

Pohjois-Suomen metallikaivosten rikastusprosessien vertailu

Toni Kuivala

Opinnäytetyö
Teollisuuden ja luonnonvarojen osaamisala
Kone- ja tuotantotekniikka
Konetekniikka

2014

Kone- ja Tuotantotekniikan ko.
Kaivosmuunto

Tekijä	Toni Kuivala	Vuosi 2014
Ohjaaja	Tuomas Pussila	
Toimeksiantaja	Lapin Ammattikorkeakoulu	
Työn nimi	Pohjois-Suomen metallikaivosten rikastusprosessien vertailu	
Sivu- ja liitemäärä	49	

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia Pohjois-Suomessa sijaitsevien kaivoksien prosessien eroja. Tutkimuksen kohteeksi otettiin Elijärven, Kevitsan ja Kittilän kaivokset.

Teoriaosuudessa käsiteltiin eri prosesseihin liittyvää teoriaa ja käydään läpi myös prosesseissa yleisesti käytettyjä laitteita.

Työn alussa kerrotaan vertailuun otettujen kaivosten historiaa ja niissä käytetyistä prosesseista.

Työn lopussa on käyty tarkemmin läpi kaivosten keskinäisiä eroja. Käytettävissä olleesta lähdemateriaalista johtuen opinnäytetyö ei ole kovinkaan tarkka, koska opinnäytetyö tehtiin yleisellä tasolla, eikä ollut mahdollisuuksia saada tarkkoja teknisiä tietoja kaivoksilta, joiden perusteella olisi voitu tehdä tarkempaa vertailua.

Avainsanat Kaivosprosessit, murskaimet, vaahdotus, Sink float.

Mechanical and Production Engineering,
Mining Conversion

Author	Toni Kuivala	Year 2014
Supervisor(s)	Tuomas Pussila	
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences	
Subject of thesis	Ore Dressing Comparison between the Mineral Mines in northern Finland	
Number of pages	49	

Purpose of thesis was to explore the Northern Finland from the mines in the process differences. The study covered the Elijärven, Kevitsa and Kittilä mine.

The first chapter deals with the different processes related to the theory and go through the processes commonly used devices.

The second chapter deals with a comparison taken from the history of the mines and go-going through the mines and processes used.

The last chapter is about the differences between the mines. This is not very accurate, because the thesis was made at a general level and had access to accurate technical information on the basis of which the mines could have been to make a more accurate comparison.

Key words Mining processes, Sink float, crushers

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	MURSKAUS.....	2
2.1	Leukamurskaimet.....	3
2.2	Karamurskaimet.....	4
2.3	Kartiomurskaimet	6
2.4	Kartio- ja karamurskaimen toimintaperiaate	7
3	JAUHATUS	9
3.1	Kuulamyly.....	10
3.2	Tankomyly.....	11
3.3	Autogeenimyly.....	12
4	POHJOIS-SUOMEN METALLIKAIVOKSISSA KÄYTETYT RIKASTUSMENETELMÄT	14
4.1	Painovoimaan perustuvia rikastusmenetelmiä	14
4.2	Vaahdotus.....	16
5	OUTOKUMPU CHROME- ELIJÄRVEN KAIVOS	20
5.1	Historia.....	21
5.2	Louhinta	22
5.3	Malmin murskaus, välivarastointi ja rikastus	23
5.3.1	Malmin käsittely ja murskaus.....	24
5.3.2	Palarikastus.....	24
5.3.3	Hienorikastus.....	26
6	KITTILÄN KULTAKAIVOS.....	27
6.1	Historia.....	28
6.2	Louhinta ja murskaus	30
6.3	Rikastaminen	32
7	KEVITSA.....	36
7.1	Historia.....	36
7.2	Louhinta ja murskaus	37
7.3	Rikastaminen	38
7.3.1	Vaahdotus	38
7.3.2	Rikasteiden käsittely	39
8	KAIVOSTEN PROSESSIEN EROJA	40
9	POHDINTAA	42

1 JOHDANTO

Sain opinnäytetyön aiheen Lapin Ammattikorkeakoululta ja opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia Pohjois-Suomessa sijaitsevien kaivosten prosessien eroja. Opinnäytetyö rajataan koskemaan Elijärven, Kevitsan ja Kittilän kaivoksia. Lähtökohdaksi otettiin se, että opinnäytetyö tehtäisiin niiden julkisten dokumenttien avulla joita oli saatavilla.

Opinnäytetyön aiheen valitsin, koska kaivosten prosessit ja niissä käytettävät laitteet kiinnostivat ja sain kuulla koulutusohjelmavastaavalta, että tällainen opinnäytetyö olisi mahdollista tehdä. Opinnäytetyö tehdessäni pääsin tutustumaan tarkemmin kaivoksien prosessilaitteisiin liittyvään teoriaan ja sitä kautta syvensin tietämystä.

Lähteinä käytettiin mm. jokaisen kaivoksen YVA-selostuksia. Opinnäytetyöstä on rajattu pois tekohetkellä tehdyt investoinnit kaivoksissa esimerkiksi Kittilän kaivoksen investoinnit. Lähteistä johtuen mm. eri kaivoksien laajennukset ja prosessimuutokset on jätetty käsittelemättä.

Työn alussa tullaan käsittelemään kaivoksissa yleisesti käytettyjä prosesseja ja kerrotaan niistä hieman teoriaa, joka auttaa huomattavasti ymmärtämään lopussa käytävää kaivosten vertailua.

Opinnäytetyön lopussa on kerrottu vertailussa olevien kaivosten eroja ja niihin johtaneita asioita.

2 MURSKAUS

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

- primäärimurskaimiin
- sekundaarimurskaimiin
- tertiäärimurskaimiin. (Lukkarinen 1987, 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. (Kärki 2010, 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. (Wills&Napier-Munn 2006 , 108.)

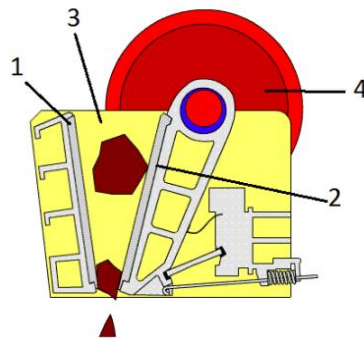
Murskaimen kita-aukko sekä asetusarvo vaikuttavat oleellisesti murskaukseen. Se, että kuinka suuria lohkareita murskaimeen voidaan syöttää, riippuu kita-aukon koosta. Murskaimen kita-aukon koko ilmaistaan tulona $A \times B$, missä A on kita aukon pituus akselin suunnassa ja B on liikkuvan leuan etäisyys kiinteästä leuasta kita-aukon yläreunasta. Murskaimen asetusarvolla ilmoitetaan liikkuvan ja kiinteän leuan pienin etäisyys kita-aukon alareunassa. (Lukkarinen 1987, s. 19.)

2.1 Leukamurskaimet

Leukamurskaimia käytetään ensisijaisesti esimurskaimina. Ne soveltuvat hyvin kovalle ja kuluttavalle kivelle. Leukamurskainten toiminta perustuu puristavaan murskaukseen. Murskausprosessi tapahtuu kiinteän ja liikkuvan leuan välissä. Liikkuvat leuat ovat kiinni heilurissa, joka liikkuu edestakaisin. Leukojen kulumisosat on vaihdettava säännöllisesti kulumisen takia. Leukapuristimia on kahta perustyyppiä: kierto- ja heilurimurskaimet. Kiertomurskaimissa epäkeskoakseli on murskaimen päällä. Puristus syntyy akselin liikkeen ja työnninlaatan vaikutuksesta. Heilurimurskaimissa on periaatteessa kaksi akselia ja kaksi työnninlaattaa. Ensimmäinen akseli on murskaimen päällä oleva nivelöity akseli ja toinen epäkeskoakseli, joka käyttää molempia työnninlaattoja. Liikkuva leuka liikkuu suorassa linjassa edes takaisin kiinteää leukaa vasten. (Hakanpää & Lappalainen 2009, 200.)

Puristusliike, joka kohdistuu materiaaliin sen tullessa sisään ja poistuessa, tekee kiertomurskaimen kapasiteetista paremman verrattuna samankokoiseen heilurimurskaimeen. Käytännössä kiertomurskaimet ovat lähes syrjäyttäneet heilurimurskaimet markkinoilla. Leukamurskaimet ovat luotettavia ja kestäviä laitteita ja siksi varsin suosittuja esimurskauslaitoksissa. (Hakanpää & Lappalainen 2009, 200–201.)

Leukamurskain vaatii aina syöttimen. Leukamurskaimia käytetään yleensä laitoksissa, jotka tuottavat alle 1600 t/h. Silloinkin merkittävä osa hienosta syötteestä on yleensä ohjattu välillä leukamurskaimen ohi. Käytännössä syötteen maksimikooksi suositellaan noin 80:tä prosenttia syöttöaukon syvyydestä. Kuviossa 1 on esitetty leukamurskaimen poikkileikkauskuva. (Hakanpää & Lappalainen 2009, s. 200.)



Kuvio 1. Leukamurskaimen rakenne: 1. kiinteä leuka 2. liikkuvaleuka 3. kitaukko 4. vauhtipyörä ja epäkeskomekanismi (Pietarila 2012, 7.)

2.2 Karamurskaimet

Karamurskaimessa kara-akseli on laakeroitu molemmista päistä, kun taas kartiomurskaimessa joko akseli tai kartio on laakeroitu ainoastaan alhaalta. Karamurskaimen kammio on yleensä pystympi ja pystyy käsittelemään hieman karkeampaa syötettä kuin kartiomurskain. Karamurskaimella on suuri syöttöaukko ja vain lyhyt yhdensuuntainen alue murskauskammion sisällä. Tämän rakenteen ansiosta karamurskaimella on suuri kapasiteetti mutta alhainen murskaussuhde. Esikaramurskaimia käytetään esimurskausvaiheessa silloin, kun tarvitaan suurta kapasiteettia. Kuorma-autot voivat tyhjentää louheen suoraan esikaramurskaimeen ilman syötintä. Karamurskaimia käytetään myös välimurskaimina. (Hakanpää & Lappalainen 2009, 201.)

Karamurskaimella ei tahdo löytyä vertaista suurissa laitoksissa, joiden kapasiteetti on vähintään 1200 tonnia tunnissa. Jos kuitenkin karamurskaimen syöttöaukon halutaan olevan yhtä suuri kuin leukamurskaimessa, karamurskaimen on oltava suurempi ja raskaampi. Esimurskaimen vaativat lisäksi massiiviset perustukset. Markkinoilla olevat esikarat on perinteisesti nimetty numeropareilla 60–89. Numerot tulevat laitteen tärkeimmistä mitoista tuumissa ilmaistuna: ensimmäinen numero on syöttöaukon koko ja jälkimmäinen kara-akselin manttelin halkaisija. Esikaran mitoituksella on peukalosääntönä se, että suurimman syötekoon pitää olla alle 80 prosenttia syöttöaukon koosta (esim. 60''*25,4mm*80 % =1220 mm). (Hakanpää & Lappalainen 2009, 201.)

Isompi syöte voi aiheuttaa holvautumista, rikotus nostaa kustannuksia ja pudottaa kapasiteettia. Esikaran yhteydessä näkee harvoin hienon syötteen välppäystä, koska käytännössä alle asetuksen oleva mineraali valuu murskaimen läpi aiheuttamatta suurempaa kuormitusta tai kulumista. Kuvassa 1 on esimerkkikuva Metson karamurskaimesta. (Hakanpää & Lappalainen 2009, 201.)

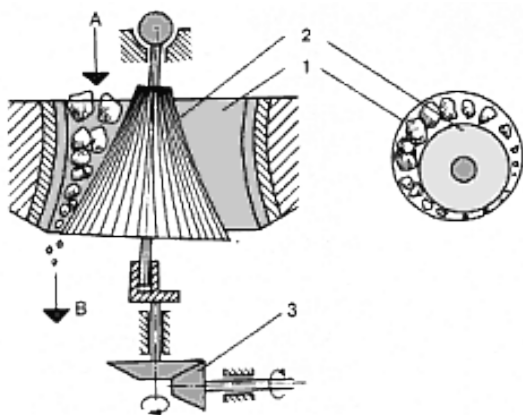


Kuva 1. Nordberg 550-karamurskain (Järvenpää 2008, s.11.)

