

Eetu Mustakangas

KAIVOSTEOLLISUUDEN METALLISTEN KULUTUSOSIEN KUNNOSSAPITO

KAIVOSTEOLLISUUDEN METALLISTEN KULUTUSOSIEN KUNNOSSAPITO

Eetu Mustakangas

Opinnäytetyö

Kevät 2013

Kone- ja tuotantotekniikka

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyön on tehnyt Eetu Mustakangas Telatek Service Oy:lle. Työn ohjaajina toimivat yrityksen puolelta kehitysinsinööri DI Olli Tuomivaara ja ammattikorkeakoulun puolelta työtä ohjasi lehtori Esa Törmälä.

22.4.2013

Eetu Mustakangas

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Eetu Mustakangas

Opinnäytetyön nimi: Kaivosteollisuuden metallisten kulutusosion kunnossapito

Työn ohjaajat: lehtori Esa Törmälä, DI Olli Tuomivaara

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2013

Sivumäärä: 44 + 3

liitettä

Tässä opinnäytetyössä on käyty läpi kaivosteollisuuden metallisten kulutusosien kunnossapitoa. Työn tavoitteena on ollut tarjota kaivosteollisuudessa työskenteleville tarpeellisia perustietoja kulutusosien kunnossapitoon. Työn toimeksiantajana toimi Telatek Service Oy ja työn lähteenä on käytetty kirjallisia lähteitä sekä haastatteluita.

Opinnäytetyöhön on tiivistetty metallisten kulutusosien kunnossapitoon liittyen perustietoja kaivostoiminnasta, kulumismekanismeista, kunnossapitomenetelmistä, kunnossapito teknologioista sekä laadittu lyhyet ohjeet kulutusmekanismien tunnistamiseen ja kulutuksen seurantaan.

Yhteenvedon aiheesta on, että kaivosteollisuus ja sen kunnossapito ovat nopeasti kasvavia toimialoja ja kaivosten metalliset kulutusosat toimivat erittäin vaativassa ympäristössä. Parhaat lopputulokset vaativissa kohteissa saadaan käytettäessä kohteeseen räätälöityjä osia ja materiaaleja.

Asiasanat: kaivosteollisuus, kulutusosat, kunnossapito, mekaaninen, kulumismekanismi

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering

Author: Eetu Mustakangas

Title of thesis: The Maintenance of Metal Wear Parts in Mining Industry

Supervisors: Esa Törmälä, Olli Tuomivaara

Term and year of completion: spring 2013

Number of pages: 44 + 3appendices

This bachelors thesis is the about maintenance of metallic wear parts in mining industry. The aim of this thesis was to offer basic knowledge of the maintenance of wear parts for those who work in mining industry. Thesis was made for Telatek and sources for this thesis have been literature and interviews.

In this thesis I have included basic information about the maintenance of metallic wear parts, mining, wear mechanisms and maintenance, have created the short instructions on how to identify a wear mechanism and how to monitor the wear of the parts.

The summary of this thesis is that mining and the maintenance of mining industry are both growing industries and the metallic wear parts in mining industry are working in a very challenging environment. Thus the best results in tough environments are achieved by using specially designed wear parts and materials for those conditions.

Keywords: mining, wear parts, maintenance, mechanical, wear

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
1.1 Telatek Service Oy	7
1.2 Kaivosteollisuus Suomessa	7
2 KAIVOKSET KUNNOSSAPIDON TOIMINTAYMPÄRISTÖNÄ	9
2.1 Kaivosprosessi	9
2.2 Louhinta	9
2.2.1 Avolouhinta	10
2.2.2 Maanalainen louhinta	11
2.3 Murskausprosessi	11
2.4 Murskaamot	12
2.5 Jauhatus	13
2.6 Rikastus	14
2.6.2 Ominaispaineerotus	15
2.6.1 Vaahdotus	15
2.6.3 Liotusmenetelmät	15
2.6.4 Magneettierotus	16
3 KULUMISMEKANISMIT	18
3.1 Abrasiivinen kuluminen	18
3.2 Korroosio	19
3.3 Väsymiskuluminen	20
3.4 Iskukuluminen	21
4 KUNNOSSAPITOTEKNOLOGIAT	22
4.1 Lastuavat menetelmät	22
4.1.1 Esikoneistus	22
4.1.2 Loppukoneistus	23
4.1.3 Hionta	23

4.2 Korjaushitsaus	23
4.2.1 Kovahitsaus	24
4.2.2 Hitsausmenetelmät	25
4.2.3 Hitsauslisäaineen valinta	26
4.2.4 Perusaineen vaikutus hitsaukseen ja lämpökäsittelyt	27
4.3 Terminen ruiskutus	29
4.3.1 Termisen ruiskutuksen lisäaineen valinta	30
4.3.2 Termisen ruiskutuksen ja hitsauksen vertailua	31
5. KUNNOSSAPITOTEKNOLOGIOIDEN SOVELLUKSET	33
5.1 Ennakoiva kunnossapito	33
5.2 Korjaava kunnossapito	34
5.3 Parantava kunnossapito	34
5.4 Kustannusten muodostuminen kunnossapidossa	35
6 CASE-ESIMERKKEJÄ	36
6.1 Esimurskaimen kunnossapito: epäkesko karamurskain	36
6.1.1 Rungon kunnossapito	37
6.1.2 Murskaimen kara-akselin kunnossapito	37
6.1.3 Kulutusosien kunnossapito	38
6.1.4 Vaihteen kunnossapito	38
6.2 Kulutuslevyn parantava kunnossapito	39
6.2.1 Alkuperäiset kulutuslevyt	39
6.2.2 Vaihtoehto 1: kulusteräs + mangaaniseosteinen lisäaine	39
6.2.3 Vaihtoehto 2: rakenneteräs + mangaaniseosteinen lisäaine	40
6.2.4 Vaihtoehto 3: rakenneteräs + karbidiseosteinen lisäaine	41
7 YHTEENVETO	42
LÄHTEET	44
LIITE 1. KULUMISMEKANISMIEN TUNNISTAMINEN	
LIITE 2. KULUSTUSOSIEN KULUMISEN SEURANTA	
LIITE 3. KULUSTUSOSIEN KULUMISEN SEURANTATAULUKKO	

1 JOHDANTO

Tämän työn on laatinut Eetu Mustakangas tutkimuksena Telatek Service Oy:lle. Työn tavoitteena on tutkia ja koota kaivosteollisuuden metallisten kulutusosien kunnossapitoon liittyvät keskeiset asiat ja antaa kaivosteollisuuden kulutusosien parissa työskentelevälle henkilölle tarvittava pohjatieto kunnossapidon kannalta oleellisiin seikkoihin. Työssä käydään läpi kaivosteollisuutta kulutusosien toimintaympäristönä, kulutusosiin vaikuttavia yleisimpiä kulumismekanismeja, kunnossapitoteknologioita ja niiden sovelluksia.

1.1 Telatek Service Oy

Telatek Service Oy on vuonna 1977 perustettu kotimainen asennus-, kunnossapito-, laadunvarmistus ja konepajapalveluiden tuottaja. Yritys on erikoistunut suurten kappaleiden valmistukseen ja korjaukseen sekä paikan päällä tapahtuvaan kunnossapitoon, laadunvalvontaan ja laite- sekä koneasennuksiin. Telatek Service Oy:llä on runsaasti kokemusta kaivostoiminnan kulutusosien valmistuksesta ja kunnossapidosta.

1.2 Kaivosteollisuus Suomessa

Kansainväliset kaivosyhtiöt hakeutuvat sinne, missä ovat parhaat geologiset mahdollisuudet ja kaivosteollisuudelle suotuisa sosioekonominen ympäristö. Kansainvälisten arvioiden mukaan Suomi tarjoaa malminetsinnälle ja kaivostoiminnalle hyvän toimintaympäristön. Suomessa on monipuolinen mineraalipotentiali, kehittynyt infrastruktuuri, suotuisa lainsäädäntö ja vakaa toimintaympäristö. Tulevaisuudessa monimutkaistuva lainsäädäntö, lupaprosessien venyminen ja lisääntyvät maankäytön rajoitukset voivat hankaloittaa kaivostoiminnan aloittamista Suomessa. (Suomen mineraalistrategia 2010, 14.)

Suomessa toimi 12 metallimalmikaivosta vuonna 2012, kun lasketaan mukaan tuotannon ylösajovaiheessa olevat kaivokset. Teollisuusmineraaleja louhivat kaivokset mukaan luettuna kaivoslain alaisia kaivoksia oli 52 vuonna 2011. (Aaltonen, Alapassi, Karhula, Karhunen, Korhonen, Loukola-Ruskeeniemi, Nybergh, Peltonen & Uusisuo 2012, 6.)

Tällä hetkellä on valmisteilla noin 10 - 15 merkittävää uuden kaivoksen käynnistämistä tai jo toiminnassa olevan kaivoksen laajennusta. Rakentamiset painottuisivat vuosille 2013 - 2017, ja hankkeiden investointien on arvioitu olevan yli neljä miljardia euroa. (Aaltonen ym. 2012, 14.)

Malminetsintään erikoistuneita yhtiöitä Suomessa toimii noin 40. Vuonna 2011 malminetsintään investoitiin noin 81 miljoonaa euroa. (Aaltone, ym. 2012, 16.)

Metallimalmien louhinnan liikevaihto on tällä hetkellä vahvassa kasvussa. Vuonna 2006 metallimalmien louhinnasta kertynyt liikevaihto oli noin 120 miljoonaa euroa, ja sen odotetaan kasvavan 2,5 miljardiin euroon 2015 vuoteen mennessä. Kaivostoiminnan kasvun suora ja lisävaikutusten tuotosvaikutus kansantalouteen lisääntyy yli 2,5 miljardilla eurolla vuodessa. Vuonna 2012 kaivoksilla työskenteli 4 100 henkilöä, ja aikavälillä 2013 - 2022 alalle ennustetaan syntyvän noin 5 600 uutta työpaikkaa, joten alalla on suuri työllistävä vaikutus Suomessa nyt ja lähitulevaisuudessa. (Aaltonen ym. 2012, 30,34.)

2 KAIVOKSET KUNNOSSAPIDON TOIMINTAYMPÄRISTÖNÄ

Tässä luvussa käydään läpi kaivosteollisuuden louhinta- ja rikastusprosessia. Kunnossapitokustannukset ovat yleensä 30 - 50 % kaivoksen kokonaiskäyttökustannuksista. (Krellis & Singleton 1998, 1). Kaivoksen toimintaprosessista riippuen kunnossapitokustannukset vaihtelevat huomattavasti. Esimerkiksi Talvivaaran kunnossapito kustannusten arvioitiin olevan noin 17 % kokonaistuotantokustannuksista. (Uusisuo 2012, 71)

2.1 Kaivosprosessi

Kaivostoiminta sisältää karkeasti jaoteltuna neljä päävaihetta: malminetsinnän, kaivoksen rakentamisen, tuotannon ja jälkihoidon. Kaivostoiminnan kannattavuus on voimakkaasti sidoksissa taloudellisiin suhdanteisiin. (Kauppila, Räisänen & Myllyoja, 2011, 12.)

Malminetsintävaihe voi kestää vuosia tai jopa vuosikymmeniä ennen varsinaisen kaivoksen rakentamista. Myös tuotantovaiheen pituudet vaihtelevat voimakkaasti riippuen esimerkiksi malmiesiintymän koosta, laadusta ja louhintatekniikasta sekä louhittavien arvoaineiden markkinahinnoista. Hyödyntämiskelpoisen malmin ehtyessä kaivosalue suljetaan ja saatetaan jälkihoidolla ympäristölle ja ihmisten terveydelle haitattomaan kuntoon. Kaivoksen sulkemisen jälkeen voidaan alueella suorittaa jälkiseurantaa vuosia tai vuosikymmeniä toiminnan päättymisen jälkeen. (Kauppila ym. 2011, 12.)

