

Opinnäytetyö (AMK)  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Koneautomaatiotekniikka  
2011

Mikko Loikas

# KIVIMURSKAAMON SÄHKÖVOIMAKONEIDEN HUOLTO



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka | Koneautomaatiotekniikka

2011 | 55 sivua

Timo Vuoriluoto

Mikko Loikas

# KIVIMURSKAAMON SÄHKÖVOIMAKONEIDEN HUOLTO

Tämä insinöörityö on tehty Rudus Oy:n ja Turun Sähköpalvelu Oy:n pyynnöstä. Turun Sähköpalvelu Oy toimii Ruduksen yhteistyökumppanina hoitaen kivimurskaamojen ylläpitoa sähkövoimalaitteiden osalta. Opinnäytetyössä kartoitettiin tuotannon kannalta tärkeiden sähkömoottorien tietoja ja saatavissa olevia varaosia huoltamisen helpottamiseksi. Samalla pohdittiin ennakoin huollon merkitystä murska-asemilla, sekä mitä teknisiä järjestelmiä ennakoivaan huoltoon voitaisiin käyttää.

Piikkiön kivimurskalle laadittiin huoltosuunnitelman esimerkki, joka palvelee molempia yrityksiä tulevaisuudessa nopeuttaen ja helpottaen laitteiden huoltoa. Huolto-ohjelmalla halutaan kehittää kivimurskan käyttövarmuutta ja tehdä kunnossapidosta taloudellisesti ja teknisesti järkevämpää. Lisäksi kartoitettiin murska-asemien käyttövoimaerotuskytkimien sijainnit ja vaikutusalueet, sekä edelleen päivitettiin ne virallisiin piirustuksiin sopiviksi.

ASIASANAT:

Kivimurska, huoltosuunnitelma, ennakoin huolto, käyttövoimaerotuskytkimet

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical engineering and production technology | Machineautomationtechnic

2011 | 55 p.

Timo Vuoriluoto

Mikko Loikas

# STONECRUSHING PLANTS ELECTRIC POWERMACHINE SERVICE

This bachelor's thesis is made for request of Rudus Lc and Turun Sähköpalvelu Lc. Turun Sähköpalvelu works in partner of cooperation with Rudus. It manage stone crushing plants maintenance, concentration to electric power equipment. Target was to clear Rudus's plants safety isolation switches locations those area of influences and further upgrade those to official technical drawings. Moreover we prepare example servicing plan to Piikkiö's stonecrushing plant. It deserves both company's, to make equipments service to easier and faster way.

In this work we chart important electric motors specifications relation to production and settle available spare parts to make maintenance easier. Also we consider proactive maintenance significance to crushing plants, and what technical systems we can use for it.

KEYWORDS:

Stone crushing plant, service plan, proactive maintenance, safety switch

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 KIVIMURSKAT</b>	<b>8</b>
2.1 Murskausprosessi	9
2.2 Moottorit murskalla	12
2.3 Moottorien käynnistys	16
2.4 Koneiden tärinä	20
<b>3 KUNNOSSAPITO</b>	<b>21</b>
3.1 Kunnossapidon merkitys yrityksen taloudelle	21
3.2 Kunnossapidon käsitteitä	22
<b>4 LAAKERIT</b>	<b>24</b>
4.1 Laakerivaurioiden syyt	24
4.2 Voitelu	25
4.3 Laakerivirrat	26
4.4 Laakerien nimelliset kestoajat	27
4.5 Moottorien laakerien kunnossapito murskalla	27
<b>5 KUNNONVALVONTAMENETELMÄT</b>	<b>30</b>
5.1 Kunnnonvalvontamittausmenetelmät ja -järjestelmät	32
5.2 Tärinänmittauskohdat moottoreissa	37
5.3 Järjestelmällinen tärinänseuranta	39
5.4 Kunnnonvalvonnassa käytettävät anturit	40
<b>6 KÄYTTÖVOIMAEROTUSKYTKIMET JA TURVALLISUUS</b>	<b>42</b>
<b>7 YHTEENVETO -HUOLLON JA KUNNOSSAPIDON PARANTAMINEN</b>	
<b>MURSKALLA</b>	<b>44</b>
7.1 Nykyinen huollon taso	45
7.2 Huollon tason parantaminen	46
7.3 Esimerkinomainen huoltosuunnitelma GE 500 -kartiomurskaan	50
7.4 Taajuusmuuttajakäyttöjen lisääminen murskalle	52
<b>LÄHTEET</b>	<b>54</b>

## LIITTEET

- Liite 1. Lämpötilamittausten seurantataulukko
- Liite 2. Piikkiön murskan huoltotaulukko
- Liite 3. GE 500 -murskan osittaiset sähkökuvat ja niihin liittyvät tiedot
- Liite 4. Piikkiön murska-aseman erotuskartta
- Liite 5. Paraisten murska-aseman erotuskartta
- Liite 6. Oripään murska-aseman erotuskartta
- Liite 7. Piikkiön erotuskytkinluettelo
- Liite 8. Paraisten erotuskytkinluettelo

## KUVAT

Kuva 1. Yleiskuva murska-asemalta.	8
Kuva 2. Leukamurska Piikkiössä.	10
Kuva 3. Leukamurska, jossa kiinteä leuka (1), liikkuva leuka (2), vauhtipyörä (3), syöttöaukko (A) ja lähtöaukko (B) [14]	10
Kuva 4. GE 500 -kartiomurska Piikkiössä.	11
Kuva 5. Kartiomurska, jossa murskatila (1), murskauskartio (2), ratasvälitys (3), syöttöaukko (A) ja lähtöaukko (B) [14].	11
Kuva 6. Oikosulkumoottori, jonka päässä vaihde.	12
Kuva 7. Oikosulkumoottorin rakenne. [11]	14
Kuva 8. Oikosulkumoottorin osat. [11]	14
Kuva 9. Kannettava SPM-tärinämittari.[18]	33
Kuva 10. Tärinämittarin anturi asennettuna koneen kylkeen. [18]	33
Kuva 11. Anturitaskun asentaminen moottoriin.[18]	37
Kuva 12. Anturitaskun paikat moottorissa.[18]	38
Kuva 13. Anturitaskun paikat moottorissa sivulta kuvattuna.[18]	38
Kuva 14. Esimerkkikuva anturitaskuun muodostuvista häiriöistä.[18]	38
Kuva 15. Kasakuljettimen turvakytin ympyröitynä.	43

## KUVIOT

Kuvio 1. Sähkömoottorin energiakustannukset (sinisellä) sen elinkaaren aikana, verrattuna hankintahintaan(punaisella).	13
Kuvio 2. Tärinämittauskuvaaja. Ajan myötä kehittyvä laakerin vaurioituminen.[12]	39

## TAULUKOT

Taulukko 1. Kestavoideltujen laakereiden nimelliset käyttötunnit.[1]	28
Taulukko 2. Jälkivoideltujen laakereiden nimelliset voiteluvälit, kuulalaakerit.[1]	29
Taulukko 3. Jälkivoideltujen laakereiden nimelliset voiteluvälit, rullalaakerit.[1]	29

## KÄYTETYT LYHENTEET (TAI SANASTO)

Amplitudi	Värähdyslaajuus. Värähtelyn ääripisteiden etäisyys toisistaan, jaettuna kahdella on amplitudi.
D-pää	Moottorin akselin puoli (Drive)
ISO	International Organization for Standardization
N-pää	Moottorin tuulettajan puoli (Neutral)
PLC	Programmable Logic Control. Ohjelmoitava logiikka.
PSK	Prosessiteollisuuden Standardisoimiskeskus.
Spektri	Signaalin spektri tarkoittaa sähkötekniikassa ja signaalinkäsittelyssä taajuusjakaumaa. Mitattu signaali voidaan jakaa eri taajuuksien osien summaksi
SPM	Shock Pulse Method
Viskositeetti	Suure, joka kuvaa nesteen tai kaasun kykyä vastustaa virtaamista. Mittayksikkö St (stoki)

# 1 JOHDANTO

Kilpailun kiristyessä kunnossapidon merkitys eri teollisuusalojen yrityksille on entistäkin tärkeämpää. Tuotantolaitosten kunnossapito kehittyy, koska yritykset ovat huomanneet sen olevan olennainen osa laitoksen tuottavuutta ja kunnossapidon parissa työskentelevien ihmisten antama panos yrityksille on arvostettua työtä. Samat asiat tulevat esille myös, kun puhutaan tehtaiden ja tuotantolaitosten turvallisuudesta. Kunnossapitävän ja tuotantoa tekevän työntekijän rajapinta on kadonnut, monipuolinen ammattitaito sekä työturvallisuus ovat nykyäänä lähtökohtana kaikkeen työhön. Jokainen työtaturma ja onnettomuus tulee kalliiksi yritykselle sen laajuudesta riippumatta.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selventää käsityksiä kunnossapidosta ja soveltaa niitä kivimurskaamoympäristöön. Työturvallisuuteen liittyvä työ tehtiin käyttövoimakymien parissa. Lisäksi opinnäytetyössä käydään läpi tärkeimpiä kunnonvalvontajärjestelmiä, kunnonvalvonnassa käytettäviä antureita, murskalta esiintyviä vikoja moottoreissa, kunnossapitoa yleensä sekä murskan toimintaprosessia.

## 2 KIVIMURSKAT

Rudus Oy:n kivimurskaamo Piikkiössä valmistaa erilaisia sepelilajeja rakennus- ja infrateollisuuden käyttöön. Sepeli murskataan ympärillä olevasta kalliosta jota louhitaan. Louhittu tai räjäytetty kiviaines ajetaan maansiirtoajoneuvoilla esimurskaukseen. Tästä alkaa varsinainen automatisoitu sorantekoprosessi. Murska- asema on erittäin vaativa ympäristö koneille ja laitteille. Se on pölyinen, kostea ja likainen. (Kuva 1.)



Kuva 1. Yleiskuva murska-asemalta.



## 2.1 Murskausprosessi

Esimurskauksen jälkeen sepelin valmistusprosessi jakautuu murskaukseen ja jauhatukseen, joiden kanssa samanaikaisesti ohjataan raekoon jakaumaa seulomalla.

Kiviaines murskataan nykyisin useimmiten kolmessa vaiheessa, joita ovat esi-, väli- ja hienomurskaus. Ensin louheena tuleva, enintään 1000–1200 mm:n kokoinen kiviaines, hienonnetaan 150–250 mm:n lohkokokoon. Toisessa vaiheessa päästään 50–80 mm:n ja kolmannessa 10–25 mm:n raekokoon. Neljättä vaihetta käytetään vain hyvin hienoon, 0–8 mm:n, raekokoon.[8]

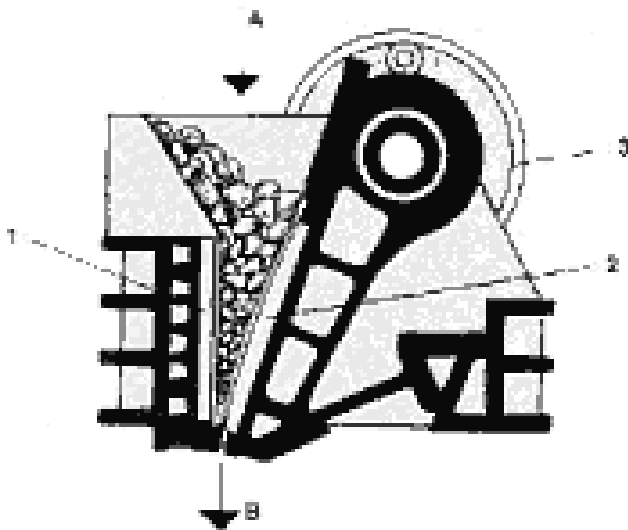
Seulonnalla säännöstellään kiven raekokoa ennen ja jälkeen murskauksen. Näin voidaan myös erotella karkeudeltaan erilaisia raekokoja toisistaan. Kun kiviaines seulotaan ennen murskausta, säästetään sekä energiaa että murskan kuluvia osia. Murskauksen jälkeen seulotusta kiviaineesta on helppo pitää murskeen raekoko vaadittuna. Seulontaan käytetään täryseuloja sekä säleikköseuloja. Pääasiassa murskalla suoritetaan vain kuivaseulontaa.[8]

Ruduksen murska-asemilla murskaimet voidaan jakaa kahteen ryhmään: leukaja kartiomurskaimiin. Esimurskauksessa käytetään leukamurskainta. (Kuvat 2,3.) Leukamurskaimessa isot kivilohkareet tiputetaan syöttöaukkoon. Syöttöaukossa kiviaines kulkeutuu kiinteän ja liikkuvan leuan väliin. Vauhtipyörä liikuttaa epäkeskomaisesti liikkuvaa leukaa joka painaa kivilohkareet kiinteää leukaa vasten. Tällöin tapahtuu kivenlohkareen halkeaminen pienemmäksi.

Kartiomurskaimia (Kuvat 4,5.) käytetään esimurskauksen jälkeen hieman pienempään kivikokoon. Kartiomurskaimessa kivi hienontuu kahden sisäkkäin olevan kartiomaisten vaipan välissä. Ulompi vaipoista on kiinteä, jota vasten sisempi kartio pyörii ja kieppuu.[8]



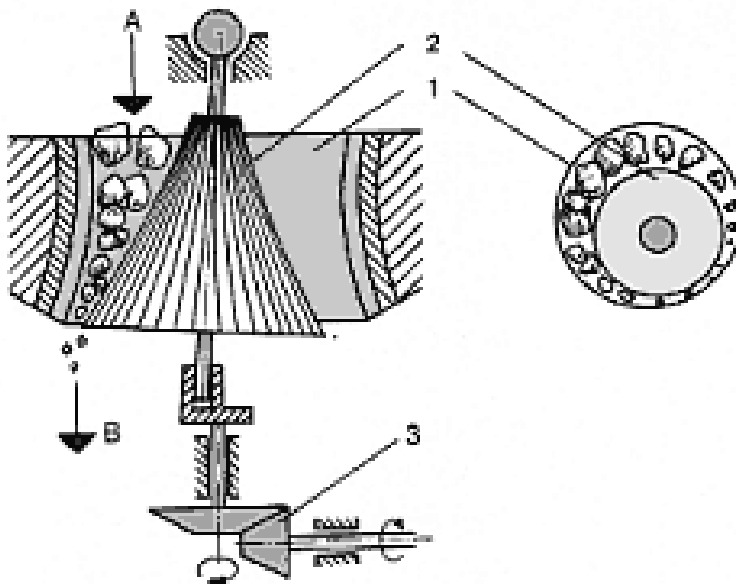
Kuva 2. Leukamurska Piikkiössä.



Kuva 3. Leukamurska, jossa kiinteä leuka (1), liikkuva leuka (2), vauhtipyörä (3), syöttöaukko (A) ja lähtöaukko (B) [14]



Kuva 4. GE 500 -kartiomurska Piikkiössä.



Kuva 5. Kartiomurska, jossa murskatila (1), murskauskartio (2), ratasvälitys (3), syöttöaukko (A) ja lähtöaukko (B) [14].

## 2.2 Moottorit murskalla

Piikkiön murskalla on käytössä noin 60 oikosulkumoottoria. (Kuva 6.) Lisäksi muutama liukurengasmoottori. Moottorien kohdalla ongelmaksi muodostuu niiden laaja skaala. Moottoreita on teholuokaltaan kymmeniä erilaisia ja niillä on lukuisia erilaisia valmistajia. Lisäksi kiinnitystapa käyttöakseliin ja jalustaansa vaihtelee. Tämä tekee niiden huollosta haastavaa ja esimerkiksi varakoneiden ostaminen varastoon ei ole välttämättä järkevää.

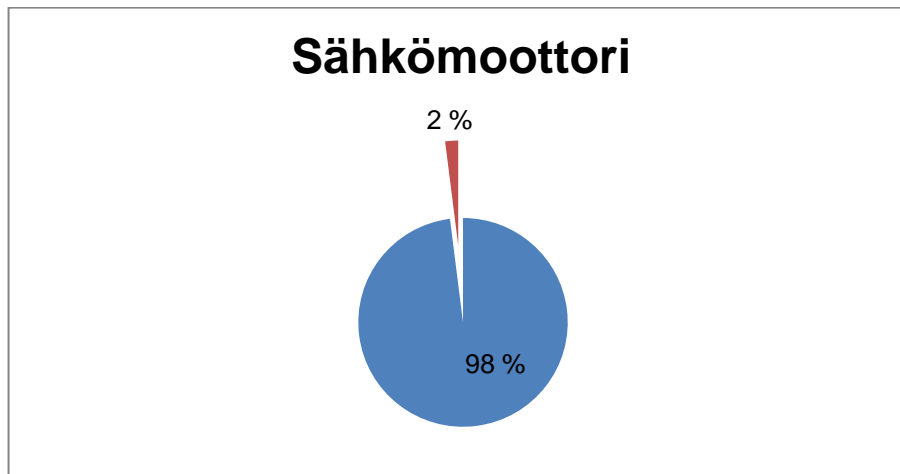


Kuva 6. Oikosulkumoottori, jonka päässä vaihde.

Yleensä kunnossapidossa puhutaan ”15 kW: in säännöstä”. Se tarkoittaa että, alle 15 kW:n tehoista konetta ei kannata korjata sen vikaantuessa. Tällöin huoltokustannukset ylittävät uuden moottorin ostohinnan. Pieniä moottoreita saa yleensä valmistajilta suoraan hyllystä, ja tällöin niiden toimitusaika on lyhyt ja ne on helppo vaihtaa. Vaikein moottoreihin liittyvä asia kunnossapidon näkökul-

masta ovat siis isot moottorit. Toimitusajat ovat pitkiä ja niiden moottorien viikaantuessa asema voi seistä kauankin tuotannosta. Isoihin moottoreihin voidaan tehdä korjauksia, mutta silloinkin moottori pitää kuljettaa sähkömoottorihuoltajan tiloihin. Tämä vie aikaa ja syö tuotantoa.