2.3 Kartiomurskaimet

Kartiomurskaimia käytetään väli- tai hienomurskaukseen ja silloin, kun tuotteen muodon halutaan olevan kuutiomainen. Syöte on esimurskattu aiemmissa vaiheissa. Kartiomurskaimen murskauskammiossa on pitkä yhdensuuntainen alue, jonka ansiosta murskaimella on hyvä murskaussuhde mutta pieni kapasiteetti. Murskauskammion profiili on olennainen tekijä kartiotyyppin välimurskaimen suorituskyvyn kannalta. Näin ollen jokaisella murskaimella on yleensä saatavilla valikoima standardikammioita, josta kutakin materiaalia varten voidaan valita oikeanlainen vaihtoehto. (Hakanpää & Lappalainen 2009, 202.)

Rakenteensa vuoksi kartiomurskaimet (kuvassa 2) ovat yleensä suurempi investointi kuin iskupalkkimurskaimet. Asiamukaisessa käytössä kartiomurskaimen käyttökulut ovat kuitenkin alhaisemmat kuin tavallisessa iskupalkkimurskaimen käyttökulut. Tästä syystä kovia ja kuluttavia materiaaleja murskattaessa kannattaa käyttää kartiomurskaimia hienomurskaus- ja kuutiointivaiheessa. Kartiomurskaimien tuotteiden kuutiomaisuus on lisäksi useimmiten hyvä, ja laitteita voidaan mukauttaa sopiviksi erilaisiin sovelluksiin. Tämä on tärkeä tekijä, sillä käyttöolosuhteet muuttuvat usein murskaimen eliniän myötä. (Hakanpää & Lappalainen 2009, 202.)



Kuva 2. Kartiomurskaimen poikkileikkauskuva (Lukkarinen 1987, 98.)

2.4 Kartio- ja karamurskaimen toimintaperiaate

Kartio- ja karamurskaimet on varustettu oskiloivalla akselilla. Materiaali murskaataan murskauskammiossa ulkoisen kiinteän kartion ja sisäisen, akselikokoonpanoon kiinnitetyn liikkuvan kartion välillä. Hammaspyörillä pyöritettävä epäkeskoakseli saa aikaan kara-akselin oskiloivan liikkeen. Epäkeskeisyys saa kartion pään oskiloimaan välillä OSS (avoimen puolen asetus) ja CSS (suljetun puolen asetus), ja näiden kahden erotus on murskaimen iskunpituus. Kara- ja kartiomurskaimien kapasiteetti määräytyy pitkälle asetuksen CSS, kartion halkaisijan ja iskun perusteella. Materiaalin rikkoutuminen aiheutuu toistuvasta puristuksesta kammiota ympäröivien kulutuskartioiden välillä. Murskausvaikutusta syntyy myös puristuksessa olevien partikkeleiden välillä, mikä vähentää kulutuskartioiden kulutusta ja vaikuttaa tuotettavan murskeen muotoon. Tätä kutsutaan auto-geenimurskaimeksi. (Hakanpää & Lappalainen 2009, 202.)

Karamurskaimet on varustettu hydraulisella säätöjärjestelmällä, joka säätää suljetun puolen asetusta nostamalla tai laskemalla kara-akselia ja vaikuttaa näin ollen tuotteen raekokoon. Säätömekanismilla voidaan myös kompensoida kammioiden kulumista ja vaikuttaa sen täyttöasteeseen. Tätä säätötapaa voidaan käyttää myös murskauksen aikana. (Hakanpää & Lappalainen 2009, 202.)

Kartiomurskaimessa asetuksen säätö tapahtuu kiertämällä maljaa kierteitä vasten niin, että sen asema pystysuunnassa muuttuu. Näin malja kuluu tasaisemmin ja asetus pysyy paremmin kohdallaan. Haittapuolena on, että murskaus pitää keskeyttää säädön ajaksi. (Hakanpää & Lappalainen 2009, 202.)

Käyttökulujen ja tuotteen muodon optimoimiseksi on suositeltavaa, että murskauskammiota syötetään aina niin, että kammioiden on koko ajan niin täynnä kivimateriaalia kuin mahdollista. Tämä voidaan saada aikaan helposti käyttämällä esimerkiksi silloa, jonka avulla voidaan tasata muutoksia syöttövirrassa. Tasoanturit mittaavat materiaalin maksimi- ja minimitasoja ja säätävät, käynnistävät tai py-

säyttävät materiaalisuorituksen tarpeen mukaan. (Hakanpää & Lappalainen 2009, 202.)

3 JAUHATUS

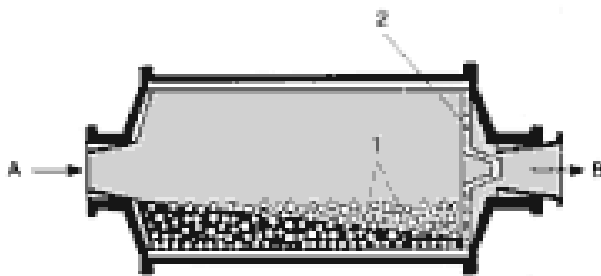
Jauhatus on mineraalien hienontamisen viimeinen vaihe. Jauhatusessa malmimurske hienonnetaan jauhamalla riittävään puhtaaksi jauhatusteeseen, sovellettavan rikastusmenetelmän vaatimaan hienonnusteeseen tai muuhun teknilliseen tai taloudelliseen tavoitteeseen. Mineraalien riittävä erottuminen toisistaan on rikastamisen onnistumisen perusedellytys. Toisaalta onnistunut jauhatus 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 jauhatuste kuluttaa tarpeettomasti energiaa ja usein vaikeuttaa rikastamista. Etenkin mineraalien ominaispainoeroihin perustuvien rikastusmenetelmien käyttäminen vaikeutuu, jos jauhatuksessa syntyy paljon hienoja raekokoluokkia. (Hulkki 1964, 170 – 171.)

Jauhatus suoritetaan rumpumaisissa, vaakatasossa pyörivissä myllyissä irrallisten jauhinkappaleiden avulla. Jauhautuminen perustuu iskuihin, puristukseen ja hiertoon. Jauhinkappaleina käytetään terästankoja, teräs- tai valurautakuulia ja jauhiniieriöitä. Myös malmikappaleita voidaan käyttää jauhinkappaleina, jolloin puhutaan autogeenijauhatusesta. Materiaalin jauhatus tapahtuu joko märkä- tai kuivajauhatusena. Märkäjauhatus on yleisimmin käytetty menetelmä. Jauhatusprosessin kannalta ei ole paljon eroa sillä, että suoritetaanko jauhatus märkä- vai kuivajauhatusena. (Lukkarinen 1987, 175 – 194; Pihkala 2011, 26.)

3.1 Kuulamyly

Kuulamyly (kuva 3) on sylinterinmuotoinen, oman akselinsa ympäri pyörivä jauhin, jota käytetään jauhamiseen ja sekoittamiseen. Se soveltuu malmien, keraamien sekä rakennus- ja kemianteollisuuden materiaalien jauhamiseen. Jauhaminen voidaan toteuttaa erillisten jauhinkuulien avulla joko märkä- tai kuivajauhausena sekä panostoisesti tai jatkuvatoimisesti. Myllyn sisäpuoli on päällystetty usein kulumista estävillä materiaaleilla kuten mangaaniteräksellä, kivikeramiikalla tai kumilla. Kuulamylyn toiminta perustuu sekä hiertymiseen että jauhamiseen. Myllyn pyöriessä jauhinkuulat ja jauhettava materiaali nousevat sentrifugaalisten voimien ansiosta myllyn kehälle, josta pudotessa ne iskeytyvät toisiaan vasten sekä hiertyvät myllyn reunoja ja jauhinkuulia vasten. Joissain myllyissä voi olla nostopalkkeja, jotka kuljettavat kuulat korkeammalle jauhimen kehälle, mikä tehostaa putoilevien kuulien murskaustehoa. (Linden & Neuvonen 2009, 6.)

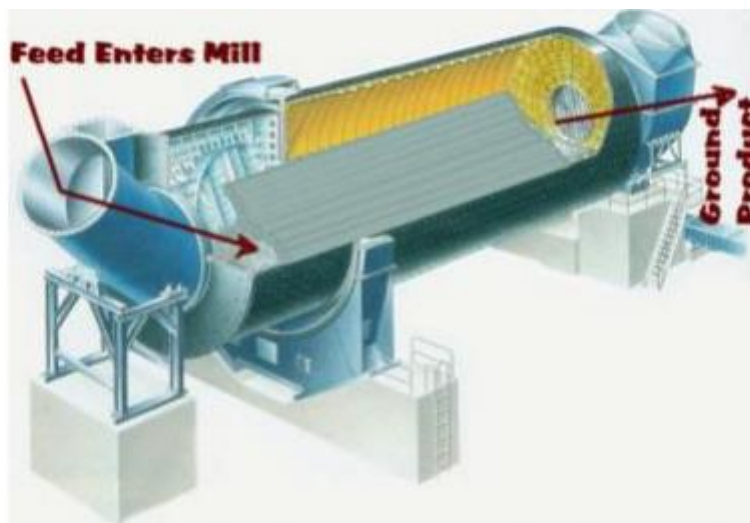
Jauhinkuulat ovat halkaisijaltaan 12 mm:stä 125 mm:iin ja ne on valmistettu yleisimmin ruostumattomasta teräksestä, mutta voivat olla myös keraamisia. Jauhinkuulien osuus on 30:stä 50 % myllyn tilavuudesta. Kuulamylyn tehokas toimintanopeus on noin 65:stä 75 % myllyn kriittisestä pyörimisnopeudesta, jolla tarkoitetaan nopeutta, jolla kuulat jäävät myllyn kehälle keskipakovoiman vaikutuksesta. Lisäksi jauhautuneisuuden vaikuttavat materiaalinsyöttönopeus, jauhettavan materiaalin ominaisuudet, jauhinkuulien paino ja halkaisija. (Linden & Neuvonen 2009, 7.)



Kuva 3. Kuulamyly (Pihkala 2011, 77.)

3.2 Tankomylly

Tankomylly (kuva 4) toimii samalla periaatteella kuin kuulamyly, mutta kuulien tilalla on tankoja. Tankomyllyä käytetään mineraali- ja malmiteollisuudessa sekä se soveltuu todella hyvin tahmeille materiaaleille jotka kuulamylyssä sitoisi kuulat ja jauhattavan materiaalin muuten yhteen. Tankomyllyjä on kolmea mallia, ylijuoksu, joka on ainut yleisessä käytössä oleva malli sekä loppuperifeerinen erotus ja keskeisperifeerinen erotus. Tankomyllyn suuri teho kuulamylyyn verrattuna saadaan jauhintankojen ja jauhattavan materiaalin suurella kosketuspinta-alalla, jolloin voidaan pitää myllyn nopeus matalampana ja jauhinaika lyhyempänä. Kuluneet tai vahingoittuneet tangot on helppo vaihtaa uusiin tankoihin. (Linden & Neuvonen 2009, 8.)



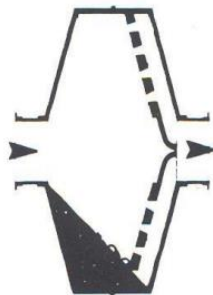
Kuva 4. Tankomyllyn poikkileikkaus (Linden & Neuvonen 2009, 8.)

Tangot ovat noin 50 mm halkaisijaltaan ja pituudeltaan koko myllyn mittaisia. Tangot valmistetaan erikoisteräksestä, hiiliteräksestä, jossa hiiltä on suuri osuus. Tankojen täyteaste on 35:stä 65 % myllyn tilavuudesta. Tankomylly pyörii oman akselinsa ympäri, jolloin tangot hankaavat ja tippuvat toisiaan sekä myllyn reuno-

ja vasten. Tankomyllyllä saadaan hyvin tasajakeista mursketta vähällä energialla, mutta sillä ei voida jauhaa erittäin kovia materiaaleja. Jauhaminen voidaan suorittaa joko kuiva- tai märkäjauhatuksena sekä jatkuva- tai panostoimisena. Tankomyllyssä syöttökoon tulisi olla alle 25 mm halkaisijaltaan. (Linden & Neuvonen 2009, 8.)

