhteydessä harkitaan:

- Käytetäänkö rasva- vai öljyvoitelua
- Perusöljyn tyyppi
- Viskositeetti-luokka
- Tarvittavat lisäaineet
- Voitelutapa
- Voiteluväli

(Luomala, V., ym. 2018, 200).

9.2 Mineraaliöljyt

Mineraaliöljyt on valmistettu tyhjiötislaamalla ja puhdistamalla raakaöljystä. Raakaöljyjen koostumukset vaihtelevat jopa lähdekohtaisesti. Voiteluaineiden perusöljyjen jalostukseen kemiallisesti sopivimpien raakaöljyjen ominaisuuksia ovat:

- Pieni aromaattipitoisuus
- Pieni rikki-pitoisuus
- Stabiilisuus (esim. kemiallinen kestävyys hapettumista vastaan)

Mineraaliöljyjä suositetaan voiteluöljynä niiden halvan hinnan vuoksi suhteessa synteettisiin öljyihin (kuva 23). Mineraaliöljyjen ominaisuudet riittävät normaalioloihin, mutta ominaisuuksia voidaan parantaa lisäaineilla. Lisäksi mineraaliöljyjen käyttö on turvallista, koska ne harvemmin vahingoittavat järjestelmän eri tiivistämateriaaleja sekä metalleja.

9.3 Synteettiset nesteet

Synteettiset hiilivedyt eli polyalfaolefiini (PAO) soveltuu erittäin hyvin lähes kaikenlaisten voiteluaineiden valmistukseen. Sillä on hyvä hapettumisenestokyky ja hyvät viskositeettiominaisuudet kylmissä sekä kuumissa olosuhteissa. PAO - pohjaiset tuotteet soveltuvat muun muassa moottoriöljyjen, vaihteistoöljyjen, hydraulioöljyjen ja kiertovoiteluöljyjen valmistukseen. Alkyylibentseeniä käytetään esimerkiksi jäähdytinkompressoreissa niiden hyvän liukoisuuden vuoksi. Voiteluaineiden valmistuksessa käytetään myös raakaöljystä valmistettuja mineraaliperusöljyjä tai kemiallisen prosessin avulla valmistettuja synteettisiä nesteitä. Synteettiset öljyt ovat hyvin kalliita suhteessa mineraaliöljyihin ja tämän vuoksi käytettyjä lähinnä erikoislaakereissa (kuva 23).

	Viskositeetti-lämpötila-käyttäytyminen	Kulumissuoja	Kitkäkäyttäytyminen	Vaikutus maaleihin	Vaikutus tiiviste-materiaaleihin	Sekoitusuus mineraaliöljyyn	Kylmäkäyttäytyminen	Hapettumiskestävyys korkeissa lämpötiloissa	Syntyvyys	Suhteellinen hinta
Mineraaliöljy	0	0	+	+++	+++		0	0	-	1
VHVI	++	++	++	+++	+++	+++	+	++	-	4
Polyalfaolefiinit	++	0	+	+++	++	+++	++	++	-	5
Alkyylibentseenit	0	0	+	+++	+++	+++	+	0	-	4
Diesterit	++	0	+	-	0	+	+	+	0	5
Polyliesterit	++	0	++	-	0	0	++	+++	0	5
Polyglykolit	++	+++	+++	+	+	-	+	+++	0	6
Fosforihaptoesterit	-	++	++	-	0	-	0	+	++	6
Silikoniöljyt	+++	-	-	++	+++	-	+	+	+	40

+++ eriomainen, ++ erittäin hyvä, + hyvä, 0 välttävä, - huono

KUVA 23. Erialaisten perusöljyjen ominaisuuksien vertailu (Teollisuusvoitelu 2013, 58)

9.4 Öljyjen lisäaineet

Nykyaikaisiin voiteluaineisiin lisätään erilaisia kemiallisia aineita, joista kunkin tarkoituksena on parantaa perusvoiteluaineen toimintaa jollakin tietyllä osa-alueella.

Tällaisia ovat:

- Ruosteenesto, joka parantaa öljyn laakerille antamaa suojaa
- Hapettumisen esto, joka hidastaa perusöljyn hajoamista korkeissa lämpötiloissa, mikä lisää voiteluaineen käyttöikää
- Vaahtoamisen esto, mikä estää kuplien muodostumisen
- Paineenkestolisäaine, joka vähentää metallipintojen välisen kontaktin aiheuttamia vaurioita
- Kulumisenesto, joka estää metallipintojen välisen kontaktin
- Kiinteä lisäaine, mikä voitelee silloin, kun perusöljy menettää voiteluominaisuutensa.