Eräs mielenkiintoinen näkökulma moottoreiden tarkasteluun on niiden energiakustannukset verrattuna hankintahintaan. (Kuvio 1.) Yleisesti moottorin hankintaa pidetään isona investointina kunnossapidolle. Kuitenkin sen hankintahinta on vain 2 %:a sen koko elinkaaren aikana syntyneistä energiakustannuksista. Tämä on mielestäni, havahduttava asia moottorin hankintaa suunniteltaessa. Tärkeä varamoottori varastossa tuskin onkaan niin kallis investointi, jos sillä pystytään pitämään murska paremmassa käyttöasteessa.

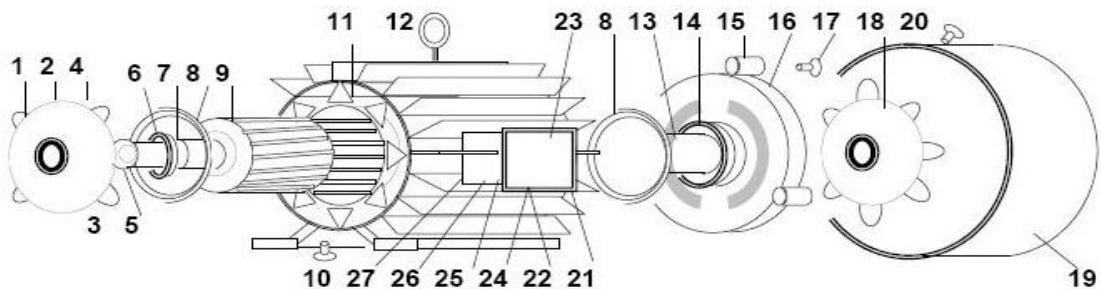


Kuvio 1. Sähkömoottorin energiakustannukset (sinisellä) sen elinkaaren aikana, verrattuna hankintahintaan (punaisella).

Oikosulkumoottori on yksinkertaisuutensa vuoksi suosittu moottorityyppi. Se sopii helpon huollettavuutensa ja kestäväytensä vuoksi myös murskalle erittäin hyvin. Verrattuna muihin yleisimpiin moottorityyppeihin, oikosulkumoottorissa ei ole erillisiä magnetointikämmityksiä. Ainoastaan suhteellisen yksinkertaiset staattori- ja roottorikämmitykset. Koneen toiminnan kannalta tärkeimmät osat ovat staattorin ja roottorin kämmitykset levypaketteineen. (Kuva 7,8.) Käytännössä ainoat moottorin kuluvat osat ovat laakerit.[19]

Liukurengasmoottori eroaa toimintansa ja rakenteensa puolesta oikosulkumoottorista siten, että liukurengaskoneessa kolmivaiheisen roottorikäymityksen päät on kytketty koneen akselilla oleviin liukurenkaisiin, joita liukuharjat laahaavat. Liukuharjoihin on kytketty ulkoinen, usein säädettävä, vastus. Piikkiön murskalla tämä vastus on elektrolyyttikäynnistin, jolla koneen roottoriin resistanssia voidaan säätää.[19]

Kun staattoriin kytketään jännite, syntyy koneen sisään pyörivä magneettikenttä, jonka kenttäviivat leikkaavat roottorikäymien sauvoja. Sautoihin indusoituu tällöin siis magneettikenttä, joka saa aikaan roottorivirran. Roottorivirran ja pyörivän kentän välinen voimavaikutus saa roottorin pyörimään. Moottorin tarvitsema sähköteho syötetään siis staattorikäymityksiin, joista teho siirtyy roottoriin pääasiassa mekaaniseksi tehoksi.[19]



Kuva 7.Oikosulkumoottorin rakenne. [11]

1	Päätykilpi, D-pää	10	Tyhjennystulppa	19	Tuulettimen pesä
2	Voitelunippa	11	Staattorin runko	20	Voitelunippa
3	Rasvanpoisto	12	Nostosilmukka	21	Liitännäboxin kansi
4	Kiinnitysruuvi	13	Sisäpuolinen holkki	22	Kannen tiiviste
5	Suojaussokat	14	Kuulalaakeri	23	Kytkentälevy
6	Kuulalaakeri, D-pää	15	Laakerin tuki	24	Liitännäboxi
7	Laakerin olake	16	Päätykilpi	25	Boxin tiiviste
8	Päätykartio	17	Päätykartion ruuvit	26	Liitännärunko, läpiv.
9	Häkkikämmetty roott.	18	Tuuletin	27	Läpiviennin tiiviste

Kuva 8.Oikosulkumoottorin osat. [11]

## Yleiset viat

Oikosulkumoottorien viat yleisesti koostuvat lähinnä roottori-, staattori- ja laakerivioista. Oikosulkumoottorin ainoat liikkuvat osat ovat laakerit ja roottori. Tämän takia suurin osa vioista kohdistuu niihin. Väärä linjaus ja/tai raskas hihnakäyttö rasittavat roottoria ja laakereita. Muut viat murskakäytössä, kuten akseli- ja kytkinviat, sekä ulkoiset viat, muodostuvat usein pölyn ja lian aiheuttamina, sekä tärinästä. Tärinää syntyy kiven murskautuessa leukojen välissä. Tällöin moottori liikkuu ja värisee jalustallaan samaan tahtiin kuin murskan leuat. Myös rikkiäinen moottorin syöttökaapelin vedonpoistaja voi aiheuttaa oikosulun, sekä rikkiäinen tiiviste korroosioaurioita. Usein moottorin palamiseen johtaa myös lämpöreleen toimimattomuus. (Lämpörele on vääränlainen tai se on säädetty väärin.)

Liukurengasmootoreiden eniten huoltoa kaipaavat osat, ovat sen liukuharjan hiilet. Yleisemmin puhutaan vain hiilistä. Mekaanisen kosketuksen takia ne kuluvat ja kuluessaan päästävät runsaasti hiilipölyä moottorin liukupään koteloon. Pöly voi lämmitessään leimahtaa ja aiheuttaa näin suurempia vahinkoja moottorissa, polttaen esimerkiksi johtimien eristeitä ja aiheuttaen näin oikosulun. Liukurengaskotelon puhdistaminen tulee aina suorittaa hiilien vaihdon yhteydessä.

Hiilen kuluessa loppuun, voi hiiliharjapidike, sen jousi tai jokin muu osa joutua kosketuksiin liukurenkaan pinnan kanssa. Tällöin vaara koneen vioittumiselle on erittäin suuri. Tarkastuksen yhteydessä huomioidaan myös hiilien oikea sijainti pidikkeissään, liukurenkasiin nähden.

Yksi murskakäytössä havaittu ongelma hiilien osalta, liittyy murska- aseman kovaan tärinätasoon. Koneen täristäessä paljon, hiilet ikään kuin ”pomppivat” irti liukurenkaitten kosketuspinnolta. Tämä ilmiö luonnollisesti aiheuttaa kipinöintiä, joka kuluttaa hiiliä tarpeettomasti. Ongelma voidaan ratkaista hiiliharjojen jousia kiristämällä. Tällöin hiilet painautuvat liukurenkasiin kovemmin kiinni ja tärinästä aiheutuvaa pomppimista ei pääse syntymään. Hiilten painuessa kovemmin kiinni renkasiin ne jälleen kuluvat nopeammin. Joissakin tapauksissa

on liukurengaskone jouduttu näiden seikkojen takia vaihtamaan oikosulkumoottoriin. Tällöin tärinästä aiheutuvaa hiilten kulumista ei pääse syntymään.

On vaikea määrittää tietyn koneen hiilien vaihtoväliä. Yleensä hiilet vaihdetaan kokemusperäisten tietojen mukaan ja kaikki hiilet kerralla. Esimerkiksi Piikkiön GE500- murskan liukurengaskoneen hiiliä ei ole vaihdettu ikinä. Toisaalta Locomo 14 -murskan koneen hiilet on vaihdettu noin puolen vuoden välein.

Yleisimpänä moottorin rikkoutumisen aiheuttajana on siis miltei aina laakerivika. Laakerivika, tarpeeksi kehittyessään, aiheuttaa moottorin ylikuumentumisen ja sitä kautta sen kenttäkäämien palamisen. Kun tarkastellaan vikojen aiheutumista laajemmin, liukurengasmoottorit mukaan lukien, voidaan myös liukurengaspaketista, hiilistä ja hiiliharjoista johtuvia vikoja pitää yleisinä. Voidaan myös todeta, että viat aiheutuvat murskalla pölystä, väärästä linjauksesta ja raskaasta käytöstä.

On tärkeää että jokaisen moottorin ympärillä on tarpeeksi jäähdytyksen vaatimaa tilaa. Ympäristön lämpötila ei saisi kuumentaa moottoria liikaa. Moottorin oikea linjaus on tärkeää laakerivaurioiden, tärinän ja akselivaurioiden estämiseksi. Moottori linjataan lasermittauksella, käyttäen asianmukaisia sovitelevyjä. Moottorin alustan on oltava tasainen ja tukeva, jotta se kestävä mahdolliset oikosulkuvoimat. Alustan tulee olla sellainen, että vältetään murskan tärinän johtuminen moottoriin, niin hyvin kuin se vain on mahdollista.[1]

### 2.3 Moottorien käynnistys

Murskalla miltei kaikki moottorit ovat oikosulkumoottoreita ja useimmat (pienimmät) käynnistetään suoralla käynnistystavalla. Suuremmat (yli 100 kW) käynnistetään pehmokäynnistimellä tai tähti- kolmiokytkennällä. Lisäksi murskalta löytyy liukurengasmoottoreita, jotka käynnistetään elektrolyyttikäynnistimellä. Taajuusmuuttajakäyttöisiä moottoreita murskalla ei ole, paitsi joissakin syöttösuppiloiden levyjen täryttimissä. Taajuusmuuttajakäyttöjä voitaisiin kuitenkin hyvinkin lisätä murskalle. Näin tulevaisuudessa varmasti tulee tapahtumaan, taajuusmuuttajien vallatessa alaa markkinoilla.[3]



Tässä kappaleessa käsitellään pääpiirteittäin kaikki edellä mainitut käynnistystavat. Käynnistystapa on olennainen osa murskan kestävyyttä. Oikeanlaisella käynnistyksellä murskaa ja sen komponenttien käyttöikä voidaan oleellisesti parantaa.

Hyvä hyötysuhde vähentää energiakustannuksia merkittävästi moottorin normaalikäytössä. Myös vaativien olosuhteiden kesto ovat tärkeitä näkökohtia murskakäytössä. Moottorin rakenne vaikuttaa käynnistysvirtaan ja -momenttiin. Arvot eri valmistajien välillä voivat vaihdella todella paljon samassa teholuokassa. Pehmokäynnistintä käytettäessä on eduksi, jos moottorin käynnistysmomentti on suuri suorassa käynnistyksessä. Kun tällaisia moottoreita käytetään yhdessä pehmokäynnistimen kanssa, käynnistysvirtaa voidaan vähentää verrattuna moottoreihin, joiden käynnistysmomentti on pieni. Kun moottoria käynnistetään murskan kartion tai leuan ollessa täynnä kiveä, ei murska lähde käyntiin jos käynnistysmomentti on liian alhainen. Myös napojen lukumäärä vaikuttaa moottorin ominaisuuksiin. Kaksinapaisen moottorin käynnistysmomentti on usein pienempi kuin neli- tai useampinapaisten moottorien käynnistysmomentti.[3]

### **Suora käynnistys**

Suora käynnistys on yleisin moottorien käynnistystapa. Käynnistyslaitteisto koostuu ainoastaan pääkontaktorista sekä lämpöreleestä tai elektronisesta ylikuormitusreleestä. Tämän menetelmän haittana on se, että käynnistysvirta on suurin mahdollinen. Normaali arvo on 6–7 kertaa moottorin nimellisvirta, mutta arvo voi nousta jopa 9–10-kertaiseksi nimellisvirtaan verrattuna. Käynnistysvirran lisäksi käynnistyksen aivan ensihetkellä moottori ottaa noin 14-kertaisen virtapiikin, verrattuna nimellisvirtaan. Arvot vaihtelevat moottorin rakenteen ja koon mukaan, mutta yleensä pienillä moottoreilla arvot ovat suurempia kuin suurilla moottoreilla. Suoran käynnistyksen aikana myös käynnistysmomentti on erittäin suuri, yleensä tarpeettoman suuri sovelluksen kannalta. Momentti tarkoittaa samaa kuin voima, ja liian suuret voimat rasittavat kytkimiä ja käytettäviä

laitteita tarpeettomasti. Murskakäytössä liian suuri momentti voi aiheuttaa esimerkiksi kuljetinhihnojen rikkoutumista. Tietenkin joissakin tapauksissa tämä käynnistystapa toimii täydellisesti, ja joskus se on myös ainoa mahdollinen ratkaisu.[3]

### **Tähtikolmiökäynnistys**

Tähtikolmiökäynnistys on käynnistysmenetelmä, joka vähentää käynnistysvirtaa ja -momenttia. Tavallisesti laite koostuu kolmesta kontaktorista, ylikuormitusreleestä ja ajastimesta, jolla määritetään aika, jonka moottori on tähtikytkennässä (käynnistysasennossa). Tämä käynnistysmenetelmä edellyttää, että normaalin käytön aikana moottori on kolmiokytkennässä. Moottorin saama käynnistysvirta on noin 30 % suoran käynnistyksen käynnistysvirrasta ja käynnistysmomentti noin 25 % suoran käynnistyksen käynnistysmomentista. Tämä käynnistystapa soveltuu vain tilanteisiin, joissa kuormitus on käynnistettäessä pieni. Jos moottorin kuormitus on liian suuri, momentti ei riitä moottorin kiihdyttämiseen käyntinopeuteen ennen kolmiokytkentään siirtymistä. Kun nopeus on noin 80–85 % moottorin nimellisuudesta, kuormitusmomentti on yhtä suuri kuin moottorin momentti ja nopeuden kasvu päättyy. Nimellisuudesta saavuttaminen edellyttää siirtymistä kolmiokytkentään, joka aiheuttaa usein suuria voimansiirto- ja virtahuippuja. Joissakin tapauksissa virtahuiput ovat suurempia kuin suorassa käynnistyksessä. Tähtikolmiökäynnistystä ei voi käyttää kohteissa, joissa kuormitusmomentti on suurempi kuin puolet moottorin nimellismomentista.[3]

### **Taajuusmuuttaja**

Taajuusmuuttajasta käytetään myös nimityksiä vaihtuvanopeuksinen käyttö, taajuusmuuttajakäyttö tai yksinkertaisesti käyttö. Taajuusmuuttajassa on kaksi pääosaa, joista toinen muuntaa vaihtovirran (50 Hz) tasavirraksi ja toinen muuntaa tasavirran takaisin vaihtovirraksi, mutta tämän vaihtovirran taajuus voi vaihdella välillä 0...250 Hz. Koska moottorin pyörimisnopeus on suoraan verrannollinen vaihtojännitteen taajuuteen, nopeutta voi säätää muuttamalla invertterin

tuottaman vaihtovirran taajuutta. Tämä on suuri etu, jos moottorin nopeutta halutaan säätää jatkuvan käytön aikana. Taajuutta säätämällä moottorin nimellismomentti on käytettävissä pienillä nopeuksilla ja käynnistysvirta on pieni, 0,5–1,0 kertaa moottorin nimellvirta. Usein taajuusmuuttajan yhteyteen asennetaan häiriösuodatin, joka vähentää sähkömagneettisia häiriöitä ja harmonisia yliaaltoja. Taajuusmuuttajien käyttöä ja niiden lisäämistä murska-asemalle käsitellään lisää kappaleessa 8.4. [3]

### **Pehmokäynnistin**

Pehmokäynnistin poikkeaa ominaisuuksiltaan muista käynnistystavoista. Sen päävirtapiirissä on tyristörejä, ja moottorin jännitettä säädetään piirilevyn elektronikalla. Pehmokäynnistimessä käytetään hyväksi sitä, että kun moottorinjännite on käynnistyksen aikana pieni, myös käynnistysvirta ja momentti ovat pieniä. Käynnistyksen ensimmäisen vaiheen aikana moottorille syötetään vain sen verran jännitettä, että vaihteiston rattaat tai vetohihnat tai -ketjut kiristyvät. Toisin sanoen käynnistyksessä ei esiinny tarpeettomia nytkähdyksiä. Vähitellen jännite ja momentti kasvavat ja koneisto alkaa kiihtyä. Yksi tämän käynnistystavan eduista on momentin säätömahdollisuus tarpeen mukaan riippumatta siitä, onko moottorilla kuormaa. Periaatteessa täysi käynnistysmomentti on käytettävissä, mutta sillä suurella erolla, että käynnistys on paljon sallivampi käytettävillä koneilla, mikä vähentää huoltokustannuksia.[3]

### **Elektrolyyttikäynnistin liukurengasmoottoriin**

Elektrolyyttikäynnistimet on suunniteltu vähentämään käynnistysvastusta mahdollisimman tasaisesti ja koneen vastustavan vääntövoiman mukaisesti siten, että vastuksen arvo on lähellä nollaa käynnistysvaiheen lopussa. Tätä tarkoitusta varten moottorin kolmeen liukurenkaaseen kytketään kolme kartioelektrodiä. Nämä elektrodit ovat elektrolyyttiä sisältävän käynnistyssäiliön osia. Kunkin elektrodin alaosa on upotettu nesteeseen (vettä, johon on sekoitettu pieni pitoi-

suus virtaa johtavaa natriumkarbonaattia). Tällä tavoin aikaansaatu vastus on käynnistyksen lähtöresistanssi.[20]

## 2.4 Koneiden tärinä

Kaikissa käyvissä pyörivissä koneissa osa voimista kohdistuu koneeseen itseensä, vaikka alusta ja kone olisivat itsessään ehdottoman jäykkiä. Nämä voimat aiheuttavat tärinää. Koska tärinää ei koskaan lopullisesti voida välttää, on asia tiettyyn rajaan asti hyväksyttävä. Koneet suunnitellaan kestävänsä normaalia tärinätasoa hyvinkin pitkän ajan. Jotta koneen kunto voidaan selvittää, on ensin selvitettävä sen normaali tärinätaaso. Tähän tasoon verrataan nykyistä arvoa, jolla koneen kunto saadaan selville.[15]

Luonnollisesti pieni sähkömoottori tärisee vähemmän kuin iso dieselmoottori. Koneiden voimat ovat täysin erilaiset. Tarvitaan enemmän voimaa aikaansaamaan koneeseen tärinää, jonka alusta on valettu betoniin, kuin sen alustana olisi taipuisa metallikehikko.