3.3 Autogeenimylly

Autogeenimylly toimii mekaanisesti samalla tavalla kuin kuulamylly. Ne eroavat toisistaan käytettyjen jauhinkappaleiden puolesta. Autogeenimyllyssä käytetään jauhinkappaleina jauhettavan materiaalin isompia kappaleita tankojen tai metallikuulien sijasta. Jauhaminen tapahtuu myllyssä suurimmaksi osin hiertämälle ja vain osittain törmäisiskujen myötä. Paras kokojakauma saavutetaan, kun lähtöainesyöttö sisältää karkeita ja hienoja partikkeleja. Autogeenimylly soveltuu jauhamisen lisäksi murskaukseen ja sekoitukseen. Jotta malmia voitaisiin jauhaa autogeenisesti, tulee syöttöpartikkelien painaa 2,5 kertaisesti loppukokoon nähden. Myllyn halkaisija on normaalisti kaksi tai kolme kertaa myllyn pituuden verran. Täyttöaste on 25:stä 35 % myllyn tilavuudesta. Pyörimisnopeuden tulee olla 55:stä 90 % myllyn kriittisestä pyörimisnopeudesta. Jauhaminen ja murskaaminen voidaan suorittaa myllyllä kuiva- sekä märkäjauhatuksena. (Linden & Neuvonen 2009, 9.)



Kuvio 2. Autogeenimyllyn jauhinaastian poikkileikkaus (Linden & Neuvonen 2009, 9.)

Autogeenimyllyllä saavutetaan kaksi merkittävää etua verrattuna edellä mainittuihin myllyihin. Autogeenimyllyllä jauhettaessa vähennetään metallin kulumista ja poistetaan sekundääriset ja tertiääriset murskausvaiheet. Autogeenimylly on kalliimpi hinnaltaan kuin edellä mainitut myllyt, mutta edullisempi käytössä, sillä autogeenimyllystä puuttuvat kuluvat jauhinkappaleet. Lisäksi autogeenimylly kuluttaa energiaa vähemmän verrattuna kuula- tai tankomyllyyn. Semiautogeenimyllyissä lisätään jauhinastiaan pieni määrä kuulia spesifisen ja tarkemman jauhintuloksen saavuttamiseksi. (Linden & Neuvonen 2009, 9.)

4 POHJOIS-SUOMEN METALLIKAIVOKSISSA KÄYTETYT RIKASTUSMENETELMÄT

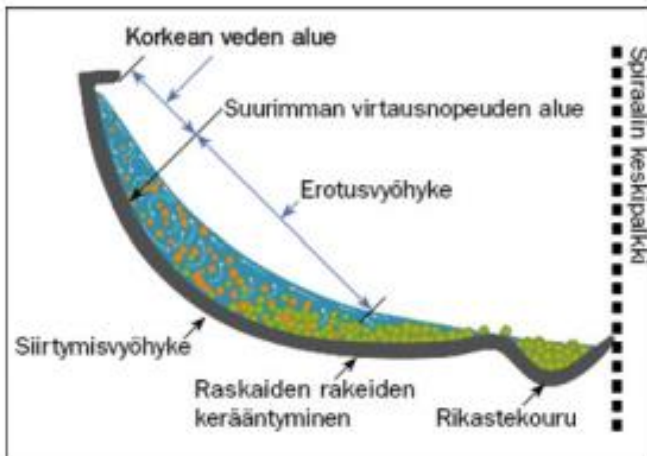
Seuraavassa luvussa käsitellään Pohjois-Suomessa sijaitsevien kaivosten yleisimmin käytettyjä rikastusmenetelmiä, joista painovoimaista rikastusmenetelmää käytetään Elijärven kaivoksessa ja vaahdotusrikastusta Kevitsan ja Kittilän kaivoksessa.

4.1 Painovoimaan perustuvia rikastusmenetelmiä

Painovoimaan perustuvia rikastusmenetelmät hyödyntävät mineraalien välisiä tiheuseroja. Perinteinen esimerkki painovoimarikastuksesta on käsikäyttöinen vaskooli, jota käytetään kullanhuuhdonnassa. Painovoimarikastuksessa malmi joko vajoaa väliaineessa kuten vedessä, piirauta-vesilietteessä tai kvartsihiekkavesilietteessä, pohjaan tai se keskipakovoiman avulla erotetaan lietteestä. Yleisimpiä painovoimaan perustuvia rikastusmenetelmiä ovat erotusrumpumenetelmä, spiraalierotin sekä kartioerotin. Erotusrummussa malmi sekoitetaan raskaan väliaineen kanssa, jolloin painavimmat malmikappaleet painuvat rummun pohjaan ja kevyemmät sivukivet nousevat kellumaan väliaineen pinnalle. Rummun erotuskykyä säädetään väliaineen litrapainoa muuttamalla, jolloin malmi saadaan mahdollisimman hyvin talteen. Uponnut rikaste ohjataan rummusta eteenpäin rikastusprosessissa, kun taas kelluvat sivukivet ohjataan jätekasaan.

Kierukkarikastus tai toisin sanoen spiraalierotus toteutetaan niin, että kiintoainetta noin 15 – 45 % sisältävä liete johdetaan spiraalin muotoiseen kierteelle taivutetun rännin yläpäähän. Maan vetovoima saa lietteen valumaan alaspäin ja rännin muodon takia lietteeseen alkaa vaikuttaa keskipakovoima, jotka saavat lietteessä olevat rakenteet jakautumaan horisontaalisesti ja vertikaalisesti. Myös nesteen viskositeetti ja rännin ja nesteen välinen kitka vaikuttavat erotustapahtumaan. Jakeet jakautuvat näistä voimista niin, että itse rikaste jää kulkemaan kourun si-

sälaitaa, kun taas kevyemmät rakeet kulkeutuvat kehän ulkolaidalle ja niiden väliin jää niin sanottu välituote, joka sisältää molempia rakeita. Erotuksen tehostamiseksi saatetaan spiraaliin johtaa myös lisävettä. Spiraalin loppupäässä olevilla kiilalevyillä jakeet erotetaan kaikki erillisiin säiliöihin jatkokäsittelyä varten. Yleensä välituote kierrätetään uudestaan spiraalille takaisin tai se johdetaan seuraavalle spiraalille, niin kauan kuin sen erottaminen on järkevää. Erotuksen tehokkuus määritellään sen perusteella, kuinka monta kierrosta spiraalissa on. Kapasiteettiä voidaan kasvattaa lisäämällä useampi spiraali laitteistoon. (Lukkarinen 1987, 212–214.)



Kuva 5. Spiraalierottimen toimintaperiaate (Rissanen & Peronius 2013, 63.)

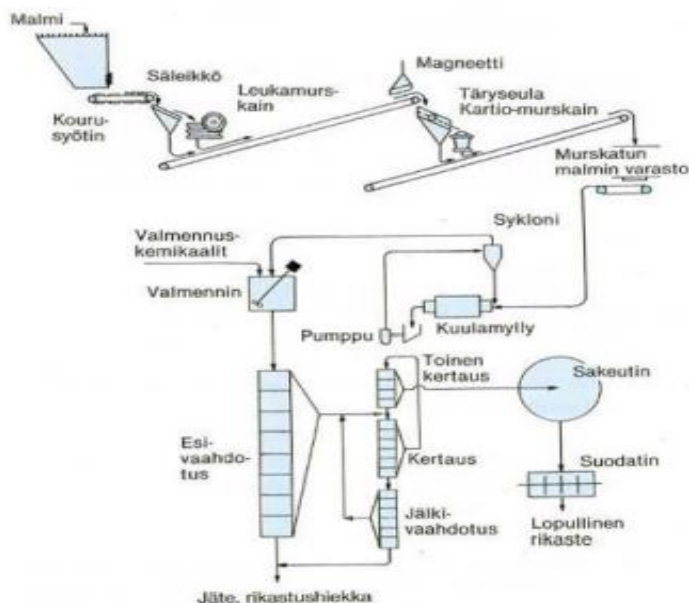


Kuva 6. Spiraalierotin (Pihkala 2011, 100.)

Spiraalierottimia käytetään Elijärven kaivoksessa malmin rikastamiseen. Spiraalierottimen hyvinä puolina voidaan pitää sitä, ettei rikastusmenetelmä tarvitse toimiakseen ollenkaan muita aineita kuin vain vettä ja rikastettavaa malmia. Rikastusmenetelmän yksinkertaisuutta voidaan myös pitää yhtenä hyvänä puolena, kun painovoima tekee kaiken malmin rikastamiseksi.

4.2 Vaahdotus

Vaahdotuksessa rikastetaan pieniä mineraalirakeita lietteestä. Tietyn mineraalin osat saatetaan kiinnittymään lietteessä synnytettyihin ilmakupliin. Näitä mineraaleja kutsutaan rikasteeksi ja ne kerääntyvät kuplien mukana vaahdon pinnalle ja poistuvat vaahdon mukana. Usein arvottomat mineraalit eivät tartu ilmakupliin ja poistuvat lietteen mukana. Näitä lietteessä olevia mineraaleja kutsutaan jätteenä tai rikastushiekaksi. Ilmakupliin tarttuvien mineraalien pinta on vettä hylkivä eli hydrofobinen ja lietteeseen jäävien mineraalien pinta on vesihakuinen eli hydrofiilinen. (Lukkarinen 1987, 18–19.; Pihkala 2011, 91.)



Kuva 7. Vaahdotusrikastuslaitoksen virtauskaavio (Pihkala 2011, 95.)

Yleensä vaahdotuksessa on pakko käyttää kemikaaleja, joiden tarkoitus on vaikuttaa mineraalienpintoihin ja vaahdon muodostumiseen. Nämä kemikaalit voidaan jakaa kolmeen ryhmään: kokoojat, vaahdotteet ja säännöstelijät. (Lukkarinen 1987, 19.)

Kokoojien eli kokoojareagenssien avulla muutetaan mineraalien pinnat riittävässä määrin orgaanisiksi ja ei-polaarisiksi. Kokoojille ominaista on, että niillä on suuri luontainen taipumus kiinnittyä juuri halutun mineraalin pinnalle, mutta ei samanaikaisesti muiden mineraalien pinnalle. Kokoojareagenssi syrjäyttää riittävästi aikaisemman pintapeitteen ja sen ionit asettuvat syrjäytettyjen tilalle. Tällöin mineraali muuttuu aerofiiliseksi ja se tarttuu helposti pinnalle nouseviin ilmakupliin, tehden mineraalin vaahdotuskelpoiseksi. (Lukkarinen 1987, 18–19.; Pihkala 2011, 92–93.)

Vaahdotteiden eli vaahdotusreagenssien avulla saadaan aikaan haluttu vaahdonmuodostus. Vaahdotteen tarkoituksena on alentaa veden pintajännitystä ja näin ollen saada aikaan tarpeeksi vahvoja kuplia, jotta ne pysyisivät ehjänä vaahdotekerroksena lietteen pinnalla. Vaahdotekerroksen tarkoituksena on uusiutua koko ajan nousevien kuplien vaikutuksesta ja hajota vasta, kun vaahto kuoritaan lietteen pinnalta pois. (Lukkarinen 1987, 18–19.; Pihkala 2011, 92–93.)

Säännöstelijät eli säännöstelyreagenssit ovat vaahdotuksen ohjaajia. Niiden tarkoitus on joko helpottaa tai estää kokoojan tarttuminen mineraalin pinnalle. Näitä kutsutaan usein myös nimityksillä aktivoijat ja painajat. (Lukkarinen 1987, 19.)