2.2 Louhinta

Louhintamenetelmä vaikuttaa oleellisesti malmiesiintymän tehokkaaseen hyödyntämiseen ja kaivoksen kannattavuuteen. Louhinta suoritetaan avolouhintana tai maanalaisena louhintana. Optimisyvyys avolouhokselle määritetään aina tapauskohtaisesti. Arviointi perusteena ovat sivukivi-malmisuhde, louhintakustannukset, malmin talteensaanti ja sivukivilaimennus erityisesti maanalaisessa louhinnassa. Kun maanalainen louhinta arvioidaan kannattavaksi, louhinta aloitetaan avolouhintana ja maanalaiseen louhintaan siirrytään asteittain avolouhinnan vielä

ollessa käynnissä. Näin turvataan malmin tasainen saanti siirtymävaiheessa. (Hakapää & Lappalainen 2011, 100.)

2.2.1 Avolouhinta

Pinnan läheisyydessä oleva malmi louhitaan yleensä avolouhintana, koska avolouhinnan kustannukset voivat jäädä jopa kymmenesosaan maanalaisen louhinnan kustannuksista. Tuotantoon päästään avolouhinnassa nopeasti ja malmi saadaan talteen tarkasti. (Hakapää & Lappalainen 2011, 92 - 93, 100.)

Avolouhinta aloitetaan paljastamalla kallionpinta riittävän laajalta alueelta. Räjyttämällä suoritettu pengerlouhinta on pohjoismaiden yleisin avolouhintamenetelmä. Pengerlouhinnassa suoritetaan seuraavaksi tason avaus. Kallioon louhitaan luiska, ja kun tämä luista saavuttaa pohjatason, alkaa varsinainen louhinta sen laajentamisesta. Kun ensimmäistä tasoa on louhittu tarpeeksi, suoritetaan seuraavan tason avaus. Kaukalomaisen avolouhoksen seinämien on oltava kalteva, joten mitä syvemmälle avolouhosta jatketaan, sitä enemmän malmin ympäriltä joudutaan louhimaan myös sivukiveä. (Hakapää & Lappalainen, 2011, 92 - 93, 100.) Kuvio 1 on Kittilän louhoselta.

KUVIO 1. Kittilän louhos (Yle, Hakupäivä 22.04.2013)



2.2.2 Maanalainen louhinta

Maanalaisen louhinnan kustannukset ovat yleensä avolouhintaa suuremmat, mutta koska sivukiveä syntyy vähemmän ja ympäristövaikutukset ovat pienemmät, voi maanalainen louhinta olla kannattavampaa erityisesti kapeissa malmeissa. Maanalaisen louhintamenetelmän valintaan vaikuttavat menetelmän työturvallisuus, tuotantovarmuus, malmigeometria, kallionlaatu ja jännitystilat, malmin arvo ja kustannukset, ympäristövaikutukset sekä käytettävissä oleva kalusto. Maanalaiset louhintamenetelmät jaetaan yleensä tukemistarpeen mukaan kolmeen päätyyppiin: avoimet menetelmät, täyttömenetelmät ja sorrosmenetelmät. (Hakapää & Lappalainen, 2011, 100 - 102.)

Avoimissa menetelmissä louhokset pidetään avoimina pääasiassa luonnollisentuen, malmitukipilareiden ja holvimuotoisen louhoskaton avulla. Täyttömenetelmissä louhostilat tuetaan louhinnan yhteydessä keinotekoisesti louhostäytön avulla, jotta louhos pysyy turvallisena. Sorrosmenetelmissä louhosten katto sorretaan tarkoituksellisesti, kun malmi on saatu talteen. Tällöin tyhjää louhostilaa ei synny lainkaan. Käytännössä yleensä jokaisella louhoksella käytetään useaa louhintamenetelmää yhtä aikaa tai niiden yhdistelmiä. (Hakapää & Lappalainen, 2011, 101 - 102.)

2.3 Murskausprosessi

Louhinnan jälkeen louhe murskataan jatkokäsittelyä varten. Kivi murskataan joko puristamalla tai iskulla. Oikea murskaustapa riippuu kivityypistä. Yleensä kova kivi murskataan puristamalla ja pehmeä kivi iskemällä, mutta poikkeuksiakin on. Puristusmurskauksessa kivi puristetaan kahden pinnan väliin, kunnes se murtuu. Iskumurskauksessa pyörivä vasara hajottaa kiven iskuilla. (Hakapää & Lappalainen, 2011, 197 - 198.)

Haluttu kappalekoko saavutetaan tavallisesti 2 - 3 murskausvaiheessa. Murskausvaiheet ovat esimurskaus, välimurskaus ja hienomurskaus. Eri murskausvaiheet muodostavat murskauspiirin, johon kuuluu murskaimia ja seuloja, jotka erottavat erikokoiset kiviainekset. (Hakapää & Lappalainen, 2011, 198.)

Esimurskauksen tarkoituksena on saada kappalekoko niin pieneksi, että sitä voidaan jatkokäsitellä tai kuljettaa hihnalla tai nostokuilussa. Esimurskain on tyypillisesti leukamurskain tai karamurskain. Välimurskauksessa tuotetaan karkeituotteita tai valmistellaan materiaali hienomurskausta varten. Välimurskaukseen käytetään usein kartiomurskaimia niiden korkean kapasiteetin ja matalien käyttökulujen vuoksi. Hienomurskauksessa materiaali saavuttaa lopullisen kokonsa ja muotonsa. Kaivosteollisuudessa hienomurskauksen vaatimukset koskevat yleensä kapasiteettia ja raekokoja. Hienomurskauksessa käytetään kartio- ja iskumurskaimia. Laitteiston valinnassa on otettava huomioon murskattavan materiaalin kuluttavuus ja murskattavuus sekä tavoiteltu raekoko. (Hakapää & Lappalainen, 2011, 198 - 199.)

2.4 Murskaamot

Murskaamot koostuvat syöttimistä, murskaimista, seuloista, kuljetusjärjestelmistä ja siloista. Laitteistoja valintaan vaikuttavat kiven laatu, materiaalin määrä, tuotevaatimukset ja murskausprosessi. (Hakapää & Lappalainen, 2011, 199.) Taulukossa 2 on erätien Suomen tunnetuimpien kaivosten murskaus- ja seulontapiirejä.

TAULUKKO 1. Murskauspiirit (Kauppila & Räisänen, 2011)

Kaivos/tuotantolaitos	Murskaus ja seulonta
Kemin kaivos	3-vaiheinen murskaus, joista 1. vaihe maan alla (karamurskain), 2. vaihe avoimena piirinä (STD-kartiomurskain) ja 3. vaihe avoimena piirinä (SH-kartiomurskain)
Kittilän kaivos	1-vaiheinen murskaus maan pinnalla (leukamurskain)
Pyhäsalmen kaivos	1-vaiheinen murskaus maan alla (leukamurskain), seulonta kolmeen raeluokkaan maan päällä, tarvittaessa jakeiden lisämurskaus seulonnan / jauhatuksen yhteydessä (kartiomurskain)
Talvivaaran kaivos	Esimurskaus karamurskaimella, kuljetus välivarastoon, 3-vaiheinen hienomurskaus kartiomurskaimilla, joista kaksi viimeistä vaihetta suljetussa piirissä seulakoneiden kanssa, murskatun tuotteen raekoko 80 % alle 8 mm
Sastamalan rikastamo	3-vaiheinen murskaus: 1. vaihe leukamurskain, 2. vaihe karamurskain ja 3. vaihe kartiomurskain, jotka toimivat avoimena, lisäksi piirissä täryseula, joka erottelee valmiin hienon tuotteen jauhatukseen
Lahnaslammen kaivos	2-vaiheinen murskaus, esimurskaus leukamurskaimella, toisessa vaiheessa iskupalkkimurskain

Syöttimen tarkoitus on syöttää materiaalia murskaimeen, seulaan tai hihnakuuljettimelle. Kaivoksissa käytetään yleensä lamelli-, täry-, pöytä- ja hihnasyöttimiä. Murskaimet luokitellaan toimintaperiaatteensa mukaan puristusmurskaimiin ja iskumurskaimiin. Leukamurskaimet, kartiomurskaimet, karamurskaimet ja valssimurskaimet ovat puristusmurskaimia. Iskumurskaimia ovat iskupalkkimurskaimet ja vasaramyllyt. Seuloilla erotetaan liian hieno tai liian suuret kappaleet ennen murskaimia. Kuljetusjärjestelmät koostuvat pääasiassa hihnakuuljettimista. (Hakapää & Lappalainen, 2011, 199, 200, 204 - 205.)

2.5 Jauhatus

Jauhatusprosessissa rikotaan malmi niin pieniksi hiukkasiksi, että malmin sisältämät arvomineraalit esiintyvät riittävän puhtaina itsenäisinä rakeina, jotta ne voidaan erottaa sivukivirakeista rikastusprosessissa. (Kauppila & Räisänen 2011, 24.)

Malmin jauhatuksessa käytetään kuula- ja tankomyllyjä. Jauhatuspiirissä voi olla yksi tai useampia myllyjä. Ne ovat pyöriä lieriöitä, joissa käytetään jauhinkappaleina terästankoja tai kuulia. Jauhatus voidaan suorittaa kuivana tai märkänä. Metallimalmikaivoksilla jauhetaan yleensä vesilietteessä. (Teräskirja 2009, 15.) Malmin jauhatukseen voidaan käyttää myös autogeenisiä myllyjä, joissa erikokoiset malmin kappaleet jauhautuvat keskenään vuoratun myllyn sisällä. Kuviossa 2 on Laivan kaivoksella käytössä olevat autogeeniset myllyt.

KUVIO 2. Laivan kaivoksen jauhatusmyllyt. (Nordic Mines, Hakupäivä 22.04.2013)



Jauhatuspiiriin voi olla kytkettynä myös karkeavaahdotuskoneita, ominaispainoerottimia tai magneettierottimia, joilla erotetaan luokituslaitteen palauttamasta kiertokuormasta arvomineraalien karkeita kappaleita. Jauhatusta on paljon energiaa kuluttava vaihe malminkäsittelyprosessissa. Tämän vuoksi jauhatusprosessin optimointi on tärkeä osa kannattavaa kaivostoimintaa. (Kauppila & Räisänen, 2011 24.) Taulukossa 2 on muutamia Suomessa käytössä olevia jauhatuspiirejä vaiheittain esitettynä.

TAULUKKO 2. Jauhatuspiirit (Kauppila & Räisänen 2011)

Kaivos/tuotantolaitos	Jauhatuspiiri
Kemin kaivos	1.vaihe: tankomylly avoimessa piirissä
	2. vaihe: kuulamyly suljetussa piirissä luokittimena toimivien Derrick-seulojen kanssa
Kittilän kaivos	1-vaiheinen jauhatusta SAG myllyllä, joka on kytketty suljettuun piiriin sykloniluokittimen kanssa
Pyhäsalmen kaivos	1. vaihe: lohkaremyly (SAG) lohkarit + kuulat (100 mm)
	2. vaihe: 3 palamyly (AUTOG), tarvittaessa kuulia (60 mm)
	3. vaihe: kuulamyly (kuulat 30 mm)
	2. ja 3. vaihe suljetussa piirissä sykloniluokittimen kanssa
	Jauhatushienous: 65 % < 0,074 mm.
Talvivaaran kaivos	Varsinaista jauhatusvaihetta ei ole, malmi menee murskauksen ja seulonnan jälkeen kasaliuotukseen
Sastamalan rikastamo	1. vaihe: tankomyly
	2. vaihe: kuulamyly (kuulat 40 mm) suljetussa piirissä syklonin kanssa
	Ominaispainopiiri kiertokuorman käsittelyyn (Raichertin kartio, spiraaliluokittimet sekä kaksi tärypöytää)
	Vaahdotuksen syötteen jauhatushienous: 75 % < 0,074 mm
Sotkamon kaivos	Yksivaiheinen kuulajauhatusta suljettuna sykloniluokittimen kanssa.

