

Koivuvaneritehtaan voiteluhuollon optimointi

Joonas Huuskonen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2015

Paperikoneteknologian koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Huuskonen, Joonas	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 6.5.2015
	Sivumäärä 91	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: X
Työn nimi Koivuvaneritehtaan voiteluhuollon optimointi		
Koulutusohjelma Paperikoneteknologian koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Kirsi Niininen		
Toimeksiantaja(t) Metsä Wood Suolahden vaneritehtaat		
Tiivistelmä Opinnäytetyö tehtiin Metsä Woodin Suolahden vaneritehtaille, ja sen tavoitteena oli optimoida koivuvaneritehtaan voiteluhuoltoa. Tehtävänä oli kartoittaa koivuvaneritehtaan voiteluhuollolliset toimenpiteet, kehittää niitä mahdollisuuksien mukaan ja laatia tuotannon kannalta kriittisille tuotantolinjoille tarkempi voiteluhuollon tarkastelu. Voitelutoimenpiteistä oli laadittava kattava kartoitus, selvitettävä tuotannon kannalta kriittiset kohteet ja laadittava kriittisimmille kohteille selvitys voiteluhuollollisista epäkohdista ja niiden korjaamisesta. Opinnäytetyön alussa voitelusta vastaavan työntekijän toimintaa havainnoitiin ja kaikki voiteluhuollolliset toimenpiteet kirjattiin muistiin. Voiteluhuoltoa havainnoimalla ja työntekijöitä haastatteleamalla selvitettiin alustavia kehityskohteita. Voitelutoimenpiteiden kartoittamisen jälkeen valittiin kolme tuotannolle kriittistä tuotantolinjaa, joiden voitelua tutkittiin perusteellisemmin. Valittujen tuotantolinjojen voitelulliset ongelmat kartoitettiin vika historian tarkastelun, valmistajien ohjeiden ja työntekijöiden kokemukseräisen tiedon avulla. Lopuksi kartoitettiin linjojen kriittisimmät voitelukohteet PSK 6800 -standardiin pohjautuvan kriittisyysanalyysin avulla ja laadittiin kaikkien havaintojen pohjalta kehitysehdotukset. Kehityskohteiden kartoituksessa kävi ilmi, että voiteluhuollolliset ongelmat liittyivät pääasiassa voitelun hankalaan suorittamiseen tuotantolinjojen rakenteellisista tekijöistä johtuen. Muokkaamalla linjojen voiteluhuoltoa kehitysehdotusten pohjalta, saadaan vasta selville tulosten todellinen vaikutus voiteluhuollon tehokkuuteen.		
Avainsanat (asiasanat) Voitelu, voiteluhuolto, laakerivaurio, vaneritehdas		
Muut tiedot Litteenä Kriittisyysanalyysit ja Step-by-step voiteluohjeet, 19 sivua.		



Author(s) Huuskonen, Joonas	Type of publication Bachelor's thesis	Date 6.5.2015
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 91	Permission for web publication: X
Title of publication Optimizing the lubrication maintenance at a birch plywood factory		
Degree programme Degree Programme in Paper Machine Technology		
Tutor(s) Niininen, Kirsi		
Assigned by Metsä Wood plywood mills in Suolahti		
Abstract <p>The bachelor's thesis was assigned by Metsä Wood plywood mills in Suolahti and the goal was to optimize the lubrication in the production lines at a birch plywood factory. The mission was to track down all lubrication procedures performed in the production lines, to find inadequacies in the lubrication and to develop their lubrication maintenance accordingly. Three critical lines for production were chosen to be examined thoroughly for their lubrication. A list proposals for further development of lubrication for the lines was made after a profound examination of their lubrication maintenance.</p> <p>In the beginning, a list of lubrication procedures in the birch plywood mill had to be created by following the worker responsible for the lubrication maintenance at the mill. By interviewing the worker and the maintenance staff, three critical production lines were chosen for profound examination. Inadequacies in lubrication were tracked down by investigating the details of the fault history, going through the manufacturer's manuals and by using the experience of the maintenance staff. Finally, a criticality analysis was conducted for the three chosen production lines to determine their weak spots. The criticality analysis was based on PSK 6800 standard.</p> <p>Problems found in the lubrication maintenance of the three critical production lines were mainly caused by the difficulty to perform the lubrication procedures, due to the structure of the lines and the impurities occurring on the lines. The actual results of the development proposals cannot be seen until the development proposals have been put to use.</p>		
Keywords/tags (subjects) Lubrication, lubrication maintenance, bearing failure, plywood factory		
Miscellaneous Criticality analysis and step-by-step lubrication procedures attached, 19 pages.		

Sisältö

1	Johdanto	7
1.1	Taustat ja tavoitteet	7
1.2	Metsä Group	7
1.2.1	Metsä Wood.....	8
1.2.2	Suolahden vaneritehtaata.....	9
2	Vanerin valmistus.....	10
3	Kunnossapito	12
3.1	Kunnossapidon määritelmä.....	12
3.2	Kunnossapitolajit	12
4	Laakerien kunnossapito	14
4.1	Laakerivauriot.....	14
4.2	Laakerivaurion havaitseminen.....	15
4.3	Epäpuhtauksien vaikutus laakerissa	16
5	Kuluminen ja kulumismekanismit	18
5.1.1	Adhesiivinen kuluminen	18
5.1.2	Abrasiivinen kuluminen.....	19
5.1.3	Väsymiskuluminen.....	20
5.1.4	Tribokemiallinen kuluminen	20
6	Voitelu	21
6.1	Voitelumekanismit	21
6.1.1	Rajavoitelu	21
6.1.2	Sekavoitelu	22
6.1.3	Nestevoitelu	22
6.2	Laakerien rasvavoitelu	24
6.2.1	Voitelurasvan rakenne	25

6.2.2	Voitelurasvojen yhteensopivuus	27
6.2.3	Rasvamäärät	28
6.3	Laakereiden öljyvoitelu	29
7	Voitelulaitteet ja –järjestelmät	32
7.1	Käsi­käyttöiset voitelulaitteet	32
7.1.1	Rasvapuristimet	32
7.1.2	Rasvapumput	33
7.1.3	Öljypumput	33
7.2	Automaattiset voitelujärjestelmät	34
7.2.1	Keskusvoitelujärjestelmä	34
7.2.2	Kiertovoitelu	36
7.2.3	Patruunavoitelu	38
7.2.4	Sumuvoitelu	39
7.2.5	Öljy-ilmavoitelu	39
7.2.6	Paineilman sumuvoitelu	40
8	Kriittisyysanalyysi PSK 6800	42
9	Opinnäytetyön toteutus	44
9.1	Lähtötilanne	44
9.2	Voitelutoimenpiteiden kartoitus	45
9.2.1	Voitelukierros Suolahden vaneritehtaalla	45
9.2.2	Käytetyt voiteluaineet	46
9.3	Linjojen tarkempi kartoitus	46
9.3.1	4- sorvi	47
9.3.2	Hakkuri	49
9.3.3	60”-jatkamislinja	50
9.3.4	Hiontalinja	53
9.4	Kriittisyysanalyysin toteutus	55

9.4.1	4-sorvin kriittisyysanalyysi.....	55
9.4.2	60"-jatkamislinjan kriittisyysanalyysi	55
9.4.3	Hiontalinjan kriittisyysanalyysi.....	56
9.5	Kehityskohdat ja havainnot	56
9.5.1	4-sorvin voitelu.....	56
9.5.2	Hakkuri	57
9.5.3	60"-jatkamislinjan voitelu	57
9.5.4	Hiontalinjan voitelu.....	58
9.5.5	Rasvarin reitin optimointi	59
9.5.6	Yleisiä havaintoja voitelukohteilta	59
10	Tulokset.....	61
10.1.1	Voitelureitin kartoitus ja optimointi	61
10.2	Tuotannolle kriittisten linjojen voitelun optimointi	61
10.2.1	4- sorville suositellut toimenpiteet.....	61
10.2.2	Hakkurille suositellut toimenpiteet	62
10.2.3	60"- jatkamislinjalle suositellut toimenpiteet.....	62
10.2.4	Hiontalinjalle suositellut toimenpiteet.....	63
10.3	Rasvarin tarpeellisuuden arviointi	64
10.4	Yhteenveto tuloksista.....	65
11	Pohdinta	66
11.1	Opinnäytetyön toteutuminen	66
11.2	Ajatuksia voiteluhuollosta yleisesti	67
12	Lähteet	69
13	Liitteet.....	73
	Liite 1. 4- sorvin kriittisyysanalyysi.....	73
	Liite 2. 60"- jatkamislinjan kriittisyysanalyysi	73
	Liite 3. Hiontalinjan kriittisyysanalyysi.....	74

Liite 4. 4-sorvin step-by-step voiteluohje	75
Liite 5. 60"-jatkamislinjan step-by-step voiteluohje	85
Liite 6. Hiontalinjan step-by step voiteluohje	88
Kuvio 1 Metsä Group konserni	8
Kuvio 2 Ilmakuva Suolahden vaneritehtaista	9
Kuvio 3 Viilun sorvaus	10
Kuvio 4 Vanerin valmistusprosessi	11
Kuvio 5 Kunnossapitolajit	13
Kuvio 6 Laakerivaurioiden syyt	14
Kuvio 7 P-F käyrä	15
Kuvio 8 Partikkelien vaikutus vierintäpinnoilla	16
Kuvio 9 Eri partikkelien aiheuttamat vauriot laakerissa	16
Kuvio 10 Ahdesiivinen kuluminen	18
Kuvio 11 Abrasiivinen kuluminen	19
Kuvio 12 Rajavoitelu	22
Kuvio 13 Sekavoitelu	22
Kuvio 14 Nestevoitelu	23
Kuvio 15 Hydrodynaaminen voitelu	23
Kuvio 16 Hydrostaattinen voitelu	24
Kuvio 17 Saentimien yhteensopivuustaulukko	28
Kuvio 18 Voitelunippa laakerin kohdalla	29

Kuvio 19 Voitelunippa laakerin sivussa	29
Kuvio 20 Akkukäyttöinen rasvapuristin	32
Kuvio 21 Vipuvarsitoiminen rasvapuristin	32
Kuvio 22 Tynnyriin asennettu rasvapumppu saattokannella	33
Kuvio 23 Kaksi- ja yksilinjaiset keskusvoitelujärjestelmät	35
Kuvio 24 Kaksilinjainen annostin	36
Kuvio 25 Kiertoöljyvoitelu	37
Kuvio 26 Voitelupatruuna asennettuna laakeriin	39
Kuvio 27 Öljy-ilmavoitelujärjestelmä	40
Kuvio 28 Sumuvoitelu venturi-periaatteella	41
Kuvio 29 PSK 6800 standardin kertoimien määritelmät	43
Kuvio 30 Opinnäytetyön eteneminen.....	44
Kuvio 31 4-sorvi.....	47
Kuvio 32 Hakkuri	50
Kuvio 33 Jatkamislinjan syöttölaite	51
Kuvio 34 Jatkamislinjan saha ja liimoitin.....	51
Kuvio 35 Jatkamislinjan puristin ja leikkuri.....	52
Kuvio 36 Hiontalinjan hiomapäät	54
Kuvio 37 Voitelunipan huono sijainti	57
Taulukko 1 Öljyjen ominaisuudet.....	31

Taulukko 2 Voitelukierron viikko-ohjelma	46
Taulukko 3 Vaneritehtaalla käytetyt voiteluaineet.....	46
Taulukko 4 4- sorvin voiteluhuolto	49
Taulukko 5 60"-jatkamislinjan voiteluhuolto	52
Taulukko 6 Hiontalinjan voiteluhuolto	54
Taulukko 7 4-sorvin kriittiset kohteet	55
Taulukko 8 Jatkamislinjan kriittiset kohteet.....	56
Taulukko 9 Yhteenveto havainnoista ja kehitysehdotuksista.....	65

1 Johdanto

1.1 Taustat ja tavoitteet

Voiteluhuolto on yksi yleisimmistä ja vanhimmista ennakkohuollon muodoista. Voitelumekanismi ilmiönä on ollut teoreettiselta pohjaltaan hyvin samanlainen vuosikymmenten ajan, mutta voiteluaineet ja laakerit ovat kehittyneet ja kehittyvät jatkuvasti. Voitelu jääkin helposti teollisuudessa hyvin aliarvostetuksi potentiaaliltaan, vaikka sen välttämättömyys varmasti tunnistetaan aina. Laakerivaurioista voiteluun liittyviä on lähes puolet, joten ongelman olemassaoloa tällä saralla tuskin voidaan sivuuttaa.

Metsä Woodin Suolahden koivuvaneritehdas tuottaa vuodessa n. 50 000 m³ koivuvaneria. Tehdas pyörii ympärivuorokauden viitenä päivänä viikossa ja pitää sisällään kymmeniä tuotantolinjoja. Jokainen näistä tuotantolinjoista sisältää useita voitelua vaativia kohteita.

Voiteluhuolto on Suolahden koivuvaneritehtaalla tällä hetkellä käytännössä yhden rasvari-nimikkeellä kulkevan työntekijän vastuulla ja kaikki tietotaito kulkee kokemuspohjaisena tietona vanhalta rasvarilta uudelle. Ajan tasalla olevia kirjallisia voiteluohjeita ei ole, joten voitelutoimenpiteiden kartoittaminen ja niiden ylös kirjaaminen on ensiehtoista tietotaidon turvaamiseksi. Opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa rasvarin voiteluhuollolliset toimenpiteet, optimoida voitelureitti mahdollisuuksien mukaan ja laatia yksityiskohtaisempi ohjeistus, sekä kehitysehdotukset voitelusta kolmelle tuotannon kannalta kriittiselle kohteelle.

1.2 Metsä Group

Metsä Group on metsäteollisuuskonserni, jonka pääasiallista liiketoimintaa ovat pehmo- ja ruoanlaittopaperit, kartonki, sellu, puutuotteet sekä puunhankinta ja metsäpalvelut. Metsä Group toimii lähes 30 maassa ja tuotantoa sillä on yhdeksässä. Liikevaihtoa Metsä Groupilla oli vuonna 2014 viisi miljardia euroa. Metsä Group muodostuu emoyritys Metsäliitto Osuuskunnasta, jonka

omistajina toimii 122 000 suomalaista metsänomistajaa. Osuuskuntaan kuuluvat Metsä Forest, Metsä Wood sekä osuuskunnan tytäryhtiöt Metsä Tissue, Metsä Board ja Metsä Fibre. (Ks. kuvio 1.) (Metsä Wood 2015.)



Kuvio 1 Metsä Group konserni (Metsä Wood 2015)

1.2.1 Metsä Wood

Metsä Wood on osa Metsäliitto Osuuskuntaa ja vastaa puutuotteista. Metsä Wood:in liikevaihto oli vuonna 2014 0,9 miljardia euroa. Metsä Woodin tuotteisiin kuuluvat: Kertopuu (LVL), vaneri, sahapuutavara, liimapuu, Finnjoist (liimapuinen I-palkki), erilaiset puujalosteet. (Metsä Wood 2015.)

1.2.2 Suolahden vaneritehtaat

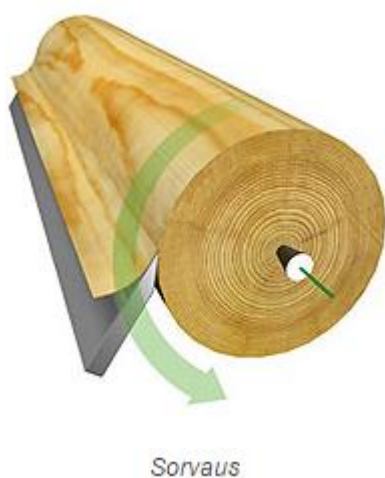


Kuvio 2 Ilmakuva Suolahden vaneritehtaista (Metsä Wood 2014)

Suolahden vaneritehtaat on perustettu 1920 Suolahteen Ala-Keiteleen rannalle Kumpuniemeen. (Ks. kuvio 2) Metsäliiton omistukseen se tosin on siirtynyt vasta 1986. Tehdas työllistää 507 työntekijää ja sen liikevaihto on n. 105 miljardia euroa. Suolahden vaneritehtaisiin kuuluu koivuvaneritehdas, havuvaneritehdas, sekä jalostetehdas. (Metsä Wood 2014)

2 Vanerin valmistus

Vanerin valmistusprosessi alkaa tukin saapuessa haudonta-altaaseen liotettavaksi. Haudonta-altaassa liotessaan tukki imee kosteutta ja sitä myöten pehmenee. Tukin riittävä vettyminen on avainasemassa laadukkaan viilun saamiseksi sorvausvaiheessa. Haudonta-altaasta tukki etenee kuorintaan, missä kuori poistetaan repimällä. Tukki katkaistaan sopivan mittaiseksi ennen sen siirtymistä sorville. Tukin pituuden sorville mennessä määrittää sorvin koko ja se minkä levyistä viilua puusta halutaan sorvata. Sorvilla puusta sorvataan halutun paksuinen viilukerros (Ks. kuvio 3). (Kankainen 2015.)



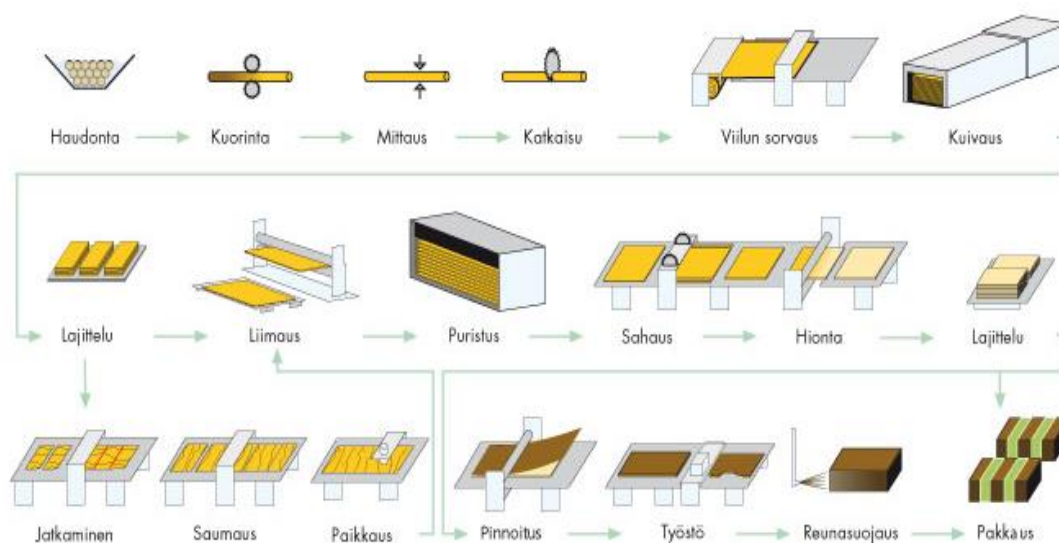
Kuvio 3 Viilun sorvaus (Viilun valmistus N.d.)

Sorvattu viilumatto leikataan määrätyn levyisiksi viiluiksi ja lajitellaan kosteusluokkien mukaan. Mitä lähempänä viilu on puun keskustaa, sitä kuivempaa se käytännössä on, sillä haudonnassa vesi ei yleensä pääse tunkeutumaan puun keskiosiin yhtä tehokkaasti, kuin pintakerrokseen. Märät viiluarkit ajetaan kuivaajien läpi eri ohjelmilla kosteusluokasta riippuen. Kuivauksen jälkeen viilut lajitellaan laadun mukaan. Viiluarkit eivät tosin välttämättä täytä kuivaajasta tultuaan vaatimuksia halutun vanerin valmistamiseen vaan joutuvat vielä mahdollisesti jatkettavaksi, saumattavaksi ja/tai paikattavaksi. (Kankainen 2015.)

