

OPINNÄYTETYÖ

PEKKA LAKKALA 2013

**ELEKTRONISTEN NALLIEN VERTAILU IM-
PULSSILETKUNALLEIHIN RÄJÄYTYS-
TÖISSÄ SEKÄ RÄJÄHDYKSEN LAATUUN
VAIKUTTAVAT TEKIJÄT**



Rovaniemen
ammattikorkeakoulu
University of Applied Sciences
LUC

RAKENNUSTEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA



ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU

TEKNIikka JA LIIKENNE

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

ELEKTRONISTEN NALLIEN VERTAILU IMPULSSILETKUNALLEIHIN RÄJÄYTYSTÖISSÄ SEKÄ RÄJÄHDYKSEN LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Pekka Lakkala

2013

Toimeksiantaja FQM Kevitsa Mining Oy

Ohjaaja Kauko Nikkanen

Hyväksytty _____ 2013 _____

Työ on kirjastossa lainattavissa

Tekijä	Pekka Lakkala	Vuosi	2013
Toimeksiantaja Työn nimi	FQM Kevitsa Mining Oy Elektronisten nallien vertailu impulssiletkunalleihin räjäytystöissä sekä räjähdyslaatuun vaikuttavat tekijät		
Sivu- ja liitemäärä	73 + 5		

Opinnäytetyöni tarkoitus oli testata elektronisia nalleja räjäytystöissä Kevitsan avolouhoksella. Vertailu tehtiin käytössä oleviin impulssiletkunalleihin. Pääaihe oli tutkia, millaisia hyötyjä saavutetaan elektronisilla nalleilla kallion irroitusräjäytyksissä.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää räjäytetyn kentän lastattavuuden tehokkuutta vertailtaessa impulssiletkunalleja elektronisiin nalleihin. Lastattavuus on tärkeä tuotannollinen tekijä. Siihen vaikuttaa kivikasan lohkaroituminen, siirtyminen ja löyhtyminen. Lähtötilanteena olivat liian tiukka lastattava penkka ja ylisuuret lohkareet.

Aloitin työni tutustumalla kaivoksen eri toimintoihin. Seuraavaksi syvennyin alan teoriaan ja käytännön menetelmiin. Panostustöiden osalta pääsin tutustumaan kenttätöihin panostuksesta vastaavan Orica Finland Oy:n kanssa. Porauksen menetelmistä ja sen haasteista tein havaintoja kentälle sekä keskustelemalla porareiden kanssa. Poraukseen liittyviä kenttämittauksia tein yhdessä kaivosyhtiön laaduntarkkailijoiden kanssa. Lastausta ja kuljetusta havainnon kentällä.

Räjäytysten jälkeen mittasimme räjäytetyn kivikasan Kevitsan mittaustyöryhmän kanssa. Tämä mahdollisti tulosten analysoinnin. Tutkimusaineston vertailu oli haastavaa, koska muuttujia oli paljon. Kenttien oli tarkoitus olla mahdollisimman samanlaisia, mutta tämän toteutuksessa piti huomioida tuotanto ja aikataulu. Eri materiaalien räjäyttäminen erilleen voi muuttaa tuloksia. Tällöin kokonaistaloudellisen hyödyn merkitys voi alentaa lastattavuuden tehokkuutta.

Työni tuloksien mukaan elektronisten nallien käyttö ei paranna lastattavuutta merkittävästi. Tulevaisuudessa niiden turvallisuuden ja monipuolisuuden johdosta käyttö avolouhoksilla varmasti yleistyy, mutta tämän tutkimuksen mukaan se ei ole vielä kannattavaa. Räjähdyslaatuun vaikuttavien tekijöiden tutkiminen osoitti tekemisen olevan hyvällä tasolla. Kehitystyön tulee kuitenkin jatkua kaivoksen laajentumisen mukana.

Avainsanat lastattavuus, poraus, panostus, elektroniset nallit, impulssiletkunallit.

Author	Pekka Lakkala	Year	2013
Commissioned by	FQM Kevitsa Mining Oy		
Subject of thesis	Comparision of Electronic Detonators to Shock Tubes for Blasting Quality		
Number of pages	73 + 5		

The objective of this study was to test the electronic detonators in the Kevitsa open pit mine. The study was comissioned by FQM Kevitsa Mining Ltd. The main objective was to find out the benefits of using electronic detonators with rock blasting.

The study was started by discussing the various mine operations. The next step was to focus on the theory and the practical methods of mining. The field work included working with Orica Finland Oy that is responsible for all charging operations in Kevitsa mine. In addition, drilling, loading and hauling were monitored and measured. After blasts surveying the muck piles were used to analyse the blast results. It is affected by a muck pile fragmentation, transition and swelling. The comparision was made by blasting with shock tubes.

As a results of this study that electronic detonators do not improve the loadability significantly. In the future, the safety and versatility of the use of electronic detonators at open pit mine will certainly increase, but this study showed that it is not profitable yet. The factors affecting the blasting quality that was investigated were proven to be at the standard level. The development will, however, continue together with the mine expansion.

Key words loadability, drilling, charging, electronic detonators, shock tubes

SISÄLTÖ

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO.....	1
1 JOHDANTO	3
2 AVOLOUHOS	4
2.1 KEVITSAN MONIMETALLIKAIVOS	4
2.2 AVOLOUHOKSEN SUUNNITTELU	5
2.3 AVOLOUHOSSOPTIMOINTI	6
3 KAIVOSGEOLOGIA	8
3.1 KALLION GEOLOGISTEN OMINAISUUKSIIEN VAIKUTUS LOUHINTAAN.....	8
3.2 RÄJÄYTETTÄVÄN KENTÄN GEOLOGISET TIEDOT	9
4 AVOLOUHINTAMENETELMÄ.....	11
4.1 Pengerlouhinta	11
4.2 Porattavuus	12
4.2.1 Poraus.....	13
4.2.2 Kevitsan porauskalusto	14
4.2.3 Tuotantoporaus	16
4.2.4 Porareian romahtaminen ja vesihuuhtelu	17
4.3 Lastattavuus	19
4.3.1 Kevitsan lastaus- ja kuljetuskalusto.....	22
5 RÄJÄYTISTYÖT	25
5.1 RÄJÄYTISTEN SUUNNITTELU	25
5.1.1 Räjähdyksen eteneminen.....	26
5.2 RÄJÄHDYKSEN TEHO.....	27
5.2.1 Panostusaste	28
5.3 RÄJÄHDYKSEN TULOS	29
6 RÄJÄHDYSAINET JA SYTISVÄLINEET	31
6.1 EMULSIO RÄJÄHDYSAINET	31
6.2 DYNAMIITIT	32
6.3 ANFO	33
6.4 IMPULSSILETKUNALLI-SYTYTYS	33

6.5 ELEKTRONISILLA NALLEILLA TOIMIVA SYTYTYS	34
7 PANOSLASKENNAN PERUSTEET	37
7.1 RÄJÄYTYSKUVIO JA OMINAISPANOSTUSASTE	37
7.2 OPTIMAALISTEN REIKÄ- JA RIVIVÄLIEN HIDASTEIDEN MÄÄRITTÄMINEN	39
8 TESTATTAVAT KENTÄT	41
8.1 IMPULSSINALLIKENTÄT	41
8.1.1 Kenttä A1198M006.....	41
8.1.2 Kenttä A1198R009.....	42
8.2 ELEKTRONISTEN NALLIEN KENTÄT	43
8.2.1 Kenttä A1198R010 ja A1198M008.....	44
8.2.1 Kenttä A1198X011	46
9 TESTATTAVIEN KENTTIEN PROFIILIT	49
9.1 KENTTIEN TILAVUUDET	49
9.1.1 Kentän A1198M006 tilavuus	49
9.1.2 Kentän A1198R009 tilavuus.....	51
9.1.3 Kentän A1198R10&A1198M008 tilavuus	52
9.1.4 Kentän A1198X011 tilavuus	54
9.1.5 Tilavuuksien vertailu.....	55
9.2 KENTTIEN LEIKKAUSPROFIILIT	55
10 TULOKSET	59
10.1 PORATTAVUUDEN ARVIOINTI	59
10.2 TESTATTAVIEN KENTTIEN OLOMUODON MUUTOS	60
10.3 LASTATTAVUUDEN ARVIOINTI	64
10.3.1 Kauhan täyttöaste	64
10.3.2 Lohkaroituminen.....	65
11 JOHTOPÄÄTÖKSET	69
LÄHTEET.....	71
LIITTEET.....	73

