

Mikko Kynkäänniemi

Kevitsan malmin jauhatustapojen vertaileva kustannuslaskelma

Insinöörityö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ala
Kone- ja tuotantotekniikka, kaivostuotanto
Kevät 2013



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka, kaivostuotanto
Tekijä(t) Mikko Kynkäänniemi	
Työn nimi Kevitsan malmin jauhatustapojen vertaileva kustannuslaskelma	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot	Ohjaaja(t) Leinonen Sanna Toimeksiantaja FQM Kevitsa Mining Oy
Aika Kevät 2013	Sivumäärä ja liitteet 36+4
<p>Tämän työn toimeksiantaja on FQM Kevitsa Mining Oy. Kevitsan kaivoksessa rikastetaan päätuotteena nikkeliä. Toinen jalostettava päämetalli on kupari. Kaivoksella rikastetaan myös kultaa, platinaa, palladiumia ja kobolttia.</p> <p>Tässä insinöörityössä tutkittiin perustamis-, operointi- ja ylösajovaiheen kustannusten kautta jauhatuksen kannattavuutta. Vertailukohteina olivat nykyinen autogeeni- ja rakentamaton semiautogeenijauhatuspiiri. Semiautogeenijauhatuspiiri oli kaivoksen rikastamo suunniteltaessa toinen vaihtoehto autogeenijauhatuspiirille. Työssä esitetään myös perusteet jauhatuspiirien valinnalle sekä kuinka kustannuksia tulee laskea pitkälle ajanjaksolle.</p> <p>Työssä on esitetty perustamiskustannukset kummallekin jauhatuspiirille. Kummankin piirin kustannuksiin on huomioitu vain suunnitteluvaiheen aikaisia kustannuksia, koska on mahdotonta vertailla jo rakennetun ja rakentamattoman piirin kustannuksia keskenään. Suunnittelun ja rakentamisen aikana nykyiseen jauhatuspiiriin on tehty muutoksia, joita on mahdotonta vertailla rakentamattomaan jauhatuspiiriin.</p> <p>Vertailtavissa jauhatuspiireissä suurimmaksi operointikustannukseksi muodostuu jauhinkuulien kulutus semiautogeenijauhatuspiirissä. Autogeenijauhatuspiirissä kyseistä kustannuserää ei ole. Laskelmissa teräksen hintana on käytetty 700 € / tonni, jolloin autogeenijauhatuspiiri on noin 5 miljoonaa euroa edullisempi vuosittain.</p> <p>Autogeenijauhatuspiirin ylösajovaihe on hitaampi kuin semiautogeenijauhatuspiirissä. Ylösajovaiheen aikana menetetään 5 % vuosituotannosta vertailtavaan jauhatuspiiriin nähden. Rahallinen tappio on huomattava, noin 11,6 miljoonaa euroa.</p> <p>Jauhatustavan valinnalla on erittäin suuri merkitys koko laitoksen kannattavuudelle ja toiminnalle. Autogeenijauhatuspiiri maksaa itsensä takaisin noin kolmessa vuodessa. Kaivoksen elinkaaren aikana autogeenijauhatuspiiri tulee noin 138 miljoonaa euroa edullisemmaksi kuin semiautogeenijauhatuspiiri.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Jauhatus, kaivos, rikastamo, SABC-jauhinpiiri, APC-jauhinpiiri.
Säilytyspaikka	<input type="checkbox"/> Verkkokirjasto Theseus <input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Mechanical and Production Engineering, mining production
Author(s) Mikko Kynkäänniemi	
Title Comparison of costs of grinding methods of Kevitsa ore	
Optional Professional Studies	Instructor(s) Ms Leinonen Sanna
	Commissioned by FQM Kevitsa Mining Oy
Date Spring 2013	Total Number of Pages and Appendices 36+4
<p>This Bachelor's thesis was commissioned by FQM Kevitsa Mining Oy which produces primarily nickel, and secondarily copper as well as gold, platinum, palladium and cobalt.</p> <p>The thesis studies building, operating and ramp-up costs between the semi-autogenous and the current autogenous grinding circuits to determine the cost effectiveness of grinding. Upon designing the process plant the semi-autogenous-ball grinding circuit was considered to be an alternative to the fully autogenous grinding circuit. The basis of selecting the grinding circuit and how to calculate long the term costs were also studied.</p> <p>Only the costs of the planning stage have been presented for both the grinding circuits – this is due to difficulties in comparing the costs of an existing circuit and an unbuilt one. There were changes that incurred to the current grinding circuit during the planning and building stages, thus making any comparison with the still unfinished circuit impossible.</p> <p>The greatest operational cost in the grinding circuits under comparison was found to be the usage of steel grinding media within the semi-autogenous-ball grinding circuit. Such cost does not exist in the fully autogenous grinding-circuit. The cost of steel used in the calculation was €700/ton, which makes the fully autogenous grinding -circuit about 5 million euros more cost effective annually.</p> <p>The ramp-up time is longer in the fully autogenous grinding circuit than in the semi-autogenous-ball grinding circuit. The total loss of production is 5 % during the ramp-up, which means substantial monetary losses of about 11.6 million euros.</p> <p>The grinding method has a major effect on the mine feasibility and productivity. The fully autogenous grinding circuit pays itself back in approximately three years. During the lifespan of the mine the fully autogenous grinding circuit ends up being 138 million euros more economical than semi-autogenous-ball grinding -circuit.</p>	
Finnish	
Keywords	Grinding, Mining, Mill, SABC-grinding circuit, APC-grinding circuit.
Deposited at	<input type="checkbox"/> Electronic library Theseus <input type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

SISÄLLYS

KÄYTETYT ERIKOISSANAT JA LYHENTEET

1 JOHDANTO

2 FIRST QUANTUM MINERALS LTD	1
2.1 FQM Kevitsa Mining oy	1
2.2 Kevitsan kaivos	2
2.2.1 Primäärimurskaus	3
2.2.2 Palamurskaus	4
2.2.3 Seulonta	5
2.2.4 Välivarasto	6
2.2.5 Palavarasto	8
2.2.6 Jauhatus	9
2.2.7 Vaahdotus	9
2.2.8 Suodatus	9
2.2.9 Rikastushiekka	10
2.2.10 Jätevedet	10
3 JAUHATUS	11
3.1 Jauhatuksen tehtävä	11
3.1.1 Jauhatuksen luokittelu	11
3.1.2 Autogeenimylly	11
3.1.3 Palamylly	12
3.1.4 Semiautogeenimylly	12
3.1.5 Kuulamylly	13
3.1.6 SABC-jauhatuspiiri	13
3.2 APC-jauhatuspiiri	13
3.2.1 Primäärimyllyt	14
3.2.2 Sekundäärimylly	15
4 JAUHATUSTAVAN YLEINEN VALINTAPERIAATE	17
4.1 Laitoksen kapasiteetti	17
4.2 Malmin ominaisuudet	18
4.3 Vaadittu tuote	19

5 NYKYISEN JAUHATUSPIIRIN VALINNAN PERUSTEET	21
6 SABC- JA APC-JAUHATUSPIIRIEN KUSTANNUKSET	23
6.1 Perustamis- ja operointikustannukset	23
6.2 Ylösajovaiheen kustannukset	29
6.3 Yhteenveto kustannuksista	31
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	33
8 YHTEENVETO	35
LÄHTEET	36
LIITTEET	

KÄYTETYT ERIKOISSANAT JA LYHENTEET

Abraasioindeksi	Luku, joka kuvastaa malmin kuluttavuutta
Hydroykloni	Märkäjauhatuksessa käytettävä luokitin
Kriittinen koko	Jauhinmyllyssä oleva jauhautunut malmi, joka ei enää jauha eikä taloudellisesti kannata jauhaa pienemmäksi
Kriittinen pyörimisnopeus	Jauhinmyllyn nopeus, jolla malmi ei enää irtoa myllyn kehältä
Luokitin	Laitte, jolla erotellaan partikkelikokoja toisistaan
Puhdas rae	Partikkeli, jossa on vain yhtä mineraalia
Puhtaaksi jauhatusaste	Mineraalien puhtaiden rakeiden määrä suhteessa saman mineraalin kokonaismäärään
P80	Raekoon 80 % läpäisy tiettyyn kokoon
Saanti	Luku, joka kertoo, kuinka suuri osa vaahdotuksen syötteen malmimineraaleista on saatu rikastettua

1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön tilaaja on FQM Kevitsa Mining Oy. Työ on tehty Kevitsan rikastamolle. Tässä insinööriyössä selvitetään, kumpi jauhatustapa on edullisempi Kevitsan malmilla, autogeeni- vai semiautogeenijauhatus. Tällä hetkellä jo tuotannossa oleva FQM Kevitsa Mining Oy:n kaivos käyttää jauhatukseen autogeenijauhatuspiiriä. Autogeeni- ja semiautogeenijauhatus tapoja ja niistä muodostettuja erilaisia yhdistelmiä on hyvin paljon, mutta tässä työssä keskitytään ainoastaan autogeeni- / palajauhatus (AG/PM) ja semiautogeeni- / kuu-lajauhatus (SAG/BM).

Työn tarkoituksena on vertailla perustamis-, operointi-, ja ylösajovaiheen kustannuksia sekä kokonaiskustannustehokkuutta kaivoksen elinaikana. Kaivoksen elinaika ilmaistaan hyvin usein vuosina, kuten Kevitsan toiminta-aika noin 30 vuotta, mutta kustannukset jauhatuspiirien osalta tulee laskea jauhettuina tonneina. Kevitsan malmion koko on noin 161 miljoonaa tonnia, jolloin jauhatuskustannukset tulee laskea malmion koon mukaan.

Autogeenijauhatuspiiri (APC) muodostuu kahdesta autogeenimyllystä (AG) ja yhdestä palamyllystä (PM). APC-piiri on kaksivaiheinen. Kevitsan jauhatuspiiriin kuuluu hyvin olennaisena osana jauhatuksen lisäksi primääri- ja sekundäärimurskaus (palamurskaus), primääriseulonta, palamateriaalin hallinta, jauhatusmyllyjen tuotteen seulonta ja luokitus sekä autogeenimyllyjen syöttöjärjestelmä.

Vertailtavana jauhatuspiirinä on semiautogeenijauhatuspiiri (SABC). Piiriin olisi kuulunut yksi semiautogeenimylly (SAG) ja yksi kuulamylly (BM). SABC-jauhatuspiiri olisi myös ollut kaksivaiheinen. Piirissä olisi ollut vähemmän laitteita kuin APC-piirissä, joten rakennukset olisivat voineet olla pienempiä. SABC-piirissä ei tarvitse lainkaan primääriseulaa, jolloin yksi rakennus olisi jäänyt kokonaan vähemmäksi. SABC-piiriä ei koskaan Kevitsaan rakennettu, joten on mahdotonta sanoa, miten suunnitelmat olisivat muuttuneet projektin edetessä.

Työssä tutkitaan ylösajovaiheen merkitystä sekä ajallisesti että ennen kaikkea tuotannonmenetysten kautta. Ylösajovaihe on erittäin tärkeä tehdä mahdollisimman nopeasti. Vertailtavien jauhatuspiirien ylösajo- ja optimointiajoissa on eroja. Mikäli jauhatuspiiriä ei saada nopeasti optimoitua, on sillä erittäin suuri merkitys vaahdotuksen toimintaan. Pahimmillaan malmimineraaleja menetetään rikastushiekkaan vakiintumattoman jauhatuspiirin vuoksi.