Vasta vaaditun kokoinen ja ehyt viilu pääsee liimaukseen, joka tunnetaan myös nimellä ladonta. Tässä prosessin vaiheessa viilut muodostavat vaneriraihion. Viiluja ladotaan päällekkäin ennalta laaditun reseptin mukaisesti – pääasiassa peräkkäisissä viiluissa laitetaan syysuunnat ristikkäin, jotta levyistä

saadaan vahvempi. Jokaisen vaneriaihion sisältämän viilun väliin laitetaan tasainen kerros liimaa. Esipuristuksessa tämä liima jakautuu tasaisesti ja tiiviisti levyjen väliin saavuttaen mahdollisimman suuren tartuntapinta-alan. Esipuristuksesta aihiot menevät kuumapuristukseen, jossa liima kuivuu ja sitoo viilut lopullisesti yhteen. Kuumapuristuksen jälkeen ahiosta on muodostunut vanerilevy. (Kankainen 2015.)

Vaikka vanerilevy on saavuttanut kuumapuristuksen jälkeen suurimman osan ominaisuuksistaan, ei se ole vielä lainkaan valmis asiakkaalle, vaan se on työstettävä lopulliseen muotoonsa. Ensin levy sahataan haluttuun kokoon ja muotoon, jonka jälkeen se lajitellaan jälleen laadun mukaan. Lajittelun jälkeen levy saattaa mennä suoraan pakkaukseen tai asiakkaan vaatimusten mukaiseen pinnoitukseen ja reunojen työstöön. Pakkauksen jälkeen levyt ovat valmiita asiakkaalle toimitettavaksi. Kuviossa 4 on havainnollistettu vanerin valmistusprosessi vaihe vaiheelta. (Kankainen 2015.)



Kuvio 4 Vanerin valmistusprosessi (VANERIN TUOTANTOPROSESSI N.d.)

3 Kunnossapito

3.1 Kunnossapidon määritelmä

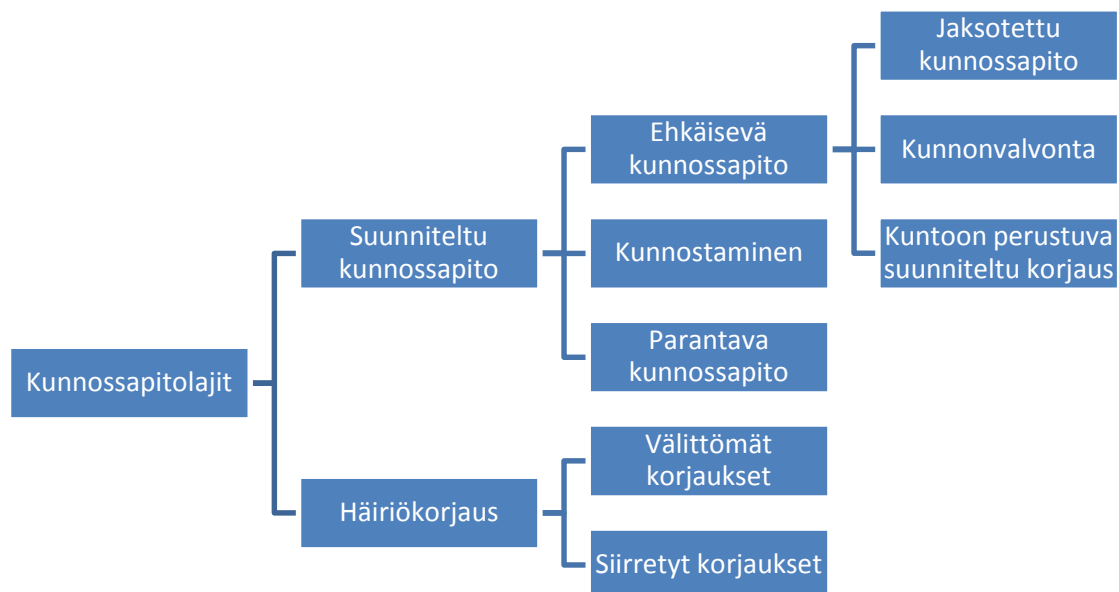
Kunnossapidon ensisijainen tehtävä on taata laitteiden jatkuva käyttökunto. Kunnossapito käsitetään monesti virheellisesti synonyymiksi korjaustoiminnan kanssa, mutta rikkoutuneiden laitteiden tai komponenttien korjaaminen on vain osa kunnossapitoa. Kunnossapito pitää sisällään käytännössä kaikki kohteen toimintaa ylläpitävät toimenpiteet ja suunnitelmat. (Mikkonen, H. 2009, 25-26)

John Moubrey (2001, 22) tunnettu kunnossapidon edelläkävijä on määritellyt kunnossapidon seuraavasti ”Kunnossapidolla varmistetaan, että laitteet jatkavat sen tekemistä, mitä käyttäjät haluavat niiden tekevän.” Tähän lauseeseen iskostuu hyvin kunnossapidon varsinainen merkitys.

3.2 Kunnossapitolajit

Kunnossapito voidaan jakaa ns. kunnossapitolajeihin. Kunnossapitolajeista on useampia toisistaan hieman eroavia määritelmiä, mutta pääpiirteiltään niissä on kuitenkin sama perusajatus.

PSK Standardin 7501 mukaan kunnossapito on jaettu kahteen pääryhmään, eli suunniteltuun kunnossapitoon ja häiriökorjauksiin. (Ks. kuvio 5)



Kuvio 5 Kunnossapitolajit (PSK 7501 2010, 32.)

Voiteluhuolto voidaan kunnossapitolajikaaviossa sijoittaa ehkäisevän kunnossapidon piiriin ja siellä tarkemmin ottaen jaksotettuun kunnossapitoon.

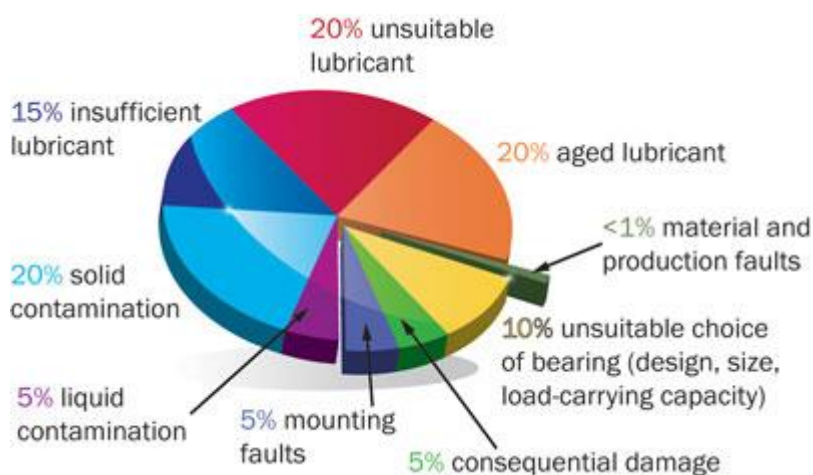
4 Laakerien kunnossapito

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)

4.1 Laakerivauriot

Valtaosa laakereista kestää pidempään kuin itse koneet tai laitteet. Liian suuri kuorma, huonot tiivisteet, virheellinen asennus tai huono voitelu voivat mm. johtaa laakerin ennenaikaiseen vaurioitumiseen.

(SKF 1994,18)



Kuvio 6 Laakerivaurioiden syyt (Katz 2012)

Kuvio 6 ilmaisee hyvin jakauman laakerivaurioon johtavista syistä. Voitelusta johtuvat laakerivauriot muodostavat jakaumasta merkittävät 55 %.

Laakerille voidaan määrittää laskennallisesti teoreettinen elinikä ottamalla huomioon kuorma, pyörimisnopeus, laakerimallille ilmoitetut tyyppikohtaiset tiedot ja lisäämällä lausekkeeseen varmuuskertoimet. Laskennalliset eliniän odotteet kuitenkin olettavat laakerin olevan:

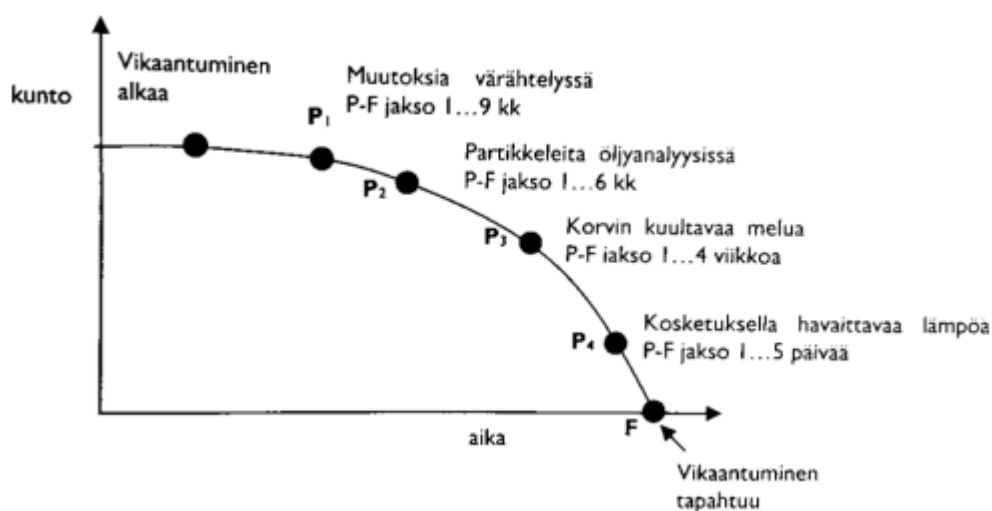
- täysin virheetön
- käyttötarkoitukseen soveltuva
- oikein asennettu
- käyttöympäristöltään sopiva

- tiivistykseltään riittävä
- optimaalisesti voideltu ja kunnossapidetty.

Jos nämä ihanteelliset olosuhteet toteutuvat, niin laakerin pitäisi saavuttaa laskennallinen elinikä. Usein joku näistä laakerille ihanteelliset käyntiolosuhteet luovista tekijöistä pettää. (SKF 2010, 27-28)

4.2 Laakerivaurion havaitseminen

Vähitellen tapahtuva laakerin toiminnan heikkeneminen on yleensä ensimmäinen merkki laakerivauriosta. Spontaanit mm. asennusvirheestä tai voitelun puutteesta johtuvat vauriot, jotka johtavat koneen välittömään pysäyttämiseen, ovat harvinaisia. Olosuhteista riippuen, laakerin vaurioitumisen alkamisesta laakerin varsinaiseen vikaantumiseen saattaa kulua muutamasta minuutista muutamaan kuukauteen. (Schaeffler KG. 2001, 4) Kuviossa 7 on havainnollistettu vikaantumisen eteneminen laakerivauriossa.



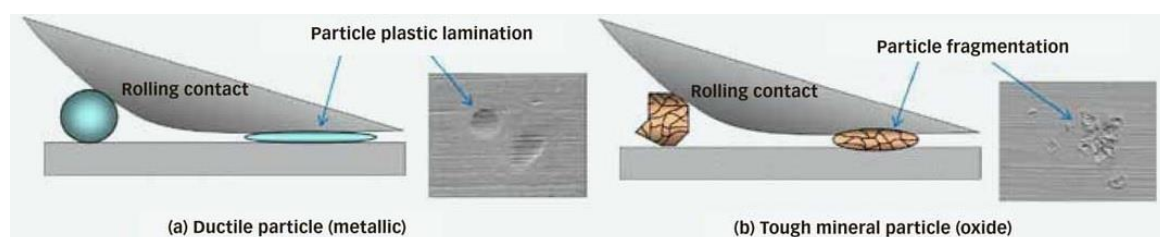
Kuvio 7 P-F käyrä (Mikkonen 2009, 141)

Operaattorit voivat aistinvaraisesti havaita vaurioita tarkkailemalla laakerin epätasaista käyntiä tai laakerista kuuluvaa epätavallista ääntä (Schaeffler KG. 2001, 4). Kuvioista 7 voidaan havaita, että aistihavainnoin huomattavat vauriot ovat jo hyvin pitkälle edenneitä verrattuna värähtelymittauksiin ja öljyanalysillä tehtyihin havaintoihin.

4.3 Epäpuhtauksien vaikutus laakerissa

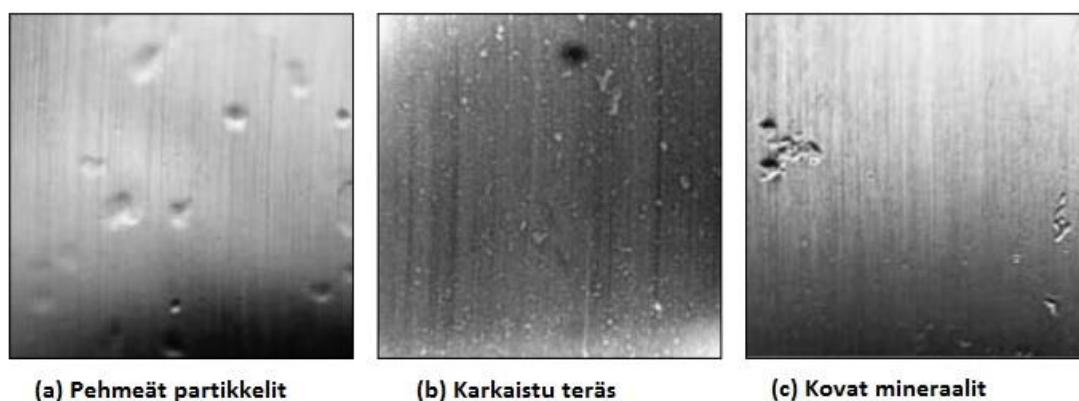
Epäpuhtaudet laakerissa voivat vaikuttaa haitallisesti laakerin ja tiivisteiden elinikään. Myös voiteluaineen kyky suorittaa tehtävänsä voi kärsiä epäpuhtauksien päästessä laakerin sisälle. Tämän vuoksi on ehdottoman tärkeää, että laakeria voidellessa käytetään puhdasta rasvaa tai öljyä ja että laakerissa käytetään hyvää tiivistystä. (SKF 2010, 28)

Epäpuhtaudet voidaan jakaa kiinteisiin ja nestemäisiin. Kiinteät partikkelit voivat olla pehmeitä, karkaistua terästä tai mineraaleja, kuten hiekkaa. Kuvio 8 havainnollistaa pehmeästä taottavasta metallista ja kovasta mineraalista muodostuvien vaurioiden syntymismekanismien. (Schaeffler KG. 2001, 22)



Kuvio 8 Partikkelien vaikutus vierintäpinoilla (Morales-Espejel & Gabelli, 2012, muokattu)

Kuvio 9 esittää 3 erilaisesta kiinteästä partikkelista syntyneet vauriot laakerissa.



Kuvio 9 Eri partikkelien aiheuttamat vauriot laakerissa (Schaeffler KG. 2001, 22, muokattu)

Nestemäisistä epäpuhtauksista yleisin on vesi. Voiteluaineet yleensä sietävät pieniä määriä vettä, mutta vesi heikentää aina voiteluaineen voitelutehoa.

Suuret määrät vettä laakerissa aiheuttavat korroosion lisäksi samanlaisia vaurioita kuin puutteellinen voitelu, johtuen voiteluaineen kyvyttömyydestä enää muodostaa kunnolla voitelukalvoa vastinpintojen välille. (Schaeffler KG. 2001, 22)

5 Kuluminen ja kulumismekanismit

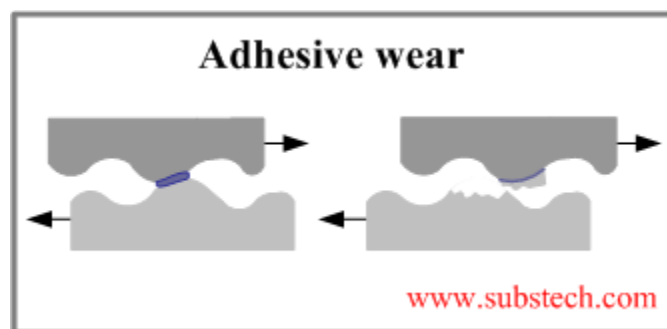
Kuluminen on määritelmänä materiaalihukkaa. Kulumista syntyy, kun toisiaan vasten liikkuvien pintojen vuorovaikutus aiheuttaa materiaalihäviötä pintaan/pinnoille. (Kivioja 1997, 97) Tässä osiossa käydään läpi erilaisia laakereiden kannalta merkittäviä kulumismekanismeja.

Kulumista voi tapahtua usealla eri tavalla ja monesti yhden kulumismekanismin ilmeneminen johtaa myös toisen kulumismekanismin syntyyn. Seuraavaksi esitellään neljä laakerivaurioiden kannalta keskeistä kulumismekanismia:

- Adhesiivinen kuluminen
- Abrasiivinen kuluminen
- Väsymiskuluminen
- Tribokemiallinen kuluminen

5.1.1 Adhesiivinen kuluminen

Adhesiivisessa kulumisessa syntyy kitkan vaikutuksesta adhesiivisia liitoksia jotka repeävät. Ilmiöstä käytetään myös nimitystä kylmähitsautuminen. Pinnan karheuden huiput käytännössä hitsautuvat kiinni toisiinsa ja lopulta repeävät. (Ks. kuvio 10.) Kulumisnopeus riippuu siitä, mistä kohdasta hitsautuneet huiput repeävät. Liitoksen revetessä alkuperäisestä pintojen rajapinnasta, ei kulumista tapahdu. Liitoksen revetessä muualta kuin rajapinnasta, siirtyy materiaalia toiselle pinnalle. Materiaalin siirtyminen toiselle pinnalle johtaa lopulta irtonaisten kulumispartikkeleiden muodostumiseen. (Kivioja 1997, 105)

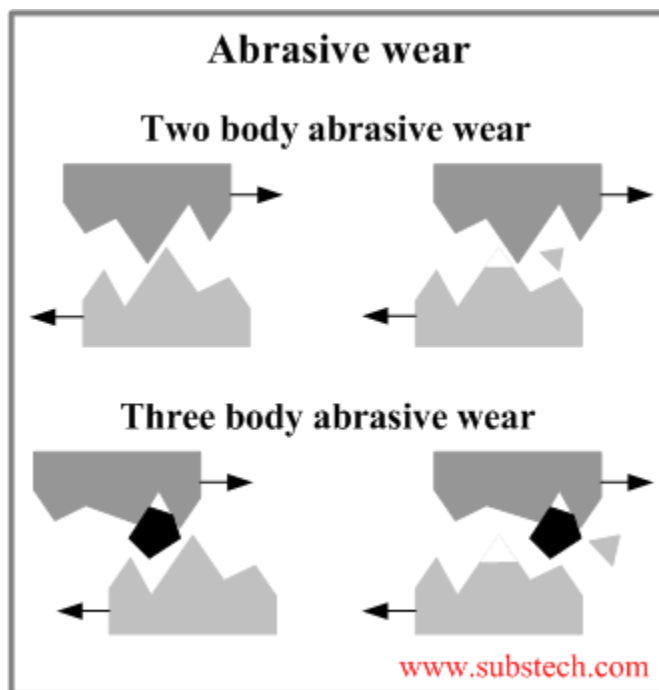


Kuvio 10 Adhesiivinen kuluminen (Kopeliovich 2013)

Adhesiivisten liitosten syntymiseen vaikuttavia tekijöitä ovat pintojen kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet, voitelu ja kuormitus. (Kivioja 1997, 105)

5.1.2 Abrasiivinen kuluminen

Abrasiivista kulumista tapahtuu, kun ainetta vasten kohdistuu toinen aine jolla on yhtäläinen tai suurempi kovuus. Tällöin kovemman aineen pinnankarheuden huiput uurtavat pehmeämpää ainetta. Abrasiivinen kuluminen voi olla kahden tai kolmen kappaleen välistä. Kolmen kappaleen välisessä kulumisessa kahden pinnan välillä on kolmas kappale, joka uurtaa molempia pintoja. (ks. kuvio 11.) (Satchowiak & Batchelor 2005, 505)



Kuvio 11 Abrasiivinen kuluminen (Kopeliovich 2013)

Kuviossa 11 on nähtävissä kuinka kahden kappaleen välinen abrasiivinen kuluminen johtaa väistämättä myös 3 kappaleen väliseen kulumiseen pinnan karheuden huippujen murtuessa.