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Kevitsan kaivoksen sijainti.....	4
Kuvio 2. Kevitsan ensimmäisen vaiheen ja lopullisen louhoksen malli.....	6
Kuvio 3. Avolouhoksen poikkileikkaus	7
Kuvio 4. Kenttien sijainnit avolouhoksessa ja siinä kulkeva ruhjevyöhyke	9
Kuvio 5. Kentän A1198X011 lastaus suunnitelma	10
Kuvio 6. Louhinnan sanastoa	11
Kuvio 7. Porausmenetelmät	13
Kuvio 8. Atlas Copco SmartROC D65	14
Kuvio 9. ROC D9RRC, porakruunu 89 mm.	15
Kuvio 10. Porakruunu 171 mm.....	16
Kuvio 11. Huuhtelun periaate	17
Kuvio 12. Vesihuhtelu.....	19
Kuvio 13. Kivikasan muodon vaikutus lastattavuuteen	21
Kuvio 14. Komatsu PC 5500 lastaa	23
Kuvio 15. Pyöräkuormaaja lastaa malmia välivarastolla	24
Kuvio 16. Räjättykseen vaikuttavat tekijät.....	25
Kuvio 17. Räjähdyksen mekanismi.....	27
Kuvio 18. Kentän olomuodon muutos räjähdysten jälkeen.....	30
Kuvio 19. Emulsioräjähdysaine Fortis™ Advantage 100	32
Kuvio 20. Kytkinkappale 0 ms	34
Kuvio 21. Skanneri	35
Kuvio 22. Testiyksikkö.....	36
Kuvio 23. Kentän A1198R010 ja A1198M08 sytytyskuvio	45
Kuvio 24. Kentän A1198X011 sytytyskuvio	47
Kuvio 25. Pohjapanoksen elektronisen nallin Unitronic™ 600 kytkinkappale	48
Kuvio 26. Kenttä A1198M006.....	50
Kuvio 27. Kentän A1198M006 tilavuuden muutoksen malli	51
Kuvio 28. Kentän A1198R009 tilavuuden muutoksen malli.....	52
Kuvio 29. Kentän A1198R10&A1198M008 tilavuuden muutoksen malli	53
Kuvio 30. Kentän A1198X011 tilavuuden muutoksen malli.....	54
Kuvio 31. Kentän A1198M006 leikkausprofiili	56
Kuvio 32. Kentän A1198R009 leikkausprofiili	57
Kuvio 33. Kentän A1198M008 leikkausprofiili.....	57
Kuvio 34. Kentän A1198X011 leikkausprofiili	58
Kuvio 35. Kentän A1198M006 muoto räjähdysten jälkeen.....	61

Kuvio 36. Kentän A1198R009 muoto ennen räjähdystä	61
Kuvio 37. Kentän A1198R009 muoto räjähdysen jälkeen	61
Kuvio 38. Kentän A1198R010&M008 muoto ennen räjähdystä	62
Kuvio 39. Kentän A1198R010&M008 muoto räjähdysen jälkeen	62
Kuvio 40. Kentän A1198R010&M008 muoto etupuolelta räjähdysen jälkeen	62
Kuvio 41. Kentän A1198X011 muoto ennen räjähdystä.....	63
Kuvio 42. Kentän A1198X011 muoto räjähdysen jälkeen	63
Kuvio 43. Kentän A1198X011 muoto räjähdysen jälkeen	63
Kuvio 44. Kentän A1198M006 lohkaroitumisen arviointi on 3.	66
Kuvio 45. Kenttä A1198R009 lohkaroitumisen arviointi on 3.	67
Kuvio 46. Kentän A1198M008&R010 lohkaroitumisen arviointi on 2	67
Kuva 47. Kentän A1198X011 lohkaroitumisen arviointi on 2.....	68

Taulukko 1. Räjähdyksestä aiheutuvan rintausten liikeaika.....	39
Taulukko 2. Kentät A1198M006 ja A1198R009	41
Taulukko 3. Kenttä A1198M006	42
Taulukko 4. Kenttä A1198R009.....	43
Taulukko 5. Kenttä A1198R010&M008	44
Taulukko 6. Toinen elektronisilla nalleilla räjäytetty kenttä.....	46
Taulukko 7. Löystymisprosentit kentissä	55
Taulukko 8. Porattavuus.....	59
Taulukko 9. Lastauskoneiden kauhallisten keskimääräinen paino kentittäin.....	65

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössäni testataan elektronisia nalleja kallion irroitusräjäytyksessä Kevitsan avolouhoksella. Tuloksia verrataan käytössä oleviin impulssiletkunalleilla toteutettuihin räjäytyksiin. Lähtökohtana on saavuttaa paremmat kokonaistaloudelliset tulokset.

Tutkin työssäni räjähdyskenttien laatua eli kentän lohkaroitumista, siirtymistä, löyhtymistä ja lohkokokoa. Nämä parametrit liittyvät olennaisesti räjäytetyn kentän lastattavuuteen. Tämän asian parantaminen elektronisten nallien avulla on opinnäytetyöni pääaihe. Lisäksi tutkin myös muita tärkeitä asioita, jotka vaikuttavat onnistuneeseen räjäytykseen. Näitä ovat kentän poraus ja panostus, joita käsittelem myös laajasti työssäni.

Työn tavoitteen saavuttamiseksi räjäytetään yhteensä neljä kenttää. Molemmilla nallityypeillä räjäytetään kaksi kenttää, jotka ovat mahdollisimman samanlaisia keskenään vertailtavien kenttien. Niiden ominaisuuksista pitäisi ainakin kentän vapaiden purkautumissuuntien määrän oltava sama. Toiseksi kentissä olevan kallion laadun pitäisi olla lähellä toisiaan, jotta niiden vertailu olisi luotettavaa.

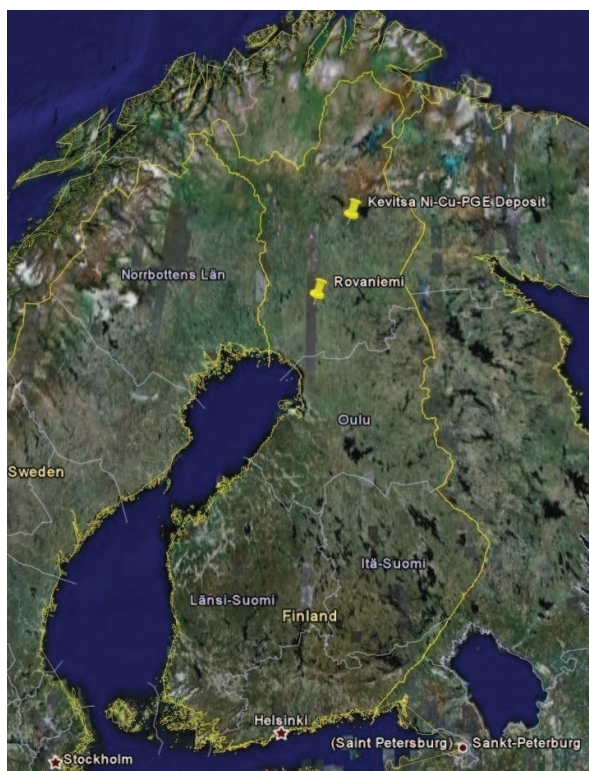
Kenttien sisällä voi olla eri kivilaatuja, jotka räjäytetään eri kasoille kentän sisällä. On taloudellisesti järkevää erottaa malmi ja sivukivi selvästi toisistaan jo tässä vaiheessa. Tämä voi kuitenkin heikentää lastattavuutta, joten tämä pitää huomioida työssäni.

Opinnäytetyöni toteutetaan tuotannon mukana. Tällöin kenttien tutkiminen suoritetaan tehokkaasti ja turvallisesti. Räjäytettyjen kenttien kasan profiili mitataan tutkimuksia varten.