Operointikustannuksissa tulee huomioida jauhattavan malmin määrä koko kaivoksen elinai-
kana. Tässä työssä vertaillaankin operointikustannuksia jauhattua tonnia kohden. Operointi-
kustannuksiin vaikuttaa suuresti se mitä materiaalia jauhetaan ja millä materiaalilla.

2 FIRST QUANTUM MINERALS LTD

First Quantum Minerals LTD on nopeasti kasvava kuparin tuottaja. Kanadalainen, vuonna 1996 perustettu FQM LTD on listautunut Toronton ja Lontoon pörssiin. Yhtiön päätoimena on mineraalien etsintä, kaivoshankkeiden kehittäminen ja kaivostoiminta [1, s. 3].

Yhtiöllä on kaivoksia ja kaivoshankkeita Australiassa (Ravensthorpe), Sambiassa (Kanshansi, Sentinel ja Enterprise), Mauritaniassa (Guelb Moghrein), Perussa (Haguira) ja Suomessa (Kevitsa) [1, s. 3]. Vuonna 2010 yhtiön päätuotetta, kuparia, tuotettiin 323 017 tonnia ja kuluttaa 191 395 unssia [1, s. 4]. Nikkeli tulee yhtiön merkittäväksi tuotteeksi Kevitsan ja Ravensthorpen myötä. Työntekijöitä yhtiössä oli vuonna 2010 noin 6900 henkilöä [1, s. 4]. Yhtiön liikevaihto vuonna 2011 oli 2,584 miljardia US-dollaria [2, s. 1].

2.1 FQM Kevitsa Mining Oy

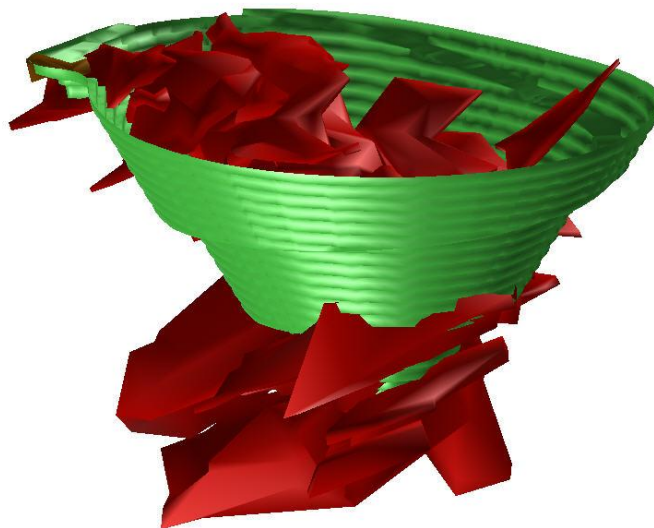
FQM Kevitsa Mining oy on FQM ltd:n tytäryritys Suomessa. Ensimmäisenä esiintymän omistusoikeus oli Outokumpu Mining Oy:llä, vuosina 1995 - 1998. Tämän jälkeen Ruotsissa rekisteröity Scandinavian Gold Prospecting Ltd (myöhemmin Kanadassa rekisteröity Scandinavian Minerals Ltd) valtasi alueen. Scandinavian Minerals Ltd perusti tytäryhtiö Kevitsa Mining Oy:n vuonna 2006 ja aloitti lupien hakemisen ja rikastusmenetelmätutkimukset. Vuonna 2008 kanadalainen First Quantum Minerals Ltd. osti Scandinavian Minerals Ltd:n. Vuonna 2009 First Quantumin hallitus päätti rakentaa Kevitsan kaivoksen. [3, s. 3].

Kaivoksen rakennustyöt on aloitettu 2010, ja tuotanto on aloitettu kesällä 2012. Kaivos työllistää tuotantovaiheessa noin 250 henkilöä. Kaivoksen elinajaksi on laskettu yli 30 vuotta. Vuosituotannoksi on arvioitu noin 10 000 tonnia nikkeliä ja noin 19 000 tonnia kuparia. [3]. Mahdollisen laajennuksen jälkeen nikkeli tuotanto on laskettu olevan 15 000 t nikkeliä ja 28 000 - 30 000 t kuparia vuodessa. Laajennus lyhentäisi kaivoksen elinajan noin 20 vuoteen. [3, s. 12].

2.2 Kevitsan kaivos

Kevitsan kaivos sijaitsee Sodankylän kunnassa, noin 40 km Sodankylästä pohjoiskoilliseen, Petkulan kylässä, Kevitsavaaran pohjoispuolella. Geologian tutkimuskeskus löysi Kevitsan esiintymän vuonna 1987. Esiintymä on suuri ja sisältää PGE-metalleja (Platinum group elements). Esiintymässä PGE-metallit (kulta, platina, palladium) sijaitsevat poikkeuksellisesti lähellä maanpintaa ja ovat helposti hyödynnettävissä. PGE-metallien määrä ja pinnanläheisyyden ansiosta Kevitsan kaivos on Euroopan ensimmäinen platinametallien tuottaja [3, s. 3]. Kuvassa 1 on esitetty Kevitsan malmion solidikuva [3, s. 2].

Kevitsan malmiossa esiintyy rauta-, nikkeli- ja kuparisulfidista pirottemalmia, jossa on vyöhykkeittäin myös PGE-mineraaleja. Malmion keskimääräiset pitoisuudet ovat nikkeli 0,29 %, kupari 0,42 % ja koboltti 0,015 %. Jalometallien pitoisuudet ovat 0,12 – 0,22 g/t. [4, s 3]. Kobolttia esiintyy paikoin korkeitakin määriä, mutta tuotannon alkuvaiheessa sitä ei voida vielä juurikaan hyödyntää pitoisuuksien ollessa paikoitellen hyvin alhaisia. Kobolttipitoisuudet kasvavat kaivoksen mennessä syvemmälle esiintymään [5]. Esiintymän hyödynnettävät malmivarannot ovat noin 161 miljoonaa tonnia. Tämänhetkisen suunnitelman mukaan malmia louhitaan vuosittain 5,5 miljoonaa tonnia. Mahdollisen laajennuksen jälkeen tuotanto nousee noin 7,5 miljoonaan tonniin [3, s. 1].



Kuva 1. Kevitsan malmion solidikuva.

Kevitsan kaivoksen tuotantoprosessi koostuu louhinnasta, murskauksesta, jauhatuksesta, selektiivisestä vaahdotuksesta ja suodatuksesta. Liitteessä 1 on esitetty Kevitsan rikastamon virtauskaavio.

Kevitsan kaivos käyttää louhintamenetelmänä avolouhusta. Myöhemmässä vaiheessa on mahdollista myös tunnelilouhinta [5]. Mahdollisen laajennuksen jälkeinen 7,5 miljoonan tonnin vuosituotanto on todennäköisesti suurin, mihin kaivos kykenee, koska esiintymän pinta-ala on suhteellisen pieni, noin 59 ha, jolloin tila ei enää riitä tehokkaaseen louhintaan, lastaukseen ja kuljetukseen [5].

2.2.1 Primäärimurskaus

Murskauksen tehtävänä on pienentää partikkelikokoa jauhatusta varten. Ideaalitulanteessa materiaali murskataan niin pieneksi kuin mahdollista, koska murskaus on aina halvempaa kuin jauhatus. Autogeenimyllyjen syötteessä täytyy kuitenkin olla karkeampaa materiaalia jauhinkappaleiksi, ja siksi Kevitsassa malmia ei murskata kovin pieneksi. Vertailuna voisi käyttää Talvivaaran malminkäsittelyä, jossa malmi murskataan neljässä vaiheessa muutaman millimetrin kokoisiksi partikkeleiksi. Taulukossa 1 on esitetty kiven eri pienentämismenetelmien keskinäisiä eroja energian kulutuksessa [6, s. 3].

Kevitsassa louhittu malmi kuljetetaan kiviautoilla primäärimurskalle, jossa kivi murskataan. Tuotteen tavoitekoko on 80 % (P80 %) alle 130 mm. Murskan pienin vällys (suljetun puolen asetus, CSS) on 150 mm [4, s. 5]. Kevitsan kaivoksella primäärimurskaimena käytetään Sandvik:n CG820-mallista karamurskainta. Murskaimen suunniteltu kapasiteetti on 2000 t/h. Primäärimurskaimen sähkömoottorin teho on 450 kW. [4, s. 5]. Karkeamurskaimen tuote menee murskaimen alla olevaan siiloon. Siilo toimii tasaussiilona lamellisyyöttimelle, joka syöttää materiaalin primääriseulalle johtavalle kuljettimelle.

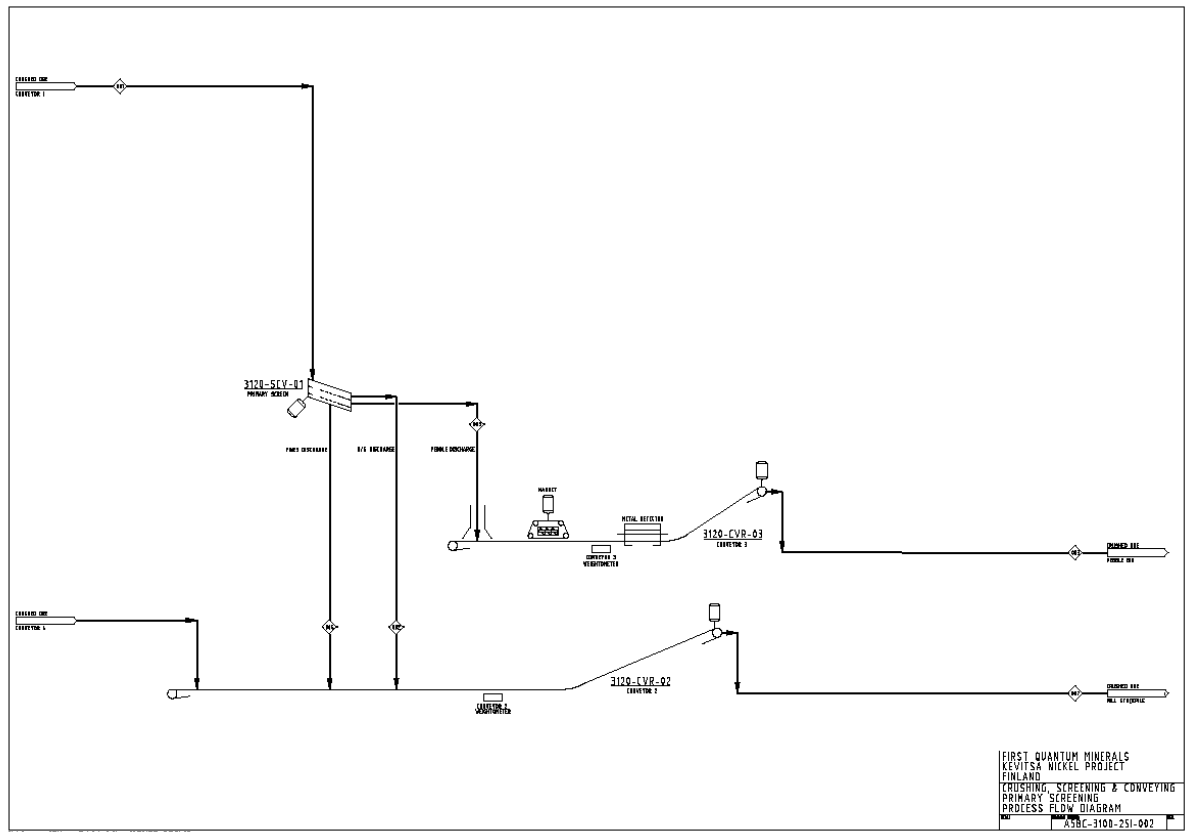
Taulukko 1. Energian kulutus eri hienonnutprosesseissa.