Tärinällä on tapana lisääntyä johtuen koneen käyttökunnosta ja koneen mekaanisen tilan muutoksista. Löystynyt kiinnityspultti tai väljä akselin laakeri tekee koneen rakenteen välittömästi löysemmäksi ja tärinä kasvaa. Jopa moottorin puhaltimeen kerääntynyt lika voi aiheuttaa koneessa epätasapainoa. Yleensä vaurioituminen kiihtyy, koska voimakkaampi tärinä jatkuessaan heikentää rakennetta.[15]

### 3 KUNNOSSAPITO

Toimiva ja tehokas kunnossapito on jokaisen murska-aseman kannalta tärkeää. Murskausprosessin toimivuutta pitäisi kokoajan pystyä parantamaan, jotta tuotanto ei pysähtyisi. Toisaalta kunnossapitoon käytetty budjetti ei saisi kasvaa, vaan pikemminkin laskea. Kunnossapito terminä määritellään standardissa PSK 62/1 seuraavasti:

”Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttamaan se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana”

#### 3.1 Kunnossapidon merkitys yrityksen taloudelle

Yrityksen liiketoiminnan tuloksen kannalta kunnossapito on hyvin merkittävää. Merkitys vaihtelee jonkin verran teollisuusalan mukaan. Kunnossapidon osa yrityksen käyttämästä resurssi- ja rahamäärästä voi olla jopa 20 % sen liikevaihdosta.[7] Mitä raskaammasta teollisuuden alasta on kyse, sen suuremmat ovat kunnossapidon kustannukset. Murskausta voidaan pitää raskaana teollisuusalanana.

Kunnossapidon taso ja määrä ovat yrityksen strateginen päätös. Yrityksen johto päättää kunnossapidosta vuosittain. Kunnossapitoa voidaan jatkaa samalla tasolla, parantaa, tai jättää se kokonaan tekemättä. Tekemättä jättäminen on harvoin kuitenkaan järkevää.[7]

Kunnossapidollisten tavoitteiden asettaminen ja mittaaminen on tärkeää, jotta suoria ja välillisiä laatu -kustannus - ja turvallisuushyötyjä voidaan tarkastella.[7]

Kunnossapidolla pyritään muun muassa

- luomaan laadukas tuote asiakkaalle
- pitämään yllä mahdollisimman hyvää tuotannon hyötysuhdetta
- pitämään koneet käynnissä tai valmiudessa käyttöön
- luomaan vaaraton ympäristö työntekijöille.

### 3.2 Kunnossapidon käsitteitä

Läheisesti kunnossapitoon ja huoltoon liittyy termi käynnissäpito. Käynnissäpidolla tarkoitetaan käytön aikana tehtäviä toimenpiteitä kuten; puhdistus, voitelu sekä kunnonvalvonta ja tuotantokyvyn seuranta.[16]

Korjaavalla kunnossapidolla tarkoitetaan yksinkertaisesti jo syntyneen vian korjaamista. Lähtökohtaisesti vikaa ei koskaan saisi päästää syntymään, vaan se tulisi ennaltaehkäistä. Murska-asemalla katkennut tuotantoprosessi voi tulla erittäin kalliiksi tuotannon pysähtyessä.[16]

Ennakoiva kunnossapito voidaan jakaa karkeasti kahteen eri osa-alueeseen. Niitä ovat ehkäisevä ja mittaava kunnossapito. Ehkäisevällä kunnossapidolla tarkoitetaan niitä toimenpiteitä, joilla voidaan estää laitteen täydellinen vikaantuminen. Tämä tarkoittaa laitteen säännöllistä huoltotoimintaa. Mittaavalla kunnossapidolla taas valvotaan ja määritetään laitteen kuntoa kokoajan.[16]

Parantavalla kunnossapidolla tarkoitetaan koneiden käytettävyyden, luotettavuuden, turvallisuuden ja suorituskyvyn lisäämistä. Näin voidaan poistaa suunnitteluvirheistä johtuvia ongelmia jotka aiheuttavat vaurioita ja vähentää siten kunnossapidon tarvetta.[16]

Ennakkohuollolla pyritään huoltamaan ja korjaamaan laite ennen sen vikaantumista. Huollon ja korjauksien aikana voidaan seurata laitteiden yleistä kuntoa tarkastikin, laitteiden ollessa huoltotilassa. Näin voidaan helpommin huomata olosuhteiden muutoksia ja piileviä vikoja. Osan tai laitteen vaihto voi olla ennakkohuoltoa. Vanhan ja hankalasti vaihdettavan laitteen kokonaan uusiminen voi olla taloudellisesti järkevin ratkaisu. Oleellista kuitenkin on, että ennakkohuollon

ansiosta asia huomataan ja uusi laite saadaan asennettua ennen vanhan rikkoontumista.[16]

Laajemmin kunnonvalvontamittauksia on teollisuudessa suoritettu 80-luvun alusta lähtien. Kunnossapidon ja sen kehittämisen alullepanijana voidaan pitää suomessa paperiteollisuutta, ja paperiteollisuuden alalla onkin saavutettu tehtaisten erittäin korkeat käyttöasteet. Nykyisin jokaisen uuden tehtaan suunnittelun lähtökohtana onkin kunnossapidon toimivuus ja varmuus. Kunnonvalvonta on selvästi osoittanut tarpeellisuutensa, jonka vuoksi sitä vaaditaan ja tarvitaan yhä pienemmissä laitoksissa joka teollisuuden alalla.[16]

Yleisesti kunnonvalvontajärjestelmän käyttöönottoa tukee sen kyky estää tulevat vauriot jo hyvissä ajoin ennen niiden syntyä. Voidaan luopua ”turhaan” tehtävistä huolloista kokonaan ja säästää sitä kautta rahaa. Koneista korjataan ainoastaan epäkuntoisiksi todetut osat. olennainen osa kunnossapitoa.[16]

## 4 LAAKERIT

Murskalla sähkömoottoreihin yleisimmin liittyvät viat johtuvat laakereiden viikaantumisista. Tässä kappaleessa käsitellään yleistä teoriaa laakereista, koska ne liittyvät vahvasti murskan käynnissäpitoon ja toimintaan.

Laakerit jaetaan yleensä liuku- ja vierintälaakereihin. Liukulaakeri ei pidä sisälään vierintäelimiä toisin kuin vierintälaakeri. Liukulaakerit tehdään yleensä kahdesta eri materiaalista, joiden rajapinnassa liike tapahtuu. Vierintälaakerissa vierintäeliminä toimivat rullat tai kuulat, jotka välittävät voimia kehältä toiselle. Vierintäelimet vähentävät vierintäkitkaa, suhteessa liukukitkaan. Kaikki sähkömoottoreissa käytössä olevat laakerit ovat vierintälaakeri-tyyppiä. Yleisesti laakerin tehtävä on kantaa siihen kohdistuva aksiaalikuorma ja vähentää kitkahäviöitä.[6]

Sähkömoottorissa laakerointi on toteutettu isostaattisesti kahta säteislaakeria käyttäen. Säteislaakereista toinen ohjaa ja toinen on vapaa. Ohjaava laakeri ottaa vastaan sekä säteis- että aksiaalivoimia. Vapaa laakeri taasen vastaanottaa pelkästään säteisvoimia. Yleisesti moottorin D- ja N-pään laakerit ovat tästä johtuen keskenään erilaiset. Kaikkien murskalla käytettyjen moottoreiden laakerit ovat taulukoituja ISO-standardin mukaisia laakereita. Kunnossapidon ja moottoreiden huollon kannalta tämä on hyvä asia.[6]

### 4.1 Laakerivaurioiden syyt

Vierintälaakerit kuluvat ajan myötä käytössä. Laakereiden käyttöikään voidaan kuitenkin vaikuttaa huollolla ja seurannalla. Yleensä laakerivauriot syntyvät liasta, lämpötilasta, voiteluhävikistä tai akselin väärästä linjauksesta johtuen. Myös ruoste voi olla laakerivaurion yksi syy. Vieraat aineet laakerissa, kuten pöly ja lika, aiheuttavat nopeaa kulumista.[6]



Kun laakeria kuormitetaan, paine vierintäelimien kosketuspinnassa nousee hyvin korkeaksi. Tämä toistuva paine, vierintäelimien koko ajan vierissä, aloittaa väsymisilmiön, joka ajan kuluessa näkyy laakerin tuhoutumisena. Vain pieni osa laakereiden tuhoutumisesta johtuu kuitenkin normaalista laakerin väsymisestä. Kuten jo todettu; epäpuhtaudet laakerin voiteluraossa nopeuttavat pintojen keskinäistä vierintäväsymystä. Laakerit voivat myös kulua nopeammin kuin väsyä. Tällöin laakerivällykset kasvavat liian suureksi. Muita syitä ovat värähtelevä tai liian suuri kuormitus, laakerivirrat, epäpuhtaat voiteluaineet sekä huonot tiivisteet. Vain laakerin normaali väsyminen on aikariippuvainen, käytön määrään verrannollinen vika.[6]

## 4.2 Voitelu

Jotta kitka ja kuluminen laakerissa saataisiin hallittua, tarvitsevat ne voitelua. Voitelutavat voidaan jakaa karkeasti kahteen luokkaan; kosketusvoitelu ja nestevoitelu. Nestevoitelun ollessa täydellistä, laakerin liikkuvat pinnat eivät osu lainkaan toisiinsa, vaan niiden välillä on jatkuvasti nestekalvo. Kun pinnat jossakin ajan määreessä koskettavat toisiaan, voidaan puhua kosketusvoitelusta.[6]

Tapa voidella laakeria jaetaan myös hydrodynaamiseen ja hydrostaattiseen voiteluun. Hydrodynaamisessa voitelussa kosketuspintojen välinen nestekalvo muodostuu ylipaineen vaikutuksesta. Vastakkain liukuvien pintojen nopeusero aiheuttaa laakerissa ylipaineen, joka kuljettaa nestekalvon liukuvien pintojen väliin. Tämä voitelutapa tarvitsee toimiakseen suuren pyörintänopeuden. Hydrostaattisessa voitelussa taas liikkuvien pintojen välinen nestekalvo pidetään yllä muodostamalla paine jotenkin muutoin laakeriin.[6]

Voiteluaineina käytetään yleisesti teollisuudessa käytettyjä voiteluöljyjä- ja rasvoja. Kaikki murskalla olevat moottorien laakerit ovat ns. rasvavoideltuja laakereita. Myös öljyvoitelua voidaan käyttää sähkömoottorien voitelussa lisää jäähdytystä tarvittaessa tai kun sama järjestelmä voitelee jotain muutakin koneen osaa saman aikaisesti. Öljyn viskositeetin ollessa pienempi kuin rasvan, nousevat kuitenkin tiivisteiden vaatimukset oleellisesti.[6]

Vierintälaakereiden toiminta perustuu erittäin vahvasti voiteluun ja voiteluaineeseen joutuneisiin epäpuhtauksiin. Kun voiteluaine on puhdasta ja sen viskositeetti on tiivisteille ja laakerille sopiva, voidaan laakerin käyttöiässä päästä kymmeneen vuosiin käytön kuormittavuudesta riippuen.[6]

### 4.3 Laakerivirrat

Varsinkin uusissa taajuusmuuttajakäyttöisissä moottoreissa voi ilmetä nopeita laakerivaurioita jo muutaman kuukauden käytön jälkeen. Laakerivirtavaurioita esiintyy kuitenkin myös normaaleissa moottorikäytöissä. Nämä äkilliset vauriot voivat olla seurausta erittäin suurtaajuisista virroista, jotka syntyvät moottorin laakereiden kautta.[4]

Laakerivirtoja synnyttävät nopeasti nousevat jännitepulssit ja korkeat kytkentätaajuudet. Jännitepulssit aiheuttavat laakereiden kautta purkautuvia virtapulsseja, jotka jatkuvasti toistuen kuluttavat laakereiden vierintäpintaa.[4]

Jos näiden virtapulssien energia on riittävän suuri, laakerin vierintäpinnan ja kuulien metallia siirtyy voiteluaineeseen. Ilmiötä voidaan kutsua myös kipinätyöstöksi tai englannin kielellä EDM: ksi. (Electrical Discharge Machining) Yhden pulssin vaikutus on hyvin pieni, mutta ilmiön ollessa jatkuva, tuhoaa se laakerin hyvinkin nopeasti.[4]

Laakerivirtoja voidaan ehkäistä oikealla kaapeloinnilla sekä maadoitusjohtimien ja suojavaippojen kytkennällä. Moottorin rungon, laakerien ja staattorin kunnollisella maadoituksella on erittäin suuri merkitys. Laakerivirtoja voidaan myös estää käyttämällä galvaanisesti eristettyjä laakereita, joiden sisä- ja/tai ulkokehät on pinnoitettu alumiinioksidilla. On olemassa myös laakereita joissa on keraamiset vierintäelimet. Lisäksi alumiinioksidipinnoitteet käsitellään kyllästeellä, joka estää lian ja kosteuden pääsyn huokoiseen pinnoitteeseen. Yleensä alle 100Kw:n moottoreita ei tarvitse suojata erikseen laakerivirtoja vastaan.[4]

#### 4.4 Laakerien nimelliset kestoiät

Vierintälaakerin kestoiällä tarkoitetaan sitä kierrosmäärää, tai tietyllä vakiopyörimisnopeudella käyttötuntimäärää, jonka laakeri voi pyöriä ennen kuin vierintä-ratoihin tai vierintäelimiin ilmaantuu väsymismerkkejä. Yhtäläiset laakerit, jotka toimivat samanlaisissa olosuhteissa, ovat kuitenkin kestoiältään erilaiset.[6]

Laakerin kestoikä voidaan laskea usealla eri tarkkuudella riippuen siitä, miten hyvin tiedetään laakerin käyttöolosuhteet. Yksinkertaisin tapa laskea laakerin nimelliskestoikä on käyttää ISO- standardin mukaista kaavaa

$$L_{10} = \frac{C^3}{P^3} \text{ tai } CP = L_{10}^{1/3} P$$

jossa

$L_{10}$  = nimelliskestoikä, miljoonaa kierrosta

$C$  = laakerin dynaaminen kantavuusluku, N

$P$  = laakerin dynaaminen ekvivalenttikuormitus, N

$p$  = eksponentti, jonka arvo kuulalaakereille on 3, rullalaakereille 10/3

Jos laakerikuormitus  $F$  täyttää dynaamisen kantavuusluvun  $C$  edellytykset, toisin sanoen on suuruudeltaan ja suunnaltaan vakio sekä vaikuttaa täysin säteittäisesti säteislaakeriin ja täysin aksiaalisesti ja keskeisesti painelaakeriin, niin  $P = F$ , laskettu kuormitus voidaan siten sijoittaa suoraan kestoikäkaavaan. Kaikissa muissa tapauksissa on ensin laskettava laakerin dynaaminen ekvivalenttikuormitus  $P$ , tämä määritellään ajatelluksi suuruudeltaan ja suunnaltaan vakioiksi kuormitukseksi, joka antaisi laakerille saman kestoiän kuin todellisuudessa esiintyvät kuormitukset.[6]

#### 4.5 Moottorien laakerien kunnossapito murskalla

Laakerien kunnossapitoon käytetään edellä mainittuja toimenpiteitä. Jos ja kun muuttumista laakerissa alkaa tapahtua tarkistetaan osat ja vaihdetaan ne tar-

peen vaatiessa. Moottoreihin vaihdettavien laakereiden on oltava saman tyyppiä kuin alkuperäisten. Tiivisteet vaihdetaan laakerin vaihdon yhteydessä.

- Moottorit tarkistetaan säännöllisin väliajoin, vähintään kerran vuodessa. Isoimmat moottorit jopa useammin, murska-asemalla vallitsevien vaikeiden olosuhteiden takia.
- Moottorit pidetään puhtaana ja huolehditaan jäähdytysilman esteettömästä kulusta. Murska- asemalla tämä toimenpide tulisi suorittaa säännöllisesti esim. kerran kuussa.
- Samalla valvotaan akselitiivisteiden kuntoa ja uusitaan ne tarvittaessa.
- Mikäli kyseessä on jälkivoideltu moottorityyppi, tulee laakerit rasvata huoltotaulukon mukaisesti. (Näitä ei tullut vastaan).
- Tarkkaillaan laakerien kuntoa ääniä kuuntelemalla, tärinää ja lämpötilaa tarkkailemalla. Myös SPM- menetelmää voidaan käyttää hyödyksi.