2 AVOLOUHOS

2.1 Kevitsan monimetallikaivos

Kevitsan avolouhos sijaitsee Pohjois-Suomessa Sodankylän kunnassa (kuvio1). Esiintymä herätti ensimmäisen kerran geologista kiinnostusta jo yli 20 vuotta sitten. Suhteellisen alhaiset pitoisuudet ja mineralogian monimutkainen luonne aiheuttivat teknisiä haasteita, mutta nämä on pystytty ratkaisemaan modernien rikastusprosessien avulla. Tuotanto alkoi vuonna 2012 ja sen arvellaan kestävän noin 30 vuotta. Arvio louhittavan malmin määrästä on 166 Mt (Ni 0.27%, Cu 0.40%) ja sivukiveä 465 Mt.



Kuvio 1. Kevitsan kaivoksen sijainti (FQM Kevitsa Mining Oy)

Louhittu malmi kuljetetaan primäärimurskalle. Sieltä tuote kuljetetaan täryseulalle, joka erittelee keskikokoiset kivet (100–25 mm) hienomurskalle.

Seulalta menee suoraan välivarastoon yli 100 mm kivet jauhinkappaleiksi sekä alle 25 mm kivet.

Malmi siirretään autogeenimyllyihin, jossa kivi jauhaa itseään pieniksi partikkeleiksi. Sen jälkeen partikkelit kuljetetaan lietteenä vaahdotukseen tai takaisin myllyyn, mikäli partikkelit ovat vielä liian isoja.

Vaahdotuksessa lietteestä erotetaan halutut rikasteet, ensin kuparimineraalit ja sen jälkeen nikkelimineraalit. Lisäksi vaahdotetaan lopuksi muitakin mineraaleja, jotta saadaan pienennettyä rikastehiekan rikkipitoisuutta. Vaahdotuksessa hyvin pienet rikastepartikkelit saadaan nousemaan vaahtokuplien pinnalle. Tästä ne saadaan kerättyä talteen sakeutuksen ja suodatuksen avulla.

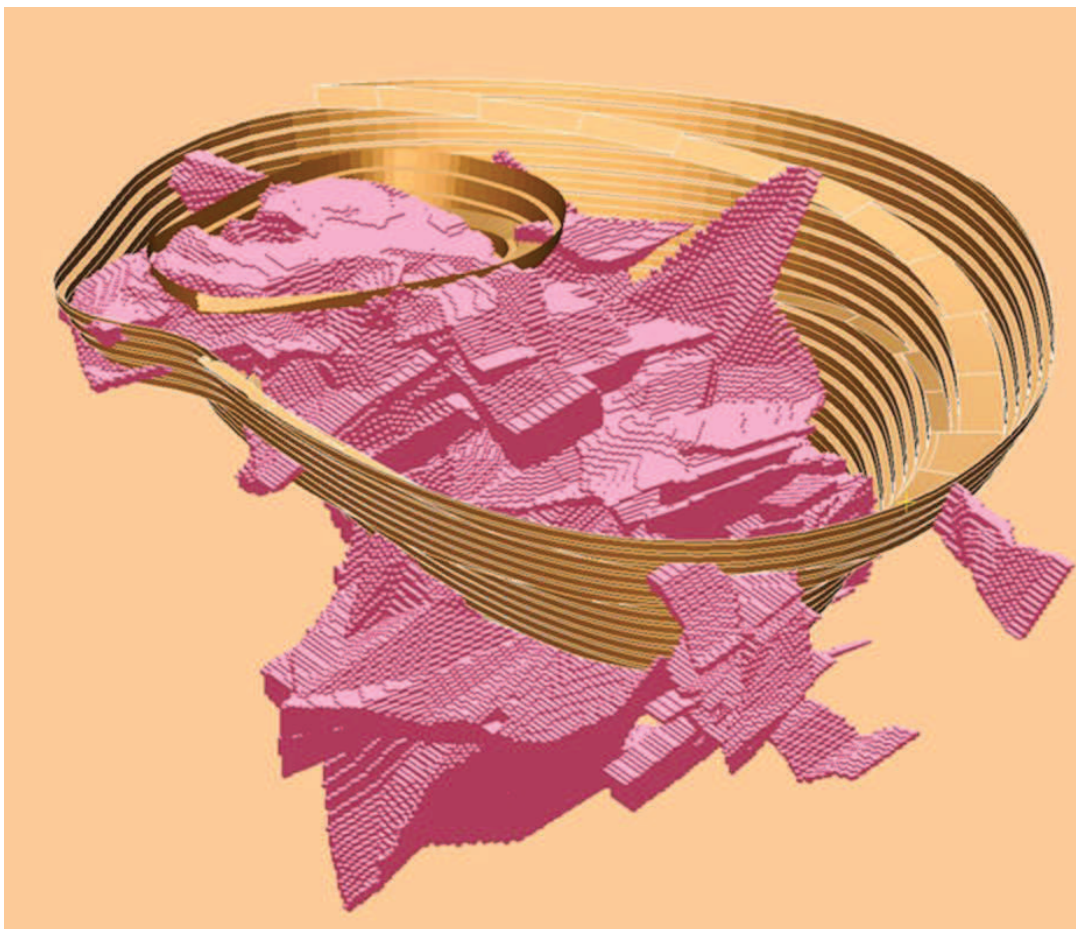
2.2 Avolouhoksen suunnittelu

Suunnittelu perustuu teknisiin tietoihin. Tärkein lähtötieto on malmiesiintymän geologinen malli. Siinä esitetään esiintymän geometriset jatkuvuudet, arvoainepitoisuudet sekä kivilajityypit. Se koostuu kaksiulotteisista pysty- ja vaakaleikkauksista eli kappalemalleista ja lohkomalleista, joita käytetään avolouhosoptimoinnissa. (Hakapää–Lappalainen 2011, 69.)

Malmiesiintymän tutkimisen alkuvaiheessa ovat maanpinnalta kairatut näytteet ainoa tieto esiintymästä. Lisäksi tarvitaan tietoa maaperäolosuhteista, kalliomekaanisista ja hydrogeologisista olosuhteista

täydentämään geologista mallia. (Hakapää–Lappalainen 2011, 69.)

Kevitsan malmin lohkomallin on esitetty kuviossa 2. Lopullisen louhoksen syvyys on 510 metriä.



Kuvio 2. Kevitsan ensimmäisen vaiheen ja lopullisen louhoksen malli (FQM Kevitsa Mining Oy)

2.3 Avolouhosoptimointi

Avolouhosoptimointi on työvaihe, jossa avolouhoksen lopullinen paikka ja muoto määrätään tulojen ja kustannusten tasapainon perusteella. Tähän tarvitaan lähtötiedoksi malmiesiintymästä luotu kolmiulotteinen lohkomalli, johon on jokaiseen lohkoon laskettu vähintään arvoainespitoisuudet. (Hakapää–Lappalainen 2011, 72.)

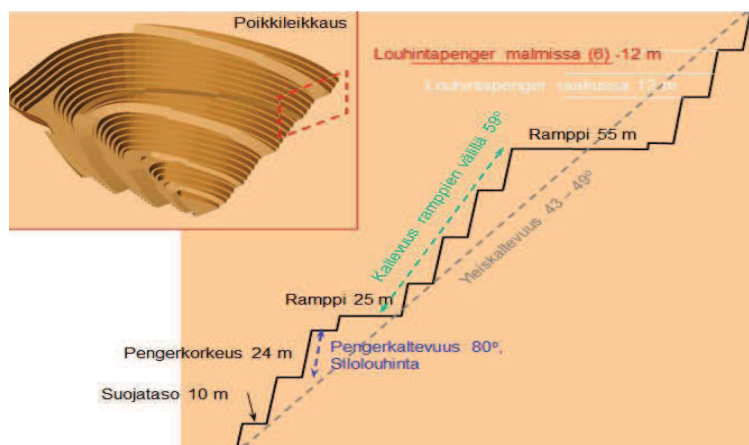
Lisäksi avolouhosoptimointiin tarvitaan avolouhoksen seinämäkaltevuus, malmin ja sivukiven irrotuskustannukset, lastauskustannukset, syvyyden mukaan muuttuvat kuljetuskustannukset sekä muut käyttökustannukset. Kustannustietojen lisäksi tarvitaan tiedot tulopuoleen vaikuttavista tekijöistä, ku-

ten metallien saannista rikasteisiin ja metallien hinnoista. (Hakapää–Lappalainen 2011, 72.)