Vaahdotusprosessi edellyttää seuraavia asioita:

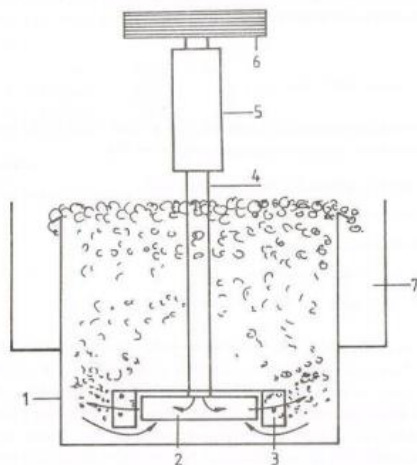
1. Vain haluttu mineraali peittyy kokoojareagenssiin.
2. Lietteessä on ilmakuplia, joita suojaa vaahdotemolekyylillä kerros.
3. Mineraalirae ja ilmakuplat saatetaan toistensa välittömään läheisyyteen esimerkiksi sekoittamalla. Mineraalirae ja ilmakuplat yhtyvät, jolloin kuplat nostavat rakeet pinnalle ja ne muodostavat rikastevaahdon. (Pihkala 2011, 93.)

Vaahdotuksessa käytettävät koneet ja laitteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

1. Vaahdotuskoneet
2. Valmentimet
3. Kemikaalilaitteet (Lukkarinen 1987, 96–99.)

Vaahdotuskoneet eli yleisemmin vaahdotuskennot ovat laitteita, joissa itse vaahdotus tapahtuu. Ne yleensä jaotellaan kahteen ryhmään: mekaanisiin koneisiin ja pneumaattisiin. Käytännössä kaikki koneet ovat pneumaattisia, sillä kaikissa vaahdotuskoneissa tarvitaan ilmaa. Näiden erona on ainoastaan se, että mekaaninen kone imee ilman oman mekanismin avulla ja pneumaattisessa koneessa käytetään ulkopuolista puhallinta ilman tuottamiseksi. Vaahdotuskoneen tehtävät ovat:

- dispergoida, eli sekoittaa riittävästi pienikuplaista ilmaa lietteeseen
- saada ilmakuplat ja rakeet törmäämään toisiinsa
- pitää mineraalirakeet suspensiona vesilietteessä
- muodostaa sopivat olosuhteet vaahdotkerroksen syntymäalueille
- antaa mahdollisuus poistaa rikaste ja jäte (kuva 9). (Lukkarinen 1987, 96–99.)



Kuva 8. Vaahdotuskoneen periaatekuva. 1. Allas, 2. Potkuri, 3. Staattori, 4. Akseli, 5. Laakerit, 6. Hihnapyörä, 7. Rikasteränni. (Lukkarinen 1987, 99.)

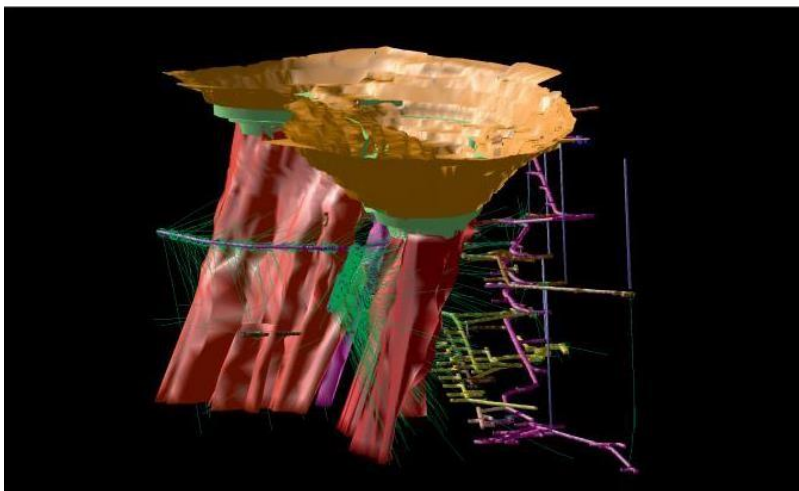
Valmennuksella tarkoitetaan prosessivaihetta, jossa eri reagensseille ja lietteen rakeille luodaan mahdollisimman hyvät olosuhteet mukautua vaahdotukseen, jotta ne tuottaisivat toivotun reaktion vaahdotuksessa. Valmennin on tyypillisesti vain lieriömäinen säiliö, jossa on potkuri (kuva 9). (Lukkarinen 1987, 119–120.)

Vaahdotuksessa on paljon hyviä sekä huonoja puolia. Hyvänä puolena voidaan pitää sitä, että saadaan mahdollisimman tarkasti haluttu rikaste talteen, mutta tämä on kuitenkin tarkkaa työtä siinä mielessä, ettei mikään muu mineraali saa nousta kuplien mukana pintaan, kuin vain haluttu mineraali. Huonoina puolina voidaan pitää yleistä mielikuvaa vaahdotuksesta, kun joudutaan käyttämään terveydellä vaarallisia vaahdotusaineita.

5 OUTOKUMPU CHROME- ELIJÄRVEN KAIVOS

Kemin kaivos, joka tunnetaan myös nimellä Elijärven kaivos, on Outokumpu Oyj:n tytäryhtiön Outokumpu Chrome Oy:n omistuksessa oleva kromikaivos. Kaivos sijaitsee n. 15 km:n päässä Kemin keskustasta pohjoiseen, Keminmaan kunnassa. Kemin kaivoksen hyödynnettävä arvomineraali on kromiitti, josta hyödynnetään kromimalmia. Kromiitin tuottajana se on yksi Euroopan merkittävimmistä kaivoksista. (Huovinen 2007, 3.)

Louhinnan, rikastuksen sekä jalostuksen tuotantoketju sijaitsee Kemi – Tornio akselilla, jonka vuoksi tuotantokustannukset saadaan pysymään alhaisina ja louhinta on kannattavana maailmanlaajuisessa mittakaavassa. Rikastuksessa käytetään ominaispainoerotusta, jolla eritellään malmin ja sivukiven painoeroja sekä vajoamisnopeuksia nesteissä. Rikasteen kokonaissaanti on n. 75 %:a. Rikasteen siirtäminen Outokumpu Chromen tehtaalle tapahtuu rekoilla, tehtaassa valmistetaan ferrokromia ruostumattoman teräksen tuotantoon. (Rissanen 2011, 10.)



Kuva 9. Kemin kaivoksen 3D- malli (Rissanen 2011, 11.)

5.1 Historia

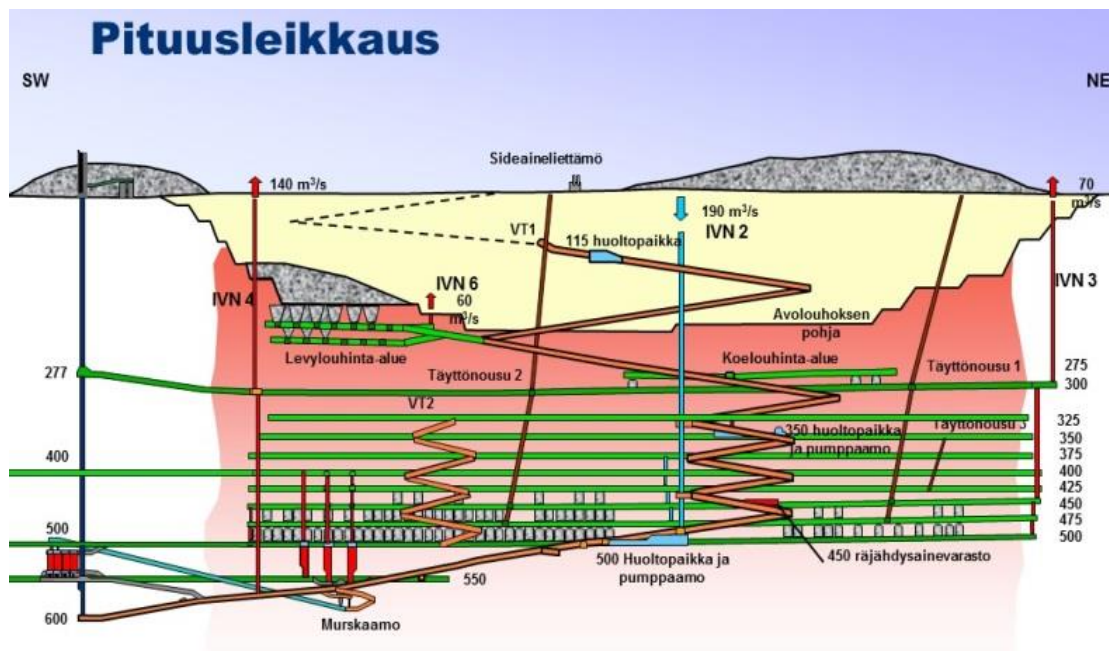
Esiintymä löydettiin vuonna 1959, löydön teki paikallinen harrastesukeltaja Martti Matilainen. Hän toimitti löydöksensä Geologian tutkimuskeskukselle, joka lähetti oman tutkijansa Kemiin. Matilainen oli tehnyt ammattimielestään kiinnostavan löydön. Tutkija paikansi viisi - kuusi metriä pitkän juonteen, joka oli n. puolimetriä leveä. Hieman myöhemmin Geologian tutkimuskeskuksen väki kävi mittaamassa painovoima ja magneettikenttä mittauksia, jonka perusteella määriteltiin esiintymän olevan 600 m:ä pitkä ja 50 m:ä leveä. (Juuso 2014, 8.)

Vuonna 1960 Geologian tutkimuskeskus sai valmiiksi malmiarvionsa. Sen mukaan alueella oli seitsemän ja puolimiljoonaa tonnia malmia, jonka kromioksidi on yli 30 %. Sen lisäksi alueella oli 28 miljoonaa tonnia malmia, jonka kromioksidi on yli 20 %. Tämä näyttö riitti kauppa- ja teollisuusministeriölle, joka siirsi jatkotutkimuksen Outokummulle. Outokummun tehtävä oli selvittää mahdollisuudet kaivoksen perustamiselle. Kaivos avattiin lähes kymmenen vuotta löydön jälkeen vuonna 1968. Louhinta alkoi avolouhoksena, vuonna 1995 tehtiin ensimmäiset tutkimustunnelit maanalle. Vuonna 2003 alkoi maanalainen louhinta ja vuonna 2006 avolouhinta lopetettiin. (Pöyry 2009, 25.)

5.2 Louhinta

Kemin kaivoksella koko malmituotanto tuotetaan maan alla. Turvallisuuden parantamiseksi, louhittuihin tunneleihin tehdään tuentoja verkottamalla ja rappamalla sekä vaijeri pulttaamalla. (Juuso 2014, 9.)

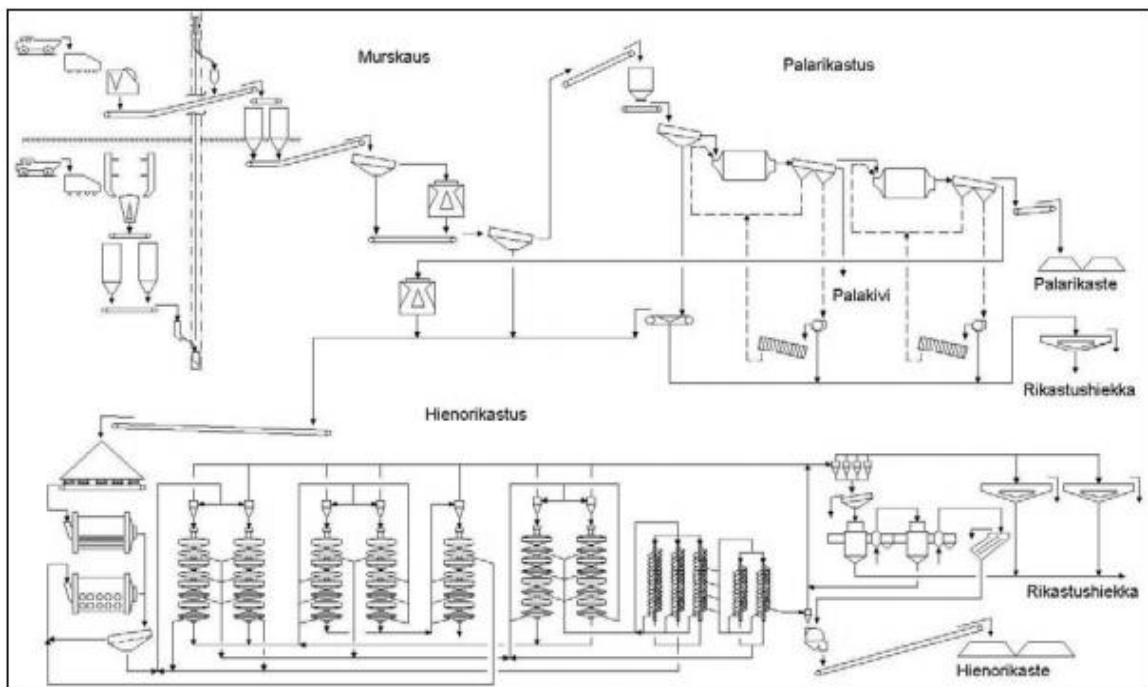
Malmiin tehtäviin louhintaperiin porataan louhintareivät, jotka räjäytetään. Irrotettu malmi lastataan louhoksista kaatonousun kautta murskalle, josta se toimitetaan rikastamolle. Kuvassa 11 on esitetty Outokumpu Chromen Elijärven kaivoksen poikkileikkauskuva. Avoimille louhoksille suoritetaan täyttö ja louhinta jatketaan täytettyjen louhosten päältä ylöspäin. (Juuso 2014, 9.)



