

**LOUHITTAVAN MALMIN SIIRTYMÄ RÄJÄYTYKSESSÄ
AVOLOUHOKSESSA**

Eetu Kraft

Opinnäytetyö
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2014

LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA
Maanmittaustekniikka

Opinnäytetyö

**LOUHITTAVAN MALMIN SIIRTYMÄ RÄJÄYTYKSESSÄ
AVOLOUHOKSESSA**

Eetu Kraft

2014

Toimeksiantaja Yara Suomi Oy, Siilinjärven kaivos

Ohjaaja Pasi Laurila

Hyväksytty _____ 2014 _____

Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

Tekijä	Eetu Kraft	Vuosi	2014
Toimeksiantaja Työn nimi	Yara Suomi Oy, Siilinjärven kaivos Louhittavan malmin siirtymä räjäytyksessä avolouhoksessa		
Sivu- ja liitemäärä	44 + 2		

Työssä tutkittiin Yara Suomi Oy:n Siilinjärven kaivoksessa louhittavien malmikenttien siirtymää. Siirtymää ei ollut aikaisemmin tutkittu tarkemmin Siilinjärven kaivoksella. Ongelmana on ollut louhittavan alueen paikkatietoaineiston sijainti räjäytyksen jälkeen. Siirtynyttä louhetta on lastattu alkuperäisten paikkatietoaineistojen ja lastaajan havaintojen mukaan.

Siirtymää tutkittiin louhittaviin malmikenttiin tehtyjen erilaisten seuranta-pisteiden avulla. Seurantapisteiden siirtymän mukaan tehtiin poikki-leikkauksen ja siirtymän suunnan mallit, joita käytetään paikkatietoaineiston uudelleen sijoittamisessa.

Siilinjärven kaivoksella otettiin kevään 2013 aikana käyttöön Jigsaw- tuotan-nonohjausjärjestelmä. Järjestelmää käytettäessä lastauksen aikana ei oteta huomioon paikannuksen korkotietoa kuin oikean lastaustason saavuttami-seksi. Tämä toi siirtymän mallinnukseen muutoksia, kun siirtymää mallinnet-tiin 3D-mallina mutta tuloksia käytetään tasomallina. Tehdyn mallin avulla tehdään malmikenttien kaatokarttojen pohjalta siirtymän mallin mukaan las-taus-polygoneja, joita käytetään Jigsaw-ohjelman avulla lastauksessa.

Avainsanat

avolouhintä, räjäytys, siirtymä, mallinnus

School of Technology
Land Surveying Programme

Author	Eetu Kraft	Year	2014
Commissioned by	Yara Suomi Oy, Siilinjärvi Mine		
Subject of thesis	Blast Movement of the Ore Fields in an Open-pit Mine 44 + 2		
Number of pages			

In this thesis the blast movement of the ore fields which are quarried was studied in the mine of Yara Suomi Oy in Siilinjärvi. The blast movement had not been studied at the mine in Siilinjärvi earlier. The problem was the location of the geographic information of the blasting area after the blasting. The rock moved by blasting was loaded according to the original geographic information and according to the loader's observations.

The blast movement was studied with the help of the different follow-up points that were made in the ore fields. According to the movement of the follow-up points a model of the direction of the cross section and displacement was made. This model was used in the placing of the geographic information.

At the mine of Siilinjärvi a Jigsaw production control system was taken into use during the spring 2013. When using the system during the loading, the height information of the positioning is not taken into consideration like aim the right loading level. The fact that the movement was modelled as 3D model but the results were used as a level model caused changes in the modelling. Loading polygons were made with the help of the model created based on the felling maps of ore fields according to the model of the movement. Loading polygons were used with the help of the Jigsaw programme in the loading.

Key words

open-pit mining, blast, movement, modelling

SISÄLLYS

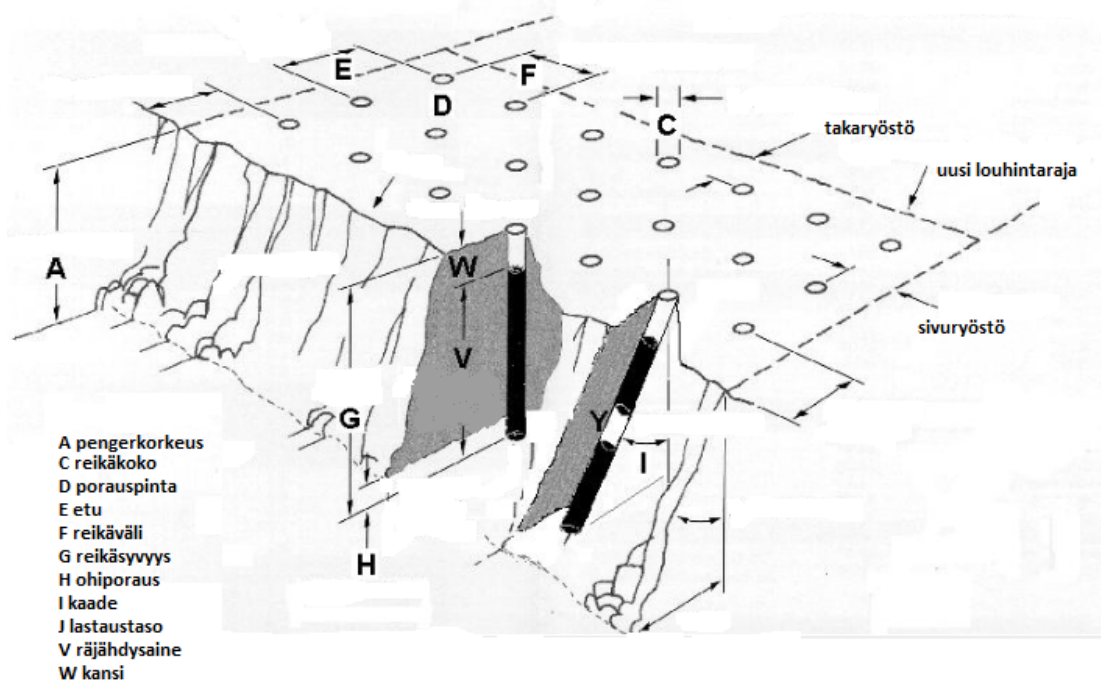
KAIVOSSANASTO	1
1 JOHDANTO	3
2 YARA	4
2.1 YARA SUOMI OY	4
2.2 SIILINJÄRVEN TEHTAAT	4
2.3 SIILINJÄRVEN KAIVOS	5
3 LOUHINTA AVOLOUHOKSESSA	7
4 SIIRTYMÄN MITTAUS	10
4.1 LASERKEILAUS	10
4.2 GNSS-PAIKANNUS	11
4.3 SEURANTAPISTEET	11
5 SIIRTYMÄN SEURANTA	13
5.1 SIIRTYMÄN SEURANTAMENETELMÄ	13
5.2 SEURANTAMENETELMIÄ	17
5.2.1 <i>Seurantamenetelmiä Suomen kaivoksilta</i>	17
5.2.2 <i>BMT-järjestelmä (Blast Movement Technologies)</i>	17
5.2.3 <i>Metso SmartTag</i>	18
6 HAVAINTOJEN KÄSITTELY	19
6.1 PORAUSTARKKUUS JA SATEELLIITTIPAIKANNUS	19
6.2 PORASYVYYS	20
6.3 TAIPUMAT	21
6.4 RAKOLINJAT	21
6.5 TUOTANTOPORAUS	22
6.6 SIIRTYMÄT	23
6.6.1 <i>Siirtymän seurannan haasteet</i>	23
6.6.2 <i>Kansi</i>	23
6.6.3 <i>Etu</i>	25
6.6.4 <i>Runko</i>	26
6.6.5 <i>Takaosa</i>	27
7 SIIRTYMÄ	29
7.1 SUUNTA	29
7.2 MALLINNUS	31
7.3 TARKKUUS	33
7.4 HYÖTY	35
7.4.1 <i>Lastauksen koneohjaus</i>	35
7.4.2 <i>Mallinnuksen hyödyntäminen</i>	35
7.4.3 <i>Jigsaw</i>	36
8 PÄÄTELMÄT	37
LÄHTEET	40
LIITTEET	42

KAIVOSSANASTO

Siilinjärven kaivoksella käytettäviä termejä

Etu	Räjäytyssuunnassa kahden peräkkäisen reiän välinen etäisyys
Juurikolmio	Kaadon penkereen edessä oleva louhekasa, joka on jätetty tarkoituksellisesti edellisestä kaadosta lastaamatta
Kaade	Pystysuoran ja porauksen välinen kulma asteina
Kaato	Suunniteltu louhittava alue louhoksessa, nimetään numeroimalla
Kaatokartta	Sisältää tiedot lastattavasta alueesta. Käytetään lastauksen apuna
Kansi	Louhittavan alueen ylin kerros, ei täytetä räjähdysaineella, korkeus n. 2-3 metriä, reikien tákätty osa
Kynsi	Louhinnassa jäänyt korkeampi kohta lastaustasossa
Malmi	Louhoksesta louhittava mineraali
Ohiporaus	Suunnitellun lastaustason läpi porattu reiän osuus, tehdään tasaisemman lastaustason saamiseksi
OPMS	Open-pin Production Management System, avolouhoksen tuotannonohjausjärjestelmä
Panostus	Poratut reiät pohjapanostetaan ja täytetään räjähdysemulsiolla, jota valmistetaan kaivoksen yhteydessä olevalla YarEx- asemalla
Pengerkorkeus	Louhittavan alueen korkeus porauspinnan ja uuden lastauspinnan välillä
Pengerlouhinta	Poraus ja louhinta suoritetaan kahden tasopinnan välistä. Etenee tasoittain ylhäältä alas
Porasuunta	Horisontaalisuunta asteina
Raakku	Sivukivi, myös malmi, jossa hyvin alhainen pitoisuus
Rakolinja	Porataan tiheinä linjoina pysyviin ja lopullisiin seinämiin sileämmän ja turvallisemman kallioseinämän saamiseksi. Reikäväli n. 1m

Reikäväli	Räjähdyssuunnassa kahden vierekkäisen reiän välinen etäisyys
Rikastus	Rikastamalla malmijauheelle tehtävät toimenpiteet, joilla poistetaan ylimääräiset aineet ja saadaan rikastettua malmia, rikastetta
Rikotus	Louhinnassa suureksi jääneiden lohkkareiden pienentäminen koneellisesti tai räjäyttämällä
Rusnaus	Irtolohkkareiden ja -kivien poisto pengerialouhinnassa syntyneistä seinästä
Ryöstö	Reunimmaisten reikien ja uuden, räjäytyksen jälkeisen seinämän välinen alue
Täkkäys	Poratun reiän täyttäminen kivimurskalla panostuksen jälkeen. Louhittava alue voidaan myös peittää suojamatoilla.



Kuvio1. Kaivossanastoa (MDL 2013c mukaan)

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Yara Suomi Oy:n Siilinjärven kaivoksen toimeksiannosta. Työ liittyy osana kaivoksen OPMS-projektiin. OPMS tulee sanoista Open-pit Production Management System eli avolouhoksen tuotannonohjausjärjestelmä. Tämä on yleistermi projektille, jossa päädyttiin hankkimaan Leica Geosystems:n Jigsaw järjestelmä. OPMS-projektin tarkoituksena on tehostaa kaivoksen toimintaa.

OPMS-projektissa siirtymän mallintamisen mahdollisuus esiintyi riskinä. Yaran projektikäytännön mukaan projektin alussa kartoitetaan asiat, joista ei ole tarpeeksi tietoa ja kuvataan ne riskinä. Tässä työssä pyritään selvittämään mallintamisen mahdollisuudet ja ongelmat.

Työn tavoitteena on tutkia Siilinjärven avolouhoksessa tehtävien malmikenttien siirtymää räjäytyksen aikana. Louhittavasta malmialueesta tehdään geologisten aineistojen pohjalta kartat lastausta varten. Kartan paikkatietoaineistojen sijaintia ei kuitenkaan ole aikaisemmin korjattu louhinnan jälkeen.

Tämä työ toimii esitutkimuksena kaivoksella aloitettuun siirtymän seurantaan. Siirtymän mallintaminen ja mallinnuksen siirto kartta-aineistoon mahdollistavat yhdessä tehokkaamman ja tuottavamman kaivostoiminnan, kun uudelleen muokattua aineistoa käytetään oikein lastauksen kanssa.

2 YARA

2.1 Yara Suomi Oy

Yara Suomi Oy on Yara International ASA:n tytäryhtiö, joka toimii kemianteollisuuden alalla ja tarjoaa viljelijöille ja metsänomistajille kattavan lannoitevalikoiman. Yhtiö tarjoaa myös typpikemikaaleja ja teknisiä nitraatteja eri teollisuudenaloille sekä ympäristönsuojeluun käytettäviä tuotteita. Yaralla on myyntiä yli 120 maassa. (Yara 2013d.)

Yara tuottaa ratkaisuja kestävään maatalouteen ja ympäristönsuojeluun. Yaran lannoitteet ja kasvinravitsemusosaaminen auttavat tuottamaan ruokaa maapallon kasvavalle väestölle. Teollisuustuotteet ja ympäristöratkaisut vähentävät päästöjä ympäristöön, parantavat ilmanlaatua sekä tukevat turvallista ja tehokasta tuotantoa. Turvallisuus on Yaralla ykkösasia. (Yara 2013e.)

Yaralla on Suomessa neljä tuotantolaitosta: Uudessakaupungissa, Harjavallassa, Kokkolassa ja Siilinjärvellä. Vihdissä sijaitsee Yara Suomen Kotkaniemen tutkimusasema, jolla on tehty tutkimus- ja kehitystyötä vuodesta 1961. Yara työllistää Suomessa lähes 900 henkilöä valmistuksen, tuotekehityksen, myynnin ja markkinoinnin parissa. Suomessa Yara on toiminut vuodesta 2008, ostettuaan Kemira GrowHow'n. (Yara 2013d.)

2.2 Siilinjärven tehtaat

Yaran Siilinjärven tehtaiden tuotanto käynnistyi vuonna 1969. Siilinjärven tehtaiden päätuoteryhmät ovat lannoitteet ja fosforihapot. Fosforihappo menee jatkojalostukseen lannoiteteollisuuteen sekä eläinrehutuotantoon koti- ja ulkomaille. Siilinjärven tehtaan lannoitteita käytetään pääosin kotimaan peltoviljelyssä. (Yara 2013b.)