Karkea murskaus	> 10 cm	3 - 4 kWh/t
Keskikarkea murskaus	1 - 10 cm	5 - 6 kWh/t
Hieno jauhatus	1 cm - 125 μ m	20 - 30 kWh/t
Hyvin hieno jauhatus	< 125 μ m	100 - 1000 kWh/t

2.2.2 Palamurskaus

Sekundäärimurskaimen tehtävänä on murskata palavarastosta syötettävää malmia, joka on primääri- ja sekundäärimyllyjen seulojen ylitettä. Murskan tuote kuljetetaan välivarastoon syötteeksi primäärimyllyille. Kevitsan palamurska on Metson valmistama karamurska, MP800. Palamurskaimen asetuksena käytetään (CSS) 20 mm. Tuotekoko on enintään 25 mm. [4, s. 5].

Murskattava materiaali koostuu kriittisen kokoisesta malmista, 10 - 80 mm, jota ei ole enää taloudellisesti järkevää jauhaa pienemmäksi, vaan on edullisempaa murskata se pienemmäksi ja käyttää jauhettavana materiaalina primäärimyllyillä [7, s. 249]. Kuvassa 2 on esitetty Kevitsan palamurskauksen virtauskaavio. Kaaviossa on kaksi palamurskaa, joista toinen on optio laajennusta varten.

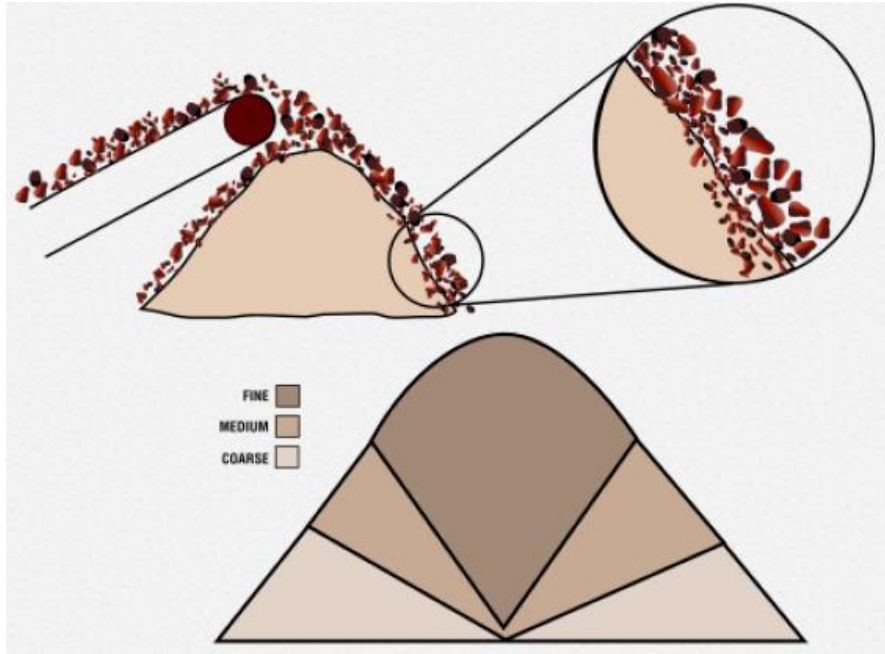


Kuva 3. Primääriseulonnan virtauskaavio

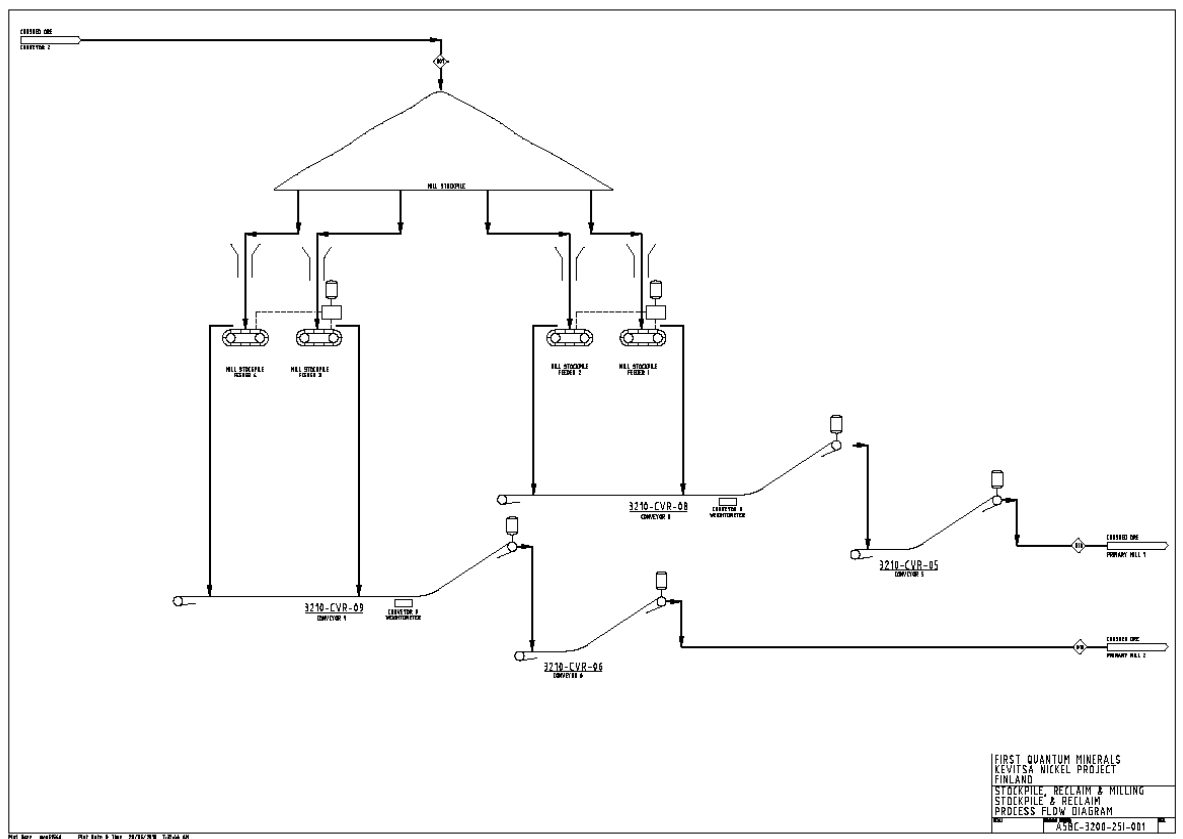
2.2.4 Välivarasto

Välivaraston tehtävänä on toimia silona primääriseulan hienolle (alle 25 mm) ja karkealle (yli 100 mm) materiaalille sekä palamurskaimen tuotteelle. Lisäksi välivarasto toimii tasaussilona primäärimyllyjen syötteelle. [8]. Välivarasto on suunniteltu 14 000 tonnia varten. Välivarasto riittää 26 tunnin ajaksi primäärimyllyille, vaikka välivarastoon ei tulisi uutta materiaalia. [4 s.5].

Malmin lajittumista välivarastossa käytetään hyväksi syötettäessä autogeenimyllyjä. Hieno-aines on jauhettavaa materiaalia, ja karkea-aines toimii jauhinkappaleina itsekin samalla jauhautuen. Kuvassa 4 on esitetty materiaalin lajittumista [9]. Välivaraston alla on kummallekin primäärimyllylle kaksi lamellisyyötintä. Taaemman syöttimen tarkoitus on syöttää myllyyn hienompaa ainesta, kun etummainen syötin syöttää karkeampaa materiaalia. Kuvassa 5 on esitetty välivaraston virtauskaavio.



Kuva 4. Lajittuminen välivarastossa.



Kuva 5. Välivaraston virtauskaavio

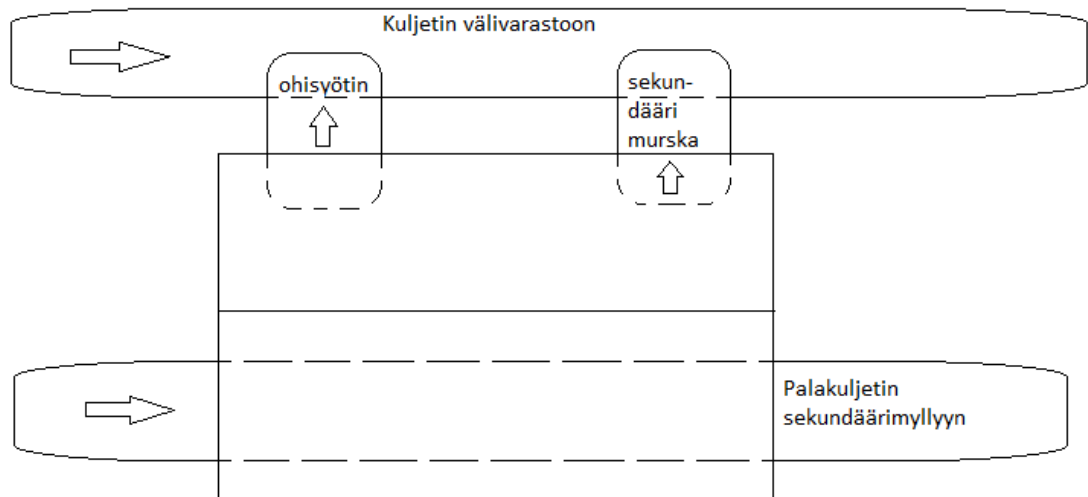
2.2.5 Palavarasto

Palavaraston tehtävät [8]:

1. Toimii siilona primäärimyllyjen ja sekundäärimyllyn ylitteille.
2. Toimii siilona primääriseulan keskikoon tuotteelle (25 -100 mm).
3. Toimii syöttösiilona palamyllylle (sekundäärimylly).
4. Toimii syöttösiilona palamurskalle.

Palavarasto on jaettu kahteen lohkoon, joista toisesta syötetään palamyllyä ja toisesta palamurskaa. Seulalta kuljetettu materiaali (25 - 100 mm) on tarkoituksena mennä palavaraston lohkoon, josta syötetään palamyllyä [5]. Palavarastoon tulee materiaalia primäärimyllyiltä ja sekundäärimyllyltä. Myllyjen tuote seulotaan myllyjen purkupäässä olevilla seuloilla. Myllyjen seulojen ylite, 10 - 80 mm (kriittinen koko), kuljetetaan palavarastoon. Tavoitteena on murskata myllyjen seulojen ylite palamurskalla ja kuljettaa se välivarastoon syötteenä auto-geenimyllyille. [5].

Kuvassa 6 on esitetty periaatepiirros palavaraston toiminnasta.



Kuva 6. Palavaraston periaatteellinen toiminta.

2.2.6 Jauhatus

Jauhatuksen tarkoituksena on pienentää materiaali halutun suuruiseksi vaahdotusta varten. Testeissä on todettu, että Kevitsan malmin optimaalinen koko vaahdotukseen on P80 % 75 μm [10, s. 1]. Jauhatus Kevitsassa tapahtuu kaksivaiheisena märkäjauhatuksena. Kevitsassa on käytössä APC-jauhatuspiiri, jossa on kaksi autogeenimyllyä primäärimyllyinä. Sekundäärimylly on palamylly. Kaikki myllyt ovat autogeenimyllyjä. Primäärimyllyä syötetään välivarastosta kahdella lamellisyyttimellä kumpaakin myllyä. Sekundäärimyllyä syötetään palavarastosta ja primäärimyllyjen siirtopumppauksella.