Lisäaineet voivat vaikuttaa fysikaalisesti tarttumalla voideltaviin pintoihin tai kemiallisessa reaktiossa muodostamalla pintojen kanssa uuden yhdisteen. Useat lisäaineet ovat vaikutuksiltaan monitoimisia (Luomala, V., ym. 2018, 60).

Voiteluaineen sisältämistä perusöljyistä ja lisäaineista valmistetaan kokonaisuus, jonka eri ominaisuudet ovat keskenään tasapainossa ja täyttää voiteluaineen toimivuudelle asetetut vaatimukset. Eri ominaisuuksien välinen tasapaino edellyttää, että voiteluaineen ainesosat ovat toistensa kanssa yhteensopivia ja niiden väliset sekoitussuhteet ovat oikeat.

Kokonaisuuden kannalta lisäaineiden on toimittava oikein sekä keskenään että varsinaisten perusöljyjen kanssa. Omatoimisten voiteluainesekoitusten tai voiteluaineiden joukkoon jälkikäteen lisättävien aineiden käytössä voi ilmetä ikäviä yllätyksiä. Yhteensopimaton aine saattaa tietyissä testeissä toimia hyvin, mutta reagoidessaan voiteluaineen omien lisäaineiden kanssa huonontaa voiteluaineen muita ominaisuuksia ratkaisevasti (Kunnossapito: Menestystekijä, Opetushallitus).

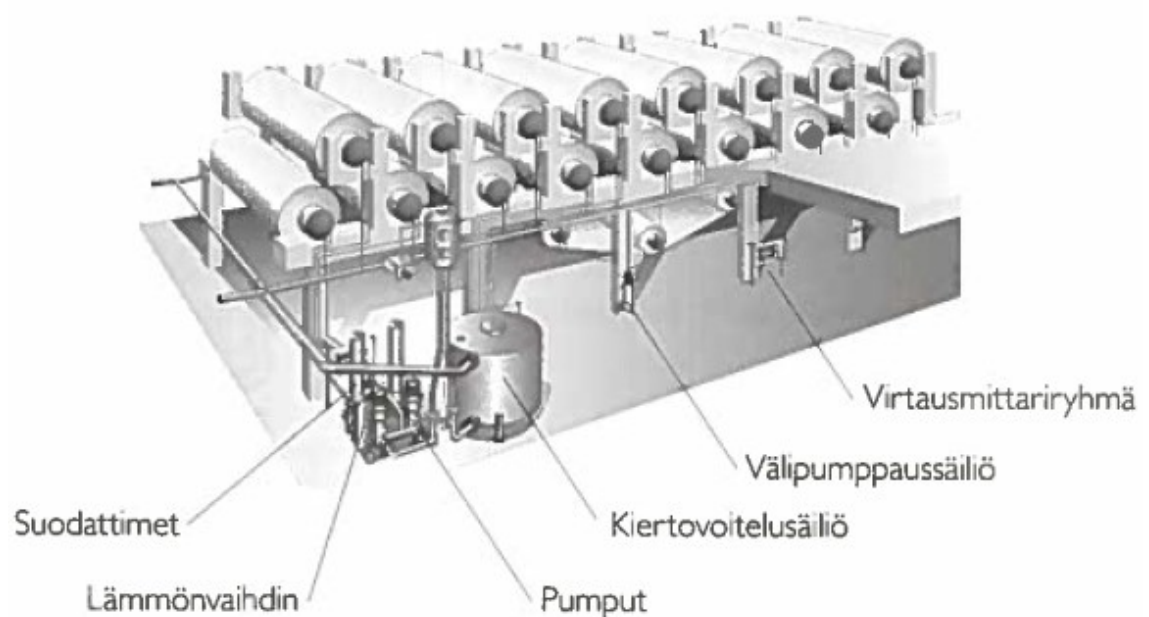
10 VOITELULAITTEET JA -JÄRJESTELMÄT

Tuotantolaitteistojen kunnossapito on prosessin häiriöttömyyden kannalta erittäin tärkeää, ja sen takia voitelulaitteet ovat yksi osa kunnossapidon tärkeimpiä työkaluja. Niillä varmistetaan, että tuotanto sujuu tehokkaasti ja ilman häiriöitä.

10.1.1 Kiertovoitelujärjestelmä

Kartonkikoneessa kiertovoitelua käytetään sellaisissa kohteissa, joissa öljy voitelun lisäksi myös jäähdyttää ja puhdistaa kohdetta. Kiertovoitelujärjestelmän (kuva 24) on kyettävä tuottamaan aina oikea määrä hyväkuntoista öljyä kaikille voitelukohteille. Tämän lisäksi sen on toimittava korkeissa lämpötiloissa sekä poistettava ulkoiset epäpuhtaudet, kuten kulumispartikkelit, hapettumistuotteet, vesi ja ilmakuplat.