5.1.3 Väsymiskuluminen

Jos kahden toisiaan vasten liukuvan pinnan kuluminen ei ole adhesiivista tai abrasiivista, niin yleensä kyse on väsymiskulumisesta. Väsymiskulumisessa pinnankarheuden huippujen törmäys ei aina johdakaan kulumispartikkelien muodostumiseen vaan ne syntyvät pitkäaikaisemman vaihtuvan rasituksen seurauksena. Kun pinnankarheuden ulokkeeseen muodostuu toistuvien törmäysten seurauksena plastisia muodonmuutoksia, se lopulta murtuu. (Kivioja 1997, 114)

5.1.4 Tribokemiallinen kuluminen

Tribokemiallisessa kulumisessa aine ei reagoi sen vastinpinnan kanssa vaan kemiallinen reaktio tapahtuu aineen pinnan ja sen kanssa reagoivan aineen, kuten voiteluaineen välillä liikkeen aikana. Mekaanisen rasituksen seurauksena materiaalin pintakalvo voi rikkoutua, jolloin materiaalin voimakkaasti reagoiva pinta paljastuu. Materiaalin pinta reagoi mm. hapen kanssa muodostaen metallioksiedeja. Kemiallisen reaktion seurauksena pinnan ominaisuudet saattavat muuttua sen lujuuden ja kitkakertoimen suhteen. Tribokemiallisen reaktion tuotteet, kuten metallioksidit voivat olla hyvinkin kovia, mutta hauraita. Reaktiotuotteiden irtoaminen voi johtaa abrasiiviseen kulumiseen ja siten edesauttaa tribokemiallista kulumista. (Mang, Bobzin & Bartels 2010, 40)

6 Voitelu

Voitelun tarkoitus on vähentää kitkaa, kulumista ja osien lämpenemistä kahden toistensa suhteen liikkuvan osan pintojen välillä. Voiteluaineeksi voidaan luokitella mikä vain aine, joka näiden pintojen väliin laitettaessa täyttää nämä määritelmät. (Shigley 2004, 608)

Tässä osiossa otetaan esille voitelumekanismia ja laakereiden voitelussa käytettyjä aineita, sekä niiden ominaisuuksia.

6.1 Voitelumekanismit

Voitelu ei ole aivan yksiselitteinen tapahtuma jossa on vain yksi toimintamekanismi, vaan voitelu voidaan ilmiönä jakaa kolmeen eri pääryhmään, joista jokaiselle löytyy oma sovelluskohteensa. Voitelu voi olla rajavoitelua, sekavoitelua tai puhdasta nestevoitelua riippuen voitelukalvon paksuudesta. Voitelukalvon ominaispaksuus λ voidaan määrittää seuraavalla kaavalla:

$$\lambda = \frac{h_{min}}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}$$

h_{min} = voiteluainekalvon minimipaksuus

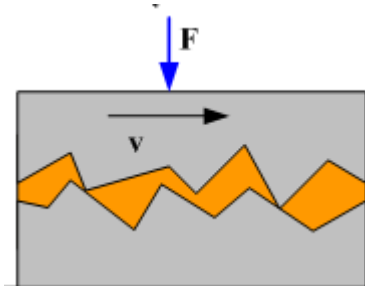
σ_1, σ_2 = vastinpintojen pinnankarheuksien rms-arvot

rms-arvolla tarkoitetaan pinnanprofiilin neliöllistä keskipoikkeamaa. Yleensä saatavilla on vain aritmeettinen keskipoikkeama R_a pinnankarheudesta, jolloin σ voidaan määrittää $\sigma \approx 1,3 R_a$. On otettava huomioon, että ominaiskalvonpaksuus on suuntaa antava parametri, eikä sillä voida yksiselitteisesti määrittää voitelun toimivuutta, etenkin pienillä arvoilla ($\lambda < 1$). (Kunnossapito ry. 2006, 20)

6.1.1 Rajavoitelu

Rajavoitelussa pinnankarheushuiput selvästi koskettavat toisiaan. Pintakalvojen paksuus jää rajavoitelussa merkittävästi pinnankarheutta pienemmäksi. Voitelutapahtuma perustuu tällöin pintakalvojen tarttuvuuteen, stabiilisuuteen ja muodostumisnopeuteen pinnankarheuden huippujen kosketuskohdissa.

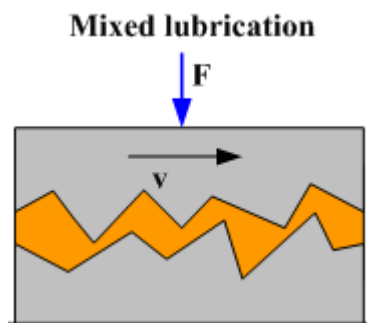
Pintakalvot muodostuvat voiteluaineen sisältämien lisäaineiden reagoiessa kosketuspintojen kanssa. Voitelutilanne määritellään rajavoiteluksi, kun $\lambda < 1$. (Kunnossapito ry. 2006, 20) Kuviossa 12 havainnollistettu rajavoitelutilanne.



Kuvio 12 Rajavoitelu (Kopeliovich 2013)

6.1.2 Sekavoitelu

Sekavoitelutilanteessa yhdistyvät sekä rajavoitelu että nestevoitelu. Kuormitus jakautuu osittain pienen kitkan omaavan voiteluaineen varaan ja osittain pinnankarheushuippujen varaan. Mitä paksummaksi voitelukalvo kasvaa sitä pienemmäksi pinnankarheushuippujen kantama kuorma muuttuu ja tätä myötä kokonaiskitkakerroin vähenee. (Kunnossapito ry. 2006, 21) Kuviossa 13 on havainnollistettu sekavoitelutilanne.

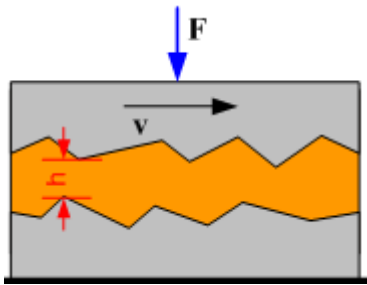


Kuvio 13 Sekavoitelu (Kopeliovich 2013)

6.1.3 Nestevoitelu

Nestevoitelutilanteessa pinnat ovat täysin voitelukalvon varassa ilman pintojen välistä kosketusta. Pintojen välisen kosketuksen puuttuessa on kitka vähäisempi ja materiaaleja kuluttavaa hankausta ei tapahdu. Voitelutilanne määritellään yleensä nestevoiteluksi, kun $\lambda > 4$. (Kunnossapito ry. 2006, 21)

Kuviossa 14 on havainnollistettu nestevoitelutilanne.

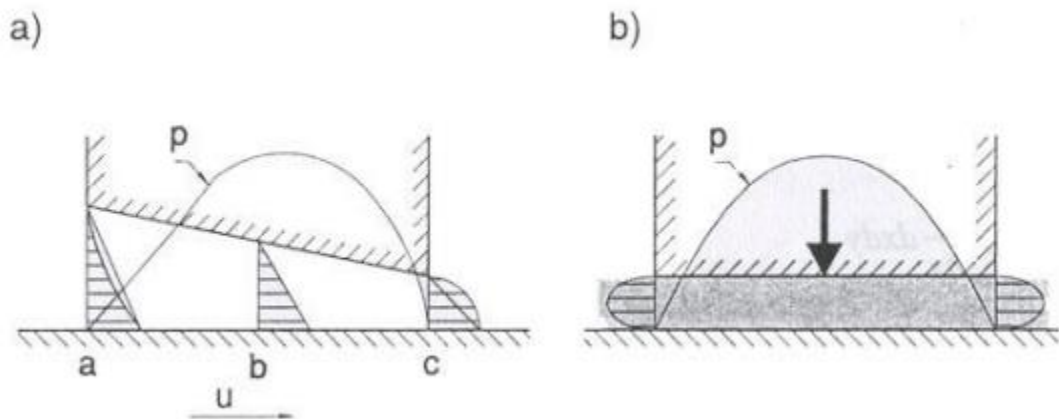


Kuvio 14 Nestevoitelu (Kopeliovich 2013)

Nestevoitelu voidaan jakaa hydrodynaamiseen, elastohydrodynaamiseen ja hydrostaattiseen voiteluun.

Hydrodynaamisessa voitelussa toistensa suhteen liikkuvien pintojen nopeusero ja kiilamainen rakenne saavat aikaan suppenevan voitelukalvon.

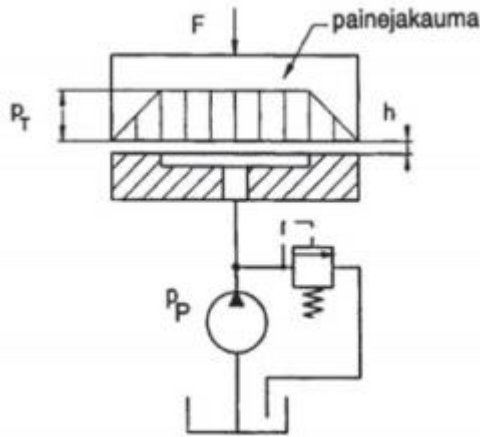
Muodostuva ylipaine kantaa laakeriin kohdistuvan kuormituksen. (Ks. kuvio 15) (Kunnossapito ry. 2006, 22)



Kuvio 15 Hydrodynaaminen voitelu (Kivioja 1997, 133)

Elastohydrodynaamista voitelua tapahtuu mm. hammaspyörissä ja vierintälaakereissa joissa välittyy suuria kuormituksia pienen kosketuspinta-alan kautta. Kosketuksessa muodostuvat korkeat paineet aiheuttavat pinnoissa elastista muodonmuutosta. Paineen vaikutuksesta myös voiteluaineen viskositeetti kasvaa, eikä voiteluaine kerkeä puristua pois pintojen kosketuskohdasta. Kosketuspintojen elastisen muodonmuutoksen myötä myös kosketuspinta-ala kasvaa. (Kunnossapito ry. 2006, 25)

Hydrostaattisessa voitelussa pinnat erotetaan pumppaamalla pintojen välissä olevaan voiteluainetaskuun voiteluainetta. Pintojen väliin muodostuu yli-paine, joka kannattelee pintoja voiteluaineen varassa(ks. kuvio 16). (Kunnosapito ry. 2006, 29)



Kuvio 16 Hydrostaattinen voitelu (Kivioja 1997, 159)

6.2 Laakerien rasvavoitelu

Rasvavoitelu on yleisimmin käytetty voitelutapa vierintälaakereille – n. 90 % vierintälaakereista on rasvavoideltu (Schaeffler Technologies AG & Co KG. 2013, 52). Vaikka rasva ja öljy ovat ulkoisesti ja ominaisuuksiltaan hyvin erilaisia aineita, on itse voitelukalvon muodostava aine molemmissa sama – eli perusöljy. (SKF 1994, 210)

Rasvan etuja voiteluaineena ovat mm.:

- Laakerin tiivistystä tukeva vaikutus
- Toimiminen pitkään lisävoitelun pettäessäkin
- Alhainen kitka
- Vähäinen tilan tarve

(Schaeffler Technologies AG & Co KG. 2013, 52)

Normaaleissa toimintaolosuhteissa jopa elinikäinen kertavoitelu on usein mahdollista. Olosuhteiden ollessa haastavat nopeuden, lämpötilan ja kuormituksen

suhteen, on tarpeellista tehdä jaksollinen voitelusuunnitelma. Tällöin rasvalle on oltava sisään- ja ulostulokanavat, sekä kammio kertyvälle rasvalle. (Schaeffler Technologies AG & Co KG. 2013, 52)

6.2.1 Voitelurasvan rakenne

Rasvan rakenteen muodostaa saennin, joka tyypillisesti on metallisaippua. Metallisaippua muodostaa pesusienen rakennetta muistuttavan kuitujen verkoston. Näiden kuitujen väleihin sitoutuu perusöljystä muodostuvia öljypisaroita, jotka toimivat voitelukalvon muodostavana aineena. Öljy tihkuu metallisaippuan muodostamasta rakenteesta voideltaville pinnoille lämmön vaikutuksesta ja muodostaa täten voitelukalvon. (SKF 1994, 210)

Tyypillisesti voitelurasva koostuu seuraavista osista:

- Perusöljy 70-95%
- Saennin 5-30%
- vanhenemisen- ja ruostumisenestoaineet
- EP- sekä muut lisäaineet

(Alastalo, Bärling, Hirvonen, Hyppönen, Issakainen, Packalén, Saari-
nen & Väyrynen Nd.)

Voitelurasvat voidaan jakaa saentimien ja pohjana käytettyjen perusöljyjen mukaan seuraavasti:

Kalsiumsaippuarasvat

Kalsiumsaippuarasvat muistuttavat rakenteeltaan pehmeää voita, mutta ovat mekaanisesti hyvin kiinteitä. Veteen liukenemattomuuden vuoksi kalsiumsaippuarasvat soveltuvat hyvin laakereihin, jotka altistuvat vedelle. Kalsiumrasvoja voidaan pääsääntöisesti käyttää vain 60 °C asti, mutta kalsiumkompleksirasvoja voidaan käyttää jopa 120 °C asti. (SKF 1994, 212)

Natriumsaippuarasvat

Natriumsaippuarasvojen käyttö lämpötila-alue on laajempi kuin kalsiumrasvoilla. Natriumrasvoilla on hyvät tiivistys- ja tartuntaominaisuudet. Ne myös

imevät itseensä vettä, mikä suojaa voitelukohdetta ruostumiselta, mutta samalla heikentää huomattavasti rasvan voitelukykyä. Natriumrasvoja ei suositella käytettäväksi vedelle altistuvissa laakeroinneissa. (SKF 1994, 212)

Litiumsaippuarasvat

Litiumrasvat ovat rakenteeltaan hyvin samanlaisia kuin kalsiumrasvat. Litiumrasvoissa yhdistyykin sekä kalsium- että natriumrasvojen hyvät puolet, muttei niiden haittapuolia. Litiumrasvat tarttuvat hyvin, eivät liukene veteen ja kestävät korkeampia lämpötiloja paremmin kuin kalsium- tai natriumrasvat. (SKF 1994, 212.)

Kompleksisaippuarasvat

Kompleksirasvasaippuat sisältävät suolaa metallisaippuan lisäksi. Kompleksirasvasaippuat kestävät korkeampia lämpötiloja kuin perinteiset rasvat. (SKF 1994, 213.)

Synteettiset rasvat

Synteettisiin rasvoihin kuuluvat rasvat joiden pohjana käytetään synteettisiä öljyjä. Synteettiset öljyt eivät hapetu yhtä nopeasti kuin mineraaliöljyt ja omaavat siten laajemman käyttöalueen kuin muut rasvat. Synteettisiä rasvoja valmistetaan yleensä erikoislaakeroiteihin. (SKF 1994, 213.)

Orgaaniset saippuattomat saentimet

Saippuattomat orgaaniset saentimet ovat yleensä polyureakuituja tai hienojakoista plytetrafluorietyyleeniä (PTFE). Tällaisten rasvojen hyvät veden- ja lämmönkesto-ominaisuudet mahdollistavat niiden pitkäaikaisen käytön vaativissakin olosuhteissa. Polyurearasvoja käytetään mm. kertavoideltujen laakereiden voiteluaineena. Rajoittavia tekijöitä tällaisilla rasvoilla on niiden hinta ja huonot pumpattavuusominaisuudet. Jotkut PTFE-voitelurasvat sallivat jopa 250 °C lämpötilan. (Kunnossapitoyhdistys ry. 2006, 70-71.)

Epäorgaanisilla aineilla sakeutetut rasvat

Yleisin epäorgaanisista saentimista on bentoniittisavi. Tällaisilta rasvoilta puuttuu sulamispiste, mikä mahdollistaa laajan käyttölämpötila-alueen. Kalliin valmistushinnan vuoksi käyttö rajoittuu erikoissovelluksiin joissa todella tarvitaan kuumansietokykyä. (Kunnossapitoyhdistys ry. 2006, 71.)

Rasvoissa käytetyt lisäaineet

- Ruosteenestoaineet märkien laakerointien rasvoihin.
 - Antioksidantit antamaan perusöljylle pidempää elinikää korkeissa lämpötiloissa
 - EP-lisäaineet (extreme pressure)
 - Kiinteät voiteluaineet kuten grafiitti ja molybdeenisulfidi
- (SKF 1994, 213.)

6.2.2 Voitelurasvojen yhteensopivuus

Rasvoille voidaan antaa hyvin erilaisia ominaisuuksia riippuen käytetystä saippuasta ja lisäaineista. Ei ole yhdentekevää mitä rasvaa laakeriin laitetaan. Rasvoissa sakeutusaineina toimivat metallisaippuat eivät ole kaikki toistensa kanssa yhteensopivia. Sekoitettaessa yhteen sopimattomia rasvoja keskenään on tuloksena yleensä pehmeämpi seos, mutta joissain tapauksissa seoksesta tulee huomattavasti jäykempi. Molemmat reaktiot ovat laakerin toiminnalle haitallisia ja saattavat jopa aiheuttaa laakerin vaurioitumisen. (SKF 1994, 215.)

Kuvio 17 ilmaisee hyvin rasvoissa käytettyjen saentimien yhteensopivuuden ja yhteensopimattomuuden.

Grease Compatibility Chart												
	Aluminum Complex	Barium Complex	Calcium Stearate	Calcium 12-Hydroxystearate	Calcium Complex	Calcium Sulfonate	Bentonite Clay	Lithium Stearate	Lithium 12-Hydroxystearate	Lithium Complex	Polyurea (Conventional)	Polyurea (Shear Stable)
Aluminum Complex	-	I	I	C	I	B	I	I	I	C	I	C
Barium Complex	I	-	I	C	I	C	I	I	I	I	I	B
Calcium Stearate	I	I	-	C	I	C	C	C	B	C	I	C
Calcium 12-Hydroxystearate	C	C	C	-	B	B	C	C	C	C	I	C
Calcium Complex	I	I	I	B	-	I	I	I	I	C	C	C
Calcium Sulfonate	B	C	C	B	I	-	I	B	B	C	I	C
Bentonite Clay	I	I	C	C	I	I	-	I	I	I	I	B
Lithium Stearate	I	I	C	C	I	B	I	-	C	C	I	C
Lithium 12-Hydroxystearate	I	I	B	C	I	B	I	C	-	C	I	C
Lithium Complex	C	I	C	C	C	C	I	C	C	-	I	C
Polyurea (Conventional)	I	I	I	I	C	I	I	I	I	I	-	C
Polyurea (Shear Stable)	C	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	-

Kuvio 17 Saentimien yhteensopivuustaulukko (Turner 2009)

I = yhteensopimaton (incompatible)

B = rajatapaus (borderline)

C = yhteensopiva (compatible)

Rasvaa valittaessa on erityisesti kiinnitettävä huomiota laakerimalliin ja –koon, käyttölämpötilaan, pyörimisnopeuteen ja kuormaan. (SKF 1996, 216.)

