

RIKASTUSPROSESSIT JA PROSESSIVESIEN KÄSITTELY METALLIMALMIKAIVOKSISSA

Prosessien katsaus ja raportin tuottaminen

Rodica Tolppi

Opinnäytetyö
Teollisuus ja luonnonvarat
Kone- ja tuotantotekniikka, kaivostekniikka
Insinööri (AMK)

2015

Teollisuus ja luonnonvarat
Kone- ja tuotantotekniikka,
kaivostekniikka

Tekijä	Rodica Tolppi	Vuosi	2015
Ohjaaja	Tuomas Pussila		
Toimeksiantaja	Lapin elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskus, Ympäristönsuojeluyksikkö		
Työn nimi	Rikastusprosessit ja prosessivesien käsittely metallimalmikaivoksissa		
Sivu- ja liitemäärä	69 + 98		

Opinnäytetyön aiheena on metallimalmikaivosten rikastusprosessit ja jäteveden käsittelymenetelmät. Aihe tuli esille työharjoitteluni aikana Lapin elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskuksessa. Opinnäytetyöni tavoitteena oli tuottaa kattava raportti Suomen kaivoksissa käytetyistä prosessi- ja vedenkäsittelymenetelmistä. Raporttia on tarkoitus hyödyntää ELY-keskuksessa mm. kaivosvalvontaan perehtymisessä ja kaivoksen elinkaarenvalvonnan erikoistumistyön suunnittelussa.

Opinnäytetyöni teoriaosassa käytiin lävitse rikastusprosessit ja jätevedenkäsittelymenetelmät. Teoriaosassa on esitelty kaivosalalla oleva nykytekniikka sekä mahdollinen tulevaisuuden tekniikka. Opinnäytetyöni raportti perustuu mahdollisimman ajankohtaisiin tietoihin.

Opinnäytetyön liitteenä on raportti suomalaisista kaivoksista ja niiden käytetyistä prosessi- ja vedenkäsittelymenetelmistä. Raportti perustuu virallisiin asiakirjoihin. Raportissa on esitetty kaivoksittain yksikköprosessit ja veden käsittely ja niiden vaikutukset pintavesistöön. Esitetyt vaikutukset perustuvat toiminnan harjoittajien ilmoittamiin arvioihin sekä seurannan perusteella havaittuihin vaikutuksiin, mikäli tiedot olivat saatavilla.

Insuustry and Natural Resources
Degree Programme in Mechanical
and Production Engineering, Mining

Author	Rodica Tolppi	Year	2015
Supervisor(s)	Tuomas Pussila		
Commissioned by	Center for Economic Development, Transport and the Environment, Lapland, Environmental Protection Unit		
Subject of thesis	Mineral upgrading and mining water mitigation processes at metal mining sites		
Number of pages	69 + 98		

The subject of the thesis is a literature review of the metal ore upgrading techniques and individual processes as well as the mine water mitigation processes. The subject of the thesis was brought up by the Environmental Protection Unit from the Lappish Centre for Economic Development, Transport and the Environment during my internship. The aim of this thesis was to provide a comprehensive report on the upgrading and mine water mitigation processes used in Finland by the metal mining industry. The report is intended to be used by the Center for Economic Development, Transport and the Environment in the mining supervising work as well as in the planning work for the specialization in the mine life cycle related issues.

The thesis consists of two parts, a literature review of the upgrading and mine water mitigation techniques available in the industry and a report of the processes used by Finnish metal mines. The theoretical part consists of the mineral upgrading processes and mine water mitigation methods. The theoretical part focuses on already available technology and brings a possible future technology to attention.

The report concerning the Finnish metal mines is based on official documents. The report describes the unit processes and water treatment technologies being currently used at each mine and the effects of the mine water on surface waters. Mentioned effects are based on estimates reported by the operators, as well as the monitoring data, if the information was available.

Key words

mining, upgrading, mine water, mitigation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	MINERAALIEN KÄSITTELYMENETELMÄT	8
2.1	Malmin murskaus ja jauhatus.....	8
2.1.1	Murskaus	9
2.1.2	Jauhatus	13
2.2	Seulonta- ja luokitusmenetelmät	16
2.2.1	Seulontamenetelmät	16
2.2.2	Luokitusmenetelmät	19
2.3	Mineraalien tiheyseroihin perustuva rikastus.....	21
2.3.1	Painovoimaerotusmenetelmät	21
2.3.2	Raskasväliaine-erotusmenetelmät.....	26
2.4	Magneettinen ja sähköstaattinen erotus.....	28
2.5	Vaahdotus	32
2.6	Liutus.....	37
2.7	Platsol menetelmä	40
3	PROSESSIVESIEN KÄSITTELYMENETELMÄT	42
3.1	Kaivosvesien ominaisuudet ja niiden vaikutukset vesistöön.....	42
3.2	Aktiivisia vesipuhdistusmenetelmiä	45
3.2.1	Hapetus.....	46
3.2.2	Neutralointi	47
3.2.3	Hydroksidi-, karbonaatti-, sulfidi- ja etringiittisaostus	48
3.2.4	Sulfaatin poisto biologisilla menetelmillä.....	51
3.2.5	Ionivaihtomenetelmät	52
3.2.6	Kalvosuodatusmenetelmiä	53
3.2.7	Muita aktiivisia menetelmiä.....	54
3.3	Pasiivisia vedenpuhdistusmenetelmiä.....	55
3.3.1	Rakennetut kosteikot ja luonnon pintavalutuskentät	56
3.3.2	Kalkkikiveen perustuvia puhdistusmenetelmiä.....	58
3.3.3	Pasiiviset anaerobiset sulfaatinpoistoreaktorit	60
4	POHDINTA.....	62
	LÄHTEET	64
	LIITTEET	70

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
TUKES	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto
Tekes	Teknologian ja innovatioiden kehittämiskeskus
HSI	vaaka-akselimurskain (Horizontal Shaft Impactor)
VSI	pystyakselimurskain (Vertical Shaft Impactor)
HPGR	korkeapainevalssi (High Pressure Grinding Rolls)
SMD	helmimylly (Stirred Media Detritor)
AG	autogeeni
SAG	semiautogeeni
MIBC	methylisobutylikarbinoli

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe tuli vastaan ammattiharjoittelun aikana. Suoritin harjoitteluni 1.4.–30.9.2014 Lapin ELY-keskuksessa, ympäristönsuojeluyksikössä. Työtehtäviini kuului kaivosten ympäristölainsäädännön mukaiseen lailisuusvalvontaan osallistuminen. Opinnäytetyön aiheena oli kattavan tietopaketin kirjoittaminen suomalaisten kaivosten käyttämisestä rikastusprosessi- ja vesipuhdistusmenetelmistä.

Suomessa nykymuotoinen kaivosteollisuus on saanut alkunsa 1910-luvulla, kun Outokummun kuparimalmio löydettiin ja Koppaverkin tuotanto aloitettiin. Suomessa kaivostoiminnan kehitys johtuu pitkälle siitä, että kallioperässämme on hyvin paljon eri metalleja ja mineraaleja. Suomen kallioperä kuuluu Fennoskandian kilpeen, joka muodostaa suurimman osan Luoteis-Itä-Euroopan Kratoniasta. Fennoskandian kilpi on prekambrista kallioperää, joka on paljastunut ainoastaan Fennoskandian ja Ukrainan alueilla. Suomen kallioperässä on monia yhtymäkohtia Kanadan, Australian ja Etelä-Afrikan kallioperiin, jotka ovat kaikki maailmanlaajuisesti merkittäviä niiden mineraalivarojen vuoksi. (Kuisma 1985, 7–26; Lahtinen, Hölttä, Kontinen, Niiranen, Nironen, Saalaman & Sorjonen-Ward 2011; Suomen mineraalistrategia.)

Viimeisimmän TUKES:in tekemän vuoriteollisuustilaston mukaan 2013 Suomessa oli 46 kaivoslain alaista kaivosta, joista 12 metallimalmikaivosta (4 Lapissa), 13 karbonaattikivien louhintakohdetta, 14 teollisuusmineraalikaivoksia sekä 7 kaivosta, josta louhittiin teollisuuskiviä. Kokonaisinvestoinnit kaivosalalla olivat noin 200 miljoona euroa ja niistä louhittiin yhteensä 79,4 Mt. Kokonaislouhintamäärästä 62 % louhittiin kahdesta kaivoksista: Siilinjärvestä (apatiitti) ja Kevitsasta (nikkeli-kupari). (Liikamaa 2013, 2–3; Vuoristoteollisuustilasto 2013.)

Viime vuoden aikana kaivosteollisuudessa nähtiin taantumaa: neljä metallikaivosta (Laiva, Pahtavaara, Talvivaara ja Hitura) meni saneeraukseen tai konkurssiin. Täällä hetkellä kaivosteollisuuden lähitulevaisuus on varsin

synkkä talouskehityksen ja uuden sähköveron vuoksi. Suomen hallitus suunnittelee sähköveron nostoa sekä kaivostoiminnan energiaverotukien poistamista. Suunnitellut toimenpiteet heikentävät kaivosten kilpailukykyä. Samaan aikaan kaivosala kärsii maailmanlaajuisesti metallien hintojen alenemisesta. (Jamasmie 2014; Manninen 2014.)

Kaivosteollisuuden taantumasta huolimatta Suomi on parasta aikaa kehittymässä kestäväen kaivosteollisuuden maaksi Green Mining ohjelman avulla, minkä tavoitteena on tehdä Suomesta vastuullisen ja kannattavan kaivostoiminnan edelläkävijä maailman tasolla (katso lisää Tekes: Green Mining). Myös elinkaariajattelu on saanut huomiota sekä alalla, että viranomaisten puolella. Parasta aikaa Lapin ELY-keskus on aloittamassa kaivosten elinkaarivalvonnan erikoistumista koskevan suunnitteluhankkeen yhdessä Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ELY-keskusten kanssa. (Kohl, Wessberg, Kauppi, Myllyoja ja Wessman-Jääskeläinen 2013, 34–35; Kaivoserikoistuminen 2014, 9–10; Tekes.)

2 MINERAALIEN KÄSITTELYMENETELMÄT

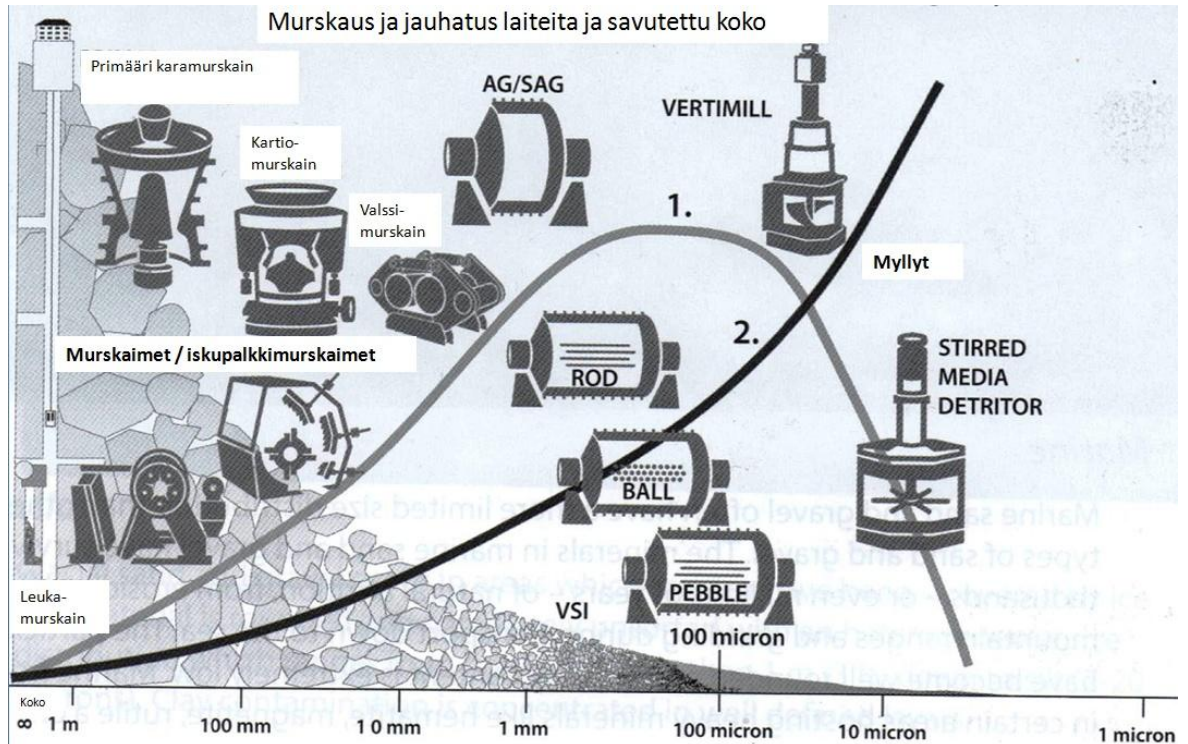
Mineraalit ovat kiteisiä aineita, jotka esiintyvät luonnossa. Jokaisella mineraalilla on oma luonteenomainen kemiallinen koostumus. Yksi tai useampia mineraali muodostaa erilaisia kivilajeja. Malmi on taloudellinen käsite. Malmilla tarkoitetaan maaperässä oleva mineraalia, joka sisältää niin paljon arvoainetta, että sitä kannattaa hyödyntää kaivostoiminnassa. Louhinnasta syntyy myös sivukiveä (raakku), joka voi olla koostumukseltaan samalainen kuin malmi, mutta sillä ei ole taloudellista arvoa. Malmiarvioinnissa otetaan huomioon taloudellisia perusteita (kaivostoiminnasta syntyneitä kustannuksia ja tuotteen myyntiarvo) sekä malmin määrää ja pitoisuus. Näiden tietojen perusteella lasketaan raja-arvoa, jolla esiintymä on kannattava hyödyntää. Raja-arvo on dynaaminen käsite, joka vaihtelee metallihintojen ja kustannuksien mukaan – esimerkiksi mikäli metallihinta nousee, osa sivukivestä voidaan luokitella uudelleen malmiksi, jos sen taloudellinen arvo ylittää uudelleen laskettua cut-off arvoa. (Himmi 2007, 15; Grönholm, Alviola, Kinnunen, Kojonen, Kärkkäinen ja Mäkitie 2010, 4; Puustjärvi, Meriläinen, Mikkola ja Lovén 2011, 42.)

Mineraalien käsittelyn tavoite on tuottaa rikasteita. Rikaste on kaivostoiminnasta saatu markkinoitava tuote, joka sisältää korkeita pitoisuuksia arvomineraaleja. Mineraalit käsitellään eri fysikaalisilla tai kemiallisilla menetelmillä useammassa prosessivaiheissa. Malmin rikastusprosessi alkaa kappaleen pienentämisestä (murskaus ja jauhatus), jonka jälkeen kiviaines seulotaan koon mukaan ja rikastetaan painovoimaerotus- magneettierotus-, vaahdotusmenetelmällä. Yleensä rikastusprosessin lopussa rikaste sakeutetaan, suodataan ja kuivataan. Vaikeasti rikastettavia malmeja voidaan rikasta kemiallisilla rikastusmenetelmillä (esim. liuotus, Platsol). (Furstenau ja Han 2011, 1455–1459.)

2.1 Malmin murskaus ja jauhatus

Malmin koko pienennetään yleensä kahdessa erivaiheessa: murskauksessa ja jauhatuksessa. Koon pienentämisen tavoite on vapauttaa haluttu mineraali kivistä. Mineraalien vapautumisen tapahtuu kun saavutaan 100–10 µm kokoa.

Haluttu aineskoko saavutamiseen käytetään useampia eri laiteyhdistelmiä. (Metso 2013a, 2:4–2:5; Mosher 2011, 1461–1463.)

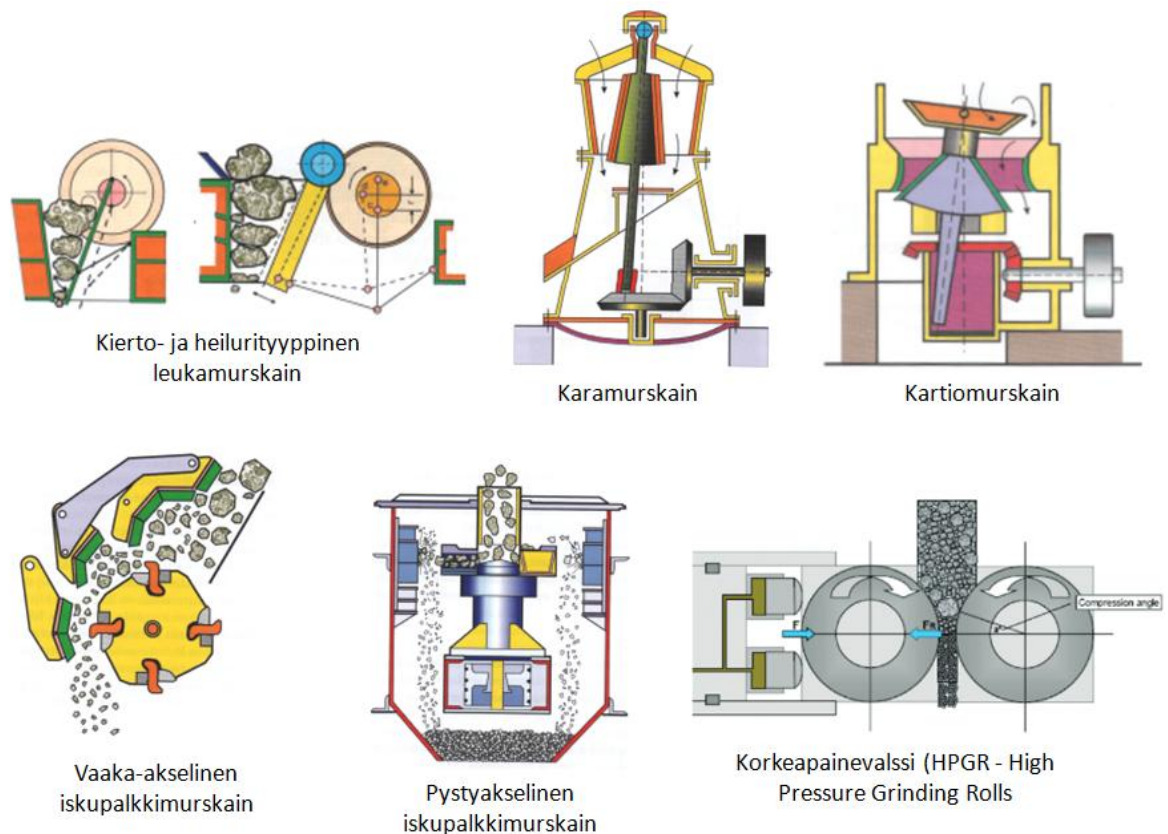


Kuva 1. Murskaus ja jauhatus laiteita sekä savutettu kappalekoko: tuotteen arvonkehitys (1.) ja kustannuksien kehitys (2.) (Metso 2013a, 2:4).

Kuten näkyy kuvassa 1, kustannukset ovat sitä korkeampia, mitä hienompaa jauhatusta saavutetaan. Tästä syystä on erittäin tärkeää valita oikeita laiteita ja / tai laiteyhdistelmiä halutun koon saavuttamiseen. (Metso 2013a, 2:4.)

2.1.1 Murskaus

Murskaus on malmin louhinnan jälkeen ensimmäinen hienonnuksen prosessi, jonka tavoitteena on pienentää kappaleen koko jatkokprosessiin sopivaksi. Murskaus tapahtuu yleensä kahdessa tai kolmessa vaiheessa ja siihen käytetään tavallisimmin leuka-, kartio- ja karamurskaimia (Kuva 2). Murskaimilla on rajallinen murskaussuhde (tyypillisesti ei ylitä 5:1), jonka takia murskaus tapahtuu vaiheittain. (Jaakonmäki, Johansson, Mäkinen, Räsänen, Ulvelin ja Vennelä 2011, 197–198; Metso 2013a, 3:2)



Kuva 2. Murskauslaitteet (Jaakonmäki ym. 2011, 201–203; Morley 2010).

Ensimmäinen murskausvaihe on esimurskaus (primäärimurskaus), ja sen tavoite on hienontaa malmikappaleet 200–300 mm kokoon. Primäärimurskaukseen käytetään yleensä leuka- tai karamurskainta, mutta mikäli kivi on pehmeää, esimurskaukseen sopii myös valssi- tai iskumurskainta. Murskauslaitetta valittaessa täytyy ottaa huomioon investointi- ja käyttökustannukset sekä murskaamon kapasiteetti. (Jaakonmäki ym. 2011, 198; Metso 2013a, 3:6; Mosher 2011, 1462.)

Leukamurskaimet soveltuvat kovan ja kuluttavan malmin murskaukseen. Leukamurskaimien kapasiteetti on alle 1 600 t/h. Murskausprosessi perustuu malmin puristukseen kahden leuan välillä, josta toisen on kiinteä ja toinen liikkuva (Kuva 2). Liikkuva leuka voi tehdä kierto- tai heiluvaihe. Kiertomurskaimen epäkeskoakseli sijaitsee murskaimen yläosassa ja puristus tuotetaan akselin liikkeen ja työntilaatan avulla. Heilurimurskamessa on kaksi akselia ja kaksi työntilaattaa. Toinen akseli on murskaimen yläosassa ja toinen (epäkoakseli) sijaitse ensimmäisen akselin sivulla ja käyttää työntilaattaa. Heilurimurskaimen tapauksessa liikkuvan leuan liike on edestakaisinliike

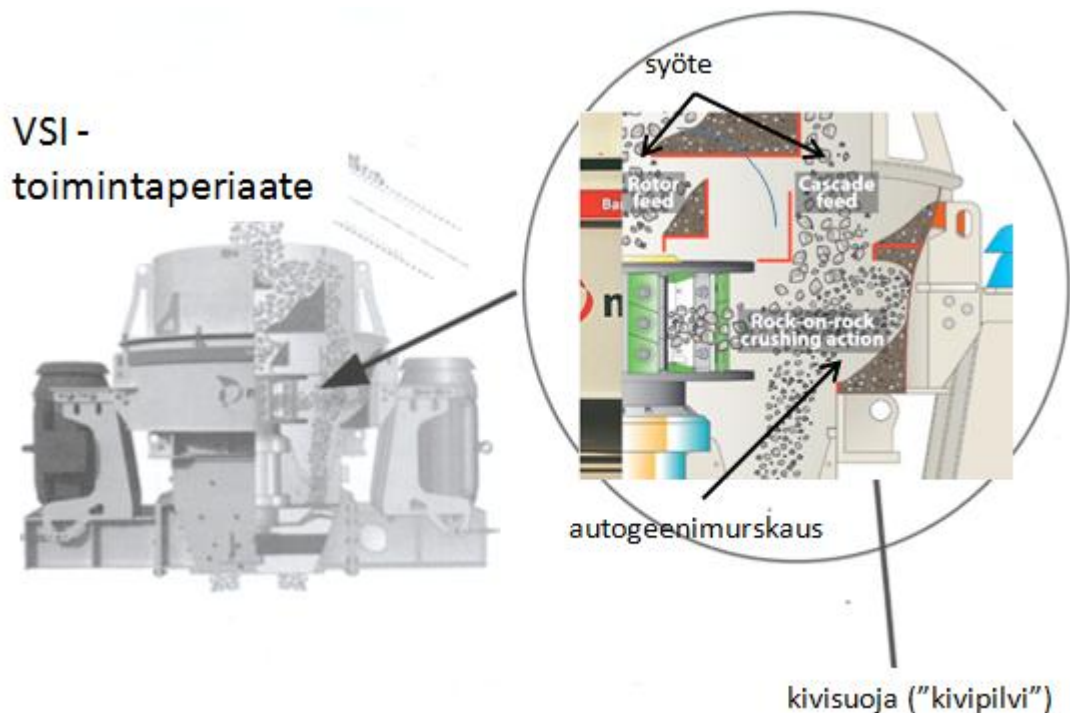
suorassa linjassa kiinteää leukaa vasten. Heilurimurskaimet eivät ole niin tehokkaita kuin kiertoleukamurskaimia, ja tästä syystä eivät myöskään yhtä suosittuja. (Jaakonmäki ym. 2011, 200–201.)

Mikäli laitoksen kapasiteetti ylittää 1 200 t/h sopivin primäärimurskain on karamurskain (Kuva 2). Karamurskaimet ovat isoja, raskaita laiteita, jotka vaativat isoja perustuksia. (Jaakonmäki ym. 2011, 201.)

Sekundäärimurskaukseen (välimurskaus) ja tertiäärimurskaukseen (hienomurskaus) soveltuvat kartiomurskaimet (Kuva 2) niiden korkean kapasiteetin ja pienten käyttökustannuksien vuoksi. Välimurskauksen tavoitteena on hienontaa malmikappaleet seuraavaan vaiheeseen sopiviksi ja saavuttaa paras murskaussuhde kustannustehokkaammalla tavalla. Kartiomurskaimella on sama toimintaperiaate kuin karamurskaimella. Molemmilla on oskiloiva akseli, johon on kiinnitetty liikkuva kartio. Malmi murskataan ulkoisen kiinteän kartio ja liikkuvan kartion välillä. Oskilloivan liike saadaan aikaiseksi hammaspyörien avulla, jotka pyörittävät kartion keskoakselia. Murskaus tapahtuu sekä kulutuskartioiden välillä että puristuksessa olevien kappaleiden välillä. Sekä kara- että kartiomurskaimet on varustettu säätömekanismeilla, joilla voidaan säätää tuotteen raekoko. (Jaakonmäki ym. 2011, 198–202.)

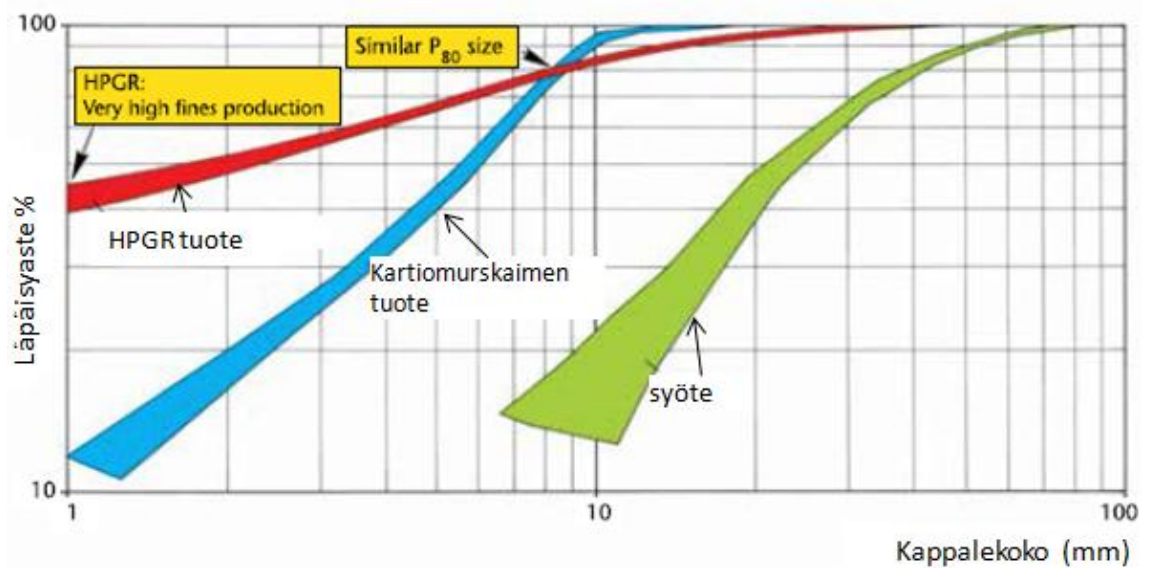
Tertiäärimurskaukseen voidaan käyttää iskupalkkimurskaimia ja korkeapainevalssia. Iskupalkkimurskaimet (Kuva 2) soveltuvat pehmeiden kivien murskaukseen, eikä niitä ole juurikaan käytetty suomalaisissa metallimalmikaivoksissa. Vaaka-akselimurskaimen (HSI – **H**orizontal **S**haft **I**mpactor) tapauksessa karkeita kivikappaleita syötetään laiteeseen ja murskaus tapahtuu, kun aines osuu roottorin palkkiin ja iskulevyyn sekä toisiin kivikappaleisiin. Pystyakselimurskaimia (VSI – **V**ertical **S**haft **I**mpactor) on viime aikoina otettu käyttöön myös kovan ja kuluttavan malmin murskauksessa. Sovellus sopii kovien metallimalmien murskauksen, koska murskaus tapahtuu ”kivipilvessä” murskauskammiossa (Kuva 3). Tästä syystä käyttökustannukset ovat pienet. VSI:n käytön myötä mineraalien vapautuminen malmista on parempi. Pystymurskaimilla on korkea kapasiteetti (200–1 900 t/h) ja syötteen

koko voi olla hyvin iso (1,8 m). Iskupalkkimurskaimet tuottavat kutiomaista murskettä. (Jaakonmäki ym. 2011, 198–204; Lukkarinen 1985, 109–110; Metso 2013a, 3:10; Metso 2013b; 10.)



Kuva 3. VSI – toimintaperiaate (Metso 2013a, 3:10; Metso 2013b, 6).

Korkeapainevalssia (HPGR – **H**igh **P**ressure **G**rinding **R**olls) on käytetty ensimmäisen kerran vuonna 1806 tinakaivoksilla Englanissa. Laite on ollut pitkään käytössä raudattomien malmin kaivoksilla ja sementtiteollisuudessa, mutta vuonna 1996 se otettiin käyttöön kovakiven murskauksessa Arizonassa. Siitä lähtien HPGR:n käyttö on noussut raudan, kullan ja kuparin malmin käsittelyissä. Silloin kun HPGR:ää käytetään ennen liuosta, biohapetusta tai painovoimaerotusta, se parantaa kullan ja kuparin saantia. (Morley 2010; Mosher 2011, 1469–1470; von Michaelis 2005, 2–8.)



Kuva 4. Partikkelikokojakauma HPGR ja kartiomurskaimen tuotteessa (Weir Minerals 2013, 3).

HPGR-murskaimet ovat energiatehokkaita, tuottavat yhtenäisiä malmikappaleita (uniform nuggets) (Kuva 4) ja murskausprosessi on kuiva. Tällä hetkellä laite ei ole käytössä eurooppalaisissa metallimalmikaivoksissa, mutta sitä on käytetty rautamalmin murskauksessa Brasiliassa, ja Yhdysvalloissa ja kultamalmin murskauksessa Kazakstanissa. Lisäksi HPGR on otettu käyttöön myös rautamalmin jauhatuksiin Chilessä, Intiassa, Mauritaniassa ja Kiinassa sekä kimberliitin murskaukseen Australiassa. (Weir Minerals 2013; 3–27.)

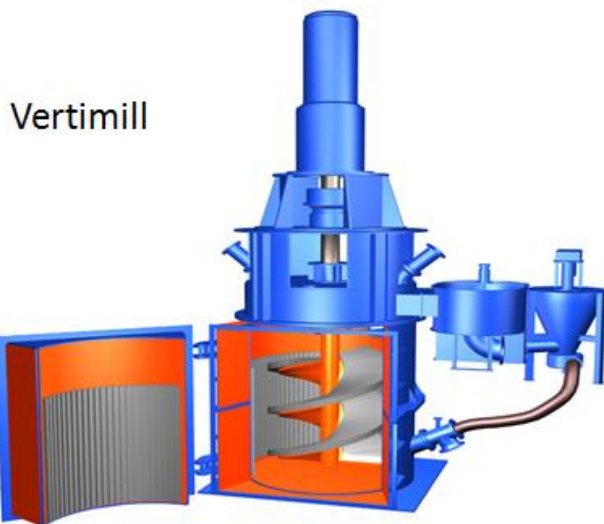
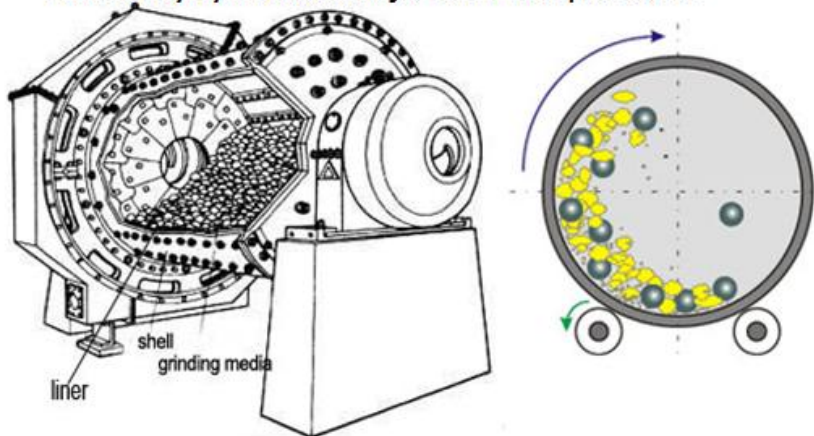
2.1.2 Jauhatus

Jauhatuksella saavutetaan mineraalien lopullinen hienonnus. Malmin hienoaineksen koko riippuu malmin ominaisuuksista (ominaispaino, jauhautuvuus) ja jatkokäsittelymenetelmistä. Jauhatuksen laatu ja aineksien koko vaikuttavat lopullisen tuotteen laatuun. Esimerkiksi jos partikkeleiden koko on liian iso, saadaan huono saanti ja rikastushiekan laatu on myös huono. Toisaalta jos kiviaines on liian hieno, rikastaminen vaikeutuu ja energiankulutus kasvaa. (Lukkarinen 1985, 175–185; Mosher 2011, 1464.)

Malmin jauhatus voidaan suorittaa rumpumaisissa, vaakatasossa pyörivissä myllyissä, pystyakselimyllyissä (vertimill), helmimyllyissä (SMD – **S**tirred **M**edia **D**etritor) tai korkeapainevalssin avulla. Vaakatasossa pyörivissä myllyissä

käytetään yleensä jauhinkappaleita (malmilohkareita, teräskuulia, terästankoja) ja jauhatus perustuu iskuihin, puristukseen ja hiertoon (Kuva 5). Kuten murskaus, myös jauhatus tehdään kahdessa tai kolmessa eri vaiheessa. (Lukkarinen 1985, 175–176; Mosher 2011, 1464.)

Kuulamylyn rakenne ja toimintaperiaate



Vertimill

Helmimylly (Stirred Media Detritor)



Kuva 5. Jauhatuslaitteet: kuulamylly, vertimill ja helmimylly (AMS; Metso, 7; Zenith; ZY 2011.)

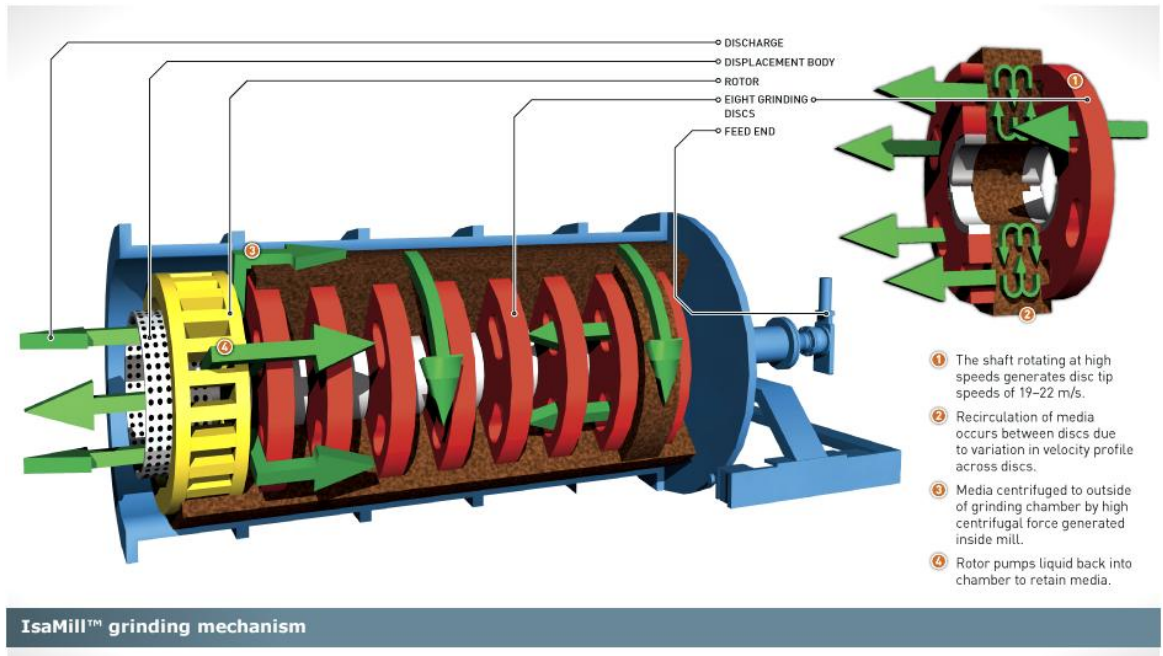
Karkeajauhatukseen (primäärijauhatukseen) soveltuvat autogeeni-, semiautogeeni-, tanko- ja kuulamyllyjä. Autogeenimyllyjä (AG) käytetään yksivaiheeseen murskauksen jälkeen, ja jauhinkappaleina toimi itse syötetty malmi. Semiautogeenimyllyt (SAG) käyttävät jauhinkappaleina sekä malmisyötettä että teräskuulia (4–18 % kuulia). AG/SAG myllyjen kapasiteetti on korkea 4 000–5 000 t/h. Tanko- ja kuulamyllyjen käyttö primäärijauhatuksessa on hyvin yleistä ja niitä tavataan melkein kaikissa suomalaisissa metallimalmikaivoksissa. Niiden kapasiteetti on kuitenkin

pienempi kuin AG/SAG myllyillä. Myös HPGR murskaimia käytetään nykyään myös primäärijauhatusessa. (Lukkarinen 1985, 194–195; Metso 2013, 3:26–3:27; Mosher 2011, 1464–1469; Weir Minerals 2013; 3–27.)

Sekundäärimurskauksessa käytetään yleensä kuula- ja palamyllyjä. Palamyllyt ovat myös vaakatasoisia rumpumaisia myllyjä, jossa jauhintakappaleina käytetään malmikokolohkareita tai kuulia (piikivihelmiä, posliinikuulia, Al_2O_3 kuulia). Palamyllyt ovat isompia kuin kuulamyllyt ja energiatehokkampia. (Metso 2013, 3:27.) Palamyllyjä käytetään Kemin kaivoksella.

Tertiäärijauhatus (hieno- ja ultrahienojauhatus) on yleensä käytetty ennen metallurgisia prosesseja, kun halutaan erittäin hienoa jauhatusa. Hienojauhatus voidaan saavuttaa kuulamyllyjä, pystyruviakselimylly (Vertimill) tai pysty- (SMD)/vaakaa- (IsaMill) väliaineakselimyllyjä sekä erikoismyllyjä käyttäen. Kuulamyllyt pystyvät jauhaamaan malmia 37 μm kokoon ja soveltuvat monivaiheeseen jauhatukseen ja esimerkiksi rautamalmin käsittelyyn ennen pelletointia. (Mosher 2011, 1471–1472.)

Vertimill, SMD (Kuva 5) ja IsaMill (Kuva 6) ovat erittäin energiatehokkaita ja niiden tuote on alle 20 μm , josta 80 % alle 5 μm IsoMill käyttäen. Kaikilla kolmella mallilla saavutetaan 30–50 % energiansäästö verratuna kuulamyllyihin. SMD ja IsaMill käyttävät jauhatukseen pihelmiä, pihiekkaa tai synteettisiä väliaineita. Vertimill soveltuu myös primääri- ja sekundäärijauhatuseseen. (IsaMill; Metso, 7; Metso 2013, 3:28–3:29; Mosher 2011, 1472.). Suomessa ei ole käytössä tämän kaltaisia myllyjä metallimalmi-kaivoksilla. Lähin Vertimillia käyttävä kaivos on Kaunisvaara Ruotsissa.



Kuva 6. IsaMill toiminta periaate (IsaMill).

Hienojauhatukseen voidaan käyttää erikoismyllyjä: täry-, kartio-, rulla, isku- suihku- ja keskipakoinenmyllyjä. Erikoismyllyt soveltuvat enemmän teollisuusmineraalien jauhatukseen. (katso Lukkarinen 1985, 234–248 ja Mosher 2011, 1472.)

2.2 Seulonta- ja luokitusmenetelmät

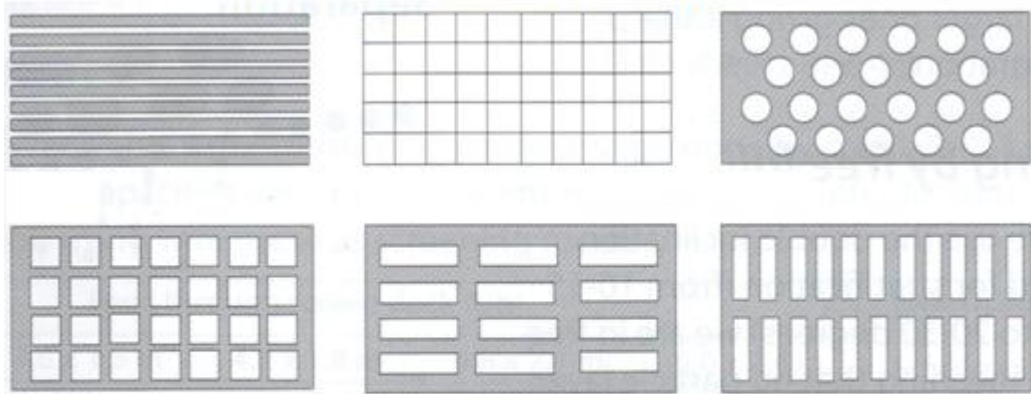
Partikkelien kokoon perustuva seulonta ja luokittelu ovat erittäin tärkeitä vaiheita mineraalien käsittelyprosessissa. Vaikka malmin rikastusprosessin suunnittelessa keskitytään murskaukseen, jauhatukseen ja rikastukseen, seulonnalla ja luokituksella on tärkeä rooli prosessin optimoimisessa. (Flintoff ja Kuehl II 2011, 1481.)

2.2.1 Seulontamenetelmät

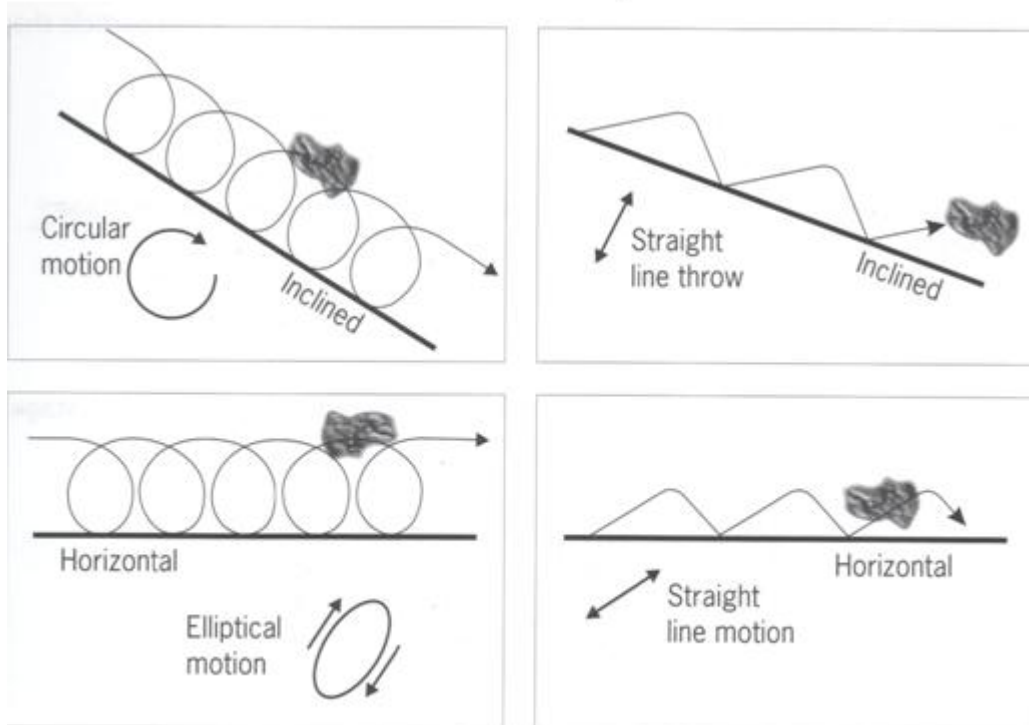
Seulonta on mekaaninen prosessi, jossa partikkeleiden luokittelu perustuu seulan läpäisevyyteen. Jos partikkeleiden koko on tarpeeksi pieni, ne läpäisevät seulaverkon. Kaivosalalla seuloja käytetään hieno- tai karkea-aineksen erottamisessa ennen tiettyjä prosessivaiheita, aineskoon valvonnassa ja luokituksessa. Seuloissa käyttävät erilaisia geometrisia kuvioita (Kuva 7)

partikkeleiden koon luokitteluun ja luokitus perustuu partikkeleiden liikkeisiin. Seulavat voivat olla staattisia tai täräseuloja. Täräseulojen liike on joko lineaarinen, pyörivä tai elliptinen, ja niiden taso on joko horisontaalinen tai kalteva (Kuva 7). (Flintoff ja Kuehl II 2011, 1481.)

Erimuotoisia seulaverkkoja

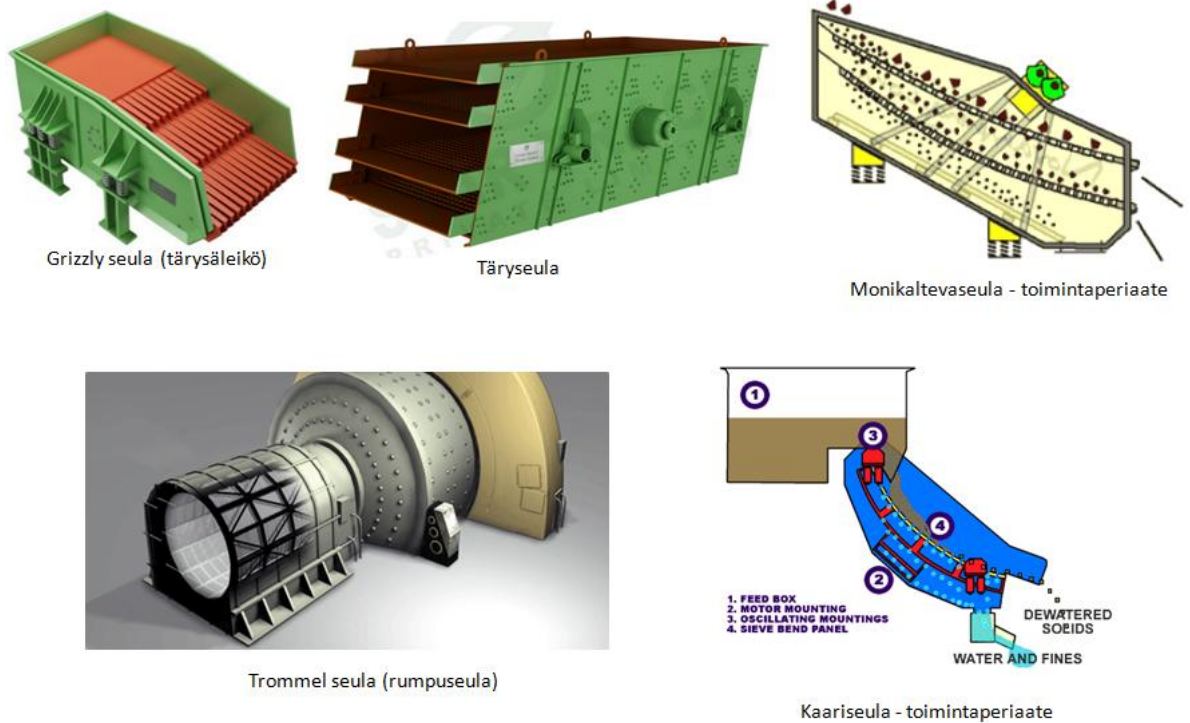


Partikkeleiden liike täräseuloissa



Kuva 7. Seulaverkkojen muoto ja partikkeleiden liike täräseuloissa (Metso 2013, 4:1–4:2).

Karkea-aineksen erottamiseen käytetään yleensä staattisia säleikköjä ja tärysäleikköjä (grizzlies). Säleiköt (Kuva 8) sijoitetaan yleensä ennen murskausta ja niiden avulla erotetaan (kuoritetaan) yli 150 mm kappaleet. Tietyissä tapauksissa säleikköjä voidaan käyttää myös hienoaineksen tai ultrahienoaineksen erottamiseen, kun ei haluta syötää hienoainesta seuraavaan prosessivaiheeseen. Tärysäleiköt voivat olla porrastettuja säleikön tukkeutumisen ehkäisemiseksi. (Flintoff ja Kuehl II 2011, 1482; Lukkarinen 1985, 120.)

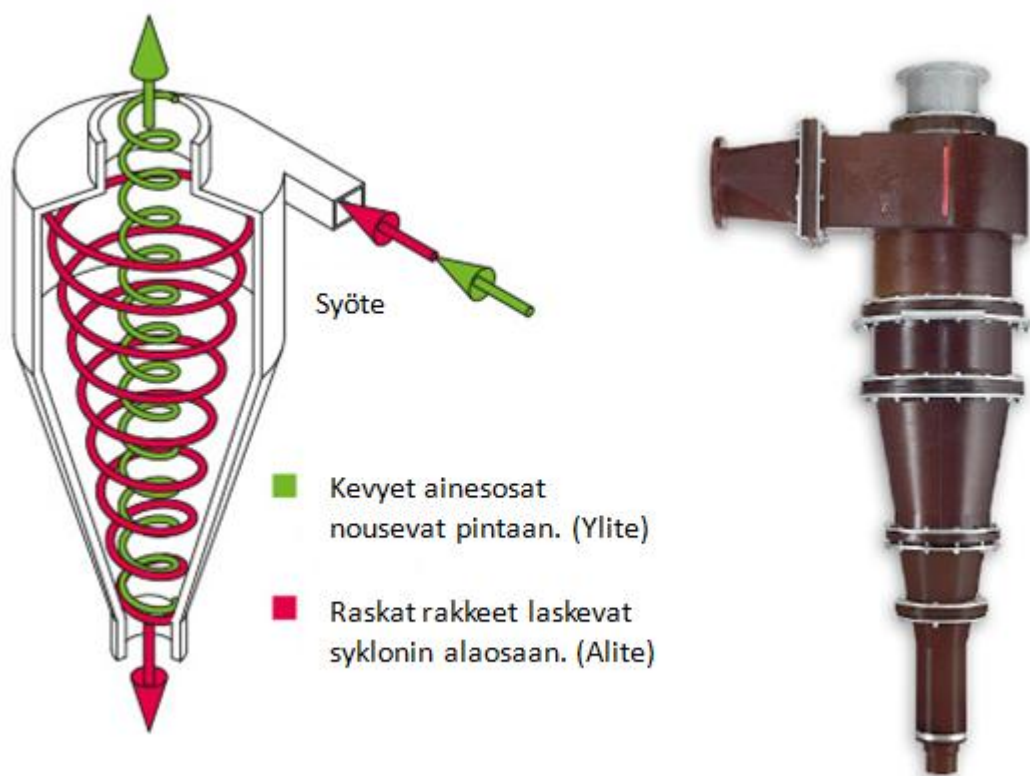


Kuva 8. Seulat (Derek; Flintoff ja Kuehl II 2011, 1483; Nova Mining; Star Trace Ltd.)

Täryseuloja, monikaltevaseuloja (banana screen) ja rumpuseuloja (Kuva 8) käytetään sekä karkea-, että hienoaineksen erottamiseen. Täry- ja monikaltevaseulat ovat yleensä monitasoisia ja niiden avulla erotetaan erikokoisia aineksia samanaikaisesti. Rumpuseulat on asetettu yleensä semiautogeenimyllyjen jälkeen, ja niiden avulla varmistetaan, että seuraavan prosessiin pääsee vain haluttu ainesosa. Kaariseula (Kuva 8) soveltuu yksinomaan märkäseulontaan ja sitä käytetään ultrahienoaineksen erottamisessa. (Flintoff ja Kuehl II 2011, 1482–1484; Lukkarinen 1985, 133–135.)

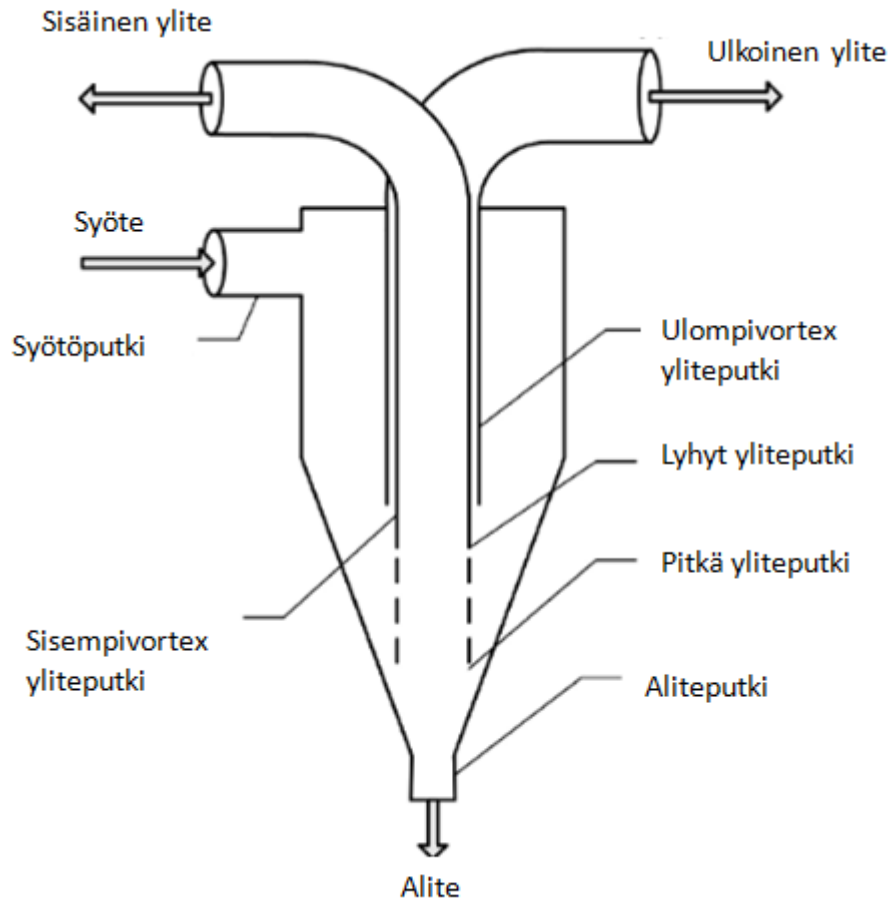
2.2.2 Luokitusmenetelmät

Luokittimia käytetään hienojakoisen mineraaliseoksen lajiteluun kahteen tai useamman osaan. Erottelu perustuu nopeuteen, millä ainesosat vajoavat vedessä, ilmassa tai väliaineessa, jonka ne muodostavat ilman tai veden kanssa. Luokitus voidaan tehdä kuivana tai märkänä prosessina. Yleisin käytetty luokitin on (hydro)sykloni (Flintoff ja Kuehl II 2011, 1496–1498; Lukkarinen 1985, 249–263).



Kuva 9. Hydrosyklonin toimintaperiaate (AKW).

Suurikokoinen sykloni pystyy käsittelemään jopa 120 t/h ainesta, mutta yleensä kaivosalalla käytetään sykloniryhmiä jauhatuspiirissä. Kuvassa 9 esitetty sykloni on ollut käytössä kaivosalalla jo 1950-luvulta alkaen. Viime aikoina on tullut markkinoille parannettuja versioita, joissa syöttöputken muoto on modifioitu turbulenssien ehkäisemiseksi. Uudet syklonisystemit pystyvät erottamaan rakeet kolmeen osaan (kolmetuote hydrosykloni – three-product hydrocyclone), ja niitä on käytetty platinamineraalien prosessissa Etelä-Afrikassa (Kuva 10). (Flintoff ja Kuehl II 2011, 1496–1505; Lukkarinen 1985, 249–266).



Kuva 10. Kolmetuote hydrocycloni (Mainza, Powell ja Knopjes 2004).

Wier Minerals on kehittänyt ReCyclone- nimisen tuotteen (Kuva 11), joka luokittaa mineraaliainesta kahdessa vaiheessa. Tämän tyyppinen hydrocycloni on ollut käytössä hiili- ja rautarikastusprosessissa, mutta korkeiden käyttökustannusten vuoksi se ei ole ollut kovin suosittu. (Flintoff ja Kuehl II 2011, 1504–1505.)



Kuva 11. Recyclone (Weir Minerals 2012, 6).

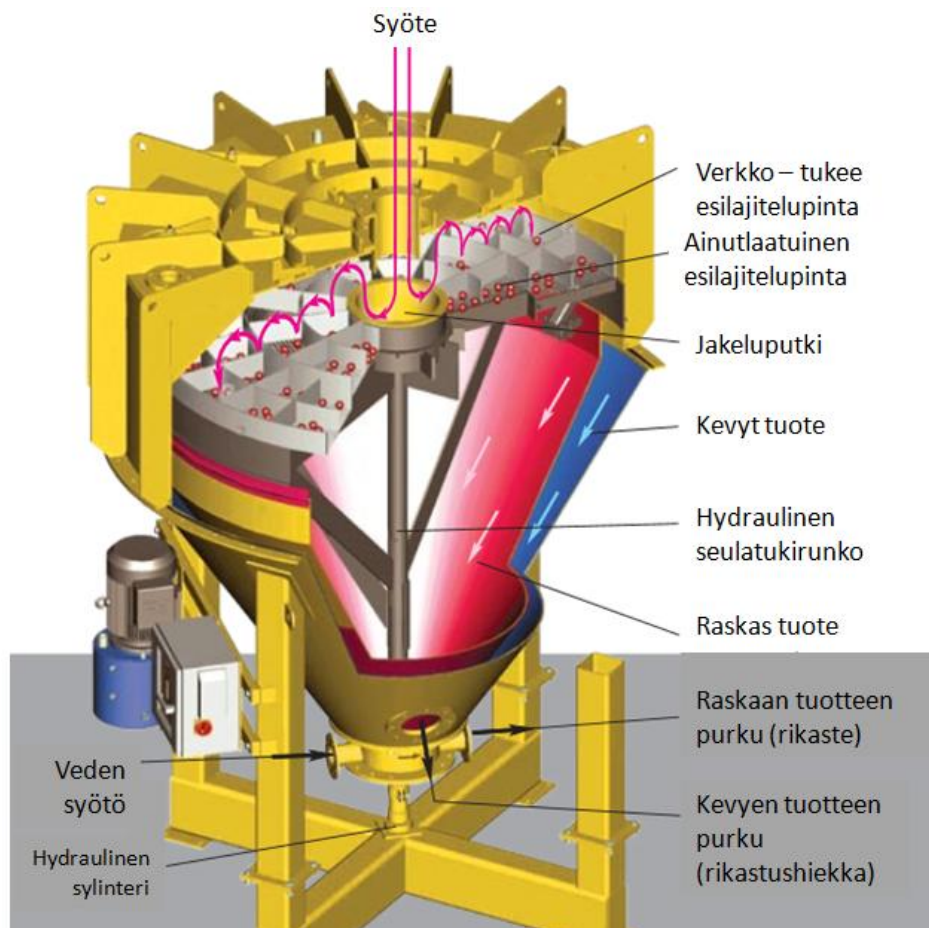
2.3 Mineraalien tiheyseroihin perustuva rikastus

Tiheyseroihin perustuva mineraalirikastusmenetelmä on vanhin käytetty menetelmä kaivosalalla. Painovoimaerotusta käytetään, kun halutaan rikastaa raskaita mineraaleja (ilmeniitti, rutiili, leukokseeni, zirkoni) tai halutaan erottaa karkearakeisia metallisulfiideja malmeista. Tiheyseroihin perustuvat rikastusmenetelmät voidaan jakaa kahteen ryhmään: painovoimaerotus- ja raskasväliaine-erotusmenetelmiin. (Subasinghe 2011, 1507.)

