

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

Rikastustekniikan opettamisen kehittäminen

Kurttio Kari

Teknologiaosaamisen johtamisen koulutusohjelman opinnäytetyö
Kunnossapito
Insinööri (YAMK)

KEMI 2012

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Ammattiopisto Lappialle kaivosalan koulutusta varten.

Kiitokset työnohjaajalle TkL Timo Kaupille ja Ammattiopisto Lappian yhteyshenkilölle Ins. Ilkka Pukemalle. Kiitokset myös TkL Timo Kaupille hyvästä koulutuksesta. Perheeni saa erikoiskiitokset tuesta ja kärsivällisyydestä opinnäytetyön tekemisen aikana.

Keminmaassa 18.3.2012.

Kari Kurttio

TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala	
Koulutusohjelma	Teknologiaosaamisen johtaminen
Opinnäytetyön tekijä	Ins. Kari Kurttio
Opinnäytetyön nimi	Rikastustekniikan opettamisen kehittäminen
Työn laji	Opinnäytetyö
Päiväys	18.3.2012
Sivumäärä	69 + 105 liitesivua
Opinnäytetyön ohjaaja	TkL Timo Kauppi
Yritys	Ammattiopisto Lappia
Yrityksen yhteyshenkilö	Ins. Ilkka Pukema

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää kaivosalan toisen asteen koulutukseen kuuluvan rikastustekniikan opettamista ja opetuksen työkaluja Ammattiopisto Lappian Tornion toimipisteessä. Opinnäytetyössä keskityttiin rikastustekniikan osa-alueeseen kuuluvaan materiaalien hienontamisen opettamiseen.

Tavoitteena oli materiaalien hienontamisen opettamisen oppimisympäristön ja kirjallisen opetusmateriaalin kehittäminen. Työn tavoitteena oli myös selkiyttää rikastustekniikan opetuksen sisältöä ja rakennetta. Opetussuunnitelmassa kuvattujen materiaalien hienontamisen opintojakson oppimistavoitteiden analysointi, muokkaaminen ja jalostaminen konkreettiseen ja selkeään muotoon oli myös opinnäytetyön tavoitteena.

Opinnäytetyön teoreettisessa osuudessa käsiteltiin laajasti materiaalien hienontamiseen liittyvään teoretietoa. Työssä kuvattiin myöhemmin rakennettava oppimisympäristö laitteineen ja laboratorioharjoituksineen sekä laadittiin luentomateriaalit. Työssä selkiytettiin myös kaivosalan sekä rikastustekniikan opetuksen tavoitteet, rakenne ja sisältö. Lisäksi kehitystehtävän tuloksena syntyi materiaalien hienontamisen ydinsisältöjen kuvaus, jossa opetussuunnitelman tavoitteet analysoitiin, jalostettiin ja muokattiin konkreettiseen ja selkeään muotoon. Edellä mainitut asiat toimivat lähtökohtana tarkalle opettajakohtaiselle pedagogisten mallien mukaiselle oppimisprosessin ja oppimistilanteiden suunnittelulle. Kehitystehtävässä saavutettiin sille asetetut tavoitteet.

Työssä käsiteltiin myös hyviä opettamisen käytänteitä opetustavoitteiden saavuttamiseksi. Kehitystehtävässä esitetyt asiat toimivat hyvänä pohjana rikastustekniikkaan kuuluvan materiaalien hienonnuksen opetuksen järjestämiselle ja edelleen rikastustekniikan opetuksen jatkokehitykselle.

Asiasanat: oppimisympäristö, materiaalien hienontaminen, kehittäminen, rikastaminen, opettaminen.

ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Technology Competence Management
Name	Kari Kurttio, B.Sc. (Automation Eng.)
Title	Development of Teaching Concentration Technique
Type of Study	Master's Thesis
Date	18March 2012
Pages	69 + 105 appendices
Instructor	Timo Kauppi, LicSc (Tech.)
Company	Vocational College Lappia
Contact Person from Company	Ilkka Pukema, BEng

The purpose of this study was to develop the teaching of the concentration technique and the tools of the teaching in the Vocational College Lappia in Tornio. The study was focused on the teaching of the milling of materials which belongs to the sector of the concentration technique.

The aim of the study was to develop the learning environment a laboratory of the milling of materials and to develop the teaching material. The aim of the study was also to clarify the contents and structure of the teaching of the concentration technique. To describe, analyze and modify the content of the milling of materials syllabus to understandable and concrete forms as well as to describe the educational and learning methods were also the aims of the study.

The theoretical part of the study explains a theory of the milling of materials. The lecture materials have been drawn up as well as the learning environment in a laboratory with its devices and its laboratory trainings described. The learning environment in a laboratory will be built later. The content of the milling of materials syllabus was described, analyzed and modified to understandable and concrete form and the educational and learning methods were described. The above mentioned matters serve as a starting point to more exact and pedagogic planning of the learning process and of the learning situations. The study was successful and the objectives were reached.

In the study, the good teaching practices have also been dealt with. The matters that have been presented in the study serve as a starting point for the teaching the milling of materials as well as for the further development of the teaching of the concentration technique.

Keywords: learning environment, milling of materials, development, concentration technique, teaching.

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	I
TIIVISTELMÄ	II
ABSTRACT	III
SISÄLLYSLUETTELO.....	IV
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	I
1. JOHDANTO	1
2. MATERIAALIEN HIENONNUS	2
2.1. Hienonnettavan kappaleen muodonmuutos	4
2.2. Hienonnuksen perusmekanismit	6
3. MURSKAUS	8
3.1. Leukamurskaimet.....	9
3.2. Kara- ja kartiomurskaimet	10
3.3. Iskumurskaimet.....	11
3.4. Valssimurskaimet.....	12
4. JAUHATUS	13
4.1. Kriittinen kierrosluku.....	14
4.2. Myllyn täyttöaste	16
4.3. Tankojauhatus	16
4.4. Kuulajauhatus	19
4.5. Autogeeninen jauhatus.....	21
4.6. Jauhatuspiirit	22
5. SEULONTA.....	24
5.1. Seulonnan kapasiteetti	24
5.2. Seulonnan terävyys	25
5.3. Materiaalin raekoko	26
5.4. Seula-analyysi	26
5.5. Liettoseulonta.....	30
5.6. Säleiköt	30
5.7. Epäkeskotäryseulat	31
5.8. Seulapinnat.....	32
6. LUOKITUS.....	34
6.1. Luokittimet.....	36
6.1.1. Hydrauliset luokittimet	37
6.1.2. Pneumaattiset luokittimet	39
7. KAIVOSALAN PERUSTUTKINTO	41
7.1. Kaivosalan perustutkinnon tavoitteet.....	41
7.2. Kaivosalan opintojen suorittaminen	42
7.3. Kaivosalan opintojen järjestäminen.....	43
8. MATERIAALIEN HIENONTAMISEN OPPIMISTAVOITTEIDEN ANALYSOINTI JA JALOSTAMINEN	45
8.1. Materiaalien hienontamisen opintokokonaisuuden rakenne ja eteneminen.....	45
8.2. Opetussuunnitelman tavoitteiden avaus oppimisprosessin suunnittelua varten	46
8.3. Oppimisprosessia jäsentävien teemojen muodostaminen.....	49
8.4. Teemojen tavoitteiden mukaisen ydinsisällön määrittäminen	52

9. MATERIAALIEN HIENTAMISEN OPETTAMISEN KÄYTÄNTEET	59
10. MATERIAALIEN HIENTAMISEN LUENTOMATERIAALI JA LABORATORIOHARJOITUKSET	61
11. MATERIAALIEN HIENTAMISEN OPPIMISYMPÄRISTÖ	62
12. YHTEENVETO	66
13. LÄHDELUETTELO	67
14. LIITELUETTELO	69

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

d_1	on suurin kappalekoko ennen hienonnusta
d_2	on suurin kappalekoko hienonnuksen jälkeen
n_{tod}	myllyn todellinen kierrosluku/min
n_c	myllyn kriittinen kierrosluku/min
n_p	myllyn kierroslukuprosentteina kriittisestä
V_k	kuulien tilavuus myllyssä
V_m	myllyn sisätilavuus
n_{kr}	kriittinen pyörimisnopeus
T	aineen määrä joka on läpäissyt seulan
C	vakio
ρ	seulottavan kiven ominaispaino
x	seula-aukon koko
f	seulan aukkojen osuus seulapinnasta
p	seulan läpäisseen aineen massa
f	koeseulonnan avulla saatu prosenttiluku, joka osoittaa, kuinka suuri osa näytteestä on hienompaa kuin ko. seula-aukko
s	seulan syötteen massa
ov	opintoviikko (1 ov = 1,5 op), 40 h opiskelijan tekemää työtä
op	opintopiste (ECTS)
v	kappaleen nopeus
h	putoamismatka (m)
g	maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys, $9,81 \text{ m/s}^2$
v_{ki}	kiintoainehiukkaseen laskeutumisen loppunopeus (cm/s)
s_L	kiintoaineen laskeutumismatka (cm)
t_L	kiintoaineen laskeutumisaika (s)
ρ_k'	kiintoainehiukkaseen tiheys (g/cm^3)
ρ_k	väliaineen tiheys (g/cm^3)
x	vajoavan rakeen läpimitta (cm)
μ	väliaineen dynaaminen viskositeetti ($\text{g/cm}^*\text{s}$, poise)

1. JOHDANTO

Kaivosteollisuus elää nousukautta Pohjois-Suomessa sekä rajan takana Ruotsissa. Tällä hetkellä on käynnissä ja myös käynnistymässä monia merkittäviä kaivoshankkeita. Uusien hankkeiden työvoimatarpeiden lisäksi vanhemmat kaivokset tulevat tarvitsemaan työvoimaa eläköitymisten myötä. Näin kaivosalan osaajille on tulevaisuudessa todennäköisesti runsaasti kysyntää.

Ammattiopisto Lappian Tornion toimipiste tarjoaa kaivosalan perusopetusta toisen asteen opiskelijoille. Opetussuunnitelma kaivosalan perustutkinnolle on valmistunut vuonna 2009 ja tällä hetkellä Ammattiopisto Lappian Tornion toimipisteessä on noin 80 toisen asteen opiskelijaa. Toisen asteen kaivosalan koulutuksen tutkintonimikkeet ovat kaivosmies ja rikastaja. Kaikille opiskelijoille yhteisten perusopintojen jälkeen opiskelijat voivat erikoistua joko rikastukseen tai louhintaan. Ammatilliset valinnaiset opinnot tukevat koulutuslinjan valintaa. Koulutuksen ohella voi suorittaa myös ylioppilastutkinnon.

Tällä hetkellä kaivosalan toisen asteen koulutusta antaa Ammattiopisto Lappian Tornion toimipisteessä neljä opettajaa. Kolme meistä, minä mukaan lukien, on uusia opettajia. Aloitimme opettajan työt syksyllä 2011. Kaivosalan oppimisympäristömme rakentaminen on vielä kesken ja suurin osa laboratorio-opetuksessa käytettävistä laitteista hankkimatta. Myös opetuksessa käytettävä luentomateriaali on vielä suurelta osin laatimatta.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää ja tukea kaivosalan opettamista Ammattiopisto Lappian Tornion toimipisteessä. Opinnäytetyössä keskitytään rikastustekniikan osa-alueisiin kuuluvaan mineraalien hienonnuksen eli murskauksen, jauhatuksen, seulonnan ja luokituksen opettamisen oppimisympäristön, kirjallisen opetusmateriaalin ja opetuskäytäntöjen kehittämiseen.

2. MATERIAALIEN HIENONNUS

Mineraalien hienonnuksen tarkoituksena on hienontaa kiviaines riittävän hienoksi rikastamista varten. Hienonnettava aines on riittävän hienoa silloin, kun arvomineraalit ovat puhdaita rakeina erillään arvottomista mineraaleista sekä erillään myös toisista arvomineraaleista. Lisäksi hienonnetun materiaalin hienonnuks- ja karkeusaste tulee olla sellainen, että se soveltuu sitä rikastusmenetelmää varten, jota rikastusvaiheen aikana sovelletaan. /5, s. 96./

Tavanomainen mineraaliraaka-aineiden hienonnuks louhinnan jälkeen käsittää kaksi työvaihetta eli malmikiven:

- murskauksen
- jauhatuksen. /8, s. 71./

Murskauksessa hienontaminen tapahtuu yleensä joko puristamalla malmin kovien pintojen välissä tai malmin iskeytyessä pintaa vasten. Jauhatuksessa hienontuminen tapahtuu hietämällä sekä vapaasti liikkuvien jauhinkappaleiden iskeytyessä malmiin. Murskaus on yleensä vaiheittainen ja kuiva prosessi, jossa yksittäiseen vaiheeseen tulevan ja sieltä lähtevän partikkelin kokojen suhde eli hienonnuksuhde on 3-6:1. Pyöriviä jauhatusmyllyjä, joissa käytetään jauhinkappaleina malmikappaleita, tankoja tai kuulia, käytetään hienonnuksen viimeisessä vaiheessa. Jauhatusta tehdään yleensä märkäprosessina jauhatusprosessin tehostamiseksi. Murskauksen ja jauhatuksen kanssa samanaikaisesti tehdään seulontaa ja käytetään luokittimia, joilla ohjataan raekoon jakaumaa oikeaan suuntaan prosessissa. Hienonnuksen tarkempi jaotus voidaan tehdä taulukossa 1 esitetyllä tavalla. Taulukossa esitetyt raja-arvot ovat häilyviä. /16, s. 108./

Taulukko 1. Hienonnuksen jaotus /9, s 17./

1.	Louhinta räjäyttämällä	∞ alkukoosta \rightarrow alle 1 m:n kokoon
2.	Karkeamurskaus	1 m:n alkukoosta \rightarrow alle 100 mm:n kokoon
3.	Hienomurskaus	100 mm:n alkukoosta \rightarrow alle 10 mm:n kokoon
4.	Karkeajauhatus	10 mm:n alkukoosta \rightarrow alle 1 mm:n kokoon
5.	Hienojauhatus	1 mm:n alkukoosta \rightarrow alle 100 μ m:n kokoon
6.	Hyvin hienojauhatus	100 μ m:n alkukoosta \rightarrow alle 10 μ m:n kokoon
7.	Erittäin hieno jauhatus	10 μ m:n alkukoosta \rightarrow alle 1 μ m:n kokoon

Hienonnus vaatii erittäin paljon energiaa. Hienonnustapahtuma perustuu raakaan voimaan ja hienonnuksen käyttämä energia kuluu varsinaisen hienonnuksen vaatiman energian lisäksi hienonnuksilaitteiden mekaanisiin häviöihin sekä muuttuu lämmöksi. /9, s. 17./

Hienonnettavien materiaalien kyky vastustaa hienontamista riippuu mm. materiaalin rakenteesta ja lujuusominaisuuksista. Kun hienonnettava kappale altistetaan ulkoisen rasituksen aiheuttamalle jännitykselle, alkaa kappaleen hajoaminen. Murtumisen alkukohtina toimivat kiviaineksen heikot epäjatkuvuus- ja epähomogeenisuuskohdat, eri mineraalien rajapinnat jne. Mineraalisten aineiden hienontaminen vaikeutuu ja vaatii enemmän energiaa syötteen hienotessa, koska kappaleessa olevat heikot epäjatkuvuus- ja epähomogeenisuuskohdat vähenevät kappaleen pienentyessä. Materiaalien hienonnettavuutta kuvataan käsitteillä murskautuvuus ja jauhautuvuus. /8, s. 73./

Materiaalin jauhautuvuuteen vaikuttavat mm. seuraavat ominaisuudet:

- materiaalin kovuus
- rakenne
- kosteus
- hygroskooppisuus
- flokkautumistaipumus
- agglomeroitumistaipumus
- alttius lämpötilan muutoksille. /13, s. 8./

Eri materiaaleiden jauhautuvuus voidaan määrittellä jauhatuskokeilla, joissa mitataan jauhatukseen käytetty energia sekä raekoon pienentyminen. /8, s. 185./

Kiven murtumisessa voidaan erottaa kaksi eri tapaa:

- erottumismurtuminen
- leikkausmurtuminen. /8, s. 74./

Erottumismurtuminen on makroskooppinen muodonmuutokseton murtuminen ja se syntyy jo jännityksen yhteydessä. Leikkausmurtuminen taas syntyy vasta plastisen muodonmuutoksen yhteydessä tai sen jälkeen. Ainetta hienonnettaessa pyritään erottumismurtumiseen. /8, s. 74./

Hienonnustapahtumaa voidaan määrittellä myös hienonnussuhteen (murskaussuhde, jauhatussuhde) avulla. Hienonnuksen hienonnussuhde on tyypillisesti noin 5. Hienonnussuhde määritellään seuraavasti:

—

(1)

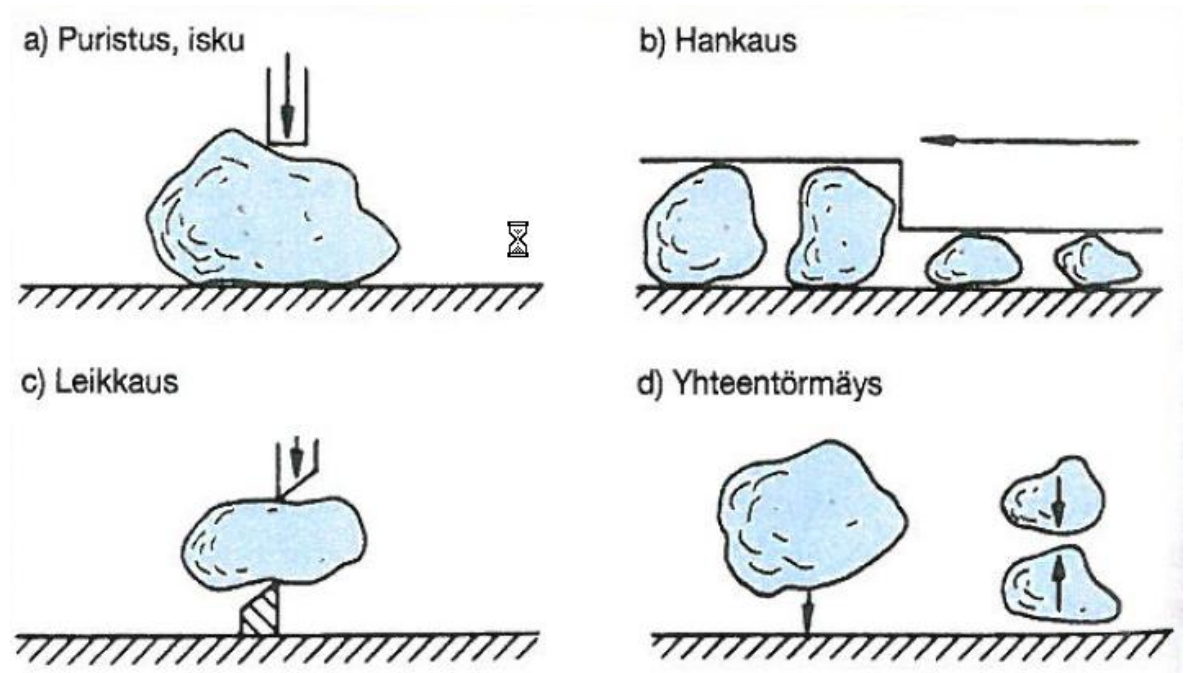
missä

d_1 on suurin kappalekoko ennen hienonnusta

d_2 on suurin kappalekoko hienonnuksen jälkeen. /9, s. 17/

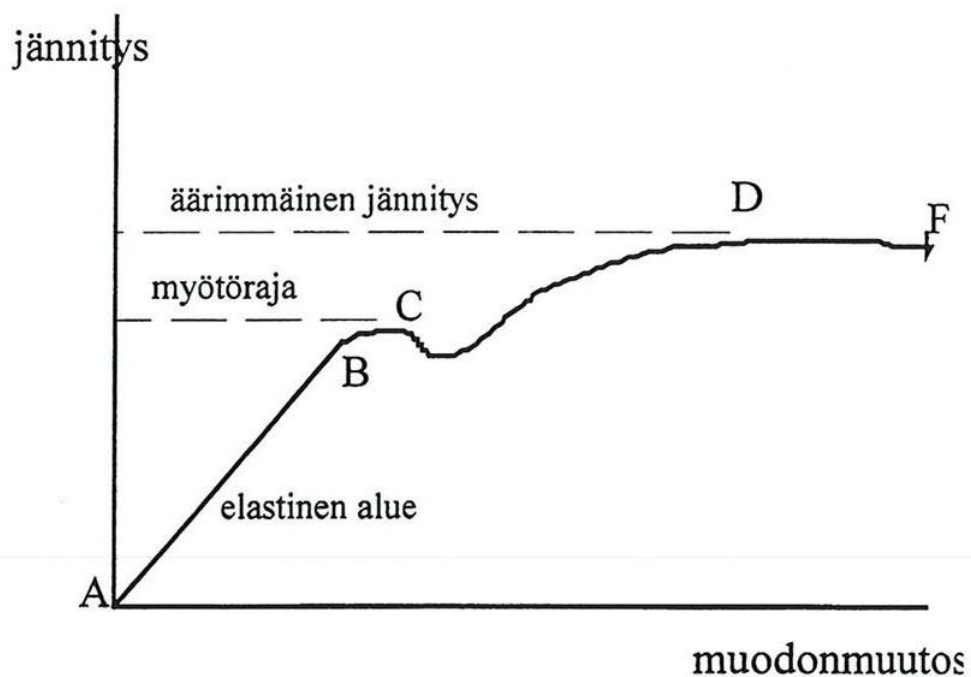
2.1. Hienonnettavan kappaleen muodonmuutos

Kappaleen hienonnutapahtuma perustuu hankaamiseen, iskuun, leikkautumiseen, puristumiseen ja yhteentörmäykseen. Kuvassa 1 on esitetty edellä mainitut ilmiöt. /9, s. 18./



Kuva 1. Hienonnustapahtuman ilmiöt /9, s. 18./

Materiaalin hienontumista voidaan tutkia kohdistamalla kappaleeseen tietty jännitys ja mittaamalla sen aiheuttama muodonmuutos. Jännitetyn kiinteän kappaleen muodonmuutoksen eri vaiheita kuvataan jännitys-muodonmuutos -käyrällä, joka on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Kiinteän aineen jännitys-muodonmuutos-diagrammi /13, s. 9./

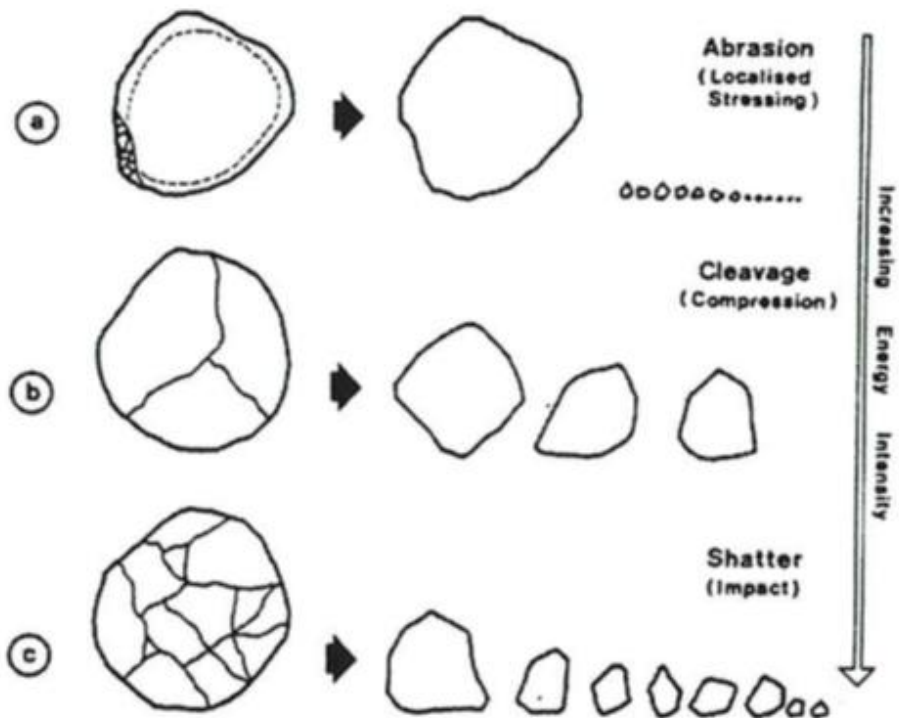
Elastinen alue on käyrässä välillä A-B. Elastisella alueella muodonmuutos on suoraan verrannollinen jännitykseen. Elastisella alueella kappale palautuu alkuperäiseen muotoonsa ja kokoonsa, kun jännitys poistetaan. Myötöraja on välillä B-C. Myötöraja alueella kappaleen muodonmuutos kasvaa suhteessa kappaleen jännitykseen. Myötörajän ylittämisen jälkeen kappale ei palaudu enää entiseen muotoonsa, kun jännitys poistetaan. Välillä C–D muodonmuutos tapahtuu, vaikka jännitys pienenee. Välillä D–F kiintoaine muuttuu muotoaan ja murtuu pisteessä F, vaikka jännitys ei muutu. /13, s. 9./

2.2. Hienonnuksen perusmekanismit

Hienonnuksen menetelmät voidaan jaotella kolmeen perusmekanismiin energiatiheyden ja sen muutosnopeuden perusteella:

- kulumismurtuminen
- puristusmurtuminen
- iskumurskaus tai -jauhatus.

Kulumismurtumisessa murtuminen tapahtuu leikkausjännitysten vaikutuksesta pienellä alueella ja sen seurauksena syntyvät tytäkkappaleet ovat erittäin hienoja. Puristusmurtumisessa energiatiheys on suurempi kuin kulumismurtumisessa, mutta hitaasti nouseva. Puristusmurtumisen seurauksena syntyvät tytäkkappaleet ovat suurehkoja ja raekokojakauma on kapea. Iskumurskauksessa energiatiheys nousee erittäin nopeasti suureksi ennen kuin kappale murtuu. Iskumurtumisessa tytäkkappaleita syntyy runsaasti ja tytäkkappaleiden raekokojakauma on laaja. Kuvassa 3 on esitetty hienonnuksen perusmekanismit. /13, s. 10./



Kuva 3. Hienonnuksen perusmekanismit: ylimpänä kulumis-, keskellä puristus- ja alhaalla iskumurtuminen /13, s. 10./

3. MURSKAUS

Murskauksessa louhittu malmi hienonnetaan yhdessä tai useammassa perättäisessä murskausvaiheessa puristusta tai iskua hyväksi käyttäen tuotteeksi, joka sopii raekooltaan jauhatuslaitteisiin syötettäväksi. Jauhatuslaitteisiin syötettävän murskeen maksimikoko vaihtelee suuresti. Murskaimet voidaan jakaa murskausvaiheen mukaan:

- primäärimurskaimiin
- sekundaarimurskaimiin
- tertiäärimurskaimiin. /9, s. 19./

Primäärimurskaimet ovat järeitä suuren kapasiteetin murskaimia, joita käytetään avoimessa piirissä esiseulan kanssa tai ilman esiseulontaa. Primäärimurskaimina käytetään yleensä leuka- ja karamurskaimia. Malmin maksimikoko, jota murskaimen täytyy pystyä hienontamaan, sekä tarvittava kapasiteetti ovat kaksi tärkeintä tekijää primäärimurskaimen valinnassa. Karamurskaimet ovat tehokkaampia kuin leukamurskaimet ja karamurskaimia käytetäänkin, kun kapasiteetin tarve on suuri. Leukamurskaimia käytetään, kun kapasiteettia tärkeämpää on murskaimen kidan koko. Murskaimen kidan koko on erityisen tärkeä, kun murskataan tietyn halkaisijan omaava materiaalia. Myös iskumurskaimia voidaan käyttää primäärimurskaimina joissakin erikoistapauksissa. /7, s. 9./

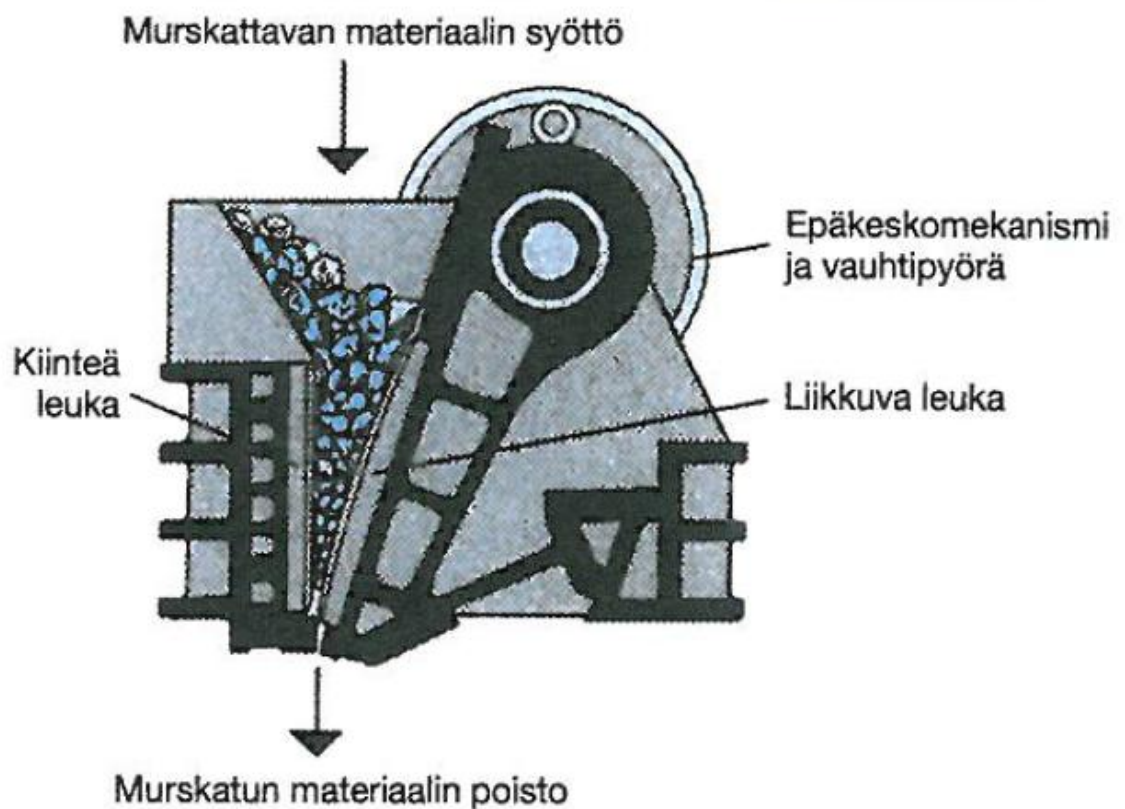
Sekundaarimurskaimilla hienonnetaan primäärimurskaimilla esimurskattu malmi pienempään raekokoon jauhatusta varten. Sekundaarimurskaimet ovat rakenteeltaan primäärimurskaimia kevyempiä. Sekundaarimurskauksen syöte on yleensä helpommin käsiteltävää kuin esimurskauksen, koska epäpuhtaudet on poistettu yleensä jo primäärimurskauksessa. Sekundaarimurskaimina käytetään yleisimmin kartio- ja iskumurskaimia. Malmin ollessa kovaa tai liukasta voidaan käyttää vielä tertiäärimurskausta tai vaihtoehtoisesti karkeaa tankojauhatusta. /16, s. 108./

Murskaimen kita-aukko sekä asetusarvo vaikuttavat oleellisesti murskaukseen. Se, että kuinka suuria lohkaraita murskaimen voidaan syöttää, riippuu kita-aukon koosta. Murskaimen kita-aukon koko ilmaistaan tulona $A \times B$, missä A on kita aukon pituus akselin suunnassa ja B on liikkuvan leuan etäisyys kiinteästä leuasta kita-aukon yläreunasta.

