

Mikko Haikola

Pyhäsalmen kaivoksen hydraulitäytön tehostaminen

Opinnäytetyö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Kone- ja tuotantotekniikka
Kevät 2014



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka
Tekijä(t) Mikko Haikola	
Työn nimi Pyhäsalmen kaivoksen hydraulitäytön tehostaminen	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Kaivannaistekniikka, kunnossapito, johtaminen	Toimeksiantaja Pyhäsalmi Mine Oy / First Quantum Minerals LTD
Aika Kevät 2014	Sivumäärä ja liitteet 38+1
<p>Tässä insinöörityössä perehdytään yleisesti maailmalla olevissa kaivoksissa käytettäviin täyttömenetelmiin ja perehdytään tarkemmin Pyhäsalmen kaivoksessa käytettävään kovettuvaan hydrauliseen täyttöön. Työssä pohditaan, millä keinoin Pyhäsalmen kaivoksen täyttöä voitaisiin nopeuttaa, toimintavarmuutta ja käyttöastetta parantaa sekä seurantaa helpottaa.</p> <p>Tämän työn on tarkoitus tehostaa kaivoksen kovettuvan täytön laskemista instrumentoimalla. Tämä projekti on tehty vuoden 2014 Q1-Q2 aikana. Insinöörityössä suunnitellaan sekä kameroille että virtaus- ja vuotovahdeille paikat, sekä asennetaan ne. Lisäksi suunnitellaan Simpliciti WebView -ohjelmistoon uusi täyttöputkikuva vanhan korvaajaksi. Tärkein osa-alue työssä on polyuretaani-injektointiaineiden käyttökokeilu täyttövuotojen tukkimiseksi. Kokeilun jälkeen päätetään polyuretaanit ottaa jatkuvaan käyttöön lisääntyvien täyttövuotojen torjumiseksi.</p> <p>Uusia virtausantureita ja vuotovahteja asennettiin kriittisiin paikkoihin. Virtausanturit ovat aktiivisena silloin, kun putkissa on virtaus ja vuotovahdit reagoivat silloin, jos jokin putki vuotaa. Antureita myös tilattiin lisää varaantureiksi. Kameroiden määrää lisättiin, ja osa niistä siirrettiin käytännöllisempiin paikkoihin.</p> <p>Työ tehtiin yhteistyössä Pyhäsalmen kaivoksen eri osastojen kanssa: IT, sähkö, rikastamo ja kaivoksen työnjohto. Projektin alkaessa perehdyttiin maan alla kovettuvaan täyttöön työnjohtaja Matti Hännisen opastuksella. Hänellä on pitkä kokemus Pyhäsalmen kaivokselta ja hän tuntee täyttölinjat erinomaisesti.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	kaivostäyttö, Pyhäsalmen kaivos, kovettuva täyte, hydraulinen täyttö
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Verkkokirjasto Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School Engineering	Degree Programme Mechanical and Production Engineering
Author(s) Mikko Haikola	
Title Improvement of Hydraulic Backfill in Pyhäsalmi Mine	
Optional Professional Studies Mining Technology Maintenance Operations Management	Commissioned by Pyhäsalmi Mine Oy / First Quantum Minerals LTD
Date Spring 2014	Total Number of Pages and Appendices 38+1
<p>This thesis is a review of the filling methods used in mining in general in the world. It also describes more specifically the method of hydraulic backfilling used in the Pyhäsalmi mine. This thesis reflects the ways to speed up the filling of the mine, how to improve the reliability of backfilling and how to facilitate monitoring.</p> <p>In this thesis instrumentation is used to increase hydraulic backfilling availability in Pyhäsalmi mine. The project was executed in 2014 Q1-Q2. In this project the focus is to design and implement the locations of the sensors. In addition, a new filling tube was designed in Simpliciti WebView software to replace the older version. The most important topic area is the experimental use of polyurethane injection for filling up spills. After testing it will be decided, if polyurethanes will be taken into continuous use to decrease increasing leakage.</p> <p>As a result of the work, new flow sensors were installed in critical locations. These sensors provide information about when there is a flow in the backfill line and which also become active, if there is a leakage. A few sensors were ordered as spare parts. As a conclusion, the number of cameras was increased and relocated in more useful places.</p> <p>This thesis is a result of co-operation of different departments of the Pyhäsalmi mine; electricity, concentrator and the management of the mine. At the beginning of this project the backfilling method was studied under the guidance of the shift boss, Mr. Matti Hänninen, as an introduction to the following work. He has a long experience of the Pyhäsalmi mine and knows lot about the filling lines.</p>	
Language of Thesis Finnish	
Keywords	Backfilling, Pyhäsalmi Mine, hydraulic fill
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Electronic library Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

ALKUSANAT

Tämä insinöörityö perustuu Pyhäsalmi Mine Oy:n tarvitsemaan kehitystyöhön kovettuvan täytteen siirrosta pinnalta maan alle. Ongelmana ovat nopeasti täyttyvät pinta-altaat, työläät putkilinjojen kääntämiset, yhden linjan käyttö kahden mahdollisen sijasta, putkistojen heikot kohdat, louhosten sortuminen, patojen vuotaminen, kallion rakoilu ja sortuminen sekä täytteen vuotaminen väärään paikkaan.

Aiempaan järjestelmään tarvittiin kehitystä. Kovettuvaan täyttöön liittyen oli tehty paljon tutkimuksia aiemmin, mutta lähinnä liittyen rikastamon toimintaan. Tässä työssä keskityttiin maanalaisen täytön nopeuttamiseen ja käyttövarmuuteen, mutta ei otettu kantaa rikastamon toimintaan.

Työssä käydään läpi Pyhäsalmen kaivosta sekä kaivostäyttöä yleisesti. Sen jälkeen perehdytään keinoihin parantaa täytön laskuvarmuutta ja uusia keinoja, käydään läpi kaivostäyttöön liittyviä asioita ja annetaan yleiskuva asiasta. Lopuksi eriteltynä tulevat lopputulokset eri parantamismalleineen sekä jatkokehitysehdotukset.

Instrumentoinnissa suunniteltiin kriittiset paikat virtausmittareille ja vuotovahdeille sekä uusille kameroille, jonka jälkeen ne asennettiin. Kaikki vanhat virtausmittarit tutkittiin ja selvitettiin, mitkä toimivat, sekä rikkiäisten tilalle vaihdettiin uudet, mikäli kohde oli edelleen tarpeellinen. Sen jälkeen päivitettiin tiedot tietokantaan Simpliciti WebViewiin, josta näkee kunkin anturin sijainnin ja onko anturi aktiivi- vai passiivitilassa. Kaikki muu mahdollinen instrumentointi otettiin seurantaan ja alettiin miettiä, mitkä ovat hyödyllisiä ja mitkä eivät.

Valvontakameroiden käyttöä lisättiin kriittisissä paikoissa vuotojen seurannan parantamiseksi. Vesireiät olivat yksi tärkeimmistä paikoista täytettävien louhosten lisäksi.

Kiitokset kuuluvat koko Pyhäsalmen kaivoksen työyhteisölle, mutta erityisesti kaivostyöjohtaja Matti Hänniselle opastuksesta kaivostäytöstä, Jorma Saastamoiselle Simpliciti WebViewin toteutuksesta, sähkömiehille; Kari Montonen, Markku Aulakoski ja Tero Pikkarainen antureiden sekä kameroiden asennuksesta.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
1.1 Työn taustaa	1
1.2 Työn tavoite	2
2 PYHÄSALMEN KAIVOS	3
2.1 Pyhäsalmen kaivoksen esittely	3
2.2 Tietoa kaivoksesta	4
2.3 Pyhäsalmen kaivoksen geologia	5
3 KOVETTUVA TÄYTTÖ PYHÄSALMEN KAIVOKSELLA	6
3.1 Kovettuvan täytön käyttö	6
3.2 Kovettuvan täytön reseptit	7
3.3 Kovettuvan täytön suunnittelu	7
4 HYDRAULINEN TÄYTTÖ	8
4.1 Kovettuva hydraulinen kaivostäyttö	8
4.2 Hydraulisen kovettuvan täytteen ominaisuudet	9
4.2.1 Vedenläpäisevyys ja täyttösykli	9
4.2.2 Lujuus	10
4.2.3 Virtauskäyttäytyminen	11
4.3 Täyttömateriaalit	11
4.3.1 Rikastushiekka ja kivi	11
4.3.2 Vesi ja sideaineet	12
4.3.3 Hydraulisen täytteen laadunhallinta	14
4.3.4 Kaivostäytteen siirto ja käyttö kaivoksessa	14
4.3.5 Täytteen tarve	16
4.4 Rikastusprosessi	18
5 TYÖMENETELMÄT	19
5.1 Instrumentointimenetelmät	19
5.2 Instrumentointi	19
5.2.1 Virtausmittarit	20
5.2.2 Vuotovahdit	22
5.2.3 Vuotovahtien paikat	24

5.2.4 Kamerate	25
5.3 Polyuretaani-injektointi vuotojen hallitsemiseksi	25
5.3.1 Taustaa	25
5.3.2 Työn kulku	26
5.3.3 Seuraavan päivän tapahtumat	28
5.4 Täyttöputken yläosan kuvaus rikastamolla	29
5.5 Simpliciti WebViewin täyttökaavion päivitys	32
5.6 Lietetiheyden kasvattaminen	33
6 LOPPUTULOKSET JA JATKOTOIMENPITEET	35
6.1 Vastaukset työn alussa esitettyihin kysymyksiin	36
7 YHTEENVETO	37
LÄHTEET	38
LIITTEET	

AVAINSANASTO

Hydrataatioreaktio

Hydrataatioreaktio on sementin ja veden välistä reagoimista keskenään.

In-situ-tilavuus

In-situ-tilavuus on louhimattoman kiven tilavuus. Louhinnan jälkeen saman kiven tilavuus on kasvanut vähintään 1,8-kertaiseksi alkuperäiseen verrattuna.

Kauhakovettuva

Kauhakovettuva tarkoittaa Pyhäsalmen kaivoksella tätekiven sekä kovettuvan täytteen sekoitusta, jonka annetaan kuivua suotopadon takana lyhyessä perässä päivästä kolmeen riippuen siitä kuinka suotautunutta täytettä halutaan. Sen jälkeen pato puretaan ja täyte siirretään loppusijoituspaikkaansa kauhakuormaajalla.

Pastatäyttö

Pastatäyttö on puristettua rikastushiekkaa sekä sideainetta, joka pumpataan täytettyihin louhoksiin.

Portlandsementti

Portlandsementin nimi tulee siitä, että sitä louhittiin Portlandin saarella Dorsetissa Englannissa ja se muistuttaa portlandkiveä. Vuonna 1885 patentoitiin menetelmä raaka-aineseoksen polttamisesta kiertouunissa.

Pozzolaainen

Pozzolaainen tarkoittaa sitovaa.

Raakku

Raakku on louhinnan yhteydessä esiintyvää sivukiveä, joka ei sisällä niin suurta määrää malma, että sitä kannattaisi taloudellisesti hyödyntää.

Rikastushiekka

Rikastushiekka on sivutuote, jota syntyy malminrikastuksen yhteydessä. Rikastuksessa malma jättävät hyödyttömät aineet sijoitetaan rakennettuihin rikastushiekka-altaisiin.

Suotoarvo

Suotoarvo kertoo, kuinka paljon vettä suotautuu kiintoaineen läpi tietyssä ajassa.

Toisen vaiheen louhos

Toisen vaiheen louhoksella tarkoitetaan sitä, että ensiksi louhitaan toisen vaiheen louhoksen molemmilta puolin malmi pois ja sen jälkeen tyhjä tila kovetetaan. Kun ensimmäisen vaiheen louhokset ovat kovettuneet, päästään väliin jääneeseen louhokseen ottamaan malmi talteen.