Säiliössä öljy lämmitetään sopivan viskositeetin saavuttamiseksi, jolloin suodattavuus, pumpattavuus sekä ilman ja veden erottuminen paranevat. Kiertovoitelujärjestelmässä öljy pumpataan pääsäiliöstä suodattimien kautta lämmönvaihtimeen, jossa se jäähdytetään haluttuun lämpötilaan. Paineputkisto haaroittuu virtausmittariryhmille, joissa öljyn virtaus säädetään voitelukohteittain halutun suuriseksi. Voitelukohteilta öljy palaa, tarvittaessa välisäiliöiden kautta, paluuputkistoa pääsäiliöön (Luomala, V., ym. 2018, 234).



KUVA 24. Kiertovoitelujärjestelmän rakenne (Teollisuusvoitelu 2013, 234)

Märänpään voitelukohteita ovat viiraosan telojen laakerit ja vaihteet sekä puristinosan telojen laakerit ja vaihteet. Kuivassa päässä voitelukohteita ovat kuivatusosalla telojen laakerit ja vaihteet, sylintereiden laakerit ja käyttövaihteet. Liimapuristinosalla voitelukohteita ovat telojen laakerit ja erillisivaihteet. Kalanterin voitelukohteita ovat ylätelan erillisivaihteet ja rullaimella johtotelan laakerit ja sylintereiden laakerit sekä käyttövaihteet.

10.1.2 Virtausmittaus

Kiertovoitelujärjestelmässä öljyn virtauksen mittaukseen käytetään erityyppisiä mittareita. Mittareita on joko yksi- tai monikanavamalleja ja niitä on saatavilla monille eri virtausalueille. Syrjäytysperiaatteella toimivia mittareita ovat esimerkiksi hammaspyörä-, soikioratas- ja rengasmäntämittarit, joilla mitataan pyörimistajuuden avulla virtausta. SR-mittareiden tekniikka perustuu todellisen tilavuusvirtauksen mittaukseen, joka takaa aina virheettömän virtausmäärän koko mittausasteikolla öljyn lämpötila- ja viskositeettimuutoksista riippumatta. Muita mittarimalleja ovat esimerkiksi roottorimittari ja uimurimittarit. Roottorimittareilla mitataan virtausta potkurin pyörähdysajan avulla ja mittaustulos täytyy kompensoida öljyn viskositeetin ja lämpötilan mukaan. Uimurimittareissa virtaus määritetään uimurin asemasta virtauskäyrästöjen avulla. Alla olevassa kuvassa (kuva 25) syrjäytysperiaatteella toimiva soikioratasmittari.



KUVA 25. Soikioratasmittarit ja OVAL D2 -Mittausasema (Kytola, virtausmittarit – soikioratasmittarit)

Virtausta valvotaan erillisillä mittausasemilla (kuva 25), jotka keräävät virtaus- ja hälytystiedot asemalleen monitoroitavaksi. Jokaiselle järjestelmän virtausmittarille voidaan määritellä:

- Positio
- Asetusarvo
- Ala-alarajahälytys
- Alarajahälytys
- Ylärajahälytys
- Mittayksikkö (L/min, USGPM, PPM tai pulssia/min)
- Hälytysryhmä
- Pulssivakio

Virtausmittari (pos.1) mittaa virtausta potkurin pyörähdyksajan avulla. Mittaustulos kompensoidaan öljyn viskositeetin ja lämpötilan mukaan ohjausyksikössä (pos.5). Öljy syötetään virtausmittariyhmälle rungon takana olevasta liitännästä. Säättö- ja kuristusventtiiliin (pos.4) sijainti on mittarikohtaista. Venttiilistä öljy siirtyy virtausaukon kautta mittariosaan (pos.3). Mittarissa on roottori (kuva 26), jonka pyörähdyksiä mitataan anturilla (pos.2). Mittariosasta öljy siirtyy säädetyn mukaisena tilavuusvirtauksena lähtöliitännän kautta putkea pitkin voitelukohteelle. Lähtöliitännät sijaitsee rungon takana olevan tuloliitännän yläpuolella. Lähtöliitännät ovat mittarikohtaisia.



KUVA 26. SKF Flowline monitor -pääkomponentit ja roottorin toiminta (SKF, kiertovoitelu – mittalaitteet)

Kuvassa 27 on selitettyä virtausmittarin FL-50 käyttöliittymän toiminta. SKF Flowline monitor FL-50 on tarkoitettu 15–50 l/min virtausmäärille. Virtausmittari koostuu ohjausyksiköstä ja siihen liitetyistä virtausputkista, joista toinen on kytetty mittarin ohjausyksikköön ja toisesta voiteluaine virtaa vapaasti.