Lannoitteiden valmistamiseen tarvittava typpihappo tehdään Siilinjärven tehtaalla. Myös fosforihapon pääraaka-aineet apatiitti ja rikkihappo tulevat omasta kaivoksesta ja tehtailta. (Yara 2013b.) Kuviossa 2 ovat Siilinjärven tehdas ja taustalla Särkijärven avolouhos.



Kuvio 2. Siilinjärven tehtaat ja kaivos (Yara 2013a)

2.3 Siilinjärven kaivos

Itä-Suomessa Siilinjärvellä sijaitsee Länsi-Euroopan ainoa fosfaattikaivos. Louhinta ja rikastustoiminta aloitettiin Siilinjärvellä vuonna 1980. Siilinjärven avolouhos oli vuonna 2012 louhintamäärän mukaan Suomen suurimpia. Siilinjärven kaivos- ja tehdasalue ulottuu n. 3 200 hehtaarin kokoiselle alueelle. Kaivosalueella sijaitseva apatiittiesiintymä on 16 km pitkä. Leveimmillään esiintymä on noin 700 metriä ja syvin tunnettu syvyys 800 metriä.

Siilinjärvellä malmiesiintymässä on toiminnassa kaksi avolouhosta. Vanhempi Särkijärven päälouhos tuottaa suurimman osan malmista. Särkijärven louhos on n. 3 km pituus eli etelä-pohjoissuunnassa ja vajaan kilometrin leveä. Louhoksen syvin kohta on n. 130 metriä merenpinnantason alapuolella ja louhoksen syvyys on n. 240 metriä. Vuonna 2012 louhintamäärä oli 22 miljoonaa tonnia, mikä oli kaikkien aikojen suurin. (Yara 2013e.)

Toinen louhoksista on vuonna 2012 avattu Saarisen satelliittilouhos, joka sijaitsee noin viiden kilometrin päässä päälouhoksesta. Tästä louhoksesta saadaan jo nyt suunniteltu yksi neljäsosa louhitusta malmista.

Magmaattista syntyperää olevassa geologisesti vanhassa esiintymässä huomionarvoista on fosfaattikiven puhtaus. Siitä tuotettu fosfori on hyvin puhdasta sisältäen vain erittäin vähän raskasmetalleja. Siilinjärven magmakivi on karbonatiittia. Fosforimineraalina esiintymässä on apatiitti. Siilinjärven malmi on kovaa kiveä, jota louhitaan perinteisin menetelmin poraamalla ja räjäyttämällä. (Hakapää–Lappalainen 2009, 25–27.)

3 LOUHINTA AVOLOUHOKSESSA

Louhinta avolouhoksessa etenee tasoittain pengerlouhintana. Särkijärven louhoksessa pengerkorkeudet ovat n. 14 metriä. Tasot on suunniteltu teoreettisina tasoina, joissa on pieni kaltevuus louhoksen pohjan pohjois-osan suuntaan. Kaltevuus edesauttaa sade- ja pohjavesien valumista pois tasoilta haluttuun paikkaan pohjalle, josta se pumpataan useiden pumpausasemien kautta pois louhoksesta. Tasojen kaltevuuksista johtuen louhoksen tasovälit eivät ole tasakorkuisia, vaan vaihtelevat kahdentoista ja kuudentoista metrin välillä.

Tasoilta toisille liikutaan louhosteita ja rampeja pitkin. Louhoksen syventyessä ja muuttuessa tarvitaan uusia teitä ja vanhat louhitaan pois. Uudet rammit louhitaan suunniteltuun kaltevuuteen. Uusia ja vanhoja rampeja louhittaessa louhinnan syvyys voi olla vain muutamia metrejä.

Tasoille suunnitellaan kentät louhintaa varten. Kenttien koot ja muodot vaihtelevat tasojen muodon ja malmin esiintymien mukaan. Malmi pyritään erottamaan raakkukivestä jo suunnittelu- ja louhintavaiheessa.

Kenttää suunniteltaessa louhittava alue rajataan. Rajatulle alueelle suunnitellaan porauspaikat porauksen tekeväälle poravaunulle. Porarei'ille annetaan samalla porauksen suunta ja kaade, joka on viisi astetta, sekä ohiporaus, joka vaihtelee poravaunun ja kivilaadun mukaan puolesta metristä runsaaseen metriin. Tiedossa olevilla ja oletetuilla malmialueilla osa porarei'istä merkataan näytteri'iksi. Näistä porari tai geologi ottaa näytteen analysoitavaksi malmipitoisuuden selvittämiseksi.

Kun kenttää on porattu, alkaa sen panostaminen. Reikiin laitetaan pohja- ja pintapanos halutulle syvyydelle. Pohjatut reiät panostetaan kaivoksen omalla YarEx-aseamalla tuotetulla emulsiolla, joka pumpataan letkulla reikiin panostusautosta. Reikää ei pumpata täyteen, vaan siihen jätetään suunniteltu korkeus eli kansi tyhjäksi. Loppuosa reiästä täkätään eli täytetään kivimurskeella. Tällä tavoin vähennetään kivien sinkoilua ja tehdään louhinta turvallisemmaksi.

Kun kenttä on täkätty, se nallitetaan ja kytketään. KytKentä tehdään siten, että räjäytettäessä palo alkaa kentän etureunasta. Avolouhoksessa räjäytettäviä kenttiä ei peitetä peitematoilla louheen sinkoamisen estämiseksi, kuin harvoin erityistä turvallisuutta vaativissa räjäytyksissä. Kenttiä räjäytettäessä louhos ja sen ympäristö tyhjennetään vaara-etäisyydeltä. Ylipanostaja ohjaa räjäytyksen. Räjäytyksen jälkeen räjäytetyt kentät käydään tarkistamassa.

Siilinjärven avolouhoksessa kentät räjäytetään yleensä seuraavin tavoin: avoimeen rintaukseen, kasaa vasten, juurikolmiota vasten tai tason avauksessa paikalleen. Näissä kaikissa tavoissa on omat etunsa ja hyötynsä. Avoimeen rintaukseen räjäytettäessä louhe leviää jonkin verran edessä olevalle tasolle. Tällöin kiviaines löyhtyy enemmän kaadon etuosasta. Kasaa tai juurikolmiota vasten räjäytettynä louhe pysähtyy edessä olevaan louheeseen mutta tiivistyy samalla ja vaikeuttaa lastausta. Paikalleen räjäytettäessä irronnut kiviaines ei pääse purkautumaan muualle kuin ylöspäin. Louhe ei juuri siirry ja jää tiukempaan. Korkeiden ja tiiviiden kasojen lastaus on haastavaa ja hitaampaa.

Louhittu malmi ja raakku eli sivukivi lastataan kiviautoihin ja kuljetetaan murskaukseen tai läjityksiin. Lastauksen suorittavassa työkoneessa on geologin tekemä kaatokartta, joka sisältää räjäytetyn kentän geologiset tiedot, malmin pitoisuuden sekä malmin ja raakun sijainnin. Kartasta ja omista havainnoista lastaaja tietää, mitä on milloinkin lastaamassa ja ilmoittaa sen kiviauton kuljettajalle. Malmit joiden pitoisuus on riittävä, kuljetetaan karkeamurskaimeen tai väliavarastoon odottamaan murskausta. Heikommat malmipitoisuudet kuljetetaan sille varattuun läjitykseen mahdollista tulevaa käyttöä varten ja raakkukivi viedään sivukiviläjityksiin tai patorakenteisiin. Osa kovasta kivistä murskataan teiden tekoon, korjauksiin ja huoltoon.

Louhinnassa syntyy jonkin verran suurempia rikkokiviä. Nämä rikutetaan tai räjäytetään pienemmiksi. Jos louhittuun tasoon jää suurempia kohoumia eli kynsiä, ne louhitaan tarvittaessa pois tasaisemman tasopinnan saamiseksi.

Pysyviä seinämiä varten porataan ja räjäytetään tasoille rakolinjaa. Kun taso louhitaan raon vierestä ja lastataan pois, jää louhokseen ehyemmät seinämät. Rakolinjalla saadaan seinämästä kestävämpi, tasaisempi ja turvallisempi. Lopuksi seinämät rusnataan eli puhdistetaan irtokivistä. Louhoksesta pyritään näin tekemään entistä turvallisempi paikka työskennellä.

Karkeamurskauksen jälkeen malmikivi hienomurskataan ja läjitetään tasausvarastolle. Tällä tavalla saadaan pitoisuudeltaan tasalaatuista malmia rikastamoon. Rikastamossa malmimurska jauhetaan, puhdistetaan ja rikastetaan apatiittirikasteeksi vaahdottamalla. Rikaste kuljetetaan varaston kautta jatkokäsittelyyn tehtaalle. Rikastuksen yhteydessä saadaan myös kiillettä ja biotiittiä. Prosesseissa syntynyt jäte, rikastushiekka kuljetetaan prosessiveden mukana allasalueille, jonne hiekka läjittyy. Vesi otetaan selkeytysaltaiden kautta uudelleen käyttöön. Näin vesi pysyy rikastamon kierrossa, eikä pääse ympäristöön.

4 SIIRTYMÄN MITTAUS

4.1 Laserkeilaus

Laserkeilaus on mittausmenetelmä, jossa mittalaite mittaa lasersäteen avulla ympäröivää tilaa muodostaen siitä pisteistä koostuvan mallin. Laserkeilaimen tuottama aineisto, pistepilvi voidaan liittää haluttuun koordinaatistoon tunnettujen pisteiden avulla. Keilauksessa syntyvä pisteaineisto on yleensä hyvin runsas, joten aineistoa pitää harventaa sen käyttökelpoisuuden parantamiseksi. Harventaminen tapahtuu kaivoksella käytössä olevan Surpac-ohjelmiston avulla.

Siilinjärven kaivoksella on käytössä MDL:n Quarryman Pro laserkeilain, jolla myös tämän työn keilaukset on tehty. Quarryman Pro on erityisesti suunniteltu avolouhoksissa käytettäväksi mittalaitteeksi (MDL 2013a). Laitteella keilattava alue pystytään rajaamaan ennen keilausta. Tämä nopeuttaa huomattavasti keilausaikaa ja vähentää ylimääräisen piste-aineiston määrää. Keilaimen pyyhkäisy nopeus on vakio, 250 pistettä sekunnissa (MDL 2013b). Keilauksen tiheyttä voidaan kuitenkin määrittää pyyhkäisyjen välisen kulman tai välimatkan avulla. Kuviossa 3 laserkeilataan kasaa etupuolelta.



Kuvio 3. Kasan laserkeilausta

Keilausaineisto voidaan liittää kaivoksen koordinaatistoon muutamien eritaivoin. Keilausaineiston purkuohjelmisto Model kysyy aineistoa käsiteltäessä kojeasemaa sekä koneen käynnistyshetken suuntaa. Niiden mittaus onnistuu keilauksen aikana, joten tämä tapa on nopein ja myös riittävän tarkka. Tällä keilaimella voidaan myös mitata yksittäisiä pisteitä. Näitä keilattuja pisteitä vertailemalla GNSS- tai takymetrolaitteistolla mitattuihin samoihin pisteisiin, saadaan keilausaineistoa korjattua tarkemmaksi. Kahdella tavalla mitattujen pisteiden vertailu on myös toinen tapa siirtää aineisto haluttuun koordinaatistoon.

4.2 GNSS-paikannus

GNSS tulee sanoista Global Navigation Satellite System. GNSS eroaa perinteisestä GPS-järjestelmästä siten, että se käyttää GPS-järjestelmän tueksi muitakin satelliittipaikannusjärjestelmiä, kuten venäläistä GLONASS-järjestelmää.

Yara Suomen Siilinjärven kaivoksella on käytössä Liecan GNSS- ja takymetrikalusto. Kaivoksen rikastamon yhteydessä on oma GNSS-tukiasema, joka lähettää korjaussignaalin GNSS-mittalaitteisiin sekä koneohjausjärjestelmiin. Tukiaseman ansiosta kaivoksella ja sen ympäristössä tehtävät mittaukset ovat vaivattomia sekä tarkkoja.

4.3 Seurantapisteet

Tutkittaville kentille tehdään erilaisia seurantapisteitä. Kentän pinnalle ja kentän sisään suunnitellaan sopivat seurantapisteet, jotka eivät haittaa lastauksen, murskauksen tai rikastamon toimintaa. Sopivimmiksi vaihtoehdoiksi valittiin kokemusten ja kokeilujen jälkeen kentän pinnalle maalattuja ja kivimassalla täytettyjä pahvilaatikoita. Kentän sisään porataan ylimääräisiä pystysuoria reikiä, joiden pohjalle kaadetaan veden ja sään kestävää maalia juuri ennen räjäytystä. Kaikkien seurantapisteiden sijainti mitataan ja tallennetaan käsittelyä varten.

Poratuista rei'istä mitataan syvyys ja mahdollinen vesipinnan korkeus. Porattuihin tutkimuksessa käytettäviin reikiin kaadetaan tunnettu määrä maa-

lia. Vierekkäisiin ja peräkkäisiin reikiin laitettava maali on eriväristä seurannan helpottamiseksi. Reikiin laitettavan maalin määrä vaihtelee. Suurempi määrä helpottaa seurantapisteen huomattavuutta mutta vaikeuttaa tarkan loppusijainnin määrittämistä. Pienempi määrä riittää, jos sitä osataan etsiä lähes oikeasta suunnasta ja paikasta.

