

Opinnäytetyö AMK

Konetekniikan koulutus

2024

Niko Lausola

Elinkaarianalyysi mekaaniselle puunkuorimalaitteelle



Opinnäytetyö AMK | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikan koulutus

Toukokuu 2024 | 41 sivua

Niko Lausola

Elinkaarianalyysi mekaaniselle puunkuorimalaitteelle

Opinnäytetyön aiheena oli puunkuorimalaitteen elinkaarianalyysi. Työ tehtiin Raumaster Oy: lle. Raumaster valmistaa puunkuorimalaitteita kemiallisen metsäteollisuuden tarpeisiin ja opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa laitteelle elinkaarianalyysi. Elinkaarianalyysin pohjalta voidaan arvioida varaosa- ja huoltotarpeita laitteen elinkaaren läpi.

Elinkaarianalyysiä lähdettiin toteuttamaan ottamalla huomioon useita eri elinkaareen vaikuttavia tekijöitä, kuten kulumismekanismit, kunnossapito ja kunnossapidon laatu. Analyysi perustuu lisäksi olemassa olevaan varaosadataan. Kulumismekanismeihin perustuen arvioitiin laitteen osien kulutusta ja niiden alttiutta kulumiselle eri käyttöolosuhteissa. Kunnossapitoa tarkasteltiin selvittämällä tarvittavia huoltotoimenpiteitä sekä niiden ajoitusta. Kunnossapidon osatekijänä huomioitiin myös ennakoiva kunnossapito. Näiden lisäksi varaosadatta hyödynnettiin ennustamaan varaosien tarvetta ja kustannuksia. Varaosadataan perustuen on myös tarkoitus jatkossa tunnistaa mahdollisia kehityskohteita laitteen suorituskyvyn optimoimiseksi.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin elinkaarianalyysi. Monitahoisten lähestymistapojen avulla saatiin lisäksi käsitys puunkuorimalaitteiden elinkaarista tähän asti, sekä ajatus mahdollisista parannusmahdollisuuksista.

Asiasanat:

elinkaari, elinkaarianalyysi, ennakoiva kunnossapito, kulumismekanismit, huolto.

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

May 2024 | 41

Niko Lausola

Life cycle analysis for a wood debarker

The purpose of this thesis was to create a life cycle analysis for a wood debarker. Thesis was commissioned by Raumaster Ltd, a company specializing in manufacturing wood debarkers for the needs of the chemical forest industry. The objective of the thesis was to produce a life cycle analysis to estimate the spare part and maintenance needs throughout the device's life cycle.

The life cycle analysis was initiated by considering several factors influencing the life cycle, such as wear mechanisms, maintenance, and its quality, and as well based on existing spare part data. Based on wear mechanisms, the wear of device components and their vulnerability to wear under different operating conditions were evaluated. Maintenance was examined by identifying necessary maintenance activities and their timing, including preventive maintenance. Additionally, spare part data was used to forecast spare part needs and costs, and to identify potential areas for optimizing device performance in the future.

As a result of the thesis, was life cycle analysis and an understanding of the life cycle of wood debarkers was obtained, along with ideas for potential improvements.

Keywords:

Life cycle, Life cycle analysis (LCA), preventive maintenance, wear mechanisms, service.

Sisältö

Käytetyt lyhenteet tai sanasto	7
1 Johdanto	8
2 Yritys	9
3 Kuorimakone	10
3.1 Pääkomponentit	11
3.2 Toiminnankuvaus	12
3.3 Käyttö	13
4 Lähtökohdat	15
5 Kuorimakoneen elinkaarianalyysin tekijät	16
5.1 Kulumismekanismit	16
5.1.1 Abrasiivinen kuluminen	17
5.1.2 Väsymiskuluminen	20
5.1.3 Iskukuluminen	23
5.1.4 Korroosiokuluminen	25
5.2 Kunnossapito ja huolto	27
5.2.1 Kunnossapitolajit	28
6 Kuorimakoneen kunnossapito, huolto ja kuluminen	30
6.1 Kuluminen RotoMaster-kuorimakoneessa	32
6.1.1 Kulutusosat	32
6.1.2 Koneenosat	35
6.1.3 Kiinteät osat	35
7 Varaosadatan analysointi	37
8 Tulokset	38
8.1 Lopputulos	39
Lähteet	40

Kuvat

Kuva 1. Raumaster Oy: n pääkonttori Raumalla (Raumaster Oy yritysesitys).	9
Kuva 2. Kuorimakone rakennusvaiheessa (Raumaster Oy koulutusmateriaali).	10
Kuva 3. Kuorimakoneen pääkomponentit (Master Debarker toiminnankuvaus).	11
Kuva 4. Tukkien liike kuorimakoneessa havainnollistettuna (Master Debarker toiminnankuvaus).	12
Kuva 5. Kuorimakoneen kaltevuudensäätö (Master Debarker toiminnankuvaus).	13
Kuva 6. Kuluminen hidastuu naarmuttavan partikkelin pyöristyessä (Stachowiak & Batchelor 2014, 534).	18
Kuva 7. Abrasiiviset kulumismekanismit (Swain ym. 2020).	19
Kuva 8. Esimerkki muutoksesta (Stachowiak & Batchelor 2014, 529).	19
Kuva 9. Neljänneskiertoventtiilin akseli, joka on altistunut jatkuvalle suunnanmuutokselle osana virransäätöprosessia.	21
Kuva 10. Väsymiskulumisen mekanismi (Swain ym. 2020).	22
Kuva 11. Jännityskeskittymästä aiheutunutta pistevikaa (Errichello 2013, 1523–1525)	22
Kuva 12. Energian hajaantuminen iskukulumisessa. (Stachowiak & Batchelor 2014, 670)	23
Kuva 13. Särön muodostuminen (Stachowiak & Batchelor 2014 s. 671)	24
Kuva 14. Iskun ja liukuluksen yhteisvaikutus (Stachowiak & Batchelor 2014, 672).	24
Kuva 15. Korroosiokulumismekanismit (Stachowiak & Batchelor 2014, 598).	26
Kuva 16. Kuorimalaitteen kulutusosia (Master DeBarker huolto ja käyttöohje).	33
Kuva 17. Huoltoa vaativa kampaterä (Master DeBarker huolto ja käyttöohje).	34

Kuviot

Kuvio 1. Jako kunnossapitolajeissa SFS-EN 13306 standardin mukaan (Järviö & Lehtiö 2017, 47).	28
Kuvio 2. Jako kunnossapitolajeista PSK 6201:2011 standardin mukaan (Järviö & Lehtiö 2017, 47).	29

Taulukot

Taulukko 1. Viikoittain suoritettavat kunnossapitotyöt.	30
Taulukko 2. Joka toinen viikko suoritettavat kunnossapitotyöt.	31
Taulukko 3. Joka kolmas kuukausi suoritettavat kunnossapitotyöt.	31
Taulukko 4. Joka kuudes kuukausi suoritettavat kunnossapitotyöt.	31
Taulukko 5. Vuosittain suoritettavat kunnossapitotyöt.	32

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

Fretting	Kulumismekanismi
LCA	Life cycle analysis, elinkaarianalyysi
Master Debarker	Tuoteperheen nimi
Nitens	Selluteollisuudessa käytetty eukalyptuslaji
RotoMaster	Tuotenimi puunkuorimalaitteelle
Seisokki	Tehtaan alasajo määräajaksi huoltotöiden vuoksi

1 Johdanto

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Raumaster Oy ja työn kohde oli analysoida Raumaster Oy:n tuoteperheeseen kuuluvan RotoMaster-kuorimakoneen elinkaarta. Työn tavoitteena oli analysoida olemassa olevien kuorimakoneiden elinkaarta tähän saakka ja tämän pohjalta luoda systematiikka kuorimakoneiden elinkaaren hallinnalle. Kuorimakoneiden toimitukset ajoittuvat tasaisesti viime vuosikymmenille. Tämän myötä tarjoutui mahdollisuus analysoida koneita iällisesti eri vaiheissa. Työtä hyväksikäyttäen on tarkoitus soveltaa elinkaaren hallintaa nykyisten ja tulevien koneiden osalla. Työn tarkoituksena on parantaa elinkaarenhallintaa ja auttaa huolto- sekä varaosasuositusten luomisessa.

Puunkuorimakone on yleisesti käytetty laite kemiallisessa metsäteollisuudessa ja sahoilla. Puunkuorimakoneella puunkuori erotetaan mekaanisesti tukeista raapimisen ja tukkien keskinäisen hankauksen yhteisvaikutuksella. RotoMaster-kuorimakone on suunniteltu erityisesti eukalyptuspuun kuoren irrottamiseen ja eroaa perinteisesti käytetystä kuorimarummusta täysin. Eukalyptuspuun kuoren poistaminen perinteisin menetelmin pyörivässä rummussa on haastavaa pitkän kuitumaisen rakenteensa vuoksi. Tämän vuoksi RotoMaster-kuorimakoneessa sisällä olevat roottorit pyörivät ja rumpurakenne on liikkumaton.

Opinnäytetyössä käsiteellään ainoastaan Raumaster Oy:n valmistamia RotoMaster -puunkuorimakoneita. Elinkaarelliset tiedot perustuvat varaosadataan, kokemuksen kautta kerättyyn tietoon, sekä asiakkaiden kokemuksiin.

2 Yritys

Raumaster Oy on vuonna 1984 perustettu materiaalinkäsittelyjärjestelmiin erikoistunut yritys, jonka kotipaikka on Raumalla. Yrityksellä on ollut yksityinen omistuspohja perustamisestaan lähtien. Toimitusjohtajana toimii Kari Pasanen.