Varsinainen louhos on suunniteltava näiden tuloksien perusteella valittuja suunnittelukriteerejä käyttäen. Tärkeimmät ovat louhoksen yleiskaltevuus, pengerkorkeus, porauskaltevuus, turvatasanteen leveys, ajotien leveys ja kaltevuus sekä minimilouhintaleveys. (Hakapää–Lappalainen 2011, 72.)

Louhoksen seinämien yleiskaltevuudet määräytyvät seinämien stabiliteettitutkimuksilla. Niissä arvioidaan etukäteen, kuinka jyrkät seinämät voi tehdä tutkittavaan kiveen. Jos tällaista ei ole, oletusarvona voi käyttää suomalaisessa kalliossa 45 astetta. Pengerkorkeus määräytyy malmion geometrian, tuotantotason sekä vaadittavan louhinnan selektiivisyyden perusteella. (Hakapää–Lappalainen 2011, 72.) Kevitsassa sopivaksi todettu pengerkorkeus on 24 metriä, joka louhitaan kahdessa 12 metrin tasossa, kuten kuviossa 3 on esitetty.

Louhoksen ajotien leveys määräytyy käytettävän ajoneuvokaluston perusteella. Lisäksi tulee suunnitella tilaa seinämän puoleiselle ojalle ja louhoksen puoleiselle turvapenkereelle. Turvapenkan korkeus on karkeasti puolet suurimman ajoneuvon renkaan korkeudesta. (Hakapää–Lappalainen 2011, 72.)



Kuvio 3. Avolouhoksen poikkileikkaus (FQM Kevitsa Oy)

3 KAIVOSGEOLOGIA

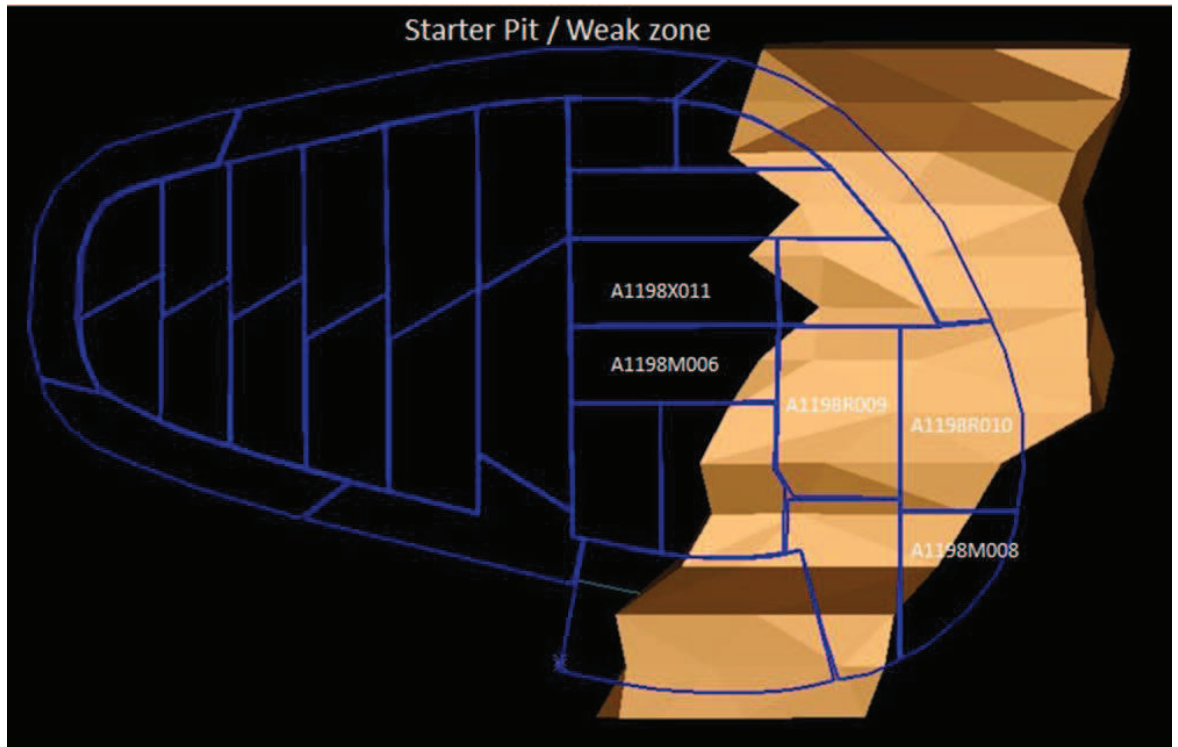
3.1 Kallion geologisten ominaisuuksien vaikutus louhintaan

Kallion geologia vaikuttaa räjäytystulokseen ja lohkokokoon merkittävästi enemmän kuin käytettävän räjähdysaineen laatu. Näitä tekijöitä ovat kallion puristuslujuus, vetolujuus, tiheys, aaltoliikkeen etenemisnopeus, kallion koivuus ja rakenteelliset ominaisuudet. (Vuolio–Halonen 2010, 110.)

Kivilohkareiden keskimääräinen tiheys Kevitsassa on 3170 kg/m³ ja keskiarvo yksiakseliselle puristuslujuudelle on noin 280 Mpa. Kivilaji on malmissa yleensä oliviinipyrokseniitti eli koostuu pääosin oliviini ja pyrokseenimineraaleista. Toinen yleinen kivilaji on oliviiniwebsteriitti. (FQM Kevitsa Mining Oy.)

Kevitsan ensimmäisen vaiheen louhoksen itäreunalla kulkee ruhjevyöhyke, joka on merkitty karttaan ruskeana kaistana kuviossa 4. Ruhjevyöhyke on kallioperän rikkonainen osa, joka voi vaikuttaa heikentävästi louhoksen seinämien pysyvyyteen.

Ruhjevyöhykkeen vaikutuksessa olevat kentät ovat lujuudeltaan heikompia kuin ympäröivät kentät. Tästäkin syystä valitsimme parettain vertailtaviksi kentiksi kaksi ruhjevyöhykkeellä olevaa kenttää A1198R009 ja A1198R10&M08. Toiseksi pariksi valitsimme peräkkäiset kentät A1198M006 ja A1198X011, jotka eivät pääosin sijaitse ruhjevyöhykkeellä.

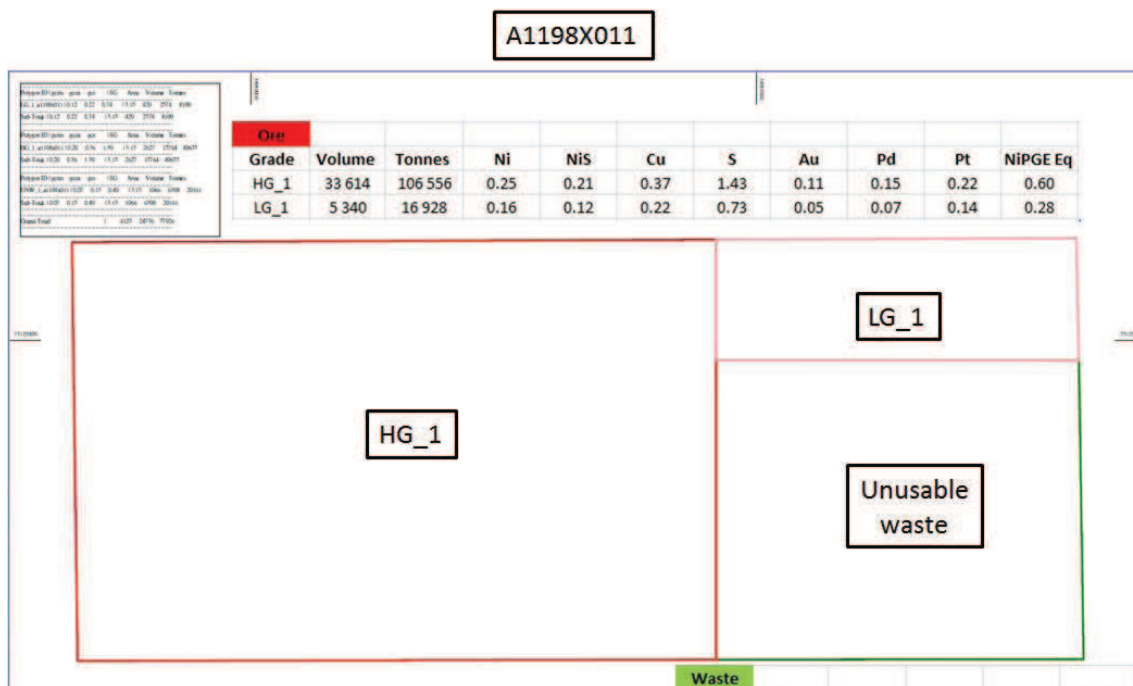


Kuvio 4. Kenttien sijainnit avolouhoksessa ja siinä kulkeva ruhjevyyöhyke (FQM Keivitsa Mining Oy)

