

Jouni Timonen

**ESISELVITYS LEUKAMURSKAIMEN ANTUROINNISTA**

Insinööriö  
Kajaanin ammattikorkeakoulu  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Kevät 2010



**Kajaanin  
ammattikorkeakoulu**

## OPINNÄYTETYÖ TIIVISTELMÄ

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka
Tekijä(t) Jouni Timonen	
Työn nimi Esiselvitys leukamurskaimen anturoinnista	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Kunnossapito	Ohjaaja(t) Tekniikan lisensiaatti Eero Pikkarainen
	Toimeksiantaja Kajaanin ammattikorkeakoulu
Aika Kevät 2010	Sivumäärä ja liitteet 46 + 0
<p>Tämä insinööri työ käsittää alustavan esiselvityksen Kajaanin ammattikorkeakoulun kaivannais- ja kiviainesosaimisen laboratorioon hankittavan Retsch BB 200 -leukamurskaimen anturoinnista. Murskain on tarkoitettu nopeaan, kevyeen murskaukseen ja esimurskaukseen keskikoville, koville, hauraille ja sitkeille materiaaleille. Anturointia on tarkoitus soveltaa mm. opetuskäytössä kunnonvalvonnan ja prosessinohjauksen tarpeisiin.</p> <p>Työn tavoitteena oli selvittää Retsch BB 200 -murskaimesta sopivat paikat kiihtyvyyssantureille ja antureiden lukumäärä. Esiselvitys aloitettiin tutkimalla eri lähteiden avulla leukamurskainten eri variaatioiden mekaanista toimintaa, kulumista ja eroja tuotanto-, pilotti- ja laboratoriomurskaimissa. Tietolähteinä käytettiin mm. opintomateriaalia ja internetiä. Seuraavaksi selvitettiin kiihtyvyyssantureiden asennusperiaatteet samoja lähteitä käyttäen. Lopuksi tehtiin tutustumiskäynti Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj:n murskaimiin, mikä auttoi paljon antureiden asennuspaikkojen kartoittamisessa.</p> <p>Työn tuloksena selvitettiin pääperiaatteet kiihtyvyyssantureiden asennukselle. Käyttökelpoisia asennuspaikkoja ei voitu kaikilta osin määrittellä, koska BB 200 -murskaimesta ei ehditty saada kunnollisia rakennepiirustuksia.</p> <p>Johtopäätöksenä voidaan sanoa, että selvitetty pääperiaatteet kiihtyvyyssantureiden asennukselle auttavat varmasti omalta osaltaan myöhemmin tehtävää varsinaista asennustyötä.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Leukamurskain, kiihtyvyyssanturi
Säilytyspaikka	<input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Mechanical and Production Engineering
Author(s) Jouni Timonen	
Title Sensor Assembly for a Jaw Crusher	
Optional Professional Studies Maintenance	Instructor(s) Mr Eero Pikkarainen, Principal Lecturer
	Commissioned by Kajaani University of Applied Sciences
Date Spring 2010	Total Number of Pages and Appendices 46 plus 0 appendices
<p>This Bachelor's thesis handles a preliminary study of assembling vibration sensors to the Retsch BB 200 jaw crusher which will be delivered to the Kajaani University of Applied Sciences in Autumn 2010. The sensors are mainly acceleration and inductive sensors. The crusher is designed for rapid, gentle crushing and the pre-crushing of medium-hard, hard, brittle and tough materials in laboratories and industrial plants.</p> <p>The sensors will be used for teaching purposes, for the needs of mining industry to support research and development and also for the needs of maintenance and process control. The study was made by investigating the mechanical operation and wearing of different types of jaw crushers. Differences between production, pilot and laboratory crushers of two manufacturer were studied.</p> <p>The aim was to find out the right places for the sensors and also the number of them in the crusher BB 200. The best places for the mounting was found out with the help of different source information from the internet. The possibility to investigate a real crusher in the Talvivaara Mining Company also helped quite a lot the study.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	Jaw crusher, acceleration sensor
Deposited at	<input type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

## ALKUSANAT

Tämä insinööri työ käsittää alustavan esiselvityksen Kajaanin ammattikorkeakoulun kaivannais- ja kiviainesosaamisen laboratorioon hankittavan leukamurskaimen anturoinnista. Työn toimeksiantajana oli Kajaanin ammattikorkeakoulu ja ohjaajana toimeksiantajan puolelta tuntiopettaja Sanna Leinonen. Esiselvitys oli noin neljän kuukauden projekti, jota tein muun, kunnossapitoon suuntautuvan, opiskelun lisäksi.

Kiitän työni ohjaajaa, Kajaanin ammattikorkeakoulun yliopettajaa Eero Pikkaraista, kaikesta insinööri työhön saamastani opista. Kiitän kieliopettajaa, lehtori Eero Soinista, asiantuntevista lausunnoista, joiden avulla sain parannettua käsikirjoitustani merkittävästi. Kiitos kuuluu myös työn teossa avustaneille tuntiopettaja Sanna Leinoselle ja yliopettaja Kaisu Korhoselle. Lausun Vilho Shnorolle ja Hannu Lahtiselle Talvivaara Kaivososakeyhtiö Oyj:stä suuret kiitokset asiantuntija-avusta mittauskohteiden määrittelyssä.

Kajaanissa 28.5.2010

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO	2
2 MALMIN HIENONNUS	3
2.1 Louhinta	3
2.2 Murskaus	4
2.3 Seulonta	5
2.3.1 Seulonnan kapasiteetti	6
2.3.2 Seulonnan terävyys	6
2.4 Jauhatus	7
3 MURSKAUSTAPAHTUMA	8
3.1 Kappaleen muodonmuutos	8
3.2 Murtumisperusteet	9
3.3 Hienonnuksen perusmekanismit	10
4 MURSKAIMET	12
4.1 Leukamurskaimet	12
4.2 Kartiomurskaimet	13
4.3 Valssimurskaimet	13
4.4 Iskumurskaimet	14
5 LEUKAMURSKAIMEN MEKANIikka	16
5.1 Murskaimen rakenne	17
5.2 Murskaimen koko ja kapasiteetti	18
6 ANTURIT	20
6.1 Tärinän nopeusanturit	20
6.2 Piettosähköiset kiihtyvyyssanturit	20
6.3 Induktiiviset kiihtyvyyssanturit	22
6.4 Venymäliuskakiihtyvyyssanturit	23
7 VÄRÄHTELYMITTAUKSET	24
7.1 Värähtely ja sen hyväksikäyttö	24

7.2 Värähtelymittauslaitteet	24
8 TYÖN SUORITUS	26
8.1 Leukamurskainten tekniset tiedot eri valmistajilla	26
8.2 Anturinpaikkojen valintaan vaikuttaneet asiat	28
8.2.1 Mittauskohde ja -suure murskaimessa	28
8.2.2 Mittauspiste mittauskohteessa	28
9 TULOKSET	31
9.1 Anturin paikka 1	32
9.2 Anturin paikka 2	33
9.3 Anturin paikka 3	34
9.4 Anturin paikka 4	35
9.5 Anturin paikka 5	36
10 TULOSTEN TARKASTELU	37
11 YHTEENVETO	38
LÄHTEET	39

## KÄYTETYT TERMIT

agglomeroituminen	yhteen liimautuminen, rakeistuminen
flokkautuminen	yhteen keräytyminen (aiheuttaen tukoksen)
fraktio	joukosta erottunut osa
hygroskooppisuus	ilman kosteuden imu-/luovutuskyky
in situ -liuotus	menetelmä, jolla malmimineraalit liuotetaan isäntäkivestä niiden omassa geologisessa ympäristössä
kriittinen rae	rae, joka tarttuu seula-aukkoon
Mn-teräs	mangaaniteräs
seulan alite	seulottava aines, joka menee seulan läpi
seulan ylite	seulottava aines, joka ei mene seulan läpi, vaan ylittää sen
T&K	tutkimus ja kehitys

## 1 JOHDANTO

Kainuussa ja sen lähialueella nopeasti kasvava kaivannaisteollisuus on yksi alueen kärkialoista. Kajaanin ammattikorkeakoulu on asettanut tavoitteeksi kansallisesti merkittävän osaamiskeskuksen muodostamisen kaivannaisteollisuuteen. Tämän kokonaisuuden edistäminen ja kehityksen tukeminen on yksi alueen koulutustoimen tärkeimpiä tehtäviä. Osaamiskeskittymän rakentamisen vaatimat kaksi peruspilaria ovat vahva teoreettinen koulutus sekä sitä tukeva T&K- ja harjoitustyöympäristö.

Tavoitteeseen pääsemiseksi Kajaanin ammattikorkeakoulu on käynnistänyt hankkeen "Liikkuva kaivannais- ja kiviainesosaamisen laboratorio". Hankkeesta käytetään lyhennettä MoPeDi, mikä tulee englanninkielisistä sanoista "Mobile environment for education, instruction, research & development in mining industry for Northern Finland area".

Hankkeessa luodaan liikuteltava kaivosteknologian T&K- ja oppimislaboratorio, joka mahdollistaa kehitysyhteistyön alueen yritysten kanssa ja on perustana Kajaanin ammattikorkeakoulun kehityksessä kansallisesti merkittäväksi kaivosalan osaamiskeskukseksi. Laboratorio tulee palvelemaan T&K-palvelujen sekä opinnäytetöiden kautta alueen kehittyvää kaivannaisteollisuutta ja on luonnollisesti tukena Kajaanissa annettavalle kaivannaيسان koulutukselle. Hanke toteutetaan ajalla 1.9.2009–31.12.2010. Hanketta rahoittavat Alueellinen kilpailukyky ja työllisyys -ohjelma (EAKR), Kainuun ELY-keskus ja Kajaanin ammattikorkeakoulu.

Tässä insinööriyössä tehtiin alustava esiselvitys laboratorioon sijoitettavan leukamurskaimen Retsch BB 200 anturoinnista kunnonvalvonnan ja prosessiohjauksen tarpeisiin. Tavoitteena oli selvittää murskaimesta sopivat paikat kiihtyvyyssantureille ja antureiden lukumäärä. Toimistokonttiin sijoitettava laboratoriotila saadaan suunnitelmien mukaan valmiiksi syksyn 2010 aikana vastaanottamaan laitteistoja. Leukamurskain on tulossa laboratorioon syksyllä 2010. Murskain on tyyppiltään kierto- eli kitamurskain ja varustettu ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla leukalevyillä. Käytettäviksi antureiksi on kaavailtu ruuvikiinnitteisiä, pietosähköisiä kiihtyvyyssantureita.