2.6 Rikastus

Rikastuksessa malmin arvomineraalit erotetaan arvottomasta sivukivistä. Metallimalmikaivoksilla yleisesti käytettyjä rikastusmenetelmiä ovat vaahdotus, ominaispainorikastus, magneettinen rikastus ja liuotusmenetelmät. Menetelmiä voidaan käyttää erillisinä yksittäisinä käsittelymenetelminä, mutta usein eri menetelmiä yhdistetään keskenään. (Kauppila, & Räisänen 2011, 26.)

2.6.2 Ominaispainoerotus

Ominaispainoerotusta voidaan käyttää malmeilla, kun arvomineraalin ominaispaino on huomattavasti suurempi kuin arvottomien mineraalien ominaispaino. Esimerkiksi kulta- ja kromimalmeihin voidaan soveltaa ominaispainoerotusta, mutta kultamalmeihin vain kullan esiintyessä riittävän karkeina rakeina. Yleisin ominaispainoerotusmenetelmä on raskasväliaineerotus. Menetelmässä malmi lisätään raskaaseen väliaineeseen, jossa painavat arvomineraalit vajoavat pohjalle ja kevyt sivukivi nousee pintaa. (Kauppila & Räisänen 2011, 28.)

2.6.1 Vaahdotus

Sulfidimineraalit rikastetaan yleensä vaahdotuksella. Malmilietteeseen lisätään kemikaaleja sekä lietteen sähkökemiallisten olosuhteiden säätämiseksi että mineraalipintojen muuttamiseksi sellaisiksi, että mineraalirakenteet saadaan tarttumaan ilmakupliin ja nousemaan niiden mukana lietteen pintaan. Vaahdotuskoneissa liete sekoitetaan ja lietteeseen syötetään ilmaa mahdollisimman pieninä kuplina. Vaahdotuspiiri koostuu useammasta erikokoisesta vaahdotuskoneesta, jotta varmistetaan riittävä saanti ja lopullisen rikasteen puhtaus. (Kauppila & Räisänen 2011, 26, 27.)

2.6.3 Liotusmenetelmät

Liuotuksessa arvomineraali erotetaan malmista liuottimilla. Liuotusmenetelmää käytetään yleensä helposti liukenevilla malmeilla tai mineralogisesti vaikeammin rikastettavien malmien käsittelyssä. Syanidia käytetään arvometallien saannin parantamiseen mm. kullan rikastusprosessissa. Liuotuksessa voidaan käyttää myös erilaisia happoja tai liuotus voi perustua bakteeritoimintaa. Metallimalmien liuotuksessa käytetään tankki- ja kasaliuotusta. (Kauppila & Räisänen 2011, 29.)
Kuviossa 3 on Laivan kaivoksen liuotusastioita.

KUVIO 3. Laivan kaivoksen liuotusastiat. (Nordic Mines, Hakupäivä 22.04.2013)



2.6.4 Magneettierotus

Magneettierotuksessa käytetään hyväksi mineraalien erilaisia magneettisia ominaisuuksia. Magneettierotusta käytetään yleensä rauta- ja kromimalmien käsittelyssä, mutta sitä voidaan myös soveltaa osana muuta rikastusprosessia. Magneettierotus voidaan tehdä joko märkäerotuksena lietteessä tai kuivana. (Kauppila & Räsänen 2011, 31.)

Taulukossa 3 on esimerkkejä muutaman suomalaisen kaivoksen rikastusmenetelmistä rikastettavista tuotteista ja niiden kokonaissaantiprosentit.

TAULUKKO 3. Rikastusmenetelmät (Kauppila & Räsänen 2011)

Kaivos/tuotantolaitos	Rikastusmenetelmä	Tuotteet	Kok. saanti %
Kemin kaivos	Ominaispainoerotus	Kromirikasteet (Cr_2O_3)	75
		Palarikaste (36 % Cr_2O_3)	
		Hienorikaste (44,2 % Cr_2O_3)	
Kittilän kaivos	Vaahdotus, painehapetus, CN-liuotus ja elektrolyysi	Au metalliharkot (Au 92–95 %)	84–88
Pyhäsalmen kaivos	Vaahdotus	Cu-rikaste (29 % Cu)	95–96
		Zn-rikaste (54 % Zn)	92–93
		S-rikaste (52 % S)	n. 50
Talvivaaran kaivos	Bakteeriliuotus ja metallien saostus kemiallisesti	NiS (sakka)	n. 80
		ZnS (sakka)	
Sastamalan rikastamo	Ominaispainoerotus ja vaahdotus	Au-rikaste/vaahdotus (150–200 g/t Au) Au-rikaste/tärypöytä (n. 80 % Au)	80–85
Lahnaslammen kaivos	Vaahdotus	Ni-rikaste (8 % Ni)	58

3 KULUMISMEKANISMIT

Kuluminen tapahtuu usein useamman eri kulumismekanismien yhteisvaikutuksena. Yleensä on kuitenkin selvitettävissä eniten kuluttava mekanismi ja pyrittävä ehkäisemään se. Seuraavassa käydään läpi kaivosteollisuudessa kulutusosiin vaikuttavia yleisimpiä kulutusmekanismeja.

3.1 Abrasiivinen kuluminen

Abrasiivisessa eli hankaavassa kulumisessa kovat partikkelit hiovat metallipintaa, jolloin pinnasta irtoaa ainetta. (ESAB 2012, 8) Kaivosteollisuudessa yleisiä abraasion esiintymismuotoja ovat kovertava kuluminen, hiova kuluminen ja naarmuttava kuluminen. Kovertavaa kulumista esiintyy suurilla kappaleilla, ja siinä iskumaiset ja puristuskuormitukset ovat suuria. Hiova kuluminen tapahtuu pienemmillä kappaleilla, joihin vaikuttavat suuret puristuskuormitukset. Naarmuttavaa kuluminen on, kun puristuskuormitusta ei ole mutta materiaali liukuu kulutusosan pintaa vasten. Esimurskauksessa kuluminen on lähinnä kovertavaa, mutta hienomurskausta lähestyessä hioutumisen osuus kasvaa. (Metso 2011, 3.) Kuviossa 4 on abrasiivista kulumista ruuvikuljettimessa.

KUVIO 4. Abrasiivista kulumista (Reiloy USA. Hakupäivä 4.4.2013)



Eri metalliparien kulumiskestävyys riippuu niiden kovuuksien suhteesta H_m / H_a . H_m on täysin muokkauslujittuneen metallin kovuus ja H_a on abrasiivisen pinna kovuus. Abraasiokulumisen on

voimakasta, kun $H_m / H_a < 0,8$. Kovemman metallin tai pehmeämmän abrasiivin ollessa kyseessä on $H_m / H_a > 0,8$, jolloin ollaan lievän abraasiokulumisen alueella. Kun H_m / H_a -arvo on suurempi kuin 1, loppuu metallipinnan kulumisen kokonaan. Tämä johtuu siitä, että hionta-aineilla on yleensä pienempi kimmokerroin kuin metalleilla, jolloin elastinen muodonmuutos mahdollistaa metalleille suuremman pinta-alan ja siten pienemmän paineen. Tämän perusteella abrasiivinen kulumisen riippuu erityisesti lujuuden ja kimmomoduulin suhteesta. (Kivioja ym. 2007, 109 - 110.) Abraasiota tapahtuu mm. kaivutyössä ja mineraalien siirrossa. (Seppälä, B1.4.)

3.2 Korroosio

Korroosion seurauksena materiaalia liukenee kappaleesta ympäristöön tai kappale reagoi ympäristönsä kanssa ja muodostaa kiinteitä korroosiotuotteita. Tämän seurauksena kappaleen käyttötarkoituksen kannalta tärkeät ominaisuudet kärsivät. Esimerkiksi kappaleessa voi tapahtua painohäviötä ja pinnanlaadun heikkenemistä. Korroosion kolme päätyyppiä ovat kemiallinen korroosio, sähkökemiallinen korroosio ja korkean lämpötilan korroosio. (Törmälä 2013, 3.)

Kulumisen voi olla tasaista tai paikallista. Korroosiota vastaan käytetään yleensä erilaisia ruostumattomia teräksiä, jotka on seostettu kromilla, sekä mahdollisesti myös nikkelillä ja molybdeenilla. (ESAB 2012, 8.) Erilaisia paikallisia korroosion muotoja on monesti vaikea ennustaa ja parhaat tulokset saadaan yleensä eri vaihtoehtoja kokeilemalla. (Seppälä 2007, B1.4)

Kuviossa 5 on voimakkaan korroosion kuluttaman putken leikkaus ja kiinteää korroosiotuotetta eli tässä tapauksessa ruostetta.



3.3 Väsymiskuluminen

Kun kuluminen ei selvästi ole abrasiivista- tai adhesiivistakulumista, on yleensä kyse pintakerroksen väsymisestä. Kulumispartikkeli voi syntyä tykyttävästä tai pitkäaikaisen vaihtelevan rasituksen seurauksena. Kappaleen pinnankarheuden ulokkeen uudelleen muokkautuessa plastisesti monta kertaa peräkkäin voi siitä irrota kulumispartikkeli. Tämä ilmiö on kulumisväsymistä. (Kivioja ym. 2007, 113.)

Väsymismurtuma alkaa murtumissäröstä, jonka läheisyyteen syntyy toistuvan rasituksen seurauksena jännityskenttä. Murtuma etenee rasituksen jatkuessa, kunnes partikkeli irtoaa. (Kivioja ym. 2007, 113.) Kuviossa 6 on väsymiskulumisesta seurannutta säröilyä SAG-myllyssä.

KUVA 6. Väsymisestä aiheutunut särö SAG-myllyssä (Ultroninc. Hakupäivä 4.4.2013)



3.4 Iskukuluminen

Iskumaisessa kuormituksessa kulutuskappaleen pinta voi menettää muotonsa tai murtua paikallisesti iskujen tai suuren paineen voimasta. Iskumaista kulumista tapahtuu erityisesti murskauksessa, jossa on samanaikaisesti myös kulumiskestävyyttä vaativaa hienojen partikkeleiden välistä abraasiota. (ESAB 2012, 3-3.)

Iskumaisessa kulumisessa tapahtuma on aina hyvin nopea, joten koskettavien materiaalien sitkeys on keskeisessä osassa kulumisen voimakkuudessa. Myös lämmön nousu on voimakasta iskukohdassa, koska lämpö ei ehdi johtua pois iskukohdasta. Iskumaiseen kulumiseen liittyy aina plastisia muodonmuutoksia. (Kivioja ym. 2007, 115.)

4 KUNNOSSAPITOTEKNOLOGIAT

Tässä luvussa käydään läpi muutamia kaivosteollisuuden mekaanisten kulutusosien kunnossapitoon käytettäviä teknologioita. Täyttöhitsaus, lämpökäsittelyt ja koneistus ovat oleellinen osa kulutusosien valmistamista sekä kunnossapitoa.

Pinnoitusten merkitys on kasvanut tärkeäksi osaksi teollisuuden kunnossapitoa, koska teollisuudessa tavoitellaan entistä parempaa energiatehokkuutta ja laitoksille sekä rakennelmille tavoitellaan entistä pitempää käyttöikää. (Kuroda, Kawakita, Watanabe&Katanoda, 2008, 1.) Pinnoitusmenetelmistä käsitellään kovahitsaus ja terminen ruiskutus.