3.2 Räjäytettävän kentän geologiset tiedot

Kaivosgeologisen tutkimuksen tehtävänä on kerätä ja esittää ne geologiset tiedot, jotka tarvitaan malmiesiintymän taloudellista hyväksikäyttöä varten. Louhinnan suunnittelu edellyttää laajoja ja tarkkoja tietoja tulevista louhinta-alueista. (Hakapää–Lappalainen 2011, 32.)

Kuvion 5 lastaussuunnitelmasta näkee kentän tärkeimmät pitoisuudet, kuten sulfidisen nikkelin (NiS) ja kuparin (Cu) sekä ekvivalentin, jossa kaikki arvometallit on laskettuna yhdeksi arvoksi. Ekvivalentti on kaikkein merkitsevin arvo. Se kertoo, kuinka paljon arvometalleja on yhdeksi arvoksi laskettuna, kun huomioidaan rikastusprosessi ja sulattamolta saatava tuotto.



Kuvio 5. Kentän A1198X011 lastausuunnitelma (FQM Kevitsa Mining Oy)

Lastausuunnitelmasta näkee myös, missä ja kuinka paljon materiaalityyppejä on. LG on matalapitoista malmia, HG on korkea-arvoista malmia ja unusable waste on rakentamiseen käyttökeltotonta sivukiveä. Lisäksi on olemassa kapseloitavaa kiveä ja usable waste on tarvekiveä, jota voidaan käyttää esimerkiksi murskeeksi.

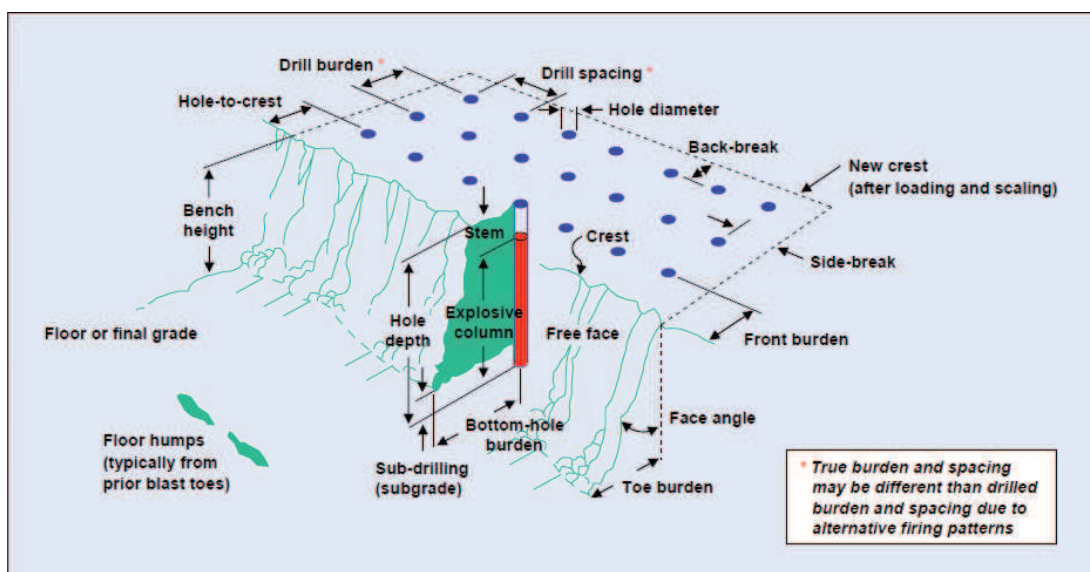
4 AVOLUOHINTAMENETELMÄ

4.1 Pengerloughinta

Kevitsassa käytetään avolouhintamenetelmänä pengerloughintaa. Räjähdyttämällä suoritettavaan pengerloughintaan kuuluvat seuraavat työvaiheet: irrotus (poraus ja räjäytys), rikotus sekä louheen lastaus ja kuljetus. (Hakapää–Lappalainen 2011, 93.)

Pengerloughinnassa edetään yleensä tasapaksuin penkerein (tasoittain) ylhäältä alaspäin. Tasot yhdistetään toisiinsa ajotein, joita pitkin malmi ja sivukivi kuljetetaan louheautoilla pois louhokselta joko murskaamoon tai läjitysalueelle. (Hakapää–Lappalainen 2011, 93.)

Kallion pinta paljastetaan ja suoritetaan tason avaus. Kallioon louhitaan, räjäyttämällä luiska, ja kun tämä luiska saavuttaa pohjatason, sitä laajennetaan ja varsinainen louhinta alkaa. Kun ensimmäistä tasoa on louhittu tarpeeksi laajasti, avataan uusi taso ja näin jatketaan haluttuun tasoon asti. (Hakapää–Lappalainen 2011, 93.)



Kuvio 6. Louhinnan sanastoa (Lisnerud 1999, 41)

Kuviossa 6

Etu (V) on drill burden.

Reikäväli (E) on drill spacing.

Pengerkorkeus (K) on bench height.

Porausreiän halkaisija (d) on hole diameter.

Panostettu osuus on explosive column.

Ohiporaus (Sd) on subdrilling.

Etutäyte (Ho) on stem.

Harja on crest.

”Kynsiä” on floor humps, toes.

Taka- ja sivukatko, ”ryöstö” on back- and side-break.

Rintauksen kulma on face angle.

Räjäytyskuvio on firing patterns.

4.2 Porattavuus

Kentän porattavuutta voi tarkistella poran tunkeutumisnopeudella, porareiän tukoilla ja poranterän kulumisella. Kaikkiin näihin liittyy olennaisesta kallion laatu. Tutkin tätä aihetta porareiden kanssa keskustelemalla ja seuraamalla kentällä porausta. Lisäksi laadin porattavuuden arviointilomakkeen porareille näiden testattavien kenttien osalta. Arviointilomake on liitteessä 1.

Kallion porattavuuteen vaikuttavat siis kallion geologiset ja kalliomekaaniset ominaisuudet, poraus- ja porakalusto sekä kaluston käyttötapa. Pääsääntöisesti karkearakeiset kivilajit ovat helpommin porattavia kuin pienirakeiset kivilajit. Kovat mineraalit, kuten kvartsi, kuluttavat poranterää enemmän kuin pehmeät. Sitkeät mineraalit ja kivien voimakas liuskeisuus vaikeuttavat myös tunkeutumisnopeutta. Kallion rakoilu aiheuttaa poikkeamia poraussuunnasta. Se lisää poran riskiä jumittua porausreikään. (Hakapää–Lappalainen 2011, 138.)

4.2.1 Poraus

Porauksen merkitys on hyvin suuri lopputuloksen kannalta. On sanottu, että porauksen merkitys on jopa 70 % onnistuneesta räjäytyksestä. Tästä syystä tutkin porausta tarkoin työssäni. Tärkeimpiä parametrejä ovat porareikien syvyys ja suoruus. Lisäksi myös romahtaneiden porareikien määrä ja sijainti vaikuttavat räjähdys tulokseen.