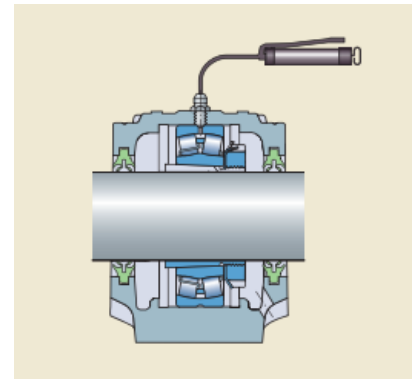
6.2.3 Rasvamäärät

Itse laakerin tulee aina olla kokonaan rasvalla täytetty. Laakeripesässä olevan vapaantilan tulee sen sijaan olla vain osittain täytetty. Laakerin käyttönopeudesta riippuen tulee laakerin tyhjästä tilasta täyttää n. 30-50 %. Laakerit joita käytetään korkeilla nopeuksilla, tulee voidella pienillä rasvamäärillä. (SKF 1996, 219.) Liikaa rasvaa laakerissa kuitenkin tulee välttää sillä siitä aiheutuva kahlauskitka voi aiheuttaa laakerin kuumenemisen. Kahlaustilanteessa suuri rasvamäärä laakerissa vatskaantuu ja aiheuttaa tehohäviöitä ja kuumenemista. Pitkäaikainen kuumeneminen aiheuttaa rasvan ominaisuuksien pettämisen. (Noria Corporation 2011)

Alla on esitelty rasvamäärän laskeminen jälkivoitelutilanteessa SKF (2010, 196) mukaan:

Jälkivoitelutilanteessa lisättävän rasvan määrä riippuu täysin laakerin koosta ja voitelupisteen sijainnista. Voitelunipan ollessa suoraan laakerin kohdalla (ks. kuvio 18), voidaan lisättävän rasvan määrä laskea kaavalla:

$$G_p = 0,002 D B$$



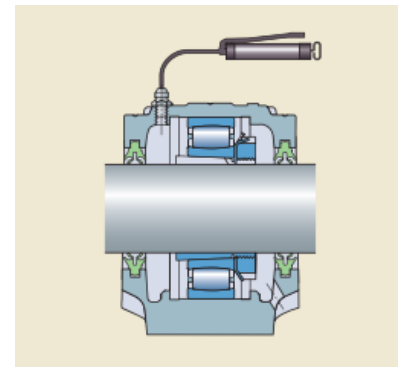
Kuvio 18 Voitelunippa laakerin kohdalla (SKF 2010, 196)

Voitelunipan ollessa laakerin sivussa (ks. kuvio 19), voidaan lisättävän rasvan määrä laskea kaavalla $G_p = 0,005 D B$

G_p = lisättävän rasvan määrä (g)

D = laakerin ulkohalkaisija (mm)

B = laakerin leveys (mm)



Kuvio 19 Voitelunippa laakerin sivussa (SKF 2010, 196)

6.3 Laakereiden öljyvoitelu

Öljyvoitelua käytetään yleensä silloin, kun voitelulta toivotaan jäähdyttävää vaikutusta, pyörimisnopeudet tai kuormat ovat suuret, tai rasvavoitelua ei yksinkertaisesti muuten voida toteuttaa. Laitteissa joissa muut laakerit ovat öljyvoideltuja, voidaan öljyvoitelun käyttäminen nähdä kannattavaksi, vaikka laakerissa olisi mahdollista käyttää rasvavoitelua. (SKF 1994, 234.)

Voiteluöljyt voidaan jakaa raaka-aineen perusteella kolmeen eri ryhmään:

- Mineraaliöljyt
- Synteettiset öljyt
- Eläin- ja kasvipohjaiset öljyt

Eläin- ja kasvipohjaisia öljyjä ei kuitenkaan käsitellä tässä osiossa tarkemmin, sillä niitä ei yleensä tule käyttää vierintälaakereiden voitelussa. (SKF 1994, 234.)

Mineraaliöljyt on valmistettu tyhjiötislaamalla ja puhdistamalla raakaöljystä. Ne voidaan jakaa niissä esiintyvien hiilivetyjen mukaan parafiinisiin, nafteenisiin ja aromaattisiin öljyihin. Hiilivetyrakenne vaikuttaa mm. öljyn viskositeettiin, leimahduspisteeseen ja tiheyteen. Valtaosa voiteluöljyistä tehdään parafiinisista perusöljyistä. (Kunnossapito ry. 2006, 55- 56.) Mineraaliöljyjä suositetaan voiteluöljynä niiden halvan hinnan vuoksi suhteessa synteettisiin öljyihin. (Ks. taulukko 1.)

Synteettiset öljyt ovat nimensä mukaisesti keinotekoisesti eli synteettisesti valmistettuja. Synteettiset öljyt ovat hyvin kalliita suhteessa mineraaliöljyihin ja tämän vuoksi käytettyjä lähinnä erikoislaakereissa (SKF 1994, 234)(Ks. taulukko 1.)

Myös synteettiset öljyt jaetaan hiilivetyjen mukaan.

Synteettiset hiilivedyt:

- Polyalfaolefiinit
- Alkyylibentseenit
- Esterit
- Polyglykolit
- Fosforihappoesterit
- Silikoniöljyt

(Kunnossapito ry. 2006, 59- 60)

Öljyjen ominaisuuksia on esitelty tarkemmin taulukossa 1.

	Viskosiiteetti-lämpötila-käyttäytyminen	Kulumisuoja	Kitkikäyttäytyminen	Vaikutus maaleihin	Vaikutus tiivistämateriaaleihin	Sekoittuvuus mineraaliöljyyn	Kylmäkäyttäytyminen	Hapettumiskestävyys korkeissa lämpötiloissa	Syttyvyys	Suhteellinen hinta
Mineraaliöljy	0	0	+	+++	+++		0	0	-	1
VHVI	++	++	++	+++	+++	+++	+	++	-	4
Polyalfaolefiinit	++	0	+	+++	++	+++	++	++	-	5
Alkyylibentseenit	0	0	+	+++	+++	+++	+	0	-	4
Diesterit	++	0	+	-	0	+	+	+	0	5
Polyoliesterit	++	0	++	-	0	0	++	+++	0	5
Polyglykolit	++	+++	+++	+	+	-	+	+++	0	6
Fosforihaptoesteri	-	++	++	+	0	-	0	+	++	6
Silikoniöljy	+++	-	-	++	+++	-	+	+	+	40

+++ erinomainen ++ erittäin hyvä + hyvä - huono

Taulukko 1 Öljyjen ominaisuudet (Kunnossapitoyhdistys ry. 2006, 59)

7 Voitelulaitteet ja –järjestelmät

Tässä osiossa käydään läpi erilaisia voiteluhuollossa käytettäviä apuvälineitä ja järjestelmiä.

7.1 Käsikäyttöiset voitelulaitteet

7.1.1 Rasvapuristimet



Kuvio 20 Akkukäyttöinen rasvapuristin (Battery Powered grease gun)



Kuvio 21 Vipuvarsitoiminen rasvapuristin (Alastalo ym. N.d.)

Rasvapuristin on pienen kokonsa ja liikuteltavuutensa vuoksi kätevä käyttää voideltaessa eri puolella kohdetta olevia voitelunippoja. Rasvapuristimen käyttövoimana voi olla käsivoimin toimivan vipuvarsipuristimen lisäksi myös paineilma tai akku. (Ks. kuviot 20 ja 21.)

7.1.2 Rasvapumput



Kuvio 22 Tynnyriin asennettu rasvapumppu saattokannella (Grease-Pump specifications N.d.)

Rasvapumppu asennetaan suoraan rasva-astiaan. Kuviossa 22 näkyy suoraan rasvatynnyriin asennettu paineilmatoiminen rasvapumppu. Kuviossa näkyy myös tynnyrin sisällä käytetty saattokansi. Saattokannen käyttö on suositeltavaa, jotta rasva laskeutuu tasaisesti eikä ”holvaudu”. Rasvapumppuja voidaan asettaa paikallaan olevien tynnyreiden lisäksi liikuteltaviin tynnyreihin. (Kunnossapitoyhdistys ry. 2006, 227)

7.1.3 Öljypumput

Öljypumppuja käytetään öljytynnyreissä ja öljyä voiteluaineena käytävissä järjestelmissä. Öljypumppu voidaan asentaa suoraan tynnyriin tai imuletkulla varustettuna esim. seinälle. Öljypumppu voi toimia sähköllä tai paineilmalla. Nykyisin monissa tehtaissa suositaan paineilmatoimisia pumppuja, sillä tehtaiden paineilmaverkot ovat yleensä hyvin kattavia. (Kunnossapitoyhdistys ry. 2006, 228)

7.2 Automaattiset voitelujärjestelmät

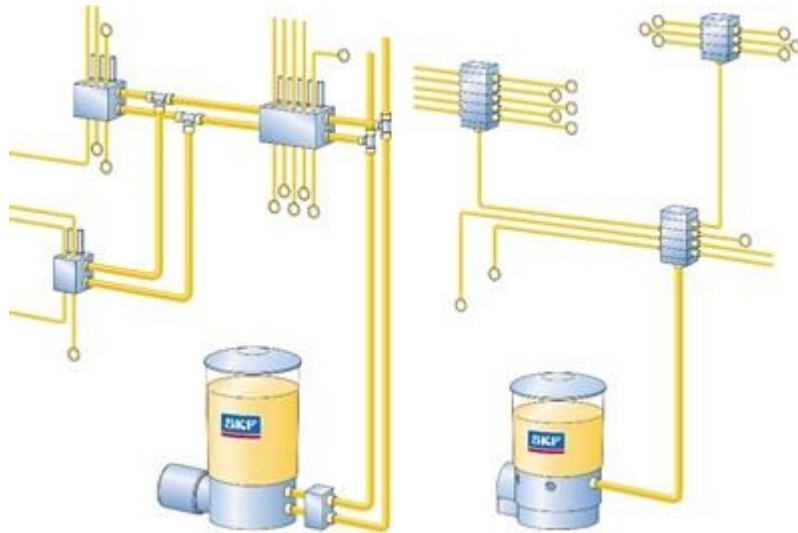
Voiteluhuollossa voidaan myös käyttää automaattisia voitelujärjestelmiä, jotka pitävät huolta kohteiden voitelusta automaattisesti, vaatien pääasiassa vain säännöllisen voiteluaineen lisäyksen järjestelmän säiliöön. Automaattiset voitelujärjestelmät voidaan jakaa keskusvoitelujärjestelmiin, kiertovoitelujärjestelmiin ja automaattisiin yksittäisiin voitelulaitteisiin. Keskusvoitelujärjestelmässä voiteluaine on kertakäyttöistä, eikä siis enää palaa voiteluainesäiliöön käytön jälkeen. Kiertovoitelujärjestelmissä samaa voiteluainetta taas kierrätetään kohteeseen uudelleen ja uudelleen.

Perinteisten keskus- ja kiertovoitelujärjestelmien lisäksi on esitelty muutamia keskusvoitelujärjestelmiksi luokiteltavia, mutta perinteisistä rasvakäyttöisistä keskusvoitelujärjestelmistä poikkeavia voitelutapoja, kuten patruunavoitelu, sumuvoitelu, öljy-ilmavoitelu ja erikseen vielä paineilman sumuvoitelu, jota käytetään yleisesti paineilmajärjestelmien mekaanisten osien voiteluun.

7.2.1 Keskusvoitelujärjestelmä

Keskusvoitelussa keskusvoitelujärjestelmä pitää huolta laitteiden säännöllisestä voitelusta. Järjestelmällä voidaan taata kohteen säännöllinen voitelu myös ajon aikana. Järjestelmän voidellessa vain tietyn määrän per kohde, varmistaa se optimaalisen voitelun ja sitä kautta auttaa säästämään voiteluainemäärissä. Erityisen hyvin keskusvoitelu sopii hankalasti päästäviin kohteisiin tai laitteisiin joiden pysäyttäminen vaikuttaa merkittävästi tuotantoon. (Kunnossapitoyhdistys ry. 2006, 230)

Keskusvoitelujärjestelmät ovat yleensä yksi- tai kaksilinjaisia (Ks. kuvio 23.). Yksilinjaiset järjestelmät soveltuvat pehmeille rasvoille ja kohteille joissa voitelupisteitä ei ole paljon. Kaksilinjaiset järjestelmät pystyvät siirtämään jäykempiä rasvoja pitkiäkin matkoja ja soveltuvat hyvin lukuisia voitelupisteitä omaaville linjoille.



Kuvio 23 Kaksi- ja yksilinjaiset keskusvoitelujärjestelmät (Single-line lubrication systems, Dual-line lubrication systems. N.d. muokattu)

Tyypillisen keskusvoitelujärjestelmän rakenne:

Ohjausyksikkö

Pitää huolta voitelusta ohjaamalla siihen asetettuja voitelujaksoja ja paineistusaikoja. (Kunnossapitoyhdistys ry. 2006, 230)

Pumppausyksikkö

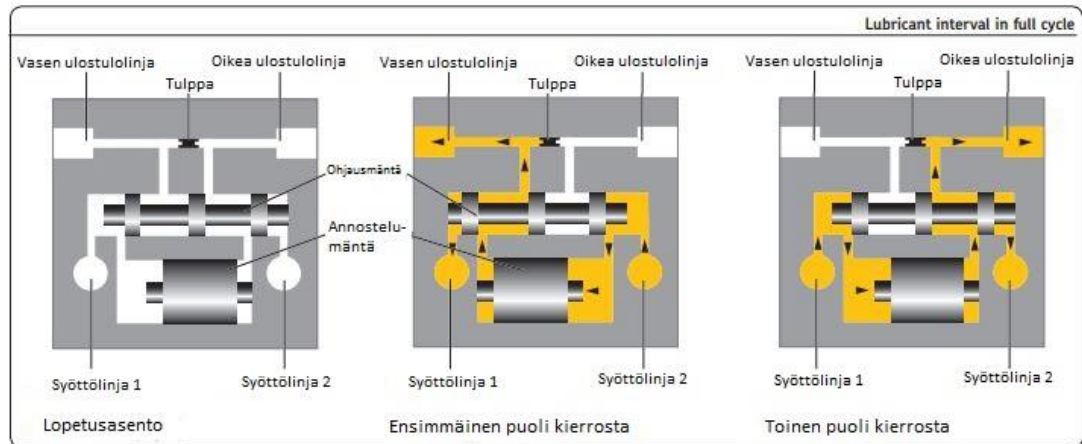
Pumppaa voiteluainetta putkistoon ohjausyksikön käskystä. Ohjausyksikkö lopettaa pumppaamisen, kunnes putkisto saavuttaa tavoitepaineen. (Kunnossapitoyhdistys ry. 2006, 231)

Putkisto

Putkisto kuljettaa voiteluaineen voitelukohteisiin. (Kunnossapitoyhdistys ry. 2006, 231)

Annostinryhmät

Yleensä annostinryhmä on koostunut pohjalaatasta ja siihen asennetuista annostimista. Pohjalaatan tehtävä on jakaa voiteluaine annostimien kautta voitelukohteisiin. (Kunnossapitoyhdistys ry. 2006, 232.) Kuviossa 22 on esitetty kaksilinjaisen annostimen toimintaperiaate.



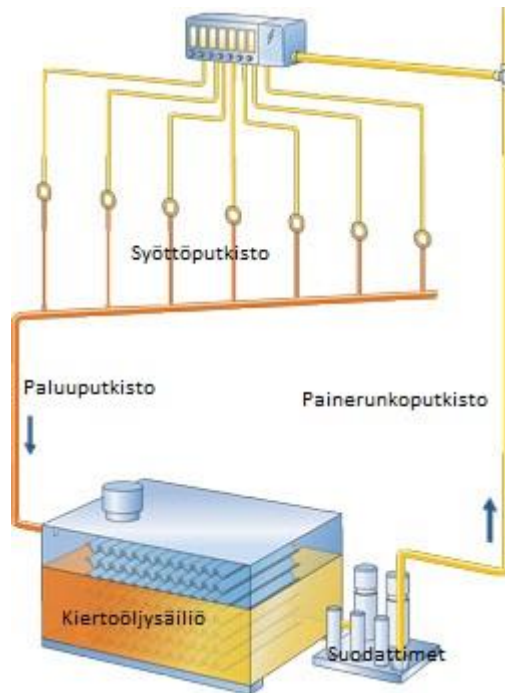
Kuvio 24 Kaksilinjainen annostin (SKF 2014, 2)

Paineenvalvontayksikkö

Mittaa voiteluaineen painetta järjestelmässä ja välittää tiedon ohjausyksikölle. (Kunnossapitoyhdistys ry. 2006, 232)

7.2.2 Kiertovoitelu

Kiertovoitelussa kiertovoitelujärjestelmä nimensä mukaisesti kierrättää voiteluöljyä voitelukohteiden kautta likaisen öljyn säiliöön ja sieltä taas suodatettuna takaisin voitelukohteisiin. (Ks. kuvio 25.) Laakerin kautta kulkiessaan öljy muodostaa tasaisesti voitelukalvon laakerin pinnoilla ja samalla vie epäpuhtauksia ja lämpöä mukanaan.



Kuvio 25 Kiertoöljyvoitelu
(Conley & He 2013)

Kiertovoitelujärjestelmän rakenne:

Kiertovoitelusäiliö

Kiertovoitelusäiliöitä on useita erilaisia. Yleensä säiliö kuitenkin sisältää paluukartion tai siiviläkorin säiliön yläosassa, suojausputkeen asennetut sähkövastukset öljyn lämmittämistä varten säiliön alaosassa ja lamelleja sekä levyrakenteita ohjaamaan ja rauhoittamaan öljyn virtaamista. (Kunnossapitoyhdistys ry. 2006, 140-141, 236.)

Pumput

Kiertoöljyjärjestelmissä käytetään yhtä tai useampaa ruuvipumppua. Pumpuilla säädetään järjestelmän virtausta ja painetta. (Kunnossapitoyhdistys ry. 2006, 236.)

Öljyn suodattimet

Öljyn suodatuksessa voidaan käyttää kahta eri tapaa – päävirtasuodatusta tai säiliökiertosuodatusta. Päävirtasuodatus tunnetaan myös nimellä putkistosuodatus, joka onkin hieman kuvaavampi nimitys. Päävirtasuodatuksessa öljy ni-

mittäin suodatetaan suoraan putkistoon. Suodattimet voivat sijaita heti pumpun jälkeen tai myöhemmin ennen kohdetta. Toinen suodatustapa on säiliökierrosuodatus, joka tunnetaan myös nimellä sivuvirtasuodatus. Säiliökierrosuodatuksessa 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. (Kunnossapitoyhdistys ry. 2006, 142- 143, 236)

Lämmönvaihdin

Lämmönvaihtimella voidaan jäähdyttää öljyä kiertovoitelujärjestelmässä ja näin tehostaa öljyn jäähdyttäviä ominaisuuksia kohteessa. (Kunnossapitoyhdistys ry. 2006, 236)

Vuotoallas

Vuotoallas toimii kaukalona kiertovoitelusäiliön ja koneikon olla. Sen tarkoitus on rajata järjestelmästä tuleva mahdollinen vuoto. (Kunnossapitoyhdistys ry. 2006, 236)

7.2.3 Patruunavoitelu

Patruunavoitelu on yksi tapa toteuttaa keskusvoitelun kaltainen voitelu yksittäiselle kohteelle ilman keskusvoitelujärjestelmää. Patruunavoitelussa rasva on yleensä jousikuormitteisen patruunan sisällä, josta sitä päästetään määräajoin ohjelmoitu määrä voitelukohteeseen. (Michalicka 2008.) Voitelupatruuna voidaan asentaa kätevästi suoraan voideltavaan laakeriin. (Ks. kuvio 26.)