2.2.7 Vaahdotus

Vaahdotuksen tehtävänä on erotella malmilietteestä puhallusilman ja kemikaalien (reagenssien) avulla sivum mineraalit malmimineraaleista. Kevitsan vaahdotus perustuu selektiiviseen vaahdotukseen, jossa vaahdotetaan kuparikiisua (CuFeS_2), pentlandiittia ($(\text{NiFe})_9\text{S}_8$) ja magneetikiisua (FeS).

Vaahdotuksessa vaahdotetaan ensin kuparia esi-, ripe- ja kertausvaahdotuksissa. Kuparin jäte siirretään nikkelin vaahdotukseen. Nikkelivaahdotuksessa on samankaltaiset vaahdotusvaiheet, mutta vaahdotuskennojen tilavuudet ovat noin 3 kertaa suuremmat, koska nikkelillä on noin 3 kertaa pidempi viipymäaika [4, s. 7]. Viimeisenä vaahdotusvaiheena on rikin vaahdotus, jossa rikkiä rikastetaan korkeapitoisemmaksi.

Lopputuotteiden tavoitepitoisuudet ovat nikkeli 13 % ja kupari 28 %. Saantitavoite on nikkelillä 72 %. Kuparilla saantitavoite on 92 %, josta 13 % nikkelissä. [5].

2.2.8 Suodatus

Kupari- ja nikkelikertausvaahdotusten rikasteet pumpataan sakeuttimille (Ni- ja Cu-sakeuttimet), josta ylite (rännivesi) palautetaan prosessiin. Alite (rikaste) pumpataan rikastesäiliöihin, joista rikaste pumpataan nauhasuotimille. Nauhasuotimista rikaste tippuu rikas-

tekasoihin, joista se rahdataan jatkojalostettavaksi muualle, nikkeliirikaste kuljetetaan Harjavaltaan Bolidenin sulattoon ja kupariirikaste Xstrata sulattoon Kanadaan [11].

2.2.9 Rikastushiekka

Nikkelivaahdotuksen jäte pumpataan rikkivaahdotukseen. Rikkivaahdotuksen tarkoituksena on rikastaa rikkiä mahdollisimman korkeapitoiseksi. Korkeapitoinen rikki ($S > 0,5 \%$) pumpataan rikastushiekka-altaaseen (B-allas). Rikkivaahdotuksen jäte ($S < 0,5 \%$) pumpataan rikastushiekka-altaaseen (A-allas). Suurin osa vaahdotuksen jätteestä menee A-altaaseen.

A- ja B-altaissa rikastushiekka painuu pohjalle ja selkeytynyt vesi jää pintaan. B-altaan selkeytynyt vesi pumpataan A-altaaseen, josta selkeytynyt vesi pumpataan prosessivedeksi rikastamon käyttöön.

2.2.10 Jätevedet

Kaivoksella pyritään suljettuun kiertoon jätevesien osalla. Kaikki vesi selkeytetään ja pyritään palauttamaan prosessiin. Ylimääräinen vesi, joka ei mahdu altaisiin selkeytetään ja poistetaan alueelta. Kaivoksella kerätään myös sadevedet talteen ja käytetään prosessissa tai selkeytetään ennen poistamista kaivosalueelta.

3 JAUHATUS

3.1 Jauhatuksen tehtävä

Jauhatuksen tehtävänä on pienentää malmin partikkelikokoa halutun suuruiseksi. Tavoiteltu partikkelikoko selvitetään metallurgisissa testeissä, joissa todennetaan optimaalisin partikkelikoko vaahdotuksessa tutkittavalle malmille. [12]. Testeissä selvitetään riittävä puhtaaksijauhatusaste, kuitenkin ylijauhamista pyritään välttämään. Oikealla puhtaaksijauhamisasteella malmimineraalit ovat pääsääntöisesti irrallaan sivumineraaleista jauhamatta malmimineraaleja liian pieneksi, jolloin energian kulutus ja viipymäaika kasvavat.

Jauhatuksessa erotellaan malmimineraalit muista mineraaleista, jotta vaahdotuksesta saataisiin mahdollisimman puhdasta malmimineraalia. Tarkoituksena on myös lisätä malmimineraalien pinta-alaa, jotta reagenssit voivat toimia paremmin vaahdotuksessa. Tavoitteena on myös pienentää partikkelikokoa, jotta mineraaleja olisi helpompi kuljettaa ilman tai veden välityksellä. [12.]

3.1.1 Jauhatuksen luokittelu

Märkäjauhatuksessa luokitteluun käytetään hydrosykloneita. Hydrosykloneita syötetään liete-pumpulla korkealla paineella. Lieite joutuu hydrosyklonin sisällä pyörivään liikkeeseen ja alite ja ylite erottuvat toisistaan. Alite ($> 75 \mu\text{m}$) palautetaan jauhinmyllyyn ja ylite ($< 75 \mu\text{m}$) johdetaan tasaussäiliöön siirrettäväksi vaahdotukseen. Kevitsan vaahdotuksen syötteen tavoiteltu partikkelikoko P80 % on $75 \mu\text{m}$. Syklonien ylitteen tiheyden tavoite on 35 % ja alitteen 75 %. [4, s. 6]. Kevitsan primäärimylyllä on kummallakin 6 ja sekundäärimylyllä 13 kappaletta hydrosykloneita.

3.1.2 Autogeenimyly

Autogeenijauhatusta tarkoittaa, että myllyssä jauhautuva ja jauhava materiaali on pelkästään malmia. Tämä jauhatustapa vaatii, että malmi on luokiteltu, jolloin jauhatusta toimii mahdolli-

simman tehokkaasti. Kevitsan AG-myllyjen syötteessä täytyy olla hienoa materiaalia jauhetavana (<25 mm) ja karkeaa materiaalia (>100 mm) jauhinkappaleina [12]. Syötteen jakauman säätelyn vuoksi kummallakin myllyllä on kaksi syötintä. Malmin lajittumisesta johtuen toinen syötin syöttää karkeampaa kiveä kuin toinen, jolloin syöttösuhdetta voidaan säädellä. AG-myllyillä syötteen jakauman säätely on tärkeä ajoparametri.

3.1.3 Palamylly

Palamylly on autogeenimylly, mutta luokitellaan palamyllyksi, koska osa syöttestä on jo kertaalleen läpäissyt jonkuntyyppisen jauhinmyllyn, mutta tuote on ollut luokittelussa liian karkeaa pumpattavaksi vaahdotukseen [8]. Osa palamyllyn syöttestä on pyöreää, sileää ja kovaa (siirtopumppaus primäärimyllyjen seulojen alitteesta). Jauhaantuminen perustuu isompien kivien hierovaan liikkeeseen. Hienompi aines jauhaantuu isompien seassa, ja samalla myös isommat kuluvat. [8.]

Palamylly soveltuu hyvin malmille, jonka seassa on lietettä. Palat toimivat sekundäärimyllyssä kuin jauhinkuulat, jauhavat hienompaa materiaalia, mutta toimivat ilmaisina jauhinkuulina. Palojen välissä liete jauhaantuu. [8.]

3.1.4 Semiautogeenimylly

Semiautogeenimyllyssä jauhatustapahtuma perustuu sekä malmin itsensä tekemään jauhamiseen että teräskuulien vaikutukseen. Semiautogeenijauhatuksessa syötteen koolla ei ole niin suurta merkitystä kuin autogeenijauhatuksessa, eikä syötteen kokoa ole tarpeen säädellä. SAG-myllyn syötettä ei yleensä seulota, vaan syötteenä on murskauksen tuote. Jauhinkuulat tekevät jauhamisessa suurimman työn. Semiautogeenimyllyissä voi jauhinkappaleina käyttää sekä erikokoisia teräskuulia että -tankoja. Myös muuta materiaalia olevia jauhinkappaleita voi tarpeen mukaan käyttää. [8.]

3.1.5 Kuulamylly

Erona SAG-myllyyn on, että jauhamisen tekee pelkästään muu kuin malmi itse, esimerkiksi jauhinkuulat. Kuulamyllyn syöte on niin hienoa, että tuote itsessään ei pysty jauhamaan materiaalia pienemmäksi.

3.1.6 SABC-jauhatuspiiri

Kevitsaan suunniteltuun semiautogeeni-kuulamylly-jauhatuspiiriin olisi kuulunut yksi SAG-mylly (primäärimylly) ja kuulamylly (sekundäärimylly). Piiriin olisi kuulunut myös primäärimurska, sekundäärimurska ja hydrosyklonit.

SABC-piirissä ei olisi ollut primääriseulaa, koska SAG-myllyssä jauhatusta säädellään jauhatuskuulilla, syötteen partikkelikokojakauman asemesta. Välivarastossa ei olisi ollut kuin yksi syötin SAG-myllyä varten. Myllyjen tuotteen luokittelu on samankaltaista hydrosykloneilla kuin APC-piirissäkin.

3.2 APC-jauhatuspiiri

Kevitsassa on käytössä APC-jauhatuspiiri (autogeenijauhatusta). Piiriin kuuluvat kaksi autogeenimyllyä ja yksi palamylly. Olennaisena osana jauhatuspiiriin kuuluvat myös primäärimurska, primääriseula, palavarasto, palamurskain, hydrosyklonit ja välivaraston syöttimet. [11.] Kuvassa 7 on Kevitsan kaivoksen jauhatusmyllyt. Kuvan yläreunassa on primäärimylly 1 (autogeenimylly), keskellä primäärimylly 2 (autogeenimylly), ja etualalla on palamylly (sekundäärimylly).



Kuva 7. Kevitsan kaivoksen jauhatusmyllyt.

3.2.1 Primäärimylyt

Kevitsassa käytetään kahta primäärimylyä, jotka ovat autogeenimylyjä. Myllyt ovat Outotec:n valmistamia, rakenteeltaan identtisiä. Jauhatusmyllyjen sähkömoottorien teho on 7000 kW. Myllyjen mitat ovat 8,5 m * 8,5 m (kuoren sisähalkaisija * tehokas jauhatuspituus, EGL). Myllyn pyörimisnopeus on primäärimyly 1:llä 65 - 80 % (9,5 - 11,7 rpm) kriittisestä pyörimisnopeudesta. Primäärimyly 2:lla nopeus on 75 % (11 rpm) kriittisestä [4, s. 5], [11].

Pyörimisnopeuksien erot selittyvät sillä, että myllyssä 1 on taajuusmuuttaja, jolla nopeutta voidaan säädellä. Primäärimyly 2:n nopeutta ei voi säädellä. Ensimmäisissä suunnitelmissa Kevitsassa piti olla yksi primäärimyly ja kaksi sekundäärimylyä. Myllyt oli jo tilattu Outotec:ltä, kun suunnitelmaa muutettiin kahdeksi primäärimylyksi ja yhdeksi sekundäärimylyksi. Suunnitelman muutoksesta huolimatta toiseen primäärimylyyn ei enää tilattu taajuusmuuttajaa.

Primäärimyllyjen maksimisyöttö on noin 500 tonnia tunnissa, riippuen syötteen laadusta. Jauhatusen energiankulutuksen perusteena käytetään metallurgisia kokeita, joissa todenneetaan Bondin työindeksi. Kevitsan malmin työindeksiksi on määritelty 22,6 kWh/t. Jauhatusen sähkönkulutuksen tavoite on Kevitsassa 22,6 kWh/t [4, s. 4].

Jauhatusmyllyjen purkupäässä olevat arinalevyt säätelevät purkautuvan materiaalin partikkelikokoa. Kummassakin myllyssä on 6 arinalevyä, joiden purkuaukot ovat 80 * 130 mm kokoisia. Lisäksi kummassakin myllyssä on 22 arinalevyä, joiden purkuaukot ovat 15 * 30 mm kokoisia. [12].