Reikien syvyysmittauksia suoritin yhdessä laaduntarkkailijoiden kanssa, yhteensä 790 porareikää. Suoritusmittauksia en tehnyt kuin silmämääräisesti, sillä suuren halkaisijan, 171 mm, omaavien porareikien vääntymät ovat hyvin vähäisiä. Kuviossa 7 on esitelty eri porausmenetelmiä. Kevitsassa on käytössä uppoporaus.

Yleensä kannattaa valita mahdollisimman suuri reikäkoko. Kun päätetään reikäkoon suuruudesta, pitää huomioida tuotannon tehokkuuden lisäksi myös ympäristön ja selektiivisen louhinnan asettamat reunaehdot. Tärkeimmät valintaan vaikuttavat asiat ovat: tuotannon mittakaava, käytettävissä oleva poraus-, lastaus- ja kuljetuskalusto, sallittu kappalekoko (esimurskain), louhinnan selektiivisyys ja ympäristön asettamat tärinärajoitukset. (Hakapää–Lappalainen 2011, 94.)



Kuvio 7. Porausmenetelmät; iskuporaus, uppoporaus, iskuporaus putkitankokalustolla ja kiertoporaus (Hakapää–Lappalainen 2011, 140)

4.2.2 Kevitsan porauskalusto

Kevitsassa käytetään tuotantoporausessa uppoporavaunuja, kolme kappaletta Atlas Copco SmartROC D65. Lisäksi on näytteenottoporaukseen yksi samanlainen poravaunu, joka on otettu tällä hetkellä otettu myös tuotantoporaukseen. Porakruunujen halkaisija on 171 mm, poraputken halkaisija on 114 mm ja sen seinämän vahvuus on 6,3 mm. Seinämän vahvuuden voisi nostaa 8 mm, jotta poraputket kestäisivät paremmin. Poraputken yhden kangen pituus on 6 metriä.

Kuviossa 8 poravaunu on todennäköisesti saavuttanut veden porareiässä. Tällöin vaunun imuri täytyy sammuttaa tai porari haluaa puhdistaa reikää irtokivistä paineilman avulla, jolloin imurin ”hattu” on poissa reiän päältä ja hieno soijapöly pääsee purkautumaan reiästä.



Kuvio 8. Atlas Copco SmartROC D65, Diesel 540 hv, paino 22.6 t, 171 mm porakruunu (FQM Kevitsa Mining Oy)

Näiden neljän uppoporavaunun lisäksi on vuokrattu radio-ohjattava ketterämpi päältälyövä porakoneella varustettu porauslaite ROC D9RRC, kuvio 9, jonka porakruunun halkaisija on 76–115 mm. Porauslaitteen paino on 13 200 kg. Sen ylettymä on parempi, kaksiosaisen puomin ansiosta ja se on fyysisiltä mitoiltaan kompaktimpi paketti kuin tuotantoporausvaunu.



Kuvio 9. ROC D9RRC, porakruunu 89 mm (FQM Kevitsa Mining Oy)

Porakruunun pallonastat ovat halkaisijaltaan 16 mm, ja niiden teroitus on keskimäärin 4–8 tunnin välein, riippuen porattavan kallion kovuudesta. Tällöin pallonastojen suunnitelluksi teroitusväliksi tulee noin 80–100 metriä. Kuviossa 10 on teroitettu porakruunu. Kruunujen runkojen kulumisen voi johtua porareian pohjalla kovassa paineessa pyörivästä soijasta, joka voi syövyttää porakruunua kuin hiekkapuhallus.



Kuvio 10. Porakruunu 171 mm (FQM Kevitsa Mining Oy)

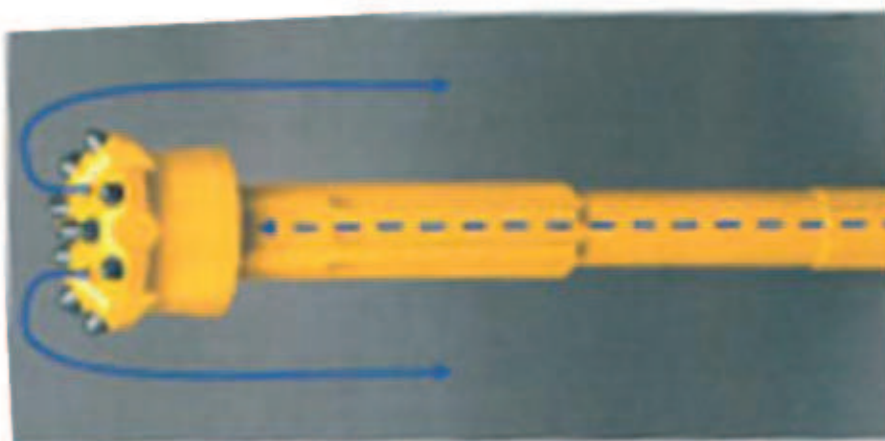
4.2.3 Tuotantoporaus

Tuotantoporat tunkeutuvat 26–30 barin paineella alaspäin iskuvasaran ansiosta. Ilmanpaine kulkee kankiletkaa pitkin vasaralle, jossa mäntä iskee suoraan porakruunun päähän. Eli porakone seuraa mukana reikää, ja jatkotankojen liitosten energiahäviöt poistuu. Pyöritys välittyy poraputkien avulla erilaisella pyöritysmoottorilla.

Porauksen tehokkuuteen vaikuttaa oleellisesti myös porausjätteen eli soijan poistaminen reiän pohjalta. Tämä toteutetaan paineilman avulla, joka tulee huuhtelureiän kautta, ilma nousee soijan tankojen ja reiän seinämän välisestä tilasta pois, kuvio 11. Valitettavasti myös kallion ruhjeisiin ja halkeimiin karkaa tätä painetta, joka hankaloittaa reiän puhdistamista soijasta.

Tuotantoporausessa maksimi tunkeutumisnopeus on noin 1,5–2,0 metriä/minuutti ja miniminopeus on noin 0,3 metriä/minuutti. Porakruunun pyöri-

misnopeus pitää kuitenkin olla sopiva, että nastat ehtivät syödä kalliota. Poranterän pitää kohdata reiän pohjan aina uudessa kohdassa joka iskun jälkeen. Tätä voi tarkkailla soijan karkeudella.



Kuvio 11. Huuhtelun periaate (Hakapää–Lappalainen 2011, 140)

4.2.4 Porareiän romahtaminen ja vesihuuhtelu

Porareiän romahtaminen johtuu yleensä porattavan kentän päällä olevan irtokiven vaikutuksesta ja myös kallion ruhjeisuudesta. Näistä sortuu kiviainesta porareikään, mikä tukkii reiän osittain tai jopa kokonaan. Sortuminen tapahtuu yleensä porakangen vaihtamisen tai porakangen pois vetämisen yhteydessä. Vaihtaminen tulisi tehdä paineiden vähittäisellä laskemisella porareiässä, eikä kerralla, sillä tällöin kiviaines voi sortua reikään.

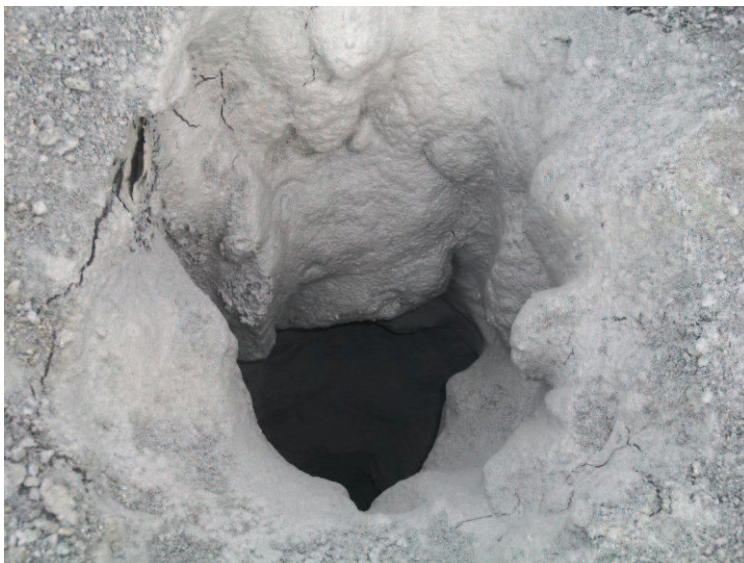
Veden vaikutus porattavuudessa näkyy myöskin tukkoreikänä. Mikäli kallio on rikkonaista, sortuminen tapahtuu helpommin. Kun porakangi vedetään pois reiästä, niin tällöin vesipatsas laskeutuessaan huuhtoo irtokivet takaisin reikään. Myös porareiän pohja liejuuntuu paineen poistuttua reiästä kangen mukana. Veden ollessa porarei'issä olisi tärkeä, että kentän päällä olisi mah-

dollisimman vähän irtokiveä. Kuitenkin niin, että kentällä voi liikkua, eikä se ole liian epätasainen.