Raumaster toimittaa materiaalinkäsittelyjärjestelmiä ja -laitteita, puu- sekä energiateollisuuden toimijoille. Raumaster on tunnustettu maailmalla yhdeksi johtavista toimittajista alallaan. Yritys työllistää yli 300 henkilöä ja sen liikevaihto on viime vuosina ollut noin 110 miljoonaa euroa. Raumasterin perusfilosofiana on varmistaa asiakkaidensa projektien onnistuminen. Sen keskeisiin arvoihin lukeutuu muun muassa luotettavat ja räätälöidyt ratkaisut, asiakaslähtöisyys, pitkät työurat, kokemus, sekä vastuu ympäristö- ja turvallisuusasioista. Yrityksen laatujärjestelmälle on myönnetty sertifikaatit ISO-9001, ISO-14001 ja OHSAS-18001 mukaisesti. (Raumaster Oy 2024.)

Konserniin kuuluvat Raumaster Oy, Raumaster Paper Oy ja Raumaster AB. Toimipisteet sijaitsevat Raumalla, Porissa, Ylöjärvellä ja Vesteråsissa.



Kuva 1. Raumaster Oy: n pääkonttori Raumalla (Raumaster Oy yritysesitys).

3 Kuorimakone

Raumaster Oy:n valmistama RotoMaster-kuorimakone koostuu joko kahdesta tai kolmesta liikkumattomasta rumpulohkosta, joiden pyörivien roottoreiden aikaansaama liike hiertää liikkuvien puiden kuorta yhdistettynä roottorien hampaiden raapimiseen. Tukkien läpimenoaikaan vaikuttaa rumpujen asetettu kaltevuus.

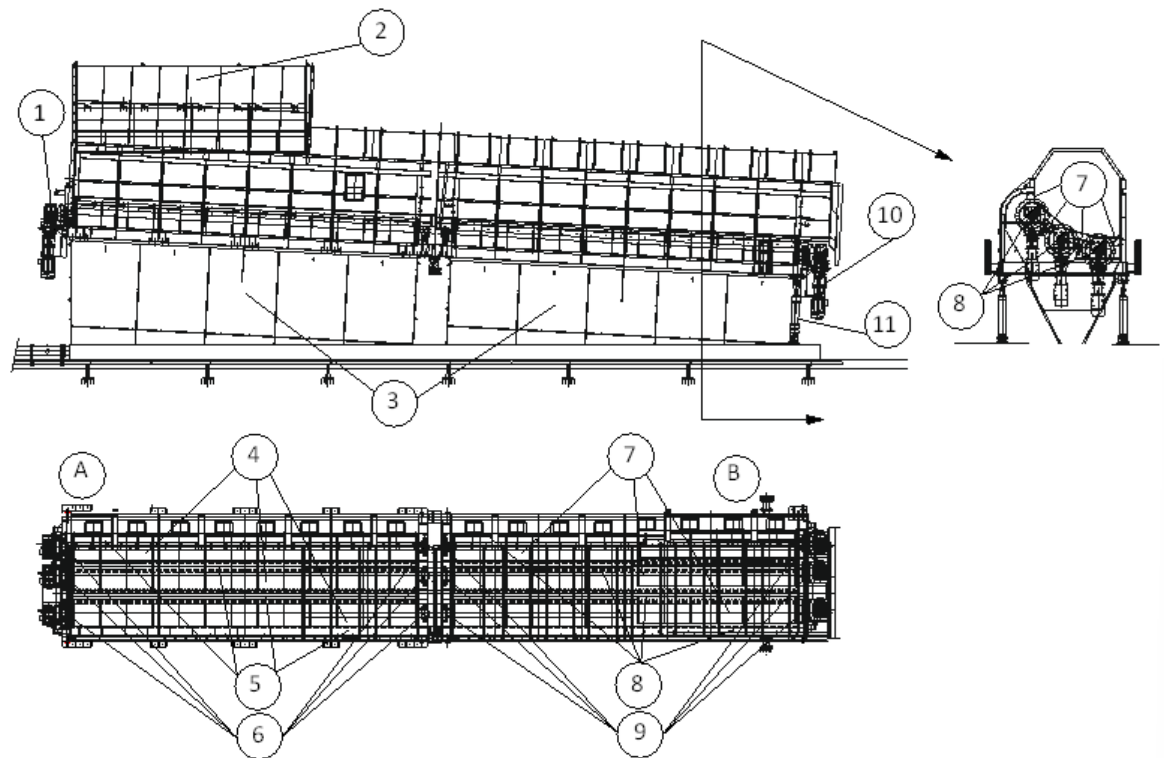
RotoMaster-kuorimakonetta käytetään tukkien kuorintaan sahoilla sekä kemiallisen metsäteollisuuden valmistusprosesseissa. Kokonaisuuteen kuuluu tyypillisesti kuorimakoneen lisäksi tukkien vastaanotto, pesulinjasto ja hakku. Hakun jälkeiseen prosessiin liittyy usein vielä varastointi-, seulonta- ja syöttölaitteet.

Opinnäytetyötä tehtäessä RotoMaster-kuorimakonetta on valmistettu maailmanlaajuisesti kuuden asiakkaan tarpeisiin kymmenkunta kappaletta. Alla kuvattuna kuorimakone rakennusvaiheessa.



Kuva 2. Kuorimakone rakennusvaiheessa (Raumaster Oy koulutusmateriaali).

3.1 Pääkomponentit



A	Tukkien syöttöpää	B	Koneen jättöpää
1	Syöttöpään vaihdemoottorit (3 kpl)	7	Roottori 2 (3 kpl)
2	Cover	8	Kampaterät
3	Suppilo-osat	9	Laakeriyksikkö (3 kpl)
4	Roottori 1 (3 kpl)	10	Jättöpään vaihdemoottorit (3 kpl)
5	Kampaterät	11	Hydraulisylinteri (2 kpl)
6	Laakeriyksiköt (3 kpl)		

Kuva 3. Kuorimakoneen pääkomponentit (Master Debarker toiminnankuvaus).

Yllä havainnollistettuna kaksilohkoinen RotoMaster-kuorimakone sekä listattuna laitteeseen kuuluvat pääkomponentit.

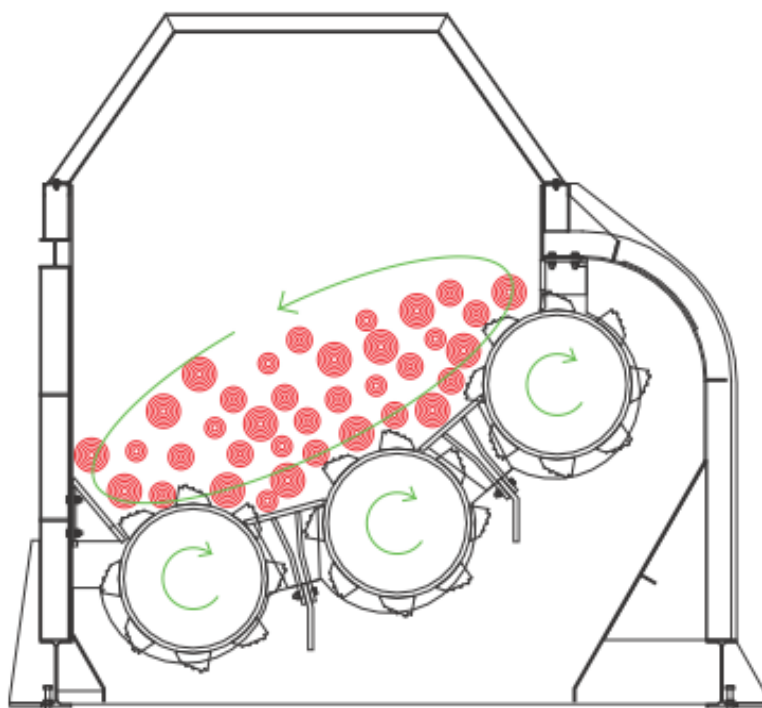
3.2 Toiminnankuvaus

Tukit syötetään kuorimakoneen liikkumattomaan rumpuun, jossa on kolme roottoria vierekkäin. Roottorien kehän ympärillä on kuorintahampaat. Kuori poistetaan pyöritettävistä tukeista raapimisen ja tukkien keskinäisen hankauksen yhteisvaikutuksena.

Kuitumainen tai nauhamainen kuoriaines leikataan katkaisuhampaiden avulla ja poistetaan kuorimarummussa koko pohjan pituudelta olevien rakojen läpi. Näin kuorimistulos saadaan optimoitua.

Kuorintarummussa tukit pyörivät sekä yksittäin, että massana. Koneen kaltevuuden ansiosta tukit liikkuvat pituussuunnassa rummun läpi.

Kuorimakoneen jättöpään kallistuskulma on säädettävissä. Kallistuskulman säätö on toteutettu kahden jättöpäässä sijaitsevan hydraulisynterin avulla.