## 2 MALMIN HIENONNUS

Mineraalien hienonnus malmin louhimisen jälkeen jakautuu murskaukseen ja jauhatukseen, joiden kanssa samanaikaisesti ohjataan raeeseen jakautumaa seulomalla. Hienonnuksen tarkoituksena on saada kivilaji niin hienoksi, että arvomineraalit ovat erillisinä, puhtaina rakeina. Tällöin niiden rikastus omiksi rikasteikseen on mahdollista. [1, s. 71.]

### 2.1 Louhinta

Louhintamenetelmät jaetaan avolouhintaan ja maanalaiseen louhintaan. Avolouhinta on lähes aina halvempaa kuin maanalainen louhinta. Usein kaivostoiminta alkaa avolouhintana ja jatkuu myöhemmin maanalaisena louhintana. Avolouhinta tapahtuu sananmukaisesti avoimen taivaan alla, ulkoilmassa. Avolouhintamenetelmiä ovat perinteinen pengerlouhinta ja paikalleen räjäyttäminen, joka on pengerlouhinnan variaatio. [2, s. 92–94.]

Maanalainen louhinta tehdään kaivoskäytävässä. Maanalaiset louhintamenetelmät luokitellaan useimmiten louhostilan tukemistarpeen mukaisesti neljään ryhmään: avoimiin menetelmiin, täyttömenetelmiin, sorrosmenetelmiin ja muihin menetelmiin, joista tarkemmin seuraavissa kappaleissa. [2, s. 99.]

Avoimessa menetelmässä louhos pidetään avoinna luonnollisen tuen avulla, joita ovat suunnitellusti louhimatta jätetyt malmitukipilarit ja holvimuotoinen louhoskatto. Avoimiin menetelmiin kuuluvat pilari-, välitaso- ja pengerlouhinta. Täyttömenetelmässä louhostila tuetaan keinotekoisesti massanvaihdon eli louhostäytön avulla. Täyttömenetelmiin kuuluvat makasiini-, lyhytreikätyttö- ja pengertäyttölouhinta. Sorrosmenetelmässä louhoksen katto sorrutetaan tarkoituksellisesti malmin tyhjiinlastauksen yhteydessä eli tyhjää louhostilaa ei synnytetä. [2, s. 101–102.]

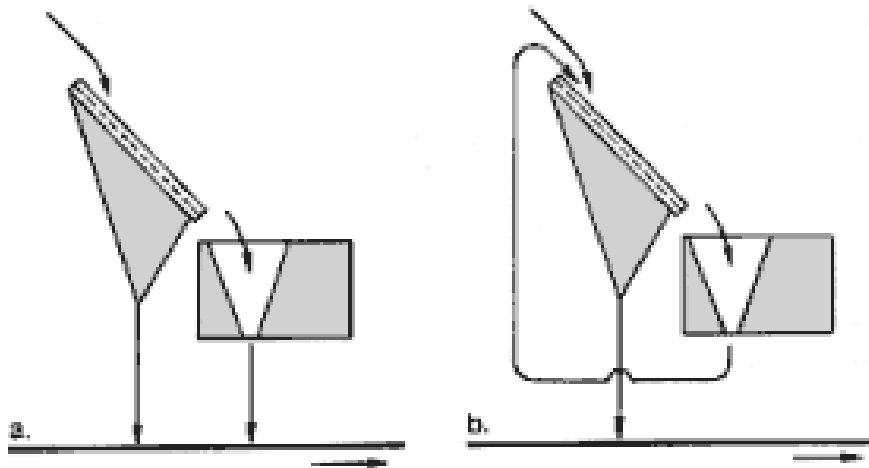
Muut menetelmät käsittävät mekaanisen louhinnan ja in situ -liuotuksen. Menetelmät eivät perustu poraus-räjäytykseen. Mekaanisessa louhinnassa käytetään jyrsin- tai porauslouhintaa. In situ -liuotuksessa malmimineraalit liuotetaan isäntäkivestä niiden omassa geologisessa ympäristössä. Läpäisevyyden lisäämiseksi malmi usein rikotaan pienempään raekokoon esimerkiksi räjäyttämällä. [2, s. 119–121.]

## 2.2 Murskaus

Murskauksen tarkoituksena on joko malmin hienontaminen syötteen tuottamiseksi jauhatukseen tai sepelin valmistaminen. Malmit murskataan nykyisin useimmiten kolmessa vaiheessa, jolloin puhutaan esi-, väli- ja hienomurskauksesta. Ensiksi louhimosta 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, 6–8 mm:n raekokoon pyrittäessä. Murskaus olisi ulotettava mahdollisimman pitkälle, koska se on tiettyyn rajaan saakka jauhatusta halvempaa. [1.]

### Murskauspiiri

Murskauspiirillä tarkoitetaan eri murskausvaiheissa käytettyjen murskaimien ja seulojen muodostamaa kokonaisuutta. Murskauspiiri voi olla avoin tai suljettu. Avoimessa murskauspiirissä seulan ylitteeseen mennyt malmi murskataan ja yhdistetään alitteeseen. Avoimella piirillä päästään maksimiraekokoon 20–25 mm. Suljetulla murskauspiirillä päästään maksimiraekokoon 10–15 mm. Liian karkea fraktio palautetaan murskaimesta seulalle aina uudelleen, kunnes se läpäisee seulan. Tätä sanotaan kiertäväksi kuormaksi. [3, s. 91–92.] Kuvassa 1 on esitetty murskauspiirien toimintakaavio.



Kuva 1. Kuorman kierto avoimessa (a) ja suljetussa (b) murskauspiirissä [4]

### 2.3 Seulonta

Seulonnan tehtävänä on säännöstellä tuotteen raekokoa ennen murskausta tai sen jälkeen. Seulontaa käytetään myös erottamaan karkeudeltaan erilaisia tuotteita murskeista tai jauheista. Ennen murskausta tapahtuvalla seulonnalla säästetään energiaa sekä murskaimen kuluvia osia ja kapasiteettia. Sillä voidaan myös ehkäistä murskaimen tukkeutuminen määrällä aineksella ja näin nostaa murskauksen kapasiteettia. Murskauksen jälkeen tapahtuvalla seulonnalla pidetään murskeen raekoko haluttuna. Seulonta on joko kuiva- tai märkäseulontaa. Kuivaseulonta voidaan ulottaa jopa alle 100 mikrometrin alueelle. Märkäseulonnalla päästään ehkä n. 1 mm:n raekokoon. [1, s. 113.]

Kuivaseulonta on tyypillistä murskaamoissa. Kuivaseulontaan käytetään säleikköjä, täryseuloja ja sylinterimäisiä seuloja. Säleiköt jaetaan kiinteisiin säleikköihin ja tärysäleikköihin. Täryseuloja ovat epäkeskoseulat, vapaavärähteiset seulat, resonanssiseulat, sähkömagneettiset seulat ja Mogensen-sizer-seula. Sylinterimäisiä seuloja ovat rumpu-, hyrrä- ja keskipakoseulat. [1, s. 119–132.]

Märkäseulonnalla tai vesipesulla erotetaan lieju karkeasta murskeesta, mikä helpottaa murskeen jatkokäsittelyä. Märkäseulontaan käytetään joko Derrick-seulaa tai kaariseulaa. [1, s. 133–135.]

### 2.3.1 Seulonnan kapasiteetti

Seulonnan kapasiteetti voidaan määrittellä joko seulaan syötetyn tai seulan läpäisseen aineen määränä tunnissa seulapinnan pinta-alayksikköä kohti eli yksiköllä t/hm<sup>2</sup>. Seulan läpäisykapasiteetti riippuu syötteen raekoon jakaumasta, kosteudesta, seula-aukon koosta ja muodosta, seulapinnan aukkojen osuudesta ja seulan rakenteesta. Rakeet, joiden koko on  $\leq 0,5 * a$ , läpäisevät seulan helposti eli menevät seulan alitteeseen ( $a$  = neliömäisen seula-aukon sivun pituus). Toisaalta rakeet, joiden koko on  $\geq 1,5 * a$ , ylittävät seulan helposti eli menevät seulan ylitteeseen. Näiden raekokojen väliin jäävät ns. kriittiset rakeet, jotka tarttuessaan seulaaukkoon pienentävät sitä ja estävät myös rakeiden kulkua seulan yli. [1, s. 114.]

Rakeen läpimenon todennäköisyydelle on kaava

$$P = [(a-x) / (a+d)]^2, \quad (1)$$

missä  $P$  = todennäköisyys rakeen läpimenoille

$a$  = neliömäisen seula-aukon sivun pituus

$x$  = rakeen läpimitta

$d$  = seulalangan läpimitta. [1, s. 115]

### 2.3.2 Seulonnan terävyys

Seulonnan terävyydellä eli tehokkuudella  $E$  ilmaistaan, kuinka monta prosenttia syötteen sisältämästä, tiettyä raekokoa  $x$  hienommasta aineesta on mennyt seulan alitteeseen. Tämä luku saadaan selville joko punnitus- ja seulontamenetelmällä tai laboratorioissa tehtävällä syöte-, ylite- ja alitenäytteiden seula-analyysillä. [1, s. 117–118.]

Seulonnan terävyys lasketaan ns. rikastuksen saantiyhtälöllä

$$E = \frac{a(s-y)}{s(a-y)} * 100 \% , \quad (2)$$

missä E = seulonnan tehokkuus prosentteina

a = raekokoa x hienomman aineksen prosenttiosuus alitteessa

s = raekokoa x hienomman aineksen prosenttiosuus syötössä

y = raekokoa x hienomman aineksen prosenttiosuus ylitteessä. [1, s. 117–118.]

## 2.4 Jauhatus

Jauhatus on lopullinen vaihe mineraalien hienontamisessa ja eniten energiaa kuluttava osa rikastusprosessissa. Jauhettava aine hienonnetaan vastaamaan haluttua raekokojakaumaa, puhtaaksijauhatusastetta tai ominaispinta-alaa. Kaivosteollisuudessa malmit jauhetaan yleensä rumpumaisissa, vaakatasossa pyörivissä myllyissä irrallisten jauhinkappaleiden avulla, jolloin jauhautuminen perustuu iskuihin, puristukseen ja hiertoon. Jauhinkappaleina ovat terästangot, -kuulat, jauhineriöt tai malminkappaleet, jolloin kyseessä on autogeenijauhatus. [1, s. 175–176.]