Taulukko 1. Kestovoideltujen laakereiden nimelliset käyttötunnit.[1]

Runkokokoo	Napa-luku	Käyttötunteja 25 °C	Käyttötunteja 40 °C
56-63	2-8	40 000	40 000
71	2	40 000	40 000
71	4-8	40 000	40 000
80-90	2	40 000	40 000
80-90	4-8	40 000	40 000
100-112	2	40 000	32 000
100-112	4-8	40 000	40 000
132	2	40 000	27 000
132	4-8	40 000	40 000
160	2	40 000	36 000
160	4-8	40 000	40 000
180	2	38 000	38 000
180	4-8	40 000	40 000
200	2	27 000	27 000
200	4-8	40 000	40 000
225	2	23 000	18 000
225	4-8	40 000	40 000
250	2	16 000	13 000
250	4-8	40 000	39 000

Taulukko 2. Jälkivoideltujen laakereiden nimelliset voiteluvälit, kuulalaakerit.[1]

Runko- koko	Voiteluaineen määrä g/laakeri	kW	3600 r/min	3000 r/min	kW	1800 r/min	1500 r/min	kW	1000 r/min	kW	500-900 r/min
<b>Kuulalaakerit</b>											
<b>Voiteluväli käyttötunteina</b>											
112	10	kalkki	10000	13000	kalkki	18000	21000	kalkki	25000	kalkki	28000
132	15	kalkki	9000	11000	kalkki	17000	19000	kalkki	23000	kalkki	26500
160	25	≤ 18,5	9000	12000	≤ 15	18000	21500	≤ 11	24000	kalkki	24000
160	25	> 18,5	7500	10000	> 15	15000	18000	> 11	22500	kalkki	24000
180	30	≤ 22	7000	9000	≤ 22	15500	18500	≤ 15	24000	kalkki	24000
180	30	> 22	6000	8500	> 22	14000	17000	> 15	21000	kalkki	24000
200	40	≤ 37	5500	8000	≤ 30	14500	17500	≤ 22	23000	kalkki	24000
200	40	> 37	3000	5500	> 30	10000	12000	> 22	16000	kalkki	20000
225	50	≤ 45	4000	6500	≤ 45	13000	16500	≤ 30	22000	kalkki	24000
225	50	> 45	1500	2500	> 45	5000	6000	> 30	8000	kalkki	10000
250	60	≤ 55	2500	4000	≤ 55	9000	11500	≤ 37	15000	kalkki	18000
250	60	> 55	1000	1500	> 55	3500	4500	> 37	6000	kalkki	7000
280 <sup>1)</sup>	60	kalkki	2000	3500	-	-	-	-	-	-	-
280 <sup>1)</sup>	60	-	-	-	kalkki	8000	10500	kalkki	14000	kalkki	17000
280	35	kalkki	1900	3200	-	-	-	-	-	-	-
280	40	-	-	-	kalkki	7800	9600	kalkki	13900	kalkki	15000
315	35	kalkki	1900	3200	-	-	-	-	-	-	-
315	55	-	-	-	kalkki	5900	7600	kalkki	11800	kalkki	12900
355	35	kalkki	1900	3200	-	-	-	-	-	-	-
355	70	-	-	-	kalkki	4000	5600	kalkki	9600	kalkki	10700
400	40	kalkki	1500	2700	-	-	-	-	-	-	-
400	85	-	-	-	kalkki	3200	4700	kalkki	8600	kalkki	9700
450	40	kalkki	1500	2700	-	-	-	-	-	-	-
450	95	-	-	-	kalkki	2500	3900	kalkki	7700	kalkki	8700

Taulukko 3. Jälkivoideltujen laakereiden nimelliset voiteluvälit, rullalaakerit.[1]

<b>Rullalaakerit:</b>											
<b>Voiteluväli käyttötunteina</b>											
160	25	≤ 18,5	4500	6000	≤ 15	9000	10500	≤ 11	12000	kalkki	12000
160	25	> 18,5	3500	5000	> 15	7500	9000	> 11	11000	kalkki	12000
180	30	≤ 22	3500	4500	≤ 22	7500	9000	≤ 15	12000	kalkki	12000
180	30	> 22	3000	4000	> 22	7000	8500	> 15	10500	kalkki	12000
200	40	≤ 37	2750	4000	≤ 30	7000	8500	≤ 22	11500	kalkki	12000
200	40	> 37	1500	2500	> 30	5000	6000	> 22	8000	kalkki	10000
225	50	≤ 45	2000	3000	≤ 45	6500	8000	≤ 30	11000	kalkki	12000
225	50	> 45	750	1250	> 45	2500	3000	> 30	4000	kalkki	5000
250	60	≤ 55	1000	2000	≤ 55	4500	5500	≤ 37	7500	kalkki	9000
250	60	> 55	500	750	> 55	1500	2000	> 37	3000	kalkki	3500
280 <sup>1)</sup>	60	kalkki	1000	1750	-	-	-	-	-	-	-
280 <sup>1)</sup>	70	-	-	-	kalkki	4000	5250	kalkki	7000	kalkki	8500
280	35	kalkki	900	1600	-	-	-	-	-	-	-
280	40	-	-	-	kalkki	4000	5300	kalkki	7000	kalkki	8500
315	35	kalkki	900	1600	-	-	-	-	-	-	-
315	55	-	-	-	kalkki	2900	3800	kalkki	5900	kalkki	6500
355	35	kalkki	900	1600	-	-	-	-	-	-	-
355	70	-	-	-	kalkki	2000	2800	kalkki	4800	kalkki	5400
400	40	kalkki	-	1300	-	-	-	-	-	-	-
400	85	-	-	-	kalkki	1600	2400	kalkki	4300	kalkki	4800
450	40	kalkki	-	1300	-	-	-	-	-	-	-
450	95	-	-	-	kalkki	1300	2000	kalkki	3800	kalkki	4400

## 5 KUNNONVALVONTAMENETELMÄT

Opinnäytetyön yksi osatarkoitus oli selvittää mahdollisia kunnonvalvontamenetelmiä ja sovelluksia murska-asemalle, joilla sähkömoottoreiden käynnissäpitoastetta voitaisiin parantaa. Menetelmät koostuvat lähinnä jo ennalta tunnetuista yleisistä kunnonvalvontamenetelmistä. Tässä kappaleessa käsitellään esittelymielessä mittaustapoja ja menetelmiä laakerivaurioiden ennaltaehkäisemiseksi, joita maailmalla jo yleisesti tunnetaan.

Puutteelliseen voitelun havainnoimiseen murskalla voidaan soveltaa erilaisia korkeataajuisen värähtelyn mittausmenetelmiä. Mittaukset on kuitenkin suoritettava ajettaessa koneita tyhjinä.

Korkeataajuusmenetelmien käyttö perustuu tunnettuun fysikaaliseen ilmiöön, joka syntyy kun metallipinnat koskettavat toisiaan ja aiheuttavat värähtelyä laakereissa ja ympäröivissä rakenteissa. Menetelmiä ovat mm. iskusysäysmittaus, SEE, PeakVue, verhoikäymenetelmä sekä akustisen emission mittaus.

Näitä mittaustapoja käytettäessä amplitudiltaan kasvaneelle taajuusalueelle sijoittuu jokin ominaistaaajuus, joka reagoi laakerin voitelukalvon muutokseen.

Rasvavoidelluissa laakereissa voitelutilanteen ollessa hyväkin, voi esiintyä tilanne, jossa voiteluaine laakerin vierintäpinnoilla huononee. Tällaisia tilanteita kannattaa erityisesti valvoa värähtelymittausmenetelmin. Murskalla potentiaalisia mittaushaasteita ovat erityisesti isot sähkömoottorit.

Laakereiden rikkoutuminen alhaisen pyörintänopeuden koneissa on yleinen ongelma. Mittaus on haasteellisempaa kuin nopeissa koneissa. Laakeri- ja vaihteisto-ongelmien tuottamat signaalit ovat hitaissa koneissa yleensä huomattavasti energiasisällöltään alhaisemmat. Näin niiden havaitseminen mittalaitteilla on hankalaa ja ne sekoittuvat taustakohinaan ja ne usein ohitetaan virheellisesti pelkkänä kohinana. Laakereiden kulumat ja vauriot havaitaan usein siis liian myöhään. Tällaisia osia ovat mm. kartionmurskien vaihteiston jälkeiset laakerit.

## Värähtelymittausten tekeminen

Tässä opinnäytetyössä tutustuin järjestelmiin joilla laakereiden kuntoa voidaan mitata. Yksi merkittävä ja miltei ainoa Suomessa toimiva mittalaitteita tähän tarkoitukseen valmistaja on SPM Instruments Oy. Heidän edustajansa kanssa kävimme läpi tärkeimmät murskalle sopivat vaihtoehdot kunnonvalvonnan mittauksiin.

Tärkein huomio keskustelussa oli se, että murskan moottoreiden laakereita ei voida missään tapauksessa valvoa murskan ollessa käynnissä. Laakereiden valvonta tulee siis suorittaa kivenajon ollessa pysähdyksissä ja ajaa koneita tyhjinä. Ainoastaan tällöin voidaan erottaa laakereiden viat murskan muun tärinän seasta.[18]

Mielestäni olisi järkevää investoida mittauspalveluun. Mittauksen suorittava yritys tekisi mittaukset kannettavalla laitteistolla ja pitäisi niistä kirjaa. Kun mittalaitteisto olisi kannettava, voitaisiin kaikkia Rudus Oy:n kohteita valvoa tehokkaasti ja mennä kohteeseen tekemään mittauksia esimerkiksi huoltopäivän aikana.

## Taloudellisuus

Mittaustekniikka mahdollistaa ennaltaehkäisevän huollon ulottamisen suurimpaan osaan murskan laitteita ja koneita. Voitaisiin valvoa entistä enemmän koneita ja saada ennakkovaroitus niiden vikaantumisesta. Näin ylimääräiset huoltoseisakit vähenevät. Pitkillä ennakkovaroitusajoilla on alkavien vikojen havaitsemisessa selkeitä etuja:

- Tuotannon seisokkiaikojen vähentyminen
- Tuottavuuden maksimointi
- Seurannaisvahinkojen vähentyminen
- Varaosia tarvitaan vähemmän
- Lyhyemmät korjausajat

## 5.1 Kunnonvalvontamittausmenetelmät ja -järjestelmät

### **SPM**

Shock Pulse Method eli suomeksi iskusysäysmenetelmä on SPM Instruments Oy:n kehittämä ja patentoima värähtelymittausmenetelmä. Se perustuu anturiin, jolla on 32 kHz resonanssitaajuus. Kun käytetään korkeaa mittaustaajuutta, voidaan saada esille laakerin vikaantumisen takia esiintyvät heikkotehoiset signaalit koneen muun värähtelyn joukosta.[18]

Iskusysäysmenetelmää käyttävät järjestelmät ja mittalaitteet, mittaavat signaalin sisältämää energiaa kahdella eri tasolla. (Kuvat 9,10.) Nämä tasot ovat signaali- ja amplitudin esiintymistiheys ja amplitudi. Amplitudi eli värähdyslaajuus ilmaisee värähdysliikkeen laajuutta. Mittalaitteella määritetään tietty amplituditaso, jonka ylittyessä laite ilmoittaa kriittisen rajan ylittyneen.[18]

Menetelmällä voidaan havaita alkava laakerivika tai sen puutteellinen voitelu. SPM:n suodatettu anturisignaali mittaa paineenvaihteluja laakerin vierintäpinoilla. Kun laakerin voitelukalvo on riittävä, ei iskusysäyspiikkejä pääse syntymään. Voitelukalvon ohetessa iskusysäyspiikit alkavat lisääntyä ja ne voidaan havaita laitteella. Jo syntynyt laakerivika aiheuttaa erittäin voimakkaita pulsseja epäsäännöllisin aikavälein.[18]

SPM-menetelmää on käytetty esimerkiksi voimalaitosten kunnossapidossa ja sitä voitaisiin käyttää myös murska-asemilla. Joillakin teollisuuden laitoksilla on siirrytty kokonaan pois ohjeiden mukaisesta voitelusta SPM-perusteiseen voiteluun. Voitelu suoritetaan siis vain silloin, kun voitelukalvon paksuus on alle hälytysrajan. Kokemukset menetelmän käytöstä ovat olleet hyviä ja laakerivikojen määrä on vähentynyt.[18]





Kuva 9. Kannettava SPM-tärinämittari.[18]



Kuva 10. Tärinämittarin anturi asennettuna koneen kylkeen. [18]

## Verhokäyräanalyysi

Laakerin vaurioista syntyvät värähtelyn signaalit voivat olla amplitudiltaan paljon alhaisemmat kuin koneesta ja sen ympäristöstä tulevat muut värähtelyt. Myös vaurion ominaistajuudet ovat usein hyvin lähellä ympäristömelun taajuuksia. Impulssit jotka vaurioista syntyvät, kykenevät kuitenkin herättämään laakerin värähtelemään omalla resonanssitaajuudellaan, joka on selvästi ympäristön taajuutta korkeampi. Verhokäyrämenetelmässä suodatetaan matalataajuinen ja suuriamplitudinen ympäristömelu ja mitataan ainoastaan kapea kaista korkea-taajuisia värähtelyjä laakerin alueelta.[13]

Verhokäyrän spektristä saadaan laakerin vikataajuudet selville. Joissakin teollisuuskohteissa on heikentynyt voitelu huomattu verhokäyräspektrin tason ko-hoamisena ilman laakerivialle tyypillisen vikataajuuspiikkien ilmenemistä. Verhokäyräanalyysi tunnetaan myös kauppanimillä; Envelope Analysis, High Frequency Resonance Technique ja Amplitude Demodulation.[13]

## SEE

SEE on markkinanimi verhokäyrämenetelmää käyttävälle SKF: n tekniikalle. Tekniikalla pyritään löytämään laakerivikaa tai huonoa voitелua ilmentävät heikkotehoiset signaalit koneen ominaismelun joukosta. Menetelmässä käytetään akustisen emission anturia, joka on laajakaistainen. Anturin taajuusalue on 250-300 kHz. SEE- tekniikalla saadaan aikaiseksi spektri taajuusalueelta, jolla laakeriviat yleensä esiintyvät (0- 1000 Hz).[13]

SKF:n mukaan SEE-mittauksilla havaitaan voitelukalvon heikkeneminen laakereissa. Mittauksen tueksi tarvitaan kuitenkin tavallista värähtelytason mittausta. Yleisesti voidaan sanoa, että SEE-mittaus on tavallista värähtelymittausta herkempi menetelmä.[13]

## Akustinen emissio

Akustinen emissio aiheutuu kahden eri ilmiön seurauksena. Laakerin vikaantumisessa vapautuu energiaa muodonmuutoksen aiheuttamana. Tämä synnyttää säröä laakerissa, joka etenee metallisissa rakenteissa jännitysaaltona. Toisaalta emissiota syntyy vierintäpinnalla olevan vaurion kohtaaminen toisen pinnan kanssa.[13]

Akustisen emission mittaustaajuus on yli 100 kHz. Tällöin koneen ominaismelu joka on matalataajuista, jää pois mittauksesta. Menetelmän käyttö voitelun valvonnassa perustuu metallien keskinäisten kontaktien lisääntymiseen voitelun vähentyessä tai sen puuttuessa. Tällöin kitka luonnollisesti kasvaa, joka aiheuttaa akustista emissiota. Metallikontaktit synnyttävät jännityskentän, jonka taajuusalue on yli 100 kHz. Tekniikalla voidaan myös valvoa hitaasti pyörivien koneiden kuntoa, koska vikasignaalin syntyminen ei riipu kierrosluvusta.[13]

Akustisen emission mittaamiseen käytetään pietsosähköisiä antureita. Ne toimivat taajuusalueella 40 kHz- 1MHz. Uuden ja kunnossa olevan laakerin aiheuttama akustisen emission taso on erittäin alhainen. Menetelmää on käytetty jonkin verran teollisuuden kunnossapidossa. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin anturin kiinnittäminen, sopivan taajuusalueen valinta ja signaalia vaimentavat rajapinnat jotka ovat mitattavan kohteen ja anturin välillä.[13]

## PeakVue

PeakVue on CSI:n patentoima ja kehittämä menetelmä. Kyseisessä mittauksessa käytetään ylipäästösuoatusta signaalin käsittelyssä. Tällöin voidaan tutkia tarkemmin korkeita taajuusalueita ja siellä esiintyviä pieniamplitudisia ilmiöitä. Näitä ilmiöitä voivat olla mm. laakeriviasta johtuvat jännitysaallot. PeakVue-menetelmä sopii erityisen hyvin hitaasti pyörivien koneiden kunnonvalvontaan.[13]

## **Kulumishiukkasanalyysi**

Kulumishiukkasanalyysia kutsutaan usein myös kansankielellä öljyanalyysiksi. Puhutaan myös ferrografiasta. Analyysissä otetaan näytteitä voiteluöljystä. Menetelmä perustuu esim. laakereiden kulumishiukkasten nopeutuneeseen kasvuun ja määrän lisääntymiseen. Kun laakerin kulumisen etenee, hiukkasten koko ja määrä kasvaa. Lopulta on edessä laakerin täydellinen vikaantumisen. Normaalisissa kulumisessa liikkuvista pinnoista irtoaa hiukkasia kooltaan noin 10µm. Kun kulumisen kasvaa voimakkaana, hiukkasten koko kasvaa jopa 10-100-kertaiseksi. Menetelmä on erittäin hyväksi todettu öljyvoidelluissa koneissa tai laakereissa. Kuitenkin tarkemman vikapaikan selvittäminen voi olla hankalaa, ellei tiedetä öljyn voitelualueita ja pystytä sitä tarkkaan määrittelemään.[15]

## **Lämpötilamittaus**

Lämpötilamittausten käyttö on hyväksi todettu tapa paikallistaa vika. Lähes kaikissa vikakohteissa vaurion muuttuessa viaksi, kasvaa kohteen lämmöntuotto oleellisesti. Aikaa ennen kehittyneempien laakerimittaustekniikoiden, oli lämpötilamittaus erittäin suosittu tapa kunnonvalvonnassa. Lämpötilamittauksen ongelmaksi muodostuu kuitenkin sen kyky havaita viat tarpeeksi aikaisessa vaiheessa, jolloin esim. värähtelymittaus voi olla parempi tapa havaita vika. Lämpötilamittaus on kuitenkin erittäin käyttökelpoinen menetelmä muun kunnonvalvonnan tueksi ja sitä käytetäänkin murskalla jonkun verran.

Mittauksia voidaan murska-aseman oloissa suorittaa pistoolityyppisillä infrapunamittareilla tai -kameronilla. Oleellista on kirjata lämpötilojen muutokset muistiin, jotta seuraavalla mittauskerralla voidaan vertailla tuloksia.

## **Käyntiaikaseuranta**

Koneiden kunnossapidon kannalta voitaisiin myös jokaisen yksittäisen koneen todellista käyntiaikaa seurata. Näin kokemusperäisten tietojen perusteella voi-

taisiin määrittää karkeasti koneen tai sen laakereiden vaihtotarve ja yleiset huoltovälit.

Käyntiaikaa voitaisiin seurata kärkitietojen avulla. Moottorin pääkontaktoriin liittäisiin apukärki, jonka kärkitieto liitettäisiin ohjelmoitavaan logiikkaan (PLC). Yksinkertaisella tiedonkeruulaitteistolla logiikan aikalaskurien data saataisiin käyttäjän luettavaksi joko paikallisesti tai serverille ja siitä eteenpäin tietokoneen ruudulle jokaisen luettavaksi.