5 SIIRTYMÄN SEURANTA

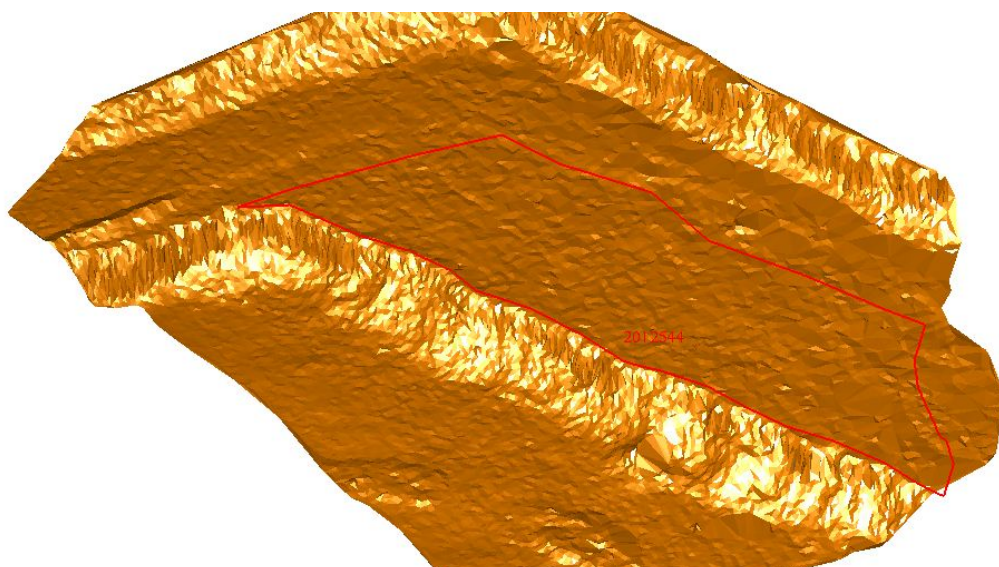
5.1 Siirtymän seurantamenetelmä

Tutkittavasta kentästä tehdään kaikki tarvittavat havainnot ja arkistoidaan ne jälkikäsitteilyä varten. Kentän suunnittelutiedot toimivat lähtöaineistona. Lähtöaineisto kertoo kaiken perustiedon kentästä, kuten sijainnin, koon, muodon, porasyvyyden, oletetun räjähdysainemäärän ja arvioidun malmipitoisuuden ja malmin arvioidun sijainnin ja laadun.

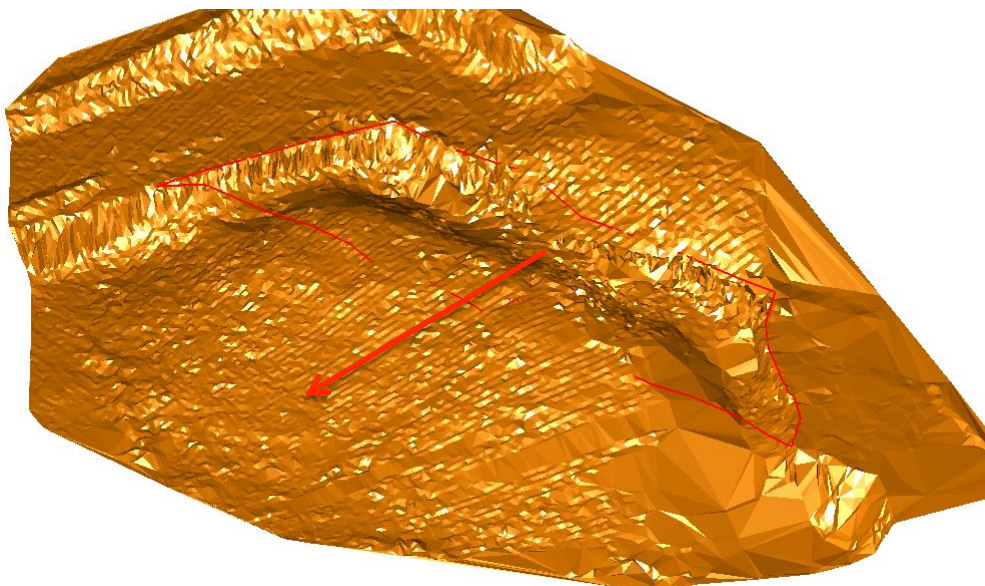
Kentän porauksen edetessä porareikien sijainti, syvyys ja taipuma mitataan mahdollisuuksien mukaan. Myös reikien panostuksen tiedot kerätään pohjauksen, räjähdysainemäärän, kannen, nallituksen ja kytkennän osalta. Näistä siirtymän kannalta tärkeimmät on kytkentä ja räjähdysainemäärä.

Seurannassa oleva kenttä valokuvataan ja laserkeilataan ennen räjäytystä, sekä räjäytyksen ja lastauksen jälkeen. Keilausaineistosta saadaan kentän sekä kasan tarkka sijaintitieto. Harvennettu pistepilvi on selkeä ja toimiva tapa esittää kentän alkuperäinen ja kasan lopullinen muoto. Kuviossa 4 on pintamalli kentästä ennen räjäytystä. Kuviossa 5 on räjäytyksen jälkeinen tilanne ja kuviossa 6 pintamalli lastauksen jälkeen. Kuvioissa 7 ja 8 on yhdistetty nämä kolme tilannetta poikkileikkaukseen.

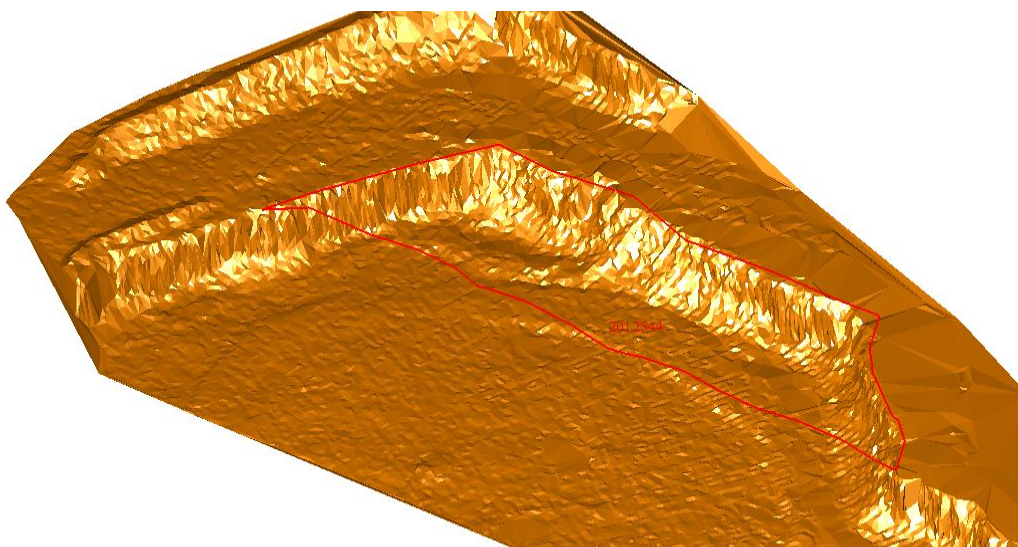
Räjäytys kuvataan suurnopeuskameralla. Jos kuvaus onnistuu, kameran aineistosta saadaan selville palon eteneminen kentän kytkennässä. Syntyvä kivipöly estää kuitenkin näkemästä kivikasan muodostumisen. Useammista hidastetuista videoista edestakaisin kelaamalla saatetaan nähdä jotakin hyvin hyödyllistä tietoa, kuten kentän pinnan käyttäytyminen.



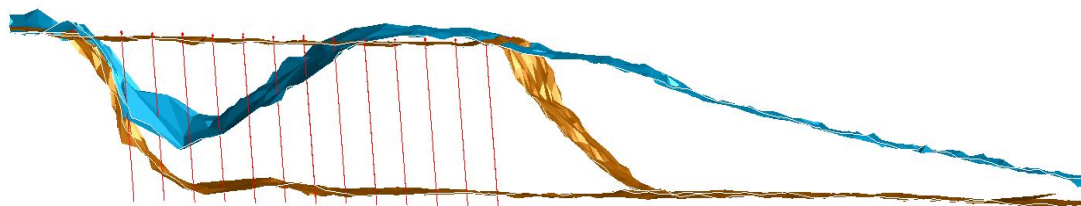
Kuvio 4. Pintamalli kaadosta ennen räjäytystä. Punaisella kaadon raja



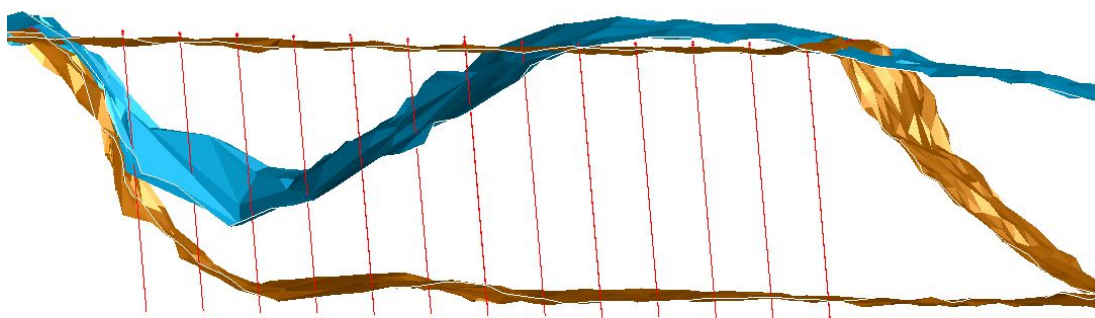
Kuvio 5. Pintamalli räjäytyksessä syntyneestä kasasta. Punaisella kaadon raja ja siirtymän suunta. Takana toista kasaa



Kuvio 6. Pintamalli lastatusta kaadosta. Punaisella kaadon raja



Kuvio 7. Poikkileikkaus kuvioista 4, 5 ja 6. Kuvio 5 sinisenä



Kuvio 8. Poikkileikkaussuurennos kuvioista 4, 5 ja 6. Kuvio 5 sinisenä

Tehdyt seurantapistteet ovat tärkein osa seurantaa. Niiden avulla tapahtuu kivimassan siirtymän seuranta. Pinnalle tehdyt pisteet etsitään räjäytyksen jälkeen kasan pinnalta ja niiden sijainti tallennetaan GNSS-laitteistolla. Kentän sisällä olevat maapistteet havaitaan kasan eturintauksesta tai lastauksen yhteydessä kasan sisältä ja mitataan. Pinnalla olleet kivimassan alle jääneet pisteet havaitaan myös lastauksen aikana. Kuviossa 9 näkyy lastauksen aikana löytynyt vääjätynyt kivi. Kuviossa 10 on kivi, jonka tarkka tasosijainti on ollut tiedossa ennen räjäytystä. Kuviossa 11 näkyy kaadon pinnalla olleita merkkejä.



Kuvio 9. Kasasta löytynyt värjäytynyt kivi



Kuvio 10. Kasasta löytynyt värjäytynyt kivi, jossa porattua reikää



Kuvio 11. Kaadon pinnalla olleet kartio ja maalattu pahvilaatikko räjäytyksen jälkeen

5.2 Seurantamenetelmiä

5.2.1 Seurantamenetelmiä Suomen kaivoksilta

Siilinjärven kaivoksella on tehty aikaisemmin ns. laatikko-kokeita. Niissä siirtymää on yritetty mallintaa kaadon pinnalle asetettujen merkattujen pahvilaatikoiden avulla. Testin tuloksista ei ole ollut juuri käytännön hyötyä, eikä niitä ole louhinnassa tai lastauksessa huomioitu. Testin tulokset ovat jopa hävinneet. (Ruotsalainen 2012.)

Kittilän kultakaivoksella käytettiin kentän päällä rimoja avolouhinnassa. Rimman liikettä seurattiin ennen ja jälkeen räjäytyksen tehdyillä mittauksilla. Näiden avulla saatiin louhinnalle siirtymä. (Satta 2012.)

Suomessa Siilinjärven kaivoksen lisäksi myös muilla suuremmilla avolouhoksilla seurataan tai ollaan suunnittelemassa siirtymän seuranta-järjestelmän käyttöönottoa. Esimerkiksi Raahen Laivan-kaivoksella on käytetty bmt-järjestelmää. (Mononen 2013.)

5.2.2 BMT-järjestelmä (Blast Movement Technologies)

Australiassa on kehitelty ja käytetään useilla kaivoksilla räjäytyksen liikettä seuraavaa bmt-järjestelmää. Järjestelmän toiminta perustuu räjäytettäviin kenttiin laitettaviin tageihin, jotka aktivoidaan ja asennetaan tunnettuihin pisteisiin kentän sisään. Niiden lähettämän paikannussignaalin ansiosta tagit voidaan paikantaa räjäytyksen jälkeen siihen tarkoitetulla laitteistolla. Paikannuksessa tarvitaan myös GPS-laitteistoa. Paikannushavaintojen jälkeen havainnot siirretään järjestelmää varten kehitettyyn ohjelmistoon, joka ilmoittaa vektorein ja aluein kaadon siirtymän. (BMT 2013.)

Bmt-järjestelmä on patentoitu järjestelmä, joka on siirtymän seurantaan varta vasten suunniteltu. Järjestelmälle luvataan noin kymmenen senttimetrin tarkkuus, joka toteutuessaan olisi hyvinkin riittävä tarkkaan siirtymän mallinnukseen.

Siilinjärven kaivoksella on keskusteltu bmt-järjestelmän käyttömahdollisuudesta ja muilta käyttäjiltä on kysely omia käyttökokemuksia. Esimerkiksi Raahen Laivan kultakaivoksella on käytetty järjestelmää, mutta sen käyttöönotto ei ole sujunut täysin ongelmitta (Mononen 2013).

Loppukesällä 2013 Siilinjärven kaivoksella testattiin bmt-laitteistoa hyvin tuloksin.

5.2.3 Metso SmartTag

Metson SmartTag-järjestelmä on suunniteltu louheen kokonaisseurantaan. Tarkoituksena on seurata kivimassan kulkuaikaa ja sijaintia koko irrotus- ja murskausprosessin ajan. (Metso 2013). Vaikkakin järjestelmän tagit voidaan sijoittaa louhittavaan kenttään tunnettuihin pisteisiin, ei niitä voida hyödyntää siirtymän seurannassa. Pienten tagien löytäminen syntyneestä kasasta on lähes mahdotonta eikä niitä voida paikantaa ilman näköhavaintoa tai tunnistamiseen soveltuvaa laitteistoa, joka tunnistaa tagin vain lähietäisyydeltä yleensä vasta esimurskauksen jälkeen.