Jauhatusmyllyjen tuote seulotaan täryseuloilla, joiden seula-aukkojen koko on 10 * 25 mm [4, s. 5]. Täryseulojen alite pumpataan myllyjen omille hydroykloneille ja siirtopumppauksena sekundäärimyllyn sykloneille syöttävälle pumpulle. Hydroykloneissa liete luokitellaan. Tavoite P80 on 75 µm. Hydroykloneista liian karkea materiaali johdetaan takaisin myllyyn ja maksimissaan 75 µm siirretään tasaussäiliöön. Tasaussäiliöstä liete pumpataan vaahdotukseen.

Välivarastosta materiaalia syötetään kahdelle autogeenimyllylle, kummallekin on omat kuljettimet. Kuljettimia syötetään lamellisyoittimillä. Lamellisyoittimiä on kaksi kummallekin myllylle. Lamellisyoittimet ovat identtisiä, mutta syötettävä materiaali on erikokoista, johtuen materiaalin lajittumisesta välivarastossa. Taaemmat lamellisyoittimet syöttävät hienompaa materiaalia kuin etummaisat. Näin saadaan säädelyä myllyjen jauhatusta syöttämällä sopivassa suhteessa jauhinkiviä (> 100 mm) ja jauhatettavaa materiaalia (< 25 mm). Liitteessä 2 on esitetty primäärimyllyjen virtauskaavio.

3.2.2 Sekundäärimylly

Sekundäärimylly on palamyly, joka on mekaanisesti samanlainen kuin primäärimyllyt. Sekundäärimyllyn maksimisyöttö on 94 tonnia tunnissa. Palamylyyn arina-aukot ovat 15 * 30 mm. [4, s. 6]. Myllyn tuote seulotaan trommel-seulalla, jonka seulaverkkojen aukkojen koko on 10 mm [4, s. 6]. Tätä suurempi materiaali kuljetetaan palavarastoon murskattavaksi palamurskalla. Trommel-seula on tehokas tapa seuloa pieniä materiaalimääriä. Trommel-seula on edullinen asentaa ja operoida, seulassa ei ole lainkaan liikkuvia osia. Trommel-seula ei sovellu

suurille materiaalivirroille. Sekundäärimylyn pyörimisnopeus on 75 % kriittisestä nopeudesta (11rpm) [4, s. 6], [11]. Sekundäärimylyssä ei ole taajuusmuuttajaa.

Palamylyn syöte on osin kovaa, sileää ja pyöreää, joten se on vaikeasti jauhettavaa. Tästä johtuen syötteen määrä on huomattavasti pienempi kuin primäärimylyillä. [8.] Palamylyyn siirtopumpataan autogeenimylyiltä seulojen alitetta, koska alitteessa on paljon karkeaa materiaalia mukana, joka palautuisi kiertokuormaksi primäärimylyille. Palamylyn syöte muodostuu primäärimylyjen siirtopumpattavasta materiaalista sekä palavarastosta kuljetettavasta materiaalista. Siirtopumpattava materiaali on alle 10 mm kokoista. Liitteessä 3 on esitetty sekundäärimylyn virtauskaavio. Palavaraston alla on syöttökuljetin, jolla syötetään sekundäärimylyä. Sekundäärimylyn palasyöte muodostuu primäärimylyjen seulojen ylitteestä ja primääriseulan keskikokotuotteesta (25 - 100 mm), tavoitteena kuitenkin, että suurin osa syötteestä olisi primääriseulan välikokoa.

4 JAUHATUSTAVAN YLEINEN VALINTAPERIAATE

Jauhatusstapaan vaikuttavat hyvin monet seikat, kuten jauhettava materiaali, haluttu tuotekoko, tuotteen puhtaus, tuotteen kosteus ja laitoksen kapasiteetti. Jollakin tapaa tulee rajata lukemattomista myllytyypeistä ja niiden yhdistelmistä kyseiselle rikastamolle sopiva järjestelmä. On olemassa tietynlaisia nyrkkisääntöjä, joilla vaihtoehtoja voidaan rajata. Pääsääntöisesti kaikkein edullisin jauhatusmuoto on autogeenijauhatus, jossa jauhettava materiaali toimii jauhaantuvana ja jauhavana elementtinä, mutta kyseinen jauhatusmuoto ei sovi kaikille malmeille. Sen vuoksi jauhatusstavan valinnassa on huomioitava useita tekijöitä. Avaintekijöiksi jauhatusstyyppin valintaan voidaan valita kolme pääkohtaa, joiden perusteella voidaan karkeasti tehdä alustava valinta jauhatusstavalle [13, s. 2]:

- 1 Laitoksen kapasiteetti
- 2 Malmin ominaisuudet
- 3 Tuotekoko

4.1 Laitoksen kapasiteetti

Laitoksen kapasiteettiin vaikuttavat useat tekijät. Pientä malmiota varten ei kannata rakentaa suurta jauhatuspiiriä, vaan jauhetaan pienemmällä kapasiteetilla, jolloin kaivoksen elinaika on ajallisesti pidempi. Suuressa malmiossa, kuten Kevitsassa, malmion koko, muoto ja pinta-ala ovat usein laitoksen kapasiteettia rajaavia tekijöitä. Kevitsan malmion pinta-ala on varsin pieni, noin 59 ha. Kevitsassa pinta-ala rajoittaa laitoksen kapasiteetin kasvattamisen kovin paljon suuremmaksi, koska tila ei riittäisi enää tehokkaaseen kaivostyöskentelyyn. Lisäksi malmion pinta-ala pienenee syvemmälle malmioon mennessä.

Laitoksen suunniteltu kapasiteetti vaikuttaa huomattavasti valittavaan jauhatuspiiriin. Yleisesti ottaen yhden vaiheen jauhatusstassa AG/SAG piireissä tulee ongelmia kapasiteetin kanssa. Mikäli laitteiden kapasiteetti riittää suunniteltuun laitoksen kapasiteettiin, voidaan myös AG/SAG-piirit rakentaa yksivaiheiseksi. Jauhatuspiirien tehollisena raja-arvona voidaan käyttää 14 MW arvoa. Mikäli yksivaiheisen jauhatusstun teho ylittää 14 MW, olisi jauhatusstun hyvä olla kaksivaiheista. [13, s. 3.]

4.2 Malmin ominaisuudet

Hyvin karkeasti ajateltuna malmia voidaan jauhaa millaisella jauhatusjärjestelmällä tahansa. Kustannustehokkuus on kuitenkin hyvin tärkeä asia, johon suurena tekijänä vaikuttavat malmin ominaisuudet. Malmin ominaisuudet voidaan karkeasti jakaa kolmeen ryhmään:

1 Malmin kovuus

Malmin kovuus vaikuttaa suuresti jauhaantuvuuteen. Kova malmi on haurasta ja helpommin jauhaantuvaa. Kevitsan malmin kovuus on keskimäärin metadoperidotiitillä 27,5 ja oliviinipyroksiitillä 32,2 [4, s. 4]. Kevitsan malmia voidaan pitää kovana, osin jopa erittäin kovana. Rajana voidaan pitää karkeasti lukua 30, jota pienempää kovuutta voidaan pitää erittäin kovana.

2 Jauhaantuvuus

Jauhaantuvuus ilmoitetaan Bondin työindeksinä, jota voidaan pitää sähkönkulutuksen laskennan perusteena. Kevitsan Bond-työindeksi on 22,6 kWh/t, ja tätä arvoa tavoitellaankin jauhatuksen energian kulutuksena [5]. Taulukossa 2 on esitetty joidenkin mineraalien esimerkkisarvoja [6, s. 12].

Taulukko 2. Bond-työindeksin esimerkkisarvoja.

Materiaali	Tiheys (kg/m³)	Työindeksi (kWh/t)
Graniitti	2680	15,83
Kvartsi	2640	14,05
Kalkkikivi (kova)	2690	12,77
Kalkkikivi (pehmeä)	2690	8,96
Kivihili	1630	12,51
Magneetiitti	3880	11,23
Kiille	2890	147,95

3 Abrassiivisuus

Malmin abrassiivisuus selvitetään Bond-abrassiivisuustestillä. Testissä selviää, kuinka kuluttavaa malmi on, jolloin voidaan arvioida myllyn vuorausten ja teräskuulien kulumuutta. Taulukossa 3 on esitetty abraasioindeksin luokittelu [9]. Kevitsan malmin abraasioindeksi on 0,34 [4, s. 4].

Taulukko 3. Abraasioindeksin luokittelu.

Kuluttamaton	<0.1
Hieman kuluttava	0.1-0.4
Kohtalaisesti kuluttava	0.4-0.6
Kuluttava	0.6-0.8
Hyvin kuluttava	>0.8

4.3 Vaadittu tuote

Vaaditussa tuotteessa on huomioitava sekä läpäisyn P80 % että tuotekoon jakauma. Tuotekokojakaumassa tulee välttää ylijauhamista. Liian hienoksi jauhaminen kuluttaa myllyjen kulumuosia ja teräskuulia, ja sitä kautta vaikuttaa kustannuksiin. Liian hienojauhaminen nostaa tuotantokuluja. Tuotantokuluihin voidaan laskea laitteiden ja jauhinkuulien kuluminen, tuotannon menetys viipymäajan pitenemisen muodossa ja energiakulut [13, s. 3]. Ylijauhautumista voidaan ehkäistä viipymisajalla, mutta tällöin tulee helposti tilanne, että jauhatuksen tulee olla kaksivaiheista.

Yleensä köyhemmissä malmioissa, joissa pitoisuudet ovat pieniä tai mineraalit ovat erittäin pieninä partikkeleina, tulee jauhatuksen syötteen olla varsin hienoa, jotta hyvä vaahdotusloputulos saavutetaan [12]. Ts. malmilla tulee olla hyvä puhtaaksijauhatusaste. Kääntöpuolena on reagenssien kulutuksen lisääntyminen hienolla materiaalilla, koska pinta-ala kasvaa [14, s. 14].

Taulukossa 4 on esitetty yksinkertainen valintakaavio jauhatuspiirin valinnalle malmin kovuuden, jauhaantuvuuden ja abrassiivisuuden perusteella [13, s. 5]. Liitteessä 4 on selitteet

taulukon 4 lyhenteille [13, s. 6]. Taulukosta Kevitsan malmille valitaan malmin ominaisuudeksi high competency & work indices, koska malmi on kovaa, osin erittäin kovaa. Kuluttavuudeksi valitaan Abrasive, Kevitsan malmi on keskimäärin kuluttavaa tai erittäin kuluttavaa. Tuotekoko on Kevitsassa erittäin hieno. Laitoksen kapasiteetti on 5,5 miljoonaa tonnia vuodessa. Vaihtoehtoisiksi taulukon mukaan jäävät SABC, HPGR Ball, 2C SABC, ABC, APC ja HPGR peb.

Taulukko 4. Ensisijaiset valintaperusteet.