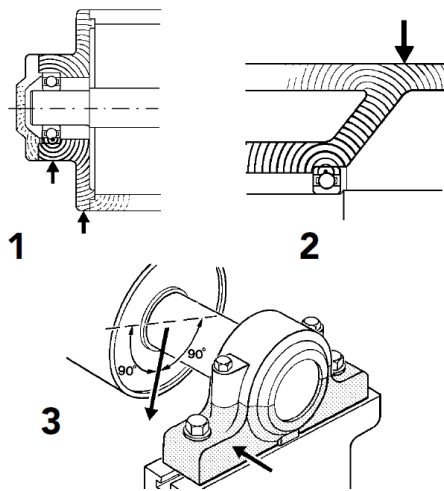
## 5.2 Tärinänmittauskohdat moottoreissa

Suurissa sähkömoottoreissa laakerit on asennettu pesään, joka on hitsattu tai pulteilla kiinnitetty moottorin päätylaippaan. Hitsit katsotaan materiaalin rajapinnaksi. Laakeripesään vetopäässä (D-pää) voidaan yleensä asentaa pitkä mittaussnipa. Moottorin tuulettajapään (N-pää) laakeri vaatii kiinteän anturin asentamista. Anturi asennetaan laakeripesään.

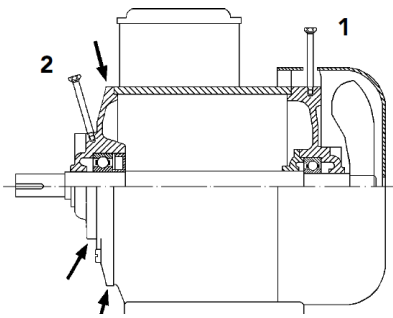
Tärinän mittaamisesta ei ole mitään hyötyä, jos vääränlaisen anturiasennuksen takia iskusysäysvoimakkuus vaimenee. Anturin kartiopinnan tulee olla kiinteässä kosketuksessa laakeripesän kanssa. Anturi tulee suunnata suoraan laakeria kohti. Metalliosien hankaus ja naputus mittaasanturiin kohdistuen aiheuttaa häiriöitä. Jotta mittauks tulokset olisivat vertailukelpoisia, tulee mittaus suorittaa aina samasta kohdasta. On siis hyvä merkata selkeästi jokainen mittauskohta.[18]



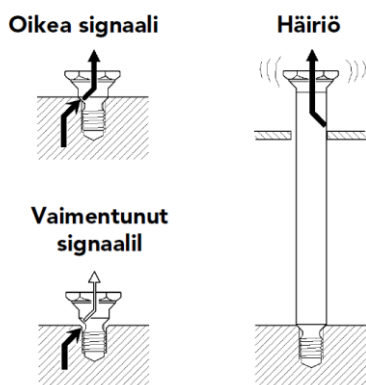
Kuva 11. Anturitaskun asentaminen moottoriin.[18]



Kuva 12. Anturitaskun paikat moottorissa.[18]



Kuva 13. Anturitaskun paikat moottorissa sivulta kuvattuna.[18]



Kuva 14. Esimerkkikuva anturitaskuun muodostuvista häiriöistä.[18]

### 5.3 Järjestelmällinen värinänseuranta

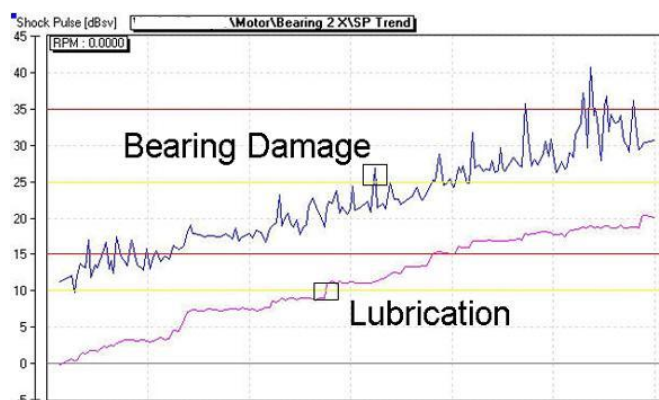
Järjestelmällisissä värinämittauksissa oleellista on mittaustulosten arviointi ja kirjaaminen. Näin pystytään seuraamaan asteittaisesti koneen värinätasojen muutoksia pitkälläkin aikavälillä.

Tarkoitus on saada tietoja käyttökuntoon perustuvaa kunnossapitoa varten. Suoritetaan kunnostus siis vasta kun mittaustulos osoittaa sen olevan tarpeellista. Tähän tarvitaan säännöllisiä mittauksia ja kirjanpitoa.

Yleisesti ohjeita mittausten suorittamisen tiheydelle ei ole. Mittausväli, on se sitten päivä, viikko tai kuukausi, riippuu täysin yksittäisestä koneesta, sen tärkeydestä tuotannolle ja sen värinätason muutoksen nopeudesta.

Jotta kunnossapitoa ja huoltoja voitaisiin suunnitella pitkäjänteisesti eteenpäin, tulee käyttää hyväksi helposti tulkittavia tietoja kaikista tärkeistä muutoksista koneiden käyttökunnossa. Näin huolto on tehokkaampaa. Raportointi muutoksista ” askeleina” on helpommin tulkittavaa, kuin varsinaisten värinäarvojen kirjaaminen.

Yhden askeleen muutos voidaan katsoa merkittäväksi ja raportoinnin aiheuttavaksi tekijäksi. Se voi olla ensivaroitus heikkenevästä käyttökunnosta. Pelkkä pulttien kiristäminen voi vielä auttaa. Kahden askeleen muutos tulee tutkia. Kolmen askeleen muutos aiheuttaa välittömän toimenpiteen ja huollon.



Kuvio 2. Värinämittauskuvaaja. Ajan myötä kehittyvä laakerin vaurioituminen.[12]

#### 5.4 Kunnonvalvonnassa käytettävät anturit

Edellisessä kappaleessa käsiteltyjen mittausjärjestelmien toiminta perustuu sovelluksesta riippuen erilaisiin anturitekniikoihin. Tässä kappaleessa käsitellään tärkeimmät anturityypit, mitä murskan kunnonvalvontajärjestelmien sovelluksissa voitaisiin käyttää ja perehdytään niiden toimintaan. SPM-tyyppisten mittareiden mitattavat suureet ovat joko kiihtyvyyden tai nopeus. Näitä kahta perussuuretta mittaamalla voidaan selvittää laakereiden kuntoa. Laakerin vika aiheuttaa epätasapainoa, joka ilmenee tärinä. Tärinä on liikettä, liike on nopeutta ja kiihtyvyyttä.

Kiihtyvyyssantureiden toiminta perustuu Newtonin toiseen lakiin: Voima on massan ja kiihtyvyyden tulo. Voidaan siis todeta, että kiihtyvyyden mittaaminen on voiman mittaamista. Edellytyksenä on kuitenkin, että massa on tunnettu. Kiihtyvyyttä mitataan pietsosähkö-, venymäliuska- sekä induktiivisilla antureilla.

Nopeusanturi mittaa taasen aikaa ja matkaa. Kun matka jaetaan ajalla, saadaan nopeus. Nopeusantureita käytetään pyörivien koneiden kunnonvalvontaan, niiden ollessa käynnissä. Anturit mittaavat absoluuttista tärinäliikettä ja toimivat sähködynaamisesti. Nopeuden mittaaminen on paras suure kunnonvalvonnassa, koska tärinäsignaalin eteneminen koneen rakenteessa on suoraan verrannollinen nopeuteen. Anturissa on sen runkoon kiinnitetty kela ja jousien varaan ripustettu magneetti. Koneen tärinä liikuttaa anturin runkoa, ja magneetti pyrkii pysymään paikallaan massansa takia. Kun kela liikkuu magneetin ympärillä, kelaan indusoituu vaihtojännite, joka on verrannollinen koneen tärinän liikeno- peuteen. Vaihtojännite tasasuunnataan ja vahvistetaan, jolloin se on käyttökelpoinen. Mittausalueena 0-1000 Hz ja tärinänopeus 0-100mm/s. Anturiin liitetään signaalinmuokkausyksikkö, joka vahvistaa sekä tasasuuntaa anturin lähettämän vaihtojännitteen. Tasasuunnattua standardisignaalia (4-20mA tai 0-10V) voidaan käyttää hyödyksi kaikissa automaatiojärjestelmissä ja tiedonkeruuyksiköissä. Tällaisen järjestelmän rakentaminen murska-asemalle olisi mahdollista.



Kuitenkaan koneiden ajoa kuorma päällä ja mittausta samaan aikaan suorittaen ei voitaisi tehdä kiven murskauksesta johtuvan epäsäännöllisen tärinän takia.[5]

### **Pietsosähköiset kiihtyvyyssanturit**

Pietsokiihtyvyyssanturin toiminta perustuu kideateriaalien ominaisuuteen synnyttää liikkeessaan sähkövaraus. Anturi koostuu jousesta, seismisestä massasta ja kiteestä. Kiihtyvyyden voiman vaikuttaessa anturin runkoon, kiteet puristuvat massan vaikutuksesta. Tällöin anturilta voidaan mitata puristusvoimaan ja siten myös kiihtyvyyteen suoraan verrannollinen signaali. Jousi jännittää massaa kideä vastaan, jolloin on mahdollista mitata kiihtyvyyttä molempiin suuntiin. Lähtöimpedanssi kiihtyvyyssanturissa on erittäin suuri. Anturisignaalia ei tämän vuoksi voi suoraan käyttää ohjausjärjestelmässä, vaan se pitää vahvistaa.[5]

### **Induktiiviset kiihtyvyyssanturit**

Anturin toiminta perustuu induktanssin muutokseen ja sitä voidaan käyttää kiihtyvyyssanturissa. Mitattavan kiihtyvyyden arvot ovat 1 kHz:n luokkaa. Koneen runkoon kiinnitetty anturi mittaa ferriittisydämen liikkeen. Sydän on kiinnitetty lehtijousien avulla runkoon. Anturin lähtö on matalaohminen, joten sen kaapelointi voi olla hyvinkin pitkä.[5]

### **Venymäliuskakiihtyvyyssanturit**

Kiihtyvyyssanturi voidaan myös toteuttaa venymäliuskaoperaatteella. Rakenne on hyvin samanlainen kuin pietsosähköanturilla, mutta muodonmuutokset jotka kohdistuvat massaun, mitataan koneen alustaan kiinnitetyillä venymäliuskoilla. Anturi vaatii normaalin venymäliuskoille tarkoitetun vahvistimen. Antureilla voidaan mitata kiihtyvyyksiä 50- 50000 m/s<sup>2</sup>. [5]

## 6 KÄYTTÖVOIMAEROTUSKYTKIMET JA TURVALLISUUS

Turvallisuus on erittäin tärkeä asia murska-asemalla. Siihen keskitytään entistä enemmän jo lakienkin niin määrätessä. Tässä kappaleessa käsitellään vain käyttövoimasta erottamisen tärkeyttä, joka liittyy olennaisena osana murskan työturvallisuuteen. Turvallisuusasian laajempi käsittely jätetään kuitenkin tekemättä, sen suuruuden vuoksi.

### **Käyttövoimasta erottamisen periaatteet**

Ennen koneen tai laitteen korjaus- tai huoltotyötä on varmistettava, että murska-aseman kokenut tai kyseisen huoltotyön osaava henkilö on suorittanut tarpeelliset turvallisuustoimenpiteet vahinkokäynnistämisen estämiseksi. On huomioitava, että lähes kaikki koneet ja laitteet käynnistyvät automaattisesti ja kaukokäynnisteisesti. Varastoitunut mekaaninen energia on poistettava ennen töiden aloittamista esim. hydraulikkalaitteista.[17]

Ennen huoltotöiden aloittamista tai koneen toiminta-alueelle menoa, tulee asentajan siis suorittaa koneen käyttövoimasta erottaminen. Tämän takia jokainen murskalla oleva kone tai laite tulee varustaa ns. turvakytkimellä. Turvakytkin on laitteen läheisyyteen asennettu kytkin, joka katkaisee siitä käyttövoiman. Kun huoltotöitä tehdään, lukitaan turvakytkin auki -asentoon. Turvakytkintä ei saa käyttää käyttökytkimenä. Turvakytkin merkitään esim. tarralla, joka ilmoittaa kytkimen vaikutusalueen. Jokaiseen turvakytkimeen on mahdollista liittää riippulukko, jolla voidaan estää tahaton koneen päälle kytkeytyminen. Huoltotyön suorittajan tulee olla avaimen haltia.[17]

Näiden seikkojen takia Rudus Oy koki tarpeelliseksi suorittaa kartoituksen erotuskytkimien sijainnista. Murska-asemilla siis suoritettiin katselmus, jossa merkittiin tarkasti jokaisen turvakytkimen sijainti ja vaikutusalue. Kyseiset asiat lisättiin ja piirrettiin murska-asemien pohjakuviin. Näin saatiin aikaiseksi kartta,

josta kaikki käyttövoimasta erotus -pisteet sijaitsevat. Tämä kartta palvelee murskan omia sekä ulkopuolisia asennus- ja huoltotyöntekijöitä. Ennen kartoitusta turvakytkimet ja niiden sijainnin tunsivat vain kokeneet murskan työntekijät. (Liitteet 3,4,5.)

SFS 6000 määrittelee poiskytkennän mekaanisten huoltotoimenpiteiden ajaksi seuraavasti:

”Jokainen virtapiiri on voitava erottaa jokaisesta jännitteisestä syöttöjohtimesta. Jos mekaanisiin huoltotoimenpiteisiin voi liittyä loukkaantumisen vaara, syöttö on voitava kytkeä pois. Sopivilla toimenpiteillä on varmistettava, ellei kytkentälaitte ole jatkuvasti työn tekijän valvottavissa, ettei sähkökäyttöistä laitetta tahattomasti kytketä tai käynnistetä mekaanisten huoltotoimenpiteiden aikana.”

Syötön tahatonta kytkemistä voidaan estää lisäksi lukituksella, varoituskilvellä ja sijoittamalla turvakytkin lukittavaan tilaan. Joissakin murskan turvapiireissä, (lähinnä isotehoiset moottorit) turvakytkin katkaisee myös moottorin pääkontaktorin ohjausjännitteen pitopiirin. Näin piiriä uudelleen kytkettäessä tulee pitopiiri palauttaa kuittaamalla moottori käyntiin valvomosta.



Kuva 15. Kasakuljettimen turvakytkin ympyröitynä.

## 7 YHTEENVETO -HUOLLON JA KUNNOSSAPIDON PARANTAMINEN MURSKALLA

Opinnäytetyön käytännön osuus aloitettiin kartoittamalla Piikkiön, Paraisten ja Oripään murskien käyttövoimaerotuskytkimien sijainnit. Näin päästiin tutustumaan välillisesti myös laitosten työturvallisuuteen. Turvakytkimien sijainnit luonnosteltiin aluksi ruutupaperille ja käytiin läpi Ruduksen henkilökunnan kanssa. Isolla Piikkiön murskalla selvittämiseen meni useampi päivä. Paraisilla ja Oripäässä hieman vähemmän.

Luonnosten piirtämisen jälkeen jokainen turvakytkin nimettiin ja numeroitiin. Näin selvitettiin jokaisen turvakytkimen vaikutusalue. Varsinainen loppupiirustusten piirtäminen tehtiin JCad Electra -ohjelmalla.

Turvakytkimien kartoituksen lomassa suoritettiin esimerkkihuoltosuunnitelma. Siinä kartoitettiin Piikkiössä sijaitsevan GE 500 -kartiomurskan tekniset tiedot. Tietojen perusteella tehtiin esimerkinomainen huolto- ja varaosasuunnitelma. Näiden asioiden selvittämiseksi murskalla vierailtiin useaan otteeseen. Tätä suunnitelmaa on tarkoitus soveltaa kaikkiin Ruduksen murska-asemien murskiin jatkossa.

Tässä kappaleessa esitellyn huoltosuunnitelman esimerkin on tarkoitus olla suuntaa antava ja ennen kaikkea ideoita herättävä esitys tulevaisuudessa tehtävistä investoinneista ja linjauksista, joita kunnossapidon osalta voitaisiin tehdä.

Jatkossa, ideoiden mahdollisesta toteutumisesta ja huoltosuunnitelman ylläpidosta tulisi Rudus Oy:n ja yhteistyökumppaneiden osalta siitä vastata tietty vastuhenkilö. Ruduksen puolelta esimerkiksi kunnossapidosta vastaava henkilö ja Turun Sähköpalvelu Oy: n puolelta vastaava työnjohtaja. Näiden henkilöiden tehtävänä on huolehtia, että tehdyt huollot ja muutokset kirjataan ja päivitetään tietokantoihin. Tietokannan tulisi olla kaikkien asianomaisten luettavissa ja muokattavissa – kun vaihdetun sähkömoottorin tiedot kirjataan sähköasentajan toimesta, hyödyttää se silloin myös vaihteistoa asentavan henkilön työtä. Näin

osataan valita sähkömoottoriin sopiva vaihteisto ja myös luettelo varastoitavista moottoreista, laakereista ja komponenteista saadaan kattavaksi. Tietokantaan kirjattaisiin tulevaisuudessa myös erilaisia mittaustuloksia uusista komponenteista, mitä vanhojen rikkoutuneiden tilalle on hankittu – kun iso leukamurskan moottori uusitaan, mitataan sen uutena kehittämät lämpötilojen- ja värinöiden tasot. Vain tällä keinolla voimme tarkkailla kyseisen moottorin muutoksia jatkossa ja huomata vikoja tarpeeksi aikaisessa vaiheessa.