Kuva 10. Kemin kaivoksen pituusleikkaus (Rissanen 2011, 10.)

5.3 Malmin murskaus, välivarastointi ja rikastus

Kromimalmin rikastus perustuu pääosin ominaispainoerotukseen ja joiltain osin myös magneettiseen erotukseen. Rikastuksen päävaiheet ovat murskaus, palarikastus ja hienorikastus ja hienorikastus. (Pöyry 2009, 33.). Kuva 12 kuvaa Elijärven kaivoksessa olevaa prosessia vuodelta 2009. Tässä työssä ei kuitenkaan oteta huomioon sitä, että kaivoksessa on tehty investointeja prosessiin vuonna 2014.



Kuva 11. Kemin kaivoksen rikastamon prosessikaavio (Pöyry 2009, 34.)

5.3.1 Malmin käsittely ja murskaus

Malmin esimurskaus tapahtuu maanalaisessa kaivoksessa sijaitsevassa murskaamossa. Esimurskattu malmi syötetään kappalastaamalla kalliosiiloista nostokoneen mittataskuun. Nostettava määrä on 26 tonnia kerrallaan. Nostokoneella malmi nostetaan maanpinnalla sijaitsevaan tornisiiloon (kapasiteetti 100 tonnia), josta malmi siirretään hihnakuuljettimella maanpintasiiloihin, joita on kaksi kappaletta. Siilojen kapasiteetti on 3000 tonnia. (Pöyry 2009, 29.)

Siiloista malmi siirtyy hihnakuuljettimella risteysaseman kautta murskaamoon, jossa tapahtuu malmin kuivaseulonta sekä toisen vaiheen murskaus. Risteysasemalla malmista poistetaan sen joukkoon joutuneet vaijerinpalat magneettierottimella. Murskaamalla tapahtuvassa seulonnassa malmi jaetaan kahteen jakeeseen, joista alle 10 mm. malmi menee suoraan malmin välivarastoon ja yli 10 mm. malmi syötetään palarikastusprosessiin. Malmin yläkokoa säädetään murskaimen asetuksella. Vuosittainen murskattava malmimäärä on noin 2 700 000 tonnia. Malmin keskimääräinen pitoisuus on 26,0 % $\text{-Cr}_2\text{O}_3$. (Pöyry 2009, 34–35.)

5.3.2 Palarikastus

Murskaamolta tulevan, kappalekooltaan 10–120 mm malmin, rikastetaan ns. sink-float menetelmällä. Palarikastamalla malmista erotetaan palakivi, palarikaste sekä välituote. Palarikastusprosessissa ei käytetä muita kemikaaleja kuin veden selkeyttämiseen tarvittavaa flokkulanttia. Piirauta toimii väliaineena ja se poistetaan rikasteesta, palakivestä ja välituotteesta. (Pöyry 2009, 30.)

Malmille suoritetaan pesuseulonta ennen erotusprosessia kaksivaiheisena märkäseulontana. Tavoitteena on pestä pois alle 10 mm aines, jota ei kuivaseulonnassa täysin saada poistettua. Hienoaines vaikuttaa epäedullisesti erotusprosessin dynamiikkaan. (Pöyry 2009, 30.)

Pesuseulottu malmi syötetään kaksivaiheiseen erotusprosessiin. Ensimmäisessä vaiheessa malmista erotetaan palakivi ja toisessa vaiheessa palarikaste ja väli- tuote. Erottimina toimivat sink-float rumpuerottimet. Rummuissa on veden ja pii- raudan seosta, jonka tiheys on huomattavasti veden tiheyttä korkeampi. Ensim- mäisessä rummussa tiheys on 3,0–3,3 kg/l ja toisessa rummussa 3,4–3,65 kg/l. Riippuen syötettävän malmin tiheydestä se joko kelluu seoksen pinnalla tai up- poaa siinä. Uponnut jae sisältää kromiittia enemmän kuin kelluva jae. (Pöyry 2009, 30.)

Kummankin rummun jälkeen on väliaineseulonta, jossa pestään piirauta pois ki- vien pinnoilta. Piirauta puhdistetaan magneettierottimilla ja palautetaan proses- siin. Piirauta on kaasuatomisoimalla valmistettua hienoa jauhetta, joka sisältää 15 % piitä ja 85 % rautaa. Vuosittain piirautaa kuluu 80–100 tonnia. (Pöyry 2009, 34–35.)

Palakiveä käytetään maanalaisessa kaivoksessa louhosten täyttöön. Palakiveä voidaan myös käyttää maisemointitarkoituksiin sekä patojen verhoiluun. Proses- sissa syntyvä väli tuote menee murskaamolle kolmannen vaiheen murskaukseen, josta syntyvä aines on hienorikastamon syötettä. Palarikaste varastoidaan halli- varastoon odottamaan toimittamista Tornion FeCr-tehtaalle. (Pöyry 2009, 30.)

Palarikastamon syöte on vuositasolla noin 800 000 tonnia, josta palarikastetta noin 200 000 tonnia sekä palakiveä noin 150 000 tonnia. Loput malmista johde- taan hienorikastuspiiriin. Palarikasteen pitoisuus on keskimäärin 35,5 – Cr₂O₃ ja palakiven 7,0 – Cr₂O₃. (Pöyry 2009, 31.)

5.3.3 Hienorikastus

Murskauksessa syntynyt seulottu hienoaines sekä murskattu väliaine varastoidaan ns. murskevarastossa, josta se syötetään hienorikastusprosessiin. Hienorikastusprosessissa ei käytetä muita kemikaaleja kuin veden selkeytyksessä tarvittavaa flokkulanttia. (Pöyry 2009, 31.)

Malmi jauhetaan jauhatuspiirissä, johon kuuluvat tanko- ja kuulamyly sekä luokitusseulat. Jauhinkappaleina käytetään terästankoja sekä – kuulia. Jauhatus tapahtuu märkäjauhatuksena. Jauhettu malmiliete rikastetaan painovoimarikastusmenetelmällä. Ensimmäisen vaiheen rikastus tapahtuu Reichert- kartioerottimella ja toisen vaiheen rikastus spiraalierottimilla. Kummassakin menetelmässä erotetaan toisistaan mineraalit niiden ominaispainoerojen mukaan. Erotusmenetelmä on monivaiheinen. Lopullinen tuote saadaan viimeisestä spiraalierotinyksiköstä. Rikaste suodatetaan rumpusuotimella ja varastoidaan hallivarastoon toimistusta varten. (Pöyry 2009, 36–37.)



Kuva 12. Hienorikastuksen spiraalierottimet (Rissanen & Peronius, 2013, 63.)

6 KITTILÄN KULTAKAIVOS

Kittilän kaivos sijoittuu noin 40 km Kittilän keskustasta koilliseen Pokantien varteen Rouravaaran kylän länsipuolelle ja Seurujoen itäpuolelle. Lähimmät asutuskeskittymät sijaitsevat Rouravaarassa, Lintulassa ja Kiistalassa. Alue on harvaan asuttua Lappilaista maaseutua. Kaivospiirin alueesta noin kolmasosa on tällä hetkellä Agnico-Eagle Finland Oy:n omistuksessa ja kaksi kolmannesta jakautuu puoliksi Metsähallituksen ja muiden omistajien kesken. (Pöyry 2012,15.)



Kuva 13. Kittilän kaivoksen sijainti (Pöyry 2012, 15.)

6.1 Historia

Ensimmäiset viittaukset Suurikuusikon kultaesiintymästä saatiin vuonna 1986, kun tietyömaan leikkauksesta lähellä Kiistalaa löydettiin kultapitoinen kvartsi-karbonaattijuoni. Löytö herätti suurta kiinnostusta Geologian tutkimuskeskuksessa ja alueella aloitettiin tarkemmat tutkimukset kullan paikantamiseksi. GTK kairasi vuosien 1989–1991 välisenä aikana alueelle yhteensä 72 kairareikää yhteispituudeltaan noin yhdeksän kilometriä. Tutkimusten avulla voitiin luotettavasti rajata kultamineralisaatio, joka nykyään sisältyy Kittilän kaivoksen malmivaroihin. Alustavien metallurgisten testien perusteella todettiin, että refraktorinen kultamineralisaatio oli rikastettavissa bioliuotuksen avulla. Vuosina 1991–1998 kulta-projekti eli hiljaiseloa, eikä merkittäviä edistysaskelia tapahtunut. (Pöyry 2012, 18–20.)

Suurikuusikon kultaprojekti laitettiin kansainväliseen tarjouskilpailuun vuonna 1998, jolloin ruotsalainen Riddarhyttan Resources AB sai esiintymän tutkimusoi-keudet itselleen. Tarjouskilpailuasiakirjoissa Suurikuusikon mineraalivarantojen arvioitiin olevan 1,5 Mt sisältäen keskimäärin 5,9 g/t kultaa. Kullan kokonaisva-rantojen arvioitiin olevan hieman yli kahdeksan tuhatta kiloa. Vuonna 1998 mal-minetsintätyöt jatkuivat Riddarhyttan Resources AB:n toimesta. Vuosina 1999–2005 Suurikuusikossa kairattiin yhteensä yli 460 kairareikää (yli 136 km). Mal-minetsintätöiden ohessa valmisteltiin ympäristön perustilaselvityksiä. (Pöyry 2012, 18–20.)

Riddarhyttan Resources AB:lle myönnettiin Suurikuusikon esiintymään kaivoskir-ja ja kaivospiiri Tammikuussa 2003. Kanadalainen Agnico-Eagle Mines Ltd hankki vuoden 2004 aikana enemmistöosuuden Riddarhyttan Resources AB:stä. (Pöyry 2012, 18–20.)

Riddarhyttan Resources AB julkaisi helmikuussa 2005 uuden JORC-koodin mu-kaisen mineraalivarantoarvion. Agnico-Eagle Mines Ltd ja Riddarhyttan Resour-

ces AB allekirjoittivat sopimuksen toukokuussa 2005, jonka mukaan Agnico-Eagle tarjoutui ostamaan kaikki Riddarhyttanin osakkeet, jotka eivät vielä tällöin olleet Agnico-Eaglen omistuksessa. (Pöyry 2012, 18–20.)

Agnico-Eagle ilmoitti marraskuussa 2005 hankkineensa omistukseensa loputkin Riddarhyttan Resources AB:n osakkeet. Vuonna 2005 valmistui myös hankkeen alustava kannattavuusselvitys, jonka louhinta- ja tuotantosuunnitelmien perusteella arvioitiin vuonna 2006 Suurikuusikon malmivarannot. Näiden ns. todennäköisten mineraalivarojen määrän arvioitiin olevan 13,8 Mt (5,3 g/t Au; 65 200 kiloa). (Pöyry 2012, 18–20.)

Hankkeen kannattavuusselvityksen valmistuttua kesäkuussa 2006 Agnico-Eagle ilmoitti aloittavansa kaivoksen rakentamistyöt. Kaivos toimi alkuvaiheessa avolouhoksena ja myöhemmin maanalaisena kaivoksena. Malmi rikastettaisiin rikastamolla, jonka kapasiteetti olisi 3 000 t/d. (Pöyry 2012, 18–20.)