### Jauhatuspiiri

Jauhatuspiirillä tarkoitetaan mineraalisten raaka-aineiden jauhatukseen käytettävien myllyjen, luokittimien ja apulaitteiden muodostamaa kokonaisuutta [1, s. 277]. Jauhatuspiirin tarkoituksena on tuottaa tietty määrä haluttuun jauhatusteeseen hienonnettua tuotetta. Tuotteen karkeimman fraktion määrä voidaan selvittää raekokoanalysaattorilla, joista menestyneimpiä on amerikkalaisen Autometrics Co:n valmistama laite. [1, s. 304.]

### 3 MURSKAUSTAPAHTUMA

Jokainen materiaali vastustaa hienontamista omien lujuusominaisuuksiensa mukaisesti, mistä käsitteet murskautuvuus ja jauhautuvuus. Näistä tunnetumpi on jauhautuvuus, johon vaikuttavat mm. seuraavat ominaisuudet:

- materiaalin kovuus
- rakenne
- kosteus
- hygroskooppisuus
- flokkautumistaipumus
- agglomeroitumistaipumus
- alttius lämpötilan muutoksille.

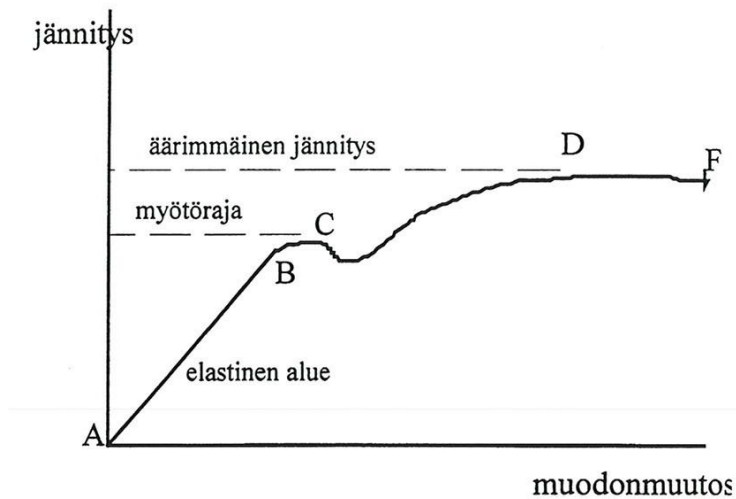
Jauhautuvuus määritellään jauhatuskokeilla, joissa mitataan jauhatukseen käytetty energia ja raekoon pientyminen. [3.]

Murskautumisessa erotetaan kaksi tapaa: erottumismurtuminen ja leikkaus- eli liukumurtuminen. Ensin mainittu on makroskooppinen muodonmuutokseton murtuminen ja se syntyy jo jännityksen yhteydessä. Leikkausmurtuminen taas syntyy vasta plastisen muodonmuutoksen yhteydessä tai sen jälkeen. Ainetta hienonnettaessa pyritään erottumismurtumiseen. [3.]

#### 3.1 Kappaleen muodonmuutos

Kappaleen muodonmuutostapoja ovat hankaus, repiminen, isku, leikkaus, puristus, vetojännitys, taivutus ja vääntö. Materiaalin hienontumista tutkitaan kohdistamalla kappaleeseen tiet-

ty jännitys ja mittaamalla sen aiheuttama muodonmuutos. Mittaustuloksia kuvaa jännitys-muodonmuutos -käyrä, joka on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Kiinteän aineen jännitys-muodonmuutos -diagrammi [3, s. 65]

Käyrässä välillä A–B on elastinen alue, jossa muodonmuutos on suoraan verrannollinen jännitykseen. Aine palautuu entiseen muotoonsa ja kokoonsa poistettaessa jännitys. Välillä B–C on myötöraja ja muodonmuutos kasvaa suhteessa jännitykseen. Myötörajän ylittämisen jälkeen aine ei enää palaudu entiseen muotoonsa poistettaessa jännitys. Välillä C–D muodonmuutos tapahtuu, vaikka jännitys pienenee. Välillä D–F kiintoaine muuttuu muotoaan ja murtuu pisteessä F, vaikka jännitys ei muutu. [3, s. 64–65.]

### 3.2 Murtumisperusteet

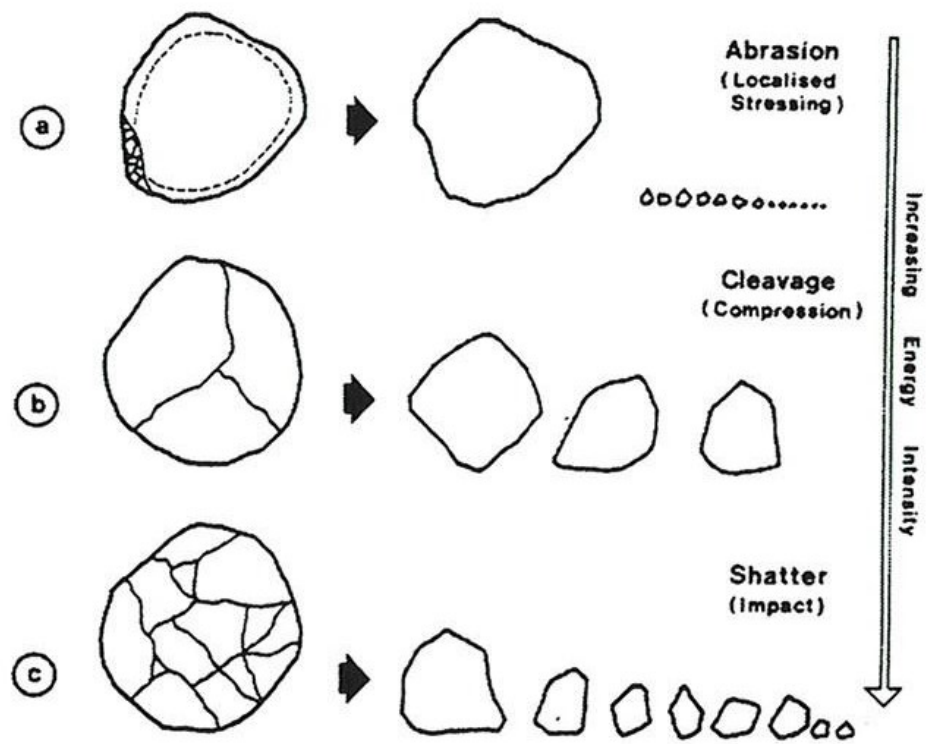
Kiinteässä aineessa atomien välisten veto- ja hylkimisvoimien summa on nolla, jolloin atomit ovat toisiinsa nähden tasapainossa. Tasapaino on dynaaminen, koska atomien lämpöliike muuttaa niiden välistä etäisyyttä. Lämpötilan kasvaessa jo noin 10 % etäisyyden kasvu voi aiheuttaa materiaalin murtumisen. [3.]

Jotta kiteinen kappale saataisiin rikotuksi, on sen sisäiset, atomien väliset vetovoimat voitettava (= voimaehto). Lisäksi differentiaalisessa rakoilussa systeemiin tuodun energian on oltava yhtä suuri kuin systeemin vastaanottama energiamäärä (= energiaehto). Murtuminen saadaan aikaan joko normaalijännityksen (= veto- tai puristusjännitys) tai leikkausjännityksen (= tangentiaalijännitys) avulla. Huomioitavaa on, että puristusjännityksen käyttö saa atomit lähentymään, jolloin murtuminen vaatii myös leikkausjännityksen läsnäolon. [3.]

### 3.3 Hienonnuksen perusmekanismit

Hienonnuksen menetelmät voidaan jaotella kolmeen perusmekanismiin energiatihedden ja sen muutosnopeuden perusteella. Näitä ovat kulumismurtuminen, puristumismurtuminen ja iskumurskaus tai -jauhatus. Kulumismurtuminen tapahtuu pääasiassa leikkausjännitysten vaikutuksesta pienellä alueella ja tytäkkappaleet ovat hyvin hienoja. Puristumismurtumisessa energiatiheys on edellistä suurempi, mutta hitaasti nouseva. Tytäkkappaleet ovat melko suuria ja raekokojakauma on melko kapea. Iskumurskauksessa energiatiheys nousee nopeasti suureksi ennen murtumista. Tytäkkappaleita syntyy runsaasti ja niiden ja raekokojakauma on laaja. Leukamurskaimissa käytetään puristumismurtumismekanismeja, joka leuan liikkeestä johtuen sisältää myös leikkausjännityskomponentin. Kuvassa 3 on esitetty hienonnuksen perusmekanismit. [3, s. 69–70.]





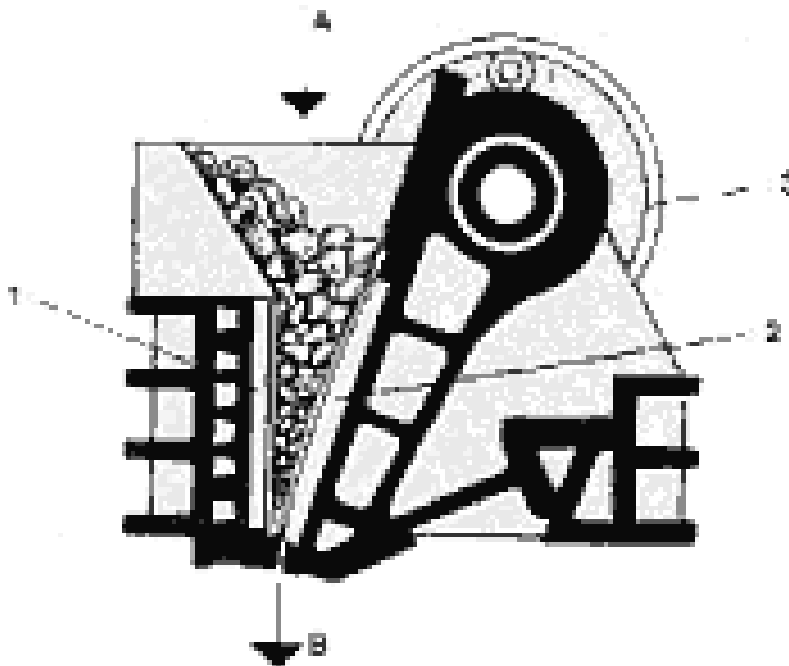
Kuva 3. Hienonnuksen perusmekanismit: ylimpänä kulumis-, keskellä puristus- ja alhaalla iskemurtuminen [3, s. 69].