4.1 Lastuavat menetelmät

Oleellinen osa metallisten kulutusosien valmistamista ja kunnossapitoa on niiden koneistaminen. Koneistaminen on yleensä lastuavaa työstöä kuten sorvaamista, jyrsimistä, poraamista tai hiomista. Tarkat koneistukset suoritetaan yleensä konepajoilla kiinteillä laitteilla, mutta myös on-site koneistus voi olla kannattava vaihtoehto vaikeasti liikuteltavia tai purettavia kappaleita koneistettaessa.

4.1.1 Esikoneistus

Esikoneistuksella kappale työstetään sellaisiin mittoihin, että se on valmis seuraaviin työvaiheisiin. Kappaleiden onnistunut hitsaaminen voi vaatia viisteiden tekemistä. Pinnoittaminen voi vaatia kappaleen alikoneistamisen, jotta kappale ei kasva pinnoittaessa liian suureksi. Pinnoitteet on pinnoitettava puhtaalle pinnalle epäpuhtauksien välttämiseksi hitsisulassa tai mekaanisen pinnoitteen alla. Tasainen pinta myös mahdollistaa tasaisen pinnoitteen.

4.1.2 Loppukoneistus

Viimeistelykoneistuksen tarkoituksena on saada kappale lopullisiin mittoihinsa ja saavuttaa kohteeseen vaadittu pinnanlaatu sekä muut kappaleen muotoon ja kokoon liittyvät ominaisuudet kuten pinnan tasomaisuus.

Mitä kovempaa materiaalia käytetään, sitä vaikeammaksi käy pinnan koneistaminen, ja tämä tulee ottaa huomioon materiaaleja valittaessa. Alle 40 HRC:n kovuuksia voidaan vielä koneistaa, mutta yli 40 HRC:n pinnat vaativat erityistyökaluja, kuten keraamisia teräpaloja. (ESAB 2012, 3-6.)

4.1.3 Hionta

Hiontaa voidaan käyttää kaivosteollisuuden kulutusosien kunnossapidossa koneistettujen ja karkaistujen koneenosien mittatarkkuuden ja pinnanlaadun parantamiseen, purseiden ja terävien särmien poistoon koneistetuista osista sekä kulutusosien rouhinta-, sovitus- ja puhdistushiontaan. (Ansaharju & Maaranen 1997, 108)

4.2 Korjaushitsaus

Täyttö- tai korjaushitsauksesta on kyse, kun kulunutta kappaletta hitsataan kappaleen menetety pinnan takaisin materiaalivahvuuden tai kappaleesta korjataan siihen syntyneitä vaurioita. Esimerkiksi kuluneeseen akseliin hitsataan perusaineen kaltaisella lisäaineella lisää massaa kuluneisiin pintoihin, jonka jälkeen koneistetaan akseli takaisin alkuperäisiin mittoihinsa.

Korjaushitsauksella voidaan myös joissain tilanteissa parantaa kappaleen ominaisuuksia, kuten sitkeyttä tai kulumiskestävyyttä. Perusainetta parempi korjaushitsistä saadaan, kun käytetään olosuhteisiin paremmin sopivaa lisäainetta. Korjaushitsausvaiheessa kappale on jo ollut käytössä, joten tiedetään kappaleen suunnitteluvaihetta paremmin, minkälaiseen rasitukseen kappale on joutunut. Kappaleen ominaisuuksien parantaminen on mahdollista, kun tiedetään kappaleeseen vaikuttavat olosuhteet. Onnistunut korjaushitsaus edellyttää myös, että hitsauksen lisäksi valmistelut ja mahdolliset jälkikäsittelyt on tehty huolella.

4.2.1 Kovahitsaus

Kovahitsauksessa perusaineen päälle hitsataan kulutusta kestäväällä lisäaineella. Vaikka puhutaan kovahitsauksesta, voidaan käytännössä paras kulutuksen kestävyys saavuttaa varsin pehmeillä lisäaineilla. Kovahitsauksella saadaan edullisesti kulutusta kestävä pinta sinne, missä se on tarpeen.

Kovahitsausta käytetään yleensä kuluneiden osien kunnostukseen ja niiden käyttöiän pidentämiseen, mutta se on käyttökelpoinen menetelmä myös uusien osien valmistukseen. Uudet osat voidaan valmistaa halvemmasta perusaineesta ja pinnoittaa sopivalla lisäaineella haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi. Paras kulutuksen kesto saavutetaan valitsemalla olosuhteisiin sopiva lisäaine. Oleellista on ottaa huomioon kappaleeseen vaikuttava kulumistyyppi, perusaineen materiaali, hitsausmenetelmä ja pinnan viimeistelyn vaatimukset. (ESAB 2012, 3 -2.)

Kovahitsauksessa abrasiivinen kuluminen pyritään yleensä estämään perusaineen pinnalle tuoduilla kovilla karbideilla. Tällöin perusmassa kovuutta mittaamalla eli HRc-kovuusmittauksella ei saada oikeaa käsitystä pinnoitteen kulumiskestävydestä. Kulumiskestävyden ratkaisee perusmassassa olevien karbidien tyyppi sekä määrä ja näin saavutettu karbidikovuus eli mikrokovuus. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että jos hitsauslisäaineen mikrokovuus on 1,6-kertainen tai suurempi kuin kuluttavan partikkelin kovuus, niin kuluminen käytännössä pysähtyy. (Seppälä, B1.2.)

Pufferikerros on välikerros perusaineen ja kovahitsin välissä. Pufferikerroksella varmistetaan kovahitsin kiinnittyminen perusaineeseen, ehkäistään vetyhalkeamia, vähennetään kuormituksen vaikutuksia, vähennetään kovahitsin ja perusaineen seostumista, estetään kovahitsiaineen halkeilua ja estetään mahdollisten kovahitsi halkeamien eteneminen perusaineeseen. (ESAB 2012, 1-8.)

Paljon kuluneet kappaleet voidaan kasvattaa alkuperäisiin mittoihinsa täyttöhitsaamalla perusaineen kaltaisilla seoksilla ennen kovahitsausta. Myös välikerroshitsauksen käyttö voi olla joissain kohteissa toimiva ratkaisu. Välikerroshitsauksessa käytetään vuorotellen pehmeitä ja

kovia hitsikerroksia. Sopivia käyttö kohteita kaivoksella voivat olla esimerkiksi murskaimet ja maansiirtokoneen kauhan kynnet. (ESAB 2012, 1-10.)

Korkeaseosteisilla kovahitsiaineilla on myös taipumusta halkeilla jäätyessään. Tämä johtuu siitä, että kovahitseillä muodonmuutos voimat ovat suuria, mutta muodonmuutoskyky huono. (Lepola, Makkonen, 2009, 348.) Jäähtymishalkeilu ei välttämättä heikennä kovahitsin ominaisuuksia, eikä aiheuta lohkeilua tai hilseilyä, ja pufferikerros estää halkeamisen etenemisen perusaineeseen. Hitsin läpi syntyy myös pieniä kutistumishalkeamia. Kutistumishalkeamat eivät ole välttämättä vahingollisia, koska ne laukaisevat jännityksiä ja estävät hitsipalon irtoamista kappaleesta. Taipumus jäähtymishalkeiluun kasvaa hitsattaessa pienillä virroilla ja suurilla kuljetusnopeuksilla. (ESAB 2012, 3-6.)

4.2.2 Hitsausmenetelmät

Hitsausmenetelmiä ja niiden mahdollisia yhdistelmiä on useita. Tässä luvussa käydään lyhyesti läpi muutamia yleisimpiä korjaus- ja kovahitsauksessa käytettäviä hitsausmenetelmiä. Luvussa on keskitytty menetelmiin, joita voidaan käyttää kulutusosien korjaamiseen tai valmistamiseen sekä menetelmien eroihin.

Puikkohitsaus on erittäin joustava hitsausmenetelmä. Puikkohitsausvälineet voidaan helposti kuljettaa hitsauskohteisiin ja puikkohitsausta voidaan käyttää myös hiukan huonommissakin olosuhteissa kuin muita hitsausmenetelmiä, koska hitsauksessa ei tarvita erillisiä suojakaasuja. Esimerkiksi ulkona hitsaus on mahdollista puikkohitsauksessa. Suojakaasuttomuuden, monipuolisten hitsausasento vaihtoehtojen ja puikkohitsauslaitteiston pienen koon takia puikkohitsaus on hyvä menetelmä myös paikan päällä suoritettaviin hitsauksiin.

Haittana puikkohitsauksessa on sen hitaus ja tämän takia se sitä ei usein sovelleta paljon hitsauspintaa vaativien kappaleiden valmistamiseen tai korjaamiseen. Hitsauslisäaine valikoima on puikkohitsauksessa hitsausmenetelmien laajin.

MIG/MAG-hitsaus voidaan myös suorittaa paikan päällä, mutta olosuhteiden on oltava MIG/MAG-hitsaukselle sopivat. MIG/MAG - hitsausmenetelmällä pystytään hitsaamaan enemmän kiloja kuin

puikkohitsauksella ja se on myös automatisoitavissa minkä vuoksi menetelmä sopii myös suuria hitsauksia vaativien kappaleiden valmistukseen ja korjaukseen. Lisäainevalikoima on laaja, mutta ei yhtä laaja kuin puikkohitsauksella.

Jauhekaari soveltuu hitsausmenetelmänä paljon lisäainekiloja vaativien kappaleiden valmistamiseen. Mahdollisia hitsausasentoja on vähemmän eikä lisäainevalikoima ole kovin laaja, mutta menetelmä on tehokas ja helposti automatisoitavissa, jolloin voidaan saavuttaa nopeasti paljon tasalaatuista hitsisaumaa.

4.2.3 Hitsauslisäaineen valinta

Oikean lisäaineen valitsemiseksi kulutuskappaleisiin on oleellista tietää, minkä tyyppistä kuluminen on. Yleensä kuluminen on useamman kulumismekanismin summa, mikä vaikeuttaa lisäaineen valintaa. Parhaat tulokset saavutetaan valitsemalla lisäaine tapauskohtaisesti.

Iskumaisessa kuormituksessa kuluminen riippuu metallin lujuudesta ja sitkeydestä. Iskunkestävyyttä voidaan saada esimerkiksi mangaaniteräksillä, koska niissä tapahtuu muokkauslujittumista iskumaisessa kuormituksessa. Iskun seurauksena mangaaniteräksen pinta muuttuu kovaksi martensiitiksi sisäosan pysyessä sitkeänä austeniittina. Martensiittiset teräkset kestävät kohtuullisen hyvin iskuja. Käyttökohteita ovat esimerkiksi murskaimien osat ja iskuvasarat. (ESAB 2012, 3-3.)

Kun kulumisen aiheuttaa abraasio ja paine, kulumista vastaan voidaan käyttää suhteellisen hauraita erilaisia kromirautaseoksia ja karbideja sisältäviä seoksia, kun iskumaista kuormitusta ei ole. Hiovaa abraasiokulumista kestävät hyvin mangaaniteräkset, martensiittiset teräkset ja karbideja sisältävistä seoksista valmistetut hitsauslisäaineet. Käyttökohteita ovat esimerkiksi myllyt, rullamurskaimet, sekoituslavat ja kaavinterät. (ESAB 2012, 3-4.)

Lämpöväsymiskulumista kestävät hyvin 5 - 12 % kromia sisältävät martensiittiset teräkset. Kromikarbideoseoksilla saavutetaan erittäin hyvä kulumiskestävyys 600 celsiusasteeseen saakka. Hyvin korkeissa lämpötiloissa toimivat nikkeli- tai kobolttipohjaiset seokset. (ESAB 2012, 3-5.)