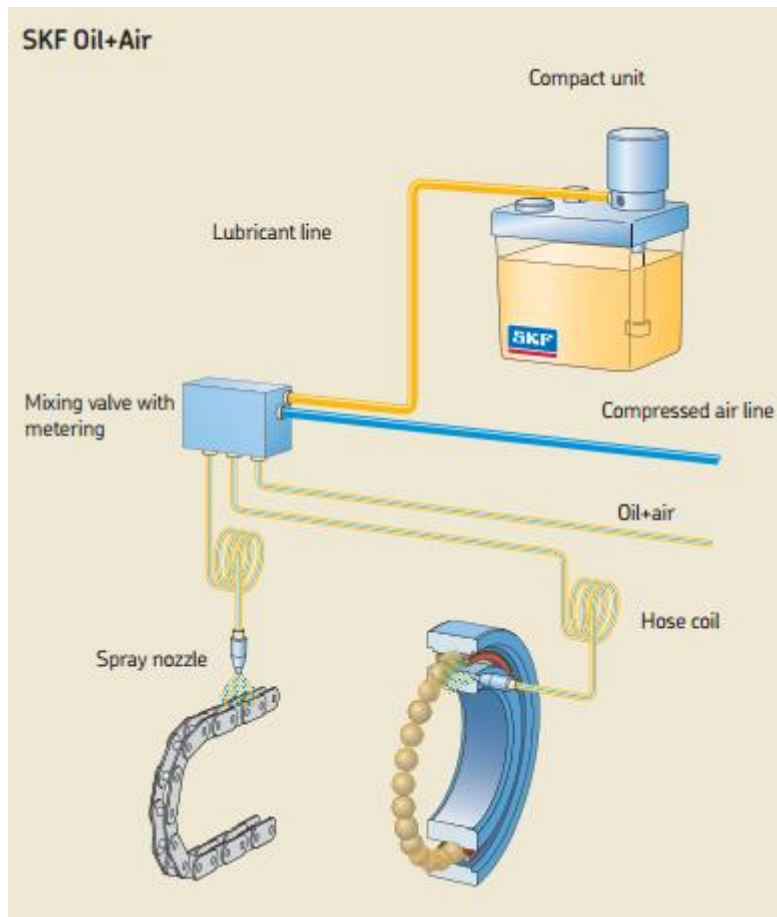
Kuvio 26 Voitelupatruuna asennettuna laakeriin (Michalicka 2008)

7.2.4 Sumuvoitelu

Sumuvoitelujärjestelmiä käytetään pääasiassa suurissa pyörivissä laitteissa, joissa lämpötilan vaihtelu on vähäistä. Sumuvoitelussa öljy sekoitetaan paineilmaan sumuksi ja johdetaan voideltavaan laakeriin, jonka pinnalle se tiivistyy takaisin öljypisaroiksi voidellen laakeria. Öljyn paineilmaan sekoittaminen voidaan toteuttaa mm. venturi- periaatteella (Ks. Paineilman sumuvoitelu). (Conley & He 2013)

7.2.5 Öljy-ilmavoitelu

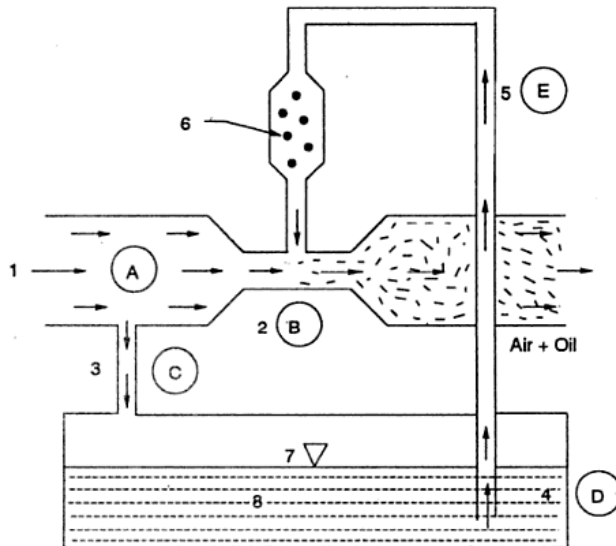
Öljy-ilmavoitelussa öljy annostellaan pisaroina paineilman sekaan. Öljypisarat kulkeutuvat putkistossa ilman mukana voideltavaan kohteeseen. Ilmavoitelun etuna mm. sumuvoiteluun on voiteluaineen tehokkaampi pääsy itse voitelukohteeseen. Laakeriin johdettu jatkuva ilmavirta myös muodostaa laakerin sisälle ylipaineen, mikä auttaa pitämään epäpuhtaudet laakerin ulkopuolella. (Ks. kuvio 27.) (SKF 2015, 4)



Kuvio 27 Öljy-ilmavoitelujärjestelmä (SKF 2015, 4)

7.2.6 Paineilman sumuvoitelu

Useimmissa paineilmajärjestelmissä ilma johdetaan suodatuksen jälkeen voiteluyksikköön, jossa ilmaan sekoitetaan öljyä sumuksi. Tämän öljysumun ainoa tehtävä on voidella järjestelmässä olevia venttiilejä, sylinterejä ja muita liikkuvia osia. Kuviossa 26 esitetään voiteluöljyn sekoittuminen venturi-periaatteella. (Majumdar, S.R. 1995, 66)



Kuvio 28 Sumuvoitelu venturi-periaatteella (Majumdar, S.R. 1995, 68)

Kuviossa 28 esitetään voiteluöljyn sekoittuminen venturi-periaatteella.

- (A) Paineilman syöttölinja
- (B) Kuristin
- (C) Putki öljysäiliöön
- (D) Öljysäiliö
- (E) Lähtöputki öljysäiliöstä

Paineilma kulkee syöttölinjaa pitkin kuristimelle, jossa osa ilmasta jatkaa kuristimen läpi ja osaa kulkee sivuhaaraa (C) pitkin öljysäiliöön. Paine-eron johdosta öljy kulkeutuu putkea (E) pitkin kuviossa esitettyyn kohtaan 6, jossa öljy jakaantuu pisaroiksi. Öljypisarat sekoittuvat kuristimen läpi kulkevaan ilmaan ja jatkavat matkaa sumuna ilman seassa.

(Majumdar, S.R. 1995, 68)

8 Kriittisyysanalyysi PSK 6800

PSK Standardissa 6800 esitellään menetelmä kriittisyyden arviointiin. Menetelmä perustuu kriittisyysindeksin laskemiseen kohteille. Kriittisyysindeksiin vaikuttavat turvallisuusriskit, ympäristöriskit, tuotannon menetykset, laatuks-
tannukset ja korjaus- tai seurauskustannukset.

Standardissa (PSK 6800 2008, 3) esitellyn menetelmän mukainen kriittisyys-
analyysi suoritetaan seuraavalla tavalla:

- 1) Tarkastelun laajuus määritetään
- 2) Määritetään tuotannon menetyksen painoarvo W_p
- 3) Tehdään arvio kuviossa 29 annettujen painoarvojen soveltuvuudesta
kyseessä olevalle teollisuuden toimialalle. Tarvittaessa näitä painoar-
voja muutetaan.
- 4) Tarkasteltavista laitteista tehdään lista standardin liitteenä olevaan tau-
lukkolaskentaohjelmaan.
- 5) Tarkasteltaville laitteille valitaan kuviossa 29 sopivat kertoimet.
- 6) Taulukkolaskentaohjelma laskee laitteille kriittisyysindeksin (K) ja sen
määrittävät osaindeksit (K_p , K_e , K_q ja K_r)
- 7) Laitteet luokitellaan saatujen kriittisyysindeksien mukaiseen järjestyk-
seen.

Osaindeksit muodostuvat taulukossa 2 määritettyjen painoarvojen ja kertoi-
mien mukaan.

Osaindeksit määrittyvät laskentaohjelmassa seuraavalla tavalla:

Turvallisuusriskin kriittisyysindeksi	$K_s = p \times (W_s \times M_s)$
Ympäristöriskin kriittisyysindeksi	$K_e = p \times (W_e \times M_e)$
Tuotannon menetyksen kriittisyysindeksi	$K_p = p \times (W_p \times M_p)$
Laatukustannusten kriittisyysindeksi	$K_q = p \times (W_q \times M_q)$
Korjauskustannusten kriittisyysindeksi	$K_r = p \times (W_r \times M_r)$

Kohde	Painoarvo [W]	Vikaantumisväli [p]	Kerroin [M]	Valintakriteeri
Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset	Turvallisuusriskit $W_s = 30$		$M_s = 0$	Ei turvallisuusriskiä
			$M_s = 2$	Vähäinen turvallisuusriski
			$M_s = 4$	Kohtalainen turvallisuusriski
			$M_s = 8$	Merkittävä turvallisuusriski
			$M_s = 16$	Vakava turvallisuusriski
	Ympäristöriskit $W_e = 20$		$M_e = 0$	Ei ympäristöriskiä
			$M_e = 2$	Vähäinen ympäristöriski
			$M_e = 4$	Kohtalainen ympäristöriski
			$M_e = 8$	Merkittävä ympäristöriski
			$M_e = 16$	Vakava ympäristöriski
Tuotantovaikutukset	Tuotannon menetytys $W_p = 0 \dots 100$	1 = Pitkä vikaantumisväli esimerkiksi yli 5 vuotta 2 = Pitkähkö vikaantumisväli esimerkiksi 2 – 5 vuotta 4 = Lyhyehkö vikaantumisväli esimerkiksi 0,5 – 2 vuotta 8 = Lyhyt vikaantumisväli esimerkiksi 0 – 0,5 vuotta	$M_p = 0$	Laitteen toimimattomuudella ei merkitystä osaprosessille tai osastolle
			$M_p = 1$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi (esimerkiksi ≤ 3 h)
			$M_p = 2$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi (esimerkiksi ≤ 10 h)
			$M_p = 3$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi (esimerkiksi 10 - 24 h)
			$M_p = 4$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi (esimerkiksi >24 h)
	Laatukustannus $W_q = 30$		$M_q = 0$	Laitteen toimimattomuus ei aiheuta lopputuotteen laatukustannuksia.
			$M_q = 1$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 1 h)
			$M_q = 2$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 3 h)
			$M_q = 3$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 3-8 h)
			$M_q = 4$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi >8 h)
Korjaus- tai seurauksenkustannukset	Korjaus- tai seurauksenkustannus $W_r = 20$	$M_r = 0$	Korjauskustannuksilla tai seurauksenkustannuksilla ei ole merkitystä suhteessa muihin menetyksiin.	
		$M_r = 1$	Vähäiset korjauskustannukset tai seurauksenkustannukset, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 2 h)	
		$M_r = 2$	Keskinkertaiset korjauskustannukset tai seurauksenkustannukset, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 10 h)	
		$M_r = 3$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauksenkustannukset, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 10-24 h)	
		$M_r = 4$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauksenkustannukset, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi >24 h)	

¹⁾ Lukuarvot ovat ohjeellisia

Kuvio 29 PSK 6800 standardin kertomien määritelmät (PSK 6800,7)

9 Opinnäytetyön toteutus

Opinnäytetyötä aloittaessa laadittiin toimeksiantajan kanssa suunnitelma tavoitteista ja opinnäytetyön rajaamisesta. Ongelmanasettelussa haluttiin saada selville koivuvaneritehtaan voitelukierroksella suoritettujen voitelutoimenpiteiden tarkastella voitelureitin tehokkuutta, tehdä tarkempi tarkastelu tuotannon kannalta kriittisille linjoille voitelun osalta.

Ongelmanasettelua lähdettiin ratkaisemaan seuraavilla toimenpiteillä:

Kartoitus	• Voitelutoimenpiteiden kartoitus kohteilta ja rasvarin haastattelemine
Kriittisten kohteiden valitseminen	• Kolmen tuotannolle kriittisen kohteen valitseminen tarkempaa tarkastelua varten
Teoriapohjan rakentaminen	• Teoriapohjan rakentaminen voitelusta ja voiteluaineista
Vikahistorian tutkiminen	• Kolmen tuotannolle kriittisen kohteen vikahistorian tutkiminen voiteluun liittyvistä vikaantumisista
Valmistajien ohjeisiin tutustuminen	• Valmistajilta saatujen voiteluohjeisiin tutustuminen ja niiden vertaaminen rasvarin suoritteisiin
Yhteystöhtähoihin yhteyden ottaminen	• SKF:n edustajaan yhteyden ottaminen keskusvoitelujärjestelmien osalta
Kriittisyysanalyysi	• Kriittisyysanalyysin laatiminen kriittisten linjojen voitelukohteille
Raportointi	• Raportin laatiminen toimenpiteistä ja saaduista tuloksista

Kuvio 30 Opinnäytetyön eteneminen

9.1 Lähtötilanne

Opinnäytetyötä aloittaessa rasvarin voitelutoimenpiteet olivat vain rasvarin itsensä tiedossa. Tarkkoja ohjeita linjoilla sijaitsevista voitelutoimenpiteistä ei ollut. Rasvarin eri viikonpäivinä voideltavista kohteista oli käsitys, mutta kohteiden voitelun suorittamisesta ei. Vain toimiva rasvari ja hänen edeltäjänsä siis omasivat tietotaidon voitelukohteista ja suoritettavista toimenpiteistä linjoilla.

9.2 Voitelutoimenpiteiden kartoitus

Ensimmäinen tehtävä oli kartoittaa rasvarin toimenpiteet seuraamalla rasvaria voitelukierroksella ja kirjaamalla ylös jokainen voitelutoimenpide ja käytetty voiteluaine. Voitelusta laadittiin excel- taulukko, josta ilmenee voideltavat linjat eri viikonpäiville, sekä linjoilla suoritettavat toimenpiteet ja voiteluvälit. Rasvarin seuraaminen saatiin ajoitettua uuden rasvarin koulutukseen, joten kaikki voideltavat kohteet päästiin käymään kierroksen aikana läpi. Osa linjoista voideltiin kahden viikon välein, joten uuden rasvarin perehdyttämistä seurattiin yhtä jaksoisesti kaksi viikkoa, jotta saatiin kerättyä viikko-ohjelman mukaisen voitelukierroksen toimenpiteet. Osa voideltavista linjoista voideltiin vain 2-4 kertaa vuodessa, joten seurantajakson lisäksi sovittiin erilliset tapaamiset näiden linjojen voitelun seuraamiseksi.

9.2.1 Voitelukierros Suolahden vaneritehtaalla

Voiteluhuolto on Suolahden koivuvaneritehtaalla yhden rasvari- nimikkeellä toimivan työntekijän vastuulla. Rasvari on käytännössä ainut, joka tietää tarkalleen linjojen voitelun tarpeen, voiteluvälit ja voideltavat kohteet linjoilla. Voitelukohteista ei ole kattavaa ja selkeää dokumenttia. Rasvarin ollessa lomalla tai sairaana, linjojen voitelu on suurilta osin suorittamatta. Kohteissa joissa voiteluvälit ovat jopa 2vk – 6kk, yksittäisen voitelukerran väliin jääminen johtaa herkästi kohtuuttoman pitkään voiteluväliin. Tehtaalla on myös paljon tärkeitä kohteita jotka vaativat rasvarilta toimenpiteitä jopa 2 kertaa viikossa. Taulukossa 2 on esitetty rasvarin viikko-ohjelma. Sulkuihin laitetuille 1,4,5- sorveille suoritetaan kyseisenä päivänä ainoastaan keskusvoitelujärjestelmän säiliön täyttäminen.

Taulukko 2 Voitelukierron viikko-ohjelma

Maanantai	Tiistai	Keskiviikko	Torstai	Perjantai
Hiontalinja	5 Sorvi	Pintaviilusaumuri	4 Sorvi(Parillinen viikko)	Isot PI-voitelulaitteet
Sahaus 1	(1 Sorvi)	Liimavalssit	1 Sorvi (Pariton viikko)	Pakkaus
Jatkot 60 ja 50	(4 Sorvi)	Sahaus 3	(5 Sorvi)	Työstö
	Lumppilinja	Sahaus 2	Leikkuri	Vanha hionta
	Hakkimo		Kuorimakone (Parillinen)	
			Tukkipöytä	
			Uusi katkenta	

9.2.2 Käytetyt voiteluaineet

Rasvarin käytössä on voitelukohteiden tarpeiden mukaan määritelty valikoima erilaisia voitelurasvoja- ja öljyjä. Taulukossa 3 on listattu voitelukierroksella käytetyt voiteluaineet ja niiden tuotetiedot.

Taulukko 3 Vaneritehtaalla käytetyt voiteluaineet

Kauppanimi	Tunnetaan nimellä	Käyttötarkoitus	Saennin	Perusöljy	Lisäaineet	Käyttölämpötila
Shell Gadus S2 V220 AD	Grafiitti vaseliini	yleisrasva	litium/kalsium	mineraaliöljy	molybdeenisulfidi, ep, korroosionesto, tartunta	-20C...+100C (+120C)
Shell Gadus S5 v100 2	Synteettinen vaseliini	yleisrasva	litium kompleksi	synteettinen öljy		-50C...+150C (+200C)
Shell Omala Oil HD 68-1000	Omala 68	vaihteistoöljy	-	synteettinen öljy (polyolefiini)		
Shell Alvania Grease EP(LF)0	EP0	teollisuusrasva	litium	mineraaliöljy	ep	-20C...+120C
Shell Alvania Grease EP(LF)2	EP2	teollisuusrasva	litium	mineraaliöljy	ep	-20C...+120C
LGHB 2	-	teollisuusrasva	kalsiumsulfonaatti	mineraaliöljy	ep	-20C...+150C (+200C)
Rimula R4 L 15W-40	Rimula	moottoriöljy	-	synteettinen öljy (polyolefiini)		
Shell Omala S2 G 220	Omala 220	vaihteistoöljy	-	synteettinen öljy (polyolefiini)	ep	
Fluid HF 46	HF 46	hydrauliöljy	-	synteettinen öljy		

9.3 Linjojen tarkempi kartoitus

Kaikkien linjojen yksityiskohtainen läpikäyminen olisi ollut tämän opinnäytteen puitteissa aivan liian laaja tehtävänä, joten linjoista päätettiin valita kolme tuotannolle kriittistä linjaa tarkempaan tarkasteluun. Näille linjoille laadittiin step-by-step mallinen voiteluohjeistus ja käytiin tarkemmin läpi epäkohtia voitelussa sekä niiden korjausmahdollisuuksia.

Tarkemman tarkastelun kohteeksi haluttiin valita linjat joille löytyy vertailukohta toisesta samanlaisesta linjasta tehtailla ja jotka ovat vanerin valmistusprosessin kannalta kriittisiä. Tarkastelun kohteeksi haluttiin linjat vanerin valmistusprosessin alkupäästä, keskivaiheilta ja viimeistelystä. Linjojen valinta suoritettiin pyytämällä mielipiteet sen hetkiseltä rasvarilta, uudeksi rasvariksi koulutettavalta työntekijältä ja kunnossapitoinsinööreiltä. Linjoiksi valikoitui yksimielisesti viilusorvi, toinen jatkamislinja ja hiontalinja. Näiden kolmen linjan lisäksi yhdeksi kohteeksi päätettiin lisätä hakkuri, joka huolehtii viilusorvin sorvausjätteen prosessoinnista. Linjojen voideltaville laakereille laadittiin myös kriittisyysanalyysi kriittisten voitelukohteiden kartoittamiseksi.

9.3.1 4- sorvi

4-sorvi (ks. kuvio 31) valittiin yhdeksi kohteista, koska merkittävä osa vanerilevyjen valmistukseen käytettävästä viilusta sorvataan sillä ja sille voidaan vertailukohteena käyttää toista hyvin samanlaista viilusorvia.



Kuvio 31 4-sorvi

Sorvin toimintaperiaate:

Annostelija annostelee puut keskittäjän nostohaarukoiden päälle yksi kerrallaan. Nostohaarukat nostavat puun keskittäjän karoille, jotka tekevät hienosäädön puun asentoon parhaan sorvaustuloksen saavuttamiseksi. Keskittäjältä puu siirretään puun päihin tarttuvilla siirtovarsilla itse sorvin karoille. Sorvin karat pyörittävät puuta pituusakselinsa ympäri teräpenkin samalla liikkeessä puuta kohti siten, että teräpenkin terä sorvaa puusta tasaisen paksuista viilua. Puun pyöriessä terää vasten, puun päälle laskeutunut tukilaite painaa samalla puuta, jotta puun paine terää vasten pysyy tasaisena. Teräpenkin takana olevat kierrekarat saavat aikaan teräpenkin liikkeen. Kierrekaroille välitetään veto tasausakselin ja sen kytkimien välityksellä.