Rock characteristics	Soft		Medium competency & work indices				High competency & work indices			
Wear characteristics	Non abrasive		Non abrasive		Abrasive		Non abrasive		Abrasive	
Product size	Fine	Coarse	Fine	Coarse	Fine	Coarse	Fine	Coarse	Fine	Coarse
Circuit capacity										
< 4 Mtpa	SS SAG Scrub-Ball	SS SAG Scrubber Rod mill	SS SAG 3C Ball SAB	SS SAG Rod mill	SS SAG SS AG SAB AB ABC	SS SAG SS AG/C ABC	SS SAG SS AG 3C Ball SABC	SS SAG/C SS AG/C 3C Ball SABC 2C SS SAG Rod mill	SS AG AB 3C Ball SABC ABC APC	SS AG/C SS SAG/C 2C SS SAG SABC 2C SABC ABC
> 4 < 8 Mtpa	SAB Scrub-Ball SS SAG	SS SAG Scrubber	SAB SABC HPGR Ball	SAB SABC HPGR Ball	SS SAG SAB SABC SS AG ABC HPGR Ball AB	SS SAG SAB SABC AG/C ABC HPGR Ball	SABC HPGR Ball 2C SABC	SABC HPGR Ball 2C SABC	SABC HPGR Ball 2C SABC ABC APC HPGR Peb	SABC HPGR Ball 2C SABC ABC APC HPGR Peb
> 8 Mtpa	SAB SABC	SAB SABC	SABC HPGR Ball	SABC HPGR Ball	SABC HPGR Ball ABC HPGR Peb	SABC HPGR Ball ABC HPGR Peb	SABC HPGR Ball	SABC HPGR Ball 2C SABC	SABC HPGR Ball 2C SABC ABC HPGR Peb	SABC HPGR Ball 2C SABC ABC HPGR Peb

5 NYKYISEN JAUHATUSPIIRIN VALINNAN PERUSTEET

Orway Mineral Consultans (OMC) on tehnyt selvityksen, johon sisältyvät metallurgiset tutkimukset, Kevitsa Mining Oy:n pyynnöstä. Tutkimuksissa on käynyt ilmi, että jauhatuksen tuotteen optimaalisena kokona voidaan pitää noin 75 μm [10, s. 1]. Tällä partikkelikoolla P80 % saavutetaan optimaalinen saanti vaahdotuksessa ja loppurikaste on myyntikelpoista [10, s. 1].

1 Laitoksen kapasiteetti

Scandinavian Minerals Ltd on alun perin hakenut lupaa tuotannolle 5,5 miljoonaa tonnia / vuosi. Tuotantomäärä on perustunut senhetkiseen tietämykseen malmin koosta. Tämän vuoksi tehdas on suunniteltu kyseiselle tuotantomäärälle. Lupahakemuksen jättämisen jälkeen tunnetut malmivarannot ovat lisääntyneet. Mahdollista laajennusta ei enää huomioitu laitoksen suunnitteluun johtuen lupa-prosessien hitaudesta ja suunnitelmien ollessa jo pitkällä. [5].

2 Malmin ominaisuudet

Malmin ominaisuudet ovat hyvin tärkeitä määritettäessä sopivaa jauhatusmenetelmää. Testeissä on käytetty kahta mineraalityyppiä, jotka kattavasti edustavat Kevitsan malmiota, oliviinipyroksiittia ja metaperidotoottia [10, s. 1], [10, s. 3].

Testitulosten yhteenvetona kumpikin mineraali on ominaisuuksiltaan niin lähellä toisiaan, että mineraaleita voi jalostaa samantlaisilla menetelmillä, vain muuttamalla hieman ajotapoja mineraalin vaihtuessa. Pieniä eroja voi olla havaittavissa prosessoitavan tonnimäärän osalta.

Oliviinipyroksiitti

Testituloksissa materiaali on määritelty erittäin kovaksi, kohtalaisen paljon energia kuluttavaksi jauhatuksessa. Materiaali on määritelty soveltuvaksi sekä autogeenijauhatukseen että semiautogeenijauhatukseen. Abraasiotestin tulos ilmentää jauhinkappaleiden ja vuorausosien kulutuksen kohtalaisen korkeaksi. [10, s. 9.]

Metaperidotiitti

Metaperidotiitin ominaisuudet ovat energian kulutuksen osalta hyvin samanlaiset kuin oliviinipyroksiitillä; kohtalaisen paljon energiaa vaativa jauhatuksessa. Metaperidotiitti on hieman kovempaa kuin oliviinipyroksiitti. Metaperidotiitti on soveltuvaa sekä autogeeni- että semiautogeenijauhatukseen. Abraasioindeksi on hieman korkeampi kuin oliviini pyroksiitillä. [10, s. 9.]

3 Tuotekoko

Testeissä on arvioitu optimaalisimman tuotekoon olevan 75 μm , eli hyvin hieno. Kyseisellä partikkelikoolla vaahdotuksen toiminta on optimaalista Kevitsan malmilla, kuitenkin ylijauhamatta malmia.

Yhteenveto

Yksi autogeenimylly ja kaksi palamyllyä soveltuu Kevitsan malmin prosessointiin. Jauhatuspiirin tulisi laskelmien mukaan saavuttaa vaadittu kapasiteetti (5,5 milj.t/v). Kaksivaiheinen murskaus, yksi primäärimylly (AG) ja kaksi palamyllyä (AG) pystyy riittävään jauhatuskapasiteettiin, mutta tuotekoko on testien mukaan suurempi kuin P80 % 75 μm . Yhteenvedossa myös huomautetaan operoinnin ja optimoinnin vaikeudesta sekä ylösajovaiheen hitaudesta verrattuna muihin vaihtoehtoihin [15, s. 18].

Alkuperäinen suunnitelma on ollut rakentaa yksi primäärimylly (AG-mylly) ja kaksi sekundäärimyllyä (palamyllyä). Suunnitelma on muutettu kahdeksi AG-myllyksi ja yhdeksi palamyllyksi, koska yhdellä primäärimyllyllä ei välttämättä olisi saavutettu haluttua tuotantoa, jolloin sekundäärimyllyjen käyttöaste saattaisi jäädä liian pieneksi. Toisaalta kahdella primäärimyllyllä saavutetaan varmasti sekundäärimyllylle riittävästi kapasiteettia. Sekundäärimurskalla voidaan murskata palavaraston tuotetta pienemmäksi edelleen välivarastoon kuljetettavaksi, jolloin primäärimyllyt voivat jauhaa jatkuvasti uutta syötettä ilman, että liian suuresta tuotannosta on haittaa prosessille. [5.]

6 SABC- JA APC-JAUHATUSPIIRIEN KUSTANNUKSET

6.1 Perustamis- ja operointikustannukset

Outotec Oy on tehnyt Kevitsa Mining Oy:n pyynnöstä vertailevan kustannuslaskelman. Laskelmien lähtökohtana on ollut sama jauhatuspiirin läpäisy (t/h) sekä sama lopputuotteen hienous, 75 μm . Laskelmissa on huomioitu piirien perustuskustannukset ja operointikustannukset. Saavuttaakseen saman läpäisyn jauhatuspiireissä on huomattavia eroja, jotka näkyvät selvästi kustannuksissa sekä perustamisessa ja operoinnissa. Myös tuotannon menetyksessä on eroja ylösajovaiheen aikana. [16, s. 1.]

Laskelmissa ei ole huomioitu riskitekijöitä, kuten myllyjen virrankulutuksen virhelaskelmia. Laskelmissa ei myöskään ole huomioitu muita kuin suoranaisesti myllyihin liittyviä kuluja; esimerkiksi SABC-piirissä ei tarvita primääriseulaa, joka on välttämätön APC-piirissä. Kevitsan primääriseulan kustannukset ilman rakennusta ovat olleet noin 500 000 €. [11].

Kustannuslaskelmat ovat suuntaa antavia, eikä niitä tulee käyttää tarkkoina laskelmina. Esitetyissä laskelmissa on käytetty SABC-piiriä, jota ei koskaan rakennettu. Näin ollen ei voida tarkkaan tietää, miten kustannukset olisivat muuttuneet suunnittelun ja rakentamisen edetessä. Laskelmat on tehty APC-piirissä yhdelle primäärimyllylle (AG-mylly) ja kahdelle sekundäärimyllylle (palamylly). SABC-piirissä laskelmat ovat yhdelle primäärimyllylle (SAG-mylly) ja yhdelle sekundäärimyllylle (kuulamylly). Taulukossa 5 on esitetty jauhinpiirien myllyjen perustiedot [16, s. 1.]

Taulukko 5. Jauhinmyllyjen erot.

	MYLLYTYYPPI	MYLLYN KOKO	MOOTTORIN TEHO
SABC- JAUHATUS	SAG	9,7*5,33	2*5 MW
	BM	7,01*11,0	2*5 MW
AG- JAUHATUS	AG	8,5*8,5	6,5 MW
	PM*2	8,5*8,5	6,5 MW

1. Jauhatusmyllyt

Jauhatuspiirien hinta-arvio pelkästään myllyjen osalta:

SABC 16,4 miljoonaa euroa

AG/PM 20,2 miljoonaa euroa

Kuulien ensimmäinen täyttö SAG- ja kuulamylyyn 1000 t, 700 000 euroa.

SABC-jauhatusessa myllyjen tulee olla isompia, koska jauhinkuulat vievät paljon tilaa. Moottoreiden tulee olla isompia, koska myllyn kuori ja vuoraukset ovat vahvempia ja jauhatuskuulista muodostuu huomattava lisäpaino.

Hintaero on selitettävissä sillä, että SABC-piirissä olisi vain kaksi myllyä. Hintaero on kuitenkin kohtuullisen pieni, koska SAG- ja kuulamylyjen on oltava rakenteeltaan vahvempia ison kuulakuorman vuoksi. Sähkömoottorit ovat isompia SABC-piirissä kuin APC-piirissä suuremman kuorman vuoksi.

2. Murskaus

Murskaus on jauhatuspiireissä samanlainen muuten, mutta SABC-piirissä tulee olla magneettierotin myllyjen täryseulojen jälkeen poistuvien jauhatuskuulien talteenottamiseksi. Kaikissa teräskuulia käyttävissä jauhatuspiireissä, joissa myllyjen tuotetta murskataan, on oltava magneettierotin. On olemassa suuri vaara, että murska särkyä, mikäli sinne joutuu terästä. Murskia ei ole suunniteltu teräksen murskaamiseen.

Magneettierotin 100 000 euroa

3. Pumppaus ja luokittelu

Piirien luokittelussa ei ole eroja laitteiden osalta. Luokittimet (hydroyklonit) ovat samanlaiset kummassakin piirissä. Piirit on kumpikin laskettu samalle kapasiteetille, jolloin myös hydroykloneita on oltava sama määrä.

Pumppauksien kapasiteetti on sama, mutta APC-piirissä on yksi mylly enemmän, jolloin myös pumppuja on oltava enemmän. SABC-piirissä on yksi linja kahdella pumpulla. AG-piirissä on kaksi linjaa neljällä pumpulla.

SABC 260 000 euroa (130 000 euroa/kpl)

AG 360 000 euroa (90 000 euroa/kpl)

4. Palamateriaalin hallinta

Palamateriaalin hallintaa tarvitaan ainoastaan APC-piirissä. Myllyjen ylite seulotaan ja ylikokoinen (kriittinen koko) kuljetetaan palavarastoon, josta se edelleen syötetään palamurskaimeen. Palavarastosta myös syötetään primääriseulan tuotetta palamyllyyn. SABC-piirissä olisi ainoastaan siilo sekundäärimurskainta varten.

Kuljetin 65 000 euroa (20 m, 1000 mm)

Palavarasto 40 000 euroa (4,5*5,5m)

Tärysyötin 40 000 euroa (20 000 euroa /kpl)

Syöttökuljetin 130 000 euroa (65 000 euroa / kpl)

Leukamurska 375 000 euroa

5. Jauhinkuulien syöttö

Kuulia käytetään vain SAG- ja kuulamyllyissä, koska APC-piirissä jauhamisen tekee malmi itsessään. Jauhinkuulien syöttöjärjestelmiä tulisi olla kaksi kappaletta, SAG- ja kuulamyllyille omansa.