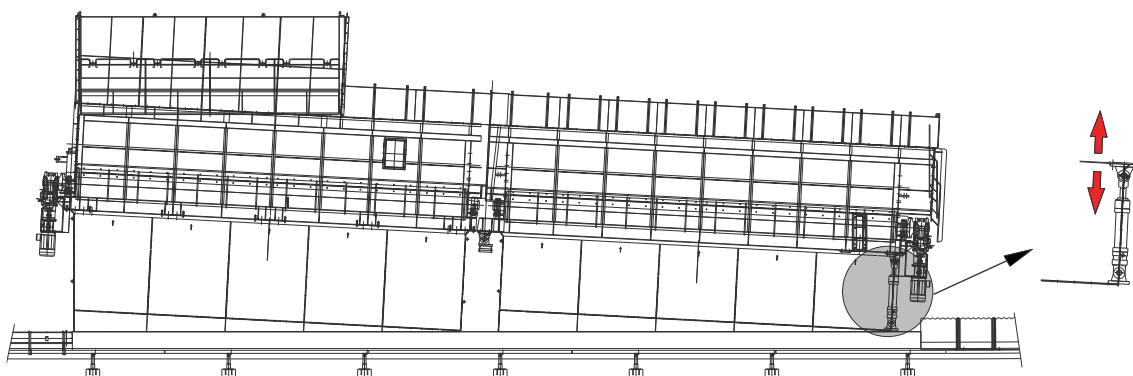
Kuva 4. Tukkien liike kuorimakoneessa havainnollistettuna (Master Debarker toiminnankuvaus).

3.3 Käyttö

Koneen käyttö tapahtuu yleisesti toimipaikan valvomosta ohjausautomaatiikan kautta.

Kuorimakone koostuu kahdesta rumpulohkosta. Jälkimmäisen rumpulohkon kallistuskulma on säädettävissä kahden hydraulisylinlerin avulla.

Kallistuskulman avulla säädetään tukkien viipymäaika kuorintarummussa ja siten myös kuorinnan lopputulosta. Käytön aikana kuorimarummun täyttöastetta säädetään kahtalaisesti sekä tukkisyötön määräsäädöllä, että kuorintarummun jälkimmäisen lohkon kallistuskulmaa säätämällä. Jättöpään kohottaminen, ts. kallistuskulman pienentäminen lisää täyttöastetta ja päinvastoin.



Kuva 5. Kuorimakoneen kaltevuudensäätö (Master Debarker toiminnankuvaus).

Kuorinnan tehokkuuteen vaikuttavat täyttöaste ja roottorin nopeus.

Optimaalinen täyttöaste ja roottorin nopeus riippuvat kuorintaolosuhteista, puulajista ja tukkien ominaisuuksista, kuten halkaisijasta, pituudesta, kuivuudesta jne. Yleensä roottorin nopeuden lisääminen lisää kuorintatehokkuutta.

Täyttöasteen nostaminen 25–35 %:iin yleensä lisää kuorinnan tehokkuutta. Jos täyttöaste on liian korkea, yli 35 %, tukkien liike hidastuu. Pidemmän viipymän seurauksena pohjimmaisiksi jääneiden tukkien kuorinta saattaa ulottua

tarpeettoman syvälle, kun taas rummun yläosassa olevat tukit voivat liukua kohti rummun jättöpäätä vajavaisesti kuorittuina.

Saman puulajin ja halkaisijaltaan keskenään samankokoisten tukkien käyttäminen auttaa saavuttamaan hyvän kuorintatehokkuuden pienimmällä hävikillä. Jos kuorimakoneeseen syötetään halkaisijaltaan pieniä ja suuria, tai kuivia ja tuoreita tukkeja samanaikaisesti, seurauksena on yleensä tukkien rikkoutuminen ja tarpeeton puunhukka.

Tarpeettoman puunhukan välttämiseksi ja tasaisen läpimenon varmistamiseksi on yleensä suositeltavaa käyttää pienintä täyttöastetta ja pienintä nopeutta. Näillä toimilla varmistetaan riittävä kuorintatehokkuus. On myös tärkeää pitää tukkien syöttönopeus vakiona ja yhtenäisenä. Näin toimimalla täyttöaste pysyy vakiona koko kuorimakoneen pituudelta.

Kuorintalaitteen syöttölohko on suunniteltu pyörittämään tukkeja kylkiasennossa, jolloin tukit pysyvät kuorimisen aikana roottoreiden suuntaisina. Jos tukki on liian pitkä, se voi tukkia syöttölohkon ja pysyä kohtisuorassa roottoria kohtaan jonkin aikaa. Roottorien ja muiden tukkien liike yleensä vapauttaa suman. Tukkeutumisen välttämiseksi tukinsyöttö kannattaa pysäyttää väliaikaisesti, kunnes suman aiheuttaneen tukin asento on kääntynyt.

4 Lähtökohdat

Opinnäytetyön lähtökohdaksi oli luoda kattava analyysi laitteen mekaanisten sekä toiminnallisten ominaisuuksien säilymisestä tai muuttumisesta käyttövuosien lisääntyessä. Tarve opinnäytetyön aiheelle nousi pintaan, koska toimitettuja laitteita on useita ja niiden toimitukset ajoittuvat tasaisesti menneille vuosille. Näin ollen on mahdollista käyttöasteen ja -tuntien perusteella arvioida ja ennaltaehkäistä tulevia ongelmatilanteita, perustuen aikaisempiin kokemuksiin laitteen kanssa. Tarkoituksena on pyrkiä mahdollistamaan asiakkaalle keskeytyksetön tuotanto ajokauden aikana ja luoda huoltosuositukset tehtaaseisokkeihin. Suosituksilla varmistaa, että tuotantokatkoksilta vältyttäisiin tulevaisuudessakin. Selluteollisuudessa jo vuorokauden kestoisen laiterikosta johtuva tuotantokatkos aiheuttaa merkittäviä kuluja yritykselle tuotannonmenetysten vuoksi. Lisäksi tunnistamalla ja ennaltaehkäisemällä ongelmia on myös mahdollista saavuttaa säästöjä toimittajan näkökulmasta, kun mahdollisilta reklamaatioilta vältytään tulevissa toimituksissa.

Lähtökohdaksi toimivat lisäksi yrityksen arvoissakin mainitut luotettavuus, asiakaslähtöisyys ja -tyytyväisyys, joiden pysyminen hyvällä tasolla halutaan varmistaa myös toimituksen jälkeen. Osaltaan on tarkoitus varmistaa varaosamyynti ja jatkuva kehitys läpi laitteen elinkaaren.

Päämäärään päästäessä on molemmilla asiakkaalla ja toimittajalla mahdollisuus saavuttaa taloudellista hyötyä. Onnistumisten myötä on mahdollista vahvistaa myös yhteistyön todennäköisyyttä tulevaisuudessa, kun molemmat osapuolet ovat tyytyväisiä.

5 Kuorimakoneen elinkaarianalyysin tekijät

Elinkaareen vaikuttavia tekijöitä on lukuisia. Kuorimakoneen osalta elinkaareen vaikuttaviksi päätekijöiksi määriteltiin mekaaninen kuluminen, paikallinen kunnossapitokulttuuri, prosessin vallitsevat olosuhteet, kuorittava puulaji, sekä käyttäjäriippuvaiset asiat. Tässä luvussa syvennytään kulumiseen, sen mekanismeihin ja niiden vaikutuksesta koneen eri osiin ja rakenteisiin. Lisäksi käsitellään huollon ja kunnossapidon merkitystä laitteen elinkaareessa.

5.1 Kulumismekanismit

Kulutusmekanismeihin perustuvia luokitteluja on olemassa useita. Standardissa DIN 50320, kuluminen luokitellaan perusominaisuuksiensa mukaisesti neljään pääluokkaan seuraavasti.

- adhesiivinen kuluminen
- abrasiivinen kuluminen
- väsymiskuluminen
- tribokemiallinen kuluminen

DIN 50320-standardin mukainen luokittelu on selkeästi eroteltu. Se soveltuu käytettäväksi, kun tarkastelussa on kitka, voitelu ja korroosio kokonaisuutena. Monissa tapauksissa on tarkoituksenmukaista käyttää seikkaperäisempää luokittelua. Burwell (1952, 18–28) ja Jahanmir (1980, 283–311) ovat edellä listattujen lisäksi jakaneet kulumisen myös seuraaviin tekijöihin.

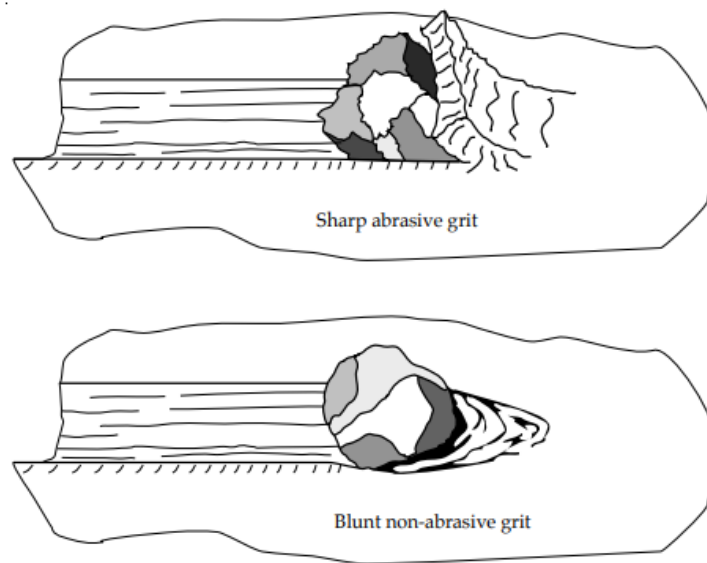
- korroosiokuluminen
- pintaväsyminen
- fretting
- eroosio
- kavitaatio
- iskukuluminen
- diffuusiokuluminen

- sähkökontaktikuluminen

Kuluminen on yleensä kahden tai useamman eri kulutusmekanismin yhteisvaikutusta. Tärkeintä usein onkin löytää eniten kuluttavat mekanismit ja ehkäistä ne. Seuraavassa käydään läpi kuorimakoneeseen ja sen osiin yleisimmin vaikuttavat kulumismekanismit.