6 HAVAINTOJEN KÄSITTELY

6.1 Poraustarkkuus ja satelliittipaikannus

Siilinjärven kaivoksella kenttiin porattavat reiät merkitään maastoon maali- tai kartiomerkein. Merkkaukset tehdään GNSS-laitteistolla, jolloin merkinnän tarkkuudeksi saadaan n. 5 cm. Porari asettaa poravaunun merkatulle pisteelle ja suuntaa poralaitteiston suunniteltuun suuntaan. Todelliseen porauksen aloituksen tarkkuuteen vaikuttaa porarin toiminta, se kuinka tarkasti hän pyrkii porakruunun merkin kohtaan asettamaan. Kun porarin tarkkuuteen vielä lisätään merkkauksen tarkkuus, niin saadaan todellinen tarkkuus suunniteltuun verrattuna. Todellisen aloituspaikan ja suunnitellun välisen eron pitäisi olla kaivoksen ja urakoitsijan sopimien tarkkuuksien sisällä. Porauspaikassa tavoitetarkkuus on +/- 5 cm, mutta on myös sallittu GPS-laitteiston tarkkuus (Yara 2010). Jos merkinnän tarkkuus on sama kuin tavoitetarkkuus, niin porauksen senttimääräinen tavoitetarkkuus paikan suhteen on asetettu liian tarkaksi.

Siilinjärven kaivoksella louhoksen pääurakoitsija on sitoutunut varustamaan poralaitteiston koneiden uudistamisen ja uusien koneiden hankinnan yhteydessä satelliittipaikannuslaitteistoin. Tämä poistaa porauksien maastoon merkinnän lähes kokonaan. Vuoden 2013 lopulla Siilinjärven kaivoksella on käytössä kolme GNSS-varusteltua tuotantoporausvaunua. Satelliittipaikannuksen avulla tapahtuva poraus soveltuu hyvin avolouhokseen.

Satelliittipaikannuksen avulla tapahtuva poraus ei kuitenkaan ole ongelmallista. Laitteistolla pitää olla riittävä määrä satelliitteja käytössä toimiakseen. Syvällä avolouhoksessa sekä seinämien läheisyydessä satelliittien näkyvyys ei aina ole riittävä, jolloin on siirryttävä käyttämään porausta ilman satelliittipaikannusjärjestelmää. Poravaunulla on myös oltava yhteys tukiasemaan.

Porauksen tarkkuus satelliittipaikannuksen avulla on vaihtelevaa. Tällöinkin porarin on ohjattava porakalusto kenttäsuunnitelman mukaisesti reiän aloituspaikan kohdalle satelliittipaikannuksen avulla. Porauksen aloituspaikan tarkkuus riippuu porarin tarkkuudesta asettaa porakruunu satelliittipaikannuksen osoittamaan paikkaan. On melko hidasta asettaa porakalusto juuri

kohdalleen, joten porarit aloittavat porauksen oman harkinnan ja tarkkuuden mukaan. Tarkasteltaessa satelliittipaikannuksella tapahtuvaa porausta huomataan aloituspaikoissa olevan säännöllistä poikkeamaa. Merkattuun reikään verrattuna näyttäisi, että poikkeama olisi lähes säännöllinen. (Liite 1. Poraustarkkuus.) Tarkkuuden suunta- ja matkavirhe voidaan useamman tarkistusmittauksen avulla havaita ja määrittää. Mahdolliset virheet voidaan korjata lisäämällä havaitut poikkeamat x- y- ja z-koordinaattien mukaan laitteiston asetuksiin tai kalibroimalla laitteisto uudelleen. Paikannus-tarkkuus on hyvä tarkistaa säännöllisesti mahdollisten virheiden ja yllättävien muutoksien vuoksi.

6.2 Porasyvyys

Porarin tehtävänä on porata reiät suunnitellun kohdan lisäksi myös oikean syvyisiksi. Porattujen reikien pohjien pitäisi olla suunnitellulla syvyydellä, ohiporauksen verran suunnitellun tason alapuolella. Porasyvyyydet suunnitellaan pinnalla olevan tason ja tulevan uuden tason mukaan. Ylemmän tason korkotiedot voivat olla kuitenkin jo muuttuneet pinnan mittausten jälkeen, jolloin porari joutuu kyselemään uusia syvyyksiä tai päättelemään itse tapahtuneen muutoksen korkeuksissa. Tasopinnat muuttuvat hieman, kun niillä liikutaan suurilla työkoneilla, lastataan niiltä räjäytyksissä siirtyneitä kivimassoja tai tehdään väliaikaisia teitä. (Liite 2. Porasyvyys.) Porasyvyyydessä tavoitetarkkuus on +/- 20 cm (Yara 2010).

Satelliittipaikannuksen avulla tasopinnan korkeuksien muutoksista ei ole niin paljon ongelmia. Ohjelmisto laskee porasyvyyden suunniteltujen alku- ja loppupisteiden väliltä ja muuttaa syvyyden todellisen lähtökorkeuden mukaan. Tällöin porasyvyys muuttuu lähtötasopinnan eroavaisuuksien mukaan ja porauksen syvyydestä tulee oikea, vaikka todellinen aloituspiste olisikin eri korkeudella kuin suunniteltu. Havaintojen mukaan satelliittipaikannuksen avulla tapahtuva poraus antaa tarkemman porasyvyyden ja vähentää huomattavasti porareiden tekemien porasyvyysvirheiden määrää. Kuitenkin porattu reikä voi tukkeutua, tai sinne voi valua porasoijaa tai kiviä. Tällöin reikä ei ole halutun syvyinen ja louhintataso voi jäädä haluttua korkeammalle. (Liite 2. Porasyvyys.)

6.3 Taipumat

Reikien taipumia mitattiin DeviBench-taipumamittarilla. Taipumamittauksella saadaan tietoon porereikien lopullinen suunta, kaade ja taipuma. Näiden avulla voidaan määrittää reiän päätepiste.

Kaivoksella porattuihin reikiin laitetaan pahviputki, jonka tarkoituksena on estää reiän tukkeutuminen. Tämä putki hankaloittaa taipuman mittausta, koska putki ei ole sisähalkaisijaltaan reiän kokoinen eikä se yleensä ole täysin reiän suuntainen. Taipuman mittaus on aloitettava putken alapuolelta, jolloin mittauksessa tallentuva reikäsyvyys ei kerro todellista syvyyttä. Optimaalinen tilanne taipumamittauksen osalta olisi, jos reikä porattaisiin puhtaaseen kallionpintaan, jolloin putkea ei tarvittaisi. Reiän päätepisteelle on asetettu tarkkuudeksi +/- 25 cm (Yara 2010).

6.4 Rakolinjat

Rakolinjat porataan pysyviin, lopullisiin seinämiin 89 mm reikinä. Räjätetty rakolinja näkyy hyvin kestäneessä seinämässä puolikkaina pystysuorina seinämän suuntaisina reikinä. Näistä jo näköhavaintojen perusteella voidaan sanoa, että poratut rakolinjat taipuvat, kuten kuviosta 12 havaitaan. Rakolinjat porataan 18, 16 tai 14 asteen kaateeseen. Mitä enemmän porasuunta poikkeaa pystysuorasta, sitä herkemmin poraus taipuu. Rakolinjat ovat tasovälin syvyisiä eli esimerkiksi noin 14 metrisiä. Tällä matkalla syntyneet taipumat voivat olla jo useita kymmeniä senttimetrejä.

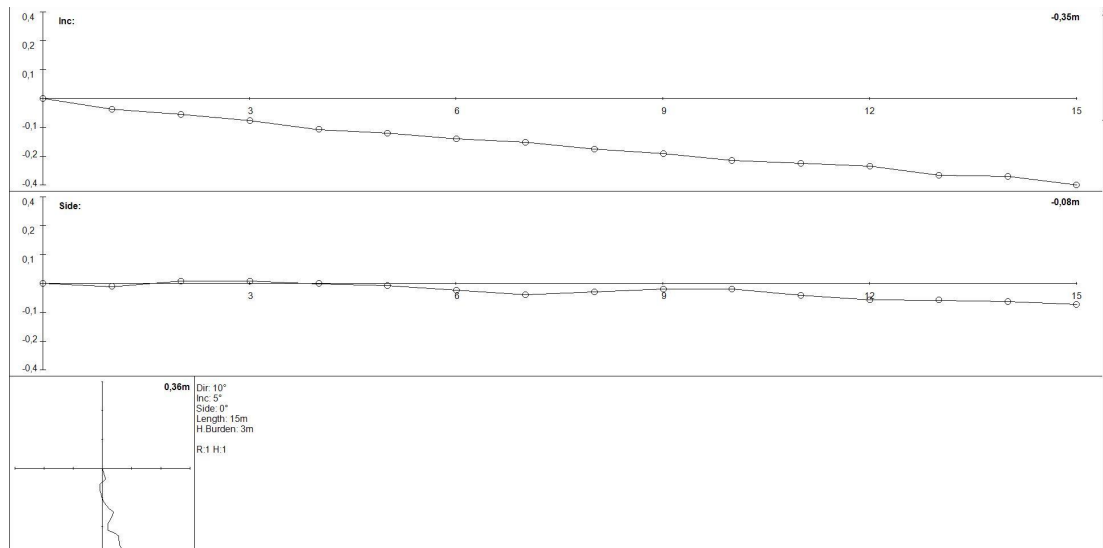
Reiän pidetessä taipuman todennäköisyys kasvaa huomattavasti. Särkijärven louhoksessa porattiin pienellä alueella poikkeuksellisesti kaksi päällekkäistä tasoa yhtäaikaisesti. Näiden taipumia mitatessa huomattiin, että noin 24 metrin reiässä taipuma voi olla jopa yli 4 metriä. Näin suuret taipumat tuovat suuria ongelmia, kun syntyvän seinämän juureen jää suuria kynsiä ja seinämä on hyvin epätasainen. Paljon taipuva reikä on korkeussuunnassa myös lyhempi, mikä tuo lisäongelmia.



Kuvio 12. Seinämässä näkyvää rakolinjaa, sekä piirretyt suorat

6.5 Tuotantoporaus

Tasaisemmilla tasopinnoilla kentät porataan suuremmalla 165 mm kalustolla. Paksummat poratangot ja järeämpi porauskalusto vähentävät syntyvää taipumaa. Taipumaa kuitenkin tapahtuu, mutta huomattavasti vähemmän kuin 89 mm rei'issä. Reikien pohjan paikkaan vaikuttaakin tällöin paljon enemmän suuntauksen ja lähtöpisteen virheellisyys. Kuvioista 13 huomataan, ettei taipumaa juuri ole ja virheen suuruus reiän pohjalla johtuu suuntausvirheestä.



Kuvio 13. Taipumamittaus 15 metrin tuotantoporausreistä

6.6 Siirtymät

6.6.1 Siirtymän seurannan haasteet

Olen seurannut siirtymää useista erilaisista kaadoista tutkimusta varten. Kentistä on kerätty mahdollisuuksien mukaan kaikki siirtymään mahdollisesti vaikuttavat tiedot. Kenttien erilaisuuksien vuoksi eri kenttien tuloksia ei voi verrata suoraan keskenään, vaan niitä on vertailtava erot huomioiden. Tämä tuo mallintamiseen omat haasteensa.

Keilausaineiston ja mitattujen siirtymähavaintojen perusteella mallinnetaan siirtymää. Mitä enemmän havaintoja, sitä tarkempi malli saadaan. Yhteen kenttään ei kuitenkaan voi tehdä seurantapisteitä kuin rajallinen määrä, jotta niiden seuranta pysyy lastauksen aikana hallinnassa.

6.6.2 Kansi

Kenttiin jätetään kansi kivien sinkoilun vähentämiseksi ja sillä saadaan räjähdys tapahtumaan kokonaisuudessaan kentän sisällä.

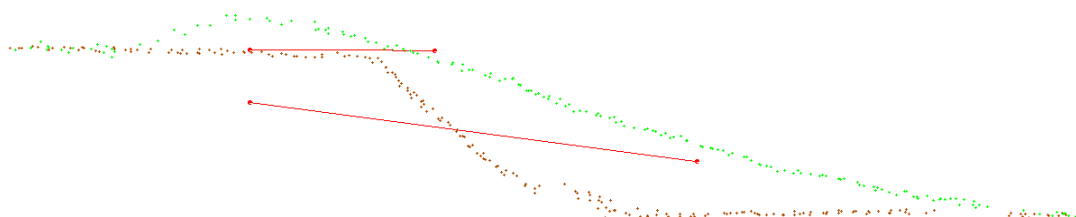
Kannen liikkeiden seurannassa on käytetty pääasiassa maalattuja pahvilaatikoita. Jo aivan ensimmäisessä kokeilussa huomattiin, että kaikki ei tapahdukaan niin kuin on oletettu. Seuratut merkit liikkuivat räjäytyksen aikana hyvin

vähän mutta niiden löytäminen oli osin haasteellista. Osa niistä oli hautautunut pinnan kivien alle. Merkkejä oli kolmessa rivissä. Etummaisat olivat liikkuneet vähän eteenpäin tai pysyneet paikallaan kuten myös keskimmäiset. Takana olleista osa oli myös siirtynyt taaksepäin. Tämä taaksepäin siirtyminen ei tuntunut ollenkaan luonnolliselta. Kuitenkin räjäytyksestä syntyneestä kasasta jokainen voi sanoa sen siirtyneen jonkin verran eteenpäin.

Tehtyjen seurantapisteidensä mukaan huomataan, että samat x- ja y-koordinaatit omaavat pisteet liikkuvat eri korkeuksilla eri tavoin. Suurin ero on kannen ja rungon välillä. Kannen alueella, pinnalla tai sen sisällä oleva kohta liikkuu räjäytyssuunnassa huomattavasti vähemmän kuin kannen alla oleva kiviaines. Kuviossa 14 nähdään selkeästi tämä siirtymien eroavaisuus. Kannessa kivi voi liikkua lähes mihin suuntaan tahansa, koska räjähdys tapahtuu sen alapuolella. Alla oleva kiviaines eli runko kuitenkin siirtää kannen kivimassaa jonkin verran mukanaan rungon liikkeen suuntaan.