4.2.4 Perusaineen vaikutus hitsaukseen ja lämpökäsittelyt

Oikeaan hitsauksen työlämpötilaan vaikuttavat perusaineentyppi, paksuus, lämmöntuonti lisäaineen vetypitoisuus, lisäaineiden lujuustaso sekä tyyppi. (Ruukki, 15) Kovahitsauksen yhteydessä perusaine on yleensä hiili- tai niukkaseosteinen teräs jolloin teräs saattaa vaatia esi- ja jälkilämmityksiä, hidasta jäähtytystä tai muita lämpökäsittelyitä. Myös austeniittisia mangaaniteräksiä käytetään kovahitsauksen perusaineena kovahitsauksessa. Nämä teräkset voidaan yleensä hitsata ilman lämpökäsittelyitä, mutta palkojen välinen lämpötila on pidettävä alle 200 celsiusasteen, koska nämä teräkset haurastuvat liian kuumina. (ESAB 2012, 3-5.)

Kaivosteollisuuden kulutusosissa paljon käytetyiden kulutusteräksien suuri lujuus ja korkea kovuus saadaan yleensä voimakkaalla seostuksella ja karkaisulla. Runsaan seostuksen takia kulutusteräkset ovat vaativia hitsattavia. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota kylmähalkeilun ehkäisyyn ja optimaalisten ominaisuuksien saavuttamiseen hitsausliitoksissa. (Ruukki, 5)

Hyvän hitsin aikaansaamiseksi on jäähtymisnopeuden oltava oikea. Liian nopeaa jäähtymistä seuraa karkenemistä ja lisäksi kovuus nousee ja vetyhalkeilutaipumus kasvaa. Liian hidasta jäähtymisnopeus heikentää materiaalin mekaanisia ominaisuuksia, lujuutta ja iskutietkeyttä. (Lepola & Makkonen 2009, 346.) Hitsauksessa kappaleeseen voi syntyä sisäisiä jännityksiä. Esimerkiksi jäähtymisen aikana hitsisauma kutistuu ja pintaan syntyy vetojännitys, jonka seurauksena kappaleessa tapahtuu muodonmuutoksia tai syntyy sisäisiä jännityksiä, kun vapaa muodonmuutos estyy. (Koivisto, Laitinen, Niinimäki, Tiainen, Tiilikka & Tuomikoski 1999, 114.)

Esilämmityksessä työlämpötilaa korotetaan suunnitellusti etukäteen. Näin valmiin kappaleen jäähtymistä voidaan hidastaa ja vaikuttaa siihen, että kappale jäähtyy tasaisesti ja ennalta suunnitellusti. (Lepola & Makkonen 2009, 346.)

Yleensä esilämmitykseen käytetään kaasuliekkiä, joko asetyleeni-happi tai nestekaasuliekkiä. Varsinkaan suuret kappaleet eivät aina lämpene kaasuliekillä tasaisesti, mutta menetelmä on pienissä kappaleissa varsin toimiva. Kappaleiden esilämmitykseen voidaan käyttää myös sähkövastuksia tai uunia. (Lepola & Makkonen 2009, 346.)

Mikäli esilämmitystä ei ole käytetty, esilämmityslämpötilat ovat olleet liian matalat tai on käytetty liian alhaisia hitsausparametreja. Voi kappaleeseen syntyä haitallisia sisäisiä jännityksiä, joita voidaan pyrkiä vähentämään jännityksenpoistohehkutuksella.

Myöstön eli jännityksenpoistohehkutuksen tarkoitus on merkittävästi vähentää tai poistaa kappaleen sisäisiä jännityksiä muuttamatta mekaanisia ominaisuuksia. Myöstöllä voidaan parantaa hitsattujen rakenteiden väsymiskestävyyttä. (Koivisto ym. 1999, 114)

Jännityksenpoistohehkutuksessa terästä kuumennetaan A1-lämpötilan alapuolella yhdestä kahteen tuntia, minkä jälkeen jäähdytetään niin hitaasti, ettei kappaleeseen synny uusia jännityksiä. Seostamattomat tai niukkaseosteiset teräkset myöstetään noin 550 - 650 celsiusasteeseen ja kuumatyöstö- ja pikateräkset noin 600 – 750 celsiusasteeseen. Kappaleet jäähdytetään hitaasti n. 500 celsiusasteeseen, minkä jälkeen ne voidaan jäädyttää ilmassa. (Koivisto ym. 1999, 114.)

Työlämpötilaa voidaan arvioida myös metallin hiilikvivalentin perusteella. Kuviossa 7 on teräksen valmistajan työlämpötila suositukset hiilikvivalentin ja levyn paksuuden mukaan.

KUVIO 7. Työlämpötilat CEV perusteella (Ruukki Hakupäivä 4.4.2013.)

CEV Kohta 1 ¹⁾	CEV Kohta 2 ²⁾	Työlämpötila °C. Hitsausenergia E ≥2,0 kJ/mm EN 1011-2 Yhdistetty levynpaksuus mm											
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
0,49	0,44	20											75
0,50	0,45	20											75
0,51	0,46	20						50	50	75	100	100	125
0,52	–	20						75	75	100	100	125	125
0,53	0,47	20						75	75	100	100	125	125
0,54	0,48	20						75	75	100	100	125	125
0,55	0,49	20						75	75	100	100	125	125
0,56	0,50	20						75	75	100	100	125	125
0,58	0,51	20						75	75	100	100	125	125
0,59	0,52	20						75	75	100	100	125	125

CEV Kohta 3 ³⁾	Työlämpötila °C. Hitsausenergia E ≥2,0 kJ/mm EN 1011-2 Yhdistetty levynpaksuus mm											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
0,44												75
0,45												75
0,46										50	50	75
0,47										50	50	75
0,48										50	50	75
0,49										50	50	75
0,50										50	50	75
0,51										50	50	75
0,52										50	50	75
0,53										50	50	75

¹⁾ Kohta 1 MIG/MAG-umpilanka, emäsjauhe- ja metallitäytelanka, hitsin vetypitoisuus HD ≤5 ml/100 g (ISO 3690).

²⁾ Kohta 2 Emäksinen puikko ja rutiilijauhetäytelanka, hitsin vetypitoisuus 5 ml/100 g < HD ≤10 ml/100 g (ISO 3690).

³⁾ Kohta 3 Jauhekaarhitsaus, hitsin vetypitoisuus 5 ml/100 g < HD ≤10 ml/100 g (ISO 3690).

Hitsaamattoman kappaleen lämpökäsittely suunnitellaan perusaineen ominaisuuksien ja vaatimusten mukaan. Hitsatun kappaleen lämpökäsittelyssä on otettava huomioon myös hitsauslisäaineiden ominaisuudet.

4.3 Terminen ruiskutus

Termisessä ruiskutuksessa lisäaine sulatetaan ja pisaroina oleva lisäaine ruiskutetaan pinnoitettavan kappaleen pinnalle. Näin saadaan aikaiseksi mekaaninen pinnoite.

Termisellä ruiskutuksella on ainutlaatuinen asema pintakäsittely menetelmien joukossa, koska sillä voidaan tarjota yli 100 μm tiivis pinnoite laajoille pinta-aloille tehokkaasti verrattuna muihin pinnoitusmenetelmiin. Lisäaineina voidaan käyttää metalleja, seoksia, keraameja, muoveja. Lisäaine syötetään jauheena tai lankana sulaneena tai osittain sulana suurella nopeudella pieninä partikkeleina (1 μm -100 μm) kappaleiden pintaan. (Kuroda ym. 2008, 1.)

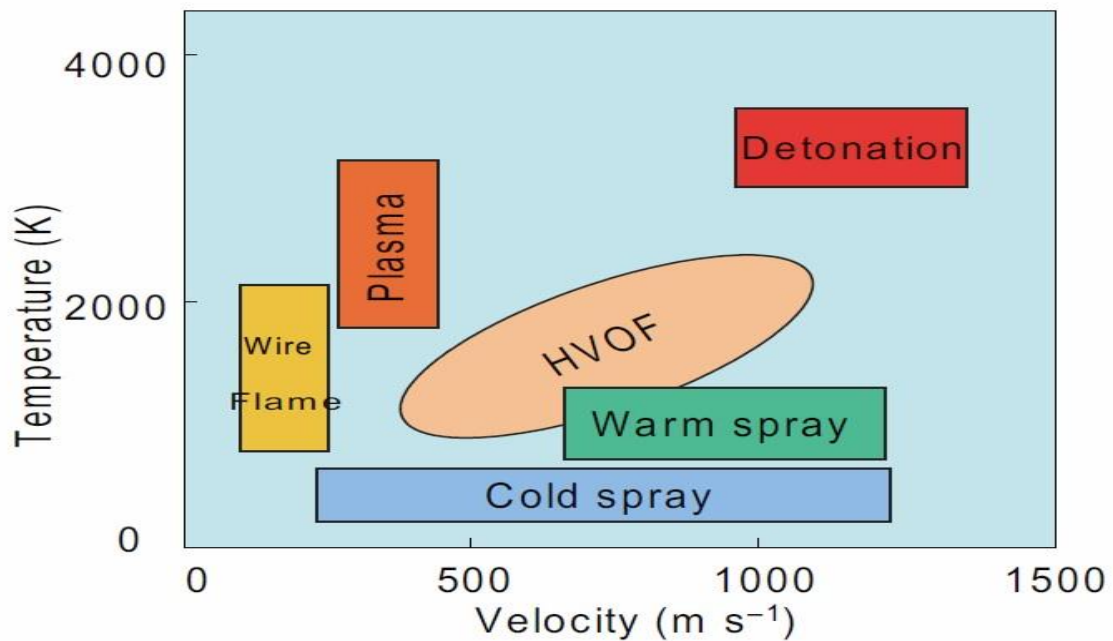
Termisiä pinnoitusmenetelmiä on useita:

- liekkiruiskutus
- kaariruiskutus
- plasmaruiskutus
- HVOF (High Velocity Oxy Fuel)
- detonaatoruiskutus
- kylmäkineettinen ruiskutus (Cold spray)
- lämminruiskutus (Warm spray / 2nd-stage HVOF)

(Kuroda ym. 2008, 1).

Kuviossa 8 näkyvät termisten pinnoitusmenetelmien partikkeleiden lähtönopeudet ja lämpötilat. Mitä matalampi on lähtevien partikkeleiden lämpötila, sitä vähemmän perusaineeseen siirtyy lämpöä. Suuremmalla nopeudella saadaan yleensä tiiviimpi pinta ja parempi kiinnitys.

KUVIO 8. Eri pinnoitusmenetelmien partikkeleiden lämpötilat ja lähtönopeudet. (Kuroda ym.2008)



4.3.1 Termisen ruiskutuksen lisäaineen valinta

Termisen ruiskutuksen lisäaineita on saatavilla satoja erilaisiin käyttökohteisiin. Ne voidaan jakaa kahteen pääryhmään: lankoihin ja jauheisiin. (Tunturi & Tunturi 1999, 76 - 77.)

Ruiskutuslisäainelankoja on saatavana puhtaina metallilankoina sekä seostettuinalankoina. Suolavettä ja kuumakorroosiota vastaan voidaan käyttää alumiini ja alumiiniseoksia. Ilmastollista korroosiota ja häiriösuojauksa saadaan sinkillä ja sinkkiseoksilla. Korroosiolta voidaan suojata ruostumattomilla, haponkestävillä teräslisäaineilla sekä nikkellillä ja nikkelseoksilla. Hiili- ja niukkaseosteisia sekä nikkeliä ja nikkelseoksia voidaan käyttää kuluneiden tai väärin koneistettujen osien korjaukseen. (Tunturi & Tunturi 1999, 77.)