5.1.1 Abrasiivinen kuluminen

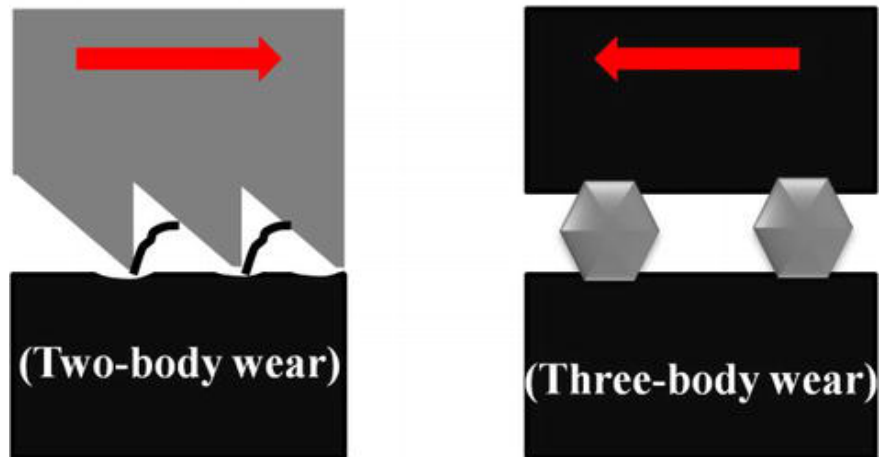
Abrasiiviseksi kulumiseksi kutsutaan hankaavaa kulumista, joka tapahtuu kahden tai useamman pinnan välillä. Vaikuttavana tekijänä pintojen kulumiseen ovat kovat muokkauslujittuneet partikkelit ja karkeat epäpuhtaudet. Partikkelit liukuvat tai vierivät paineen alla pintojen välissä, leikaten kuluvan materiaalin pintaa. Nämä hioma-aineet ovat yleensä kovempaa kuin hioutuva pinta ja niillä on kulmikas profiili, esitetty kuvassa 6. Kulumista tapahtuu, kun kovempi materiaali tai epäpuhtaus liukuu pehmeämmällä pinnalla rikkoen sitä. Kuluminen vahingoittaa pintaa ja pahimmillaan johtaa lopulta materiaalin murtumaan tai pysyvään muodonmuutokseen. Suuren sitkeyden ja kovuuden omaavat keraamit ja metallit aiheuttavat tällöin kulumista pehmeämmissä materiaaleissa, kuten muoveissa. Myös kahden metallisen pinnan välinen kuluminen on yleistä ja keskinäisesti eriaikaista. Tämä tapahtuu koska materiaalit eroavat toisistaan lujuuden ja kovuuden osalta. Kulumisvaikutusta lisää pintoihin kohdistuvat kuormitukset (Swain ym. 2020).



Kuva 6. Kuluminen hidastuu naarmuttavan partikkelin pyöristyessä (Stachowiak & Batchelor 2014, 534).

Hankaava kuluminen määräytyy tavallisesti kosketustyyppin ja kosketustilan mukaan. Kosketustapa määrittää hankaavan kulumisen menetelmän. Hankaavaa kulumista esiintyy yleensä kahdessa eri tilanteessa. Tilanteet ovat kahden ja kolmen pinnan väliset kosketukset, kuten kuvassa 7 on esitetty. Kahden pinnan välinen kuluminen tapahtuu, kun kovempi materiaali voittaa pehmeämmän ja alkaa poistaa materiaalia vastakkaiselta pinnalta. Materiaali poistuu samalla periaatteella kuin koneistettaessa tai leikatessa hiovin menetelmin. Tällöin materiaalia poistuu muovaamisen yhteydessä. Kolmen pinnan välisessä kulumisessa hiovat partikkelit liikkuvat vapaasti kahden pinnan välissä, kuten hiekka kuorittavan tukin ja kuorintakoneen rakenteiden välissä (Jeyaprakash & Yang 2021).

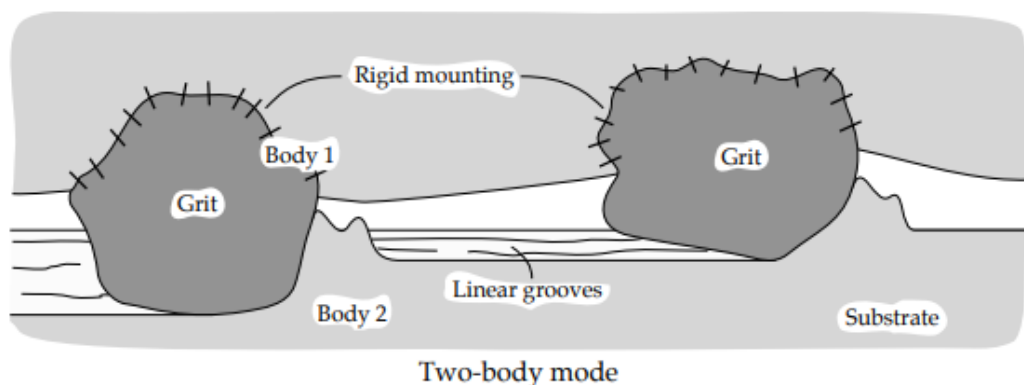
Abrasive wear



Kuva 7. Abrasiiviset kulumismekanismit (Swain ym. 2020).

Kuvassa 7 vasemmalla havainnollistettu kahden pinnan välistä kulumista. Ylempi pinta on kovempi ja hioo alapuolista pehmeämpää pintaa. Oikealla vapaasti liikkuvat hiovat partikkelit liikkuvat kahden pinnan välissä ja aiheuttavat kulumaa (Jeyaparakash & Yang 2021).

Bhushan ym. (1985, 113–126) mukaan useissa tapauksissa kolmen pinnan välinen kulumisen muuttuu osittain adhesiivisen kulumisen seurauksena kahden pinnan väliseksi. Tämä tapahtuu, kun hiova partikkeli on juuttunut tai liimaantunut toiseen pinoista ja liukuessaan vastakkaista pintaa vasten aiheuttaa kulumisen, kuten kuvassa 8 on havainnollistettu.



Kuva 8. Esimerkki muutoksesta (Stachowiak & Batchelor 2014, 529).

Abrasiivisesta kulumisesta aiheutuvien ongelmien ennakoimiseen on kehitetty useita menetelmiä, joilla voidaan approksimoida kulumisen nopeutta ja laajuutta. Menetelmistä yksikertaisimpana pidetään alla esettyä kaavaa 1.

$$V = k \cdot \frac{PL}{H} \quad (1)$$

jossa

V on kulumisen volyyymi

k on kulumiskerroin, joka heijastaa osittain geometrioiden ja hiukkasten ominaisuuksien vaikutuksia sekä osittain muiden tekijöiden vaikutuksia

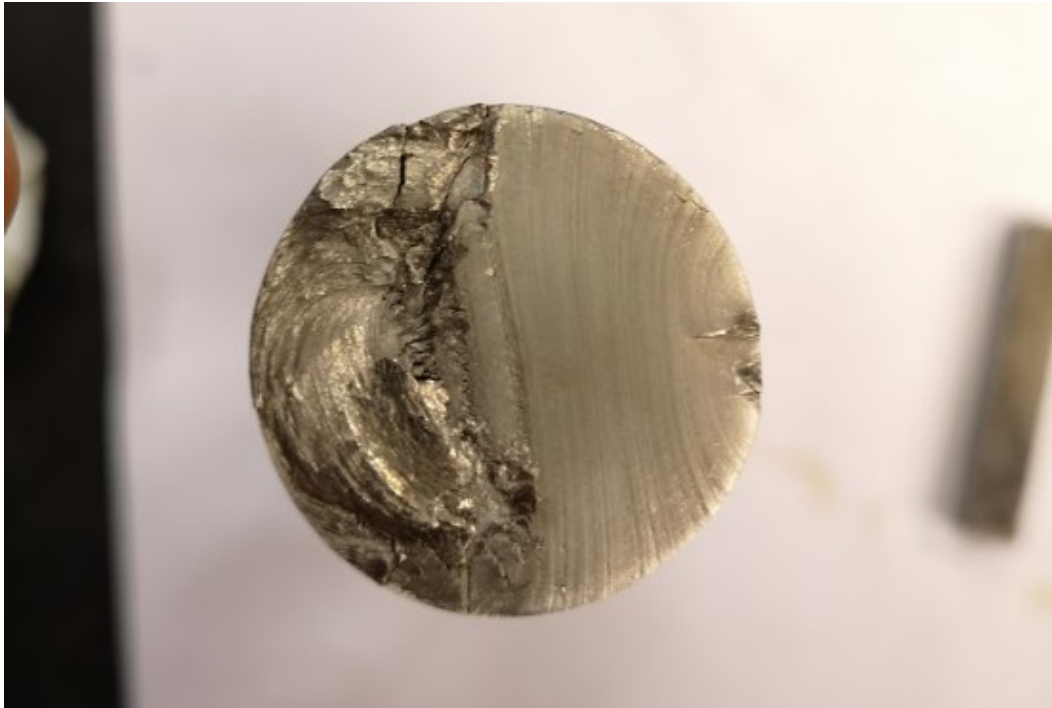
P on kohdistuva voima

L on liukumismatka

H on materiaalin kovuus.