2.3.1 Painovoimaerotusmenetelmät

Painovoimaerotusmenetelmät toimivat hyvin silloin, kun mineraalien välillä on isoja tiheyseroja. Menetelmät perustuvat partikkeleiden asettumiseen samansuuntaisesti rikastuslaitteen sisälle. Partikkeleiden asettuminen riippuu mineraalien tiheydestä ja kappaleiden koosta. Painovoimaerotus ei ole tehokas, mikäli partikkeleiden koko laskee alle 50 μm :n. Painovoimaerotukseen voidaan käyttää mm. hydrosykloneja, hytkyttimiä, tärypöytiä, spiraaleja ja rännejä. (Subasinghe 2011, 1507.)

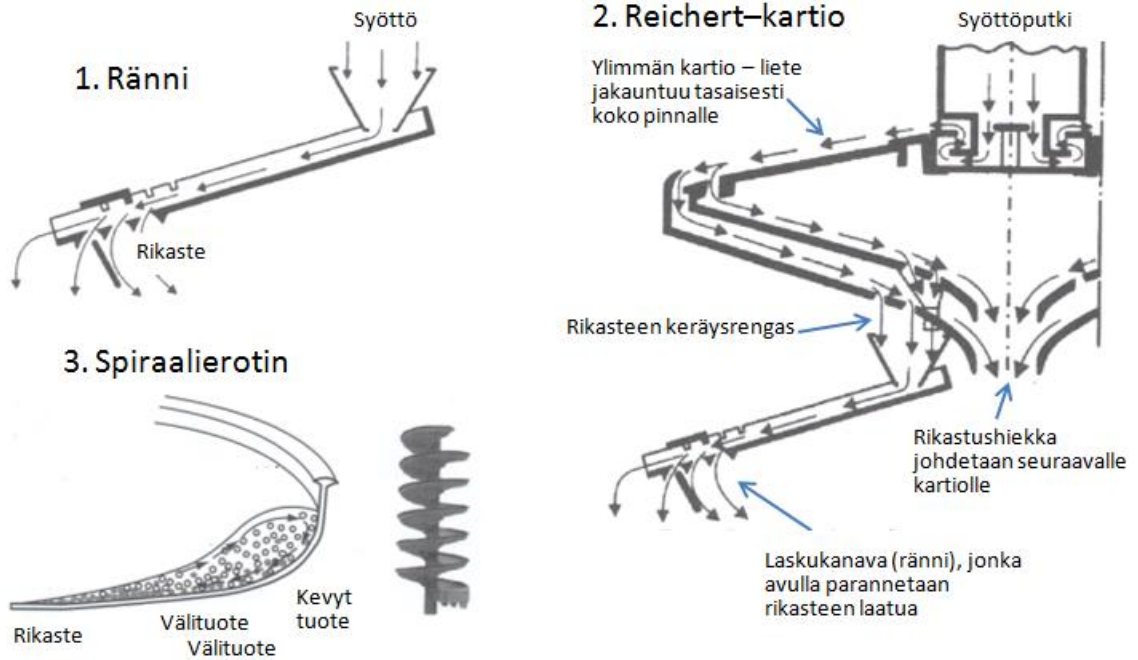
Hytkyttimiä on yleensä käytetty hiili-, kassiteriitti-, kulta- ja rautateollisuudessa. Hytkyttimet toimivat hyvin, kun mineraalien koko on 2–10 mm välillä, mutta niitä on mahdollista käyttää myös hienoimpien mineraalien (>75 µm) rikastukseen. Hytkyttimissä saadaan aikaan veden aaltomainen liike, joka saa aineen liikkumaan. Hienoaineen käsittelyssä käytetään nopeita ja lyhyitä iskuja, mutta karkeapartikkeleiden käsittelyssä isku täytyy olla pitkä ja harva. Mineraalirakeet liikkuvat horisontaali- ja vertikaalisuunnassa. Vertikaalinen liike lajittelee ainesta, ja horisontaalinen liike siirtää kevyet ainesosat niiden poistoalueelle. Hytkytin voi olla pneumaattinen tai hydraulinen (yleisin), ja se voi toimia erillisenä koneena tai sarjakoneena. Hytkyttimien seula voi olla kiinteä (yleisin) tai liikkuva, ja sen kammio voi olla jaettu sektoreihin. Vanhat hytkytinmallit (Denver, Cleveland, Pan-Amerikan, Harz hytkyttimet) olivat varsin pieniä. Uudemmat hytkyttimet pystyvät käsittelemään 50–100 t/h syötettä. Kuva 12 esitetty in-line painehytkytin on energia- ja kustannustehokas ja tarvitsee vähemmän vettä toimiakseen kuin perinteiset mallit. (Gekko; Lukkarinen 1987, 189–200; Subasinghe 2011, 1508–1509.)



Kuva 12. In-line painehytkytin (in-line pressure jig) (Gekko.)

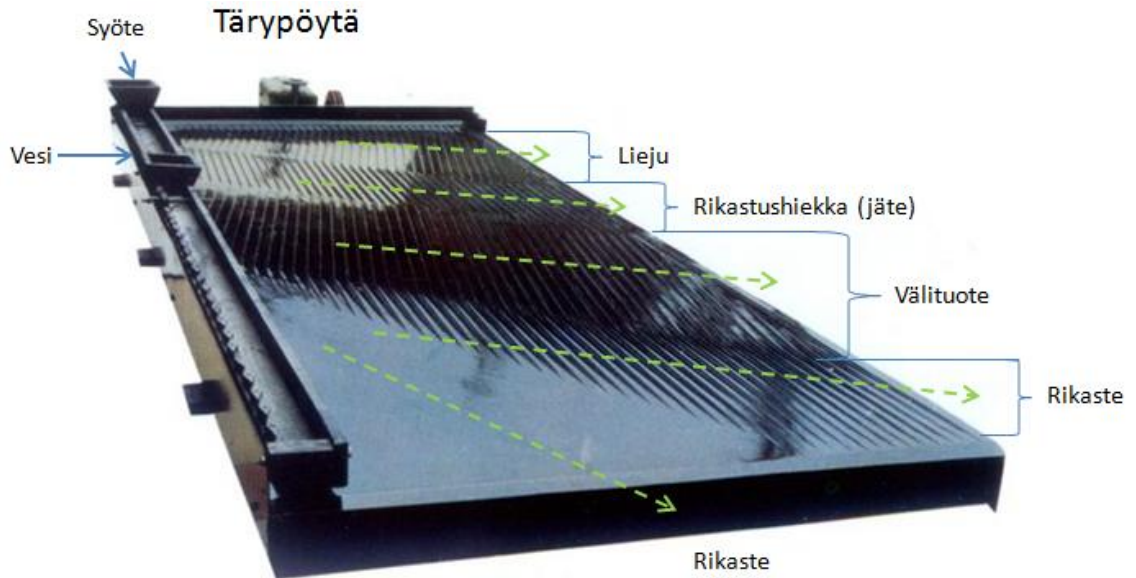
Uudentyyppiinen Kelsey-keskipakoinen hytkytin käyttää keskipakoiskihtiävyyttä hytkyttimen liikkeen lisäksi. Kelsey-hytkyttimen avulla on mahdollista rikastaa hienorakeisempaa mineraaliainesta (jopa 10 µm) myös silloin, kun mineraalien tiheusero on pienempi. Tämän tyyppinen hytkytin on käytössä Australiassa, Etelä-Afrikassa, Etelä-Amerikassa, Intiassa ja Yhdysvalloissa mm. rutiilin, zirkonin, tinan, tantalumin, kullan ja nikkelin erottamisessa. (Kelsey 2014; Subasinghe 2011, 1509.)

Jatkuvaan virtaukseen perustuva erotus voidaan tehdä rännien, spiraali-erottimien ja Richert-kartion avulla (Kuva 13). Kaltevia rännejä (15–20°) käytetään lähinnä kullan huuhtomisen. Reichert-kartion toimintaperiaate on samalainen kuin ränneillä, ja sitä on käytetty teollisuudessa jo 1960-luvulta lähtien. Liete syötetään kartion yläpuolella ylimmälle alassuun olevalle kartiolle, josta se jakaantuu tasaisesti koko pinnalle. Liete valuu kartion yläreunan yli suppenevan rikastuskartion pinnalle, jossa lietteen virtauksessa tapahtuu virran syveneminen samalla tavalla kuin kiilarännissä. Sen seurauksena raskas ja kevyt ainesosa virtaa eri raosta, niin, että kevyt ainesosa purkautuu kartion alaosaan keskellä olevaan raosta ja raskas ainesosa johdetaan seuraavaan kartioon. (Lukkarinen 1987, 217–224; Subasinghe 2011, 1509–1510.) Reichert-kartioita käytetään Sastamalan rikastamossa sekä Pahtavaarassa, ja niitä on ollut käytössä myös Kemin kaivoksessa, mutta laajennuksen jälkeen ne on poistettu rikastusprosessista.



Kuva 13. Jatkuvaa virtaukseen perustuvia erotuslaitteita: 1. Ränni, 2. Reichert-kartio, 3. Spiraalierotin (Subasinghe 2011, 1510–1511).

Spiraalierottimia käytetään kaikissa kaivoksissa, jossa rikastusprosessi perustuu painovoimaan. Erottimet toimivat hyvin, kun raskaiden partikkeleiden koko on alle 1 mm ja kevyiden rakeiden koko alle 3 mm. Spiraaleiden kapasiteetti on 0,5–4 t/h syötteen lietteen ominaisuuksista riippuen, mutta isokokoisilla spiraaleilla pystytään käsittelemään jopa 8 t/h. Syötettävän lietteen kiintoainepitoisuus vaihtelee 15–45 % välillä. Lietteeseen kohdistuu useita voimia: maan vetovoima, lietteen ja kourun pohjan välinen kitka, lietteen sisäiset leikkausvoimat sekä keskipakovoima. Lietteessä kulkiessa spiraalia pitkin rakeet pyrkivät kerrostumaan sekä horisontaali- että vertikaalisuunnassa. Raskaat partikkelit pysyttelevät spiraalin keskiosan lähellä ja kevyet rakeet virtaavat ulkokehällä. Raskasaines liikkuu lähellä spiraalin pohjaa ja kevytaines sijoittuu ylempään osaan. Rikaste poistetaan spiraalin tasaisesta sisäosasta veden avulla. Spiraalierottimia käytetään yleensä esirikastusvaiheessa, mutta niiden avulla voidaan tuottaa myös yhteisrikaste ja lopullinen jäte. Spiraaleja on perinteisesti käytetty hematiittimalmien, rantahiekkojen ja arvokkaiden metallioksidien rikastuksessa. (Lukkarinen 1987, 212–216; Subasinghe 2011, 1509–1510.)

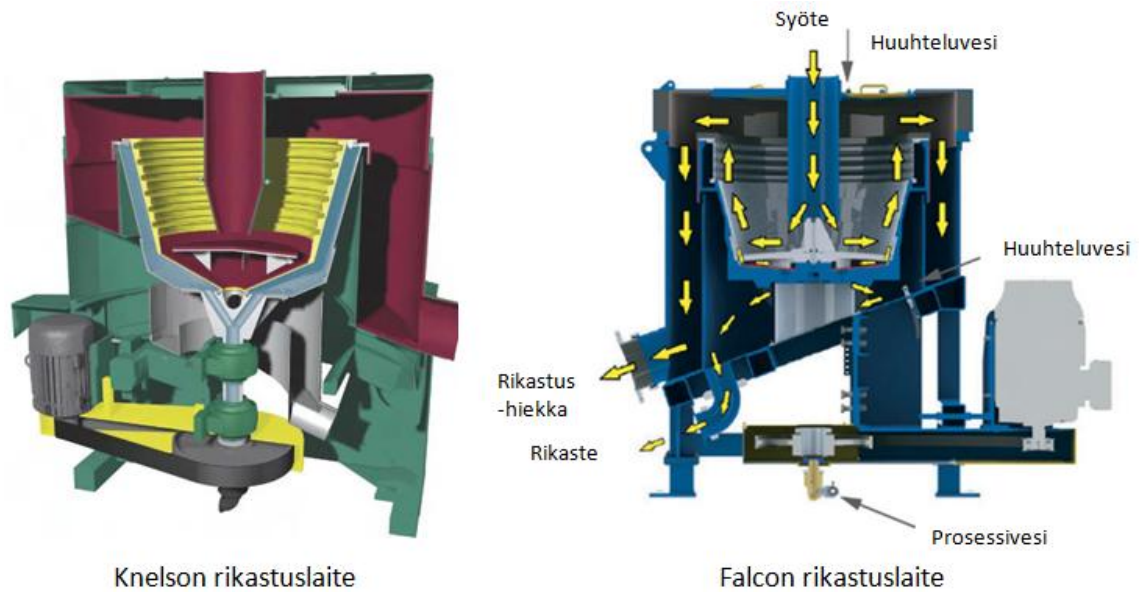


Kuva 14. Tärypöydän toimintaperiaate (Shaking table, viitattu 17.11.2014).

Tärypöydät (Kuva 14) ovat suosittuja rikastuslaitteita erityisesti kultarikastuksessa (esim. Pahtavaara). Tärypöydät ovat yleensä kaltevia ja niiden pinnalla on pituussuuntaisten rimojen muodostama uritus. Liete syötetään pöydän yläosasta ja yläreunalta syötetään myös vettä pöydän koko pituudelle putkia pitkin. Tärymekanismin avulla saadaan aikaan pituussuuntainen edestakainen ja epäsymmetrinen iskuliike. Liike on hidas eteenpäin ja erittäin terävä taaksepäin mentäessä. Iskuliikkeen seurauksena kevyet rakeet liikkuvat veden mukana pinnalla. Rikastus tapahtuu vesikalvorikastuksen periaatteella niin, että liikkeen seurauksena mineraalit asettuvat pöydällä ominaispainon mukaan raitoihin. Kun liete virtaa useampaan rimavälien yli saadaan erotetuksi useampia tuotteita samalla laitteella (rikastushiekka, väli tuote ja rikaste). (Lukkarinen 1987, 202–205.)

Painovoimaerotukseen voidaan käyttää myös keskipakovoimaan perustuvia laitteita kuten hydrosykloni, Knelson rikastuslaite ja Falcon jatkuvarikastuslaite. Hydrosyklonin toimintaperiaate on käsitelty luvussa 2.2.2. Knelson ja Falcon rikastuslaitteiden (Kuva 15) avulla pystytään käsittelemään suurempia mineraalimääriä, jopa 1 000 t/h. Knelson laite on hyvin suosittu kullan rikastuksessa, ja Falcon laite on ollut käytössä tinan, tungstenin, tantalumin, kromin, koboltin, raudan ja uraanin rikastusprosessissa. Falcon laitteen avulla

voidaan rikastaa myös hyvin hienorakeisia mineraaleja (alle 50 μm). (Subasinghe 2011, 1511–1512.)



Kuva 15. Knelson ja Falcon rikastuslaitteet (Knelson 2005, 4; Sepro Systems).

2.3.2 Raskasväliaine-erotusmenetelmät

Raskasväliaine-erotusmenetelmä (sink-float) on erittäin tehokas painovoimaan perustuvaa erotustekniikka, jossa käytetään raskasväliaineena mineraalivesisuspensiota. Väliaineen tiheys säädetään mineraalien ja jätemineraalien tiheyksien perusteella. Väliaine saa aikaan mineraalien erottumisen niin, että raskaampi haluttu mineraali vajoaa suspensiossa ("sink"-tuote) ja kevyt ainesosa kelluu sen pinnalla ("float"-tuote). Tämä menetelmän avulla voidaan rikastaa mineraaleja, joiden tiheys on lähellä jätemineraalien tiheyttä. Väliaineena käytetään yleisimmin piirautaa, magnetiittia ja lyijykohdetta. (Lukkarinen 1987, 167–168; Subasinghe 2011, 1513.)

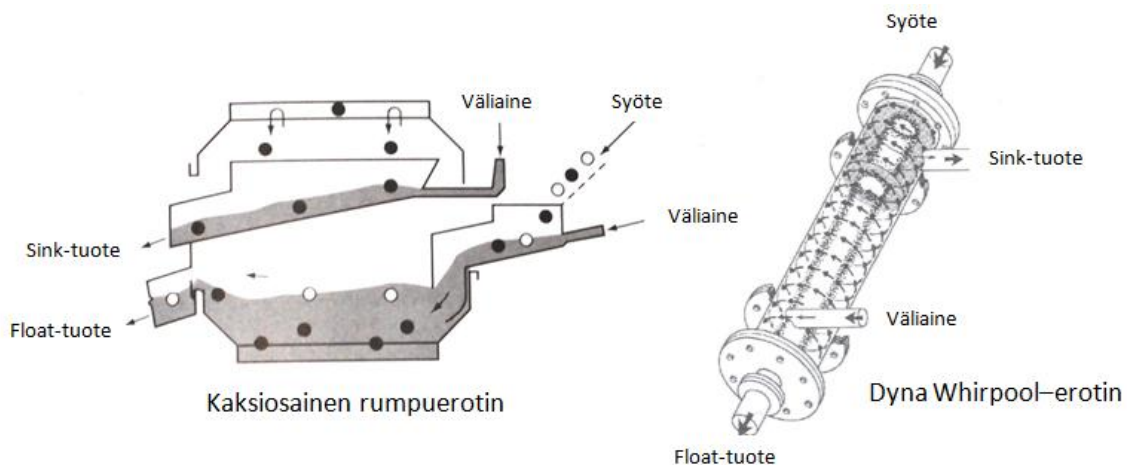
Sink-float menetelmällä voidaan suunnitella erilaisia yksikköprosesseja, joiden tavoitteena on

- tuottaa valmistuotetta yhtä yksikköprosessia käyttäen
- erottaa karkearakeinen sivukivi, joka mahdollistaa jauhatuksen kustannuksien pienentämisen

- kustannustehokas erotus ja ylläpitokustannustehokas prosessi
- tehdä suhteellisen terävää erotusta (pienet tiheyserot tuotteen ja jätteen välillä)
- jatkuva toiminta
- mineraalien kokojakaumaan perustuvalla syötteen säädöllä tuottaa yhdenmukaisia tuotteita (Subasinghe 2011, 1513).

Raskasväliaine-erotusmenetelmä on ollut käytössä 1930-luvulta alkaen perinteisesti hiilen ja raudan rikastusprosesseissa, mutta menetelmä sopii myös kromin, lyijyn ja sinkin rikastusprosesseihin. Menetelmä vaatii hyvin tarkkaa seulontaa ennen mineraalien syöttöä. Seulonnan avulla mineraaliaines erotellaan sopiviin kokojakaumiin, jotka sitten syötetään eri laitteisiin tuotteen ladun parantamiseksi. Samalla seulonnan aikana poistetaan leijuja mineraaliaineesta, mitkä häiritsevät prosessia. (Lukkarinen 1987, 167; Subasinghe 2011, 1513.)

Sink-float-erotus voidaan tehdä käyttäen rumpuerotinta, raskasväliainesyklonia, Dyna Whirpool-erotinta tai Drewboy-erotinta. Drewboy-erotinta sekä raskasväliainesyklonia käytetään enimmäkseen hiilen erotuksessa. (Subasinghe 2011, 1513.)



Kuva 16. Kaksiosainen rumpuerotin ja Dyna Whirpool-erotin (Subasinghe 2011, 1513–1514).

Rumpuerotinta käytetään Kemin kaivoksella kromin palarikastuksessa (katso liite 2). Rumpuerottimien avulla voidaan saada raskas ja kevyt tuote (yksiosaisella rummulla) tai myös välituote (kaksiosaisella rummulla - Kuva 16). Rumpujen kapasiteetti on 50–800 t/h välillä, koosta riippuen. Väliaine ja malmi syötetään toisesta päästä ja toiseen saadaan sink- ja float-tuote. Raskasainesosa laskeutuu rummun pohjalle, ja sieltä se nostetaan reiällisillä siivekkeillä raskaantuotteen seulalle, joka sijaitsee rummun yläosassa. Seulan jälkeen sink-tuote johdetaan ränniin. Mikäli kyseessä on kaksiosainen rumpu, ensimmäisen osaston jäte on lopullinen float-tuote ja sen erotus tapahtuu kevyempää väliainetta käyttäen. Toisesta rumpuosasta saadaan lopullinen sink-tuote sekä välituote (tässä tapauksessa float-osa). (Lukkarinen 1987, 172–174; Subasinghe 2011, 1513.)

Dyna Whirpool -erotin (Kuva 16) käyttää keskipakovoimaa erotukseen. Erotin sisällä on kalteva (15–45°) putki. Putken yläosaan syötetään mineraaliaines ja tangentiaalisesti putken alaosaan syötetään väliaine. Väliaine kulkee kiertoliikkeellä putken seinämiä pitkiin ylöspäin raskastuotteen mukana. Samalla putken keskiosassa muodostuu ilmatila (kanava), jossa kevyttuote liikkuu alaspäin poistoputkia kohti. Dyna Whirpool erottimella voidaan käsitellä 5–100 t/h malmia. Erottimen heikkous on väliainehäviö, joka on isompi kuin esimerkiksi rumpuerottimilla. (Lukkarinen 1987, 178–179; Subasinghe 2011, 1513.)

2.4 Magneettinen ja sähköstaattinen erotus

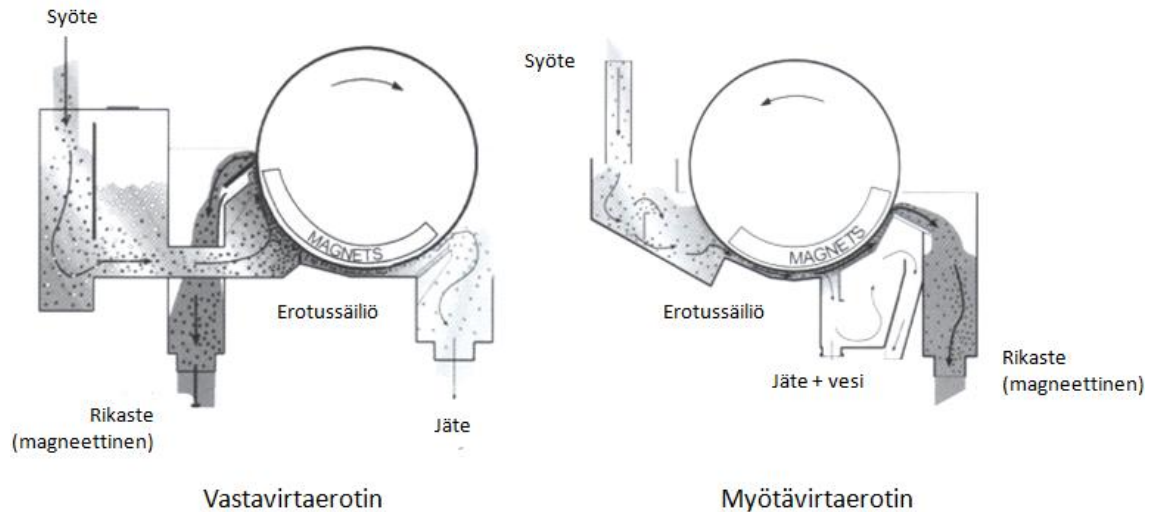
Magneettinen ja sähköstaattinen erotusmenetelmä ovat olleet käytössä jo pitkään. Vanhemmat erotusmenetelmät perustuivat heikkojen kestromagneettien ja sähköstaattisten kontaktierottimien käyttöön. Sekä magneettinen että sähköstaattinen erotusmenetelmä soveltuu erittäin hyvin kuivaerotukseen, erityisesti rikastusprosessin loppuvaiheessa. Kuitenkin märkämagneettinen erotus on ollut onnistuneesti käytössä raudan rikastusprosessissa. Märkämagneettinen erotus toimii tehokkaasti, kun partikkeleiden koko on hyvin pieni. Magneettiset erotusmenetelmät ovat käytössä myös väliaineiden puhdistukseen tai epäpuhtauksien poistoon malmeista. (Iyer 2011, 1533.)

Kaikki mineraalit voidaan luokitella magneettisten ominaisuuksien perusteella kolmeen luokkaan:

1. Paramagneettisiin mineraaleihin: - ulkoinen magneettikenttä vetää paramagneettisia materiaaleja heikosti puoleensa (esim. Ti, Cr, W, Mo, V, hematiitti, ilmeniitti, kromiitti).
2. Diamagneettisia mineraaleihin: - kun aineen lähelle tuodaan ulkoinen magneettikenttä, aine pyrkii hylkimään ulkoista magneettikenttää (esim. raudattomat sulfidit, Cu, Ag, Au).
3. Ferromagneettisiin mineraaleihin: - ovat para-magneettisista mineraaleja, joilla on erittäin voimakas veto ulkoiseen magneettikenttään. Ulkoisen magneettikentän poistuessa, ferromagneettisten magneettisuus säilyy (esim. Fe, Ni, Co, magnetiitti). (Iyer 2011, 1533–1538; Lukkarinen 1987, 231.)

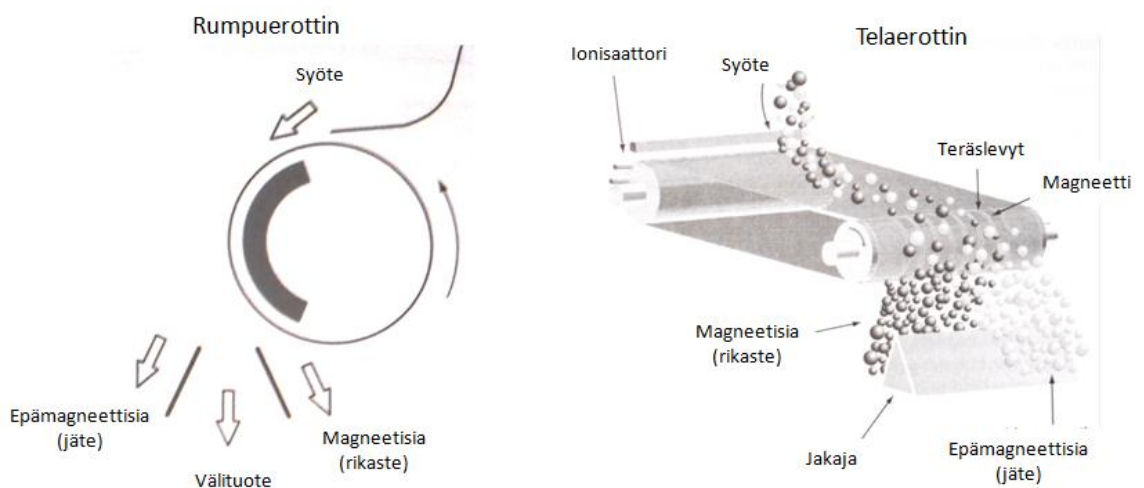
Mikäli mineraalien magneettiset ominaisuudet ovat tiedossa, voidaan prosessissa hyödyntää magneettisia erotusmenetelmiä. Magneettierotus voidaan tehdä märkänä tai kuivana prosessina ja siihen käytetään tavanomaisia (conventional), kesto- tai suprajohtavat (superconducting) magneetteja. (Iyer 2011, 1533–1542; Lukkarinen 1987, 231.)

Tavanomaisia magneetteja käyttävät laitteet ovat heikkomagneettisia erottimia, joita käytetään enimmäkseen ferromagnetisten epäpuhtauksien poistoon ennen malmin jauhatusta. Heikkomagneettiset märkäerotuslaitteet voivat toimia joko myötä- tai vastavirrassa (Kuva 17). Myötävirtaerottimeen malmi syötetään laitteen pyörimissuuntaan ja vastavirtaerottimissa malmi kulkee ainakin osittain laitteen pyörimissuuntaan vastaisesti. Vastavirtaerottimia käytetään, kun halutaan ottaa talteen iso määrä magneettista materiaalia ja samalla pestä kiviainesta. (Iyer 2011, 1533–1542; Lukkarinen 1987, 238–240.) Heikkomagneettisia erottimia käytetään suomalaisissa metallimalmikaivoksissa lähinnä epäpuhtauksien poistoon.



Kuva 17. Vasta- ja myötävirtaerottimien toimintaperiaate (Metso 2013, 5:28).

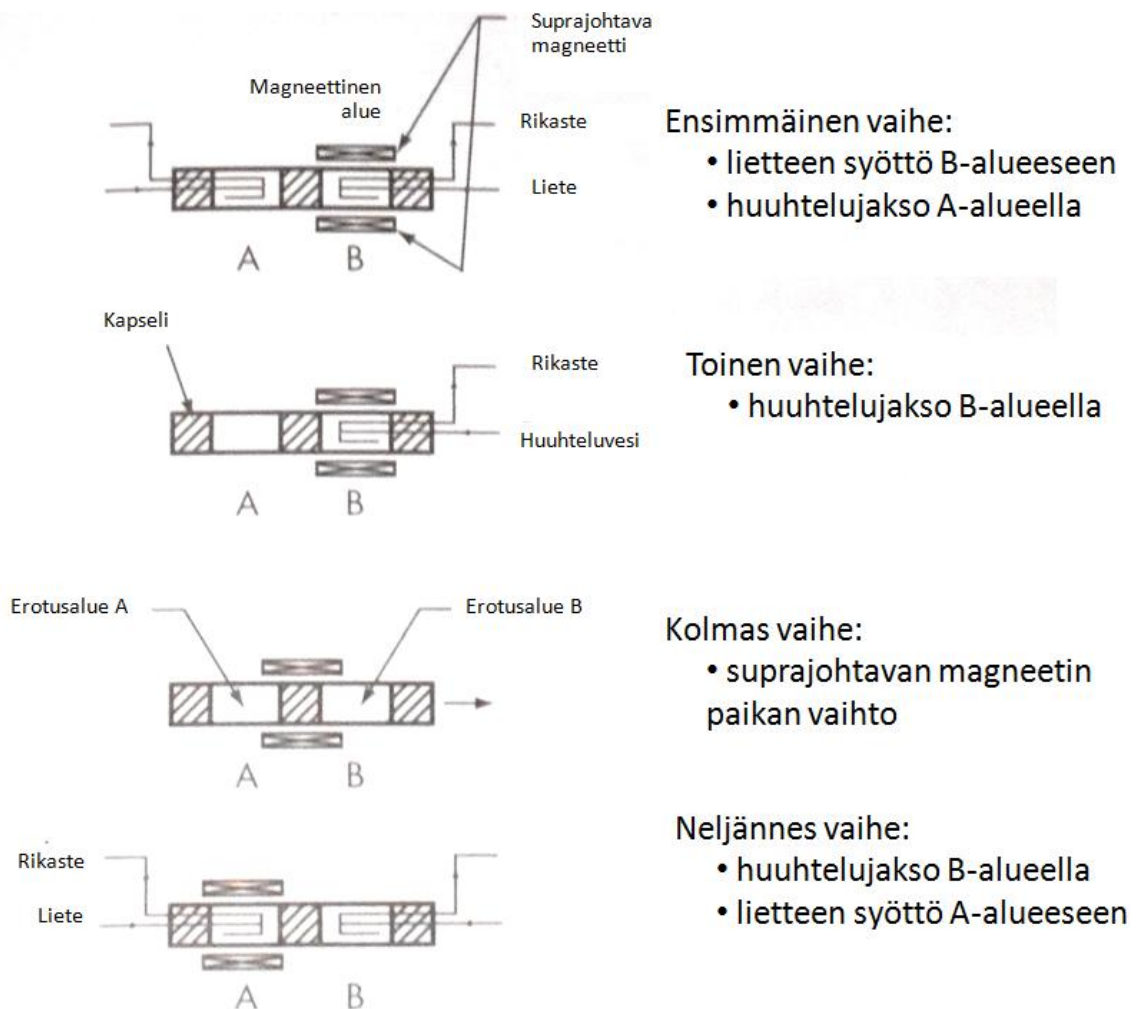
Kestomagneetteja käyttäviä erottimia ovat tulleet kaivosteollisuuteen viimeisen kolmekymmenen vuoden aikana. Niiden avulla voidaan erottaa heikkomagneettisia mineraaleja, kuten ilmeniitti tai poistaa malmeista epäpuhtaudet kuten piidioksidi. Kestomagneettien avulla voidaan myös käsitellä hienompaa kiviaineista. Kestomagneettisia rumpu- ja telaerottimet ovat käytössä erityisesti harvinaisten maametallien rikastuksessa (Kuva 18). Näistä kahdesta vaihtoehdosta rumpuerottimella mineraalien saanti on tasaisempaa, eikä saanti ole riippuvainen syöttönopeudesta. (Iyer 2011, 1541–1542.)



Kuva 18. Rumpu- ja telaerotin (Iyer 2011, 1541).

Vahvamagneettiset (suprajohtavia) erottimet ovat kustannustehokas vaihtoehto mineraalien rikastamiseen ja niitä tulemme näkemään tulevaisuudessa

esimerkiksi alumiinin ja fosforin rikastusprosesseissa. Suprajohtavat magneettierottimet toimivat alhaisissa lämpötiloissa (2–18 °K). Alhaiset lämpötilaolosuhteet saadaan nesteytetyn heliumin ja typen avulla. Laitteeseen johdetaan sähkövirta ja näin saadaan aikaiseksi korkea magneettikenttä (jopa 2 T tai 20 000 G, eli kolme kertaa enemmän kuin kestmagneettierottimissa). Liete syötetään erottimen yläosaan tai tangentialisesti ja erotus tapahtuu useammassa vaiheessa. Suprajohtavien magneettierottimien toimintaperiaate on esitetty alla olevassa kuvassa. (Iyer 2011, 1542–1543; Lukkarinen 1987, 254–257.)



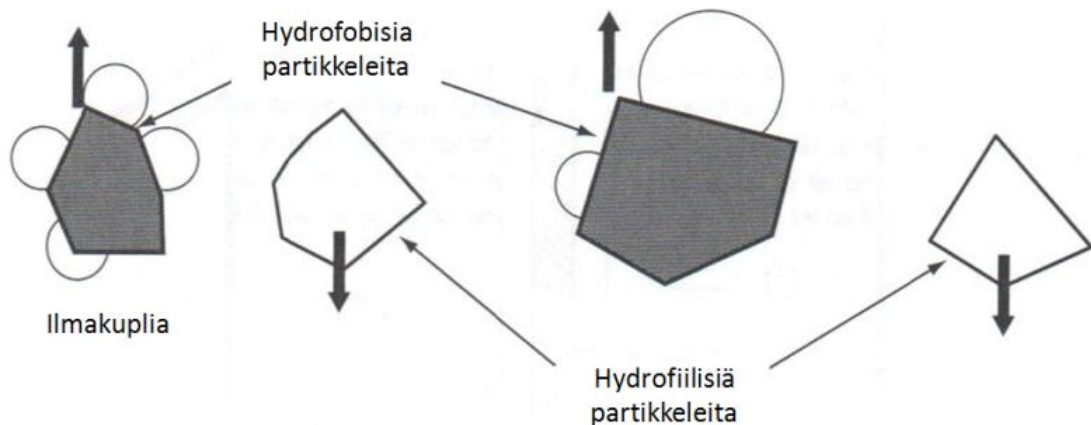
Kuva 19. Suprajohtavan magneettierotimen toimintaperiaate (Iyer 2011, 1543).

Suprajohtavien magneettierottimien energiakulutus on pieni, koska supramagneetilla ei ole resistanssia, ja tästä syystä sähkövirran syötön katkaisu ei hävitä magneettikenttää. Korkea magneettikenttä mahdollistaa myös heikkomagneettisten mineraalien rikastuksen. (Iyer 2011, 1543.)

Sähköstaattinen erotusmenetelmä perustuu materiaalien konduktanssiin. Sähköstaattiset erotusprosessit käyttävät hyväkseen mineraalien sähkökonduktanssin eroja tai mineraalien pintamuuttoksia. Menetelmä on ollut käytössä painevien mineraalien erotukseen rantahiekoista, mutta nykyään se on suosittu menetelmä muovin ja metallien kierrätyksessä, eikä sovellu sellaisenaan metallimalmien rikastukseen. (katso lisää Iyer 2011, 1543–1545.)

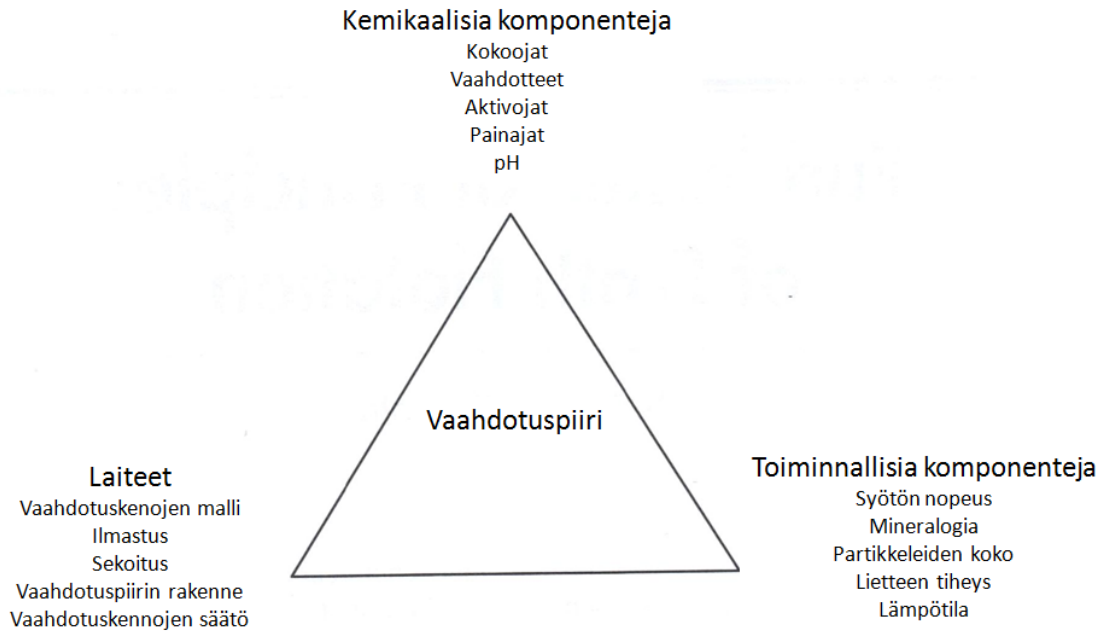
2.5 Vaahdotus

Vaahdotus on erittäin tehokas erotusmenetelmä, joka perustuu mineraalien hydrofobisten ominaisuuksien eroihin. Vaahdotuksessa muodostuvien ilmakuplien pinnalle tarttuu hydrofobisia (vettä hylkiviä) mineraaleja ja lietteeseen jää hydrofiilisiä (vesihakuisia) mineraaleja (Kuva 20). Vaahdottamalla voidaan rikastaa laaja valikoima mineraaleja ja prosessissa on mahdollista muuttaa selektiivisesti mineraalien pinnan ominaisuuksia, eli niiden hydrofobisia ominaisuuksia, eri kemikaaleja käyttäen. Vaahdotus soveltuu erityisesti hienojauhatusmalmien rikastukseen. (Kawatra 2011, 1517.)



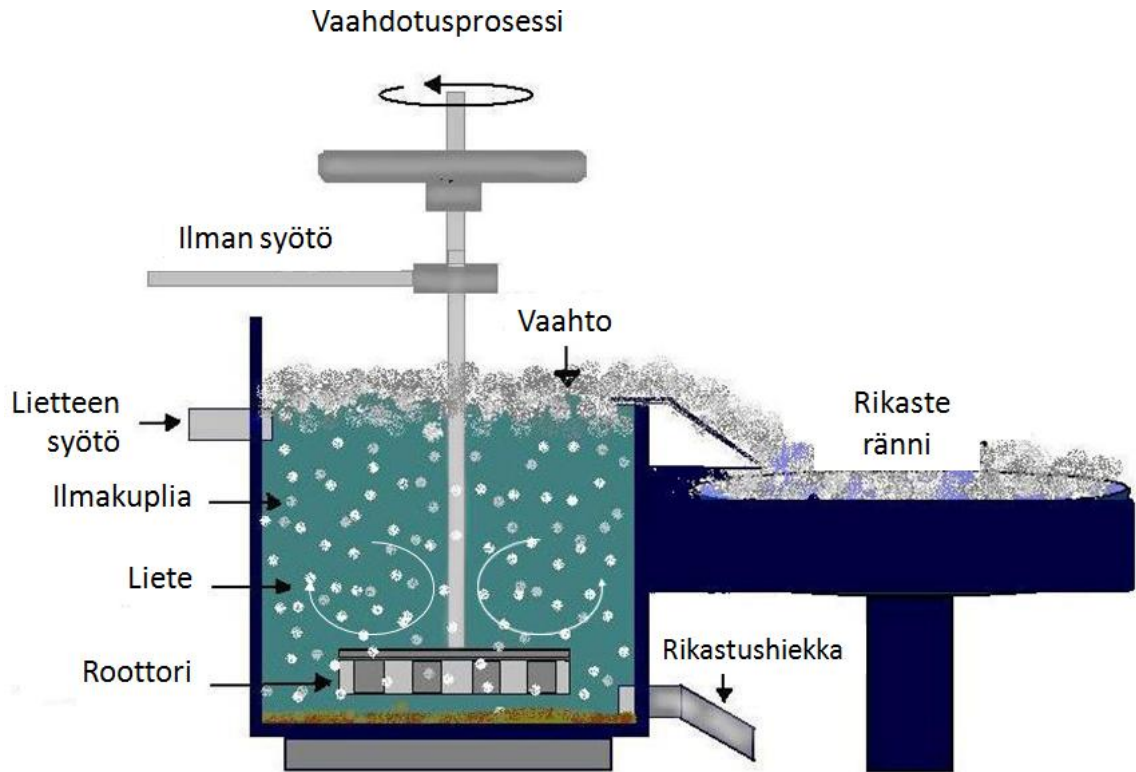
Kuva 20. Ilmakuplien selektiivinen kiinnitys hydrofobisiin partikkeleihin (Kawatra 2011, 1519).

Vaahdotuspiiri sisältää useita toisiinsa liittyviä komponentteja (Kuva 21). Tästä syystä vaahdotuspiirien säätö on vaikeaa. Esimerkiksi jos vaihdetaan syötön nopeus, muutoksia nähdään myös vaahdotusnopeudessa, saannissa, ilmavirtauksessa ja lietteen tiheydessä. (Kawatra 2011, 1517.)



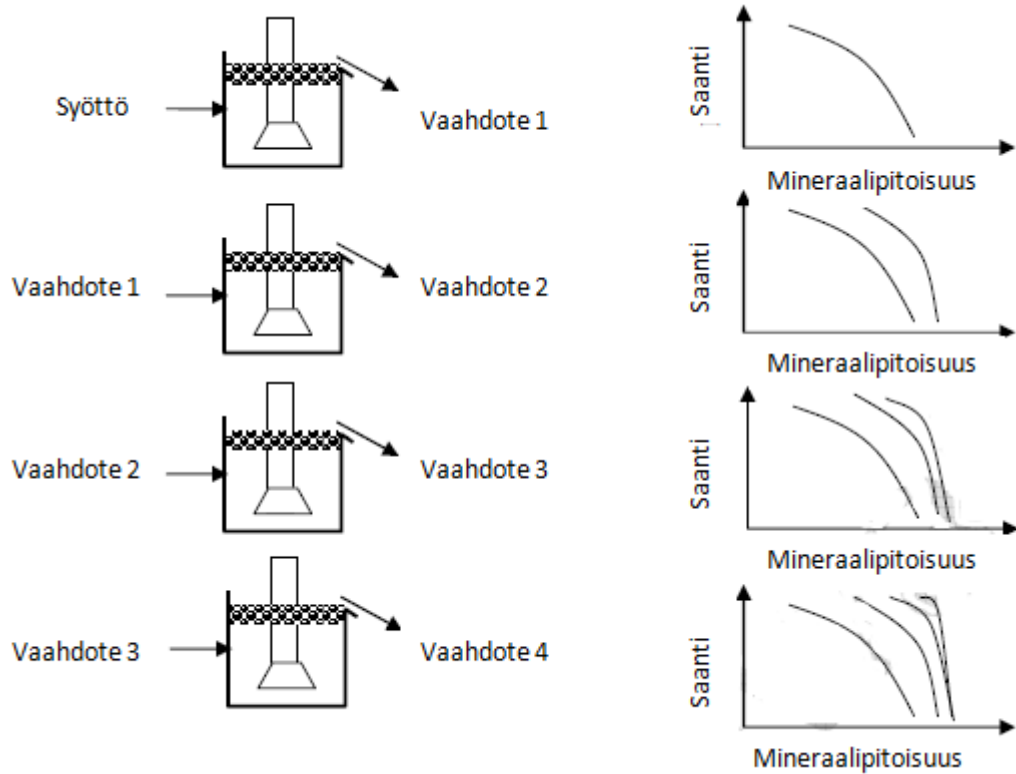
Kuva 21. Vaahdotuspiirin toisiinsa liittyviä komponentteja (Kawatra 2011, 1518).

Vaahdotus tehdään vaahdotuskoneiden avulla (vaahdotuskennot tai vaahdotuskolonit). Vaahdotuskoneiden (Kuva 22) tehtävä on pitää mineraaliaines suspensiona vesilietteessä ja dispergoida pieniä ilmakuplia lietteeseen. Lisäksi vaahdotuskennoissa ilmakuplat ja mineraaliainekset saadaan törmäämään toisiaan. Kennojen yläpuolella tarvitaan sopivat hiljaiset olosuhteet vaahdotuksen alueella. Vaahdotte (rikaste) poistetaan kennon yläosalta kaltevaa vaahdoteränniä pitkin ja rikastushiekka alapuolella olevan jätelaatikon kautta. Prosessin tarvitsema ilma syötetään roottorin akselissa olevan suojaputken kautta. Liette pumpataan vaahdotuskennon yläpuolen syöttölaatikon kautta tai mahdollisesti potkurin yläpuolelta. Roottorin avulla dispersoidaan syöty ilma, ja tuloksena on ilmakuplien muodostuminen. Sen lisäksi roottori sekoittaa lietteen ja mahdollistaa partikkeleiden ja ilmakuplien törmäyksen. (Kawatra 2011, 1519–1520; Lukkarinen 1987, 96–100.)



Kuva 22. Yksinkertaistettuvaahdotusprosessi (Mining examiner 2013, viitattu 21.11.2014).

Vaahdotus tapahtuu useammassa eri vaiheessa, josta ensimmäinen vaihe on yleensä lietteen valmennus. Tällöin lietteeseen sekoitetaan vaahdotuksessa tarvittavat kemikaalit. Sen jälkeen liete esivaahdotaan, ripevaahdotaan ja kertausvaahdotaan. Suurin osa rikasteesta saadaan jo esivaahdotuksen aikana ja seuraavissa vaiheissa saatu rikastemäärä laskee vaiheesta toiseen (Kuva 23). (Kawatra 2011, 1525–1529.)



Kuva 23. Mineraalisaanti vaahdotuksen erivaiheissa (Kawatra 2011, 1528).

Vaahdotusrikastuksessa käytetään kemikaaleja (reagensseja), joiden avulla modifioidaan partikkeleiden hydrofobisia ominaisuuksia (kokoojat), säädetään vaahdotukseen tarvittavat olosuhteet (säännöstelijät) ja saadaan vaahdotetta syntymään (vaahdotteet). Käytössä on yli 10 000 reagenssia. (Kawatra 2011, 1520; Lukkarinen 1987, 48–49.)

Kokoojia käytetään selektiiviseen adsorbointiin. Niiden avulla muutetaan selektiivisesti mineraalien pintaominaisuuksia. Kokoojat kasvavat partikkeleiden kontaktikulmaa, jonka seurauksena ilmakuplat tarttuvat sen pintaan helpommin. Kokoojat sitoutuvat mineraaleihin joko kemiallisesti (kemisorptio – lietteessä olevien ionien tai molekyylien tasolla tapahtuu kemiallinen reaktio ja sen seurauksena syntyy pysyvä liitos) tai fyysisten voimia käyttäen (fyysinen adsorptio – ionit ja molekyylit muodostuvat palautuvan liitoksen, eli elektrovalentinen liitos). Kokoojat yleensä luokitellaan niiden ionivaruksen perusteella anionisiin, kationisiin, amfoteerisiin ja ionisoimattomiin kokoojiin. (Kawatra 2011, 1520.)

Anioniset kokoojat ovat yleensä heikkoja happoja tai happosuoloja, jotka ionisoituvat vedessä, ja sen seurauksena muodostuvat negatiivinen polaarinen pää sekä hiilivetypää. Negatiivinen polaarinen pää tarttuu mineraalien pintaan ja hiilivetypää muuttaa mineraalipinnan hydrofobisemmaksi. Sulfiidimineraalien rikastuksessa käytetään yleisimmin ksantaatteja ja diofosfaatteja (sulfhydryylikokoojia). Muita sulfidimalmirikastuksessa käytettyjä anionisia kokoojia ovat ditiofosfaatit, tionokarbonaatit, ditiofosfinaatit, trikarbonaatti, merkaptobensotiasoli, merkaptaanit, ksantogeniformiaatit sekä monotiofosfaatit. Oksidimalmirikastuksessa käytetään oksyhydryylikokoojia, joista yleisin on karboksylaatti (rasvahappo). Oksidimalmirikastuksessa käytetään myös alkyylisulfaatteja, sulfonaatteja, hydroksamaatteja, fosfonihappoa sekä fosforihappoestereitä. (Kawatra 2011, 1520–1522.)

Kationiset kokoojat käyttävät positiivisesti varautuneita amiini-yhdisteitä mineraalin sitomiseen. Kationisia kokoojia käytetään lähinnä silikaattien, fosfaattien ja harvinaisen metallioksidien erottamisessa. (Kawatra 2011, 1522–1523.)

Ionisoitumattomat kokoojat ovat hiilivety öljyjä ja niitä käytetään lähinnä hiilien erottamiseen. Kuitenkin on mahdollista käyttää ionisoitumattomia kokoojia myös luonnon hydrofobisten mineraalien vaahdottamiseen molybdeniitin, talkin ja rikin erotusprosessissa. (Kawatra 2011, 1520–1521.)

Vaahdotteiden avulla saadaan stabiili vaahto, joka kestää sille kiinnittyneen raekuorman. Stabiili vaahto täytyy pysyä koossa kunnes vaahtorikaste siirtyy rikasteränniin. Yleisimmät vaahdotteet ovat alkoholeja (erityisesti metyylisobutyylialkoholit – MIBC) ja vesiliukoisia polymeerejä (propyleeniglykoli). Alkoholiryhmään kuuluu myös pine oil (55–65 % terpineolin, 10–20 % borneolin ja fenyylialkoholin sekoitus). (Kawatra 2011, 1523–1524.)

Säännöstelykemikaaleihin kuuluvat pH-säätökemikaalit, painajat ja aktivoijat. Säännöstelykemikaalit vaikuttavat kokoojien käyttäytymiseen ja ne joko lisäävät kokoojien adsorptiota tiettyyn mineraaliin (aktivoijat) tai ne estävät kokoojien adsorptiota (painajat). (Kawatra 2011, 1524.)

Yksikertaisimmat säännöstelykemikaalit ovat pH-säätökemikaalit, eli hapot (riikkihappo) ja emäkset (kalkki, kalkkihydroksidi, natriumhydroksidi, natriumkarbonaatti). Lietteiden pH on erittäin tärkeää vaahdotuksen onnistumiseen kannalta koska erilaiset mineraalit sitoutuvat kokoojiin erilaisissa pH-olosuhteissa. Seurauksena on eri mineraalien erotusmahdollisuus käyttäen pelkästään pH-säätöä. (Kawatra 2011, 1524.)

Aktivoijat edistävät rikastusta muuttamalla mineraalien pintaa hydrofobimmaksi. Tyypillinen esimerkki on kuparisulfaatti, joka aktivoi sinkkivälkettä ja mahdollistaa sinkin rikastuksen. Painajilla on päinvastainen vaikutus, eli ne estävät tietyjen mineraalien vaahdotusta. Käytetyimmät painajat ovat syanidi (sulfidimineraalien vaahdotuksessa), kalkki sekä orgaaniset painajat (tärkkelykset, polymeerit). (Kawatra 2011, 1524.)

2.6 Liuotus

Mineraalien liuotus on ollut käytössä tuhansia vuosia. Ensimmäiset mineraalit liuotettiin värien ja värjäyksessä käytettyjen pigmenttien vuoksi. Kaivosalalla menetelmää käytettiin jo 1500-luvulla salpietarin, kuparin ja alumiinin talteenottoon. Syanidin käyttö liuotuksessa alkoi 1800-luvulla kullan ja hopean talteenottoprosesseissa ja 1900-luvun puolivälissä liuotusta aloitettiin tehdä säiliöissä, eikä pelkästään kasaliuotuksena. (Zanbak 2012, 10.)

Liuotus on luonnollinen prosessi, jossa vesi toimii universaalina matalapolarisuusliuottimena (universal low-polarity solvent). Vesi joko liuottaa liukoisia suoloja malmeista tai luo hapen kanssa sopivia olosuhteita ei-liukoisten metalliyhdisteille niin, että ne muuntuvat liukenemaksi. Monesti happamissa olosuhteissa luonnon biologinen aktiivisuus tehostaa (erityisesti rautasulfiidien) hapetusta. (Zanbak 2012, 5.)

Liuotus on fysikaalis-kemiallinen prosessi, jossa kallioperäisiä mineraaleja liukenee läpisuodattuvan veden vaikutuksessa, minkä seurauksena käynnistyy anioni/kationivaihtoreaktiot. Reaktiot tuottavat metallisuoloja, jotka ovat

liuoksessa / kolloidifaasissa. Metallisuolat siirtyvät ja kertyvät hydrologisten voimien vaikutuksen alaisena, mikä mahdollistaa metallien talteenottoa. Hapetus ja tietyt bakteerit voivat tehostaa liuotusprosessiä. Menetelmää voidaan käyttää erityisesti alumiinin, nikkelin, platinumin, koboltin ja kullan rikastukseen. (Zanbak 2012, 5.)

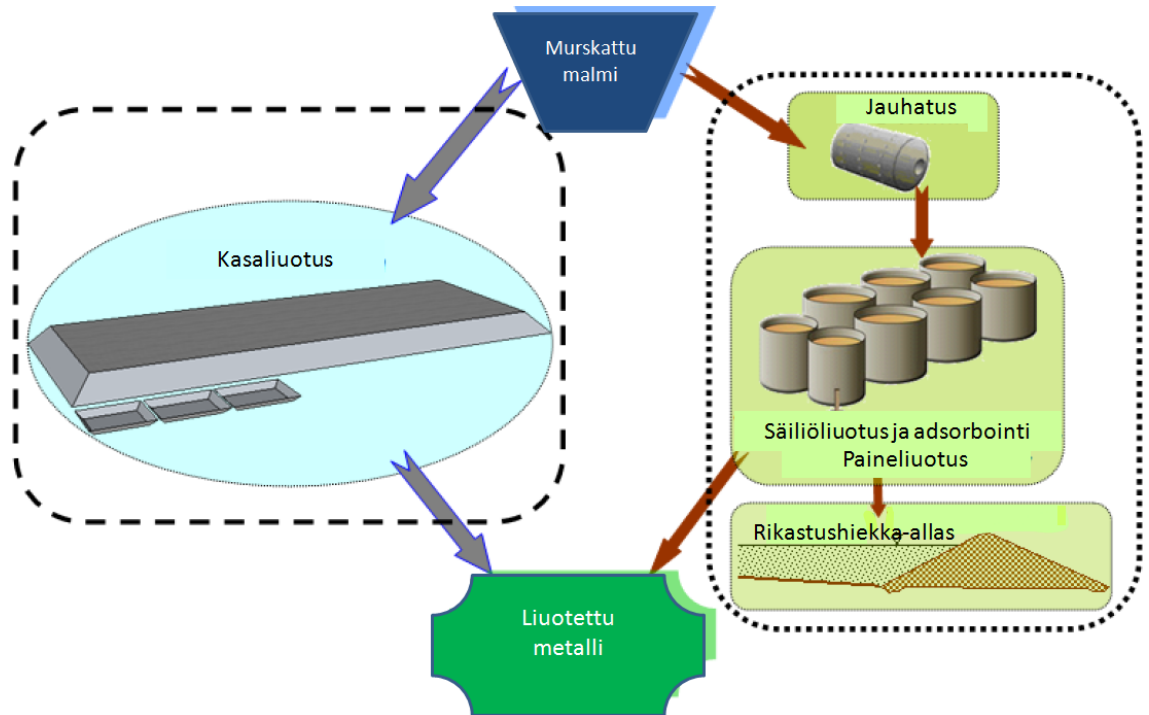
Kaivosalalla liuotuksen tarkoituksena on liuottaa selektiivisesti halutut mineraalit malmeista ja eristää mineraaliliuos (pregnant solution) kiintoaineesta. Näin voidaan talteenottaa metallit joko metalliyhdisteinä tai hydrometallurgisilla prosesseilla. Liuotusprosessissa käytetään yleensä rikkihappoa tai syanidisuoloja liuotusaineina kasa- ja säiliöliuotuksessa. Kuparin ja kullan liuotuksessa käytetään useimmiten tioureaa ja tiosulfaattia, mutta monimutkaisen kemiallisen prosessin ja ympäristövaikutusten vuoksi niiden käyttö ei ole suositun kaivosalalla. Modernit liuotusmenetelmät matkivat luonnossa esiintyvää uuttoprosessia, mutta prosessi optimoidaan tuottavuuden edistämiseksi. Liuotukseen voidaan vaikuttaa muuttamalla mineraalimassan kokoa, edistämällä liuotusaineen leviämistä mineraalimassaan, edistämällä bakteerien aktiivisuutta sekä hapettamalla. Mineraalien saanti liuotusprosessissa riippuu metalliliuotuksesta (kuinka paljon metallia liuottaa) sekä liuotusajasta. (Zanbak 2012, 6–9.)

Tällä hetkellä kaivosalalla käytetään useampia liuotusmenetelmiä, josta kasa-, säiliö- ja paineliuotus ovat yleisimmät (Kuva 24):

- **Dump leaching, eli malmiliuotus:** Menetelmä soveltuu kuparimalmin käsittelyyn. Louhittua malmin ei murskata, vaan läjitetään suoraan läpäisemättömälle alustalle ja kastellaan vedellä tai rikkihapolla. Kupari talteenotetaan liuotusnesteestä.
- **Heap leaching, eli kasaliuotus:** Tässä tapauksessa malmin murskataan ja jauhetaan yleensä alle 5 mm kokoon. Jauhettu malmin tai agglomeroitu malmin läjitetään läpäisemättömälle alustalle ja kastellaan vedellä tai rikkihapolla (Kuva 24). Kasaliuotuksessa usein ilmastetaan kasat ja käytetään avuksi bakteereita liuotuksen edistämiseksi (esimerkiksi Talvivaaran liuotusprosessi – katso luku **Error! Reference source not found.**). Liuotusprosessi vaatii pitkää aikaa, viikkoja tai jopa vuosia.

Liutuksen jälkeen kasoja ei yleensä pureta, ja tästä syystä ei ole tarvetta rakentaa jätealueita. Kuitenkin tarvittaessa kasat voidaan purkaa ja siirtää sekundääriseen liutukseen (esim. Talvivaara), joka on myös kasan lopullinen sijoituspaikka. Menetelmä soveltuu erityisesti köyhien malmeihin rikastukseen. Bakteereita käytetään liutuksessa sulfidimalmien käsittelyssä.