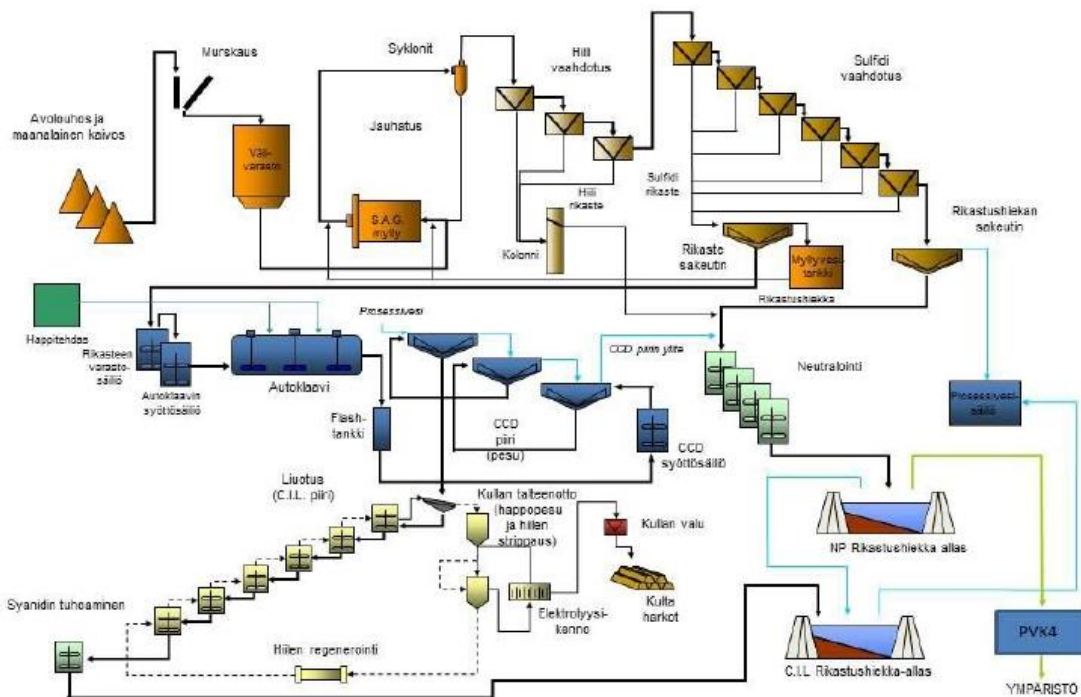
Investointipäätöksen jälkeen kaivoksen rakentamistyöt aloitettiin välittömästi. Työt alkoivat rikastamon ja toimistorakennuksen rakentamisella. Korkeajännitevoimajohto ja muuntoasema olivat toimintakunnossa vuoden 2006 lopussa. Elokuussa 2006 alkoi sivukiven louhinta Suurikuusikon avolouhokselta ja vinotunnelin rakentaminen lokakuussa 2006. Vuoden loppuun mennessä sivukiveä oli louhittu 725 000 t ja vinotunnelia rakennettu noin 190 m. (Pöyry 2012, 18–20.)

Avolouhoksesta louhittiin vuoden 2007 aikana 1,98 Mt sivukiveä ja maanalaista kaivosta rakennettiin noin 2 700 m. Vastaavat luvut vuonna 2008 olivat 5,21 Mt sivukiveä ja noin 2 300 m tunnelia. Avolouhoksesta malmin louhinta alkoi toukokuussa 2008. Vuoden 2008 loppuun mennessä oli louhittu yli 310 000 t malmia. Rikastamo käynnistettiin toisella vuosineljänneksellä 2008 ja vuoden loppuun mennessä rikastusprosessi saatiin osin toiminta kuntoon. (Pöyry 2012,18–20.)

6.2 Louhinta ja murskaus

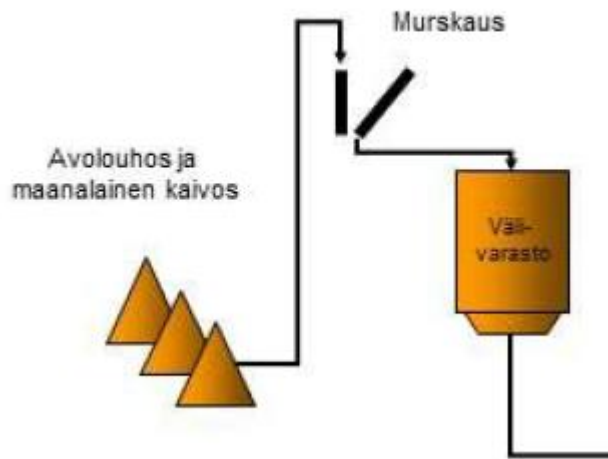
Malminlouhinta tapahtuu sekä avolouhintana että maanalaisena louhintana. Louhinnan valmistelevia töitä ovat panos reikien poraaminen, panostaminen ja räjäytys. Louhintamenetelmänä tullaan käyttämään paikalleen räjäytystä. Menetelmällä saadaan kivi särkymään lastattavaan kokoon. (Pöyry 2012, 25.)

Malmi ja sivukivi erotetaan toisistaan lastauksen yhteydessä. Rikastettava malmi kuljetetaan Kittilän kaivokselle rikastettavaksi. Tämän hetkinen louhintamäärä on 11,4 miljoonaa tonnia, josta sivukiveä on 10,8 miljoonaa tonnia. Vuosittain louhitetaan 2 miljoonaa tonnia kiviainesta. Kuva 19 kuvaa Kittilän kaivoksessa olevaa prosessia vuodelta 2012, tässä työssä ei kuitenkaan oteta huomioon sitä, että kaivoksessa on tehty investointeja prosessiin 2014. (Pöyry 2012, 28.)



Kuva 14. Kittilän kaivoksen prosessikaavio (Pöyry 2012, 28.)

Murskaus tapahtuu Kittilän kaivoksen murskaamolla. Louhittu malmi kuljetetaan kuorma-autoilla murskaamolle välivarastoihin, josta se syötetään murskauspiiriin. Varastoalueen valuma- ja suotovedet kerätään ja pumpataan rikastamon proses-sivedeksi. (Pöyry 2012, 28.)

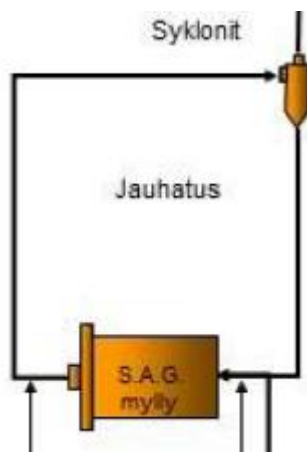


Kuva 15. Murskauspiiri (Pöyry 2012, 28.)

6.3 Rikastaminen

Rikastus tapahtuu kaivoksen rikastamolla. Vapaan metallisen kullan vähäisen määrän takia prosessi edellyttää rikasteen sulfidien hapettaminen autoklaavissa ja kullan syanidiliuotusta. (Pöyry 2012, 27.)

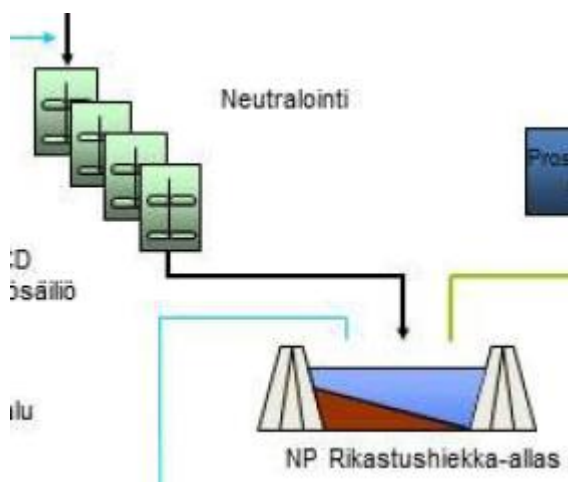
Murskauksen jälkeen hihnakuljetin siirtää malmin rikastamon siiloon, josta sitä syötetään hihnakuljettimella jauhatuspiiriin. Jauhatus tapahtuu yksivaiheisella semiautogeeni myllyllä. Myllyssä on jauhatukset tehostamiseksi 100 mm teräskuulat. Jauhatusprosessi on vesiprosessi, jossa myllyyn lisätään vettä ja tapahtuu märkäjauhatus. Jauhatuspiirissä on myllyn lisäksi sykloni luokitin, joka mittaa jauhetun aineksen raekoon. Mikäli jauhe on riittävän hienoa, se siirtyy eteenpäin vaahdotukseen. Ylisuuri jauhe palautetaan myllyyn uudelleen jauhettavaksi. Tuotannon lisääntyessä asennetaan sekundäärimylly, jolla saadaan nopeutettua jauhatusprosessia. Ennen uuden myllyn asennusta on rikastamorakennusta laajennettava. (Pöyry 2012, 28.)



Kuva 16. Jauhatuspiiri (Pöyry 2012, 28.)

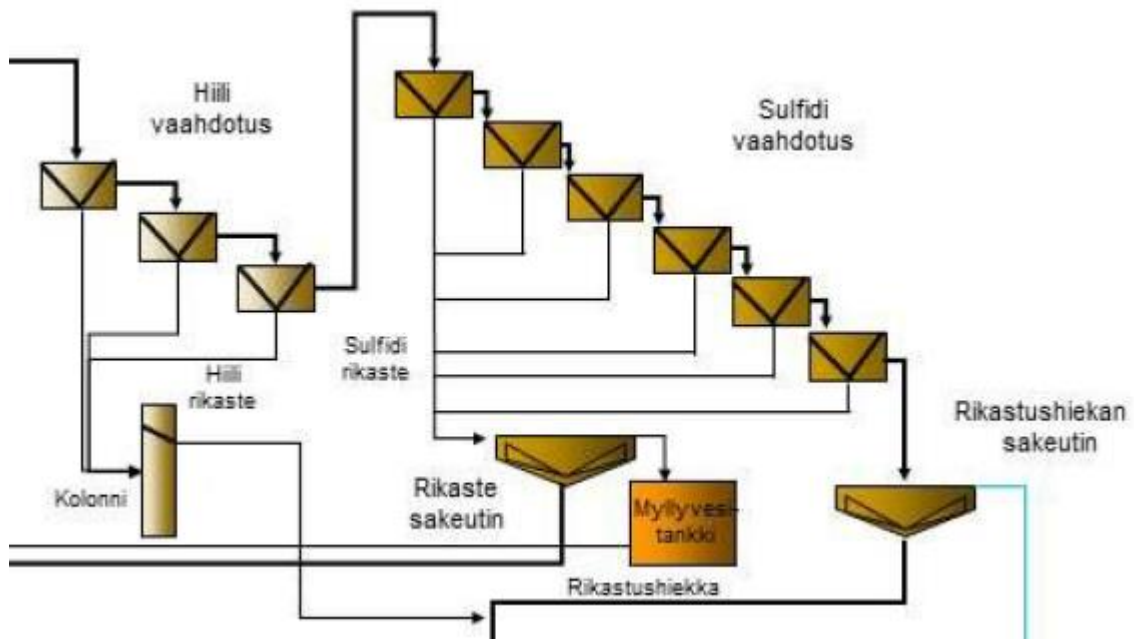
Jauhatuksen jälkeen liete pumpataan vaahdotuskennoille, missä lietteeseen lisätään kemikaaleja ja paineilmaa. Paineilma luo lietteeseen ilmakuplia, joihin kemikaalien vaikutuksesta mineraalit reagoivat ja sitovat itsensä ilmakupliin ja nousevat lietteen pinnalle. (Pöyry 2012, 26.)

Vaahdotus tapahtuu kahdessa vaiheessa. Ensimmäinen vaihe koostuu hiilen erotamisesta lietteestä hiilirikasteeksi. Hiilipitoisuus aiheuttaisi myöhemmissä rikastusvaiheissa ongelmia ja heikentäisi kullan saantia. Hiilirikaste johdetaan vaahdotuksen rikastehiekkapumpuille. Hiilirikaste sakeutetaan ja neutraloidaan, jonka jälkeen se ohjataan rikastehiekka-altaisiin. (Pöyry 2012, 29.)