Murskaimen asetusarvolla ilmoitetaan liikkuvan ja kiinteän leuan pienin etäisyys kita-aukon alareunassa. /9, s. 19./

3.1. Leukamurskaimet

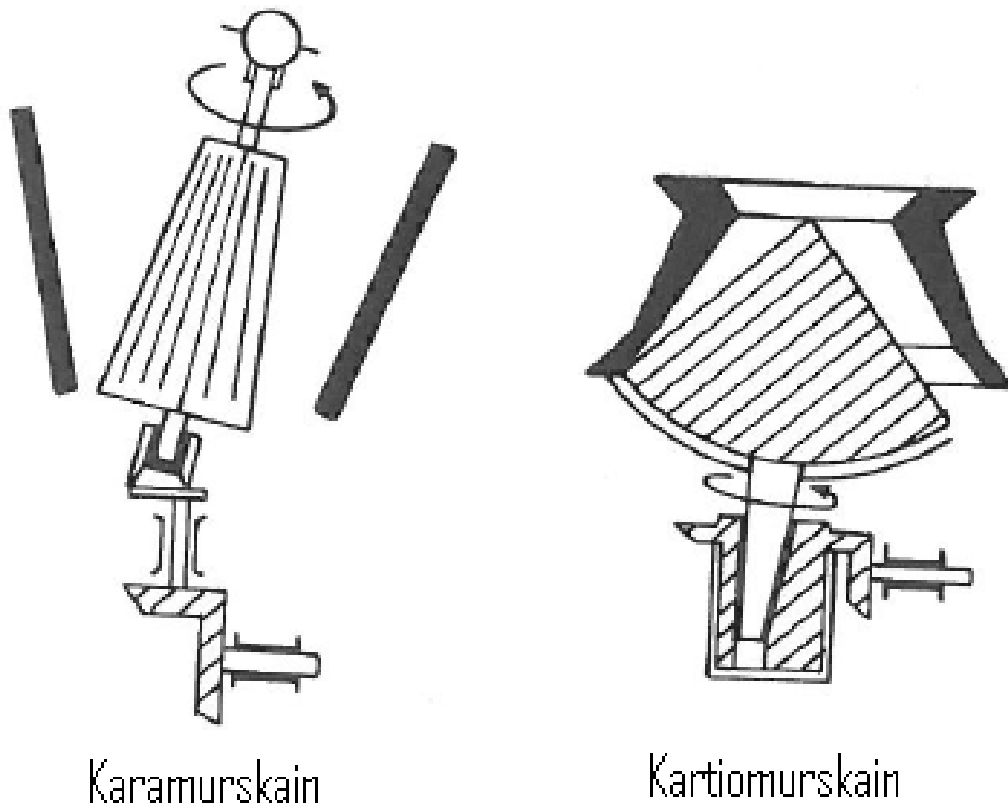
Leukamurskaimessa materiaali hienonnetaan puristamalla sitä liikkuvan leuan avulla kiinteää leukaa vasten. Kiinteä ja liikkuva leuka päällystetään tavallisesti kulutusta kestäväillä kovamanganiteräksestä valmistetuilla leukalevyillä. Liikkuvan leuan liike saadaan aikaan koneen käyttölaitteiden pyörittämän epäkeskon ja työntölaattojen avulla. Leukamurskaimen rakenne on esitetty kuvassa 4. /7, s. 9./ ja /9, s. 20./



Kuva 4. Leukamurskain /9, s. 20./

3.2. Kara- ja kartiomurskaimet

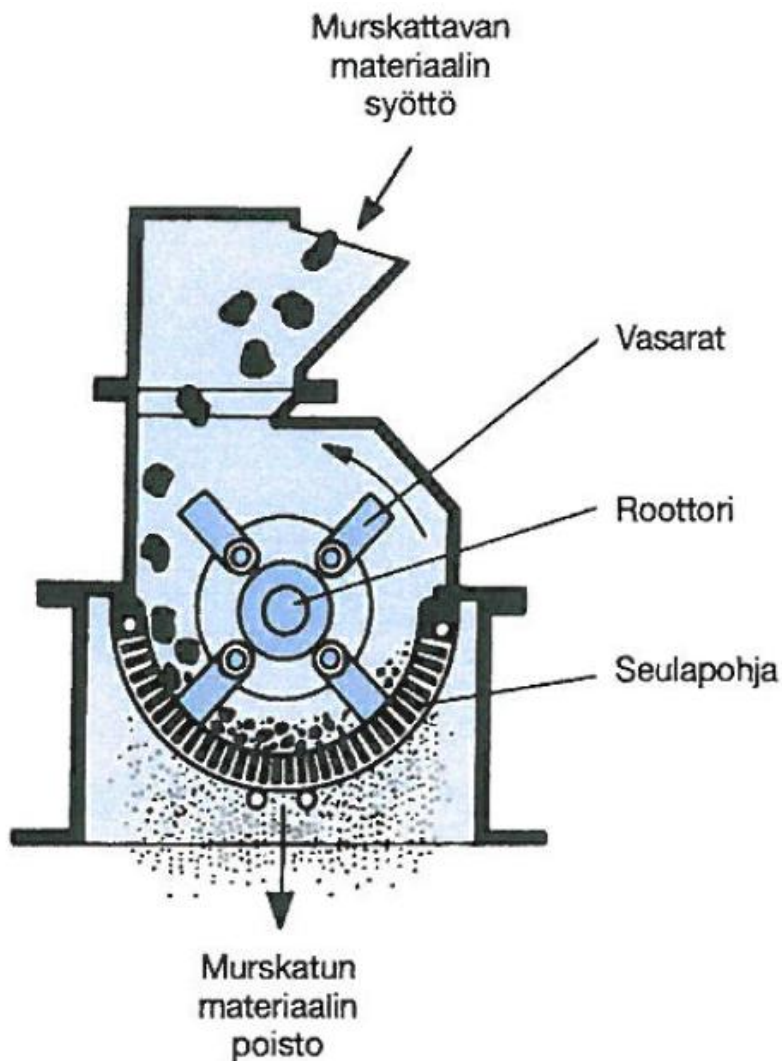
Kara- ja kartiomurskaimet koostuvat murskausmaljasta, murskauskartiosta sekä käyttömekanismista. Malmi hienonnetaan kahden sisäkkäin olevan kartiomaisen kulutusta kestävän murskausvaipan välissä. Kiinteä ulkovaippa on kiinnitetty murskaimen runkoon ja sisävaippa on kiinnitetty liikkuvan murskauskartion pinnalle. Vaippojen välissä oleva murskaustila kapenee alaspäin mentäessä. Vaippojen vuorauslevyt ovat tavallisesti kulutusta kestävää mangaaniterästä. Kuvassa 5 on esitetty kaavamaisesti sekä karamurskaimen että kartiomurskaimen rakenne. Karamurskaimen kartio on ripustettu yläpäästään murskaimen rakenteeseen, mutta kartiomurskaimen murskauskartio lepää pallolaakerin varassa. /8, s. 95 - 108./



Kuva 5. Karamurskaimen ja kartiomurskaimen rakenne /8, s. 96./

3.3. Iskumurskaimet

Iskumurskainta käytetään esi-, väli tai hienomurskaukseen. Iskumurskaimia on olemassa monenlaisia, mutta toimintaperiaate kaikissa on sama, hienontaminen perustuu ainoastaan iskuun, ei puristumiseen. Iskumurskaimia käytetään pehmeiden ja mineraalipinnoiltaan helposti lohkeavien ainesten, kuten talkin ja kipsin hienontamiseen. Iskumurskaimen etuja ovat suuri kapasiteetti, hyvä murskaussuhde, keveys kapasiteettiin nähden ja pieni energi-ankulutus. Suurena heikkoutena voidaan pitää osien nopeasta kulumisesta aiheutuvia suuria käyttökustannuksia. Esimerkki iskumurskaimen rakenteesta on esitetty kuvassa 6. /16, s. 126./



Kuva 6. Iskumurskaimen rakenne /9, s. 22./

3.4. Valssimurskaimet

Valssimurskaimessa murskaus tapahtuu kahden vaakasuoran akselin varassa vastakkaisesti suuntiin pyörivän sylinterin välissä. Toinen akseli nojaa jousia vasten ja toinen on kiinteästi laakeroitu kehykseen. Valssien välistä raon leveyttä voidaan säätää tarpeen mukaan. Valssimurskain on hienomurskain ja sitä käytetään pehmeille materiaaleille. Valssimurskaimen murskaussuhde on sen rakenteen vuoksi pieni. Valssimurskain on esitetty kuvassa 7. /9, s. 20./



Kuva 7. Valssimurskaimen rakenne /9, s. 21./

4. JAUHATUS

Jauhatus on mineraalien hienontamisen viimeinen vaihe. Jauhatusessa malmimurske hienonnetaan jauhamalla riittävään puhtaaksijauhatusasteeseen, sovellettavan rikastusmenetelmän vaatimaan hienonnusasteeseen tai muuhun teknilliseen tai taloudelliseen tavoitteeseen. Mineraalien riittävä erottuminen toisistaan on rikastamisen onnistumisen perusedellytys. Toisaalta onnistunut jauhatusta ei yksin takaa onnistunutta rikastustulosta, mutta se antaa hyvät mahdollisuudet sen saavuttamiseen. Jos rikastusprosessin syöte jätetään liian karkeaksi, saadaan sekarakeiden vuoksi huono rikaste ja huono jäte, kun taas liian hieno jauhatusta kuluttaa tarpeettomasti energiaa ja usein vaikeuttaa rikastamista. Etenkin mineraalien ominaispaineeroihin perustuvien rikastusmenetelmien käyttäminen vaikeutuu, jos jauhatusta syntyy paljon hienoja raekokoluokkia. /5, s. 170 - 171./

Malmin jauhatusta suoritetaan rumpumaisissa, vaakatasossa pyörivissä myllyissä irrallisten jauhinkappaleiden avulla. Jauhautuminen perustuu iskuihin, puristukseen ja hiertoon. Jauhinkappaleina käytetään terästankoja, teräs- tai valurautakuulia ja jauhinlieriöitä. Myös malmikappaleita voidaan käyttää jauhinkappaleina, jolloin puhutaan autogeenijauhatusesta. Materiaalin jauhatusta tapahtuu joko märkä- tai kuivajauhatusena. Märkäjauhatus on yleisimmin käytetty menetelmä. Jauhatusprosessin kannalta ei ole paljon eroa sillä, että suoritetaanko jauhatusta märkä- vai kuivajauhatusena. /8, s. 175 - 194./ ja /9, s. 26./

Yleensä jauhatusta syötteen raekoko vaihtelee välillä 10 - 25 mm, mutta karkean autogeenijauhatusen syötteessä puolestaan voi olla jopa 500 mm:n lohkarkeitä. Jauhatushienonnus on malmien käsittelyssä yleensä alle 0,2-0,3 mm riippuen jauhatusta tarkoituksesta. Kuvassa 8 on esitetty Outokumpu Chrome Oy:n Kemin kaivoksen tanko- ja kuulamyly. /8, s. 175 - 194./



Kuva 8. Kemin kaivoksen rikastamon tanko- ja kuulamyly /4, s. 6./

4.1. Kriittinen kierrosluku

Jauhatusmyllyn kriittiseksi kierrosluvuksi sanotaan sitä kierrosnopeutta, jolla jauhinkappaleet pysyvät vielä myllyn kehällä irtautumatta sieltä myllyn pyöriessä tasaisella nopeudella. Kriittisellä kierrosluvulla kappaleeseen vaikuttava keskipakovoima on yhtä suuri kuin maan vetovoima. Myllyn kriittinen kierrosluku n_c lasketaan myllyn sisähalkaisijasta D (cm) ja jauhinkappaleiden halkaisijasta d (cm) /8, s. 179 - 181./:

— .

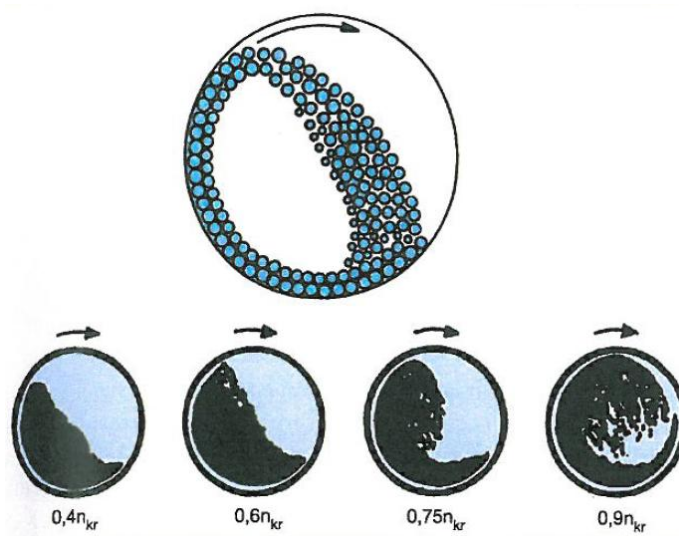
(2)

Myllyn nopeus ilmaistaan usein prosentteina sen kriittisestä nopeudesta. Kun myllyn nopeus n ilmaistaan %:ssa kriittisestä kierrosnopeudesta ja merkitään n_p :llä, on /8, s. 179 - 181./:

(3)

Mikäli myllyn pyörintänopeus on pienempi kuin myllyn kriittinen pyörimisnopeus, myllyn sanotaan toimivan alikriittisellä nopeusalueella. Vastaavasti, jos myllyn pyörintänopeus on suurempi kuin kriittinen pyörimisnopeus, jauhatusta tapahtuu ylikriittisellä nopeusalueella. Jotta jauhatusta onnistuisi ylikriittisellä nopeudella, täytyy myllyssä olevan panoksen päästä liikkumaan vuoraukseen nähden. Tavallisesti jauhatusta suoritetaan alikriittisellä alueella. /9, s. 24./

Alikriittisellä nopeudella toimivalle jauhatukselle on tyypillistä vuoraus, jolla estetään jauhinkappaleiden liukuminen mahdollisimman tehokkaasti, sekä jauhinkappaleiden runsaus. Jauhatusta perustuu tällöin jauhinkappaleiden putoamis- ja vierintäilmiöihin sekä niiden keskinäiseen liikkeeseen. Materiaalin jauhautuminen perustuu mm. putoavien kappaleiden aiheuttamiin iskuihin myllyssä. Putoavien kappaleiden iskuvaikutus on sitä suurempi, mitä suurempi on myllyn alikriittinen nopeus. Kuvassa 9 on esitetty, kuinka jauhinkappaleet ja jauhettava materiaali käyttäytyvät myllyssä erilaisilla kierrosluvuilla. /9, s. 24./



Kuva 9. Jauhinkappaleiden sekä jauhettavan materiaalin käyttäytyminen myllyssä eri kierrosluvuilla (n_{kr} = kriittinen pyörimisnopeus). /9, s 24./

4.2. Myllyn täyttöaste

Myllyn täyttöasteella, joka on yleensä 0,3 – 0,5 eli 30 % - 50 %, tarkoitetaan jauhinkappaleiden (kuulien tai tankojen) tilavuutta verrattuna vuoratun myllyn sisätilavuuteen:

$$\text{---} \quad (4)$$

missä

V_k = kuulien tilavuus

V_m = myllyn tilavuus.

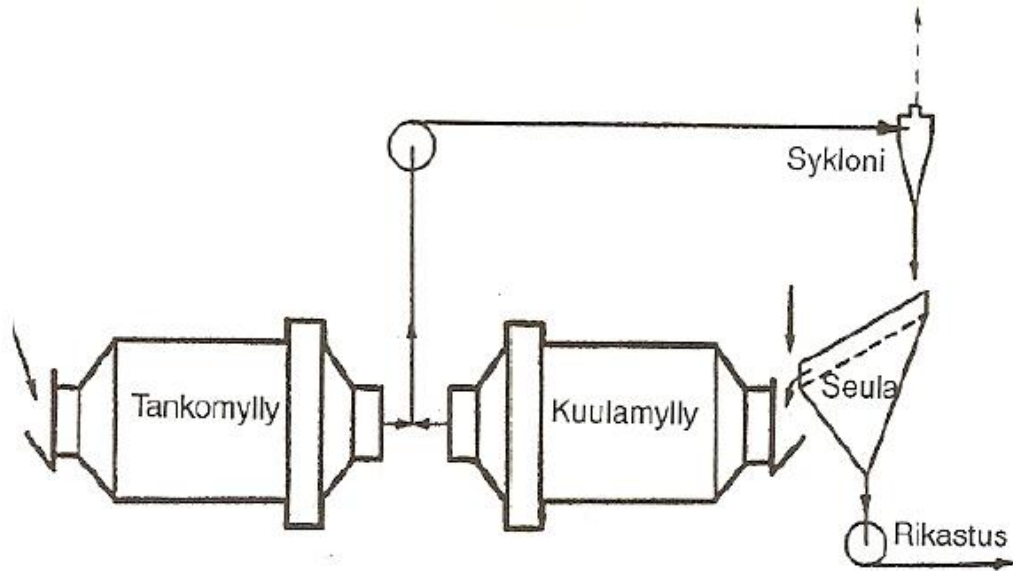
4.3. Tankojauhatus

Tankomyllyksi kutsutaan myllyä, jossa jauhinkappaleina käytetään tankoja. Tankomyllyn pituus on suurempi kuin sen läpimitta. Tankomyllyhienonnus soveltuu parhaiten murskauksen ja hienojauhauksen väliselle alueella. /9, s. 26 - 27./

Tankomyllyn syöte on tavallisesti murskauspiiristä saatua puolikarkeata murskettä, jossa karkeimmat rakeet ovat kooltaan 6 - 35 mm. Tankomyllyn tuotteen karkeimmat rakeet ovat vastaavasti tavallisesti 1 - 2 mm:n luokkaa tankomyllyn seulavaikutuksen vuoksi. /5, s. 217./

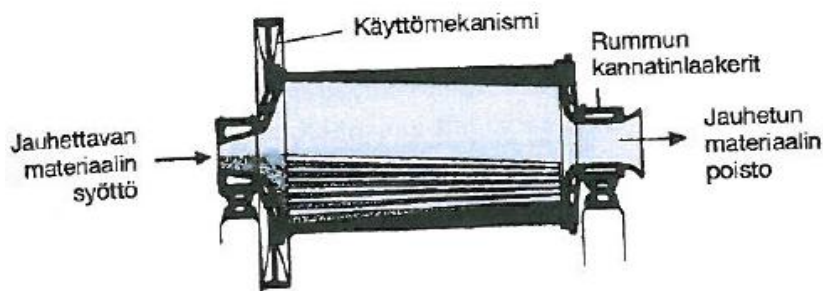
Tankomylly ei yksinään sovi teollisuusmittakaavaisesti suoritettujen kokeiden perusteella sellaiseen hienojauhaukseen, jollaista esimerkiksi vaahdotus tavallisesti edellyttää. Tästä syystä murskaamon tuote jauhetaan yleensä kahdessa vaiheessa, ensiksi avopiirissä tankomyllyssä, minkä jälkeen malmi jauhetaan lopulliseen hienouteen toisessa, tavallisesti sulkeisessa kuulamyly – luokitus tai seulontapiirissä. Tankomyllyn kapasiteetti on suuri sen toimiessa avopiirissä ja sillä on kyky jauhaa ominaisuuksiltaan ja hienonnusasteeltaan vaihtelevaa syötettä tuotteen laadun sanottavasti muuttumatta. Jos tankomylly laitetaan

luokituslaitteen kanssa suljettuun piiriin, alenee sen kapasiteetti huomattavasti. Kuvassa 11 on esitetty jauhatuspiirikaavio, jossa tankomylly toimii avopiirissä. /5, s. 217./



Kuva 11. Jauhatuspiirikaavio /4, s. 7./

Tankomylly voi olla muodoltaan sylinterimäinen, eli myllyn efektiivinen läpimitta on syöttö- ja poistopäässä sama. Jauhintankojen väliin joutuva jauhattava aine on syöttöpäässä karkeampaa kuin poistopäässä, minkä vuoksi tankojen väliset raot ovat suuremmat syöttö- kuin poistopäässä. Tämän seurauksena sylinterimäisessä myllyssä tangot pyrkivät luisumaan poistopäätä kohti. Luisumisen estämiseksi tankomyllyjä rakennetaan lievästi kartiomaiseksi siten, että myllyn efektiivinen läpimitta on syöttöpäässä suurempi kuin poistopäässä. Kuvassa 12 on esitetty rakenteeltaan kartiomainen tankomylly. /5, s. 217 - 218./

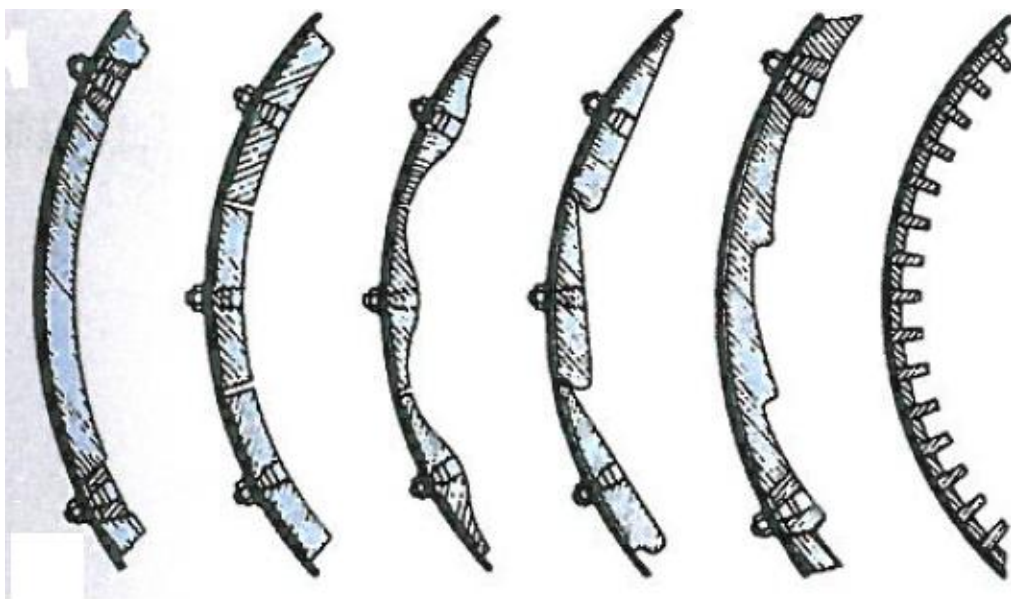


Kuva 12. Rakenteeltaan kartiomainen tankomylly /9, s. 27./

Tankojen yleinen nimellispituus on 365 cm ja tavanomainen läpimitta 7-8 cm. Tankojen todellinen pituus on aina 10 - 20 cm myllyn sisäpituutta pienempi. Tankomateriaaleina käytetään joko runsashiilistä terästä tai seostettuja teräksiä. Seosaineena käytetään joko mangaania yksinään tai yhdessä kromin kanssa. Tankomassa hienontaa jauhettavaa materiaalia viidellä tavalla:

1. Putoavat tangot jauhavat malmia alhaalla olevia tankoja sekä vuorausta vasten.
2. Malmi murskautuu vuorauksen kohopalkkien ja tankojen välissä.
3. Malmi murskautuu joutuessaan liikkuvien tankojen väliin.
4. Tangot pyörivät noustessaan ylöspäin myllyssä, jolloin ne hienontavat malmia valsimurskaimen tapaan.
5. Tankojen ”lipsahtelu” hienontaa malmia. /8, s. 203 - 204./ ja /9, s. 29./

Tankomyllyt toimivat alikriittisellä nopeusalueella. Jotta jauhatus olisi tehokasta, tankojen täytyy nousta mahdollisimman tehokkaasti ylös myllyn pyöriessä ilman että tankomassa liikkuisi myllyn vuoraukseen nähden. Tämä saavutetaan varustamalla myllyn vuoraus riittävän voimakkaalla hammastuksella. Tavallisesti käytetään ns. kohonpalkkivuorausta. Tankomyllyjen vuorauksen ja vaipan väliin sijoitetaan tavallisesti tankojen iskuja vaimentava ohut ja joustava välikerros. Kuvassa 13 on esitetty erilaisia myllyjen vuoraustapoja ja kuva 14 esittää Kemin kaivoksen tankomyllyn vuoraus. /9, s. 29./



Kuva 13. Erilaisia myllyjen vuoraustapoja /10, s. 19./



Kuva 14. Tankomyllyn vuoraus Kemin kaivoksella /15, s. 20./

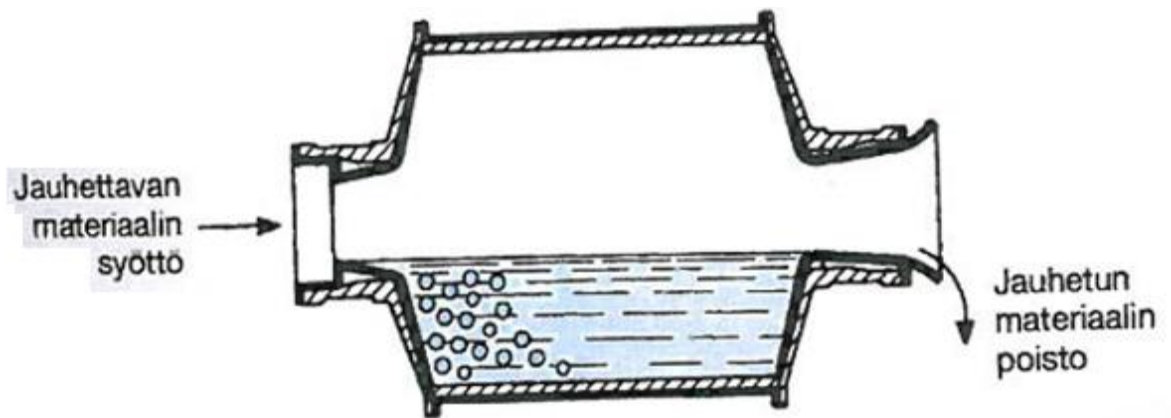
Tavallisesti tankomyllyn päätyvuoraus tehdään sileäksi. Vuoraus kootaan kolmiomaisista sektoreista, jotka kiinnitetään pulteilla myllyn päätyihin (kuva 14). Vuorauksen materiaalina käytetään kovamanganiterästä, valurautaa sekä Cr – Mn - terästä. /9, s. 29./

4.4. Kuulajauhatus

Kuulamyly on vaakasuoran akselin ympäri pyörivä rumpu, jossa jauhinkappaleina käytetään pyöreitä metallisia kuulia. Kuulamylyllä ei ole teknisiä rajoituksia. Pituus ja läpimitta voivat olla yhtä suuret, tai mylly voi olla vaikka 2,5 kertaa läpimittansa pitempi. Kuulamyly voi olla joko ylite- tai arinamyly, joista edellinen on yleisempi. /8, s. 207./

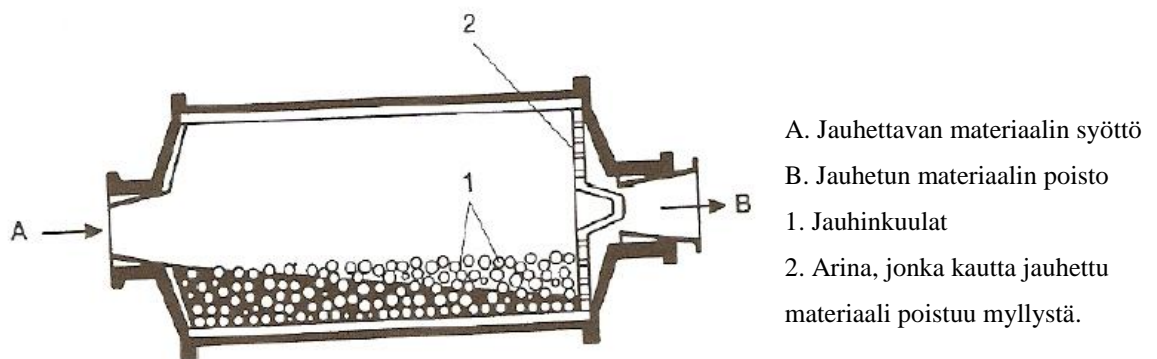
Ylitemyly on jatkuvatoiminen mylly, jossa tuotteen poisto tapahtuu poistopään kaula-aukon kautta. Poistopään kaula-aukon läpimitta on syöttöpään kaula-aukon vapaata läpimit-

taa suurempi. Kuulamyllyn tuotteen poistotaso on syöttötasoa alempana, minkä vuoksi liete ja hienojakoinen jauhe poistuvat myllystä sen pyöriessä vaakasuoran akselinsa ympäri. Ylitemyllyt voivat olla joko tanko- tai kuulamyllyjä. Kuva 15 esittää kuulamyllyä joka on ylitemyllä. /9, s. 27./



Kuva 15. Kuulamylly, ylitemyllä /9, s. 27./

Arina- eli matalapoistomyllyssä tuote poistuu yhden tai useamman arinan kautta. Arina tai arinat on sijoitettu joko myllyn kehälle tai myllyn pätyyn. Arina läpäisee tuotteen, mutta ei jauhinkappaleita. Arinan ja pätyseinän väliin muodostuu tukisäleistä eräänlainen siipipyörä, joka myllyn pyöriessä toimii sisäpuolisena nostolaitteena. Nostettu liete valuu poistopään kaula-aukosta ulos myllystä. Arinamyllyt ovat aina kuulamyllyjä. Kuvasta 16 nähdään arinamyllyn rakenne. /10, s. 77./



- A. Jauhettavan materiaalin syöttö
- B. Jauhetun materiaalin poisto
- 1. Jauhinkuulat
- 2. Arina, jonka kautta jauhettu materiaali poistuu myllystä.

Kuva 16. Kuulamylly, arinamylly /10, s. 77./

Kuulamylyssä materiaalin hienontaminen perustuu sekä isku- että hiertojauhatuskseen kuulien käsitellessä jauhattavaa materiaalia kuulamassan välissä ja vuorausta vasten. Kuulamylyyn ottaman syötön määrä riippuu monesta eri tekijästä, mutta erikoisesti malmin jauhautuvuudesta ja vaaditusta jauhatusasteesta. Jos kuulamyly on avopiirissä, sen kapasiteetti on suurempi kuin suljetussa piirissä olevan kuulamylyyn. /8, s. 207./

Kuulamylyyn kuulien koko määräytyy syötteen karkeuden ja tuotteen hienouden mukaan. Karkean materiaalin jauhatuskseen käytetään kuulapanosta, joka on koostettu ainakin osittain suurista kuulista. Hienojauhatuskseen valitaan vastaavasti pienempiä kuulia. Suuret kuulat ovat läpimitaltaan 10 - 16 cm, pienemmät tavallisesti noin 25 mm. Kuulamateriaalina teräs on yleisin ja myös seostettuja valurautaisia kuulia (Si, Mn, Cr) käytetään. Kuulat valmistetaan tavallisesti valamalla tai takomalla. /9, s. 29./

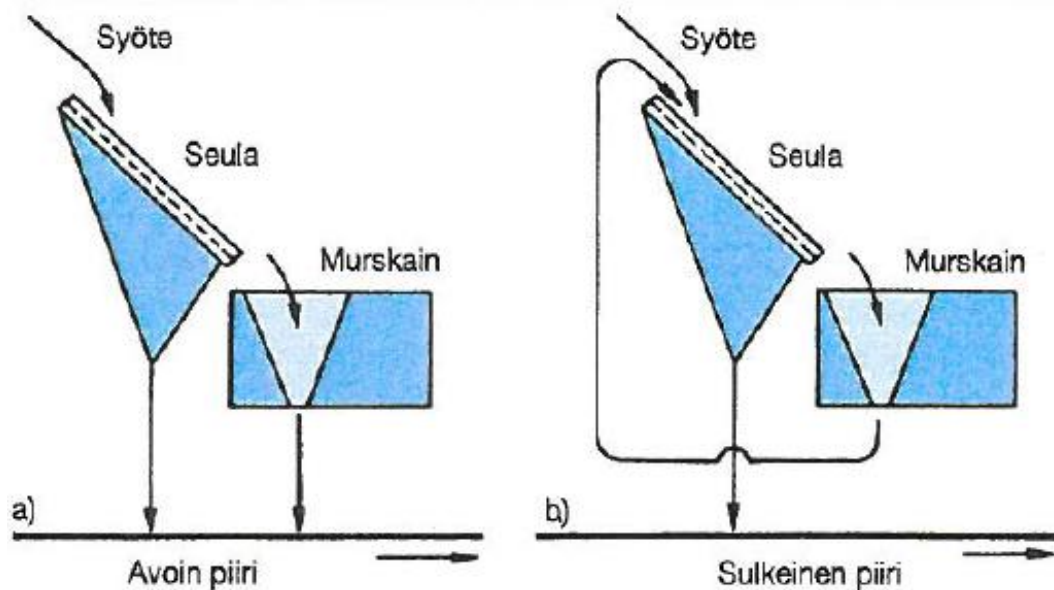
Ero tankomylyjen ja kuulamylyjen toiminnassa vuorauksen kannalta on se, että jauhinkappaleiden putoamisliikkeeseen sisältyvä energia on tangoilla huomattavasti suurempi kuin kuulilla. Kuulamylyyn vuoraus voidaan näin ollen rakentaa suurempaa kulutuskestävyyttä tavoitellen kuin tankomylyyn vuoraus. Kuulamylyssä vuorausmateriaalina voidaan käyttää esimerkiksi metallia tai kumia. /9, s. 30./

4.5. Autogeeninen jauhatus

Monien malmien ja kivilajien jauhatuskessa voidaan käyttää autogeenijauhatusa.. Autogeenijauhatus jaetaan autogeenijauhatuskseen ja puoliautogeenijauhatuskseen. Autogeenijauhatuskessa käytetään ainoastaan malmia itseään jauhinkappaleina, kun taas puoliautogeenijauhatuskessa käytetään malmin lisäksi tehosteena pientä kuulakuormaa. Autogeenijauhatuskseen hyviä puolia tanko- ja kuulajauhatuskseen nähden ovat mm. jauhinkappalekulutuksen pienentyminen, jauhinkappaleista irronneen prosessiraudan puuttuminen jatkokäsittelyn syötteestä ja kyky käsitellä erityyppisiä malmeja. Autogeenijauhatuskseen huono ominaisuus on syötteen muutoksen vaikutusta kapasiteettiin, joka on paljon suurempi kuin kuula- ja tankomylyillä. /7, s. 13./

4.6. Jauhatuspiirit

Jauhatuspiirit voivat olla joko avoimia tai suljettuja. Avoimia jauhatuspiirejä käytetään harvoin, lähinnä vain tankomyllöjen kanssa. Siinä jauhautuminen tapahtuu kerralla, syöte menee myllyyn, jauhautuu ja lopuksi poistuu piiristä. Kun pyritään avopiirissä toimivalla myllyllä johonkin tiettyyn raekokoon, joudutaan koko materiaali jauhamaan vaikeimmin jauhautuvien rakeiden mukaan. Tämän seurauksena tuhlaata energiaa ja sorrutaan ylijauhaukseen eli helposti jauhautuvat rakeet jauhautuvat liian hienoiksi. Kun luokittimilla tai seuloilla erotetaan valmiit rakeet rikastusprosessin seuraavaan vaiheeseen ja vielä liian karkea osa palauttaan myllyyn, hienonnustyö kohdistuu vain sitä tarvitseville rakeille. Seuloilta tai luokittimilta jauhaukseen palaavaa materiaalmäärää kutsutaan kiertokuormaksi. Kuvassa 17 on esitetty periaatekuva avoimesta ja suljetusta jauhatuspiiristä. /8, s. 279./



Kuva 17. Kaavio avoimesta sekä sulkeisesta seulonta ja murskauspiiristä /9, s. 18/

Yleensä esim. kuulamyllöillä toteutettu suljettu piiri on kapasiteetiltaan n. 35 % suurempi kuin avoin piiri, mutta tankomyllö tekee poikkeuksen edelliseen sääntöön, sillä sen kapasiteetti on parhaimmillaan avopiirissä. Toisaalta suuri kiertokuorma voi olla luokituksen sekä jauhauksen kannalta haitallinen, jos hienoa ainesta pääsee runsaasti takaisin myllyyn. Tämän vuoksi seulojen tai luokittimien toimintakuntoon on jauhauksen aikana syytä kiinnittää huomiota. /16, s. 170./ ja /8, s. 279./

Jauhatuspiirin täytyy pystyä käsittelemään tietty tonnimäärä syötettä ja sen on myös tuotettava haluttu partikkelikokojakauma rikastusprosessin seuraavaa vaihetta varten. Jauhatuspiirin suuria häiriötekijöitä ovat syötteen raekokojakauman sekä kovuuden muutokset, jonka vuoksi on tärkeää pyrkiä homogenisoimaan jauhatuksen syöte mahdollisimman hyvin. Keskeisimpiä jauhatuspiirin säädön tavoitteita ovat tuotteen tasaisen raekokojakauman ylläpitäminen maksimikapasiteetilla sekä maksimoida rikasteen tuotanto yhdessä jatko-prosessien kanssa.