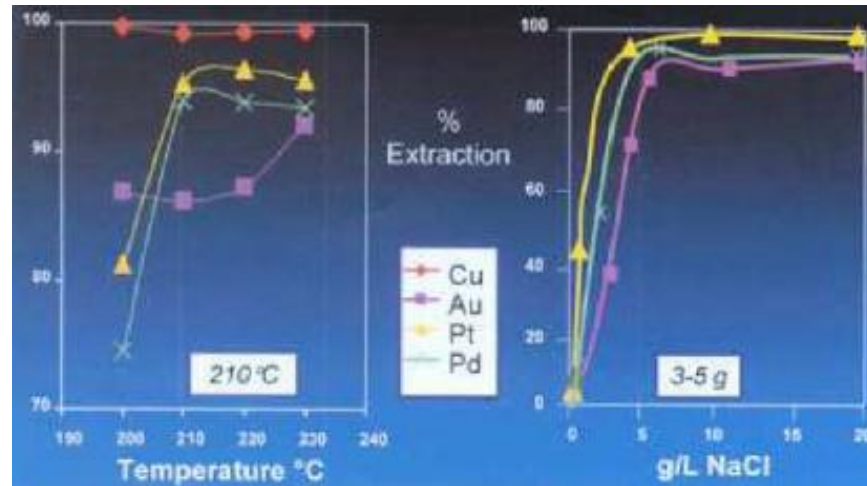
- **Tank leaching, eli säiliöliuotus:** Murskattu/jauhattu malmi tai vaahdotuksen rikaste liuotetaan kiihtyvällä vauhdilla avoimissa säiliöissä ilmakehän paineolosuhteissa (Kuva 24). Menetelmää on kutsuttu myös ”semi-suljetuksi prosessiksi”. Liuotuksesta saatu jäte voidaan joko sijoittaa rikastushiekka-altaisiin tai suodattaa ja kuivattaa, jonka jälkeen se sijoitetaan läpäisemättömälle alustalle sekundääriliuotusta varten. Liuotusjäte voidaan myös jatkokäsitellä painehapetuksella tai pyrometallurgisilla menetelmillä. Menetelmä on laajasti käytössä kullan ja hopean rikastuksessa. Arvometallit adsorboidaan liutuksen jälkeen hiilleen.
- **Pressure leaching, eli paineliuotus:** Murskattu/jauhattu malmi tai vaahdotuksen rikaste liuotetaan kiihtyvällä vauhdilla reaktoreissa (autoklaaveissa) korkeissa lämpötiloissa ja paineolosuhteissa. Menetelmää on kutsuttu myös ”suljetuksi liuotusmenetelmäksi”. Liuotuksesta saadut jätteet sijoitetaan rikastushiekka-altaisiin. Menetelmä on käytössä Kittilän kaivoksessa.
- **In-situ leaching, eli in situ liuotus (paikan päällä):** Menetelmää käytetään kuparin, suolan/tronan ja uraanin liotuksessa tarkoituksenmukaisissa hydrogeologisissa olosuhteissa. Menetelmä ei ole käytössä Suomessa. (Zanbak 2012, 9–11.)



Kuva 24. Liuotusmenetelmät kaivosalalla (Zanbak 2012, 11).

2.7 Platsol-menetelmä

Platsol-menetelmä on paineliuotuksen sovellus, joka soveltuu monimetallimalmien, erityisesti platinaryhmän, kullan ja perusmetallien rikastukseen. Menetelmällä käsitellään vaahdotusrikasteet käyttämällä klooria liuotusaineena ja liuotus tapahtuu korkeissa lämpötila- ja paineolosuhteissa. Autoklaaviin syötetään myös happea liuotuksen edistämiseksi. Arvometallit liuotetaan kloorokomplekseiksi ja perusmetallit metallisulfaattikomplekseiksi ja rikkihapoksi. Arvometallit otetaan talteen adsorboimalla, saostamalla tai elektolyyttirikastuksella. Platsol-menetelmän avulla voidaan nostaa metallisaanti jopa 99 %:iin (Kuva 25). (Cole ja Ferron 2002, 13–14; Flemming 2002, 1–2; Platsol.)



Kuva 25. Platinaryhmän metallien ja kuparin saanti Platsol-menetelmällä. Lämpötilan ja NaCl-pitoisuuden vaikutus saantiin. (Flemming 2002, 2.)

Platsol-menetelmän avulla köyhien monimetallimalmien rikastus on kannattavaa. Kuitenkin Platsol-menetelmä on itsestään kannattava siinä tapauksessa, kun sulfidit ovat jo poistettu lietteestä. Sulfidin poisto mahdollistaa korkeammamnn saannin. (Milbourne, Tomlinson ja Gormely 2003; Platsol, luettu 1.12.2014.)

3 PROSESSIVESIEN KÄSITTELYMENETELMÄT

3.1 Kaivosvesien ominaisuudet ja niiden vaikutukset vesistöön

Kaivokset ovat isoja teollisuusveden kuluttajia, monesti alueidensa suurimpia veden kuluttajia. Kaivosteollisuudessa kierrätetään suuria vesimääriä, mutta ne myös juoksuttavat vesiä ympäristöön. Kaivoksissa vettä käytetään porausvetenä, prosessivetenä, tiivistevetenä, kemikaalien valmistuksessa, huuhtelu- ja pesuvetenä sekä talousvetenä. (Kauppila, Räisänen ja Myllyoja 2011, 34–35; Prosser, Wolf ja Littleboy 2011, 137–138.)

Kaivostoiminnalla on usein merkittäviä ympäristövaikutuksia ja useimmiten vaikutukset kohdistuvat vesistöön. Tästä syystä vesienhallinta ja erityisesti jätevesien käsittely ovat nykypäivänä erittäin tärkeitä kaivosteollisuudessa. Jätevesien hallinnassa ensimmäinen askel on jätevesien lähteiden sekä niiden ominaisuuksien tunnistaminen. Kaivosjätevedet ovat peräisin pääasiallisesti avolouhos-/ maanalaisesta kaivoskuivatuksesta; rikastusprosessista, talousvesikäytöstä sekä sadannasta ja pintavalumavedestä. Kaivostoiminta itsestään vaikuttaa vesistöön enimmäkseen häiritsemällä olemassa olevia hydrologisia olosuhteita. Malmin käsittelyprosessi on suurin jätevesien saastuttaja ja mikäli prosessivesiä ei käsitellä asianmukaisesti, ympäristönvaikutuksia voivat olla erittäin merkittäviä. Prosessivedet sisältävät liuenneiden metallien lisäksi kemikaalijäämiä ja kiintoainepitoisuus on korkea. Kuivatusvedet ja valumavedet (mm. sivukivialueilta, pintamaiden ja moreenin läjitysalueilta) sisältävät usein liuenneita metalleja. Kuivatusvedet ovat peräisin pinta- sekä pohjavesivalunnasta ja sisältävät myös räjähdysainejäämiä, öljyä ja kiintoainetta. Kuivatusvedet voivat olla hyvinkin hapokkaita (pH 2–3) mikäli alueella on sulfidimineraaleja. (Younger, Banwart ja Hedin 2002, 55–59; Dharmappa, Muttucumaru ja Singh 2009, 337–345; Kaupilla yms. 2011, 71.)

Jätevesien saastuttavat aineet voivat olla fysikaalisia, kemiallisia, biologisia tai radiologisia (Taulukko 1). Näistä saasteista biologiset epäpuhtaudet ovat peräisin lähinnä saniteettivedestä ja radiologiset saasteet liittyvät enimmäkseen

uraanin louhimisesta. Tärkeimmät kaivosjätevesien saastuttajat ovat fysikaalisia ja kemiallisia. (Dharmappa yms. 2009, 338–339.)

Taulukko 1. Kaivosjäteveisen saastuttavat aineet (Dharmappa yms. 2009, 339).

Saaste	Alaluokat
Fysikaalinen	<ul style="list-style-type: none"> - Kiintoaine - Sameus - Lämpötila - Maku ja haju
Kemiallinen (orgaaninen)	<ul style="list-style-type: none"> - Kivihiili (hiilikaivoksissa) - Öljyt ja rasvat - Saippuat ja pesuaineet - Kumi - Väriaineet, fenoliset yhdisteet
Kemiaallinen (epäorgaaninen)	<ul style="list-style-type: none"> - Raskasmetallit (Cr, Hg, Cu, Cd, Pb, Zn, Ni, jne.) - Hapot - Emäkset - Syanidi - Liuenneet suolat: <ul style="list-style-type: none"> o Kationit: Mg, Ca, K, Na, Fe, Mn, jne. o Anionit: Cl, SO₄, NO₃, HCO₃, PO₄, jne.
Biologisia	<ul style="list-style-type: none"> - Bakteerit, virukset ja pienet organismit
Radiologisia	<ul style="list-style-type: none"> - Uraani - Tritium ja muut radioaktiiviset aineet kaivosten jätteistä

Ympäristön kannalta on tärkeä tunnistaa jätevesien kemiallisesti reaktiivisia komponentteja, jotka voivat toiminnan aikana tai myöhemmin tulevaisuudessa tuottaa negatiivisia ympäristövaikutuksia. Kemiallisesti reaktiivisia riskejä ovat:

- **Hapan kaivosvaluma:** Luonnossa esiintyvän sulfidimineraalien hapetus (esim. rikkikiisu, kuparikiisu) vapauttaa happamuutta, metalleja ja sulfaattia ympäristöön. Sulfidimineraalit ovat yleisiä kulta- ja hopeakaivoksilla sekä perusmetallikaivoksilla (kupari, nikkeli, lyijy, sinkki). Kaivosjätealueilta tuleva hapan kaivosvaluma voi estää kasvillisuuden kasvua. Hapankaivosvaluma voi olla myös peräisin prosessissa käytetyistä hapoista (esim. liuotusprosessista).
- **Metallit, jotka ovat liukenevia tai biosaattavia (bioavailable) neutraalissa olosuhteissa:** Korkeina pitoisuuksina liuenneet metallit

ovat monesti toksisia vesieliöille ja saastuttavat talousvettä. Mikäli metallit ovat biosaattavia ne voivat estää kasvien kasvua ja ravintoketjun kautta niiden negatiiviset vaikutukset ulottuvat eläimiin ja/tai ihmisiin. Metallit liuennevat enimmäkseen sulfidimineraalien hapetuksen myötä, mutta ilmiötä esiintyy muissakin olosuhteissa. Ilmiö eroaa happamasta kaivosvalunnasta siten, että sulfidihapetus neutraloidaan in situ, mutta metallit liukenevat neutraalissa olosuhteissa ja suotautuvat valumavesien mukaan. Tyypillisesti liukenevia metalleja ovat boori, kadmium, koboltti, kromi, fluori, elohopea, mangaani, molybdeeni, nikkeli, seleeni, tallium ja sinkki.

- **Suolaisuus ja natriumkarbonaatin korkeapitoisuus:** Jotkut kaivosjätteet sisältävät liukenevia suoloja, jotka voivat myös estää kasvillisuuden kasvua. Korkea suolaisuus voi aiheuttaa ympäristövaikutuksia joko osmoottisten tai ionien reaktioiden välityksellä. Seurauksena voi olla maaperän ja veden laadun alenemista ja vesieliöiden sekä ekosysteemien vahingoittaminen. Maaperä, jossa on korkea natriumkarbonaattipitoisuus (maaperä, joka sisältää iso määrä natriumia suhteessa kalsiumia, kaliumia ja magnesiumia) on altis eroosiolle ja veden suoto on heikko.
- **Radionuklidit:** Uraani ja sen tytäraineet voivat aiheuttaa säteilyaltistusta. Ne ovat tyypillisiä uraanikaivoksilla, mutta niitä voivat esiintyä myös harvinaisten- ja raskasmetallimalmioissa, hiilikaivoksilla tai graniittimalmioissa. Lisäksi radionuklidit voivat konsentroitua kaivosprosessien yhteydessä. Maanalaisissa kaivoksissa radon voi osoittautua ongelmaksi.
- **Syanidi ja muut reagenssit:** Syanidia käytetään usein kullan rikastuksessa. Erilaisia reagensseja käytetään metallien vaahdotuksessa. Mikäli syanidi neutralisoidaan se ei muodostaa riskiä ympäristölle. Normaalisti eri reagenssit ovat hyvin laimeina pitoisuuksina, eikä niillä ole merkittäviä vaikutuksia ympäristöön. Kuitenkin tietyissä olosuhteissa sekä syanidi, että reagenssit voivat aiheuttaa vaaraa ympäristölle ja terveydelle.
- **Typpiyhdisteet:** Typpiyhdisteet (ammonium, nitraatti ja nitriitti) ovat pääosin peräisin louhinnassa räjähtämättä jääneistä räjähdysaineista ja

ne voivat kulkeutua malmin mukana prosessiin ja edelleen prosessivesiin tai sivukiven mukaan sivukivikasalle ja edelleen valumavesiin. Nitraatti on myös syanidin hajoamistuote ja ammoniumia käytetään mm. uraanin rikastusprosessissa. Typpiyhdisteet voivat olla suoraan toksisia vesieliöille ja ne alentavat veden laatua typpikuormituksen kautta. Typpiyhdisteet aiheuttavat myös pintavesien rehevöitymistä ja levien leviämistä.

- **Luonnossa esiintyvä asbesti ja muut mineraalipölyt:** Asbestia voi esiintyä alhaisina pitoisuuksissa malmioissa (esim. Pahtavaarassa, Kemin kaivoksessa) ja se voi kulkeutua joko sivukivien mukana jätekasaan tai malmin mukana prosessiin ja sitten jätevesiin. Asbesti ja muut hienorakeiset mineraalipölyt (esim. amorfinen piidioksidi) voivat aiheuttaa negatiivisia terveysvaikutuksia kaivoksen työntekijöille.
- **Korkea pH:** Jäteveden korkea pH voi alentaa veden laatua ja tuhoaa ekosysteemejä mikäli päästö on suuri vastaanottavaan vesistöön nähden. (Borden 2011, 1734–1735.)

Kaivosvesien käsittelyssä ei kaivosalueen eri vesiä ole juurinkaan eroteltu. Perinteisesti valumavedet, kuivatusvedet sekä prosessivedet (rikastushiekka-altaalta) johdettiin samaan altaaseen, minkä jälkeen ne puhdistettiin ennen juoksumusta vesistöön. Kuitenkin vesien käsittely on melko kallista, ja nykytrendi on vähentää käsiteltyjen vesien määrää. Tämän seurauksena puhtaat vedet kaivosalueelta kierättään erikseen ja johdetaan suoraan vesistöön ilman käsittelyä. (Borden 2011, 1747–1748.) Tämä trendi on huomattu myös Suomessa – esimerkiksi Kevitsan kaivoksen ympäristöluvassa määrätään, että puhtaat vedet on erotettava likaantuneista vesistä, minkä jälkeen ne voidaan johtaa vesistöön (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014, 199–200).

3.2 Aktiivisia vesipuhdistusmenetelmiä

Kaivosvesien aktiiviset puhdistustekniikat ovat tavanomaisia jätevesipuhdistustekniikoita, jotka on sovellettu kaivosvesien käsittelyyn. Aktiivinen vesienpuhdistusmenetelmä tarkoittaa vesienlaadun parantaminen menetelmillä, jotka vaativat jatkuvaa energian ja / tai (bio)kemiallisen reagenssin syöttöä.

Energian käyttö vesien puhdistuksessa voi olla esimerkiksi sähköenergiaa erilaisia pumppuja varten, tai lämpöenergiaa lämpöolosuhteen muuttamiseen. Reagenssina käytetään erilaisia alkaleita, orgaanisia polymeerejä tai harvemmin myös painekaasuja. (Younger yms. 2002, 271.)

Aktiiviset vesipuhdistusmenetelmät sopivat kaivosvesien puhdistukseen, koska ne voidaan säätää välittömästi tulevan vesilaadun mukaan tai vastaanottavan vesistön olosuhteiden muuttuessa. Nopea säätö on tärkeää, koska kaivostoiminnan aikana vesien laatu voi muuttua radikaalisesti. (Younger yms. 2002, 271.)

Vesipuhdistusmenetelmän suunnittelun lähtökohta on kaivosvesien pH, rauta-, metalli- sekä kiintoainepitoisuus. Kuitenkin ympäristöluvassa määritellyt rajoitteet ja päästöihin liittyvä lainsäädäntö ohjaavat melko pitkälle vesienpuhdistuksen suunnittelua. Liitteessä 1 on esitetty vuokaavio, jonka avulla voidaan valita sopiva aktiivinen vesipuhdistusmenetelmä. (Younger yms. 2002, 272–273.)

3.2.1 Hapetus

Jätevesien hapetuksen tarkoituksena on muuttaa suhteellisen helposti liukenevia ioneja (Fe^{2+} , Mn^{2+}) niukkaliukoisemmaksi (Fe^{3+} , Mn^{4+}). Mikäli kyseessä ovat emäksiset jätevedet, hapetus voi myös vapauttaa CO_2 vedestä ilmaan esihapetuksella ja parantaa raudan hapetusreaktiota. Hapetus voidaan tehdä erilaisten vesiputuoussysteemien (cascade aeration) avulla (vaatii ison alueen), biologisilla-, mekaanisilla- (pumppaamalla korkeapaineilma vesialtaan /-säiliöön ja sekoittamalla) tai kemiallisilla menetelmillä. Hapetuksella edistetään myös mangaanin ja arseenin poistoa jätevesistä. Jätevesien hapetus yhdistetään usein neutraloitiiin ja saostukseen. (Younger yms. 2002, 274–278; Gusek ja Figueroa 2009, 90.)

Biologinen hapetusmenetelmä tarvitsee liuennuta happea, joka saadaan pumppaamalla ilmaa tai happea veteen. Menetelmä soveltuu laimeille liuksille, koska epäpuhtaudet (esim. Cd, Cu, Ni, Zn, jne.) estävät prosessin. Biologinen

hapetus voidaan saavuttaa erilaisilla menetelmillä, joista täydellinen sekoitusaktiivilieteprosessi (complete mix activated sludge process), bioreaktorit ja kalvomenetelmät ovat yleisimpiä. Biologinen hapetus on yleensä kustannustehokas ja biologisilla menetelmillä voidaan käsitellä isoja määriä jätevesiä. Kuitenkin hapen lisäys jäteveteen vaatii paljon energiaa ja epäpuhtaudet (esim. Cd, Cu, Ni, Zn, jne.) voivat estää biologista prosessia. (CWWGT 2014, 289–298.)

Kemiallinen hapetus käyttää erilaisia kemikaaleja (lisätään vetyperoksidia, hypokloriittia tai kaliumpermanganaatti) hapetusreaktion saamiseen. Menetelmää voidaan myös käyttää desifiontitarkoituksiin. Menetelmä soveltuu jäteveden puhdistukseen kun jätevesi sisältää epäpuhtauksia, jotka eivät ole helposti biohajoavia tai eivät ole biohajoavia lainkaan (öljyt, fenolit, syanidi, sulfidit, raskas metallit). Menetelmän puhdistusviive on lyhyt ja tästä syystä ei vaadita isoja säiliöitä. Kuitenkin menetelmä vaatii paljon energiaa, on kallis ja mikäli käytetään hypokloriittia, saadaan aikaisesti toksisia yhdisteitä. (CWWGT 2014, 219–224.)

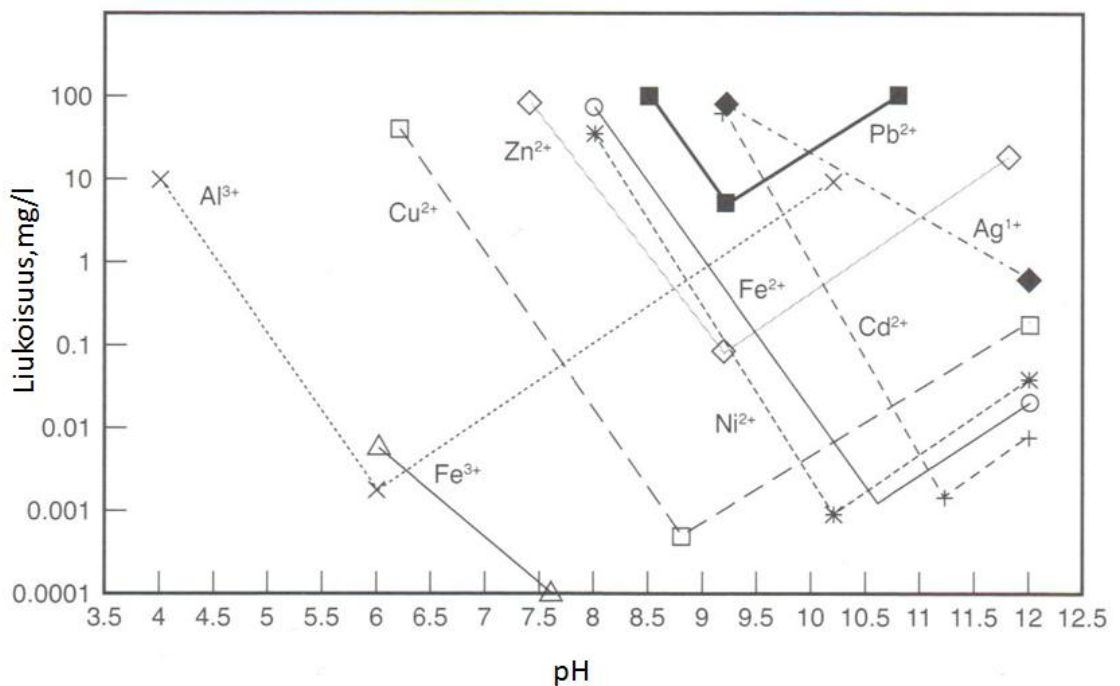
3.2.2 Neutralointi

Neutralointi on prosessi, jolla jäteveden pH:ta säädetään kemikaalien avulla. PH:n säädön tarkoituksena on parantaa jätevesien käsittelyä ja säätää veden pH:ta ympäristöluvan ja ympäristösäädöksiin mukaisesti. Neutraloinnissa käytetään natriumhydroksidia tai kalsiumhydroksidia pH:n nostoon sekä rikkihappoa, suolahappoa tai hiilidioksidia pH: laskemiseen. (CWWGT 2014, 176.)

Neutraloinnilla on hyvät vaikutukset ympäristöön, koska happo- ja emäksipäästöt vähenevät. Kuitenkin neutralointi voi johtaa suolojen pitoisuuksien kasvuun (esim. Cl^- , SO_4^{2-}). Neutralointi on kustannustehokas, eikä vaadi monimutkaisia laitteita. (CWWGT 2014, 176–177.)

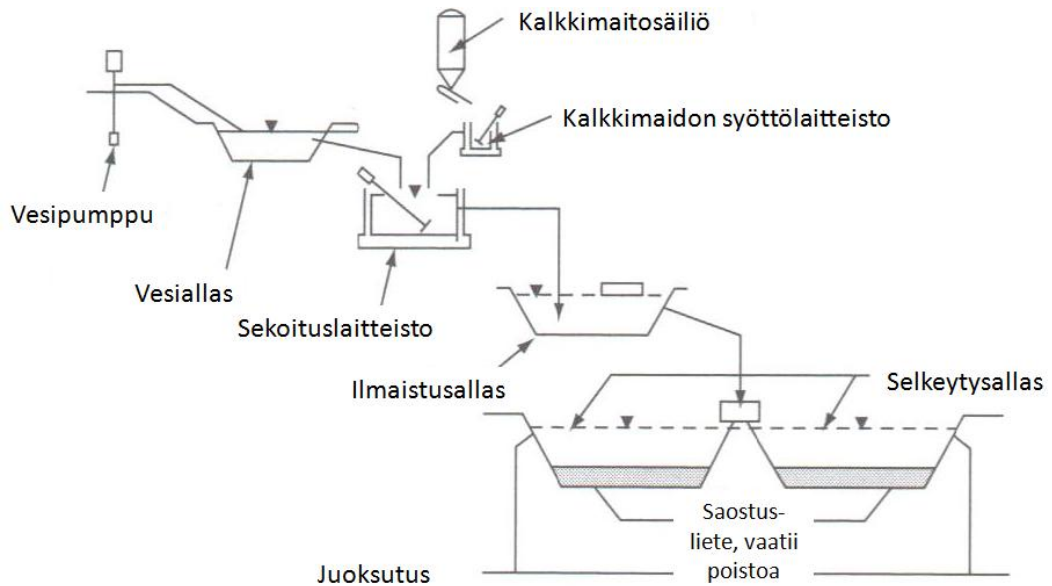
3.2.3 Hydroksidi-, karbonaatti-, sulfidi- ja etringiittisaostus

Hydroksidisaostusta käytetään metallipitoisten, happokaiden jätevesien puhdistukseen. Jäteveteen lisätään natrium- tai kalsiumhydroksidia (poltettu kalkki, maitokalkki) pH:n nostoon 10 tason tai sen yli. Tämän tarkoituksena on nopeuttaa metallien saostumista. Jätevesissä olevat metallit muodostavat kemikaalien kanssa hydroksideja ja saostuvat. Kuitenkin muodostetut metallihydroksidit liukenevat veteen tietyissä olosuhteissa ja ne myös saostuvat eri pH-tasolla (Kuva 26) ja tästä syystä pH:ta säädetään kompromissitasolle, jolla saavutetaan parhaat tulokset. (Gusek ja Figueroa 2009, 86–87.)



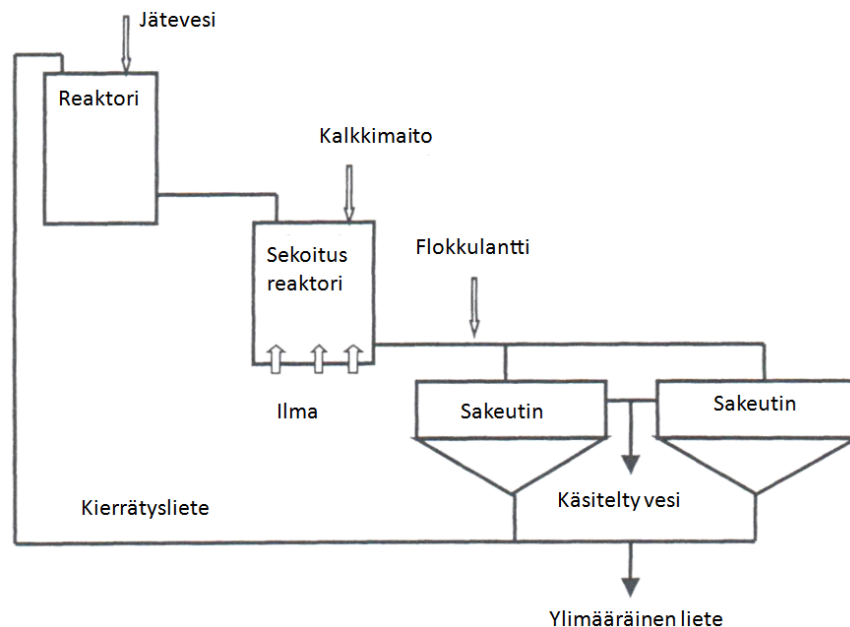
Kuva 26. Metallihydroksidien liukoisuus verrattuna pH (Gusek ja Figueroa 2009, 87).

Alumiini ja rauta saostuvat nopeasti. Rautahydroksidi adsorboi jotkut liuenneet metallit (As, Sb, Se, Cd, Cu, Co). Alumiinihydroksidi adsorboi liuenneita harvinaisia maametalleja. Rauta- ja alumiinihydroksidien adsorbointiominaisuuksien vuoksi monesti saavutetaan riittävän matalia metallipitoisuuksia vedessä, eikä ole tarvetta jatkokäsittellä vesiä metallien poistamiseksi. Saostusta voidaan edistää flokulanttien avulla (esim. orgaanisia polymeria). (Younger yms. 2002, 279; Gusek ja Figueroa 2009, 87.)



Kuva 27. Tavanomainen hydroksidisaostuslaitos (Gusek ja Figueroa 2009, 88).

Tavanomaisissa hydroksidisaostusmenetelmissä käytetään sekoitussäiliöitä, ilmaistusaltaita ja selkeytysaltaita (Kuva 27). Saostunut liete poistetaan selkeytysaltailta väliajoin. Menetelmä ei poista sulfaattia tehokkaasti. Korkeatiheyslieteprosessi (high-density sludge process) käyttää sekoitusreaktoreja ilmastukseen ja kemikaalien syöttöön, ja tästä syystä se on tehokkaampi (Kuva 28). Molempien menetelmien käyttökustannukset voivat olla korkeita, koska kemikaaliputkisto voi tukkeentua ja annostelupumput voivat häiriintyä kiintoainepitoisuuksien vuoksi. (Younger yms. 2002, 291–292; Gusek ja Figueroa 2009, 87–89.)



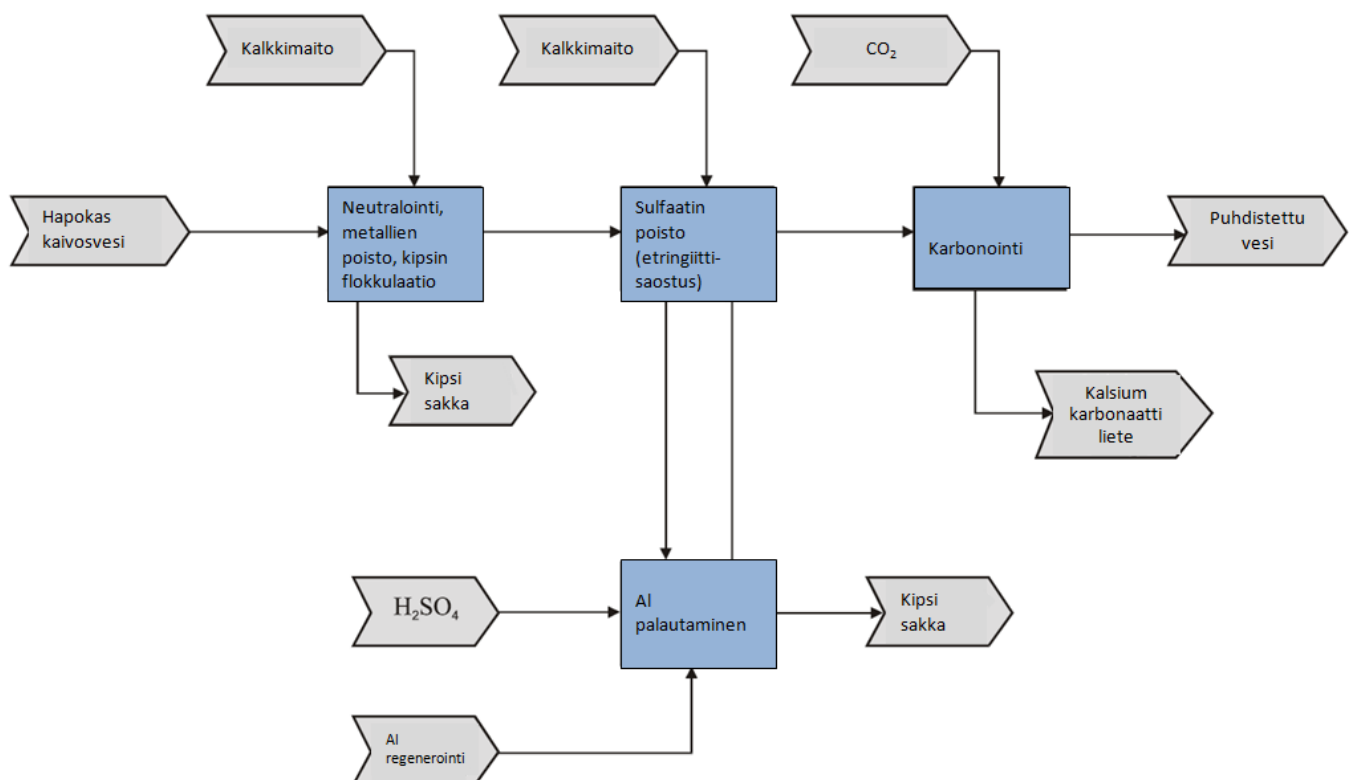
Kuva 28. Koerkeatiheyslieteprosessi (Younger yms. 2002, 293).

Karbonaattisaostus on raskasmetallienpoistomenetelmä, joka on ollut pitkään käytössä vesienkäsittelyssä. Saostus tapahtuu matalammilla pH-tasoilla kuin hydroksidisaostuksessa, ja saostunut sakka on tiheämpi, mikä tarkoittaa, että metallipoisto on myös parempi (erityisesti kadmiumin ja lyijyn poisto on tehokampaa). Saostuskemikaaleina käytetään natriumkarbonaattia ja natriumbikarbonaattia. (Peters ja Shem 1993.)

Sulfidisaostus on ollut käytössä vesienkäsittelyssä 1970-luvulta asti. Jäteveteen lisätään natriumsulfidia, hydrosulfidia tai rautasulfidia. Prosessi mahdollistaa sulfidimetallien saostuksen pH-tasolla 2–12 ja on monesti käytetty hydroksidisaostuksen rinnalla. Menetelmän suurin haitta on toksisen ja pahahajuisen rikkivedyn muodostaminen. (Peters ja Shem 1993.)

Etringiittisaostus (SAVMIN-prosessi) täydentää hydroksidisaostusta saostamalla sulfaattia. Prosessi sisältää kolme erilaista vaihetta (Kuva 29):

- neutraloinnin, metallien poiston (hydroksidisaostus) ja kipsin kiteytyksen (flokkulaatio),
- sulfaatin etringiittisaostuksen (etringiitti - $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$),
- pH:n säädön karbonoimalla. (Coaltech 2020a, 81.)

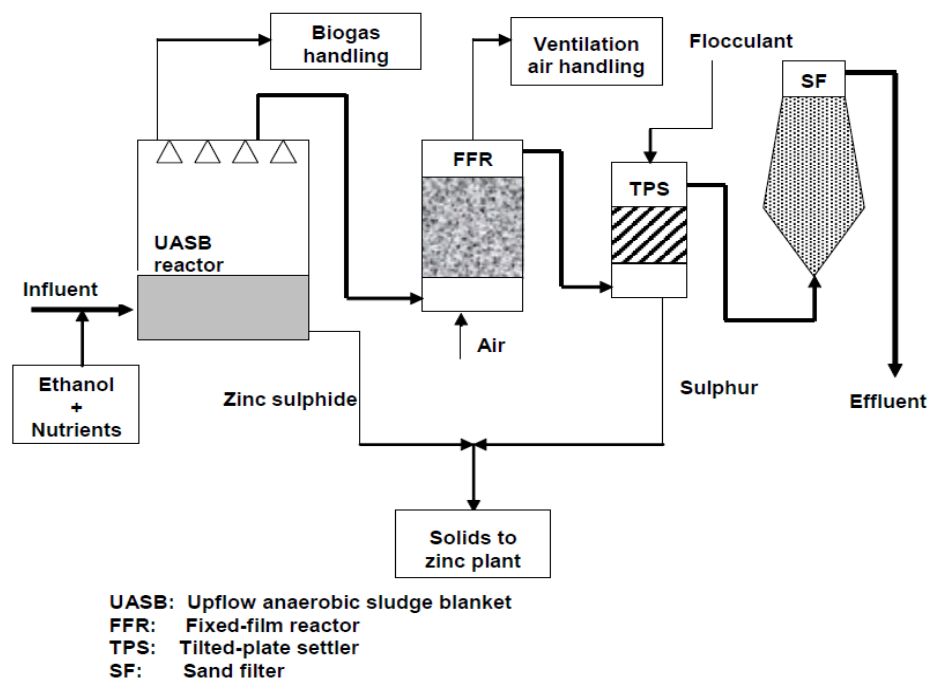


Kuva 29. Etringiittisaostusprosessi (Coaltech 2020a, 82).

SAVMIN-prosessi vaatii erittäin tarkkaa pH:n säätöä. Neutralointi tapahtuu pH-tasolla 12,0–12,4, sulfaatin poisto on optimaalinen pH 11,8 tasolla ja karbonoinnin jälkeen pH vaihtelee välillä 7,8–8,6. Alumiinin palauttaminen vaatii hapokkaita olosuhteita. Prosessi on myös herkkä sulfaatti-alumiini suhteelle ja mikäli ensimmäinen vaihe ei onnistuu, se vaarantaa koko prosessin. Etringittin saostus poistaa sulfaattia kaivosvesistä erittäin tehokkaasti yli 2 000 mg/l:sta jopa 100 mg/l:aan. Viime vuoden aikana useammat valmistajat ovat alkaneet tarjoamaan etringiittisaostuslaitoksia (myös Outotec). (Coaltech 2020a, 83–94; Outotec 2014.)

3.2.4 Sulfaatin poisto biologisilla menetelmillä

Sulfaatin poisto biologisilla menetelmillä perustuu sulfaatin pelkistämiseen kemiallisten reaktioiden kautta erilaisiin sulfideihin (HS^- , H_2S). Bakteerit katalysoivat sulfaatin pelkistämistä. Sulfaatin pelkistämisen jälkeen muut raskaat metalli-ionit reagoivat sulfidin kanssa ja saostuvat. Seuraavassa vaiheessa toinen biologinen prosessi poistaa ylimääräisen sulfidin ja muuntaa se rikiksi. Biologiset sulfaatinpoistolaitokset (Kuva 30) ovat melko monimutkaisia ja vaikeita säätää. (Gusek ja Figueroa 2009, 100–101; CWWGT 2014, 285–288.)



Kuva 30. Biologinen sulfaatinpoistolaitos (CWWGT 2014, 285).

Biologinen sulfaatinpoistomenetelmä on erittäin tehokas. Sulfaatin lisäksi prosessi poistaa yli 99% tehokuudella myös sinkkiä ja kadmiumia. Menetelmä ei ole vielä käytössä täysmittaisesti. (Gusek ja Figueroa 2009, 100–101; CWWGT 2014, 287.)

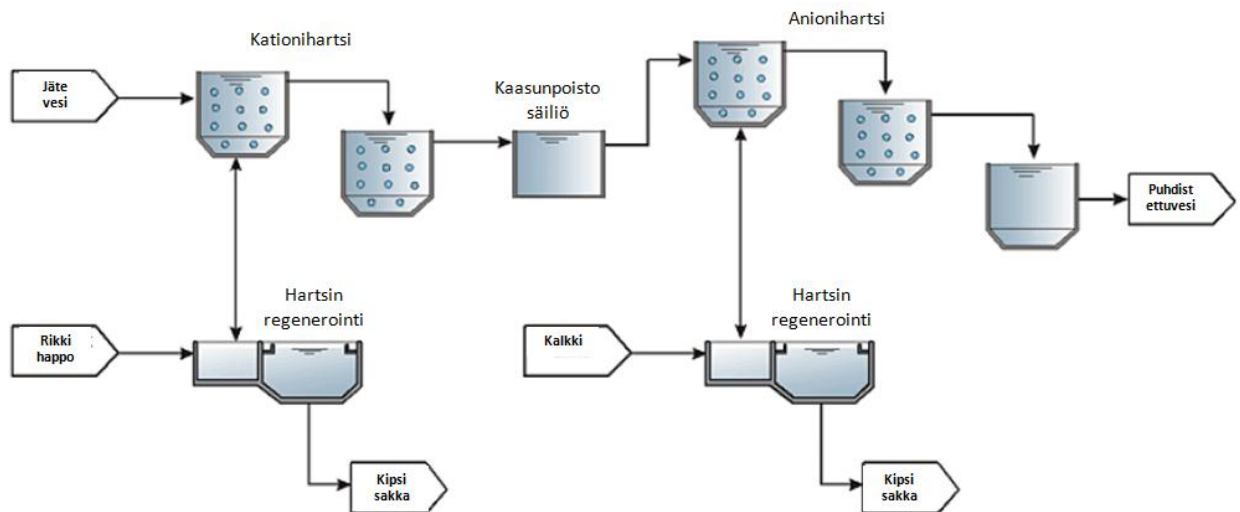
3.2.5 Ionivaihtomenetelmät

Ionivaihtomenetelmä perustuu kemialliseen vaihtoreaktioon, jossa jäteveden ei-haluttuja ja vaarallisia ioneja korvataan hyväksyttävämmillä ioneilla ionivaihtohartsista. Ionit pitäytyvät ionivaihtohartsilla, jolla on rajattu ionikapasiteetti. Ionivaihtohartsiin voi kiinnittyä joko ioneja tai kationeja. Hartsit vaatii regenerointia väkevällä happo- tai suolaliuksella. Ionivaihtomenetelmän tuotteet ovat puhdistettuja liuosjakeita sekä regenerointiliuosta, joka vaatii jatkokäsittelyä. Ionivaihtomenetelmällä voidaan poistaa jätevedestä tehokkaasti raskasmetalleja, ionisoituvia epäorgaanisia yhdisteitä (kuten H_3BO_3) sekä liukenevia ioneja tai ionisoituvia orgaanisia yhdisteitä (karboksyylihapot, sulfonihapot, jotkut fenolit ja amiineja, sulfaatit). (Gusek ja Figueroa 2009, 97–98; CWWGT 2014, 256–258.)

Ionivaihtomenetelmä on toteuttamiskelpoinen ja sen suurin arvo on sen elpymispotentiaali (regenerointi). Talousjätevesien käsittelyssä sitä on yleensä käytetty muiden menetelmien kanssa. Kaivosalalla ionivaihto on tutumpi metallurgiasta, jossan sitä on ollut käytetty uraanin rikastamisessa. Kuitenkin kolme erilaista ionivaihtomenetelmää on ollut jätevesikäsittelyn pilot testeissä kaivoskissa:

- **GYP-CIX prosessi:** Prosessia testattiin Berkeley avolouhoksessa Yhdysvalloissa sulfaattikorkeapitoisen jätevesien käsittelyssä. Menetelmä käyttää useampia hartseja, jotka poistavat ioneja ja kationeja. Prosessin ensimmäisessä vaiheessa väkevä happokationivaihtohartsi poistaa kalsiumia ja tuotteena on väkevä happoliuos, joka johdetaan anionivaihtoyksikköön. Tässä vaiheessa poistetaan sulfaattia ja arsenaattia. Anionivaihtoyksikkö vapauttaa hydroksidi-ioneja, jotka neutraloivat liuoksen. Kationivaihtohartsi regeneroidaan rikkihapolla, joka

sitten neutraloidaan kalkilla. Tuotteena on kipsisakka ja metallihydroksidit.



Kuva 31. GYP-FIX prosessikaavio (INAP Guide 2014, 333).

- **BIO-FIX prosessi:** Menetelmä kehitettiin 1980-luvun lopulla ja se käyttää huokoisia polymerihelmiä metallipoistamiseen jätevesistä. Helmet on sijoitettu polysulfonimatriisille ja yhdessä ne muodostavat biomassavaahtoa. Laboratoriotestissä BIO-FIX prosessilla poistettiin tehokkaasti raskasmetalleja pH tasolla 3–8.
- **Zeoliitti ja muita selektiivisiä kelatoivia (chelating) hartseja:** Zeoliitti on luonnossa esiintyvä hartsi, jolla on kationivaihto ominaisuuksia. Sitä on testattu 1990-luvulla, mutta sen suurin haitta on se, että zeolittihartsia ei voida regeneroida. Myös muitakin selektiivisiä kelatoivia hartseja ja synteettisiä zeoliitteja on testattu, mutta tulokset eivät ole kovin lupaavia. (Gusek ja Figueroa 2009, 97–100.)

3.2.6 Kalvosuodatusmenetelmiä

Kalvosuodatusprosessissa neste pumpataan kalvon läpi. Kalvon läpi pääsee tuotevesi, eli puhdistettu vesi. Hylkyvesi jää kalvon toisella puolella ja sisältää metalli-ioneja. Jätevesi puhdistuksessa käytetään kahta erilaista kalvoa: nanosuodatuskalvoa ja käänteisosmoosikalvoa. Nanosuodatuskalvon läpi pääsee vesi ja yksivalenssiset ionit, mutta käänteisosmoosikalvon huokoskoko on niin pieni ($< 0,002 \mu\text{m}$), että vain vesi pääsee läpi. Kalvot tehdään

orgaanisista polymeereistä (selluloosa, polyamidit, polykarbonaatti, polysulfoni, jne.). Kalvosuodatuslaitos sisältää yleensä ennen kalvosuodatusta yksikön, jossa jätevesi selkeytetään kemiallisesti (saostus, flokkulaatio, vaahdotus) ja suodatetaan. Kalvosuodatuksen jälkeen on toinen yksikkö, jossa suodatettu vesi jatkokäsitellään juokсутusta tai kierrätystä varten. (CWWGT 2014, 239–241.)

Kaivosalalla käänteisosmoosisuodatus soveltuu hyvin jätevesipuhdistukseen, mutta menetelmään käyttö on melko kallista ja vaatii kohdekohtaisen pilotoinnin. Kuitenkin menetelmä poistaa tehokkaasti suoloja (eteenkin sulfaattia) ja raskasmetalleja. (Gusek ja Figueroa 2009, 96–97; CWWGT 2014, 241–243.) Suomessa käänteisosmoosia käytetään Talvivaarassa.

3.2.7 Muita aktiivisia menetelmiä

Useita vaihtoehtoisia jätevesipuhdistusmenetelmiä on ollut esillä 1970-luvulta alkaen. Seuraavaksi on lyhyesti kuvattu menetelmiä, joilla on saavutettu lupaavia testituloksia:

- **Sähkökemialliset menetelmät** (elektrodialyysi ja käänteiselektrodialyysi): Elektrodialyysissa sähkövirran avulla erotetaan liuoksen sisältämät kationit ja anionit eri liuosjakeisiin, joiden välillä on kalvo. Käänteiselektrodialyysi eroaa elektrodialyysistä siinä, että prosessin aikana sähkövaraus vaihdetaan ja sen seurauksena ehkäistään ionien keräys kalvoon.
- **Bariumsulfaattisaostus:** Menetelmän avulla voidaan poistaa sulfaattia jätevesistä. Jäteveteen lisätään bariumsulfidia hapettomissa olosuhteissa. Barium reagoi nopeasti sulfaatin kanssa ja saostuu. Liuokseen lisätään CO₂, joka reagoi liuoksena olevan sulfidin kanssa ja rikki voidaan ottaa talteen. Prosessi poistaa tehokkaasti sulfaattia, mutta vaatii suuria määriä energiaa toimiakseen, koska bariumsulfidi täytyy regeneroida bariumsulfaatista korkeissa lämpötiloissa (1050 °C).
- **Typpiyhdisteiden poisto** (nitrifikaatio ja denitrifikaatio): Nitrifikaatio on aerobinen menetelmä, jossa mikro-organismien avulla ammonium (NH₄⁺) hapetetaan nitriitiksi (NO₂⁻) ja edelleen nitraatiksi (NO₃⁻). Denitrifikaatio

on menetelmä, joka tapahtuu hapettomissa olosuhteissa, ja jossa nitraatti muunnetaan typpikaasuksi mikro-organismien avulla. Menetelmät ovat hyvin herkkiä toksisille liuoksille, ja tästä syystä niitä on vaikeaa soveltaa kaivosvesien puhdistukseen (yleensä sisältävät raskas metallit). (Younger yms. 2002, 300–301; Gusek ja Figueroa 2009, 97–107; CWWGT 2014, 298.)

3.3 Pasiivisia vedenpuhdistusmenetelmiä

Passiiviset vedenpuhdistusmenetelmät käyttävät luonnon omia biologisia, kemiallisia ja fysikaalisia reaktioita toimiakseen, eivätkä ne vaadi energiaa tai säännöllistä kunnossapitoa. Tästä syystä myös niiden toimivuus on pitkäaikainen. Kuitenkin niiden elinkaaren aikana kunnossapitotoimenpiteet tehdään epäsäännöllisesti. Passiivisella vesipuhdistusmenetelmällä poistetaan metalleja ja/tai neutraloidaan jätevesiä rakennetussa ekosysteemissä. (Gusek ja Figueroa 2009, 109–110; INAP Guide 2014, 335–336.)

1																	18
H	2																He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac*	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	---	---	---	---	---	---	---	---	---

97	Akinoidit	Ei puhdistettavissa	Hyödyllinen
U	Anaerobinen	Aerobinen	Puhdistettavuus ei tiedossa, mahdollisesti ei puhdistettavissa
			Sekä aerobinen, että anaerobinen

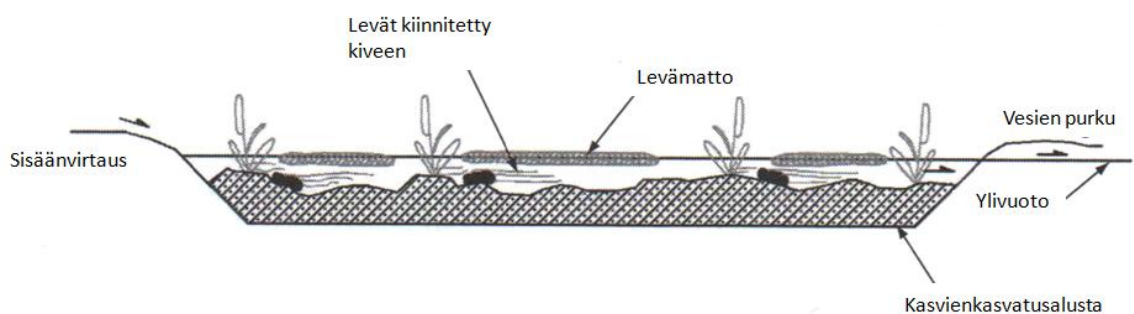
Kuva 32. Alkuaineiden jaksollinen järjestelmä – alkuaineiden passiivinen puhdistus mahdollisuus ja taarvittavat olosuhteet (INAP 2014, 336).

Passiiviset vesipuhdistusmenetelmät poistavat alkuaineita joko aerobisissa tai anaerobisissa olosuhteissa (Kuva 32). Passiiviset puhdistusmenetelmät ovat melko uusia (ensimmäiset tutkimukset tehtiin 1970-luvulla). Menetelmät ovat melko kustannustehokkaita, eivätkä ne vaadi paljon kunnossapitoa, energiaa tai kemikaaleja. Lisäksi ne sopivat hyvin ympäristöön. Toisaalta ne vaativat paljon pinta-alaa ja niiden säätö on vaikeaa. Useimmiten passiivinen vesienpuhdistus tehdään rakennettujen kosteikkojen, kalkkikiviuomien, kalkkikiviojien, pelkittävien ja alkaaliteettia tuottavien systeemien tai luonnon pintavalutuskenttien avulla. 2000-luvulla on kehitetty myös muita menetelmiä kuten passiiviset reaktorit, sulfaattia pelkistävät seinämät tai fyto-remediatio. (Younger yms. 2002, 311–315; INAP Guide 2014, 336.)

3.3.1 Rakennetut kosteikot ja luonnon pintavalutuskentät

Rakennetut kosteikot ovat tyypillisin passiivinen jätevesipuhdistusmenetelmä. Syynä ovat kosteikoiden varsin alhaiset käyttökustannukset, tehokas raudanpoisto jätevesistä sekä niiden joustavuus erilaisiin ympäristöolosuhteisiin. Jätevesienkäsittelyssä käytetään kolmea erilaista rakennettua kosteikkoa: aerobisia-, anaerobisia- sekä pelkistäviä ja alkaaliteettia tuottavia systeemeitä. (Younger yms. 2002, 333–350.)

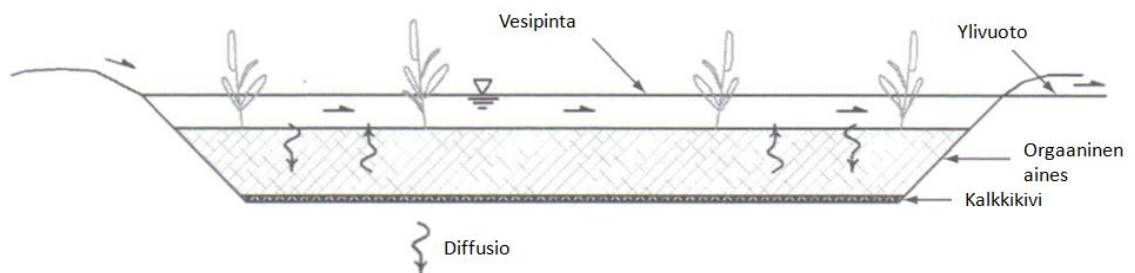
Rakennetut **aerobiset kosteikot** koostuvat mataloista kaivauksista, jotka täytetään soralla, maaperällä ja orgaanisella aineksella (Kuva 33). Orgaaninen aines toimii suokasvien (*Typha*, *Juncus*, *Scirpus* lajit) tai hapettavien bakteerien (*Thiobacillus ferrooxidans*, *Leptothrix discophora*, *Ulothrix*) kasvatusalustana. (Gusek ja Figueroa 2009, 113–115.)



Kuva 33. Aerobinen kosteikko – poikkileikkaus. Veden syvyys 2,5–15 cm, kasvualusta n. 15 cm paksu. (Gusek ja Figueroa 2009, 112.)

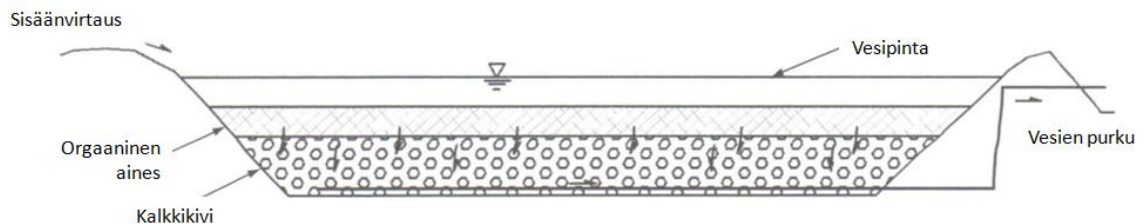
Aerobiset kosteikat poistavat tehokkaasti rautaa ja mangaania emäksisistä jätevesistä. Vesien käsittely riippuu dynaamisista biokemiallisista vuorovaikutuksista, jotka syntyvät, kun saastunut vesi kulkee rakennetun kosteikon läpi pinnalla tai hieman pinnan alapuolella. Aerobisissa kosteikoissa yleensä vesi viipyy niin kauan, että vesien ilmaistus on mahdollista ja liuenneita metalleja hapetetaan ja saostetaan hydroksideina. Aerobisten kosteikoiden suurin heikkous on niiden talviaikainen alhainen tai kokonaan puuttuva puhdistustoiminta. (Younger yms. 2002, 350–354; Gusek ja Figueroa 2009, 113–115.)

Anaerobisissa rakennetuissa kosteikoissa (kompostit) vesi virtaa sekä vertikaalisesti että horisontaalisesti, ja niiden toiminta on riippuvainen bakteerien toiminnasta (Kuva 34). Anaerobisissa olosuhteissa on mahdollista poistaa rautaa, kuparia, lyijyä, sinkkiä, kadmiumia, kromia, kobolttia, uraania, alumiinia, sulfaattia sekä jonkun verran myös syanidia ja nitraattia. Anaerobiset kosteikat koostuvat erilaisista orgaanisten ja epäorgaanisten aineiden sekoituksista (puujäte, heinä, komposti lanta, kalkkikiviä ja bakteereita). Tavoitteena on saada aikaan sulfidin saostuminen ja veden pH:n nousu. Anaerobisten kosteikkojen toimivuus on parhaimmillaan kun veden pH on alhainen. Hapokkaissa olosuhteissa metallit saostuvat tehokkaasti metallisulfidiksi (esim. PbS , CdS , CuS , ZnS , FeS), hydroksidiksi ($Al(OH)_3$, $Cr(OH)_3$) tai karbonaatiksi ($FeCO_3$). Kalkkikiven rooli anaerobisissa kosteikoissa on nostaa veden pH:a samalla periaatteella kuin annoksisissa kalkkikiviojissa (katso luku 3.3.3.). (Gusek ja Figueroa 2009, 119–122.)



Kuva 34. Anaerobinen kosteikko – poikkileikkaus. Veden syvyys 2,5–15 cm, orgaaninen aines n. 30–60 cm paksu, kalkkikivi 15–30 cm paksu. (Gusek ja Figueroa 2009, 111.)

Pelkistävät ja alkaaliteettia tuottavat systeemit (SAPS or RAPS – **S**uccessive or **R**educing **A**lkalinity-**P**roducing **S**ystems) ovat samankaltaisia kuin annoksiset kalkkikiviojat, mutta ne sisältävät myös orgaanisen aineskerroksen, jonka tehtävänä on poistaa liuennut happi ja pelkistää ferrirauta (Fe^{3+}) ferroraudaksi (Fe^{2+}) (Kuva 35). Näiden reaktioiden seurauksena veden pH nousee ja rauta saostuu hydroksidiksi. Vesi virtaa systeemin läpi vertikaaliseen suuntaan ja alaspäin. Systeemi sisältää annoksisen kosteikon tapaan myös kalkkikivikerroksen, joka on 0,5–1 m paksu. Kalkkikivikerroksen alla on salaojaputkiverkosto, jonka avulla vesi johdetaan aerobiseen altaaseen metallien saostamiseksi. Pelkistävät ja alkaaliteettia tuottavat systeemit poistavat tehokkaasti myös alumiinia. (Gusek ja Figueroa 2009, 126–127.)



Kuva 35. Pelkistävä ja alkaaliteettia tuottava systeemi – poikkileikkaus. Veden syvyys 0,3–1 m, orgaaninen aines n. 0,5–1 m paksu, kalkkikivi 0,6–2 m paksu. (Gusek ja Figueroa 2009, 111.)

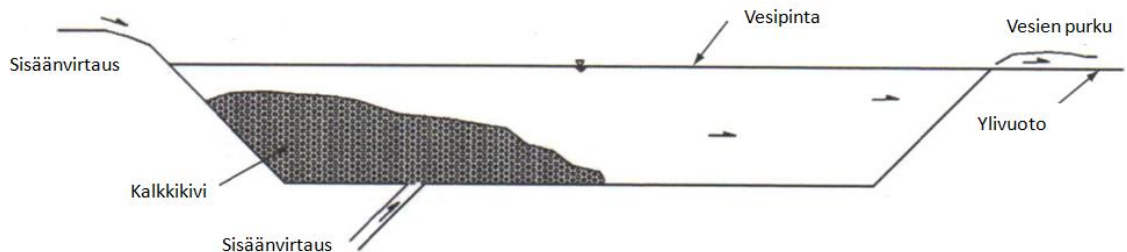
Luonnon kosteikoiden jätevesienpuhdistusominaisuudet tiedostettiin 1970-luvun lopulla. Tietyn tyyppiset kosteikot, jossa suosammalet (*Sphagnum* lajit) tai kämmet (*Typha* lajit) ovat runsaita, vesienpuhdistus on mahdollista. Kuitenkin kaivosjätevedet lopuksi heikentävät luonnon kosteikkoja. (Gusek ja Figueroa 2009, 111.) Luonnon kosteikkoja käytetään mm. Kittilän ja Kevistan kaivoksilla pintavalutuskenttinä (katso lisää Liite 2). Pintavalutuskenttiä ei käytetä varsinaisina puhdistusmenetelminä kaivosvesille, vaan täydentävinä menetelminä.

3.3.2 Kalkkikiveen perustuvia puhdistusmenetelmiä

Kalkkikiveä käytetään runsaasti jätevesien käsittelyssä sekä aktiivisessa että passiivisessa jätevesipuhdistuksessa. Passiivisessa vesikäsittelyssä kalkkikiviä käytetään orgaanisen aineksen rinnalla rakennetuissa kosteikoissa, mutta on

myös menetelmiä, jotka käyttävät pelkästään kalkkikiviä kuten kalkkivilammikoita, avoimia kalkkikiviojia ja annoksisia kalkkikiviojia. (Gusek ja Figueroa 2009, 112–129.)

Kalkkivilammikot ovat lammikoita, joiden pohjalla on lajitettu kalkkikiveä. Kalkkivilammikot nostavat jätevesien pH:ta ja jonkun verran parantavat veden laatua pelkistämällä ferrirautaa (Fe^{3+}) ja alumiinia (Al^{3+}). Veden syvyys on 1–3 m ja kalkkivikerros voi olla 0,3–1 m paksu. Jäteveden täytyy reagoida kalkkikiven kanssa ennen altistumista ilmakehään. Sisäänvirtaus tapahtuu kalkkivikerroksen alapuolelta ja pinnalta, ja vesi viipyy lammikossa 1–2 päivää. Kalkkivilammikot ovat helppoja huoltaa, koska on yksinkertaista havaita kalkkikiven peittyminen saosteilla. Saosteet poistetaan ja kalkkivi vaihdetaan tarvittaessa. (Gusek ja Figueroa 2009, 128.)



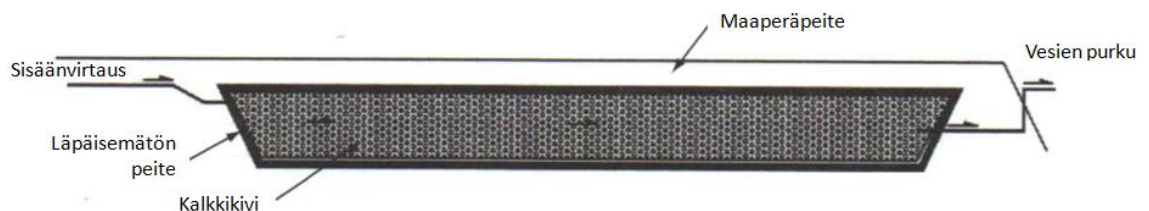
Kuva 36. Kalkkivilammikko – poikkisleikkaus. Veden syvyys 1–2 m, kalkkikivi 0,3–1 m paksu. (Gusek ja Figueroa 2009, 112.)