## 4 MURSKAIMET

Murskaimet jaetaan leuka-, kartio-, valssi- ja iskumurskaimiin, joista kustakin on eri versioita [1, s. 88]. Esimurskauksessa käytetään tyypillisesti leuka- tai karamurskainta. Pehmeälle kiville, kuten kalkkikivelle tai hiilelle, voidaan käyttää myös valssi- tai iskumurskainta. [2, s. 198.] Väli- ja hienomurskaukseen käytetään useimmiten kartiomurskaimista Hydrocone- ja Symons-tyyppejä [1].

### 4.1 Leukamurskaimet

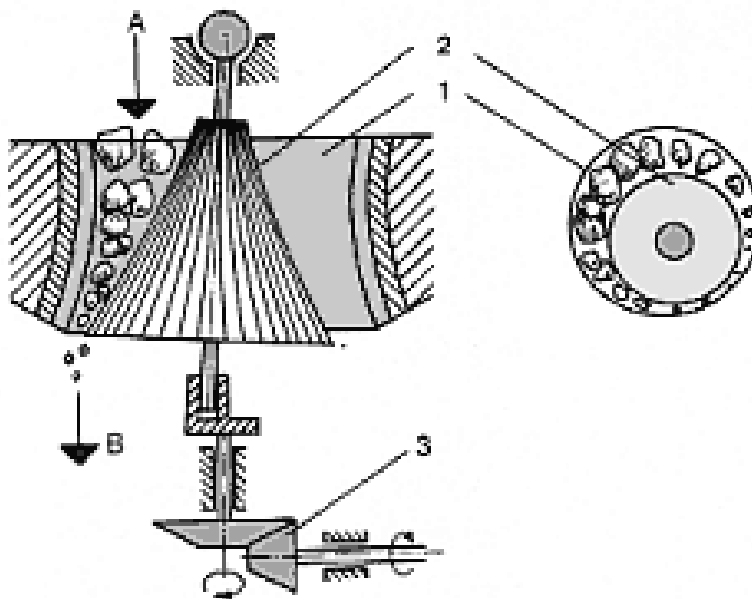
Leukamurskaimet jaetaan kierto- eli kitamurskaimiin ja varsinaisiin leukamurskaimiin, joita ovat Blake- ja Kue-Ken -leukamurskaimet [1, s. 88]. Kuvassa 4 on kiertomurskain.



Kuva 4. Kiertomurskain, jossa kiinteä leuka (1), liikkuva leuka (2), vauhtipyörä (3), syöttöaukko (A) ja lähtöaukko (B) [5].

#### 4.2 Kartiomurskaimet

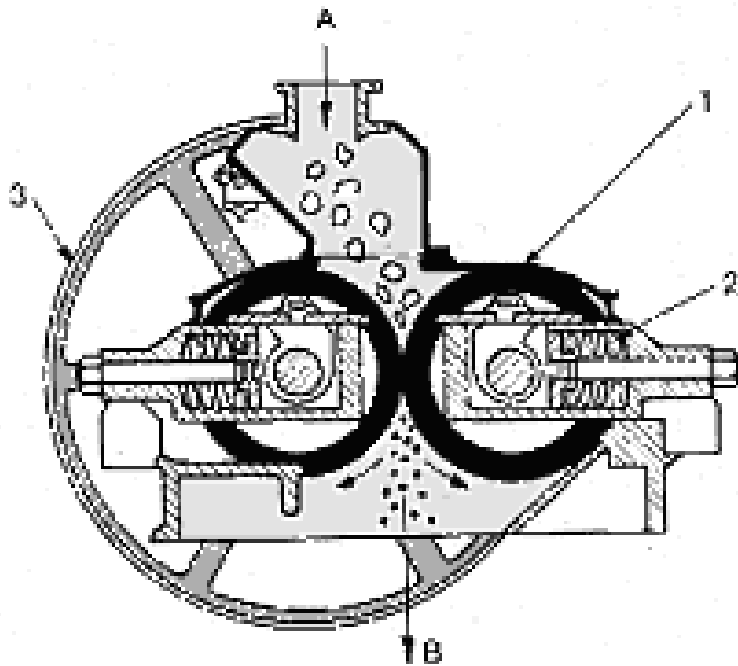
Kartiomurskaimet jaetaan kara- eli Gates-, Hydrocone- ja Symons-murskaimiin. Kartiomurskaimissa kivi hienonnetaan kahden sisäkkäin olevan kartiomaisen murskausvaipan välissä, joista ulompi on kiinteä ja sisempi pyörivä (ja kieppuva). Murskaimen asetus tarkoittaa vaippojen välistä pienintä etäisyyttä. [1, s. 88 ja 95–108.] Kuvassa 5 on karamurskain.



Kuva 5. Karamurskain, jossa murskaustila (1), pyörivä ja kieppuva murskauskartio (2), hammaspyörävälitys (3), syöttöaukko (A) ja lähtöaukko (B) [5].

#### 4.3 Valssimurskaimet

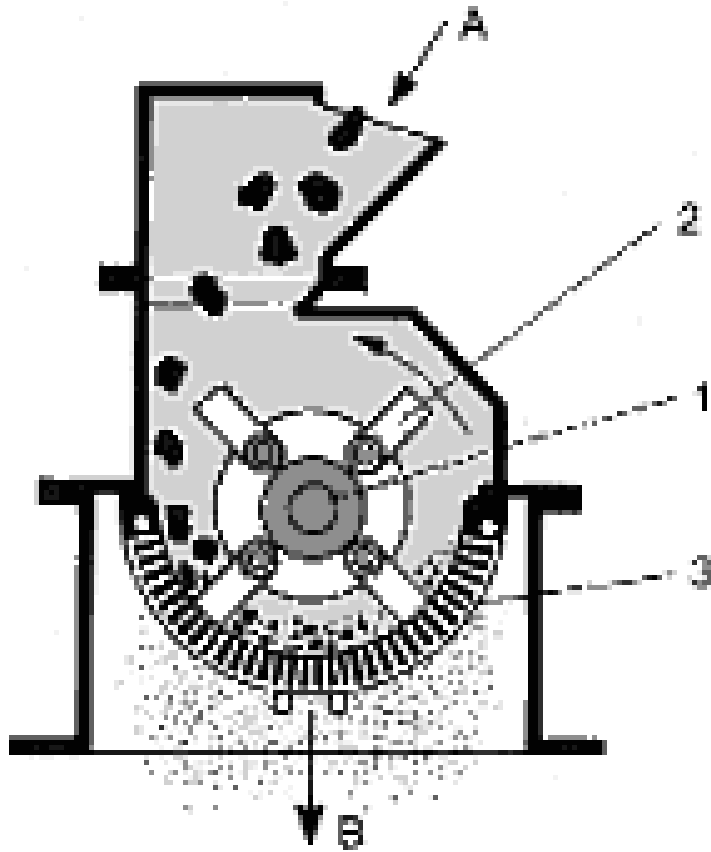
Valssimurskaimet jaetaan tavallisiin valssimurskaimiin ja valssi-leuka-murskaimiin. Tavallisessa valssimurskaimessa on useimmiten kaksi vaakasuorien akselien varassa pyörivää teräsvalssia, joiden päälle on asennettu mangaaniteräksinen kulutuskerros. Useimmiten toinen valssi on kiinteä ja toisessa on jouset vaurioitumisen estämiseksi kovan kappaleen varalta. Valssi-leukamurskaimessa puolestaan on vain yksi valssi kahden jousikiristeisen leuan välissä. Kuvassa 6 on tavallinen valssimurskain. [1, s. 88, 108–109.]



Kuva 6. Tavallinen valssimurskain, jossa jousitettu valssi (1), valssijousi (2), vauhtipyörä (3), syöttöaukko (A) ja lähtöaukko (B) [5].

#### 4.4 Iskumurskaimet

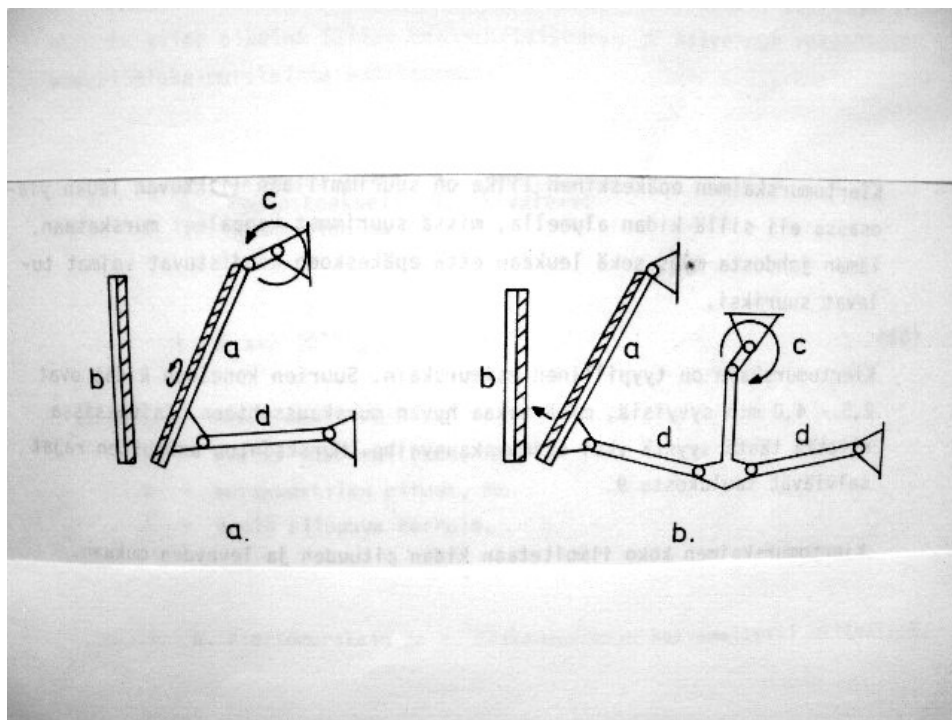
Iskumurskaimet hienontavat kivet iskemällä ja soveltuvat etupäässä pehmeille mineraaleille, kuten talkille, kipsille ja kalkkikivelle. Murskausteho perustuu pyörivän roottorin kineettiseen energiaan. Kivi murskautuu suurimmaksi osaksi osuessaan pyörivän roottorin kohopalkkeihin ja myös kiven lentäessä päin runkoon kiinnitettyjä iskulevyjä. Roottorin kehänopeus on 10–70 m/s. Pientä nopeutta käytetään karkeamurskauksessa ja pehmeille aineille – suurta nopeutta hienomurskauksessa. Iskumurskaintyyppejä ovat mm. Hazemag ja Pulvomatic. Kuvassa 7 on Hazemag-tyyppinen iskumurskain. [1, s. 109–111.]