1 JOHDANTO

1.1 Työn taustaa

Pyhäsalmen kaivoksessa louhintamenetelmänä käytetään välitaso-/pengertäyttölouhintaa, jolloin louhinnassa syntyvät tilat on täytettävä. Täyttömenetelmä on yhdistelmätäyttö, jossa hyödynnetään sekä louhittua sivukiveä että lisäksi pinnalta louhittavaa sivukiveä ja rikastusprosessin jätelietteestä valmistettua, kovettuvaa hydraulista täytettä. Täyte valmistetaan luokitellusta rikastushiekasta ja sideaineena toimivasta jauhetusta masuunikuonasta ja/tai lentotuhkasta sekä kuonan aktivaattoriaineesta, kalkista. [1]

Kovettuva sivukivitäyttö Pyhäsalmen kaivoksella on ollut oleellinen osa louhintaa kymmenien vuosien ajan. Kovettuva täyttö otettiin käyttöön jo vuonna 1973. Täytön tarve on kasvanut tuotannon myötä ja kasvaa yhä tärkeämmäksi ollen nykyään yli 172 000 tonnia vuodessa. [2]

Kaivostäytön epäonnistuminen on yksi suurimmista riskeistä kaivoksen tuotannolle ja louhintakapasiteetin kasvattamiselle. Ongelmat tulevat lisääntymään, koska louhittavan malmion louhinta etenee ja malmin osuus kaivoksessa pienenee. Tämä merkitsee sitä, että louhoskiertoa on pystyttävä nopeuttamaan, jotta pysyttäisiin nykyisessä tuotantotavoitteessa. Kaivostäytteen pitäisi jatkossa kovettua nopeampaa ja valmistus- ja jakeluprosessien tulisi olla häiriötöntä. Lisäksi valmistus- ja jakelukapasiteettia pitää lisätä, jotta voidaan varmistua täytteen riittävydestä tulevilla, entistä hankalammissa olosuhteissa.

Pyhäsalmen kaivoksen kaivostäyttöä on tutkittu paljon. Aiheesta on tehty diplomitöitä, insinööritöitä sekä useita ulkoisia tutkimusraportteja ja sisäisiä selvityksiä. Tutkimuksissa on keskitytty kaivostäytön määrän lisäämiseen ja laadun parantamiseen tutkimalla materiaalivirtoja sekä täyttötekniikoita.

1.2 Työn tavoite

Tämän insinöörityön tavoitteena on selvittää, kuinka kovettuvan kaivostäytteen alaslaskemista voidaan kasvattaa sekä pyrkiä siihen, ettei suurempia katkoja jakeluun tule. Katkeamattomaan sykliin on kuitenkin mahdoton päästä. Tavoitteen saavuttamiseksi tässä työssä vastataan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- 1) Kuinka täytteen laskuvarmuutta voidaan lisätä?
- 2) Millaisia instrumentteja voidaan käyttää helpottamaan valvontaa?
- 3) Miten vuotokohtia voitaisiin ehkäistä?
- 4) Mitä keinoja voidaan käyttää helpottamaan valvontaa?

Tutkimuksilla pyritään varmistamaan kovettuvan kaivostäytteen häiriötön laskeminen louhoksiin sekä saada täyte pysymään niissä ilman vuotoja. Työn tavoitteen saavuttamiseksi käytetään kaivokselle ennalta tuttuja antureita, joilla pyritään valvomaan täytön kulkua sekä mahdollisia putkivuotoja. Tavoitteena on pohtia, suunnitella ja asentaa anturit merkityksellisiin paikkoihin ja asentaa ne. Tavoitteena on myös louhoksien vuotojen tukkimiskokeilu ja käyttöönotto. Tavoitteena on päivittää Simpliciti WebViewin täyttöputkikuva ja saada lisätyt anturit näkymään siinä. Tarkoitus on kuvata reikäkameralla rikastamolta alaspäin lähtevät täyttöputket ja tutkia niiden mahdollisia ilmavuotoja.

2 PYHÄSALMEN KAIVOS

2.1 Pyhäsalmen kaivoksen esittely

Pyhäsalmen kaivos on maanalainen kaivos ja sijaitsee Pyhäjärven kaupungissa Pohjois-Pohjanmaan eteläosassa. Kaivoksen omistaa nykyään kanadalainen First Quantum Minerals Ltd. Kaivos on 1444 metriä syvä ja lukeutuu maailman tehokkaimpien kaivosten joukkoon. [2]

Kaivoksen tärkeimmät tuotteet ovat kupari ja sinkki. Lisäksi kaivos tuottaa rikkirikastetta. Kaivos työllistää 212 henkilöä. Pyhäsalmen kaivos on Suomen suurin ja Euroopan syvin toimiva perusmetallikaivos. [2]

Malmin löysi 22.8.1958 Erkki Ruotanen. Kaivoksen rakentaminen aloitettiin 1959 ja sen toiminta alkoi 1.3.1962. Tuotanto tapahtui ainoastaan avolouhintana vuoteen 1967, kunnes maanalainen louhinta alkoi. Samalla vuosituotanto nousi 0,6 Mt:sta 0,8 Mt:iin. Avolouhinta päättyi vuonna 1975. [2]

Inmet Mining Corporation osti Pyhäsalmen kaivoksen Outokumpu Oy:ltä 1.1.2002 ja sulautui First Quantum Minerals Ltd:iin 22.3.2013. Ennakoitu sulkemisajankohta on vuonna 2019. [2]

Tuotanto vuonna 2013 oli noin 1,4 miljoonaa tonnia, josta kuparia 14.854 tonnia, sinkkiä 21.679 tonnia, rikkirikastetta 800.000 tonnia, hopeaa 12.000 kiloa ja kultaa 260 kg. Keskimääräiset pitoisuudet malmin syötteessä olivat 1,05 % kuparia sekä 1,75 prosenttia sinkkiä ja 42,66 prosenttia pyriittiä. [2]

Vuoteen 2014 mennessä malmia on käsitelty 54,8 miljoonaa tonnia ja siitä on kuparia tuotettu 434.000 tonnia, sinkkiä 1,2 miljoonaa tonnia, rikkirikastetta 27,1 miljoonaa tonnia, kultaa 10.000 kiloa ja hopeaa 500.000 kiloa. [2]

Toistaiseksi pisin tapaturmaton jakso on 1 033 päivää. Turvallisuusjohtamisen työkalut on entistä tehokkaammassa käytössä. Joka kuukausi on yli 30 korjaustoimenpidettä, joista 72 % on saatettu loppuun. Vieläkin on parannettavaa, varsinkin vaarojen tunnistamisessa. [2]

2.2 Tietoa kaivoksesta

Avolouhinta päättyi 80-luvun alussa, ja malmia on louhittu sen jälkeen ainoastaan maan alta. Vuosituotanto on ollut yli miljoonaa tonnia vuodesta 1990 lähtien. Tällä hetkellä tuotantomäärä on noin 1,4 Mt/a. Louhinta tapahtuu kokonaisuudessaan +1050 tason alapuolella ja syvin tuotantotaso on nykyään +1350. [2]

Vuonna 2001 valmistuneella Timonkuilun hissillä voidaan siirtyä maanpinnalta +1410- päätasolle alle kolmessa minuutissa. Työkoneet ja kulkuneuvot ajetaan työkohteisiin +1410- päätasolta kaltevuudeltaan 1:7 olevaa vinotunnelia pitkin. Tunnelin pituus on noin 11 km, ja se ulottuu maanpinnalta kaivoksen pohjalle. [2]

Louhintamenetelmänä käytetään välitaso- ja pengerlouhintaa. Louhosten korkeus on 25-50 metriä, leveys 15-25 metriä ja malmimäärä 50 000 ja 150 000 tonnin välillä. Kaikki tunnelit lujitetaan pultituksella, verkotuksella sekä ruiskubetonoinnilla. Louhokset lujitetaan lisäksi vajjeripultituksella. Tyhjät louhokset täytetään sivukivellä, jota louhitaan raakkukiven ohella myös maan pinnalta avolouhoksesta. Lisäksi louhoksissa käytetään kovettuvaa täyttöä, jottei täyttökivet sortuisi vieressä louhittavan malmin sekaan, jolloin malmi saadaan tarkasti hyödynnettyä. [2]

Kaivokseen tulevaa vettä pumpataan maanpintaan noin miljoona kuutiota vuodessa. Vesi on pääasiassa koneiden tarvitsemaa porausvettä sekä osa maan pinnalta täyttökiven mukana tullutta vettä. Vedessä olevan kiintoaineksen annetaan laskeutua selkeytysaltaissa ja kirkas vesi pumpataan ylös. Raitista ilmaa puhalletaan kaivokseen korkeintaan 130 m³/s. Talviaikaan kaivokseen ilmaa puhalletaan enimmillään 100 m³/s ja se myös lämmitetään. [2]

2.3 Pyhäsalmen kaivoksen geologia

Pyhäsalmen massiivinen sinkki-kupari-rikkikiisuesiintymä on pala 1,88-1,93 miljardia vuotta vanhaa vulkaanista ja sedimenttisistä kivistä koostuvaa Vihanti-Pyhäsalmi- vyöhykettä. Tämä alue on osa laajempaa Raahe-Laatokka-vyöhykettä, missä sijaitsee suurin osa Suomen sulfidi-esiintymistä. Malmia ympäröivät vulkaniitit ovat muuttuneet kordieriitti-, serisiitti- ja antofylliittipitoisiksi kiviksi. [2]

Pohjois-eteläsuuntaisen malmin pituus pinnalla on noin 600 m ja se jatkuu aina 1430 m:n syvyyteen asti. Malmin paksuus vaihtelee 10 ja 80 metrin välillä. Malmi on poimuttunut ja metamorfoitunut. Malmin ja sivukiven raja on terävä. [2]

Pyhäsalmen malmi on massiivinen sulfidimalmi. Sulfidien osuus malmista on 75 %. Malmi sisältää kuparikiisua keskimäärin 3 %, sinkkivälikettä keskimäärin 4 % ja pyriittiä keskimäärin 66 %. Harmemineraaleja ovat magneettikiisu, baryytti ja karbonaatit. Näiden lisäksi malmissa on sulfosuoloja ja lyijyhohdetta. Vuoden 2012 lopussa kaivoksen malmivarat olivat noin 8,036 miljoonaa tonnia. Kokonaismalmivarat ovat olleet yli 54 Mt. [2]

3 KOVETTUVA TÄYTÖ PYHÄSALMEN KAIVOKSELLA

3.1 Kovettuvan täytön käyttö

Täytteen laskeminen on useista täyttöputkien risteyskohdista johtuen vaativaa. Muistiin on syytä merkitä kaikki muutokset, joita linjastoon tehdään. Täytettä laskiessa täytyy tutkia täyttöputkikarttaa, joka kertoo, mikä putki vie millekin louhokselle tai tasolle.

Putkilinjastoon muutoksia tehdessä liitinkohdat irrotetaan ja liitetään oikeanlaiseksi, jotta täyte saadaan oikeaan, haluttuun paikkaan. Jos putkia on vedetty ristiin, johtuu se siitä, että putki on heilunut paljon tai putkessa on reikä tai putki tukkeutunut. Heiluminen johtuu usein putkeen tulleesta reiästä, josta putki imee täytteen sekaan ilmaa ja täyte alkaa kulkea epätasaisesti.

Täytettä lasketaan ykkös- tai kakkoslinjaa pitkin. Ohjaamoon ilmoitetaan, kumpaa linjaa aletaan käyttämään, mihin louhokseen on tarkoitus laskea täytettä sekä millä kameralla ohjaamo voi seurata putken alapäätä. Aluksi putkeen lasketaan vettä, jotta saadaan putki liukastettua ja samalla nähdään, tuleeko vesi oikeaan paikkaan, vai vuotaako putkilinja jostain väliltä.

Veden tullessa oikeaan paikkaan voidaan veden sijasta alkaa laskemaan täytettä. Täytteen laskemista täytyy seurata päivän aikana kameran avulla sekä paikan päällä käymällä. Tarkkana täytyy olla myös täytettävän louhoksen sivuilla olevissa tiloissa sekä alapuolella muutaman kerroksen verran, ettei täyte valu kallion rakojen kautta väärin paikkoihin. Öisin ja viikonloppuisin ohjaamo valvoo täyttöä kameran välityksellä. Mikäli täytteen laskeminen on käynnissä viikonloppuisin, kameravalvonnan lisäksi on järjestetty päivystäjä, joka kiertää merkittävimmän osan linjasta kaksi tai kolme kertaa päivän aikana. Paikkoja, joissa ei ole kameroita laskupäässä, käytetään vain aikoina, kun niitä voidaan valvoa. Kun täytön laskeminen lopetetaan johonkin linjaan, täytyy se huuhdella vedellä puhtaaksi, ettei putkiin kerrostuisi kovettuvaa täytettä, joka pitemmän ajan kuluessa voisi tukkia putket.