Avoimet kalkkikiviojat (OLC – **O**pen **L**imestone **C**hannels) ovat oja, jotka on peitetty murskatulla kalkkivivillä (Kuva 37). Avoimia kalkkikiviojia voidaan käyttää, kun veden pH on alhainen ja rauta- ja/tai alumiinipitoisuus on suhteellisen matala. Veden virratessa ojan läpi pH-taso nousee, ja metallit saostuvat metallihydroksidiksi kalkkivivien pinnalle. Jos ojan kaltevuus on tarpeeksi iso, muodostuvat metallihydroksidit virtaavat veden mukaan. Menetelmän avulla voidaan poistaa jätevesistä jossain määrin myös arseenia ja muita perusmetalleja, jotka saostuvat raudan ja alumiinin mukana. Mikäli jätevesi ei sisällä rautaa ja sen pH on normaalitasolla, menetelmän avulla voidaan poistaa tehokkaasti mangaania. (Gusek ja Figueroa 2009, 128–129.)



Kuva 37. Avoin kalkkikivioja (Koivuhuhta 2013, 111).

Annoksiset kalkkikiviojat (ALD – **A**noxic **L**imestone **D**rain) koostuvat kalkkikivillä täytetyistä ojista, jotka on peitetty maaperällä. Vesi virtaa ojan läpi horisontaalisesti (Kuva 38). Kalkkikivi nostaa veden pH:ta ja parantaa veden laatua samalla tavalla kuin kalkkikivilammikot. Koska ojat ovat annoksisia (kalkkikivi on peitetty) riski, että kalkkikivi peittyy hydroksidisaosteille, on hyvin pieni. Mikäli veteen liuenneen hapen, raudan ja alumiinin pitoisuudet ovat korkeita, kalkkikivien tukkeutuminen on mahdollista. Systemi ei yleensä tarvitse ylläpitoa. (Gusek ja Figueroa 2009, 128–130.)

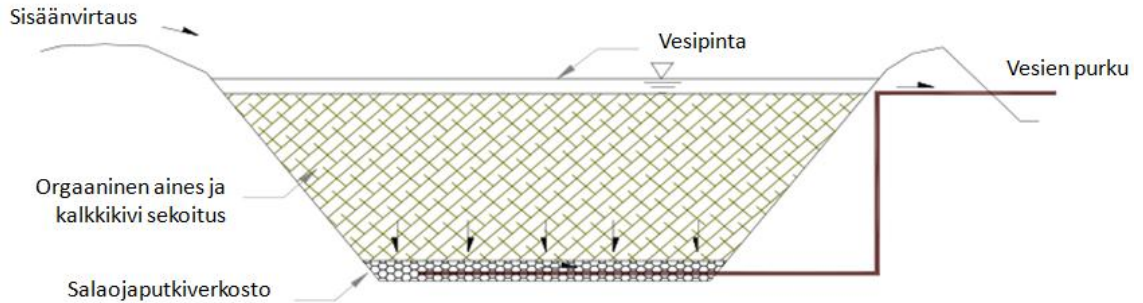


Kuva 38. Anoksinen kalkkikivioja – poikkisleikkaus Maaperäpeite: 0,3–0,6 m. (Gusek ja Figueroa 2009, 112.)

3.3.3 Pasiiviset anaerobiset sulfaatinpoistoreaktorit

Passiivisia anaerobisia reaktoreita (Kuva 39) käytetään erityisesti sulfaatin poistoon hapokkaisista kaivosjätevesistä, mutta ne soveltuvat myös raskasmetallien poistoon. *Desulfovibrio* bakteeri katalysoi kemiallisen reaktion,

jossa sulfaatista saadaan rikkivetyioneja ja bikarbonaattia ($\text{SO}_4^{-2} + 2\text{CH}_2\text{O} \rightarrow \text{S}^{+2} + 2\text{HCO}_3^- + 2\text{H}^+$). Sen jälkeen rikkivetyioni yhdistyy liuenneiden metallien kanssa ja saostuu metallisulfidiksi ja bikarbonaatti nostaa veden pH:a. (Gusek 2002.)



Kuva 39. Pasiivinen anaerobinen sulfaatinpoistoreaktori - poikkileikkaus. Veden syvyys 0–0,6 m, orgaaninen aines ja kalkkikivi kerros: 1–2 m paksu. (Gusek 2002; Gusek ja Figueroa 2009, 111.)

Passiivisen sulfaatinpoistoreaktorin avulla voidaan käsitellä sekä hapokkaita että emäksisiä vesiä. Sen avulla voidaan poistaa jätevesistä myös seleniumia ja uraania. Reaktori on helppo rakentaa, ja menetelmä toimii varsin hyvin myös kylmissä olosuhteissa. (Gusek 2002.)

4 POHDINTA

Opinnäytetyöni aihe syntyi työharjoitteluni aikana Lapin ELY-keskuksesta. Alkuperäinen ajatus oli tuottaa raportti suomalaisista metallimalmikaivoksista ja erityisesti rikastusprosessista ja vesien käsittelymenetelmistä. Raportilla oli tarkoitus vahvistaa ELY-keskuksen tietopohjaa sen erikoistuessa kaivoksiin liittyviin erityiskysymyksiin. Kattava raportti suomalaisista kaivoksissa löytyy opinnäytetyön liitteenä.

Raportin kirjoittaminen vaati perehtymistä kaivoksiin liittyviin asiakirjoihin. Esitetyt tiedot perustuvat virallisiin kaivosten ympärisölupiin sekä kaivosten vuosiraportteihin. Suomessa toimii sekä vanhoja kaivoksia että viime vuosikymmenellä toiminnan aloittaneita kaivoksia ja tästä syystä myös niissä käytetyt rikastus- ja vesienkäsittelyratkaisut ovat melko erilaisia.

Raportin lisäksi opinnäytetyöni sisältää kattavan rikastus – ja vesienkäsittelyprosessien esittelyn. Rikastusprosessit ovat olleet melko samalaisia reilun vuosisadan, eivätkä yksikköprosessit ole muuttuneet kovin paljon. Kuitenkin viime aikoina ympäristökysymykset ovat nousseet voimakkaasti esille, ja laitteiden kehityksessä ympäristövaikutukset on otettu yhä paremmin huomioon. Opinnäytetyössäni olen yrittänyt kuvailla sekä vanhempaa teknologiaa että uudempia rikastusprosessilaitteita.

Vesienkäsittelyä käsiteltävässä luvussa olen kuvannut aktiivisia ja passiivisia vesienkäsittelymenetelmiä. Luvun näkökulma on kaivosvesien käsittely, mutta monia aktiivisia vesienkäsittelymenetelmiä on jo pitkän aikaa käytetty muun teollisuuden jätevesien käsittelyssä. Kuvatut menetelmät ovat tästä syystä tunnettuja teollisuusmaailmassa, ja samat käsittelymenetelmät sopivat hyvin myös kaivosvesien käsittelyyn. Kuitenkin vesienkäsittelymenetelmien valinta voi olla hyvin vaikeaa kaivosalalla. Jokainen kaivos on erilainen ja jätevedet kuvastavat melko pitkälle alueen maaperää. Myös jätevesien ominaisuudet ovat erittäin vaihtelevia kaivoksesta toiseen. Keskeinen ongelma käsittelymenetelmissä (esim. aktiivisissä menetelmissä) on muodostuvan sakan käsittely. Sakan määrä voi olla hyvin suuri ja niistä voi muodostua uutta

ongelmajätettä. Syntyneet sakasta tai liuoksista on myös huolehdittava asianmukaisesti, ellei niitä voidaan hyödyntää.

Opinnäytetyöni teoriaosa tarjoaa eri lähteistä kootun tiiviin tietopaketin valvontaviranomaisille, ja sitä voidaan mahdollisesti hyödyntää myös valvonnan kehittämisessä. Toiminnassa olevissa kaivoksissa ei lähitulevaisuudessa ole näköpiirissä merkittäviä prosessi- tai vesienkäsittelymuutoksia. Näissä tapauksissa opinnäytetyönä toimii pelkästään tietopohjana. Kuitenkin tulevilla hankkeilla ympäristöystävällisemmät prosessit ja laitteet tulevat yleistymään ja uskon, että myös viranomaiset tulevat niitä entistä laajemmin vaatimaan. Rikastusprosessien kannalta ympäristöön voidaan vaikuttaa melko paljon valitsemalla energiatehokkaita laitteita (vähentämällä energian kuulumista) sekä prosessivesien kierrätyksellä. Vesien käsittelyssä uusi trendi on käsitellä erikseen kaivosalueen vedet, ja tulevaisuudessa tullaan välttämään korkeaa vedenkulutusta ja kaivosalueen vesien sekoittumista - puhtaat vedet pidetään puhtaina.

Täällä hetkellä kaivosalalta puuttuu rikastusprosesseihin tai yksikköprosesseihin liittyvä parasta tekniikkaa -asiakirja (BREF-asiakirja). EU-tasolla ainoa tämän tapainen asiakirja käsittelee kaivosjätteitä. Kuten olen maininnut aikaisemmin, myös vesienkäsittelyn BREF-asiakirja liittyy muun teollisuuden toimintaan. Kuitenkin asiakirjaa voidaan soveltaa myös kaivosalalla jätevesien käsittelyyn. Kaivokset ovat isoja hankkeita ja valitettavasti niiden maine ei ole kovin ympäristöystävällinen. Toivoisin, että tulevaisuudessa EU-tasolla kehitetään vastaavia asiakirjoja, jotka käsittelevät kaivostoimintaa kokonaisuutena ja jotka kattavat kaivoksen koko elinkaaren.

LÄHTEET

- AKW. AKW:n internetsivut. Viitattu 12.11.2014.
<http://www.akwauv.com/Hydrocyclones-AKA-VORTEX-and-Annular-Distributors-AKA-SPIDER.htm>.
- AMS. Advanced in stirred milling. Improving profitability of copper ore processing. Advanced Mining Solutions nettisivut. Viitattu 5.11.2014.
<http://www.advanced-mining.com/artikel.php?id=31>.
- Borden, Richard K. 2011. Waste Disposal and Contamination Management. Kirjasta: Darling, Peter (toim.) 2011, 1733–1751. Mining Engineering Handbook. 3. painos. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.
- Coaltech 2020. Evaluation of new and emerging mine water treatment technologies. Part D. Evaluation of the SAVMIN Sulphate Removal Process. Pdf.-tiedosto. Viitattu 12.1.2015.
[http://www.coaltech.co.za/chamber%20databases%5Ccoaltech%5CCom_DocMan.nsf/0/D6DB761D1401059A4225740900253F07/\\$File/Task%206.9.4d%20-%20Savmin%20Evaluation.pdf](http://www.coaltech.co.za/chamber%20databases%5Ccoaltech%5CCom_DocMan.nsf/0/D6DB761D1401059A4225740900253F07/$File/Task%206.9.4d%20-%20Savmin%20Evaluation.pdf).
- Cole, Steve & Ferron, Joe 2002. A review of the beneficiation and extractive metallurgy of the platinum group elements, highlighting recent process innovations. SGS Minerals Services. Technical paper 2002-03. Pdf. tiedosto.
<http://www.sgs.fi/~media/Global/Documents/Technical%20Documents/SGS%20Technical%20Papers/SGS%20MIN%20TP2002%2003%20Beneficiation%20and%20Extractive%20Metallurgy%20of%20PGE.pdf>.
- CWWGT 2014. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for **Common Waste water and Waste Gas Treatment / Management Systems** in the Chemical Sector. European Commission. Final draft july 2014.
- Dharmappa, Hagare B. & Muttucumar, Sivakumar & Singh, Raghu N. 2009. Wastewater Characteristics, Management and Reuse in Mining & Mineral processing Industries. Kirjasta: Saravanamuthu, Vigneswaran (toim.) 2009, 337–371. Wastewater Recycle, Reuse and Reclamation. Volume I. Encyclopedia of Life Support Systems. Eolssa Publishers Co. Ltd, Oxford.
- Derek. Derek Parnaby Cyclones International Limited nettisivut. Viitattu 12.11.2014.
<http://www.parnaby.co.uk/sieve-bends-operation.html>.
- Flemming, Chris A. 2002. Platsol™ Process provides a viable alternative to smelting. SGS Minerals Services. Technical paper 2002-01. Pdf. tiedosto. Viitattu 6.12.2014.
<http://www.sgs.fi/~media/Global/Documents/Technical%20Documents/SGS%20Technical%20Papers/SGS%20MIN%20TP2002%2001%20Platsol%20Process%20Alternative%20to%20Smelting.pdf>.

- Flintoff, Brian & Kuehl II, Ronald 2011. Classification by Screens and Cyclones. Kirjasta: Darling, Peter (toim.) 2011, 1481–1506. Mining Engineering Handbook. 3. painos. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.
- Furstenau, Maurice C. & Han, Kenneth N. 2011. Introduction to Mineral Processing. Kirjasta: Darling, Peter (toim.) 2011, 1455–1459. Mining Engineering Handbook. 3. painos. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.
- Gekko. IN-line Pressure Jig. Tuote-esite. Viitattu 13.11.2014.
<http://gekkos.com/sites/default/files/documents/GekkoINlinePressureJigBrochureEmail.pdf>.
- Grönholm, Sari & Alviola, Reijo & Kinnunen, Kari A. & Kojonen, Kari & Kärkkäinen, Niilo & Mäkitie, Hannu 2010. Retkeilijän kiviopas. 3. painos. Geologian tutkimuskeskus, Espoo.
- Gusek, James J. 2002. Sulfate-reducing bioreactor design and operating issues: is this the passive technology for your mine drainage. In: Proceedings of the annual conference of national association of abandoned mine lands, Athens, Ohio, August 1–13. Saatavilla pdf. tiedostona. Viitattu 12.1.2015.
https://fs.ogm.utah.gov/PUB/MINES/AMR_Related/NAAML/AMD3/Gusek.pdf.
- Gusek, James J. & Figueroa, Linda A. 2009. Mitigation of Metal Mining Influenced Water. Volume 2. Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc
- Himmi, Matti (toim.) 2007. Kaivosteollisuuden rikastushiekan ja sivukivien BAT-vertailuasiakirjan sanasto. Englanti-Suomi. Yleiset termit, lyhenteet ja aineet. Helsinki, Suomen ympäristökeskus.
- INAP Guide 2014. Global Acid Rock Drainage Guide. The International Network for Acid Prevention. Internetjulkaisu.
<http://www.gardguide.com/images/5/5f/TheGlobalAcidRockDrainageGuide.pdf>.
- IsaMill. IsaMill internetsivut. Viitattu 5.11.2014.
<http://www.isamill.com/EN/Pages/default.aspx>.
- Iyer, Partha V. 2011. Magnetic and Electrostatic Separation. Kirjasta: Darling, Peter (toim.) 2011, 1533–1545. Mining Engineering Handbook. 3. painos. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.
- Jaakonmäki, Ari & Johansson, Börje & Mäkinen, Ilpo & Räsänen, Heikki & Ulvelin, Kimmo & Vennelä, Tanja 2011. Kiven käsittely ja kalusto. Kirjasta: Hakapää, Antero & Lappalainen, Pekka (toim.) 2011. Kaivos ja louhintatekniikka, 183–214. Opetushallitus. 2. tarkistettu painos.
- Jamasmie, Cecilia 2014. Low metal prices put chill on global mineral exploration. Mining.com nettisivut. Julkaistu 24.9.2014.

http://www.mining.com/low-metal-prices-put-chill-on-global-mineral-exploration-34407/?utm_source=digest-en-mining-140924&utm_medium=email&utm_campaign=digest.

Kaivoserikoistuminen 2014. Suunnitelma kaivoserikoistumisesta Lapin, Kainuun ja Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksissa. Luonnos 14.8.2014.

Kauppi, Päivi & Räisänen, Marja Liisa & Myllyoja, Sari (toim.) 2011. Metallimalmikaivokstoiminnan parhaat ympäristökäytännöt. Suomen ympäristökeskus. Helsinki: Edita Prima Oy.

Kawatra, S. Komar 2011. Fundamentals Principles of Froth Flotation. Kirjasta: Darling, Peter (toim.) 2011, 1517–1531. Mining Engineering Handbook. 3. painos. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.

Kelsey 2014. Centrifugal Jig Technology. Mineral Technologies nettisivut. Viitattu 13.11.2014.
<http://www.mineraltechnologies.com/centrifugal-jig-technology>.

Kohl, Johanna & Wessberg, Nina & Kauppi, Sari & Myllyoja, Jouko & Wessman-Jääskeläinen, Helena 2013. Kestävä ja hyväksyttävä kaivannaisteollisuus 2030. Visio ja roadmap. VTT Technology, Espoo.

Knelson 2005. Semi-Continuous Knelson Concentrator. Tuote-esite.

Koivuhuhta Auri 2013. Kaivosten ja kaivannaisteollisuuden ympäristövaikutukset 20.– 21.9.2013. Power Point esitys.

Kuisma, Markku 1985. Kuparikaivoksesta suuryhtiöksi. Outokumpu 1910–1985. Forssan Kirjapaino Oy, Forssa.

Lahtinen, Raimo & Hölttä, Pentti & Kontinen, Asko & Niiranen, Tero & Nironen, Mikko & Saalaman, Kerstin & Sorjonen-Ward, Peter 2011. Tectonic and Metallogenic Evolution of Fennoscandian Shield: Key Questions with Emphasis on Finland. Geological Survey of Finland, Special paper 49, 23-33: 2011.

Liikamaa, Terho 2013. Kaivosviranomaisen malminetsinnän ja kaivosteollisuuden ajankohtaiskatsaus vuodelta 2013. Power-point esitys Vuorimiespäivillä 28.3.2014. Saatavilla ppt. tiedostona. Viitattu 15.12.2014.
http://www.tukes.fi/Tiedostot/kaivokset/tilastot/Tukes_malminetsinnanjakavoiteollisuuden_ajankohtaiskatsaus2013.pdf.

Lukkarinen, Toimi 1985. Mineraalitekniikka. Osa 1. Mineraalien hienonnus. 2. painos. Insinööritieto Oy, Helsinki.

Lukkarinen, Toimi 1987. Mineraalitekniikka. Osa 2. Mineraalien rikastus. 1. painos. Insinööritieto Oy, Helsinki.

Mainza, A. & Powell, M.S. & Knopjes, B. 2004. A comparison of different cyclones in addressing challenges in the classification of the dual density UG2

platinum ore. International Platinum Conference “Platinum Adding Value”. The South African Institute of Mining and Metallurgy, 95–102.

Manninen, Kari 2014. Sähköveron nosto uhkaa kaivostoimintaa. Julkaistu 16.8.2014. Savon Sanomat. Luettu 2.10.2014.
<http://www.savonsanomat.fi/uutiset/talous/sahkovero-uhkaa-kaivosta/1878238>.

Metso. Stirred Milling. Tuote-esite. Viitattu 5.11.2014.
[http://www.metso.com/miningandconstruction/matobox7.nsf/docsbyid/f58680427e2a748f852576c4005210ac/\\$file/stirred_mills_brochure-2011_lr.pdf](http://www.metso.com/miningandconstruction/matobox7.nsf/docsbyid/f58680427e2a748f852576c4005210ac/$file/stirred_mills_brochure-2011_lr.pdf).

Metso 2013a. Basics in Minerals Processing. Metso.

Metso 2013b. Barmac VSI Crushers. Barmac B-Series VSI. Tuote-esite.
<http://www.metso.com>.

Milbourne, Joe & Tomlinson, Marcus & Gormely, Lynton 2003. Use of Hydro-metallurgy in Direct Processing of Base Metal / PGM Concentrates. Hydro-metallurgy 2003. Fith International Conference in Honor of Professor Ian Ritchie. Volume 1: Leaching and Solution Purification, 617–630.

Mining examiner 2013. The Froth Flotation Process Explained. Viitattu 21.11.2014.
<http://www.911metallurgist.com/blog/whats-a-froth-flotation-process>.

Morley, C. 2010. HPGR-FAQ. The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. Volume 10. March 2010, 107–115: The Southern African Institute of Mining and Metallurgy.

Mosher, John 2011. Crushing, Milling and Grinding. Kirjasta: Darling, Peter (toim.) 2011, 1460–1480. Mining Engineering Handbook. 3. painos. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.

Nova Mining. Nova Mining internetsivut. Viitattu 12.11.2014.
<http://www.novamining.com/knowledgebase/mineral-processing/screen/>.

Outotec 2014. Ettringite process. Esite.
<http://www.outotec.com/en/About-us/Our-technologies/Water-treatment/Industrial-water-treatment/>.

Peters, Robert W. & Shem, Linda 1993. Separation of heavy metals: Removal from industrial wastewaters and contaminated soil. International conference on emerging separation technologies for metals and fuels, Palm Coast, Florida, 13–28 Mar 1993. Pdf. tiedosto. Viitattu 13.1.2015.
<http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/6504209>.

Platsol. SGS internetsivut. Viitattu 1.12.2014.
<http://www.sgs.fi/fi-FI/Mining/Metallurgy-and-Process-Design/Unit-Operations-and-Metallurgical-Services/Pressure-and-Ambient-Leaching/PLATSOL.aspx>

- Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014. Lupapäätös Nro 79/2014/1. Kevitsan kaivoksen tuotannon laajentamisen ympäristö- ja vesitalouslupa sekä töiden ja toiminnan aloittamislupa, Sodankylä. Annettu julkipanon jälkeen 11.7.2014.
- Prosser, Ian & Wolf, Leif & Littleboy, Anna 2011. Water in mining and industry. Kirjasta: Prosser, Ian P. (toim.) 2011. Water: science and solutions for Australia, 135–146. CSIRO Publishing: Collingwood.
- Puustjärvi, Heikki & Meriläinen, Markku & Mikkola, Pekka & Lovén, Pekka 2011. Geologiset tutkimukset. Kirjasta: Hakapää, Antero & Lappalainen, Pekka (toim.) 2011, 27–46. Kaivos- ja louhintatekniikka. 2. tarkistettu painos. Kaivannaisteollisuus ry. Opetushallitus, Helsinki.
- Seppo Systems. Falcon semi-batch concentrators. Viitattu 17.11.2014
<http://www.sepposystems.com/falcon-sb-gravity-concentrators-specifications>.
- Shaking table. Zhengzhou Jinma Mining Machinery Co.Ltd nettisivut. Viitattu 17.11.2014.
http://amyzhangjmx.en.ec21.com/Gravity_Method_Mineral_Processing_Efficient--5565338_6297953.html.
- Star Trace Ltd. Star Trace Limited nettisivut. Viitattu 12.11.2014.
<http://www.startraceindia.com/vibrating-equipments.php>.
- Subasinghe, Nimal 2011. Gravity Concentration and Heavy Medium Separation. Kirjasta: Darling, Peter (toim.) 2011, 1507–1516. Mining Engineering Handbook. 3. painos. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.
- Suomen mineraalistrategia. Geologian tutkimuskeskuksen internetsivuilla. Viitattu 27.9.2014.
<http://projects.gtk.fi/mineraalistrategia>.
- Tekes: Green Mining. Tekes'in internetsivut. viitattu 2.10.2014.
<http://www.tekes.fi/GreenMining/>.
- von Michaelis, Hans 2005. Real and Potential Metallurgical Benefits of HPGR in Hard Rock Ore Processing. Paper for Randol Perth.
<http://www.ceecthefuture.org/wp-content/uploads/2013/02/HvM-HPGR-paper-for-Randol-Perth-2005.pdf?dl=1>.
- Vuoristoteollisuustilasto 2013. TUKES'in internetsivut. Viitattu 2.10.2014.
<http://www.tukes.fi/Tiedostot/kaivokset/tilastot/VUORI2013.pdf>.
- Weir Minerals 2012. First choice for Hydrocyclones. Tuote-esite.
<http://www.weirminerals.com/pdf/20120309%20Cavex%20Hydrocyclones%20Overview%20Brochure.pdf>.
- Weir Minerals 2013. High Pressure Grinding Rolls. Tuote-esite. Viitattu 27.10.2014.
http://www.weirminerals.com/pdf/WME_KHD_HPGR_brochure_July_2013_brand_updated_lowres.pdf.

Younger, Paul L. & Banwart, Steven A. & Hedin, Robert S. 2002. Mine Water. Hydrology, Pollution, Remediation. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Zanback, Caner 2012. Heap Leaching Technique in Mining. Within the Context of Best Available Technique (BAT). Euromines – The European Association of Mining Industries, Metal Ores & Industrial Minerals. Pdf. –tiedosto. Viitattu 20.11.2014.

<http://www.euromines.org/sites/default/files/content/files/mining-techniques/batforheapleaching-feb2013-c.zanbak-euromines.pdf>.

Zenith. Zenithe Mining and Construction nettisivut. Viitattu 5.11.2014.

<http://www.hotstonecrusher.com/products/grinding/mq-series-ball-mill.html>.

ZY. Zhengzhou ZY Machinery Co., Ltd nettisivut. Viitattu 5.11.2014.

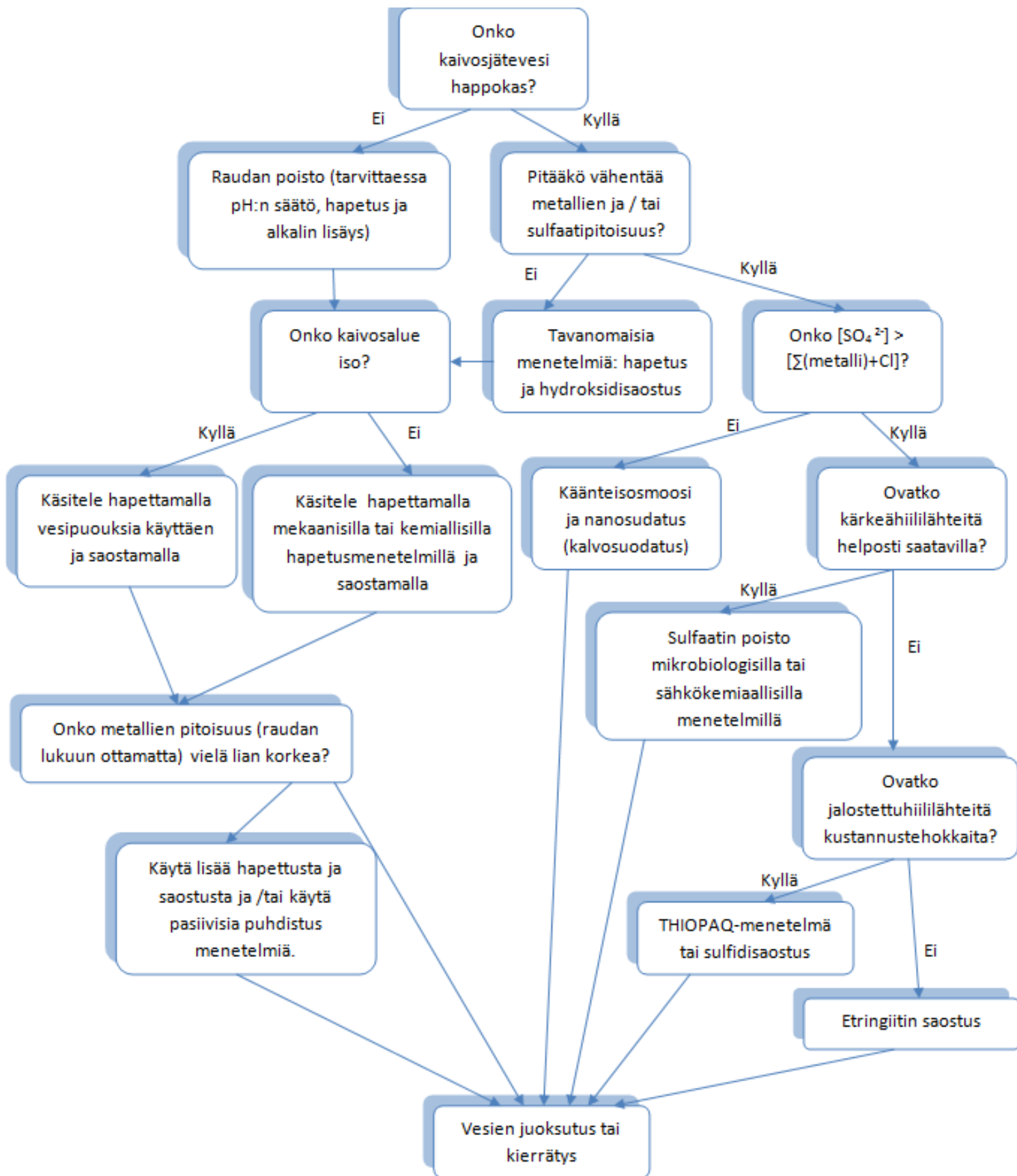
<http://www.zzywzg.com/en/ArticleShow.asp?ArticleID=537>.

LIITTEET

Liite 1. Aktiivisen vesipuhdistusmenetelmän valitseminen.

Liite 2. Rikastusprosessit ja prosessivesien käsittely metallimalmikaivoksissa –
Raportti.

Liite 1. Aktiivisen vesipuhdistusmenetelmän valitseminen (Younger yms. 2002, 273).



2015

**RIKASTUSPROSESSIT JA PROSESSIVESIEN KÄSITTELY
METALLIMALMIKAIVOKSISSA**
Raportti



Rodica Tolppi

Lapin AMK

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	2
2 RIKASTUS- JA PROSESSIVESIEN KÄSITTELYMENETELMÄT SUOMALAISISSA METALLIMALMIKAIVOKSISSA	4
2.1 Kemin kaivos	4
2.2 Kittilä.....	10
2.3 Pahtavaara	21
2.4 Laivan kaivos.....	25
2.5 Pampalo	31
2.6 Jokisivu ja Orivesi	35
2.7 Talvivaara.....	41
2.8 Kevitsa.....	50
2.9 Hitura.....	57
2.10 Pyhäsalmi.....	61
2.11 Kylylahti.....	66
3 POHDINTA.....	73
LÄHTEET	74
LIITTEET	81

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe tuli vastaan ammattiharjoittelun aikana. Suoritin harjoitteluni 1.4.–30.9.2014 Lapin ELY-keskuksessa, ympäristönsuojeluyksikössä. Työtehtäviini kuului kaivosten ympäristölainsäädännön mukaiseen lailisuusvalvontaan osallistuminen. Opinnäytetyön aiheena oli kattavan tietopaketin kirjoittaminen suomalaisten kaivosten käyttämisestä rikastusprosessi- ja vesipuhdistusmenetelmistä.

Suomessa nykymuotoinen kaivosteollisuus on saanut alkunsa 1910-luvulla, kun Outokummun kuparimalmio löydettiin ja Koppaverkin tuotanto aloitettiin. Suomessa kaivostoiminnan kehitys johtuu pitkälle siitä, että kallioperässämme on hyvin paljon eri metalleja ja mineraaleja. Suomen kallioperä kuuluu Fennoskandian kilpeen, joka muodostaa suurimman osan Luoteis-Itä-Euroopan Kratoniasta. Fennoskandian kilpi on prekambrista kallioperää, joka on paljastunut ainoastaan Fennoskandian ja Ukrainan alueilla. Suomen kallioperässä on monia yhtymäkohtia Kanadan, Australian ja Etelä-Afrikan kallioperiin, jotka ovat kaikki maailmanlaajuisesti merkittäviä niiden mineraalivarojen vuoksi. (Kuisma 1985, 7–26; Lahtinen, Hölttä, Kontinen, Niiranen, Nironen, Saalaman & Sorjonen-Ward 2011; Suomen mineraalistrategia.)

Viimeisimmän TUKES:in tekemän vuoriteollisuustilaston mukaan 2013 Suomessa oli 46 kaivoslain alaista kaivosta, joista 12 metallimalmikaivosta (4 Lapissa), 13 karbonaattikivien louhintakohdetta, 14 teollisuusmineraalikaivoksia sekä 7 kaivosta, josta louhittiin teollisuuskiviä. Kokonaisinvestoinnit kaivosalalla olivat noin 200 miljoona euroa ja niistä louhittiin yhteensä 79,4 Mt. Kokonaislouhintamäärästä 62 % louhittiin kahdesta kaivoksista: Siilinjärvestä (apatiitti) ja Kevitsasta (nikkeli-kupari). (Liikamaa 2013, 2–3; Vuoristoteollisuustilasto 2013.)

Viime vuoden aikana kaivosteollisuudessa nähtiin taantumaa: neljä metallikaivosta (Laiva, Pahtavaara, Talvivaara ja Hitura) meni saneeraukseen tai konkurssiin. Täällä hetkellä kaivosteollisuuden lähitulevaisuus on varsin

synkkä talouskehityksen ja uuden sähköveron vuoksi. Suomen hallitus suunnittelee sähköveron nostoa sekä kaivostoiminnan energiaverotukien poistamista. Suunnitellut toimenpiteet heikentävät kaivosten kilpailukykyä. Samaan aikaan kaivosala kärsii maailmanlaajuisesti metallien hintojen alenemisesta. (Jamasmie 2014; Manninen 2014.)

Kaivosteollisuuden taantumasta huolimatta Suomi on parasta aikaa kehittymässä kestäväen kaivosteollisuuden maaksi Green Mining ohjelman avulla, minkä tavoitteena on tehdä Suomesta vastuullisen ja kannattavan kaivostoiminnan edelläkävijä maailman tasolla (katso lisää Tekes: Green Mining). Myös elinkaariajattelu on saanut huomiota sekä alalla, että viranomaisten puolella. Parasta aikaa Lapin ELY-keskus on aloittamassa kaivosten elinkaarivalvonnan erikoistumista koskevan suunnitteluhankkeen yhdessä Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ELY-keskusten kanssa. (Kohl, Wessberg, Kauppi, Myllyoja ja Wessman-Jääskeläinen 2013, 34–35; Kaivoserikoistuminen 2014, 9–10; Tekes.)

2 RIKASTUS- JA PROSESSIVESIEN KÄSITTELYMENETELMÄT SUOMALAISSA METALLIMALMIKAIVOKSISSA

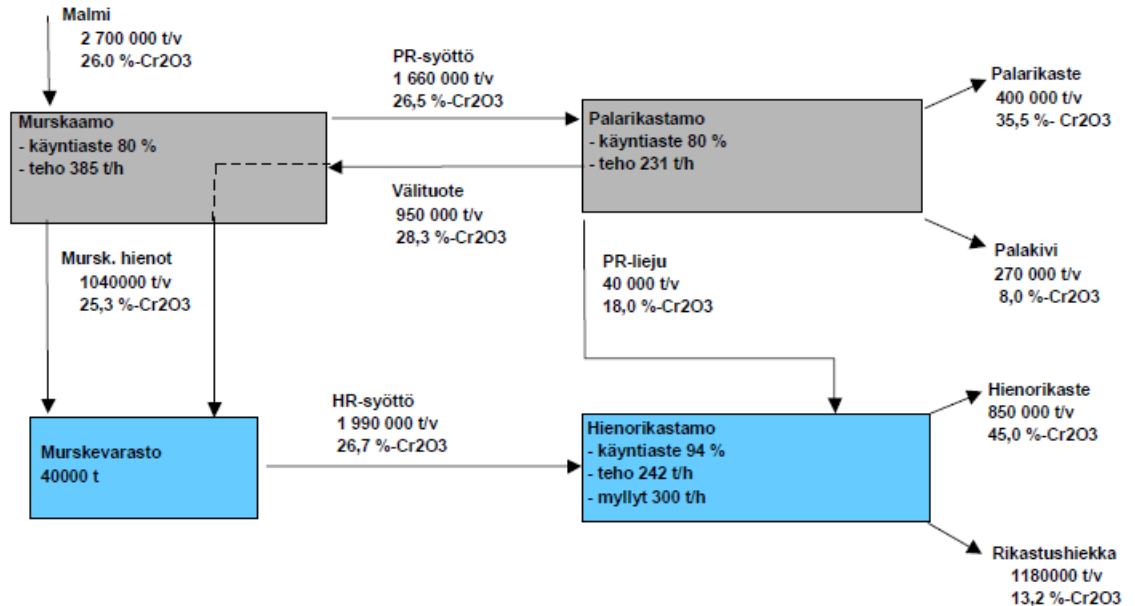
2.1 Kemin kaivos

Kemin kaivos sijaitsee Keminmaan kunnassa ja on Outokumpu Chrome Oy:n omistuksessa. Alueen mineraalisaatio oli tunnettu jo 1940-luvulla, mutta kromitti esiintymä löydettiin vasta 1959, kun Matti Matilainen nosti kromimalmin palasia Kemijoesta. Malmietsintä alkoi vuotta myöhemmin ja kaivoksen rakentaminen 1965. Vuonna 1966 - 1968 kaivostoiminta oli käynnissä pelkästään kesän aikana ja toiminta käynnistyi avolouhintana. Maanalainen kaivos rakennettiin 1999 - 2003 ja kaivos siirtyi maanalaisenlouhintaan 2006. (Alapieti & Huhtelin 2005, 13–15; Outokumpu historia, luettu 28.7.2014.)

Kemin kaivos on saanut 2010 ympäristölupapäätöksen Nro 125/10/1, joka koskee Kemin kaivoksen ja rikastamon laajentamista. Kaivosyhtiö suunnitteli louhintamäärän ja rikastamon tuotantokapasiteetin kaksinkertaistumista. Vuonna 2013 louhittiin 1 760 026 t malmia ja tuotettiin 302 737 t palarikastetta sekä 679 015 t hienorikastetta. Yhtiö odotti, että rikastamon tuotantokapasiteetti nouse 1 300 000 tonniin vuodessa. Laajennustyöt valmistuivat vuoden 2014 aikana. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010, 5; Nikula 2014, 1.)

2.1.1 Rikastusprosessi

Vuodesta 2006 alkaen tuotanto on siirtynyt maanalaiseen louhintaan. Kemin kaivoksella käytetty louhintamenetelmä on poikittainen pengertäyttölouhinta. Täyttömateriaalina käytetään kovettuvaa sivukivitäytettä tai pelkästään sivukiveä ja palakiveä. Malmi esimurskataan maanalaisessa murskaamossa. Rikastusprosessivaiheet ja niiden kapasiteetit laajennuksen jälkeen ovat esitetty kuvassa 1 sekä liitteessä 1. (Grundia Oy 2009, 34; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010a, 9–11; Pöyry 2014a, 3.)



Kuva 1. Kemin kaivoksen rikastusprosessivaiheet ja kapasiteetit (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010a, 11).

Kemin kaivoksen tuotteet ovat pala- ja hienorikasteet (Kuva 2). Kromiittimalmi rikastetaan kolmenvaiheprosessissa lopputuotteen ominaispainon perusteella. Malmi esimurskataan maanalaisessa murskaamossa ja sitten se nostetaan hissillä siiloihin, josta edelleen kuljetetaan hihnakuljettimilla murskaamoon. Malmi seulotaan kuivaseulonnalla ja sitten syötetään sekundäärismurskaamolle (kartiomurskaimille). Toisen murskavaiheen jälkeen malmi seulotaan edelleen, ja alle 10 mm:n malmi kuljetetaan välivarastoon ja yli 10 mm:n kappaleet syötetään palarikastusprosessiin. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010a, 9–10.)



Kuva 2. Kemin kaivoksen tuotteet – vasemmalla palarikaste, oikealla hienorikaste (Salmi 2014, 5, viitattu 28.7.2014).

Palarikastusprosessissa 10–100 mm:n malmi erotellaan kaksivaiheisella raskasväliaine-erotuksella palakiviin, palarikasteet sekä välituotteeseen. Malmi pesuseulotaan ennen syöttöä erotusprosessiin. Prosessissa käytetään sink-float rumpuerottimia (Kuva 3), jossa väliaineena on piirauta-vesilietettä. Ensimmäisessä erottimessa tiheys on 3,0–3,2 kg/l ja tässä vaiheessa erotellaan palakivi. Toisessa vaiheessa tiheys on korkeampi (3,4–3,65 kg/l) ja tarkoitus on erottaa palarikaste ja välituote. Jos syötettävän malmin tiheys on isompi kuin rummuissa oleva lieteen tiheys, kappaleet uppoavat. Enemmän kromiittia sisältävät kappaleet uppoavat. Jokaisen erotusvaiheen jälkeen on väliaineseulonta, jossa piirauta erotetaan kivien pinnoilta ja palautetaan prosessin. Eroteltu palakivi palautetaan täyttönä maanalaiseen kaivokseen. Välituote syötetään tertiääri murskausvaiheeseen ja sitten hienorikastusprosessiin. Palarikaste sisältää 35,5 % Cr_2O_3 . (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010a, 10.)



Kuva 3. Kemin kaivoksella käytetyt rumpu- ja spiraalierottimia (Salmi 2014, 13, hakupäivä 28.7.2014).

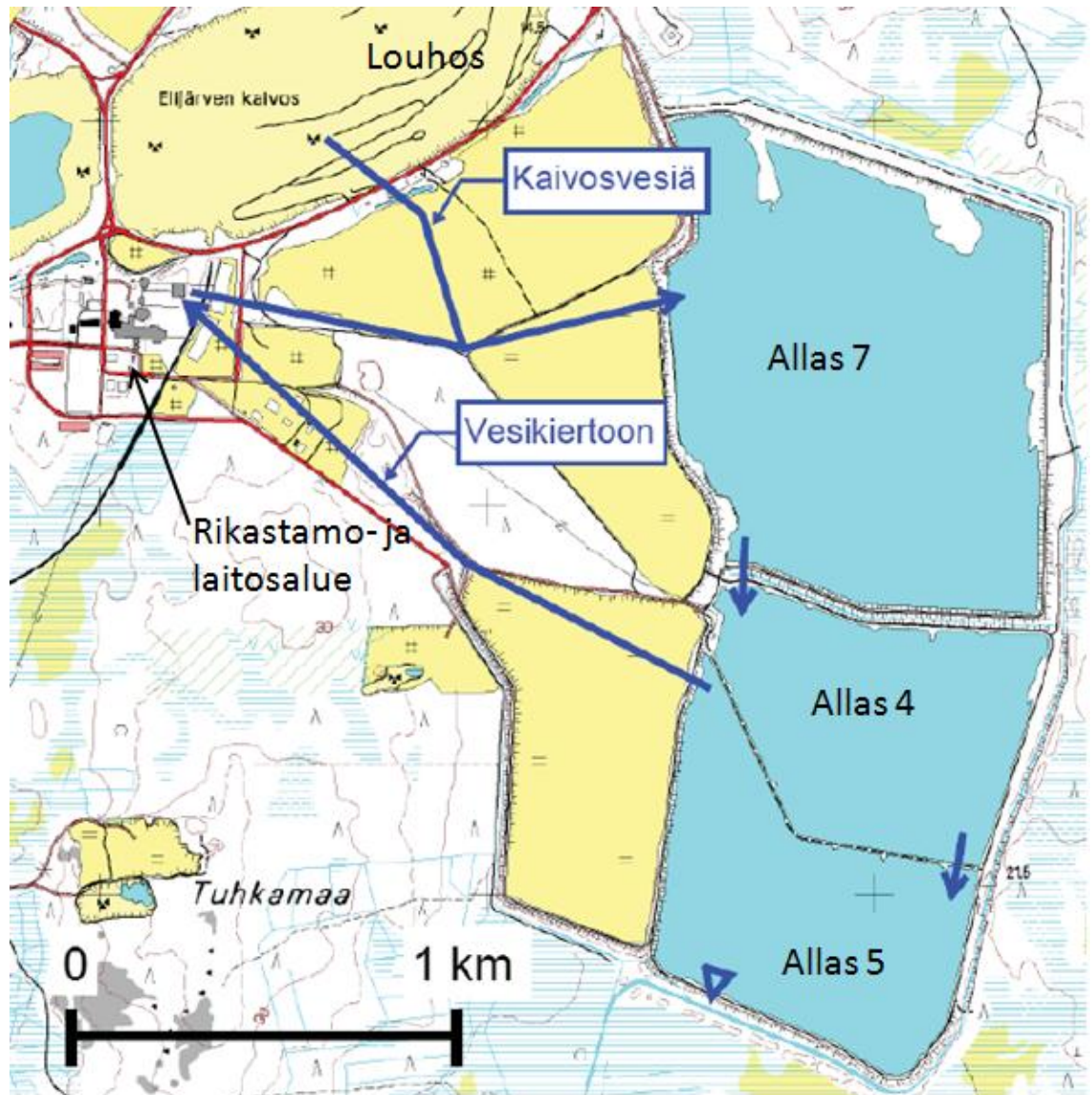
Hienorikastusprosessin syötteenä toimii murskauksesta seulottu hienoaines sekä välituote palarikastusprosessista. Syöte jauhatetaan märkäjauhatuspiirissä kokoon 0–700 μm :in. Jauhatuspiiriin kuuluu tanko- ja kuulamyly ja luokitusseulat. Seuraava vaihe on hienorikastus, joka tehdään spiraalierottimilla (Kuva 3). Rikastuksen jälkeen tuote suodatetaan rumpusuotimilla niin, että rikasteen kosteus on 3-5 %. Prosessista johtuva rikastushiekka (12 % Cr_2O_3) sijoitetaan rikastushiekka-altaaseen. Hienorikasteen kromiittipitoisuus on 45 %. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010a, 10–11.)

Kromiitin rikastusprosessissa käytetään vähän kemikaaleja: piirauta pararikastuksessa väliaineena, flokkulanteja prosessiveden puhdistuksessa sekä glykolia pararikastamon kuljettimien jäätymisenestoon. Piirauta lisätään prosessiin viikoittain ja vuodessa kuuluu noin 200 t. Vuodessa käytetään 20 t flokkulanteja sekä 15 t glykolia. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010a, 12–13.)

2.1.2 Vesienhallinta

Rikastamon tarvittavan käyttöveden määrä on 2 500 000 m³/a. Rikastukseen käytetty vesimäärä otetaan selkeytsaltaista (selkeytsaltaasta 5) ja on lähes kokonaan kiertovettä (Kuva 4). Tarvittaessa prosessin käytön varmistamiseksi pumppaushäiriöissä kaivosyhtiö ostaa vettä Stora Enso Oy:ltä. Rikastusprosessista johtuvaa vettä pumpataan rikastushiekan mukana rikastushiekka-altaaseen 7. Rikastushiekka-altaasta vesi virtaa ylivuotona selkeytsaltaaseen 4 ja sieltä edelleen altaaseen 5. Vettä johdetaan tarvittaessa Iso-Ruonaojaan ylivuotona altaasta 4. Ylivuotomäärä vaihtelee vuosittain. Vuonna 2013 johdettiin Iso-Ruonaojaan 1 907 781 m³ vettä. (Grundia Oy 2009, 39; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010a, 14–15; Pöyry 2014a, 4.)

Kaivoksessa muodostuu myös kuivatusvesiä avolouhoksesta ja maanalaisesta kaivoksesta. Kuivatusvesien määrä vaihtelee vuosittain 1 200 000–2 500 000 m³ välillä. kuivatusvedet johdetaan rikastushiekka-altaaseen 7 ja siitä kierrätetään samalla tavalla kuin prosessivettä. Maanalaisessa kaivoksessa käytetään vuosittain noin 200 000 m³ vettä poraukseen, kairaukseen, pumppujen tiivistysvetenä, kasteluun sekä tilojen puhdistukseen. (Grundia Oy 2009, 39; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010a, 15.)



Kuva 4. Kemin kaivoksen vesien hallinta (Grundia Oy 2009, 40).

Kaivosyhtiön tarvittava talousvesi (n. 15 000 m³) tulee kunnallisesta vesijohtoverkostosta. Muodostuvat saniteettivedet (10 000 m³) puhdistetaan biologis-kemiallisessa jätevesipuhdistamossa. Puhdistetut jätevedet johdetaan selkeytysaltaille. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010a, 15.)

2.1.3 Päästöt vesiin

Pintavesissä kaivoksen vesistökuormitus johtuu ylijuuksutuksesta, rikastushiekka- ja selkeytysaltaiden suotovesistä sekä kaivosalueen valumavesistä. Rikastusprosessista tuleva vesi sisältää vähän liukenevia mineraaleja (lähinnä karbonaatteja) ja sen pH:n on sama kuin malmin

luonnollista pH:ta. Vesistökuormitus koostuu enimmäkseen kiintoaineesta, kalsiumista ja raudasta. Kuitenkin vesistössä on havaittavissa myös tyyppikuormitusta louhinasta käytettävistä räjähdysaineista sekä valumavesistä ja suotovesistä. Ajoittain vesistöön pääsee myös sinkkiä ja kromia. Vesistökuormituksen kehitys 2000 – 2013 on esitetty alla olevassa taulukossa. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010a, 23.)

Taulukko 1. Kemin kaivokselta purkautunut vesimäärä ja kuormitus 2000–2013 (Pöyry 2014a, 9).

Vuosi	Virtamaa m ³ /a	Kuormitus									
		Kiinto- aine t/a	kok. P kg/a	kok.N kg/a	Ca t/a	Fe t/a	Zn kok kg/a	Cr kok kg/a	Cr liuk kg/a	Ni kok kg/a	Ni liuk kg/a
2000	4 200 000	33	355	20 494	191	11	-	79	-		
2001	2 900 000	21	332	18 369	182	15	5,0	5,2	0,5		
2002	2 050 000	10	273	12 788	183	4,0	4,6	5,6	-	31	27
2003	1 330 000	49	268	10 121	183	0,9	6,1	14,5	3,7	41	27
2004	2 100 000	115	581	18 577	300	7,6	3,8	8,2	12	78	
2005	2 300 000	21	409	17 592	220	6,2	68	12	-	57	
2006	1 800 000	38	291	8 566	176	4,3	-	5,7	0,6	31	
2007	940 000	75	673	10 376	388	22	-	109	12	135	
2008	1 400 000	34	679	10 023	420	33	-	28	5,1	67	
2009	1 240 000	38	455	6 555	353	12	-	33	5,6	61	
2010	1 100 000	31	640	5 786	419	13	-	25	5,9	52	
2011	1 400 000	68	633	9 457	437	26	-	-	0,4	67	
2012	3 450 000	-	941	21 283	519	-	121	35	13,0	99	69
2013	2 810 588	43	295	17 233	434	22	26	37	6,4	91	73

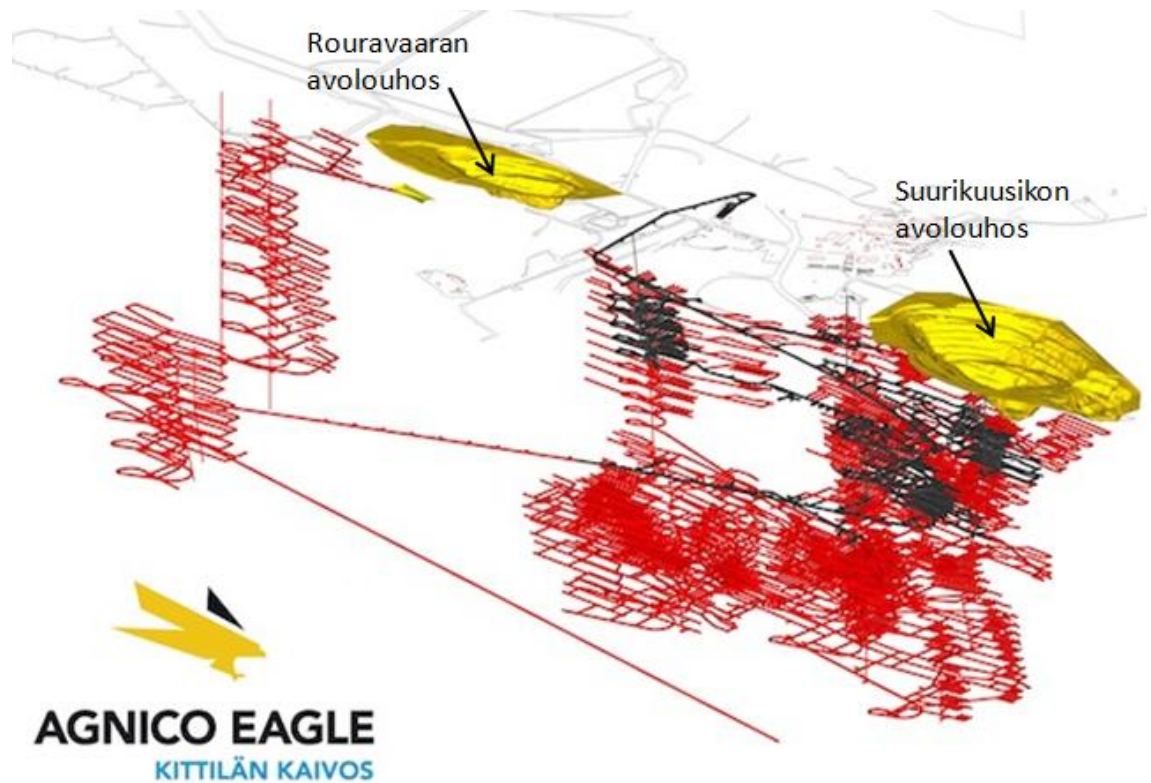
Iso-Ruonaojaan ylijuoksutettu vesi sisältää enemmän veteen liuenneita suoloja, kalsiumia, typpeä sekä avovesiaikana myös fosforia ja ajoittain kiintoainetta. Johdetun veden pH on 0,4 yksikköä korkeampi kuin alueen luonnonvesissä, mutta raudan ja humuksen määrä on pienempi. Talven aikana on havaittavissa happitilanteen heikkenemistä. Kaivosvesien vaikutus ovat selvästi havaittavissa Iso-Ruonaojassa, mutta Hepolahdessa kromin ja sinkin pitoisuudet ovat samalla tasolla kuin kaivoksen yläpuolisissa vesissä. kuitenkin Hepolahden sedimentissä esiintyy kohonneita kromi-, vanadiini- sekä nikkelpitoisuuksia, jotka viittaavat kaivostoiminnan vaikutuksiin. Laajennuksen myötä ei ole odotettavissa kiintoainemäärään tai metallipitoisuuksien nousua kaivoksen alapuolisissa vesissä. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010a, 24–34.)

2.2 Kittilä

Kittilän kultakaivos on kanadalaisen Agnico Eagle Mines Ltd. omistama. Emoyhtiö perustettiin 1972, kun Agnico Mines ja Eagle Gold Mines yhdistivät, mutta sen historia ulottuu vuoteen 1957. Agnico Eagle on yksi maailman suurimmista kullan tuottajista. Yhtiö on ostanut Kittilän kaivoksen hanke 2005 Ryddarhyttan Resources AB:lta. (Agnico Eagle Finland, luettu 29.7.2014.)

Suurkuusikko kultaesiintymä löydettiin 1986 ja on Pohjois-Euroopan suurin kultaesiintymä. Geologian tutkimuskeskus tutki esiintymä 1998 asti. Riddarhyttan Resources AB jatkoi tutkimuksia alueella kunnes Agnico Eagle osti hankeen 2005. Todetut malmivarannot sisältävät kulta noin 4,59 g/t. (GTK Suurikuusikko 2008, viitattu 29.7.2014; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 16.)

Kittilän kaivoksen rakennustyöt alkoivat 2006 ja avolouhos avattiin 2008. Maanalainen louhinta alkoi lokakuussa 2009 ja 2012 tuotanto siirtyi kokonaan maanalaiseen louhintaan. Maanalaisen louhinnan suunnitelma on esitetty kuvassa 5. Kittilän kaivos tuottaa noin 3 000 t malmia vuodessa, josta valmistetaan noin 4 600 kg kultaa vuodessa. Kaivosyhtiö suunnittelee tuotannon laajentamista 25 %:lla. Pohjois-Suomen aluehallintovirasto on antanut päätöksensä (Nro 72/2013/1) koskien Kittilän kaivoksen toiminnan laajentamista ja ympäristö- ja vesitalousluvan tarkistamista, mutta päätös ei ole vielä lainvoimainen. Laajennuksen odotetaan olevan valmis vuonna 2015. Lisäksi yhtiö suunnittelee Kuotkon satelliittimalmion hyödyntämistä lähivuosina. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 1; Agnico Eagle Finland, luettu 29.7.2014; Kuotkon satelliittimalmio, Kittilä 2014, viitattu 29.7.2014.)



Kuva 5. Kittilän kaivosalueen louhitut kaksi avolouhosta ja maanlaisen kaivoksen louhintasuunnitelma (Agnico Eagle Finland, viitattu 29.7.2014).

2.2.1 Rikastusprosessi

Kittilän kaivoksen tuote on kultarikaste. Kullan rikastusprosessi on monivaiheinen ja se sisältää seuraavat vaiheet:

- murskaus
- jauhatus
- vaahdotus
- autoklaavihapetus
- syanidiliuotus ja adsorbointi aktiivihileen
- aktiivihileen talteenotto
- kullan elektrolyysi
- rikastushiekan käsittely. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 19.)

Malmi louhitaan maanalaisessa kaivoksessa täyttö-pengerlouhintamenetelmää käyttäen. Menetelmä edellyttää louhittujen louhoksien täyttöä sivukivellä ja pastalla louhoksen rakenteen lujittamiseksi. Täytön jälkeen on mahdollista louhia turvallisesti vieressä oleva malmio. Louhinnan jälkeen, malmi ja sivukivi lastataan kuorma-autoihin ja ajetaan maanpäälliseen murskaamoon. Kaivostoiminnan laajennuksen jälkeen malmi murskataan 600 m syvyydessä. Laajennuksen yhteydessä rakennetaan nostolaitos, jolla murskattumalmi nostetaan maanpinnalle. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 21–22.)

Ennen murskausta malmi sijoitetaan malmivarastoon. Malmivarastossa malmi läjitetään aumoihin kemiallisen koostumuksen perusteella (Au, As, S, C). Malmi syötetään murskaamoon eri aumoilta varmistaen, että syöte on rikastamon kannalta optimaalinen. Mikäli malmikappaleiden koko on liian suuri, niitä rikotetaan hydraulivasaralla. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 22.)

Murskauksen jälkeen, malmi siirretään hihnakuuljettimella malmisiiloon ja sieltä edelleen jauhatukseen (Kuva 6). Jauhatus tehdään semiautogeenimyllyllä (SAG-mylly) vesilietteessä (Kuva 6). Mylly on kytketty suljetussa piirissä sykloniluokitimen kanssa. SAG-myllyssä käytetään teräskuulia ja malmilohkareita jauhintakappaleina. Laajennuksen yhteydessä jauhatuspiiriin lisätään sekundäärimylly. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 23.)



Kuva 6. Malmin kuljetus myllylle ja semiautogeenimylly (Agnico Eagle Finland, viitattu 29.7.2014).

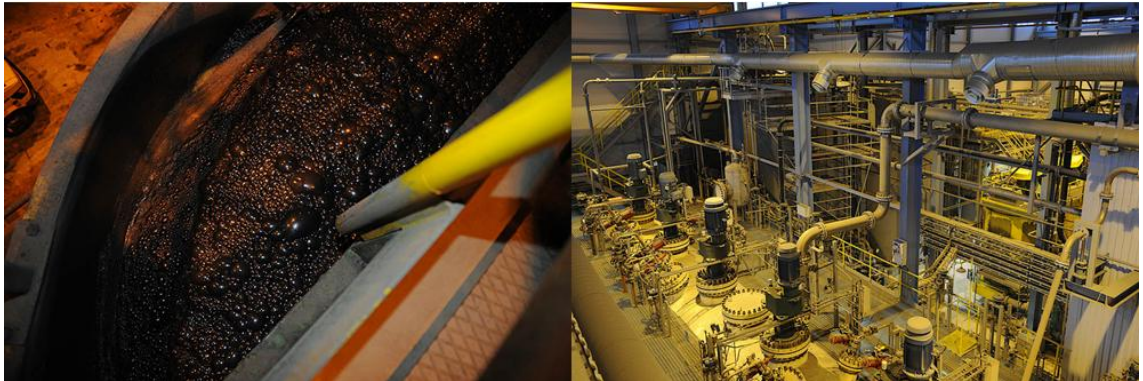
Malmikäsittelyn seuraavavaihe on vaahdotus. Malmiliete syötetään vaahdotuskennoihin. Vaahdotus on kaksivaiheinen prosessi, jossa ensin

vaahdotetaan syötteestä grafiitti (hiili) hiilirikasteeksi. Hiilivaahdotuksen tarkoitus on vähentää hiilipitoisuutta lietteestä koska hiili on haitallinen myöhemmissä rikastusvaiheissa, ja alentaisi kullan saantia. Hiilivaahdotuksessa käytetään metyyli-isobutyli-karbinoli (MIBC) vaahdotetta. Saatu hiilirikaste johdetaan rikastehiekkapumpuille, ja sakeuttimen kautta neutralointipiiriin ja rikastushiekka-altaalle (NP-allas). (Pöyry 2012, 29; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 23.)