### 7.1 Nykyinen huollon taso

Nykyisin sähkömoottorien ja niihin liittyvien sähkökomponenttien huolto murskalla on hoidettu ikään kuin; ”rikkoutuneen tilalle uusi” - periaatteella. Mitään tehtyjä huoltoja ei dokumentoida kuin korkeintaan asentajan muistivihkoon, joka sen sivujen täytyessä menee roskakoriin. Vaihdetujen komponenttien tekniset tiedot ja tyyppinumerot jäävät myös siihen samaan vihkoon, eikä niitä kirjata mihinkään ylös, jotta ne olisivat seuraavan kerran saman osan rikkoutuessa uudelleen käytettävissä. Asentajan päähän on muodostunut kuva murskan toiminnasta, sen käyttökunnosta ja aseman vikaherkimmistä paikoista. Voidaan ajatella, että tämä kaikki tieto on nyt liikaa niiden tiettyjen murskan kunnossapidon parissa työskentelevien ihmisten hallussa. Tulevaisuuden kannalta se on huono asia. Tämä tieto tulisikin saada kaikkien huollon parissa työskentelevien tietoisuuteen mahdollisimman helppolukuisena pakettina ja sitä kautta palvella myös tulevia, uusia henkilöitä, jotka kunnossapidon parissa työskentelevät. Usein puhutaankin ns. hiljaisesta tiedosta, joka ei siirry kenenkään tietoon vaikkapa asentajan jäädessä eläkkeelle. Tämä ” hiljainen tieto ” on kuitenkin korvaamattoman arvokasta.

## 7.2 Huollon tason parantaminen

### **Dokumentointi ja koneiden puhdistus - Ensimmäinen askel**

Suunniteltujen ja dokumentoitujen huoltojen ja kunnossapitotarkastusten tekeminen johtaa murska-aseman parempaan käyttöasteeseen. Parempaan käyttöasteeseen päästän myös ennakoivilla kunnossapidon mittauksilla, jotka suoritetaan säännöllisin väliajoin. Aluksi tärkeintä on kuitenkin suorittaa dokumentointia murska-asemien komponenteista ja saada ne listattua kaikkien murskalla työskentelevien käyttöön.

Nykytilanteessa esimerkiksi moottorin pääkontaktorin rikkoontuessa asentaja lähtee kohteeseen etsimään vikaa. Vian löydettyään hän selvittää varaosan tyyppitiedot ja sen saatavuuden. Monia murskalta löytyviä komponentteja ei löydy minkään varaosaliikkeen hyllyltä suoraan. Ne joudutaan tilaamaan, toimitusaikojen ollessa pitkät. Tällöin murska seisoo tarpeettomasti, mikä tulee kalliiksi. Murskan komponentteja kartoittamalla voidaan ajan saatossa saada tarpeeksi tietoa aseman ns. ”heikoista lenkeistä”. Nyt aseman yleisimpiä vikakohdista ei tiedetä yleisesti ja vian syntyessä tieto viasta jää kirjaamatta. Kunnollisella dokumentoinnilla voidaan, sen ajan myötä kehittyessä, pystyä selvittämään heikot lenkit ja esimerkiksi täydentää varaosien varastoa. Kriittisten komponenttien löytyminen varastosta suoraan, nopeuttaisi osaltaan murskan käyntiin saantia. Asentaja tietäisi siis pääkontaktorin rikkoutuessa ja valmiiksi sen tyyppin ja tekniset yksityiskohdat. Näin säästettäisiin turha käynti kohteessa ja saataisiin kontaktori tilaukseen välittömästi. Mikäli kontaktori löytyisikin varastosta, sen asentaminen onnistuisi välittömästi ja murska ei seisoisi. Voidaan vielä ajatella, että jo murskalla töissä oleva henkilö, esimerkiksi käytönvalvoja, voisi todeta kyseisen pääkontaktorin rikkoutuneen, hän huomaisi sähkökaapissa olevan kontaktorin mustuneen ja palaneen ja ilmoittaisi siitä eteenpäin. Tämän asian toteamiseen ei tarvita välttämättä sähköalan ammattilaista, murskan tunteva käytönvalvoja voi paikallistaa myös vian. (Aina näin ei toki ole.) Nyt kun pääkontaktorin tiedot on kunnolla dokumentoitu, sähköasentajan ei tarvitsisi tulla toteamaan

vikaa. Tämä olisi ihanteellinen lopputulos. Lisäksi suoritettaisiin koneiden kattavaa puhdistusta. Jokainen laite käydään järjestelmällisesti läpi ja puhdistetaan kunnolla. Puhdistukset kirjataan huoltotaulukkoon.

- 1.- askel: Aina kun vika ilmenee, sen komponentin tekniset tiedot listataan luetteloon. Luettelo täyttyy ajan myötä omalla painollaan. Resurssit joita luettelointiin tarvitaan, sekä työlle annettu aikapanos ovat siis hyvin pieniä.
- Suoritetaan asemien komponenttien kunnollinen dokumentointi. Se on lähtökohta parempaan huollon tasoon ja murskan parempaan käyttöasteeseen. Käytännössä komponenttien tiedot listataan sille suunnitellulle tietotaulukolle, joka löytyy tämän opinnäytetyön liitteenä. *(Liite 1.)*
- Suoritetaan koneiden perusteellinen puhdistus paineilmalla, puolen vuoden välein.

Miksi dokumentointia tarvitaan ?

- Se helpottaa vian löytymistä
- Rajaa käsiteltävän vikakohteen
- Lisää työturvallisuutta
- Ei ole henkilösidonnainen

Dokumentointia tarvitsevat kaikki: asentaja, käyttäjä, työnjohto, suunnittelu ja hankinta. On myös tärkeää dokumentoida uusien laitteiden ja komponenttien käyttö- ja huolto-ohjeet, sekä esitteet. Ne voitaisiin dokumentoida mainittuun (Liite 1.) tietotaulukkoon numeroilla. Numerot linkitetään käyttö- ja huolto-ohjeiden tietokantaan.

## **Lämpötilojen tarkkailu - Toinen askel**

Kunnossapidon tasoa parannetaan myös järjestelmällisillä, aikataulutetuilla lämpötilamittauksilla. Kerran kuukaudessa suoritettavat mittaukset antaisivat hyvää yleiskuvaa aseman kunnosta. Läpikäydään infrapunakameralla aseman tärkeimmät ja kriittisimmät kohteet ja dokumentoidaan tulokset. Näitä kohteita olisivat leuka-, ja kartiomurskien isot moottorit. Moottorin lämpötiloja seuraamalla saavutetaan tietoa vikojen kehittymisestä – mikäli moottorin lämpötila on kah-

den mittaussvälin aikana, molemmilla kerroilla noussut, voidaan päätellä moottorin vikaantuvan pian lopullisesti. Tällöin pystytään tilaamaan jo uusi moottori tai mahdollisesti suunnittelemaan paremmin se ajan hetki, jolloin moottori lähetään huoltoon. Mittaustulokset kirjataan liitteenä olevaan taulukkoon. (Liite 2.)

- 2.- askel: Suoritetaan kuukauden välein lämpötilamittaukset tärkeissä kohteissa. Listataan tuloksia ja seurataan lämpötilojen kehittymistä. Investoidaan lämpökameraan ja varataan resursseja suorittaa mittaukset kunnolla. Yksi mies, puolikas työpäivä, kerran kuukaudessa.

### **Värähtelymittaukset - Kolmas askel**

Laakerivärinämittauksilla voidaan seurata koneiden vikojen kehittymistä paremmin kuin lämpötilamittauksilla. Lämpötilamittauksien tulokset ovat vaikealukuisia ja tietoa pitää kompensoida ympäristön lämpötilan mukaan. Laakerivärinämittauksia suoritettaisiin murskan ollessa ilman kuormaa. Käytännössä tämä tarkoittaa mittaamista huoltopäivänä tai varsinaisen työajan ulkopuolella. Mittauksilla - niiden dokumentoinnilla ja seurannalla saadaan aikaan samat hyödyt kuin lämpötilamittauksillakin. Vikojen ennakointi, mittaustarkkuuden ansiosta, on kuitenkin paljon tarkempaa. Laakerivärinämittauksilla alkava laakerin vikaantuminen voidaan todeta paljon tarkemmin kuin muilla menetelmillä. Tämän ansiosta uusi moottori voidaan tilata, tai sen huolto voidaan suunnitella paljon aikaisemmin.

- 3.- askel: Suoritaan värähtelymittauksia laakerimittaustekniikkaan perehtyneen yrityksen toimesta. Yritys dokumentoi ja seuraa vikojen kehittymistä ja informoi kun mahdollinen alkava vika esiintyy. Mittauksia suoritetaan tärkeimmässä isoissa moottoreissa muutaman kuukauden välein. Ulkopuolinen mittaamiseen koulutettu henkilö, muutama työpäivä, kerran kahdessa kuukaudessa.



## Varaston täydentäminen - Neljäs askel

Seuraava porras kunnossapidon toimivuuden parantamiseksi on tärkeimpien moottorien ja niiden komponenttien varastoiminen. Oikeastaan tämä askel on pelkästään kunnossapidon ja murska- aseman käyttöasteen parantamisen kannalta todellisuudessa se ensimmäinen askel. Jos rahaa olisi loputtomiin käytössä, kannattaisi toki investoida täydelliseen varaosavarastoon. Voidaan kuitenkin todeta, että vain kriittisimpien komponenttien varastoiminen on taloudellisesti järkevää.

Esimerkkinä leukamurskaa pyörittävä 300 kW: in oikosulkumoottori: Leukamurska on murska- aseman ketjun ensimmäinen lenkki. Sen pysähtyessä koko aseman toiminta lakkaa. Moottorin hankintahinta varastoon on noin 40 t € ja toimitusaika n. 8-10 viikkoa. Iso investointi pelkälle varastotuotteelle. Kuitenkin moottorin vikaantuessa, pahimmassa tapauksessa, jos moottoria ei voida korjata tai vaihtaa uuteen, murska- asema seisoo tuotannotta kymmenen viikkoa. Todellisuudessa murska kuitenkin tuskin seisoo kymmentä viikkoa. Aina saadaan jostain tilalle vastaava moottori lyhyemmässä ajassa. Eri asia onkin, mistä ja miten moottori rikkoontuneen tilalle saadaan. Se voidaan hankkia joltakin kilpailijalta, jolloin sen hinta kasvaa oleellisesti. Moottori voidaan myös käämiä ja laakeroida uudelleen, jolloin kone kuitenkin joudutaan irrottamaan ja siirtämään pois murskalta. Tämä totta kai maksaa. Paras tilanne olisi aina, jos jokaisella isolla moottorilla olisi varakone.

Ruduksen varastosta löytyy joitakin isojakin moottoreita. Niitä ei kuitenkaan ole listattu mihinkään luetteloon. Näitä moottoreita käytetään vikojen sattuessa. Varmaa tietoa niiden sopimisesta tiettyihin murska- aseman kohteisiin ei kuitenkaan ole. Tämän takia moottorit luetteloidaan.

Murskan toimiminen ei perustu pelkästään isojen moottoreiden toimintaan. Sähkölaitteiden osalta ketjuun kuuluu myös kontaktorit, lämpöreleet, sulakkeet ja kytkimet yms. Tällaisten komponenttien varastoiminen tärkeimmiltä osiltaan on suhteellisen edullista ja järkevää. Kun komponentti löytyy suoraan hyllystä, se saadaan heti vaihdettua.

- 4.- askel: Investoidaan varastoon, ostamalla sinne tärkeimmät komponentit ja pidetään niistä kirjaa.

### **Automaattiset mittaukset - Viides askel**

Murskan moottoreita voitaisiin valvoa myös online-pohjaisilla järjestelmillä. Asennetaan kriittisten moottoreiden laakerivärinämittaukseen reaaliaikainen kiinteä järjestelmä, joka mittaa laakereiden kuntoa. Järjestelmä mittaa laakereiden kunnan automaattisesti, kun murskaa ajetaan ilman kuormaa. Kun alkava vika ilmenee, ilmoitetaan siitä käyttäjälle.

Automaattisella mittausjärjestelmällä säästetään resursseissa, jotka nyt kuluvat edellä mainituissa askeleissa 1 ja 2.

### **7.3 Esimerkinomainen huoltosuunnitelma GE 500 -kartiomurskaan**

Kun huoltosuunnitelmaa lähdettiin hahmottelemaan, mietittiin ensin mitä asioita tulisi huollon suunnittelussa ottaa huomioon. Ensimmäinen askel oli kartoittaa kaikki laitteeseen olennaisesti liittyvät komponentit. Komponenttien tekniset tiedot etsittiin murskan dokumenteista.[8] Tiedot joita ei löydetty, tarkistettiin ne fyysisesti murskasta. Tiedoista tehtiin mahdollisimman kattava taulukko, ikään kuin varaosaluettelo, jota voidaan jatkossa käyttää, laitteen jonkin komponentin rikkoutuessa. Kun esimerkiksi moottorin tekniset tiedot ovat saatavilla, voidaan varastoon tilata varakone. Tällöin rikkoutuneen koneen tilalle saadaan nopeasti uusi, eikä pitkiä toimitusaikoja tarvitse odottaa. Näin tuotanto pysyy yllä mahdollisimman paljon.

Osaksi siirrettiin myös kokemuseräistä tietoa arkistoon ja näin kaikkien saataville.

Huoltotaulukossa keskitytään lähinnä isoon sähkömoottoriin ja siihen liittyviin komponentteihin, jotka pyörittävät murskan kartiota. Näitä komponentteja ovat moottori itsessään, pääkontaktori, pääkytkin, pääsulakkeet ja moottorin laakerit

sekä runkokoko. Lisäksi listalle otettiin moottoriin liittyvät elektrolyyttikäynnistin, kondensaattoriparistot sekä moottorin syöttökaapelit. Vian ilmetessä on todennäköistä, että se löytyy joistakin näistä komponenteista. Listaan laitettiin sarakkeet myös huolloille jotka on suoritettu ja mitä milläkin kertaa on huollettu tai vaihdettu.

Ennakoivaa huoltosuunnitelmaa mietittäessä tuli vastaan monia ongelmia. Minäkäänlaista pohjaa suunnitelmalle ei ollut. Kaikki koneet oli huollettu oikeastaan vasta niiden rikkoutuessa. Nyt lähdimme miettimään aikavälejä, jolloin laitteeseen voitaisiin suorittaa ennakoivia mittauksia, jotka mahdollisesti kertoisivat komponenttien rikkoutumisesta etukäteen. Nämä tarkastukset ja aikavälit lisättiin myös huoltotaulukkoon. Ennakkotesteillä voidaan havaita alkavat viat sekä laitteiston ympäristöolojen muuttumiset.

Ensimmäinen määritetty aikaväli oli lämpötilamittausten suoritus. Lämpötilamittauksia suoritettaisiin kuukauden välein. Huomioonotettava seikka, on kompensoida mittaustulokset ympäristön lämpötilaan, joka murskalla voi vaihdella paljonkin. Mittaukset suoritetaan pistoolityyppisellä lämpökameralla, paikoista joissa lämmöntuotto on jo normaalitilanteessakin suurta. Näitä paikkoja ovat juuri ne paikat, jotka esiintyvät huoltotaulukon sarakkeissakin.(mm. laakerit, pääkontaktori, pääkytkin, sulakkeet, liittimet ja moottori itsessään. Paikkoja voidaan siis pitää koneen kriittisinä komponentteina. Lämpötiloja mitattaessa suoritettaisiin myös silmän- ja kuulonvarainen katselmus, jolla alkavia vikoja voitaisiin rekisteröidä. Liukurengasmootorin hiilet tarkastetaan puolen vuoden välein ja vaihdetaan tarvittaessa. Samalla tarkastetaan moottorin lämpöreleen asetusarvot ja säädetään ne tarvittaessa vastaamaan moottorin arvoja.

Murskaan ennakoivaan huoltoon voitaisiin käyttää myös värinänmittausjärjestelmää.(tarkemmat tiedot SPM- mittauksesta kerrottu sivulla 31.) Varsinais-Suomen alueelle muutama urakoitsija tarjoaa palvelua. Tämä mittaus suoritettaisiin muutaman kuukauden välein. Mittauksen onnistumisen edellytyksenä on, että mitattavaan moottoriin on asennettu anturitaskut mittarin antureita varten. Anturitaskuja ei kuitenkaan ole asennettu GE500- murskan moottoriin. Anturitaskut voidaan joko asentaa nykyiseen moottoriin, tai moottoria tulevaisuudessa

uusittaessa, valitaan moottorityyppi, jossa taskut ovat valmiina. (Näin on usein uusissa isoissa moottoreissa.)

Erittäin suuri vastaan tullut ongelma oli myös lika ja pöly, joka esiintyy joka puolella murskaa. Murskan sähkökeskukset ja moottorit tulisikin puhdistaa paineilmaa käyttäen puhtaaksi. Puhdistuksen aikaväliksi määriteltiin noin 6kk jakso.

Kokemusperäisenä tietona kirjattiin kontaktorien kestävyuden parantamista niin, että jokainen rikkoutunut kontaktori vaihdetaan tulevaisuudessa isoimpaan mahdolliseen sen runkokokoon. Tämä seikka on kasvattanut kokemuksien mukaan kontaktorien kestoikää huomattavasti. (Liitteet 1,2.)

#### 7.4 Taajuusmuuttajakäyttöjen lisääminen murskalle

Leuka- ja kartiomurskien moottorit Ruduksen murskauskohteissa ovat yleensä liukurengaskoneita. Liukurengasmootoreihin on päädytty niiden säädettävän käynnistysmomentin takia, joka koneiden kestävyuden kannalta on tärkeää. Kyseinen moottorimalli kuitenkin on harvinaisempi nykypäivänä, kuin oikosulkumoottori. Isojen liukurengasmootorien toimitusajat ovat valmistajilla pitkiä, jopa yhdestä kahteen kuukauteen, toisin kuin oikosulkukoneilla, joita jo isompiakin löytyy toimittajilta suoraan hyllystä. Toinen ongelma liukurengaskoneilla on niiden hiilien kuluminen. Hiilet kuluvat murskan tärinän takia, ja vaikka tärinän taso olisikin minimissään, on hiiliä tarkkailtava ja vaihdettava kuitenkin säännöllisesti.