Kuva 7. Hazemag-tyyppinen iskumurskain, jossa pyörivä akseli (1), akselin kohopalkki (2), sihti (3), syöttöaukko (A) ja lähtöaukko (B) [5].

## 5 LEUKAMURSKAIMEN MEKANIikka

Tässä tarkastellaan lähinnä kierto- eli kitamurskaimen mekaniikkaa, koska liikkuvaan laboratorioon hankittava murskain on juuri tätä tyyppiä. Kuvassa 8 on kaavamaisesti esitetty leukamurskaintyyppien rakenne.

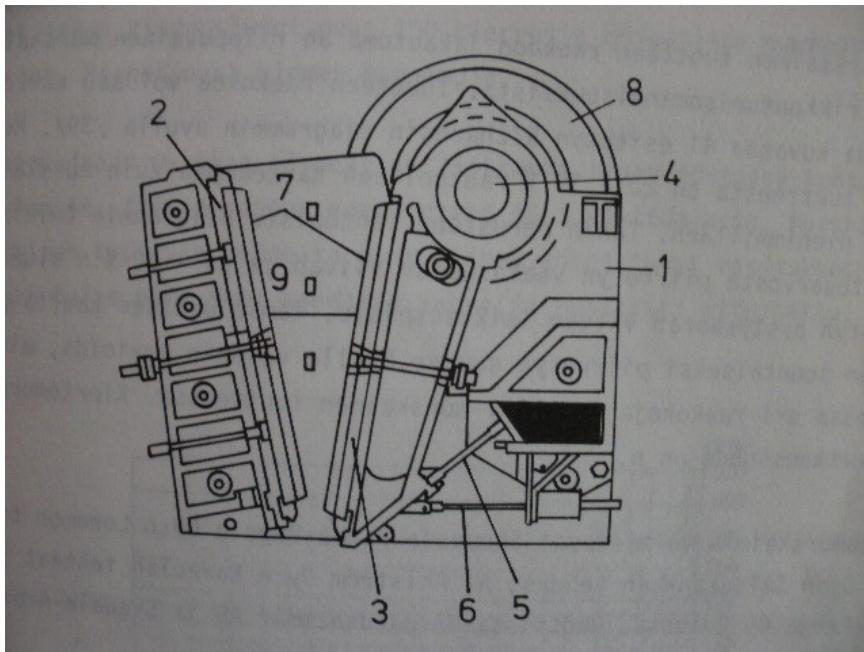


Kuva 8. Kiertomurskaimen (a) ja Blake-murskaimen (b) kaavamainen rakenne. Kuviin on merkitty murskaimen liikkuva leuka (a), kiinteä leuka (b), epäkesko (c) ja työnninlaatat (d) [1, s. 89].

Kiertomurskaimessa kivi hienonnetaan puristamalla se liikkuvan leuan avulla kiinteää leukaa vasten. Liikkuvan leuan liike saadaan aikaan koneen käyttölaitteilla pyöritettävän epäkeskon ja työnninlaatan avulla. Kiertomurskaimessa on vain yksi työnninlaatta. [1.]

### 5.1 Murskaimen rakenne

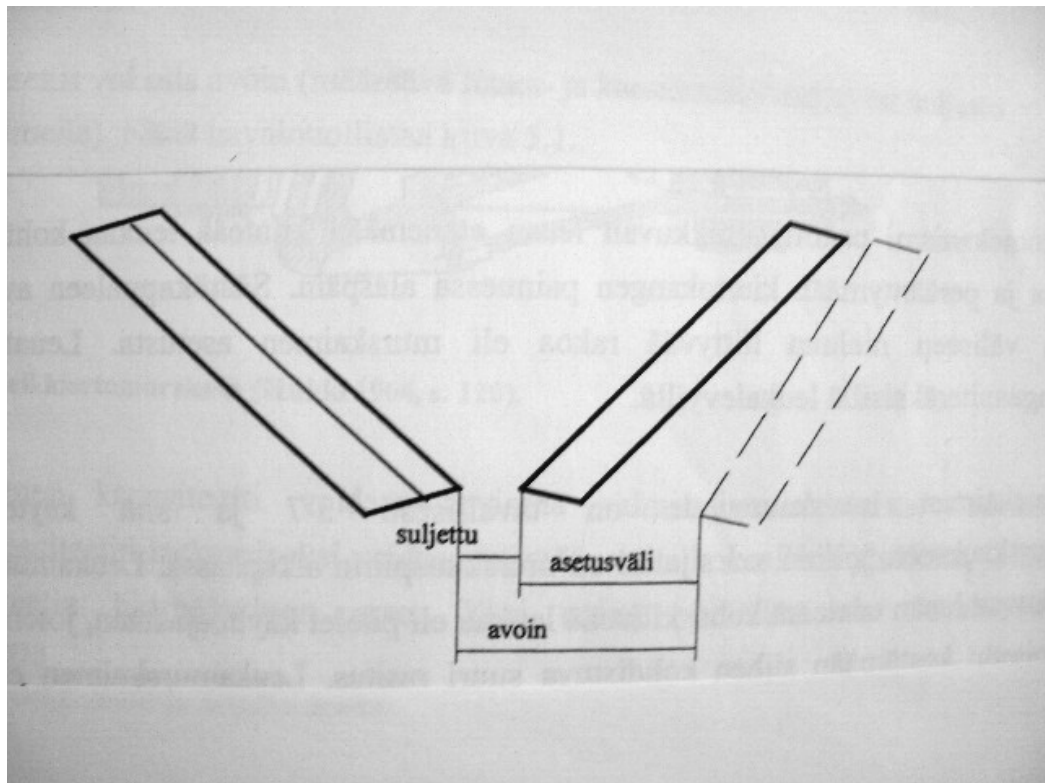
Koneen runko tehdään nykyisin teräslevyistä ja kootaan pulttiliitoksien. Pienissä murskaimissa runko voi olla yhtenäisestä valuteräskappaleesta. Kiinteä leuka on pulteilla kiinni rungossa. Liikkuva leuka on yläosastaan ripustettu runkoon akselinsa avulla. Leuan alaosa tukeutuu runkoon työnninlaatan välityksellä. Leukojen kulumissuojina toimivat leukoihin pulteilla kiinnitetyt leukalevyt, jotka ovat esim. kovamangaaniterästä. Murskaustilan sivut on suojattu sivulevyillä. [1, s. 89–90.] Kuvassa 9 on esitetty murskaimen rakenneosat.



Kuva 9. Kierro- eli kitamurskaimen rakenneosat: 1. runko, 2. kiinteä leuka, 3. liikkuva leuka, 4. epäkeskoakseli, 5. työnninlaatta, 6. jousitanko, 7. leukalevyt, 8. vauhtipyörä, 9. sivulevyt [1, s. 91].

Murskaimen asetusta säädetään työnninlaatan takana olevilla levyillä tai liikuttamalla levyjen tilalla olevaa säätökappaletta hydraulisesti (kuvassa 9). Liikkuvan leuan palautus toimii jousitangon avulla tai se on toteutettu hydraulisesti, jolloin palautusvoima on asetuksesta riippumaton. Liikkuvan leuan liike on suurimmillaan sen yläosassa eli suurimpien malminkappalei-

den kohdalla. Tämä aiheuttaa suuret voimat leukaan ja epäkeskoon. Kuvassa 10 on kuvattu murskaimen asetus. [1, s. 90.]



Kuva 10. Murskaimen avoin ja suljettu asetus [3, s. 85].

## 5.2 Murskaimen koko ja kapasiteetti

Kiertomurskaimen koko ilmoitetaan kidan pituuden ja leveyden mukaan. Pituus katsotaan liikkuvan leuan akselin suuntaisesti ja leveys siihen nähden kohtisuorasti. Murskaus tapahtuu ainoastaan liikkuvan leuan lähestyessä kiinteää, eli korkeintaan 50 % käyttöajasta. Murskaus-suhde on noin 7:1. [1, s. 91.]



Leukamurskaimen *likimääräinen* kapasiteetti voidaan laskea käsiteltävän kiven tiheyden ollessa  $2,6 \text{ t/m}^3$  Schubertin kaavalla

$$Q = 5ksb * 10^{-4}, \quad (3)$$

missä  $Q$  = kapasiteetti, t/h

$k$  = b:stä riippuva kerroin

$s$  = suurin asetus, mm

$b$  = murskaustilan pituus, mm. [1, s. 91.]

Taulukossa 1 on kaavassa 3 olevan kertoimen  $k$  riippuvuus murskaustilan pituudesta  $b$ .

Taulukko 1. Kertoimen  $k$  riippuvuus murskaustilan pituudesta  $b$ .

b (mm)	400	600	900	1000	1200	1500
k	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6

Leukamurskaimen tuotteesta 20–35 % on raekooltaan suurempaa kuin asetus pienimmillään. Murskainten kierrosluvut ovat 150 1/min suurilla murskaimilla (koosta 1500 mm x 1200 mm lähtien). Pienemmät murskaimet ovat nopeampia. [1, s. 92–93.]