3.2 Kovettuvan täytön reseptit

Kovettuvaa täyttöä käytetään Pyhäsalmen kaivoksella neljällä eri reseptillä käyttötarkoituksen mukaan. Reseptillä I tehtyä täytettä käytetään patojen taakse laskettavaan täyttöön ja kauha-kovettuvaan täytteeseen. Näin saadaan mahdollisimman nopea kovettuminen. Tässä reseptissä käytetään vain karkeajätettä, kuonaa on 150 kg/m^3 ja sen lietetiheys on $1,65\text{-}1,75 \text{ kg/l}$. Reseptillä II tehtyä täytettä käytetään 1-vaiheen louhoksiin tai vastaaviin kohteisiin. Tällä reseptillä saadaan mahdollisimman luja kovetus. II reseptissä käytetään suurta kiintoainemäärää, kuonaa on 150 kg/m^3 ja sen lietetiheys on $1,65\text{-}1,75 \text{ kg/l}$. Resepti III käytetään 2-vaiheen louhoksiin, joiden ympäriltä ei tulla louhimaan. Siinä käytetään suurta kiintoainemäärää, kuonaa on 90 kg/m^3 ja sen lietetiheys on $1,65\text{-}1,75 \text{ kg/l}$. Reseptiä IV käytetään niihin kohteisiin, joissa täyttölinja on erityisen pitkä. Lietetiheys on maksimissaan $1,65 \text{ kg/l}$, kuonan määrä riippuu täytettävän kohteen vaiheesta: 1-vaiheessa käytetään 150 kg/m^3 ja 2-vaiheessa 90 kg/m^3 . [11]

3.3 Kovettuvan täytön suunnittelu

Kovettuvan täytön pitemmän ajan suunnittelua ei käytännössä ollut ollenkaan, vaan täytettiin aina tilanteen mukaan sinne, missä täytettä tarvittiin. Yleensä tarvittava täytepaikka on louhos, josta on louhittu siitä saatava malmi ja vieressä tai yläpuolella on tuleva louhos, jonka takia louhittu louhos täytetään ja kovetetaan. Jatkossa suunnitteluun tuodaan parannusta ja kovetettavia louhoksia mietitään hyvissä ajoin etukäteen mahdollistamaan louhinnan toteutumisen aina kaivoksen suunniteltuun loppuun saakka.

4 HYDRAULINEN TÄYTTÖ

4.1 Kovettuva hydraulinen kaivostäyttö

Kaivoksilla täyttömenetelmiä on useita ja ne pystytään ryhmittelemään eri lailla. Yksinkertaisimmalla tavalla jaetaan täyttötyypit täytteen raaka-aineiden sekä valmistus- ja jakeluprosessien mukaan hydrauliseen täyttöön, pastatäyttöön ja kivitäyttöön. [3] Eri täyttömenetelmiä pystytään myös yhdistelemään.

Hydrauliseen täyttöön käytetään vapaasti suotautuvaa rikastushiekkalietettä, josta hienoaines on yleensä poistettu luokituksella. Täyte pumpataan turbulenttisena virtauksena louhoksiin putkista ja porareijistä koostuvaa verkostoa pitkin. Täytteen lietetiheys vaihtelee 50:stä 75:een massa-%:iin. Veden määrän täytyy olla mahdollisimman alhainen, jotta vältetään pitkiltä kovettumis- ja suotautumisajoilta sekä ylimääräiseltä veden kaivoksesta pumppaukselta. Hydraulista täyttöä sovelletaan sideaineen kanssa tai ilman sitä. Louhoksissa, joiden kanssa kosketuksissa olevia louhoksia ei räjäytetä, käytetään ilman sideainetta olevaa täytettä. Tällaisia ovat toisen vaiheen louhokset. Näin tehdään myös kaivoksissa, jotka on tarkoitettu poistamaan käytöstä. Pyhäsalmen kaivoksella käytetään sideainetta täytteen seassa. Sideaineena käytetään yleisimmin Portlandin sementtiä, lentotuhkaa tai masuunikuonaa sekä niiden yhdistelmiä. [3, 4] Jätetäyttöä varten padot rakennetaan 1-2 metriä paksuiksi.

Pastatäyttö perustuu usein myös rikastushiekan käyttöön. Eroja hydrauliseen täyttöön pastatäytöllä on kuitenkin useita ja se tarjoaa pastatäyttömenetelmälle paljon etuja. Hienoainesta ei luokitella, joten käytettävissä olevaa materiaalia on enemmän. Pastatäytteen lietetiheys vaihtelee 75:stä 87:ään massa-%:iin. Täyte on näin ollen suotautumatonta, koska osa vedestä jää matriisiin ja osa kuluu sementin hydrataatioreaktioihin. Oikein tehdystä pastatäytteestä ei tästä syystä suotaudu vettä, eikä sitä myöskään synny, jolloin sitä ei tarvitse pumpata pois kaivoksesta. Näistä ominaisuuksista johtuen pastatäyte vaatii vähemmän sideainetta, kovettuu nopeammin, eikä aiheuta korkeita hydraulisia paineita louhoksiin, toisin kuin hydraulinen täyte. Kuitenkin jotta pastatäyte saavuttaisi saman lujuuden, se vaatii enemmän sideainetta kuin kovettuva sivukivitäyte. [5]

Täyte siirretään louhoksiin laminaarisella virtauksella, joka ei luokituta edes useiden tuntien häiriötilanteen aikana. Täyttömenetelmän huonot puolet ovat laitoksen perustamisen kalleus, korkeat painehäviöt sekä muut ongelmat jakeluverkostossa. Käyttökustannukset ovat kuitenkin pienet. (3, 4)

Kivitäytössä käytetään yleensä avolouhokselta louhittua kiveä tai jätekiveä. Kiven siirtäminen louhoksiin tapahtuu pääasiassa täyttönousujen, kuljettimien ja/tai liikkuvan kaluston avulla. Riippuen käyttötarkoituksesta, voidaan lisäksi käyttää kovettuvaa täytettä. [3] Kovettuvasta sivukivitäytöstä käytetään myös nimitystä yhdistelmätäyttö. Siinä käytetään sekä sivukiveä että sideainetta rinnakkain. Yhdistelmätäyttö voidaan suorittaa kahdella eri tavalla, joko valmistamalla niin kutsuttua kauhakovettuvaa täytettä tai täyttämällä louhosta sivukivellä ja sideaineliitteellä vuorotellen. Kauhakovettuvassa täytössä lastauskoneen kauhaan tai kuorma-auton lavalle laitetaan aluksi sivukiveä ja sen päälle lisätään sideaineliete. [6] Kauhakovettuvaa täytettä valmistetaan myös tekemällä noin 1-1,5 metriä korkea pato lyhyeen perään, jonne on lastattu alle padon korkuisesti kiveä. Padon valmistuttua, lasketaan kovettuvaa täytettä kivien sekaan ja annetaan kuivua pari päivää. Sen jälkeen pato puretaan ja kuljetetaan kauhakuormaajilla kauhakovettuva täyte louhoksiin.

4.2 Hydraulisen kovettuvan täytteen ominaisuudet

4.2.1 Vedenläpäisevyys ja täyttösykli

Virtauskäyttäytyminen, vedenläpäisevyys ja lujuus ovat tärkeimmät hydraulisen kovettuvan täytteen ominaisuuksista. Hydraulista täyttöä suunnitellaan niin, että kuljetusväliaineena käytettävä ylimääräinen vesi suotautuisi täytön läpi ja massaan jäisi tietty jäännöskosteus. Mikäli vedenläpäisevyys on liian matala, seinämiin tai patoon kohdistuva hydraulinen paine kasvaa liian suureksi. [7] Kovettuvaa hydraulista täyttöä käytettäessä hidas suotautuminen johtaa pidempään kovettumisaikaan ja pienempiin lujuuksiin. Täytteen kovettuttua hydraulinen paine ei enää vaikuta seinämiin. [1]

Hydraulisen täytteen läpäisevyyden tulee olla suuruusluokaltaan 10^{-5} - 10^{-6} m/s eli n. 0,4-4 cm/h, jotta vesi poistuisi painovoimaisesti suunniteltuja poistumisteitä myöten. [7] Lakisääteistä vedenläpäisevyyden raja-arvoa ei kovettuvalle hydrauliselle täytteelle ole ilmoitettu, toisin kuin hydrauliselle täytteelle. Vedenläpäisevykyä voidaan arvioida mittaamalla materiaalin suotoarvo. Pyhäsalmen kaivoksella suotoarvo määritetään mittaamalla tunnin aikana kylläisenä pidettävän näytteen läpi suotautuva vesimäärä ja muuntamalla yksiköksi cm/h. Alhaisimmat kovettuvan hydraulisen täytteen suotoarvot ovat olleet 1,4 cm/h, kun ne kovettumattomalla ovat normaalisti 3-7,5 cm/h. [7]

Täytön kuivumiseen vaikuttaa vedenläpäisevyyden lisäksi louhoksen täyttösykli. Louhoksen kuivumisen kannalta on olennaista, että jokaiselle louhokselle olisi määritetty oma täyttöräyhti. Täyttöräyhti tarkoittaa täytön ja laskeutumisajan suhdetta. Louhoksen koosta ja täytteen tiheydestä riippuen louhosta pitäisi täyttää tietty määrä, jonka jälkeen täytteen annettaisiin kuivua ja laskeutua riittävä aika. [6]

4.2.2 Lujuus

Kovettuneen täytteen on kestävä sille esimerkiksi lajittumisesta tai räjäytyksistä aiheutuvaa kuormaa. Vaadittava lujuus riippuu sen lopullisesta käyttötarkoituksesta. Jos täytteen alta joudutaan louhimaan, on lujuusvaatimus suurempi kuin tapauksessa, jossa pelkästään paljastettavan täyttöseinän täytyy olla stabiili. Yksinkertaisimmillaan kovettunut täyte mitoitetaan kestämaan omasta painostaan johtuva jännitys. [5]

Kovettuvan hydraulisen täytteen lujuuden vaikuttavin tekijä on sideaineen määrä ja yleensä lujuutta tarkastellaankin sideainemäärän suhteen. Lujuuteen vaikuttaa myös mm. sideaineen laatu, raekokojakauma sekä rakeiden muoto, kovettumisaika, näytekoko ja kosteuspitoisuus. [5]

4.2.3 Virtauskäyttäytyminen

Hydraulisen täytteen virtauskäyttäytymiseen vaikuttavat kaksi tärkeintä parametria ovat partikkelikokojakauma ja lietetiheys. Hienoaines voi sitoa vettä ja siitä johtuen estää partikkeleiden laskeutumista. Pastatäytössä käytetään tätä ominaisuutta hyväksi. [1]

Karkea aines laskeutuu sitä nopeammin, mitä suurempia partikkelit ovat. Lieke liikkuu heterogeenisesti ja turbulenttisesti keskinopeudella, joka on suurempi kuin kriittinen laskeutumisnopeus. Muussa tapauksessa täytteen kiintoaines laskeutuu ja lajittuu putkistossa. Tämä on huomioitava erityisesti hydraulisessa täytössä. [8]

Hydraulisessa täytössä täytteen tyypillinen lietetiheys on 40-50 tilavuus-%. Tyypillisillä rikastushiekoilla se tarkoittaa yli 70 paino-%:a. [7] Liian matala lietetiheys johtaa täyttömateriaalin lajittumiseen ja siitä syystä aiheuttaa ylimääräistä vedenpumppausta kaivoksesta. Liian korkea lietetiheys puolestaan kuluttaa enemmän putkistoja ja voi aiheuttaa niiden tukkeutumista. [1]

4.3 Täyttömateriaalit

Kaivostäyttöön voidaan käyttää monia eri materiaaleja. Yleisimmin käytettyjä täyttömateriaaleja ovat rikastushiekka, kivi, vesi sekä sideaineet. Valintaa ohjaavat niiden saatavuus ja hinta. Saatavuus on usein kiinni kaivoksen sijainnista, mutta myös rikastus- ja louhintaprosesseista. Hydraulisen täytön käyttöä voi rajoittaa sideaineen korkea hinta. [3,8]