1. LED – virtauksen osoitus
2. Virtauksen säätö
3. Näyttö, virtaus, raja-arvot, lämpötila
4. Raja-arvojen näytön osoitin
5. Virtauksen yksikkö l/min – pints/min
6. Toiminto painikkeet, set, mode, nuolet

KUVA 27. Käyttöliittymä (SKF, kiertovoitelu – mittalaitteet)

Virtauksien valvonta on lisääntynyt osana prosessin valvontaa. Nykyaikainen valvontajärjestelmä lisää käyttövarmuutta ja osaltaan estää tehokkaasti mahdolliset tuotantolinjan suunnittelemattomat tuotannonpysäytykset, kun niihin voidaan reagoida ajoissa. Valvomossa voidaan hälytysten lisäksi lukea mitatut virtausarvot keskitetysti, jolloin jokaisen voitelupistekohteen virtaus on tarkasti tiedossa. Kunnossapidon tueksi on tarve valvoa virtauksia mittareilta myös paikallisesti.

11 VOITELUN KEHITTÄMINEN

Tehokkaalla voitelulla, voiteluhuollon suunnittelulla ja voiteluaineiden käytöllä saavutetaan huomattavia säästöjä kunnossapitokustannuksissa. Alhaisella kitkalla säästetään energiaa ja nostetaan suoritustehokkuutta. Vähäinen kuluminen puolestaan nostaa koneiden elinikää. Oikeaoppinen voitelu on perusedellytys koneistojen hyvälle käyttövarmuudelle, minkä takia voiteluratkaisut tulee ottaa huomioon jo laitteen suunnitteluvaiheessa. Tällä tavoin saadaan merkittävää taloudellista hyötyä ja suoritustehokkuutta koneiden eliniän pidentyessä.

11.1 Voitelun ongelmat

Kartonkikoneen öljyn kunnonvalvonnassa on suuri aukko verrattuna koneen muuhun mittaus kunnossapitoon. Tällä hetkellä käytössä ei ole käytännössä minkäänlaista öljyn kunnonvalvontaa. Ennakkohuoltosuunnitelmaan kuuluu keran vuodessa koneikoista pullomittareilla otettavat Off-Line tiheysnäytteet. Näytteiden analyysissä kestää viikkoja ja ne ovat kalliita. Näytteiden ottoa ei ole tarkoitus lopettaa, mutta pienet viat eivät näy värähtelymittauksissa, vaan ne pitäisi olla ennakoitavissa öljyn kunnonvalvonnan mittauksilla. Tällä hetkellä korjaustarpeet pienimmissä vauriosta ovat ennakkohuollon työntekijöiden kokemuksen varassa.

11.1.1 Öljyn vesipitoisuus

Kiertovoitelussa on aina ollut ongelmia öljyn vesipitoisuuden kanssa. Kuivatussylintereissä käytetyt Valmetin höyry- ja lauhdekytkimet ovat vuotaneet alusta lähtien. Pienempiä vuotoja on ollut haastavaa käynnin aikana paikantaa, koska tulistettua höyryä ei paljain silmin näe. Tarkempaa syytä vuotamiselle ei ole löytynyt, osa syynä on varmasti hiilirenkaiden kuluminen ja vanhuus, jonka myötä paineiskun tullessa vesi puhaltuu 5 bar paineella kytkimen akselitiivisteiden läpi vaihdelaatikkoon.

Yhdeksi öljyn vesipitoisuuden aiheuttajaksi on epäilty myös kuivanpään kierto-voitelusäiliön levylämmönvaihdinta. Lämmönvaihtimessa öljyä jäähdytetään

säättämällä kylmän veden virtausta säätöventtiilillä, jota ohjataan lämmönvaihtimelta lähtevän öljyn lämpötilan mukaan. Lämmönvaihtimelta paineputkisto haaroittuu virtausmittariryhmille, joissa öljyn virtaus säädetään halutun suuruisiksi voitelukohteittain.

Kiertovoitelukoneikon sisä- ja ulkoilman suuren lämpötilaeron takia huohottimet imevät säiliöön kosteaa ilmaa, joka kondensoituu pisaroiksi säiliön kanteen ja putoaa öljyn sekaan. Syynä suurentuneelle lämpötilaerolle on jälkikäsitteilyn investointiprojektin takia kasvanut kulku ulko- ja sisätilojen välillä, jolloin kylmä ilmavirta pääsee kellariin.