## 6 ANTURIT

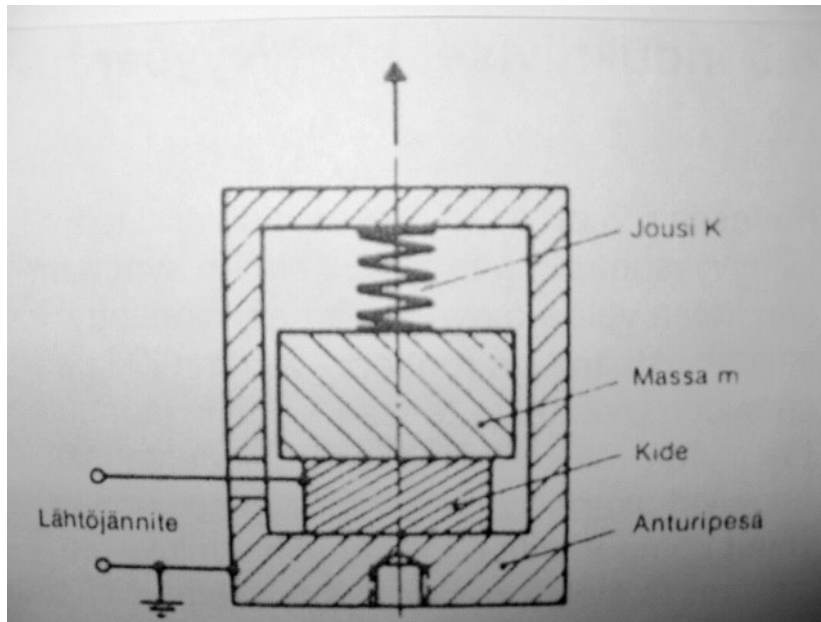
Tarkasteltavasta taajuusalueesta riippuen käytettävät anturit voivat olla siirtymää (matalat, alle 100 Hz:n taajuudet), nopeutta (keskitaajuudet) tai kiihtyvyyttä (korkeat, yli 1000 Hz:n taajuudet) mittaavia antureita. Näistä yleisimmin käytettyjä ovat kiihtyvyyssanturit. Kiihtyvyyssignaali on integroitavissa tarpeen mukaan nopeudeksi tai siirtymäksi. Anturin resonanssitaajuuden lisäksi anturia valittaessa tulee tarkistaa ympäristöolosuhteiden vaikutus anturin herkkyyteen sekä asennettavuus kohteeseen. [6.]

### 6.1 Tärinän nopeusanturit

Tärinän nopeusantureita käytetään pääasiassa pyörivien koneiden käynninaikaiseen kunnonvalvontaan. Anturit toimivat sähködynaamisella periaatteella ja mittaavat absoluuttista tärinäliikettä. Nopeus on paras suure tavanomaiseen mekaanisen kunnon valvontaan, koska tärinäsignaalin energia on suoraan verrannollinen nopeuteen. Mekaaniselta rakenteeltaan anturissa on sen runkoon kiinnitetty kela ja jousien varaan ripustettu kestomagneetti. Tärinä liikuttaa anturin runkoa ja magneetti pyrkii pysymään paikallaan massansa ansiosta, jolloin kelan ja magneetin välillä syntyy suhteellinen liike ja kelaan indusoituu liikenopeuteen verrannollinen vaihtojännite. Jännite vahvistetaan ja tasasuunnataan signaalinmuokkausyksikössä. Anturin mittausalue on taajuutena n. 10–1000 Hz ja nopeutena 0–100 mm/s. [7.]

### 6.2 Pietosähköiset kiihtyvyyssanturit

Anturin toiminta perustuu tiettyjen kide materiaalien ominaisuuteen synnyttää sähkövaraus mekaanisen voiman vaikuttaessa siihen. Mekaaniselta rakenteeltaan anturi koostuu pietosähköisestä kiteestä, seismisestä massasta ja jousesta, joka esijännittää massan kideä vasten. Esijännitys mahdollistaa kiihtyvyyden mittaamisen molemmissa suunnissa. Anturin rakenne on esitetty kuvassa 11, jossa kiihtyvyyden aiheuttama voima vaikuttaa nuolen suunnassa anturiin ja massa puristaa kideä vastakkaisuuntaisella voimalla jousivoiman lisäksi. Tällöin anturi antaa puristusvoimaan ja siten myös kiihtyvyyteen verrannollisen signaalin.



Kuva 11. Pietsosähköisen kiihtyvyyssanturin rakenne [7]

Koska kiihtyvyyssanturi mittaa värähtelyä vain yhden akselin suunnassa, tarvitaan todellisen värähtelyn seurantaan mahdollisesti kaksi  $90^\circ$  kulmaan asennettua anturia. [7.] Kuvassa 12 on avattuna pystymallinen pietsosähköinen kiihtyvyyssanturi ja kuvassa 13 vaakamallinen.



Kuva 12. Pystymallinen pietsosähköinen kiihtyvyyssanturi avattuna



Kuva 13. Vaakamallinen pietsosähköinen kiihtyvyyssanturi

### 6.3 Induktiiviset kiihtyvyyssanturit

Nimensä mukaisesti anturin toiminta perustuu induktanssin muutokseen. Anturin runkoon on kiinnitetty kaksi symmetristä kela, joiden välillä seismisesti anturin runkoon kiinnitetty sydän liikkuu keloihin nähden kiihtyvyyden vaikutuksesta ja muuttaa kelojen välistä induktanssia. Kelat ovat osana Wheatstonen siltaa. Anturi vaatii erillisen elektroniikkaosan, jossa ovat sillan muut komponentit, anturin jännitelähde (tavallisesti 5 kHz:n vaihtojännite) ja tarvittavat modulaattori-/demodulaattorikytkennät. Kelojen sijasta anturissa voidaan käyttää myös differentiaalimuuntajaa. Anturilla voidaan mitata matalia, alle 1000 Hz:n taajuuksia. Anturin pieni-impedanssisuuden ja erillisen elektroniikkaosan ansiosta kaapelointi voi olla jopa yli 100 m pitkä erikoiskaapelia käytettäessä. [7.]

#### 6.4 Venymäliuskakiikthyvyysanturit

Anturissa on jousikuormitettu massa, joka puristaa elastista kappaletta. Kappaleeseen on kiinnitetty esimerkiksi kolmessa eri suunnassa siltakytkennässä olevat venymäliuskat, joilla kappaleen muodonmuutokset mitataan. Anturi vaatii 5–15 V syöttöjännitteen ja herkän vahvistimen pienen ulostulojännitteensä (alle 1 mV / m/s<sup>2</sup>) takia. Anturilla voidaan mitata 0–500 Hz:n taajuuksia. [7.]

## 7 VÄRÄHTELYMITTAUKSET

Värähtelymittaus on yleisin kunnonvalvontamenetelmä, jota käytetään käytönvalvonnassa, vikaselvityksissä ja itse prosessin ajamisessa. Mittauksella tutkitaan pinnan tai rakenteen ominaisesta värähtelystä vian aiheuttamia muutoksia amplitudissa tai taajuuksissa. Mittaukset soveltuvat esimerkiksi mäntäkoneiden ja pyörivien laitteiden ominaisvärähtelyn valvontaan ja mahdollisen epätasapainon, linjausvirheen ja mekaanisen väljyyden toteamiseen. [6.]

### 7.1 Värähtely ja sen hyväksikäyttö

Tärinä on rakenteen, koneen tai koneen osan värähtelevää liikettä tietyn tasapainoaseman ympärillä. Tärinän tyypilliset aiheuttajat ovat epätasapaino, välykset, linjausvirheet, kuormitusvaihtelut ja mekaaniset viat. Pyörivät koneet tärisevät aina käydessään ja kaikkia tärinää aiheuttavia tekijöitä ei voida käytännössä kokonaan poistaa. Tärinän aiheuttaja saadaan selville mittaamalla ja analysoimalla laitteen värähtelyä. [8.]

### 7.2 Värähtelymittauslaitteet

Mittausmenetelmät voidaan jakaa karkeasti yksinkertaisiin ja monimutkaisempiin menetelmiin. Yksinkertaisia menetelmiä käytetään koneiden yleistärinän valvontaan ja vierintälaakereiden kunnonvalvontaan. Mittalaitteita näissä tarvitaan usein kaksi kappaletta: ensimmäinen taajuusalueelle 10–1000 Hz ja toinen yli 2000 Hz:n taajuuksille. [8.]

Monimutkaisemmat menetelmät soveltuvat koneiden tärinän yksityiskohtaiseen valvontaan ja laakereiden kunnonvalvontaan. Mittalaitteet ovat yksi- tai monikanavaisia spektrianalysaattoreita, joilla koneen aiheuttaman värähtelysignaalin eri osataajuudet ja niiden tasot erotetaan toisistaan. Toisin sanoen yksittäisten koneenosien aiheuttama tärinä pystytään tunnistamaan ja näin voidaan seurata eri koneen osien kunnan kehittymistä. Näillä mittalaitteilla ovat myös

kehittyneet valvontamenetelmät mahdollisia: keskiarvostettu aikatasoanalyysi, verhokäyrä-analyysi, vaihekulma-analyysi ja spektrianalyysi. [8.]

Mittaussignaalin analysointiin voidaan käyttää tietokoneen lisäksi kannettavia laitteita. Tietokonejärjestelmän hankintakustannukset ovat korkeammat kannettavaan laitteeseen verrattuna, mutta järjestelmällä on parempi luotettavuus ja alhaisemmat käyttökustannukset. Kannettavien analysaattorien tarjonta on runsasta. Eri laitteita vertailtaessa kannattaa kiinnittää huomiota seuraaviin ominaisuuksiin:

- taajuusalue
- taajuuskaistat trendien analysointiin
- amplitudialue
- analysointimenetelmät (RMS, FFT, Time averaging to 9999 samples, jne.)
- analysointi-aika
- input-signaali (anturit esim. kiihtyvyys, nopeus, siirtymä )
- output-signaali (liitäntä esim. RS232, tiedonsiirtonopeus)
- mikroprosessori, muistin kapasiteetti
- resoluutio mittaukselle
- käyttöolosuhteet (lämpötila, kosteus)
- näppäimistö, näyttö, tulostus, hälytykset, koko, käyttöaika / lataus, hinta. [6.]

## 8 TYÖN SUORITUS

Työ aloitettiin etsimällä mm. internetistä eri murskainvalmistajia ja niiden kiertomurskaimia eri käyttötarkoituksiin. Niistä valittiin muutamia, joiden teknisiä ominaisuuksia vertailtiin keskenään. Tämän jälkeen keskityttiin tarkemmin ammattikorkeakoululle hankittavaan Retsch BB 200 -laboratoriomurskaimeen, jonka rakenteista selvitettiin mahdollisia asennuspaikkoja etupäässä kiihtyvyyssantureille. Selvitystä varten Retschiltä ei ehditty saada kunnollisia rakennepiirustuksia, mutta tutustuminen vastaavanlaisiin Retsch-murskaimiin Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj:ssä auttoi paljon rakenteiden hahmottamisessa ja anturinpaikkojen määrittämisessä.