Mikäli porareiässä on vettä, tällöin ei voida käyttää poravaunun imuria, joka imee soijan pois reiästä. Liejuuntunut soija tukkii imuputket, karkean soijan säiliön sekä imurin päässä olevat paperisuodattimet. Tällöin voi joutua poraamaan reiän reilusti ylipitkäksi (1,5 metriä), koska liejuuntunut soija valuu takaisin reikään maan pinnalta ja kallion ruhjeista. Tätä voidaan yrittää estää puhdistamalla reikää tarpeeksi usein vasaran paineilman avulla ja yrittämällä saada heitettyä liejua kauemmas reiän läheisyydestä. Tällöin imurin ”hattu” pitää olla nostettuna ylös. Tämä on hitaampaa, mutta mahdollinen yliporaus pienenee ja mahdollisuus porakangen jumittumisesta reikään pienenee.

Vesihuuhtelu on yksi keino porareiän auki pysymiseen. Tässä tapauksessa poravaunusta syötetään paineilman sekaan vähän vettä poravasarelle. Reiän reunoille muodostuu tällöin tiivis soijamassa korkean paineilman avulla, joka estää kivien romahduksen reikään. Jos se onnistuu oikein hyvin sitä voisi verrata jopa ruiskubetonointiin. Kuviossa 12 on esitetty vesihuuhtelun avulla tuettu porareikä. Vesirei'issä tätä menetelmää ei voi käyttää.

Veden syöttämisessä pitää olla tarkkana, ettei sitä syötä liikaa, jolloin soija liejuuntuu eikä muodosta kestävästä kerrosta reiän reunoille. Sopivasti säännöstelemällä reiästä pitäisi nousta höyryä, jolloin muodostuu oikeanlainen soijaseos, joka tukkii myös mahdolliset ruhjeet porareiässä. Talviolosuhteissa tämä on hankala toteuttaa, sillä poravaunu pitäisi olla käynnissä koko ajan, jotta vesisäiliö pysyisi sulana koko ajan poravaunun peräosassa.



Kuvio 12. Vesihuuhtelu (FQM Kevitsa Mining Oy)

4.3 Lastattavuus

Lastauksen tehokkuudella on merkittävä vaikutus kaivoksen tuotantoon ja siten myös suuri taloudellinen vaikutus. Suurien koneiden ylimääräinen käyttö on erittäin kallista ja huonosti lastattavissa oleva räjäytetty kivikasa voi aiheuttaa jopa 40 % tehohävikin lastattavuudessa. Tämä johtuu pidemmistä kuormausajoista, ylisuurten lohcareiden rikotuksesta ja myös itse koneiden rasituksesta johtuvasta kulumisesta.

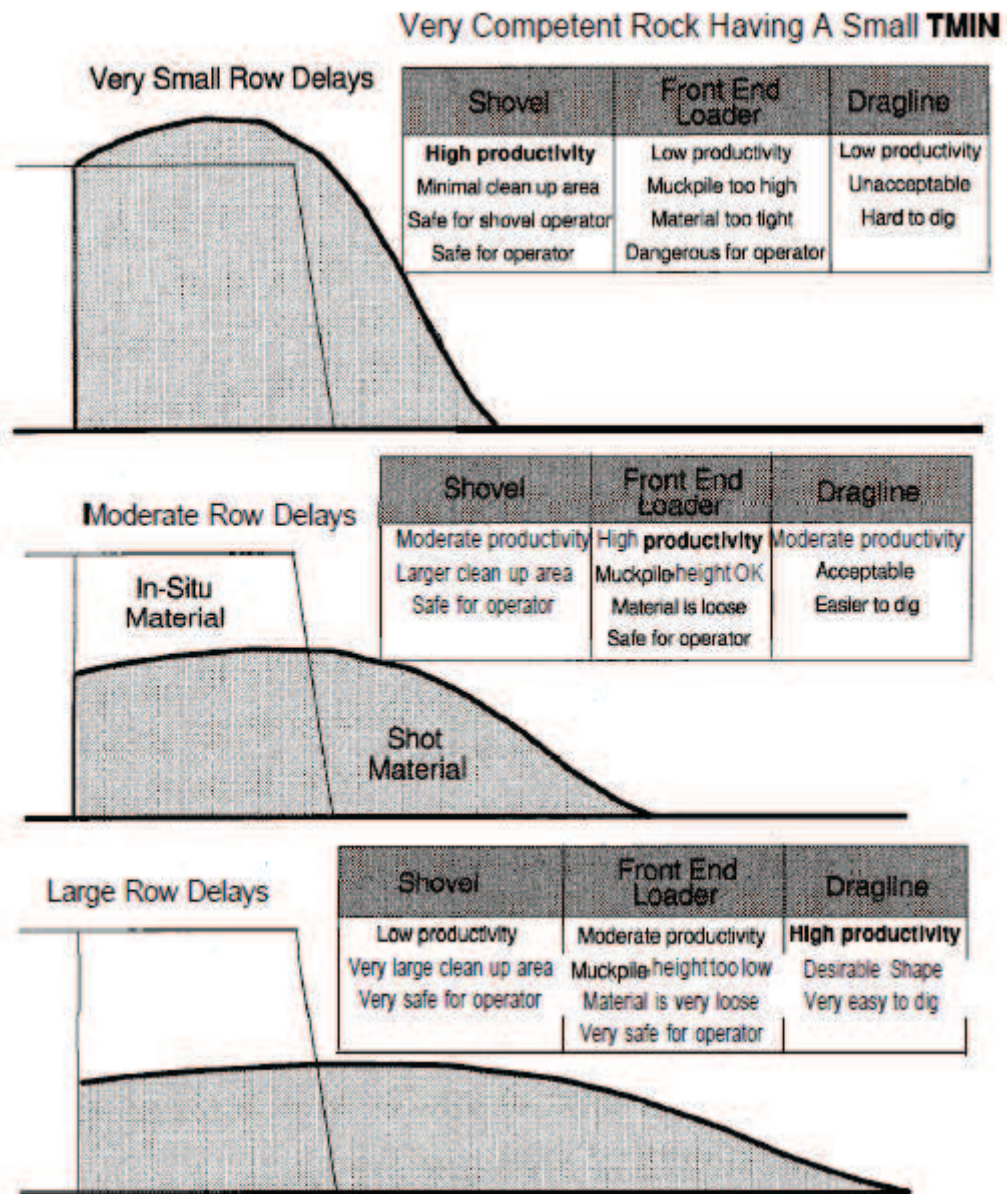
Lastauksen pitäisi olla sujuvaa ja tehokasta. Tähän vaikuttaa oleellisesti kivikasan louheen lohcarekoko ja kasan löyhtyminen. Lohkarekoko tulisi olla sopivan kokoista, jotta kauhan täyttymisaste olisi mahdollisimman suuri. Toisaalta louheen ei saa olla aivan hienojakoista, sillä tuotanto tarvitsee jauhatukseen myös isompia lohcareita. Optimaalinen koko esimurskalle olisi, että 80 % lohcareista olisi halkaisijaltaan pienempiä kuin 460 mm ja loput 20 % olisi halkaisijaltaan 460–1000 mm. Esimurskaimena toimii Sandvikin karamurskain CG820, 450kW. Ylisuuret lohcareet joudutaan joko räjäyttämään uudestaan louhoksella tai rikkomaan hydraulisella vasaralla välivarastokasalla.