Vaahdotuksen toisessa vaiheessa sulfiidivaahdotuspiirissä vaahdotetaan rautasulfidit (pyriitti ja arsenopyriitti) sulfiidirikasteeksi. Sulfiidirikaste sisältää mineraaleihin sitoutunutta kultaa. Sulfiidivaahdotuksessa (Kuva 7) lisätään prosessiin kokoojakemikaali (natriumamyyliksantaatti) sekä mahdollisesti metyyli-isobutyli-karbinoli. Ksantaatin rooli on tehdä sulfidien pinnat vettähyökyviksi. Sulfidit sitten tarttuvat vaahtoon ja nousevat pinnalle. Prosessin lisätään myös kuparisulfaattia kiisujen aktivointiin. Vaahdotusprosessista johtuva rikastushiekka syötetään sakeuttimelle, siten neutralointipiiriin ja rikastushiekka-altaalle (NP-allas). Sulfiidirikaste sakeutetaan ja rikasteesta pestään klorideja pois. Sitten rikaste johdetaan hapotussakeuttimeen ja rikastesäiliöön. Sakeuttimesta ylitevesi palautetaan jauhatuspiiriin. (Pöyry 2012, 29; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 23.)

Sulfiidirikaste johdetaan autoklaavihapetukseen (Kuva 7), jossa sulfidimineraalit hapetetaan sulfaateiksi ja osittain oksideiksi. Prosessin lisätään happea happitehtaasta. Autoklaavihapetus tapahtuu 2 000 kPa:n paineessa ja 200 °C:n lämpötilassa. Prosessissa mineraalit hajoavat ja kulta vapautuu rikastesakkaliuokseen. Hapetuksen jälkeen liete jäähdytetään FLASH-tankissa 100 °C:n lämpötilaan. Vapautuvasta höyrystä poistetaan kiintoaineet ja happamat höyryt pesurin avulla. FLASH-tankin ja pesurista poistuva liete johdetaan CCD-piiriin (Counter-Current Decantation), jossa lietteestä pestään liuennet metallit (rauta ja arseeni) sekä vapaa happo erilleen hapettuneesta kiintoaineesta. CCD-piirissä on kolme sakeutinta kytkettynä peräkkäin. Syöte johdetaan ensimmäiseen sakeuttimeen ja vesi viimeiseen sakeuttimeen niin, että liete kulkee vastavirtaan. CCD-piirin kolmanteen sakeuttimen alite syötetään seuraavan rikastusprosessiin (syanidiliuotus). Ensimmäisen

sakeuttimen ylite siirretään neutraloinnin kautta rikastushiekka-altaalle (NP-allas). (Pöyry 2012, 29; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 23–24.)



Kuva 7. Sulfidivaahdotus ja autoklaavi (Agnico Eagle Finland, viitattu 29.7.2014).

Syanidiliuotus alkaa neljän tunnin kalkkivalmennuksella, jossa lietteen pH nostetaan 11:een ja ilmastetaan. Liuotus tapahtuu liuotusreaktorissa CIL-menetelmällä (Carbon in leach). Prosessiin lisätään syanidiliuosta. Kulta muodostaa syanidin kanssa kompleksin, joka voidaan ottaa talteen. Aktiivihiihi syötetään prosessiin vastavirtaan ja liuennut kulta adsorboituu aktiivihiiheen. Liete virtaa sitten varmistusseulalle, jossa kulta sisältävät karkeammat aktiivihiihipartikkelit otetaan talteen. Muu materiaali johdetaan painovoiman avulla syanidin tuhoamisprosessiin. (Pöyry 2012, 30; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 24.)

Syanidin tuhoaminen tapahtuu suljetussa piirissä INCO-menetelmällä. Syanidi hapetetaan rikkidioksidin (natriummetabisulfiitista $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) ja hapen avulla. Kuparisulfaatti toimii katalysaattorina prosessissa. Lisäksi lisätään kalkkia pH:n säätämiseen (pH 7,5–9,5). Syanidituhoamisen jälkeen liete johdetaan rikastushiekka-altaaseen (CIL-allas). (Pöyry 2012, 30; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 24.)

Seuraavassa prosessivaihe on aktiivihiihin pesu typpihapolla ja kullan irrotus hiilestä strippaamalla. Typpihappopesun tarkoituksena on poistaa kalsiumia ja lisätä hiilen aktiivisuutta. Happo sitten neutraloidaan natriumhydroksidiliuoksella. Kulta siirtyy takaisin nesteeseen ja sitten saostetaan elektrolyysillä.

Strippaus tehdään korkealla lämpötilalla ja paineella strippaussäiliössä. (Pöyry 2012, 30; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 24.)

Kultaa sisältävä liuos siirretään elektrolyysiin lämmönvaihtimen kautta. Kulta saostuu ruostumattomasta teräsvillasta valmistetuille katodeille, jonka jälkeen liete pestään pois katodeilta ja suodataan. Suodatinkakku johdetaan uuniin kuivatukseen ja siihen sekoitetaan sulatusaineita (booraksia ja kalisalpietaria). Kakku sulatetaan induktiouunissa ja kulta valetaan harkkomuotteihin (Kuva 8). Valmis rikaste sisältää noin 90–95 % kultaa. (Pöyry 2012, 30; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 20–25.)



Kuva 8. Kullanvalu (Agnico Eagle Finland, hakupäivä 29.7.2014).

Prosessissa käytetään yli viittätoista kemikaalia, ja niiden määrä tulee kasvamaan tuotannon laajennuksen jälkeen. Tärkeimmät kemikaalit, niiden käyttökohde ja -tarkoitus sekä käytetty määrä on esitetty liitteessä 3. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 29.)

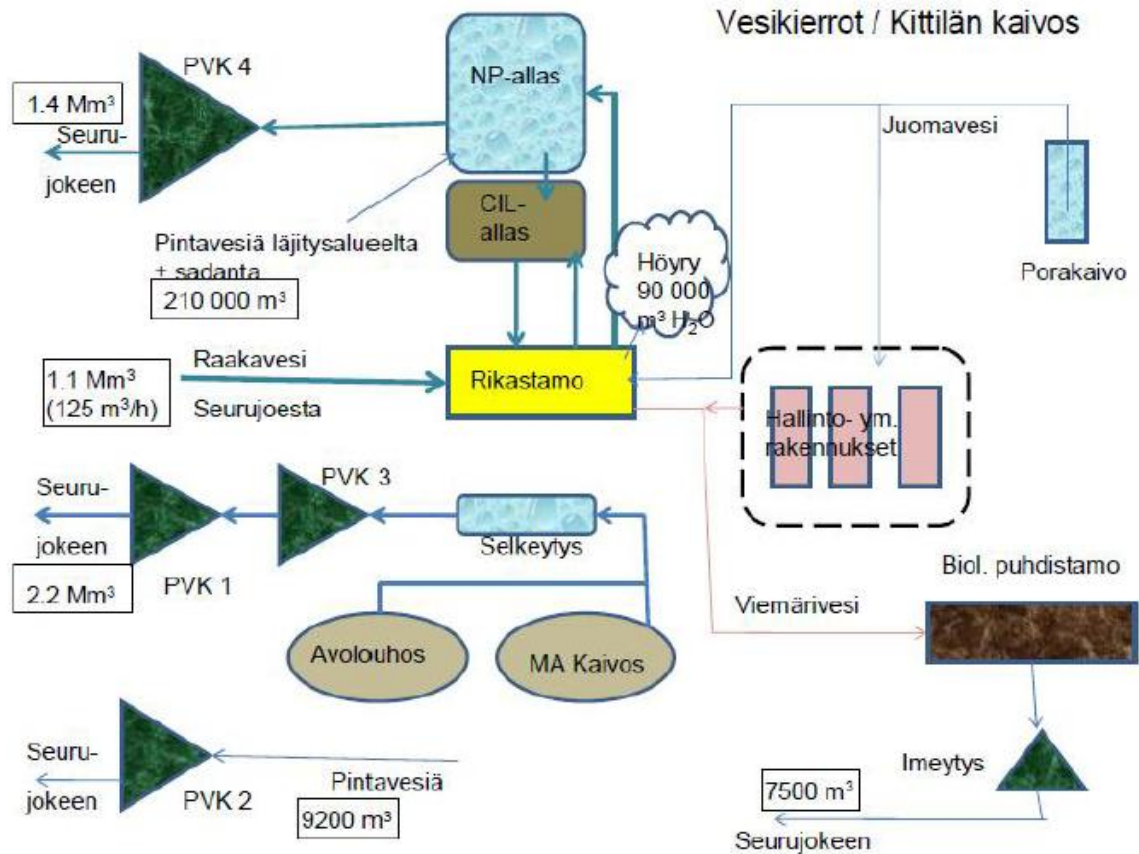
2.2.2 Vesienhallinta

Kittilän kaivoksen prosessissa tarvitaan 1,2 m³ vettä yhden malmitonnin käsittelyyn. Vettä otetaan Seurujoesta noin 125 m³ tunnissa, eli noin 1,1 miljoonaa m³ vuodessa. Toiminnan laajentuessa vuotuinen tarvittava vesimäärä nousee 2,2 miljoonaan m³. Tulevaisuudessa käytetään Rouravaaran avolouhosta vesivarastoaltaana, johon pumpattaisiin vettä rikastamon seisokin aikana myöhempää käyttöä varten. Raakavesi käytetään rikastamon puhdasta vettä vaativissa prosessissa, sekä pieni määrä myös louhinnassa ja huoltotoiminnassa. (Pöyry 2012, 45; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 31–32.)

Kaivosalueella muodostuvat viisi erilaista vesistöön johdettavia vesijaetta:

- kuivanapitovedet,
- pintavedet,
- valumavedet,
- prosessijätevedet,
- talousjätevedet (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 32).

Kuivanapitovedet ovat peräisin avolouhoksista ja maanalaisesta kaivoksesta, ja ne sisältävät räjähdysaineista peräisin olevia typpiyhdisteitä sekä malmista liuenneita aineita (antimonia ja kiintoainetta). Vuonna 2012 kokonaiskuivanapitoveden määrä oli 1 650 541 m³, ja laajennukseen jälkeen vuotuinen kuivanapitoveden määrä nousee korkeimmillaan noin 4 300 000 m³. Kuivanapitovedet pumpataan tasaus/selkeytysaltaaseen, jossa veteen lisätään pieni määrä ferrisulfaattia ja flokkulanttia kiintoaineen laskeutumiseen. Kiintoaineen mukaan saostuu osittain myös antimonia. Selkeytysaltaasta vedet johdetaan Seurujokeen pintavalutuskentän (PVK) 3 ja 1 kautta. Kuivanapitovesien kulku on esitetty Kuva 9, osana vesitasetta. Kuivanapitovesiä kierrätetään osittain takaisin prosessiin. Vesien kierrätys alkoi 2011, jolloin kierrätettiin keskimäärin 13 m³/h. (Pöyry 2010, 35–36; Pöyry 2012, 44; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 33–34.)



Kuva 9. Kittilän kaivoksen yksinkertaistettu vuotuinen vesitase (Pöyry 2010, 35).

Teollisuusalueella muodostuvien pintavesien määrä on pieni. Muodostuvat vedet johdetaan pintavalutuskentän 2 kautta Seurujokeen. (Pöyry 2012, 47; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 34.)

Malmivarastoalueen valumavedet johdetaan vedenkäsittelyaltaaseen (selkeytysaltaaseen). Sivukiviläjitäysalueelta valumavedet johdetaan vieressä olevaan altaaseen ja tarvittaessa edelleen CIL2-altaaseen. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 34.)

Rikastusprosessista jätevedet johdetaan joko NP-rikastushiekka-altaaseen tai CIL-altaaseen (Kuva 9). Vuonna 2012 prosessijätevesiä syntyi n. 98 m³/h, mutta laajentumisen jälkeen määrä odotetaan nousevaan 200 m³/h. NP-rikastushiekka-altaalle johdetaan neutraloinnin kautta vaahdotusprosessissa muodostuneita jätevesiä. Neutraloinnissa vesien pH nostetaan tasolle 8,7. Neutralointiprosessissa lisätään kalkkia ja prosessin tarkoitus on mahdollisten metallijäämien saostaminen hydroksideina altaaseen. Osa NP-altaan vesistä

palautetaan prosessiin CIL-altaaseen kautta. CIL-altaaseen johdetaan CIL-prosessista johtuvia jätevesiä syanidituhoamisprosessin jälkeen. CIL-altaalta palautetaan noin vettä takaisin prosessiin (noin 60 % kierrätys). Ylimääräiset vedet NP-altaalta pumpataan Serujokeen PVK 4:n kautta. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 34–35.)

Kaivoksen tarvittava talousvesi otetaan porakaivoista. Saniteettijätevedet käsitellään biologisessa pienpuhdistamossa. Puhdistamossa käsitellään saostuskemikaalilla (Kemwater PIX-105) ja kalkilla noin 7 500 m³ saniteettijätevettä vuosittain. Käsittelyt jälkeen jätevedet imeytetään maaperään. (Pöyry 2012, 46; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 37.)

2.2.3 Päästöt vesiin

Kittilän kaivoksen kuivanapitovesien laatua sekä niiden aiheuttamaa kuormitusta on seurattu vuodesta 2006 alkaen ja prosessivesien laatua vuodesta 2010 alkaen. Kuivanapitovedet sisältävät typpiyhdisteitä (räjähdysaineista), sekä malmista liuennutta antimonia, arseenia, metalleja, kiintoainetta ja sulfaattia. Vesien pH on ollut neutraalin yläpuolella. Kuivanapitoveden laatu vaihtelee malmin laadun sekä kuivatettavan alueen kallion mukaan. Esimerkiksi veden pH:n noustessa antimonin ja arseenin liukoisuus kasvaa ja pitoisuus vedessä nousee. Louhinnan siirtyessä syvemmälle odotellaan mangaanin ja kloridin pitoisuuksien nousua sekä arseenin, antimonin ja rikkipitoisuuden vähenemistä. 300–600 m syvyydessä esiintyy enemmän kromia, nikkeliä ja sinkkiä kuin pintakerroksessa, mikä saataisi vaikuttaa kuivanapitovesien laatuun. Taulukossa 2 on esitetty kuivatusvesien vuorokautiset keskimääräiset pitoisuudet ja kuormitukset ennen johtamista pintavalutuskentälle vuosilta 2010–2012. (Pöyry 2012, 51–52; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 45–57.)

Taulukko 2. kuivatusvesien vuorokautiset keskimääräiset pitoisuudet ja kuormitukset ennen johtamista pintavalutuskentälle vuosilta 2010–2012 sekä arvio toiminnan laajennuksen jälkeisestä kuormituksesta (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 50).

	ka.	ka.	ka.	kuormitus 2010		kuormitus 2011		kuormitus 2012		arvio tuotannon laajentamisen jälkeen (YVA/VE1.3.)	
	pitoisuus 2010	pitoisuus 2011	pitoisuus 2012	kg/vrk	kg/v	kg/vrk	kg/v	kg/vrk	kg/v	kg/vrk	kg/v
kiintoaine (mg/l)	12	3	2,0	78	28 470	20	7 300	9,16	3 342		23 166
SO ₄ (mg/l)	135	428	640	843	318 645	2 751	1 004 115	2 894	1 056 347		2 472 393
kok.P (µgP/l)	22	11	10	0,14	51,1	0,07	25,55	0,04	16		42
Al (µg/l)	117	23	28	0,76	277,4	0,15	55	0,13	47		69
Ca (mg/l)		163				1 046	381 790				
K (mg/l)		5				32	11 680				
Mg (mg/l)		34				217	79 205				
Na (mg/l)		16				101	36 865				
S kok. (mg/l)		145				935	341 275				
Si (µg/l)		6 177				40	14 600				
As (µg/l)	69	39	60	0,45	164,25	0,25	91	0,27	99		33
Mo (µg/l)		3				0,02	7				
Sb (µg/l)	340	188	209	2,2	803	1,2	438	0,95	345		901
Sr (mg/l)		0,42				2,7	986				
Zn (µg/l)	6	6	12	0,04	14,6	0,04	15	0,05	19		40
Cu (µg/l)	5	3	1,3	0,03	10,95	0,02	7	0,01	2		17
Ni (µg/l)	43	85	163	0,28	102,2	0,55	200	0,74	269		66
Mn (µg/l)	153	416	510	0,99	361,35	2,68	978	2,31	842		3 399
Fe (µg/l)	315	52	58	2,04	744,6	0,33	120	0,26	95		409
Cl (mg/l)	6,42	5,67	7,0	41,63	15 194,95	36,45	13 304	32	11 509		23 628
kok.N (µgN/l)	12 690	10 035	10 918	82	29 930	65	23 725	49	18 021		42 735
kokNH ₄ (µgN/l)	3 689	2 168	2 367	24	8 760	14	5 110	11	3 907		7 813
Sähkönjohtavuus (mS/m)	60	104	136	0,17	62,05	0,29	106	0,37	136		250
Sameus (FTU)	2,5	1,3	1,0					0,00	1		
pH	7,7	7,5	7,4					0,02	7		
CN, WAD (µg/l)		5				0,03	11				
CN kok. (µg/l)		5,77				0,04	15				

Kuivanapitovedet johdetaan kahden pintavalutuskentän kautta (PVK 3 ja PVK 1) Seurujokeen. Pintavalutuskenttä on pidättänyt hyvin alumiinia, rautaa, kiintoaineita ja arseenia. Toisaalta pintavalutuskentältä 3 on huuhtoutunut kloridia, kuparia, typpeä, antimonia ja sulfaattia. Pintavalutuskenttä 1 on toiminut hyvin arseenin ja nikkelin kohdalta, mutta sieltä on huuhtoutunut metalleja, sulfaattia, kloridia ja kiintoainetta. Pintavalutuskenttien kyky pidättää antimonia on heikompi ja se johtuu erityisesti veden pH:sta. (Pöyry 2012, 52; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 45–57.)

Prosessivedet johdetaan NP-altaalta pintavalutuskentän 4 kautta Seurujokeen. Pintavalutuskentän 4 pidättymiskyky on ollut hyvä nikkelin ja antimonin kohdalla, mutta arseenin, mangaanin ja fosforin osalta pidättymiskyky oli huonompi 2011. Pintavalutuskentältä huuhtoutui enemmän alumiinia, rautaa ja sinkkiä vuonna 2011. Vuonna 2012 ja 2013 pintavalutuskenttä 4 on toiminut taas paremmin. (Taulukko 3.) (Pöyry 2012, 53; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 46–48; Ramboll 2014a, 21.)

Taulukko 3. Prosessijätevesien kuormitus pintavalutuskentälle 4 ja pintavalutuskentän kautta Seurujokeen vuosina 2010–2013 sekä arvio laajennuksen jälkeisestä kuormituksesta pintavalutuskentälle 4 (kg/a) (Pöyry 2012, 53; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 47; Ramboll 2014a, 21.)

	kok.N	NH ₄ -N	NO ₂ -N NO ₃ -N	Kiintoaine	SO ₄	Cl	Al	Sb	As	Cu	Mn	Ni	Fe	Zn
Kuormitus PVK 4														
2010	23 304	3 636	5 940	14 944	6 725 576	21 179	55	75	74	5,0	2 682	16	454	5,0
2011	28 765	9 124		13 786	5 597 289	27 163	31	22	34	4,0	3 498	29	348	6,0
2012	20 753	14 381		8 374	7 632 509	25 058	41	32	73	5,0	2 086	43	312	3,0
2013	24 627	14 298		4 649	8 157 296	22 907	27	41	128	4,0	983	35	59	5,0
Laajennuksen jälkeen	21 574	9 028		31 674	7 939 600	31 516	106	25	20	8,7	3 069	4,8	5 047	21
Kuormitus Seurujokeen														
2010	10 248	2 485	3 530	15 045	3 771 392	14 049	27	12	6	4,2	481	2,1	310	5,5
2011	12 598	5 718		13 631	4 427 149	19 198	39	3,0	13	3,0	1 771	3,0	3 275	13
2012	8 275	8 275		10 224	6 920 225	29 904	67	5	2	1,0	1 008	5,0	453	12
2013	16 049	16 049		6 754	7 397 697	21 494	8	12	1	1,0	979	5,0	761	5,0

Prosessijätevedet sisältävät huomattava määrä sulfaattia, joka on peräisin sulfidien hapettumisesta. Vedet sisältävät jonkun verran myös WAD-syanidia, mutta sen pitoisuus on ollut alle ympäristöluvassa asetetut laatuvaatimukset (Luparajapitoisuus 400 µg/l), huhti-heinäkuuta 2011 lukuun ottamatta. (Pöyry 2012, 54; Ramboll 2014a, 14.)

Läjitysalueelta valuvat vedet johdetaan pintavalutuskentän 2 kautta. Pintavalutuskentältä 2 lähtevät vedet sisältävät fosforia ja rautaa runsaasti. (Pöyry 2012, 55.)

2.3 Pahtavaara

Pahtavaaran kultakaivos on Lapland Goldminersin omistama. Pahtavaaran malmiesiintymä löydettiin vuonna 1985 Geologian tutkimuskeskuksen johdolla. Terra Mining Oy avasi kaivoksen 1996 ja louhi avolouhoksena vuoteen 2000 asti. Neljä vuotta myöhemmin ScanMining Oy jatkoi kaivostoimintaa maanalaisesti, mutta kaivos suljettiin uudelleen vuonna 2007. Seuraavana vuonna nykyinen omistaja, Lapland Goldminers jatkoi maanalainsta louhintaa. Yhtiö on ollut vuoden 2014 aikana vaikeuksissa ja kaivos on nyt konkurssissa. (Lapland Goldminers, luettu 15.8.2014; Lapin Kansa 2014, viitattu 15.8.2014.)

2.3.1 Rikastusprosessi

Malmi louhitaan pitkäreikälohintamenetelmällä, jossa penkereen korkeus on 15–25 m. Malmin rikastus tapahtuu neljässä vaiheessa. Malmi ensin syötetään murskaukseen. Malmi murskataan alle 200 mm:n kappalekokoön leukamurskaimella, jonka jälkeen se siirretään hihnakuljettimella välivarastoon. Välivarastosta malmi syötetään jauhatusvaiheeseen. Jauhatusta tehdään märkäprosessina autogeenimyllyssä. Jauhatuksen jälkeen malminkoko on alle 1,5 mm. Jauhatuksen jälkeen malmi syötetään luokitusyklonille, joka ohjaa malmin koon perusteella joko painovoimapiiriin tai vaahdotukseen. (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2006, 8–9; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014, 8.)

Syklonin alite johdetaan painovoimapiiriin ensimmäisen vaiheeseen, Reichertin kartioon. Kartiosta rikastunut liete siirretään spiraaleille ja sieltä edelleen tärypöydille (Kuva 10). Tärypöydät liikkuvat edestakaisin, ja erottelevat mineraalit painon ja tiheyden mukaan. Rikaste kerätään esirikastetankkeihin ja sitten jaetaan uudelleen pöydille kertausrikastukseen. Kertausrikastuksesta erotetaan korkea- ja matalapitoinen kultarikaste. Painovoimapiiriin läpi kulkee noin 75–80 % malmin kullasta. (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2006, 9; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014a, 8–9.)

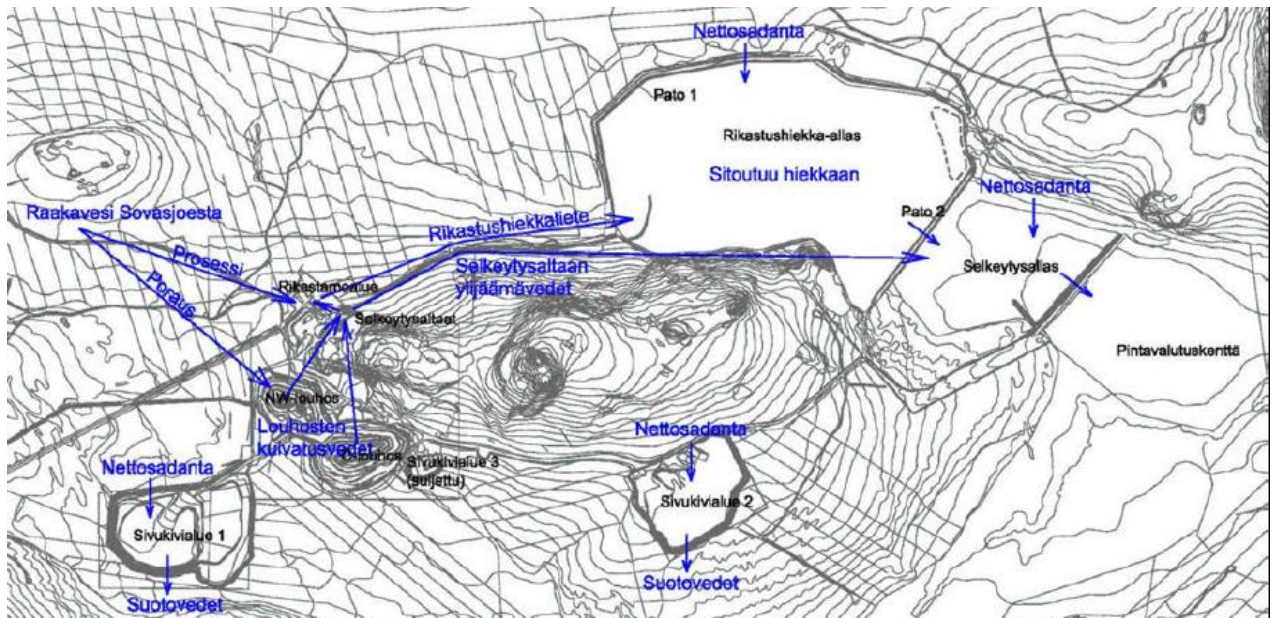


Kuva 10. Pahtavaaran malmi ja tärypöytä (Lapland Goldminers, viitattu 15.8.2014; Lapin Kansa 2014, viitattu 15.8.2008).

Luokitussyklonien ylite johdetaan vaahdotuspiiriin. Vaahdotuspiirissä on valmentimen, esi- ja riperikastuskennot sekä kertauskennot. Vaahdotuskemikaaleja syötetään piiriin pääasiassa valmentimen kautta, mutta tarvittaessa on mahdollista lisätä kemikaaleja myös myöhemmissä vaahdotusvaiheissa. Vaahdotusprosessissa käytetään vuosittain 150 t karboksi-metyyliselluloosa (CMC) painajana, 11 t metyyli-isobyytilikarbinoli (MIBC) vaahdotteena ja 16,5 t Danaflot (ditiofosfaatti ja tiokarbamiini) kokoojana. (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2006, 12; Pohjois-Suomen aluehallinto-virasto 2014a, 9.)

2.3.2 Vesienhallinta

Pahtavaaran kaivos tarvitsee noin $1,1 \text{ Mm}^3/\text{v}$ raakavettä prosessissa. Vettä otetaan Sovasjoesta ja louhoksista. Kaivoksessa käytetty rikastusprosessi on märkäprosessi, ja vesi lisätään prosessiin jo jauhatuksen aikana. Malmin liettämisen vuoksi malmi on helppo käsitellä ja siirtää rikastusvaiheesta toiseen. Rikastusprosessin lopussa painovoimarikaste suodatetaan 14 % kosteuteen ja vaahdotusrikaste 12 % kosteuteen. Vesien johtaminen kaivosalueella näkyy kuvassa 11. (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2006, 11; Ahma Ympäristö Oy 2014, 4–5; Pohjois-Suomen aluehallinto-virasto 2014a, 9.)



Kuva 11. Pahtavaaran kaivoksen rikastamon jätevesien ja kaivoksen kuivatusvesien käsittelyalueet ja vesivirrat (Ahma Ympäristö Oy 2014, 5).

Rikastushiekkan mukaan pumpataan noin 120–130 m³/h vettä rikastushiekka-altaalle. Patojen läpi suotautuu noin 11 m³/h vettä ympäristöön, ja noin 90 m³/h vettä johdetaan puhdistettavaksi. Vedet johdetaan ensin selkeytysaltaalle ja sitten pintavalutuskentän kautta Koserusojaan. Sivukivialueilla muodostuvat suotovedet johdetaan suotovesiojien kautta Pitkänkoskenojaan sekä Sattasjokeen. (Ahma Ympäristö Oy 2014, 5; Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2006, 11.)

Kaivosalueella syntyvät saniteettivedet (1–2 m³/d) johdetaan biologis-kemialliseen puhdistukseen saniteettijätevesipuhdistamolle. Puhdistuksen jälkeen vedet imeytetään suualueelle, jonka jälkeen ne valuvat Visaojaan ja Paskahaaran kautta Kannushaaraan ja sitten Ala-Postojokeen. (Ahma Ympäristö Oy 2014, 5.)

Vesienhallintasuunnitelma on uusittu vuonna 2010. Suunnitelman mukaan yhtiön tavoite oli kierrättää noin 90 m³/h vettä sulakaudella. Kierrättämisen mahdollistavat rakenteet rakennettiin ja näin mahdollistettiin vesien kierrättäminen. Kuitenkin rikastamon jätevesien sisältämän asbestin vuoksi vesien kierrättäminen pysäytettiin. Kierrätysvesi sisälsi myös merkittäviä määriä

sinilevää kesänaikana. Kierrätysvesi saattoi tulla kosketuksiin työntekijöiden iholle, ja sen on arvioitu voivan olla työturvallisuuden näkökulmasta ongelmallinen. Kuitenkin kaivosyhtiö kierrättää kaivoksen kuivatusvesiä. Vuoden 2013 johdettiin 77 500 m³ kuivatusvettä rikastusprosessiin. (Ahma Ympäristö Oy 2014, 7; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014a, 8–13.) Vedenkierrätystä koskevaan lupapäätökseen haettiin muutosta ja se on täällä hetkellä vireillä Vaasan hallinto-oikeudessa.

2.3.3 Päästöt vesiin

Pahtavaaran kaivoksen jätevesien vaikutusta pintavesistöön seurataan Koseruojassa ja Ala-Postojoessa. Saniteettivesien vaikutuksia on tarkkailtu Kannushaarassa ja sivukivialueen suotovesien vaikutusta seurataan Pitkänkoskenjoessa. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014a, 15.)

Rikastamon jätevedet sisältävät korkeita pitoisuuksia kiintoaineita, ja veden koostumus riippuu malmityypistä ja prosessiin johdettavan veden määrästä. Rikastamonjätevesi sisältää huomattavia määriä räjähdysaineista peräisiä olevia nitraatti-nitriittitypitoisuuksia (260–19 000 µg/l). Rikastamonjätevesien pH on melko korkea 9,04–10,07. Maanalaiset kuivatusvedet ovat myös emäksisen puolella, ja sisältävät räjähdysainejäämiä sekä melko korkeita alumiini- ja rautapitoisuuksia. (Ahma Ympäristö Oy 2014, 10–12.)

Rikastusprosessivedet sekä osa maanalaisista kuivatusvesistä johdetaan selkeytysaltaan kautta pintavalutuskentälle. Vuonna 2013 pintavalutuskentälle johdettiin noin 1,3 Mm³ vettä. Pahtavaaran kaivoksessa seurataan kuormitusta pintavalutuskentän saapuvasta vedestä. Pintavalutuskentän kohdistuva kuormitus on esitetty alla olevassa taulukossa. Vuoden 2013 kuormitus on selvästi laskenut vuoden 2012 verrattuna, paitsi sulfaatin osalta. Sulfaatin kuormitus kolminkertaistui vuonna 2013. Kuormitusrajat ylittivät kiintoaineen ja raudan osalta. (Ahma Ympäristö Oy 2014, 15–16, 35.)

Taulukko 4. Pintavalutuskentälle kohdistuva kuormitus 2005–2013 (Ahma Ympäristö Oy 2014, 16).

Vuosi	Kiintoaine kg/a	COD _{Mn} kg/a	Kok.N kg/a	NH ₄ kg/a	NO ₂ kg/a	NO ₃ kg/a	Kok.P kg/a	Fe kg/a	Mn kg/a	SO ₄ kg/a
2005	41 300	10 800	8 350				127	12 437	569	18 305
2006	22 970	9 037	9 780				145	8 167	597	31 354
2007	28 533	7 498	11 257				186	5 066	474	17 616
2008	21 775	4 437	4 204				66	1 965	138	34 744
2009	74 386	4 466	11 513				83	4 931	165	33 500
2010	36 830	6 367	9 335				178	1 237	255	30 716
2011	26 502	6 153	6 537				136	880	193	49 631
2012	128 186	6 092	9 194				212	5 583	249	49 631
2013	64 797	5 129	9 698	1 660	96	7 948	151	2 018	181	132 482
kuormitusrajat	18 000		14 400				900	<1 800	<400	180 000

Vuonna 2013 pintavalutuskenttä on pitäytynyt hyvin kiintoainetta, rautaa, alumiinia ja räjähdysainejäämiä. Kuitenkin sulfaatin pitäytymiskyky oli hyvin alhainen ja vaihteli 0–17 % välillä. Mangaani huuhtoutui vesistöön melkein koko vuoden aikana. Asbestin vaikutukset /kuormitus vesistöön ei voitu arvioida tutkimustiedon puutteen vuoksi, mutta sitä arvioidaan pitäytymään pintavalutuskentälle. Pintavalutuskentän alapuolisessa vesissä ei ole havaittu asbestia. Myös sinilevää arvioidaan pitäytyvän pintavalutuskentälle. (Ahma Ympäristö Oy 2014, 16–20; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014a, 18.)

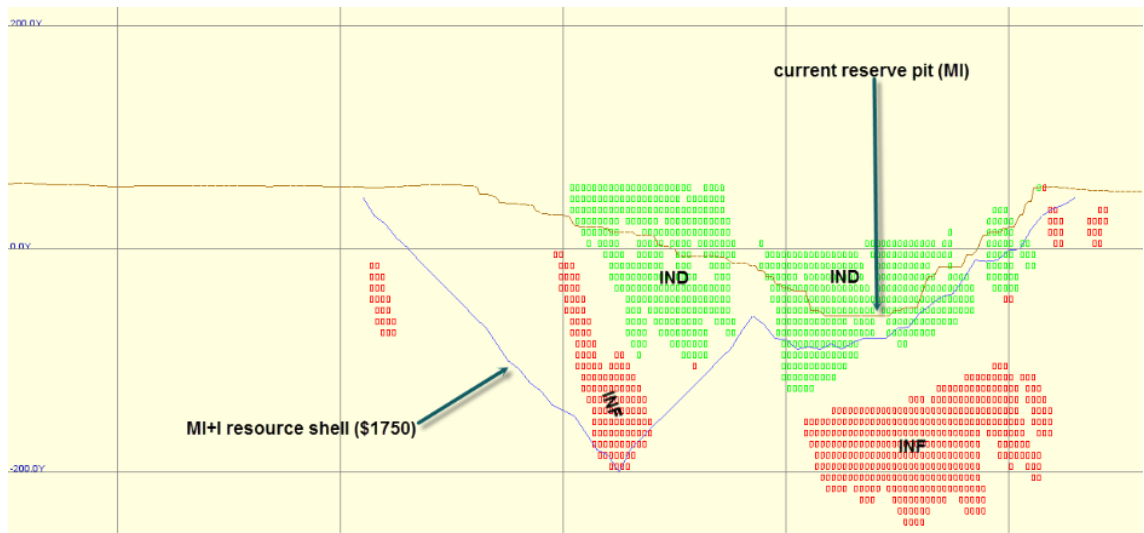
Sivukivialueen suotovedet sisältävät korkeita nitraatti-nitriittityppipitoisuuksia, mutta sulfaatin, alumiinin, mangaanin ja raudan pitoisuudet jäivät alhaisella tasolla. (Ahma Ympäristö Oy 2014, 35.)

Ahma Ympäristö Oy:n tekemän tarkkailuraportin mukaan vuonna 2013 kaivovesien vaikutus pintavesistöön oli vähäinen Pitkälampiin lukuun ottamatta. Vaikutukset Pitkälampiin ovat peräisin läjitysalueilta tulevista vesistä, ja niiden sisältämistä räjähdysainejäämistä. Muutoksia olivat havaittavissa nitraatti-nitriittitypen ja sähkönjohtavuuden osalta. (Ahma Ympäristö Oy 2014, 35.)

2.4 Laivan kaivos

Laivan kaivos on Nordic Mines Oy:n omistama hanke, jonka toiminta aloitettiin kesällä 2011. Malmio oli tunnettu jo 1980-luvulla kun alueella tehtiin

malmiertsintätyöt Outokummun johdolla. Vaikka alueen mineraalisatio oli tunnettu jo pitkään, kannatavuustutkimukset tehtiin vasta 2000-luvun alussa. Kullan keskimääräinen pitoisuus alueella on 0,6–1,0 g/t. Laivan kaivoksen todetut ja osoitetut (IND, yhteensä 15,4 Mt) sekä todennäköiset (INF 3,1 Mt) mineraalivarannot ovat esitetty graafisesti allaolevassa kuvassa. (GTK Laivakangas 2008, viitattu 7.10.2014; SRK Consulting 2013,11; Nordic Mines, luettu 7.10.2014.)



Kuva 12. Laivan kaivoksen todetut ja osoitetut sekä todennäköiset mineraalivarannot (SRK Consulting 2013, 24).

Yhtiö on ollut saneerauksessa 2013 kesästä alkaen. Kuitenkin kullan tuotantoa on aikomus jatkaa tammi-maaliskuusta 2015 alkaen. (Liimatainen 2013, viitattu 7.10.2014; Hirvonen 2014, luettu 7.10.2014.)

2.4.1 Rikastusprosessi

Vuosittain louhitaan avolouhoksesta noin kaksi miljoona tonnia malmia. Louhinnan jälkeen malmi johdetaan murskaukseen, jauhatukseen, vaahdotukseen, painovoimaerotukseen, syanidirikastukseen ja lopuksi rikastushiekan käsittelyyn. (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2009, 6–7.)

Malmin murskaus tehdään leukamurskaimella, jonka kapasiteetti on 500 t/h. Malmi sitten siirretään hihnakuljettimella kaksivaiheeseen jauhatuspiiriin. Pri-

määrijauhatus suoritetaan autogeenimyllyssä, jonka jälkeen malmi johdetaan palamalmimyllyyn (sekundäärijauhatus). Tavoitteena on jauhatta malmia 80 % 0,1 mm. Jauhatuspiiriin kuuluu myös oma murskauspiiri, jonka avulla murskataan kriittisen fraktion autogeenin myllystä tulevat malmikappaleet ennen niiden siirtymistä sekundäärijauhatukseen. (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2009, 9.)

Seuraava rikastusvaihe on karkeavaahdotus sekä Knelson-painovoimaerotus. Painovoimaerotuksen ja karkeavaahdotuksen rikaste (high-grade) sakeutetaan ja jauhetaan edelleen ennen siirtämistä liuotusvaiheeseen. Knelson-painovoimaerotuksen kevyt fraktio luokitellaan. Luokituksen alite palautetaan sekundäärimyllyyn ja sen ylite (low-grade) johdetaan liuotuspiiriin. (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2009, 9.)

Malmin liuotus suoritetaan kahdessa liuotuspiirissä (Kuva 13). Toisessa piirissä käsitellään vain painovoimaerotuksesta tuleva kevyt fraktio. Liuotus perustuu syanidiliuotuksen, jossa käytetään Kittilän kaivoksen tapaan CIL-prosessia (Carbon-In-Leach), jonka jälkeen syanidi hajotaan INCO-menetelmällä (katso tarkemmat CIL- ja INCO-menetelmien kuvaus Kittilän kaivoksen kappaleesta). (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2009, 9–10.)



Kuva 13. Laivan kaivoksen liuotuspiiri (Nordic Mines, viitattu 7.10.2014).

Kulta ja hopea saostetaan teräsvillakatodilla. Katodi lämmitetään 600 °C:seen ja lisätään happea. Katodi hapettuu ja arvometallit voidaan sitten sulattaa ja valettaa. Rikastusprosessin tuote on 'dore'-harkkoja (Kuva 14). Harkot

sisältävät yli 65 % kultaa ja niitä myydään jatkojalostamoihin. Vuoden 2013 aikana tuotettiin 1157 kg kultaa. (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2009, 10; Nordic Mines 2014, 4; Nordic Mines, viitattu 7.10.2014.)



Kuva 14. 'Dore'-harkko
(Nordic Mines, viitattu
7.10.2014).

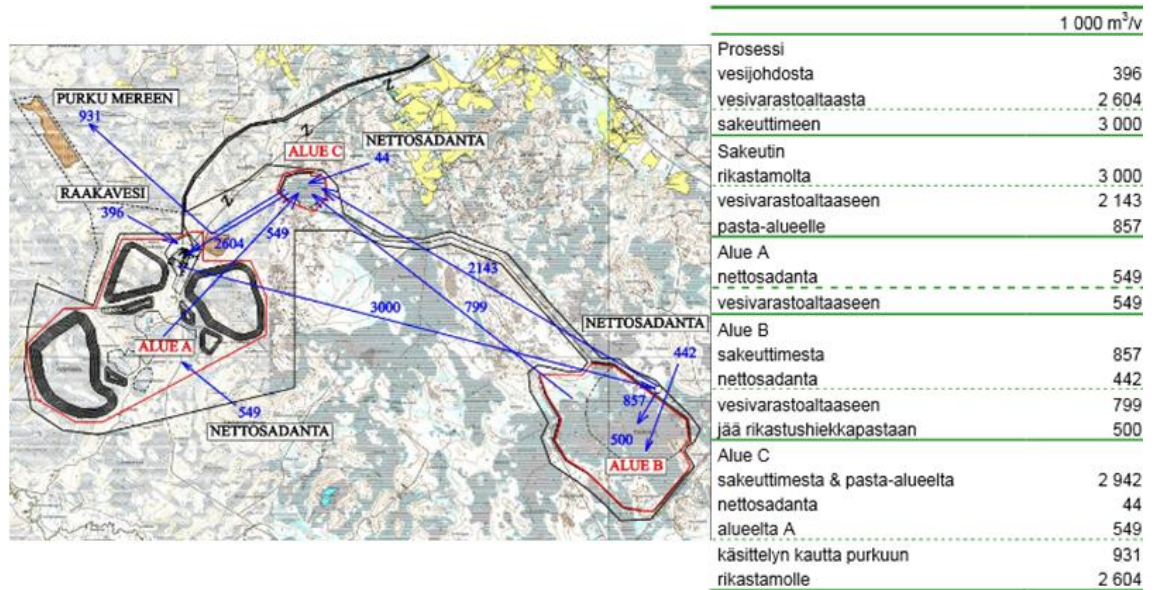
Rikastusprosessissa käytetään kemikaaleja erityisesti vaahdotuksessa, liuotusvaiheessa ja syanidin hajoamisprosessissa. Laivan kaivoksessa kuuluu eniten poltettu ja sammutettu kalkkia. Arvioitu kemikaalikuulutus on esitetty liitteessä 6. (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2009, 16.)

2.4.2 Vesienhallinta

Laivan kaivos tarvitsee toimiakseen noin 375 m³/h vettä. Kaivostoiminnan alkuvaiheessa (1–2 ensimmäistä tuotantovuotta) kaikki tarvittava vesimäärä otettiin Raahen Vesi Oy:n vesijohtoverkostosta. Tavoitteena oli kuitenkin prosessien vakiintuessa kierrättää prosessi-, valuma- ja kaivoksen kuivatusvesiä. Toiminnan alussa rakennettiin vesivarastoallas Iso-Hattulammesta ja laskeutusallas Vaarainjärvestä. Vuoden 2013 aikana otettiin 318 000 m³ raakavettä vesijohtoverkosta. Rikastamossa käytettiin yhteensä 1,9 Mm³ vettä, josta suurin osa oli kierrätysvettä. (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2009, 15, 18; Nordic Mines 2014, 6.)

Vesivarastoallas otettiin käyttöön keväällä 2011. Altaaseen johdettiin vesivarastoaltaan valuma-alueen vesiä sekä louhoksen ja kaivosalueen kuivatusvedet. Laivan kaivoksen vesitase laskelma keskimääräisen sadantavuoden mukaisesti on esitetty kuvassa 15. (Pohjois-Suomen

aluehallintovirasto 2012a, 8–9; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2012b,11–12.)



Kuva 15. Laivan kaivoksen vesitase (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2012b,11–12).

Rikastusprosessista jätevedet johdetaan syanidinhajoamis- ja tahnaproessin kautta rikastushiekka-altaille. Rikastushiekan käsittely on ainutlaatuinen suomessa ja sen tarkoitus on vähentää pöly- ja metallipäästöjä sekä mahdollistaa tehokas vesikierrätys. Menetelmän avulla hiekka kuivataan ”hiekkapuuroksi” (noin 75 % rikastushiekka). Hiekkapuuro kuljetetaan säilytettäväksi suoalueelle. Rikastushiekka-altailta vesi johdetaan vesivarastoaltaaseen, josta se kierrätetään prosessivedeksi. Mikäli vesivarastoaltaaseen tulee humuspitoista vettä, sitä ei voida käyttää prosessissa. Tästä syystä humuspitoisia vesiä johdetaan suoraan putkia tai oja pitkin Vaarainjärven laskeutusaltaaseen, ja sieltä pintavalutuskentälle. (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2009, 20–21; Nordic Mines, viitattu 8.10.2014.)

Pintavalutuskenttä on 8,5 ha luontainen kosteikko, jonka turvepaksuus on 1,5–4,2 m. Pintavalutuskentältä vesi johdetaan purkuviemärin kautta Kuljunlahden edustalle mereen. Kaivostoiminnan alussa oli ennustettu, että vuosittain johdetaan mereen noin 1,3 Mm³. (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2009, 20–21.)

Vuoden 2011 ja 2012 aikana yhtiö huomasi vedenpinnan nousua vesivarastoaltaalla, ja tästä syystä haki vesien johtamisen lupamuutoksen. Uuden luvan mukaan yhtiö sai johtaa väliaikaisesti huhti-syyskuun 2012 aikana louhos- ja aluekuivatusvesiä sekä vesivarastoalasta ylimääräisiä vesiä Jylkännevan pintavalutuskentän kautta Tuoreenmaanojaan ja edelleen mereen. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2012a, 8–12.)

Kaivosalueella syntyvät saniteettivedet johdetaan kunnalliseen viemäriin. Vuonna 2013 talous ja saniteettivesien määrä oli 3 840 m³. (Nordic Mines 2014, 8.)

2.4.3 Päästöt vesiin

Louhos- ja aluekuivatusvesissä liukenevat malmista ja sivukivestä peräisiä alkuaineita ja yhdisteitä sekä räjähdysainejäämiä. Louhosvedet ovat melko kiintoainepitoisia ja niiden pH on 6,5–7,5 välillä. Lisäksi on havaittu uraania (keskimääräinen pitoisuus 0,13 mg/l). (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2012a, 14–15.)

Vesivarastoaltaan sisältämän veden pH on emäksinen (pH 8,2–9,1), mutta sulamiskaudella veden pH laskee. Vesivarastoaltaan veden kiintoaine- ja uraanipitoisuus on matalampi kuin louhosvedessä. Jo ennen kuin prosessivesi johdetaan vesivarastoaltaaseen, sitä käsitellään kemiallisesti metallipitoisuuksien poistamiseksi. Kuitenkin vesivarastoaltaassa on myös joko räjähdysaineista tai prosessikemikaaleista peräisin olevia kemikaalijäämiä. Vesivarastoaltaalta vedet johdetaan laskeutusaltaaseen. Laskeutusaltaan puhdistusteho on noin 50 %. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2012a, 15–18.)

Laskeutusaltaalta vesi johdetaan pintavalutuskentän kautta mereen. Pintavalutuskenttä toimii tehokkaasti kesäkauden aikana. Pintavalutuskentältä vesi johdetaan mereen noin 3 m syvyydessä, 200 metrin päähän rannasta. Purkuvesien laatu kesä-, talvi- sekä tulva-aikana on esitetty alla olevassa

taulukossa.(Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2009, 21–22; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2012a, 19–20.)

Taulukko 5. Purkuvesien laatu kesä-, talvi- ja tulva-aikana (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2009, 22).

Muuttuja	Laatu	Kesä	Talvi	Tulva
Kiintoaine	mg/l	5	5	5
Kok-P	mg/l	0,22	0,28	0,19
NO₃-N	mg/l	2	4	3
SO₄	mg/l	56	70	49
NH₄-N	mg/l	0,04	0,06	0,04
Kok-Al	mg/l	0,04	0,05	0,04
Kok-Ca	mg/l	20	25	18
Kok-As	mg/l	0,07	0,20	0,28
Kok-Cr	mg/l	0,002	0,002	0,001
Kok-Cu	mg/l	0,005	0,006	0,004
Kok-K	mg/l	24	30	21
Kok-Mg	mg/l	6	8	5
Kok-Mn	mg/l	0,02	0,03	0,02
Kok-Na	mg/l	24	30	21
Kok-Ni	mg/l	0,003	0,003	0,002
Kok-Zn	mg/l	0,012	0,015	0,010
Sähkönjohtavuus	mS/m	72	90	63
WAD-syanidi	mg/l	0,08	0,10	0,07

Vuonna 2013 purkuputken kautta johdettiin 1,3 Mm³ mereen, eli ympäristöluvan sallima enimmäismäärä (Nordic Mines 2014, 7).

2.5 Pampalo

Pampalo kultakaivos on Endomines Oy:n omistama hanke. Kaivos sijaitsee Itä-Suomessa Karjalan kultalinjalla. Malmin kultapitoisuus on 3–5 g/t. Kultaesiintymä oli tutkittu 1980–1990 –luvulla GTK:n johdolla, ja myöhemmin Outokumpu teki avolouhintatutkimuksia. 2000-luvun alussa Dragon Mining jatkoi tutkimuksia. Endomines osti hankeen 2007, ja teki päätöksen kaivoksen aloittamisesta kaksi vuotta myöhemmin. Rakennustyöt alkoivat heti, ja tuotanto lähti käyntiin 2011 alussa. (GTK Pampalo 2008, luettu 8.10.2014; Endomines 2012, 13, 21.)

Pampalon kultakaivoksen voimassa olevan ympäristöluvan mukaan kaivoksesta voi louhia noin 200 000 t/a malmia vuosittain. Vuonna 2012 yhtiö on jättänyt

hakemuksen ympäristölupamuuttoksesta, jolla haettiin kapasiteetin nostoa 450 000 tonniin malmia vuodessa, mistä tuotettaisiin 7 700 t/a rikastetta. Nykytietojen perusteella on arvioitu, että louhinta jatkuu vuoteen 2017 saakka. (Itä-Suomen Ympäristölupavirasto 2008a, 8; Endomines 2012, 13, 21.)

2.5.1 Rikastusprosessi

Kaivosalueella on avolouhos, jonka louhinta tehtiin 1990-luvulla Outokummun johdolla. Tällä hetkellä malmi louhitaan maanalaisessa kaivoksesta ja avolouhoksesta. Outokumpu Oy aloitti maanalaisen kaivoksen vinotunnelin rakentamisen vuonna 1997 ja tunneli valmistui 2008. Maanalaisessa louhinnassa käytetään yläkantista täyttölouhintamenetelmää. Louhittu malmi siirretään kuorma-autoilla murskaamon varastoon. Louhosten täyteenä käytetään sivukiviä. Avolouhoksessa käytetään pengerialouhintamenetelmää. Rikastusprosessin kaavio on esitetty liitteessä 7. (Endomines 2012, 15–17; Mutanen 2014, 1.)

Murskaamon varastosta malmi siirretään murskattavaksi. Malmi koko pienennetään 13 mm:n kolmivaiheisella murskauksella. Murske varastoidaan välivarastoon, josta se johdetaan jauhatuspiiriin. Jauhatusta tehdään kuulamylyllä käyttäen vettä väliaineena. Kapasiteetin nosto vaati yhden kuulamylyn lisäystä prosessiin. Jauhatuksen jälkeen liete johdetaan luokittimien kautta joko painovoimaerotukseen tai vaahdotusprosessiin. (Endomines 2012, 18–19.)

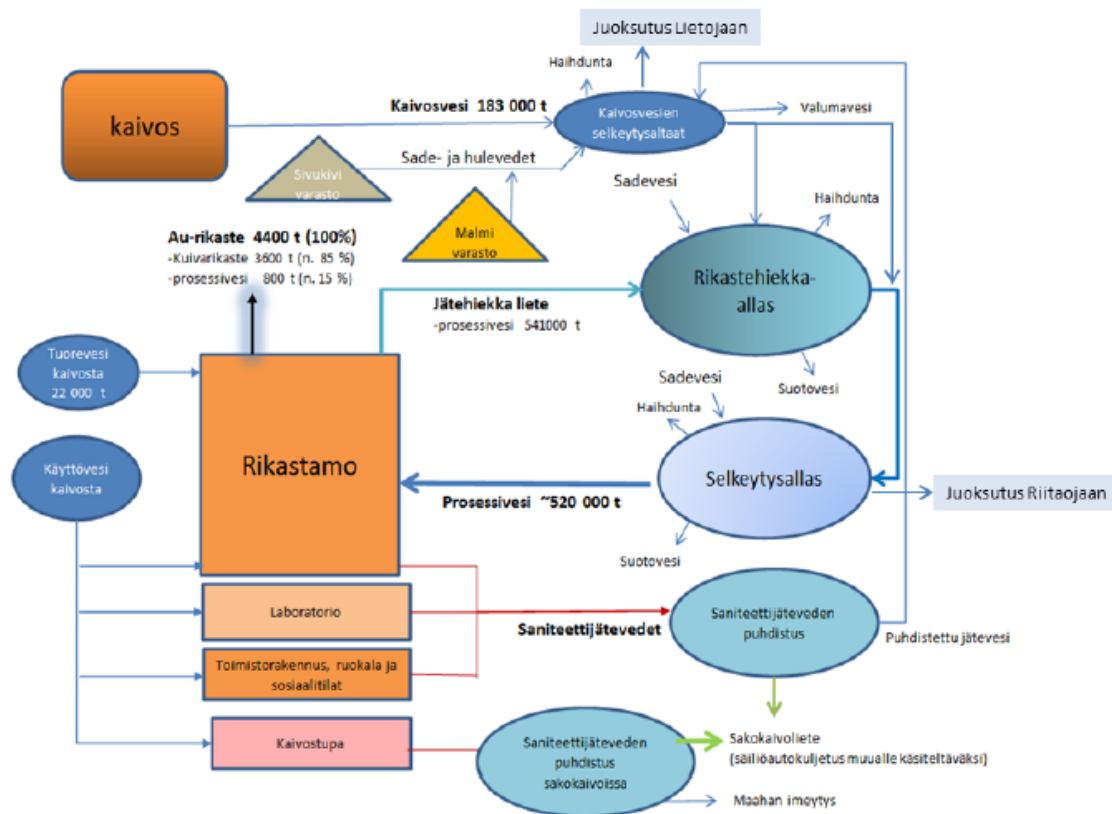


Kuva 16. Pampalon kaivoksen vaahdotuspiiri ja rumpusuodatin (Nordic Mines, viitattu 8.10.2014).

Ominaispainoerotuksessa käsitellään yli 0,1 mm:n aines. Painovoimaerotuksen jälkeen erottumaton aines palautetaan jauhatuspiiriin. Alle 0,1 mm malmi rikastetaan vaahdottamalla kemikaaleja käyttäen (rikastuskemikaalit ja käytetyt määrät liitteessä 8). Vaahdotuskennoista rikasteliete johdetaan sakeuttimeen ja suodatukseen (Kuva 16) veden erottamiseksi rikasteesta. Painovoimaerotusrikaste sisältää kultaa 50 kg/t ja vaahdotusrikaste 0,1–0,3 kg/t Au. Vuoden 2013 aikana tuotettiin 5 336,7 t kultarikastetta. (Itä-Suomen Ympäristölupavirasto 2008a, 9; Endomines 2012, 19; Mutanen 2014, 1.)

2.5.2 Vesienhallinta

Pampalon kaivoksessa käytetään vettä rikastusprosessissa, pumppujen tiivisteinä, kemikaalien valmistuksessa, talousvetenä sekä huuhtelu- ja pesuvetenä. Vesikierto kaivosalueella on esitetty kuvassa 17. Ennen toiminnan aloittamista vettä kerättiin rikastushiekka-altaaseen. Vuonna 2011 96 % prosessivesistä oli kierrätysvesiä ja tavoite on kierrättää prosessivedet 100 %:sti. (Nordic Mines 2013, 29; Nordic Mines, luettu 8.10.2014.)



Kuva 17. Pampalon kaivoksen vesitase 2011 (Endomines 2012, 29).

Rikastushiekka-altaaseen johdetaan rikastushiekka sekä myös kaivoskuivanapitovesiä kolmiportaisen tasausalassysteemin kautta. Kaivoksen kuivanapitovesiä voidaan juoksuttaa Lietojaan huoltovaiheisen aikana. Rikastushiekka-altaasta vedet johdetaan selkeytysaltaan kautta prosessiin tai ylitevesi juoksutetaan Riitaojaan. (Itä-Suomen Ympäristölupavirasto 2008a, 13–14.)

Talous ja saniteettivesien tarvittava määrä on 15 m³/d. Talousvettä saadaan avolouhoksen eteläpuolla olevasta maakaivosta. Saniteettivedet puhdistetaan pienpuhdistamolla, jonka jälkeen se johdetaan rikastushiekka-altaaseen. Saniteettivesipuhdistamolla syntyvä liete kompostoidaan kaivosalueella. (Itä-Suomen Ympäristölupavirasto 2008a, 13–14.)

2.5.3 Päästöt vesiin

Tarvittaessa kaivosalueelta juoksutetaan 18 l/s kuivanapitovesiä tai ylitevesiä vesistöön. Jouksutus tehdään ympärivuoden, mutta se painotetaan tulva-aikoihin. Juoksutuksen seurauksena Sivakkojoen suulla keskivirtaama nousee noin 9 %:lla ja Hattujärven luusuassa keskivirtaama nousee 3 %:lla. Vuoden 2013 aikana juoksutettiin 235 095,2 m³ ylitevesiä jälkiselkeytysaltaalta Riitaojan kautta Hattujärven suuntaan ja 156 659 m³ Rämepuron avolouhoksen kuivanapitovesiä Rämepuroon. (Itä-Suomen Ympäristölupavirasto 2008a, 17; Mutanen 2014, 3.)

Kaivosalueen vesiä (prosessivedet, kuivanapitovedet) käsitellään selkeytysaltaassa. Tavoitteena on poistaa kiintoainetta ja metalli- ja kemikaalijäämiä. Typpireduktio on enimmillään 20 %:lla ja fosforin reduktio on oltava vähintään 90 %. Käsittelyssä ei kuitenkaan sulfaattipitoisuus vähene. (Itä-Suomen Ympäristölupavirasto 2008a, 17–18.)

Taulukko 6. Ylitevesien kuormitus Riitaojaan 2008–2009 ja 2012–2013 (Endomines 2012, 44; Mutanen 2014, Liite 1).

Päästö	Yksikkö	2008	2009	2012	2013
Kokonaismäärä	m ³ /a	202 600	188 700	132 959	235 095
Kiintoaine	kg/a	132	1 302	708	1 692
Sulfaatti	t/a	34	31	18	49
COD_{cr}	kg/a	3 798	2 830	1 984	5 011
Kokonaistyyppi	kg/a	684	94	1 390	4 039
Nitraattityppi	kg/a	443	27	1 254	4 039
Kokonaisfosfori	kg/a	1,4	6,0	8	30
Rauta	kg/a	8	224	18	32
Arseeni	kg/a	0,43	2,03	1,1	2,5
Nikkeli	kg/a	0,40	0,91	0,2	0,4
Kupari	kg/a	0,23	0,19	0,2	0,5
Sinkki	kg/a	3,3	0,9	0,3	0,4
Kadmium	kg/a			0,004	0,013
Kromi	kg/a			0,1	0,3
Lyijy	kg/a			0,05	0,08
Elohopea	kg/a			0,005	0,004

Ylitevesien aiheuttama kuormitus Riitaojaan 2008–2009 ja 2012–2013 on esitetty taulukossa 6. Raskasmetallien (Ni, Zn, Co, Cu, Cr, Cd, Pb, Hg) sekä arseenin pitoisuudet ylitevesissä ovat pienet, ja tästä syystä myös kuormitukset jäävät pieneksi (0–50 kg/a). Räjähdysaineista johtuva kuormitus on noussut huomattavasti vuonna 2013. Typpikuormitus vesistössä aiheuttaa rehevöitymistä. Ylitevedet lisäävät vesistöön sähköjohtavuutta. Toisaalta ylitevesi ei sisällä happea kuluttavia yhdisteitä. (Itä-Suomen Ympäristölupavirasto 2008a, 18–19.)