Kannen alla tapahtuva räjähdys nostaa kannen ylöspäin alkaen etureunasta. Tämä havainto voidaan nähdä suurnopeuskameran aineistoista. Kivi liikkuu helpoimmin vapaassa tilassa, jota kentän päällä riittää. Kansi noustessaan ylös ja pudotessaan alas sekoittuu. Tästä johtuen pinnalle laitettut merkit usein häviävät kannen kivien sekaan.

Aikaisemmin mallinnusta on yritetty suorittaa matemaattisesti ja pinnalla olleiden merkkien avulla (La Rosa Thornton 2011). Joillakin kaivoksilla on mallinnettu siirtymää pinnalla olevien putkien tai muiden merkkien avulla (Satta 2012). Kuitenkaan havaintojen mukaan pinnalla olevien merkkien avulla ei pysty mallintamaan koko kentän siirtymää.



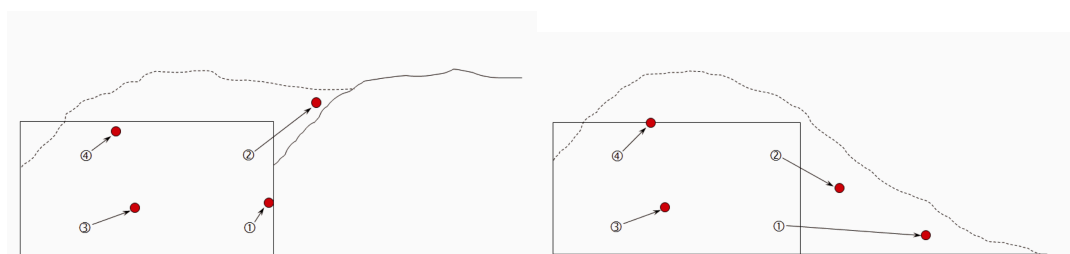
Kuvio 14. Pinnalla ja kaadon sisällä olleiden pisteiden siirtymät

6.6.3 Etu

Kentän etuosan tarkastelussa pääosassa ovat vapaaseen rintaukseen räjäytetyt kentät. Tämän työn aikana Särkijärven louhoksessa suoritettut räjäytykset tehtiin pääasiassa kohti tyhjää tasoa. Laserkeilausaineiston mukaan kasan etuosa on jopa 60–80 metrin päässä kentän alkuperäisestä etureunasta. Yksittäiset kivet voivat kuitenkin sinkoilla jopa yli 500 metriä. Näitä yksittäisiä kiviä on kuitenkin niin vähän, ettei niitä tarvitse ottaa huomioon siirtymää tutkittaessa.

Kentän etuosan kivet pääsevät liikkumaan kohti tyhjää tilaa, jolloin ne siirtyvät myös pisimmälle. Räjähdyks alkua porareikien alaosasta ja kentän etureunasta. Kyt kentätavasta johtuen kentässä tapahtuva kiven liike alkaa myös kentän etuosan alaosasta. Täysin tyhjiin tasoon räjäytettäessä kaadon etuosan keskikohta ja alaosa siirtyvät pisimmälle. Jos kentän edessä tai penkereen juuressa on suurempi kasa irtonaisia kiviä, se hidastaa alaosan liikettä, jolloin yläosa liikkuu pidemmälle. Kentän etuosa sekoittuu keskenään ja muodostaa syntyneen kasan kauimmaisat osat, jossa ylä- ja alaosa on sekoittunut jonkin verran. Myös etuosan kansi leviää suurimmalta osin tämän alueen mukaan.

Kasaa vasten räjäytettynä etuosa pysähtyy edessä olevaan esteeseen ja nousee ylemmäksi, kuten kuviossa 15 karkeasti havainnoidaan. Louhe tiivistyy kasaa vasten ja etuosan alareuna pysyy lähes paikallaan mutta nousee hiukan ylöspäin. Yläosa pääsee liikkumaan hiukan pidemmälle, riippuen edessä olleen kasan muodosta ja koosta.



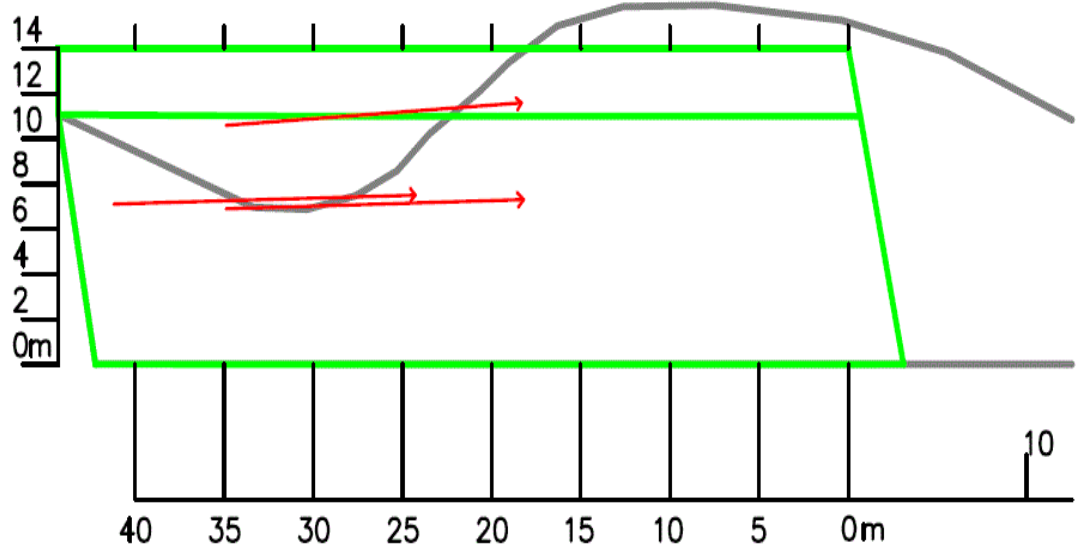
Kuvio 15. Vasemmalla kasaa vasten ja oikealla täysin puhtaaseen räjäytetty kenttä. Räjäytyksen siirtymän suunta on vasemmalta oikealle (Thornton 2009)

6.6.4 Runko

Kentän suurin yksittäinen seurannan osio on runko. Runko sisältää lähes kaiken räjäytysaineen, jolloin se saa suurimman määrän energiaa hajotakseen pieniksi lohkariksi. Kuitenkin havaintojen mukaan se siirtyy lähes yhtenäisenä eteenpäin siirtymän suuntaan. Kuviossa 16 näkyy, kuinka runko siirtyy sekoittumatta. Kiviaines hajoaa, mutta ei sekoitu juuri lainkaan. Kiviaines löyhtyy keilausaineistojen mukaan kokonaisuudessaan n. 1,4-kertaiseksi. Runko säilyy kuitenkin hiukan tiiviimpänä.

Yhden reiän räjähdysen aiheuttama energiapurkaus on lähes D-kaaren muotoinen (Thornton 2009). D-kaarta on havainnollistettu kuviossa 17. Kentän runko liikkuu reiän räjähtymisen alkamiskohdalta enemmän. Poratuissa rei'issä on ohiporaus, jonka seurauksena kentän pohja hajoaa vähän syvemältä. Liikkeen D-mallinen profiili alkaa porauksen alaosasta ja päättyy kanteen (Thornton 2009).

Vaakasuora siirtymä muuttuu syvyyden mukaan kuin D-mallinen profiili. Suunta on suunnilleen kohtisuorassa räjähtymisen ajoitusta vasten. Liike on positiivinen (ylöspäin). Se on lähellä vaakatasoa penkereen pohjalla ja kasvaa progressiivisesti läpi penkereen. (Thornton 2009.)

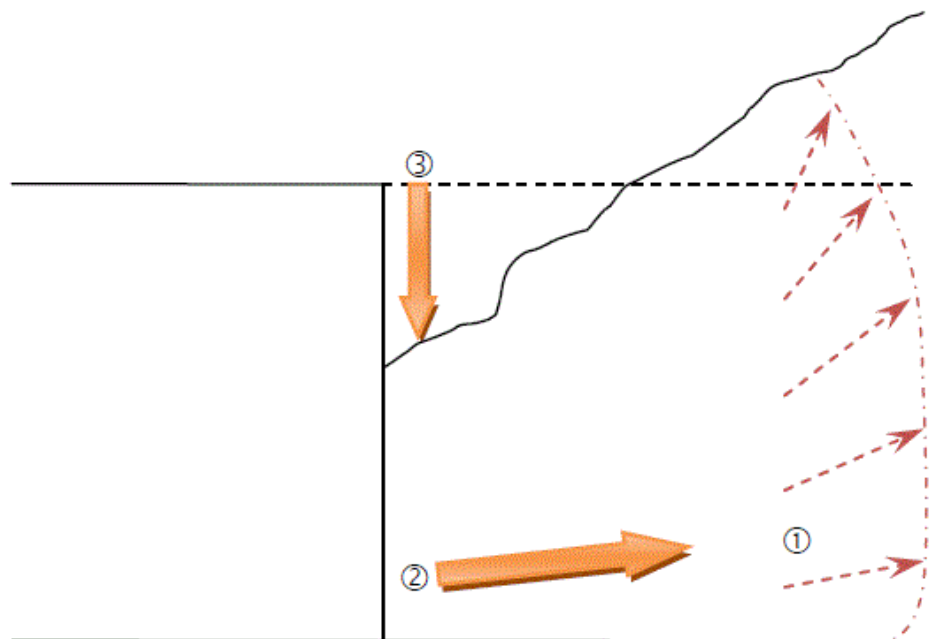


Kuvio 16. Poikkileikkaus, rungon liikettä

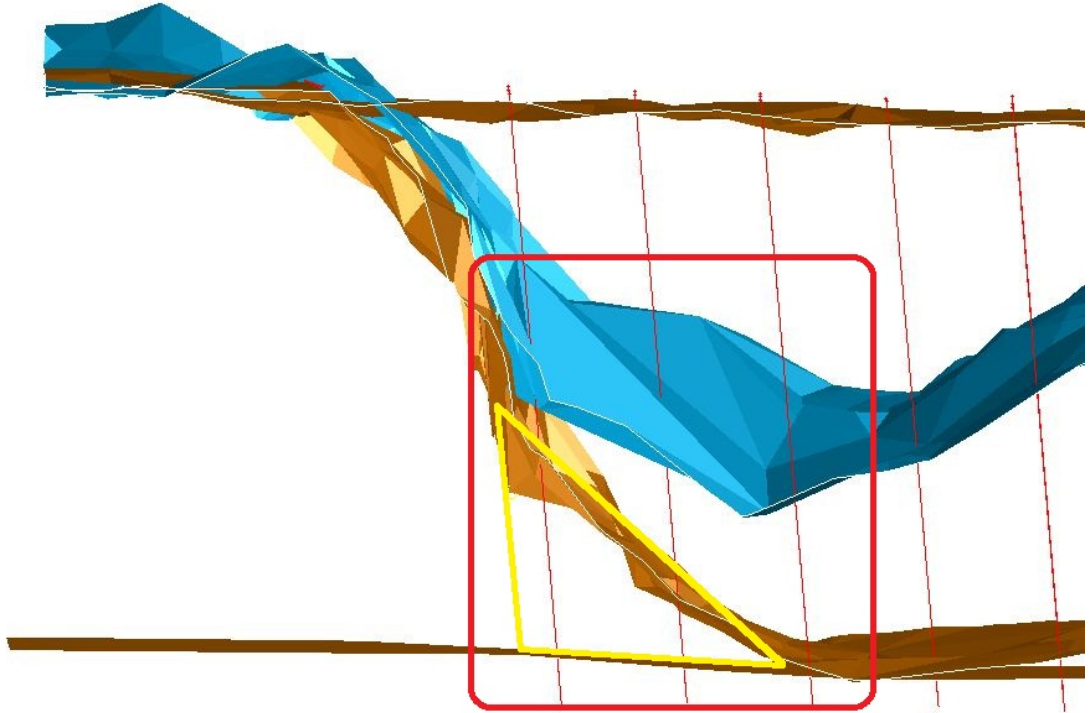
6.6.5 Takaosa

Siirtymä seuraa D-muotoista profiilia läpi koko suurimman osan kasaa, kunnes muutama rivi ennen takareunaa dynamiikka alkaa muuttua. Etupuoli ja runkoalueella ylempi pengeri liikkuu eteen- ja ylöspäin. Kun räjähdysaine viimeisessä rivissä räjähtää, se työntää kiveä eteenpäin samoin kuin runko. Viimeisen rivin takana ei ole kiveä, joka siirtyisi ja tukisi ylempää pengertä, joten nämä kivet putoavat tyhjiyteen. (Thornton 2009.)

Viimeisen rivin takana oleva kivi hajoaa myös jonkin verran. Räjähdys ryöstää kentän takaa noin 1-2 metriä. Tämä kivimassa jää räjähdyksessä paikalleen ja sortuu omaksi kasaksi kuten kuviossa 18, jossa pohjaosa on lähes alkuperäisellä paikallaan ja yläosa sortuneena päällä. Tämän kasan päälle putoaa vielä kannen kiviä. Louhitun kentän taka- ja sivuosissa syntyy helposti suurempia ryöstökiviä.