5. SEULONTA

Hienonnuksprosessissa seulonnalla säännöstellään murskattavan tai jo murskatun tuotteen karkeutta eli raekokoa. Kun murskauksen syöttestä erotetaan valmis, riittävän hieno materiaali, säästetään energiaa ja murskaimen kuluja sekä parannetaan murskaimen kapasiteettia. Jälkimmäisessä tapauksessa tuotteen raekoon säännöstelyssä on kysymys murskeen raekoon pitämisestä haluttuna, jolloin vielä liian karkea fraktio voidaan palauttaa takaisin murskaimeen ja valmis fraktio ohjata edelleen jatkomurskaukseen tai jauhatukseen. Seulontaa voidaan käyttää myös jauhatuksessa murskauksen tapaan materiaalin raekoon säännöstelyyn ja ohjaamiseen. Seulontaa käytetään myös esim. sepelin tuotannossa murskeen jakamiseen eri sepelilaaduksi. /8, s. 113./

Seulontaa tehdään joko kuivaseulontana tai märkäseulontana. Rikastamoiden murskaamoissa seulonta tehdään yleensä kuivana. Jos seulottava materiaali on karkeaa, ei seulontatapojen välillä ole suurta eroa. Kuivaseulontaa voidaan suorittaa jo alle 100 mikrometrin raekokoalueella, märkäseulonta sen sijaan on vaikeaa jo alle 1 millimetrin raekokoalueella. /8, s. 114./

5.1. Seulonnan kapasiteetti

Seulonnan kapasiteetti voidaan ilmoittaa joko syötteen kuiva-aineen määränä tunnissa seulapinnan pinta-alayksikköä kohti eli t/hm^2 tai seulan läpäisseen hienon aineen määränä vastaavassa yksikössä. Seulonnan kapasiteettiin vaikuttavat:

- syötteen mukana olevat epäpuhtaudet
- syötteen raekokojakauma
- syötteen kosteus
- seula-aukkojen koko ja muoto
- seulapinnan ominaisuudet
- seulan rakenne. /8, s. 114./

Rakeet, joiden koko on enintään puolet seula-aukon koosta, läpäisevät seulan helposti. Vastaavasti rakeet, joiden koko on 1,5 x seula-aukon koko, ylittävät seulan helposti. Kriittiset rakeet ovat alueella $0,5 a \leq x \leq 1,5 a$, kun x on rakeen koko ja a on neliömäisen seula-aukon sivun pituus. Läpimenon todennäköisyys riippuu kuorman määrästä, seulan pituudesta ja seulan tehokkuudesta. Seulan läpäisykapasiteetin esittämiseksi voidaan käyttää seuraavaa yhtälöä /8, s. 116./:

$$T = C\rho fx \tag{5}$$

missä

T = seulan läpäisseen aineen määrä

C = vakio

ρ = kiven ominaispaino

x = seula-aukon koko

f = aukkojen osuus seulapinnasta.

Kun seulotaan kostea materiaalia, veden peittämät rakeet kasaantuvat yhteen veden pintajännityksen vaikutuksesta. Sama ilmiö tapahtuu veden ympäröivän rakeen koskettaessa seulan lankaa, jolloin seula tukkeutuu helposti. Edellä mainittu ilmiö voidaan estää nostamalla lämpötila 40 – 80 °C:seen, jolloin veden höyryn paine kasvaa ja nestekerros katoaa rakeen pinnalta. Savipitoista ainetta tai lietteitä seulottaessa voidaan seulan tukkeutumista ehkäistä kiinteiden vesisuihkujen sekä painepesurilla tehtävien säännöllisten pesujen avulla. /8, s. 117./

5.2. Seulonnan terävyys

Seulonnan tehokkuus eli terävyys tarkoittaa lukua, joka ilmoittaa, kuinka monta prosenttia seulan syötteen sisältämästä tietystä raekokoa hienommasta rakeesta on mennyt seulan aliteseen. Kuivaseulonnan terävyys voi olla parhaimmillaan 95 %:a, mutta 80 – 90 %:a pidetään hyvänä teollisuustuloksena. Seulonnan terävyys lasketaan seuraavasti /8, s. 118./ ja /9, s. 37./:

—

(6)

missä

p = seulan läpäisseen aineen massa

f = koeseulonnan avulla saatu prosenttiluku, joka osoittaa, kuinka suuri osa näytteestä on hienompaa kuin ko. seula-aukko

s = syötteen massa.

5.3. Materiaalin raekoko

Materiaalin raekoon ilmaisemiseksi on useita tapoja. Epäsäännöllisillä kappaleilla on kolme ulottuvuutta: pituus l , leveys b ja paksuus h . Epäsäännöllisen kappaleen raekoko x voidaan ilmaista esimerkiksi seuraavilla tavoilla:

1. aritmeettisena keskiarvona, $x = (l + b + h)/3$
2. geometrisenä keskiarvona, jolloin $x = \sqrt[3]{lbh}$
3. mikroskoopin avulla, jolloin $(l + b)/2$ tai \sqrt{lb}
4. sen samasta aineesta olevan pallon halkaisijana, jonka tilavuus on sama kuin rakeiden keskimääräinen tilavuus
5. seulasarjan kahden peräkkäisen seulan välisenä raekokoluokkana
6. samasta aineesta olevan pallon halkaisijana, jonka vajoamisnopeus väliaineessa on sama kuin epämääräisen kappaleen vajoamisnopeus väliaineessa. /9, s. 37 - 38./

5.4. Seula-analyysi

Seula-analyysi on raekoon määrittämenetelmä. Seula-analyysi jaottelee seulottavat rakeet niiden koon mukaan. Myös rakeiden muut ominaisuudet, kuten rakeiden muoto, kosteus ja pintavaraus voi vaikuttaa seula-analyysin tulokseen. Seula-analyysia voi käyttää vähintään

45 µm oleville rakeille. Erittäin hienot rakeet voivat vääristää seula-analyysin tulosta paakkuuntumalla suuremmiksi rakeiksi.

Raekoon jakauman määrittämisessä käytetään seulojen joukkoa, jota kutsutaan seulasarjaksi. Seulan silmäkoko tarkoittaa neliön muotoisen aukon sivun pituutta. Tyypillinen seulasarjan määrittämisessä käytetty laitteisto koostuu pohjan keräilyastiasta, erikokoisista, erilaisista seula-astioista ja tärytinlaitteistosta. Taulukossa 2 on esitetty SFS-EN 933-2 ja DIN/ISO 33110/1 mukaiset seulasarjat. /9, s. 38./ ja /11/

Taulukko 2. Standardien SFS-EN 933-2 ja DIN/ISO 33110/1 mukaiset seulasarjat /9, s 38./ ja /11/

<u>SFS-EN 933-2</u>	<u>DIN/ISO 33110/1</u>
0.063 mm	45 µm
0.125 mm	63 µm
0.250 mm	125 µm
0.500 mm	250 µm
1 mm	500 µm
2 mm	1 mm
4 mm	2 mm
8 mm	4 mm
16 mm	8 mm
31.5 mm	16 mm
63 mm	
125 mm	

Seula-analyysissa käytettävän näytteen määrä riippuu seulottavan aineen karkeudesta. Nyrkkisääntö on, että näytteen määrän täytyy olla vähintään 100-kertainen, verrattuna seulottavan materiaalin suurimpiin rakeisiin. (esim. 5 mm → 500 g). /9, s. 39./

Seulonnassa käytetään yleensä vähintään viittä erikokoista seulaa. Seulonta tehdään seulasarjalla, jossa on pinottu tärytinlaitteen päälle erikokoisia seula-astioita pienimmästä suurimpaan. Keräilyastia tulee alimmaiseksi. Seula sarjaa ravistettaessa rakeet jäävät sille seula-astialle, jota ne eivät kykene läpäisemään. Seula-astioille jääneet rakeet punnitaan ja tuloksena saadaan suhteellinen osuus kokonaismassasta tietyllä raekoolla. Kuvassa 18 on esitetty tavanomainen seulontalaitteisto seula-astioineen. /9, s. 39./

Heavy Duty Analytical Sieve Shaker ANALYSETTE 18

Order number: 18.2020.00

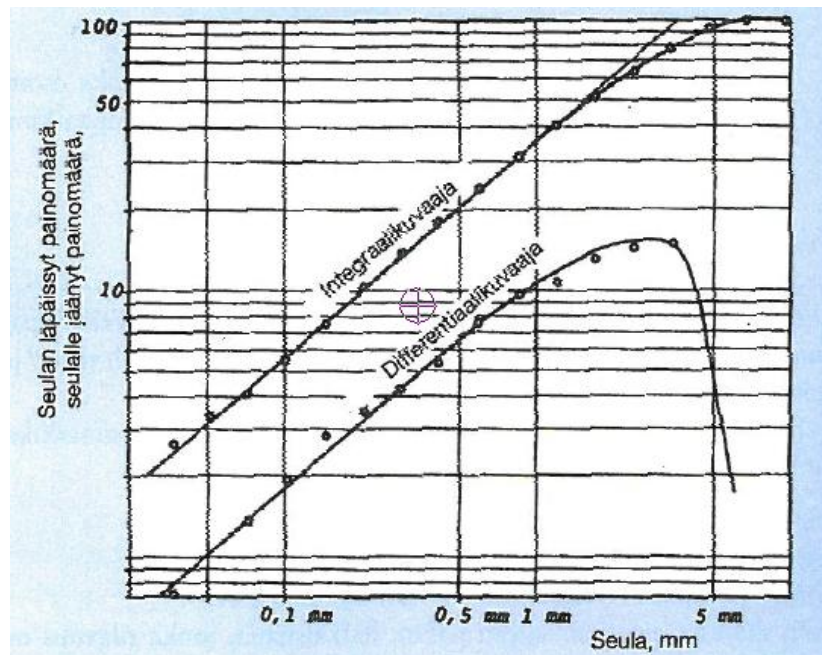
Price: [View price](#)



Description	Technical data	Accessories	Download
Voltage/connection values:	230 V/1~ 115 V/1~		
Frequency:	50 Hz 60 Hz		
Input Power:	480 W 290 W		
Analysis process:	Dry Sieving		
Measurement range:	20 µm- 125 mm		
Max. sample quantity: (approx.)	6 kg		
Sieving time: (approx.)	5 - 60 min		
Max. weight of sieve stack:	25 kg		
Amplitude:	1.8 mm, fixed		
Sieve diameters:	200 mm, 300 mm, 315 mm, 350 mm, 400 mm and 8", 12", 16", 18"		
Max. number of sieves per sieve stack:	7 (65 mm height)		
Max. height of sieve stack:	520 mm		
Dimensions: (W x D x H)	Floor instrument 58 x 58 x 39 cm		
Net weight:	92 kg		

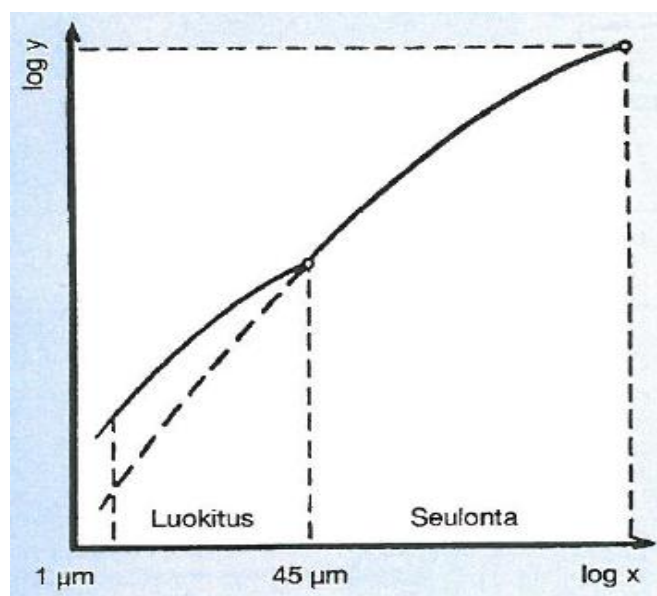
Kuva 18. Tavanomainen seulontalaitteisto seula-astioineen sekä tekniset tiedot /2/

Seulonnan tulokset voidaan esittää graafisessa muodossa, joka on havainnollinen esitystapa. Kun seulalle jäänyt ainemäärä esitetään y-akselilla ja rae- eli seulakoot x-akselilla saadaan kuvaaja (differentiaalikuvaaja), joka esittää rakeiden jakauman raeluokkien kesken. Jos y-akselilla esitetään kunkin seulan läpäissyt kokonaisprosenttimäärä, on kyseessä integraalikuvaaja. Kuvassa 19 on esitetty esimerkit integraali- ja differentiaalikuvaajasta. /9, s. 39./



Kuva 19. Seula-analyysin tulosten graafinen esitys /9, s. 38/

Normaalin laboratorioseulonnan tulokset esitetään yhden desimaalin tarkkuudella. Kuvajissa käytetään logaritmiasteikkoa, koska raekoko on erittäin pieni pienimmillä seuloilla. Seulojen toiminta-alue ulottuu $45\ \mu\text{m}$:iin asti ja hienompiin raekoko luokkiin päästään luokitusanalyysin avulla. Kuvassa 20 on esitetty seula-analyysin ja luokitusanalyysin vertailu. /9, s. 39./



Kuva 20. Seula-analyysin ja luokitusanalyysin vertailu /9, s. 39/

5.5. Liettoseulonta

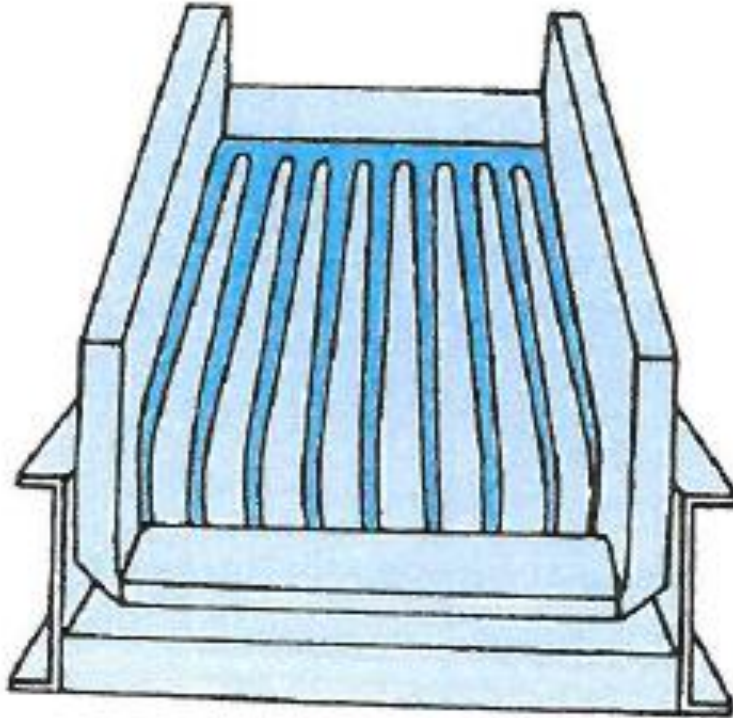
Liettoseulontaa käytetään, kun analysoitavassa näytteessä on runsaasti hienoa ainesta. Liettoseulonta tehdään yleensä hienoimmalla analyysiin käytettävistä seuloista. Liettoseulonnalla lisätään seula-analyysin tarkkuutta poistamalla seulottavasta materiaalista hienoin aines ennen kuivaseulontaa. Liettoseulonnassa seulottava materiaali lietetään veteen, jonka jälkeen liete seulotaan hienoimmalla seulalla ja seulan läpäissyt materiaali kuivataan ja punnitaan. Seulalle jäänyt materiaali punnitaan ja sille suoritetaan tavallinen kuivaseulonta. Aineita, jotka muuttuvat veden vaikutuksesta, ei voi käsitellä liettoseulonnalla. /10, s. 30./

5.6. Säleiköt

Kiinteä säleikkö on yksinkertaisin seula ja se on suunniteltu karkean murskeen seulontaan. Kiinteä säleikkö muodostuu ryhmästä yhdensuuntaisia tai melkein yhdensuuntaisia säleitä tai palkkeja, jotka ovat tuettuja molemmista päistään ja kaltevuudeltaan sopivia. Säleinä käytetään esimerkiksi järeitä I-palkkeja, ratakiskoja tai sopivasti muotoiltuja kappaleita. Tavallisesti säleikön kaltevuus on 35 – 45 astetta. Kaltevissa säleiköissä voidaan leventää säleiden välejä ja tehdä säleet poikkileikkaukseltaan kiilamaisiksi, jotta saataisiin vähennetty lohcareiden kiilautumista säleiden väliin. Kiinteää säleikköä on käytetty esimurskauksen yhteydessä erottamaan suurimmat lohcareet ennen esimurskausta. Säleiköistä on nykyään luovuttu, koska esimurskaimet on tänä päivänä yleensä mitoitettu suurimpien lohcareiden mukaan. Samalla suurien lohcareiden rikottamista on voitu vähentää. /9, s. 41./ ja /9, s. 120./

Tärysäleikkö on myös suunniteltu karkean murskeen käsittelyä varten. Tärysäleikkö muodostuu joukosta rinnakkaisia säleitä kiinnitettynä laitteen runkoon eli kehykseen. Tärysäleikköä tärytetään epäkeskomekanismin avulla. Säleikön ja sen rungon väliin asennettavilla jousilla estetään tärinän siirtyminen muihin rakenteisiin. Tärysäleikön pinta on kaltevana myötävirtaan. Tärysäleikön avulla voidaan hienoaines erottaa murskeesta ennen

murskainta laitteen toimiessa samalla syöttimenä. Kuva 21 esittää tärysäleikköä. /9, s. 41./ ja /9, s. 120./



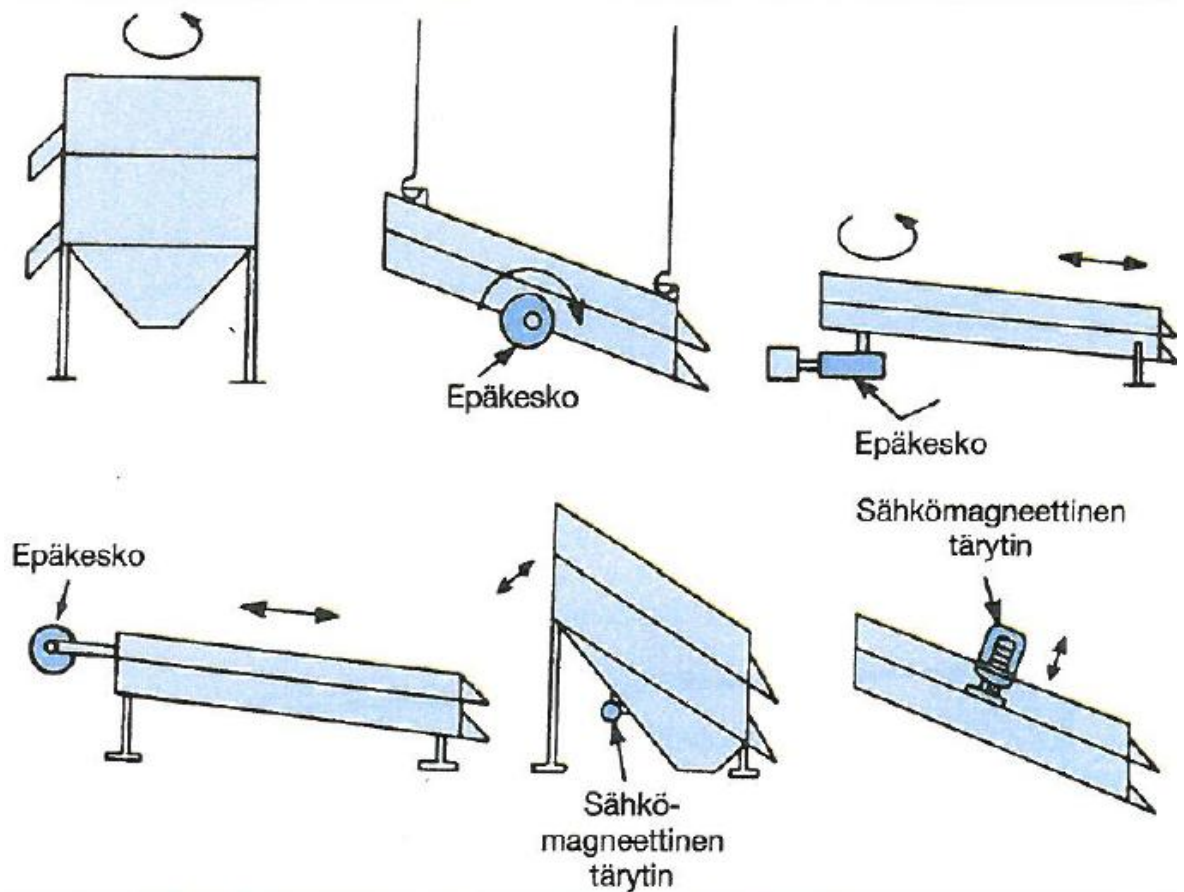
Kuva 21. Tärysäleikkö /9, s. 40/

5.7. Epäkeskotäryseulat

Epäkeskotäryseulat soveltuvat karkeaan ja keskikarkeaan seulontaan 250 mm raekoosta alaspäin. Seulakehykseen on kiinnitetty esim. 1 – 3 seulapintaa, joista karkein on ylimpänä. Epäkeskoseulan liikkeen iskunpituus on 3 – 10 mm ja nopeus 900 – 1500 värähdystä minuutissa. Jotta seulan toiminta saataisiin jatkuvaksi, seula asennetaan kallelleen myötävirtaan. Kaltevuus on tavallisesti 10 – 12 astetta, mutta voi olla jyrkempikin, jopa 30 astetta. /9, s. 42./

Seulojen täryliike voidaan muodostaa myös vaihtovirtamagneetilla. Vaihtovirran taajuuden ollessa 50 Hz on virtajaksojen lukumäärä $50 \times 60 = 3000$ 1/min. Tällöin seulan nopeus on

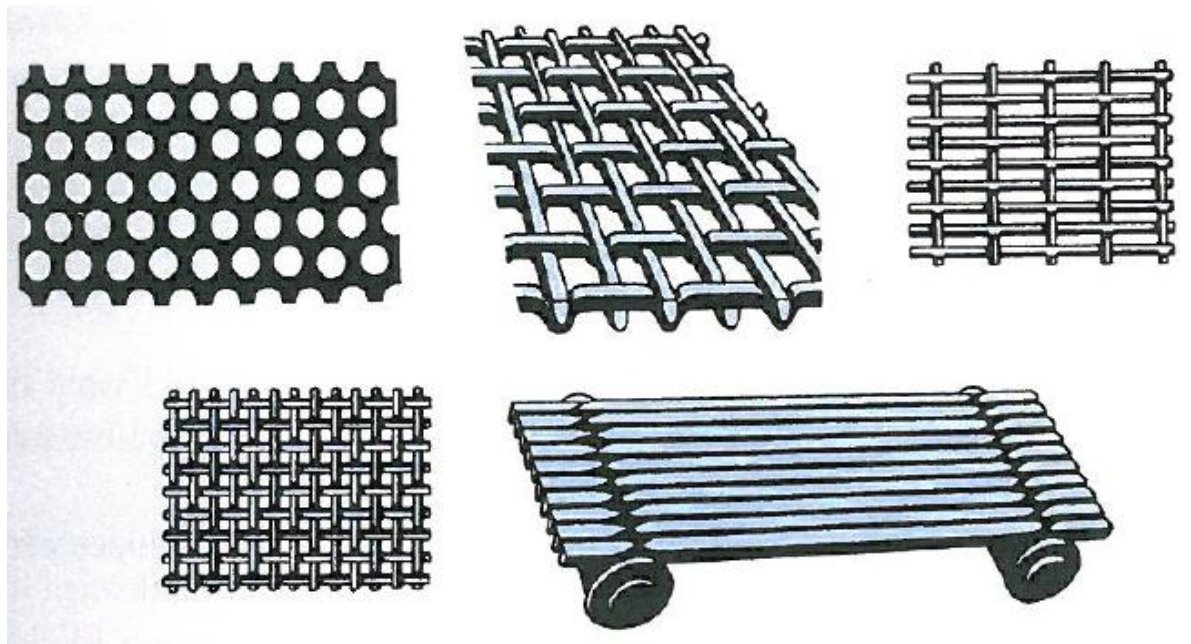
6000 värähdystä minuutissa, koska siniaallon jokaiseen virtajaksoon sisältyy kaksi virtahuippua. Kuvassa 22 on esitetty seulojen erilaisia tärytysmekanismeja. /9, s. 42./



Kuva 22. Erilaisia seulojen tärytysmekanismeja /9, s. 42/

5.8. Seulapinnat

Seulapinnan rakenne ja materiaali valitaan seulottavan materiaalin laadun ja karkeuden, seulontatavoitteen sekä seulontalaitteen vaatimuksien mukaan. Hieno- tai keskikarkeaan seulontaan käytetään yleisimmin kudottuja ja metallisia seulakankaita. Materiaalina käytetään esim. terästä. Seula-aukot ovat yleensä joko neliön tai suorakaiteen muotoisia. Karkeaan seulontaan käytetään yleensä lävistettyjä levyjä. Seulatason seulapintana voidaan käyttää myös kumi- ja polyuretaanimoduuleja. Seulapintoja voidaan myös valmistaa poikkileikkaukseltaan pyöreistä tai kiilamaisista tangoista. Kuvassa 23 on erilaisia seulapintoja. /9, s. 42 - 43./



Kuva 23. Erilaisia seulapintoja /9, s. 43/

6. LUOKITUS

Luokituksessa hienojakoinen materiaali lajitellaan kahdeksi tai useammaksi tuotteeksi partikkeleiden vajoamisominaisuuksien perusteella. Luokittaisessa käytetään väliaineena joko nestettä tai kaasua. Useimmiten väliaineena käytetään vettä tai ilmaa. Tällöin on kyse hydraulisesta tai pneumaattisesta luokituksesta. /9, s. 43./

Väliaineen aiheuttama vastus kasvaa vajoamisnopeuden kasvaessa, kun kappale vajoaa väliaineessa. Vajoamisnopeus kasvaa siihen asti, että saavutetaan nopeus, jolloin maan vetovoiman vaikutus ja väliaineen aiheuttama vastus ovat yhtä suuria. Tämän jälkeen kappale vajoaa vakionopeudella. /9, s. 43./

Kappaleen vajotessa tyhjiössä suoraan alaspäin, sen nopeus kasvaa rajattomasti, riippuen pelkästään putoamismatkasta:

$$v = \sqrt{2gh} \quad (7)$$

missä

v = kappaleen nopeus

h = putoamismatka (m)

g = maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyyys, $9,81 \text{ m/s}^2$. /9, s. 44./

Silloin kun kappaleen vajoaminen tapahtuu väliaineessa, jossa kiintoainehiukkasten lukumäärä on pieni, tapahtuu vajoaminen nopeampaa kuin väliaineessa, jossa kiintoainehiukkasia on paljon. Kiintoainehiukkasten vajoamisnopeuteen eli laskeutumisenopeuteen väliaineessa vaikuttavat mm.:

- kiintoaineen tiheys
- rakeiden läpimitta ja muoto
- väliaineen tiheys ja viskositeetti. /9, s. 44./

Kiintoainepartikkelien vajoaminen laajalle ulottuvassa ja tyynessä väliaineessa tapahtuu ns. Stokesin lain mukaan seuraavasti (laki koskee raekokoa $0,063 \text{ mm}$:stä alaspäin):

$$v = s_L/t_L = (\rho_k' - \rho_k)gx^2/18\mu \quad (8)$$

missä

v_{ki} = kiintoainehiukkasen laskeutumisen loppunopeus (cm/s)

s_L = laskeutumismatka, cm

t_L = laskeutumisaika, s

ρ_k' = kiintoainehiukkasen tiheys (g/cm^3)

ρ_k = väliaineen tiheys (g/cm^3)

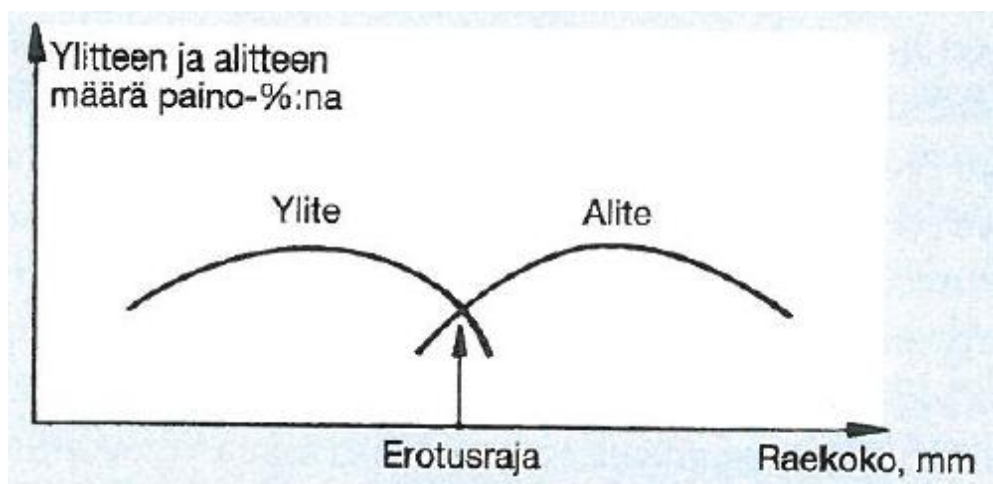
g = maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys, $9,81 \text{ m/s}^2$

x = rakeen läpimitta (cm)

μ = väliaineen dynaaminen viskositeetti ($\text{g/cm}^*\text{s}$, poise). /9, s. 44./

Edellä olevan kaavan avulla voidaan laskea kiintoainehiukkasten raekoko, laskeutumisnopeus tai laskeutumismatka, kun tiedetään, mitä laskeutuva materiaali on ja kuinka suuren matkan materiaali laskeutuu. /9, s. 44./

Luokituksen erotusrajan avulla ilmoitetaan se raekokoraja, jota pienemmät rakeet joutuvat ylitteeseen ja jota pienemmät rakeet alitteeseen. Kuvassa 24 on esitetty luokituksen erotusraja luokittimen alitteen ja ylitteen raekokojakautuman avulla. /9, s. 45./



Kuva 24. Luokituksen erotusraja /9, s. 44/

On tärkeää huomata, että luokituksessa ylitteellä ja alitteella on päinvastainen merkitys kuin seulonnassa. Luokittamista käytetään huomattavasti pienemmälle raekokoalueelle kuin seulontaa. Kuvassa 25 on havainnollistettu seulonnan ja luokituksen ylitteiden ja alitteiden välistä eroa. /9, s. 45./

	<i>Ylite</i>	<i>Alite</i>
<i>Seulonta</i>	karkea	hieno
<i>Luokitus</i>	hieno	karkea

Kuva 25. Ylitteen ja alitteen nimitykset seulonnassa ja luokituksessa /9, s. 45/

6.1. Luokittimet

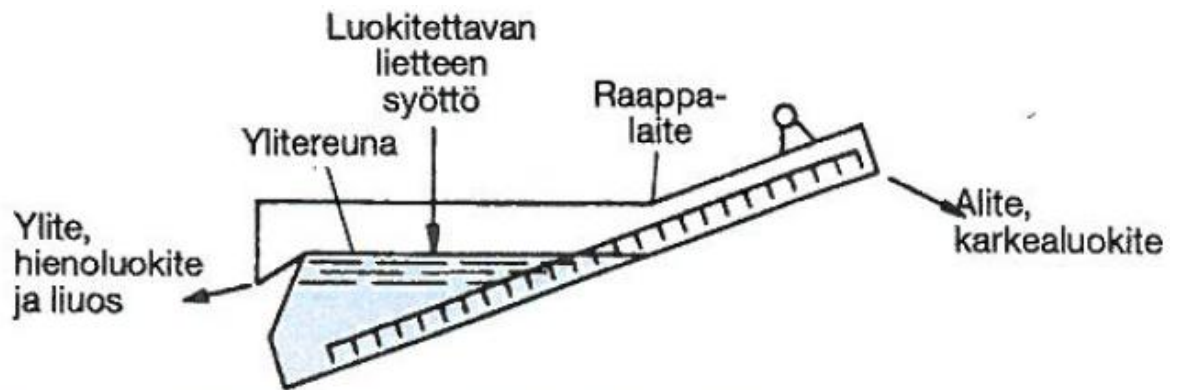
Luokittimet jaetaan kahteen pääryhmään sen mukaan, tapahtuuko luokitus nesteessä vai kaasussa. Luokituksessa hienot raekokoluokat erotetaan karkeista raekokoluokista tai useammat erilliset suhteellisen karkeat raeluokat erotetaan toisistaan ja hienoista raeluokista paino- ja/tai keskipakovoiman avulla. Luokittuminen perustuu kiintoainehiukkasten erilaiseen etenemisnopeuteen väliaineessa. Luokituksessa käytettävät laitteet ryhmitellään hydraulisiin ja pneumaattisiin luokittimiin:

- hydrauliset luokittimet
 - raappaluokitin
 - spiraaliluokitin
 - hydrosykloni
- pneumaattiset luokittimet
 - aerosykloni
 - mekaaninen ilmaluokitin. /9, s. 45./

6.1.1. Hydrauliset luokittimet

Raappaluokitin on hydraulinen luokitin. Sen osat ovat allas, raapat ja raappoja käyttävät mekanismit. Karkea materiaali kulkeutuu raappojen työntämänä vastamäkeen poistuen luokittimen avoimen päädyn kautta, kun taas luokitettu liete juoksee päätyseinän yli ränniin. Raappatangot on kiinnitetty käyttömekanismiin, johon kuuluu moottori sekä edestakaisessa liikkeessä oleva pääkannatin. Raapat liikkuvat edestakaista suorakaiteen muotoista rataa pitkin. Raapat kuljettavat materiaalia altaan pohjalta ylöspäin. /9, s. 45 - 46./

Raappaluokittinta säädetään muuttamalla lietetiheyttä, lietteen flokkulaatio- dispersioastetta, raappojen iskutiheyttä ja ylitereunan korkeutta. Raappaluokittimen luokitusraja on yleensä välillä 0,15 – 0,8 mm. Kuvassa 26 on esitetty raappaluokittimen toimintaperiaate. /9, s. 46./

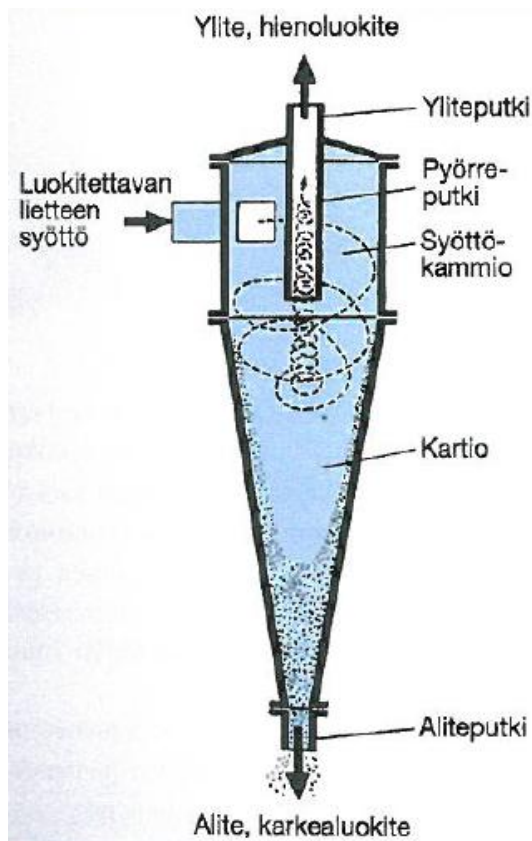


Kuva 26. Raappaluokittimen toimintaperiaate /9, s. 46/

Spiraaliluokitin koostuu kaltevaan asentoon sijoitetusta altaasta sekä yhdestä tai kahdesta rinnakkaisesta spiraalista, joiden akselin jatkeena on hammaspyörästä. Luokitettava liete syötetään altaaseen luokittimen sivussa olevaa ränniä pitkin. Spiraali pyörii hitaasti työntäen altaaseen laskeutunutta materiaalia ylöspäin ja karkean materiaali poistuu luokittimen yläosasta. Käynnistystilanteiden helpottamiseksi voidaan luokittinta nostaa sen alapäästä. Spiraalin pyörimisnopeus on tavallisesti 2-10 1/min. Spiraaliluokitin voidaan myös varustaa nopeuden säädöllä. /9, s. 46./

Kun luokitetaan hienojakoista materiaalia, on tehokkaampaa toteuttaa luokitus keskipakovoimaan perustuvalla luokitusmenetelmällä kuin painovoimaan perustuvalla. Käyttämällä

keskipakovoimaan perustuvaa luokitusmenetelmää voidaan päästä jopa 1 μm :n luokitusrajaan asti. Hydrosykloni on keskipakovoiman hyväksikäyttöön perustuva luokituslaite. Hydrosyklonissa suspensio pumpataan paineella tangentialisesti syklonin lieriömäiseen syöttökammioon. Syöttökammiossa suspensio joutuu nopeaan kiertoliikkeeseen, jolloin keskipakovoima voittaa painovoiman, minkä seurauksena syntyy kaksi spiraalia. Suspension sisältämät rakeet luokituvat spiraaleissa rakeiden koon, muodon ja tiheyden mukaan. Hydrosyklonin toimintaperiaatetta on havainnollistettu kuvalla 27. /9, s. 48./



Kuva 27. Hydrosyklonin toimintaperiaate /9, s. 47/

Lietespiraalin keskellä on ilmasydän, jossa vallitsee alipaine. Raskaammista aineosista muodostuneen ulomman spiraalin aksiaalinen virtaus etenee kohti kartion aliteputkea, jonka kautta karkea liete purkautuu ulos syklonista. Kevyemmistä rakeista muodostunut sisempi spiraali purkautuu ulos syklonista aksiaalisena ylittevirtauksena pyörreputken ja yliteputken kautta. Alitteen määrä riippuu aliteputken halkaisijasta siten, että mitä pienempi on halkaisija, sitä pienempi on alitevirtaus. Mitä pienempi pyörreputken halkaisija on, sitä pienempi on syklonin erotusraja sekä kapasiteetti. Myös lietteen syöttönopeus ja erotuskar-

tion huippukulma (20 – 30°) vaikuttavat erotusrajaan. Kuvassa 28 on esitetty hydrosyklonipatteristo. /9, s. 48./



Kuva 28. Hydrosyklonipatteristo (Boliden) /9, s. 48/

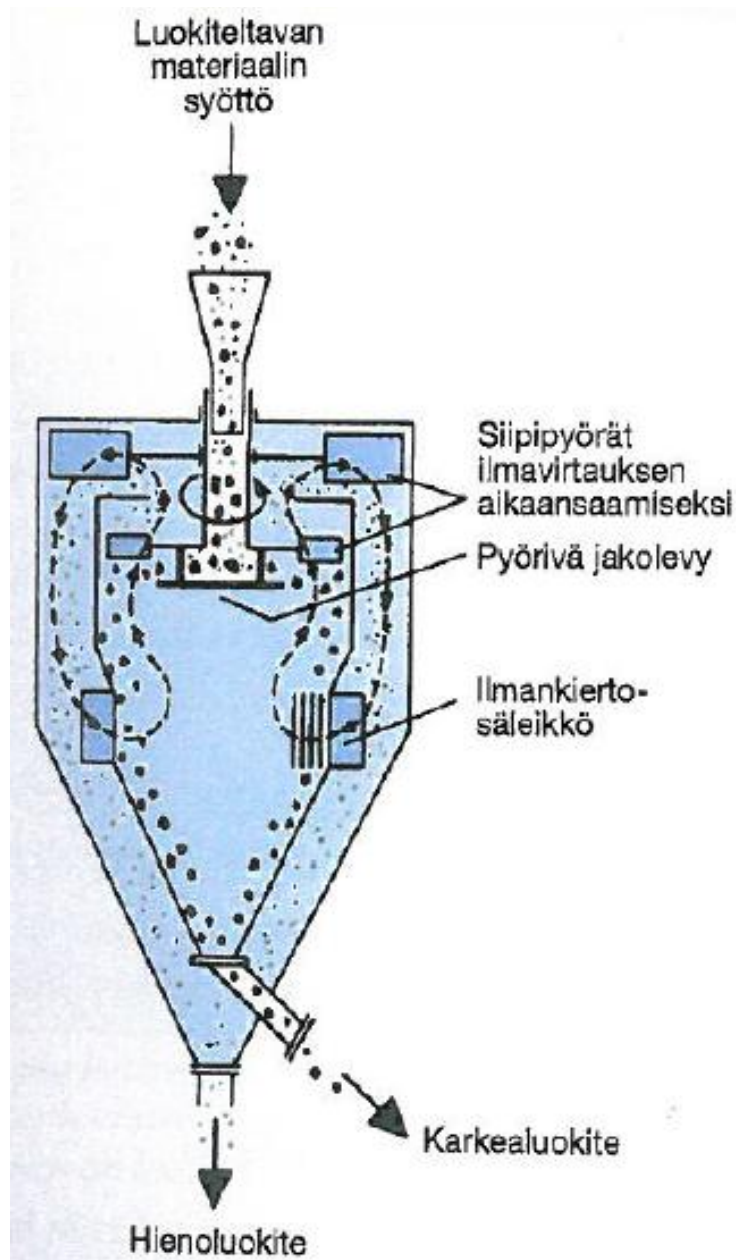
Syklonin valvonnan ja ohjauksen kannalta tärkeimpiä asioita ovat lietteen tiheys sekä syöttöpaine. Mitä pienempää laitetta käytetään, sitä pienempi on erotusraja sekä kapasiteetti. Syöttöpaineen kasvaessa erotusrajaa edustava raekoko pienenee. Sykloneilla korvataan raappa- ja spiraaliluokittimia aina 10 µm:n raekokoon saakka. /9, s. 48./

6.1.2. Pneumaattiset luokittimet

Sykloneja voidaan käyttää myös pneumaattiseen luokittamiseen. Aerosykloni on laite, jossa kaasun ja kiinteän aineen erotus tapahtuu keskipakovoiman avulla vastaavalla tavalla kuin hydrosyklonissa. /9, s. 49./

Mekaanisen ilmaluokittimen toiminta perustuu hiukkasten laskeutumisnopeuteen ilmassa. Nopeasti pyörivälle lautasella syötetään luokitettavaa materiaalia, joka sinkoutuu sisäsyylinteriä kohti. Suurin keskipakovoima vaikuttaa karkeimpiin hiukkasiin, jotka sinkoutuvat sisäsyylinterin seinämää vasten ja siitä edelleen alaspäin poistuen karkealuokitteena

sivuputkesta. Luokittimen sisälle syntyy ylöspäin suuntautuva ja sisäsylinterin pintaa pitkin kulkeva ilmavirtaus pyörivän tuulettimen vaikutuksesta. Ilmavirtaus ottaa mukaansa hienoimman jakeen, joka kulkeutuu sisä- ja ulkosylinterin väliseen tilaan. Hienojae erottuu ja poistuu luokittimesta ilmavirtauksen palatessa takaisin sisäsylinteriin. Kuvassa 29 on esitetty mekaanisen ilmaluokittimen toimintaperiaate. /9, s. 49./



Kuva 29. Mekaanisen ilmaluokittimen toimintaperiaate /9, s. 49./

7. KAIVOSALAN PERUSTUTKINTO

Kaivosalalla tarvitaan ammattilaisia mm. louhintaan, rikastukseen, kaluston kunnossapitoon, tuotannon käynnissäpitoon ja prosessien ohjaukseen. Valmistuneiden työpaikkoina voivat olla erilaiset prosessinohjaustehtävät teollisuudessa, malmin jalostus rikastamoissa, louhinta ja erilaiset maanrakennustyöt kaivoksilla sekä kunnossapitotehtävät teollisuudessa tai muissa yrityksissä. /1/

7.1. Kaivosalan perustutkinnon tavoitteet

Kaivosalan perustutkinnon tavoitteena on antaa tutkinnon suorittaneelle henkilölle perustiedot sekä valmiudet toimia erilaisissa perustehtävissä kaivosalalla. Kaivosalan perustutkinto antaa valmiudet ammattitaidon edelleen kehittämiseen. Tutkinnon suorittanut on luotettava, laatu tietoinen, oma-aloitteinen sekä asiakaspalvelu- ja yhteistyöhenkinen. Hän on sopeutuvainen ja osaa soveltaa oppimiaan taitoja ja tietoja vaihtelevissa työelämän tilanteissa. Hän pystyy ottamaan huomioon muiden sidosryhmien työtehtävät omassa työssään sekä näkemään oman työnsä osana laajempia tehtäväkokonaisuuksia. Kaivosalan osaaja tekee työnsä kaivosalan laatuvaatimusten mukaisesti. Hän myös käsittelee materiaaleja huolellisesti ja taloudellisesti. Hän tuntee jatkojalustus prosessien asettamat vaatimukset ja osaa tehdä työnsä suunnitelmien ja piirustusten mukaan. /6, s. 4./

Kaivosalan perustutkinnon suorittanut osaa lukea sekä prosesseihin että kaivosrakentamiseen liittyviä dokumentteja. Hänellä on mittaustöissä, kaivosrakentamisessa ja rikastustehtävissä tarvittavat matemaattiset valmiudet sekä kemian ja fysiikan perustiedot. Hänellä on myös monipuoliset tekniset perusvalmiudet käyttää ja huoltaa alan laitteita. Kaivosalan perustutkinnon suorittanut toimii erilaisissa vuorovaikutustilanteissa yhteistyökykyisesti ja ilmaisee näkökantansa selkeästi sekä luottamusta herättäen. /6, s. 4./

Kaivosalan perustutkinnon suorittanut ottaa tarkkaan huomioon työturvallisuuden sekä työkyvyn edistämisen. Alan ammattilaiseksi kehittyminen tapahtuu työssä oppimisen kautta. Ympäristötietoisuus kaivosalalla edellyttää alan osaajilta tietoja eri materiaalien omi-

naisuuksista ja kestäväen kehityksen periaatteista. Kaivosalan perustutkinnon suorittanut osaa vastata kysymyksiin materiaalin tai tuotteen valmistuksen, käytön ja hävittämisen yhteydessä syntyvistä päästöistä ja jäteongelmista. Tietotekniikan ja automaationjärjestelmien hallinta on kaivosalan perustutkinnon suorittaneella riittävää, jotta hän suoriutuu työtehtävistä. /6, s. 4./

Kansainvälisen kaivosalan osaajan taitoja ovat yhden vieraan kielenhallinta, kohdemaan kulttuurin ymmärtäminen, palveluattius sekä kyky mukautua erilaisiin olosuhteisiin. Lisäksi ammatillisessa peruskoulutuksessa tulee tukea opiskelijoiden kehitystä hyviksi ja tasapainoisiksi ihmisiksi ja yhteiskunnan jäseniksi sekä antaa opiskelijoille jatko-opintojen, harrastusten sekä persoonallisuuden monipuolisen kehittämisen kannalta tarpeellisia tietoja ja taitoja sekä tukea elinikäistä oppimista. /6, s. 4./

7.2. Kaivosalan opintojen suorittaminen

Kaivosalan perustutkinnon opinnot kestävät 2 – 3 vuotta riippuen aikaisemmasta koulutuksesta. Jos opiskelijalla on aikaisempi ammatillinen perustutkinto tai ylioppilastutkinto, opinnot kestävät 2 vuotta. Mikäli opiskelija haluaa syventää ja laajentaa osaamistaan valinnaisilla ammatillisilla tutkinnon osilla, opintoaika pitenee sen mukaisesti. /6, s. 9./

Opiskelijalla on mahdollisuus suorittaa ammattilukio-opinnot eli lukion oppimäärän tai ylioppilastutkinnon. Edellä mainitut opinnot kestävät 3 – 4 vuotta riippuen opiskelijan aikaisemmista opinnoista. Lukio-opinnot tapahtuvat ns. vaihtojaksoperiaatteella eli opiskelija suorittaa vuorotellen ammattiopintoja ja lukio-opintoja. Opinnot järjestetään yhdessä alueen muiden ammatillisten oppilaitosten ja lukioiden kanssa periaatteella, jossa lukuvuositain sovitaan yhteisesti ne jaksot, jolloin ammattilukiolaiset opiskelevat lukiossa. /6, s. 9./

Opiskelijalla on mahdollisuus suorittaa opintoja myös muista ammatillisista tutkinnoista sisällyttäen ne vapaasti valittaviin opintoihin tai valinnaisiin tutkinnon osiin ainakin me-

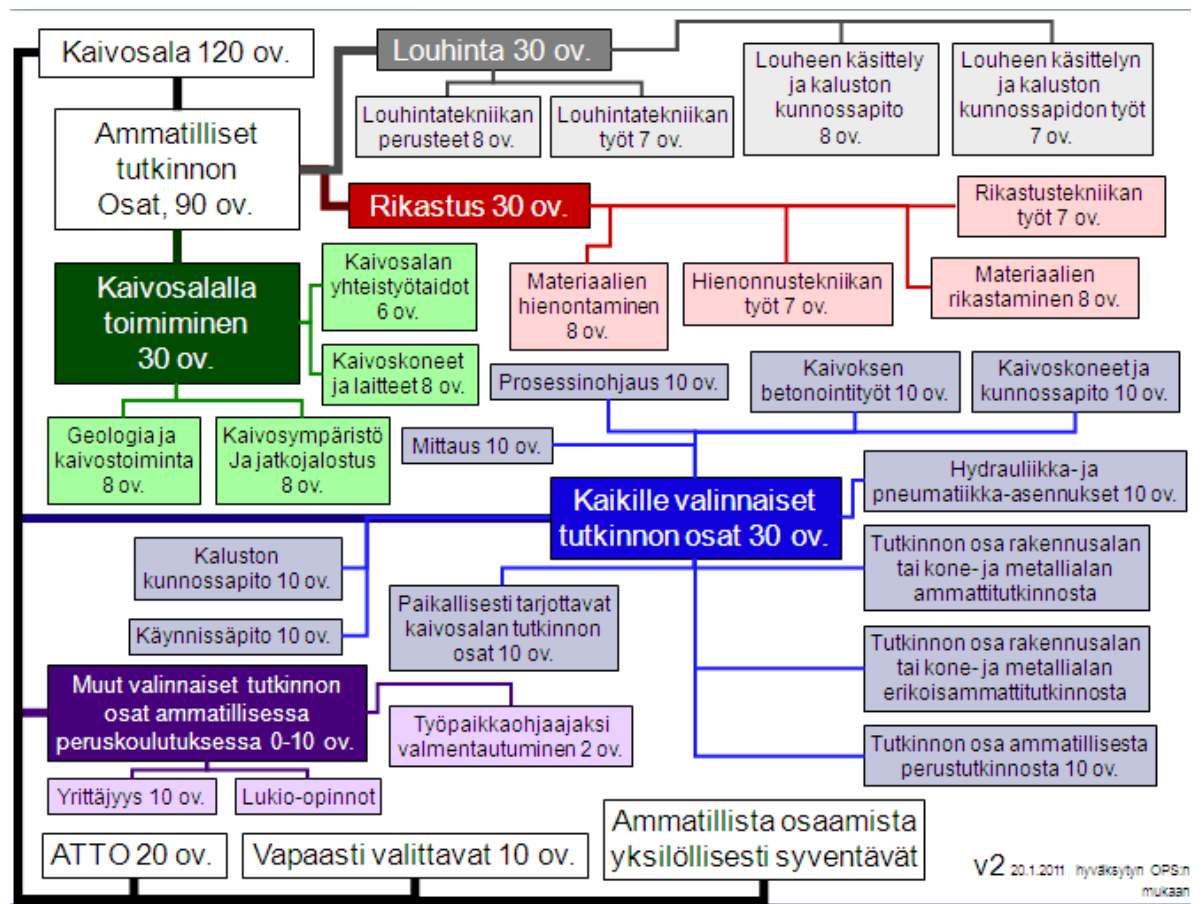
talli-, sähkö-, kunnossapito- ja rakennusalan vuosittaisen opetustarjonnan puitteissa. /6, s. 9./

Lisäksi jokaiseen kaivosalan tutkintoon sisältyy vähintään kahden opintoviikon laajuinen arvioitu päättötyö. Päättötyö on osa opiskelua ja se suoritetaan sen opintojakson aikana johon se aihepiiriltään sisältyy. Päättötyössä on sekä kirjallinen osa että kädentaidon tai muun ammatillisen osaamisen näyttö. /6, s. 10./

Opiskelija voi suuntautua joko rikastukseen tai louhintaan ja tutkintonimikkeinä ovat kaivosmies tai rikastaja. Kaivosmiehen ja rikastajan tutkintojen sisällön määrittelyt on esitetty liitteessä 9. /6, s. 11 - 12./

7.3. Kaivosalan opintojen järjestäminen

Kaivosalan ammatillinen tutkinto on 120 opintoviikkoa ja se muodostuu 15:stä 8 ov:n jaksosta. Koulutukseen sisältyy 3 jaksoa yleisaineita, 8-9 jaksoa ammatillista lähiopetusta ja 3-4 jaksoa työssäoppimista työpaikoilla. Työssäoppimisjaksot arvioidaan yhdessä työnantajan kanssa ja arvosanat yhdistetään siihen tutkinnon osaan, johon opintojakso kuuluu. Työssä oppimalla voi opiskella osia ammatillisen tutkinnon osista sekä vapaasti valittavia opintoja. Kuvassa 30 on esitetty Ammattiopisto Lappian tarjoaman kaivosalan perustutkinnon sisältö ja rakenne. /6, s. 13./



Kuva 30. Ammattiopisto Lappian kaivosalan koulutuksen sisältö ja rakenne

8. MATERIAALIEN HIENTAMISEN OPPIMISTAVOITTEIDEN ANALYSOINTI JA JALOSTAMINEN

Olen kuvannut tässä kappaleessa materiaalien hientamisen opintokokonaisuuden järjestykset ja etenemisen. Tässä kappaleessa myös kaivosalan perustutkinnon tutkintokohtaisessa opetussuunnitelmassa materiaalien hientamisen opintojaksolle määritellyt oppimisen tavoitteet analysoidaan, muokataan ja jalostetaan oppimisprosessin tarkempaa suunnittelua varten ja näin luodaan pohja tarkalle opettajakohtaiselle pedagogisten mallien mukaiselle oppimisprosessin sekä oppimistilanteiden suunnittelulle.

Oppimistavoitteiden analysoinnissa ja jalostamisessa on sovellettu Hanne Kolin ja Pasi Silanderin Verkko-opetuksen työkalupakki kirjassa esitettyä tekniikkaa. Olen suorittanut materiaalien hientamisen oppimistavoitteiden analysoinnin ja jalostamisen vaiheittain seuraavasti:

1. opetussuunnitelmassa esitettyjen tavoitteiden avaus oppimisprosessin suunnittelua varten
2. oppimisprosessia jäsentävien teemojen muodostaminen
3. teemojen tavoitteiden mukaisen ydinsisällön määrittäminen /12, s. 9 - 22./

8.1. Materiaalien hientamisen opintokokonaisuuden rakenne ja eteneminen

Materiaalien hientamisen opintojakso on osa rikastustekniikan 30 ov:n opintokokonaisuutta. Materiaalien hientamisen opetus koostuu 8 opintoviikon pituisesta ammatillisesta lähiopetuksesta, joka pitää sisällään teoriaopetusta ja käytännön läheistä laboratorio-opetusta. Teoriaopetus sekä käytännön läheinen laboratorio-opetus antaa pohjan työpaikoilla tapahtuvalle työssäoppimiselle. Kuvassa 31 on esitetty materiaalien hientamisen opetuksen rakenne ja eteneminen.



Kuva 31. Materiaalien hienontamisen opetuksen rakenne ja eteneminen

8.2. Opetussuunnitelman tavoitteiden avaus oppimisprosessin suunnittelua varten

Materiaalien hienonnuksen opetuksen suunnittelu lähtee liikkeelle opetussuunnitelman tavoitteista ja sisällöstä. Opintojakson oppimisen tavoitteet on ilmaistu opetussuunnitelmassa lauseina joissa kuvataan, mitä oppija osaa, ja hallitsee opintokokonaisuuden lopussa. Tavoitteet on kirjoitettu sellaiseen muotoon, että oppijan ja kenen tahansa, joka ei ole rikastustekniikan asiantuntija, on vaikea ymmärtää millaisia yksittäisiä osa-alueita ja osatavoitteita tavoitelauseet pitävät sisällään eli yksittäisen tavoitteen sisällään pitämisen asiakokonaisuuden hahmottaminen on hankalaa. Opintojakson tavoitteiden ymmärtäminen ja asiakokonaisuuksien hahmottaminen on välttämätöntä opettajalle sekä oppilaille. Selkeät ja ymmärrettävät tavoitteet ovat tärkeitä myös oppilaan motivaation kannalta.

Kysymyksien avulla saadaan tuotua ongelmakeskeisyys tulevaan oppimisprosessiin. Kysymykset aktivoivat oppilaan ja opettajan etsimään vastauksia oppimisen tavoitteena olevaan asiakokonaisuuteen. Taulukossa 3 on materiaalien hienontamisen opintokokonaisuuden opetussuunnitelmassa esitetyt tavoitteet avattu ja muutettu teemoitusta varten useiksi kysymyksiksi, jotka helpottavat tavoitteiden käsittämistä ja niiden takana olevan asiakokonaisuuden hahmottamista.

Taulukko 3. Materiaalien hienontamisen opetussuunnitelman tavoitelauseet avattuna kysymyksiksi

Opetus-suunnitelman tavoitelauseet	Kysymykset
<p>Tavoitelause 1</p> <p>”Opiskelija osaa käyttää seulakonetta ja seulasarjaa raekokoanalyysin suorittamiseen.”</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Miksi on tärkeää osata käyttää seulakonetta ja seulasarjaa raekokoanalyysin suorittamiseen? 2. Mikä on seulakone? 3. Mikä on seulasarja? 4. Mikä on raekokoanalyysi? 5. Mihin seulakonetta, seulasarjaa ja raekokoanalyysia käytetään? 6. Mitä on seulonta? 7. Mitä raekoko tarkoittaa? 8. Miten seulonta liittyy materiaalien hienontamiseen ja rikastamiseen? 9. Miten raekokoanalyysi tehdään?
<p>Tavoitelause 2</p> <p>”Opiskelija hallitsee kiinteän yhteyden pidon muihin prosessin hoitajiin ja seuraaviin yksikköprosesseihin.”</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Miksi on tärkeää hallita kiinteä yhteydenpito muihin prosessinhoitajiin? 2. Miksi on tärkeää ymmärtää seuraavien yksikköprosessien yhteys hienonnutusprosessiin? 3. Mitä ovat hienonnutusprosessin jälkeiset yksikköprosessit? 4. Mitkä ovat hienonnutusprosessista vastaavan prosessinhoitajan tehtävät?
<p>Tavoitelause 3</p> <p>”Opiskelija osaa tarkastaa ja vaihtaa seula- verkot, syklonien aliteaukot ja vuoraukset.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Miksi on tärkeää osata tarkastaa ja vaihtaa seula- verkot? 2. Miksi on tärkeää osata tarkastaa ja vaihtaa syklonien aliteaukot ja vuoraukset?

	<ol style="list-style-type: none"> 3. Mikä on seulaverkko? 4. Mitä ovat syklonin aliteaukko ja vuoraukset? 5. Mikä seula ja mihin sitä käytetään? 6. Mikä on sykloni ja mihin sitä käytetään?
<p>Tavoitelause 4</p> <p>”Opiskelija osaa paikallistaa ja poistaa yleisimpiä murskaus ja jauhatuspiirin häiriöitä.”</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Miksi on tärkeää osata paikallistaa ja poistaa yleisimpiä murskaus ja jauhatuspiirin häiriöitä. 2. Mitä on murskaus? 3. Miksi materiaalia murskataan? 4. Miten materiaalin murskaus tapahtuu? 5. Millä materiaali murskataan? 6. Miten materiaalin murskaus tapahtuu? 7. Mitä on jauhatus? 8. Miksi materiaalia jauhetaan? 9. Millä materiaalia jauhetaan? 10. Miten materiaalin jauhatus tapahtuu? 11. Millaisia häiriöitä murskauspiirissä voi esiintyä? 12. Millaisia häiriöitä jauhatuspiirissä voi esiintyä? 13. Miten yleisimmät murskauspiirin häiriöt paikallistetaan ja poistetaan turvallisesti? 14. Miten yleisimmät jauhatuspiirin häiriöt paikallistetaan ja poistetaan turvallisesti?

<p>Tavoitelause 5</p> <p>”Opiskelija osaa toimia murskaus ja jauhatuspiirin prosessien hoitajana.”</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Miksi on tärkeää osata toimia murskaus ja jauhatuspiirin prosessien hoitajana? 2. Mitä täytyy asioita tietää ja hallita, jotta osaa toimia murskaus ja jauhatuspiirien prosessinhoitajana? 3. Mitä on murskaus? 4. Miksi materiaalia murskataan? 5. Miten materiaalin murskaus tapahtuu? 6. Millä materiaali murskataan? 7. Miten materiaalin murskaus tapahtuu? 8. Mitä on jauhatus? 9. Miksi materiaalia jauhetaan? 10. Millä materiaalia jauhetaan? 11. Miten materiaalin jauhatus tapahtuu?
--	--

Kun avataan oppimisen tavoitteita kysymysmuotoon, syntyy helposti valtava määrä kysymyksiä. Kysymyksiä voidaan muodostaa loputtomasti, mutta mielestäni on tarkoituksenmukaista rajata kysymykset koskemaan oppimistavoitteiden pääkokonaisuuksia, jotta ne toimisivat siten, kun niiden on tarkoitus, eli helpottavat tavoitteiden käsittämistä ja niiden takana olevien asiakokonaisuuksien hahmottamista.

8.3. Oppimisprosessia jäsentävien teemojen muodostaminen

Edellisessä kappaleessa muodostetut kysymykset on tässä kappaleessa yhdistetty ryhmiksi, jolloin on syntynyt jäsenneiltyjä teemoja. Teemat auttavat opettajaa ja oppilaita oppimisprosessin jäsentämisessä. Materiaalien hienontamisen opetusjakson teemojen muodostaminen on esitetty taulukossa 4. Teemaan 3 yhdistin myös materiaalin hienontamiseen liittyvät ilmiöt, vaikkei sitä mainittu kysymyksissä.

Taulukko 4. Materiaalien hienontamisen oppimisprosessia jäsentävien teemojen muodostaminen

Mitä opitaan? -kysymyslauseet	Kysymyslauseista muodostetut teemat
<ol style="list-style-type: none"> 1. Miksi on tärkeää osata käyttää seulakonetta ja seulasarjaa raekokoanalyysin suorittamiseen? 2. Mikä on seulakone? 3. Mikä on seulasarja? 4. Mikä on raekokoanalyysi? 5. Mihin seulakonetta, seulasarjaa ja raekokoanalyysia käytetään? 6. Mitä raekoko tarkoittaa? 7. Miten raekokoanalyysi tehdään? 	<p>T1: Seula-analyysit</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Miksi on tärkeää hallita kiinteä yhteydenpito muihin prosessinhoitajiin? 2. Mitkä ovat hienonnutusprosessista vastaavan prosessinhoitajan tehtävät? 3. Miksi on tärkeää osata toimia murskaus ja jauhatuspiirin prosessien hoitajana? 4. Millaisia häiriöitä murskauspiirissä voi esiintyä? 5. Millaisia häiriöitä jauhatuspiirissä voi esiintyä? 6. Miten yleisimmät murskauspiirin häiriöt paikallistetaan ja poistetaan turvallisesti? 7. Miten yleisimmät jauhatuspiirin häiriöt paikallistetaan ja poistetaan turvallisesti? 	<p>T2: Rikastamon prosessinhoitajan toimenkuva, työn haasteet sekä yhteistyö muiden sidosryhmien kanssa</p>

<ol style="list-style-type: none"> 1. Miksi on tärkeää ymmärtää seuraavien yksikköprosessien yhteys hienonnutusprosessiin? 2. Mitä ovat hienonnutusprosessin jälkeiset yksikköprosessit? 	<p>T3: Materiaalien hienonnutamiseen liittyvät ilmiöt sekä materiaalin hienonnutaminen malmin käsittelyn ja rikastutusprosessin osana</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Miksi on tärkeää osata tarkastaa ja vaihtaa seula verkot? 2. Mikä on seula verkko? 3. Mikä seula ja mihin sitä käytetään? 4. Mitä on seulonta? 8. Miten seulonta liittyy materiaalien hienonnutamiseen ja rikastamiseen? 	<p>T4: Seulonta</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Miksi on tärkeää osata tarkastaa ja vaihtaa syklonien aliteaukot ja vuoraukset? 2. Mitä ovat syklonin aliteaukko ja vuoraukset? 3. Mikä on sykloni ja mihin sitä käytetään? 	<p>T5: Luokitus</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Mitä on murskaus? 2. Miksi materiaalia murskataan? 3. Miten materiaalin murskaus tapahtuu? 4. Millä materiaali murskataan? 	<p>T6: Murskaus</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Mitä on jauhatus? 2. Miksi materiaalia jauhetaan? 3. Millä materiaalia jauhetaan? 4. Miten materiaalin jauhatus tapahtuu? 	<p>T7: Jauhatus</p>

8.4. Teemojen tavoitteiden mukaisen ydinsisällön määrittely

Ydinsisältöjen kuvauksissa olen tavoitellut mahdollisimman konkreettista, aihetta kuvaavaa, kattavaa ja selkeää ilmaisumuotoa. Ydinsisältöjä voidaan käyttää oppimisprosessin ja oppimistilanteiden yksityiskohtaisessa suunnittelussa ja toteutuksessa. Taulukossa 5 on jokaisesta teemasta edellisessä kappaleessa muodostettujen kysymysten pohjalta kuvattu oppimistavoitteinen mukainen ydinsisältö. Ydinsisältöjen ja teemojen sekä kysymysten ristiin tarkistuksella on varmistettu, että opetussisältö ja tavoitteet vastaavat toisiaan. Olen tässä vaiheessa järjestänyt teemat opetuksen kannalta tarkoituksenmukaiseen järjestykseen.