Kuulasyötin 230 000 euroa (100 000 euroa ja 130 000 euroa / kpl)

13. Virran kulutus

Kummassakin piirissä virran kulutus arvioidaan olevan sama.

14. Huoltokustannukset

Kummassakin piirissä huoltokustannukset on arvioitu samaksi.

15. Muut operointikustannukset

Muihin operointikustannuksiin voidaan laskea operaattoreiden työpanos. Kummassakin jauhatusmenetelmässä tarvitaan sama määrä operaattoreita.

Taulukossa 6 on esitetty perustamiskustannukset, rakentamisen aloituksesta ensimmäiseen käynnistykseen, molemmille piireille ja niiden kokonaiskustannuksen erotus (k€). Laskelmien tuloksena APC-piiri on alkuinvestointien osalta 3,745 miljoonaa euroa kalliimpi kuin SABC-piiri [16]. Vuorauksen käsittelylaitteisto on hieman kyseenalainen, koska todennäköisesti kummassakin piirissä tarve laitteistolle on samanlainen tai laitteistoa ei välttämättä tarvita lainkaan, riippuen käytettävästä vuorauksesta.

Taulukossa 7 on vuosittaiset operointikustannukset kummallekin piirille. Operointikustannukset ovat SABC-piirissä 5,01 miljoonaa euroa/ vuosi kalliimmat kuin AG/PM-piirissä. Suoranaiset operointikustannusten erotukset on saatu laskemalla laitteiden kulumisesta johtuvista kustannuksista. SABC-piirissä suurimmat operointikustannukset tulevat jauhinkuulien kulutuksesta, 5,25 miljoonaa euroa/ vuosi. APC-piirin kustannukset muodostuvat vuorauksen ja nostopalkkien kulumisesta.

Taulukko 6. Perustamiskustannukset.

	SABC k€	APC k€
Myllyt ja ensimmäiset jauhinkuulat		3100
Magneettierotin	100	
Pumppaukset		100
Palamateriaalin hallinta		650
Jauhinkuulien syöttöjärjestelmä	230	
Vuorauksen käsittelylaitteisto	575	
Valvonta		100
Automaatio ja instrumentointi	sama	sama
Rakennukset ja rakennustyö		300
Asennus		400
Yhteensä	905	4650
Erotus		3745

Taulukko 7. Operointikustannukset.

	SABC k€/ v	AG/PM k€/ v
Jauhinkuulien kulutus	5250	
Myllyjen vuoraukset		240
Virran kulutus	sama	sama
Huoltokustannukset	sama	sama
Muut operointi kustannukset	sama	sama
Yhteensä	5250	240
Erotus	5010	

6.2 Ylösajovaiheen kustannukset

Yleisesti ottaen SAG/AG-jauhatuksessa rikastamon ylösajovaihe kestää noin 12 kuukautta. Täysin autogeenisen jauhatuksen jauhatuspiirin ylösajovaiheen on pidempi. Voidaan arvioida, että AG-piirin ylösajo kestää noin 2 kuukautta pitempään kuin SABC-piirissä, ennen kuin saavutetaan suunniteltu tuotanto [17, s. 2]. Tämän vuoksi voidaan olettaa, että myytävää rikastetta on ensimmäisenä tuotantovuonna 5 % vähemmän verrattuna SABC-jauhatuspiiriin

[5]. Taulukossa 8 on esitetty Kevitsan suunniteltu vuosituotanto [18]. Kummankin piirin käytettävyys voidaan arvioida olevan sama.

Taulukko 8. Kevitsan kaivoksen vuosittainen tuotanto.

	Ni-rikasteessa (t)	Cu-rikasteessa (t)
Cu	3014	15864
Au	0,1	0,168
Pt	0,82	0,151
Pd	0,39	0,106
Ni	10076	340
Co	438	17

Taulukoissa 9 ja 10 on esitetty nikkeli- ja kuparirikasteiden 5 %:n tuotantotappiot, metallien maailmanmarkkinahintojen tammikuun 2013 keskiarvo (€), myytävien metallien palautusprosentti FQM Kevitsa Mining Oy:lle sekä ylösajovaiheen rahallinen kokonaistappio kummasakin rikasteessa. [11], [19]. Ylösajovaiheen tuotantotappio on kummassakin rikasteessa huomattava, yhteensä 11 626 654 euroa.

Taulukko 9. Cu-rikasteen tappio ylösajovaiheessa.

	Cu-rikaste tappio 5%	Maailmanmarkkinahinta(€)	Palautusprosentti	Tappio 5 %(€)
Cu	793,2 t	6059,49 / t	93	4 469 850
Au	8,4 kg	1255,99 / t oz.	82	277 650
Pt	7,55 kg	1269,93 / t oz.	61	188 377
Pd	5,3 kg	553,6 / t oz.	62	58 440
Ni	17 t	13146,3 / t	0	0
Co	1,85 t	19662,69 / t	0	0
Tappio yhteensä				4 994 317

Taulukko 10. Ni-rikasteen tappio ylösajovaiheessa.

	Ni-rikaste tappio 5%	Maailmanmarkkinahinta(€)	Palautusprosentti	Tappio 5 %(€)
Cu	150,7 t	6059,49 / t	61	557 120
Au	5 kg	1255,99 / t oz.	0	0
Pt	41 kg	1269,93 / t oz.	71	1 187 867
Pd	19,6 kg	553,6 / t oz.	69	241 308
Ni	503,8 t	13146,3 / t	68	4 503 837
Co	21,9 t	19662,69 / t	33	142 205
Tappio yhteensä				6 632 337

6.3 Yhteenveto kustannuksista

Vertaillessa kustannuksia SABC- ja APC-piirin välillä erot muodostuvat perustamis- ja operointikustannuksista sekä ylösajovaiheen tappiosta. Ylösajovaiheen tuotantotappio APC-piirissä on huomattava. Taulukkoon 11 on koottu perustamis-, ylösajovaiheen- ja operointikustannusten vaikutukset kolmen ensimmäisen tuotantovuoden aikana. Taulukkoon on laskettu kustannusten erotukset.

Taulukko 11. Kustannusten yhteenveto.

	Perustamiskustannukset k€		Ylösajovaiheen tappio k€		Operointikustannukset / v k€	
	APC	SABC	APC	SABC	APC	SABC
1.tuotantovuosi	3745	0	11 627	0	0	5010
2.tuotantovuosi	0	0	0	0	0	5010
3.tuotantovuosi	0	0	0	0	0	5010
Yhteensä	3745	0	11 627	0	0	15 030

Perustamiskustannukset muodostavat kuluerän, joka on vain jauhatuspiiriä rakennettaessa. APC-piirin rakentaminen on 3,7 miljoonaa euroa suurempi SABC-piirin. Rakennusvaiheessa summa on suuri ottaen huomioon, että kaivoksen rakentaminen maksaa useita satoja miljoonia euroja.

Ylösajovaiheen jälkeen, kun valittu jauhatuspiiri on optimoitu ja operaattorit tuntevat jauhatuspiirin käyttäytymisen, vertailtavat jauhatuspiirit ovat kustannuksiltaan ja tuotteiltaan samankaltaisia. Ylösajovaiheen pidempi optimointi APC-piirissä johtuu siitä, että APC-piirissä on enemmän muuttuvia tekijöitä, kuten syötteen jakauman säätely. Ylösajovaiheen tappio on huomattava APC-piirissä SABC-piiriin verratessa, noin 11,5 miljoonaa euroa. Tuotetta menetetään APC-piirissä, koska tuotteen partikkelijakauma ei ole tasainen eikä vaaditunlainen. Autogeenijauhauksesta on huomattavasti vaikeampi saada stabiilijauhatusta, jonka tuotteena saataisiin tasaista partikkelikokoa. Mikäli vaahdotuksen syöte ei ole oikean kokoista, vaahdotus ei toimi oikein, ja malmimineraaleja menetetään rikastushiekkaan.

SABC-piirin vuosittaiset operointikustannukset ovat huomattavasti suuremmat kuin APC-piirissä johtuen teräskuulista. Kolmen vuoden aikana teräskuulat tulevat maksamaan noin 15 miljoonaa euroa olettaen että, teräksen hinta pysyy vakiona. Teräksen hinnan pienikin muutos suuntaan tai toiseen näkyy heti kustannuksissa. On esitetty joitakin arvioita, joiden mukaan teräksen kulutus Kevitsan malmilla saattaisi olla jopa kaksinkertainen olemassa oleviin arvioihin nähden [11]. Muiden operointikustannusten heilahtelut näkyvät samalla tavalla kummankin piirin kustannuksissa, esimerkiksi palkkojen tai energian hinnan nousut.

Perustamis- ja ylösajovaiheen kustannukset ovat APC-piirissä 15 371 654 euroa suuremmat kuin SABC-piirissä. Operointikustannukset SABC-piirissä ovat vuosittain noin 5 miljoonaa euroa suuremmat. APC-piiri maksaa itsensä takaisin noin kolmessa vuodessa, jonka jälkeen SABC-piiri on vuositasolla noin 5 miljoonaa euroa kalliimpi.

Jauhinkuulien kustannukset ovat SABC-piirissä 5 250 000 euroa vuodessa. Jauhinkuulien kustannus käsiteltävää malmitonnia kohden on noin 0,95 euroa. Tällä hetkellä tunnetut malmivarat ovat noin 161 miljoonaa tonnia, jolloin jauhinkuulat maksavat kaivoksen elinaikana noin 153 miljoonaa euroa. Perustamis-, operointi- ja ylösajovaiheen kustannukset huomioidessa APC-piiri tulee kaivoksen elinaikana noin 138 miljoonaa euroa halvemmaksi.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kevitsan malmia voi jauhaa kummallakin piirillä, sekä SABC- että APC-jauhatuspiirillä. Laitoksen suunniteltu kapasiteetti, 5,5 milj. tonnia, vaatii valittavan jauhatuspiirin olevan kaksivaiheinen. Malmin minerologiset ominaisuudet on todettu metallurgisissa ja pilot-kokeissa soveltuvan hyvin kumpaankin jauhatustapaan. Optimaalinen tuotekoko vaahdotuksen syötteessä on metallurgisissa testeissä todettu olevan 75 μ m, ja tämä partikkelikoko voidaan saavuttaa kummallakin vertailtavalla jauhatuspiirillä.

Alustavien suunnitelmien ja testien jälkeen vaihtoehdoksi jäi SABC-jauhatuspiiri, jossa olisi ollut primäärimyllynä SAG-mylly, ja sekundäärimyllynä olisi ollut kuulamylly. SABC-piirissä ei olisi tarvinnut primääriseulaa, koska syötteen jakaumalla ei ole kovin suurta merkitystä. Piirissä jauhinkuulat tekisivät jauhamistyön.

Toinen vaihtoehto on APC-jauhatuspiiri, jossa olisi ollut yksi AG-mylly primäärimyllynä, jonka jälkeen olisi ollut kaksi palamyllyä sekundäärimyllynä. Kuitenkin AG-mylly ja kaksi palamyllyä variaatio hylättiin, koska osoittautui, että seulalta ei tulisi tarpeeksi syötettä kahdelle palamyllylle, eikä yhden AG-myllyn syöte olisi riittävän suuri kahdelle palamyllylle. Ongelmaksi olisi myös muodostunut erityisesti primäärimyllyn seisakkaika, jolloin sekundäärimyllyille ei olisi tullut syötettä primäärimyllyltä.

Tällöin vaihtoehdoksi otettiin kaksi AG-myllyä, joiden jälkeen olisi yksi palamylly. AG-myllyjen suuri ylitteen määrä ei aiheuta ongelmia, koska ylimäärä murskataan palamurskalla syötteeksi AG-myllyille.