5.1.2 Väsymiskuluminen

Väsymiskulumiseksi kutsutaan tilannetta, jossa kappale tai rakenne altistuu toistuvasti vaihtelevalle kuormitukselle. Pinta altistuu näin väsymiskulumiselle ja pinnalle voi muodostua säröjä sekä halkeamia, kuten kuvassa 9 nähdään. Suuret pintajännitykset aiheuttavat halkeamien ja säröjen leviämistä eheään materiaaliin. Kahden tai useamman halkeaman yhtyessä syntyy suuria irtonaisia partikkeleita (Swain ym. 2020).

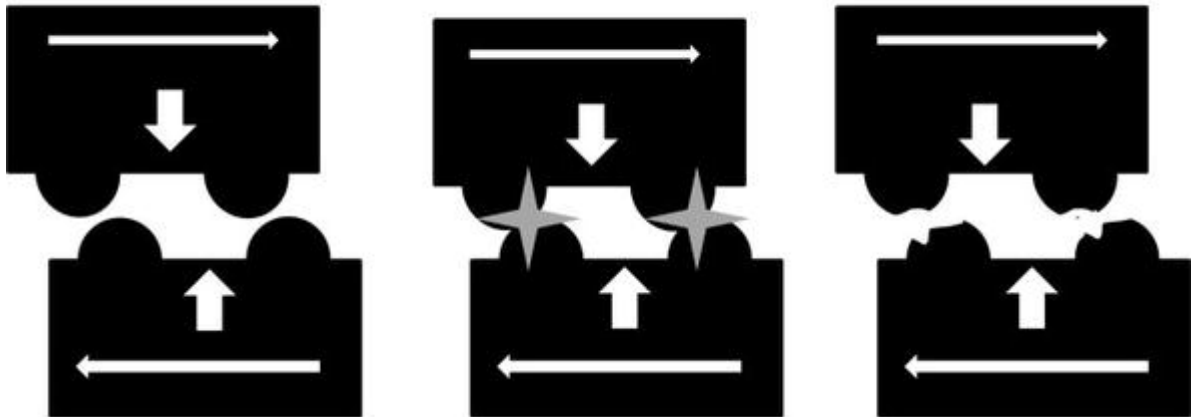


Kuva 9. Neljänneskiertoventtiilin akseli, joka on altistunut jatkuvalle suunnanmuutokselle osana virransäätöprosessia.

Kuvassa 9 akselin vasemmalla puolella nähtävillä toistuvasta kuormituksen muutoksesta johtuvan väsymisen aiheuttamia säröjä ja halkeamia. Niiden vuoksi akseli on lopulta repeytynyt poikki kokonaisuudessa.

Väsymiskulumisen kaksi mekanismia voidaan erotella korkean ja matalan syklin väsymiseksi. Korkeasyklisessä väsymyksessä syklien määrä on suuri ennen väsymistä. Tällaisen sovelluksen osien käyttöikä on yleensä pitkä. Säröt ja halkeamat muodostuvat näissä tilanteissa materiaalin aikaisemmista minimaalisista epätäydellisyyksistä, joiden lähelle kohdistuva paine voi ylittää myöntöarvon. Plastisen jännityksen kerääntyessä epäyhdenäisyyksien ympärille, alkaa säröjen muodostumien. Matalasyklisessä väsymisessä on kyseessä suhteellisen alhaisesta kuormitusnopeudesta johtuvaa väsymismurtuma. Vähäsyklisessä väsymisessä jännityksen aiheuttama muodonmuutos yhden kuormitusyökin aikana on aina plastista. Kun kappaleeseen muodostunut plastinen jännitys ylittää materiaalin perusjännitteen, syntyy särö.

Fatigue wear



Kuva 10. Väsymiskulumisen mekanismi (Swain ym. 2020).

Mao (2007, 1281–1288) selvitti vaihteiden kulumisilmiöitä käsittelevässä tutkimuksessaan, että pääasiallinen syy pistemäiselle väsymiskulumiselle on korkea jännitepitoisuus. Jännityskeskittymästä aiheutunut pistevika on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Jännityskeskittymästä aiheutunutta pistevikaa (Errichello 2013, 1523–1525)

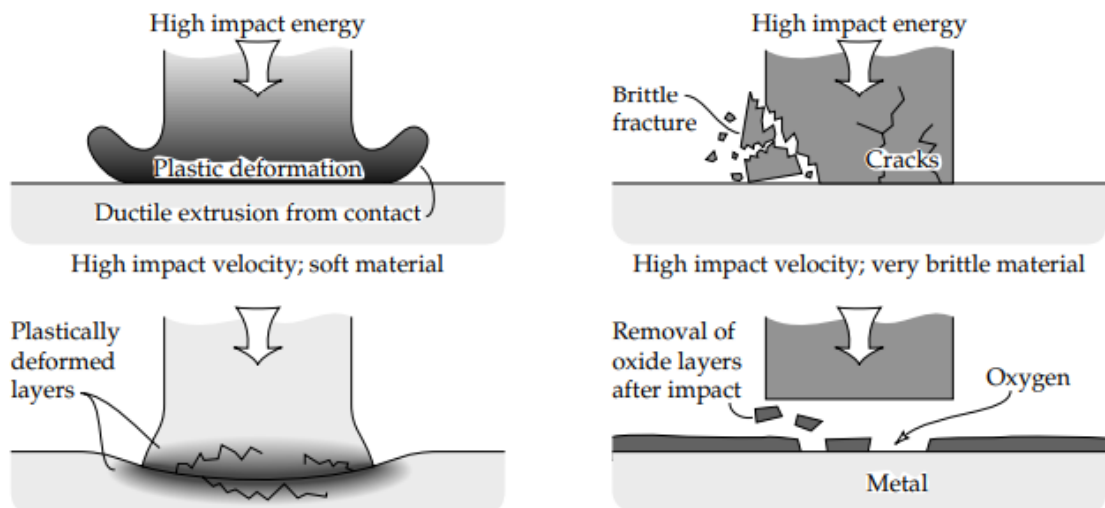
5.1.3 Iskukuluminen

Iskukuluminen on seuraamus vastakkaisten pintojen toistuvasta törmäyksestä. Klassinen esimerkki tälle kulumismuodolle löytyy pitkään käytetyn vasaran päästä. Kulumismuoto koskee tasaisia tai lähes tasaisia pintoja. Niille ominaisia ovat suuret kaarevuussäteet särön kokoon verrattuna. Tämä ominaisuus erottaa iskukulumisen eroosiivisesta kulumisesta, jossa särön aiheuttajana on terävä hiukkanen kuormittamassa tasaista pintaa. Iskukulumisessa pintaan kohdistuu toistuvia suuren kosketusjännityksen omaavia iskuja, yhdistettynä energian hajaantumiseen kussakin törmäyksessä, kuten kuvassa 12 (Stachowiak & Batchelor 2014, 670–672).



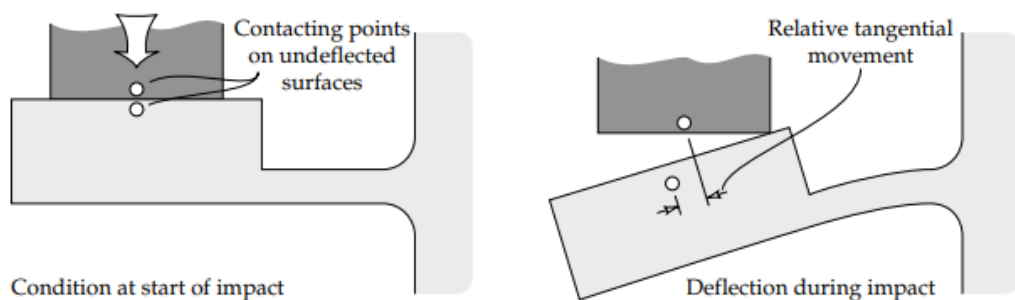
Kuva 12. Energian hajaantuminen iskukulumisessa. (Stachowiak & Batchelor 2014, 670)

Toistuvien törmäysten vaikutuksen alaisissa materiaaleissa tapahtuu paikallista plastista ja elastista muodonmuutosta. Pinta alkaa väsyä ja kulua iskukuormituksen toistuessa useita kertoja samalla alueella. Lopputuloksena seuraa särö. Lopulta pintaan muodostuu halkeamia, joista vapautuu kulumispartikkeleita. Iskukuormitukselle tyypillistä on myös paikallinen lämpötilan nousu, jonka vaikutuksesta materiaalin pintakerros pehmenee. Paikallinen lämpötilannousu on seurausta siitä, että toistuvat iskukuormitukset eivät anna lämmön haihtua kosketuspinnasta. Iskun kestävyyyteen voidaan vaikuttaa muuttamalla käytetyn materiaalin viskoelastisia ja viskoplastisia ominaisuuksia (Kivioja ym. 2007, 114–117).



Kuva 13. Särön muodostuminen (Stachowiak & Batchelor 2014 s. 671)

Prosessissa, jossa mekaanisten komponenttien välille muodostuu toistuvia iskuja, liittyy usein myös pieniä liukuliikkeitä. Nämä osaltaan myötävaikuttavat kulumismekanismiin. Kosketuspintoja tangentialinen liike iskun aikana johtuu yleensä tukirakenteiden joustavasta muodonmuutoksesta. Esimerkki alla esitettyssä kuvassa 14. Ulokkeen tukiessa kulutus pintaa, ulokkeen taipuma aiheuttaa liukuvan liikkeen iskun aikana (Stachowiak & Batchelor 2014, 671).



Kuva 14. Iskun ja liukuliikkeen yhteisvaikutus (Stachowiak & Batchelor 2014, 672).