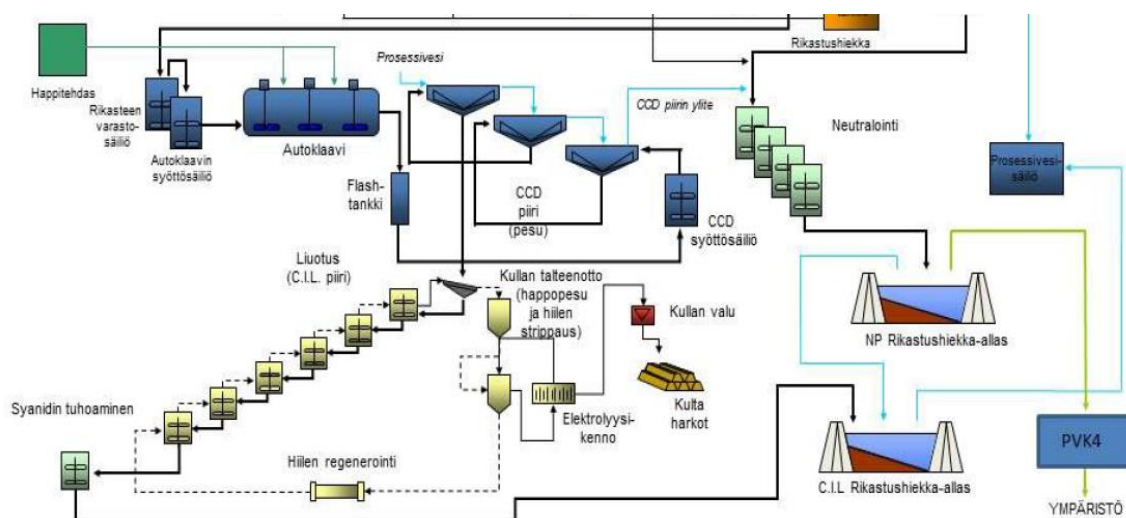
Kuva 17. Hiilen neutralointi (Pöyry 2012, 28.)

Hiiliprosessin jälkeen liete pumpataan sulfidivaahdotuspiirille, jossa erotetaan rautasulfidit pyriitti ja arsenopyriitti rikasteeksi, joka sisältää sitoutuneen kullan. Rikaste sakeutetaan ja siitä poistetaan klorideja. Seuraavaksi rikaste ohjataan autoklaaviin. Sulfidipiirin rikastehiekka sakeutetaan ja neutraloidaan ja viedään rikastehiekka-altaalle. (Pöyry 2012, 29.)



Kuva 18. Vaahdotus 2-vaiheinen (Pöyry 2012, 28.)

Autoklaavissa sulfidimineraalit hapetetaan sulfaateiksi ja oksideiksi, autoklaaviin syötetään rikastamon viereisestä happitehtaasta happea. Hapetuksessa mineraalit hajoavat, jolloin kulta ja muut metallit irtoavat rikastesakkaliuokseen. Prosessin lämpötilaa säädellään jäähdytysvedellä. Autoklaavista poistuva liete jäähdytetään FLASH-tankissa. Tankista vapautuva höyry johdetaan autoklaavin pesurille, jossa siitä poistetaan kiintoaineet ja happamat höyryt. (Pöyry 2012, 29.)



Kuva 19. Liuotus ja neutralointi (Pöyry 2012, 28.)

Hapetuksesta saatu sakka pestään vastavirtaperiaatteella kolmivaiheisesti CCD-yksikössä. Lietteestä pestään lienneet metallit ja vapaa happo erilleen kiintoaineesta, jotta saadaan puhdas sakka prosessivaiheeseen. (Pöyry 2012, 29.)

Neutralointipiirissä sakan pesupiirin hapan vesi käsitellään ja käsittelyllä sidotaan veden lienneet metallit. Neutralointi on kaksivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa hyödynnetään karbonaattimineraalien emäksisyyttä johtamalla vaahdotuksen rikastushiekka neutralointireaktoriin. Tarvittaessa lisätään kalkkia lopullisen pH-arvon saavuttamiseksi, ennen neutraloidun lietteen pumppausta rikastushiekaltaaseen. (Pöyry 2012, 29.)

Kulta liotetaan rikasteesta syanidiliuotuksella. Prosessissa on mukana aktiivihiihi, johon kulta absorboituu. Ensimmäisessä vaiheessa lisätään kalkkia, jotta sopiva pH saavutetaan ja liete ilmastetaan. Seuraavassa vaiheessa kullan liotus tapahtuu useassa vaiheessa. Liotusreaktoriin lisätään syanidia, jotta riittävä liotuspotentiaali yllä pietetään ja pH säädetään riittäväksi. Kullan liukeneminen tapahtuu anodisten ja katodisten rinnakkaisten reaktioiden tuloksena. Reaktiossa syanidi on välttämätön. (Pöyry 2012, 30.)

Aktiivihiihi pumpataan ensimmäisestä reaktorista hiilen käsittelykolonnille kullan talteenottoa varten. Liete virtaa viimeisestä CIL-reaktorista varmistusseulalle, jossa otetaan kultaa sisältävät aktiivihiihipartikkelit talteen. Läpäissyt materiaali virtaa syanidin tuhoamisreaktoriin. Tuhoaminen tapahtuu INCO-menetelmällä, joka on suljettu piiri. Hapetettu liete pumpataan syanidin tuhoamisen jälkeen omaan rikastehiekka-altaaseen. (Pöyry 2012, 30.)

Kerätystä aktiivihiilestä pestään kulta hapolla, jonka jälkeen kulta stripataan. Väkevöity kulta liuos johdetaan elektrolyysiin, jossa kulta saostuu katodille. Kulta kerätään talteen ja pestään. Induktiouunissa suoritettun sulatuksen jälkeen kulta valetaan harkoiksi. Kulta poistetaan muotista ja toimitetaan asiakkaalle. Kuona otetaan talteen ja käsitellään uudelleen siihen mahdollisesti jääneen kullan takia. Aktiivihiihi regeneroidaan ja käytetään uudelleen. (Pöyry 2012, 29.)

7 KEVITSA

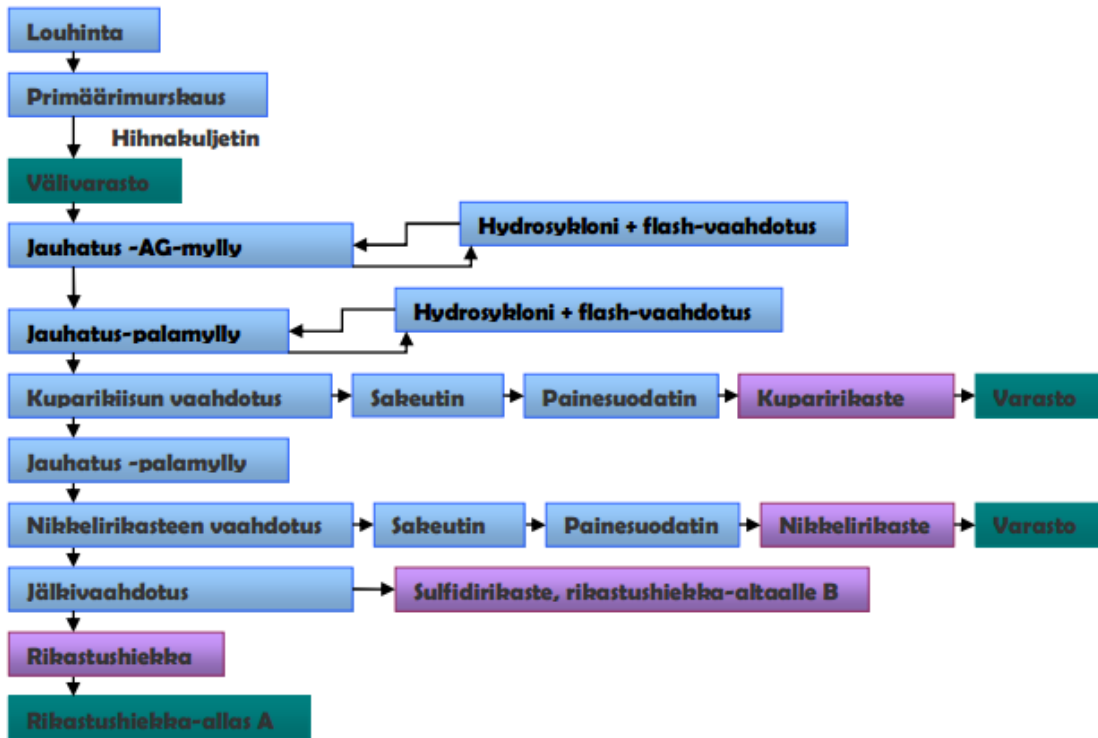
Kevitsan kaivosta käsittelevissä luvuissa on käytetty apuna vuoden 2011 YVA-selostusta, eikä siinä oteta huomioon tämän jälkeen tehtyjä investointeja.

7.1 Historia

Kevitsan alueella on tehty systemaattista geologista kartoitusta vuodesta 1969 ja vuonna 1973 löydettiin nikkeliä sisältäviä kiviaineksia. Geologinen tutkimuskeskus aloitti vuonna 1983 esiintymän tarkempaan tutkimukseen tähtäävät tutkimukset, ja vuonna 1987 saatiin ensimmäiset tiedot malmiesiintymästä. Vuonna 1993 alueelle saatiin tie, mikä mahdollisti ympärivuotisen tutkimustoiminnan. Vuonna 1994 geologian tutkimuskeskus luovutti tutkimustensa loppuraportin Kauppa- ja teollisuusministeriölle, joka pani esiintymän myyntiin kansainvälisille markkinoille. Tarjouskilpailun esiintymästä voitti Outokumpu Oyj, joka kuitenkin luopui valtauksesta kolmivuotisten jatkotutkimusten jälkeen. Vuonna 2000 ruotsalainen Scandinavian Gold Prospecting Ab (emoyhtiö Scandinavian Minerals Ltd, ent. Scandinavian Gold Ltd) hankki Kevitsan kaivosoikeudet ja ryhtyi tekemään alueella tutkimuksia. (Lapin Vesitutkimus 2006, 8.)

Vuonna 2008 First Quantum Minerals Ltd. osti Scandinavian Minerals Ltd:n ja samalla oikeudet Kevitsan monimetalliesiintymään. 2.7.2009 kaivostoiminnalle on myönnetty ympäristö- ja vesitalouslupa. Lupahakemusvaiheessa alueen ympäristöolosuhteista sekä kaivoksen mahdollisista ympäristövaikutuksista on tehty tarkentavia tutkimuksia. (Pöyry 2011, 20.)

7.2 Louhinta ja murskaus



Kuva 20 Kevitsan kaivoksen rikastamon prosessikaavio (Pöyry 2011, 76.)

Kevitsan kaivoksen louhinta toteutetaan avolouhintana. Rikastamon prosessikuviota on kuvassa 19. Jatkuvaa malmin syöttöä kontrolloidaan automaattisella hihnavaa'alla. Louhittu malmi murskataan leukamurskaimella ja toisessa vaiheessa kartiomurskaimella, jonka yhteyteen on asennettu 20 mm seula erottelemaan yli 20 mm kappaleet palautettavaksi takaisin murskaukseen. Murskattu malmi siirretään hihnakuuljettimilla välivarastoon, jonka kapasiteetti on 4 päivää. Välivarastossa murskattua tuotetta syötetään jatkuvasti sauvamylyyn ja edelleen kuulamylyyn. Sen jälkeen lietetty malmi johdetaan hydrosykloniin, josta on karkean jakeen palautus ruuvierottimesta kuulamylyyn. Jauhetun malmin partikkelikoko on 85 % alle 75 µm, jonka raekokoa säädetään automaattisella mittalaitteella. (Lapin Vesitutkimus 2006, 11.)

Hydrosyklonin ylite syötetään Cu-vaahdotuspiiriin, jossa on 2 pesuvaihetta. Vaahdotuksen ja pesujen ylitteet johdetaan Ni-vaahdotukseen. Nikkelivaahdotuksessa syntyy rikastushiekka kahdessa vaiheessa. Voimakkaasti koko ajan toimivaa kemikaalia (ksantaattia) käytetään sulfidien saamiseksi kuplastoon ja tiosfaattia kokoajan parantamaan selektiivisyyttä pyriitin ja muiden ei-toivottujen sulfidien suhteen. CMC toimii painajana rautasulfideille ja silikaateille. MIBC:tä käytetään vaahdottimena. (Lapin Vesitutkimus 2006, 11.)