Termisen ruiskutuksen jauhelisäaine valikoima on erittäin laaja. Kaikki lisäainelangat ovat saatavissa myös jauheina. Jauheiden valmistuksessa voidaan myös muokata raekoko, rakeenmuoto ja raekoonjakauma sopivaksi jokaiselle ruiskutusmenetelmälle ja laitteelle. (Tunturi & Tunturi 1999, 77 - 78.)

Tärkeimpiä lisäaineita ovat esimerkiksi korroosionsuojapinnoitteet NiCr, AISI 316, Fe- ja Ni-pohjaiset lisäaineet. Erityisen hyvin abraasiota ja eroosiota kestävä pinta saadaan aikaan kovaa karbidia ja metallisia sideaineita sisältävillä kovametallipinnoitteilla. Parhaiten kulumista kestävät WC-pohjaiset kovametallit, joissa usein käytetään sideaineena kobolttia. Kovametallipinnoitteiden pinnoitepaksuudet ovat yleensä luokkaa 0,1...0,3 mm ja pinnoitusmenetelmä on yleensä HVOF, plasma- tai detonaatoruiskutus. (Tunturi & Tunturi 1999, 78 - 79.)

Termistä ruiskutusta voidaan käyttää myös erilaisten polymeeripinnoitteiden valmistukseen. Yleisin menetelmä polymeerijauheille on liekkiruiskutus. (Tunturi & Tunturi 1999, 79.)

Terminen ruiskutus soveltuu esimerkiksi liukulaakereiden pinnoittamiseen. Liukulaakerit ovat kaivoksissa melko yleisesti käytössä. Niitä käytetään pääasiallisesti niveltapeissa, jauhatusmyllyjen kannatuslaakereina, kartiomurskainten pallolaakereina sekä epäkeskon ja karan holkkeina. (Rissanen, 2010, 61)

4.3.2 Termisen ruiskutuksen ja hitsauksen vertailua

Termisen ruiskutuksen suuri ero hitsauspinnoitukseen on, että ruiskuttamalla pinnoittaessa voidaan joillain menetelmillä pitää perusaineen lämpötila alhaisena, jolloin perusaineessa ei tapahdu karkenemistä tai muita ei - haluttuja lämpökäsittelyitä. HVOF, plasma- ja detonaatoruiskutuksessa lisäainepartikkeleiden lämpötila on korkeampi, mikä nostaa myös perusaineen lämpötilaa.

Termisessä pinnoituksessa lisäaineen kiinnitty perusaineeseen mekaanisesti, joten seostumista lisäaineen ja perusaineen välillä ei tapahdu. Mekaaninen liitos ei kuitenkaan ole yhtä kestävä kuin hitsauspinnoituksessa syntyvä sulaliitos ja terminen ruiskutus mahdollistaa paksun pinnoitekerroksen vain pehmeillä lisäaineilla. Terminen ruiskutus on myös hitsaukseen verrattuna nopea pinnoitusmenetelmä. Ruiskuttamalla voidaan pinnoittaa ohut ja kulutusta kestävä pinnoite laajalle pinta-alalle kohtuullisen lyhyessä ajassa. Taulukossa 4 on esitetty tiivistettynä termisen pinnoituksen ja hitsauspinnoitteen eroavaisuuksia.

TAULUKKO 4. Yleisiä termisen pinnoituksen ja hitsauksen eroja (Tuomivaaran, 2013, keskustelu).

Terminen pinnoitus	Hitsauspinnoite
Pieni lämmöntuonti	Suuri lämmöntuonti
Mekaaninen liitos	Sulaliitos
Korkeampi pinnoitusnopeus(m ² /h)	Alhainen pinnoitusnopeus(m ² /h)
Alhainen pinnoitepaksuus	Korkea pinnoitepaksuus
Voidaan käyttää lisäaineena melkein mitä vain pinnoitteeksi sopivaa materiaalia	Rajoitetumpi lisäainevalikoima
Huokoinen pinnoite, mutta tiivistettävissä	Kaasutiivis

5. KUNNOSSAPITOTEKNOLOGIOIDEN SOVELLUKSET

Kunnossapitotoiminnan viisi pääalajia ovat huolto, ennakoiva kunnossapito, korjaava kunnossapito parantava kunnossapito, vikojen ja vikaantumisten selvittäminen. Huollossa pidetään koneiden toimintaympäristö ja toiminnan edellytykset mahdollisimman hyvinä. Pääsääntöisesti jaksotettua käytön ajan, määrän ja rasittavuuden perusteella. (Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, 41.)

5.1 Ennakoiva kunnossapito

Tehokkaan ennakoivan kunnossapidon edellytyksiä ovat suunnitelmallisuus sekä aikatauluttaminen. Huolellisella suunnittelulla poistetaan työn tekemisen yhteydessä esiintyviä viiveitä, töiden aikatauluttamisella saadaan poistettua viiveet eri töiden väliltä. Lopputuloksena on resurssien tehokas käyttö ja laitteiden vikaantumisten minimointi. (Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, 68.)

Tehokkaassa ennakoivan kunnossapidon suunnittelemisessa täytyy käyttää hyväksi aikaisempaa kokemusta vikaantumisista, koneen ja sen osien toimintatavoista sekä koneenvalmistajan suosituksia. (Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, 68 - 69.)

Ehkäisevän kunnossapidon suunnittelun tarve riippuu työn laajuudesta. Suunnittelu ei ole yleensä kannattavaa, jos tarvittavat varaosat ja tarvikkeet löytyvät varastosta, toimenpiteellä ei ole historiallista tai strategista merkitystä, työ on kestoaltaan vähäinen tai on olemassa aikaisemmat tarkat suunnitelmat, joita voidaan käyttää. (Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, 71.)

Kaivosteollisuuden kulutusosien ennakoivaa kunnossapitoa on esimerkiksi leukamurskaimen kulutusosien vaihtaminen tasaisin väliajoin. Taloudellisuuden kannalta on oleellista oikean vaihtovälin selvittäminen. Liian tiheällä vaihtovälillä resursseja sidotaan turhaan kulutusosien vaihtamiseen ja kulutusosia käytetään enemmän kuin olisi tarpeen. Kulutusosien kuluessa murskausprofiili muuttuu ja murskaimen kapasiteetti ja lopputuotteen voivat heikentyä. Tästä syystä voi olla tuotannollisesti järkevää vaihtaa kulutusosat jo ennen niiden loppuun kulumista.

Liian pitkän vaihtovälin takia murskaimen leuat voivat kulua puhki minkä seurauksena voi olla murskauspiirin seisakki tai jopa leukamurskaimen vaurioituminen ja käyttöään lyhentymisen.

5.2 Korjaava kunnossapito

Korjaavassa kunnossapidossa vikaantunut osa tai komponenttia korjataan. Korjaava kunnossapito voi olla häiriökorjausta eli ennalta suunnittelematonta tai ennalta suunniteltua eli kunnostusta. Korjaavaan kunnossapitoon voi sisältyä seuraavat työvaiheet: vian määrittäminen, vian tunnistaminen, vian paikallistaminen, korjaus, väliaikainen korjaus, toimintakunnon palauttaminen. (Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, 42.)

Korjaavaa kunnossapidon tarve ilmenee laitteen rikkoutuessa. Laitteen tarpeellisuudesta tuotannolle riippuen tämä voi aiheuttaa tuotannon viivästymistä tai jopa koko tuotannon seisauksen. Tehokkaalla ja nopealla kunnossapidolla saadaan kunnossapitoon tarvittava aika ja tuotantomenetykset minimoitua.

5.3 Parantava kunnossapito

Parantavaa kunnossapitoa voidaan tehdä kolmella eri tavalla. Ensimmäisessä vaihdetaan kohteeseen uudempia osia tai komponentteja, mutta kohteen suorituskykyä ei muuteta. (Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, 45.)

Toinen tapa ovat erilaiset uudelleensuunnittelut ja korjaukset, joilla parannetaan koneen epäluotettavuutta. Tarkoituksena on parantaa laitteen toimintavarmuutta eikä suorituskykyä. (Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, 45.)

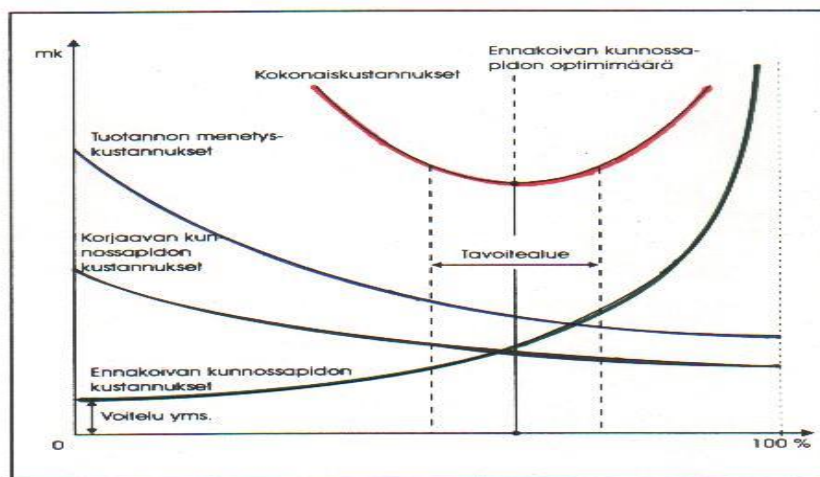
Kolmas tapa on modernisaatio. Suorituskykyä parantavaa modernisaatiota käytetään yleensä, kun valmistusprosessia parannetaan, mutta laitteistoa ei uusita. Usein vanhan koneen päivittäminen on järkevämpää kuin uuden koneen hankkiminen. (Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, 45.)

5.4 Kustannusten muodostuminen kunnossapidossa

Ehkäisevä kunnossapito on kannattavaa, kun sen kustannukset ovat pienemmät kuin sen tekemättä jättämisestä syntyvät kustannukset ja kohteelle on olemassa tehokas ennakkohuoltomenetelmä. (Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, 68 - 69.) Tehottomalla ja liian paljon ennakoivalla kunnossapidolla saadaan aikaiseksi vain lisäkustannuksia.

Ennakoiva kunnossapito on kuitenkin huomattavasti tehokkaampaa kuin suunnittelematon korjaava kunnossapito. Suunnitellun kunnossapidon on todettu olevan 4 - 10 kertaa tehokkaampaa kuin suunnittelemattoman kunnossapidon. Laitteen hajoamisesta johtuvan tuotantoseisakin aiheuttamat katemenetykset voivat olla kymmenkertaiset verrattuna ennakoivan kunnossapidon kustannuksiin arvokkaita laitteita käyttävässä prosessiteollisuudessa. (Kunnossapitoyhdistys ry, 2006, 68 - 69.) Kuviossa 9 näkyvät ennakoivan kunnossapidon alentava vaikutus korjaavasta kunnossapidosta ja tuotannon menetyksistä aiheutuviin kustannuksiin.

KUVIO 9. Kunnossapidon kustannusten muodostuminen. (Penson 2013)



Parantava kunnossapito voi parhaimmillaan olla kustannuksiltaan ilmaista ennakoivan tai korjaavan kunnossapidon yhteydessä suoritettuna. Parantavan kunnossapidon tuomat säästöt muodostuvat yleensä vähentyneestä ennakoivan kunnossapidon ja korjaavan kunnossapidon tarpeesta.

6 CASE-ESIMERKKEJÄ

6.1 Teoria case: esimurskaimena toimivan karamurskaimen kunnossapito

Monissa kaivoksissa on vain yksi esimurskain, joten tämän murskaimen seisoessa malmia ei saada kaivoksesta eteenpäin. Murskaimen kunnossapitokustannukset ovat suhteellisen pienet, mutta seisonta-aikojen venyessä voivat välilliset kustannukset kasvaa hyvinkin suuriksi. Oikealla käytöllä ja tehokkaalla kunnossapidolla seisonta-ajat saadaan minimoitua ja käyttöikä kasvatettua. Lisäksi käytettävyys ja tuotteenlaatu säilyvät hyvänä, tuotantomäärät pysyvät korkealla ja käyttökustannukset pieninä. (Hakapää & Lappalainen 2011, 205.)