Yhtaikainen liukuminen voi nopeuttaa kulumista, kun lisätään fretting kulumismekanismiin yhtälöön. Liukumisen lisävaikutus teräksen iskukulumiseen aiheuttaa teräksessä plastista muodonmuutosta liukusuuntaan sekä

paksumpien oksidikerrosten muodostumisen kuluneille pinnoille (Stachowiak & Batchelor 2014, 672).

5.1.4 Korroosiokuluminen

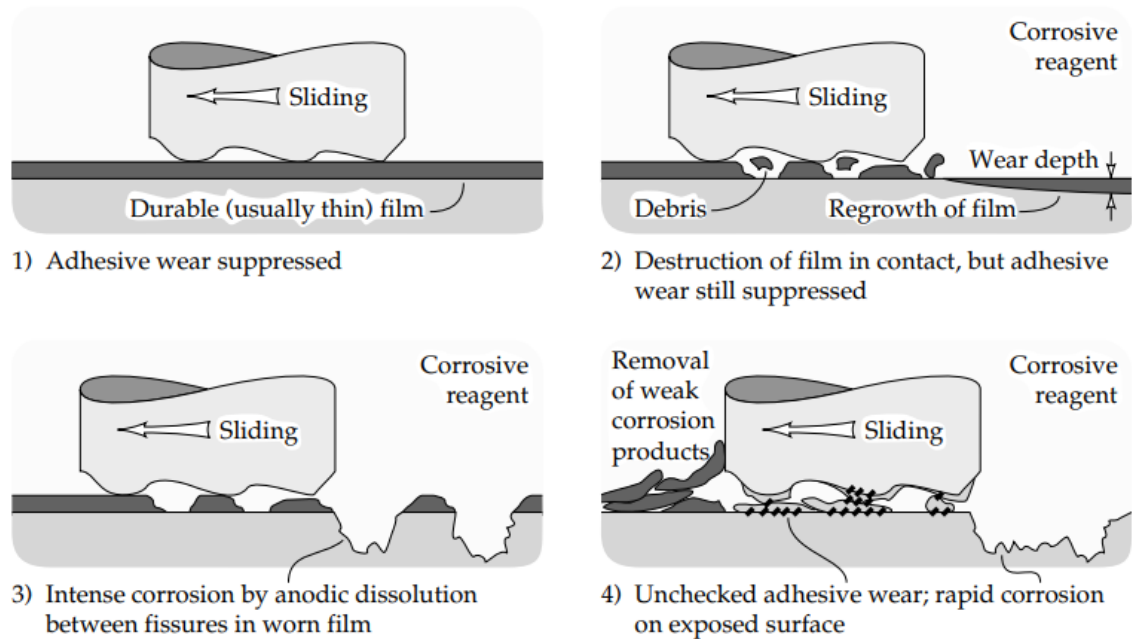
Korroosiokulumista esiintyy monenlaisissa olosuhteissa, niin voidelluissa kuin voitelemattomissa. Kulumismuodon perusominaisuus on samanaikainen kemiallinen reaktio kuluneen materiaalin ja syövyttävän väliaineen välillä. Näitä voi olla kemiallinen reagenssi, reaktiivinen voiteluaine tai jopa ilma.

Korroosiokuluminen on yleistermi ja on läsnä kaikenlaisessa mekaanisessa kulumisessa (adhesiiviseen, abrasiiviseen, eroosioon, väsymiseen jne.), johon liittyy kemiallinen tai syövyttävä prosessi. Nykyään termiä tribokorroosio käytetään usein korroosiokulumisen sijasta. Erityisesti tapauksissa, joissa sähkökemiallinen korroosio on vaikuttava tekijä mekaanisten vaurioiden syntyyn. Tribokorroosio-ongelmat ovat levinneet laajalle, ja niitä esiintyy lähes kaikessa teollisuudessa (Stachowiak & Batchelor 2014, 597).

Metallipinnoilla muodostuvat kemialliset reaktiot ovat hyödyllisiä, kun halutaan ennaltaehkäistä adhesiivista kulumista. Valvomattomissa olosuhteissa korroosioreaktion leviäminen johtaa sen alla olevan materiaalin merkittävään häviöön ja heikkenemiseen. Jos metallipinta altistuu korroosiolle ja sitä pitkin liukuvalla kosketukselle, todennäköisesti yksi seuraavista tapahtuu:

- pintaan muodostuu kestävä kalvo, joka estää sekä korroosiota että kulumista.
- pintaan muodostuu heikko kalvo, jonka käyttöikä liukukosketuksessa on lyhyt. Kalvojen säännöllinen kuluminen ja uudelleenkasvu aiheuttaa ajan saatossa suurta kulumista.
- suojaava kalvo kuluu kuoppamaisesti ja korroosio pääsee muodostuneiden kuoppien avulla tunkeutumaan syvemmälle aineeseen, aiheuttaen suuria paikallisia kulumia.
- korroosion ja liukuvan kosketuksen myötävaikutus toisiinsa tehostaa kulumista (Stachowiak & Batchelor 2014, 597–598).

Nämä korroosiokulumisen mallit esitetty alla, kuvassa 15.



Kuva 15. Korroosiokulumismekanismit (Stachowiak & Batchelor 2014, 598).

Aina kun korroosiota ja kulumista tapahtuu samanaikaisesti, on näiden keskinäinen vaikutus voimakasta. Lukuun ottamatta niitä tapauksia, joissa rajoitettu korroosioaste on välttämätön adheesiivisen kulumisen estämiseksi. Ennaltaehkäiseviä toimenpiteitä korroosio-ongelmaan ovat syövyttävien aineiden poistaminen tai inertin materiaalin valinta tapauksiin, jossa ilmenee hankauskosketusta. Lämpötilan aleneminen hankauskosketuksessa hidastaa korroosionopeutta ja auttaa myös minimoimaan yleiset kulumisvauriot. Korroosionestoaineet, jotka perustuvat voimakkaaseen absorptioon syöpyvälle pinnalle, voivat olla tehokkaita syövyttävän kulumisen hallinnassa. Ne voivat kuitenkin häiritä kosketuksissa olevien pintojen absorptiovoitelua. Muun tyyppiset inhibiittorit, esimerkiksi ne, joihin liittyy passiivikerroksen muodostuminen, ovat yleensä tehottomia (Stachowiak & Batchelor 2014, 616).

5.2 Kunnossapito ja huolto

Kunnossapidon ja huollon merkitys laitteen toiminnallisuuden säilyttämisessä ja kulumisen ehkäisyssä on merkittävä. Lisäksi tässä tapauksessa kuorittavan puulajin ja sen puhtauden lisäksi ainut tekijä, joka oikea-aikaisesti suoritettuna ja tarkoituksenmukaisesti tehtynä, jolla voidaan mahdollistaa positiivisten tulosten saavuttaminen.

Kunnossapidolla yleisesti tarkoitetaan niitä toimia, joilla on tarkoituksena pyrkiä säilyttämään, palauttamaan, sekä estämään laitteen tai prosessin vikatila tai suorituskyvyn madaltuminen. Kunnossapidon tavoitteena on huolehtia, että tuotannolliseen prosessiin vaikuttavat laitteet ja kokonaisuudet pysyvät toimintakykyisinä ja hyväkuntoisina. (Mikkonen 2009, 26.)

Kunnossapitoa on määritelty mm. standardeissa SFS-EN 13306 ja PSK 6201 seuraavasti:

SFS-EN 13306

Kunnossapito koostuu kaikista kohteen elinajan aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon. (SFS-EN 13306. 2010, 8.)

PSK 6201

Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, ja hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana. (PSK 6201. 2011, 2.)

Standardin määritelmät koskevat pääosin korjaavaa, eli reagoivaa kunnossapitoa. Kunnossapito on prosessi, jossa tuotantolaitteen tuotantokapasiteettia ylläpidetään, säädetään, säilytetään tai parannetaan.

Yrityksen laitehankintojen ideana on varmistaa, että laite pystyy valmistamaan haluttua tuotetta tai suorittamaan haluttua työtehtävää. Kunnossapidon ideana on varmistaa, että kone tuottaa halutun tuotteen tai suorittaa halutun tehtävän. Tältä pohjalta kunnossapidon olisi ennaltaehkäisevällä lähestymistavalla pyrittävä estämään rikkoutumiset. Oikeanlaisella kunnossapidolla laitteiden ei pitäisi heikentyä ajan mittaan, eikä niiden pitäisi rikkoutua. Niiden tulisi säilyttää samalla vaadittu laatu ja käyttöturvallisuus. Laitteiden ja laitteistojen nykyaikaistaminen, suunnitteluvirheidenkorjaaminen ja suorituskyvyn analysointi liittyvät kiinteästi kunnossapitoon, samoin kuin käyttö- ja kunnossapitotekniikoiden parantaminen. (Järviö & Lehtiö 2017, 19.)

5.2.1 Kunnossapitolajit

Kunnossapito on jaettu eri alalajeihin. Niillä voidaan seurata näiden lajien keskinäistä tehokkuutta sekä auttaa puntaroimaan syntyneiden kustannusten ja kuluneiden työtuntien määrää keskenään. Kuvio 1 havainnollistaa kunnossapitolajien jaon SFS-EN 13306 standardissa.



Kuvio 1. Jako kunnossapitolajeissa SFS-EN 13306 standardin mukaan (Järviö & Lehtiö 2017, 47).



Kuvio 2. Jako kunnossapitolajeista PSK 6201:2011 standardin mukaan (Järviö & Lehtiö 2017, 47).