### 8.1 Leukamurskainten tekniset tiedot eri valmistajilla

Vertailtavaksi valittiin kierto- eli kitamurskaimia kahdelta eri valmistajalta; Retschiltä ja Metso Mineralsilta. Vertailussa oli mukana tuotanto-, pilotti- ja laboratoriomalleja. Murskaimia valittiin yhteensä viisi kappaletta:

- BB 200 (Retsch, laboratoriomalli, AMK:lle hankittava)
- 3340 MARCY (Metso, laboratoriomalli)
- 2000 MORSE (Metso, laboratorio-/pilottimalli)
- Nordberg AR12 (Metso, laboratoriomalli/näytteen esimurskaus tuotannossa)
- Nordberg C80 (Metso, tuotantomalli).

Murskaimien vertailusta saadut tekniset tiedot koottiin taulukkoon 2. Taulukossa Nordberg C80 -murskaimen 70 mm:n suljettua asetusta koskevat tiedot ovat lihavoituna suluissa. [9, 10, 11, 12, 13.]



Taulukko 2. Kiertomurskainten ominaisuuksien vertailu

Ominaisuus	BB 200	3340 MARCY	2000 MORSE	Nordberg AR12	Nordberg C80
Kidan pituus (mm)	100	150	150	120	800
Kidan leveys (mm)	100	100	100	80	510
Syötteen max. koko (mm)	90	75	75	65	
Suljettu asetus (mm)	0–30			7–20	40–175 <b>(70)</b>
Tuotteen koko (mm)	<2	6,25	6,25		0–260 <b>(0–105)</b>
Kapasiteetti (t/h)	0,300	0,544	0,544	0,200	55–370 <b>(95–135)</b>
Kiinteän leuka- levyn kesto	n. 320 h, ruostumaton teräs)				<b>(30000 t, Mn-teräs)</b>
Liikkuvan leu- kalevyn kesto	>320 h, ruos- tumaton teräs				<b>(40000 t– 45000 t, Mn- teräs)</b>
Kidan sivulevy- jen kesto	-, ruostuma- ton teräs				
Ulkomitat p x l x k (mm)	1160 x 450 x 900	1100 x 850 x 700	1100 x 625 x 700	940 x 480 x 530	2577 x 1526 x 1990
Paino (kg)	n. 300	n. 330	n. 270	265	7670–9520
Teho (kW)	1,500	3,678	2,207	4,0	75,0
Pyörimisnopeus (1/min)				400	350

## 8.2 Anturinpaikkojen valintaan vaikuttaneet asiat

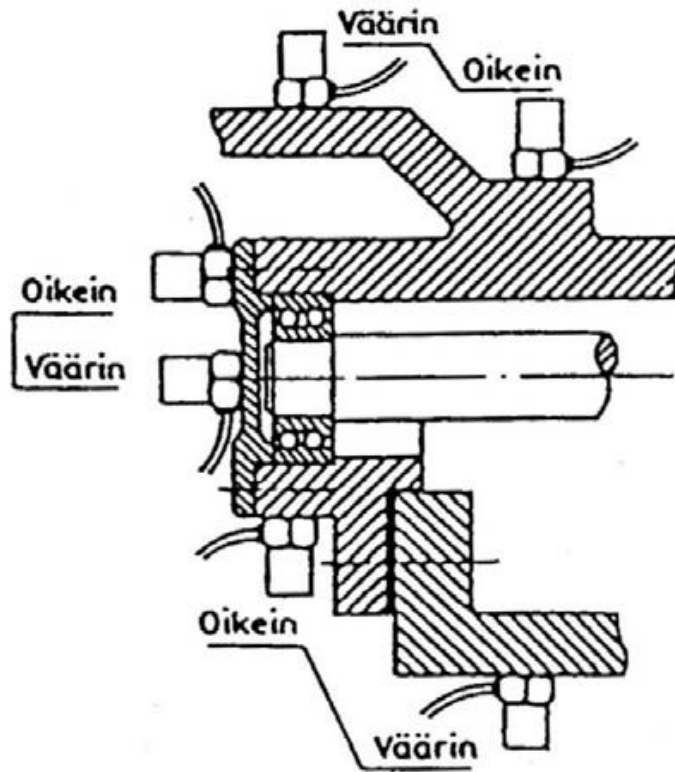
### 8.2.1 Mittauskohde ja -suure murskaimessa

Anturin kiinnityspaikka riippuu ensinnäkin mittauskohteesta eli siitä, mitä koneen osaa murskaimesta halutaan mitata. Mittauskohteina voivat olla esimerkiksi sähkömoottorin laakeri, vauhtipyörän akseli tai murskain kokonaisuudessaan. Mittaussuurena voi olla esimerkiksi mekaaninen värähtely tai liipaisusignaali moottorin kierrosnopeuden selvittämiseksi.

Koko murskaimen tärinää mitattaessa kiihtyvyyssanturi tulisi kiinnittää tukevaan kohtaan murskaimen runkoon ja samalla kohtaan, missä tärinäamplitudi on riittävän suuri.

### 8.2.2 Mittauspiste mittauskohteessa

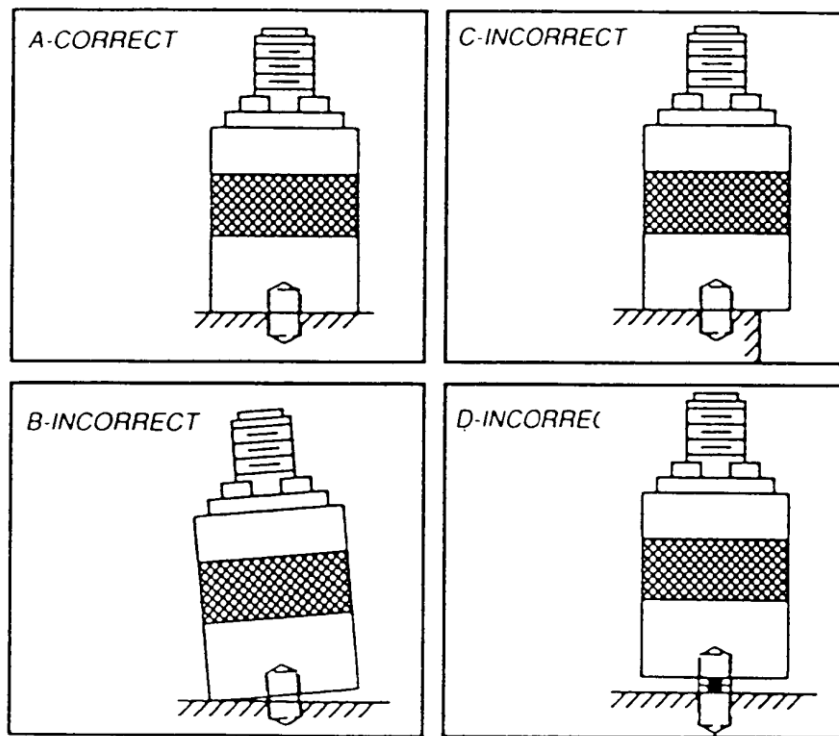
Mittausperiaatteena on, että kiihtyvyyssanturi sijoitetaan mekaanisesti mahdollisimman lähelle värähtelyn lähdettä, jolloin vältetään rajapintojen ylityksestä johtuva värähtelyn vaimeneminen korkeilla taajuuksilla. Tätä on havainnollistettu kuvassa 14.



Kuva 14. Oikeat ja väärät kohdat värähtelyanturin sijoittamiselle [14]

Kiihtyvyyssanturi on asennettava mitattavan värähtelyn suuntaiseksi siten, että anturin toimintakulma on optimaalinen. Toisaalta kuormituksen ollessa suuri joudutaan anturin asennuskulmaa poikkeuttamaan tästä 30–45 astetta, jottei anturi ylikuormittuisi. [15.]

Kiihtyvyyssanturi on kiinnitettävä ehdottomasti suoralle pinnalle, joka voi olla myös koneistettu suoraksi ruuvikiinnitystä varten. Kuvassa 15 esitetään ruuvikiinnitteisen anturin oikea ja väärä asennustapa. [16.]



Kuva 15. Kiihtyvyyssanturin oikea ja väärä ruuvikiinnitystapa [14]

Koneistuksen on oltava mahdollisimman matala koneen mekaniikan säilyttämiseksi ja halkaisijaltaan noin 10 % anturin kiinnityspintaa suurempi. Hyvän kontaktin aikaansaamiseksi koneistuksen pinnanlaadun on oltava kohtalaisen hyvä (karheus  $R_a \leq 1,6$ ). [16.]

Ruuvikierteen on luonnollisesti oltava mahdollisimman kohtisuorassa kiinnityspintaan nähden. Kierteen pituuden on oltava vähintään 6 mm kunnollisen kiinnityksen saavuttamiseksi. Tämä synnyttää erityisvaatimuksia kohtiin, joissa ainetta ei saa rakenteellisista syistä läpäistä. Niissä on ainevahvuuden oltava riittävä kierteityksen mahdollistamiseksi ja myös mekaanisen kestävyden säilyttämiseksi. [16.]

Huomioitava seikka mittauspisteen valinnassa on myös se, että anturi asennetaan suojaan murskaimen täytössä mahdollisesti putoavilta kiviltä. Anturi olisi hyvä suojata myös pölyltä sähköisten liitäntöjensä vuoksi.

## 9 TULOKSET

Luvuissa 9.1–9.5 on esitetty Retsch BB 200 -murskaimen mahdollisia anturin paikkoja. Näitä ovat mm. sähkömoottorin etu- ja takalaakeri, liikkuvan leuan käyttöakselin vasen ja oikea laakeri, murskaimen runko sekä kohta, josta saadaan esimerkiksi induktiivisella anturilla tieto sähkömoottorin hihnapyörän tai vauhtipyörän pyörimisnopeudesta. Pyörimisnopeustiedon lisäksi olisi tarpeen tietää myös hihnapyörien halkaisijat, joita ei tässä yhteydessä selvitetty. [15.]

Kuvassa 16 on kaksi Retsch BB 200 -murskainta edestäpäin kuvattuna. Vasemmanpuoleisessa murskaimessa on automaattivoitelu (punaiset sylinterit oikealla alhaalla) ja oikeanpuoleisessa manuaalinen.