APC-piiri valittiin rakennettavaksi, mutta piiriin tehtiin huomattavia muutoksia. Yhden primäärimyllyn asemesta valittiin kaksi AG-(primääri)myllyä ja yksi sekundäärimylly. Uudesta toteutustavasta aiheutui välittömiä lisäkustannuksia, muun muassa kaksi lamellisyyötintä, 2 kuljetinta ja yksi lietepumppu. Näitä lisäkustannuksia ei huomioida tässä työssä, koska on mahdotonta arvioida muutoksia, jotka olisivat tulleet SABC-piiriin, mikäli se olisi valittu Kevitsaan.

Edellä esitetyissä laskelmissa on käytetty SABC-piiriä, jota ei koskaan rakennettu. Näin ollen ei voida tietää miten jauhatuspiiri olisi muuttunut suunnittelun edetessä. Koska kumpikin

jauhatuspiiri soveltuu Kevitsan malmin jauhamiseen, tulee piirejä verrata kustannusten ja operoinnin kautta.

Alkuinvestointien ja ylösajovaiheen tuotannon menetykset on maksettu takaisin noin kolmessa vuodessa APC-piirissä. Tämän jälkeen APC-piiri on noin 5 miljoonaa euroa edullisempi operoida vuositasolla. Voidaan karkeasti laskea autogeenijauhatuksen tulevan kaivoksen 30 vuoden elinaikana noin 138 miljoonaa euroa halvemmaksi kuin semiautogeenijauhatus.

Toisaalta operointikustannukset ovat rinnastettavissa jauhettuihin tonneihin eikä niinkään ajanjaksoon. Karkeana nyrkkisääntönä voidaan pitää teräskuulien avulla tapahtuvassa jauhatuksessa kustannuksien olevan noin 1 euro jauhettua malmitonnia kohden.

Kaivosta rakennettaessa jauhatuspiirin kulut ovat kohtuullisen pieniä verraten kaivoksen kokonaiskustannuksiin. Varsinkin pienillä kaivosyhtiöillä on usein ongelmia rahoituksen järjestämisessä. Tällöin saattaa herkästi tulla tilanne, jossa katsotaan lyhytnäköisesti perustamiskustannuksia ja ylösajovaiheen tuotannon menetyksiä. Aloittavilla kaivosyhtiöillä on kiire saada tuotanto alkamaan, jolloin kustannuksia säästetään kaivoksen ensimmäisiltä tuotantovuosilta.

Jauhatuspiiriä valittaessa tulee huomioida useita seikkoja. Kuitenkin tärkeimpänä tekijänä ovat malmin minerologiset ominaisuudet. Malmi tulisi jauhaa autogeenijauhatuksena aina, kun se on mahdollista.

8 YHTEENVETO

Tämä insinöörityö oli erittäin haasteellinen tehdä. Aihe vaikutti alussa varsin helpolta, mutta aiheeseen perehtyessä tuli paljon haasteita vastaan. Suurimmaksi ongelmaksi muodostui aiheen rajaaminen riittävän suppeaksi, koska aihealue on hyvin laaja.

Lähdeaineistoa ei juurikaan ollut saatavilla suomen kielellä. Suuri osa lähdeaineistosta on englantia, materiaalin kieli on lisäksi hyvin teknistä englantia. Työtä varten on tehty useita haastatteluita, jotka ovat myös olleet pääsääntöisesti englanniksi. Haastatteluita on tehty myös ulkomailla, Sambiassa Kansanshin ja Irlannissa Taran kaivoksilla. Ulkomailla tehtyjen haastatteluiden ja keskusteluiden tarkoituksena on ollut ymmärtää erilaisten jauhatustapojen ja jauhatuspiirien toimintaperiaatteita ja käyttäytymistä.

Työn aikana on selvinnyt monia tärkeitä asioita jauhatuspiirien valinnasta, operoinnista ja kustannuksista. Myös kaivosten ja rikastamoiden suunnitteluperiaatteet ovat tulleet tutuiksi.

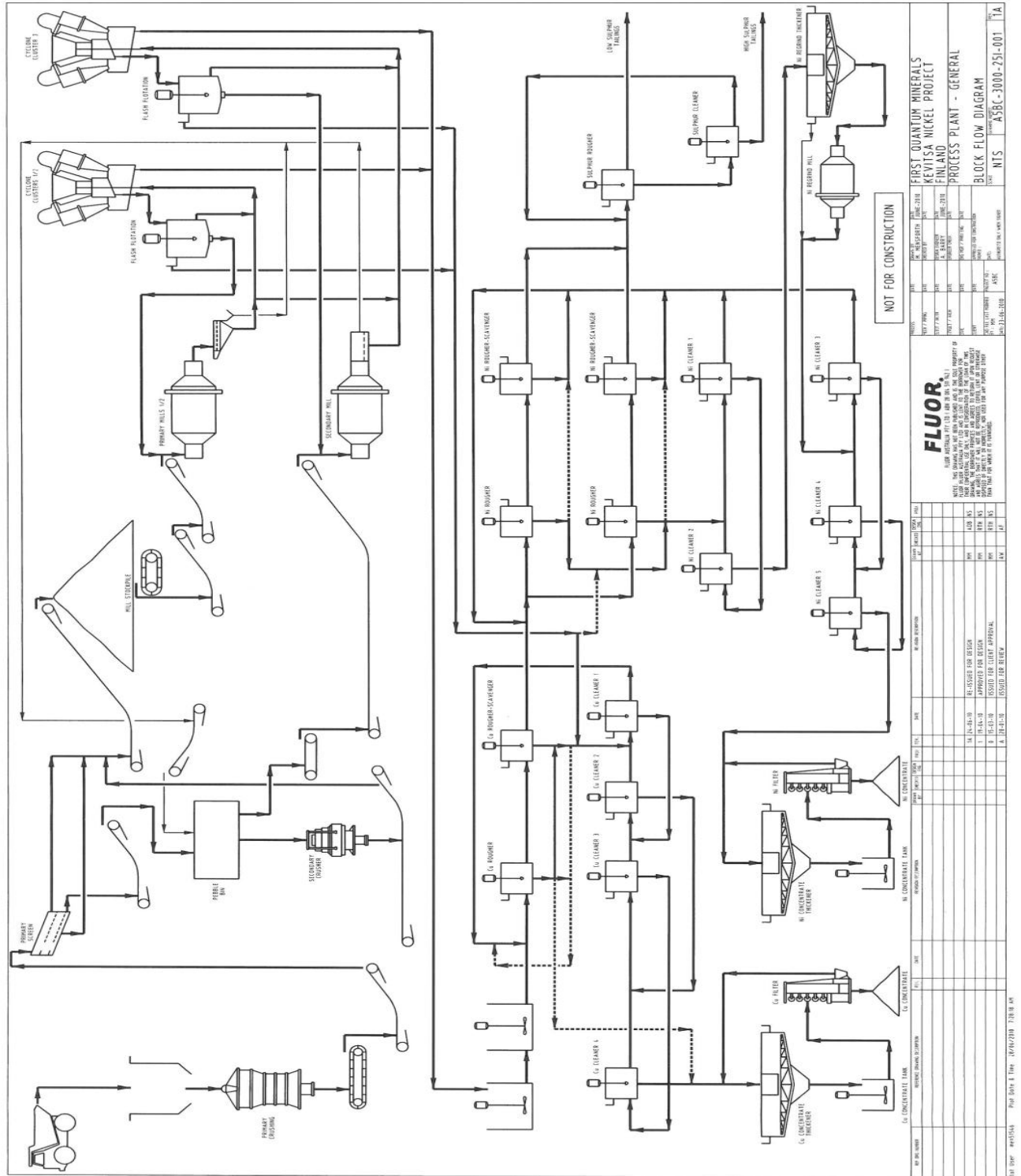
LÄHTEET

1. First Quantum Minerals LTD. Sustainability report 2011.
2. First Quantum Minerals LTD. 2011 annual report.
3. FQM Kevitsa Mining Oy. Kevitsan kaivos-esite.
4. Fluor. Process design criteria & Basis of design. Document no. A5BC-3000-25DC-001.
5. Mukutuma, A. Plant manager. FQM Kevitsa Mining Oy. Haastattelu. 25.1.2013
6. Leinonen, S. Hienonnuksen energian tarve. Kajaanin ammattikorkeakoulu, 2010. Opintomateriaali.
7. Koivistoinen, P. , Levanaho, J. The role of critical-sized material in AG and SAG grinding. Department of mining engineering, university of British Columbia. 2006.
8. Barry, A. Project Engineer. Fluor. Haastattelu. 15.5.2012
9. Metso Minerals Oy. Koulutusmateriaali.
10. Orway Mineral Consultants. Kevitsa project communiton circuit design. OMC report no. 6592. July 2007.
11. Wouters, F. Process plant manager. FQM Kevitsa Mining Oy. Haastattelu. 14.1.2013
12. Muzinda, I. Chief metallurgist. FQM Kevitsa Mining Oy. Haastattelu. 20.10.2012
13. Putland, B. Communiton circuit selection- key drivers and circuit limitations. Department of mining engineering, university of British Columbia. 2006.
14. Leinonen, S. Vaahdotus. Kajaanin ammattikorkeakoulu, 2011. Opintomateriaali.
15. Orway Mineral Consultants. Kevitsa project communiton circuit design reiew. OMC report no. 8212. July 2008.
16. Roitto, I. , Rantamäki, M. Kevitsa comparison SABC vs. AG/PM. Outotec Minerals Oy. 080807.
17. Roitto, I. , Rantamäki, M. Risk analysis for unexpected costs in comparison SABC vs. AG/PM. Outotec Minerals Oy. 100807.
18. FQM Kevitsa Mining Oy. Metallurgical balance.
19. Bloomberg kotisivut [WWW dokumentti].
<http://www.bloomberg.com/>

LIITTEET

- 1 PROSESSIN VIRTAUSKAAVIO
- 2 PRIMÄÄRIMYLLY 1:N JA 2:N VIRTAUSKAAVIO
- 3 SEKUNDÄÄRIMYLLYN VIRTAUSKAAVIO
- 4 ENSISIJAINEN VALINTAPERUSTEIDEN LYHENTEIDEN SELITYKSET

PROESSIN VIRTAAUSKAAVIO



ENSISIJAIKSTEN VALINTAPERUSTEIDEN LYHENTEIDEN SELITYKSET

Descriptor	Description
Scrapper	Scrubber / repulping trommel
Scrub-ball	Scrubber, open circuit classification, followed by a closed circuit Ball mill
SS-SAG	Primary crushing followed by a single stage SAG mill
SAB	Primary crushing followed by a SAG Ball circuit
SABC	Primary crushing followed by a SAG Ball circuit with recycle crusher
ABC	Primary crushing followed by a AG Ball circuit with recycle crusher
3C Ball	Three stage crushing followed by a ball mill circuit
HPGR Ball	Two stage conventional crushing followed by a HPGR and Ball mill circuit
SS AG	Primary crushing followed by a single stage AG mill
SS SAG/C	Primary crushing followed by a single stage SAG mill & recycle crusher
SS AG/C	Primary crushing followed by a single stage AG mill & recycle crusher
2C SS SAG	Secondary crushing followed by a single stage SAG mill & recycle crusher
2C SABC	Secondary crushing followed by an SABC circuit
APC	Primary crushing followed by a AG mill with recycle crusher and a pebble mill
Rod mill	Secondary crushing followed by a open or closed circuit Rod mill
HPGR Peb	Two stage conventional crushing with lump rock extraction followed by a HPGR and a Pebble mill