Tuotteeksi prosessista saadaan 120000-160000 tonnia vuodessa nikkelikastetta, jossa on 12 % nikkeliä, ja 90000–120000 tonnia kuparikastetta, jossa on 28 % kuparia. (Pöyry 2011, 73.)

7.3 Rikastaminen

7.3.1 Vaahdotus

Vaahdotuksessa lietteen arvoainepitoisuutta pyritään nostamaan erottelemallasivumineraalit malmimineraaleista. Tämä tapahtuu vaahdotuskennoissa, joissa lietteeseen lisätään puhallusilmaa ja kemikaaleja (reagenssit). Puhallusilmalla liete saadaan kuplimaan. Kemikaalien avulla rikastettavat mineraalit tarttuvat tehokkaammin ilmakupliin kiinni ja nousevat lietteen pintaan. Ilmakuplat muodostavat lietteen pinnalle vaahdon, joka erotellaan rännien avulla lietteestä. Vaahdotuskennot on Outotecin toimittamia ja niitä on yhteensä 68kpl. Kennojen tilavuudet vaihtelevat 20 - 300 m³ välillä. (Kevitsa 2013; Kynkäänniemi 2013, 9.)

Kevitsassa vaahdotetaan ensin kupari. Kuparin vaahdotus koostuu 23 kennosta, jotka on jaettu esi-, ripe- ja kertausvaahdotuksiin. Kuparin vaahdotuksesta saatava jäte pumpataan nikkelin vaahdotukseen. Nikkelin vaahdotusvaiheet on jaettu samalla tavalla kuin kuparin vaahdotus, mutta se koostuu 38 kennosta. Viimeisenä on rikin vaahdotus, johon nikkeli-vaahdotuksen jäte pumpataan. Rikin vaahdotuksessa rikkipitoisuutta saadaan nostettua. Rikin vaahdotus koostuu seitsemästä

kennossa ja ne on jaettu esi- ja kertausvaahdotukseen. (Kevitsa 2013; Kynkäänniemi 2013, 9.)

7.3.2 Rikasteiden käsittely

Viimeisenä prosessivaiheena on itse rikasteen käsittely, jossa kupari- ja nikkeli-vaahdotuksen rikasteista poistetaan ylimääräistä nestettä ensin sakeuttamalla ja sen jälkeen suodattamalla. Sakeuttimissa kiintoaine, eli rikaste, saostuu altaan pohjalle ja ylimääräinen neste poistuu altaasta valumalla sakeuttimen reunojen yli ränneihin, joista se palautetaan prosessiin. Altaan pohjalle saostuva rikaste pumputaan sakeuttimelta nauhasuodattimille, joissa rikastemassasta saadaan poistettua lisää kosteutta puristamalla paineen avulla rikastekakkuja. (Kevitsa 2013; Kynkäänniemi 2013, 9.)

Kevitsassa on käytössä kaksi halkaisijaltaan 11 m:n sakeutinta ja kaksi suodatinta. Toinen sakeutin toimii kuparin sakeuttimena ja toinen nikkelin sakeuttimena. Suodattimista toinen toimii kuparin suodattimena ja toinen nikkelin suodattimena, mutta suodattimilla voidaan ajaa myös rikasteita ristiin. (Kevitsa PID-kuvat 2013; Kynkäänniemi 2013, 9.)

Suodattimilta saatavat rikasteet lähetetään Kevitsasta kuorma-autoilla jatkojalostettavaksi. Kuparirikaste viedään bulkkina (irtotavara) Kemin ajoksen satamaan. Nikkelirikaste säkitetään 2 000 kg:n säkkeihin ja kuljetetaan Oulun satamaan.

8 KAIVOSTEN PROSESSIEN EROJA

Verrattaessa eri kaivoksia keskenään kuten tässä tapauksessa Kittilän, Kevitsan ja Elijärven kaivoksia tulee ottaa huomioon, ettei tässä vertailussa ole kahta samantyyppistä kaivosta tai siis sellaisia kaivoksia, jotka tuottaisivat samaa rikastetta. Suurimpana erona voidaan myös pitää sitä, kuinka paljon vertailussa olevien kaivosten esimurskien läpi menee malmia tunnin aikana. Elijärven kaivoksen kohdalla esimurskan läpi menee malmia 148,4 t/h, kun vastaavasti Kittilän kultakaivoksella vastaava luku on 125 t/h. Suurimman arvon esimurskan läpi menevästä malmista tulee Kevitsan kaivoksen kohdalla, jossa murskan läpi menee malmia 720,7 t/h.

Koska Kevitsan malmi on köyhää, on sitä murskattava enemmän kannattavan toiminnan saavuttamiseksi. Oheisessa taulukossa on kyseisen kaivoksen vuoden 2013 tuotanto ja siinä myös näkyy kuinka monta tonnia eri raaka-ainetta on tuotettu.

Full Year 2013 Production

MINING	
Ore mined (000's tonnes)	21,604
PROCESSING	
Ore milled (000's tonnes)	6,314
Nickel ore grade processed (%)	0.2
Nickel recovery (%)	63
Nickel production (tonnes)	8,963
Copper ore grade processed (%)	0.3
Copper recovery (%)	83
Copper production (tonnes)	14,775
Gold production (ounces)	11,723
Platinum production (ounces)	30,403
Palladium production (ounces)	24,639

Edellä olevasta taulukosta voi huomata kuinka niukka esiintymä todellisuudessa on, jos koko vuoden 2013 tuotanto määrät ovat suhteellisen pienet verrattuna prosessin läpi menneen malmin määrään.

Tähän asiaan, että Kevitsan kaivoksessa joudutaan käsittelemään enemmän malmia vaikuttaa se, että kyseisen esiintymän pitoisuus on selkeästi alempi, eikä sitä ole isoja määriä yhdessä paikassa kuten Kittilän ja Elijärven kaivosten kohdalla. Tulevat vuodet tulevat näyttämään, miten kyseinen kaivos tulee pärjäämään ja kuinka paljon muutoksia tuotantoprosessiin vielä tehdään.

Prosesseissa suurimmat erot tulevat rikastusprosesseista, kun Elijärvellä käytetään rikastustekniikkana painovoimaista rikastusta, kun vastaavasti Kittilässä ja Kevitsassa käytetään rikastustekniikkana vaahdotusta. Kittilän kohdalla pitää ottaa myös huomioon, että siellä käytetään syanidiliuotusta kullan talteenoton apuna. Edellä mainituissa kaivoksissa myös prosessissa käytettyjen kemikaalien kulutuksessa on suuria eroja, koska Elijärven kohdalla prosessikemikaalien käyttöä ei tapahdu kun vastaavasti Kittilässä ja Kevitsassa niitä tarvitaan vaahdotuksessa hyvinkin paljon. Ohessa on esitetty Kittilän ja Kevitsan rikastusprosessin vaatimia kemikaaleja ja niiden kulutusmääriä vuodessa.

9 POHDINTAA

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen, kun pystyi tutkimaan, että miten kaivosten prosessit eroavat keskenään. Erilaisista prosessissa olevista laitteista ei saatu tarkkoja tietoja kaivoksilta, joten opinnäytetyössä oli tyydyttävä käyttämään apuna YVA-selostuksissa kerrottuja prosessikaavioita ja arvioimaan, että kuinka paljon malmia menee läpi tietystä prosessista. Näin ollen vertailun tulokset eivät ole kovinkaan tarkkoja todellisuuteen verrattuna.

Tästä johtuen vertailussa käytetyt arvot siitä, kuinka paljon malmia menee prosessin läpi tunnissa on suuntaa antava, jotta olisi helpompi ymmärtää, kuinka paljon kaivokset todella prosessoivat malmia. Itselleni ei ainakaan yleisesti ilmoitettu arvo x,x miljoonaa tonnia vuodessa ei kerro sitä, kuinka paljon sitä prosessoidaan päivässä tai tunnissa.

Vertailussa olevien kaivoksien kohdalla voidaan sanoa, että oli joissakin määrin vaikeaa tehdä vertailua, kun Kittilä ja Kevitsa on vielä suhteellisen uusia kaivoksia kuin vastaavasti Elijärven kaivos on toiminut jo useita kymmeniä vuosia. Kaivoksi-
en käynnistämisisä on usein erilaisia prosessivaikeuksia, eikä prosessi toimi suunnitellulla tavalla. Senpä takia mm. Kevitsan ja Kittilän prosesseja on jo uudistettu käynnistykseen jälkeen.

LÄHTEET

Elijärven kaivoshanke YVA-selvitys, 5.9.2014

[www.ymparisto.fi/fi-](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/Outokumpu_Chrome_Oy_Kemin_kaivos_Keminmaa)

[FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/Outokumpu_Chrome_Oy_Kemin_kaivos_Keminmaa](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/Outokumpu_Chrome_Oy_Kemin_kaivos_Keminmaa)

Hakanpää, A. & Lappalainen P. 2011. Kaivos- ja Louhintatekniikka, 2. tarkistettu painos, Helsinki: Opetushallitus

Hukki, R. 1964. Materiaalin hienonnus ja rikastus, Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotan-toprosessit, 1. painos, Teknillisten tieteiden akatemia,

Juuso, J. 2014. Kemin kaivoksen liikkuvan kaluston huoltojen hallinta, Opinnäytetyö, Lapin Ammattikorkeakoulu, Kemi

Järvenpää, V. 2008. Karamurskaimen kulutussuojien kehitys, Tutkintotyö, Tampereen Ammattikorkeakoulu, Kone- ja Tuotantotekniikka

Kittilän kultakaivoshanke YVA-selvitys, 5.9.2014

[http://www.ymparisto.fi/fi-](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/Suurikuusikon_kaivoshanke_Kittila)

[FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/Suurikuusikon_kaivoshanke_Kittila](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/Suurikuusikon_kaivoshanke_Kittila)

Kevitsan kaivoshanke YVA-ohjelma, 5.9.2014

[http://www.ymparisto.fi/fi-](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/Kevitsan_kaivoshanke_Sodankyla)

[FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/Kevitsan_kaivoshanke_Sodankyla](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/Kevitsan_kaivoshanke_Sodankyla)

Kynkäänniemi, M. 2013. Kevitsan malmin jauhatustapojen vertaileva kustannuslaskelma, Insinöörityö, Kajaanin Ammattikorkeakoulu, Kajaani

Kärki, A. 2010. Jauhatustavan vaikutus sulfidimalmin partikkelikokojakaumaan sekä sulfidimalmin laboratoriovaahdotustyöhöohjeen laadinta, Kandidaattityö, Oulun yliopisto, Oulu.

Lindén, J., Neuvonen, M. 2009. Hienojauhatus helmi- ja planeettamyllyllä, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Kemiantekniikan laitos, Kandidaatintyö

Lukkarinen, T. 1987. Mineraalitekniikka OSA 2, Mineraalien rikastus, 1. Painos, Insinööritieto Oy,

Pietarila, J. 2012. Litiumspodumeenimalmin murskaus leukamurskaimella ja rae-koon seuranta, Keski-Pohjanmaan Ammattikorkeakoulu, Kemiantekniikan koulutusohjelma, Opinnäytetyö

Pihkala, J. 2011. Prosessitekniikka, Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit. Juhani Pihkala ja Opetushallitus. Tampere

Prosessitekniikan kokonaisprosessit. [WWW-dokumentti].
<http://prosessitekniikka.kpedu.fi/kg/gallery/Murskaus.htm>. (Luettu 29.9.2014)

Rissanen, T. 2011. Suomen kaivostoiminnan toimialakatsaus 2010, Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun julkaisuja Sarja B. Raportit ja selvitykset 8/2011, Kemi 2011

Rissanen, T., Peronius, A. 2011. Suomen kaivostoiminnan toimialakatsaus 2012, Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun julkaisuja Sarja B. Raportit ja selvitykset 3/2013, Kemi 2013

Wills, B, Napier-Munn, T. 2006. Wills' mineral processing technology, An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery, Seventh Edition, Butterworth-Heinemann (Elsevier).