4.3.1 Rikastushiekka ja kivi

Rikastushiekkaa muodostuu poisteena rikastusprosessissa, joka käsittää yleensä hienonnnusprosessin, kuten murskaus ja jauhatus sekä vaahdotus- tai ominaispainoerotusprosessin. Rikasteen osuus malmista riippuu arvomineraalien pitoisuudesta. Hienonnnusprosessin läpikäyneen kivimateriaalin käyttämä tilavuus kasvaa vähintään 1,8-kertaiseksi alkuperäiseen in-situ-tilavuuteen verrattuna. Siitä syystä syntyneen rikastushiekan tarvitsema tilavuus on usein suurempi kuin tila, mistä se on louhittu. Tällaisissa tapauksissa loppuosa rikastushiekasta sijoite-

taan maanpäällisille rikastushiekka-altaille. Vaahdotusprosessissa käytettävät kemikaalit kuten syanidi, kalkki ja hapot, saattavat muuttaa rikastushiekan käyttäytymistä kaivostäyteen valmistusprosessissa. [8]

Rikastushiekan käyttöön vaikuttavat tekijät ovat raekokojakauma, mineralogia ja partikkeli-muoto. Raekokojakauma on merkitykseltään suurin, sillä sen mukaan määräytyvät useat täyteen kriittisistä ominaisuuksista. Mikäli raekokojakauma on laaja, huokoisuuskerroin pienee ja lujuus kasvaa. Raekokojakauman perusteella määräytyy myös täyteen vedenläpäisevyys. [8]

Kivitäyttöä käytetään yksinään tai yhdessä muiden täyttömenetelmien kanssa. Kiveä saadaan jätekivenä maanalaisista valmistavista töistä kuten peränajosta. Jos kiveä ei kuitenkaan ole saatavilla maan alta, joudutaan se louhimaan maan päänäköisestä louhoksesta, joka on yleensä suunniteltu pelkästään täyttökiven louhintaa varten. Kivitäyttöä suunniteltaessa on otettava huomioon täyteen lajittuminen, jolla on merkitystä etenkin täyteen huokoisuuteen ja koivuuteen. [8]

4.3.2 Vesi ja sideaineet

Vedellä voidaan täyttää käytöstä poistuneita kaivoksia. Vesi ei kuitenkaan toimi täyteenä tuotannossa olevissa kaivoksissa, eikä sillä yksinään ole louhoksia tukevaa vaikutusta. [6] Toiminnassa olevien kaivosten kaivostäytössä vesi toimii kuljetusväliaineena. Kovettuvassa hydraulisessa täytössä vettä tarvitaan sideaineiden hydrataatioreaktioihin. [2]

Sideaine toimii täytteessä kovettimena kovettuvassa täytössä tai kovettuvassa sivukivitäytössä. Yleisimmin sideaineina käytetään sementtiä, masuunikuonaa, lentotuhkaa ja kipsiä. Yleisin käytettävä sementtilaatu on yleissementti eli Portlandin sementti, joka valmistetaan sementtiklinkeristä ja kalsiumsulfaatista. Seosaineiden, kuten lentotuhkan, osuus on normaalisti alle 5 %. Sementin toiminta perustuu sen sisältämiin trikalsiumsilikaattien ja -aluminaattien hydrataatioreaktioihin. Näistä varsinkin jälkimmäinen reaktio on todella nopea. Liian nopeaa kovettumista voidaan hidastaa lisäämällä seokseen kipsiä. Näin ollen saavutetaan myös korkeampi loppulujuus. [8]

Sementin korkean hinnan vuoksi kaivostäytössä käytetään yleisesti myös teollisuuden sivutuotteita, joilla on sideaineominaisuuksia. Tällaisia ovat esim. rautateollisuuden masuunikuonat ja voimalaitosten lentotuhkat. Ne ovat nk. potsolaaneja, mikä tarkoittaa, ettei niillä itsellään ole tai on hyvin vähän sideaineominaisuuksia. Hienojakoisessa muodossa ja kosteuden läsnä ollessa ne kuitenkin reagoivat normaalilämpötilassa sopivan aktivaattorin kanssa muodostaen sellaisia yhdisteitä, joilla on sementin ominaisuuksia. Hyvä esimerkkejä aktivaattorisista ovat kalsiumhydroksidi, sementti ja kipsi. Masuunikuonat ja lentotuhkat muodostavat aktivoinnin jälkeen samankaltaisia ja osittain samoja kalsiumsilikaatteja kuin Portlandin sementti. [9]

Masuunikuona syntyy rautarikasteiden sivukivimineraaleista, koksen tuhkasta ja ns. kuonanmuodostajista. Granuloitua masuunikuonaa syntyy, kun sulaa kuonaa jäähdytetään suurella vesimäärällä. Kuona sisältää dikalsium- ja magnesiumsilikaatteja sekä dikalsiumaluminaatteja. Sementistä poiketen kuonassa ei ole trikalsiumsilikaatteja- tai aluminaatteja, joten kuonan lujuuden kehitys on hidasta. Tästä on hyötyä kaivostäytteen valmistuksessa, koska lujittuminen alkaa vasta siinä vaiheessa, kun täyttömassa on jo paikallaan. Kuonaa voidaan käyttää kaivostäytössä sideaineena ilman sementtiaktiivointiakin, mikäli aktivaattorina käytetään kalkkia. Masuunikuonan huono puoli on sen korkea kovuus ja huono jauhautuvuus. Hyvä puoli masuunikuonassa on sen sulfaatinkestävyys, mitä Portlandsementti ei kestä. Varsinkin kuivajauhatuksessa energiakustannukset ovat korkeat. [8]

Lentotuhka on energiantuotannossa polttoprosessissa sivutuotteena syntyvä mineraalinen, lasimainen ja erittäin jauhemainen materiaali, jolla on pozzolaanisia ominaisuuksia. Turvepohjainen lentotuhka erotetaan savukaasuista esimerkiksi sähkö- tai letkusuodattimilla ja varastoidaan tarpeen mukaisesti. Turvepohjainen lentotuhka on usein ongelmajätettä. Kemialliselta koostumukseltaan kivihiilen lentotuhka koostuu lähinnä pii-, ferro- ja alumiinioksidesista. Lisäksi se saattaa sisältää kalsiumoksidia. Turpeen poltossa syntyvä lentotuhka on kivihiilen lentotuhkaa kevyempää. Molempia jakeita voidaan varauksella käyttää korvaamaan osaa sementistä tai kuonasta. Riippuen teollisuuslaitoksesta, se saattaa sisältää kriit-tisiä metalleja, kuten arseeni, elohopea, lyijy, kadmium ja kromi sekä antimoni. Haittapuolena lentotuhkan käytössä on sen negatiivinen vaikutus virtausominaisuuksiin. [1,9,10]

4.3.3 Hydraulisen täytteen laadunhallinta

Kovettuvan täytteen riittävä laadunhallinta on ehdoton edellytys onnistuneelle kaivostäytölle. Laaduntarkkailun täytyy kattaa koko prosessiketju aina raaka-aineista varsinaisen täytön jälki-valvontaan. Raaka-aineiden osalta on huomioitava mahdolliset muutokset rikastushiekan laadussa, rikastusprosessissa tai sideaineen laadussa. Näiden tekijöiden vaikutuksia on harkittava tapauskohtaisesti silloin kun suurempia muutoksia tapahtuu. [9]

Kaivoksessa laaduntarkkailu käsittää putki- ja kairareikälinjojen vuotojen ja tukkeutumien seuranta sekä louhoksessa jo olevan täytteen käyttäytymisen seuranta. Täytteen tulisi suotaa sille tarkoitettuja reittejä pitkin ja kiintoaineen pysyä louhoksessa. Täytettäessä louhosta kerroksittain, seurataan pinnan kuivumista ja täytteen kovettumista. Tyypillisesti tarkasteluksi riittää visuaalinen tarkastelu 1-2 kertaa vuorossa. [9]

4.3.4 Kaivostäytteen siirto ja käyttö kaivoksessa

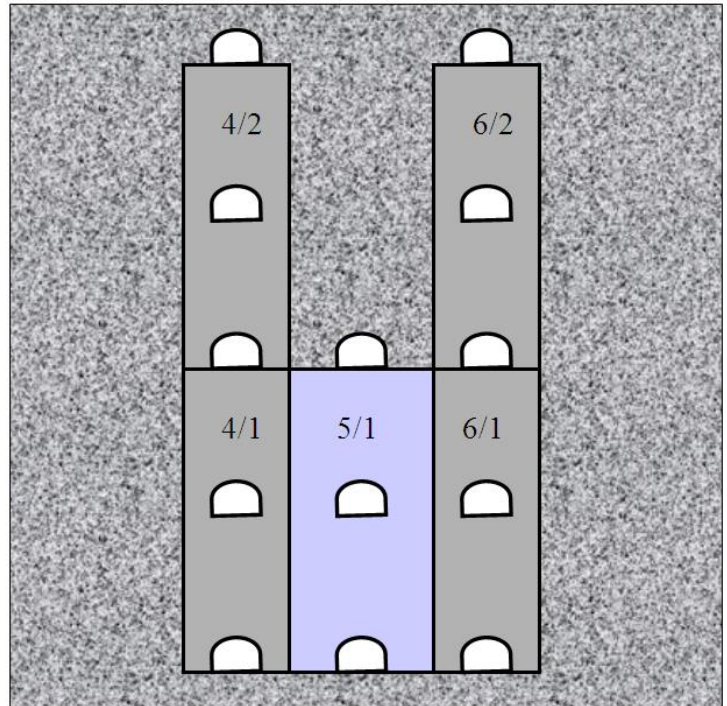
Rikastamon kahdelta kaivostäyttösuppilolta täyttöliete ohjataan tasolle +1050 asti ulottuvaan, halkaisijaltaan 76 mm kokoiseen kairareikään. Välimatka on siis osittain kairareikää ja osittain kumiputkea. Liete on ko. tasolle asti vapaassa tai lähes vapaassa pudotuksessa. Tasolta +1050 täyttö voidaan ohjata kyseiselle tasolle ja sieltä uusia linjoja pitkin alaspäin tai jatkaa suoraan alaspäin putkilinjoja pitkin tuotantotasolle haarautuen edelleen louhoksiin meneviin putkilinjoihin. Täyttölinjan kääntäminen kestää puolesta tunnista tuntiin, jona aikana täyttö pyritään pitämään käytössä toisessa linjassa.

sivukivi louhitaan pinnasta avolouhokselta ja se kuljetetaan louhoksiin täyttönousua pitkin. Kivi siirretään lastauskoneilla täyttönousun alaosasta täytettäviin louhoksiin. Ensimmäisen vaiheen louhoksiin lasketaan aina täyttökiven päälle kovettuvaa täyttölietettä. Toisessa vaiheessa louhokset täytetään pääsääntöisesti kovettuvalla täytteellä. Louhinnan periaate on esitetty kuvassa 1.