Tulevaisuudessa voitaisiin kaikissa murskan moottoreissa siirtyä oikosulkumoottoreihin. Tällöin edellä mainituista ongelmista voitaisiin päästä eroon. Oikosulkumoottoreihin siirryttäessä, pitäisi kuitenkin investoida niitä ohjaaviin taajuusmuuttajiin. Taajuusmuuttajilla voitaisiin moottorin käynnistysmomenttia portaattomasti säätää ja mikä tärkeintä, moottorin nimellismomentti olisi käytössä heti pienilläkin kierrosluvuilla ajettaessa. Hihnat, akselit ja vaihteistot, kaikki, altistuisivat pienemmälle rasitukselle, mikä luonnollisesti vähentää kunnossapidon ja huollon tarvetta.

Taajuusmuuttaja, - oikosulkumoottorikäyttöihin kannattaisi siirtyä ” pikkuhiljaa ”- aina kun tarvetta uudelle koneelle ilmenee, vanhan vikaantuessa. Esimerkkinä 150 kW: n moottorille sopiva taajuusmuuttaja maksaa noin 15 t €. Puhutaan siis suhteellisen pienestä investoinnista, jolla voidaan huolto ja tarkastuskustannuksia ajan myötä pienentää huomattavasti. Kun moottoreita voidaan taajuusmuuttajalla säätää, tarpeen mukaisesti, niiden energiakustannuksetkin laskevat huomattavasti.

## LÄHTEET

- [1] ABB:n esite/ pienjännitemoottorit. 2009. Helsinki: ABB.
- [2] ABB:n TTT- käsikirja. 2000. [WWW- dokumentti] Viitattu 3.10.2011 <http://heikki.pp.fi/abb/>
- [3] ABB:n pehmokäynnistinopas. [WWW- dokumentti] Viitattu 19.10.2011 [http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/6de96a2197b01677c125725f00468d4a/\\$file/pehmokaynnistinopas%202007%20fi.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/6de96a2197b01677c125725f00468d4a/$file/pehmokaynnistinopas%202007%20fi.pdf)
- [4] ABB. Laakerivirrat uusissa vaihtovirtakäytöissä [WWW- dokumentti] Viitattu 29.9.2011 [http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/4afd9ccbf5eb991fc1256d280083a4d2/\\$File/Tekninenopasnr5.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/4afd9ccbf5eb991fc1256d280083a4d2/$File/Tekninenopasnr5.pdf)
- [5] Anturitekniikka. 1995. Oy Rastor Ab Tietomies. [WWW- dokumentti] Viitattu 29.9.2011 [http://personal.inet.fi/yritys/kkov.eduserver/yhteinen/rastor\\_anturitekniikka.pdf](http://personal.inet.fi/yritys/kkov.eduserver/yhteinen/rastor_anturitekniikka.pdf)
- [6] Blom, S. 2006. Koneenelimet ja mekanismit. 6. painos. Helsinki: Edita Publishing Oy.
- [7] Heinonkoski, R. 2004. Koneautomaation kunnossapito. 2. uudistettu painos. Helsinki: Ope-tushallitus.
- [8] Lukkarinen, T. 1984 Mineraalitekniikka osa I. Mineraalien hienonnus. Helsinki: Insinööritieto Oy.
- [9] Nohynek, P & Lumme, V. 2004. Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. 2.painos. Hamina: KP- Media Oy.
- [10] Norberg- Lokomo Oy. 2000. GE 500- murskan tekniset tiedot ja ohjeet. Tampere: Nord-berg- Lokomo Oy.
- [11] Oikosulkumoottorin rakenne. [WWW- dokumentti] Viitattu 20.10.2011 <http://oikosulkumoottorit.wikispaces.com/3-vaihe+oikosulkumoottorin+rakenne>
- [12] Reliable shock pulse evaluation. Greg Lee. [WWW- dokumentti] Viitattu 28.10.2011 <http://www.pump-zone.com/bearings/bearings/reliable-shock-pulse-evaluation-of-anti-friction-bearing-condition.html>
- [13] Parikka, R. Halme, J. 2006. Tutkimusraportti, VTT- Värähtelypohjaiset mittaus- ja ana-lysointimenetelmät rasvavoideltujen vierintälaakereiden voiteluvirheiden tunnistamiseksi. Espoo: VTT.
- [14] Prosessitekniikan yksikköprosessit. [WWW- dokumentti] Viitattu 20.10.2011 <http://prosessitekniikka.kpedu.fi/index-kg.htm>
- [15] PSK 5710. 2003. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. 2.painos. Helsinki: PSK Standar-disointiyhdistys.
- [16] PSK 6201.2003. Kunnossapito.Käsitteet ja määritelmät. Helsinki: PSK Standardidointiyh-distys
- [17] SFS- Käsikirja 144. 2005. Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus. 3. uudistet-tu painos. Helsinki: SFS.
- [18] SPM Instrument Oy. 2007. Värähtelymittarit/ Esite. Espoo: SPM Instrument Oy.

[19] Sähkökoneet, osa 1. [WWW- dokumentti] Viitattu 10.10.2011  
[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/10sahkokoneet\\_1osa.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf)

[20] VEM Finland. Elektrolyyttikäynnistimet. [WWW- dokumentti] Viitattu 20.10.2011  
<http://www.vem.fi/tuote/vectrohms-elektrolyyttikaynnistimet>

## Lämpötilamittausten seurantataulukko

Moottorin numero	Mittauspäivä määrä:	Lämpötilat		Lämpötilat		Lämpötilat		Lämpötilat		Lämpötilat	
		D-pää	N-pää	D-pää	N-pää	D-pää	N-pää	D-pää	N-pää	D-pää	N-pää
	Mittauskohta:	D-pää	N-pää	D-pää	N-pää	D-pää	N-pää	D-pää	N-pää	D-pää	N-pää
38	Svedala S400										
39	Svedala 4000										
40	GE 500										
41	GE 300										
42	Lokomo 14										



# Piikkiön murskan huoltotaulukko

Huoltotaulukko täydentyy ajan saatossa

Esimurska Svedala S 400																			24.10.2011- Hiilien tarkastus
Murska Svedala 4000	160	1480	VEM IM001-ARR-315																24.10.2011- Hiilien tarkastus
Murska GE 500	250	1487	M2CA	TMD-SA M1P2	D- pää: 6315/C3 N-pää: 6313/C3	Telemecanique LC1F630M7-L41 DN22	ABB OETL 800 K3	630 A	4x120										24.10.2011- Hiilien tarkastus
Murska GE 300																			
Murska Lokomo 14																			24.10.2011- Hiilien vaihto

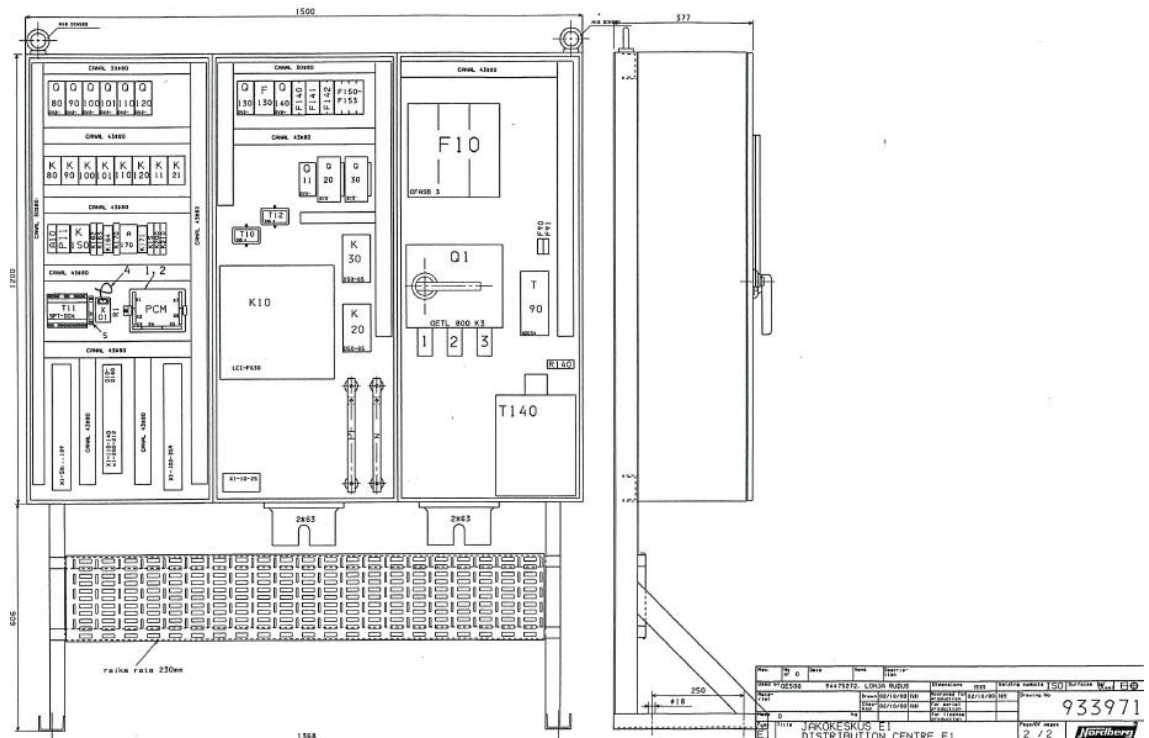
# GE 500 -murskan osittaiset sähkökuvat ja osaluettelo niihin liittyen

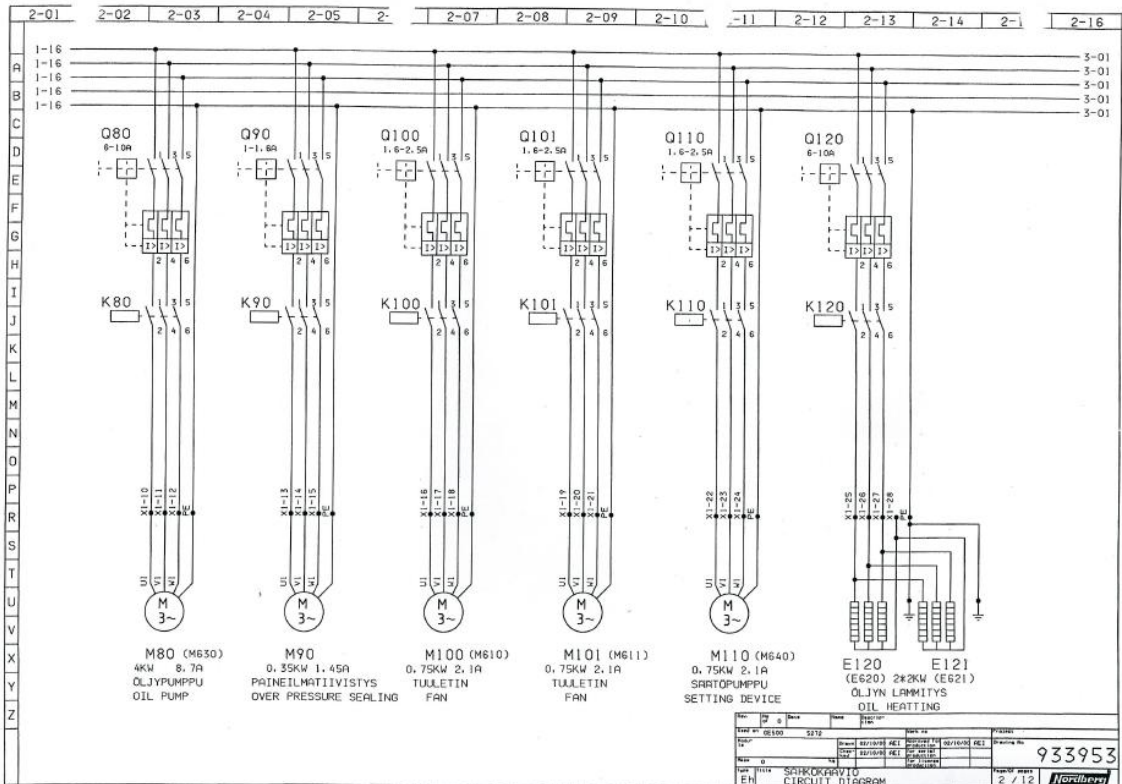
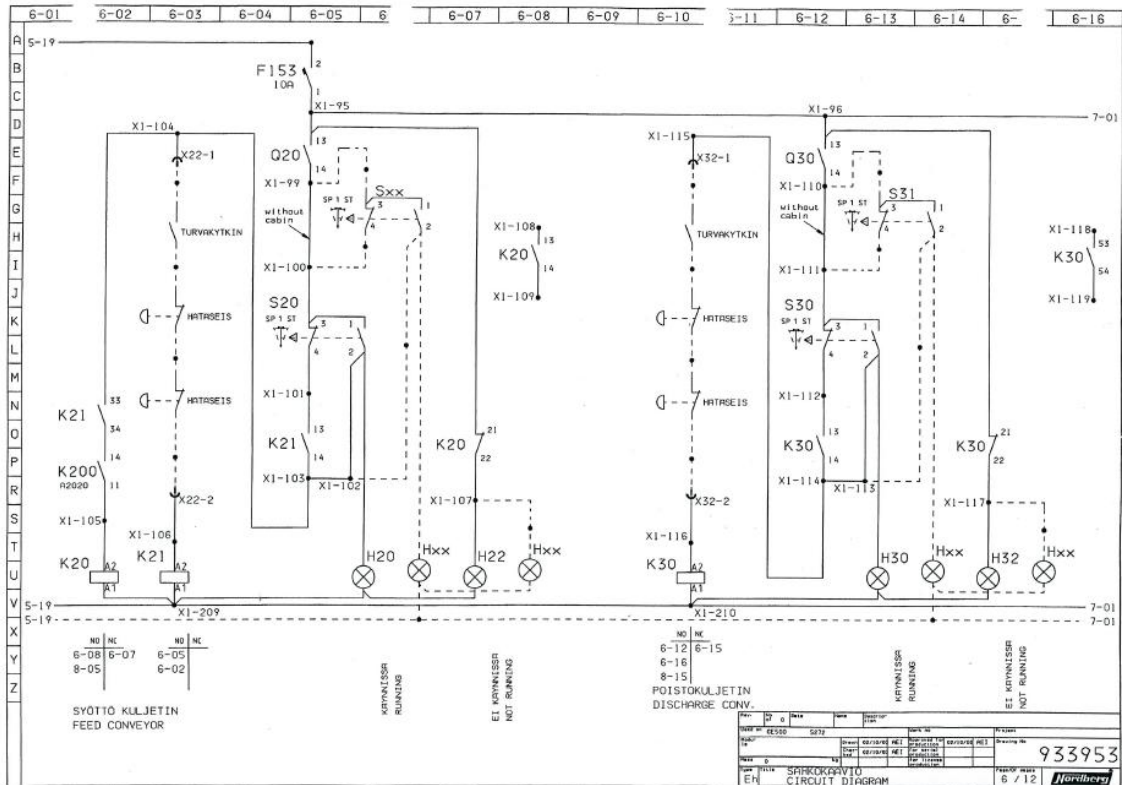
Tunnus Designation Beteckning Kennzeichn.	SÄHKÖLAITTEET Nimitys Description Beskrivning Bezeichnung	ELECTRICAL EQ. Valmistaja Manufacturer Tillverkare Hersteller	ELUTRUSTINGAR Tyyppi Model Typ Modell	Nimike Part number Del nummer Teil nummer	KPL PCS ST ST	Huomaus Note Anmärkning Bemerkung
H10	SIGNAL LAMP	TELEMECANIQUE	XB4-BVM3 230...240VAC			GREEN (LED)
H12	SIGNAL LAMP	TELEMECANIQUE	XB4-BVM5 230...240VAC			YELLOW (LED)
H14	SIGNAL LAMP	TELEMECANIQUE	XB4-BVM4 230...240VAC			RED (LED)
H15	SIGNAL LAMP	TELEMECANIQUE	XB4-BVB1 24VAC/DC			WHITE (LED)
H16	SIGNAL LAMP	TELEMECANIQUE	XB4-BVB3 24VAC/DC			GREEN (LED)
H20	SIGNAL LAMP	TELEMECANIQUE	XB4-BVM3 230...240VAC			GREEN (LED)
H22	SIGNAL LAMP	TELEMECANIQUE	XB4-BVM5 230...240VAC			YELLOW (LED)
H30	SIGNAL LAMP	TELEMECANIQUE	XB4-BVM3 230...240VAC			GREEN (LED)
H32	SIGNAL LAMP	TELEMECANIQUE	XB4-BVM5 230...240VAC			YELLOW (LED)
H90	SIGNAL LAMP	TELEMECANIQUE	XB4-BVM4 230...240VAC			RED (LED)
H160	SIGNAL LAMP	TELEMECANIQUE	XB4-BVM3 230...240VAC			GREEN (LED)
H162	SIGNAL LAMP	TELEMECANIQUE	XB4-BVM5 230...240VAC			YELLOW (LED)
H170	SIGNAL LAMP	TELEMECANIQUE	XB4-BVM3 230...240VAC			GREEN (LED)
H172	SIGNAL LAMP	TELEMECANIQUE	XB4-BVM5 230...240VAC			YELLOW (LED)
H210	SIGNAL LAMP	TELEMECANIQUE	XB4-BVM4 230...240VAC			RED (LED)
H165	SIGNAL HORN	SKS	E2S A105 230V, 50HZ			
K10	CONTACTOR	TELEMECANIQUE	LC1 F630 M7+ LA1 DN22			
K11	AUX. RELAY	TELEMECANIQUE	CA2 DN 31 230VAC			
K15	AUX. RELAY	OMRON	G2R-1SN (24VDC) + P2RF-05E			
K20	CONTACTOR	TELEMECANIQUE	LC1 D50 11 230V + LA1 DN31			
K21	AUX. RELAY	TELEMECANIQUE	CA2 DN 31 230VAC			
K30	CONTACTOR	TELEMECANIQUE	LC1 D50 11 230V + LA1 DN31			
K80	CONTACTOR	TELEMECANIQUE	LP1 D09 10 24VDC+LA4DC1U+LA1 DN31			
K90	CONTACTOR	TELEMECANIQUE	LP1 D09 10 24VDC+LA4DC1U+LA1 DN31			
K100	CONTACTOR	TELEMECANIQUE	LP1 D09 10 24VDC+LA4DC1U			
K101	CONTACTOR	TELEMECANIQUE	LP1 D09 10 24VDC+LA4DC1U			
K110	CONTACTOR	TELEMECANIQUE	LP1 D09 10 24VDC+LA4DC1U			
K120	CONTACTOR	TELEMECANIQUE	LP1 D09 10 24VDC+LA4DC1U			
K150	EMERG.STOP RELAY	ELAN	SRB-NA-R-C.12-230VAC			
K162	AUX. RELAY	OMRON	G2R-1SN (230VAC) + P2RF-05E			
K163	AUX. RELAY	OMRON	G2R-1SN (230VAC) + P2RF-05E			
K164	TIME RELAY	CARLO GAVAZZI	EAA C T23 1M 230VAC			
K170	AUX. RELAY	TELEMECANIQUE	CA2 DN 22 230VAC + LA3-DR2			