Sorvin voitelu:

4-sorvin voitelusta huolehtii osittain keskusvoitelujärjestelmä, kiertoöljyvoitelujärjestelmä ja lopun voitelun hoitaa rasvari manuaalisesti (Ks. taulukko 4.).

Kiertoöljyvoitelu pitää huolen karalaakereiden ja niille voiman siirtävien ketjujen voitelusta. Myös moottorilta toiselle karalle voiman välittävän välityksakselin päätylaakerit ovat kiertoöljyvoitelun piirissä. Välityksakselin loput laakerit voidellaan manuaalisesti sorvin rungossa olevien nippojen kautta.

Keskusvoitelun voideltavina ovat keskittäjä ja nostohaarukat, mutta nostohaarukoiden nivellykset joudutaan voitelemaan manuaalisesti. Manuaalisesti voideltavat kohteet voidellaan 2 viikon välein 4-sorvin huoltopäivänä.

Taulukko 4 4- sorvin voiteluhuolto

Voiteluväli	Voitelukohte	Voiteluaine
2vk	Siirtovarsien sylinterien nivelet	EP2
2vk	Nostovarsien sylinterien nivelet	EP2
2vk	Annostelijan nivelet	EP2
2vk	Tukilaitteen sylinterien nivelet	EP2
2vk	Teräpenkin etupuolella 4 nippaa	EP2
2vk	Välitys akselin keskilaakerin nippa	EP2
2vk	Teräpenkin kallistuksen nivelet	EP2
2vk	Siirtovarsien laakerit	EP2
2vk	Paineilman huoltoyksiköt	HF 46
2vk	Tasaus akselin laakerit	Grafiittivaseliini
2vk	Tasaus akselin kytkimet	Grafiittivaseliini
2vk	Kierrekara	Grafiittivaseliini
2vk	Tukilaitteen rullat	Synteettinen vaseliini
2vk	Kiertovoitelu (tarkistus)	Omala 68

9.3.2 Hakkuri

Hakkuri (ks. kuvio 32), joka hakettaa 4- sorvilta tulevat purilaat ja viilujätteet, tuottaa sellun valmistukseen soveltuvaa koivuhaketta. Hakkurin vikaantumisen ei pysäytä 4- sorvin tuotantoa pitkäksi aikaa, mutta hakkurin kriittisyyttä lisää sen vikaantumisesta johtuvat tuotannonmenetykset. Hakkurin vikaantuessa purilaat 4-sorvilta on ajettava ulos sellaisinaan ja ne on käytettävä selluhakkeeksi myynnin sijaan polttoaineena voimalaitoksen kattilassa. Purilaiden polttamisesta ei koivutehtaalle kerry varsinaisesti mitään tuottoa, sillä purilaista saatu tuotto kuluu purilaiden siirtokustannuksiin.



Kuvio 32 Hakkuri

Hakkurin laakerit ovat keskusvoitelun piirissä, lukuun ottamatta roottorin laakereita. Hakkurin roottorin laakerit voidellaan tarpeen mukaan. Tarpeen mukaan tässä tilanteessa tarkoittaa tilannetta, jolloin laakeri ei kädellä koskettaessa tunnu kuumalta. Laakeri kuumenee kun rasvaa on liikaa tai kun sitä on liian vähän. Roottorin laakeria voideltaessa pyritään siis tasapainottelemaan näiden kahden tilan välillä. Hakkurilla on käytävä viikoittain tarkastamassa tilanne.

9.3.3 60"-jatkamislinja

60"-jatkamislinja valittiin yhdeksi kohteista, sillä sen läpi kulkee n. 30 % koivu-vanerin valmistukseen käytetystä viilusta. 60"-jatkamislinjan vertailukohteena toimii 50"-jatkamislinja. Jatkamislinja on merkittävässä osassa tuotannossa, sillä merkittävä osa viiluista kulkee sen läpi. Jatkamislinjalla viiluja kiinnitetään toisiinsa halutun kokoisten viiluarkkien muodostamiseksi.

Jatkamislinjan toimintaperiaate:



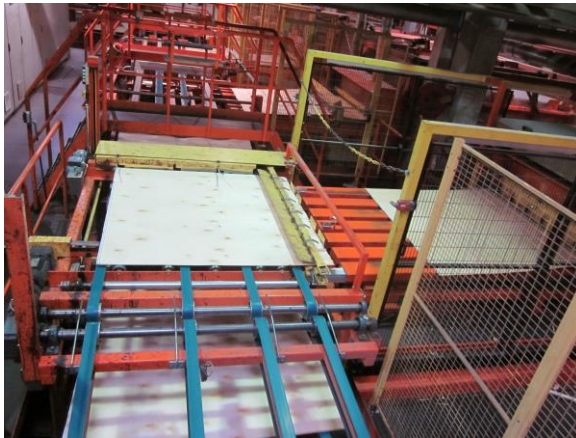
Kuvio 33 Jatkamislinjan syöttölaite

Syöttölaite syöttää viilut jatkamislinjan kuljettimille syiden suuntaisesti (ks. kuvio 33).



Kuvio 34 Jatkamislinjan saha ja liimoitin

Kuljettimia pitkin viilut kulkevat sahan läpi, joka työstää viilun reunan tulevaa liitosta varten. Viilun työstettyyn reunaan levitetään liima. (Ks. kuvio 34.)



Kuvio 35 Jatkamislinjan puristin ja leikkuri

Liitettäessä viiluja puristimen kelkka kohdistaa viilun reunan toisen viilun työstetyn reunan kanssa yhteen, jonka jälkeen liimaliitos puristetaan kuumapuristimella pitävän liitoksen aikaan saamiseksi. Jatkettu viilu leikataan vielä haluttuun mittaan ennen sen pudottamista nippuun muiden jatkettujen viilujen kanssa. (Ks. kuvio 35.)

Jatkamislinjalla on käytössä automaattivoitelu sahan ketjuille, jonka voiteluainesäiliö täytetään viikoittain, mutta muut linjan kohteista voidellaan manuaalisesti taulukon 5 mukaisesti.

Taulukko 5 60"-jatkamislinjan voiteluhuolto

Voiteluväli	Voitelukohte	Voiteluaine
1vk	Sahan ketjut	Omala 220
2vk	Hissit	EP2
1vk	Paineilman sumuvoitelu	Fluid HF 46
2vk	Puristimen kelkan laakerit	EP2
2vk	Puristimen leikkurien laakerit	EP2
6-12kk	Linjaston akselit	EP2
1kk	Leikkurin sylinterien alaja yläpäät	EP2

Kuten taulukosta 6 näkyy, jatkamislinjalla ei ole kuin kaksi viikoittain esiintyvää voitelutoimenpidettä. Paineilman huoltoyksiköiden täyttäminen tosin vie huomattavasti aikaa. Linjalla sijaitsee yhdeksän erillistä huoltoyksikköä, jotka on täytettävä tai vähintäänkin tarkastettava kerran viikossa. Linja saattaa vaikuttaa taulukon perusteella helposti ja nopeasti voideltavalta kohteelta, mutta todellisuudessa rasvarilta menee sen voiteluun huomattava aika.

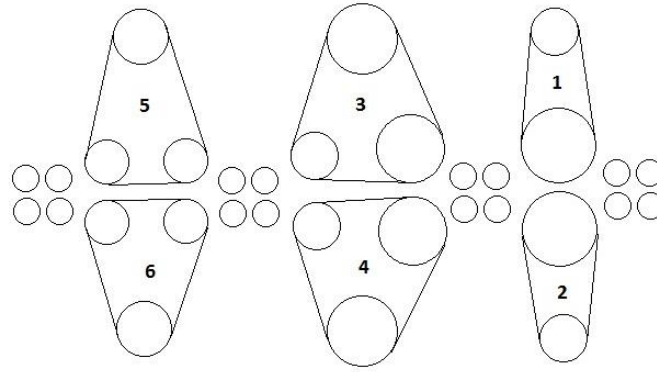
9.3.4 Hiontalinja

Hiontalinja on tehtaan tuotannon kannalta hyvin kriittinen linja, sillä sen läpi kulkevat käytännössä kaikki koivuvanerilevyt. Kyseisellä linjalla on myös ollut säännöllisesti ongelmia laakereiden kanssa, joten sen voiteluhuollon tarkempi tarkastelu nousee myös siitä johtuen oleelliseksi. Vertailukohteena koivutehtaan hiontalinjalle toimii toinen saman valmistajan valmistama hiontalinja havuvaneritehtaalla.

Hiontalinjan tehtävä on hioa vanerilevyihin tilauksen vaatima pinnanlaatu. Hiontalinja sijaitsee koivuvaneriprosessin viimeistelyvaiheessa ja on levyille yksi viimeisistä vaiheista ennen pakkausta. Linjan kautta kulkevat käytännössä kaikki vanerilevyt, joten linjan ollessa pysähdyksissä pitkään voi sen kohdalle prosessissa aiheutua ns. pullonkaulaefekti. Tällöin hiomalinja määrittää tuotannon nopeuden, sillä asiakkaalle ei voida toimittaa levyjä ennen kuin ne on hiottu asiakkaan vaatimuksien mukaisiksi. Hiomalinjan toimiessa oikein, se pysyy hyvin tuotannon vauhdissa, eikä pullonkaulaefektiä pääse syntymään.

Hiontalinjan toimintaperiaate:

Vanerilevyt syötetään syöttörullastoa pitkin hiomapäiden väliin. Hiomapäitä on yhteensä kuusi, joista kolme hioo levyn yläpuolta ja kolme alapuolta. Kuviossa 36 on esitelty hiomapäiden sijainti linjalla numeroilla 1-6.



Kuvio 36 Hiontalinjan hiomapäät

Ongelmatilanteita linjalla aiheuttaa pääasiassa laakereiden lämpöarvojen liiallinen nousu. Hiontalinjan hiomatelojen laakereissa ilmenee ajoittain kuumenemista, joka vaatii linjan pysäyttämisen. Laakerin liiallinen lämpeneminen kuorittaa laakeria ja vaikuttaa voiteluaineen ominaisuuksiin. Tyypillinen laakerin jäähdyttämisaika on 15min – 1 h.

Hiontalinjalla on käytössä kaksilinjainen keskusvoitelujärjestelmä. Keskusvoitelujärjestelmä pitää huolta hiomapäiden telojen laakeroinneista. Taulukossa 6 on listattu hiontalinjalle suoritettavat voitelutoimenpiteet.

Taulukko 6 Hiontalinjan voiteluhuolto

Voiteluväli	Voitelukohde	Voiteluaine
1vk	Paksuussyinterit	Rimula
3-5vk	Syöttötelat	EP2
3-5vk	Nivelakselit	EP2
1vk	Paineilman sumuvoitelu	Fluid HF46
6-12kk	Koko linja	
Keskusvoitelun piirissä	hiomatelojen laakerit	SKF LGHB 2/50

9.4 Kriittisyysanalyysin toteutus

4- Sorville, 60"- jatkamislinjalle ja hiontalinjalle suoritettiin voideltavien laakereiden osalta kriittisyysanalyysi. Kriittisyysanalyysi tehtiin PSK 6800 standardin pohjalta. Analyysissä keskityttiin laakereiden vikaantumisen vaikutukseen tuotannolle ja korjauksesta aiheutuviin kustannuksiin. Tarkasteltavana olevien voitelukohteiden vikaantumisilla ei ole turvallisuus- tai ympäristövaikutuksia, joten niiden sisällyttäminen analyysiin koettiin tarpeettomaksi.

Kriittisyysanalyysi suoritettiin tutkimalla ensin vikahistoriasta kohteiden vikaantumisvälejä ja korjausaikoja. Tarkastelussa otettiin huomioon vain vikaantumiset, joissa voitelulla oli oleellinen osuus vian syntymisessä. Vikahistorian hyödyntämisen jälkeen analyysiä täydennettiin käyttäen hyväksi kunnossapitoinnöörien, kunnossapidon työntekijöiden ja operaattoreiden tietotaitoa.

9.4.1 4-sorvin kriittisyysanalyysi

Kriittisyysanalyysissä esille nousivat erityisesti siirtovarsien laakerit, jotka saivat tarkastelluista voitelukohteista kriittisimmän arvon. Taulukossa 7 on esitelty kolme analyysissä kriittiseksi osoittautunutta kohdetta.

Taulukko 7 4-sorvin kriittiset kohteet

Voitelukohte	Kriittisyysindeksi
Siirtovarsien laakerit	640
Annostelijan laakerointi	440
Voimansiirtoakselin keskilaakeri	440

9.4.2 60"-jatkamislinjan kriittisyysanalyysi

Jatkamislinjan kriittisyysanalyysissä ei kriittisyysindeksi millekään kohteelle noussut merkittäväksi, mutta kolme voitelukohdetta erottuivat selvästi muista. Taulukossa 8 on esitelty kolme kriittisimmäksi osoittautunutta kohdetta.

Taulukko 8 Jatkamislinjan kriittiset kohteet

Voitelukohte	Kriittisyysindeksi
Puristimen leikkurien laakerit	250
Liukupinnat	160
Hissien keskinivelet	120

9.4.3 Hiontalinjan kriittisyysanalyysi

Hiontalinjan kriittisyysanalyysissä kriittiseksi nousivat keskusvoitelun piirissä olevat laakerit. Muiden voitelukohteiden kriittisyysindeksit eivät nousseet siinä määrin, että niiden voitelusta

9.5 Kehityskohdat ja havainnot

Tässä osiossa käydään läpi ilmi tulleita kehityskohtia voiteluhuollon osalta tarkastelun kohteena olleille linjoille.

9.5.1 4-sorvin voitelu

Sorvin keskusvoitelu- ja kiertoöljyvoitelujärjestelmät pitävät hyvin huolen sorvin keskittäjän ja karojen laakeroinneista. Automaattisilla voitelujärjestelmillä voidellut kohteet eivät ole vikaantuneet voitelullisista syistä, joten niiden voitelun voidaan olettaa olevan kunnossa. Varsinaisiksi kehityskohdiksi sorvin voiteluhuollossa nousevat rasvarille vaikeissa paikoissa sijaitsevat voitelunipat. Putkituksella nippoja voitaisiin tuoda helpommin rasvarin ulottuville, jolloin säästettäisiin aikaa ja pystyttäisiin minimoimaan rasvarin loukkaantumisriskit. Mm. sorvipenkin takaosassa on lukuisia voitelukohteita hankalasti lähestyttävissä paikoissa.

Osa voitelunipoista on myös jäänyt asennuksessa rasvarin täysin ulottumattomiin. Kuviossa 37 esitellyn voitelunippaan ei voida laittaa rasvaa, koska rasvapuristimen pää ei mahdu kuvassa olevaan väliin. Näissä tilanteissa on kunnossapidon työntekijöitä muistutettava asennusvaiheessa voitelunipan huomioon ottamisesta.



Kuvio 37 Voitelunipan huono sijainti

9.5.2 Hakkuri

Hakkurin voiteluhuollossa kehityskohdaksi nousee ainoastaan roottorin laakereiden voitelu, sillä muut kohteet ovat keskusvoitelun piirissä, eikä niiden voitelussa ole ilmennyt ongelmia. Roottorin laakereiden voitelua onkin paras lähestyä kunnonvalvonnan näkökulmasta, sillä sen voitelutarpeen määrittäminen perustuu tällä hetkellä rasvarin subjektiivisiin havaintoihin. Roottorin laakerin lämpötilaa voisi aivan hyvin tarkkailla lämpötila-anturilla, joka toimisi indikaattorina laakerin voiteluntarpeelle ja minimoisi inhimillisen virheen mahdollisuutta voitelun tarpeen määrittämisessä.

9.5.3 60"-jatkamislinjan voitelu

Jatkamislinja on hyvin vanha ja se tullaan mahdollisesti lähitulevaisuudessa uusimaan täysin. Tästä syystä linjaan ei kannata tehdä keskusvoitelujärjestelmien kaltaisia suuria investointeja enää tässä vaiheessa. Linjasta kuitenkin löytyy kehityskohtia voitelun sujuvuuden osalta, jotka eivät vaadi suuria investointeja.

Selkeäksi ongelmaksi linjalla osoittautui voitelun tarpeettoman hankala suorittaminen. Paineilman huoltoyksiköiden ja hissien keskinivelten voitelu on suoritettava turvaporttien sisäpuolella, joka tarkoittaa linjan pysäyttämistä siltä osin tai hissien voitelun kohdalla välillä pitkääkin odottamista. Voitelun mahdollistaminen tuomalla voitelupisteet rasvarin ulottuville, turvaporttien ulkopuolelle,

nopeuttaisi huomattavasti voitelun suorittamista linjalla. Yhden puristimen kelkan voitelun suorittaminen oli mahdotonta, sillä voitelupisteet oli suljettu kohteen sisälle.

9.5.4 Hiontalinjan voitelu

Hiontahihnoja kannattelevien telojen laakeroinnin kuumeneminen on noussut selvästi aika ajoin ongelmaksi linjalla. Opinnäytetyössä haluttiin ottaa kantaa onko hiontalinjalla käytettävä keskusvoitelujärjestelmä oikeasti juuri se oikea järjestelmä linjalle ja onko rasva välttämättä sopivin vaihtoehto voiteluaineena.

Laakereiden kuumeneminen johtuu tyypillisesti seuraavista syistä:

- ylivoitelu tai puutteellinen voitelu
- laakerivälyksen häviäminen
- aksiaalinen ylikuorma johtuen virheellisestä asennuksesta

Ennen keskusvoitelujärjestelmän asentamista laakereiden kuumeneminen oli vieläkin yleisempi ongelma. Tällöin laakerit voideltiin käsikäyttöisillä pumpuilla ja voitelu oli riippuvainen operaattorin muistista. Keskusvoitelujärjestelmän asennuksen jälkeen laakereiden kuumeneminen on vähentynyt, mutta ajan myötä oireilu on palannut. Rasvarin havaintojen mukaan laakereissa on ollut paljon vanhaa rasvaa niitä avatessa. Havaintojen puitteissa näyttää siltä, että laakereita selvästi ylivoidellaan tai vanhan rasvan poistuminen laakerista on jostain syystä estynyt. Kuumenemisen varsinainen syy näyttää siis pääasiassa olevan yhteyksissä liian suuriin voiteluainemääriin laakereissa, joka aiheuttaa laakerin kuumenemista vatkautuessaan.

Voitelujärjestelmien osalta otettiin yhteyttä SKF:ään, joka on toimittanut käytössä olevan Multilube-keskusvoitelujärjestelmän ja valmistanut voitelukohteina olevat laakerit. SKF:n edustajan kanssa järjestelmää tutkiessa tultiin siihen tulokseen, että itse käytössä olevaa rasvavoitelua ja voitelujärjestelmää ei kannata ensisijaisesti hylätä, vaan ongelmaa on tutkittava enemmän varsinaisen syyn löytämiseksi. SKF:n edustajan ja kunnossapitoinsinöörien kanssa päätettiin, että laakereiden kuumenemista on järjestelmällisesti seurattava ja kirjattava ylös oireilevat laakerit ongelman rajaamiseksi.