Vesiongelmien takia kiertovoitelukoneikossa on ollut kytkettynä tehtaan oma Pallmerkkinen HNP purifikaattori (kuva 28), joka poistaa öljystä sitoutunutta vettä ja kaasuja. Kyseisen laitteen tarkoitus on olla hätäapuna, mutta pitkittynyt vesiongelma on muuttanut laitteen käytön normaalitilanteeksi, jolloin tehtaan kaikki laitteet ovat käytössä eikä hätätilanteen tulesa ole varalaitteita. Kiertovoitelusäiliöstä poistetaan vapaata vettä muutaman päivän välein vesittämällä säiliön alahanasta. Vuosihuoltoseisokin jälkeen öljyn vesipitoisuus oli niin korkea, että ulkopuoliselta toimittajalta vuokrattiin hätäapuun toinen Hydac FluidAqua-purifikaattori, jonka tarkoitus on poistaa kaasun ja sitoutuneen veden lisäksi myös vapaata vettä. Se näyttää myös vesipitoisuusluvun prosentteina.



KUVA 28. Pall HNP Purifikaattori

Säiliön muodon takia (kuva 29) purifikaattoreiden kosteuspitoisuusmittarit eivät pidä täysin paikkaansa, koska säiliössä on seisovaa öljyä, joka ei kulje purifikaattoreiden läpi. Lähtevään painelinjaan pitäisi saada asennettua online ppm mittari, jotta saataisi luotettava tulos öljyn vesipitoisuudesta. Mittari on jo ostettuna, mutta sitä ei ole pystytty kalibroimaan sopiville arvoille tämänhetkisen korkean öljyn vesipitoisuuden takia.



Kuva 29. Kuivanpään kiertovoitelusäiliö, tilavuus 24 kuutiota

Seisakkien pesujen yhteydessä tuotannon työntekijöiden pitäisi ymmärtää, että korkeapainepesureilla ei saa lähietäisyydeltä päästä kohti laakerointeja. Pesuvesi ei myöskään saisi jäädä kiertovoitelu- ja hydraulikkakoneikkojen päälle seisomaan. Luukun tiivisteet saattavat vuotaa ja vesi pääsee tätä kautta öljykiertoon.

11.1.2 Öljynvirtauksen säätö

Laakereille öljynvirtaus pitäisi olla hygieniasyistä tarkasti säädettävissä. Liika öljy valuu telojen kauloille ja alkaa roiskua ympäristöön ja pahimmassa tapauksessa tuotteeseen. Tarkemman säädön myötä kone pysyisi paljon puhtaammassa kunnossa ja laakereille menisi oikea määrä öljyä. Laakerit pysyisivät nor-

maalissa lämpötilassa, eikä vuotoja esiintyisi. Korona-epidemian loputtua tehtaalla alkaa jälleen käymään asiakkaita vierailmassa. Asiakkaita kiinnostaa nähdä millaisella laitteella ja minkälaisessa ympäristössä heidän ostamaansa elintarvikekartonkia valmistetaan. Tuotantotilat pitäisi olla siistit, eikä niistä saa löytyä öljyvuotoja tai valumia. Öljyroiskeet lisäävät myös liukastumisriskiä. Nykyisillä rotametreillä tarkka säätö ei onnistu ja niiden toiminta on todella epävarmaa. Epävarmuuden takia virtausta ei voida säätää tarvittavan alhaiseksi. Jos virtaus loppuisi, tapahtuisi laiterikko.

11.1.3 Turvallisuus

Kyron tehtaalla tapahtui 1950 luvun loppupuolella onnettomuus jossa huurossa oleva laakeri leikkasi kiinni. Huurossa on jatkuvasti suuri määrä pölyä, josta aiheutuu suuri palokuorma. Pöly syttyi palamaan ja aiheutti mittavat vahingot, tuhoten koko kuivatusosan. Palon syyksi selvisi laakerin ylikuumentuminen, joka johtui voitelun riittämättömyydestä. Voitelulla on siis suora yhteys työ- ja paloturvallisuuteen.

11.2 Ongelmista aiheutuvat kustannukset

Huono öljynlaatu aiheuttaa kunnossapito kuluja, koska kaikkien kiertovoiteluun liitettyjen laitteiden ja laakereiden suunniteltu elinikä lyhenee.

Suurimmat kustannustekijät tämänhetkisessä järjestelmässä aiheuttavat laiterikkojen myötä tulevat tuotannonmenetykset. Nykyiset rotametrिताulut vuotavat jatkuvasti, eikä niiden jatkuva huoltaminen ole enää mitenkään kustannustaloudellisesti perusteltavaa. Yli kuudensadan voitelukohteen ennenaikaiseen kulumiseen pystyttäisiin vaikuttamaan öljyn kunnonvalvonnan ja säädettävyyden parantamisella. Öljyn kunnonvalvontaan panostaminen maksaisi itsensä takaisin, jos öljyn kuntoon pystyttäisiin vaikuttamaan. Laite, joka löytää öljynlaatua huonontavat tekijät paikkakohtaisesti mahdollistaisi pienemmät kunnossapitokustannukset. Tämän avulla öljyä saastuttavat kohteet löydettäisiin aikaisemmin ja ongelmakohtiin voitaisiin puuttua.