Kuviossa 2 on havainnollistettuna, miten kunnossapitolajit jaetaan suunnitellun kunnossapidon ja häiriökorjausten välillä standardissa PSK 6201. Standardi PSK 6201 on täysin yhteneväinen ulkomailta käytettävän jaottelun kanssa, jossa se jaetaan reagoivaan ja proaktiiviseen kunnossapitoon (Järviö & Lehtiö 2017, 47).

6 Kuorimakoneen kunnossapito, huolto ja kuluminen

Kuorimalaitteen käyttö- ja huolto-ohje mahdollistavat oikein noudatettuna hyvän pohjan ehkäisevälle sekä korjaavalle kunnossapidolle. Kunnossapitotyöt on jaksotettu aikaväleittäin käynnin tai pysäytyksen aikana suoritettaviksi. Ohjeen mukaisesti suoritettuna voidaan helposti seurata ja pitää kirjaa laitteen kulumisesta, niin kulutusosien kuin muidenkin osien ja komponenttien osalta. Alla esitettynä säännöllisesti tehtävät kunnossapitotyöt.

Taulukko 1. Viikoittain suoritettavat kunnossapitotyöt.

Huoltotoimen kuvaus	Käyntitila	Tietoja
Tarkista moottorin ja alennusvaihteen kunto (lämpötila, värinä, melu). Jos moottorin tuulettimen siivekkeet ovat likaantuneet, puhdista ne.	Käydessä	Katso komponenttivalmistajan käyttöohjeet.
Kuuntele laakereiden käyntiääntä. Varmista että laakerit pyörivät tasaisesti ja että laakereista ei kuulu raapivia ääniä. Tarkista silmämääräisesti, että laakeripesissä ja tiivisteissä ei ole vaurioita.	Käydessä	Normaali käyntiääni, ei rahinaa.
Tarkista laakereiden lämpötilat.	Käydessä	Maks. noin 50 °C
Tarkista vaihteen, momenttituen ja moottorin kiinnitykset.	Käydessä	
Tarkista ettei kuorintarummun sisälle ole jäänyt kuorikeräymiä.	Käydessä	
Koesta hätäpysäytyspiirin toiminta.	Pysäytettynä	
Tarkista antureiden kiinnitykset.	Pysäytettynä	
Tarkista vaihteiden öljypinnan tasot.	Pysäytettynä	Katso voiteluohjeet.
Tarkista hydraulikoneikon ja hydraulisyntereiden kunto.	Käydessä / Pysäytettynä	Katso komponenttivalmistajan käyttöohjeet.

Taulukko 2. Joka toinen viikko suoritettavat kunnossapitotyöt.

Huoltotoimen kuvaus	Käyntitila	Tietoja
Tarkista kuorintahampaiden kuluminen.	Pysäytettynä	Hampaan paksuuden on oltava vähintään 32 mm. Terävien reunojen säteen Reunojen säde ei saa ylittää 5 mm. Kovahitsauksia ei saa päästää kulumaan kokonaan pois.
Tarkista kampalevyjen kuluminen.	Pysäytettynä	Kampalevyn reunojen säde ei saa ylittää arvoa 5 mm. Kovahitsauksia ei saa päästää kulumaan kokonaan pois.
Tarkista kiinnitysruuvien kireys.	Pysäytettynä	

Taulukko 3. Joka kolmas kuukausi suoritettavat kunnossapitotyöt.

Huoltotoimen kuvaus	Käyntitila	Tietoja
Rasvaa laakerit.	Käydessä	Katso voiteluohjeet.

Taulukko 4. Joka kuudes kuukausi suoritettavat kunnossapitotyöt.

Huoltotoimen kuvaus	Käyntitila	Tietoja
Valinnainen: Voitele sähkömoottoreiden laakerit joka kuudes kuukausi tai 4 000 käyttötunnin jälkeen.	Käydessä	Katso komponenttivalmistajan käyttöohjeet.
Vaihteen akseliholkkien voitelu tiivistepesän rasvanipoista.	Käydessä	Katso voiteluohjeet.

Taulukko 5. Vuosittain suoritettavat kunnossapitotyöt.

Huoltotoimen kuvaus	Käyntitila	Tietoja
Vaihda öljyt alennusvaihteisiin.	Pysäytettynä	Katso voiteluohjeet.
Tarkista kaikkien kulutusosien kunto: Kuorintahampaat, hampaan pitimet, kampalevyt, laakerit, hammaspyörät, tiivisteet, jne.	Pysäytettynä	
Tarkista hydraulikoneikon ja hydraulisyntereiden kunto.	Käydessä / Pysäytettynä	Katso komponenttivalmistajan käyttöohjeet.

6.1 Kuluminen RotoMaster-kuorimakoneessa

Kuluminen tapahtuu koneessa eri vaiheissa ja vaikuttaa osissa eri tavoin. Tämän vuoksi koneen eri osat tulee jakaa omiin ryhmiinsä, jotta voidaan määrittää tarvittavia toimia huoltavalle työlle oikea-aikaisesti. Oikealla jaolla ja oikeilla toimenpiteillä voidaan saavuttaa merkittävää taloudellista säästöä huolto- ja materiaalikustannuksissa. Koneen osat ovat yleisesti jaoteltavissa kulutusosiin, koneen osiin sekä kiinteisiin osiin.

6.1.1 Kulutusosat

Kulutusosat ovat keskeinen tekijä koneen elinkaarenhallinnassa. Kulutusosat nimensä mukaisesti ovat enemmän tai vähemmän suunniteltu kulumaan prosessin mukana, käyttötuntien lisääntyessä. Näillä osilla on usein fyysinen kontakti maan, väliaineen tai muun työstettävän kohteen kanssa. Niiden tarkoitus on pyrkiä lisäämään koneen kulutuskestävyyttä ja olla suojana muille koneen komponenteille, joiden vaurioitumisesta koituisi suurempaa ja suunnittelematonta haittaa. Kulutusosat suunnitellaan lähtökohtaisesti helposti vaihdettavaksi ja näiden osien käyttöikä koneessa on usein laskennallisesti kaikkein pienin. Kulutusosat altistuvat useissa tapauksissa adhesiiviselle

kulumiselle, joten nämä osat lähtökohtaisesti suunnitellaan kestävämmän kulutusta.

Kuorimalaitteen varsinaisiin kulutusosiin lukeutuvat kuorimahampaat, niiden pidikkeet sekä vastaterät. Näistä kuorimahampaiden ja vastaterien kunto on määritelty Taulukon 2 mukaisesti tarkastettavaksi joka toinen viikko.

Tarkastuksen perusteella tarpeen vaatiessa huoltamaan ne lisäämällä kovahitsiä. Kun kuluminen on edennyt korjauskelvottomalle tasolle, tulee vaihtaa kuluneet osat uusiin. Alla kuvassa näkyvillä kuorimahampaita, niiden pitimiä sekä kampaterät. Kuvan komponentit ovat käyttämättömiä, eikä kulumista ole vielä havaittavissa.



Kuva 16. Kuorimalaitteen kulutusosia (Master DeBarker huolto ja käyttöohje).

Kuorimahampaat ovat näistä tyypillisesti kuluvimmat osat ja vaativatkin kunnostusta paljon useammin kuin hampaan pidikkeet. Kuitenkin pitimen ohentuessa merkittävästi tai pitimen ja hampaan välisen kosketuspinnan vaurioituessa, on myös pidin vaihdettava. Uusi pidin kiinnitetään hitsaamalla se

roottorin runkoon vanhan pitimen tilalle. Pienemmät kuorta leikkaavat hampaat on kiinnitetty suoraan roottoriin hitsaamalla.

Kampaterän kuluessa kuorinta teho heikkenee. Näiden tarkastaminen ja kunnossapito on syytä tehdä huolella, koska suuren kokonsa vuoksi kampaterän vaihtaminen on työnä suurempi kuin yksittäisen hampaan vaihto. Huolto-ohjeita noudattamalla kampaterän elinkaari voidaan maksimoida, kun kovahitsien lisäämiset on tehty huolellisesti ja ohjeiden mukaisesti. Alla esitetyssä kuvassa 17 huoltokuntoinen kampaterä.



Kuva 17. Huoltoa vaativa kampaterä (Master DeBarker huolto ja käyttöohje).

Lisäksi ehkäisevää kunnossapitoa tehtäessä tulee kulutusosiin huomioida myös erilaiset tiivisteet, öljyt sekä värinää yms. ehkäisevät komponentit.

6.1.2 Koneenosat

Koneenosiin kuorimalaitteen osalta lukeutuu niin sanotut liikkuvat osat, joista suurin osa on esitettyä kuvassa 3. Kuvassa esitettyä mm. roottorit, laakeriyksiköt, vaihdemoottorit ja korkeussäädön hydraulisyylinterit. Näidenkin osien vaihto tai uusiminen tulee todennäköisesti ajankohtaiseksi jossain vaiheessa laitteen elinkaarta. Kuitenkaan näiden osien vaihto ei ole läheskään yhtä yleistä kuin kulutusosien uusiminen.

Koneenosien elinkaarta pyritään pitkittämään kunnossapidollisin toimin, kuten kulutusosia vaihtamalla. Halu kunnossapitää koneenosia johtuu usein niiden korkeasta hinnasta sekä pitkistä toimitusajoista. Lähtökohtaisesti laite tarvitsee toimiakseen suunnitellusti jokaisen koneenosan olevan kunnossa. Koneenosien rikkoutumisesta seuraa lähes aina suunnittelematon tuotantokatkos. Tuotantokatkoksien hinnaksi muodostuu usein suuret määrät tuotannonmenetyksiä.