Vikahistoriaa tutkiessa kävi ilmi, että kuumenevat laakerit sijaitsevat pääasiassa linjan viimeisessä hionnassa, jossa lopullinen pinnanlaatu hiotaan. Hionnan viimeisessä vaiheessa puupöly on hienompaa kuin karkeammin työstävissä ensimmäisissä hiontavaiheissa ja voi täten tunkeutua helpommin mm. laakerin sisälle. Hiontaprosessissa syntyvää pölyä poistetaan hiontayksiköiden päälle johdetuilla imureilla. Vikahistoriasta löytyneet laakereiden oireilut sijoittuivat hienoimman hiontajäljen tekevään hiomapäähän, joka sijaitsee nimenomaan imuputken ja itse hiottavan levyn välillä. On hyvin mahdollista, että hiontaprosessissa syntyvä pöly joko pääsee kulkeutumaan laakereiden sisälle tai pääsee tukkimaan rasvan poistumkanavat laakereiden ulkopuolelta. Tämä selittäisi laakereihin kertyvän ylimääräisen rasvan.

9.5.5 Rasvarin reitin optimointi

Osana opinnäytetyötä oli rasvarin voitelureitin optimointi. Rasvarin toimenpiteet linjoilla on pääasiassa suoritettava koneen ollessa pysähdyksissä, eli käytännössä silloin, kun koneelle suoritetaan muuta huoltoa. Voitelureitti on tällä hetkellä hyvin riippuvainen linjojen huoltopäivistä ja tulee mitä luultavimmin jatkossakin olemaan. Huoltopäivien elämisestä johtuen ei rasvarin toimia voida täysin sitoa kiinteästi kalenteriin. Rasvarin vapaa itsenäinen työskentely on muovannut rasvarin reitin hyvin tehokkaaksi ja järkeväksi. Rasvarin voitelureitin puuttumista ei nähty aiheelliseksi.

9.5.6 Yleisiä havaintoja voitelukohteilta

Turvallisuus

Osalla linjoista rasvarin työskentelyssä oli huomattavia riskitekijöitä. Tapaturma on hyvin ei-toivottu tapahtuma kenen tahansa työntekijän kohdalla, mutta sen sattuessa rasvarin kohdalle, saattavat seuraukset olla hyvinkin merkittävät. Rasvari on tällä hetkellä periaatteessa korvaamaton. Uuden rasvarin kouluttaminen on käytännössä mahdotonta ilman edeltävän rasvarin ohjeistusta. Rasvarin joutuessa tapaturman vuoksi sairauslomalle, on osalla tehtaan linjoista suuri riski jäädä täysin voitelematta. Rasvarille riskialttiita kohteita ovat mm. tukkipöytä, sorvit sekä hiontalinja.

Riskialttiista kohteista tukkipöytä on ehdottomasti vaarallisin. Tukkipöydällä rasvari joutuu kulkemaan jatkuvan putoamisvaarassa ja ilman minkäänlaisia kaiteita. Turvaköyden käyttäminen ei varsinaisesti ole mahdollista, sillä sopivaa kiinnityspistettä ei kohteelta löydy. Pudotus tukkipöydältä on n. 4m joten vakavien vammojen tai jopa kuoleman riskit ovat selviä.

Sorveilla riskit eivät ole aivan yhtä vakavat kuin tukkipöydällä, mutta kahden sorvin viikoittainen voitelu toki lisää riskiä. Rasvari joutuu voitelukierron aikana kiipeämään sorvin päällä ilman minkäänlaisia varmistuksia.

Hiontalinjalla riskejä eivät niinkään tuo linjalla suoritettavat voitelutoimenpiteet, mutta laakereiden kuumenemisesta johtuva laakereiden avaus. Rasvari joutuu kiipeämään hiomalinjanpäälle siihen tarkoittamattomia reittejä pitkin. Hiontalinjalla putoamisriski on ilmeinen vaihdettaessa rasvaa käyttöpuolen laakereihin.

Käyttäjäkunnossapito

Linjoilla ei ollut lainkaan käyttäjäkunnossapitoa voitelun osalta. Kaikki voiteluun liittyvät toimenpiteet ovat rasvarin vastuulla, vaikka kohteilta löytyy useita mahdollisuuksia lisätä käyttäjäkunnossapitoa rasvarin työmäärän vähentämiseksi. Jatkossa kannattaakin harkita joidenkin voiteluhuollollisten toimenpiteiden siirtämistä operaattoreilla mahdollisuuksien mukaan. Operaattoreiden käyttäminen voitelussa vaatii kuitenkin voitelun helpottamista mm. putkittamalla voitelupisteitä.

10 Tulokset

Tässä osiossa esitellään kootusti opinnäytetyön tuloksia.

10.1.1 Voitelureitin kartoitus ja optimointi

Voitelureitti saatiin kartoitettua kattavasti toimenpiteiltään. Voiteluhuollollisista toimenpiteistä kullakin linjalla laadittiin taulukko, josta selviää voideltava kohde, voiteluväli ja voiteluaine. Itse tehtävätaulukko ei tule yksinään riittämään ohjeistuksena uudelle rasvarille ilman perehdytystä, mutta auttaa toimimaan tarkistus- ja muistilistana ja siten helpottaa voitelun suorittamista.

Rasvarin käyttämä voitelureitti tehtaalla oli hyvin tehokkaaksi hiottu ja sen kehittämiseen ei ollut tarvetta. Saman päivän aikana voideltavat linjat sijaitsivat suhteellisen lähellä toisiaan ja ajoittaisia tarkistuskäyntejä keskusvoitelulaitteilla oli helppo sovittaa linjojen välillä siirtyessä.

10.2 Tuotannolle kriittisten linjojen voitelun optimointi

Tuotannolle kriittisille linjoille 4- sorville, 60"- jatkamislinjalle, hiontalinjalle ja lisäksi hakkurille suoritetuista kartoituksista ja kehityskohteista löytyi jokaiselle linjalle jotain. Voiteluhuollolliset ongelmat tosin olivat yleisimpiä hiontalinjalla. Muilla linjoilla kehityskohdat keskittyivät linjojen kunnossapidettävyyden helpottamiseen voitelun osalta.

10.2.1 4- sorville suositellut toimenpiteet

4- sorvin voitelussa kriittisimmistä laitteista pitivät huolen keskus- ja kiertovoitelujärjestelmät. Näiden molempien voitelun alaisuudessa olevat kohteet eivät oireilleet voiteluteknisistä ongelmista johtuen, joten järjestelmien pääteltiin hoitavan tehtävänsä moitteettomasti. Varsinaisiksi kehityskohteiksi nousivat rasvarin manuaalisesti voideltavat kohteet linjalla. Rasvarin hankalat työasennot, sekä osittain sokkona etsittävät voitelunipat vaikeuttivat ja hidastivat rasvarin työtä. Myös epäpuhtauksien päätyminen riski voitelunipan kautta laakereihin kasvaa epäilemättä silloin, kun voitelupiste on etsittävä käsin tunnustelemalla. Ratkaisuna tähän toimisi voitelupisteiden putkittaminen ja putkien päiden johtaminen helposti käsillä olevaan paikkaan. Pääosa hankalasti voideltavista

pisteitä sijaitsee sorvin teräpenkin takana. Sorvin teräpenkki liikkuu sorvin käydessä jatkuvasti edes takaisin, joten näihin kohteisiin olisi asennettava joustavasta materiaalista olevat letkut voiteluaineen johtamiseksi.

Kriittisyysanalyysissä esille tulleiden kohteiden voitelussa ei ollut nähtävissä epäkohtia. Kohteet ovat hyvin kriittisiä linjan toiminnalle, mutta niiden vikaantumiseen johtavat lähinnä tuotannossa niihin kohdistuvat suuret voimat jotka rasittavat kohteita. Voitelun pitämällä nykyisellä tasolla voidaan taata kohteille mahdollisimman pitkä elinikä, mutta voitelun määrään ei ole tarvetta puuttua.

Toimenpiteet:

- Putkitukset teräpenkin takana oleville voitelunipoille
- Putkitukset siirtovarsien päälaakereille

10.2.2 Hakkurille suositellut toimenpiteet

Hakkurin vikaantumiset johtuivat pääasiassa sinne sopimattomien materiaalien joutumisesta, eikä voitelullisia ongelmia kohteella varsinaisesti ilmennyt. Kriittisin ja ainut manuaalisesti voideltava kohde hakkurilla ovat roottorin laakerointi. Roottorin laakerin voitelutarpeen määrittäminen lämpötila-anturilla takaisi nopean reagoimisen laakerin voitelun tarpeeseen.

Toimenpiteet:

- Lämpötila-antureiden asennus roottorin laakereille.

10.2.3 60"- jatkamislinjalle suositellut toimenpiteet

60"- jatkamislinjalla oli hyvin vähän voitelusta johtuvia vikaantumisia, joten sielläkin kehityskohdat keskittyivät rasvarin työn helpottamiseen ja nopeuttamiseen kohteella. Kohteella runsaasti olevien paineilman huoltoyksiköiden vähentämisellä ja turvaporttien ulkopuolelle sijoittamisella rasvarin kierrosta jatkamislinjalla voitaisiin selvästi helpottaa ja nopeuttaa. Jatkamislinjan pinkkareiden nostolavojen, eli hissien keskinivelen voitelu, vaatii nostolavan yläasennossa olemista. Hissien tulisi siis olla lähes tyhjät. Lisäksi voitelun suorittaminen edellyttää turvaporttien sisäpuolelle ja itse hissien alle menemistä. Hissien

keskinivelten putkittamisella ja sitä kautta voitelunipan siirtämisellä turvaporttien ulkopuolelle, mahdollistaisi keskinivelen voitelun linjan pyörimisestä riippumatta.

Kriittisyysanalyysi nosti linjalla esille puristimen laakerit, kelkkojen liukulaakerit ja pinkkareiden hissit. puristimen laakereiden voitelu on niiden vaatimalla tasolla, mutta hissien keskinivelen ja kelkkojen liukulaakereiden voitelu on pysyttävä takaamaan.

Toimenpiteet:

- Putkitukset hissien keskiniveliä voitelunipoille
- Yksi iso paineilman huoltoyksikkö korvaamaan samassa paineilman linjassa ja toistensa läheisyydessä olevat paineilman huoltoyksiköt.
- Turvaporttien sisäpuolella olevien paineilman huoltoyksiköiden uudelleen sijoittaminen.
- Putkitusta voitelun ulottumattomiin jäävälle kelkalle harkittava

10.2.4 Hiontalinjalle suositellut toimenpiteet

Hiontalinjan manuaalisesti suoritettu voitelu vaikutti toimivan moitteettomasti ja voiteluvälit olivat hyvin lähellä valmistajan ohjeistusta. Manuaalisesti voideltavien laakereiden pyörimisnopeudet ovat niin alhaiset, että niiden ylivoitelun riski on hyvin pieni verrattuna hiomatelojen laakerointeihin. Hiomanauhoja kannattelevien telojen laakereissa ilmenevien kuumenemisongelmien selvittämiseksi on laakereiden oireilua seurattava. Telojen laakerit olivat myös ainoita kriittisyysanalyysissä esille nousseita kohteita.

Toimenpiteet:

- Seurantakaavakkeen toimittaminen operaattorin koppiin
- Voiteluainenäytteiden analysoiminen oireilevasta ja moitteettomasti toimivasta laakerista
- Ongelman rajaaminen tulosten perusteella ja jatkotoimenpiteet

Seurantakaavakkeen tuloksista voidaan tutkia, että rajautuuko ongelma tiettyyn keskusvoitelun voitelemaan osaan laakereista tai tiettyyn hiontapäähän.

Voiteluainanäytteiden analysoimisella saadaan selville, pääseekö laakerin sisälle epäpuhtauksia, jotka voivat haitata vanhan rasvan poistumista laakerista. Jatkotoimenpiteiksi tulevat mahdollisesti laakereiden eristyksen parantaminen, voiteluaineen poistoaukon eristäminen pölyltä tai voiteluainemäärien vähentäminen keskusvoitelujärjestelmän ohjausyksiköstä, mutta tämä selviää vasta seurannan edetessä.

10.3 Rasvarin tarpeellisuuden arviointi

Tällä hetkellä voiteluhuolto vaatii sille täysipäiväisesti omistautuvan työntekijän. Vaikka suuri osa rasvarin voiteluhuollosta voitaisiin tulevaisuudessa korvata voitelun automatisoinnilla tai siirtämällä voitelua käyttäjäkunnossapidon piiriin, on silti useita voideltavia kohteita mille ei löydy suoranaista operaattoria.

10.4 Yhteenveto tuloksista

Tässä osiossa opinnäytetyön tulokset on vielä kasattu tiivistetysti. Taulukkoon 9 on kerätty tiivistetysti havainnot ja kehitys ehdotukset kriittisille linjoille.

Taulukko 9 Yhteenveto havainnoista ja kehitysehdotuksista

Kohde	Havainnot	Kehitysehdotukset
4-Sorvi	<ul style="list-style-type: none"> Sorvin voiteluhuolto oli ajantasalla ja hyvin toimiva. Rasvarin työskentely linjalla oli vaikeaa. Epäpuhtauksien pääsyä laakeriin sitä voideltaessa on hankala välttää. 	Voitelunippojen putkittaminen teräpenkin takaa ja siirtovarsien ylänivelestä rasvarin ulottuville sorvin viereen.
Hakkuri	<ul style="list-style-type: none"> Hakkurin voitelu on ajantasalla roottorin laakereita lukuunottamatta 	Lämpötila-anturi on suositeltavaa asentaa roottorin laakereille, jotta niiden voitelun tarvetta voidaan valvoa luotettavasti.
60"-Jatkamislinja	<ul style="list-style-type: none"> Paineilman huoltoyksiköitä on tarpeettoman paljon ja ne on sijoitettu huollon kannalta huonosti. Hissien keskiniveleä voideltaessa on käytettävä huomattavasti aikaa odotteluun. 	Paineilman huoltoyksiköiksi kannattaa asentaa mahdollisuuksien mukaan yksi iso huoltoyksikkö kattamaan laajempi alue. Putkittamalla hissien keskinivelten nipat turva-aidan ulkopuolelle mahdollistetaan voitelun suorittaminen koneen käynnin aikana.
Hiontalinja	<ul style="list-style-type: none"> Hiontatelojen laakeroinnin voitelu ei toimi toivotulla tavalla. Epäpuhtauksien pääsyä laakereihin ei ole huomioitu tarpeeksi. 	Laakereiden lämpötilojen seuraamiseksi on vietävä seurantalomake operaattorille. Ongelmaan on palattava, kun kuumenevista laakereista on kerätty tarpeeksi historiatietoa.

Merkittäviä tuotoksia voiteluhuollon jatkokehittämisen kannalta oli voitelutoimenpiteiden kartoittaminen koivuvaneritehtaalla ja kuvallinen step-by-step tyylinen voiteluohjeistus kriittisille linjoille. Kuvallinen voiteluohjeistuksen pitäisi käytännössä mahdollistaa linjan voitelutoimenpiteiden suorittamisen keneltä tahansa työntekijältä tarpeen vaatiessa.

11 Pohdinta

11.1 Opinnäytetyön toteutuminen

Opinnäytetyön päämäärä oli optimoida Suolahden koivuvaneritehtaan voiteluhuoltoa. Tehtävää lähestyttiin kartoittamalla voitelun nykytilanne ja etsimällä siitä epäkohtia ja kehityskohteita. Odotin löytäväni selkeitä kehitystä vaativia osa-alueita voitelusta, mutta rasvarin voitelureitti ja kokemukseen perustuva ammattitaito yllättivät positiivisesti. Epäkohdiksi voitelussa nousikin suurten osa-alueiden sijaan pienet, mutta tehokkaan voitelun kannalta oleelliset seikat. Suurimmat ongelmat voitelun käytännöntoteutuksessa olivat epäpuhtaudet ja hankalat rakenteelliset ratkaisut voitelukohteissa. Yksi merkittävä ongelma, joka tosin oli tiedossa jo tehtävänannossa, oli kirjallisen dokumentin puuttuminen voitelutoimenpiteiden osalta. Kaikki varsinainen tietotaito rasvarin suoritteista tehtaalla oli vain itse rasvarilla ja hänen edeltäjällään. Tämä teki rasvarista hyvin kriittisen ja käytännössä korvaamattoman työntekijänä.

Voitelutoimenpiteiden ylös kirjaaminen uuden rasvarin perehdytyksen aikana antoi hyvän pohjan opinnäytetyölle, sekä muistilistan uudelle rasvarille käytettäväksi perehdytyksen jälkeen. Kartoituksessa syntyi linjoille omat listat joista ilmenee jokaiselle rasvarin voitelukohteista voiteluväli, toimenpide ja voiteluaine. Listoja voidaan käyttää jatkossa uuden rasvarin perehdyttämiseen ja sen pohjalta on helppo syöttää harvemmin voideltavat kohteet kunnossapidon SAP-järjestelmään, jotta niiden voitelu ei unohdu. Kartoituksen yhteydessä suoritettu vanhan ja uuden rasvarin haastattelemisen voiteluhuollon käytännön ongelmista nosti esille paljon kehitysideoita voitelullisiin epäkohtiin ja rasvarin työskentelyyn linjoilla. Monet epäkohdista olivat rakenteellisia ja voitaisiin välttää ottamalla rasvari aina mukaan antamaan mielipiteensä uusien laitteiden asennusvaiheessa niiden voideltavuuteen liittyvistä tekijöistä. Tällöin pysyttäisiin välttämään rasvarin työn tarpeeton vaikeuttaminen ja asennusvirheistä johtuvat esteet voitelun suorittamiselle.

Opinnäytetyössä saatiin kartoitettua hyvin rasvarin viikko-ohjelma ja laadittua tarkka lista josta ilmenee jokainen rasvarin voitelema nippa jokaiselta voidelta-

valta kohteelta. Kolmelta tuotannolle kriittiseltä linjalta löydettiin kaikilta kehityskohtia. Kehitysehdotusten todellinen vaikutus selviää tosin vasta, jos muutoksia linjoille tehdään. Tuotannolle kriittisten linjojen kehityskohteet liittyivät lähinnä rasvarin työskentelyyn, eikä varsinaista väärin suoritettua voitelua ilmennyt. Kriittisten linjojen voitelu on siis niiden tarpeen vaatimalla tasolla. Voiteluteknisesti ongelmia tuottaa lähinnä suuri puupölyn määrä tehtaalla, jonka päätymistä laakereihin voitelun yhteydessä on hankala välttää varsinkin ahtaissa paikoissa.

Jatkossa on tehtävä vielä paljon, jotta voiteluhuolto saataisiin optimaaliselle tasolle. Voitelunippojen tuominen rasvarille helpompaan paikkaan putkittamalla on vasta ensiaskelia voitelun nopeuttamisessa, epäpuhtauksilta suojaamisessa ja rasvarin työn keventämisessä. Putkituksien jälkeen asiaa voidaan viedä eteenpäin korvaamalla rasvarin työ osalla kohteista keskusvoitelujärjestelmällä tai patruunavoitelulla. Putkituksien toimivuutta kohteilla kannattaa kuitenkin ensin kokeilla ilman investointeja voitelulaitteisiin.

11.2 Ajatuksia voiteluhuollosta yleisesti

Voitelun jokapäiväisyys tekee meille siitä ilmiönä helposti hyvin arkista ja siten aliarvostettua. Monet ns. ruohonjuuritason toimenpiteet, jotka todellisuudessa luovat perustan kaikelle toiminnalle, jäävät helposti arkisuudessaan aliarvostetuiksi ja sitä kautta laiminlyödyiksi. Voitelu on teollisuudessa välttämätön ennakko- ja huollollinen toimenpide, jonka laiminlyönti johtaa väajäämättä laakerivaurioon.