Kuvio 17. Poikkileikkaus, D-profiili sekä takaosan liikkeitä (Thornton 2009)

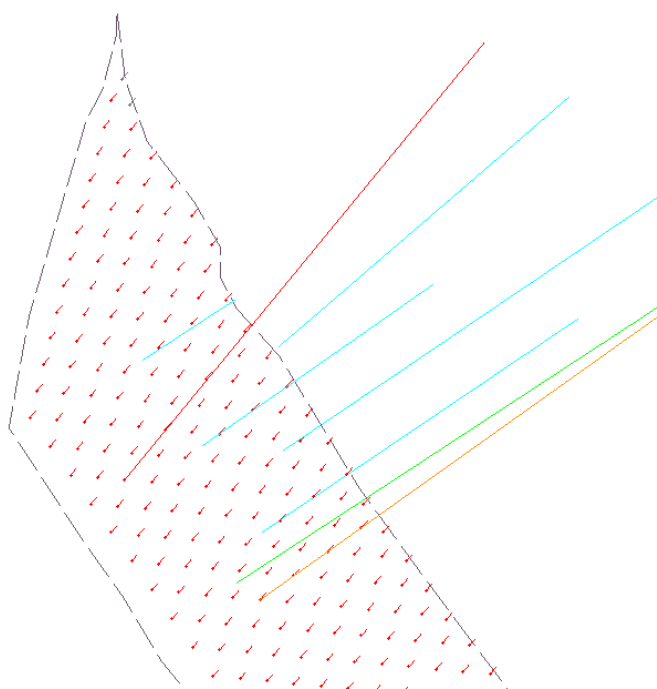


Kuvio 18. Poikkileikkaus kuvioista 4, 5 ja 6, kaadon takaosaa. Ryöstökivistä ja takaosan kannesta muodostunut osa (punainen) ja lastaamatta jätetty uusi juurikolmio (keltainen)

7 SIIRTYMÄ

7.1 Suunta

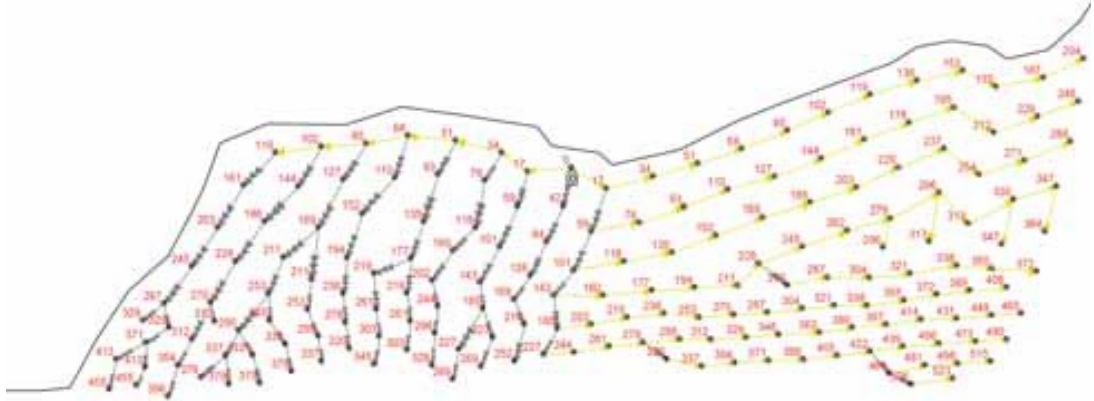
Seurantapisteiden mukaan tehtyjen havaintojen perusteella voidaan sanoa, että siirtymän suunta on lähes kohtisuoraan kytkentää vasten. Tämä on miltei sama kuin peräkkäisten porattujen reikien edun suunta, johtuen tutkimuksen aikaisesta kytkentätavasta. Poraukselle annettu viiden asteen kaade ei juuri suuntaan vaikuta, kuten kuviosta 19 havaitaan.



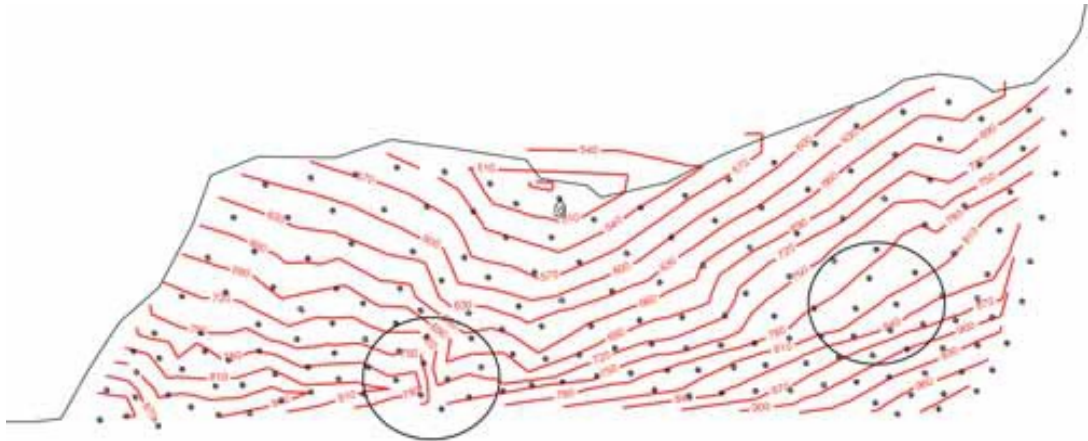
Kuvio 19. Siirtymän suunta. Punaisella on suunnittelussa annettu porauksen kaateen suunta, sinisellä havaittujen seurantapisteiden mukaan saatu suunta, vihreällä kohtisuora kytkentää vasten ja keltaisella edun suunta. Huomaa yksittäisen kiven poikkeama kentän etuosasta

Kytkenän mukaan voidaan laskea jokaiselle reiälle räjähdysajan ajankohta. Räjähdyksajosta tehty malli kertoo mistä räjähtäminen on lähtenyt liikkeelle, sekä liikkeen suunnan räjähdysaikaan. (Leinonen 2012, 11–13.) Kuviossa 20 on kytkentä esimerkki, jossa on yhdistetty kahta erilaista kytkentätapaa. Kuviossa 21 on kuvion 20 mukaiset lasketut räjähdysajat esitetty aikakäyrin. Kuviossa 22 on liikkeen laskettu suunta räjähdysaikaan. Irronnut kivimassa pyrkii liikkumaan kohti vapaata tilaa. Tällainen tila syntyy, kun edessä oleva kivimassa on siirtynyt pois päin. Eturintauksen hajotessa edestä kaadon runko

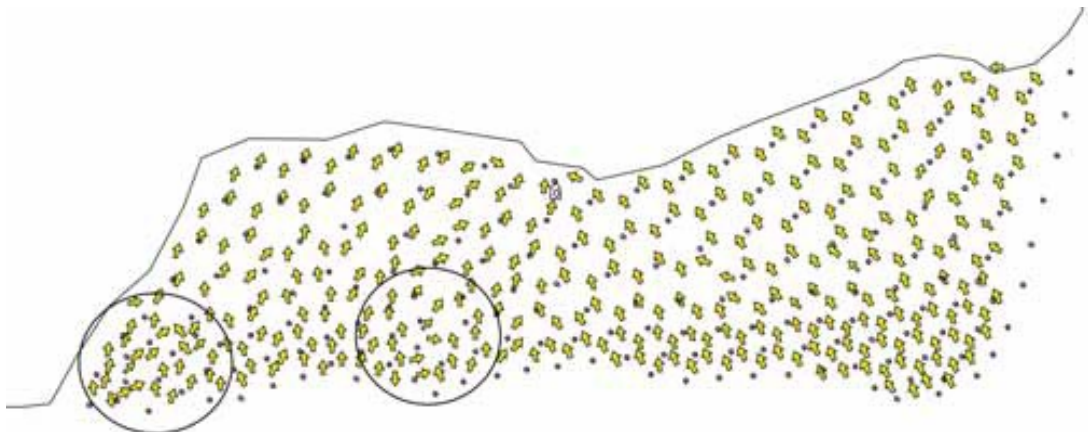
siirtyy tasaisesti eteenpäin. Kaadon siirtymää voidaankin vielä muuttaa suunnitellusta kytkentävaiheessa, jos se on välttämätöntä tai muuten hyödyllisempää ja voidaan tehdä turvallisesti.



Kuvio 20. Esimerkki kytkentämallista (Leinonen 2012, 12.)



Kuvio 21. Aikakäyrät kuvion 20 mukaan (Leinonen 2012, 12.)



Kuvio 22. Siirtymän suunta kuvion 21mukaan (Leinonen 2012, 12.)

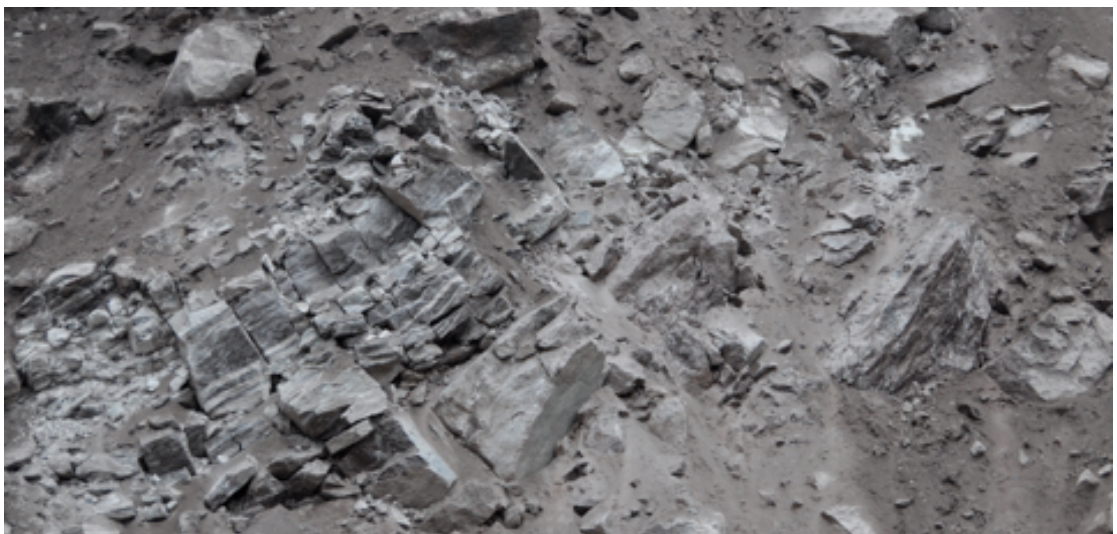
7.2 Mallinnus

Kentän kansi liikkuu räjäytyksessä eritavoin kuin muu kiviaines. Räjähdys tapahtuu pääsääntöisesti kannen alla, joten kansi liikkuu kaasupurkauksien ja kannen alla erilalla liikkuvien lohcareiden liikuttamina. Kansi leviää epä-säännöllisesti lähes koko kasan päälle. Kentän takaosissa kannen kivet liikkuvat kuitenkin paljon vähemmän tai jopa putoavat lähes samalle paikalle. Etuosissa kansi leviää pidemmälle ja yksittäisiä kannen kiviä voi löytyä aivan kasan rintauksen etuosista.

Suurinosa kivimassasta, runko, siirtyy kuitenkin sekoittumatta kaadon sisällä. Kiviaines löytyy mutta pysyy yhdessä, kuten kuvioista 23 ja 24 huomataan. Tämä sisäosa siirtyy räjäytyssuunnassa eteenpäin ja nousee hiukan ylöspäin.

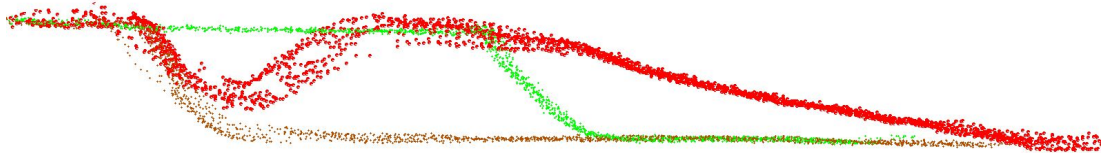


Kuvio 23. Kohtisuoraan siirtymää lastattua kasaa

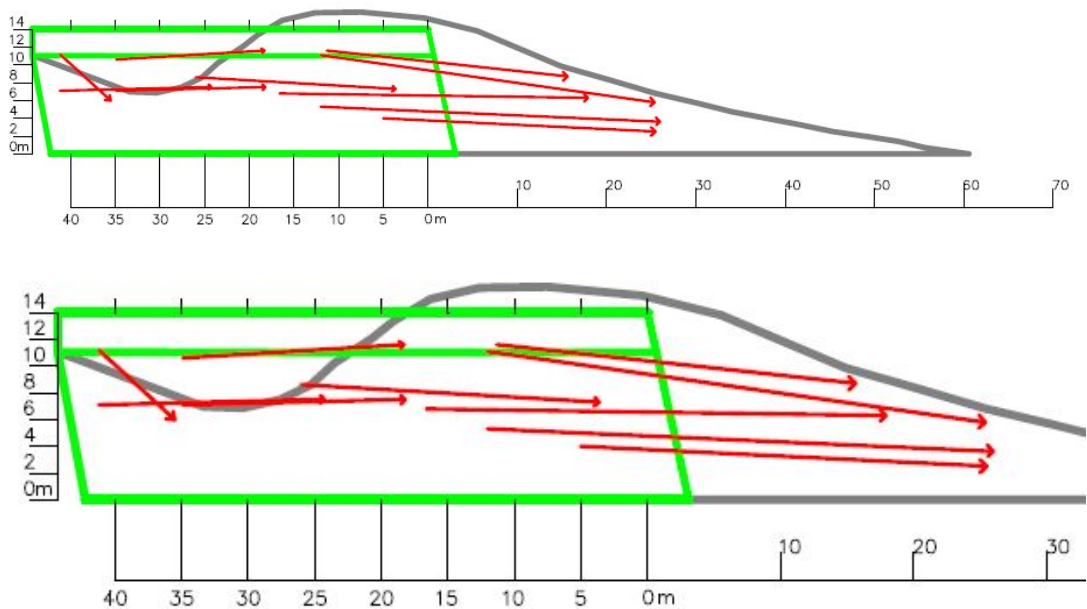


Kuvio 24. Suurennos kuvioista 23. Sekoittumatonta louhetta kasan sisällä

Siirtymää mallinnettaessa erilaiset kuvat ovat hyvin havainnollistavia. Pistepilvistä ja siirtymävektoreista saa selkeitä malleja, kun niistä tehdään siirtymän suuntaisia poikkileikkauksia, kuten kuvio 25. Poikkileikkauksista ja siirtymävektoreista näkee hyvin, mitä tapahtuu kaadon eri korkeuksilla sekä etu- ja takaosissa.



Kuvio 25. Poikkileikkaus pistepilvistä



Kuvio 26. Siirtymän malli ja suurennos poikkileikkauksen ja havaittujen siirtymien mukaan

Havainnoista ja poikkileikkauksen mallista saadaan siirtymän malliin tarvittavia matkoja, joita on esitetty kuvioissa 25 ja 26. Siilinjärven kaivoksella siirtymissä voidaan käyttää tulosten mukaan noin 17 metrin siirtymää rungon osalta. Takaosa jää osittain paikoilleen, joten siltä osin kartta-aineisto jää paikalleen ja venyy noin 17 metriä. Kaadon etuosa siirtyy osittain jopa yli 30 metriä ja enemmänkin, joten etuosaa saa mallinnuksessa venyttää paljon enemmän kuin runko-osaa. Kuviossa 27 on yksi esimerkki, miten kaadon siirtymä voidaan esittää tasossa.