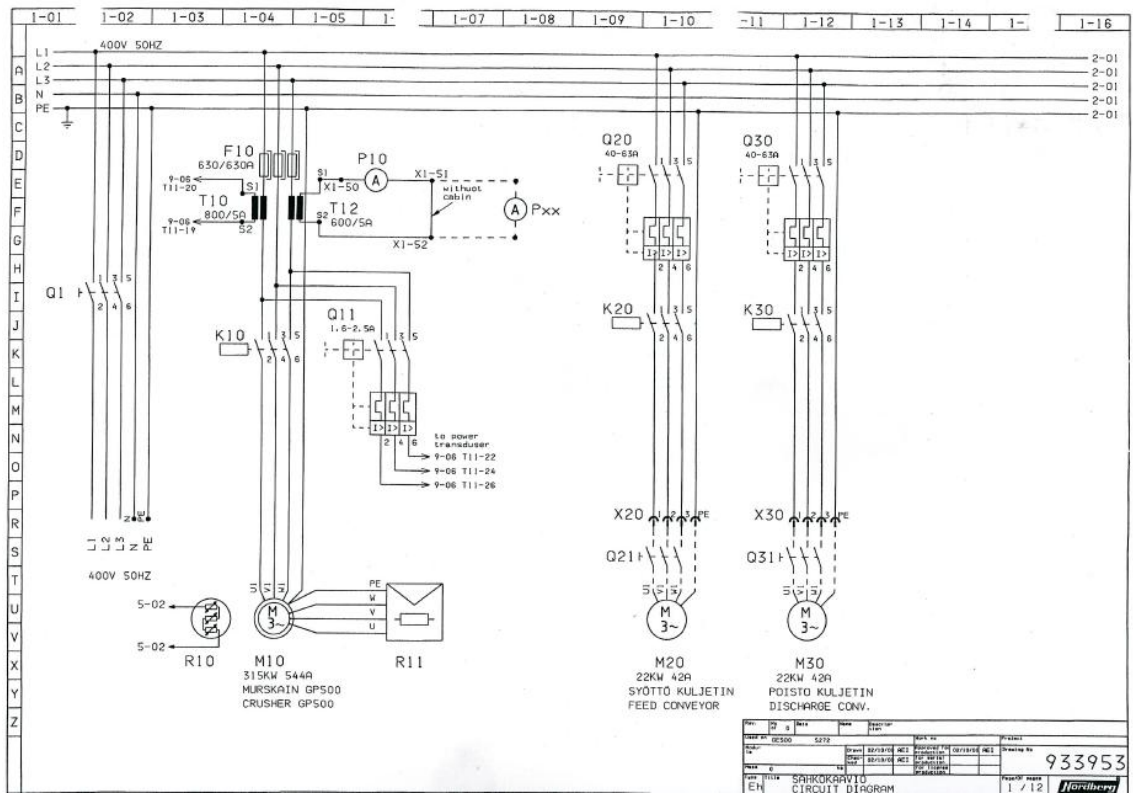
NORDBERG-LOKOMO OY  
GE500-5272 DISTRIBUTION CENTRE E1

14.12.2000  
N11449255

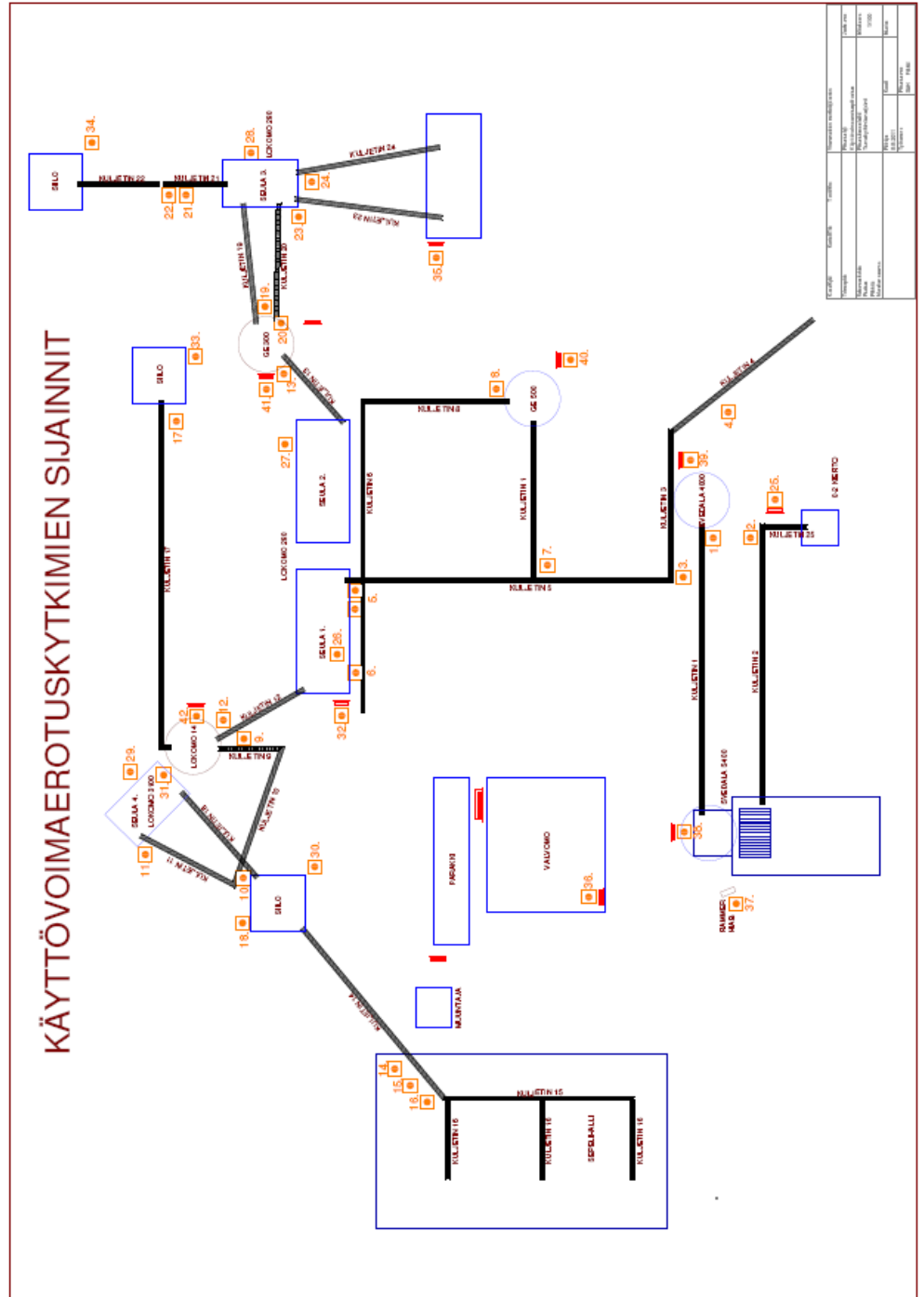
2/4



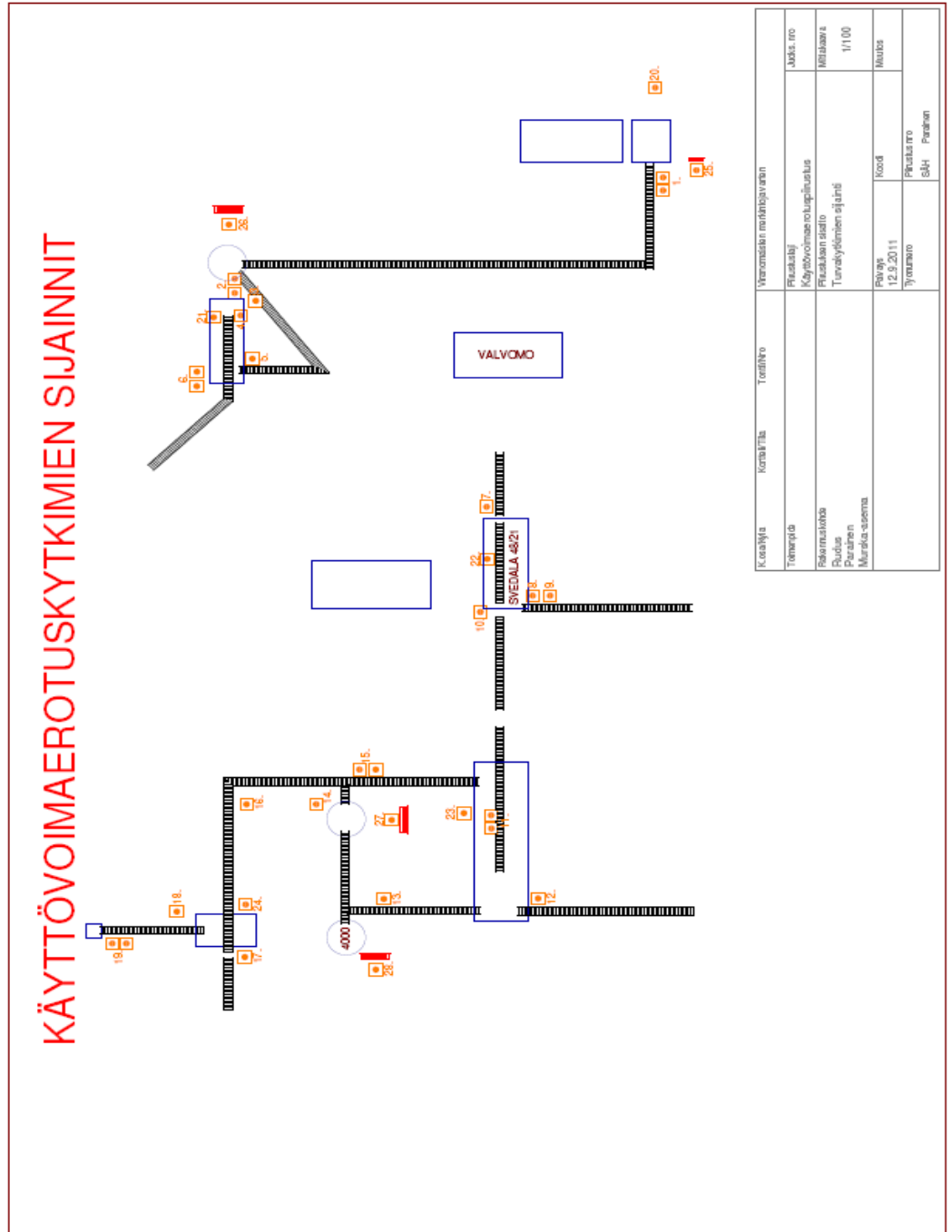




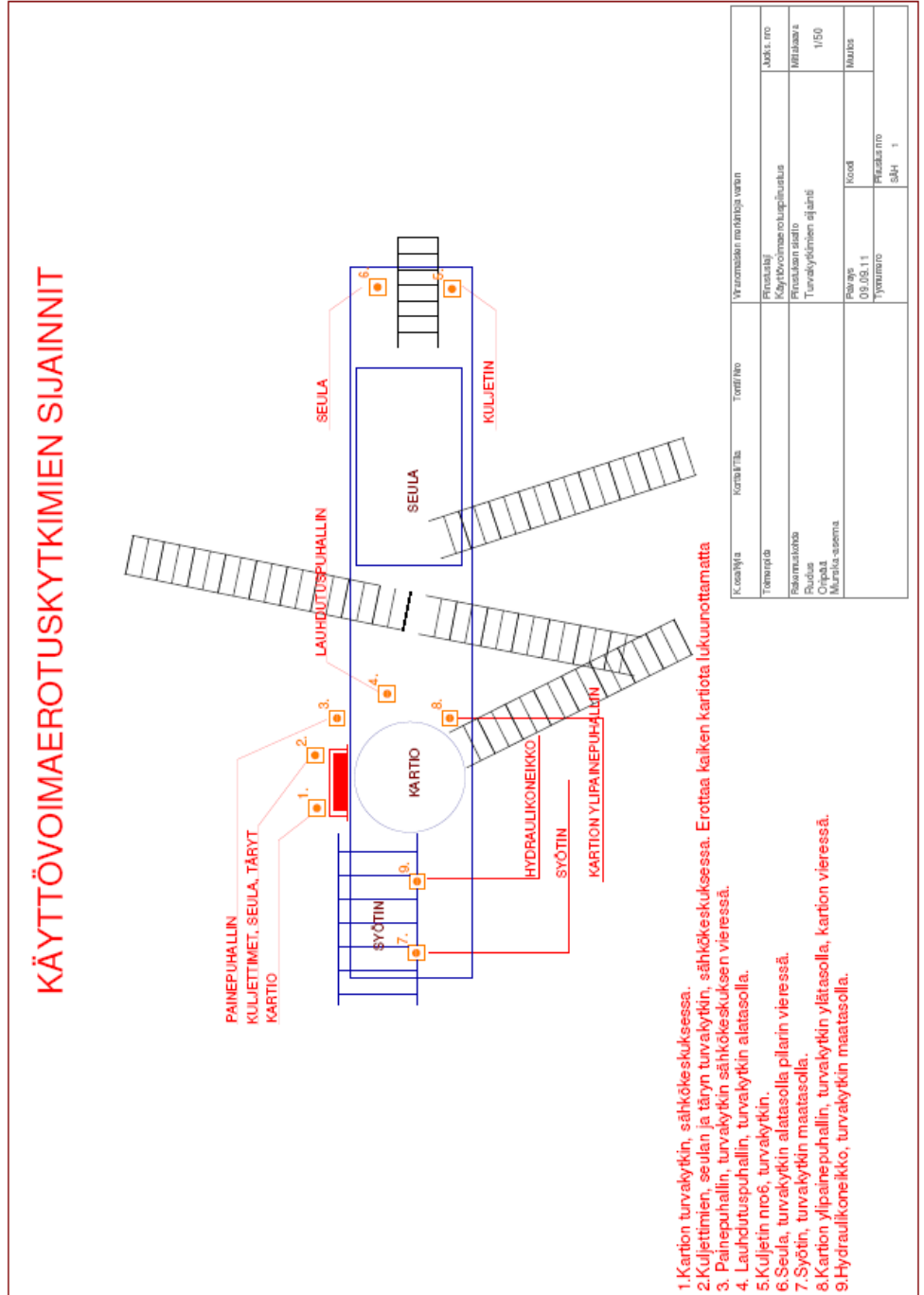
# Piikkiön murskan käyttövoimaerotuskytkimet



# Paraisten murskan käyttövoimaerotuskytkimet



# Oripään murskan käyttövoimaerotuskytkimet



## Piikkiön murskan erotuskytkinluettelo

TURVAKYTKIMET		
Turvakytkimen numero		Kuljettimet
1		Svedala 4000- syöttökuljetin
2		Hiekkakuljetin
3		Svedala 4000- alakuljetin
4		Moiskakuljetin
5		Seulat 1 ja 2- syöttökuljetin
6		Seula paluukuljetin
7		GE 500- alakuljetin
8		GE 500- syöttökuljetin
9		Lokomo 14- alakuljetin
10		Kiertokuljetin 1
11		Kiertokuljetin 2
12		Lokomo 14- syöttökuljetin
13		GE 300- syöttökuljetin
14		Hallin syöttökuljetin
15		Hallin pitkittäiskuljetin
16		Hallin poikittaiskuljettimet 3kpl
17		Siilokuljetin "5-11"
18		Siilokuljetin "2-5"
19		GE 300- alakuljetin
20		GE 300- paluukuljetin
21		Seulan alakuljetin "0-4"
22		Siilokuljetin "0-4"
23		Siilokuljetin "4-8"
24		Siilokuljetin "8-16"
25		Siilokuljetin "0-2" ja täry
		Seulat
26		Seula 1
27		Seula 2
28		Seula 3
29		Seula 4
		Siiloluukut
30		Siiloluukku "2-5"
31		Siiloluukku "0-2" ja täry
32		Siiloluukku
33		Siiloluukku "5-11"
34		Siiloluukku "0-4"
35		Siiloluukut "4-8" ja "8-16"
36		Esimurskan syötin
37		Rammer ja Hiab
		Murskat
38		Esimurska Svedala S 400
39		Murska Svedala 4000
40		Murska GE 500
41		Murska GE 300
42		Murska Lokomo 14



## Paraisten murskan erotuskytkinluettelo

TURVAKYTKIMET PARAINEN	
Turvakytkimen numero	Kuljettimet
1	Esimurskan alakuljetin
2	Murkan syöttökuljetin
3	Murskan alakuljetin
4	Seulan alakuljetin
5	Seulan syöttökuljetin
6	Kasakuljetin
7	Kuljetin "2-8"
8	Seulan alakuljetin
9	Kuljetin "0-2"
10	Välikuljetin
11	Svedala alakuljetin
12	Kuljetin "8-16"
13	Murskien syöttökuljetin
14	Murskan alakuljetin
15	Svedala syöttökuljetin
16	Esiseulan alakuljetin
17	Kuljetin "0-32"
18	Tunnelikuljetin
	Seulat
19	Syötin
20	Rammer
21	Seula
22	Seula
23	Seula
24	Esiseula
	Murskat
25	Esimurska
26	Murska
27	Murska
28	Murska