Ilman toimenpiteitä öljyn ja suodattimien käyttöikä lyhenee, aiheuttaen lisää kustannuksia. Myös vesipitoisuusongelmiin on puututtava, ongelmat aiheuttavat ylimääräisiä kuluja ja tuottamatonta työtä.

12 TYÖN TOTEUTUS

Työn aloitus tapahtui haastattelemalla ennakkohuollon ja kunnossapidon henkilöstöä kartonkikoneen kiertovoitelun ongelmakohtista ja perehtymällä voiteluun liittyviin laitteisiin ja teoriaan. Uusia virtausmittareita tarjoaa kaksi eri toimittajaa, Oy SKF Ab ja Kytola Instruments Oy. Yritykset ovat käyneet tutustumassa tehtaaseen nykyiseen laitteistoon ja sen ongelmakohtiin. Yritykset esittelivät kartoituksen pohjalta korvaavat modernimmat laitteet. Molemmat toimittajat tekivät tarjouksen kartonkikoneen kiertovoitelun virtausmittareiden päivytyksestä. Vierailin myös SKF:än tehtaassa Muuramessa, jossa SKF esitteli fyysisesti tarjoamansa virtausmittauskokonaisuuden. SKF tarjosi Flowline Monitor -virtausmittareitaan, joiden toiminta on esitelty sivulla 42-43. Tarjous sisältää virtausmittarit suunniteltuna, dokumentoituna ja asennettuna. Kokonaisuus sisältää 606 voitelukohtetta, 29 taulua ja SKF HUB-tehdaskeskittimen.

Kytola tarjosi soikioratasvirtausmittareita, joiden toiminta on esitelty sivulla 41-42. Tarjous sisältää soikioratasvirtausmittarit, OVAL D2 -mittausasemat ja mittareiden kytkentätöiden mittausasemiin. Molempien toimittajien tarjouksissa eritellään tarkemmin toimituslaajuudet, jotka eivät ole julkista tietoa.

13 TOIMENPITEET

Kartonkikoneen määränpään ja kuivatusryhmien kiertovoitelun virtausmittarit tulisi päivittää SKF virtausmittareilla. Nykyaikainen valvontajärjestelmä lisääisi käyttövarmuutta ja osaltaan estäisi tehokkaasti mahdolliset tuotantolinjan suunnittelemattomat häiriöseisokit.

Nykyisiin virtausmittareihin nähden uudet virtausmittarit mahdollistaisivat voitelun virtauksen paremman valvottavuuden voitelupistekohtaisesti. Kiertovoitelun öljynvirtausvalvonta rakennetaan DCS valvomojärjestelmään, joka mahdollistaa etävalvonnan tehtaan koko henkilöstön käyttämällä Valmet DNA käyttöliittymällä. Öljyn laaduntarkkailuun on hankittava kannettava analysaattori, jolla pystyy tekemään puhtaus- ja vesipitoisuusmittauksia voitelujärjestelmän eri kohdista. Laitteen avulla pystyttäisiin erottamaan, onko partikkelit laakerimetallia, ei magneettisia vai magneettisia. Laitteen pystyy tarvittaessa asentamaan myös kiinteäksi mittausasemaksi. Tämän avulla pystytään ennakoimaan tulevia laiterikkoja luotettavammin. Kun poikkeama havaitaan ajoissa, voidaan jäljellä oleva käyttöaika arvioida heti parametrien tai komponenttien perusteella. Koneen käyttöä voidaan täten kontrolloidusti jatkaa. Ennakoimalla pystytään selvittämään varaosatilanne, mahdollisesti tilaamaan tarvittavat osat valmiiksi ja suunnittelemaan voiko huoltoa mitenkään suorittaa ilman häiriöseisokkia. Tarpeeseen sopivasta laitteesta on saatu tarjous. Laitteen avulla pystytään seuraamaan tilannetta online-valvonnalla, josta jää historiatietoa. Tiedonkeruun ansiosta voidaan poikkeamia hakea takautuvasti. Valvonta ja historiankeruu olisi mahdollista myös normaalin päivätyöajan ulkopuolella. Laite helpottaisi suuresti juurisyiden selvitystä ja pystyisi heti poissulkemaan voitelusta johtuvat tekijät, jotka ovat yleisin syy laiterikkoon.