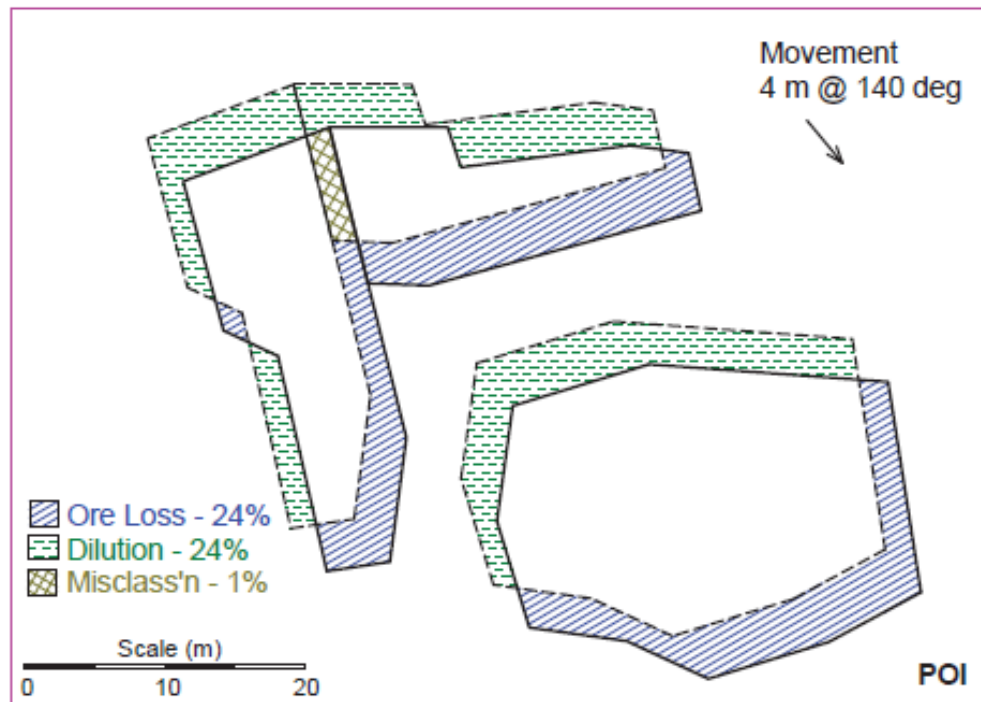


FIG 10 - Example of the potential zones of ore loss and dilution for a typical echelon blast.

Kuvio 27. Esimerkki kaadon siirtymän mallinnuksesta (La Rosa Thornton 2011)

7.3 Tarkkuus

Siirtymän mallintamiseen ei voi tehdä tarkkaa yleistä mallia, joka toimisi kaikenlaisissa räjäytyksissä. Jokaisesta louhittavasta alueesta on tehtävä mittauksia siirtymää varten. Kuitenkin riittävään mallintamiseen tarvittavat tiedot on saatavilla jo ennen räjäytystä tai viimeistään heti sen jälkeen.

Louhittavien alueiden pengerkorkeuksien pienemmillä vaihteluilla ei ole suurta vaikutusta siirtymään. Kuitenkin tasopinnot ovat muutenkin aina tiedossa, kun ne mitataan suunnittelua ja tilavuuksien laskentaa varten.

Räjähdysainemäärä Särkijärven louhoksessa tehtävissä louhinnoissa on lähes vakio. Ominaispanostus on tuotantoporauksessa noin 1,3 kg/m³. Pintalouhinnassa poraus tapahtuu pienemmällä kalustolla ja ominaispanostuskin on pienempi, vaikka reikätiheys on suurempi. Siirtymän malli on tehty tuotantoporausta varten, mutta sitä voi käyttää varauksin pintalouhintaan, jossa siirtymä on huomattavasti pienempi.

Kannen korkeus vaihtelee kenttien välillä yleensä kahdesta kolmeen metriin. Yksittäiset reikäkohtaiset poikkeavuudet kannessa ei vaikuta kokonaisuuteen siirtymässä. Voi olettaa, että vaikka kantta ei olisi juuri lainkaan, käyttäytyisi kentän pinta kannen tavoin. Paksumpi kansi taas pysyy hiukan enemmän paikallaan, mutta muodostaa usein suurempia ongelmallisempia lohkaraita.

Porauksen tarkkuus ei aina ole suunnitellussa tarkkuudessa. Suunnittelu- vaiheessa kytkentäkaavion mukaan saadut räjähdysten aikakäyrät muuttuvat porauksen muuttuessa ja samalla muuttuu siirtymän suunta. Jos muutos on yksittäisissä rei'issä, se ei muuta kokonaissiirtymää. Satelliittipaikannuksella tapahtuva poraus poistaa ongelman, kun siirtymä voidaan arvioida uudelleen poravaunun tallentamien havaintojen mukaan. Toteutuneiden reikien mittaus poistaa ongelman mutta tuo satojen reikien vuoksi paljon lisätyötä.

Louhittavissa alueissa voi olla erisuuruisia vesiongelmiä porauksessa ja panostuksessa. Pohjavedenkorkeudet vaihtelevat ja sade- ja valumavedet muuttavat veden pintaa. Siirtymää tutkittaessa ei vedellä huomattu olevan huomattavaa vaikutusta muuhun kuin seurantapisteen tekoon. Siirtymään sillä ei ole huomioon otettavaa vaikutusta.

Siirtymää tutkittiin pääasiassa malmialueilla. Malmin seassa on kuitenkin muitakin erilaisia kivilajeja. Työn aikana ei havaittu siirtymässä poikkeuksia kivilajien välillä. Ulkonäöltään erilaisten kivilajien havainnointi helpottaa siirtymän mallinnusta.

Siirtymää tutkittaessa tehdyt mittaukset ovat hyvinkin tarkkoja, jos otetaan huomioon louhittavien kenttien koot ja käytettävät lastausmenetelmät. Suurella lastauskalustolla lastattaessa ei ole järkeä toimia senttien tarkkuuksissa. Jos siirtymä saadaan mallinnettua metrin tai parin tarkkuuteen on se jo täysin riittävä tuotannon ja hyödyn kannalta.

Korkeita kaatoja lastatessa louhetta vyöryy jatkuvasti ylhäältä alas. Louhe on lastaus penkereessä noin 45 asteen kulmassa. Kun kiviä vyöryy ylhäältä alas, siirtyvät ne enimmillään lähes kymmenen metriä vaakasuunnassa.

7.4 Hyöty

7.4.1 Lastauksen koneohjaus

Kaatoja lastaavissa työkoneissa käytetään lastauksen apuna kaatokarttaa. Kaatokartta kertoo, millaista kiveä kaato sisältää sekä malmin pitoisuuden kaadon eri osissa. Lastaaja kertoo omien havaintojen ja kaatokartan mukaan kiviauton kuljettajalle, mitä lastattu kuorma sisältää. Satelliittipaikannuksen mahdollistamana työkoneisiin saadaan lastauksen koneohjausjärjestelmä. Järjestelmän avulla lastauskoneen kuljettaja tietää, missä kohtaa lastaus on tarkalleen menossa. Osaava lastaaja yleensä pystyy näköhavaintojenkin avulla erottamaan, mitä lastaa mutta pimeä, keinovalo ja sateiden kastelemat kivet ovat ongelmallisia. Myös malmipitoisuuden määrittäminen silmämääräisesti on lähes mahdotonta. Koneohjausjärjestelmän käyttö vähentää lastauksessa tapahtuvien virheiden määrää etenkin heikkolaatuisten malmiesiintymien osalla.

7.4.2 Mallinnuksen hyödyntäminen

Siilinjärven kaivoksella käytettävät geologiset kartat on tehty geologien ja porareiden havaintojen mukaan. Porarei'istä otettujen näytteiden ja alueella tehtyjen kairauksien ja soijauksien avulla saadaan selville malmin sijoittuminen ja pitoisuus. Louhinnassa olevan kentän osalta tarkistetaan malmin tarkemmat pitoisuudet ja tehdään kaadosta kaatokartta. Kaatokartta on tehtyjen havaintojen mukainen myös sijainnissa, ja se kertoo kuitenkin vain louhitun kiven alkuperäisen paikan. Lastaajalle onkin jäänyt tehtäväksi päätellä, missä kivi on räjäytyksen jälkeen.

Tässä työssä on pyritty selvittämään, miten kiviaines liikkuu alkuperäiseen sijaintiin verrattuna. Kun siirtymän vaikutus korjataan kaatokarttaan, se toimii myös oikein lastauksen yhteydessä. Kaatokarttaan saatu kaadon lopullinen, todellinen sijainti on käytännössä se, mihin tässä työssä pyritään.

Siirtymän mallinnuksen käyttöä on kokeiltu aluksi muutamissa kaadoissa. Geologilta tulleen rikkaan ja köyhän malmin rajaa on muokattu mallinnetun

siirtymän mukaan. Rajat ovat olleet kuitenkin ilman korkotietoa ja niitä on käsitelty vain 2D-tasossa.

7.4.3 Jigsaw

Siilinjärven kaivoksella otetaan käyttöön vuoden 2013 aikana Leica Geosystemsin Jigsaw-tuotannonohjausjärjestelmä. Järjestelmän käyttöönoton tarkoituksena on ohjata kaivoksen tuotantoa entistä järjestelmällisemmin ja tarkemmin.

Louhoksen tuotannonohjaus Jigsaw-järjestelmällä on mahdollista onnistua vain, jos järjestelmälle annettavat lähtötiedot ovat kunnossa. Tämä vaatii jatkuvaa lastattavien kaatojen tarkkailua ja järjestelmään päivittämistä. Mitä tarkemmat materiaali- ja pitoisuusalueet onnistutaan määrittelemään lastausta varten, sitä paremmat mahdollisuudet on tuottaa vakaampi rikastamon syöte.

Materiaali- ja pitoisuusalueista käytetään Jigsaw järjestelmässä nimitystä "Loading polygons". Loading polygonit ovat vain x ja y suuntaisia, eikä niiden z koordinaattia käytetä kuin tavoitelastaustasossa. Järjestelmä ei siis ymmärrä päällekkäisiä polygoneja.

Kunkin kaadon lastausalue on katettava yhdellä tai useammalla polygonilla, koska jokaiselle kauhalliselle on löydyttävä suunnitelmatiedot paikannuksen perusteella. Lastauskoneen GNSS-paikannin tunnistaa kauhan sijainnin perusteella, minkä polygonin sisällä kauha kulloinkin on.

Lastaussuunnitelman nopeaa muutosta varten on polygonit oltava valmiina kaikille kaadoille, joita pystytään lastaamaan. Järjestelmää voidaan kuitenkin päivittää jatkuvasti. Ennen lastauksen alkamista, järjestelmään syötetään ennustettu siirtymä. Räjähdyksen jälkeen ja lastauksen aikana tehtyjen havaintojen mukaan siirtymää voidaan korjata. Todellisten havaintojen pohjalta saadaan järjestelmään oikea paikkatieto.

8 PÄÄTELMÄT

Havaintojen mukaan siirtymän seuranta on mahdollista tietyin varauksin. Jokainen louhittava kenttä on erilainen ja siirtymän mallintaminen vaatii aina mittauksia. Siirtymän mallinnusta varten tarvittavia mittauksia voidaan kuitenkin tehdä jo ennen lastauksen aloittamista.

Laserkeilaus osoittautui järkeväksi tavaksi mallintaa kaadon eri vaiheet. Keilaukset ovat nopeita ja riittävän tarkkoja, ja ne voidaan suorittaa turvalliselta etäisyydeltä muuta louhintaan liittyvää toimintaa häiritsemättä. Kun kaadon sisällä tapahtuva louheen siirtymä on pääsääntöisesti tiedossa, voidaan keilauksesta saatuun kasan pintamalliin sijoittaa kaadon siirtymän malli. Tietysti jokaisessa kaadossa voi olla omia poikkeuksia, jotka on huomioitava riittävällä tarkkuudella.

Kuten havainnoissa huomattiin, ei alkuperäisiin suunnitelmiin porauksen toteutuksessa voi aina täysin luottaa. Poraus ei aina tapahdu täysin suunnitelmien mukaan, jolloin siirtymän suunta voi muuttua suunnitellusta. Tällöin mallinnus vaatii toteutuneiden reikien uudelleen mittauksen ja siirtymän suunnan uudelleen määrittämisen. Satelliittipaikannuksella varusteltu poravaunu tallentaa poratut reiät riittävällä tarkkuudella, jolloin niitä ei tarvitse mitata erikseen.

Siirtymän suunta voidaan määrittää etukäteen ja onkin hyvä aina tarkastella mahdolliset ongelmatilanteet, jotka voivat aiheutua siirtyvästä kivilouheesta. Vaikkakin panostajat päättävät kytkiessään lopullisen kytkentätavan, olisi syytä miettiä sitä jo etukäteen ja tehdä vain pieniä pakollisia muutoksia tarvittaessa. Usein maastossa havainnoidut tilat ja pituudet vääristyvät ja mahdollistavat kytkennästä johtuvia ongelmallisia siirtymiä.

Siilinjärven kaivoksella tullaan ottamaan käyttöön ohjelma, joka määrittää siirtymän suunnan suunnitellun kytkennän paloaikojen mukaan. Suunta määräytyy jokaiselle reiälle ohjelman laskemien aikakäyrien mukaan. Siirtymän suunta on kohtisuoraan aikakäyriä vasten. Tämä kohtisuoruus todettiin

myös siirtymää tutkittaessa. Kuitenkin yksittäiselle reiälle laskettu poikkeava suunta muuttuu kokonaissiirtymän suuntaan.