Ennakoivalla kunnossapidolla ja käytönaikaisella murskaimen kunnon seurannalla saadaan käyttökatkoksia vähennettyä oleellisesti ja orastavat viat havaitaan ajoissa. Kunnon seurantaan voi kuulua voiteluöljyn paineen ja lämpötilan mittaus, voiteluöljysuodatinten tilailmaisimet, voiteluöljyanalyysi ja moottorin virtamittari. Normaalisti poikkeavat arvot varoittavat mahdollisesta ongelmasta, kun ongelmasta tiedetään etukäteen, voidaan huoltokin suunnitella etukäteen, varaosat tilata valmiiksi ja laite huoltaa ennen vikaantumista. Murskainten kulutuslevyt vaativat säännöllistä seuranta ja kunnossapitoa. Liian kuluneet kulutuslevyt vähentävät murskaimen tuotantoa. Puhki kuluneista levyistä aiheutuu vaurioita murskaimen runkoon ja murskaimen käyttöikä lyhenee. (Hakapää & Lappalainen, 2011, 205.)

Korjaavaa kunnossapitoa tarvitaan, kun ennalta ehkäisevä ja ennakoiva huolto on epäonnistunut ja murskaimeen tulee vika. Korjaava kunnossapito on tässä tapauksessa suhteellisen kallista ja tehotonta. Siitä aiheutuu tuotantohäiriötä ja yleensä murskaimen käyttöikä lyhenee ja käytettävyys laskee. Vikaantumisen syyn selvittäminen on tärkeää, jotta ongelman perimmäinen syy voidaan poistaa ja välttää uusilta vikaantumisilta. (Hakapää & Lappalainen, 2011, 205)

Tässä luvussa käydään läpi esimurskaimena käytettävän karamurskaimen, joitain kulutusosia ja murskaimen kunnossapitoa. Kuviossa 10 on räjäytyskuva epäkeskokaramurskaimesta.

KUVIO 10 Karamurskaimen räjäytyskuva (FLSmith. Hakupäivä 13.4.2013)



6.1.1 Rungon kunnossapito

Karamurskaimen runkoon vaikuttavat runsas tärinä ja kovat muuttuvat jännitykset. Tämän seurauksena runkoon voi syntyä väsymiskulumisesta aiheutuvaa säröilyä. Alkusäröt ovat kuitenkin havaittavissa esimerkiksi tunkeumanestetarkastuksella. Runkoa voidaan korjata tai jopa parantaa korjaushitsaamalla. (Rintala, 2013, keskustelu)

6.1.2 Murskaimen kara-akselin kunnossapito

Kuten runko, myös kara-akseli altistuu erittäin voimakkaille iskumaisille kuormituksille ja jatkuvasti muuttuville jännityksille murskausprosessin aikana. Kara-akselin tyypillisiä korjauksia ovat jännityssäröjen korjaukset ja laakeripintojen korjaukset. (Tikkala&Tuomivaara, 2013, keskustelu)

6.1.3 Kulutusosien kunnossapito

Karamurskaimissa on runsaasti kulutusosia murskaimesta riippuen. Tässä työssä käydään läpi yleisesti murskainten kulutusosien kunnossapitoa.

Murskaimen ylärunkoa ja huippulaakeria suojaavaa osaa kutsutaan hatuksi. Rungon ulkokuoren ja sisäosan yhdistävän osien eli armien suojana ovat kulutusosat, sekä murskaimen ylä-, että alaosassa. Ylärunkoa voi suojata murskaimeen syötettävältä materiaailta ylärungonsuojat. Alarunkoa voi olla suojaamassa erilliset alahelmansuojat putoavalta murskaantuneelta materiaailta. Kara-akselin ympärillä on murskattavaa materiaalia syöttösuppilon kulutusosia vastaan puristava mantteli. Syöttösuppilon kulutusosat suojaavat murskaimen runkoa materiaalin murskauksen aiheuttamalta kulutukselta. (Tikkala&Tuomivaara, 2013, keskustelu.)

Kuluminen esimurskaimen kulutusosissa on lähinnä kovertavaa abrasiivista ja iskuista johtuvaa kulumista. Kulutusosat tulisi vaihtaa tai korjata ennen niiden loppuun kulumista, jotta runkoon ja akseliin ei synny vaurioita.

Hattu, armien suojat, ylärungon ja alahelmansuojat, suppilon kulutuslevyt ja mantteli ovat vaihdettavia kulutusosia. Kulutusosia voidaan korjata tai jopa parantaa kovahitsaamalla. Esimerkiksi manttelin muotoa voidaan parantaa kovahitsaamalla ja kulutusosiin voidaan kovahitsata lisää kulumispintaa niiden käyttöiän jatkamiseksi. (Tikkala&Tuomivaara, 2013, keskustelu.)

6.1.4 Vaihteen kunnossapito

Karamurskaimen vaihteessa sijaitsee useita kunnossapitoa vaativia kohteita, kuten hammaspyörät, käyttöakseli, runkolaakeri ja epäkeskolaakeri. Hammaspyörät ja niitä pyörittävä käyttöakseli ovat kovan rasituksen alaisena, joten niitä voidaan joutua kunnostamaan. Kuluneet valkometallilaakerit voidaan kunnostaa koneistamalla uuteen mittaan tai uudelleen pinnoittamalla. (Tikkala&Tuomivaara, 2013, keskustelu.)

6.2 Teoria case: kulutuslevyn parantava kunnossapito

Murskaamon loppupäässä sijaitsevan suppilon pohjalla on loivassa kulmassa kulutuslevyjä, joiden päälle kiviaines tippuu kuljetinhihnalta noin 2 metrin korkeudelta. Jatkuvan iskumaisen kuormituksen seurauksena suppilon kaksi ylintä kulutuslevyä on vaihdetta noin kuukauden välein. Alempana samassa suppilossa sijaitsevat kaksi kulutuslevyä, jotka kestävät noin puoli vuotta.

Iskumaisen kuormituksen seurauksena kulutuslevyihin syntyy lommoja ja pintaa on lohkeillut irti suurina kappaleina. Alempana suppilossa kivet eivät putoa suoraan kulutuslevyjen päälle vaan vierivät niitä pitkin, joten kuluminen on lähinnä naarmuttavaa abrasiivista kulumista.

Kulutuslevyjen vaihto on hidasta niiden hankalan sijainnin takia, ja kunnossapitoseisakit venyvät levyjen vaihdon seurauksena. Levyjen tiheä vaihtaminen syö kunnossapitoresursseja ja aiheuttaa tuotannon menetyksiä, koska koko murskauspiiri seisoo levyjen vaihdon ajan. Iskumaisen kuormituksen vähentäminen pudotusmatkaa lyhentämällä tai iskeytymiskulmaa loiventamalla ei kuljettimen ja suppilon rakenteita muuttamalla ole mahdollista, joten kaksi ylintä kulutuslevyä on korvattava kestävämmillä ratkaisulla tuotannonseisausten vähentämiseksi.

6.2.1 Alkuperäiset kulutuslevyt

Alkuperäiset kulutuslevyt ovat abrasiivista kulumista vastaan suunniteltuja erittäin kovia kulutuslevyjä. Nämä levyt ovat toimineet hyvin alempana suppilossa, missä ei ole iskumaista räsitusta, joten niitä ei vaihdeta.

6.2.2 Vaihtoehto 1: kulutusteräs + mangaaniseosteinen lisäaine

Kaksi ylintä kulutuslevyä korvataan erityisesti iskumaista kulutusta kestäville kulutuslevyillä. Yksi vaihtoehto on kulutusteräksestä perusaine, jonka päälle hitsataan useampi palko vähintään 10 % mangaaniseostettua lisäainetta. Mangaaniseosteiset lisäaineet ovat hitsattuna austeniittisia, joten ne ovat suhteellisen helppoja hitsata ja niitä voidaan hitsata paksuja kerroksia ilman erillistä pufferikerrosta.

Mangaaniseosteisen lisäaineen iskunkestävyys perustuu sen muokkauslujittumiseen. Voimakkaassa iskumaisessa kuormituksessa sitkeä austeniittinen pinta muuttuu kovaksi martensiitiksi mutta jää syvemmältä edelleen sitkeäksi austeniitiksi. Tällöin sitkeä lisäaine joustaa iskumaisten kuormitusten voimasta eikä halkeile ja martensiittisessä pinnassa tapahtuvat halkeamat ja plastiset muodonmuutokset eivät jatku syvemmälle hitsauspinnoitteeseen, vaan päättyvät martensiitti ja austeniittikerroksen rajapintaan. Näin toteutettu pinnoitettu kulutuslevy kestää iskumaista kuormitusta paremmin kuin pelkkä kova kulutuslevy.

Hitsauspinnoitus voidaan suorittaa automatisoidusti mig/mag- tai jauhekaarihitsauksella, jolloin lopputuote kohtuullisen edullinen ja nopea toteuttaa.

6.2.3 Vaihtoehto 2: rakenneteräs + mangaaniseosteinen lisäaine

Valmiiden kulusterästen murtolujuus ja kovuus saadaan yleensä runsaalla seostuksella ja valssaamalla. Teräksen hitsauspinnoittaminen laimentaa levyn seostusta ja hitsauksen seurauksena valssaamalla ja lämpökäsittelyillä saadut teräksen ominaisuuksia heikkenevät. Tämän takia rakenneteräksen ja kulusteräksen ominaisuuksien ero ei ole hitsatun kulutuslevyn perusaineena yhtä suuri kuin terästen ominaisuudet hitsaamattomana.

Paksu kulusteräs säilyttää kuitenkin ominaisuutensa hitsin vastakkaisella puolella, joten hitsauspinnoitteen kuluessa loppuun kulusteräs kestää perusaineena rakenneterästä paremmin kulumista.

Rakenneteräksen käyttäminen kulutuskappaleena perusaineena voi olla taloudellisesti järkevämpää, jos kappaleen kulumista pystytään seuraamaan ja kulutuslevyt vaihtamaan ennen hitsauspinnoitteen loppuun kulumista. Korvaamalla perusaineena oleva kulusteräksen halvemmalla rakenneteräksellä saadaan valmiin kulutusosan materiaalikustannuksia pudotettua huomattavasti.

6.2.4 Vaihtoehto 3: rakenneteräs + karbidiseosteinen lisäaine

Abrasiivista kulutusta vastaan oleellista on kappaleen mikrokovuus. Kovahitsatuissa tuotteissa korkea mikrokovuus saadaan aikaiseksi käyttämällä kovia karbideja sisältäviä lisäaineita. Jos karbidien kovuus on tarpeeksi suuri verrattuna kuluttavan materiaalin kovuuteen, kulumisen käytännössä pysähtyy.

Onnistunut kovahitsauspinnoite voi kuitenkin vaatia toimiakseen pufferikerroksen, sekä lämpökäsittelyitä. Karbidiseosteiset lisäaineet ovat kalliita, eikä niiden onnistunut hitsaaminen ole yksinkertaista toteuttaa, mutta korkean abrasiivisen kulumisen kohteisiin niillä voidaan valmistaa kestäviä metallisia kulutusosia. Iskumaisen kulutuksen kohteissa kova karbidiseos ei välttämättä ole paras ratkaisu.

7 YHTEENVETO

Kaivosteollisuus Suomessa on tällä hetkellä vahvassa kasvussa. Kasvavan kaivosteollisuuden seurauksena myös kunnossapitoon tarvitaan lisää kaivosalan tuntevia toimijoita.