Kuivatussylintereiden Valmet-merkkiset höyry- ja lauhdekytkimet ovat suurimalta osalta päivitetty Kadant- merkkisiin kytkimiin, joiden kanssa ei ole ollut ongelmia. Kadantilta on saatu tarjous viimeisten seitsemän Valmetin kytkimen päivitykseen ja ne uusitaan vuoden 2021 seisokeissa. Höyry- ja lauhdekytkinten päivitys poistaa vesiongelmat kuivatusryhmiltä ja samalla selkeyttää huoltotoimenpiteitä ja varaosavarastoa.

Vuosihuoltoseisokissa koeponnistettiin kiertovoitelukoneikon levylämmönvaihdin (kuva 30) vesiongelmien takia ja siinä huomattiin vaihtimen vuotavan, täten vahvistaen epäilyt. Vaihdin vaihdettiin uuteen ja samalla koneikkoon liitettiin ilman-kuivaimet, joiden tarkoituksena on kuivata kostea ilmaa.



KUVA 30. Kuivanpään kiertovoitelukoneikon Alfa Laval-levylämmönvaihdin

Kiertovoitelukoneikon kanteen asennettiin huohottimet (kuva 31), korvaten kuvissa näkyvät suorat putket. Putkissa ei ollut suodatusta lainkaan ja ilman mukana säiliöön pääsi epäpuhtauksia. Huohottimet olivat edullisia ja heti saatavissa. Jatkoa ajatellen pitäisi investoida myös kosteutta suodattavaan malliin.



KUVA 31. Kuivanpään kiertovoitelukoneikon FS 120 huohottimet

Veden kanssa tulee olemaan jatkossakin ongelmia ja investointi uuteen purifikaattoriin olisi tarpeellinen. Laitteen avulla saavutettaisiin huomattavasti puhtaammat ja kuivemmat öljyt, jopa alle 100 ppm. Öljyn vesipitoisuuden takia purifikaattori-investoinnin takaisinmaksu tapahtuisi heti ensimmäisen hankintavuoden aikana.

Eriyisen tärkeää olisi saada öljyyn liuennut vesi pois ennen vuosihuolto- ja kunnossapitoseisokkeja. Öljyn jäähtyessä öljyyn liuennut vesi vapautuu vapaaksi vedeksi aiheuttaen ongelmia järjestelmässä konetta käynnistettäessä. Kyseisestä laitteesta (Hydac Fam 10 vedenpoisto/suodatusyksikkö) on saatu tarjous.

Kaikkiin kiertovoitelukoneikkoihin pitäisi suunnitella paluu öljynsuodatin / sukka. Partikkelit jotka kertyvät kierron aikana voitelulinjoista ja laakereista öljyn mukaan, päätyvät säiliöön ja lähtevät uudelleen kiertoön tukkien tiheämmät painesuodattimet.

14 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Kehitysehdotuksen yksi tärkeimmistä aiheista on kehittää turvallisuutta tehtaalla niin työturvallisuus kuin tuoteturvallisuusmielessä. Laiterikko on aina jonkin asteinen työturvallisuusriski, koska toiminta poikkeaa rutiinista.

Tämänhetkisillä laitteilla öljynvirtauksen tarkka säätö ei onnistu, jonka seurauksena öljyä vuotaa koneen ympäristöön ja pahimmassa tapauksessa tuotteeseen. Laitteisto tarvitsee ehdottomasti uusia, koska se ei ole enään sopiva elintarvikekartonkitehtaaseen.

Öljykierron tärkein tehtävä monissa voitelukohteissa kuten esimerkiksi huurossa on laakerien jäähdyttäminen. Laakeri tarvitsee voiteluun vain pienen määrän öljyä, mutta jäähdytyksessä öljyn pitää virrata. Laakerin ylikuumeneminen on aina potentiaalinen tulipaloriski, ja monia paperikoneita on palanut tästä syystä.

Tehtaalla on ollut tiedossa, että kartonkikoneen voitelussa on paljon kunnossapitovelkaa ja asialle pitäisi tehdä jotain. Ajanpuutteen takia toimenpiteet ovat jääneet vähäisiksi.

Koneen nopeutta pyritään kasvattamaan jatkuvasti erilaisilla investoinneilla, joten pitäisi olla selvää, että voitelun kehityksen kuuluisi pysyä vähintään samalla tasolla tai ennakoivasti edellä tulevia investointeja varten.

Mittaavan kunnossapidon ja voiteluhuollon kehitys parantavat yhdessä kartonkikoneen käyttöhyötysuhdetta, kun laiterikkojen osuus jää mahdollisimman pieneksi. Tehtaan tavoitteet ovat todella korkealla, sillä suunniteltu laiterikkoprosentti (1 %) on todella pieni. Koneen kunnonvalvonnan ansiosta oleva korkea käyttöhyötysuhde tuo rahaa, jonka voi laskea investointien nopeaksi takaisinmaksuksi.