Taulukko 5. Materiaalien hienontamisen opintokokonaisuuden teemojen kysymysten pohjalta kuvattu oppimistavoitteinen mukainen teemoittainen ydinsisältö

Teemat ja niihin liittyvät kysymykset	Ydinsisältö teemoittain
<p>T1: Rikastamon prosessinhoitajan työkuva, työn haasteet sekä yhteistyö muiden sidosryhmien kanssa</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Miksi on tärkeää hallita kiinteä yhteydenpito muihin prosessinhoitajiin? 2. Mitkä ovat hienonnutusprosessista vastaavan prosessinhoitajan tehtävät? 3. Miksi on tärkeää osata toimia murskaus ja jauhatuspiirin prosessien hoitajana? 4. Millaisia häiriöitä murskauspiirissä voi esiintyä? 5. Millaisia häiriöitä jauhatuspiirissä voi esiintyä? 6. Miten yleisimmät murskauspiirin häiriöt paikallistetaan ja poistetaan 	<p>Tämä teema kannattaa ottaa ensimmäiseksi, koska tällä aiheella saadaan motivoitua oppilaita muiden teemojen opiskeluun.</p> <p>Teeman 1 ydinsisältö:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ rikastamon prosessinhoitajan työkuva ja yhteistyötaitojen merkitys. ○ Yhteistyötaitojen merkitystä sekä eri sidosryhmien välisen toimivan yhteistyön vaikutusta työviihtyvyyteen ja työntuloksiin kannattaa korostaa. ○ Käyttö- ja kunnossapito-organisaatiolla on yhteinen tavoite... ○ Monitaitoisia, motivoituneita ja yhteistyökykyisiä työntekijöitä arvostetaan suuressi... ○ Rikastamon prosessinhoitajan työkuvaan

<p>turvallisesti?</p> <p>7. Miten yleisimmät jauhatuspiirin häiriöt paikallistetaan ja poistetaan turvallisesti?</p>	<p>kuuluu...</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Rikastamon prosessinhoitaja tekee tiivistä yhteistyötä seuraavien sidosryhmien kanssa ... ○ Rikastamon hoitajan työnkuvaan ja hienonnusprosessiin liittyviä työturvallisuusasioita ja riskejä ovat... ○ Murskaus ja jauhatuspiirin käyttökäytön työnkuvaan liittyviä yleisimpiä häiriötilanteita ovat...ja ne vaativat seuraavanlaisia toimenpiteitä...
<p>T2: Materiaalien hienontamiseen liittyvät ilmiöt sekä materiaalin hienontaminen malmin käsittelyn ja rikastusprosessin osana</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Miksi on tärkeää ymmärtää seuraavien yksikköprosessien yhteys hienonnusprosessiin? 2. Mitä ovat hienonnusprosessin jälkeiset yksikköprosessit? 	<p>Motivointi, miksi on tärkeää ymmärtää materiaalien hienontamiseen liittyvät ilmiöt ja se, että miten materiaalin hienontaminen sijoittuu malmin käsittelyn ja rikastusprosessin osaksi.</p> <p>Teeman 2 ydinsisältö:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ materiaalien hienonnus. ● Mineraalien hienonnuksen tarkoituksena on... ● Mineraalien hienonnuksen työvaiheet ● Hienonnustapahtuma ● Hienonnuksen perusmekanismit ● Kappaleen hienonnustapahtuma perustuu... ● Kappaleen hienonnettavuuteen vaikuttavat seuraavat asiat... ● Hienonnuksen tuotteet jaotellaan raeeseen mukaan seuraavilla tavoilla... ● Hienonnettavan kappaleenmuodonmuutos

	<ul style="list-style-type: none"> • Murskaus ja jauhatus prosessit lyhyesti (tarkemmin murskauksen ja jauhatuksen yhteydessä) <ul style="list-style-type: none"> ○ Avoin ja suljettu murskaus sekä jauhatuspiiri ○ Murskaamon syöte tulee tavallisesti... ○ Murskaamon tuote ohjataan tavallisesti... ○ Jauhimon syöte tulee tavallisesti... ○ Jauhimon tuote ohjataan eteenpäin... ○ Edellisten asioiden havainnollistaminen kannattaa tehdä oikeiden esimerkkien kautta prosessikaavioiden avulla.
<p>T3: Murskaus</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mitä on murskaus? 2. Miksi materiaalia murskataan? 3. Miten materiaalin murskaus tapahtuu? 4. Millä materiaali murskataan? 	<p>Motivointi, miksi on tärkeää opiskella mineraalien murskaukseen...</p> <p>Teeman 3 ydinsisältö:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ murskaus. • Hienonnuksprosessissa murskauksella... • Murskausvaiheet • Murskauksen raekoko • Murskaimet ja niiden rakenne sekä toimintaperiaatteet • Murskaimien asetukset • Murskaimien kulutusosat • Avoin murskauspiiri

	<ul style="list-style-type: none"> • Suljettu murskauspiiri <ul style="list-style-type: none"> ○ Murskaus ja seulonta <p>Murskauspiirien opetuksessa kannattaa käyttää prosessikaavioita oikeilta rikastamoilta.</p> <p>Murskaukseen liittyvä laboratorioharjoitus</p>
<p>T4: Seulonta</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Miksi on tärkeää osata tarkastaa ja vaihtaa seulaverkot? 2. Mikä on seulaverkko? 3. Mikä seula ja mihin sitä käytetään? 4. Mitä on seulonta? 5. Miten seulonta liittyy materiaalien hienontamiseen ja rikastamiseen 	<p>Motivointi, miksi on tärkeää opiskella seulonnan...</p> <p>Teeman 4 ydinsisältö:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ seulonta. <ul style="list-style-type: none"> • Hienonnuksessa seulonnalla... • Kuivaseulonta • Märkäseulonta • Seulonnan kapasiteetti • Seulonnan terävyys • Materiaalin raekoko • Liettoseulonta • Säleiköt ja niiden rakenne sekä toimintaperiaatteet • Seulat ja niiden rakenne sekä toimintaperiaatteet • Seulapinnat, materiaalit, verkot, kunnossapito, puhtaanapidon merkitys jne. <p>Seulonnan opetuksessa kannattaa käyttää prosessikaavioita oikeilta rikastamoilta.</p>
<p>T5: Jauhatus</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mitä on jauhatus? 2. Miksi materiaalia jauhetaan? 	<p>Motivointi, miksi on tärkeää opiskella jauhatuksen...</p>

<p>3. Millä materiaalia jauhetaan?</p> <p>4. Miten materiaalin jauhatustapahtuu?</p>	<p>Teeman 5 ydinsisältö:</p> <ul style="list-style-type: none">➤ jauhatus • Jauhatus on mineraalien hienontamisen...• Jauhautuminen perustuu...• Jauhinkappaleet• Autogeenijauhatus• Märkä- ja kuivajauhatus• Jauhatuksen raekoko• Jauhatusmyllyn kriittiseksi kierrosluvuksi sanotaan...• Myllyn täyttöaste• Tankojauhatus• Tankomyllyn rakenne• Kuulajauhatus• Kuulamylyjen rakenteet<ul style="list-style-type: none">○ ylitemylly○ arinamyly• Jauhatuspiirit<ul style="list-style-type: none">○ Tankomylly avo- ja suljetussa piirissä, kapasiteetti jne.○ Kuulamyly avo- ja suljetussa piirissä, kapasiteetti jne.○ Jauhatuspiirin säädön/ohjaamisen tavoitteet jne.○ Jauhatus ja luokittimet○ Kiertokuormat• Myllyjen vuoraustapoja
--	--

	<p>Oppilailla teetetään jauhatukseen liittyvät laboratorioharjoitukset.</p> <p>Jauhatuspiirien opetuksessa kannattaa käyttää prosessikaavioita oikeilta rikastamoilta.</p>
<p>T6: Luokitus</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Miksi on tärkeää osata tarkastaa ja vaihtaa syklonien aliteaukot ja vuoraukset? 2. Mitä ovat syklonin aliteaukko ja vuoraukset? 3. Mikä on sykloni ja mihin sitä käytetään? 	<p>Motivointi, miksi on tärkeää opiskella luokituksen...</p> <p>Teeman 6 ydinsisältö:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ luokitus. <ul style="list-style-type: none"> • Hienonnusprosessissa luokituksella... • Kappaleen vajoaminen väliaineessa • Erotusraja • Luokituksen ylite ja alite • Luokittimet <ul style="list-style-type: none"> ○ Pneumaattiset ○ Hydrauliset ○ Raappaluokitin ○ Spiraaliluokitin ○ Hydrosykloni ○ Mekaaninen ilmaluokitin ○ jne... <p>Luokituksen opetuksessa kannattaa käyttää prosessikaavioita oikeilta rikastamoilta.</p>
<p>T7: Seula-analyysit</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Miksi on tärkeää osata käyttää seulakonetta ja seulasarjaa raekoanalyysin suorittamiseen? 2. Mikä on seulakone? 3. Mikä on seulasarja? 	<p>Motivointi, miksi seula-analyyseihin liittyvät asiat kannattaa opiskella?</p> <p>Teeman 7 ydinsisältö:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ seula-analyysit.

<p>4. Mikä on raekokoanalyysi?</p> <p>5. Mihin seulakonetta, seulasarjaa ja raekokoanalyysia käytetään?</p> <p>6. Mitä raekoko tarkoittaa?</p> <p>7. Miten raekokoanalyysi tehdään?</p>	<ul style="list-style-type: none">• Seula- analyysi on....• Seulakone ja seulasarjat<ul style="list-style-type: none">○ Seulasarjat, standardit• Materiaalin raekoko• Seula-analyysit ovat tarpeellisia, koska...• Materiaalin raekoon ilmaiseminen• Seula-analyysi ja näytteen määrä• Seula-analyysin suorittamisen vaiheita ovat...• Seula-analyysin tuloksien graafinen esittäminen<ul style="list-style-type: none">○ integraalikuvaaja○ differentiaalikuvaaja• Seula-analyysin ja luokitusanalyysin vertailu <p>Käydään oppilaiden kanssa opetuslaboratoriossa tutustumassa seulakoneeseen ja seulasarjoihin.</p> <p>Oppilailla teetetään seula-analyyseihin liittyvät laboratorioharjoitukset.</p>
---	---

9. MATERIAALIEN HIENONTAMISEN OPETTAMISEN KÄYTÄNTEET

Tässä kappaleessa käyn läpi ajatuksia hyvistä opettamisen käytänteistä materiaalien hienontamisen opetustavoitteiden saavuttamiseksi. Kaivosalan toisen asteen opiskelijat ovat tällä hetkellä suurimmaksi osaksi peruskoulusta tulleita, mutta opiskelijoiden joukossa on myös runsaasti esim. lukion käyneitä sekä jonkin ammattitutkinnon suorittaneita ja työelämässä mukana olleita vanhempia ihmisiä. Voidaan sanoa, että opiskelija-aines on monessakin mielessä heterogeenistä ja se asettaa mielestäni suuren haasteen opettajalle.

Oppilailla on käytössä kannettavat tietokoneet, joten opetuksen järjestäminen verkko-opetuksena on mielestäni järkevää. Verkon kautta on kätevää ja helppoa jakaa opiskeluaineistoa ja antaa tehtäviä. Myös tehtävien palautus käy oppilailta helposti verkon kautta ja tehtävät tallentuvat verkkoon. Aikaa vievältä papereiden kopioimiseltakin säästytään. Verkkoympäristössä on myös se hyvä puoli, että opettaja voi kopioida edellisen pitämänsä koulutuksen uuden koulutuksen suunnittelun pohjaksi, jolloin jälleen säästetään aikaa ja vaivaa. Teoriaopetuksen järjestäminen työpaikoilla tapahtuvan työssäoppimisen yhteyteen helpottuu myös verkkoympäristön avulla. Tietokoneiden käytössä opetustilanteissa ei ole pelkästään hyötyä. Huono puoli on se, että opiskelijat pääsevät helposti ”pakoon” tylsäksi kokemaansa opetustilannetta esim. Internetiin, peleihin, Facebookiin jne.

Opiskelujakso on järkevää aloittaa opiskelijoiden taustojen ja lähtötasojen kartoittamisella. Kokeneelle ja osaavalle opettajalle muodostuu todennäköisesti suhteellisen nopeasti käsitys opetettavasta ryhmästä ja hän osaa valita oikeanlaiset opetusmenetelmät ryhmälle. Ryhmän heterogeenisuus on tässä mielessä haaste, kuten jo aiemmin mainitsinkin. Heterogeeniselle ryhmälle hyvän opetuksen järjestäminen vaatii opettajalta laajasti erilaisten opetuskeinojen käyttöä ja opetus on työläämpää valmistella kuin homogeeniselle ryhmälle. Osalle ryhmästä täytyy olla mielenkiintoista uutta opittavaa ja tekemistä kokoajan tarjolla, kun osan kanssa on taas edettävä hitaasti ja asioita kerraten. Opetus tulee mielestäni aina toteuttaa opiskelijalähtöisesti.

Lähtötason kartoittamisen lisäksi opintokokonaisuuden alussa sekä eri teemojen alussa on mielestäni erittäin tärkeää motivoida ja innostaa ryhmää. Heille tulee kertoa, miksi heidän kannattaa panostaa kyseisten asioiden opiskeluun. Käytännön esimerkkejä teollisuudesta kannattaa mielestäni käyttää mahdollisimman paljon. Esimerkiksi valokuvilla, videoilla, oikeilla prosessikaavioilla ja todellisilla Case-esimerkeillä sekä omilla kokemuksilla voi herättää mielenkiintoa.

Olen tässä opinnäytetyössä laatinut luentomateriaalin hienonnustekniikan opettamista varten. Se on hyvä alku, mutta sen lisäksi täytyy laatia esim. erilaisia tuntitehtäviä ja ryhmätöitä, jotta nukahtamisilmiötä ei pääse opetuksen aikana tapahtumaan ja heterogeenisen joukon hyvä opettaminen mahdollistuu. Siitä miten opettajan persoona, hänen suhtautumisen oppilaisiin ja opettajan innostuneisuus opettamiseen sekä opetettavaan aiheeseen vaikuttaa opiskelijoiden aktiivisuuteen, on varmasti kaikilla opiskelleilla kokemusta, minulla ainakin on. Tuntien alussa kannattaa tämän vuoksi yrittää ottaa aktiivinen ote käyttöön.

Olen laatinut tässä opinnäytetyössä suunnitelman materiaalien hienontamisen laboratorion kehittämiseksi ja valmiit laboratorioharjoitukset. Minun mielestä tässä tapauksessa on parempi toteuttaa laboratorio-opetus käyttämällä monia samanlaisia yksikkölaitteita, kuin jatkuvatoimista teollisuudesta kopioitua harjoitusprosessia. Hyvin valituilla yksittäisillä laitteilla saadaan opetettua olennainen suurelle määrälle oppilaita yhtä aikaa, kun taas isomman yksittäisen prosessin kanssa käy helposti niin, että kaksi tekee ja kaksikymmentä katsoo seläntakana. Se on mielestäni ajan hukkaa ja passivoi oppilaita. Toki myös jatkuvatoimisilla teollisuudesta kopioituilla harjoitusprosesseillakin on omat hyvät puoleensa.

10. MATERIAALIEN HIENONTAMISEN LUENTOMATERIAALI JA LABORATORIOHARJOITUKSET

Olen laatinut tässä opinnäytetyössä työkalut mineraalien hienonnuksen, murskauksen, jauhatuksen, seulonnan ja luokituksen opettamiseen. Luentomateriaali on esitetty liitteissä 1 – 4 ja 8. Luentomateriaalit ovat PowerPoint-esityksinä ja näin ne voidaan esim. liittää verkko-oppimisympäristöön.

Olen laatinut myös laboratorioharjoitukset yksikköprosesseilla tapahtuvaa käytännön läheistä laboratorio-opetusta varten. Laboratorioharjoitukset ovat murskauksen, jauhatuksen ja seulonnan opetukseen. Laboratorioharjoitukset on esitetty liitteissä 5 – 7.

11. MATERIAALIEN HIENONTAMISEN OPPIMISYMPÄRISTÖ

Kaikki murskauksen, jauhatuksen ja seulonnan laboratorio-opetuksen vaatimat laitteet kannattaa sijoittaa samaan tilaan. Lisäksi tilaa täytyy varata itse laitteiden lisäksi myös kaapeille ja hyllyille, joissa säilytetään mm. laboratorioharjoituksissa käytettäviä tarvikkeita, harjoituksissa käytettävää mursketta, suojavälineitä ja siivousvälineitä. Tila on hyvä varustaa pölynpoistolaitteistolla murskauksessa syntyvän pölyn vuoksi. Tilassa täytyy olla riittävästi tilaa, riittävä valaistus ja tuuletus sekä riittävästi sähköpisteitä opetuksessa käytettäviä laitteita varten. /14, s. 6 - 9./

Jos opetuslaboratorion läheisyydessä on sellaisia toimintoja, jotka kärsivät melusta, kannattaa opetuslaboratorioon äänieristää, koska materiaalin murskaus ja jauhatus aiheuttaa runsaasti melua. Tila täytyy myös varustaa ensiapu- ja silmänhuuhteluvälineillä.

Murskauksen, jauhatuksen ja seulonnan opetuksessa käytettävät laitteet on esitetty taulukossa 6. Taulukossa 6 on myös laitteiden yksikköhinta-arviot budjetoitua varten. Taulukoissa 7-11 on esitetty ko. laitteiden teknilliset määrittelyt julkisen hankintamenettelyn vaatimien tarjouspyyntöasiakirjojen laatimiseksi. Teknillisissä määrittelyissä olen kiinnittänyt huomiota teknillisten asioiden lisäksi erityisesti laitteiden turvallisuuteen.

Julkiset hankinnat ovat sellaisia tavara-, palvelu- ja rakennusurakkahankintoja, joita valtio, kunnat ja kuntayhtymät, valtion liikelaitokset sekä muut hankintalainsäädännössä määritellyt hankintayksiköt tekevät oman organisaationsa ulkopuolelta. Julkiset hankinnat on tehtävä hankintalainsäädännössä säädettyjä menettelytapojen mukaan. Sääntelyn tavoitteena on julkisten varojen käytön tehostaminen. Hankinnat on pääsääntöisesti kilpailutettava avoimesti sekä tehokkaasti ja kilpailuun osallistuvia yrityksiä on kohdeltava tasapuolisesti ja syrjimättömästi. /3/

Taulukko 6. Murskauksen, jauhatuksen ja seulonnan opetuksessa käytettävien laitteiden budjettihinnat

Laite	Budjettihinta, €/kpl
LEUKAMURSKAIN	18 000 €
KUULAMYLLY	10 000 €
SEULONTALAITE (pikalukituskannella)	3 500 €
SEULASARJA KUIVASEULONTAAN (ISO3310/11 45 um->16 mm)	2 000 €
NÄYTTEENJAKOLAATIKKO (tehdään itse)	100 €
KUIVAUSKAAPPI	2 500 €
ULTRAÄÄNIPESURI	2 000 €
VAAKA	2 000 €

Taulukko 7. Leukamurskaimen teknillinen määrittely tarjouspyyntöä varten

LEUKAMURSKAIN
Soveltuvuus Erittäin kovien sekä hauraiden ja sitkeiden materiaalien murskaamiseen
Syötettävä materiaali Malmirouhe
Syötettävän materiaalin raekoko ≤ 50 mm
Leukavälin säätö Leukavälin on oltava säädettävissä ja leukavälin säätöarvon täytyy olla käyttäjän luettavissa. Leukavälin on oltava säädettävissä nolnaan leukojen kulumisen kompensoimiseksi.
Leukalevyjen materiaali Mangaaniteräs
Murskaus kapasiteetti min. 100 kg/h
Laitteen sähköliitäntä 1-vaihe 230 VAC 50 Hz tai 3-vaihe 400 VAC 50 Hz
Laitteen käyttö- ja huolto-ohjeet Englannin kieliset tai mielellään suomen kieliset käyttöohjeet ja huolto-ohjeet
Varaosat Laitteeseen täytyy olla saatavissa varaosia.
Huoltopalvelu Laitteeseen täytyy olla saatavissa huoltopalvelu.
Muuta Laitteen täytyy olla liitettävissä ulkopuoliseen pölynpoistolaitteistoon. Laite täytyy olla varustettu pysäytys/käynnistys kytkimellä. Laite on oltava varustettu ylikuormitussuojalla, joka kytkee laitteen pois sähköverkosta ylikuormitustilanteessa. Laitteen käyttökilvet täytyy olla suomen kielisiä. Laite täytyy olla varustettu hätäpysäytyskatkaisimella. Täyttösuppilon on oltava sellainen, että sen rakenne estää esim. sormien tahattoman pääsyn murskaustilaan. Täyttösuppilon on oltava sellainen, että sen rakenne estää materiaalin ulosroiskumisen laitteen käydessä. Laitteella täytyy olla CE-merkki.

Taulukko 8. Kuulamylyn teknillinen määrittely tarjouspyyntöä varten

KUULAMYLLY
Soveltuvuus Laitteen täytyy soveltua keski- ja erittäin kovien malmi murskeiden kuiva- ja märkäjauhatukseen.
Syötettävän materiaalin raekoko ≤ 10 mm
Jauhatusastian koko 500 ml sekä myös muita pienempiä kokoja
Jauhatusastian materiaali Kovetettu teräs
Laitteen sähköliitäntä 1-vaihe 230 VAC 50 Hz tai 3-vaihe 400 VAC 50 Hz
Laitteen käyttöohjeet Englannin kieliset tai mielellään suomen kieliset käyttöohjeet ja huolto-ohjeet
Muuta Mylyssä täytyy olla ajastin, jolla voi säätää myllyn jauhatusajan pituuden. Myly ei saa käynnistyä jollei jauhatusastiat ole kiinnitetty asianmukaisesti. Myly ei saa käynnistyä, jollei jauhatusastian kansi ole lukittuna. Myllyn jauhatusastia/kannen täytyy olla riittävän tiivis sekä varustettu o-rengastiivisteellä märkäjauhatusta varten. Laitteella täytyy olla CE-merkki.

Taulukko 9. Seulakoneen ja seulasarjan teknillinen määrittely tarjouspyyntöä varten

SEULAKONE
Seula-astian koko 200 mm x 50 mm
Seulottava massa max. 3 kg tai suurempi
Laitteen sähköliitäntä 1-vaihe 230 VAC 50 Hz
Laitteen käyttöohjeet Englannin kieliset tai mielellään suomen kieliset käyttöohjeet ja huolto-ohjeet
Muuta Seula-astioita on voitava asettaa seulakoneeseen vähintään 7 kpl:ta kerrallaan. Seulakoneen kannen täytyy olla varustettu metallitangoilla, ikkunalla sekä pikalukituksella. Laitteella täytyy olla CE-merkki.
SEULASARJA
Seula-astioiden materiaali Materiaalin täytyy soveltua keski- ja erittäin kovien malmien seulomiseen.
Seula-astian koko 200 mm x 50 mm
Seulojen koot ISO3310/11, 45 um->16 mm

Taulukko 10. Vaa'an teknillinen määrittely tarjouspyyntöä varten

VAAKA
Punnitusalue max. min. 1500 g
Luettavuus min. 0,01 g
Lineaarisuus min. 0,02 g
Laitteen sähköliitäntä 1-vaihe 230 VAC 50 Hz
Laitteen käyttöohjeet Englannin kieliset tai mielellään suomen kieliset käyttöohjeet ja huolto-ohjeet
Muuta Vaa'assa täytyy olla sisäinen viritystoiminto. Vaa'assa täytyy olla taaraustoiminto. Vaa'an suojausluokka täytyy olla IP54 Vaakassa täytyy olla ylikuormaussuojaus. Vaa'an täytyy olla metallikuorinen. Laitteella täytyy olla CE-merkki.

Taulukko 11. Ultraäänipesurin ja kuivauskaapin määrittely tarjouspyyntöä varten

ULTRAÄÄNIPESURI
Laitteen sähköliitäntä 1-vaihe 230 VAC 50 Hz
Laitteen käyttöohjeet Englannin kieliset tai mielellään suomen kieliset käyttöohjeet ja huolto-ohjeet
Muuta Pesurissa täytyy olla ajastin, jolla voi ohjelmoida pesurin pesuajan pituuden. Laitteen pesutilan täytyy olla sellainen, että sinne vähtyy vähintään 1 kpl kooltaan 200 x 50 mm oleva seula-astia. Laitteella täytyy olla CE-merkki.
KUIVAUSKAAPPI
Kuivauskaapin koko min. 100 l
Laitteen sähköliitäntä 1-vaihe 230 VAC 50 Hz
Laitteen käyttöohjeet Englannin kieliset tai mielellään suomen kieliset käyttöohjeet ja huolto-ohjeet
Muuta Kuivauskaapissa täytyy olla ajastin, jolla voi ohjelmoida kuivausajan pituuden. Kuivauskaapin lämpötilan täytyy olla säädettävissä. Kuivauskaapissa täytyy olla kiertoilmatoiminto. Kuivauslämpötilan täytyy olla vähintään 150 °C. Kuivauskaapin lämpötilan täytyy nousta 150 °C lämpötilaan vähintään 40 minuutin aikana. Kuivauskaapissa täytyy olla vähintään 2 kuivaus tasoa. Laitteella täytyy olla CE-merkki.

12. YHTEENVETO

Rikastusteknilliset asiat ovat minulle tuttuja työhistoriani vuoksi ja tämän opinnäytetyön myötä oli mielenkiintoista perehtyä laajasti saatavilla olevaan mineraalien hienonnuksen, murskauksen, jauhatuksen, seulonnan ja luokituksen teoretiseen tietoon. Huomasin, että aiheesta on olemassa melko vähän suomenkielistä kirjallisuutta.

Opinnäytetyöstä muodostui ehyt ja tarkoituksen mukainen kokonaisuus. Opinnäytetyön tuloksena syntyivät mielestäni hyvät työkalut mineraalien hienontamisen, murskauksen, jauhatuksen, seulonnan ja luokituksen teoria- ja laboratorio-opettamista varten. Lisäksi oma tietämys em. aiheista syveni, kun työn myötä yhdistin opinnäytetyössä läpikäydyn teoretiedon käytännön kokemuksiini. Myös kaivosalan koulutuksen sekä rikastustekniikan opetuksen tavoitteet, sisältö ja rakenne kirkastuivat minulle.

Opinnäytetyössä syntyi murskauksen, jauhatuksen ja seulonnan opetuslaboratorion kehityssuunnitelma, jonka pohjalta on hyvä lähteä tekemään laitehankintoja ja kehittämään edelleen opetusympäristöä. Laadin työssä myös laboratorioharjoitustehtävät valmiiksi tulevaa opetusta varten. Työssä on analysoitu, muokattu, jalostettu opetussuunnitelmassa kuvatut materiaalien hienontamisen opintojakson oppimistavoitteet konkreettiseen ja selkeään muotoon, jolloin ne toimivat lähtökohtana tarkalle opettajakohtaiselle pedagogisten mallien mukaiselle oppimisprosessin ja oppimistilanteiden suunnittelulle. Työssä on myös käyty läpi hyviä opettamisen käytänteitä opetustavoitteiden saavuttamista silmälläpitäen. Työn suorittamisen myötä perehdyin hieman pedagogiikkaan. Aion lähteä suorittamaan pedagogisia opintoja opettajakorkeakouluun, joten työ oli antoisa myös tässä mielessä.

Kehitystehtävässä esitetyt asiat toimivat hyvänä pohjana rikastustekniikkaan kuuluvan materiaalien hienonnuksen opetuksen järjestämiselle ja edelleen rikastustekniikan opetuksen jatkokehitykselle. Työ jatkuu ja jatkotoimina voimme monistaa työn sisältämät asiat muille kaivosalan koulutuksen osa-alueille.

13. LÄHDELUETTELO

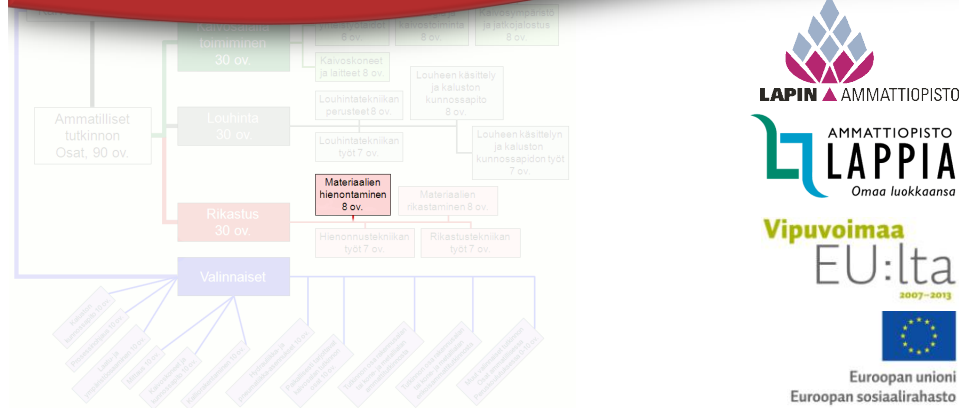
- /1/ Ammattiopisto Lappian kaivosalan perustutkinnon hakuesite, [WWW-dokumentti], [<http://www.lappia.fi/loader.aspx?id=c028a8f1-d7eb-4106-8a0d-990d202d9d20>], 27.2.2012.
- /2/ Fritsch analysette 18 seulakoneen esite, [WWW-dokumentti], [<http://www.fritsch-milling.com/products/sieving/heavy-duty-analytical-sieve-shaker/analysette-18/>], 21.2.2012.
- /3/ HILMA, Yleistä julkisista hankinnoista, [WWW-dokumentti], [<http://www.hankintailmoitukset.fi/fi/docs/yleista/>], 29.2.2012.
- /4/ Hast, Katri, Jauhinkuulien käsittely Kemin kaivoksella, opinnäytetyö, Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulu, Kemi 2008.
- /5/ Hukki, R T, Materiaalin hienonnus ja rikastus, Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit, 1. painos, Teknillisten tieteiden akatemia, 1964.
- /6/ Kaivosmies ja rikastaja, Kaivosalan perustutkinto, Opetussuunnitelman tutkintokohtainen osa, Ammattiopisto Lappia, 2009.
- /7/ Kärki, Antti, Jauhatusstavan vaikutus sulfidimalmin partikkelikokojakaumaan sekä sulfidimalmin laboratoriovaahdotustyöohjeen laadinta, Kandidaattityö, Oulun yliopisto, Oulu 2010.
- /8/ Lukkarinen, Toimi, Mineraalitekniikka, Osa 1, Mineraalien hienonnus, 2. painos, Insinööritieto Oy, 1985.
- /9/ Pihkala, Juhani, Prosessitekniikka, Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit, 1. painos, Opetushallitus, 2011.

- /10/ Pihkala, Juhani, Prosessitekniikan yksikköprosessit, 2. painos, Opetushallitus, 2007.
- /11/ SFS-EN 933-1 Kiviainesten geometrinen ominaisuuksien testaus, osa 1, rakeisuuden määrittäminen, seulontamenetelmä, 1. painos, Suomen Standardisoimisliitto, 2003.
- /12/ Silander, Pasi, Koli, Hanne, Verkko-opetuksen työkalupakki, 1. painos, Oy Finn Lectura Ab, 2003.
- /13/ Timonen, Jouni, Esiselvitys leukamurskaimen anturoinnista, opinnäytetyö, Kajaanin ammattikorkeakoulu, Kajaani 2010.
- /14/ Turvallinen työskentely koululaboratoriossa, Maol Ry, Kemian toimikunta, 2002.
- /15/ Vuolukka, Petri, Kemin kaivoksen prosessi ja kulutusosat, Outokumpu Chrome Oy, sisäinen muistio.
- /16/ Wills, Barry Alan, Napier-Munn, Tim, Wills' mineral processing technology, An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery, Seventh Edition, Butterworth-Heinemann (Elsevier), 2006.

14. LIITELUETTELO

- LIITE 1 Luentomateriaali, mineraalien hienonnus
- LIITE 2 Luentomateriaali, murskaus
- LIITE 3 Luentomateriaali, jauhatus
- LIITE 5 Laboratorioharjoitus, murskaus leukamurskaimella
- LIITE 6 Laboratorioharjoitus, jauhatus kuulamylyllä
- LIITE 7 Laboratorioharjoitus, seulonta
- LIITE 8 Luentomateriaali, seulonta
- LIITE 9 Kaivosmiehen ja rikastajan tutkintojen määrittelyt

Mineraalien hienonnuks



Mineraalien hienonnuks

- Mineraalien hienonnuksen tarkoituksena on hienontaa kiviaines riittävän hienoksi rikastamista varten.
- Hienonnettava aines on riittävän hieno silloin, kun arvomineraalit ovat puhtaina rakeina erillään arvottomista mineraaleista sekä erillään myös toisista arvomineraaleista.
- Lisäksi hienonnetun materiaalin hienonnuks- ja karkeusaste tulee olla sellainen, että se soveltuu sitä rikastusmenetelmää varten, jota rikastusvaiheen aikana sovelletaan.