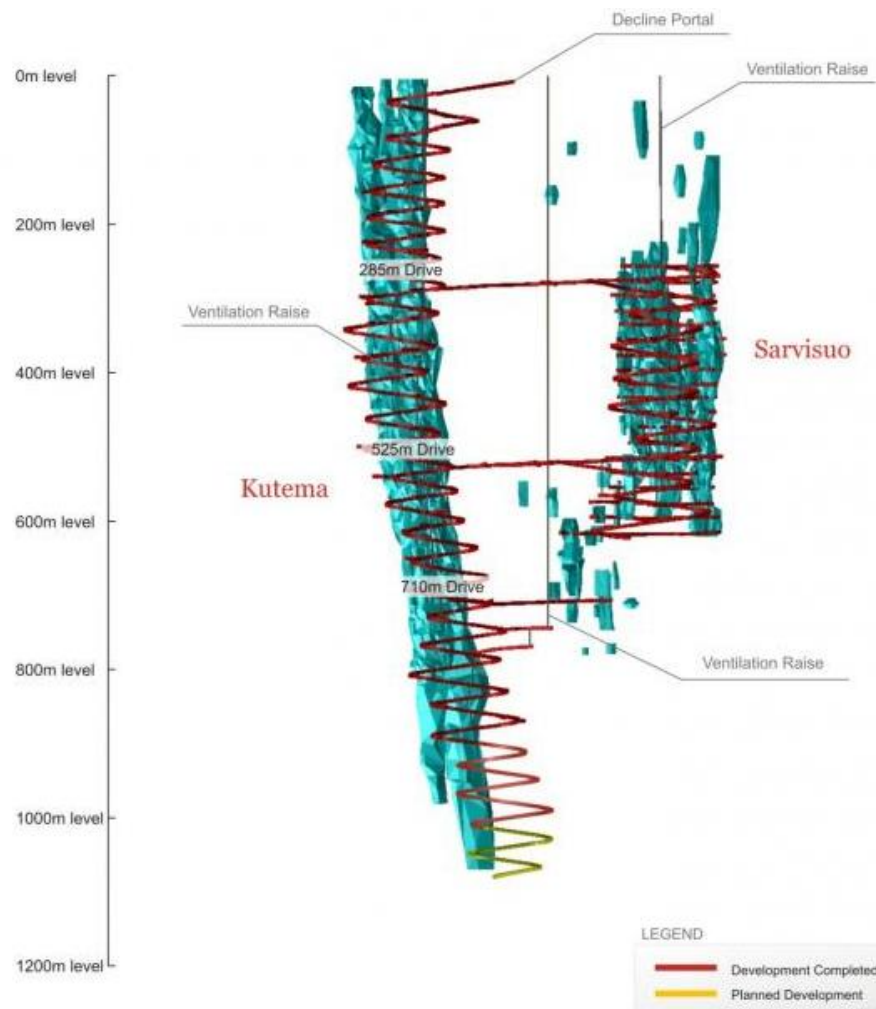
2.6 Jokisivu ja Orivesi

Dragon Mining Oy:n omistaa Jokisivu ja Oriveden kultakaivokset. Yhtiö on australialaisen Dragon Mining Ltd.:n tytäryhtiö. Yhtiö on ostanut kultakaivokset Outokumpu Oy:lta vuonna 2003. Jokisivusta ja Orivedestä louhittu kultamalmin rikastetaan Vammalan rikastamossa (Sastamalan kunnassa), jossa on myös yhtiön hallinto. (Dragon Mining Oy 2012, luettu 9.10.2014.)

Jokisivun kaivos sijaitsee Huittisten kaupungin Loiman kylässä, noin 40 km Vammalasta lounaaseen. Oriveden kaivos sijaitsee Yliskylän-Säynäjoen

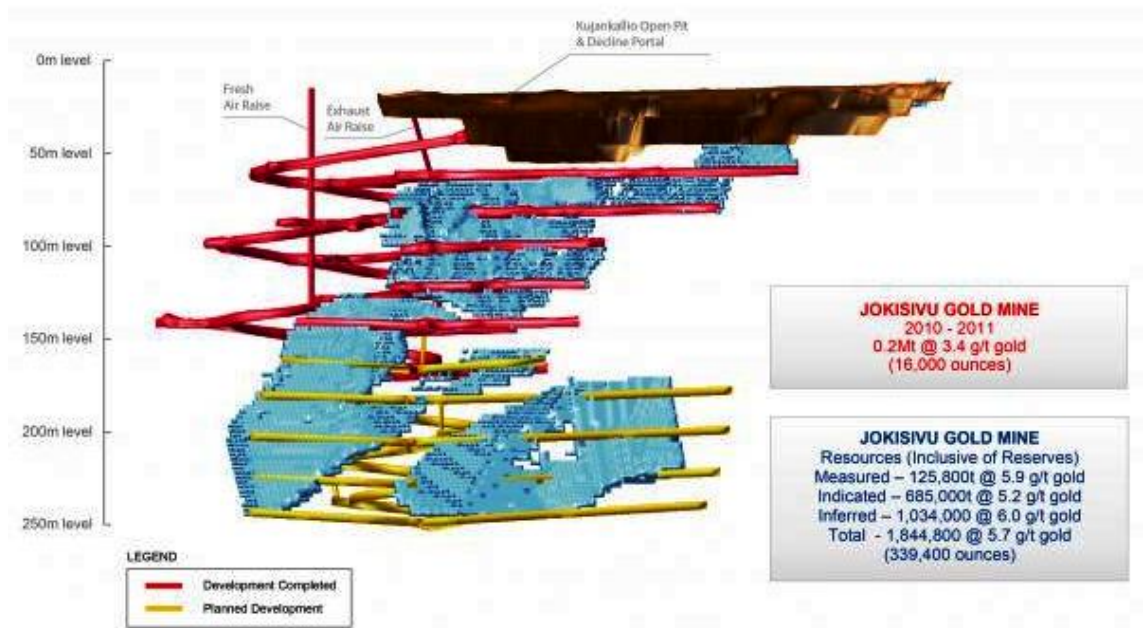
valtioneuvoston alueella, Pirkanmaalla. Oriveden kultaesiintymä oli tunnettu jo 1940-luvulla, mutta Jokisivun esiintymä löydettiin vasta 1985. Molemmissa esiintymissä kulta esiintyy osittain vapaana. (Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2006a, 1–3; Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2006b, 1; GTK Jokisivu 2008, luettu 9.10.2010; GTK Orivesi 2008, viitattu 9.10.2014; Dragon Mining Operations, luettu 9.10.2014.)

Oriveden kaivoksen tuotanto aloitettiin vuonna 1994 Outokummun hankkeena ja se jatkui vuoteen 2003 saakka. Kaivos avattiin uudelleen 2007, ja nykyään on yli 1 000 m syvä maanalainen kaivos (Kuva 18). Louhinta tehdään pengertäytösmenetelmällä, jossa louhos täytetään sivukivilouheella. (Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2006b,8; Dragon Mining Operations, luettu 9.10.2014.)



Kuva 18. Oriveden kaivoksen layout (Dragon Mining Operations, viitattu 9.10.2014).

Jokisivun kaivos avattiin vuonna 2009 avolouhoksena ja toiminta siirtyi maanalle 2010. Kaivoksen layout on esitetty alla olevassa kuvassa. (Dragon Mining Operations, luettu 9.10.2014.)



Kuva 19. Jokiveden kaivoksen layout (Dragon Mining Operations, viitattu 9.10.2014).

Vammalan rikastamo on toiminut 1974–1994 nikkeli-kaivoksen rikastamona. Vuonna 2007 rikastamo tehtiin sopivaksi kullan rikastamiseen. Rikastamon tuote on vaahdoterikaste, joka sulatetaan nykyään Harjavallassa. (Dragon Mining Oy 2012, luettu 9.10.2014; Dragon Mining Operations, viitattu 9.10.2014.)

2.6.1 Rikastusprosessi

Jokisivun ja Oriveden kaivoksissa louhittu malmi kuljetetaan kuorma-autoilla Vammalan rikastamoon. Ennen malmin siirtämistä murskaamoon siitä erotetaan magneettisesti metalliromua. Murskaus tapahtuu kolmessa vaiheessa. Ensin malmikappalet syötetään leukamurskaimeen, sitten murskattu malmi siirretään karamurskaimeen. Karamurskaimesta malmin kappaleet johdetaan hihnakuuljettimella täryseulan kautta kartiomurskaimelle. Murskaamossa

kappaleiden koko pienetään noin 700 mm:sta 20mm:in. Murskattu malmi varastoidaan murskesiilossa. (Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2008, 8–9.)

Malmin jauhatus tehdään märkänä prosessina tanko- ja kuulamylyissä. Jokisivusta peräisin oleva malmi siirtyy ensin painovoimarikastukseen, jossa kultahiput erotetaan malmin karkeasta fraktiosta (yli 0,1 mm aines). Liete johdetaan kartioluokittimien kautta, spiraaliluokittimiin ja tärypöytiin. Kullan mukana rikastuvat myös raskaat mineraalit. Painovoimaerotuksen rikaste sisältää noin 30 % kullasta. Erotuksesta jäävä liete palautetaan jauhatukseen ja sieltä vaahdotukseen. (Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2008, 9.)

Orivedestä oleva malmi jatkaa jauhatuksesta suoraan vaahdotukseen. Prosessin lisätään natrium-isobutyliksantaattia (NBIX 10 t/a), polypropyleeniglykoli-metyylieetteri (Dowfroth 3 t/a) ja di-isobutyli-ditiofosfaatti (Danafloat 10 t/a) kemikaaleja. Vaahdotuksen jälkeen rikaste sakeutetaan Fennopol (5 t/a) kemikaalin käyttäen. Rikasteessa oleva vesi poistetaan suodattamalla painesuodattimella. Vaahdotusrikaste sisältää noin 60 % malmin kullasta. Rikastushiekka johdetaan rikastushiekka-altaalle. (Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2008, 9.)

2.6.2 Vesienhallinta

Jokisivun kaivoksen kuivanapitovedet johdetaan selkeytysaltaiden kautta Paukkionojaan. Vedet johdetaan ensin altaaseen 1 (700 m²) ja sieltä avo-ojaan pitkin altaaseenn 3 (400 m²). Kuivatusvedet virtaavat sitten putkia pitkin altaaseenn 4 (1000 m²) ja sitten altaaseen 5, josta ne juoksetaan Paukkionojaan. Allasta 2 (550 m²) käytetään altaasta 1 peräisin lietteen kuivatukseen. Talousvesi otetaan kaivosalueella olevasta porakaivosta ja vesijohtoverkostosta. Jokisivun kaivoksella käytetyt saniteettivedet kerätään ja toimitetaan Huittisen kaupungin jätevedenpuhdistamolle. (Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2006a, 9; Etelä-Suomen aluehallintovirasto 2010, 6–7.)

Oriveden kaivoksen kuivatusvedet selkeytetään maanalaisissa selkeytys-altaissa (kokonaistilavuus 800 m³) ennen pumppaamista maanpäällisiin

selkeytysaltaisiin (kokonaistilavuus 2 000 m³). Kiintoaineen poistaminen tehdään flokkulantin avulla. Vesien käsittelyssä käytetään myös natronlipeää pH:n säätöön. Flukkulantti ja lipeä lisätään veteen jo maan alla (tason +235 pumppaamalla), ja tarpeen mukaan flukkulanttia lisätään myös maanpäälliseen laskeutusaltaseen. Laskeutusaltaasta vedet johdetaan kahden selkeytysaltaan kautta metsäojaan. (Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2006b, 8–9.)

Oriveden kaivoksessa porausta varten tarvittava vesi (24 000 m³/a) otetaan Ala-Järvestä. Talous- ja saniteettivesi (324 m³/a) otetaan porakaivosta. Pesuedet imeytetään maaperään ja käymäläjätevedet kerätään lietesäiliöön. (Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2006b, 9.)

Vammalan rikastamon prosessivesi on enimmäkseen kierrätysvettä. Rikastamo ottaa vettä myös kaupungin verkosta (3 000–4 000 m³/a), joka käytetään talous- ja saniteettivetenä (450 m³/a), rikastamalla, laboratoriossa ja jäähdytysvetenä. (Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2008, 12.)

Rikastusprosessivesi pumpataan lietteen mukana 4 osaiseen rikastushiekka-altaaseen. Kiintoaine ja osa mineraaleista saostuvat altaaseen. Rikastushiekka-altaasta vesi johdetaan jälkiselkeytysaltaalle, jonka tilavuus on 17 000 m³. Jälkiselkeytysaltaalta vesi kierrätetään prosessiin, tai se juoksetetaan avokanavaa pitkin Korvalammille, ja sieltä suljettuun kaivokseen varastoitavaksi. Vanhasta kaivoksesta voidaan myös ottaa vettä prosessiin. Rikastusprosessissa käytetään 1 300 000 m³ vettä vuodessa. Tulva-aikana on mahdollistaa juoksettaa vettä Korvalamminojan kautta Ekojokeen. (Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2008, 10–12.)

Talous- ja saniteettivedet sekä korjaamosta ja laboratoriosta tulevat vedet puhdistetaan biosuodintyyppisellä pienpuhdistamolla. Fosfori saostetaan ferrosulfaatin avulla. Puhdistetut vedet johdetaan prosessivesien mukana vanhaan kaivokseen ja liete toimitetaan kaupungin jätevedenpuhdistamolle. (Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2008, 12.)

2.6.3 Päästöt vesiin

Jokisivun kaivoksella käsitellään noin 100 000 – 150 000 m³ kuivanapitovesiä vuodessa. Vesien kiintoainepitoisuus on melko korkea, mutta ennen vesistöön johtamista kiintoainepitoisuus lasketaan alle 25 mg/l. Kuivanapitovedet voivat sisältää myös mineraaliöljyjä sekä räjähdysainejäämiä. Vesien poistoputki sijaitsee vedenpinnan alapuolella, ja tästä syystä öljy jää laskeutusaltaalle. Kuivanapitovesien typpipitoisuus oli 2009 yli 10-kertainen Paukkionojoan verrattuna ja myös arseenia ja nikkeliä havaittiin vedestä. Sulfaatin pitoisuus oli myös korkea. (Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2006a, 15–16; Etelä-Suomen aluehallintovirasto 2010, 8–9.)

Oriveden kaivoksella selkeytetään ja neutraloidaan noin 220 000 m³ kuivanapitovesiä vuosittain. Kiintoainekuormitus vuosina 1999, 2002 ja 2004 oli noin 1,6 – 4,0 kg/d. Vesien pH oli kaivostoiminnan alussa neutraali, mutta sulfidihapeuttumisen seurauksena se on laskenut voimakkaasti (vuonna 2004 pH jopa alle 4,0 ja vuonna 2005 pH oli 5,0–6,0 välillä). Typpikuormitus on myös melko korkea – jopa 31,4 kg/d, mutta fosforikuormitus on ollut alle 0,03 kg/d. Sulfaatinpitoisuus on noussut vuosi vuodelta. Syynä pidetään sivukivien sortumista louhoksiin. Sivukivet sisältävät paljon kiisuja, jotka hapettuvat helposti. Sähkönjohtavuus ja sinkkipitoisuus ovat myös nousseet. (Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2006b, 15–16.)

Oriveden kaivoksen merkittävimmät vesistövaikutukset ovat näkyvissä Ala-Jalkajärvessä, jossa typpi- ja sulfaattipitoisuudet ovat monikertaistuneet (typpipitoisuus noin 60-kertaiseksi ja sulfaattipitoisuus noin 50-kertaiseksi). Toisaalta fosforipitoisuus on pienentynyt ja happitilanne on parempi kuin aikaisemmin. Kuivanapitovesien alhainen pH aiheutti Ala-Jalkajärven happamoitumista. Myös järven suolapitoisuus ja sähkönjohtavuus ovat kohonneet voimakkaasti. Kaivostoiminnan seurauksena järiveden yleislaatu on huono. Peräjärven tilanne on parempi kuin Ala-Jalkajärven tilanne, mutta myös siellä typpipitoisuus nousi 10-kertaiseksi. Myös sähkönjohtavuus, sulfaatti- ja alumiinipitoisuus ovat kohonneet kaivostoiminnan aloitusvaiheesta. Kaivosvesien suolapitoisuuden takia on havaittavissa Peräjärven vesien

täyskiertojen muutoksia sekä hapen vajausta. Kuitenkin Peräjärven veden laatu oli yleisesti ottaen vuonna 2002 vielä hyvä ja nyt tyydyttävä. (Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2006b, 16–18.)

Vammalan rikastamon vesikuormitus on vähentynyt huomattavasti nikkeli- ja kuparikaivostoiminnan loputtua (1995). Kuormituksen vähentymiseen vaikutti myös vesien kierrätys. Vuosina 1996–1999 Korvalaminojaan kohdistuva rautakuormitus oli 20–230 kg/v, nikkeli- ja kuparikuormitus 0,3–11 kg/v ja kokonaistyyppikuormitus jopa 179 kg/v. Kovero-ojan sulfaatti- ja nikkeli- ja kuparikuormitus oli myös korkea. Vuosina 2004–2006 vettä ei johdettu vesistöön. Kaivostoiminnan vaikutukset näkyvät myös Ekojoessa ja Rautavedessä (talven aikana), jossa havaittiin kohonneita elektrolyytti- ja sulfaattipitoisuuksia. Ekojoessa myös nikkeli- ja kuparipitoisuudet ovat kohonneita. Nykyään prosessivedet kierrätetään 100 %. (Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2008, 18–22.)

2.7 Talvivaara

Talvivaaran Kaivososakeyhtiö perustettiin vuonna 2003 ja kaivoksen toiminta alkoi keväällä 2008. Talvivaaran mineraaliesiintymä oli tutkittu jo 1970-luvun lopussa Suomen Geologian tutkimuskeskuksen johdolla. Ensimmäiset kaivosoikeudet myönnettiin 1986 Outokummulle, mutta mineraalipitoisuudet olivat niin alhaisia, että silloin esiintymien hyödyntäminen ei ollut kannattavaa. Talvivaara Kaivososakeyhtiö osti oikeudet vuonna 2004, ja seuraavana vuonna aloitti bioliuotuksen pilotti koekasan rakentaminen. Vuonna 2006 otettiin talteen metalleja pilotti biokasaliuotuksesta. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 13; Talvivaara, viitattu 20.10.2014.)

Mineraaliesiintymät sijaitsevat Kainuun Iiuskevyöhykkeessä, Sotkamon ja Kajaanin kuntien eteläosassa. Malmiesiintymät ovat Kuusilampi ja Kolmisoppi ja ne sisältävät noin 1 121 miljoonaa tonnia todettuja ja todennäköisiä mineraalivarantoja. Malmi sisältää varsin pieniä pitoisuuksia monimetallia (0,22 % nikkeliä, 0,13 % kuparia, 0,02 % kobolttia ja 0,49 % sinkkiä). Vuonna 2010 tunnettujen malmivarantojen perusteella toiminta jatkuisi ainakin 46 vuotta. Kaivoksen tuotteet ovat metallisulfidit ja tulevaisuudessa mahdollisesti myös

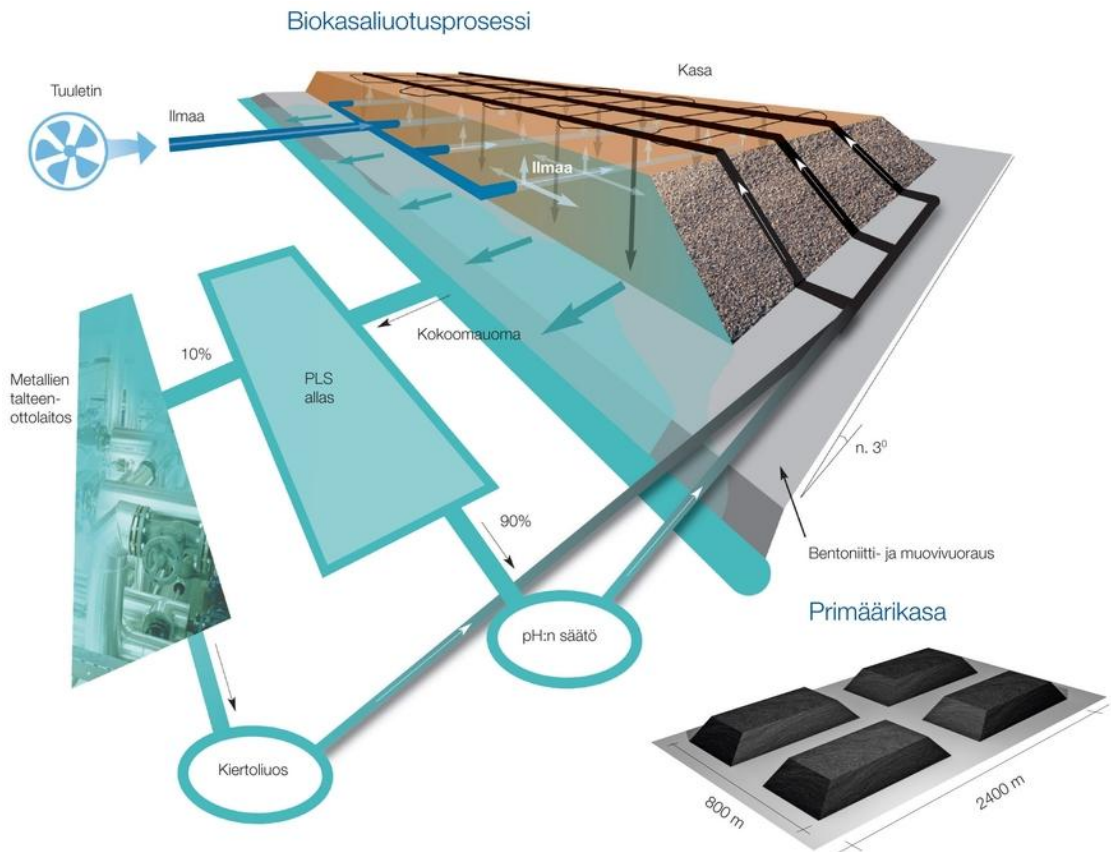
uraanipuolituotetta. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 15–16; Talvivaara, viitattu 20.10.2014.)

2.7.1 Rikastusprosessi

Malmi louhitaan avolouhintamenetelmällä Kuusilammen louhoksesta. Kolmisopen avolouhos tulisi tuotantoon vuonna 2017. Malmin esimurskasus tehdään louhoksen läheisyydessä kiinteällä esimurskausasemalla, josta malmi siirretään murskaamoon kiviautoilla. Tarvittaessa malmia voidaan varastoida murskaamon vieressä. Esimurskausvaiheessa malmi murskataan alle 250 mm kokoon ja murskaamossa malmi hienonnetaan 80 %:sti alle 8 mm. Malmi siirretään agglomerointiasemalle, jossa hienojakoinen malmiaines kiinnitetään isompiin malmipartikkeleihin. Agglomerointi tehdään rummuissa, jossa malmiin lisätään laimeaa rikkihappoa tai PLS-liuosta. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 19–22.)

Malmiaglomeraatti siirretään hihnakuljettimella biokasaliuotuksen prosessiin (Kuva 20). Prosessi tapahtuu rakennetuilla kasa-alueilla bakteerien avulla. Primääri malmikasat rakennetaan 3–5 %:n kaltevuuteen. Kasan pohja on vettä läpäisemätön, minkä päällä on salaojakerros karkeasta sivukivimurskeesta. Salaojakerroksessa on asennettu salaojaputkisto kiertoliuoksen kerätystä varten. Salaojakerroksen yläpuolella on ilmastoputkisto. Tasaiset 6–10 m korkeat kasat rakennetaan kasauslaitteiston avulla. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 22–25.)

Biokasaliuotuksessa käytetään sulfidimalmeista peräisin olevia bakteereja, joiden elinolosuhteet turvataan kastelun ja ilmastuksen avulla. Malmikasat kastellaan 5–10 l/m²/h kierrätettävällä liuotusliuoksen ja veden sekoituksella kasteluputkistoa käyttäen. Lisäksi 0,05–0,1 m³/t/h ilmaa puhalletaan kasaan hapen riittävän saannin varmistamiseksi. Liuotusnestettä kierrätetään kunnes sen sisältämien metallien pitoisuus on riittävä talteenottoon. Liuotusneste johdetaan ensin PLS-altaaseen, josta noin 90 % kierrätetään takaisin bioliuotusprosessiin, ja loput johdetaan talteenottolaitokseen. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 26.)



Kuva 20. Biokasaliuotusprosessi (Talvivaara, viitattu 20.10.2014).

Metallit otetaan talteen liuotuksesta hydrometalurgisella prosessilla metallien talteenottolaitoksessa. Talteenottolaitos käsittelee noin $1\,200\text{ m}^3/\text{h}$ liuosta. Liuoksen pH on hyvin alhainen (noin 2,8) ja sen tavoitenikkelipitoisuus 3–4 g/l. Metallit saostetaan useamassa vaiheessa lähes identtisissä saostuslinjoissa. Ensin saostetaan kuparisulfidi, sitten sinkkisulfidi. Sen jälkeen poistetaan alumiini välineutralointivaiheessa ja saostetaan nikkeli- ja kobolttisulfidit. Seuraava vaihe on mahdollinen mangaanituotteen saostus ja prosessiliuoksen loppusaostus. Yhtiölle on myönnetty ympäristölupa myös uraanin talteenottoon, mutta lupa ei ole saanut vielä lainvoimaa. Mikäli tulevaisuudessa urania otetaan talteen, sen liuotus tapahtuu ennen alumiinin poistoa (Liite 9). (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 27–28.)

Kupari saostetaan rikkivetykaasulla (H_2S) 4:ssä 280 m^3 :n reaktoreissa $40\text{--}50\text{ }^\circ\text{C}$ lämpöolosuhteessa ja lievässä ylipaineessa. Saostettu kupari sakeutetaan kahdessa 30 m halkaisijan sakeuttimella, suodatetaan ja pestään vedellä.

Liuesta poistetaan sitten tuotteesta suotopuristimella. Sakeuttimen alite palautetaan osittain saostuksen sakan laadun parantamiseksi. Rikkivetykaasu kerätään sakeuttimissa. Vuosittain tuotetaan noin 20 000 t kuparisulfidia. Liuos johdetaan sitten sinkin saostukseen. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 28.)

Sinkki saostetaan samalaisella menetelmällä 6:ssa reaktoreissa, jonka jälkeen sakeutetaan kahdessa sakeuttimissa, suodatetaan nauha- ja painesuodattimilla ja pestään. Sakeuttimen alite palautetaan osittain saostukseen. Sinkkisulfidia tuotetaan 110 000 t/v. Sinkkisaostuksen jälkeen liuos johdetaan välineutralointiin. (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2007, 18; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 28–29.)

Välineutraloinnin tarkoitus on neutraloida happoa liuksesta. Prosessissa saostuu myös suurin osa alumiinista. Neutralointi tarvitaan, koska nikkelin ja koboltin yleissaostus tapahtuu pH 4,2–4,5:ssa. Neutraloinnissa lisätään noin 374 000 t/v kalkkikiveä CaCO_3 . Neutralointi tapahtuu 6:ssa reaktorissa, jonka jälkeen liuos johdetaan sakeuttimiin (4 kpl) ja suodatukseen. Vuosittain muodostuu 800 000 t välineutralointisakkaa, joka sisältää 4 % alumiinia, 0,8 % rautaa, 15 % kalsiumia, 16 % rikkiä ja 1,7 % magnesiumia. Välineutraloinnin jälkeen liuos johdetaan nikkelin ja koboltin yleissaostukseen. (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2007a, 18–19.)

Nikkelin ja koboltin yhteissaostuksessa käytetään rikkivetyä ja natriumhydroksidia neutralointiaineena. Prosessi tapahtuu 6:ssa 360 m³ reaktorissa, jonka jälkeen tuote sakeutetaan, pestään ja suodatetaan nauhasuodatimella. Lopputuote kuivatetaan myös puristimilla. Osa saostussakasta palautetaan saostukseen. Vuosittain tuotetaan 60 000 t Ni/Co-sulfidituotetta. Liuos johdetaan sitten alumiinin ja raudan poistoon. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 35.)

Raudan saostuksessa käytetään 90 % happikaasua ja 50 p-% kalsiumkarbonaattilietettä neutralointiaineena. Reaktiossa syntyy hiilidioksidia, joka johdetaan kaasunpuhdistukseen. Kaasu pestään laimealla lipeällä. Rauta-

kipsisakkaliete sakeutetaan. Laskeutuksen tehostamiseksi käytetään flokkulanttia. Puolet sakeuttimen yliteestä johdetaan loppuneutralointiin ja puolet raffinaattialtaaseen. Sakeuttimen alite johdetaan kipsialtaalle. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 35–36.)

Loppuneutraloinnissa liuksesta saostetaan hydroksideina jäljelle jääneet metallit. Prosessiin johdetaan vain noin kolmas osa liuosmäärästä. Muu liuos palautetaan bioliuotukseen jo nikkeli-koboltin saostuksen jälkeen. Loppuneutraloinnissa liuksen pH nostetaan 6–9,5:teen $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -lieteellä. Korkeassa pH:ssa on mahdollistaa poistaa mangaania päästovedestä. Hydroksidisakka sakeutetaan ja alite johdetaan kipsisakka-altaalle. Neutraloinnin ylite kierrätetään metallien talteenoton raakavedeksi tai johdetaan vesienkäsittelyn kautta ympäristöön. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 36.)

Kaivoksen tuotteet varastoidaan kylmässä varastossa. Sinkkisulfidi varastoidaan aumoissa, mutta Ni/Co-sulfidi lastataan suoraan kuljetuskontteihin. Tuotteet kuljetetaan rautateitse jatkokäsittelyyn. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 36–37.)

Suunniteltu uraanitalteenotto

Yhtiö suunnitellee ottavansa talteen uraania PLS-liuksesta. Lopputuote on yellow-cake uraanipuolituote, eli uraaniperoksidi ($\text{UO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$, UO_3 ja U_3O_8). Tuotteen uraanipitoisuus on 70–80 painoprosenttia. Tuote on kellertävää jauhetta tai hiutaleita, jotka ovat niukkaliukoisia. Vuosittainen uraanituotanto on arvoitu olevan 350–500 t. Uraania otetaan talteen neste-neste-utto – menetelmällä, johon kuuluu uutto, takaisinuuhto, saostus, selkeytys, suodatus ja kuivaus. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 29–30.)

Ennen uuttamista liukseen sekoitetaan sekoitussäiliössä orgaaninen liuotin, uuttoreagenssi ja modifiointiaine. Uraaniyhdisteet siirtyvät uuttoliukseen, jonka jälkeen orgaaninen uuttoliuos erotetaan selkeytsaltaassa laitoksen sisällä, jonka jälkeen se johdetaan takaisinuuhtettavaksi. PLS-liuos johdetaan

selkeytsaltaasta sekoitussäiliöön ja sitten raffinaattialtaaseen ja edelleen esineutralointivaiheeseen. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 30–31.)

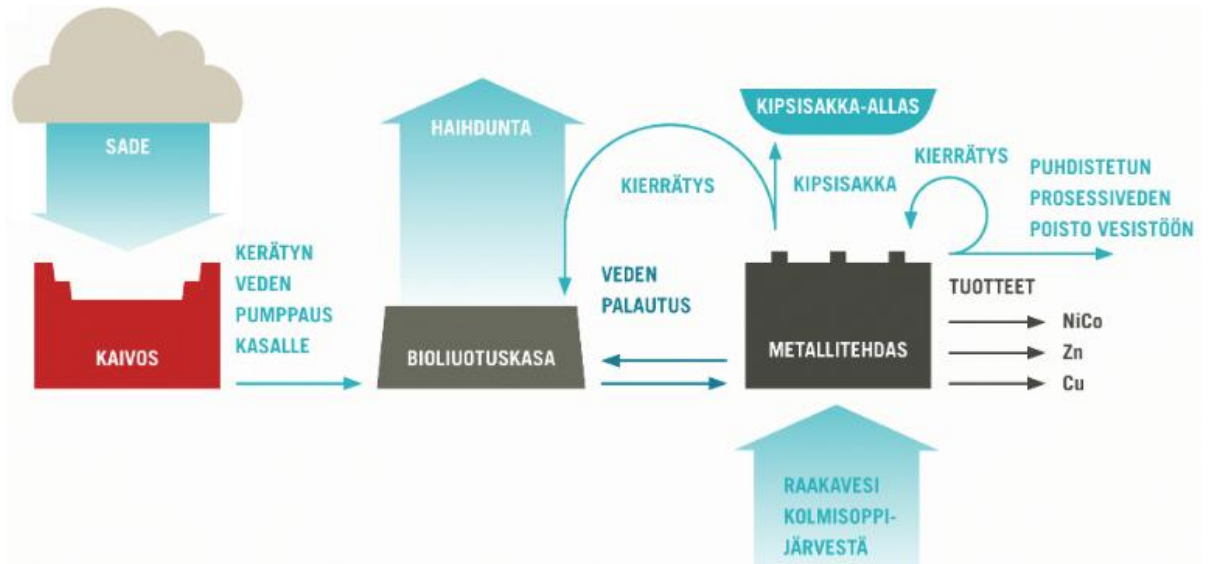
Ennen takaisinuuftoa uuttoliuos pestään rikkihapolla ja vedellä sekoitin-selkeytinlaitteissa. Takaisinuuftossa lisätään natriumkarbonaatti (Na_2CO_3), jonka avulla uraaniyhdisteet uutetaan takaisin vesiliuokseen. Sen jälkeen säädetään uraanipitoisen vesiliuoksen pH:ta ja saostetaan uraania. Takaisinuufton jälkeen orgaaninen uuttoliuos palautetaan uuttolivaiheeseen natriumhydroxidin (NaOH) ja rikkihapon (H_2SO_4) käsittelyn jälkeen. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 31.)

Uraani saostetaan uraaniperoksidina vetyperoksidilla sekoitussäiliöreaktoreissa pH:n säädön jälkeen. Sen jälkeen suodataan tuote. Suodatuksesta johtuva liuos palautetaan PLS-altaaseen ennen uraanin talteenottoa tai saostusvaiheen alkuun. Uraaniperoksidisakka johdetaan kuivatukseen kuivausuuniin. Kuivattu uraanituote pakataan ilmatiiviisiin 200 l:n terästynnyreihin. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 31–32.)

2.7.2 Vesienhallinta

Talvivaaran kaivoksen vesienhallintasuunnitelma päivitettiin viime vuonna ympäristöluvan käsittelyn aikana. Vesienhallintasuunnitelma käsittelee kaikkia kaivosalueelle tulevia vesiä, alueella muodostuvien jätevesien määrät ja laadut, vesien käsittelyn sekä vesitaseen liittyvien haasteiden hallitsemisen. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 79.)

Talvivaaran kaivos ottaa tarvittavan raakaveden ($4\,000\text{ m}^3/\text{h}$) Kolmisoppijärvestä ja mahdollisen lisäveden Nuasjärvestä. Vuonna 2013 otettiin $1\,536\,877\text{ m}^3$ vettä Kolmisoppijärvestä ja $16\,577\text{ m}^3$ vettä alueen porakaivosta. Vesitaseeseen tulee vettä myös sadannasta (Kuva 21). Kaivosalueelta poistettavan veden määrä on riippuvainen tulevan veden määrästä sekä haihdunnasta. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 80; Pöyry 2014b; Talvivaara, viitattu 20.10.2014.)



Kuva 21. Talvivaaran kaivoksen vesitase (Talvivaara, viitattu 20.10.2014).

Jätevesiä (noin 6,2–7,8 Mm³) varastoidaan kaivosalueella, joko käsiteltyjä tai käsittelemättömiä. Jätevedet ovat suurimmaksi osaksi happamia, pH 3,9–4,7, ja sisältävät varsin kohonneita nikkelpitoisuuksia. Kuitenkin Kuusilammessa, louhoksen eteläjälkikäsitteilyalueella ja Kärsälammessa vesien pH on emäksisen puolella ja parempi laatuista kuin muualla. Varastoituneiden vesien lisäksi kaivosalueella muodostuu likaisia vesiä sadannasta ja prosesseista. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 81–82.)

Jätevesien käsittely tapahtuu useamassa kohteessa kaivosalueella:

- Metallien talteenottolaitoksella: - välineutralointi (esineutralointi), raudan saostus, loppuneutralointi,
- Avolouhoksen vesienkäsittely Kortelammella ja Tammalammella: - neutralointi kalkkimaidolla (Ca(OH)₂) ja selkeytysallas,
- Suojapumppausvesien ja tehdasalueen hulevesien käsittely (neutralointi),
- Jälkikäsitteily-yksiköt: - Haukilampi/Kärsälampi, Torrakkopuro, Härkälampi (jälkiselkeytyksen ja pH:säätö kalkkimaidolla tarvittaessa) (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 83–84).

Vesienkäsittelyssä käytetään kalkkikiveä tai kalkkia vesien neutralointiin. Käytetty menetelmä poistaa metalleja ja sulfaattia jätevesistä. Kaivoksessa

käytetään myös käänteisosmoosiin perustuvaa suolanpoistomenetelmä. Menetelmässä suodatetaan vettä korkeassa paineessa puoliläpäisevän kalvon läpi. Kaivosalueella muodostuvat puhtaat vedet (valumavedet) johdetaan vesistöön erillään jätevesistä. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 84–86.)

Kaivoksen vesitase on jaettu neljään tasealueeseen: bioliuotusprosessi, kipsisakka-altaat, Kortelampi ja avolouhokset. Suurimman osa bioliuotusprosessin vesistä kierrätetään. Bioliuotusprosessiin otetaan myös raakavettä ja porakaivovettä. Osa vesistä johdetaan pois prosessista kipsisakka-altaalle. Avolouhoksen vesiä käsitellään (neutraloidaan), ja sitten johdetaan kipsialtaaseen. Kortelammen vedet ovat peräisin valunnasta ja ne johdetaan käsittelyn jälkeen suoraan vesistöön. Kipsisakka-altaista vedet johdetaan ympäristöön Kuusilammen tai Härkälammen kautta, mutta on mahdollista palauttaa vesiä takaisin liuoskiertoon. Vesienhallinnan parantamiseksi ja patovuotojen ehkäisemiseksi rakennettiin uusia patoja kipsisakka-aitaiden alapuolella. Vuonna 2013 johdettiin vesistöön 5 705 498 m³ vettä, josta 60 % Oulujoen vesistöön ja 40 % Vuoksen vesistöön. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 88–91; Pöyry 2014b.)

Talousjätevedet käsitellään sanitettijätevedenpuhdistamolla biologis-kemiallisella jälkisaostusmenetelmällä, jonka jälkeen vedet johdetaan Mourunpuroon. Liete sakeutetaan ja kuljetetaan Kajaanin tai Lapinlahden jätevedenpuhdistamolle kuivattavaksi ja kompostoitavaksi. Vuonna 2013 saniteettivesipuhdistamolla käsiteltiin 7 423 m³ vettä. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 96–97; Pöyry 2014b.)

Mikäli kaivoksessa otetaan talteen uraania, prosessiin tarvittava vesi saadaan kaivoksen olemassa olevasta vesilaitoksesta. Vesi on peräisin Kolmisopen järvestä ja on puhdistettu kemiallisesti. Uraanin talteenottolaitokseen tarvitaan 50–60 m³/h vettä jäähtytykseen, prosessiin ja saniteettivedeksi. Käytetty vesi johdetaan metallien talteenottoon prosessiin tai kierrätetään uraanin talteenottoon prosessiin. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 97–98.)

2.7.3 Päästöt vesiin

Kaivoksesta aloitettiin johtaa vesiä jälkikäsitteily-yksiköiden kautta vesistöön jo vuoden 2009 lopussa. Jätevesien juoksutuksen vaikutus vesistöön alkoi näkyä 2010 Salmisen ja Kalliojärven suunnalla sekä Ylä-Lumijärven ja Kivijärven suunnalla. Lähijärvien sähkönjohtavuus ja sulfaatti- ja natriumpitoisuudet nousivat. Salmisen järvessä, Kalliojärvessä ja Kivijärvessä huomattiin pysyvää kerrostumista ja hapettomuutta. (Pöyry 2014b.)

Prosessin ylijäämävedet voidaan johtaa takaisin prosessiin tai käänteisosmoosilaitoksen, Haukilami/Kärsälampi jälkikäsitteilyyn tai suoraan vesistöön Lumijokeen. Käänteisosmoosilaitokseen aloitettiin johtaa prosessivesiä syyskuusta 2013. Viime vuonna 31.5.2013 kaivokselle annettiin veden laatua liittyviä raja-arvoja. Vesien pH ei saa ylittää 10,5. Viime vuonna vesiä johdettiin vesistöön yhteensä 27 päivän aikana heinä-syyskuussa ja ylitevesien pH vaihteli 8,4–11,3 välillä. Sulfaattipitoisuudet nousivat vesistöissä juoksutuksen seurauksena. Korkeimmat pitoisuudet mitattiin Kivijoesta (1500 mg/l). (Pöyry 2014b.)

Jätevesien kiintoaineen hehkutusjäännöksen neljänneskeskiarvot olivat myös melko kohonneita (<1–290 mg/l) viime vuonna, ja ylitti ympäristöluvan asetetut rajat Kärsälammella, Kortelammella ja Torvelansuolla. Nikkelipäästöt 2013 ovat kuitenkin pysyneet alhaisina, ja kuparipitoisuus oli maksimillaan 120 µg/l. Jätevedet sisältävät ajoittain kohonneita rautapitoisuuksia, ja mangaanikuormitus oli kohonnut etelän suuntaan vesistöissä. (Pöyry 2014b.)

Kaivosyhtiö suunnittelee vesien käsitteilytekniikoiden parantamista. Mahdolliset käsitteilymenetelmät voivat olla etringittisaostus, nanosuodatus, biologiset menetelmät tai uudet tehokkaammat adsorbenttimateriaalien käyttö. Jätevesien laatua parannetaan myös prosessimuutoksilla, jotka on suunniteltu otettavan käyttöön vuonna 2015. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 93–95.)

2.8 Kevitsa

Kevitsa Mining Oy on kanadalaisen First Quantum Minerals (FQM) LTD:n tyttäryhtiö. FQM tuottaa pääosa kuparia ja nikkeliä seitsemästä kaivoksesta, kolmelta maanteerelta. Suomessa FQM:lla on kaksi kaivosta: Pyhäsalmi ja Kevitsa. (FQM Kevitsa Mining, 2.)

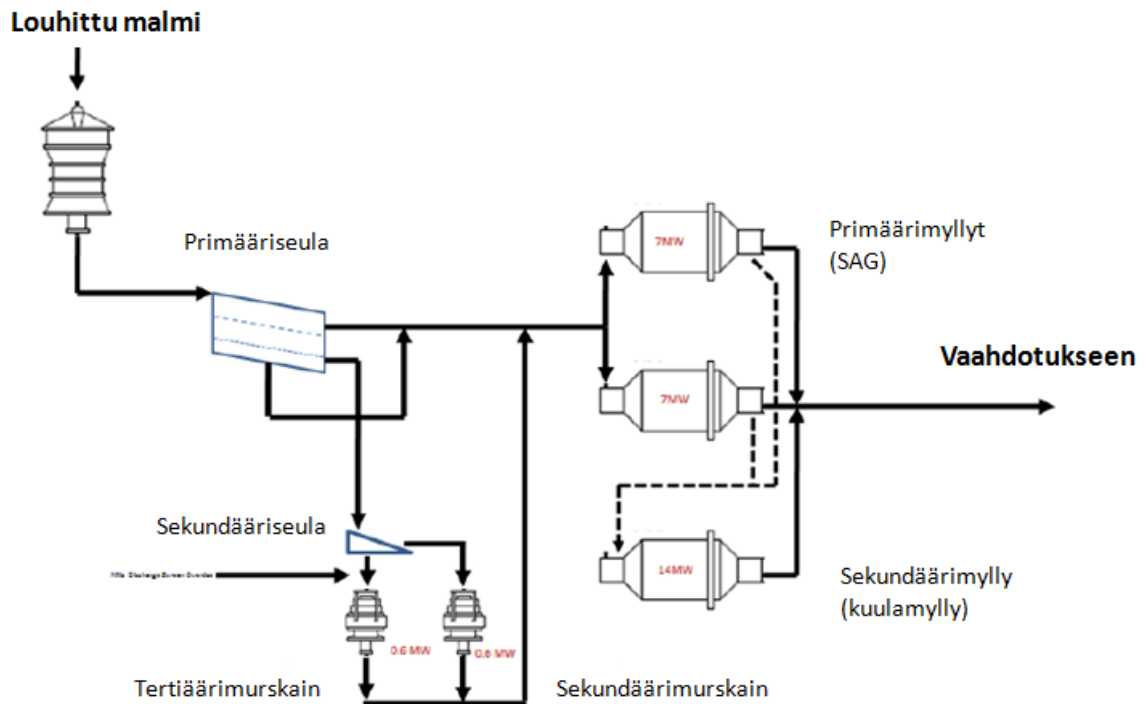
Geologian tutkimuskeskus löysi Kevitsan mineraaliesiintymä vuonna 1987. Outokumpu Mining Oy jatkoi tutkimuksia 1995–1998 välillä ja Scandinavian Gold Prospecting AB kehitti hanketta edelleen 2000 –luvun alussa. Kevitsa Mining Oy perustettiin 2006, ja FQM osti projektin vuonna 2008. Kevitsan kaivos sai ympäristölupa vuonna 2009, ja tuotanto aloitettiin 2012. (FQM Kevitsa Mining Oy, luettu 23.10.2014.)

Kevitsan kaivoksen tuotteet ovat nikkeli-PGE rikaste sekä kuparirikaste. Kaivos sai laajennusluvan heinäkuussa 2014, joka mahdollistaa tuotannon nostoa 10 Mt:iin vuodessa. (FQM Kevitsa Mining, 6; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014c, 9–10.)

2.8.1 Rikastusprosessi

Malmi louhitaan avolouhoksena pengerlouhintamentelmää käyttäen, minkä jälkeen se kuljetetaan murskaamolle. Ensimmäinen rikastusprosessin vaihe on malmin murskaus (Kuva 22). Primäärimurskaukseen käytetään leukamurskainta, jonka jälkeen malmi seulotaan kaksitasoisella täryseulalla. Yläseulan ylite ja alaseulan alite yhdistetään ja siirretään välivarastoon, josta se syötetään jauhatukseen. Täryseulasta saatu keskikokoinen aines johdetaan sekundäärimurskaimeen (karamurskain), jonka jälkeen ylite palautetaan varastokasaan. Sekundääri-murskaimesta saatu aines yhdistetään primääriseulan karkeaan ja hienoon ainekseen. Sekundäärimurskauksesta alite johdetaan tertiäärimurskaan, jonka jälkeen se johdetaan välivarastoon. Kappalekoko murskauksen jälkeen on alle 18 mm. (Mukutuma 2014, 2–3; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014c, 12–15.)

Välivarastosta malmi syötetään kahdella lamellisyyötinparilla kahteen primääri semi-autogeeni myllyyn, johon syötetään myös teräskuulia (Kuva 22). Primäärимyllyjen tuote seulotaan, ja osa alitteesta johdetaan sekundäärимyllyn ja osa hydrosykloneihin. Ylite siirretään palasiiloon murskausta varten. Teräskuulien jäämiä erotetaan kahdella magneetilla, jotka ovat asennettu kuljettimella. (Mukutuma 2014, 3.)



Kuva 22. Kevitsan kaivoksen murskaus – jauhatuspiiri (Mukutuma 2014, 15).

Sekundäärимylly toimii suljetussa piirissä kahden hydrosykoni-ryhmän kanssa. Myllyn teho on kaksinertainen (14 MW) verrattuna primäärимyllyjen tehoon, ja jauhatuksen käytetään pelkästään teräskuulia. Hydrosyklonien ylite johdetaan vaahdotukseen. (Mukutuma 2014, 3.)

Vaahdotusprosessi perustuu kuparin ja nikkelin selektiiviseen vaahdotukseen (Liite 10). Ensimmäisessä vaiheessa otetaan talteen lietteestä kupari kuudessa esi- ja ripevaahdotuskennossa, jonka jälkeen rikaste puhdistetaan 17 vaahdotuskennoa käyttäen. Kuparin vaahdotus tapahtuu korkeassa pH:ssa (pH 11–12). Kuparivaahdotuksesta liete johdetaan nikkelivaahdotuspiiriin. Lietteen pH lasketaan 9–10 nikkeliesivaahdotuksessa (14 vaahdotuskennoa), ja sen jälkeen kertausvaahdotus tehdään pH:ssa 10–11. Nikkelikertausvaahdotuspiiriin

kuuluu myös sykloneja, jonka avulla rikaste selkeytetään, ja kuulamyly. Myllyn avulla malmin koko pienennetään 80 % alle 20 µm:in. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014c, 16.)

Viimeinen vaahdotuksen vaihe on sulfidimineraalien vaahdotus. Sulfidirikaste on happoa muodostavaa, ja se sijoitetaan rikastushiekka-altaalle B. Muu rikastushiekkaliete sijoitetaan rikastushiekka-altaalle A. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014c, 16.)

Tuotannon laajennuksen myötä vuonna 2014 tehtiin muutoksia vaahdotuspiirissä kierrätysvirtojen vähentämiseksi. Piiriin on lisätty myös yksi suuri mekaaninen kenno ja vaahdotuskolonneja. Kenno mahdollistaa ylimääräistä vaahdotuskapasiteettia, ja parantaa hydrofiilisten harmeminaalien erottelua. (Mukutuma 2014, 3–4; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014c, 16–17.)

Vaahdotuksesta saatu kupari- ja nikkelikaste sakeutetaan ja suodataan. Sakeutus tehdään flokkulantia käyttäen, jonka jälkeen rikaste käsitellään painesuodattimilla. Rikasteen lopullinen kosteuspitoisuus on alle 10 %. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014c, 17.)

Rikastusprosessissa käytetään useampia kemikaaleja (Taulukko 7), erityisesti vaahdotuksessa. Kokoojakemikaaleina lisätään vaahdotusprosessiin natrium-metyyliksantaatti (SEX), natriumisopropyyliksaantaatti (SIPX) sekä natrium-diisobutyylidi-tiofosfinaatti (Aerophine 3418A). Vaahdotteena on käytetty MIBC:tä ja Nasfrothia sekä jälkivaahdotuksessa Flotanolia/Brenfrothia. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014c, 20.)

Kalsiumhydroksidia (sammutettu kalkki) ja rikkihappoa käytetään vaahdotuksessa pH:n säätöön. Karboksimeetyyliselluloosaa lisätään prosessiin rautasulfidien ja silikaattien vaahdottamisen estämiseksi ja natriumsulfiitin rooli on irrottaa kupari-ionit magneettikiisun pinnasta. Rikasteen sakeutukseen käytetään flokkulanteja. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014c, 20–21.)

Taulukko 7. Kevitsan kaivoksen rikastusprosessissa käytetyt kemikaalit vuosina 2012–2013 sekä arvioitu määrä maksimi tuotannolla (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014c, 17; VAHTI, luettu 3.9.2014).

Kemikaalit	Käytetty määrä (t)		Arviottu määrä maksimi tuotannolla (t)
	2012	2013	
Natriul-di-isobutyli-ditiofosfinaattia	27	34	100
Metyyli-isobutylikarbinoli	108	36	Ei käytetä
Brennfroth 500 / Flotanol	27	55	80
Kalsiumhydroxidi (Ca(OH) ₂)	2 594	2 023	5 000
Natriummetyyliksantaatti	500	545	750
Natriumisopropyliksantaatti	-	103	750
Karboksimetyyliselluloosa	76	134	600
Natriumsulfiitti (NaSO ₃)	15	94	Ei käytetä
Nasfroth	-	164	650
Kaliumamyyliksantaatti	121	116	500
Flokkulantti (Fennopol N200)	1	4	100
Rikkihappo (H ₂ SO ₄)	-	39	5 000

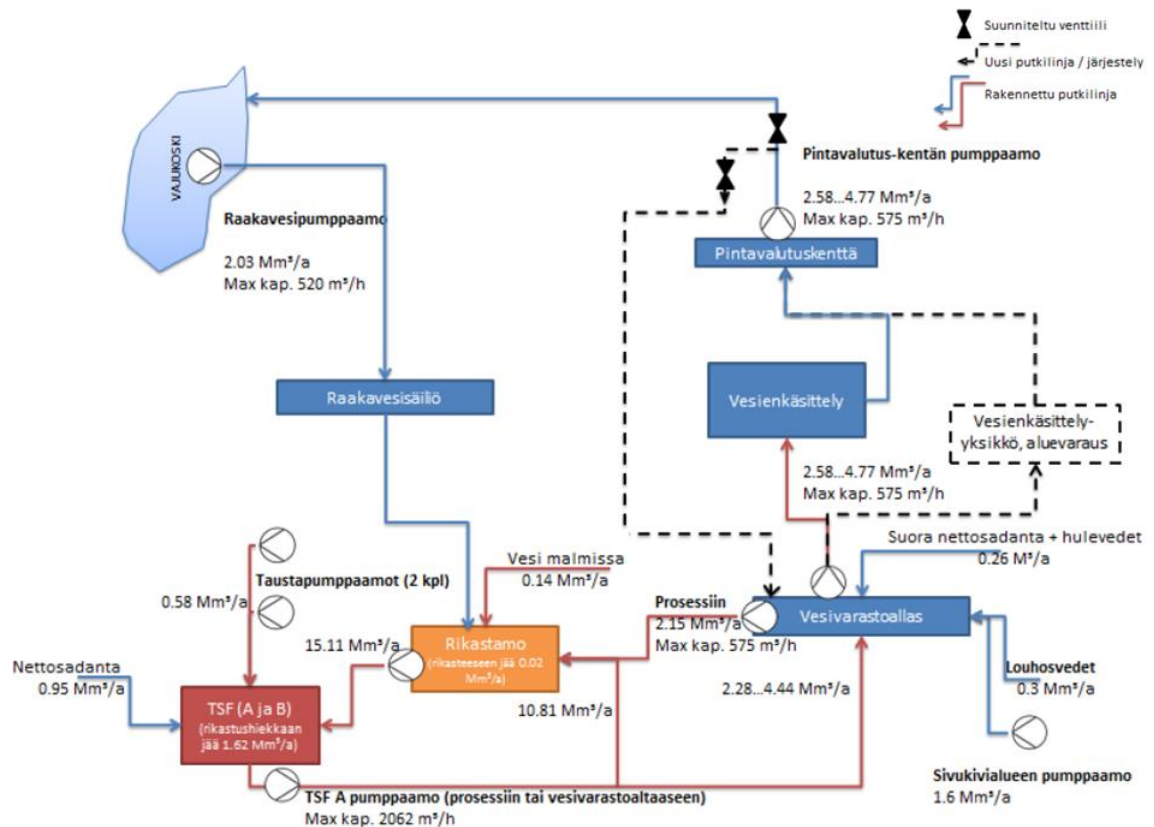
2.8.2 Vesienhallinta

Kevitsan kaivoksen tarvittava raakavesi (noin 213 m³/h) otetaan Kitisestä, Vajukosken patoaltaasta. Kevitsan kaivoksen vesitase on esitetty alla olevassa kuvassa. Vuonna 2013 otettiin 1 764 000 m³ raakavettä, mutta prosessimuutoksien myötä raakavedenotto on arvioitu laskevan 1 350 000 m³. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014c, 18.)

Rikastusprosessissa käytetään 2,3 m³ vettä rikastettavaa malmitonnia kohti. Maksimituotannolla (10 Mt/v) prosessissa käytetään vuosittain noin 22,7 Mm³ vettä. Suurin osa vedestä on käytetty jauhatukseen (1 858 m³/h). Vesi otetaan jauhatuspiiriin rikastushiekka-altailta tai vesivarastoaltaalta. Jauhatuksesta vesi johdetaan lieteen kanssa vaahdotukseen. Vaahdotukseen lisätään edelleen kiertovettä yhteensä 546 m³/h. Vaahdotuskennojen rännien huuhteluun käytetään 834 m³/h kiertovettä ja tarvittaessa raakavettä. Myös sakeutukseen lisätään 168 m³/h kiertovettä ja 10,4 m³/h raakavettä. Raakaveden osuus rikastusprosessissa on vain 10 %. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014c, 26.)

Rikastusprosessista johdetaan vettä rikastushiekan mukana rikastushiekka-altaille. Lietteen vesipitoisuus on 70 %. Rikastushiekka-altailta tulevia

suotovesiä on mahdollista pumpata takaisin rikastushiekka-altaalle. Rikastushiekka-altaalta B vesi johdetaan rikastushiekka-altaalle A, josta vesi ohjataan automaattisesti rikastamolle prosessivesitankkiin tai vesivarastoaltaaseen. Rikastushiekka-altaassa A on myös mahdollista varastoida vettä enintään 1,5 Mm³. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014c, 27–28.)



Kuva 23. Kevitsan kaivoksen vesitase 2013 (Syrjälä 2013).

Kaivosalueen hule- ja valumavedet sekä lämpölaitoksen lauhdevedet kerätään hulevesialtaaseen. Hulevesialtaassa kiintoaine laskeutuu. Öljyä sisältävät vedet johdetaan hulevesialtaaseen öljynerotuskaivojen kautta. Malmivaraston hulevedet johdetaan rikastushiekka-altaalle A tarvittaessa. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014c, 28.)

Vesivarastoaltaalle johdetaan avolouhoksen kuivatusvedet sekä moreenin läjitysalueiden ja sivukivialueen hulevedet. Vesivarastoltaan tilavuus on 860 000 m³. Vesivarastolta on mahdollista pumpata vedet rikastusprosessiin tai pintavalutuskentän ja vesienkäsittelyn kautta vesistöön. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014c, 29–31.)

Ennen vesien johtamista pintavalutuskentälle ne pumpataan vesikäsitelyyn. Vesienkäsitelyssä nostetaan veden pH:tta kalsiumhydroksidilla metallien saostamiseksi. Metallit saostuvat ja laskeutuvat selkeytsaltaassa ja sen jälkeen ylitevesi neutraloidaan neutralointisäiliössä. Neutraloitu vesi johdetaan pintavalutuskentälle. Pintavalutuskentän pinta-ala on 15 ha ja turpeenpaksuus on 0,1–1,8 m. Vesi puhdistuu passiivisesti fysikaalisten, kemiallisten ja biologisten prosessien seurauksena. Pintavalutuskentälle pidättyy nikkeliä, kiintoainetta, typpeä sekä muita haitta-aineita. Pintavalutuskentältä vedet johdetaan vesistöön (Vajukosken altaaseen). Vuonna 2013 johdettiin vesistöön 2 404 000 m³ vettä. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014c, 30–32.)

Saniteettivedet käsitellään jätevesipuhdistamolla, joka on panostoiminen kemiallinen saostuslaitos. Puhdistukseen käytetään lipeää ja PIX (FennoFloc), jotka annostellaan automaattijärjestelmän avulla. Päivittäin jätevesipuhdistamolla käsitellään 30 m³ talousjätevettä. Jätevesipuhdistamolta saatu ylijäämäliete toimitetaan jatkokäsittelyyn. (Alatalo 2014, 1; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014c, 38–39.)

2.8.3 Päästöt vesiin

Kevitsan kaivoksen kuormitus pintavesistöön lasketaan pintavalutuskentälle johdettavasta vedestä. Pintavalutuskentälle johdetavan veden laadulla on samanlaisia piirteitä kuin vesivarstoaltaan vedellä, mutta metallien ja kiintoainepitoisuudet ovat alhaisempia vesikäsitelyn jälkeen. Vesivarstoaltaan vesi sisältää kiintoainetta, metalleja, sulfattia, fosforia ja typpiyhdisteitä. Louhoksen ja valumavesien metallikoostumus riippuu alueen maa- ja kallioperän laadusta ja tästä syystä louhosvedessä on korkeita nikkelpitoisuuksia. Prosessivedet sisältävät kemikaalijäämiä, mutta suurin osa kemikaaleista sitoutuu rikasteseen ja osa hajoaa rikastushikka-altaassa. Rikastusprosessikemikaalien jäämiä seurattiin jätevesissä ja on huomioitu hajoamistuotteiden (kalium, natrium, natrium) pitoisuuksien nousu Kitiseen pumppattavassa vedessä. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014c, 33–38.)