1. Louhitaan louhokset 4/1 ja 6/1
2. Kovetetaan 4/1 ja 6/1
3. Louhitaan 4/2 ja 6/2
4. Kovetetaan 4/2 ja 6/2
5. Louhitaan 5/1
6. Täytetään raakulla 5/1
7. Jatketaan samalla logiikalla ylös ja sivuille

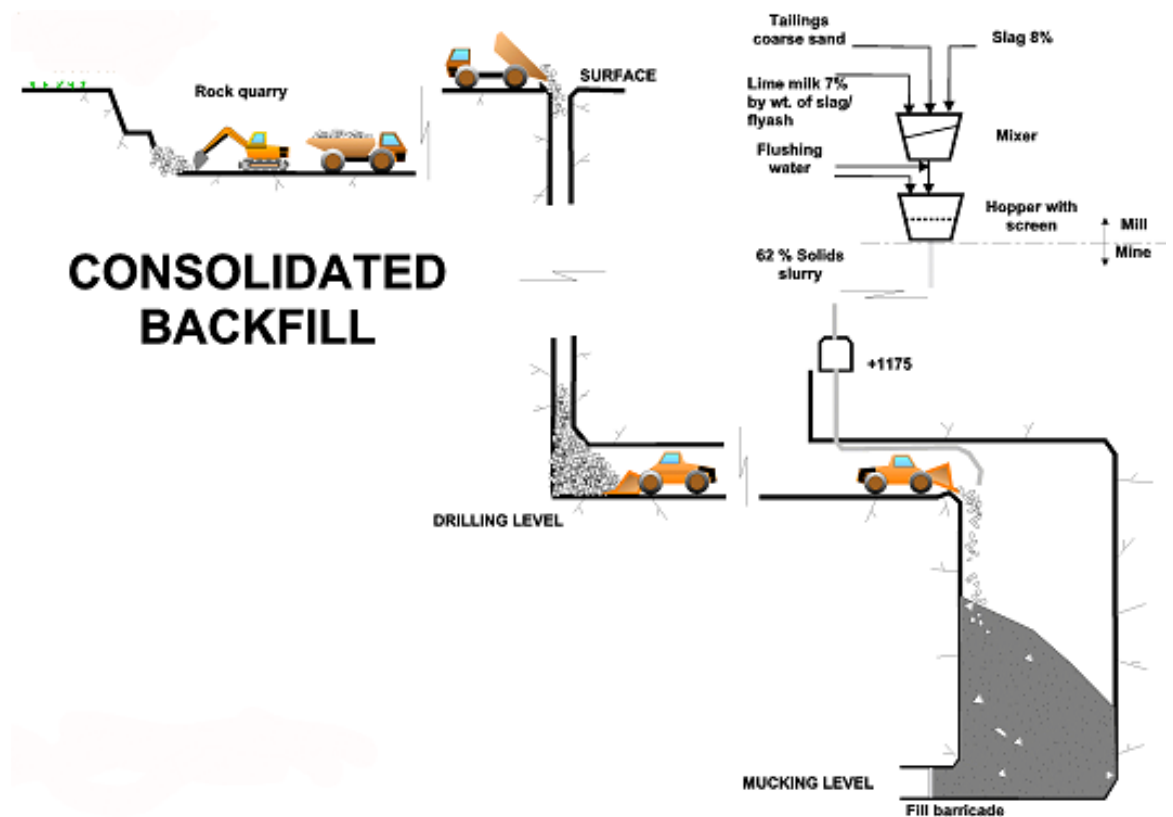
I vaiheen louhokset 4 ja 6

II vaiheen louhokset 5



Kuva 1. Louhinnan periaate ja kaivostäyttösykli. [1]

Noin 25 % täytettävästä louhoksesta täytetään kovettuvalla täytteellä ja 75 % raakulla. Prosessi aloitetaan tekemällä alaperään pato, joka estää lietteen virtaamisen perään. Täyttäminen alkaa täyttämällä louhosta raakulla yläperän kautta, jolloin louhoksen keskelle muodostuu Punkaharjuksi kutsuttava harju. Tämän jälkeen louhokseen aletaan laskea kovettuvaa kaivostäytettä. Näin ollen saadaan kovetettua louhoksen alaosa. Kun kerros täyttölietettä on siirretty louhokseen, käännetään täyttö seuraavalle tarvittavalle louhokselle. Louhoksissa vesi suotautuu patoon sijoitetuista salaojaputkista, kairareijistä sekä seinämien halkeamista. Täytön tapahtumia seurataan päivittäin. Täytön periaate on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Kaivostäytön periaate. [1]

Täyttösykli on pääsääntöisesti esitetyn kaltainen. Sykli riippuu suurelta osin veden suotautumisesta. Lisäksi sykliin vaikuttaa louhinnan aikataulu. Viereisiä louhoksia ei voi louhia, ennen kuin täyttö on kovettunut. Tyypillisesti kerrallaan on täytössä 4-6 louhosta. [1] Välillä vähemmänkin, koska pahoissa paikoissa liete valuu kalliorakosia pitkin periin, missä täytteestä on haittaa. Tästä syystä periä joudutaan injektoimaan polyuretaanilla.

4.3.5 Täytteen tarve

Pyhäsalmen kaivoksen vuosilouhinta on noin 1,4 Mt. Tulevaisuudessa tuotanto on tarkoitus pitää samalla tasolla. Malmin keskimääräinen tiheys on n. $4,45 \text{ t/m}^3$, joten malmin tilavuus on noin 315000 m^3 . Syntynyt tila on täytettävä sivu- tai raakkukivellä ja hydraulisella kovettuvalla täytteellä. Louhokset täytetään 75 %:sti kivellä ja 25 %:sti kovettuvalla täytteellä. Karkeaksi tarpeeksi kivitäytölle saadaan näin ollen $235\,000 \text{ m}^3$ ja kovettuvalle $80\,000 \text{ m}^3$. Todel-

lisuudessa tarve ei ole näin kaavamainen. Taulukossa 1 on esitetty kaivostäytön toteutuneita tunnuslukuja vuosina 2011-2013.

Taulukko 1. Kaivostäytön tunnuslukuja vuosina 2011-2013.

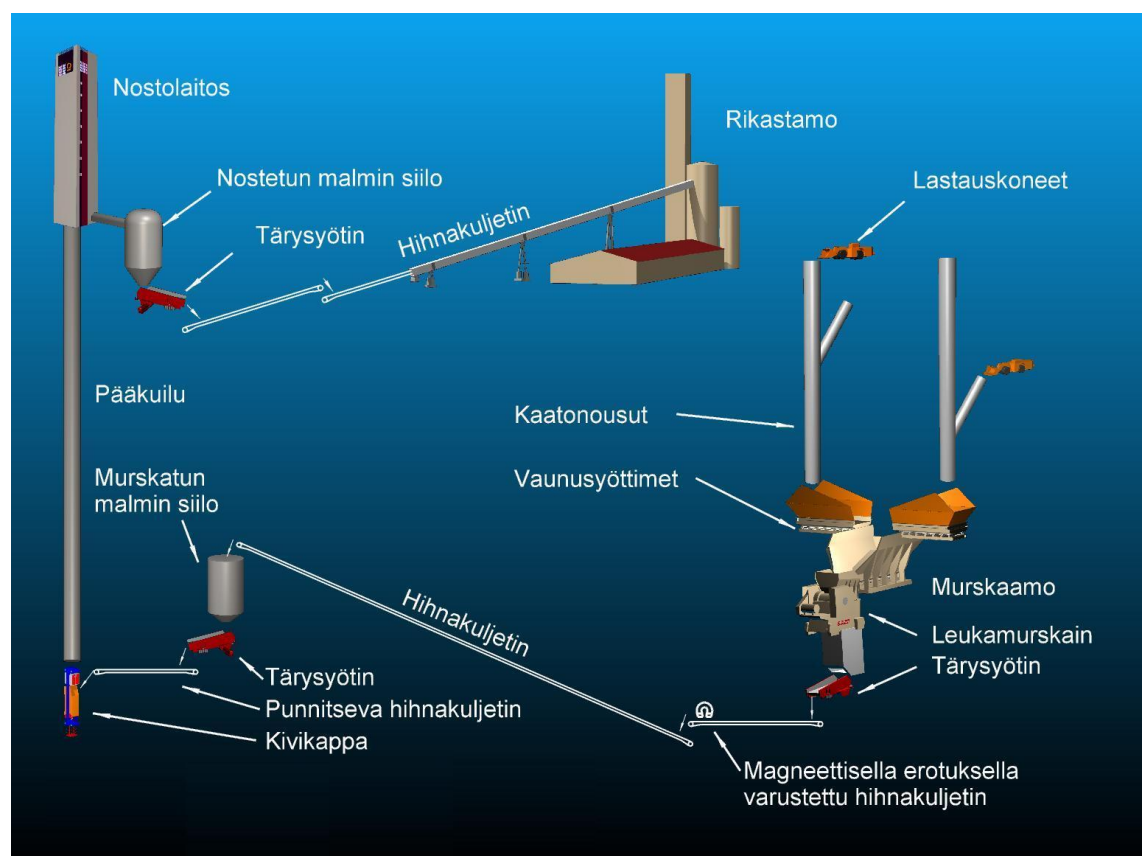
Vuosi	2013	2012	2011
Malmin tuotanto [t]	1 406 529	1 374 982	1 385 656
Tuotettu sivukivi [t]	48 503	42 266	76 846
Avolouhittu raakkukivi [t]	550 120	563 001	542 753
Malmia nostettu [t]	1 382 059	1 384 216	1 385 607
Kaivostäyttö, kivi [irto-m ³]	598 623	605 267	619 599
Hydraulinen täyte [m ³]	171 336	162 287	181 501
Täyttö yhteensä [m ³]	769 959	767 554	801 100

Toteutunut ja laskennallinen kaivostäytteen tarpeen ero johtuu siitä, että todellisuudessa louhoksien täyttö on hyvinkin tapauskohtaista. Täyttö riippuu kovettuvan täytteen laadusta, viereisten louhosten käyttötarkoituksesta sekä täyttömateriaalien lajittumisesta. Esimerkiksi jos viereistä louhosta ei louhita ollenkaan, kovettuvan täytteen tarve toisen seinän puolella on vähäisempi. Kovettuvan täytön tarpeen vaihtelu johtuu pääosin raakkukiven ominaisuuksista ja louhosten seinämien tiiveydestä. Kovettuva täyte pyrkii tunkeutumaan kivitäyttöön ja kovettamaan sitä. Mitä karkeampaa raakkukivi on, sitä paremmin kovettuva täyte tunkeutuu kivenrakoihin. Täytteen karkaaminen louhoksesta kairareikiä ja halkeamia pitkin lisää täytteen tarvetta. Tällaiset tapahtumat kuuluvat kuitenkin täytön luonteeseen, eikä niitä voida kokonaan estää, ainoastaan vähentää. Täytön karkaamista esimerkiksi toisiin louhoksiin on mahdoton pysäyttää. Ainoastaan vuotopaikkoja, joihin on mahdollisuus turvallisesti päästä, yritetään tukkia. [1]

Täytön tarvetta arvioitaessa täytyy myös huomioida, ettei tarve ole tasainen, mikä johtuu kaivoksen tuotantotilanteesta sekä louhosten vaihdon ja jakeluhäiriöiden aiheuttamista katkoksisista. Kun täytetään vuorotellen useampia kiireellisiä louhoksia, täytteen tarve on suurempi. Jakelukatkoksien tapahtuessa tällaisena ajanjaksona täytteen tarve kasvaa entisestään. Näissä tilanteissa kaivoksella jätetään kiireettömiä louhoksia täyttämättä.

4.4 Rikastusprosessi

Rikastusprosessi alkaa maan alta +1420-tasolta, missä malmi murskataan leukamurskaimella jauhatuksen vaatimaan kokoon. Sen jälkeen malmi siirretään hihnakuljettimien avulla murskatun malmin siiloon, jossa malmi punnitaan hihnakuljettimella ja sen jälkeen nostetaan hissillä maan pinnassa olevaan nostetun malmin siiloon. Murskauksen, noston ja siirron periaate näkyy kuvassa 3.



Kuva 3. Malmin murskaus, nosto ja siirto. [1]

Nostetun malmin siilosta malmi kuljetetaan hihnakuljettimia pitkin rikastamon seulomolle, jossa se jaotellaan raekoon mukaan lohkar-, pala- ja murskesiiloihin. Seulonnan jälkeisessä prosessissa jauhatuksessa jatketaan malmin hienontamista jatkoprosessin eli vaahdotuksen edellyttämään raekokoon. Pyhäsalmen kaivoksen rikastamolla tavoitejauhatushienous on 65 %-0,074 mm, jolloin yksittäiset rakeet sisältävät vain yhtä mineraalia. Jauhinkappaleina toimivat palat, lohkarit ja kuulat. Jauhatus tapahtuu sulkeisessa piirissä. [1]

5 TYÖMENETELMÄT

5.1 Instrumentointimenetelmät

Täyttöputkien virtausantureita sekä vuotoahteja ja kameroita otettiin käyttöön osana uutta instrumentointia. Koska aiemmin oli käytetty samanlaisia antureita, tiedettiin, että käytetyt instrumentit toimivat kaivoksen olosuhteissa. Simpliciti WebViewin täyttöputkikuva suunniteltiin sekä toteutettiin uusiksi, koska vanha kuva ei enää vastannut tarkoitusta muuttuneiden putkilinjojen takia. Injektointia louhosvuotojen tukkimiseksi päätettiin kokeilla. Ilmavuotojen mahdollisuutta päätettiin tutkia kuvaamalla rikastamolta lähtevät täyttöputket reikäkameralla.