Mineraalien hienonnus

- Tavanomainen mineraaliraaka-aineiden hienonnus louhinnan jälkeen käsittää kaksi työvaihetta eli malmikiven:
 - murskauksen
 - jauhatuksen.



Mineraalien hienonnus

- Murskauksessa hienontaminen tapahtuu yleensä joko puristamalla malmin koviin pintojen välissä tai malmin iskeytyessä pintaa vasten.
- Jauhatuksessa hienontuminen tapahtuu hiertämällä sekä vapaasti liikkuvien jauhinkappaleiden iskeytyessä malmiin.

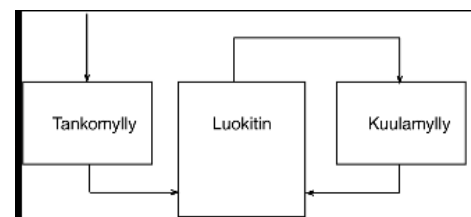
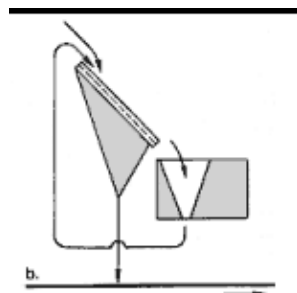


Mineraalien hienonnus

- Murskauksessa hienontaminen tapahtuu yleensä joko puristamalla malmi kovien pintojen välissä tai malmin iskeytyessä pintaa vasten.
- Jauhatuksessa hienontuminen tapahtuu hiertämällä sekä vapaasti liikkuvien jauhinkappaleiden iskeytyessä malmiin.

Mineraalien hienonnus

- Murskauksen ja jauhatuksen kanssa samanaikaisesti tehdään seulontaa ja käytetään luokittimia, joilla ohjataan raekoon jakaumaa oikeaan suuntaan prosessissa.



Mineraalien hienonnus

- Hienonnuksen tarkempi jaotus voidaan tehdä alla olevassa taulukossa esitetyllä tavalla.

1.	Louhinta räjäyttämällä	∞ alkukoosta \rightarrow alle 1 m:n kokoon
2.	Karkeamurskaus	1 m:n alkukoosta \rightarrow alle 100 mm:n kokoon
3.	Hienomurskaus	100 mm:n alkukoosta \rightarrow alle 10 mm:n kokoon
4.	Karkeajauhatus	10 mm:n alkukoosta \rightarrow alle 1 mm:n kokoon
5.	Hienojauhatus	1 mm:n alkukoosta \rightarrow alle 100 μ m:n kokoon
6.	Hyvin hienojauhatus	100 μ m:n alkukoosta \rightarrow alle 10 μ m:n kokoon
7.	Erittäin hieno jauhatus	10 μ m:n alkukoosta \rightarrow alle 1 μ m:n kokoon



Mineraalien hienonnus

- Hienonnus vaatii erittäin paljon energiaa.
- Hienonnustapahtuma perustuu raakaan voimaan ja hienonnuksen käyttämä energia kuluu varsinaisen hienonnuksen vaatiman energian lisäksi hienonnuksilaitteiden mekaanisiin häviöihin sekä muuttuu lämmöksi.



Hienonnustapahtuma

- Hienonnettavien materiaalien kyky vastustaa hienontamista riippuu mm. materiaalin rakenteesta ja lujuusominaisuuksista.
- Kun hienonnettava kappale altistetaan ulkoisen rasituksen aiheuttamalle jännitykselle, alkaa kappaleen hajoaminen.
 - Murtumisen alkukohtina toimivat kiviaineksen heikot epäjatkuvuus- ja epähomogeenisuuskohdat, eri mineraalien rajapinnat jne.



Hienonnustapahtuma

- Materiaalin jauhautuvuuteen vaikuttavat mm. seuraavat ominaisuudet:
 - materiaalin kovuus
 - rakenne
 - kosteus
 - hygroskooppisuus
 - flokkautumistaipumus
 - agglomeroitumistaipumus
 - alttius lämpötilan muutoksille.



Hienonnustapahtuma

- Eri materiaaleiden jauhautuvuus voidaan määrittellä jauhatuskokeilla, joissa mitataan jauhatukseen käytetty energia sekä raekoon pientyminen.
- Kiven murtumisessa voidaan erottaa kaksi eri tapaa:
 - erottumismurtuminen
 - leikkausmurtuminen.



Hienonnustapahtuma

- Erottumismurtuminen on makroskooppinen muodonmuutokseton murtuminen ja se syntyy jo jännityksen yhteydessä.
- Leikkausmurtuminen taas syntyy vasta plastisen muodonmuutoksen yhteydessä tai sen jälkeen. Ainetta hienonnettaessa pyritään erottumismurtumiseen.



Hienonnustapahtuma

- Hienonnustapahtumaa voidaan määrittellä myös hienonnussuhteen (murskaussuhde, jau-hatussuhde) avulla.
- Hienonnuksen hienonnussuhde on tyypillisesti noin 5.
- Hienonnussuhde määritellään seuraavasti:

$$n = \frac{d_1}{d_2}$$

missä

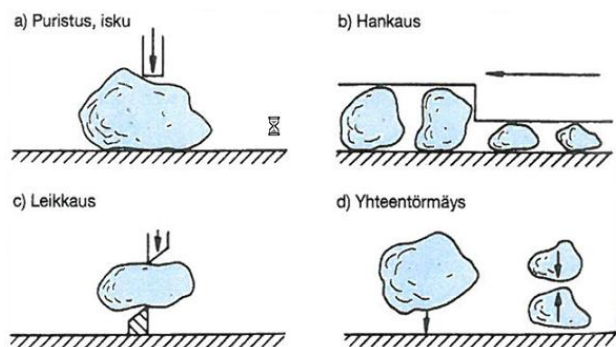
d_1 on suurin kappalekoko ennen hienonnusta

d_2 on suurin kappalekoko hienonnuksen jälkeen.

Hienonnettavan kappaleen muodonmuutos

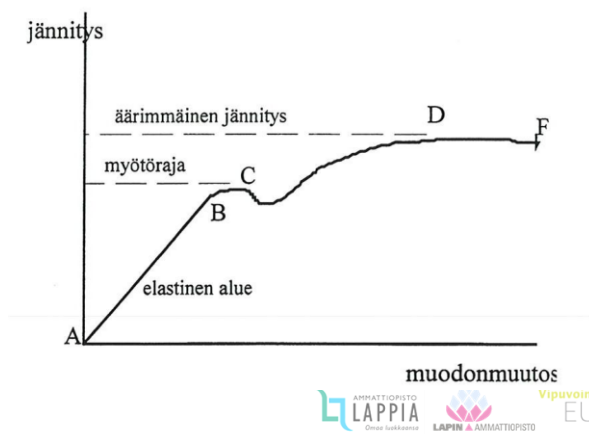
Kappaleen hienonnustapahtuma perustuu:

1. Hankaamiseen
2. Iskuun
3. Leikkautumiseen
4. Puristumiseen
5. yhteentörmäykseen.



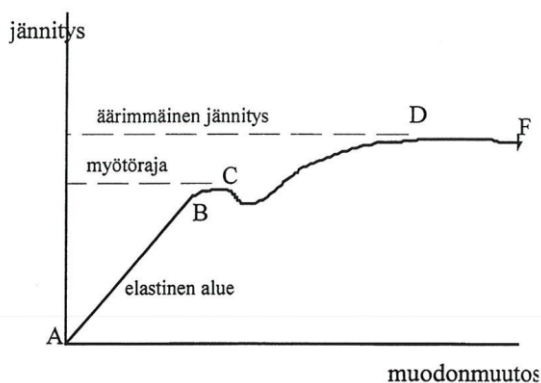
Hienonnettavan kappaleen muodonmuutos

- Materiaalin hienontumista voidaan tutkia kohdistamalla kappaleeseen tietty jännitys ja mittaamalla se aiheuttama muodonmuutos. Jännitetyn kiinteän kappaleen muodonmuutoksen eri vaiheita kuvataan jännitys-muodonmuutos-käyrällä.



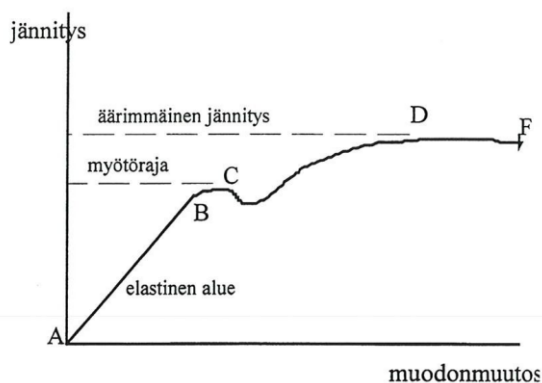
Hienonnettavan kappaleen muodonmuutos

Elastinen alue on käyrässä välillä A- B. Elastisella alueella muodonmuutos on suoraan verrannollinen jännitykseen. Elastisella alueella kappale palautuu alkuperäiseen muotoonsa ja kokoonsa, kun jännitys poistetaan.



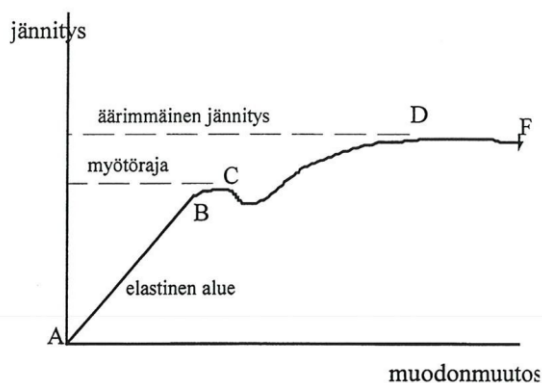
Hienonnettavan kappaleen muodonmuutos

Myötöraja on välillä B-C. Myötöraja alueella kappaleen muodon muutos kasvaa suhteessa kappaleen jännitykseen. Myötörajan ylittämisen jälkeen kappale ei palaudu enää entiseen muotoonsa, kun jännitys poistetaan.



Hienonnettavan kappaleen muodonmuutos

Välillä C–D muodonmuutos tapahtuu, vaikka jännitys pienenee. Välillä D–F kiintoaine muuttuu muotoaan ja murtuu pisteessä F, vaikka jännitys ei muutu.



Hienonnuksen perusmekanismit

- Hienonnuksen menetelmät voidaan jaotella kolmeen perusmekanismiin energiatiheyden ja sen muutosnopeuden perusteella:
 - kulumismurtuminen
 - puristusmurtuminen
 - iskumurskaus tai -jauhatus.



Hienonnuksen perusmekanismit

- Hienonnuksen menetelmät voidaan jaotella kolmeen perusmekanismiin energiatiheyden ja sen muutosnopeuden perusteella:
 - kulumismurtuminen
 - puristusmurtuminen
 - iskumurskaus tai -jauhatus.



Hienonnuksen perusmekanismit

- Kulumismurtumisessa murtuminen tapahtuu leikkausjännitysten vaikutuksesta pienellä alueella ja sen seurauksena syntyvät tytäkkappaleet ovat erittäin hienoja.
- Puristusmurtumisessa energiatiheys on suurempi kuin kulumismurtumisessa, mutta hitaasti nouseva.
- Puristusmurtumisen seurauksena syntyvät tytäkkappaleet ovat suurehkoja ja raekokojakauma on kapea.



Hienonnuksen perusmekanismit

- Iskumurskauksessa energiatiheys nousee erittäin nopeasti suureksi ennen kuin kappale murtuu.
- Iskumurtumisessa tytäkkappaleita syntyy runsaasti ja tytäkkappaleiden raekokojakauma on laaja.



Hienonnuksen perusmekanismit

- Iskumurskauksessa energiatiheys nousee erittäin nopeasti suureksi ennen kuin kappale murtuu.
- Iskumurtumisessa tytäkkappaleita syntyy runsaasti ja tytäkkappaleiden raekokojakauma on laaja.



Hienonnustapahtuma

- Hienonnettavien materiaalien kyky vastustaa hienontamista riippuu mm. materiaalin rakenteesta ja lujuusominaisuuksista.
- Kun hienonnettava kappale altistetaan ulkoisen rasituksen aiheuttamalle jännitykselle, alkaa kappaleen hajoaminen.
 - Murtumisen alkukohtina toimivat kiviaineksen heikot epäjatkuvuus- ja epähomogeenisuuskohdat, eri mineraalien rajapinnat jne.

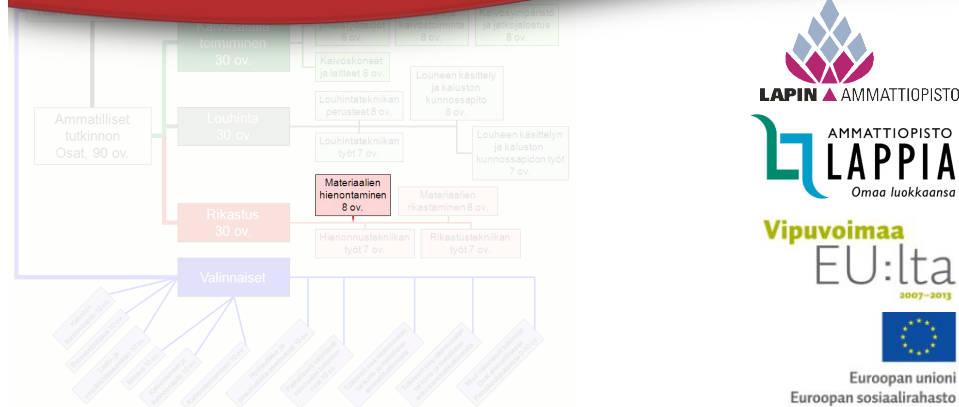


Lähteet

- Lukkarinen, Toimi, Mineraalitekniikka, Osa 1, Mineraalienhienonnus, 2. painos, Insinööritieto Oy, 1985.
- Pihkala, Juhani, Prosessitekniikka, Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit, 1. painos, Opetushallitus, 2011.
- Hukki, R T, Materiaalin hienonnus ja rikastus, Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotanto-prosessit, 1. painos, Teknillisten tieteiden akatemia, 1964.
- Wills, Barry Alan, Napier-Munn, Tim, Wills' mineral processing technology, An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery, Seventh Edition, Butterworth-Heinemann (Elsevier), 2006.
- Pihkala, Juhani, Prosessitekniikan yksikköprosessit, 2. painos, Opetushallitus, 2007.



Murskaus



Murskaus Yleistä

- Murskauksessa louhittu malmi hienonnetaan yhdessä tai useammassa perättäisessä murskausvaiheessa puristusta tai iskua hyväksi käyttäen tuotteeksi, joka sopii raekooltaan jauhatuslaitteisiin syötettäväksi.
- Jauhatuslaitteisiin syötettävän murskeen maksimikoko vaihtelee suuresti. Murskaimet voidaan jakaa murskausvaiheen mukaan:

Murskaus

- Murskaimet voidaan jakaa murskausvaiheen mukaan:
 - primäärimurskaimiin
 - sekundaarimurskaimiin
 - tertiäärimurskaimiin.



Murskaus

- Primäärimurskaimet ovat järeitä suuren kapasiteetin murskaimia, joita käytetään avoimessa piirissä esiseulan kanssa tai ilman esiseulontaa.
- Primäärimurskaimina käytetään yleensä leuka- ja karamurskaimia.
- Malmin maksimikoko, jota murskaimen täytyy pystyä hienontamaan sekä tarvittava kapasiteetti ovat kaksi tärkeintä tekijää primäärimurskaimen valinnassa.



Murskaus

- Karamurskaimet ovat tehokkaampia kuin leukamurskaimet ja karamurskaimia käytetäänkin, kun kapasiteetin tarve on suuri.
- Leukamurskaimia käytetään, kun kapasiteettia tärkeämpää on murskaimen kidan koko. Esimerkiksi tapauksessa, jossa on erityisen tärkeää murskata tietyn halkaisijan omaava materiaali.
- Myös iskumurskaimia voidaan käyttää jois-sakin erikoistapauksissa.



Murskaus

- Karamurskaimet ovat tehokkaampia kuin leukamurskaimet ja karamurskaimia käytetäänkin, kun kapasiteetin tarve on suuri.
- Leukamurskaimia käytetään, kun kapasiteettia tärkeämpää on murskaimen kidan koko. Esimerkiksi tapauksessa, jossa on erityisen tärkeää murskata tietyn halkaisijan omaava materiaali.
- Myös iskumurskaimia voidaan käyttää jois-sakin erikoistapauksissa.



Murskaus

- Sekundaarimurskaimina käytetään yleisimmin kartio- ja iskumurskaimia.
- Malmin ollessa kovaa tai liukasta voidaan käyttää vielä tertiäärimurskausta tai vaihtoehtoisesti karkeaa tankojauhatusta.



Murskaus

- Murskaimen kita-aukko sekä asetusarvo vaikuttavat oleellisesti murskaukseen.
- Se, että kuinka suuria lohkareita murskaimeen voidaan syöttää, riippuu kita-aukon koosta.
- Murskaimen kita-aukon koko ilmaistaan tulona $A \times B$, missä A on kita aukon pituus akselin suunnassa ja B on liikkuvan leuan etäisyys kiinteästä leuasta kita-aukon yläreunasta.
- Murskaimen asetusarvolla ilmoitetaan liikkuvan ja kiinteän leuan pienin etäisyys kita-aukon alareunassa.

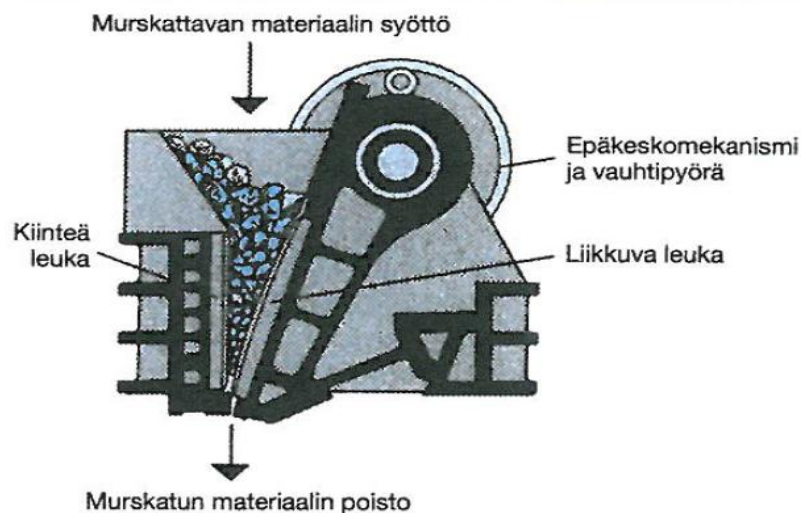


Leukamurskaimet

- Leukamurskaimessa materiaali hienonnetaan puristamalla sitä liikkuvan leuan avulla kiinteää leukaa vasten.
- Kiinteä ja liikkuva leuka päällystetään tavallisesti kulutusta kestävillä kovamanganiteräksestä valmistetuilla leukalevyillä.
- Liikkuvan leuan liike saadaan aikaan koneen käyttölaitteiden pyörittämän epäkeskon ja työntölaattojen avulla.

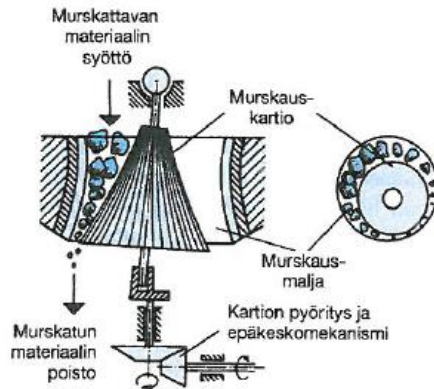


Leukamurskaimet



Kara- ja kartiomurskaimet

- Kara- ja kartiomurskaimet koostuvat murskausmaljasta, murskauskartiosta sekä käyttömekanismista.



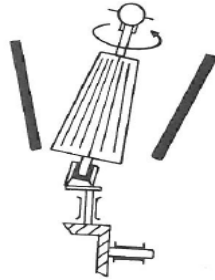
Kara- ja kartiomurskaimet

- Malmi hienonnetaan kahden sisäkkäin olevan kartiomaisen kulutusta kestävän murskausvaipan välissä.
- Kiinteä ulkovaippa on kiinnitetty murskaimen runkoon ja sisävaippa on kiinnitetty liikkuvan murskauskartion pinnalle.
- Vaippojen välissä oleva murskaustila kapenee alaspäin mentäessä.
- Vaippojen vuorauslevyt ovat tavallisesti kulutusta kestävää mangaaniterästä. Kuvassa 5 on esitetty kaavamaisesti sekä karamurskaimen että kartiomurskaimen rakenne. Karamurskaimen kartio on ripustettu yläpäästään murskaimen rakenteeseen, mutta kartiomurskaimen murskauskartio lepää pallolaakerin varass

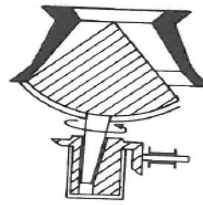


Kara- ja kartiomurskaimet

- Kuvassa on esitetty kaavamaisesti sekä karamurskaimen että kartiomurskaimen rakenne. Karamurskaimen kartio on ripustettu yläpäästään murskaimen rakenteeseen, mutta kartiomurskaimen murskauskartio lepää pallolaakerin varassa.



Karamurskain

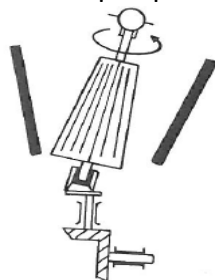


Kartiomurskain

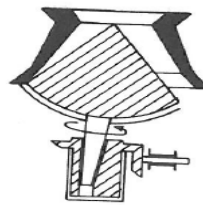


Kara- ja kartiomurskaimet

- Kuvassa on esitetty kaavamaisesti sekä karamurskaimen että kartiomurskaimen rakenne. Karamurskaimen kartio on ripustettu yläpäästään murskaimen rakenteeseen, mutta kartiomurskaimen murskauskartio lepää pallolaakerin varassa.



Karamurskain



Kartiomurskain

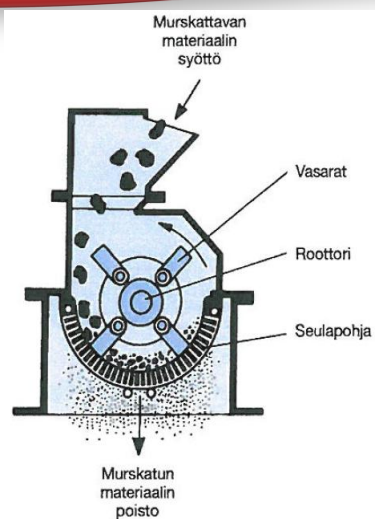


Iskumurskaimet

- Iskumurskaimen etuja ovat suuri kapasiteetti, hyvä murskaussuhde, keveys kapasiteettiin nähden ja pieni energiankulutus.
- Suurena heikkoutena voidaan pitää osien nopeasta kulumisesta aiheutuvia suuria käyttökustannuksia.



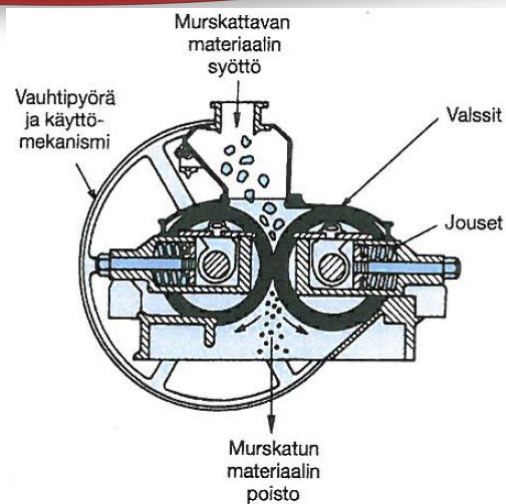
Iskumurskaimet



Valssimurskaimet

- Valssimurskaimessa murskaus tapahtuu kahden vaakasuoran akselin varassa vastakkaisiin suuntiin pyörivän sylinterin välissä.
- Toinen akseli nojaa jousia vasten ja toinen on kiinteästi laakeroitu kehykseen.
- Valssien välistä raon leveyttä voidaan säätää tarpeen mukaan.
- Valssimurskain on hienomurskain ja sitä käytetään pehmeille materiaaleille.
- Valssimurskaimen murskaussuhde on sen rakenteen vuoksi pieni.

Valssimurskaimet



Lähteet

- Lukkarinen, Toimi, Mineraalitekniikka, Osa 1, Mineraalienhienonnus, 2. painos, Insinööritieto Oy, 1985.
- Pihkala, Juhani, Prosessitekniikka, Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit, 1. painos, Opetushallitus, 2011.
- Hukki, R T, Materiaalin hienonnus ja rikastus, Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotanto-prosessit, 1. painos, Teknillisten tieteiden akatemia, 1964.
- Wills, Barry Alan, Napier-Munn, Tim, Wills' mineral processing technology, An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery, Seventh Edition, Butterworth-Heinemann (Elsevier), 2006.
- Pihkala, Juhani, Prosessitekniikan yksikköprosessit, 2. painos, Opetushallitus, 2007.



Jauhatus Yleistä

- Mineraalien riittävä erottuminen toisistaan on rikastamisen onnistumisen perusedellytys.
- Toisaalta onnistunut jauhatusta ei yksin takaa onnistunutta rikastustulosta, mutta se antaa hyvät mahdollisuudet sen saavuttamiseen.
- Jos rikastusprosessin syöte jätetään liian karkeaksi, saadaan sekarakeiden vuoksi huono rikaste ja huono jäte, kun taas liian hieno jauhatusta kuluttaa tarpeettomasti energiaa ja usein vaikeuttaa rikastamista.



Jauhatus Yleistä

- Mineraalien riittävä erottuminen toisistaan on rikastamisen onnistumisen perusedellytys.
- Toisaalta onnistunut jauhatusta ei yksin takaa onnistunutta rikastustulosta, mutta se antaa hyvät mahdollisuudet sen saavuttamiseen.



Jauhatus Yleistä

- Jos rikastusprosessin syöte jätetään liian karkeaksi, saadaan sekarakeiden vuoksi huono rikaste ja huono jäte, kun taas liian hieno jauhatuserä kuluttaa tarpeettomasti energiaa ja usein vaikeuttaa rikastamista.
- Etenkin mineraalien ominaispaineeroihin perustuvien rikastusmenetelmien käyttäminen vaikeutuu, jos jauhatuksessa syntyy paljon hienoja raekokoluokkia.



Jauhatus Yleistä

- Malmin jauhatus suoritetaan rumpumaisissa, vaakatasossa pyörivissä myllyissä irrallisten jauhinkappaleiden avulla.
- Jauhautuminen perustuu:
 - Iskuihin
 - Puristuksen
 - hiertoon.



Jauhatus Yleistä

- Jau-hinkappaleina käytetään:
 - Terästankoja
 - teräs- tai valurautakuulia
 - jauhinlieriöitä.



Jauhatus Yleistä

- Jau-hinkappaleina käytetään:
 - Terästankoja
 - teräs- tai valurautakuulia
 - jauhinlieriöitä.
- Myös malmikappaleita voidaan käyttää jauhinkappaleina, jolloin puhutaan autogeenijauhatuk-sesta. Materiaalin jauhatus tapahtuu joko märkä- tai kuivajauhatuksena.



Jauhatus Yleistä

- Jau-hinkappaleina käytetään:
 - Terästankoja
 - teräs- tai valurautakuulia
 - jauhinlieriöitä.
- Myös malmikappaleita voidaan käyttää jauhinkappaleina, jolloin puhutaan autogeenijauhatusesta. Materiaalin jauhatusta tapahtuu joko märkä- tai kuivajauhatusena.



Jauhatus Yleistä

- Yleensä jauhatuksen syötteen raekoko vaihtelee välillä 10 - 25 mm, mutta karkean autogeenijauhatusen syötessä puolestaan voi olla jopa 500 mm lohkareita.
- Jauhatushienonnus on malmien käsittelyssä yleensä alle 0,2-0,3 mm riippuen jauhatuksen tarkoituksesta.



Jauhatus Yleistä

- Kuvassa on esitetty Outokumpu Chrome Oy:n Kemin kaivoksen tanko- ja kuulamyly.



Jauhatus Kriittinen kierrosluku

- Jauhatusmyllyn kriittiseksi kierrosluvuksi sanotaan sitä kierrosnopeutta, jolla jauhinkappaleet pysyvät vielä myllyn kehällä irtautumatta sieltä myllyn pyöriessä tasaisella nopeudella.
- Kriittisellä kierrosluvulla kappaleeseen vaikuttava keskipakovoima on yhtä suuri kuin maan vetovoima.



Jauhatus Kriittinen kierrosluku

- Myllyn kriittinen kierrosluku n_c lasketaan myllyn sisähalkaisijasta D (cm) ja jauhinkappaleiden halkaisijasta d (cm).

$$n_c = \frac{423}{\sqrt{D-d}} \text{ 1/min.}$$

Jauhatus Kriittinen kierrosluku

- Myllyn nopeus ilmaistaan usein prosentteina sen kriittisestä nopeudesta.
- Kun myllyn nopeus n ilmaistaan %:ssa kriittisestä kierrosnopeudesta n_c ja merkitään n_p :llä, on:

$$n_p = \frac{n}{n_c} 100\%.$$

Jauhatus Kriittinen kierrosluku

- Mikäli myllyn pyörintänopeus on pienempi kuin myllyn kriittinen pyörimisnopeus, myllyn sanotaan toimivan alikriittisellä nopeusalueella.
- Vastaavasti, jos myllyn pyörintänopeus on suurempi kuin kriittinen pyörimisnopeus, jauhatusta tapahtuu ylikriittisellä nopeusalueella.



Jauhatus Kriittinen kierrosluku

- Jotta jauhatusta onnistuisi ylikriittisellä nopeudella, täytyy myllyssä olevan panoksen päästä liikkumaan vuoraukseen nähden.
- Tavallisesti jauhatusta suoritetaan alikriittisellä alueella.



Jauhatus Kriittinen kierrosluku

- Alikriittisellä nopeudella toimivalle jauhatukselle on tyypillistä vuoraus jolla estetään jauhinkappaleiden liukuminen mahdollisimman tehokkaasti sekä jauhinkappaleiden runsaus.
- Jauhatus perustuu tällöin jauhinkappaleiden putoamis- ja vierintäilmiöihin sekä niiden keskinäiseen liikkeeseen.

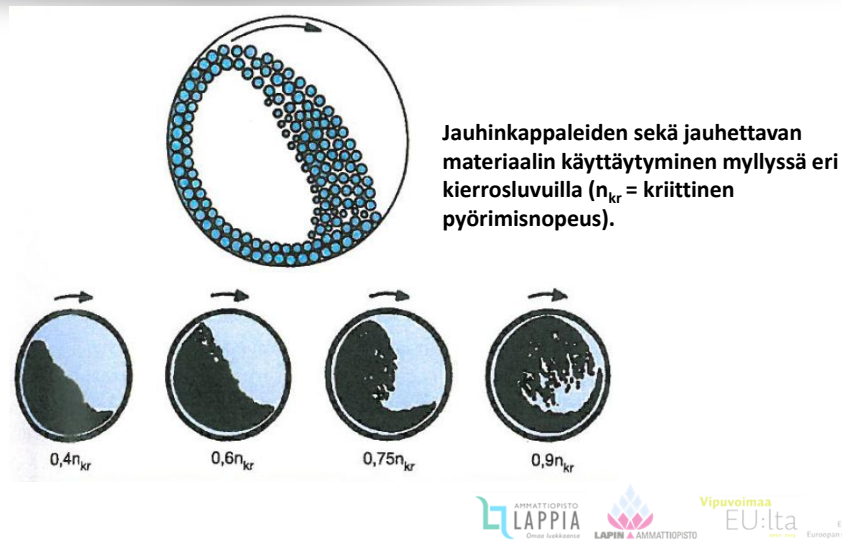


Jauhatus Kriittinen kierrosluku

- Materiaalin jauhautuminen perustuu mm. putoavien kappaleiden aiheuttamiin iskuihin myllyssä.
- Putoavien kappaleiden iskuvaikutus on sitä suurempi, mitä suurempi on myllyn alikriittinen nopeus.



Jauhatus Kriittinen kierrosluku



Jauhatus Myllyn täyttöaste

- Myllyn täyttöasteella, joka on yleensä 0,3 – 0,5 eli 30 % - 50 % tarkoitetaan jauhinkappaleiden (kuulien tai tankojen) tilavuutta verrattuna vuoratun myllyn sisätilavuuteen:

$$Täyttöaste = \frac{V_k}{0,62V_m}$$

missä

V_k = kuulien tilavuus

V_m = myllyn tilavuus.

Jauhatus Tankojauhatus

- Tankomyllyksi kutsutaan myllyä, jossa jauhinkappaleina käytetään tankoja.
- Tankomyllyn pituus on suurempi kuin sen läpimitta.
- Tankomyllyhienonnus soveltuu parhaiten murskauksen ja hienojauhatuksen väliselle alueella.



Jauhatus Tankojauhatus

- Tankomyllyn syöte on tavallisesti murskauspiiristä saatua puolikarkeata mursketta, jossa karkeimmat rakeet ovat kooltaan 6 - 35 mm.
- Tankomyllyn tuotteen karkeimmat rakeet ovat vastaavasti tavallisesti 1 - 2 mm:n luokkaa tankomyllyn seulavaikutuksen vuoksi.



Jauhatus Tankojauhatus

- Tankomyllyn syöte on tavallisesti murskauspiiristä saatua puolikarkeata mursketta, jossa karkeimmat rakeet ovat kooltaan 6 - 35 mm.
- Tankomyllyn tuotteen karkeimmat rakeet ovat vastaavasti tavallisesti 1 - 2 mm:n luokkaa tankomyllyn seulavaikutuksen vuoksi.