Täytyy ymmärtää, että tämä kehitys ei nosta koneen ajonopeutta, eikä suoranaisesti tuota enempää kartonkia, mutta se varmistaa koneen jatkuvaa häiriötöntä käyntiä ja parantaa toimintavarmuutta. Jos tämän kehitysehdotuksen investoinneilla pystytään estämään yksikin esimerkiksi vaihderikon aiheuttama häiriösei-sokki, ollaan jo pitkällä investoinnin takaisinmaksussa.

LÄHTEET

Aromaa, J. & Klarin, A. 1999. Papermaking Science and Technology. Materials, Corrosion Prevention and Maintenance. Jyväskylä: Gummerus Printing.

Paperin valmistusprosessi. Valmetin kotisivut. 2019. Luettu 3.11.2020. <https://www.valmet.com/fi/sijoittajat/valmet-sijoituskohteena/liiketoimintalinjat/paperit/paperin-valmistusprosessi/>

Tuotantoprosessit: Kartonkikone. 2020. Paperinvalmistuksen oppimisympäristö. KnowPap-oppimisjärjestelmä. Luettu 3.11.2020. http://www.know-pap.com/extranet/suomi/knowpap_system/user_interfaces/knowpap.htm

Metsä Board: About us. 2019. Luettu 3.11.2020. <https://www.metsa-board.com/About-Us/Pages/default.aspx>

Antila, K., Kajander, K., Korpi, A., Lehtovaara, A., Luukkainen, T., Malinen, R., Malkamäki, H., Miettinen, J., Mikkola, K., Pietiläinen, L., Pulkkinen, P., Rinkinen, J., Ronkainen, H., Rätty, K., Strengell, K., Suontama, K., Säynätjoki, M., Vihersalo, J., Virtanen, I., Vuolle, P., Torvinen, J. 2013. Teollisuusvoitelu. Käsikirja. 5. uudistettu painos. Helsinki: KP-Media Oy

Luomala, V., Jortikka, V., Anttonen, P., Holmila, A., Julku, M., Jåfs, R., Kakko, J., Kallio, P., Lahtinen, J., Luotamo, J-P., Nurmi, T., Näivä, J., Rinkinen, J., Vainio, K., Ylönen, V., Lehtosaari, M., Törmänen, R., Vesala, M. 2018. Öljyn kunnossapito. 1. Painos. Helsinki: Promaint ry.

Wikipedia. 2011. Kuivatusosa. Luettu 5.11.2020. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Kuivatusosa>

Caverion. n.d. Mitä on teollisuuden kunnossapito? Luettu 5.11.2020. <https://www.caverion.fi/tietoa-caverionista/liiketoiminta-ja-palvelut/botnia-mill-service/mit%C3%A4-on-teollisuuden-kunnossapito>

PSk Standardisointi. n.d. Hakukone standardeille. Luettu 5.11.2020. <https://psk-standardisointi.fi/hakukoneet/>

Fluid Control Contamination Handbook. n.d. HYDAC Filter Systems GMBH. Luettu 10.11.2020. Fluid-control-Contamination-Handbook.pdf.

Kytola. OVAL D2 -Mittausasema. Yleistä. Luettu 10.11.2020. <https://www.kytola.com/fi/tuotteet/kiertovoitelun-valvontajarjestelmat/oval-d-mittausasema>

Kytola. Soikioratasmittarit. Virtausmittarit. Luettu 10.11.2020. <https://www.kytola.com/fi/tuotteet/virtausmittarit/soikioratasmittarit>

SKF kiertovoitelu – mittalaitteet. SKF Flowline Monitor -Järjestelmä. Luettu 10.11.2020. SKF Flowline Monitor_HUB_FI.pdf.

Asp, R., Tuominen, T., Hyppönen, H. n.d. Kunnossapito: Menestystekijä. Opetushallitus. Luettu 9.10.2020. http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_e04_voiteluaineet_lisa-aineet.html

SKF yhtymä. 2016. SKF-laakerien kunnossapito.

Antila, K., Kajander, K., Korpi, A., Lehtovaara, A., Luukkainen, T., Malinen, R., Malkamäki, H., Miettinen, J., Mikkola, K., Pietiläinen, L., Pulkkinen, P., Rinkinen, J., Ronkainen, H., Rätty, K., Strengell, K., Suontama, K., Säynätjoki, M., Vihersalo, J., Virtanen, I., Vuolle, P., Torvinen, J. 2006. Teollisuusvoitelu. Käsikirja. 4. täydennetty painos. Helsinki: KP-Media Oy.

Ansaharju, T. 2009. Koneenasennus ja kunnossapito. 1. painos. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.