6.1.3 Kiinteät osat

Kiinteiksi osiksi ajatellaan kiinteät liikkumattomat rakenteet, kuten kaikki runkorakenteet ja perustukset. Näiden osien kuluminen on lähtökohtaisesti hidasta sekä joskus riippumatonta prosessista. Kiinteitä rakenteita on kuitenkin tärkeää monitoroida, koska rikkoutuessaan voi aiheuttaa laajamittaista vahinkoa. Kuluman havaitseminen näissä rakenteissa on haastavaa sen hitaan ilmentyvyyden vuoksi. Hitaan ilmentyvyyden vuoksi ne ovat myös helposti unohdettavissa. Kiinteiden rakenteiden kulumistilannetta tulisikin seurata kausittaisen ja havainnoit raportoida kunnossapitojärjestelmään.

Kiinteissä osissa ilmenevät vauriot ovat usein seurausta väsymiskulumisesta, eli pitkäaikaisesta toistuvasta kuormituksesta tai rasituksesta johtuvaa kulumaa. Väsymiskuluminen saattaa ilmetä rakenteissa esimerkiksi hitsin tai materiaalin säröytymänä tai repeämisenä. Kiinteiden rakenteiden kulumisessa on usein myös mukana adhesiivinen kuluminen. Tämä voi ilmetä jopa rakenteen puhki

kulumisena. Kuorimalaitteen osalta myös iskukuluminen on huomioon otettava tekijä, koska suurien kuorittavien tukkien liike on joskus arvaamatonta. Korroosiokuluminen on myös vahvasti mukana osaltaan heikentämässä rakenteita.

7 Varaosadatan analysointi

Yksi työn keskeisimmistä tavoitteista oli ennustaa tulevaisuuden varaosa- ja huoltotarpeita. Tämä tehtiin tarkastelemalla varaosamyyntiä kuorimalaitteiden kesken ja analysoimalla kulutustrendejä. Myynti- sekä toimitushistoriadataa saatiin Lean System toiminnanohjausjärjestelmästä varaosamenekkiin perehtymistä varten. Lisäksi tutustuttiin kaikkiin alkuperäisen projektin ulkopuolella toimitettuihin varaosalähetysiin, sekä alkuperäisen projektin mukana toimitettuihin ensimmäisten vuosien varaosakokonaisuuksiin.

Tiettyjen kulutusosien menekin kohdalla oli huomattavissa kiihtymistä, kun laite oli ollut tuotannossa useamman ajokauden ajan. Yhtäkkisen kiihtymiseen oli havaittavissa kaksi vaikuttavaa tekijää. Tekijät olivat kulutusosien laskennallinen vaihtotarve, sekä projektivaiheessa toimitettujen varaosien loppuminen asiakkaan varastosta. Asiakkaalta saatiin vahvistus, että kyseinen tilastopiikki koostui suuremmasta varaosaerästä. Tällä varaosaerällä täytettiin varaston kapasiteettia, sekä valmistauduttiin kulutusosien vaihtoon ja huoltoon vuosihuollon yhteydessä.

Varaosadatan perustuen tehtiin huomion arvoinen havainto, miten Nitens eukalyptuslaji vaikutti kulutusosien menekkiin merkittävästi. Nitens eukalyptuslajilla kulutusosien menekki sekä kunnossapitotarve on korkeampi. Tästä syystä kuorimalinja vaatii huoltoseisokin myös suurempien vuosihuoltojen välissä. Näillä toimilla voidaan varmistaa kuorintalaadun taso sekä ehkäistä liiallista kulumista. Ilman huoltoseisokkeja, on riskinä osien kuluminen kunnostus kelvottomiksi. Tällöin ne on huollon sijaan korvattava uusilla osilla.

8 Tulokset

Elinkaarianalyysi RotoMaster-puunkuorimalaitteelle tehtiin tarkastelemalla eri osien kulutusta, varaosadatan perustuen ja tarkastelemalla niiden vaikutusta laitteen kokonaiskestävyyteen. Alla analyysi kulutusosien, koneenosien ja kiinteiden osien kulumisesta suhteessa laitteen elinkaareen.

Kulutusosat:

- varaosia kuten kuorimahampaat, niiden pidikkeet, kampaterät, laakerit jne., jotka vaativat säännöllistä huoltoa ja vaihtoa
- koska nämä osat ovat suorassa kosketuksessa käsiteltävän puun kanssa, niiden kulumisen nopeus on nopeampaa verrattuna muihin osiin
- varaosien vaihto on välttämätöntä, jotta laitteen suorituskyky säilyy optimaalisena
- varaosien kustannukset ja vaihtotarpeet voivat vaihdella käytön intensiteetin mukaan

Koneenosat

- koneenosat, kuten moottorit, vaihteistot ja hydraulikka, kokevat myös kulutusta, mutta yleensä hitaammin verrattuna kulutusosiin
- säännöllinen huolto ja kunnossapito voivat pidentää näiden osien käyttöikää
- huolimatta siitä, että nämä osat eivät kulu yhtä nopeasti kuin kulutusosat, niiden toimintahäiriöt voivat vaikuttaa merkittävästi laitteen toimintaan

Kiinteät osat

- kiinteät rakenteet, kuten rungot ja runkoon kiinnitetyt osat, kokevat vähiten kulutusta verrattuna muihin osiin
- Näiden osien kulumiseen vaikuttavat enemmän yleinen ikääntyminen, korrosio ja mahdolliset vauriot ulkoisista tekijöistä
- Huolto ja korjaukset näille osille voivat olla harvinaisempia verrattuna varaosiin ja koneosiin

Elinkaarianalyysin perusteella voitiin päätellä, että suurin huolenaihe on varaosien kulumisen. Kuluneet kulutusosat vaikuttavat suoraan laitteen suorituskykyyn ja tehokkuuteen. Koneenosien kulumisen hallinta ja kiinteiden rakenteiden ylläpito ovat myös tärkeitä, mutta niiden merkitys kokonaisuuden kannalta voi olla hieman vähäisempi. Säännöllinen huolto ja korjaustoimenpiteet kaikille osille ovat kuitenkin olennaisia varmistamaan laitteen pitkän käyttöiän ja optimaalisen toiminnan.

8.1 Lopputulos

Elinkaarianalyysin pohjalta voidaan ennustaa tulevien kohteiden varaosatarpeita takuuajana ja sen jälkeen. Tätä data- ja kokemuspohjaista tietoa voidaan hyödyntää, kun arvioidaan projektitoimituksien yhteydessä tarvittavaa varaosakokonaisuutta ja tulevaisuuden varaosamyyntiä. Lisäksi tällä voidaan perustella varaosatarpeen ajankohtaisuutta. Vaikka analyysistä saatiinkin suuntaa antavaa dataa näiden toimenpiteiden suorittamiseksi, on muistettava, että jokaisen kuorimalaitteen prosessi on yksilöllinen, niin ajo-olosuhteiltaan kuin käyttöasteeltaankin. Tämän vuoksi kulumisen onkin laitteilla ja niiden osilla jokseenkin yksilöllistä. Tarkkaa yleispätevää ennustamista onkin mahdotonta tehdä ainoastaan dataan perustuen. Onkin suositeltavaa suorittaa laitteelle kuntotarkastuksia operoinnin ja huoltoseisokin aikana, jotta voidaan paikantaa sovelluskohtaiset kulumisominaisuudet ja mahdolliset piilevät ongelmat. Näihin ongelmiin voisi oikea-aikaisella reagoinnilla olla mahdollista löytää ehkäisykeino tai ratkaisu. Elinkaarianalyysistä saatuja tuloksia voidaan käyttää tukemaan näitä havaintoja.

Lähteet

Burwell, J. & Strang, C. 1952. On the empirical law of adhesive wear, Journal of Applied Physics.

Bhushan, B. Davis, RE. Kolar, HR., 1985. Metallurgical Re-examination of Wear modes II: Adhesive and abrasive. Thin Solid Films.

DIN 50320. 1979. Wear; Terms, Systematic Analysis of Wear Processes, Classification of Wear Phenomena.

Errichello, R. 2013. Gear Surface Pitting Failure and Pitting Life Analysis, Encyclopedia of Tribology. SpringerReference.

Jahanmir, S., 1980. On the wear mechanisms and the wear equations, in Fundamentals of Tribology edited by Suh N. and Saka N., MIT Press, Cambridge.

Jeyaprakash, N. Yang, C. 2021. Tribology in Materials and Manufacturing - Wear, Friction and Lubrication, IntechOpen.

Järviö, J. & Lehtiö, T. 2012. Kunnossapito: tuotanto-omaisuuden hoitaminen. Helsinki: Copy-Set Oy.

Kivioja, S. Kivivuori, S. Salonen, P. 2007. Tribologia- kitka, kuluminen ja voitelu. 5. painos. Helsinki: Gaudeamus, Otatieto.

Mao K. 2007. Gear tooth contact analysis and its application in the reduction of fatigue wear. Wear. Volume 262, Issues 11–12. Elsevier.

Mikkonen, H. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito -käsikirja. Kerava: Savion Kirjapaino Oy.

Raumaster Oy. www-sivut. 2024. Vierailtu 12.2.2024. <https://www.raumaster.fi/>

SK 6201. 2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry.

SFS-EN 13306. 2010. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS.

Stachowiak, G. & Batchelor, A. 2014. Engineering Tribology, Fourth Edition. San Diego: Elsevier Scientific.

Swain, B. Bhuyan, S. Behera, R. Mohapatra, S. Behera, A., 2020. Wear: A Serious Problem in Industry, IntechOpen.