Jauhatus Tankojauhatus

- Tankomylly ei sovi teollisuusmittakaavaisesti suoritettujen kokeiden perusteella sellaiseen hienojauhatuskseen, jollaista esimerkiksi vaahdotus tavallisesti edellyttää.
- Tästä syystä murskaamon tuote jauhetaan yleensä kahdessa vaiheessa, ensiksi avopiirisessä tankomyllyssä, minkä jälkeen malmi jauhetaan lopulliseen hienouteen toisessa, tavallisesti sulkeisessa kuulamylyssä – luokitus tai seulontapiirissä.



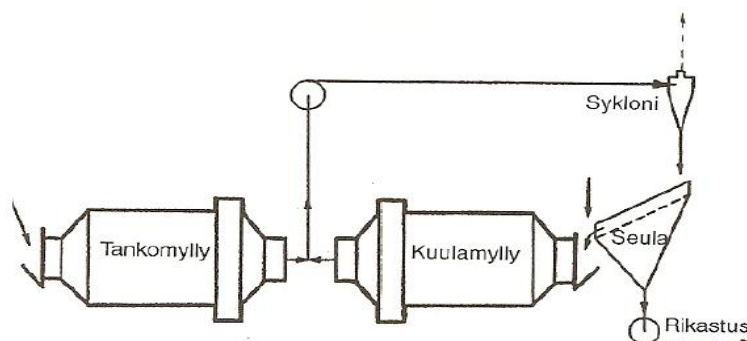
Jauhatus Tankojauhatus

- Tankomylly ei sovi teollisuusmittakaavaisesti suoritettujen kokeiden perusteella sellaiseen hienojauhatukseen, jollaista esimerkiksi vaahdotus tavallisesti edellyttää.
- Tästä syystä murskaamon tuote jauhetaan yleensä kahdessa vaiheessa, ensiksi avopiirissä tankomyllyssä, minkä jälkeen malmi jauhetaan lopulliseen hienouteen toisessa, tavallisesti sulkeisessa kuulamyly – luokitus tai seulontapiirissä.



Jauhatus Tankojauhatus

- Kuvassa on esitetty jauhatuspiirikaavio, jossa tankomylly toimii avopiirissä.



Jauhatus Tankojauhatus

- Tankomylly voi olla muodoltaan sylinterimäinen, eli myllyn efektiivinen läpimitta on syöttö- ja poistopäässä sama.
- Jauhintankojen väliin joutuva jauhettava aines on syöttöpäässä karkeampaa kuin poistopäässä, jonka vuoksi tankojen väliset raot ovat suuremmat syöttö- kuin poistopäässä.



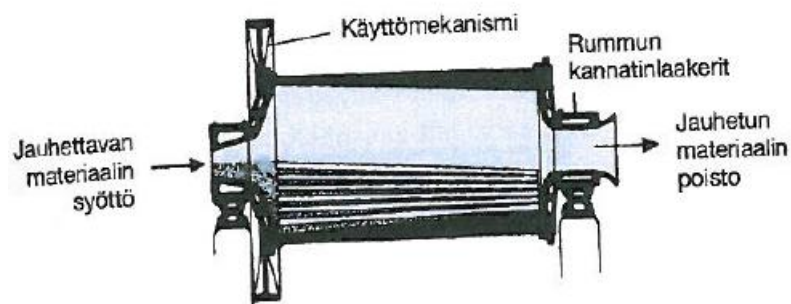
Jauhatus Tankojauhatus

- Tämän seurauksena sylinterimäisessä myllyssä tangot pyrkivät luisumaan poistopäätä kohti.
- Luisumisen estämiseksi tankomyllyjä rakennetaan lievästi kartiomaiseksi siten, että myllyn efektiivinen läpimitta on syöttöpäässä suurempi kuin poistopäässä.



Jauhatus Tankojauhatus

- Kuvassa on esitetty rakenteeltaan kartiomainen tankomylly.



Jauhatus Tankojauhatus

- Tankojen yleinen nimellispituus on 365 cm ja tavanomainen läpimitta 7-8 cm.
- Tankojen todellinen pituus on 10 - 20 cm myllyn sisäpituutta pienempi.
- Tankomateriaaleina käytetään joko runsashiilistä terästä tai seostettuja teräksiä.
- Seosaineena käytetään joko mangaania yksinään tai yhdessä kromin kanssa.

Jauhatus Tankojauhatus

- Tankomassa hienontaa jauhettavaa materiaalia viidellä tavalla:
 1. Putoavat tangot jauhavat malmia alhaalla olevia tankoja sekä vuorausta vasten.
 2. Malmi murskautuu vuorauksen kohopalkkien ja tankojen välissä.
 3. Malmi murskautuu joutuessaan liikkuvien tankojen väliin.
 4. Tangot pyörivät noustessaan ylöspäin myllyssä, jolloin ne hienontavat malmia valssi-murskaimen tapaan.
 5. Tankojen ”lipsahtelu” hienontaa malmia.



Jauhatus Tankojauhatus

- Tankomyllyt toimivat alikriittisellä nopeusalueella. Jotta jauhatusta olisi tehokasta, tankojen täytyy nousta mahdollisimman tehokkaasti ylös myllyn pyöriessä ilman että tankomassa liikkuisi myllyn vuoraukseen nähden.
- Tämä saavutetaan varustamalla myllyn vuoraus riittävän voimakkaalla hammastuksella.

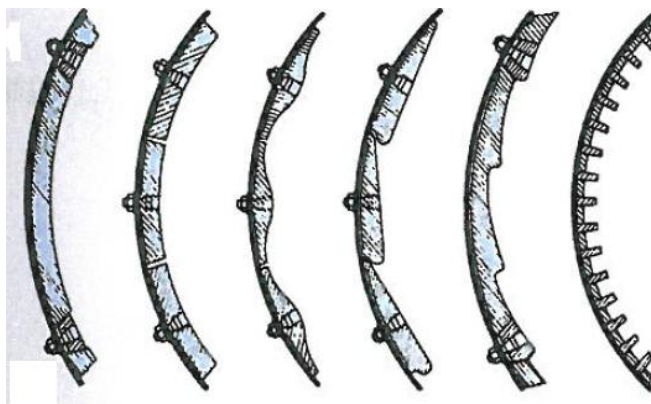


Jauhatus Tankojauhatus

- Tavallisesti käytetään ns. kohonpalkkivuorausta.
- Tankomyllyjen vuorauksen ja vaipan väliin sijoitetaan tavallisesti tankojen iskuja vaimentava ohut ja joustava välikerros.

Jauhatus vuoraustapoja

- erilaisia myllyjen vuoraustapoja



Jauhatus Tankomylly vuoraus

Tankomylly vuoraus Kemin kaivoksella

Kuvan lähde:
Vuolukka, Petri, Kemin kaivoksen prosessi ja
kulutusosat, Outokumpu Chrome Oy ,sisäinen
muistio.



Jauhatus Kuulajauhatus

- Kuulamyylly on vaakasuoran akselin ympäri pyörivä rumpu, jossa jauhinkappaleina käytetään pyöreitä metallisia kuulia.
- Kuulamyyllyn muodolle tai koolle ei ole rajoituksia.
- Pituus ja läpimitta voivat olla yhtä suuret, tai mylly voi olla vaikka 2,5 kertaa läpimittansa pitempi.
- Kuulamyylly voi olla joko ylite- tai arinamyylly, joista edellinen on yleisempi.



Jauhatus Kuulajauhatus

- Kuulamyllyssä materiaalin hienontaminen perustuu sekä isku- että hiertojauhatuskuulien käsittelössä jauhettavaa materiaalia kuulamassan välissä ja vuorausta vasten.
- Kuulamyllyn ottaman syötön määrä riippuu monesta eri tekijästä, mutta erikoisesti malmin jauhautuvuudesta ja vaaditusta jauhatusteesta.
- Jos mylly on avopiirissä, sen kapasiteetti on suurempi kuin suljetussa piirissä olevan myllyn.



Jauhatus Kuulajauhatus

- Kuulamyllyn kuulien koko määräytyy syötteen karkeuden ja tuotteen hienouden mukaan.
- Karkean materiaalin jauhatukseen käytetään kuulapanosta, joka on koostettu ainakin osittain suurista kuulista.
- Hienojauhatuskuulien valitaan vastaavasti pienempiä kuulia. Suuret kuulat ovat läpimitaltaan 10 - 16 cm, pienemmät tavallisesti noin 25 mm.
- Kuulamateriaalina teräs on yleisin ja myös seostettuja valurautaisia kuulia (Si, Mn, Cr) käytetään.
- Kuulat valmistetaan tavallisesti valamalla tai takomalla.

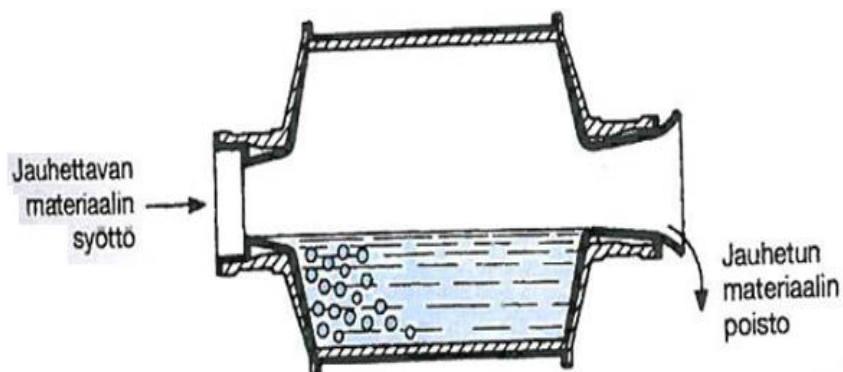


Jauhatus Kuulajauhatus

- Ero tankomyllyjen ja kuulamylyjen toiminnassa vuorauksen kannalta on se, että jauhinkappaleiden putoamisliikkeeseen sisältyvä energia on tangoilla huomattavasti suurempi kuin kuulilla.
- Kuulamylyn vuoraus voidaan näin ollen rakentaa suurempaa. Kuulamyllyssä vuoraus materiaalina voidaan käyttää esim. metallia, tai kumia.

Jauhatus Ylitemylly

Kuulamylly, ylitemylly



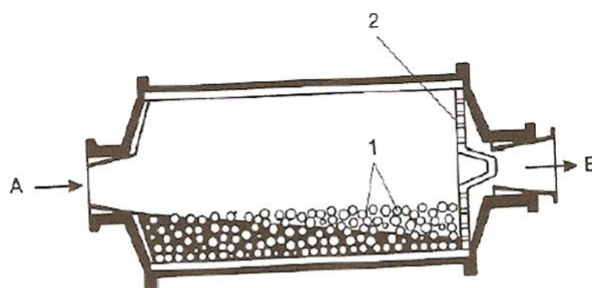
Jauhatus

Arina- eli matalapoisto mylly

- Arina- eli matalapoisto myllyssä tuote poistuu yhden tai useamman arinan kautta.
- Arina tai arinat on sijoitettu joko myllyn kehälle tai myllyn pätyyn.
- Arina läpäisee tuotteen, mutta ei jauhinkappaleita.
- Arinan ja päätyseinän väliin muodostuu tukisäleistä eräänlainen siipipyörä, joka myllyn pyöriessä toimii sisäpuolisena nostolaitteena.
- Nostettu liete valuu poistopään kaula-aukosta ulos myllystä. Arinamyllyt ovat kuulamyllyjä.

Jauhatus

Arina- eli matalapoisto mylly



Kuva 16. Kuulamyllä, arinamyllä /9, s. 77./

A. Jauhettavan materiaalin syöttö

B. Jauhettun materiaalin poisto

1. Jauhinkuulat

2. Arina jonka kautta jauhettu materiaali poistuu myllystä

Jauhatus Autogeeninen jauhatus

- Monien malmien ja kivilajien jauhatuksessa voidaan käyttää autogeenijauhatusta.
- Auto-geenijauhatus jaetaan autogeenijauhatukseen ja puoliauxto-geenijauhatukseen.
- Autogeeni-jauhatuksessa käytetään ainoastaan malmia itseään jauhinkappaleina, kun taas puoliauxto-geenijauhatuksessa käytetään malmin lisäksi tehosteena pientä kuulakuormaa.



Jauhatus Autogeeninen jauhatus

- Auto-geenijauhatuksen hyviä puolia tanko- ja kuulajauhatukseen nähden ovat mm. jauhinkap-palekulutuksen pienentyminen, prosessiraudan puuttuminen jatkokäsittelyn syöttestä ja kyky käsitellä erityyppisiä malmeja.
- Autogeenijauhatuksen huono ominaisuus on syötteen muutoksen vaikutusta kapasiteettiin, joka on paljon suurempi kuin kuula- ja tankomylllyillä.



Jauhatus Jauhatuspiirit

- Jauhatuspiirit voivat olla joko avoimia tai suljettuja.
- Avoimia jauhatuspiirejä käytetään harvoin, lähinnä vain tankomylllyjen kanssa.
 - Siinä jauhautuminen tapahtuu kerralla, syöte menee myllyyn, jauhautuu, ja poistuu piiristä.



Jauhatus Kuulajauhatus

- Ero tankomylllyjen ja kuulamylllyjen toiminnassa vuorauksen kannalta on se, että jauhinkappaleiden putoamisliikkeeseen sisältyvä energia on tangoilla huomattavasti suurempi kuin kuulilla.
- Kuulamyllyn vuoraus voidaan näin ollen rakentaa suurempaa. Kuulamyllyssä vuoraus materiaalina voidaan käyttää esim. metallia, tai kumia.



Jauhatus Jauhatuspiirit

- Jauhatuspiirit voivat olla joko avoimia tai suljettuja.
- Avoimia jauhatuspiirejä käytetään harvoin, lähinnä vain tankomylllyjen kanssa.
 - Siinä jauhautuminen tapahtuu kerralla, syöte menee mylllyyn, jauhautuu, ja poistuu piiristä.



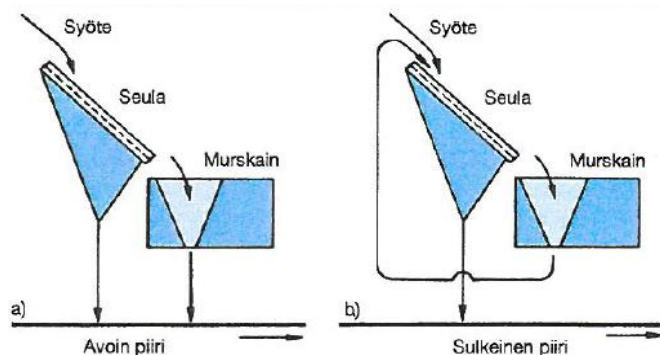
Jauhatus Jauhatuspiirit

- Kun pyritään avopiirissä toimivalla myllyllä johonkin tiettyyn raekokoon, joudutaan koko materiaali jauhamaan vaikeimmin jauhautuvien rakeiden mu-kaan.
- Tämän seurauksena tuhlataan energiaa ja sorrutaan ylijauhatuskseen eli helposti jauhautu-vat rakeet jauhautuvat liian hienoiksi.
- Kun luokittimilla tai seuloilla erotetaan valmiit rakeet rikastusprosessin seuraavaan vaiheeseen ja vielä liian karkea osa palauttaan mylllyyn, hienon-nustyö kohdistuu vain sitä tarvitseville rakeille.



Jauhatus Jauhatuspiirit

- Seuloilta tai luokittimilta jauhatukseen palaavaa materiaalmäärää kutsutaan **kiertokuormaksi**. Kuvassa on esitetty periaatekuva avoimesta ja suljetusta jauhatuspiiristä.



Jauhatus Jauhatuspiirit

- Suljettu piiri on kapasiteetiltaan n. 35 % suurempi kuin avoin piiri, mutta tankomylly tekee poikkeuksen edelliseen sääntöön, sillä sen kapasiteetti on parhaimmillaan avopiirissä.
- Toisaalta suuri kiertokuorma voi olla luokituksen sekä jauhatuksen kannalta haitallinen, jos hienoa ainesta pääsee takaisin myllyyn.
- Tämän vuoksi seulojen tai luokittimien toimintakuntoon on jauhatuksen aikana syytä kiinnittää huomiota.

Jauhatus Jauhatuspiirit

- Jauhatuspiirin täytyy pystyä käsittelemään tietty tonnimäärä syötettä ja sen on myös tuotettava haluttu partikkelikokojakauma rikastusprosessin seuraavaa vaihetta varten.
- Jauhatuspiirin suuria häiriötekijöitä ovat syötteen:
 - raekokojakauman sekä kovuuden muutokset, jonka vuoksi on tärkeää pyrkiä homogenisoimaan jauhatuksen syöte mahdollisimman hyvin.



Jauhatus Jauhatuspiirit

- Keskeisimpiä jauhatuspiirin säädön tavoitteita ovat tuotteen **tasaisen raekokojakauman ylläpitäminen maksimikapasiteetilla** sekä **maksimoida rikasteen tuotanto yhdessä jatkoprosessien kanssa.**

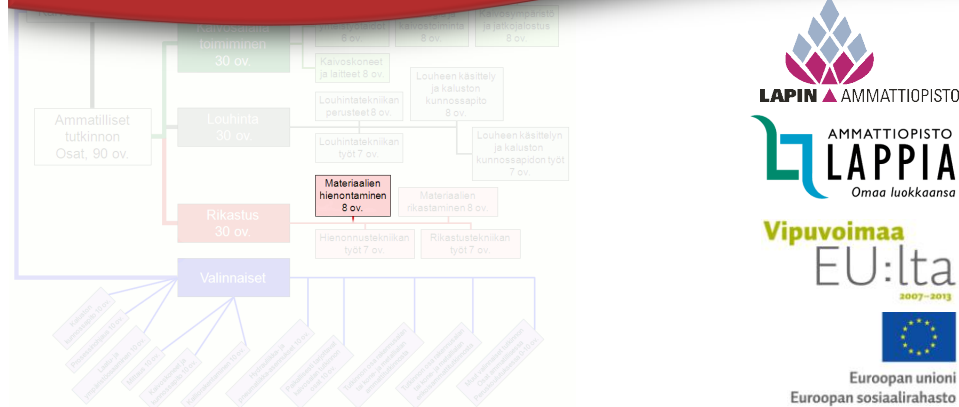


Lähteet

- Lukkarinen, Toimi, Mineraalitekniikka, Osa 1, Mineraalienhienonnus, 2. painos, Insinööritieto Oy, 1985.
- Pihkala, Juhani, Prosessitekniikka, Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit, 1. painos, Opetushallitus, 2011.
- Hukki, R T, Materiaalin hienonnus ja rikastus, Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotanto-prosessit, 1. painos, Teknillisten tieteiden akatemia, 1964.
- Wills, Barry Alan, Napier-Munn, Tim, Wills' mineral processing technology, An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery, Seventh Edition, Butterworth-Heinemann (Elsevier), 2006.
- Pihkala, Juhani, Prosessitekniikan yksikköprosessit, 2. painos, Opetushallitus, 2007.



Seulonta



Seulonta

- Hienonnusprosessissa seulonnalla säännöstellään murskattavan tuotteen (syötteen) tai jo murskatun tuotteen karkeutta eli raekokoa.
- Kun murskauksen syöttestä erotetaan valmis, riittävän hieno materiaali, säästetään energiaa ja murskaimen kuluvia osia sekä parannetaan murskaimen kapasiteettia.

Seulonta

- Jälkimmäisessä tapauksessa tuotteen raekoon säännöstelyssä on kysymys murskeen raekoon pitämisestä haluttuna, jolloin vielä liian karkea fraktio voidaan palauttaa takaisin murskaimeen ja valmis fraktio ohjata edelleen jatkomurskaukseen tai jauhatukseen.
- Seulontaa voidaan käyttää myös jauhatuksessa murskauksen tapaan materiaalin raekoon säännöstelyyn ja ohjaamiseen. Seulontaa käytetään myös esim. sepelin tuotannossa murskeen jakamiseen eri sepelilaaduksi.



Seulonta

- Seulontaa tehdään joko kuivaseulontana tai märkäseulontana.
- Rikastamoiden murskaamoissa seulonta tehdään yleensä kuivana. Jos seulottava materiaali on karkeaa, ei seulontatapojen välillä ole suurta eroa.
- Kuivaseulontaa voidaan suorittaa jo alle 100 mikrometrin raekokoalueella, märkäseulonta sen sijaan on vaikeaa jo alle 1 millimetrin raekokoalueella.



Seulonta

Seulonnan kapasiteetti

- Seulonnan kapasiteetti voidaan ilmoittaa joko syötteen kuiva-aineen määränä tunnissa seulapinnan pinta-alayksikköä kohti eli t/hm² tai seulan läpäisseen hienon aineen määränä vastaavassa yksikössä. Seulonnan kapasiteettiin vaikuttavat:
 - syötteen raekoko jakauma
 - syötteen kosteus
 - seula-aukkojen koko ja muoto
 - seulapinnan ominaisuudet
 - seulan rakenne.



Seulonta

Seulonnan kapasiteetti

- Rakeet joiden koko on enintään puolet seula-aukon koosta läpäisevät seulan helposti. Vastaavasti rakeet joiden koko on 1,5 x seula-aukon koko, ylittävät seulan helposti.
- Kriittiset rakeet ovat alueella $0,5 a \leq x \leq 1,5 a$, kun x on rakeen koko ja a on neliömäisen seula-aukon sivun pituus. Läpimenon todennäköisyys riippuu kuorman määrästä, seulan pituudesta ja seulan tehokkuudesta.



Seulonta

Seulonnan kapasiteetti

- Seulan läpäisykapasiteetin esittämiseksi voidaan käyttää seuraavaa yhtälöä :

$$T = C\rho fx$$

missä

T = seulan läpäisseen aineen määrä

C = vakio

ρ = kiven ominaispaino

x = seula-aukon koko

f = aukkojen osuus seulapinnasta.



Seulonta

Seulonnan kapasiteetti

- Kun seulotaan kosteaa materiaalia, veden peittämät rakeet kasaantuvat yhteen veden pintajännityksen vaikutuksesta.
- Sama ilmiö tapahtuu veden ympäröivän rakeen koskettaessa seulan lankaa, jolloin seula tukkeutuu helposti.
- Edellä mainittu ilmiö voidaan estää nostamalla lämpötila 40 – 80 °C:n, jolloin veden höyryn paine kasvaa ja nestekerros katoaa rakeen pinnalta.
- Savipitoista ainetta tai lietteitä seulottaessa voidaan seulan tukkeutumista ehkäistä kiinteiden vesisuihkujen sekä painepesurilla tehtävien käsin pesujen avulla.



Seulonta

Materiaalin raekoko

Materiaalin raekoon ilmaisemiseksi on useita tapoja. Epäsäännöllisillä kappaleilla on kolme ulottuvuutta pituus l , leveys b ja paksuus h . Epäsäännöllisen kappaleen raekoko x voidaan ilmaista esimerkiksi seuraavilla tavoilla:

1. aritmeettisena keskiarvona, $x = (l + b + h)/3$
2. geometrisenä keskiarvona, jolloin $x = \sqrt[3]{l \cdot b \cdot h}$
3. mikroskoopin avulla, jolloin $(l + b)/2$ tai $\sqrt{l \cdot b}$
4. sen samasta aineesta olevan pallon halkaisijana, jonka tilavuus on sama kuin rakeiden keskimääräinen tilavuus
5. seulasarjan kahden peräkkäisen seulan välisenä raekoko luokkana
6. samasta aineesta olevan pallon halkaisijana, jonka vajoamisnopeus väliaineessa on sama kuin epämääräisen kappaleen vajoamisnopeus väliaineessa.

Seulonta perustuu 5- ja 6-kohdissa mainittuihin menetelmiin. /2, s. 37 - 38./



Seulonta

Seula-analyysi

- Seula-analyysi on raekoon määrittämenetelmä.
- Seula-analyysi jaottelee seulottavat rakeet niiden koon mukaan.
- Myös rakeiden muut ominaisuudet, kuten rakeiden muoto, kosteus ja pintavaraus voi vaikuttaa seula-analyysin tulokseen.
- Seula-analyysia voi käyttää vähintään 45 μm oleville rakeille.
- Erittäin hienot rakeet voivat vääristää seula-analyysin tulosta paakkuuntumalla suuremmiksi rakeiksi.



Seulonta Seula-analyysi

- Raekoon jakauman määrittämisessä käytetään seulojen joukkoa jota kutsutaan seulasarjaksi.
- Seulan silmäkoko tarkoittaa neliön muotoisen aukon sivun pituutta.
- Tyypillinen seulasarjan määrittämisessä käytetty laitteisto koostuu pohjan keräilyastiasta, erikokoisista, erilaisista seula-astioista ja tärytin laitteistosta.



Seulonta Seula-analyysi

Taulukossa on esitetty SFS-EN 933-2 ja DIN/ISO 33110/1 mukaiset seulasarjat.

<u>SFS-EN 933-2</u>	<u>DIN/ISO 33110/1</u>
0.063 mm	45 µm
0.125 mm	63 µm
0.250 mm	125 µm
0.500 mm	250 µm
1 mm	500 µm
2 mm	1 mm
4 mm	2 mm
8 mm	4 mm
16 mm	8 mm
31.5 mm	16 mm
63 mm	
125 mm	



Seulonta Seula-analyysi

- Seula-analyysissa käytettävän näytteen määrä riippuu seulottavan aineen karkeudesta.
- Nyrkkisääntö on, että näytteen määrän täytyy olla vähintään 100-kertainen, verrattuna seulottavan materiaalin suurimpiin rakeisiin. (esim. 5 mm → 500 g).



Seulonta Seula-analyysi

- Seulonnassa käytetään yleensä vähintään viittä erikokoista seulaa.
- Seulonta tehdään seulasarjalla, jossa on pinottu tärytinlaitteen päälle erikokoisia seula-astioita pienimmästä suurimpaan.
- Keräilyastia tulee alimmaiseksi. Seula sarjaa ravistettaessa rakeet jäävät sille seula-astialle, jota ne eivät kykene läpäisemään.
- Seula-astioille jääneet rakeet punnitaan ja tuloksena saadaan suhteellinen osuus kokonaisuudesta tietyllä raekoolla.



Seulonta Seula-analyysi

Heavy Duty Analytical Sieve Shaker ANALYSETTE 18

Order number: 18.2020.00
Price: [View price](#)



Description	Technical data	Accessories	Download
Voltage/connection values:	230 V/1~ 115 V/1~		
Frequency:	50 Hz 60 Hz		
Input Power:	480 W 290 W		
Analysis process:	Dry Sieving		
Measurement range:	20 µm- 125 mm		
Max. sample quantity: (approx.)	8 kg		
Sieving time: (approx.)	5 - 60 min		
Max. weight of sieve stack:	25 kg		
Amplitude:	1.8 mm, fixed		
Sieve diameters:	200 mm, 300 mm, 315 mm, 350 mm, 400 mm and 8", 12", 16", 18"		
Max. number of sieves per sieve stack:	7 (55 mm height)		
Max. height of sieve stack:	520 mm		
Dimensions: (W x D x H)	Floor instrument 58 x 58 x 39 cm		
Net weight:	92 kg		

uvoimaa
EU:lta
European Union
European Social Fund

Seulonta Seula-analyysi

- Seulonnan tulokset voidaan esittää graafisessa muodossa, joka on havainnollinen esitystapa.
- Kun seulalle jäänyt ainemäärä esitetään y-akselilla ja rae- eli seulakoot x-akselilla saadaan kuvaaja (differentiaalikuvaaja), joka esittää rakeiden jakauman raeluokkien kesken.
- Jos y-akselilla esitetään kunkin seulan läpäissyt kokonaisprosenttimäärä, on kyseessä integraalikuvaaja.

Seulonta

Seulonnan terävyys

- Seulonnan tehokkuus eli terävyys tarkoittaa lukua, joka ilmoittaa, kuinka monta prosenttia seulan syötteen sisältämästä tiettyä raekokoa hienommasta rakeesta on mennyt seulan alitteeseen.
- Kuivaseulonnan terävyys voi olla parhaimmillaan 95 %, mutta 80 – 90 % pidetään hyvänä teollisuustuloksena.



Seulonta

Seulonnan terävyys

- Seulonnan terävyys E lasketaan seuraavasti:

$$E = \frac{100p}{fs}$$

missä

p = seulan läpäisseen aineen massa

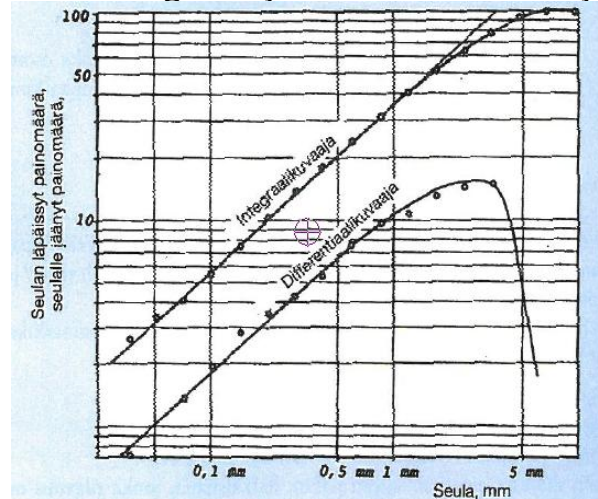
f = koeseulonnan avulla saatu prosenttiluku, joka osoittaa, kuinka suuri osa näytteestä on hienompaa kuin ko. seula-aukko

s = syötteen massa.



Seulonta Seula-analyysi

esimerkit integraali- ja differentiaalikuvaajasta

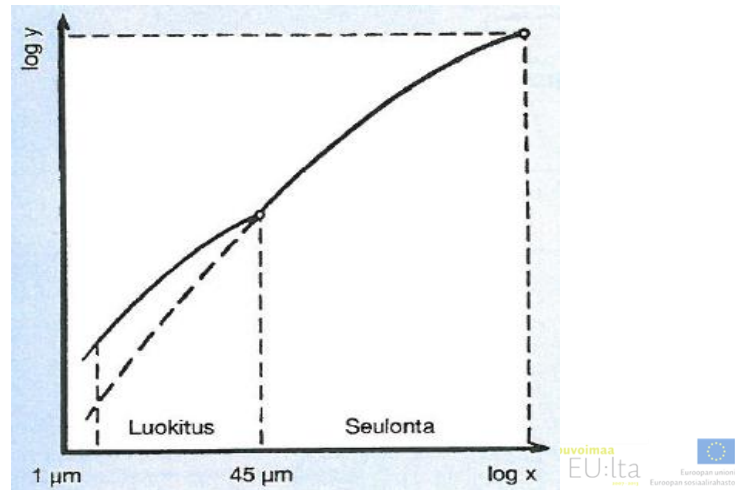


Seulonta Seula-analyysi

- Normaalin laboratorioseulonnan tulokset esitetään yhden desimaalin tarkkuudella.
- Kuvaajissa käytetään logaritmiasteikkoa, koska raekoko on erittäin pieni pienimmillä seuloilla.
- Seulojen toiminta-alue ulottuu 45 μm :iin asti ja hienompiin raekoko luokkiin päästään luokitusanalyysinavulla.

Seulonta Seula-analyysi

seula-analyysin ja luokitusanalyysin vertailu



Seulonta Liettoseulonta

- Liettoseulontaa käytetään, kun analysoitavassa näytteessä on runsaasti hienoa ainesta.
- Liettoseulonta tehdään yleensä hienoimmalla analyysiin käytettävistä seuloista.
- Liettoseulonnalla lisätään seula-analyysin tarkkuutta poistamalla seulottavasta materiaalista hienoin aines ennen kuivaseulontaa.
- Liettoseulonnassa seulottava materiaali lietetään veteen. Jonka jälkeen liete seulotaan hienoimmalla seulalla ja seulan läpäissyt materiaali kuivataan ja punnitaan.

Seulonta Liettoseulonta

- Liettoseulonnassa seulottava materiaali lietetään veteen. Jonka jälkeen liete seulotaan hienoimmalla seulalla ja seulan läpäissyt materiaali kuivataan ja punnitaan.
- Aineita, jotka muuttuvat veden vaikutuksesta, ei voi käsitellä liettoseulonnalla.



Seulonta Seulat

- Seulat voidaan jakaa
 - Säleikköihin
 - epäkeskotäryseuloihin.



Seulonta Seulat, säleiköt

- Kiinteä säleikkö on yksinkertaisin seula ja se on suunniteltu karkean murskeen seulontaan.
- Kiinteä säleikkö muodostuu ryhmästä yhdensuuntaisia tai melkein yhdensuuntaisia säleitä tai palkkeja, jota ovat tuettuja molemmista päistään ja kaltevuudeltaan sopivia.
- Säleinä käytetään esimerkiksi järeitä I-palkkeja, rataakiskoja, tai erityisesti muotoiltuja kappaleita.



Seulonta Seulat, säleiköt

- Tavallisesti säleikön kaltevuus on 35 – 45 astetta. Kaltevissa säleiköissä voidaan leventää säleiden välejä ja tehdä säleet poikkileikkaukseltaan kiilamaisiksi, jotta saataisiin vähennettyä lohcareiden kiilautumista säleiden väliin.
- Kiinteää säleikköä on käytetty esimurskauksen yhteydessä erottamaan suurimmat lohcareet ennen esimurskausta.
- Säleiköistä on luovuttu, koska esimurskaimet on tänä päivänä mitoitettu suurimpien lohcareiden mukaan. Samalla suurien lohcareiden rikottamista on voitu vähentää.