Kuva 16. Kuvassa Retsch BB 200 -leukamurskaimia [10]

### 9.1 Anturin paikka 1

Kuvassa 17 on vauhtipyörän akselin oikeanpuoleinen laakeri. Laakerin tasaisen osan leveys on 18 mm, johon anturin tulisi mahtua. Aineen paksuudesta ei ole tietoa, mutta sen tulisi olla 6 mm:n syvyistä ruuvikierrettä varten työvara huomioiden ainakin 12 mm, mikäli ainetta ei saa läpäistä. Läpäisyn ollessa mahdollista ainepaksuuden tulisi olla ruuvikierrettä varten ja tukevuuuden vuoksi vähintään 6 mm.



Kuva 17. Vauhtipyörän akselin oikeanpuoleinen laakeri murskaimen edestä kuvattuna. Sopiva asennuspaikka on merkitty nuolella. Valkoinen syöttökaukalo on ylös nostettuna. Vasemmalla näkyy musta murskaimen kita. [10.]

## 9.2 Anturin paikka 2

Kuvassa 18 on vauhtipyörän akselin vasemmanpuoleinen laakeri. Laakerin tasaisen osan leveys on tässäkin 18 mm, johon anturin tulisi mahtua. Aineen paksuudesta ei myöskään tässä ole tietoa, mutta sen tulisi olla 6 mm:n syvyistä ruuvikierrettä varten työvara huomioiden ainakin 12 mm, mikäli ainetta ei saa läpäistä. Läpäisyyn ollessa mahdollista ainepaksuuden tulisi olla ruuvikierrettä varten ja tukevuuden vuoksi vähintään 6 mm.



Kuva 18. Vauhtipyörän akselin vasemmanpuoleinen laakeri murskaimen takaa kuvattuna. Sopiva asennuspaikka on merkitty nuolella. Oikealla valkoinen vauhtipyörän suojaletti. [10.]

### 9.3 Anturin paikka 3

Kuvassa 19 on murskaimen runko edestä. Kiiltävä metalliosa on valkoisen syöttökaukalon lukitsin. Lukitsimen vasemmalla puolella on murskaimen nostosilmukka, jonka vasemmalla puolella on tasainen alue anturin kiinnittämiseksi koko murskaimen värähtelyn mittaamiseksi. Ainevahvuus kiinnitysalueella on riittävä ( $>20$  mm).



Kuva 19. Murskaimen runko edestä kuvattuna. Sopiva asennuspaikka on merkitty nuolella.  
[10.]



#### 9.4 Anturin paikka 4

Kuvassa 20 on murskaimen sähkömoottori. Moottorin takana näkyy 10 mm paksu pystylevy, johon moottori on kiinnitetty. Levyssä on tilaa pietsosähköiselle kiihtyvyyssanturille moottorin värähtelyn mittaamiseksi. Moottorin etu- ja takalaakerin kohdalla ei ole suoraa pintaa ruuvikiinnitteisten antureiden kiinnittämiseksi.



Kuva 20. Murskaimen sähkömoottori takaa kuvattuna. Sopiva asennuspaikka on merkitty nuolella. Oikealla valkoinen hihnapyörän suoja-pelti. [10.]

### 9.5 Anturin paikka 5

Kuvassa 21 voisi induktiivisen anturin asentaa sähkömoottorin kierrosnopeuden selvittämiseksi moottorin hihnapyörän kohdalle suojaipeltiin joko taakse tai sivulle. Sopivat asennuspaikat on merkitty nuolella. Pelti tosin saattaa värähdellä, koska se on vain noin 2 mm paksu. Tästä ei kuitenkaan liene haittaa, koska anturi ei mittaa värähtelyä. Hihnapyörään tulisi tehdä liipaisusignaalin antava kolo tms. siten, ettei hihnapyörän tasapainotus kärsi.



Kuva 21. Oikealla valkoinen hihnapyörän suojaipelti. Sopivat asennuspaikat induktiiviselle anturille on merkitty nuolella. [10.]

## 10 TULOSTEN TARKASTELO

Anturinpaikkoja saatiin määriteltyä viisi kappaletta, joista kaikkia ei voida pitää käyttökelpoisina, koska kaikista murskaimen rakenneosien ainepaksuuksista ja sisäisistä etäisyyksistä ei ollut tietoja toistaiseksi puuttuvien kunnollisten rakennepiirustuksien vuoksi. Tämä koskee mm. vauhtipyörän akselin laakereita (kuvat 17 ja 18) sekä sähkömoottorin hihnapyörää (kuva 21) tai liikkuvan leuan käyttöakselin vauhtipyörää, joilta jommaltakummalta pyritään saamaan liipaisusignaali pyörimisnopeuden määrittämiseksi.

Anturinpaikkojen määrittelystä saatuja tuloksia voidaan kuitenkin hyödyntää murskaimen rungon ja sähkömoottorin osalta (kuvat 19 ja 20), kun antureita asennetaan ammattikorkeakoululle tulevaan murskaimeen.

Murskaimen rakenneosien ainepaksuudet selviävät viimeistään sen jälkeen, kun murskain on toimitettu ammattikorkeakoululle. Selvitykset voidaan tehdä joko purkamalla murskainta tai mahdollisesti tuolloin saapuneiden rakennepiirustuksien avulla. Myös hihnapyörien halkaisijat olisi tarpeen selvittää.

## 11 YHTEENVETO

Murskaimet, kiihtyvyyssanturit ja värähtelymittaukset olivat minulle osittain uusia asioita. Tiedon haku ja uuden oppiminen tekivät työstä aikaa vievää mutta mielenkiintoista ja haastavaa. Työn teossa oli myös parin viikon mittainen suvantovaihe, jolloin työ ei edistynyt kuin ajatuksissa. Ongelmia aiheutti lähinnä tiedon saanti eri murskainvalmistajilta ja osin myös syvällisen tiedon saanti anturitekniikasta.

Esiselvityksen tuloksena saatiin määriteltyä peruseriaatteet anturien asentamiselle ja myös muutama käyttökelpoinen anturinpaikka, joita anturien asentajat Kajaanin ammattikorkeakoululla voivat tulevaisuudessa hyödyntää.

## LÄHTEET

- 1 Lukkarinen, T. Mineraalitekniikka osa I. Mineraalien hienonnus. INSINÖÖRITTE-TO OY 1984.
- 2 Hakapää, A. ja Lappalainen, P. 2009. Kaivos- ja louhintatekniikka. KAIVANNAIS-TEOLLISUUSYHDISTYS ry. OPETUSHALLITUS. Vammalan Kirjapaino Oy. ISBN 978-952-13-3488-7.
- 3 Kajaanin ammattikorkeakoulun tietoverkko, tiedosto O:\PKO7K\Rikastustekniikka \Mineraalitek\_n\_1\_2.pdf. (Päivitetty 1.10.2009 14:34.)
- 4 Prosessitekniikan yksikköprosessit. [WWW-dokumentti]. [http://prosessitekniikka.kpedu.fi /index-kg.htm](http://prosessitekniikka.kpedu.fi/index-kg.htm). (Luettu 24.2.2010)
- 5 Prosessitekniikan kokonaisprosessit. [WWW-dokumentti]. [http://prosessitekniikka.kpedu.fi /kg/gallery/Murskaus.htm](http://prosessitekniikka.kpedu.fi/kg/gallery/Murskaus.htm). (Luettu 24.2.2010)
- 6 Kajaanin ammattikorkeakoulun tietoverkko, tiedosto O:\Heikkinen Mikko\tekninen diagnostiikka\koemateriaali\ Condition Monitoring Techniques Today-01-29-08-00-30.doc. (Päivitetty 21.1.2008 0:30.)
- 7 Anturitekniikka. [WWW-dokumentti]. [http://personal.inet.fi/yritys/kkov.eduserver /yhteinen/anturitekniikka3\\_54\\_84.pdf](http://personal.inet.fi/yritys/kkov.eduserver /yhteinen/anturitekniikka3_54_84.pdf). (Luettu 24.2.2010)
- 8 Värähtelymittaukset. [WWW-dokumentti]. [http://www.edu.fi/oppimateriaalit /kunnossapito/mekaniikka\\_k2\\_varahtelymittaukset.html](http://www.edu.fi/oppimateriaalit /kunnossapito/mekaniikka_k2_varahtelymittaukset.html). (Luettu 18.2.2010)
- 9 Retsch-esite. [WWW-dokumentti]. [http://www.retsch.com/dltmp/www/2053 -bffd7b502a20/brochure\\_jaw\\_crushers\\_en.pdf](http://www.retsch.com/dltmp/www/2053 -bffd7b502a20/brochure_jaw_crushers_en.pdf) [12]. (Luettu 17.3.2010)
- 10 Opintomatka. Hannu Lahtinen, Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj.
- 11 Metso Minerals laboratoriomurskainesite. [WWW-dokumentti]. [http://www.metso.com/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/6660E82CE14D58F2C1256D0900270255/\\$File /Laboratory\\_Equipment%20EN.pdf](http://www.metso.com/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/6660E82CE14D58F2C1256D0900270255/$File /Laboratory_Equipment%20EN.pdf). (Luettu 17.3.2010)
- 12 Metso Minerals Nordberg C-sarjan murskainesite. [WWW-dokumentti]. [http://www.metso.com/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/B8CF69AE17A2753342256AF800334C07/\\$File/CseriesFinnish.pdf](http://www.metso.com/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/B8CF69AE17A2753342256AF800334C07/$File/CseriesFinnish.pdf). (Luettu 17.3.2010)
- 13 Esa Berg, Metso Minerals. Puhelu 7.4.2010 klo 14.35.
- 14 Kajaanin ammattikorkeakoulun tietoverkko, tiedosto O:\Heikkinen Mikko\tekninen diagnostiikka\koemateriaali\ kupi\_kv\_varah\_A.pdf. (Päivitetty 5.2.2008 2:01.)

- 15 Vilho Shnoro, Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj. Sähköpostiviesti 8.4.2010 klo 01.19.
- 16 Kunnossapitoyhdistys Promaint. Lokakuu 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Käsikirja. Kunnossapidon julkaisusarja n:o 13, I painos. Kustantaja KP-Media Oy. ISBN 978-952-99458-4-9. Kerava: Savion Kirjapaino Oy.



Tämä on liite 1.



Tämä on liite 2.