5.2 Instrumentointi

Täyttöputket otettiin tarkempaan vaihtoon, ja jotta välttyttiin jatkuvilta kulkemisilta putkistoilta toisille, päätettiin putkistoihin asentaa valvontakameroita, virtausantureita sekä vuotoahteja. Paikat, joihin antureita päätettiin asentaa valittiin huolella. Sellaiset paikat, joissa oli eniten ongelmia putkien kestävyys kanssa otettiin tarkimpaan valvontaan.

Kaivostäyttöputken virtausta voidaan valvoa putken kylkeen laippapannalla asennettavalla akustisella anturilla. Anturissa oleva puolijohdekosketin vaihtaa tilaansa, kun virtaus putkessa loppuu ja tästä saadaan hälytys. Käytössä on ollut tyyppiä Senaco Plus ja Senaco AS100. Vuotojen valvontaan voidaan käyttää pintareleitä, jonka kahden elektrodisauvan koskettaessa johtavaa nestettä, releen kosketin muuttaa tilaansa ja tästä saadaan hälytys. [12]

5.2.1 Virtausmittarit

Virtausmittarina päätettiin käyttää Senaco AS 100-mallin akustista anturia, koska oli aiemmin todettu, että se on toimiva ratkaisu Pyhäsalmen kaivoksen olosuhteissa. Anturi kiinnitetään putkeen kiinni, ja kytkeytyy kun putkessa alkaa virrata nestettä eli anturi reagoi kohinaan. Kuvassa 4 on anturi johtoineen ja kuvassa 5 anturin keskusyksikkö.



Kuva 4. Siemens Senaco AS100 -virtausanturi.



Kuva 5. Siemens Senaco AS100 -virtausanturin keskusyksikkö.

Virtausmittareille mietittiin hyvät käyttökohteet. Uusia, käyttämättömiä mittareita oli löytynyt varastosta ja niille mietittiin sopivat paikat sen perusteella, missä putkivuotoja oli useimmiten sattunut. Ensimmäinen mittari, mikä oli kaikista kiireellisin eikä lähellä ollut kameraa, asennettiin +1275 tasolle. Seuraavat kaksi anturia suunniteltiin asennettavaksi +1175 tasolle ja anturit siirrettiin Simpliciti WebView -ohjelmistossa oikeaan paikkaan. Lisäksi paikalle asennettiin uusi kamera kuvaamaan molempia putkia. +1250 lisättiin anturit sähkökeskuksen vie-

ressä kulkevaan linjaan ja raitistuuletusnousun lähellä kulkevaan linjaan ja testattiin toiminta logiikkanäytöllä. +1150 tasolle lisättiin virtausanturi, mutta se vaati ensiksi reikien porauksen tasojen väliin. Anturi sijoitettiin lähelle putken loppupäätä, mutta kuitenkin niin, että se on vasta viimeisen liitoksen jälkeen. Tällä anturilla varmistetaan, että täyte menee perille asti.

Uusia antureita mietittiin myös käytettäväksi langattomina versioina, mutta se olisi ollut haasteellista, koska käytetyn tyyppiset anturit tarvitsevat toimiakseen käyttöjännitteen. Toimintavarmuus on kiinteällä sähkönsyötöllä akkusähköä parempi ratkaisu. Hälytyskosketintieto siirtyy syöttösähkökaapelilla ja langattoman tiedonsiirron haasteena on radiosignaalin huono eteneminen kaivostunnelistossa. Langattoman verkon toteuttaminen vaatisi sen että viesti anturilta kulkee seuraavalle niin, että antureiden välillä on näköyhteys. Avoimessa tilassa tiedonsiirto radiolinkeillä kantaa kilometrien säteellä, mutta kaivoksessa linkkiantennien välillä tarvitaan käytännössä näköetäisyys koska tunnelit ovat mutkaisia, joka tarkoittaa sitä, että antureita olisi tarvinnut laittaa tihein välein. Käytännössä on helpointa suunnitella kaapelointi ja tiedonsiirto, kun valvonta-anturien fyysiset sijainnit on määritelty kaivoskartoille. [13]

5.2.2 Vuotovahdit

Johtokykyreitä päätettiin ruveta käyttämään vuotovahti-ilmaisimina siitä syystä että niillä voitaisiin havaita mahdollisia putkirikkoontumisia sekä liitinten irtoamisia. Toimintaperiaateltaan kaivokselle ennestään tuttuja antureita sovellettiin vuotovahdeiksi. Kuvassa 6 nähdään asennusvalmis johtokykyrele. Vedenpumppaamoilla oli ollut käytössä samanlaisia johtokykyreleitä tarkkailemassa alaiden pinnan korkeuksia ja hoitamassa pumppujen oikea-aikaisia käynnistymisiä sekä sammutuksia.



Kuva 6. Vuotovahti asennusvalmiina.

Johtokykyrele toimii vuotovahtina siten, että releelle syötetään virta 230V AC kaapelilla. Kaksi elektrodia on sijoitettu valvottavaan kaivantoon. Mikäli nesteen pinta nousee kun virtaava nestettä valuu sinne tarpeeksi. Siinä vaiheessa kun neste koskettaa johtokykyreleen elektrodisauvoja, vaihtaa kosketin tilaansa ja antaa instrumenttikaapelia pitkin tiedon logiikalle ja logiikka välittää hälytystiedon valvontanäytölle ohjaamoon. Valvontanäytöllä vaihtuu

valikossa ”täyttö” keltaisesta punaiseksi, jolloin ohjaamon valvoja huomaa jotain olevan vialla aukaisee valikon, jossa vielä näkyy punaisella ”täyttöputki vuotaa” – sekä kyseinen taso.

Vuotovahtien tarkoitus on ilmoittaa vuodon tapahtuessa logiikkakeskuksen kautta ohjaamoon, että vuoto on havaittu ja näin ollen ohjaamosta voidaan kytkeä täyttöajo pois päältä ilman että sitä lasketaan väärään paikkaan pitkän aikaa. Vuotovahtien asennuspaikkojen ongelmana oli se, että toinen mahdollisuus, milloin vuotovahti kytkeytyy on vesireiän mennessä tukkoon, ja veden antaessa hälytyksen ohjaamo katkaisee turhaan täytön. Liitteestä 1 näkyy asennettu anturi +1050 -tasolle.

5.2.3 Vuotovahtien paikat

Vuotovahdeille suunniteltiin paikat ja mietittiin, miten ne voidaan järkevästi asentaa ilman että niitä voidaan rikkoa tunneleissa liikkuvalla kalustolla. Tärkein paikka löytyi +1050 -tason tuuliovien takaa, jossa ei yleensä liikuta kuin huoltotoimenpiteissä. Tämä oli kriittinen paikka myöskin sen takia, että täyttölinjat tekevät tiukan mutkan tällä tasolla. Suoraa pudotusta on noin kilometrin verran, joten putkiin kohdistuu suuri paine tällä tasolla. Siksi putket ovat haljenneet ja liitokset pettäneet useasti.

Oven taakse tehtiin iskuvasarakoneella betoniin kuoppa, johon valunut täyte tai vesi ensimmäisenä kulkee, mikäli putki tai liitos antaa periksi. Tähän kuoppaan asennettiin johtokykyreleellä toimiva pinnanmittaus anturi. Anturin kiinnitys tehtiin siten, että sen korkeutta oli mahdollista säätää. Mikäli pienempiä vuotoja tulee, niin jokaisen kerran jälkeen ei tarvitse tyhjentää allasta. Anturin korkeutta säätämällä saadaan anturi jälleen toimintaan. Jossain vaiheessa on kuitenkin kaivettu kuoppa puhdistettava ja anturi siirrettävä takaisin ala-asentoon.

Tarkoitus oli kokeilla tällä anturilla sen toimivuus ennen kuin lähdettiin toteuttamaan seuraavan vuotovahdin asennusta paikkaan, joka sijaitsee +1175 -tason apuperien risteyksessä.

5.2.4 Kamerate

Kameroita on käytetty jo paljon entuudestaan, mutta ongelmana niiden käytössä on, että kelläkään ei ole aikaa tarkkailla kameranäyttöjä koko ajan. Kameroita on niin paljon käytössä, ettei kuvaa mahdu useammallekaan näytölle.

Kameroita käytetään paikoissa, joissa voidaan seurata kovettuvan täytön putkia ilman, että niitä tarvitsee käydä paikan päällä katsomassa useita kertoja vuorokaudessa. Kameroita käytetään myös moneen muun asian valvomiseen. Kameroiden määrä estää täydellisen valvonnan, koska monitorit eivät riittäisi näyttämään kaikkea kuvamateriaalia yhtä aikaa. Tämän takia asennettavat anturit ovat monessa paikassa parempi vaihtoehto antaessaan hälytyksen suoraan rikastamon ohjaamossa olevalle tarkkailijalle ongelman ilmetessä. On kuitenkin hyvä olla kamerat seuraamassa louhoksella lietteen ulostuloa myös senkin takia, että nähdään kaiken olevan kunnossa vielä senkin jälkeen, kun liete on ohittanut täyttöputken viimeisen anturin.

5.3 Polyuretaani-injektointi vuotojen hallitsemiseksi

5.3.1 Taustaa

Louhokseen oli laskettu moneen otteeseen kovettuvaa täytettä, mutta ongelmaksi oli muodostunut, että täyte valui alemmalla tasolla olevalle perälle katosta, seinistä sekä tunnelin helmasta jopa 50 metrin matkalta. Tämä tarkoitti sitä, että täyte valui kallion rakoja pitkin noin 50 metriä alaspäin ja siinä samalla useita metrejä sivusuunnassa. Kallion täytyi olla todella pahasti halkeillutta, koska täytettä tuli paljon useasta paikasta. Normetilta oli tilattu paineilmalla toimiva polyuretaani-injektointipumppu, jolla pumpataan kaksikomponenttista laajentuvaa ja nopeasti kovettuvaa polyuretaania sekä eri komponenteilla valmistettavaa liimaainetta. Pumpun toimitus tapahtui tammikuun aikana.

5.3.2 Työn kulku

Normetilta tuli kaksi asiantuntijaa ja he toivat mukanaan pumpun, jolla oli tarkoitus pumpata kaksikomponenttista polyuretaania kallioon porattuihin reikiin. Tarkoituksena oli saada uretaani reikien kautta kalliossa oleviin halkeamiin, jotta täyttövuotojen määrää saataisiin vähennettyä. Pumppu nostettiin trukilla auton lavalle (kuvassa 7). Toisen auton lavalle nostettiin trukilla laatikollinen jo aiemmin tulleita ämpäreissä olevia komponenttiaineita. Varastolta otettiin mukaan lisäksi tarvittavia välineitä.

Työt aloitettiin liittämällä pumppuun kaikki mukana olleet ja tarvittavat letkut. Lisäksi tuotiin toisen auton lavalta tarvittavat komponenttiastiat. Pyrittiin pitämään molempien astioiden pinnat samalla tasolla, jotta päästäisiin 1:1 sekoitukseen.

Kun kaikki oli valmiina, aloitettiin kaksikomponenttisen polyuretaanin pumppaus seinän sisään. Reiän tullessa täyteen huomattiin paineen kasvavan, niin vaihdettiin seuraavalle reiälle. Näin tehtiin kymmenkunta reikää, kunnes pienissä ämpäreissä ollut uretaanikomponenttiaine loppui. Uretaanin pumppaukseen käytettiin aikaa pitkä päivä.



Kuva 7. Normetin mukanaan tuoma pumppu, jossa putkien selitykset.



Kuva 8. Myös liima aine pursuili kallion raoista.



Kuva 9. Normetin mansetti vaihdettavalla päällä.



Kuva 10. Kallion raoista pursunnutta polyuretaania.

5.3.3 Seuraavan päivän tapahtumat

Seuraavana päivänä injektoinnit näyttivät hyvältä ja siltä, että uskallettaisiin laskea täytettä louhokseen. Täyte laitettiin päälle, ja aluksi vaikutti siltä, että seinät pitävät. Jonkin ajan kuluttua aloituksesta alkoi seinästä vuotaa täytettä läpi. Sitä tuli pääasiassa yhdestä reiästä ja kovalla paineella. Täytteen laskeminen käännettiin takaisin aiemmalle louhokselle, minne sitä on laskettu usean kuukauden ajan.