Vuoden 2013 tarkkailuraportin mukaan pintavalutuskentälle johdettu vesi sisälsi 0,007–0,350 mg/l nikkeliä, < 0,011 mg/l kuparia, 140–660 mg/l sulfattia ja kiintoaineen hehkutusjäännös pysyi 2,0–8,5 välillä. Pintavalutuskentälle kohdistuva kuormitus oli 2013 156,7 kg nikkeliä ja 6,13 kg kuparia. (Ramboll 2014b, 12–14.)

Puhdistetut ylitevedet johdetaan Kitiseen Vaajusen altaaseen, voimalaitoksen yläpuolelle. Vaajusen altaaseen johdettiin 2013 yhteensä 2 400 318 m³ vettä. Kuormitus Vaajusen vesistöön oli 66,1 kg nikkeliä ja 3,8 kg kuparia, joka osoittaa että pintavalutuskenttä on pitäytynyt hyvin nikkeliä ja kuparia. Vaajusen altaan vedenlaadussa ei huomattu muutoksia edellisiin vuosiin verrattuna ja veden happitilanne oli hyvä. Nikkelin ja kuparin pitoisuudet Vaajusen altaassa jäivät hyvin pieniksi. Kuitenkin havaittiin sulfaattipitoisuuden nousu alavesissä vuoteen 2012 verrattuna. Myös klooripitoisuudet altaassa olivat luontaisen taustapitoisuuksien verrattuna hieman korkeampia. (Ramboll 2014b, 14–14; Ramboll 2014c, 7–11.)

Vuonna 2013 lopussa havaittiin Mataraojan sähkönjohtavuuden ja sulpattipitoisuuden nousu ja epäiltiin kaivosvesien pääsyä Mataraojaan. Pitoisuuksien nousun syynä epäiltiin pumppaamon penkereen läpi tapahtuvaa suotautumista tai pintavalutuskentän oikovirtauksien aiheuttamaa lisäkuormitus. Tapahtuman seurauksena yhtiö teki lisätutkimuksia ja Mataraojan veden laatua seurattiin tiheämmin. (Ramboll 2014b, 33–34.)

Kevitsan kaivoksen lähijärvet (Saiveljärvi ja Satojärvi) ovat matalia ja runsashumuksisia. Saiveljärvessä vuonna 2013 happitilanne oli hyvä kesällä, mutta joulukuussa happipitoisuus alkoi laskea molemmissa järvessä. Talven aikana Satojärvi jäätyn pohjaan asti. Satojärvessä seurataan pinnankorkeutta. Vuonna 2013 pinnankorkeus vaihtelu oli samalainen kuin 2012 (alle 80 cm), eikä havaittu pinnan korkeuden alenemaa. (Ramboll 2014c, 14–16.)

2.9 Hitura

Hituran kaivos sijaitsee Pohjois-Pohjanmaalla, Nivalassa ja sen historia juontaa juurensa 1960-luvun lopulle. Outokumpu Mining Oy teki päätöksen kaivoksen avaamisesta 1969 ja vuotta myöhemmin tuotanto käynnistyi. Kuitenkin malmin alhaisen nikkeli- ja kuparipitoisuuden ja metallien hintakehityksen vuoksi tuotanto keskeytettiin neljä kertaa: 1982–1985, 1986–1988, 1998–1999 ja 2008–2010. (Belvedere, viitattu 27.10.2014; Kirjastovirma, luettu 27.10.2010.)

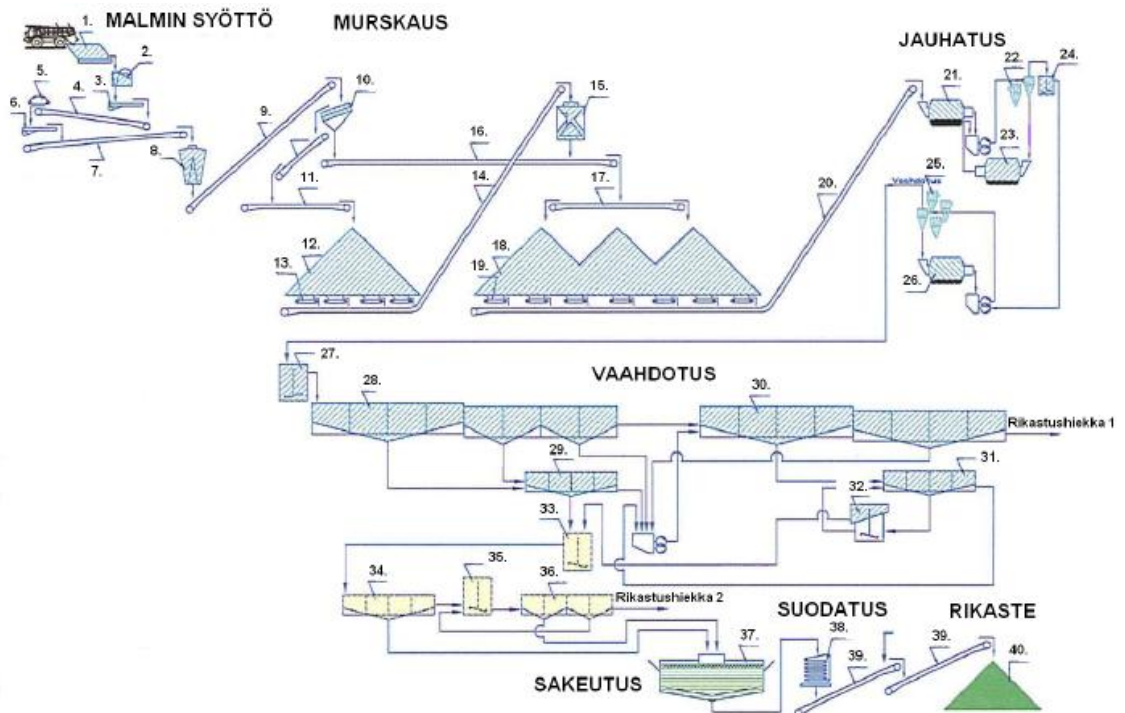
Alkuvuosina malmi louhittiin avolouhoksesta, mutta 1990–1993 aikana tuotanto siirtyi maanalaiseen kaivokseen. Kaivos on nyt +630 m syvä ja sen malmivarat ovat 1,3 miljoonaa tonnia (0,67 % Ni) ja mineraalivarannot 2,4 miljoonaa tonnia (0,66 % Ni) vuoden 2010 arvioinnin mukaan. Kaivos tuottaa nikkelikastetta, jossa on pieniä määriä kuparia, kobolttia, platinaa ja palladiumia. Kanadalainen yhtiö Belvedere Mining Oy omistaa täällä hetkellä Hituran nikkeli-kaivoksen. Hituran kaivoksen läheisyydessä on useampia tunnettuja kultaesiintymiä, joista yhtiö on jo aloittanut ympäristövaikutusten arviointimenettelyn Kopsan esiintymän kohdalla. Kesällä 2013 Hituran kaivoksen tuotanto keskeytettiin nikkelin alhaisen hinnan vuoksi. (Belvedere, viitattu 27.10.2014; Belvedere Resources, luettu 27.10.2014; Mainio 2014, viitattu 27.10.2014.)

2.9.1 Rikastusprosessi

Malmi louhitaan maanalaisessa kaivoksessa, jonka jälkeen se kuljetetaan vinotunnelia pitkiin maan päälle rikastettavaksi. Rikastusprosessi sisältää murskauksen, jauhatuksen, vaahdotus ja veden poiston, jonka jälkeen rikaste varastoidaan (Kuva 24). (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010b, 10–11.)

Louhittu malmi kipataan vaunusyöttimeen tai tilapäiseen varastoon ennen murskausta. Murskaus on kolmevaiheinen. Ensin malmi syötetään leukamurskaimeen, jonka jälkeen se siirretään raudan erottimen kautta karamurskaimeen. Toisen murskausvaiheen jälkeen malmikappaleet seulotaan. Yli 16 mm:n aines (ylite) johdetaan välivarastoon ja sieltä edelleen kolmanteen murskausvaiheeseen (kartiomurskaimeen). Seulalan alite sekä kartion tuote

johdetaan katettuun varastoon, josta se siirretään jauhatukseen. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010b, 11–12.)



- | | | |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|
| 1. Vaunusyötin | 2. Leukamurskain | 3. Tärysyötin |
| 4. Hihnakuljetin | 5. Raudan erotin | 6. Tärysyötin |
| 7. Hihnakuljetin | 8. Karamurskain | 9. Hihnakuljetin |
| 10. Täryseula | 11. Hihnakuljetin | 12. Välivarasto |
| 13. Hihnasyötin | 14. Hihnakuljetin | 15. Kartiomurskain |
| 16. Hihnakuljetin | 17. Hihnakuljetin | 18. Katettu murskevarasto |
| 19. Hihnasyötin | 20. Hihnakuljetin | 21. Tankomylly |
| 22. Hydrosykloniluokitin | 23. Kuulamyly | 24. Ilmastaja |
| 25. Hydrosykloniluokitin | 26. Kuulamyly | 27. Vaimennin |
| 28. Vaahdotuskone | 29. Vaahdotuskone | 30. Vaahdotuskone |
| 31. Vaahdotuskone | 32. Vaahdotuskone | 33. Vaimennin |
| 34. Vaahdotuskone | 35. Ilmastaja | 36. Vaahdotuskone |
| 37. Sakeutin | 38. Painesuodatin | 39. Hihnakuljetin |
| 40. Nikkelirikasteen varasto | | |

Kuva 24. Hituran kaivoksen rikastusprosessikaavio (Ahma ympäristö Oy 2013, 12).

Jauhatuspiiriin kuuluu tankomylly, kaksi kuulamylyä sekä hydrosykloniluokittimia. Murskattu malmi syötetään tankomyllyyn hihnasyöttimillä. Tankomyllystä malmi syötetään hydrosykloniluokittimille. Luokittimen alite johdetaan ensimmäiselle kuulamylylle ja ylite toiselle kuulamylylle. Ensimmäisen kuulamylylyn tuote palautetaan sykloniin edelleen luokiteltavaksi. Toisen kuulamylylyn tuote johdetaan hydrosykloniin. Sykloniin alite palautetaan

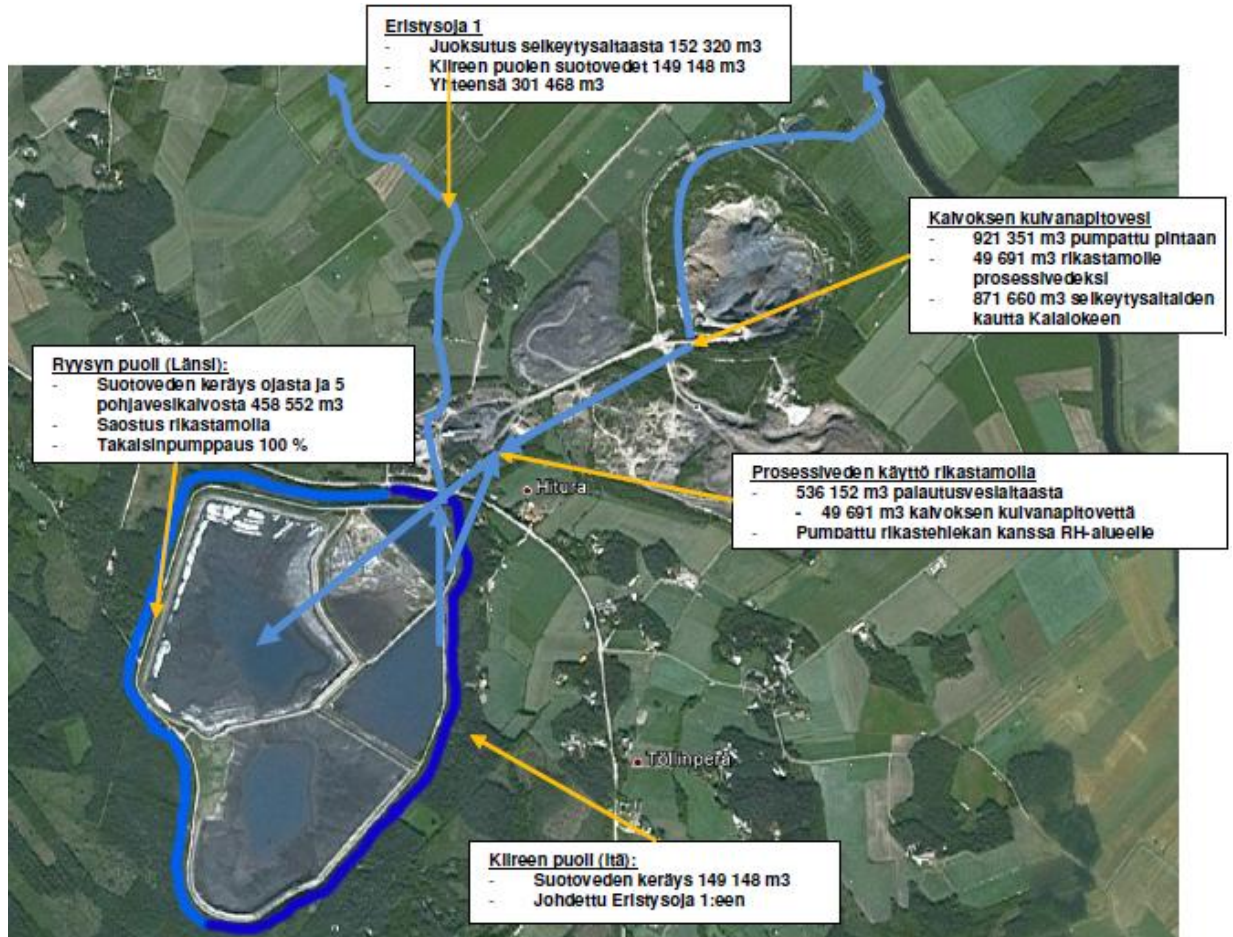
kuulamyylylle ja ylite siirretään vaahdotukseen. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010b, 11–12.)

Vaahdotuksen ensimmäisessä vaiheessa (esivaahdotus) erotetaan sulfidit harmemineraaleista. Prosessiin lisätään rikkihappoa pH:n säätämiseksi, ksantaatteja kokoojakemikaaleina sekä sylvapinea vaahdoteena. Esivaahdotuksen rikaste johdetaan kertausvaahdotuspiiriin ja alite ripevaahdotukseen ja sieltä edelleen kertausvaahdotukseen. Ripevaahdotuksen alite palautetaan ripevaahdotukseen. Kertausvaahdotuksen rikaste johdetaan magneettikisuerotukseen, jossa lietteen pH nostetaan kalkilla noin tasolle 10 ja prosessiin lisätään tärkkelyasetaatti silikaattipainajana. Rikasteen loppullinen nikkelpitoisuus on 8–10 %. Vaahdotusprosessissa muodostunut jäte pumppataan rikastushiekka-altaaseen. Vaahdotukseen jälkeen rikastesta poistetaan vettä sakeutamalla ja painesuodatimella. Sakeuttimen ylitevesi palautetaan esivaahdotukseen. Nikkelirikaste varastoidaan rikastehalleissa. (Pohjois-Suomen aluehallinto-virasto 2010b, 12–13.)

2.9.2 Vesienhallinta

Kaivosalueella tarvittava talousvesi (23 m³/vrk) otetaan Nivalan Vesi Oy:n vesijohtoverkostosta. Rikastusprosessissa käytetään kierrätysvettä. Prosesiin tarvitaan noin 8 000–9 000 m³/vrk vettä. Syksystä 2001 lähtien rikastushiekka-alueen läntisen ympärysojan vedet on palautettu rikastushiekka-alueelle. Myös alueen sade- ja sulamisvedet johdetaan rikastushiekka-alueelle. Vuoden 2013 vesitase on esitetty kuvassa 25. (Pohjois-Suomen aluehallinto-virasto 2010b, 20.)

Kuivanapitovesi kierrätetään osittain rikastusprosessiin ja osa johdetaan laskeutusaltaiden kautta Kalajokeen. Vuoden 2013 aikana johdettiin rikastamoon 49 691 m³ ja Kalajokeen 871 660 m³ kuivanapitovettä. Rikastushiekka-alueen selkeytysaltaan kautta juoksetaan myös itäpuolen rikastushiekka-alueen suotovesiä. Vuonna 2013 juoksettiin tätä kautta 301 468 m³ vettä. Vesienkäsittelyyn käytetään Na-hydroksidia tai kalkkimaitoa metallien saostukseen. (Latvala 2014, 4–6.)



Kuva 25. Hituran kaivoksen vesitase 2013 (Latvala 2014, 6).

Saniteettivedet käsitellään biologisessa pienpuhdistamossa, jossa vedet saostetaan saostus-ilmastusaltaassa ja sen jälkeen ne johdetaan 18 m³ selkeytsaltaaseen. Fosforin saostukseen käytetään ferrosulfaattia. Puhdistetut vedet johdetaan Eristysojan 1:n kautta Kalajokeen. Vuosittain puhdistamolta juoksetetaan noin 3 000–4 000 m³ vettä. Puhdistamon liete kuljetetaan Nivalan kaupungin jätevedenpuhdistamolle käsiteltäväksi. (Pohjois-Suomen aluehallinto-virasto 2010b, 21.)

2.9.3 Päästöt vesiin

Vesistöön johdetaan kuivanapitovesiä, rikastushiekka-alueen itäpuolen suotovesiä sekä puhdistetut saniteettivedet. Kaivoksen kuivanapitovesien pH on 7,0–8,2 ja vedet sisältävät nikkeliä (0,12–0,3 mg/l) ja sulfaattia (430–570 mg/l). Vedessä on kalliosta peräisin olevaa magnesiumia, kalkkia ja klooria sekä rääjähdysainejäämiä. (Pohjois-Suomen aluehallinto-virasto 2010b, 28–29.)

Rikastushiekka-altaasta olevan suotoveden nikkeli-, sulfaatin ja kiintoainepitoisuudet ovat monikertaisia kuivanapitovesiin verrattuna. Puhdistetut saniteettivedet sisältävät fosfaattifosforia, typeä sekä kiintoainetta. Vuoden 2013 vesistökuormitus on esitetty alla olevassa taulukossa. (Pohjois-Suomen aluehallinto-virasto 2010b, 29–30.)

Taulukko 8. Vuoden 2013 vesistökuormitus (Latvala 2014,6).

	Kuivanapitovesi	Suotovesi Eriysojaan	Puhdstamon vesi Eriysojaan
Juoksutettu vesimäärä (m³)	871 660	301 468	1 017
Ni (kg)	61	318	
Fe (kg)	22	2 422	
Co (kg)	7	83	
Cu (kg)	27	22	
Mg (kg)	135 126		
Ca (kg)	147 856		
SO₄ (kg)	287 225	1 385 668	
Kok.N (kg)	2 472		26,40
NO₂-N (kg)	76		
NO₃-N (kg)	1 622		
NH₄-N (kg)	547		
Kiintoaine (kg)	4 703	3 971	38,34
Kok.P (kg)	12		0,60
PO₄-P (kg)	3		
BOD₇ ATU (kg)			9,36
COD (kg)			49,30

2.10 Pyhäsalmi

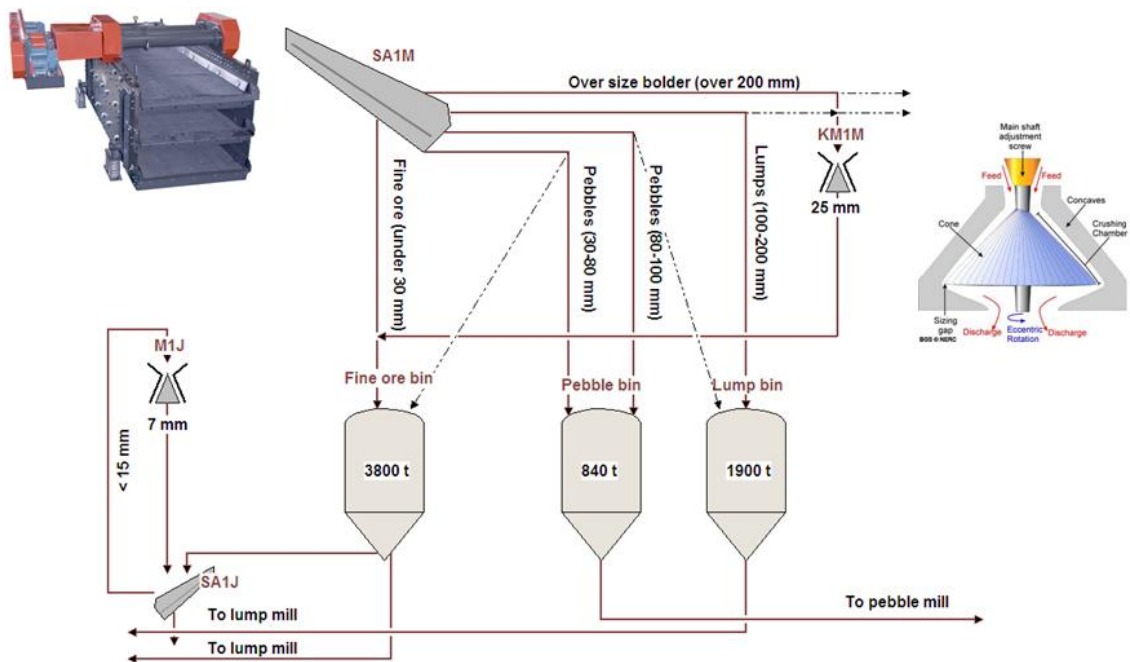
Pyhäsalmen kaivos on vanhin toiminnassa oleva suomalainen metallikaivos. Sinkki-kupari mineraaliesiintymä löydettiin 1958, ja kaivostoiminta aloitettiin avolouhoksena 1962 Outokummun johdolla. Avolouhoksesta louhittiin vuoteen 1975 asti, mutta maanalainen louhinta aloitettiin jo vuonna 1967. Alkuperäisen maanalaisen kaivoksen pohja (+ 840 m) saavutettiin 1992. Vuonna 2001 löydettiin uusi esiintymä ja kaivosta laajennettiin. Nykyään Pyhäsalmen kaivos on syvin kaivos Euroopassa (+ 1410 m). (FQM Pyhäsalmi, viitattu 28.10.2014; GTK Pyhäsalmi Mine, luettu 28.10.2014.)

Outokumpu omisti kaivoksen vuoteen 2002 asti, jolloin se myytiin Inmet Mining:lle. Tällä hetkellä First Quantum Minerals Ltd. omistaa kaivoksen. Viime vuonna kaivos tuotti 14 854 t kuparirikastetta ja 21 679 sinkkirikastetta. Sivutuotteena kaivos tuottaa myös rikkirikastetta. Rikasteet jatkokäsittellään

Harjavallassa ja Kokkolassa. Nykytietojen perusteella Pyhäsalmen kaivoksen malmivarat loppuvat vuonna 2019. (FQM Pyhäsalmi, viitattu 28.10.2014; GTK Pyhäsalmi Mine, luettu 28.10.2014; Pekkala 2014, 14; Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2007b, 8.)

2.10.1 Rikastusprosessi

Malmi louhitaan maanalaisessa kaivoksessa välitaso- ja pengerlouhintamenetelmä käyttäen. Louhinnan jälkeen louhokset täytetään sivukivellä. Louhittu malmi kuljetetaan dumpereilla maanalaiseen murskaamoon. Malmi syötetään 500 t/h kapasiteetin leukamurskaimeen. Murskauksen jälkeen malmikappaleen koko on alle 140 mm. Murskaamosta murske siirretään hihnakuljettimella malmikappaan nostausta varten. Hihnakuljetin on varustettu magnettierottimella raudan poistamiseksi. Malmi nostetaan maan päälle 279 t/h, 15,5 m/s nopeudella. Malmi sitten varastoidaan malmisiilossa, josta se syötetään seulan kautta jauhatuspiiriin. (Pyhäsalmi Mine Oy, 20–21; Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2007b, 9.)

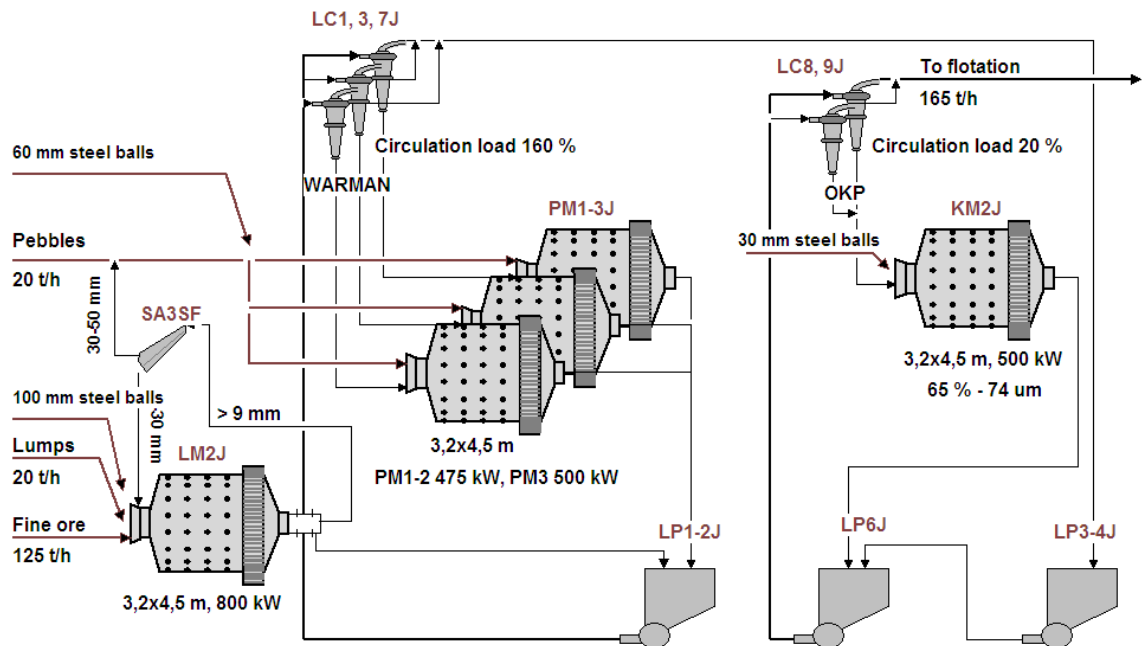


Kuva 26. Pyhäsalmen kaivoksen seula (Pyhäsalmi Mine Oy, 25).

Seulan avulla malmi jaetaan viiteen eri ryhmään koon perusteella (Kuva 26). Hieno aines (< 30 mm) johdetaan murskesiiloon ja sieltä edelleen jauhatukseen

suoraan tai toisen seulan ja karamuiskaimen kautta. Malmipalat (koot 30–80 mm ja 80–100 mm) varastoidaan palasiilossa ennen siirtoa jauhatukseen. Isompi malmiaines (100–200 mm) johdetaan lohkaresiiloon ja sieltä jauhatukseen hienoaineksen kanssa. Yli 200 mm kiviaines johdetaan kartiomurskaimeen, jossa malmikoko piennetään 25 mm kokoon ja sen jälkeen aines siirretään murskesiiloon. (Pyhäsalmi Mine Oy, 25; Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2007b, 9.)

Jauhatus on kolmevaiheinen prosessi (Kuva 27). Primääri- ja sekundäärijauhatuksessa käytetään semiautogeenimyllyjä. Primäärijauhatuksen jälkeen aines seulotaanhydro syklonien avulla ennen siirtamista sekundäärijauhatukseen. Myös sekundäärijauhatuksen jälkeen liete johdetaan syklonien kautta. Syklonien alite palautetaan sekundäärimyllyihin ja ylite johdetaan tertiäärijauhatukseen. Tertiäärijauhatukseen käytetään kuulamylyä. Liete johdetaan sen jälkeen syklonien kautta joko takaisin tertiäärijauhatukseen tai vaahdotukseen. Jauhatuksen jälkeen malminhienous on noin 65 % alle 0,074 mm. (Pyhäsalmi Mine Oy, 26–27; Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2007b, 10.)



Kuva 27. Pyhäsalmen kaivoksen jauhatuspiiri (Pyhäsalmi Mine Oy, 27).

Vaahdotuspiirissä (Liite 11) vaahdotaan selektiivisesti ensin kuparikiisu kuparirikasteeksi (Liite 12). Toisessa vaiheessa erotetaan sinkkivalke sinkkirikasteeksi (Liite 12) ja viimeisessä vaiheessa otetaan talteen rikkikiisu pyriittirikasteeksi (Liite 13). Jokainen selektiivinen vaahdotuspiiri sisältää esi-, ripe ja kertausvaahdotuskennot. Kupari- ja sinkkivaahdotus tehdään emäksisessä olosuhteessa (pH 12), mutta rikkivaahdotukseen tarvitaan happamia olosuhteita (pH 5,0). PH:n säätöä varten käytetään ensin poltettua kalkkia ja rikkivaahdotuksessa pH:ta alenetaan rikkihapolla. Lisäksi vaahdotukseen käytetään natriumisobutyylisantaattia, kupari- ja sinkkisulfaattia, mäntyöljyvaahdotetta, natriumsyanidia sekä typpi- ja etikkahappoa. Vaahdotuksesta rikasteet siirretään veden poistoon ja rikastushiekka pumpputaan rikastushiekka-altaasiin. (Pyhäsalmi Mine Oy, 26–31; Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2007b, 10.)

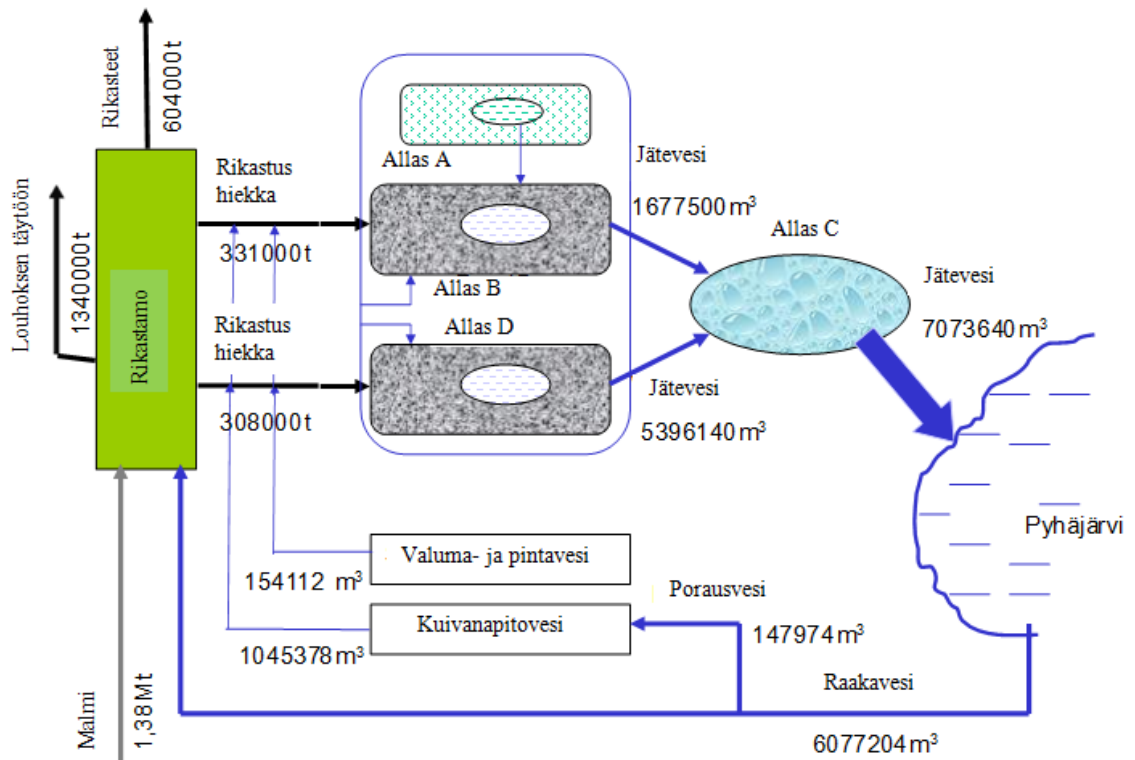
Vaahdotuksen jälkeen rikasteista poistetaan vettä sakeuttamalla ja suodattamalla. Rikasteiden lopullinen vesipitoisuus on 7–9 %. Kupari- ja sinkkirikasteet varastoidaan katetussa hallissa ja rikkirikaste ulkona. (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2007b, 11.)

2.10.2 Vesienhallinta

Kaivoksen tarvittama raakavesi otetaan Pyhäjärvestä noin 6 Mm³/a (Kuva 28). Suurin osa vedestä käytetään rikastusprosessissa (90 %) ja loput käytetään jäähdytysvetenä, porausvetenä sekä kunnossapidossa. Rikastamossa käytetään myös noin 500 000 m³/a kierrätysvettä. Osa raakavedestä johdetaan asuinalueen tarpeisiin. (Pohjois-Suomen Ympäristö-lupavirasto 2007b, 13; Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010c, 3.)

Rikastusprosessista johdetaan rikastushiekkaliete altaaseen D silloin kuin pyriittiä rikastetaan. Muissa tapauksessa liete pumpputaan rikastushiekka-altaalle B. Vesien pH:ttä on emäksiseen puolelle (pH yli10), joka edistää metallien saostaminen. Kaivoksen kuivanapitovesi sekä kaivosalueen valuma- ja pintavesi johdetaan myös rikastushiekka-altaisiin. Rikastushiekka-altailta vesi johdetaan ylijuuksukaivosn kautta selkeytysaltaaseen (allas C) ja sieltä

Pyhäjärven Junttiselälle. Vuosittain juoksetetaan 7 Mm³ vettä. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010c, 3.)



Kuva 28. Pyhäsalmen kaivoksen vesitase (Pyhäsalmi Mine Oy, 48).

Vesi kierrätetään rikastamolla prosessin sisäisenä kiertona. Sinkkivaahdotuksen jälkeen, rikaste sakeutetaan ja ylitevesi palautetaan jauhatuspiiriin. Lisäksi vettä käytetään kierrätysvettä kunnossapidossa. Tässä tapauksessa vesi on peräisin jäähdytyksestä kemikaaliliuosten valmistuksesta. Kuivanapitovedet eivät soveltuu kierrätyksen korkean kuparipitoisuuden vuoksi. (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2007b, 13–14.)

Prosessista johtuva jätevesi sekä kuivanapitovesi ja kaivosalueen muut vedet käsitellään rikastushiekka-altailla. Metallit saostetaan kalsiumhydroksidilla B- tai D-altaassa. Selkeytynyt vesi johdetaan altaaseen C, jossa siihen voidaan tarvittaessa lisätä kalkkia. Altaasta C vesi juoksetetaan Pyhäjärveen. (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2007b, 14–15.)

Saniteettijätevedet pumpputaan Pyhäjärven kaupungin viemäriin esikäsittelemättömiä. Vuosittain johdetaan viemäriin 20 000–30 000 m³ saniteettijätevettä. (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2007b, 15.)

2.10.3 Päästöt vesiin

Pyhäsalmen kaivoksesta johdetaan vesistöön noin 6,2–7,5 Mm³ vettä vuosittain. Merkittävimmät päästöt ovat kalsiumin ja sulfaatin päästöt, jotka ovat riippuvaisia jätevesimäärästä. Vuosina 1994–2003 vuosittainen sulfaatti kuormitus oli 12 000 t ja kalkin kuormitus 4 700 t. Samalla vesistöön pääsi vuosittain 60 t kiintoainetta, 6,1 t rauta, 1,2 t sinkkiä ja 273 kg kuparia. Veden pH vuonna 2003 vaihteli 3,2–10,3 välillä ja oli happammin kesällä. (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2007b, 22.)

Vesistöön pääsee myös räjähdysainejäämiä. Vuodesta 2007 lähtien vuosittainen typpipäästö oli noin 30 t, josta 27–70 % oli nitraattityppeä ja 15–42 % ammoniumtyppeä. Vuonna 2009 kaivoksen jätealtaaseen laskuojaan asennettiin kaksi ilmastinta ammonium hapettumiseksi nitriitin kautta nitraatiksi. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010c, 5–6.)

2.11 Kylylahti

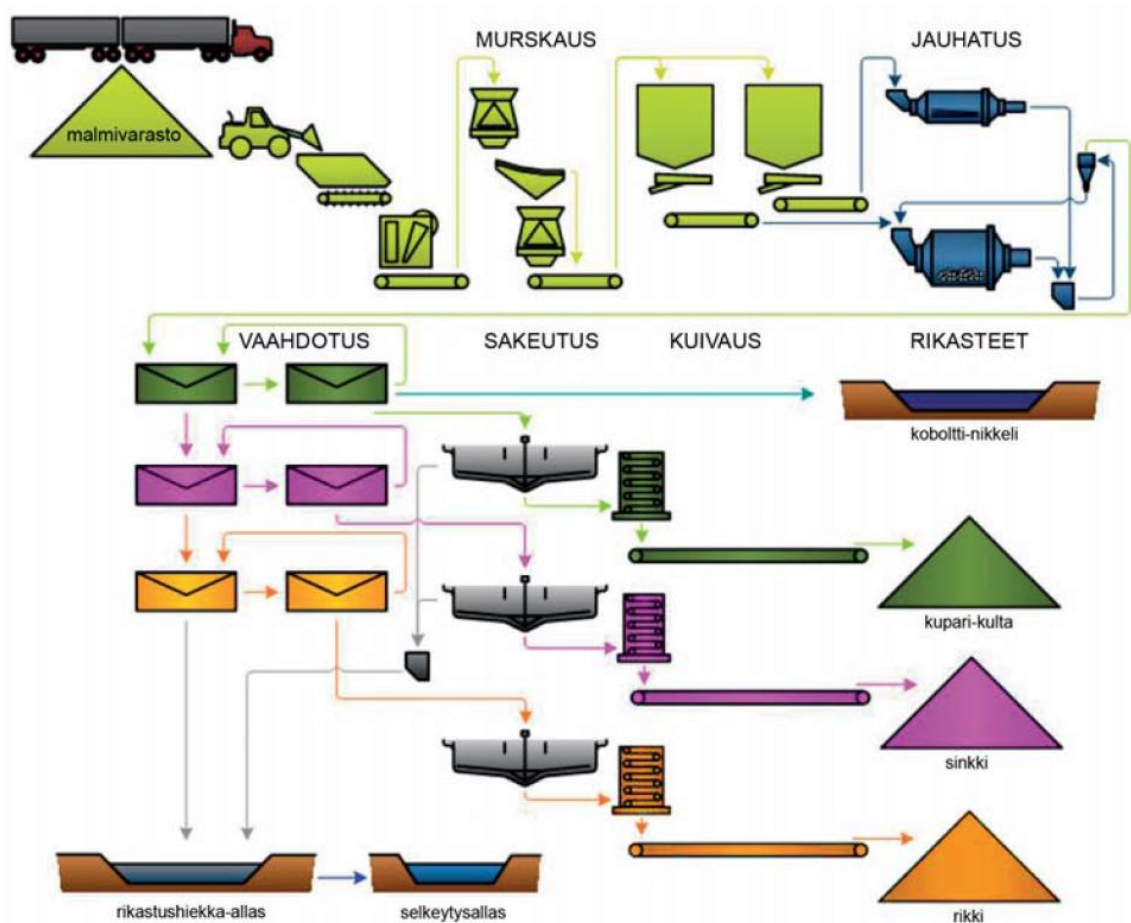
Kylynlähden kupari-kulta-sinkki kaivos sijaitsee Pohjois-Karjalassa, Polvijärvellä ja on vasta siirtynyt ruotsalaisen Boliden omistukseen. Alueen kaivoshistoria on 100 vuotta vanha. Alueella oli useampia toimivia kupari-sinkki-kulta-nikkeli-koboltti kaivoksia (Keretti, Lukionlahti, Vuonnos) vuosien 1914–1989 välillä. Kylylahden mineraaliesiintymä löydettiin 1984 kun Outokumpu Oy teki alueella malmiestintätyötä. Altona Mining jatkoi tutkimuksia Kylylahdella vuodesta 2005 alkaen. Yhtiö haki lupa 2010 myös Lukionlahden rikastamolle, joka mahdollisti kaivoksen avaamisen. (Boliden Kylylahti, viitattu 30.10.2014; GTK 2007; Chadwick 2012.)

Kaivosrakentamistyöt aloitettiin vuonna 2010 ja ensimmäiset tuotteet valmistettiin kaksi vuotta myöhemmin. Kaivos tuotti kupari- ja sinkkirikastetta,

joka myytiin Bolideniin jatkokäsittelyyn. Kupari rikaste sisältää myös 9 g/t kultaa. Yhtiö tuotti myös nikkeli-koboltti rikastetta, joka varastoitiin kaivosalueella. Altona Mining myi Kylylahden kaivoksen Bolidenille 1.10.2014. (Boliden Kylylahti, viitattu 30.10.2014; Chadwick 2012.)

2.11.1 Rikastusprosessi

Malmi louhitaan maalaisessa kaivoksessa välitaso- ja pengerlouhintamenetelmiä käyttäen. Louhoksen pilarit louhitaan sorroslouhintamenetelmällä. Louhittu malmi kuljetetaan kuorma-autoilla Luikonlahden rikastamoon. Rikastamo sijaitse Kaavin kunnassa noin 40 km Kylynlahden kaivoksesta. Rikastamon prosessikaavio on esitetty alla olevassa kuvassa. (Itä-Suomen Ympäristölupavirasto 2008b, 16–17; Kylylahti Copper Oy 2012, 24–27.)



Kuva 29. Luikonlahden rikastamon prosessikaavio (Kylylahti Copper Oy 2012, 29).

Rikastamalla louhittu malmi kipataan joko suoraan primäärimurskaimen syöttösuppilon tai malmivarastokentälle. Primäärimurskaus tehdään leukamurskaimella, jonka jälkeen malmi siirretään sekundääri- ja tertiäärimurskaukseen (kartiomurskaimet). Sekundäärimurskaimesta malmi johdetaan seulan kautta joko palamalmisiiloon (yli 50 mm kappaleet), tertiäärimurskaukseen (16–50 mm aines) tai varastosiiloon tertiäärimurskaimen tuotteen kanssa (hienoaines). Varastosiiloista malmi johdetaan jauhatuspiiriin. (Kylylahti Copper Oy 2012, 28.)

Jauhatuspiiriin kuuluu yksi tankomylly ja kaksi palamylyä. Tankomylyyn syötetään malmiaines (F80,12 mm), vettä, kalkkimaitoa ja natriumisopropyyliksantaattia (SIPX). Myllyn tuote johdetaan sykloniin ja alite yhdistetään palamylyjen tuotteen kanssa. Syklonien ylite johdetaan vaahdotuspiiriin ja sen alite palautetaan palamylyille luokituspumppukaivoon. Palamylyjen tuote johdetaan myös sykloniin. (Kylylahti Copper Oy 2012, 29–30.)

Vaahdotuksen ensimmäinen vaihe on kuparin vaahdotus (Kuva 30). Malmiliete johdetaan ensin esivaahdotuskennoon, johon lisätään sinkkisulfaatti, kalkkimaito, metyyliisobutylikarbinoli (MIBC), natriumisopropyyliksantaatti (SIPX), natriumditiofosfinaattilisäys (aerophine 3418 A). Saatu rikaste johdetaan sitten kertausvaahdotukseen. Vaahdotumatta jäänyt malmi johdetaan ripevaahdotuskennoihin (2 kennoa, 16 m³). Ripevaahdotuksen rikaste yhdistetään esivaahdotuksen rikasteen kanssa ja johdetaan kertausvaahdotukseen. Ensimmäisen kertauspiirin rikaste siirretään pumppukaivon kautta toiseen



Kuva 30. Kuparin vaahdotus (Kylylahti Copper Oy 2012, 29).

kertausvaahdotukseen. Sen alite on koboltti-nikkelirikaste, joka johdetaan CoNi-altaalle varastoiseksi. Toisessa vaahdotuskertauksessa käsitellään ensimmäisen kertauspiirin rikaste ja kolmanteen kertauspiirin alite. Saatu rikaste johdetaan kolmanteen kertauspiiriin pumppukaivon kautta ja sen alite palautetaan ensimmäiseen kertauspiiriin. Kolmanteen kertauspiirin alite palautetaan toiseen kertauspiiriin ja saatu rikaste sakeutetaan, suodataan ja kuivataan, jonka jälkeen varastoidaan. (Altona Mining Ltd 2014, 17; Kylylahti Copper Oy 2012, 29–30.)

Kupariripevaahdotuksen alite johdetaan toiseen vaahdotusvaiheeseen (sinkin vaahdotus), jossa lisätään myös kuparisulfaattia, kalkkimaitoa ja metyyli-isobutylikarbinolia (MIBC). Liete johdetaan ensin valmentimeen ja sieltä esivaahdotukseen. Saatu rikaste johdetaan kertausvaahdotukseen ja alite rikinvaahdotukseen pumppukaivon kautta. Sinkin kertausvaahdotus tapahtuu kolmessa eri piirissä. Ensimmäisen kertauspiirin alite palautetaan esivaahdotukseen ja rikaste jatkaa toiseen ja sitten kolmanteen kertauspiiriin. Kolmannesta kertauspiiristä alite palautetaan ensimmäiseen kertauspiiriin ja saatu rikaste sakeutetaan, suodataan ja kuivataan ennen varastointia. (Kylylahti Copper Oy 2012, 30.)

Rikkivaahdotuspiiri sisältää esivaahdotuksen, ripevaahdotuksen ja kaksi kertausta. Esivaahdotukseen johdetaan sinkkiesivaahdotukseen alite sekä rikin ensimmäisen kertauksen alite. Lisäksi lisätään natriumisopropyyliksantaatti (SIPX) ja metyyli-isobutyliksantaatti (MIBC). Saatu rikaste johdetaan ensimmäiseen kertauspiiriin ja alite ripevaahdotukseen. Ripevaahdotuksen alite pumpataan rikastushiekka-altaalle. Ripevaahdotuksen rikaste johdetaan ensimmäiseen ja sitten toiseen kertauspiiriin. Kertauspiirin rikaste pumpataan CoNi-altaalle. Rikin vaahdotuksessa käytetään myös rikkihappoa ja kaliumamyyliksantaatti (PAX) ripevaahdotuksessa. Rikastuksessa käytetyt kemikaalit ovat esittely liitteessä 14. (Altona Mining Ltd 2014, 18; Kylylahti Copper Oy 2012, 30.)

Luikonlahden rikastomo tuottaa vuosittain 47 000 t kupari-rikastetta, 5 000 t sinkkirikastetta, 98 000 t koboltti-nikkelirikastetta ja 170 000 t rikkirikastetta.

Koboltti-nikkelirikaste sekä rikkirikaste varastoidaan tällä hetkellä CoNi-altaalla veden alle hapeuttumisen estämiseksi, eikä myydä eteenpäin. (Altona Mining Ltd 2014, 18.)

2.11.2 Vesienhallinta

Kaivosalueella syyskuusta 2013 lähtien käyttövesi on otettu louhosvesien käsittelyjärjestelmän laskeutusaltaasta. Porausvesi on otettu elokuusta 2013 lähtien Mondo Minerals Oy:n Vasarakankaan vanhasta koelouhoksesta. Vuonna 2013 kaivosalueella kierrätettiin noin 53 000 m³ vettä. Läjitysalueiden suoto- ja valumavedet johdetaan vedenkäsittelyyn. Vedet käsitellään laskeutusaltailla ja siihen käytetään PAX-XL 60 saostuskemikaalia kiintoaineen poistamiseen. Kaivoksen kuivanapitovedet ja alueen suoto- ja sadevedet juoksetetaan Polvijärveen. Vuonna 2013 juoksetettiin vesistöön 415 000 m³ vettä. (Kasurinen 2014, 5.)

Vuosittain käytetään 10 000 m³ talousvettä, joka otetaan Kaavin kunnan verkostosta. Vettä käytetään myös laboratoriossa kemikaaliliuosten valmistuksessa. Saniteettivedet käsitellään saostuskaivoissa, josta ylitevedet johdetaan rikastushiekka-altaalle. Saostuksesta saatu liete toimitetaan Kaavin kunnan jätevedenpuhdistamolle. (Itä-Suomen Ympäristölupavirasto 2008b, 29.)

Taulukko 9. Luikonlahden rikastamon vesitase 800 000 t/a tuotantokapasiteetilla (Altona Mining Ltd 2014, 22).

	Veden määrä, kierrätys 50 % (milj. m ³ /a)
Tulevat vedet	
Vedenotto Petkellahdesta	1,25
Valuma rikastushiekka-alueelle	0,3
Valuma Heinälampeen	0,1
Vesikierto alueen sisällä	
Prosessista rikastushiekka-altaaseen	2,5
Suotovedet rikastushiekka-altaasta	0,3
Suotovesien palautus rikastushiekka-altaaseen	0,3
Ylivuoto rikastushiekka-altaasta selkeytysaltaaseen	2,8
Veden palautus prosessiin CoNi-altaasta sisäisen kierron lisäksi	1,25
Ylivuoto selkeytysaltaasta Heinälampeen	1,55
Lähtevät vedet	
Purku Heinälammesta Kylmäojaan	1,65

Rikastamon vesitase on esitetty taulukossa 9 .Rikastusprosessiin tarvittava vesi otetaan Petkellahdesta ja osittain myös selkeytsaltaalta. Vuonna 2013 rikastusprosessissa käytettiin 2,1 m³ vettä malmitonnia kohti, josta 50 % on ollut kierrätysvettä CoNi-altaalta, kupari- ja rikkipiirien sakeuttimilta ja jäädytyksestä. Rikastamosta vesi johdetaan lietteen kanssa rikastushiekka-altaaseen ja edelleen dekaintointikaivon kautta selkeytsaltaaseen. Selkeytsaltaan ylimääräinen vesi johdetaan toisen dekaintointikaivon kautta Heinälampeen ja edelleen Kylmäpuron kautta Luikolahteen. Rikastushiekka- ja selkeytsaltaan suotovedet kierrätetään takaisin rikastushiekka-alueelle. Myös CoNi-altaan palautusvesi johdetaan rikastushiekka-alueelle. (Altona Mining Ltd 2014, 21.)

2.11.3 Päästöt vesiin

Kaivosalueelta juoksutettiin vuonna 2013 yhteensä 415 300 m³ vettä. Kaivosvesien pH on ollut normaali ja vesien määrästä on havaittu kiintoaineen, sulfaatin, nikkelin ja kadmiumin kuormitus on kasvanut elokuusta 2013 lähtien. Polvijärveen juoksutetut vedet sisältivät keskimäärin 6,26 mg/l kiintoainetta, 247,3 mg/l sulfaattia ja 54,15 µg/l nikkeliä. Kaivoksen alapuolisissa vesissä on havaittu typpin ja nikkelin pitoisuuksien nousua vuoteen 2012 verrattuna, mutta ympäristölaatumnormia ei ole ylitetty. Alapuolisen veden laatu on ollut tasainen vuoden 2013 aikana. (Kasurinen 2014, 12–16.)

Rikastamon alueella Kylmäpuron kautta juoksutetut vedet sisältävät rikastettavista malmeista peräisin olevia metalleja, sulfaattia sekä kohonneita pitoisuuksia kiintoainetta ja rautaa. Aiemman rikastamotoiminnan rikastushiekka sisältää arseenia, jota voi myös näkyä juoksutussa vedessä. Vesien pH on ollut normaali ja vuonna 2010 alkaen on ollut havaittavissa raudan, nikkelin, arseenin ja kiintoaineen vuosittaisen kuormituksen nousua, eteenkin nikkelin kohdalla (Taulukko 10). Kuormituksen nousu johtuu osittain juoksutusvesimäärä noususta. (Altona Mining Ltd 2014, 38; Itä-Suomen Ympäristölupavirasto 2008b, 36.)

Taulukko 10. Rikastamon alueelta juoksutetun jäteveden määrä ja kuormitus 2010–2012 (Altona Mining Ltd 2014, 38).

Vuosi	Vesimäärä (milj. m ³)	pH	Rauta (kg)	Nikkeli (kg)	Arseeni (kg)	Kiintoaine (t)
2010	0,51	7,2–7,5	132	53	17	1,8
2011	0,87	6,9–7,6	129	70	37	1,6
2012	2,32	7,0–7,8	503	272	48	4,3
Lupaehto		6–8		310	200	30

Juoksutettujen vesien sisältämää arseenia ja nikkeliä on havaittu Luikonlahden pohjasedimentissä. Rikastamon läsipuolen Retusessa on myös havaittavissa vesistökuormitusta Petkellähdellä (vanhan kaivosalueen vesien kuormitus), mutta noin kilometrin päästä ei ole havaittavissa vaikutuksia. Retusen vedet ovat lievästi happamia ja reheviä. (Altona Mining Ltd 2014, 40.)

Palolammessa, rikastamon pohjoispuolella on nähtävillä 1960-luvun kuparikaivostoiminnan vaikutuksia. Palolamen vedet ovat tummia ja humuspitoisia ja sen sedimentissä on vanhasta kuparikaivosta peräisin olevia metalleja ja rikkiä. Myös Heinälammessa on näkyvissä vanhan kaivoksentoiminnan vaikutuksia. Heinälampeen on sedimentoitunut rikastushiekkaa ja kaivosvesien käsittelystä metalleja. (Altona Mining Ltd 2014, 41.)

3 POHDINTA

Metallimalmikaivosten rikastusprosessit ovat olleet samalaisia reilun vuosisadan eivätkä yksikköprosessit ole muuttuneet kovin paljon. Louhinnan jälkeen malmikäsittely alkaa murskauksella ja jauhatuksella. Varsinainen rikastus tehdään joko painovoimaerutuksella, vaahdotuksella tai liuotuksella (Taulukko 11). Tällä hetkellä suomalaisilla metallimalmikaivoksilla yleisin rikastusmenetelmä on vaahdotus.

Taulukko 11. Rikastusmenetelmät suomalaisissa metallimalmikaivoksissa.

Malmin rikastus	Painovoimaerotus	Vaahdotus	Liuotus
Kemin kaivos	x		
Kittilä		x	x paineliuotus
Pahtavaara	x	x	
Laivan kaivos	x	x	x säiliöliuotus
Pampalo	x	x	
Jokisivu ja Orivesi	x	x	
Talvivaara			x kasaliuotus
Kevitsa		x	
Hitura		x	
Pyhäsalmi		x	
Kylylahti		x	

Vesien käsittelyssä ei ole paljon eroja eri kaivosten välillä. Useinmiten jätevedet neutraloidaan (pH:n säätöä yleensä kalkilla tai kalkkimaidolla) ja metallit saostetaan. Talvivaaran kaivoksella vedenpuhdistus perustuu hiljattain hankittuun kalvosuodatustekniikkaan. Lisäksi useimmilla kaivoksilla (Kittilä, Kevitsa, Laivan kaivos) käytetään pintavalutuskenttiä vedenpuhdistuksen täydentämiseen.

LÄHTEET

- Agnico Eagle Finland. Hakupäivä 29.7.2014.
<http://www.agnicoeagle.fi/fi/Pages/home.aspx>.
- Ahma ympäristö Oy 2013. Belvedere Mining Oy. Hituran avolouhoksen laajennuksen ympäristövaikutuksen arviointiohjelma. Ahma ympäristö Oy 13.2.2013.
- Ahma ympäristö Oy 2014. Lapland Goldminers Oy. Pahtavaaran kaivoksen tarkkailu 2013. Ahma ympäristö Oy 25.3.2014.
- Alapieti, Tuomo T. & Huhtelin, Timo A. 2005. The Kemi Intrusion and Associated Chromite Deposit. Teoksessa Alapieti, T.T. & Kärki, A.J. (toim.) 2005. Field Trip Guidebook. Geologian tutkimuskeskus. Opas 51a. Vammalan Kirjapaino Oy. Siivut 13–32. Saatavilla PDF-tiedostona.
<http://arkisto.gsf.fi/op/op51a/op51a.pdf>.
- Alatalo, Teemu 2014. Selvitys saniteettijäteveden puhdistamosta. FQM Kevitsa Mining.
- Altona Mining Ltd 2014. Kylylahti Copper Oy. Luikonlahden rikastamon sivutuotteiden ja kaivannaisjätteiden elinkaatusuunnittelu. Ympäristövaikutuksen arviointiohjelma.
- Belvedere. Belvedere Mining Oy nettisivut. Hituran nikkeli-kaivos. Viitattu 27.10.2014.
<http://www.belmining.com/>.
- Belvedere Resources. Belvedere Resources nettisivut. Luettu 27.10.2014.
<http://www.belvedere-resources.com/>.
- Boliden kylylahti. Boliden nettisivut. Viitattu 30.10.2014.
<http://www.boliden.com/fi/Toimipaikat/Mines/Boliden-Kylylahti/>.
- Chadwick John 2012. Outokumpu project. International Mining Magazine, September 2012, 12–24.
- Dragon Mining Operations. Dragon Mining nettisivut. Luettu 9.10.2014.
<http://www.dragon-mining.com.au/operations/overview>.
- Dragon Mining Oy 2012. Kuusamon kaivoshankkeen nettisivut. Luettu 9.10.2014.
http://projektit.ramboll.fi/YVA/Kuusamon_kaivoshanke/yritysesittely.htm.
- Endomines 2012. Hakemus Pampalon kaivoksen ympäristöluvan tarkistamiseksi ja muuttamiseksi. Endomines Oy. Saatavilla PDF-tiedostona.
http://www.endomines.com/images/ymparisto/lupa/Ymparistolupahakemus_2012_kokonaan.pdf.

Endomines 2013. Exploring the true potential of the Karelian Gold Line. Power Point esitys.

http://www.endomines.com/images/pdf/presentations/fi/2013-11-05_Endomines_FI_Ilomantsi.pdf.

Etelä-Suomen aluehallintovirasto 2010. Päätös Nro 58/2010/1. Polar Mining Oy:n Jokisivun kaivoksen ympäristölupapäätöksen (nro 2/2006/2, 20.3.2006) lupamääräysten tarkistamista koskeva ympäristön-suojelulain 55 §:n mukainen hakemus, Huittinen. Annettu julkipanon jälkeen 3.12.2010.

FQM Pyhäsalmi. First Quantum Mineral LTD. Nettisivut. Viitattu 28.10.2014.

<http://www.first-quantum.com/Our-Business/operating-mines/Pyhasalmi/default.aspx>.

FQM Kevitsa Mining. Ppt. esitys.

FQM Kevitsa Mining Oy. Sodankylän nettisivu. Luettu 23.11.2014.

http://www.kaivos.fi/fqm-kevitsa-mining-oy/kaivoksen_esittely/.

Grundia Oy 2009. Outokumpu Chrome Oy. Kemin kaivoksen laajennus ympäristövaikutusten arviointiselostus 30.6.2009. Saatavilla PDF-tiedostona.

<http://www.ymparisto.fi/fi->

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

GTK 2007. Finncopper tietokanta. Saatavilla Geologian tutkimuskeskuksen nettisivulta.

<http://en.gtk.fi/informationsservices/commodities/Copper/>.

GTK Jokisivu 2008. Geologiaa tutkimuskeskuksen nettisiivut. Luettu 9.10.2010.

<http://en.gtk.fi/informationsservices/commodities/Gold/jokisivu.html>.

GTK Laivakangas 2008. Geologiaa tutkimuskeskuksen nettisiivut. Viitattu 7.10.2014.

<http://en.gtk.fi/informationsservices/commodities/Gold/laivakangas.html>.

GTK Orivesi 2008. Geologiaa tutkimuskeskuksen nettisiivut. Viitattu 9.10.2014.

<http://en.gtk.fi/informationsservices/commodities/Gold/kutemajarvi.html>.

GTK Pampalo 2008. Geologiaa tutkimuskeskuksen nettisiivut. Viitattu 8.10.2014.

<http://en.gtk.fi/informationsservices/commodities/Gold/pampalo.html>.

GTK Pyhäsalmi Mine. Geologiaa tutkimuskeskuksen nettisiivut. Viitattu 28.10.2014.

<http://en.gtk.fi/ExplorationFinland/Moreinfo/pyhasalmi.html>.

GTK Suurikuusikko 2008. Hakupäivä 29.7.2014.

<http://new.gtk.fi/informationsservices/commodities/Gold/suurikuusikko.html>.