Tekniikan kehittymisen kautta uudet kiehtovat menetelmät laitteiden kunnon määrittämiseen kuten värähtelymittaus ovat yleistyneet. Värähtelymittauksen kaltainen kunnonvalvontamenetelmä on oikein suoritettuna hyvin tehokas tapa määrittää laakereiden kunto, mutta on muistettava, että ensisijaisesti on pyrittävä välttämään vaurioiden syntyminen. Kattavat kunnonvalvontamenetelmät ovat kalliita verrattuna vaurion syntymisen ennaltaehkäisyyn oikeanlaisen voitelun avulla.

45% laakerivaurioista johtuu puutteellisesta voitelusta ja 20% kiinteiden epäpuhtauksien päätyemisestä laakeriin. (Ks. kuvio 6.) Voiteluhuolto huolimattomasti toteutettuna edesauttaa helposti epäpuhtauksien päätymistä laakeriin, joten myös osa näistäkin vaurioista olisi varmasti vältettävissä oikein ja huolellisesti suoritettulla voiteluhuollolla. Tästä syystä oikeanlaisen voiteluhuollon varmistaminen tulisikin olla ensimmäinen toimenpide kohteille joissa laakerivauriot ovat muodostuneet tuotannolliseksi ongelmaksi.

12 Lähteet

Alastalo, R. Bärling, M. Hirvonen, M. Hyppönen, H. Issakainen, O. Packalén, E. Saarinen, L. Väyrynen, P. N.d. Voiteluaineet: Perusteet. Viitattu 5.3.2015. http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_e01_voiteluaineet_perusteet.html

Battery-powered grease gun. N.d. Würth Online-shop. Viitattu 1.5.2015 <https://eshop.wuerth-ag.ch/Battery-powered-grease-gun-GRSEGUN-BTRY-18V/07005701.sku/en/US/CHF/>

Circulating Oil Lubrication Systems. N.d. Tuotetietoja SKF:n verkkosivuilta. Viitattu 16.3.2015. <http://www.skf.com/group/products/lubrication-solutions/lubrication-systems/circulating-oil-lubrication-systems/index.html>.

Conley, P. He, C. Improve System Reliability with Lubricant Flow Confirmation. Machinery Lubrication. 8/2013. A Nornia Publication. Viitattu 17.3.2015 <http://www.machinerylubrication.com/Read/29460/lubricant-flow-confirmation>

Dual-line lubrication systems. N.d. SKF:n verkkosivu. Viitattu 14.3.2015. <http://www.skf.com/group/products/lubrication-solutions/lubrication-systems/dual-line-lubrication-systems/index.html>

Grease-Pump Specifications, N.d. Esko Industries. Viitattu 4.3.2015. <https://eshop.wuerth-ag.ch/Battery-powered-grease-gun-GRSEGUN-BTRY-18V/07005701.sku/en/US/CHF/>

Kankainen, J. 2015. Koivuvaneritehtaan rasvari. Metsä Wood Suolahden vaneritehtaat. Toimenpiteiden seuraaminen ja haastattelemine 3.11.2014-5.3.2015.

Katz, S. 2012. 5 Ways to prevent bearing failures. Machinery Lubrication. huhtikuu 2012. A Nornia Publication. Viitattu 8.3.2015. <http://www.machinerylubrication.com/Read/28854/prevent-bearing-failures>

Kivioja, S. Kivivuori, S. Salonen, P. 1997. TRIBOLOGIA – KITKA, KULUMI-NEN JA VOITELU. Helsinki: Hakapaino Oy.

Kopeliovich, D. 2013. Tribological properties and applications of alumina. Sub-tech: Knowledge source on Materials Engineering. Viitattu 16.7.2013.
http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=tribological_properties_and_applications_of_alumina

Kunnossapitoyhdistys ry. 2006. Teollisuusvoitelu. Hamina: Oy Kotkan Kirjapaino Ab.

Majumdar, S.R. 1995. Pneumatic Systems: Principles and Maintenance. New Delhi: Tata Mc Graw-Hill Publishing Company Limited.

Mang, T. Bobzin, K. Bartels, T. 2010. Industrial Tribology: Tribosystems, Friction, Wear and Surface Engineering, Lubrication. John Wiley & Sons.

Metsä Wood. 2015. General Presentation. Yritysesittely. Viitattu 15.3.2015.
<http://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/Metsa-Wood-general-presentation-finnish.pdf>

Michalicka, P. Advanced Dispensing Technologies Permit Precision Lubrication. 5/2008. A Nornia Publication. Viitattu 18.3.2015.
<http://www.machinerylubrication.com/Read/1346/dispensing-lubricants>

Mikkonen, H. 2009. Kuntoon perustuva KUNNOSSAPITO. Helsinki: KP-Media Oy

Moubray, J. 2001. Reliability-centered Maintenance. Industrial Press Inc.

Morales-Espejel, G.E. Gabelli, A. DAMAGE MECHANISMS OF INDENTATIONS IN RACEWAYS OF ROLLING BEARINGS. 9/2012. SKF. Viitattu

10.3.2015. <http://evolution.skf.com/damage-mechanisms-of-indentations-in-raceways-of-rolling-bearings/>

Noria Corporation. The Dangers of Overgreasing. 11/2011. A Noria Publication. Viitattu 16.3.2015. <http://www.machinerylubrication.com/Read/28664/dangers-of-overgreasing->

PSK Standardi 7501. 2010. PROSESSITEOLLISUUDEN KUNNOSSAPIDON TUNNUSLUVUT. PSK Standardisointi ry.

PSK 6800. 2008. LAITTEIDEN KRIITTISYYSLUOKITTELU TEOLLISUUDESSA. PSK Standardisointiyhdistys ry.

Schaeffler KG. 2001. Rolling Bearing Damage. Saksa: Druckhaus Weppert GmbH.

Schaeffler Technologies AG & Co KG. 2013. Lubrication of Rolling Bearings. Saksa: bresler

Single-line lubrication systems. N.d. SKF:n verkkosivu. Viitattu 14.3.2015. <http://www.skf.com/group/products/lubrication-solutions/lubrication-systems/single-line-lubrication-systems/index.html>

SKF. 1994. SKF laakerien kunnossapito. Lerum:Linde Information AB.

SKF. 2010. Bearing maintenance handbook. SKF Group.

SKF. 2014. Dual-Line Distributor Product series 546. SKF Group. Viitattu 14.3.2015
<http://www.skf.com/binary/21-32685/1-0012-3-EN.pdf>

SKF. 2015. SKF Oil+Air Lubrication Units and Mixing Valves. SKF Group.

SKF. 2008. Käyttö- ja huolto-ohje SKF Multilube. SKF Group.

Satchowiak, G. Batchelor, A. W. 2005. Engineering Tribology (3r Edition), Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann.

Turner, D. The Skinny on Grease Compatability. 1/2009. A Noria Publication. Viitattu 6.3.2015. <http://www.machinerylubrication.com/Read/1865/grease-compatibility>

Viilun valmistus. N.d. Puu Proffa. Viitattu 8.3.2015. http://www.puu-proffa.fi/PuuProffa_2012/7/puujalosteet/viilun-valmistus

VANERIN TUOTANTOPROSESSI. N.d. UPM. Viitattu 8.3.2015. <http://www.wisaplywood.com/fi/vaneri-ja-viilu/vaneri/vanerin-tuotantoprosessi/Pages/default.aspx>

13 Liitteet

Liite 1. 4- sorvin kriittisyysanalyysi

Kriittisyysanalyysi

4- Sorvi

Kriittisyyden raja-arvo 400
 Tuotannon menetyksen painoarvokerroin Wp 100

Voitelukohte	Vikaantumisväli (1...8)	Tuotannon menetys (0...4)	Lopputuotteen laatukustannus (0...4)	Korjauskustannus (0...4)	Kriittisyysindeksi	Kriittisyyden osaindeksit		
	Painoarvot W →	100	30	20		K	Kp	Kq
Siirtovarsien sylinterien nivelet	2	2	0	2	480	400	0	80
Nostovarsien sylinterien nivelet	1	2	0	2	240	200	0	40
Annostelijan laakerointi	2	2	0	1	440	400	0	40
Tukilaitteen sylinterien nivelet	1	0	0	2	40	0	0	40
Voimansiirtoakselin keskilaakeri	2	2	0	1	440	400	0	40
Teräpenkin kallistuksen nivelet	1	0	0	1	20	0	0	20
Siirtovarsien laakerit	2	3	0	1	640	600	0	40
Pöllintasaajien nivelet	1	0	0	1	20	0	0	20
Tasausakselin laakerit	1	1	0	1	120	100	0	20
Tasausakselin kytkimet	1	2	0	1	220	200	0	20
Kierrekara	1	3	0	4	380	300	0	80
Tukilaitteen rullat	1	3	0	4	380	300	0	80

Liite 2. 60"- jatkamislinjan kriittisyysanalyysi

Kriittisyysanalyysi

60"- jatkamislinja

Kriittisyyden raja-arvo 400
 Tuotannon menetyksen painoarvokerroin Wp 100

Toimintopaikan nimitys	Vikaantumisväli (1...8)	Tuotannon menetys (0...4)	Lopputuotteen laatukustannus (0...4)	Korjauskustannus (0...4)	Kriittisyysindeksi	Kriittisyyden osaindeksit		
	Painoarvot W →	100	30	20		K	Kp	Kq
Sahan ketjut	1	0	0	1	20	0	0	20
Hissien keskinivelet	1	1	0	1	120	0	0	20
Puristimen kelkan laakerit	1	0	0	1	20	0	0	20
Puristimen leikkurien laakerit	1	2	1	1	250	100	30	20
Liukupinnat	8	0	0	1	160	0	0	160
Linjaston akselit	1	0	0	1	20	0	0	20
Leikkurin sylinterien ala- ja yläpäät	1	0	0	1	20	0	0	20

Liite 3. Hiontalinjan kriittisyysanalyysi

Kriittisyysanalyysi

Hiontalinja

Kriittisyyden raja-arvo	400
Tuotannon menetyksen painoarvokerron Wp	100

Voitelukohte	Vikaantumisväli (1...8)	Tuotannon menetys (0...4)	Loppu- tuotteen laatukus- tannus (0...4)	Korjaus- kustannus (0...4)	Kriitti- syyss- indeksi	Kriittisyyden osaindeksit		
	Painoarvot W →	100	30	20		K	Kp	Kq
Paksuussylinterit	1	2	0	1	220	200	0	20
Syöttö telat	1	2	0	2	240	200	0	40
Nivelakselit	1	1	0	1	120	100	0	20
1 pään laakerit	1	3	0	4	380	300	0	80
2 pään laakerit	1	3	0	4	380	300	0	80
3 pään laakerit	2	3	0	4	760	600	0	160
4 pään laakerit	1	3	0	4	380	300	0	80
5 pään laakerit	4	3	0	4	1520	1200	0	320
6 pään laakerit	1	3	0	4	380	300	0	80

Liite 4. 4-sorvin step-by-step voiteluohje

4-Sorvin voitelukierto

Keskittäjän voiteluyksikön täyttö

Voiteluaine: Omala 220

Keskittäjän voiteluyksikkö täytetään 2vk välein.



Teräpenkin takaa voideltavat kohteet

<p>Sulje katkaisulaitteen paineilma.</p>	 A photograph of industrial machinery. A white arrow points to a red-handled valve on a metal panel, which is the pressure release valve for the cutting device.
<p>Sulje tippelin paineilma.</p>	 A photograph of industrial machinery. A blue sign with white text points to a red-handled valve. The sign reads: "TIPPELIN PAINELMAN POISTO-VENTTILI".

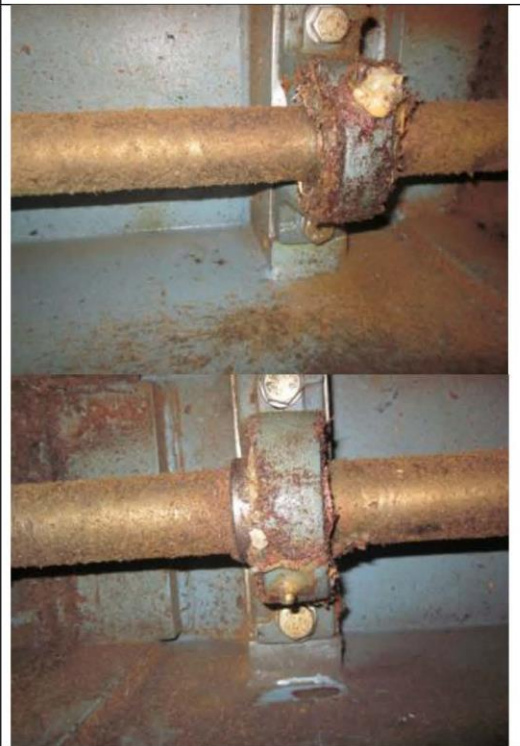
Välitysakselin kytkimet ja laakerit

Voiteluaine: Grafiittivaseliini

Välitysakselilla on kaksi kytkintä molemmilla puolilla. Yksi joka menee välitysakselin myötäisesti ja yksi joka on kohtisuoraan välitysakseliin nähden kierrekearan juuressa. Molempien rasvanipat ovat selkeästi näkyvillä. Kytkimiin tulee laittaa grafiittivaseliinia.



Välitysakselissa on 2 voideltavaa laakeria.



Kierrekarojen voitelu

Voiteluaine: Grafiittivaseliini

Kierrekaroja on sorvilla yksi molemmilla puolilla. Kierrekaran takaosasta voidellaan 3 nippaa.




Kierrekaran etuosassa on 2 voideltavaa nippaa.



Pöllintasaajat

Voiteluaine: EP2	
Pöllintasaajien sylinterien nivelet voidellaan molemmilta puolilta sorvia.	

Siirtovarsien sylinterien nivelet

Voiteluaine: EP2	
Voitele siirtovarren puoleinen pää sylinteristä.	
Voitele runkoon kiinnittyvä pää sylinteristä.	
Siirtovarret voidellaan sorvin molemmilta puolilta.	

Tukilaitteen sylinterien nivelet

Voiteluaine: EP2

Tukilaitteen runkoon sylinterien runkoon kiinnittyvien nivelten voitelussa on käytettävä piikkimäistä päätä rasvapuristimessa.



Tukilaitteeseen kiinnittyvä nivel voidaan voidella normaalilla rasvapuristimen päällä.



Teräpenkin voitelunipat

Voiteluaine: EP2

Teräpenkin etuosassa on kaksi voideltavaa kohdetta.



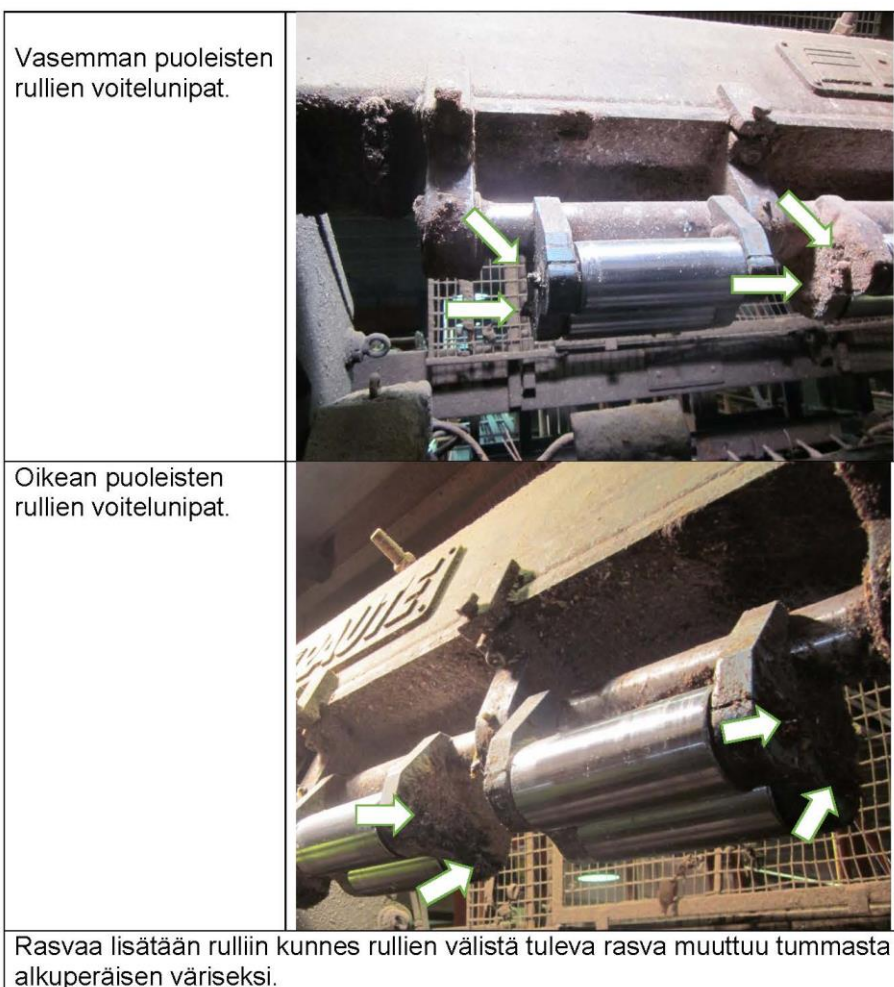


Tukilaitteen rullat

Voiteluaine: Synteettinen vaseliini

Tukilaitteen rullien
voitelunipat on
sijoitettu rullien päihin.





Siirtovarsien päälaakerit

Voiteluaine: EP2

Siirtovarsien päälaakereiden lukse pääsee kiipeämällä peräpenkin päälle nousevan huoltosillan kautta.





Siirtovarsien molemmista päistä löytyy yksi voitelunippa laakerin päältä.



Liite 5. 60"-jatkamislinjan step-by-step voiteluohje

60"- Jatkamislinja

1 ja 2 Puristimien nivelet ja liuku

Voiteluaine: EP2	
Voitelunippoja löytyy puristimen kyljestä 3 kpl.	
Toisella puolella puristinta voitelunippoja löytyy 2 kpl.	

Liukupinnat

Voiteluaine: EP2

Kelkassa on liukupinnan tuntumassa voitelunippa.



0-Puristimen hissi

Voiteluaine: EP2

0-puristimen hississä on muista hisseistä poiketen voitelunipat putkitettu yhteen paikkaan.



0-Puristimen leikkurin nivelet

Voiteluaine: EP2

Ylä- ja alanivelissä on voitelunipat selvästi havaittavissa.



Liite 6. Hiontalinjan step-by step voiteluohje

Voiteluväli	Voitelukohte	Voiteluaine	Lisähuomiot
1vk	Paksuussylinterit	Rimula	
3-5vk	Syöttötelat	EP2	
3-5vk	Niveakselit	EP2	
1vk	Paineilman sumuvoitelu	Fluid HF46	
6-12kk	Koko linja		

Paksuussylinterit

Voiteluaine: Rimula

Paksuus sylintereitä on molemmilla puolilla linjaa 4 kappaletta.



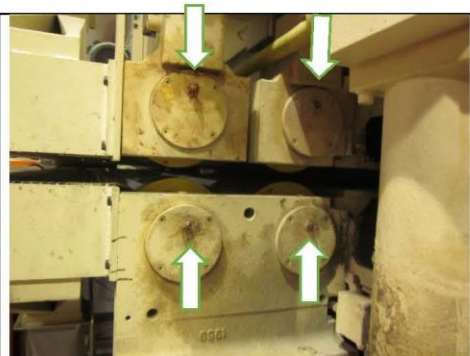
Jokaisessa paksuussylinterissä on 2 voideltavaa nippaa.



Syöttötelat

Voiteluaine: EP2

Jokaisessa syöttötelan päässä näkyy selkeästi voitelunippa. Syöttötelat voidellaan koneen molemmin puolin.



Nivelakselit

Voiteluaine: EP2

Nivelakselit
voidellaan 3-5vk
välein.



Paineilman huoltoyksikkö

Voiteluaine: Fluid HF46

Paineilman sumuvoitelun säiliö tarkastetaan kerran viikossa ja täytetään tarvittaessa.