Tässä opinnäytetyössä on tutkittu kaivosteollisuutta metallisten kulutusosien kunnossapidon näkökulmasta ja kartoitettu kaivosteollisuutta ja sen nykytilannetta Suomessa. Työssä on myös tutkittu kaivosten mekaanisiin kulutusosiin vaikuttavia kulumismekanismeja ja käyty läpi metallisten kulutusosien kunnossapitoon tarkoitettuja kunnossapitoteknologioita, kuten hitsausta ja lastuavat menetelmät.

Työssä on koottu yhteen kaivosteollisuuden metallisten kulutusosien kunnossapitoon liittyviä keskeisiä asioita. Aiheen laajuuden ja monipuolisuuden takia työssä on pyritty antamaan lukijalle tarvittavat tietopohja, jonka avulla metallisten kulutusosien kunnossapidosta pystyy muodostamaan hyvän yleiskuvan. Työn tarkoituksena on antaa kaivosteollisuudessa työskenteleville tietoa, jotta he voivat itse kartoittaa mistä kulumisen johtuu ja tarjota pohjatietoa menetelmistä, joilla kulutusosia voidaan kunnossapitää. Liitteeksi työn loppuun olen laatinut ohjeita kulumismekanismien tunnistamiseen, keinoja kulumisen seurantaan sekä seurantataulukkopohjan kulumisen raportointiin avuksi kulumisen kartoittamisessa.

Kovan kulutuksen kohteissa metallisten kulutusosien kunnossapito voi olla taloudellisinta suorittaa juuri siinä kohteessa vaikuttavien kulutusmekanismien torjumiseen sopivilla materiaaleilla. Paremmalla kulutuskestävyydellä saadaan vähennettyä kulutusosan vaihdosta syntyviä kunnossapito kustannuksia.

Pienemmän kulutuksen kohteissa valmiiden kulusterästen ja kulutusosien soveltaminen kohteeseen tulee luultavasti halvemmaksi, mikäli vaihtoväli saadaan niillä pidettyä riittävän pitkänä. Kulutusosien valinnassa tulee kuitenkin aina ottaa huomioon myös muut kunnossapidosta ja mahdollisista tuotantoseisakeista aiheutuvat kustannukset.

Vaikka termiselle ruiskutukselle löytyy käyttökohteita kaivosprosessin alkupäästä esimerkiksi murskainten laakereiden ja akselien kunnossapidosta. Ei tämän työn aikana tullut esille sovellutuksia termisen ruiskutuksen käytöstä kaivosteollisuuden metallisten kulutusosien kunnossapitoon tai valmistukseen. Ohuen pinnoitepaksuuden takia eivät kovat termiset pinnoitteet vaikuta toimivilta ratkaisuilta murskaus- ja jauhatusprosesseihin, koska niissä on tyypillisesti runsaasti iskumaista kulumista ja kulumisen on niin runsasta, että kulutusosiin tarvitaan paljon kulumispintaa.

Jatkotutkimuksia olisi kuitenkin suoritettava termisen ruiskutuksen soveltuvuudesta rikastusprosessi kohteisiin, joissa kuluttava materiaali on hienompaa ja kulumisen lähinnä naarmuttavaa ja hiovaa abrasiivista kulumista. Erittäin kovilla pinnoitteilla voisi olla mahdollista saavuttaa näissä kohteissa kulutuspinnoille huomattavasti kuluttavaa materiaalia kovempi karbidi kovuus ja näin pysäyttää kulumisen lähes kokonaan. Esimerkiksi lietteen aiheuttamat kumat rikastuslaitteissa.

Kaivosteollisuus on kulutusosien toimintaympäristönä haastava, koska vaikuttavia kulumismekanismia ja niiden yhdistelmiä on useita erilaisia ja kulumiseen vaikuttavia muuttujia on erittäin paljon. Kaivosprosessit ovat myös hyvin erilaisia eri kaivoksissa. Kulumiseen vaikuttavat seikat, kuten murskattavan kiven kovuus vaihtelevat myös kaivoksesta ja louhinta paikasta riippuen. Suomalaisissa kaivoksissa käsiteltävä kiviaines on yleensä suhteellisen kovaa, joten kulutusosat joutuvat kotimaisissa kaivoksissa erilaisen kulutuksen kohteeksi, kuin esimerkiksi australialaisella kaivoksella.

Koska kulutusosiin vaikuttavia muuttujia on useita, samanlaisessa laitteessa olevat samat kulutusosat voivat joutua hyvinkin erilaisen kulutuksen kohteeksi eri kaivoksissa tai samassa kaivoksessa eri tuotannon vaiheessa. Tämän takia uskon, että kaivoksista löytyy monia laitteita joihin voidaan suorittaa parantavaa kunnossapitoa valmistamalla juuri siihen kohteeseen sopivat kulutusosat tai parantaa laitteen nykyisiä kulutusosia esimerkiksi pinnoittamalla ne kohteeseen paremmin sopivalla materiaalilla.

LÄHTEET

- Aaltonen, R., Alapass,i M., Karhula, M., Karhunen, E., Korhonen, I., Loukola-Ruskeeniemi, K., Nybergh, P., Peltonen, P., Uusisuo, M. 2012. Suomen kaivosteollisuuden tilannekatsaus vuonna 2012. Elinkeino- ja innovaatio-osasto raportti.
- Ansaharju, T., Maaranen, K. 1997. Koneistus. WSOY. Porvoo.
- ESAB 2012. Korjaushitsauskäsikirja. Hakupäivä 22.2.2013. <http://www.ESAB2012.fi/fi/support/Korjaushitsausopas.cfm>.
- FLSmidth. Gyratory Crushers. Hakupäivä 13.4.2013. <http://www.flsmidth.com/~media/PDF%20Files/Crushing/Gyratory%20Crusher%20brochure.ashx>
- Hakapää, A., Lappalainen, P. 2011. Kaivos- ja louhintatekniikka. Opetushallitus.
- Kauppila, P., Räisänen, M-L., Myllyoja, S. 2011. Metallimalmikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt.
- Seppälä, E. Hitsaajan Käsikirja. Impomet Oy. Tampere 2007.
- Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiainen, T., Tiilikka, P., Tuomikoski, J. Konetekniikan materiaalioppi. Oy Edita Ab. Helsinki 1999.
- Kunnossapito. 2006. Kunnossapitoyhdistys ry. KP-Media Oy. Helsinki.
- Krellis, T., Singleton, T. Mine maintenance - the cost of operation. University of Wollongong. 1998.
- Kivioja, S., Kivisaari, S., Salonen, P. 2007. Tribologia - kitka, kuluminen ja voitelu.
- Kuroda S., Kawakita J., Watanabe M., Katanoda H. 2008. Warm spraying-a novel coating process based on high-velocity impact of solid particles. Sci. Technol. Adv. Mater. 9.
- Lepola, P., Makkonen, M. 2009. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. WSOYpro Oy. Helsinki.
- Teräskirja. 2009. Metallinjalostajat ry. teknologiateollisuus.fi.
- Metso. 2011. Kuluminen ja materiaalit, kulutusosaopas. Tampere.
- Penson, K. 2013. Opetusmateriaali. 4_kpt_1_kp_ja_yrityksen_kannattavuus_2013.
- Rintala J. Di. Telatek Quality. Tekninen johtaja. Keskustelu. 2.4.2013.
- Rissanen, T. Suomen kaivostoiminnan toimialakatsaus. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun julkaisuja. 2011.
- Kuumavalssatut teräslevy ja kelat. Raex® kulutusterästen hitsaus ja terminen leikkaus. 2012. Ruukki. Hakupäivä 4.4.2013.

Kuumavalssatut teräslevyt ja -kelat – Hitsaus. 2012. Ruukki.
<http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Terastuotteet/Ruukki-Kuumavalssatut-ter%C3%A4kset-Hitsaus-ohjelehti.ashx>. Hakupäivä 4.4.2013.

Suomen mineraalistrategia. 2012. www.mineraalistrategia.fi. 20.12.2012.

Tikkala, J., myyntipäällikkö. Tuomivaara, O., kehitysinsinööri. Telatek Service Oy keskustelu 10.4.2013.

Tunturi, P ja P. 1999. Metallien pinnoitteet ja pintakäsittelyt. Metalliteollisuuden kustannus Oy.

Tuomivaara O. DI. Kehitysinsinööri Telatek Service Oy, keskustelu 01.3.2013.

Törmälä, E. Opetusmateriaali. 1_korr_ja_pinn_opetus_2.

Uusisuo, M. 2012. Kaivosteollisuuden toimialaraportti. TEM:n ja ELY-keskuksen julkaisu.

LIITE 1. KULUMISMEKANISMIIEN TUNNISTAMINEN

Abrasiivinen kuluminen

Kulutuspinnassa voi olla kyntämällä tai lastuamalla syntyneitä uria. Abrasiivisessa kulumisessa syntyy lastuja ja irronneita partikkeleita. Abrasiivista kulumista on myös lietteen mukana kulkeutuvan hienon aineksen aiheuttama hioutuminen

Esiintyy kaikissa kaivosprosessin vaiheissa, joissa tapahtuu mekaanista kulumista.

Iskumainen kuluminen

Iskumaisesta kulumisesta seuraa aina muodonmuutoksia kappaleissa. Kuopat, lohkeamat, pintakerroksen tai pinnoitteen irtoaminen laajalta alueelta ovat tyypillisiä seurauksia iskumaisesta kulutuksesta.

Esiintyy murskaimissa ja muissa kohteissa, joissa osat joutuvat voimakkaan iskumaisen kuormituksen kohteeksi.

Väsymiskuluminen

Kun kuluminen ei selvästi ole abrasiivisesta- tai adhesiivisestakulumisesta, on yleensä kyse pintakerroksen väsymisestä. Väsymiskulumisesta havaitaan yleensä ensimmäisenä alkusärö.

Väsymiskuluneet kohteet ovat yleensä voimakkaan ja jatkuvasti muuttuvan rasituksen kuormittamia.

Korroosio

Ruostuminen, patinoituminen, pitting, aluekorroosio ja oksidikerroksen kuluminen ovat selviä korroosion seurauksia.

Ilmenee yleensä kohteissa, joissa ympäristö mahdollistaa voimakkaat korroosioreaktiot kappaleen pinnassa. Esimerkiksi vedessä, kemikaaleissa tai korkeassa lämpötilassa.

LIITE 2. KULUSTUSOSIEN KULUMISEN SEURANTA

Kulustusosien kulumista voidaan seurata

- silmämääräisesti
- mittaamalla levyn paksuutta
- punnitsemalla
- ultraäänimittauksella

Ultraäänellä levyn paksuuden määrittäminen voi olla kannattavaa silloin, kun se ei mittaamalla ole mahdollista. (Juha Rintalan, Telatek Quality.)

Säännöllisellä kulumisen mittauksella voidaan määrittää kappaleen kulumisnopeus ja kulumiskäyrä. Tieto siitä miten kappale kuluu mahdollistaa kappaleen kunnossapidon tehokkaan ajoittamisen.

Asioita joihin kiinnitettävä huomiota kulumista tutkittaessa:

- mistä kohdista kappale on kulunut
- miten kappale on kulunut
- kulumistuotteet (ruoste, levynkappaleet)
- kuluttava materiaali (materiaali, koko)
- vaikuttavat kulumismekanismit

Näiden lisäksi kappaleen kunnossapitoa varten olisi hyvä dokumentoida

- kappaleen materiaali
- olosuhteet
 - lämpötila
 - kosteus
 - kemikaalit
- väsymiskulumisen ollessa kyseessä: kuvaus koko rakenteesta.