- Hirvonen, Tuomas 2014. Nordic Mines avaa Raahen kultakaivoksen uudelleen. Luettu 7.10.2014.
http://yle.fi/uutiset/nordic_mines_avaa_raahen_kultakaivoksen_uudelleen/7445032.
- Itä-Suomen Ympäristölupavirasto 2008a. Päätös Nro 23/08/2. Pampalon kultakaivosta ja rikastamoaa koskeva ympäristölupa ja Lietojanlammen padon vahvistaminen. Annettu julkipannon jälkeen 21.2.2008.
- Itä-Suomen Ympäristölupavirasto 2008b. Päätös Nro 104/08/02. Luikonlahden kaivoksen ja rikastamon ympäristölupa sekä toiminnan aloittamislupa, Kaavi. Annettu julkipannon jälkeen 16.10.2008.
- Jamasmie, Cecilia 2014. Low metal prices put chill on global mineral exploration. Mining.com nettisivut. Julkaistu 24.9.2014.
http://www.mining.com/low-metal-prices-put-chill-on-global-mineral-exploration-34407/?utm_source=digest-en-mining-140924&utm_medium=email&utm_campaign=digest.
- Kaivoserikoistuminen 2014. Suunnitelma kaivoserikoistumisesta Lapin, Kainuun ja Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksissa. Luonnos 14.8.2014.
- Kasurinen, Heli 2014. Kylylahden kaivoksen ympäristötarkkailu. Vuosiraportti 2013. Kylylahti Copper Oy.
- Kirjastovirma. Pohjoispohjalaista kulttuuriperintöä. Hituran nikkeli-kaivos Nivalalehdessä. Viitattu 27.10.2014.
<http://www.kirjastovirma.net/nivala/hitura>.
- Kohl, Johanna & Wessberg, Nina & Kauppi, Sari & Myllyoja, Jouko & Wessman-Jääskeläinen, Helena 2013. Kestävä ja hyväksyttävä kaivannaisteollisuus 2030. Visio ja roadmap. VTT Technology, Espoo.
- Kuisma, Markku 1985. Kuparikaivoksesta suuryhtiöksi. Outokumpu 1910–1985. Forssan Kirjapaino Oy, Forssa.
- Kuotkon satelliittialmio, Kittilä 2014. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. hakupäivä 29.7.2014.
http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/Kuotkon_satelliittialmio_Kittila/Kuotkon_satelliittialmio_Kittila%2828371%29.
- Kylylahti Copper Oy 2012. Luikonlahden rikastamon rikastuskapasiteetin lisääminen. Ympäristövaikutusten arviointiselostus. Altona Mining Limited.
- Lahtinen, Raimo & Hölttä, Pentti & Kontinen, Asko & Niiranen, Tero & Nironen, Mikko & Saalaman, Kerstin & Sorjonen-Ward, Peter 2011. Tectonic and Metallogenic Evolution of Fennoscandian Shield: Key Questions with Emphasis on Finland. Geological Survey of Finland, Special paper 49, 23-33, 2011.

- Lapin Kansa 2014. Pahtavaaran kaivoksen emoyhtiö konkurssiin. Lapin kansa nettisivut, julkaistu 31.3.2014. Hakupäivä 15.8.2014.
<http://www.lapinkansa.fi/Lappi/1194889592560/artikkeli/pahtavaaran+kaivoksen+emoyhtio+konkurssiin.html>.
- Lapland Goldminers. Hakupäivä 15.8.2014.
<http://www.laplandgoldminers.com/system/visa.asp?HID=1345&FID=1154&HSID=25479&ActMenu=25538&ActSubMenu=25540>.
- Latvala, Markus 2014. Hituran kaivos ympäristö- ja työsuojelun vuosiraportti 2013. Belvedere Mining Oy.
- Liikamaa, Terho 2013. Kaivosviranomaisen malminetsinnän ja kaivosteollisuuden ajankohtaiskatsaus vuodelta 2013. Power-point esitys Vuorimiespäivillä 28.3.2014. Saatavilla ppt. tiedostona.
http://www.tukes.fi/Tiedostot/kaivokset/tilastot/Tukes_malminetsinnanjakavosteollisuuden_ajankohtaiskatsaus2013.pdf.
- Liimatainen, Karoliina 2013. Nordic Mines kiikkuu konkurssin partaalla. Viitattu 7.10.2014.
<http://www.hs.fi/talous/a1373255093074>
- Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2006a. Lupapäätös Nro2/2006/2. Polar Mining Oy:n Huittisten Jokisivun kaivosta koskeva ympäristönsuojelulain mukainen ympäristölupahakemus sekä ympäristönsuojelulain 101 §:ssä tarkoitettu hakemus päätöksen noudattamiseksi muutoksenhausta huolimatta. Annettu julkipanon jälkeen 20.3.2006.
- Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2006b. Lupapäätös Nro 1/2006/2. Ympäristönsuojelulain 35 §:n mukainen ympäristölupahakemus, joka koskee Polar Mining Oy:n Oriveden kaivoksen toimintaa. Annettu julkipanon jälkeen 24.2.2006.
- Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2008. Päätös Nro 15/2008/2. Ympäristönsuojelulain 35 §:n mukainen ympäristölupahakemus, joka koskee Polar Mining Oy:n Vammalan rikastamon toimintaa. Annettu julkipanon jälkeen 19.3.2008.
- Mainio, Tapio 2014. Nivalan Hituran pöly talttuu kalkkimaidolla. Julkaistu 9.5.2014. Helsingin Sanomat nettisivut. Viitattu 27.10.2014.
<http://www.hs.fi/kotimaa/a1399529169829>.
- Manninen, Kari 2014. Sähköveron nosto uhkaa kaivostoimintaa. Julkaistu 16.8.2014. Savon Sanomat. Luettu 2.10.2014.
<http://www.savonsanomat.fi/uutiset/talous/sahkovero-uhkaa-kaivosta/1878238>.
- Mukutuma, Anthony 2014. Prosessimuutokset Kevitsassa. FQM Kevitsa Mining.
- Mutanen, Henna 2014. Pampalon kaivoksen ja Rämepuron avolouhoksen vuosiraportti 2014. Endominex Oy.

Nikula, Samuli 2014. Outokumpu Chrome Oy Kemin kaivoksen ympäristönsuojelun vuosiyhteenveto vuodelta 2013.

Nordic Mines 2014. Käyttötarkkailuraportti 2013. Laiva-kaivos. Päivitetty 24.2.2014.

Nordic Mines. Nordic Mines Oy:n nettisivut. Luettu 7.10.2014.
<http://www.nordicmines.com/fi>

Outokumpu historia. Outokumpu nettisivut, päivitetty 2014. Hakupäivä 28.7.2014.
<http://www.outokumpu.com/fi/yritys/historia/Sivut/default.aspx>.

Pekkala, Anja 2014. Pyhäsalmi Mine Oy. Power point esitys. Suomen Kaivosyrittäjät Kaivosseminaari 2014.

Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010a. Lupapäätös Nro 125/10/1. Kemin Kromiittikaivoksen ja rikastamon ympäristö- ja vesitalouslupa sekä toiminnan aloittamislupa, Keminmaa. Annettu julkipanon jälkeen 27.12.2010. Pohjois-Suomen aluehallintovirasto. Saatavilla PDF-tiedostona.
http://www.avi.fi/documents/10191/56964/psavi_paatos_125_10_1-2010-12-27.pdf.

Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010b. Lupapäätös Nro 66/10/1. Hituran kaivoksen ympäristö- ja vesitalouslupa sekä toiminnanaloittamislupa, Nivala. Annettu julkipanon jälkeen 13.8.2010.

Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010c. Lupapäätös Nro 40/10/1. Selvitys prosessiveden kierrätyksen ja jätevedeen käsittelyn tehostamisen mahdollisuuksista Pyhäsalmen kaivoksella, Pyhäjärvi. Annettu julkipanon jälkeen 1.6.2010.

Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2012a. Lupapäätös Nro 40/12/1. Louhos- ja aluevesien ja vesivarastoaltaaseen kerrättyjen ylimääräisten vesien johtaminen väliaikaisesti Tuoreenmaanojaan sekä toiminnan aloittaminen muutoksenhausta huolimatta, Raahe. Annettu julkipannon jälkeen 9.5.2012. Saatavilla PDF-tiedostona.
http://www.avi.fi/documents/10191/56960/psavi_paatos_40_12_1-2012-05-09.pdf.

Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2012b. Lupapäätös Nro 54/12/1. Nordic Mines Oy:n Laivakankaan kultakaivoksen käsittelyjen jätevesien purkupaikan ympäristölupa, purkupuutken rakentamislupa sekä töiden- ja toiminnanaloittamislupa, Raahe. Annettu julkipannon jälkeen 12.6.2012. Saatavilla PDF-tiedostona.
http://www.avi.fi/documents/10191/56960/psavi_paatos_54_12_1-2012-06-12.pdf.

Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013. Lupapäätös Nro 72/20013/1. Kittilän kaivoksen toiminnan laajentaminen ja ympäristö- ja vesitalousluvan

tarkistaminen, Kittilä. Annettu julkipannon jälkeen 26.6.2013. Pohjois-Suomen aluehallintovirasto. Saatavilla PDF-tiedostona.
https://www.avi.fi/documents/10191/56958/psavi_paatos_72_2013_1-2013-06-26.pdf/68dd28c2-8036-4107-9b17-01c0c5c87b76.

Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014a. Lupapäätös Nro 68/2014/1. Pahtavaaran kaivoksen ympäristöluvan ja vesilain mukaisen luvan 68/06/1 lupamääräyksen 2 muuttaminen, Sodankylä. Annettu julkipannon jälkeen 2.7.2014.

Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b. Talvivaaran kaivoksen ympäristö- ja vesitalousluvan muuttaminen, Sotkamo ja Kajaani. Annettu julkipannon jälkeen 30.4.2014.

Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014c. Lupapäätös Nro 79/2014/1. Kevitsan kaivoksen tuotannon laajentamisen ympäristö- ja vesitalouslupa sekä töiden ja toiminnan aloittamislupa, Sodankylä. Annettu julkipannon jälkeen 11.7.2014.

Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2006. Lupapäätös Nro 68/06/1. Pahtavaaran kultakaivoksen ympäristölupa sekä vesilain mukainen lupa, Sodankylä. Annettu julkipannon jälkeen 4.7.2006. Saatavilla PDF-tiedostona.
<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BC0C19FB1-6E24-4CC5-9777-4602BF15EE14%7D/86935>.

Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2007a. Lupapäätös Nro 33/07/01. Talvivaaran kaivoksen ympäristö- ja vesitalouslupa, Sotkamo ja Kajaani. Annettu julkipannon jälkeen 29.3.2007.

Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2007b. Lupapäätös Nro 85/07/02. Pyhäsalmen kaivoksen ympäristö- ja vesitalouslupa, Pyhäjärvi. Annettu julkipannon jälkeen 18.9.2007.

Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2009. Lupapäätös Nro 84/09/2. Laivakankaan kaivoksen ympäristö- ja vesitalouslupa sekä töiden- ja toiminnanaloittamislupa, Raahe. Annettu julkipannon jälkeen 24.11.2009.

Pyhäsalmi Mine Oy. Mill. Inmet Mining. Power point esitys.

Pöyry 2010. Agnico-Eagle Finland. Kittilän kaivoksen laajennus, Kittilä. YVA-ohjelma. Pöyry 20.12.2010. Saatavilla PDF-tiedostona.
http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/AgnicoEagle_Finland_Oy_Kittilan_kaivoksen_laajennus_Kittila.

Pöyry 2012. Kittilän kaivoksen laajennus, YVA-selostus 2012. Agnico-Eagle Finland Oy. Pöyry 26.4.2012. Saatavilla PDF-tiedostona.
http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/AgnicoEagle_Finland_Oy_Kittilan_kaivoksen_laajennus_Kittila.

Pöyry 2014a. Outokumpu Chrome Oy, Kemin kaivos. Velvoitetarkkailun vuosiyhteenveto 2013. Pöyry 25.3.2014.

Pöyry 2014b. Talvivaara Sotkamo Oy. Talvivaaran kaivoksen tarkkailut 2013. Pöyry 6.5.2014. Saatavilla PDF-tiedostona.
http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa/Valvonta/Talvivaaran_tarkkailuraportti_2013%2829726%29.

Ramboll 2014a. Agnico Eagle Finland Oy. Kittilän kaivoksen vesipäästöjen tarkkailu vuosiraportti 2013.

Ramboll 2014b. FQM Kevitsa Mining Oy. Kevitsan kaivoksen vesipäästöjen tarkkailu vuonna 2013.

Ramboll 2014c. FQM Kevitsa Mining Oy. Kevitsan kaivoksen pintavesien tarkkailu vuonna 2013.

Salmi, Jyrki 2014. FeCr Business Investor visit to Kemi Mine. Powerpoint presentation June 13, 2014. Hakupäivä 28.7.2014.
http://www.outokumpu.com/SiteCollectionDocuments/Outokumpu_site_visit_Kemi_mine_June_2014.pdf#search=chrome.

SRK Consulting 2013. A Mineral Resource Update for the Laiva Gold Mine, Finland. Report prepared for Nordic Mines AB.
http://www.nordicmines.com/sites/default/files/131217_Mineralreserver_Laiva_2013.pdf

Suomen mineraalistrategia. Geologian tutkimuskeskuksen nettisivuilla. Luettu 27.9.2014.
<http://projects.gtk.fi/mineraalistrategia>.

Syrjälä, Ulla 2013. Kevitsan vesitasesta. Ppt. Esitys.

Talvivaara. Talvivaaran nettisivut. Viitattu 20.10.2014.
<http://www.talvivaara.com/etusivu>.

Tekes: Green Mining. Tekes:in nettisivut. Luettu 2.10.2014.
<http://www.tekes.fi/GreenMining/>.

VAHTI ympäristönsuojelun tietojärjestelmä. Viitattu 3.9.2014.

Vuoristoteollisuustilasto 2013. TUKES:in nettisivut. Luettu 2.10.2014.
<http://www.tukes.fi/Tiedostot/kaivokset/tilastot/VUORI2013.pdf>.

Vuosikertomus 2013. Outokumpu nettisivut, hakupäivä 28.7.2013.
http://www.outokumpu.com/SiteCollectionDocuments/Outokumpu_Vuosikertomus%202013.pdf#search=kemin%20kaivos%20vuosi%20kertomus.

LIITTEET

Liite 1. Kemin kaivoksen rikastamon prosessikaavio.

Liite 2. Kittilän kaivoksen rikastamon prosessikaavio.

Liite 3. Kittilän kaivoksella tärkeimmät käytetyt kemikaalit.

Liite 4. Pahtavaaran kaivoksen rikastamon prosessikaavio.

Liite 5. Laivan kaivoksen yksinkertistetty rikastusprosessi.

Liite 6. Laivan kaivoksen käytetyt kemikaalit – arviot Ympäristölupapäätöksestä.

Liite 7. Pampalo kaivoksen rikastusprosessi.

Liite 8. Pampalon kaivoksen rikastuskemikaalien käyttömäärät 2011-2013 ja maksimituotannolla.

Liite 9. Talvivaaran rikastusprosessi, uraanin talteenotto.

Liite 10. Kevitsan kaivoksen vaahdotusprosessikaavio.

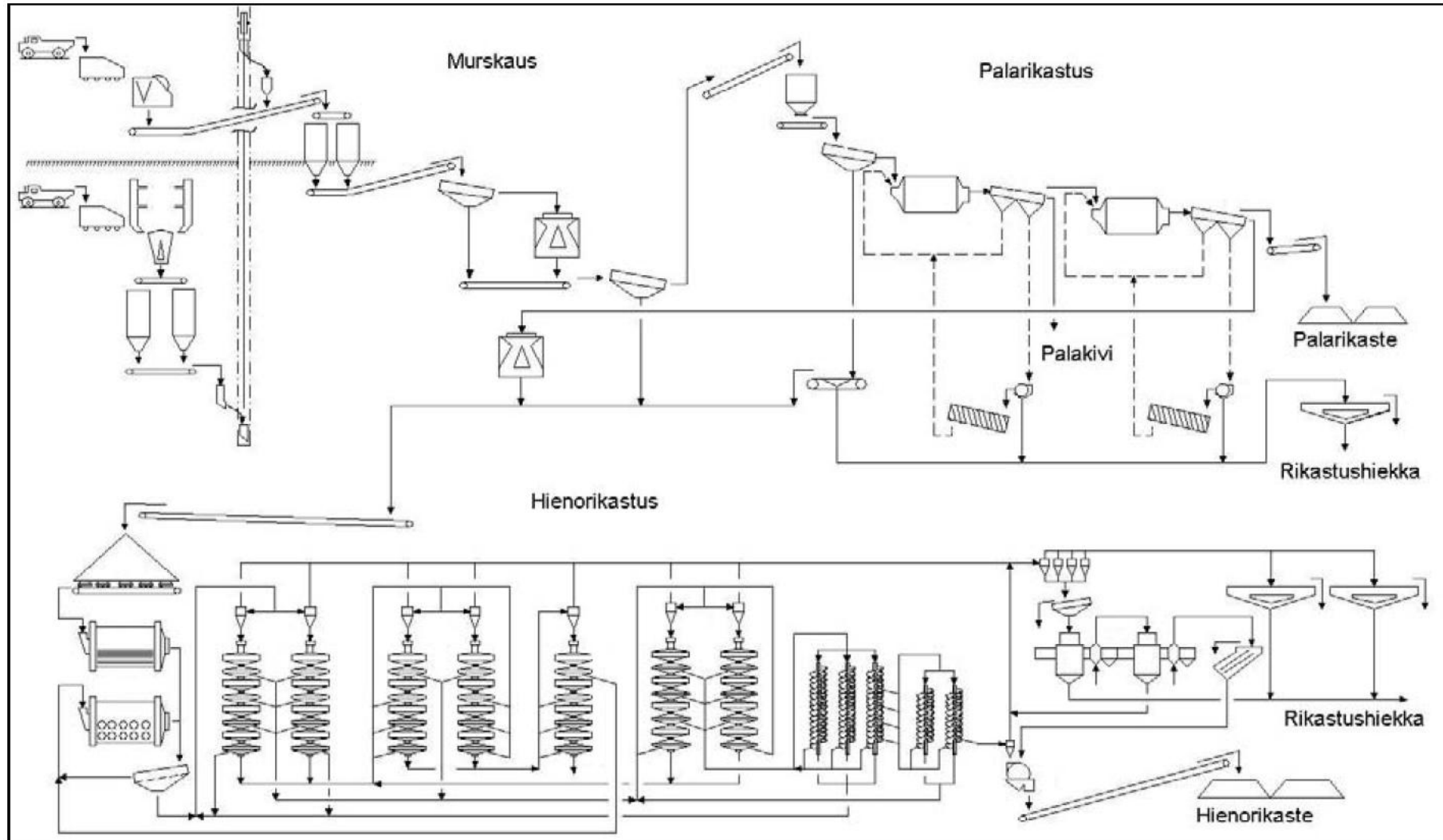
Liite 11. Pyhäsalmen kaivoksen rikastusprosessin kaavio.

Liite 12. Pyhäsalmen kaivoksen kupari- ja sinkkivaahdotuspiirit.

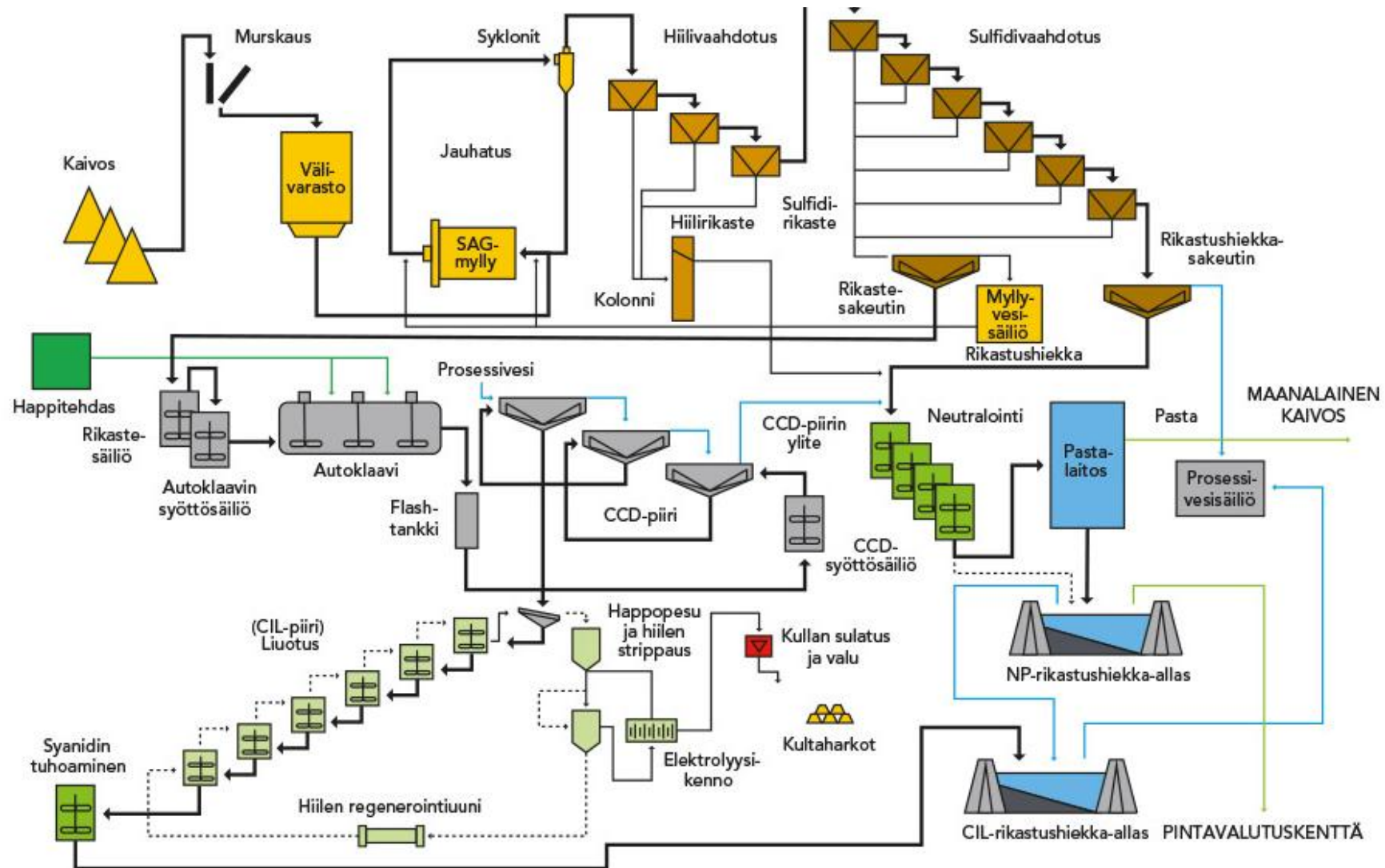
Liite 13. Pyhäsalmen kaivoksen pyriittivaahdotuspiiri.

Liite 14. Kylylahden kaivoksen rikastusprosessissa käytetyt kemikaalit 2012–2013.

Liite 1. Kemin kaivoksen rikastamon prosessikaavio (Grundia Oy 2009, 33).



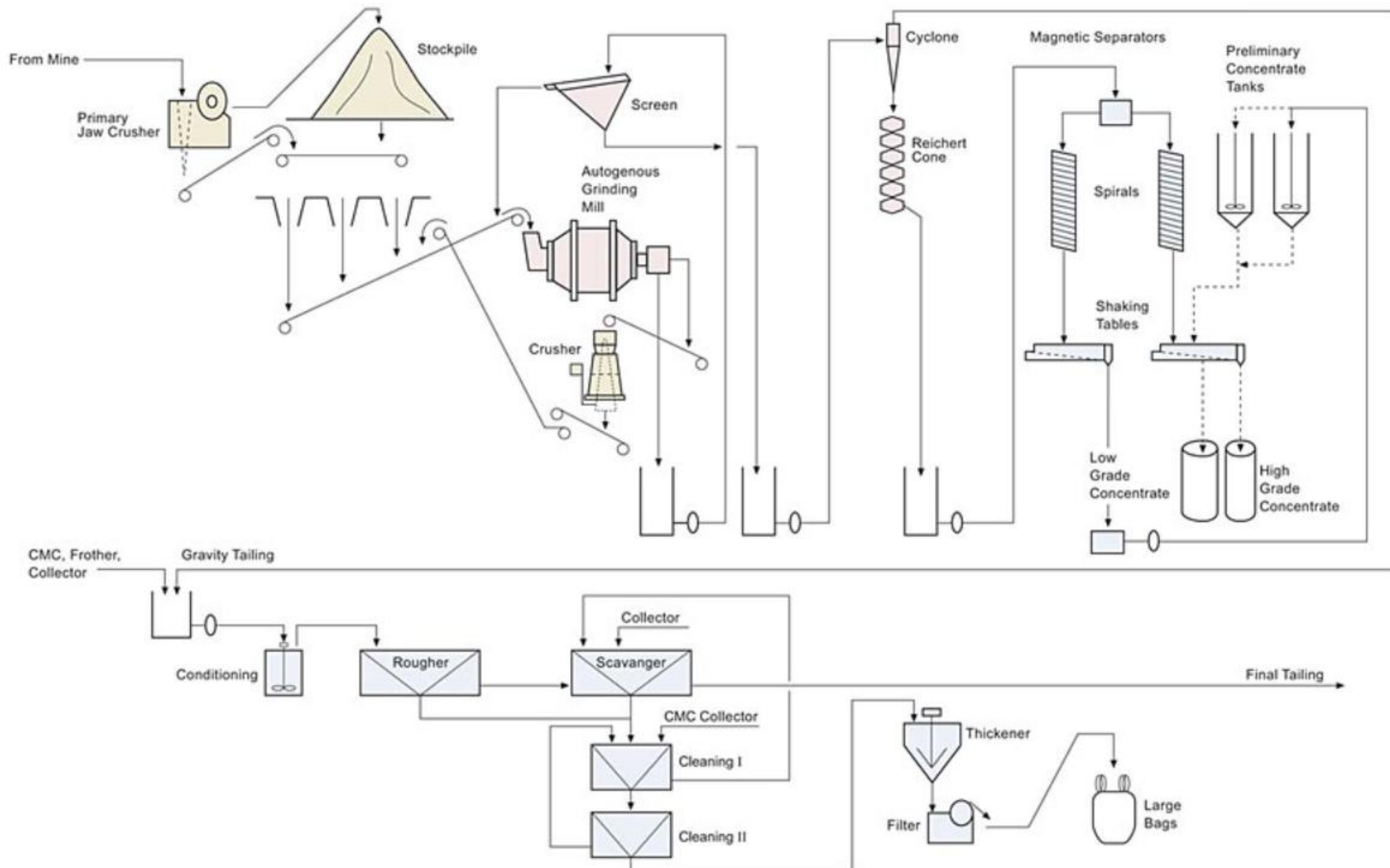
Liite 2. Kittilän kaivoksen rikastamon prosessikaavio (Pöyry 2012, 28).



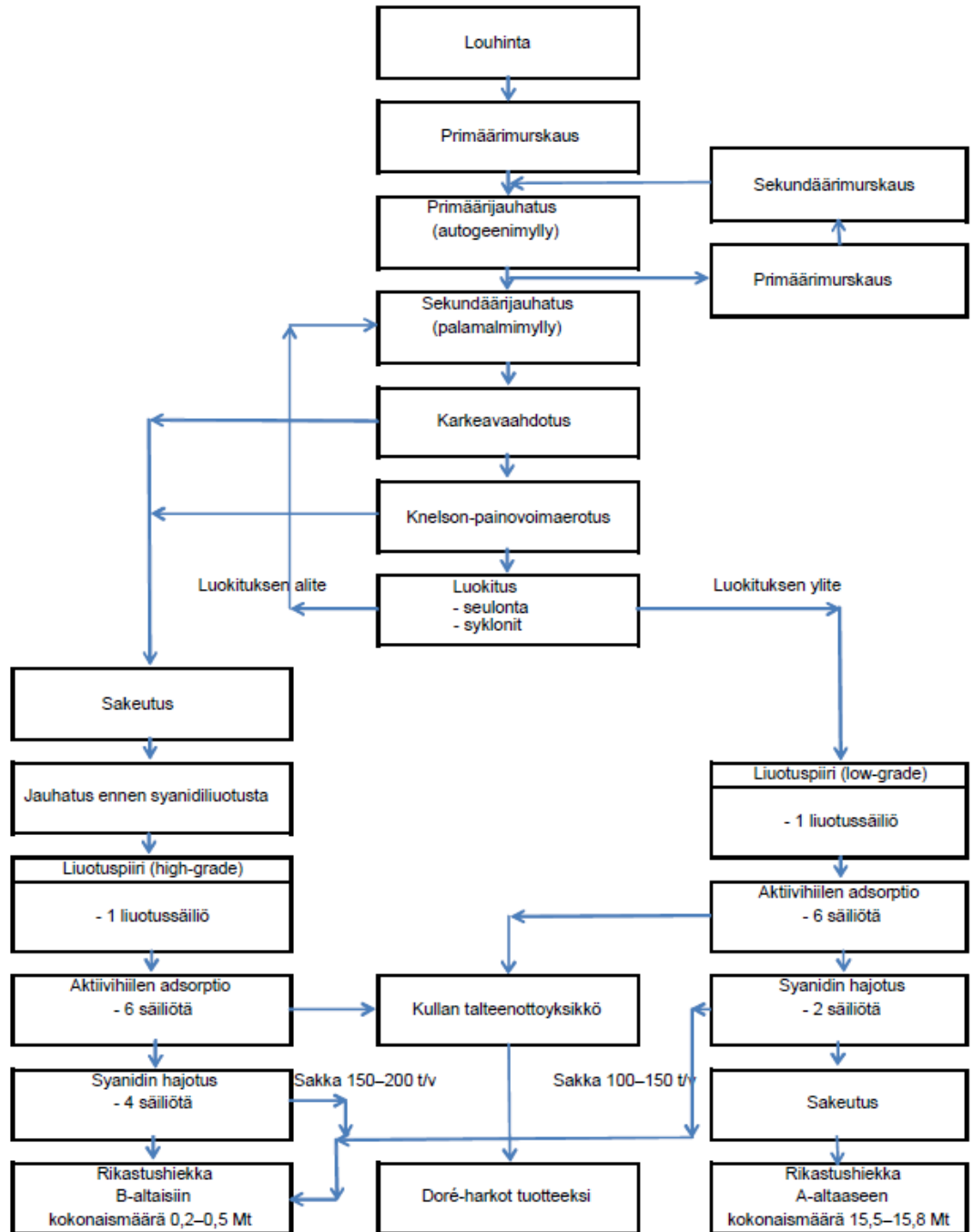
Liite 3. Kittilän kaivoksella tärkeimmät käytetyt kemikaalit (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2013, 29; VAHTI ympäristönsuojelun tietojärjestelmä, viitattu 3.9.2014).

Kemikaali	Käytetty määrä			Arvioitu määrä tuotannon kasvaessa	Käyttökohde ja -tarkoitus
	2010	2011	2012		
	t	t	t	t	
Poltettu kalkki	2 536	14 401	17 452	25 000	- rikastuksessa pH-säätö ja veden käsittely
Sammutettu kalkki	18 390	8 026	396	550	- rikastuksessa pH-säätö ja veden käsittely
Kalkkikivi	1 839	-	-		- rikastuksessa pH-säätö ja veden käsittely
K-amylyksantaatti / Natriumamylyksantaatti	129	157	220	290	- vaahdotuksen kokoojakemikaali sulfidivaahdotuksessa
MIBC(vaahdote)	30	32	25	35	- hiilen vaahdotus ja sulfidivaahdotus
Natriumsyanidi	264	297	249	330	- kullan liuotus
Kuparisulfaatti	479	652	1294	1700	- syanidin tuhoaminen, vaahdotus
Na-metabisulfiitti	795	531	566	740	- syanidin tuhoaminen
Antiscalant Antiprex D	0,27	0,27	0,27	0,5	- lämmönvaihtimet/strippaus
Typpihappo	100	110	152	195	- kullan strippaus aktiivihielestä
Lipeä (NaOH, 50 %)	1 109	254	398	520	- pH:n säätö rikastusprosessissa
Aktiivihili	50	59	78	110	- kullan adsorbointi CIL-piirissä kullan liuotuksessa
Flokkulantit	34	41	48	65	- rikastus
Jauhinkuulat 60–125 mm, 25–60 mm	1 266	1 409	1 229	1 500 1200	- rikastus
Ferrisulfaatti	2,6	1,5	1,5	3	- jätevesien käsittely
Happi	49 766	65 562	77 169	145 000	- hapetus autoklaavissa

Liite 4. Pahtavaaran kaivoksen rikastamon prosessikaavio (Lapland Goldminers, viitattu 15.8.2014).



Liite 5. Laivan kaivoksen yksinkertistetty rikastusprosessi (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2009, 11).

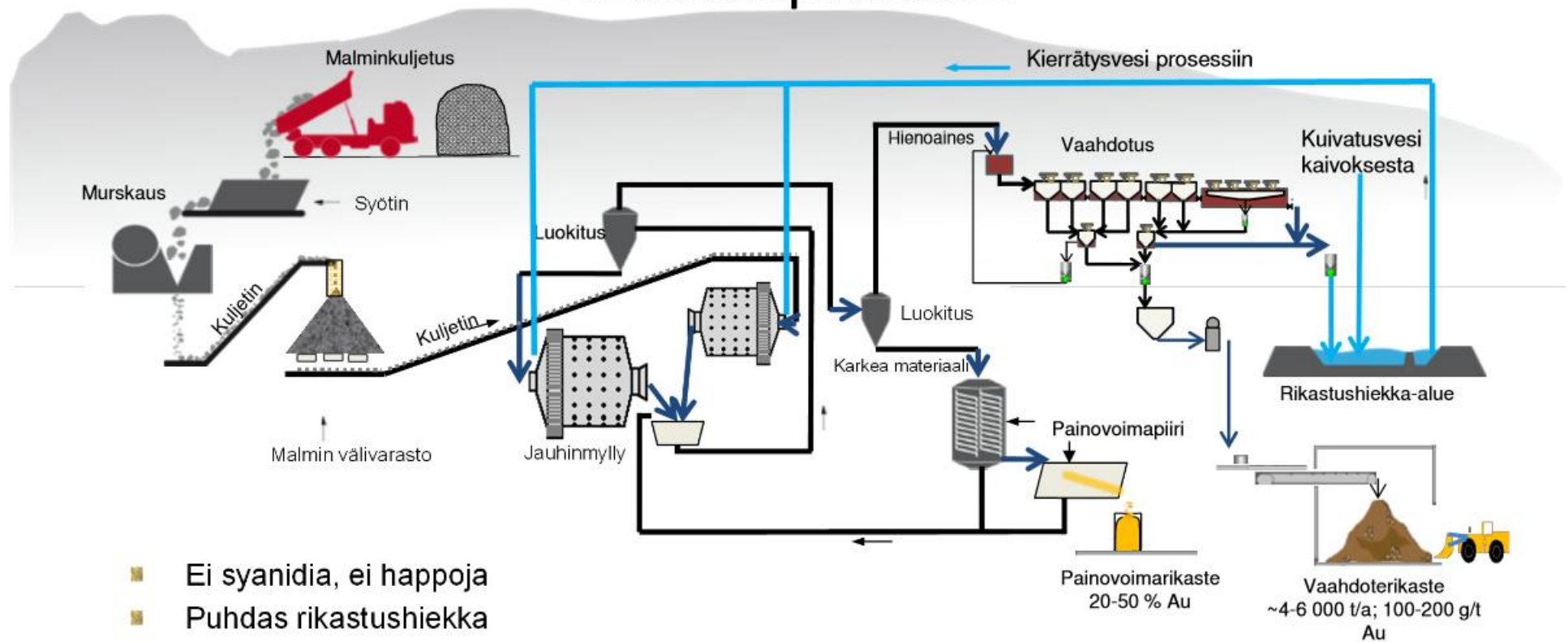


Liite 6. Laivan kaivoksen käytetyt kemikaalit – arviot Ympäristölupapäätöksestä (Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto 2009, 16).

Kaupan nimi	Yhdiste	Käyttötarkoitus	Vuosikulutus t/a
Poltettu kalkki	CaO	- sammutetun kalkin valmistus	5 500
Samutettu kalkki	Ca(OH) ₂	- syanidihajotuksen, - pH:n säätö	9 800
Suolahappo	HCl	- liuotuspiirin kalsiumin, magnesiumin poisto	100
Lipeä	NaOH	- liuotuspiirin hiilen pesu	106
Natriumsyanidi	NaCN	- kullan ja hopean liuotus liuotuspiirissä	875
Rikkidioksidi	SO ₂	- syanidinhajotus	1 460
Lyjynitraatti	Pb(NO ₃) ₂	- kullan erottaminen syanidiliuoksesta	4
Nestekaasu	-	- liuosten, sulatusuunin ja hiilen talteenoton lämmitys	306
Aktiivihiili	C	- kullan ja hopean erotus liuotuspiirissä	78
Kuparisulfaatti	CuSO ₄	- vaahdotuspiirissä	722
Kaliumamyyli- ksantaatti, PAX	-	- vaahdotuspiirissä, kuparin ja sulfidien kokooja	Ei tietoja

Liite 7. Pampalo kaivoksen rikastusprosessi (Endomines 2013).

Rikastusprosessi

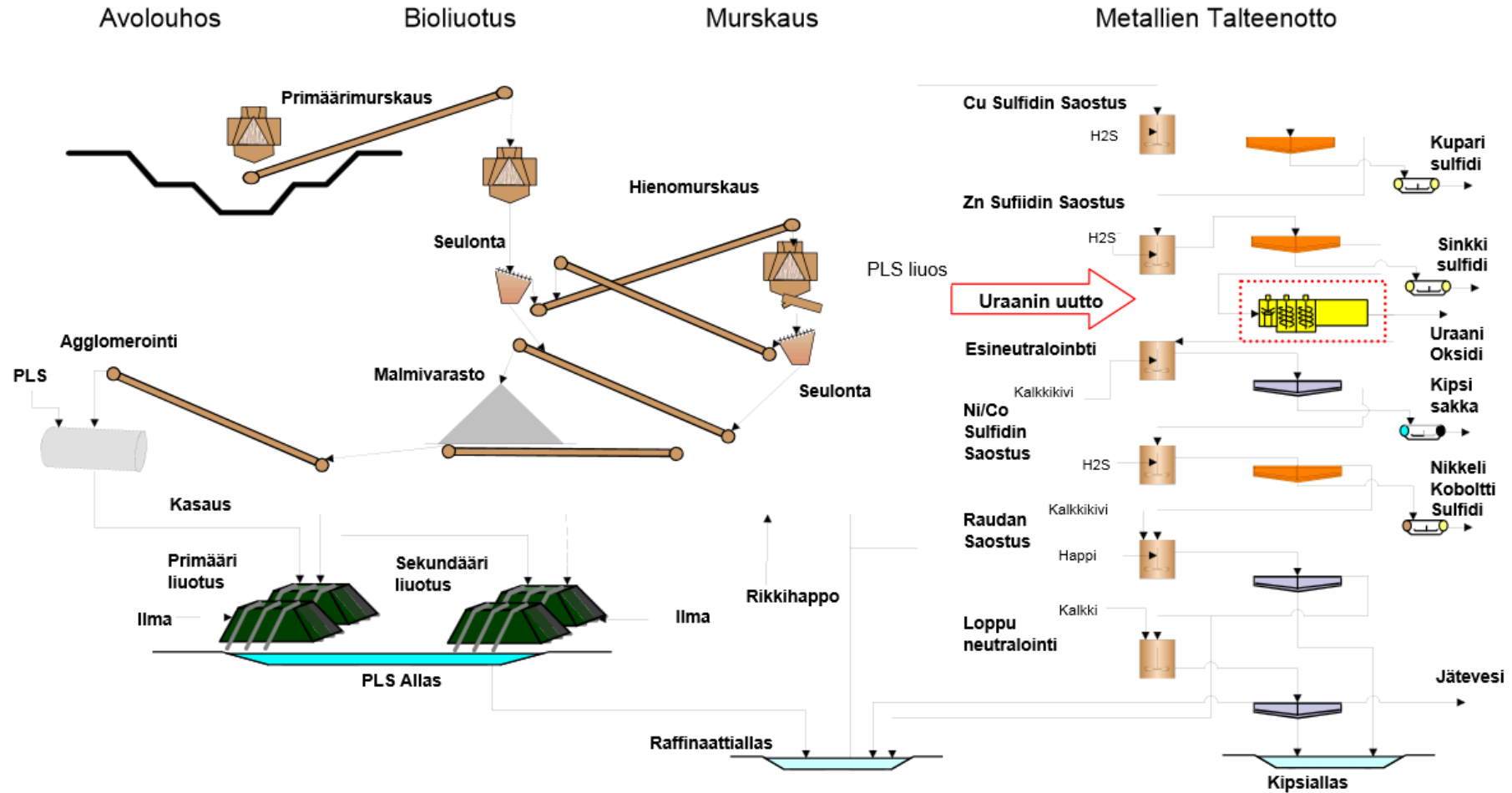


- Ei syanidia, ei happoja
- Puhdas rikastushiekka
- Ei odotettavissa happamia kaivosvesiä (Acid Mine Drainage)
- 100% vedenkierrätys

Liite 8. Pampalon kaivoksen rikastuskemikaalien käyttömäärät 2011-2013 ja maksimituotannolla (Endomines 2012, 26; VAHTI ympäristönsuojelun tietojärjestelmä, viitattu 3.9.2014).

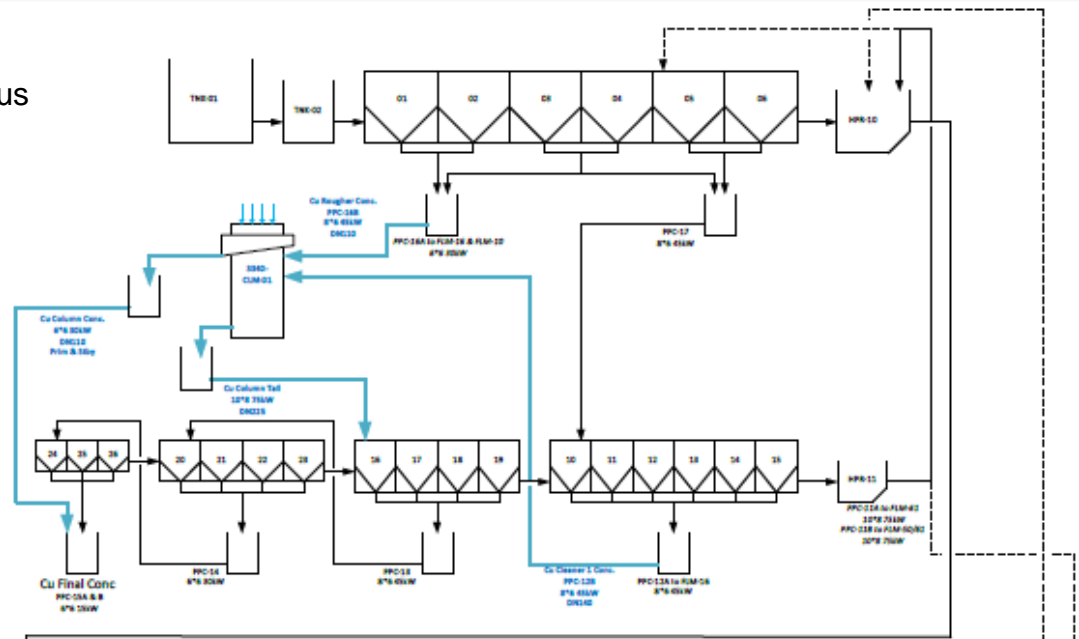
Kemikaali	Käyttötarkoitus	2011 t/a	2012 t/a	2013 t/a	Maks.tuotanto t/a
Kalliumamyliksantaatti (PAX)	- kokooja	4	1,76	2,64	10
Natrium-di-isobutyli-di- tiofosfaatti (Danafloat)	- apukokooja	10	6,76	7,59	22
2-Metyyli-2-pentanoni	- vaahdote	7	6,6	4,9	15
Kuparisulfaatti	- sulfidien aktivointi	3	3,75	2,5	7
Vesilasi	- dispergoija rikastuksessa	-	-	-	7

Liite 9. Talvivaaran rikastusprosessi, uraanin talteenotto (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014b, 28).

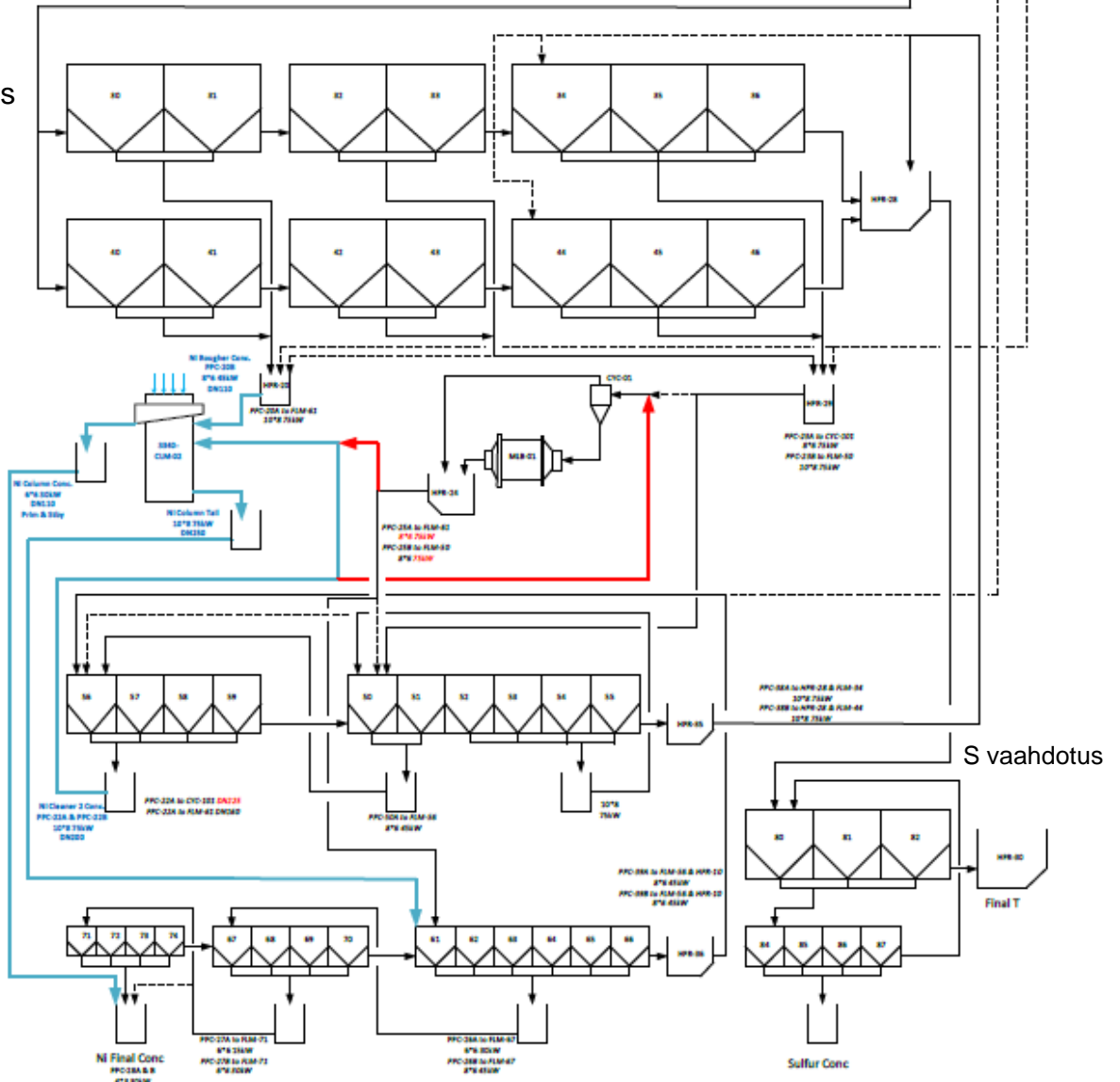


Liite 10. Kevitsan kaivoksen vaahdotusprosessikaavio (Mukutuma 2014, 18).

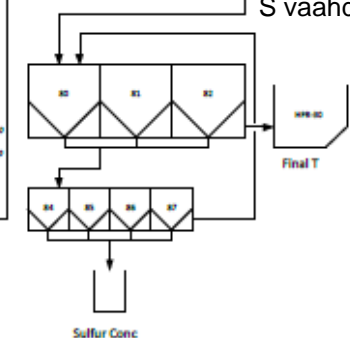
Cu vaahdotus



Ni vaahdotus

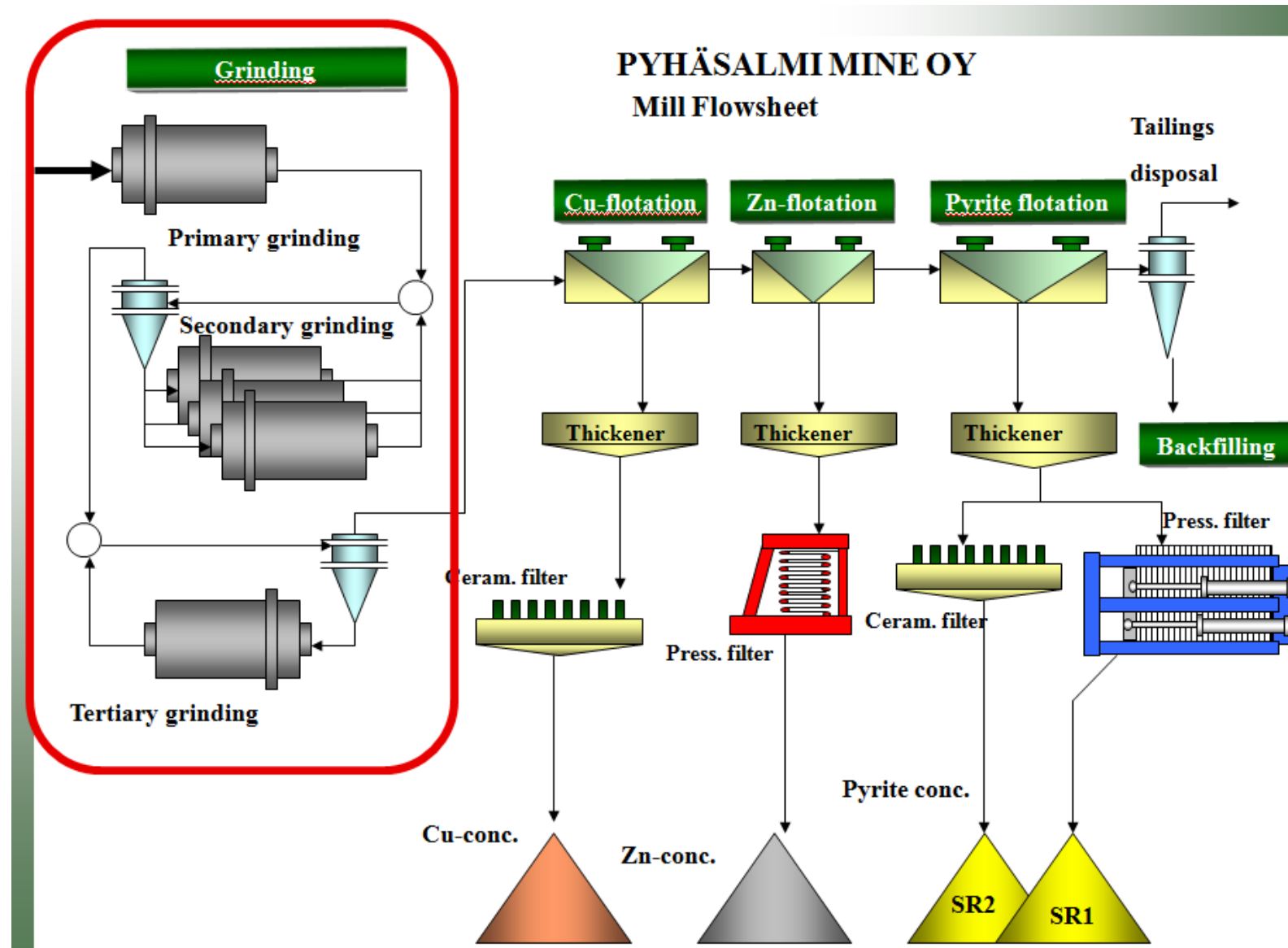


S vaahdotus

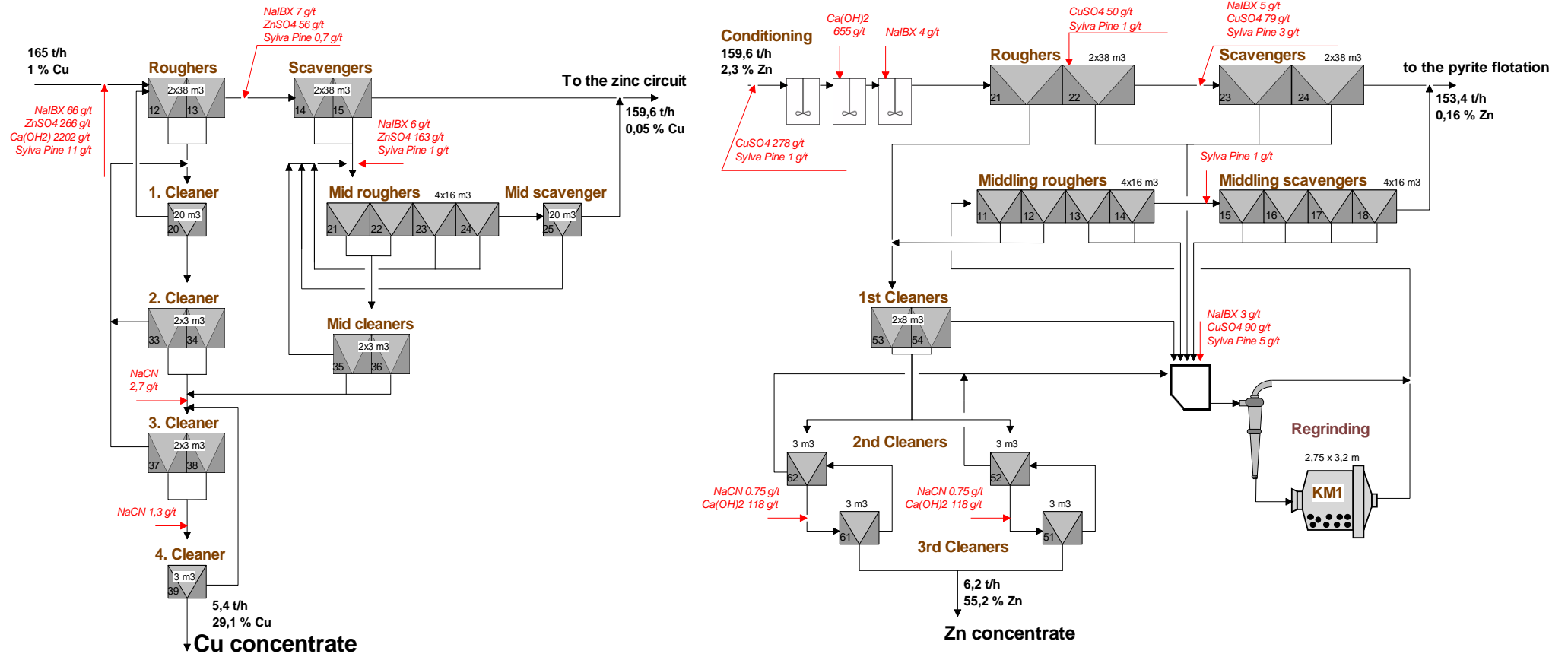


Final T

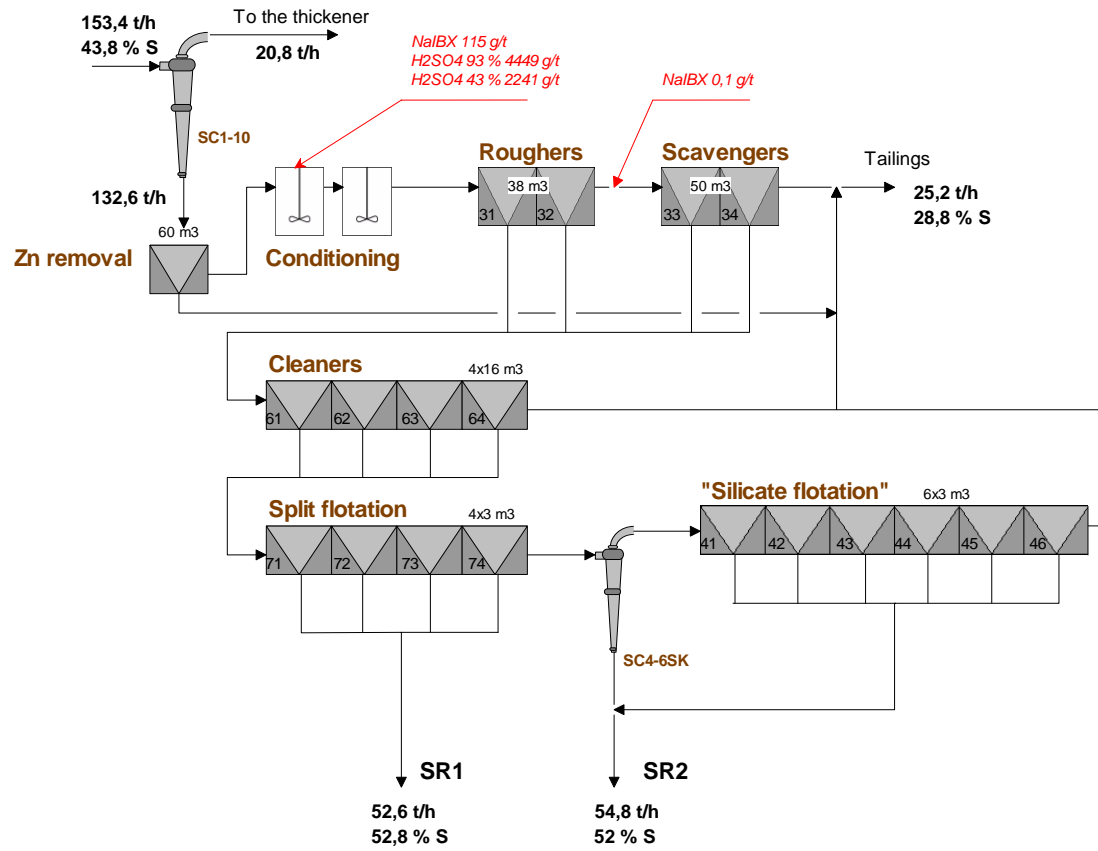
Liite 11. Pyhäsalmen kaivoksen rikastusprosessin kaavio (Pyhäsalmi Mine Oy, 23).



Liite 12. Pyhäsalmen kaivoksen kupari- ja sinkkivaahdotuspiirit (Pyhäsalmi Mine Oy, 29–30).



Liite 13. Pyhäsalmen kaivoksen pyriittivaahdotuspiiri (Pyhäsaami Mine Oy, 31).



Liite 14. Kylylahden kaivoksen rikastusprosessissa käytetyt kemikaalit 2012–2013 (Kylylahti Copper Oy, 31; VAHTI, viitattu 3.9.2014).

Kemikaali	Käyttötarkoitus	Käytetty määrä (kg)	
		2012	2013
Sammutettu kalkki (Ca(OH) ₂)	- pH:n säätö	-	arvioitu vuosikulutus 880 000 kg
Rikkihappo (H ₂ SO ₄)	- pH:n säätö	21 000	-
Aerophine 3418A (natriumisobutyyluditionofosfinaatti)	- kokooja	8 000	12 000
SIPX (natriumisopropyliksantaatti)	- kokooja	72 000	112 000
PAX (kaliumamyyliksantaatti)	- kokooja	58 000	168 000
Kuparisulfaatti (CuSO ₄ x 5H ₂ O)	- aktivaattori	78 000	218 000
Sinkkisulfaatti (ZnSO ₄ x 7H ₂ O)	- aktivaattori	74 000	200 000
MIBC (metyyli-isopbutyylikarbinoli)	- vaahdote	16 000	34 000
Orgaaninen flokkulanti	- sakeutus	1 500	1 900