Myös muualta tämän suurehkon vuotokohdan ympäriltä näytti vuotavan, lähinnä tihkuvan, täytettä seinän läpi. Vuotokohdat merkittiin maalilla, jotta ne voitaisiin paikantaa vielä senkin jälkeen, kun täytettä ei enää vuoda. Uretaanin pumppausta jatkettiin sitä mukaa, kun huomattiin, että täytettä vuotaa.

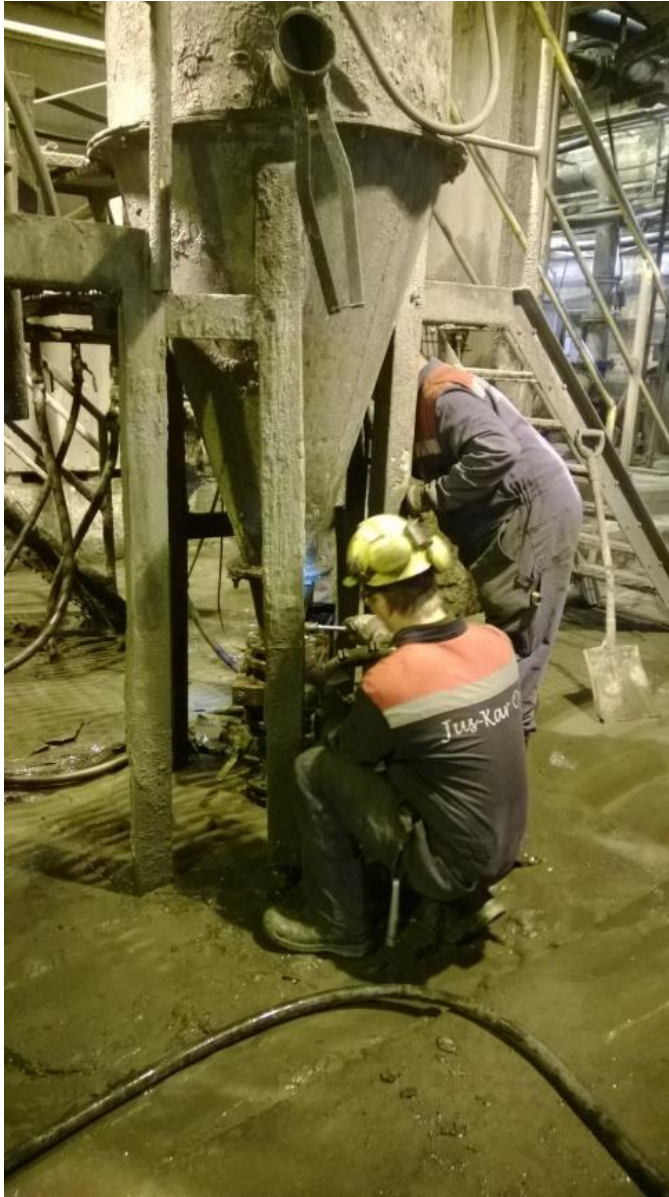
5.4 Täyttöputken yläosan kuvaus rikastamolla

Etukäteen arveltiin, että täyttöputki vuotaa rikastamon alta siten, että virratessaan liete tekee putkilinjaan alipaineen, joka vetää mukaansa ilmaa ja tästä johtuen liete ei tule tasaisesti, vaan sykäyksinä, joka heikentää putkiliitoksia sekä kuluttaa putkia varsinkin mutkakohtien ulkoreunoista. Painevaihtelut ovat suuria ja putken rikkoontuessa tai liitoksen pettäessä täyte kuluu väärään paikkaan. Kuluu aikaa, ennen kuin rikkoontumista huomataan ja lietteen tulo saadaan katkaistua, sillä yli kilometrin matkalta putkea pitkin tulevaa lietettä on paljon.

Kaksi täyttöputkilinjaa lähtee maanpinnalta. Itäpuolinen linja on ykköslinja ja läntinen kaksoslinja. Voidaan siis valita kumpaa linjaa pitkin täyttö lasketaan alas. Molempia linjoja ei voida käyttää siitä syystä, ettei rikastamolla vielä riitä kapasiteetti toimittamaan täytettä molempiin linjoihin. Tulevaisuudessa olisi mahdollista laskea molempia linjoja pitkin, jos rikastehiekka-altaalta alettaisiin kuljettamaan jätettä takaisin rikastamolle.

Täyttölinjat päätettiin tarkastaa rikastamolta alaspäin reikäkameralla, joka oli tilattu kaivokselle muutama vuosi sitten. Kamera on mallia Ridgid See Snake CS10 borehole camera ja kaapelin pituus on 60 metriä. Reiät lähtevät rikastamon eteläpäästä. Yläpäässä on siilot ja niiden jälkeen venttiilit, jonka alapuolella reikää ja putkea. Kameralla oli tarkoitus nähdä, onko vuotokohtaa olemassa, ja jos on, niin missä syvyydessä se sijaitsee. Samalla nähtäisiin, missä kunnossa linjojen yläosat on.

Kameran toimivuus testattiin, ja se toimi hyvin sekä verkkovirralla että akuillakin. Putkilinjojen kuvauksesta ilmoitettiin rikastamolle. Mukaan saatiin kunnossapidon porukkaa irrottamaan venttiilit täytörei'iltä. Kuvassa 11 irrotetaan täyttölinjan yksi venttiiliä, jotta reikäkamera saadaan reikään. Kuvassa 12 venttiili on poistettu. Reikä näytti koko 60 metrin matkan hyvältä lukuun ottamatta muutamia pieniä halkeamia sekä kulumisia. Kivi ei kuitenkaan ollut rikkonaista eikä kalliossa ollut vaakasuuntaisia siirtymiä. Kuvaus oli ohi muutamassa minuutissa ja kaapeli vedettiin takaisin reiästä kelalle. Ongelmia ilmeni siinä vaiheessa, kun venttiiliä alettiin laittamaan takaisin paikoilleen.



Kuva 11. Linjan kaksi venttiilin irrotus.

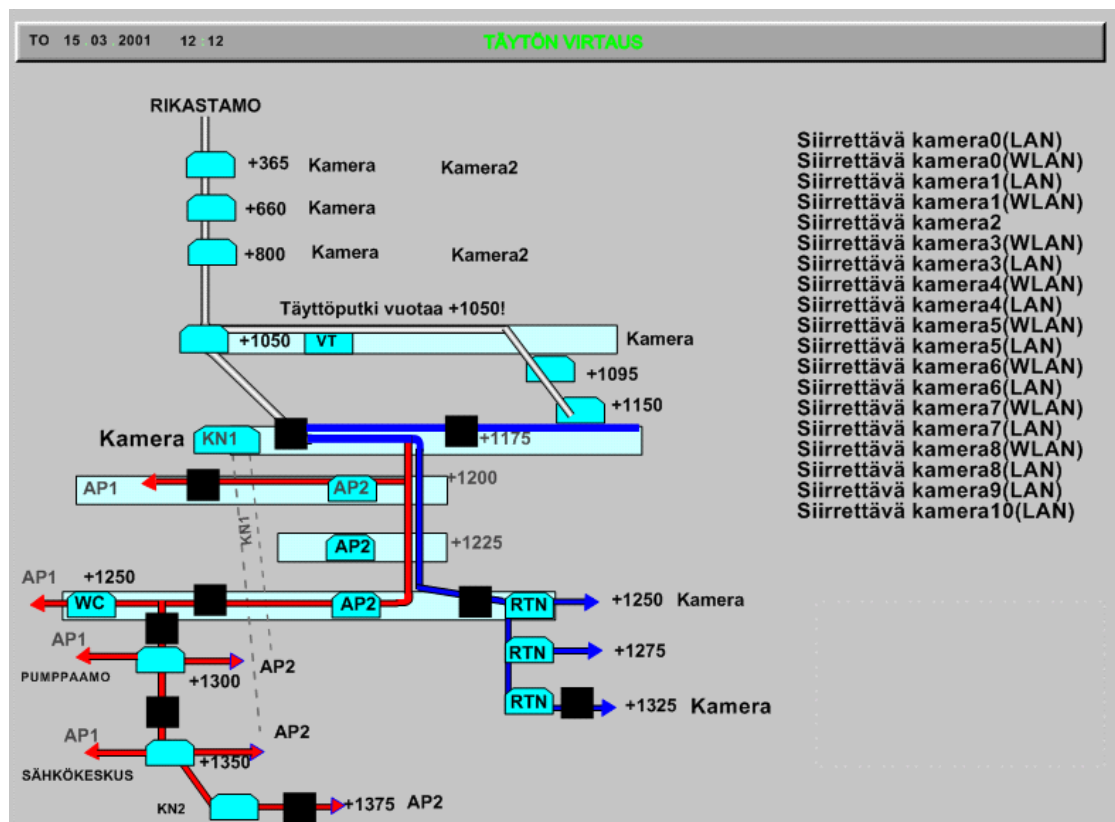


Kuva 12. Täyttölinja ilman venttiiliä.

Kivi oli rikkonaisempaa ja vaaleampaa linjan kaksi reiässä, mutta mitään suurempaa ei täältäkään löytynyt. Reiät olivat siis ehjät eikä epäiltyjä ilmavuotoja ollut ainakaan tällä 60 metrin matkalla.

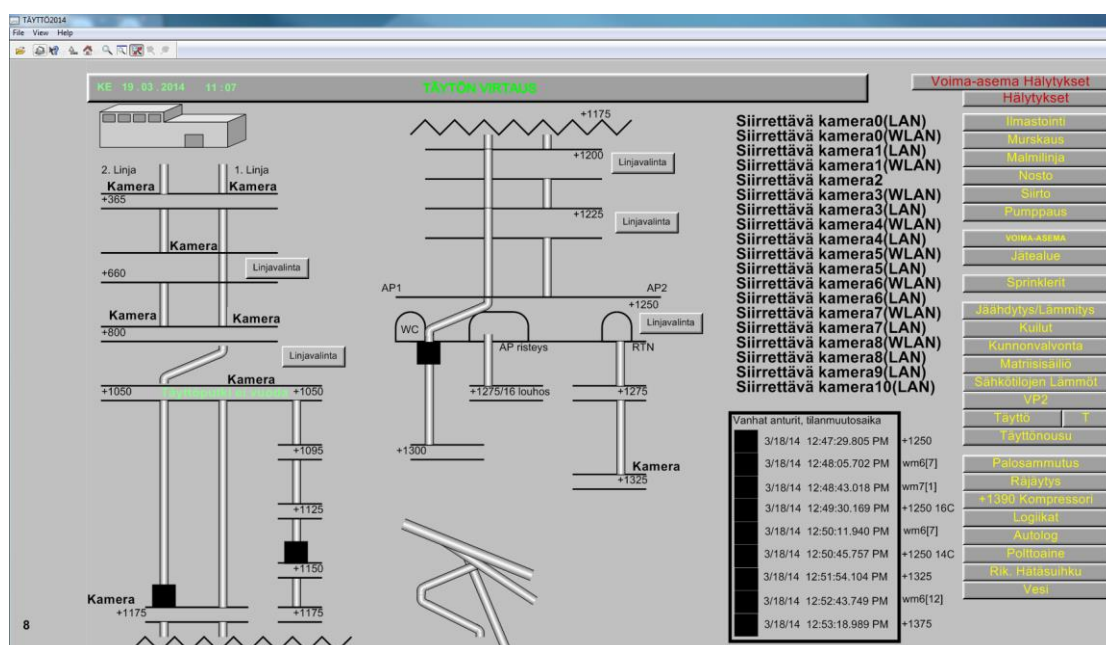
5.5 Simpliciti WebViewin täyttökaavion päivitys

Simplicitissä oleva täyttöputkikaavio tarvitsi päivityksen. Täyttöputkikartasta tehtiin aluksi suunnitelmapäivitys paperille ja siitä räätälöitiin päivitys myös logiikkanäytölle. Vanha täyttökuva oli epäselvä ja harhaanjohtava, koska se ei ollut enää ajan tasalla johtuen siitä että putkistoja joudutaan siirtämään ja muokkaamaan jatkuvasti. Lisäksi tasoille +1375 ja +1350 ei lasketa enää täytettä, koska louhokset ovat täynnä, eikä uusia louhoksia enää tule näille tasoille. Kuvassa 13 on esitetty vanha täyttökaavio Simpliciti WebViewissä. Simpliciti WebViewistä otetussa kuvassa näkyvät mustina neliöinä vanhat anturit, jotka eivät ole olleet pitkään aikana toiminnassa.