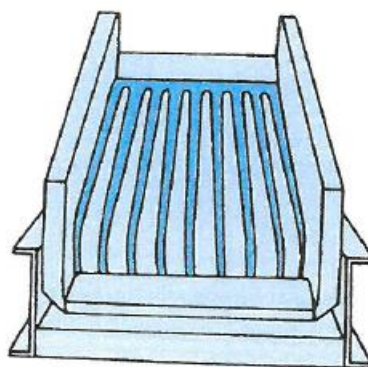
Seulonta Seulat, säleiköt

- Tärysäleikkö on myös suunniteltu karkean murskeen käsittelyä varten.
- Tärysäleikkö muodostuu joukosta rinnakkaisia säleitä kiinnitettyinä laitteen runkoon eli kehykseen.
- Tärysäleikköä tärytetään epäkeskomekanismin avulla. Säleikön ja sen rungon väliin asennettavilla jousilla estetään tärinän siirtyminen rakenteisiin.
- Tärysäleikön pinta on kallellaan myötävirtaan. Tärysäleikön avulla hienoaines erotetaan murskeesta ennen murskainta laitteen toimiessa samalla syöttimenä.



Seulonta Seulat, säleiköt

Tärysäleikkö



Seulonta

Seulat, Epäkeskotäryseulat

- Epäkeskotäryseulat soveltuvat karkeaan ja keskikarkeaan seulontaan 250 mm raekoosta alaspäin.
- Seulakehykseen on kiinnitetty esim. 1 – 3 seulapintaa, joista karkein on ylimpänä.
- Epäkeskoseulan liikkeen iskunpituus on 3 – 10 mm ja nopeus 900 – 1500 värähdystä minuutissa. Jotta seulan toiminta saataisiin jatkuvaksi, seula asennetaan kallelleen myötävirtaan.
- Kaltevuus on tavallisesti 10 – 12 astetta, mutta voi olla jyrkempikin, jopa 30 astetta.



Seulonta

Seulat, Epäkeskotäryseulat

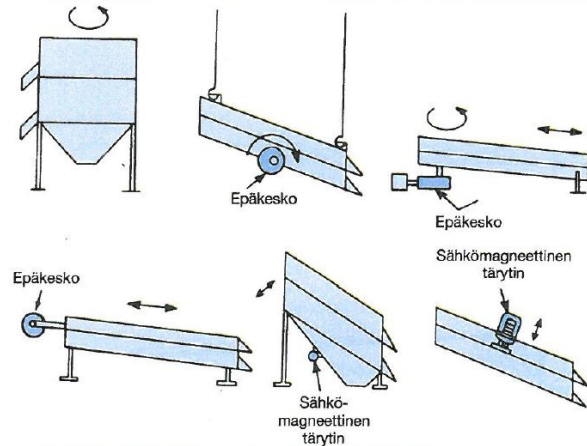
- Seulojen täryliike voidaan muodostaa myös vaihtovirtamagneetilla.
- Vaihtovirran taajuuden ollessa 50 Hz on virtajaksojen lukumäärä $50 \times 60 = 3000$ 1/min.
- Tällöin seulan nopeus on 6000 värähdystä minuutissa, koska siniaallon jokaiseen virtajaksoon sisältyy kaksi virtahuippua.



Seulonta

Seulat, Epäkeskotäryseulat

tärytysmekanismeja



Seulonta

Seulat, Epäkeskotäryseulat

- Seulojen täryliike voidaan muodostaa myös vaihtovirtamagneetilla.
- Vaihtovirran taajuuden ollessa 50 Hz on virtajaksojen lukumäärä $50 \times 60 = 3000$ 1/min.
- Tällöin seulan nopeus on 6000 värähdystä minuutissa, koska siniaallon jokaiseen virtajaksoon sisältyy kaksi virtahuippua.



Seulonta Seulapinnat

- Seulapinnan rakenne ja materiaali valitaan:
 - seulottavan materiaalin laadun
 - karkeuden, seulonta tavoitteen s
 - seulontalaitteen vaatimuksien mukaan.
- Hieno- tai keskikarkeaan seulontaan käytetään yleisimmin kudottuja ja metallisia seulakankaita.
 - Materiaalina käytetään esim. terästä.



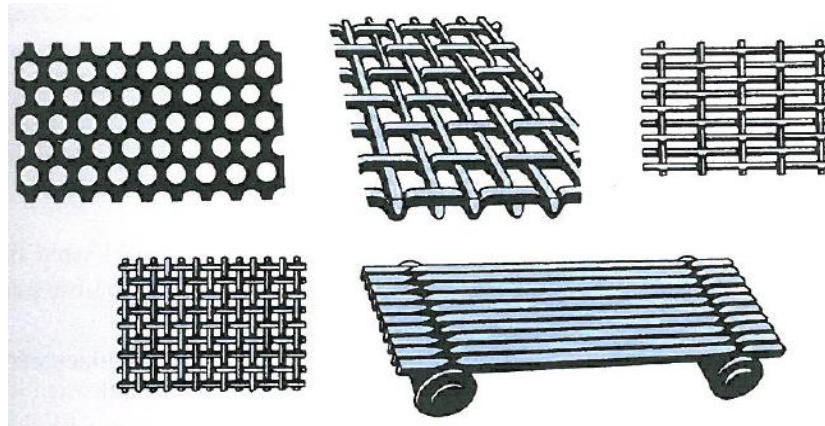
Seulonta Seulapinnat

- Seula-aukot ovat yleensä joko neliön tai suorakaiteen muotoisia.
- Karkeaan seulontaan käytetään yleensä lävistettyjä levyjä.
- Seulatason seulapintana voidaan käyttää myös kumi- ja polyuretaanimoduuleja.
- Seulapintoja voidaan myös valmistaa poikkileikkaukseltaan pyöreistä tai kiilamaisista tangoista.



Seulonta Seulapinnat

Erilaisia seulapintoja



Lähteet

- Lukkarinen, Toimi, Mineraalitekniikka, Osa 1, Mineraalienhienonnus, 2. painos, Insinööritieto Oy, 1985.
- Pihkala, Juhani, Prosessitekniikka, Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit, 1. painos, Opetushallitus, 2011.
- Hukki, R T, Materiaalin hienonnus ja rikastus, Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotanto-prosessit, 1. painos, Teknillisten tieteiden akatemia, 1964.
- Wills, Barry Alan, Napier-Munn, Tim, Wills' mineral processing technology, An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery, Seventh Edition, Butterworth-Heinemann (Elsevier), 2006.
- Pihkala, Juhani, Prosessitekniikan yksikköprosessit, 2. painos, Opetushallitus, 2007.



LABORATORIOHARJOITUS: MURSKAUS LEUKAMURSKAIMELLA

Laboratorioharjoituksen tavoitteena on:

- tutustua leukamurskaimen rakenteeseen ja toimintaperiaatteeseen
- suorittaa murskaus
- suorittaa murskatun materiaalin raekoon määrittäminen.

Työssä käytettävät henkilökohtaiset suojaimet

- suojalasit
- kuulosuojaimet
- työtakki

Työssä käytettävät laitteet

- leukamurskain
- seulontalaitteisto
- seulasarja
- astiat, teräsharja
- ultraäänipesuri
- jakolaite
- vaaka
- murskattava materiaali

Työn suoritus

1. Tutustu käytettävissä olevan murskaimen rakenteeseen ja toimintaan (lue käyttöohje alusta loppuun). Puhdista murskain ja sen vastaanottoastia teräsharjalla.
2. Piirrä käytettävissä olevan leukamurskaimen periaatekuva ja numeroi kuvaan seuraavat osat:
 1. runko
 2. Kiinteä leuka
 3. liikkuva leuka
 4. kita-aukko
 5. kulutuslevyt
 6. asetusarvon säätö
3. Määritä leukamurskaimen kita-aukon koko.

Kita-aukko	
------------	--

4. Määritä leukamurskaimen suurin ja pienin asetusarvo.

Asetusarvo	
------------	--

5. Mikä on leukamurskaimen käyttöjännite ja sähkömoottorin teho?

Käyttöjännite	
Moottorin teho	

Murskaus suoritetaan kahdella eri asetusarvolla:

- pienin
- suurin.

- Säädä leukamurskaimen asetusarvo maksimiin.
- Punnitse noin 500 g materiaalia ja jaa se sitten kahteen osaan, joiden paino on noin 200 g.

Materiaalin paino, g	
Murskaus 1	
Murskaus 2	

Voit joutua suorittamaan malmikiven esimurskauksen ruuvipenkissä tai vasaralla.

HUOM! Suojalaseit! Pidä suojalaseja ja kuulosuojaimia koko murskausharjoituksen ajan!

- Käynnistä pölynpoistolaitteisto.
- Käynnistä murskain ja syötä malmikivilohkareet rauhallisesti murskaimeen.
- Pysäytä murskain ja seulo saamasi murske seulasarjalla. Merkitse seulonnan tulokset taulukkoon. *Vrt. laboratorioharjoitus: seulonta.*
- Kerää saamasi murske talteen jauhatusharjoitusta varten.
- Suorita murskaus myös asetusarvon minimiarvolla (kohdat 5- 9).

11. Lopuksi siivoa jälkesi sekä puhdista ja laita käyttämäsi tavarat oikeille paikoille. Puhdista seulasarja ultraäänipesurilla ja tarkista seulapintojen kunto! HUOM! Teräsharja voi vahingoittaa pienimpien seulasarjojen verkkoja!

Seula-analyysi

Näyte			
Päivämäärä			
Punnitus, g			
Seulonta-aika, min			
Seulontatapa	Kuiva:	Märkä:	
Jauhatus	Kuiva:	Märkä:	
Jauhinkappaleet	kg	Kuulat:	Tangot:

Seula	Seula- aukko	Seula ennen	Seula jäl- keen	Seulalle jäänyt		Seulan lä- päissyt
N:o	mm	g	g	g	%	%
Pohja						
Yhteensä						
Häviöt						
80 %:n läpäisy, k80, µm						
Päiväys						
Analyysin tekijä						

Tulosten käsittely ja tarkastelu

Piirrä seula-analyysin tuloksista integraali- ja differentiaalikuvaajat samalle paperille.

12. Mitä asetusarvon säätä vaikutti raekokoon?

13. Mikä oli murskaussuhde eri asetusarvoilla?

14. Mitä tarkoitetaan murskaimen kita-aukolla?

15. Mitä tarkoitetaan murskaimen asetusarvolla?

16. Mihin murskausperiaatteeseen leukamurskaimen toiminta perustuu?

17. Millaiseen murskaukseen leukamurskain soveltuu parhaiten?

LABORATORIOHARJOITUS: JAUHATUS KUULAMYLLYLLÄ

Laboratorioharjoituksen tavoitteena on:

- jauhatustapahtuman suorittamiseen kuulamyllyllä
- jauhetun materiaalin raekoon määrittäminen.

Työssä käytettävät laitteet ja aineet

Laboratoriomyllly: kuulamyllly

Jauhettavaa materiaalia: esimerkiksi murskauksesta saatua mursketta.

Työssä käytettävät henkilökohtaiset suojaimet

- suojalasit
- kuulosuojaimet
- työtakki

Työssä käytettävät laitteet

- kuulamyllly
- jauhettavaa materiaalia, murskauksesta saatua mursketta.
- seulontalaitteisto
- seulasarja
- astiat, teräsharja
- ultraäänipesuri
- jakolaite
- kuivauskaappi
- vaaka.

Työn suoritus

1. Tutustu käytössäsi olevaan jauhatuslaitteistoon.
2. Piirrä myllyn kuva ja mitoitu se (huom. sisämitat) sekä laske myllyn tilavuus.
3. Määritä myllyn täyttöasteen (40 %) avulla työssä tarvittavien jauhinkuulien määrä.

Mikä on käyttämäsi jauhinkappaleiden kuulien:

Halkaisija, mm	
Pituus, mm	
Lukumäärä, kpl	
Massa, g	
Täyttöaste, %	

4. Seulo murskaamaasi materiaali raekokoon 1 - 4 mm noin 500 g (4 x 110 g) ja jaa murske neljään edustavaan osaan.
5. Laske käyttämäsi myllyn kriittinen kierrosluku.

Kriittinen kierrosluku, 1/min.	
--------------------------------	--

6. Työssä käytetään sellaista kierroslukua, joka on 75 % kriittisestä. Myllyn todellinen kierrosluku on tällöin _____ 1/ min.
7. Koe toistetaan kolmella eri jauhatusajalla: 30 min, 60 min ja 90 min.

HUOM! Suojalasit! Pidä suojalaseja ja kuulosuojaimia koko jauhatusharjoituksen ajan

Jauhatusaika 90 min				
Seula-analyysi				
Koko	ennen	jälkeen	Seulalle jäänyt	
mm	g	g	g	%

11. Suorita saman materiaalin märkäjauhatusta lisäämällä myllyyn 1 l vettä.

Käytä jauhatusaikana 30 min.

12. Kuivaa märkäjauhetta materiaali kuivauskaapissa (n. 10 min) ja seulo se käyttäen neljää sopivankokoista, perättäistä seula. Taulukoi tulokset alla olevaan taulukkoon.

Jauhatusaika 30 min, märkäjauhetta materiaali				
Seula-analyysi				
Koko	ennen	jälkeen	Seulalle jäänyt	
mm	g	g	g	%

13. Lopuksi siivoa jälkesi sekä puhdista ja laita käyttämäsi tavarat oikeille paikoille.

Puhdista seulasarja ultraäänipesurilla ja tarkista seulapintojen kunto! HUOM!

Teräsharja voi vahingoittaa pienimpien seulasarjojen verkkoja!

Tulosten käsittely ja tarkastelu

14. Esitä graafisesti eri jauhatuskokeissa saamasi tulokset. Esitä seulalle jäänyt ainemäärä (%) jauhatusajan funktiona.

15. Mikä on jauhatusajan vaikutus jauhatustapahtumaan?

16. Saavutettiinkö märkäjauhatuksella parempi jauhatus-tulos verrattaessa sitä kuivajauhatukseen? Perustelee.

LABORATORIOHARJOITUS: SEULONTA

Työn tarkoituksena on tutustua laboratorioseulontaan suorittamalla annetun näytteen kivi-seulonta.

Työssä käytettävät henkilökohtaiset suojaimet

- suojalasit
- työtakki

Työssä käytettävät laitteet ja aineet

- seulontalaitteisto
- murskauksesta saatua materiaalia
- seulasarja
- astiat
- teräsharja
- jakolaite
- ultraäänipesuri
- vaaka.

Työn suoritus

1. Tutustu tärytinlaitteen toimintaan ja rakenteeseen.
2. Tutki silmämäärin analysoitavan materiaalin suurimpien rakeiden koko ja ota hiekasta analysointia varten edustava näyte, jonka määrä grammoina on 100 kertaa suurimpien rakeiden halkaisija, pyöristettynä lähimpään 100 g:n. Punnitus 0,1 g:n tarkkuudella.

3. Valitse seulontaan sopivat seulat siten, että suurin seulakoko vastaa karkeimpia rakeita. Ylimääräiset seulat voi jättää pois analyysistä.
4. Puhdista seulat huolellisesti pienellä harjalla. Koputa seuloja tarvittaessa varovasti pöytää vasten. Huom! Tiheimpiä seulaverkkoja puhdistettaessa on oltava erittäin varovainen, etteivät ne vahingoitu.
5. Punnitse seulat kukin erikseen yläkuppivaa'alla 0,1 g:n tarkkuudella. Merkitse painot taulukkoon.
6. Lado seulat päällekkäin siten, että hienoimman seulan alle tulee pohja ja karkein seula tulee päällimmäiseksi.
6. Kaada seulottava näyte tasaisesti ylimmän seulan päälle ja sulje seulasarja kannella.
8. Kiinnitä seulasarja tärytinlaitteeseen, säädä seulonta-aika (min) ja tärytysvoimakkuus (asento) sekä käynnistä tärytinlaite.

Keskustele opettajan kanssa sopivasta seulonta-ajasta

9. Kun seulonta-aika on loppunut, irroita tärytinlaite laitteesta, punnitse kukin seula erikseen vaa'alla ja merkitse tulokset taulukkoon.
- 10. Lopuksi siivoa jälkesi sekä puhdista ja laita käyttämäsi tavarat oikeille paikoille. Puhdista seulasarja ultraäänipesurilla ja tarkista seulapintojen kunto! HUOM! Teräsharja voi vahingoittaa pienimpien seulasarjojen verkkoja**

Seula-analyysi

Näyte						
Päivämäärä						
Punnitus, g						
Seulonta-aika, min						
Seulontatapa		Kuiva:	Märkä:			
Jauhatus		Kuiva:	Märkä:			
Jauhinkappaleet		kg	Kuulat:	Tangot:		
Seula	Seula- aukko	Seula ennen	Seula jäl- keen	Seulalle jäänyt		Seulan lä- päisy
N:o	mm	g	g	g	%	%
Pohja						
Yhteensä						
Häviöt						
80 % :n läpäisy, k80, µm						
Päiväys						
Analyysin tekijä						

Tulosten käsittely

11. Laske punnitustulosten perusteella kullekin seulalle ja pohjalle jäänyt ainemäärä.
12. Laske kullekin seulalle ja pohjalle jääneen sekä seulan läpäisseen näytteen prosentuaalinen osuus koko näytteestä. Merkitse tulokset taulukkoon.
13. Piirrä tuloksista kuvaajat:
 - seulan läpäissyt ainemäärä raekoon funktiona sekä
 - seulalle jäänyt ainemäärä raekoon funktiona.

Tulosten tarkastelu

14. Tarkastele seulonnan tuloksista piirtämiäsi käyriä. Mitä havaitset?
15. Kuinka suuret olivat materiaalihäviöt työssäsi? Mistä ne johtuvat?

Kappaleen vajoaminen väliaineessa

- Väliaineen aiheuttama vastus kasvaa vajoamisnopeuden kasvaessa, kun kappale vajoaa väliaineessa.
- Vajoamisnopeus kasvaa siihen asti, että saavutetaan nopeus, jolloin maan vetovoiman vaikutus ja väliaineen aiheuttama vastus ovat yhtä suuria.
- Tämän jälkeen kappale vajoaa vakionopeudella.



Kappaleen vajoaminen väliaineessa

Kappaleen vajotessa tyhjiössä suoraan alaspäin, sen nopeus kasvaa rajattomasti, riippuen pelkästään putoamismatkasta:

|

$$v = \sqrt{2gh} \quad (7)$$

missä

v = kappaleen nopeus

h = putoamismatka (m)

g = maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys, $9,81 \text{ m/s}^2$. /2, s. 44./



Kappaleen vajoaminen väliaineessa

- Silloin kun kappaleen vajoaminen tapahtuu väliaineessa, jossa kiintoainehiukkasten lukumäärä on pieni, tapahtuu vajoaminen nopeampaa, kuin väliaineessa, missä kiintoainehiukkasia on paljon.
- Kiintoainehiukkasten vajoamisnopeuteen eli laskeutumisenopeuteen väliaineessa vaikuttavat mm.:
 - kiintoaineen tiheys
 - rakeiden läpimitta ja muoto
 - väliaineen tiheys ja viskositeetti.



Kappaleen vajoaminen väliaineessa

Kiintoainepartikkelien vajoaminen laajalle ulottuvassa ja tyyneessä väliaineessa tapahtuu ns. Stokesin lain mukaan seuraavasti (laki koskee raekokoa 0,063 mm:stä alaspäin):

$$v = \frac{s_L}{t_L} = (\rho_k - \rho_k) g x^2 / 18\mu \quad (8)$$

missä

v_{ki} = kiintoainehiukkasen laskeutumisen loppunopeus (cm/s)

s_L = laskeutumismatka, cm

t_L = laskeutumisaika, s

ρ_k = kiintoainehiukkasen tiheys (g/cm³)

ρ_k = väliaineen tiheys (g/cm³)

g = maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys, 9,81 m/s²

x = rakeen läpimitta (cm)

μ = väliaineen dynaaminen viskositeetti (g/cm*s. poise) /2, s. 44./

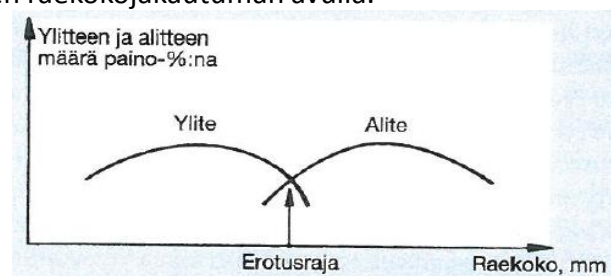


Kappaleen vajoaminen väliaineessa

- Edellä olevan kaavan avulla voidaan laskea kiintoainehiukkasten raekoko, laskeutumisnopeus tai laskeutumismatka, kun tiedetään mitä laskeutuva materiaali on ja kuinka suuren matkan materiaali laskeutuu.

Kappaleen vajoaminen väliaineessa

- Luokituksen erotusrajan avulla ilmoitetaan se raekokoraja, jota pienemmät rakeet joutuvat ylitteeseen ja jota pienemmät rakeet alitteeseen.
- Kuvassa on esitetty luokituksen erotusraja luokittimen alitteen ja ylitteen raekokojakautuman avulla.



Kappaleen vajoaminen väliaineessa

- On tärkeää huomata, että luokituksessa ylitteellä ja alitteella on päinvastainen merkitys kuin seulonnassa. Luokittamista käytetään huomattavasti pienemmälle raekokoalueelle kuin seulontaa.
- Kuvassa on havainnollistettu seulonnan ja luokituksen ylitteiden ja alitteiden välistä eroa.

	Ylite	Alite
Seulonta	karkea	hieno
Luokitus	hieno	karkea



Luokittimet

- Luokittimet jaetaan kahteen pääryhmään sen mukaan, että tapahtuuko luokitus:
 - nesteessä vai kaasussa.
- Luokituksessa hienot raekokoluokat erotetaan karkeista raekokoluokista tai useammat erilliset suhteellisen karkeat raeluokat erotetaan toisistaan ja hienoista raeluokista paino- ja/tai keskipakovoiman avulla.
- Luokittuminen perustuu kiintoainehiukkasten erilaiseen etenemisnopeuteen väliaineessa.



Luokittimet

- Luokituksessa käytettävät laitteet ryhmitellään hydraulisiin ja pneumaattisiin luokittimiin:
 - hydrauliset luokittimet
 - raappaluokitin
 - spiraaliluokitin
 - hydrosykloni
 - pneumaattiset luokittimet
 - aerosykloni
 - mekaaninen ilmaluokitin.



Hydrauliset luokittimet Raappaluokitin

- Raappaluokitin on hydraulinen luokitin. Sen osat ovat allas, raapat ja raappoja käyttävät mekanismit.
- Karkea materiaali kulkeutuu raappojen työntämänä vastamäkeen poistuen luokittimen avoimen päädyn kautta, kun taas luokitettu liete juoksee päätyseinän yli ränniin.



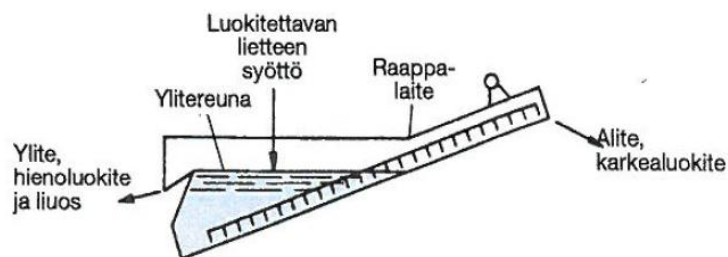
Hydrauliset luokittimet Raappaluokitin

- Raappatangot on kiinnitetty käyttömekanismiin, mihin kuulu moottori sekä edestakaisessa liikkeessä oleva pääkannatin.
- Raapat liikkuvat edestakaista suorakaiteen muotoista rataa pitkin.
- Raapat kuljettavat materiaalia altaan pohjalta ylöspäin.



Hydrauliset luokittimet Raappaluokitin

- Raappaluokittinta säädetään muuttamalla lietetiheyttä, lietteen flokkulaatio- dispersioastetta, raappojen iskutiheyttä ja ylitereunan korkeutta.
- Raappaluokittimen luokitusraja on yleensä välillä 0,15 – 0,8 mm. Kuvassa on esitetty raappaluokittimen toimintaperiaate.



Hydrauliset luokittimet Spiraaliluokitin

- Spiraaliluokitin koostuu kaltevaan asentoon sijoitetusta altaasta sekä yhdestä tai kahdesta rinnakkaisesta spiraalista, joiden akselin jatkeena on hammaspyörästä.
- Luokitettava liete syötetään altaaseen luokittimen sivussa olevaa ränniä pitkin.
- Spiraali pyörii hitaasti työntäen altaaseen laskeutunutta materiaalia ylöspäin ja karkean materiaali poistuu luokittimen yläosasta.



Hydrauliset luokittimet Spiraaliluokitin

- Käynnistystilanteiden helpottamiseksi voidaan luokitinta nostaa sen alapäästä.
- Spiraalin pyörimisnopeus on tavallisesti 2-10 1/min. spiraaliluokitin voidaan myös varustaa nopeuden säädöllä.



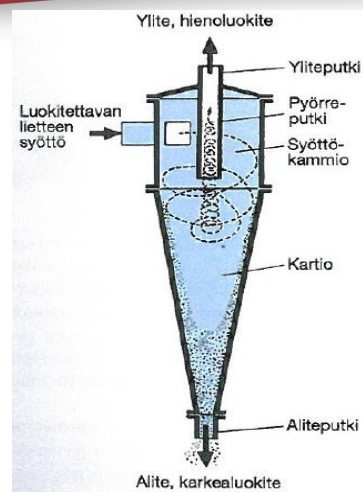
Hydrauliset luokittimet Hydrosykloni

- Kun luokitetaan hienojakoista materiaalia, on tehokkaampaa toteuttaa luokitus keskipakovoimaan perustuvalla luokitusmenetelmällä, kuin painovoimaan perustuvalla.
- Käyttämällä keskipakovoimaan perustuvaa luokitusmenetelmää voidaan päästä jopa 1 µm luokitusrajaan asti.
- Hydrosykloni on keskipakovoiman hyväksikäyttöön perustuva luokituslaite.
- Hydrosyklonissa suspensio pumpataan paineella tangentialisesti syklonin lieriömäiseen syöttökammioon.
- Syöttökammiossa suspensio joutuu nopeaan kiertoliikkeeseen, jolloin keskipakovoima voittaa painovoiman, minkä seurauksena syntyy kaksi spiraalia.



Hydrauliset luokittimet Hydrosykloni

- Suspension sisältämät rakeet luokittuvat spiraaleissa rakeiden koon, muodon ja tiheyden mukaan. Hydrosyklonin toimintaperiaatetta on havainnollistettu viereisellä kuvalla.



Hydrauliset luokittimet Hydrosykloni

- Lietespiraalin keskellä on ilmasydän, jossa vallitsee alipaine.
- Raskaammista aineosista muodostuneen ulomman spiraalin aksiaalinen virtaus etenee kohti kartion aliteputkea, jonka kautta karkea liete purkautuu ulos syklonista.
- Kevyemmistä rakeista muodostunut sisempi spiraali purkautuu ulos syklonista aksiaalisena ylitevirtauksena pyörreputken ja yliteputken kautta.
- Alitteen määrä riippuu aliteputken halkaisijasta siten, että mitä pienempi on halkaisija, sitä pienempi on alitevirtaus.
- Mitä pienempi pyörreputken halkaisija on, sitä pienempi on syklonin erotusraja sekä kapasiteetti.



Hydrauliset luokittimet Hydrosykloni

- Myös lietteen syöttönopeus ja erotuskartion huippukulma (20 – 30°) vaikuttavat erotusrajaan. Kuvassa on esitetty hydrosyklonipatteristo.



Hydrauliset luokittimet

Hydrosykloni

- Syklonin valvonnan ja ohjauksen kannalta tärkeimpiä asioita ovat lietteen tiheys sekä syöttöpaine.
- Mitä pienempää laitetta käytetään, sitä pienempi on erotusraja sekä kapasiteetti.
- Syöttöpaineen kasvaessa erotusrajaa edustava raekoko pienenee.
- Sykloneilla korvataan raappa- ja spiraaliluokittimia aina 10 µm:n raekokoon saakka.



Pneumaattiset luokittimet

- Sykloneja voidaan käyttää myös pneumaattiseen luokittamiseen.
- Aerosykloni on laite, jossa kaasun ja kiinteän aineen erotus tapahtuu keskipakovoiman avulla vastaavalla tavalla kuin hydrosyklonissa.

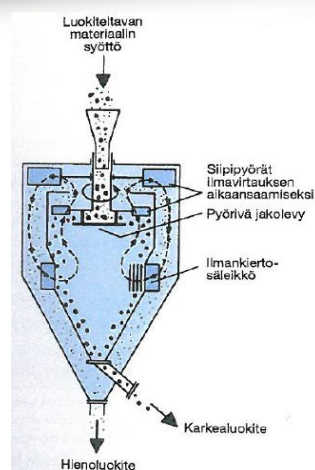


Pneumaattiset luokittimet Mekaaninen ilmaluokittin

- Mekaanisen ilmaluokittimen toiminta perustuu hiukkasten laskeutumismisnopeuteen ilmassa.
- Nopeasti pyörivälle lautasella syötetään luokitettavaa materiaalia, joka sinkoutuu sisäsyylinteriä kohti.
- Suurin keskipakovoima vaikuttaa karkeimpiin hiukkasiin, jotka sinkoutuvat sisäsyylinterin seinämää vasten ja siitä edelleen alaspäin poistuen karkealuokitteena sivuputkesta.
- Luokittimen sisälle syntyy ylöspäin suuntautuva ja sisäsyylinterin pintaa pitkin kulkeva ilmavirtaus pyörivän tuulettimen vaikutuksesta..

Pneumaattiset luokittimet Mekaaninen ilmaluokittin

- Ilmavirtaus ottaa mukaansa hienoimman jakeen joka kulkeutuu sisä- ja ulkosyylinterin väliseen tilaan.
- Hienojae erottuu ja poistuu luokittimesta ilmavirtauksen palatessa takaisin sisäsyylinteriin.
- Kuvassa on esitetty mekaanisen ilmaluokittimen toimintaperiaate.



Lähteet

- Pihkala, Juhani, Prosessitekniikka, Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit, 1. painos, Opetushallitus, 2011.

3.1 KAIVOSMIES

KAIVOSALAN PERUSTUTKINTO		
KAIVOSMIES		
Kaikille pakollinen tutkinnon osa Kaivosalalla toimiminen 30 ov	Kaivosalan koulutusohjelma, kaivosmies Lohdinta 30 ov	Kaikille valinnaiset tutkinnonosat valittava yhteensä 30 ov
Geologia ja kaivostoiminta 5ov	Lisäammekokous perusteet 5ov	Kaluston kunnossapito, 5 ov
		Kaluston kunnossapitotyöt 2 ov, TOP
Kaivoskoneet ja laitteet 8 ov	Lisämateriaalien työt 7ov	Käynnissäpito, 5 ov
		Käynnissäpityöt 2 ov, TOP
Kaivosympäristö ja jatkojalostus 8 ov	Lisäteknisen ja kaluston kunnossapito 5ov	Prosessinohjaus, 8 ov
		Prosessinohjaustyöt 2 ov, TOP
Kaivosalan yhteistyötaidot 6ov	Lisäteknisen ja kaluston kunnossapito- työt 7ov	Kaivoksen betonointityöt, TOP =10 ov
		Mittaus, TOP = 10 ov
		Hydrauliikka ja pneumaattikka- asennukset TOP =10 ov
		Tutkinnon osa ammatillisesta perustutkinnoista, 10 ov
		Tutkinnonosaa ammatittutkinnoista
		Tutkinnon osa erikoisammattitutkinnoista
		Paikallisesti tarjottavat kaivosalan tutkinnon osat, 0-10 ov
		Materiaalin hienostaminen 8 ov

3.2 RIKASTAJA

KAIIVOSALAN PERUSTUTKINTO		
RIKASTAJA		
Kaivosalalla toimiminen 30 ov	Rikastus 30 ov	Kaikkille valinnaiset tutkinnotosat valittava yhteensä 30 ov
Geologia ja kaivostoiminta 8ov	Materiaalien hienostaminen 8ov	Kaluston kunnossapito, 8 ov
		Kaluston kunnossapitotyöt 2 0v
Kaivoskoneet ja laitteet 8ov	Hienonnettujen työt 7ov (15ov)	Käynnissäpito 8 ov
		Käynnissäpitotyöt, 2ov
Kaivosympäristö ja jatkojalostus 8 ov	Materiaalien rikastaminen 8ov	Prosessinohjaus, 8 ov
		Prosessinohjaustyöt 2 ov
Kaivosalan yhteistyötaidot 6 ov	Rikastustekniikka 7ov 7ov (työt)	Kaivoksen betonointityöt TOP 10 ov
		Hydrauliikka ja pneumaattikka- asennukset 8 ov + 2 ov(TOP) 10ov
		Hydrauliikka ja pneumaattikka- asennukset TOP 10ov
		Mittaus, TOP 10ov
		Tutkinnon osa ammatillisesta perustutkinnoista, 10 ov
		Tutkinnoissa ammatitutkinnoista
		Tutkinnon osa erikoisammattitutkinnoista
		Paikallisesti tarjottavat tutkinnot osat, 0-10 ov
		Louhintatekniikan perusteet 8 ov
		Muut valinnaiset tutkinnot osat ammatillisessa peruskoulutuksessa 0 -10 ov
		Louheen käsittely ja kaluston kunnossapito 8ov
		Työpaikkajääjäksi valmentautuminen 2 ov
		Vapaasti valittavat tutkinnot osat ammatillisessa peruskoulutuksessa 0 -10 ov
		Louhintatekniikan työt 7ov
		Louheen käsittelyn ja kaluston kunnossapidon työt 7ov