Siirtymän poikkileikkausmallia ei voi käyttää mallinnuksessa suoraan. Siirtymän suunnassa edessä oleva tila on otettava huomioon. Tyhjään tilaan tai pientä kasaa vasten räjäytettynä kaato siirtyy kokonaisuudessaan lähes samalla tavalla. Tilan ollessa kokonaan tyhjä, siirtyy etuosan alareuna pidemmälle kuin yläosa. Edessä oleva kasa hidastaa hiukan siirtymää, jolloin yläosa siirtyy pidemmälle. Poikkileikkausmallissa kuitenkin runko ja takaosa eivät reagoi etuosan muutoksiin.

Kasaa vasten räjäytettynä poikkileikkausmalli toimii kuin sivuilta puristettuna. Kaato siirtyy huomattavasti vähemmän siirtymän suuntaan, mutta nousee jonkin verran korkeammalle. Kaadon runko ja takaosa käyttäytyvät lähes mallin tavoin. Etuosa painautuu kasaa vasten ja pyrkii nousemaan ylöspäin.

Kaadon reunaosat liikkuvat hiukan muusta massasta poiketen. Reunoissa siirtymän suunta on epäsäännöllisempi ja kiven sekoittumista tapahtuu lähes yhtä paljon kuin etuosassa tyhjään tasoon räjäytettäessä.

Lastauksessa käytettävät polygonien tiedot ovat lastattavan tason korossa. Tästä johtuen kaadon lastauksessa ei voida käyttää kovin tarkkaa kasan mallia ja joudutaan toimimaan tasossa ilman kasan sisäisiä korkotietoja. Korkotiedon puutteen vuoksi esimerkiksi malmikaadon sisäisen raakkujuonen mallintaminen lopulliseen polygoniin on ongelmallista. Myös malmin ja raakun rajan tarkka määrittäminen polygoneihin voi olla mahdotonta, koska kaato siirtyy eri korkeuksilta hiukan eri tavalla.

Korkeaa kasaa lastattaessa ei lastausta voida suorittaa vyöryttämättä ylhäältä kiviä. Vyöryessään kivet voivat siirtyä jopa kymmenen metriä, eivätkä näin ollen ole enää kartan osoittamassa paikassa. Jos lastattavalla alueella on riittävästi tilaa, on lastattaessa huomioitava lastauksen suunta suhteessa malmi ja raakkualueisiin.

Kaadon siirtymän mallintaminen helpottuu kokemusten myötä. Mitä useampaa kaatoa päästään tarkemmin tutkimaan, sitä varmemmin siirtymän ennustus osataan tehdä ja uudenlaisia tilanteita osataan ennakoida paremmin. Koskaan ei voi olla etukäteen varma tulevasta siirtymästä. Kuitenkin hyviä ennustuksia osataan jo tehdä ja siirtymän tarkempi mallintaminen on mahdollista myös räjäytyksen jälkeen, kun tarvittavia mittauksia on tehty. Tulevaisuudessa siirtymään tullaan paneutumaan enemmän ja mittaus-menetelmät ja havainnoinnit nopeutuvat.

Siilinjärven kaivoksella siirtymää tullaan seuraamaan jatkossa entistä tarkemmin, kun tämän työn avulla on pystytty todistamaan siirtymän seurannan mahdollisuus. Siirtymän seurantaan liittyvät toimenpiteet tuovat paljon lisätyötä, mutta seurannan huomiointi on tuotannon tehostamisen kannalta lähes välttämätöntä.

Siilinjärven kaivoksella käytettävä Jigsaw-järjestelmä vaatii lastauksessa hyvin toimiakseen siirtymän mallintamisen lastauspolygoneihin. Järjestelmään ei voi tehdä kasan eri korkeuksille päällekkäisiä polygoneja, jolloin kasan siirtymän jälkeiseen malliin joudutaan tekemään todellisuudesta poikkeavia lastausalueita. Kuitenkin tarkempi siirtymä voidaan ilmoittaa lastaukselle vaikka kaatokartan mukana tekstimuodossa.

Kaadon siirtymän mittauksessa ja mallinnuksessa on hyvä kokeilla muitakin menetelmiä. Siilinjärven kaivoksella kokeiltiin bmt-järjestelmää. Järjestelmän soveltuvuutta kaivokselle ei voinut tietää kuin kokeilemalla. Järjestelmästä on kuitenkin hyviä kokemuksia muilta kaivoksilta, mutta jokaisessa kaivoksessa on omia poikkeavuuksia louhintaan liittyen kuten Siilinjärvellä oma räjähdemulsio.

Kokeilu onnistui hyvin kahdessa eri räjäytyksessä. Bmt-järjestelmän kustannukset ovat suuret, mutta jos järjestelmän tuoma hyöty olisi suurempi, niin käyttö olisi järkevää.

LÄHTEET

- BMT 2013. BMM System. Osoitteessa
<http://www.bmt.com.au/tech-info/bmm-system/>. 09.02.2013.
- Hakapää, A. – Lappalainen, P. (toim.) 2009. Kaivos- ja louhintatekniikka. Vammala: Kaivannaisteollisuusyhdistys ry ja Opetushallitus.
- La Rosa D. Thornton D. 2011. Blast Movement Modelling and Measurement. Osoitteessa
<http://www.bmt.com.au/wp-content/uploads/2012/01/LaRosa-APCOM-2011.pdf>. 1.10.2012.
- Leinonen, J. 2012. Sytytyssuunnittelun merkitys. Vuorityö- ja tekniikka vuosijulkaisu 2012, 11-13.
- MDL 2013a. Quarryman Pro/Pro LR. Overview. Osoitteessa
<http://www.mdl-laser.com/en/quarryman-pro-pro-lr--15118>. 6.2.2013.
- 2013b. Quarryman Pro/Pro LR. Specification. Osoitteessa
<http://www.mdl-laser.com/en/quarryman-specifications--15170>. 6.2.2013.
 - 2013c. Blast Optimisation case study. Osoitteessa
<http://www.mdl-laser.com/media/pdf/gen/40559498f9b841f2a71f34203282024e.pdf>. 8.11.2012.
- Metso 2013. SmartTag. Osoitteessa
http://www.metso.com/miningandconstruction/mct_service.nsf/WebWID/WTB-111031-22576-D9703?OpenDocument&mid=93917B0A50E082B2C2257957004594D6. 09.02.2013.
- Mononen, S. 2013. Siilinjärven kaivoksen päällikön haastattelu 15.3.2013.
- Ruotsalainen, P. 2012. Siilinjärven kaivoksen louhintateknikon haastattelu 22.5.2012.
- Satta J. 2012. Kittilän kaivoksen työntekijän haastattelu 14.5.2012.
- Thornton D.M. 2009. The Application of Electronic Monitors to Understand Blast Movement Dynamics and Improve Blast Designs. Osoitteessa
http://www.bmt.com.au/wp-content/uploads/2010/12/2009_FragBlast.pdf. 02.8.2012.
- Yara 2010. MSA-sopimus. Attachment 3, Contract No. 4600015007. Technical features. 3.1.15

Yara 2013a. Kuvat. Osoitteessa <http://www.yara.fi/media/pictures/index.aspx>
8.5.2013.

- 2013b. Siilinjärvi. Osoitteessa
http://www.yara.fi/about/yara_in_finland/production_sites_in_finland/siilinjarvi/index.aspx. 09.02.2013.
- 2013c. Tuotantolaitokset Suomessa. Osoitteessa
http://www.yara.fi/about/yara_in_finland/production_sites_in_finland/index.aspx. 09.02.2013.
- 2013d. Yara Suomessa. Osoitteessa
http://www.yara.fi/about/yara_in_finland/index.aspx. 09.02.2013.
- 2013e. Yaralla ennätysellinen vuosi Suomessa. Osoitteessa
http://www.yara.fi/media/press_releases/yaralla_ennatysellinen_vuosi_suomessa.aspx. 28.3.2013.

LIITTEET

Poraustarkkuus

Liite 1

Porasyvyys

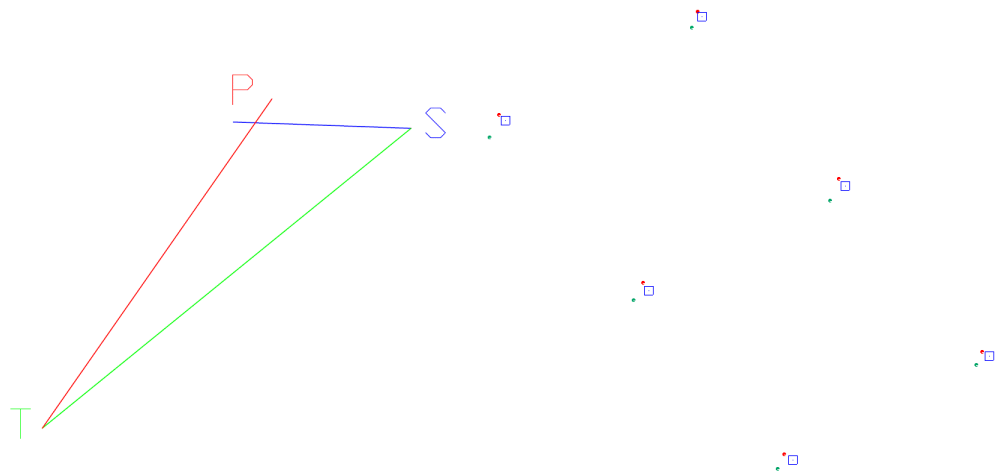
Liite 2

Poraustarkkuus

Suunniteltu paikka S
 Poran tallentama paikka P
 Toteutunut paikka T

Kaato 2012612

	S --> P (m)	Suunta (°)	S --> T (m)	Suunta (°)	T --> P (m)	Suunta (°)
Keskiarvo	12	272	32	231	27	35
Reikä nro.						
319	17	300	19	275	8	36
321	6	339	21	233	23	28
323	12	207	27	209	17	30
325	12	312	33	224	35	24
327	14	285	36	230	30	29
331	23	299	45	226	44	16
333	12	202	51	205	39	26
337	21	315	41	234	43	25
339	4	295	13	277	9	90
303	17	262	28	239	14	31
301	8	270	37	219	32	27
297	14	171	56	197	44	24
295	7	213	35	214	28	35
291	15	313	35	236	35	32
289	9	239	19	252	10	82
287	13	294	26	236	22	27
285	6	312	25	227	25	32

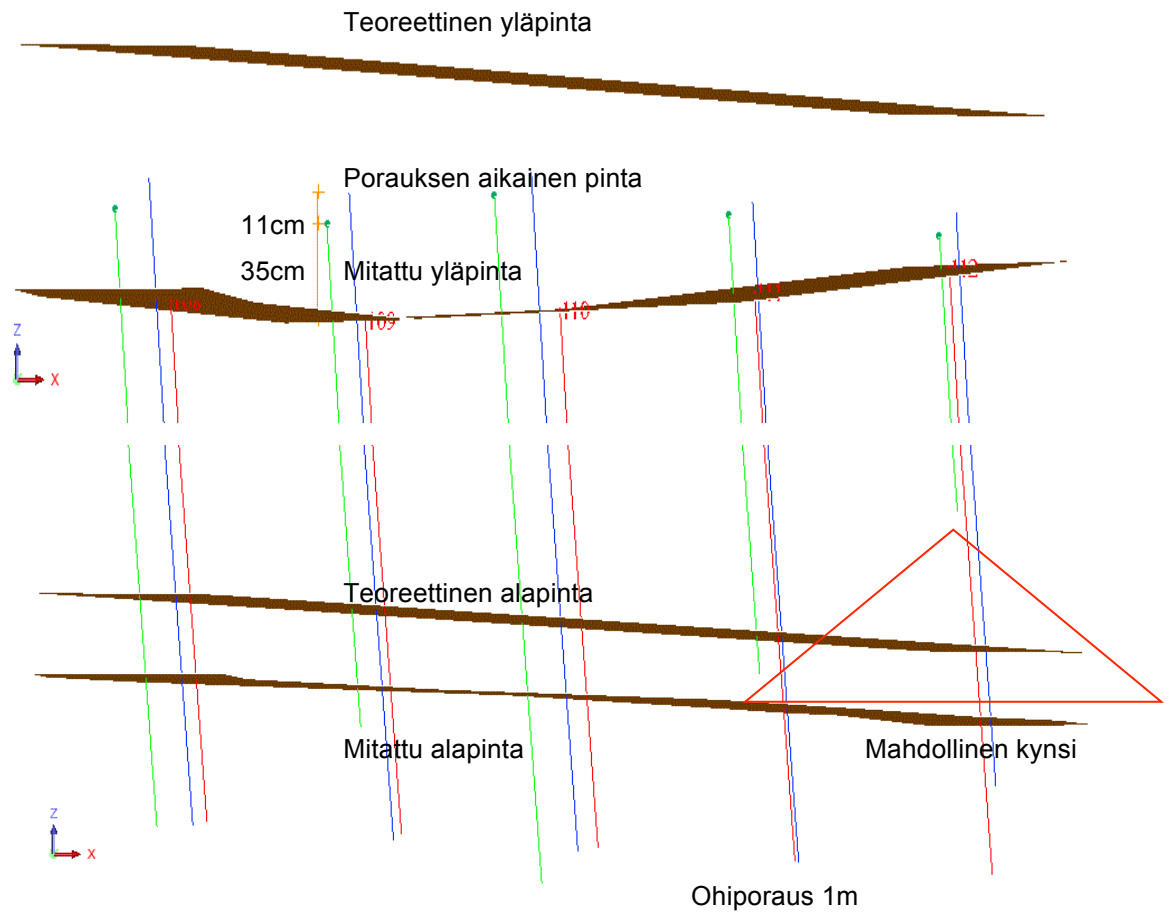


Porasyvyys

Punainen = Suunniteltu reikä

Sininen = Poran tallentama reikätieto

Vihreä = Mitattu, toteutunut reikä



Nro	Suunniteltu pituus (m)	Mitattu pituus (m)	Erotus (m)	Poran mittaus (m)	Erotus (m) suunniteltuun	Mitattu - Pora erotus (m)
108	14,1	14,5	-0,4	14,6	-0,5	-0,1
109	14,1	14,0	0,1	14,6	-0,5	-0,6
110	14,2	14,8	-0,6	14,7	-0,5	0,1
111	14,3	13,8	0,5	14,7	-0,4	-0,9
112	14,5	13,0	1,5	14,3	0,2	-1,3