Kuva 13. Vanha näyttökuva täyttölinjoista Simplicity WebViewissä.

Uudessa WebView -kuvassa, joka nähdään kuvassa 14, on mahdollista valita oikea reitti täyten kulkemiselle painamalla linjavalintaa kullakin mahdollisella tasolla, jolla on mahdollisuus kääntää putkistoja kaivoksessakin. Myös tasolla olevat kamerat aukeavat uuteen ikkunaan kutakin kameraa painamalla. Kun haluttu, oikeaa linjaa vastaava linja näytöltä on valittu, se muuttuu näytöllä vihreäksi, joten on selkeää, mihin täyte kulkee. Mustat neliöt näkyvät näytöllä punaisena silloin, kun eivät ole aktiivisena eli putkessa ei ole virtausta ja vaihtuvat vihreäksi siinä vaiheessa, kun anturi tunnistaa virtauksen.



Kuva 14. Päivitetty näyttökuva Simplicity -ohjelmistossa.

5.6 Lietetiheyden kasvattaminen

Täytteen lietetiheyden kasvattamiseksi olevia keinoja oli mietitty monelta eri kantilta siitä syystä, että saataisiin täytteet pysymään paremmin louhoksissa. Kaivokseen ei myöskään haluta ylimääräistä vettä, koska sen ylöspumppaaminen ja puhdistaminen on kallista. BASF:n edustajien kanssa tehtiin koe, jossa rikastamolta lisättiin täytteen sekaan BASF:n valmistamia kemikaaleja. Kemikaalia lisättiin noin 200-300g per täyttökuutio. Tällä keinolla saadaan kuona-ainepitoisuutta pienennettyä, täyte tulemaan putkea pitkin alas hieman vähemmällä veden

määrällä ja vieläpä painumaan kivikasan sekaan samalla tavalla ja jopa paremmin kuin pelkällä vedellä. Lisäksi kovettuminen tapahtuu nopeammin, virtaukset ovat tasaisempia ja painenvaihtelut pienempiä täyttölinjassa kemikaalien avulla. Tasaisempi paine pidentää putkien ja liittimien käyttöikää ja tuo käyttövarmuutta. Ensimmäiset kemikaalit saatiin täytteen sekaan maaliskuulla.

BASF:n kemikaalikokeilulla saatiin tasoitettua täytön virtaamista, niin että täyttöputkien heiluminen vähentyi huomattavasti. Myöskin täytettä voitiin laskea kaivokseen parin prosentin verran pienemmällä vesimäärällä, joka nopeuttaa täytteen kovettumista.

6 LOPPUTULOKSET JA JATKOTOIMENPITEET

Istrumentoinnissa asennettiin varastosta löytyneitä virtausantureita kriittisiin paikkoihin. Nämä asennetut anturit tunnistavat putkissa kulkevan nesteen ja antavat tiedon siitä Simplici WebView logiikkanäytölle. Vuotovahteja alettiin käyttämään johtokykyreleen avulla. Myös näistä tulee tieto Simpliciin, mikäli vuotovahti tunnistaa vuodon. Kameroita lisättiin entisestään paikkoihin, joissa niitä eniten tarvittiin. Kamerrat saadaan nykyään päälle Simplicistä näyttökuvakkeesta haluttua tasoa painamalla.

Polyuretaani -injektointia käytetään sitä mukaa, kun tarvetta tulee. Täytettäviä louhoksia tulee koko ajan lisää, ja kaivoksen vanhetessa vuotopaikat lisääntyvät, joten niitä on injektoitava kiireesti sitä mukaan kun tarvetta tulee.

Molempien linjojen yläosa kuvattiin 60 metriin asti ja reiät olivat hyvässä kunnossa. Vuoto-kohtia ei löydetty kyseiseltä 60 metrin matkalta, toisin kuin alun perin epäiltiin, joten täytteen virtaaminen putkista humppaamalla ei johtunut siitä, että linjastot imisivät alipaineella ilmaa täytteen sekaan.

Täyttökaavion päivitys onnistui erinomaisesti ja saatiin luotua uusi kuva Simplici WebView -ohjelmistoon, jota pystytään muokkaamaan halutunlaiseksi, niin kuin se todellisuudessaakin on käännetty kulkemaan. Ongelmana kuitenkin on jatkuvasti muuttuvat täyttölinjojen tarpeet kaivoksessa, joten jatkossa täyttöputkikaaviota täytyy päivittää jatkuvasti. Anturit, jotka mitaavat virtauksen kulkua sekä vuotoja, näkyvät kuvassa niin, että niiden aktiivi- sekä passiivitila nähdään reaaliaikaisesti näytöllä.

Tulevaisuudessa täytteen saaminen louhoksiin, sekä sen pysyminen siellä on entistä tärkeämpää. Siitä johtuen instrumentointilaitteita on pidettävä yllä sekä uusittava sitä mukaan, kun vanha kalusto kuluu loppuun. Myös uusia antureita on asennettava edelleen käyttövarmuuden takaamiseksi.

Poluyuretaani-injektointia on jatkettava, ja jatkossa on myös kehitettävä nopeampi tapa saada uretaani kallion rakoihin sekä tutkittava, onko mahdollista saada vielä paisuvampaa uretania sekä sen muita käyttömahdollisuuksia Pyhäsalmen kaivoksella.

Simplicitissä olevaa täyttökuvaa on päivitettävä sitä mukaan, kun uusia putkilinjoja tehdään ja vanhoja puretaan. Mikäli purettu putkilinja kulkee anturin kohdalta, täytyy anturi siirtää uuteen paikkaan, ja tehdä muutokset siitäkin Simpliciti- ohjelmistoon.

6.1 Vastaukset työn alussa esitettyihin kysymyksiin

1) Kuinka täytteen laskuvarmuutta voidaan lisätä?

Laskuvarmuutta voidaan lisätä tehostamalla valvontaa, joka tarkoittaa antureiden ja kameroiden asennusta varsinkin kriittisiin paikkoihin.

2) Millaisia instrumentteja voidaan käyttää helpottamaan valvontaa?

Kameravalvonnalla voidaan seurata etänä putkien ja liitosten kestävyyttä, putkien heilumista sekä sitä, että kulkeeko täyttö oikeaa linjaa pitkin oikeaan paikkaan. Virtausanturit valvovat virtauksen toimivuuden ja näyttävät reaaliajassa, mikäli virtaus katkeaa. Vuotovahdit antavat hälytyksen ohjaamoon huomattessaan vuodon.

3) Miten vuotokohtia voitaisiin ehkäistä?

Vuotokohtia voidaan ehkäistä injektoiden joko paisuvalla polyuretaanilla tai sementillä. Polyuretaania alettiin käyttämään säännöllisesti aina kun tilanne sitä vaati, ja mikäli sitä ei ollut saatavilla, turvauduttiin sementtiin, joka pumpattiin kallion rakoihin samalla periaatteella kuin uretaanikin. Pumppauskone näihin tarkoituksiin on erilainen.

4) Mitä keinoja voidaan käyttää helpottamaan valvontaa?

Valvontaa helpottavia keinoja ovat lisätyt kamerat sekä anturit. Jatkossa sekä kameroita että virtausantureita ja vuotovahteja tullaan lisäämään entisestään. On kuitenkin olemassa paikkoja, jotka täytyy valvoa paikan päällä käymällä.

7 YHTEENVETO

Kaiken kaikkiaan työ oli mielenkiintoinen, mutta haastava. Kuitenkin tehtävää riittää tulevaisuudessakin, ja mitä lähemmäs kaivoksen loppua mennään, sitä haastavammaksi täytön ongelmat kasvavat. Ongelma ei täysin ratkennut, mutta suunta ratkaisuissa on kuitenkin oikea.

Kovettuvan täytön valvontaa tehostamalla saadaan varmuutta siihen, että täyte kulkee oikeaan paikkaan. Asennettujen antureiden kunnosta on syytä pitää huolta sekä vaihtaa ne ehjiin mahdollisista rikkoontumisista johtuen. Täyttöputkikuvaa tulee päivittää sitä mukaan kun muutoksia tehdään, jottei kävisi niin, että kuva ei enää pidäkkään paikkaansa. Täyttöputkikuvaa täytyy vielä automatisoida, jotta vältytään käsin aseteltavilta putkilinjaristeyksien käännöiltä ja näin ollen virheet saataisiin poistettua järjestelmästä.

Täyttölinjojen kuvaus reikäkameran avulla tulisi suorittaa uudelleen pitemmän kamerakaapelin kanssa, jotta nähtäisiin mahdollisesti syvemmälle kuin 60 metriä. Mahdollisuus kuitenkin on, että putki imee ilmaa jostain lähempääkin loppupäätä ja on mahdollista että vuotopaikkoja on useampiakin.

Kovettuvaan täyttöön tulisi paneutua syvemmin, jotta jatkuvat ongelmat saataisiin hallintaan kokoaikaisesti. Uusia ratkaisuja tarvitaan nopeasti. Ongelmana on että ratkaisujen testaaminen vie aikaa ja resursseja.

LÄHTEET

- [1] Pekkala T. Pyhäsalmen kaivoksen kovettuvan kaivostäytön kehittäminen. 2010
- [2] Sisäinen tietoverkko; Pyhäsalmen kaivos
- [3] Potvin, Y. 2005. Introduction. Teoksessa: Potvin, Y. & Thomas, E. & Fourie, A. (toim.). Handbook on Mine Fill. Nedlands, Western Australia, Australia: Australian Centre for Geomechanics. S. 1-10 ISBN 0-9756756-2.
- [4] Hassani F. and Archibald J. 1998. Mine Backfill 1998 CD ROM. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum (CIM).
- [5] Kuula H. Kovettuvan hydraulisen kaivostäytteen 1-akseliset lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet. Espoo: Teknillinen korkeakoulu; 1995. Kuula, H. 2004. Pyhäsalmen kaivoksen kovettuva täyttö Ominaisuudet, Lujuusvaatimus ja laadun parantaminen. Tutkimusraportti. Teknillinen Korkeakoulu, Kalliotekniikan laboratorio. Espoo. 41 s.
- [6] Aurasmaa, J. 2009. Hydraulinen täyttö Pyhäsalmen kaivoksella. Diplomityö. TKK / Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. Espoo. 124 s.
- [7] Grice, A.G. 2005b. Introduction to Hydraulic Fill. Teoksessa: Potvin, Y. & Thomas, E. & Fourie, A. (toim.). Handbook on Mine Fill. Nedlands, Western Australia, Australia: Australian Centre for Geomechanics. S. 66-80. ISBN 0-9756756-
- [8] Henderson, A. & Revell, M.B. 2005. Basic Mine Fill Materials. Teoksessa: Potvin, Y. & Thomas, E. & Fourie, A. (toim.). Handbook on Mine Fill. Nedlands, Western Australia, Australia: Australian Centre for Geomechanics. S. 11-20. ISBN 0-9756756-2-1.
- [9] Nieminen, P. Noin 1982a. Kovettuvan kaivostäytön sivuaineet. Julkaisuvuosi ja alkuperä tuntematon. Sijainti: Kaivoksen kovettuva täyttö-mappi. [Julkaisematon] Tampereen teknillinen korkeakoulu, rakennusgeologian laboratorio, Tampere. 8 s.
- [10] Rajala P. Pohjois-Suomen energia-, kaivos- ja paperiteollisuuden sivutuotteet sideaineina kaivostäytöissä ja metsäautoteissä. Oulu; 2013
- [11] Sisäinen tiedonanto; Pyhäsalmen kaivos, Matti Hänninen
- [12] Sisäinen tiedonanto; Pyhäsalmen kaivos, Timo Mäki
- [13] Sisäinen tiedonanto; Pyhäsalmen kaivos, Ari Turkia



Kuva +1050 tason vuotovahti tuuliovien takaa.