Räjäytetyn louhekasen tehokas lastaus onnistuu, kun kasa on löystynyt tason pohjasta asti tarpeeksi. Silloin kivilohkareet ovat siirtyneet eri asentoon toisiinsa nähden, eivätkä ole tiivistä päällekkäin. Kasan tulee liikkua tarpeeksi myös eteenpäin, jotta saadaan aikaan tarpeeksi löystymistä. Muoto on myös tärkeä, kasan ei tule olla liian korkea lastauskoneeseen verrattuna. Suurimmillaan kivikasan korkeus saa olla lastauskoneen puomiston maksimikorkeuslottomuudella, mielellään 75–80 % tästä korkeudesta.

Kasan muodon vaikutus käytettävän lastauskoneen tehokkuuteen on esitetty kuviossa 13. Kaivinkoneelle ja pyöräkuormaajalle on erilainen kasan muoto tehokkaampi lastauksen kannalta.

Louhekasen pohjan tasaisuus on myös tärkeä lastattavuuden kannalta. Pohjassa ei saisi esiintyä ”kynsiä”, jotta lastauskoneella on helppo ja nopea ta-soittaa pohja itselleen ja lastattaville kiviautoille.

Lastattavuutta arvioin lohkaroitumisen kuvaamisella, lastauksen ja kuljetuksen automaattisen seurantajärjestelmän Ivolven sekä arviointilomakkeiden avulla. Lastattavuuden arviointilomake on liitteessä 2.



Kuvio 13. Erilaisten rivihiidasteiden ja kivikasan muodon vaikutuksen merkitys optimaalisen lastauskoneen käytön kannalta; kaivinkone, pyöräkuormaaja ja laaha-kaivinkone (Chiappetta 2001, 16)

4.3.1 Kevitsan lastaus- ja kuljetuskalusto

Lastauskalustona käytetään yleensä hydraulista kaivinkonetta ja pyöräkuormaajaa. Se kumpi valitaan, riippuu lastattavasta materiaalista, räjäytyskasan muodosta ja louhintaoperaation suuruudesta. Kun kaivos on jatkuvassa tuotannossa ja materiaali lastataan erilliseen liikkuvaan kuljetusvälineeseen, silloin on järkevää valita pääasialliseksi lastauskoneeksi kaivinkone. Lisäksi on hyvä olla pyöräkuormaaja kaivinkoneen apuna tasojen siivoamiseen ja louhekan valmisteluun sekä pienempien kenttien lastaukseen. (Hakapää–Lappalainen 2011, 184.)

Kevitsan päälastauskoneena toimii pistokauhalla varustettu Komatsun PC 5500 kaivinkone. Kauhan tilavuus on 26 m³. Käytännössä kauhaan voi saada jopa 60-70 tonnia kiveä kerralla. Se toimii 6 kV sähkömoottorilla ja painoa on 550 tonnia.

Koneella lastataan yhdelle puolelle penkereen edestä, kuten kuviossa 14. Sähkömoottorin etuina on taloudellisuus ja ekologisuus, mutta koneen siirreltävyyden on aika hidasta raskaan kaapelin takia. Koneessa itsessään on noin 300 metriä kaapelia kelalla, mutta sen siirtämiseen pois räjäytysten tieltä on silti työlästä. Siirtämiseen tarvitaan lisäkaapeleita ja välille sähkökeskuksia, joten sen siirtoon saa varata aikaa ainakin kolme tuntia. Kaivoksen louhoksen laajentuessa tilanne paranee, kun kaivinkone voidaan siirtää turvallisen matkan päähän louhoksen sisällä, niin ettei sitä tarvitse ajaa pois ”montusta”.

Yhdelle puolelle lastattaessa lastauskone ottaa ensimmäisen kauhallisen penkan alaosasta lastausalueen kauimmaisesta reunasta hyödyntäen ajoneuvon vaihtoon kuluva aika. Seuraavat kauhalliset otetaan mahdollisimman läheltä kiviautoa ja aloittaen penkan yläosasta. Näin saadaan minimoitua kaivinkoneen kääntöön ja puomin nostoon kuluva aika ja pidettyä lastaus sykli mahdollisimman nopeana. (Hakapää–Lappalainen 2011, 186.)

Kevitsassa on yhteensä kahdeksan kappaletta Caterpillarin valmistamaa louhosautoa. Kuusi niistä on dieselmekaanisella voimansiirrolla varustettua CAT 793F -louhosautoa, kantavuus 225 tonnia ja kaksi dieselsähköisellä voimansiirrolla varustettua CAT 795F -louhosauto, kantavuus 275 tonnia (313 t).

Dieselsähköisessä järjestelmässä dieselmoottorin teho muutetaan sähköksi, joka siirtyy navoissa oleville sähkömoottoreille laitteen liikuttamiseen. (Hakapää-Lappalainen 2011, 188.)



Kuvio 14. Komatsu PC 5500 lastaa, raideleveys 7,5 metriä ja ohjaamon korkeus 8,5 metriä (FQM Kevitsa Mining Oy)

Toisena lastauskoneena käytetään Komatsun WA 1200 pyöräkuormaajaa, kuvio 15. Sen kauhan tilavuus on 20 m^3 ja oma paino on 205 tonnia. Sen voimalähteenä toimii 1715 hevosvoiman dieselmoottori. Pyöräkuormaajan liikkuvuus on paljon parempi, mutta sen rakenteella ei saada niin suuria kaivuvoimia kuin pistokauhalla varustetulla kaivinkoneella. Lisäksi Kevitsaan on tilattu vielä isompi kaivinkone PC 8000, jonka kauhan tilavuus on jopa 36 m^3 .



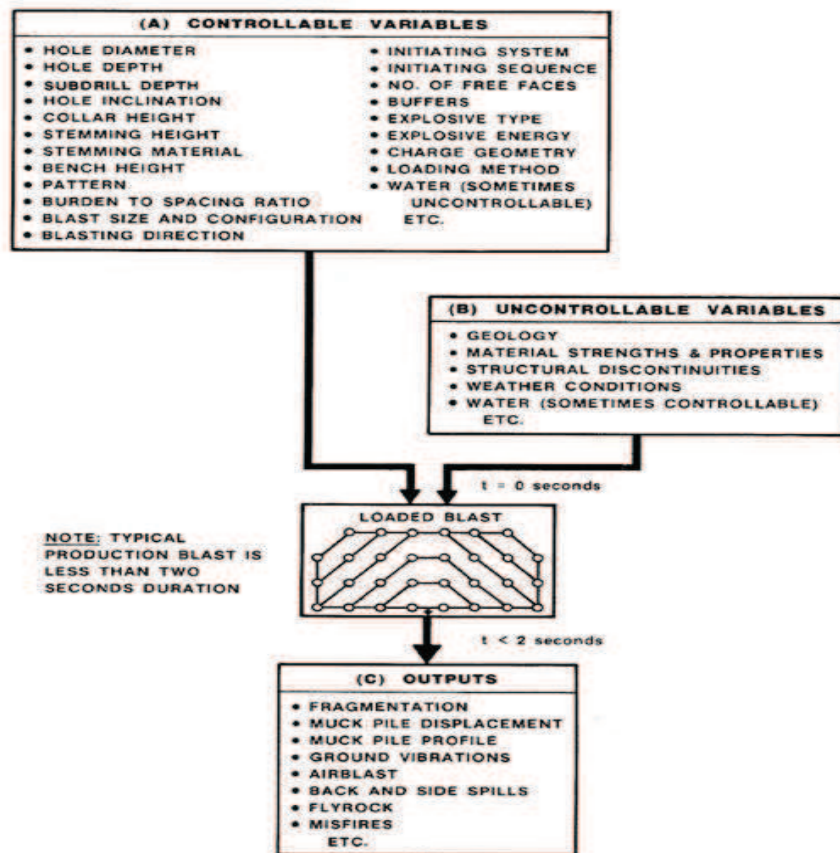
Kuvio 15. Pyöräkuormaaja lastaa malmia välivarastolla, raideleveys 5,7 m, ohjaimon korkeus 6,9 m, pituus 18,2 m (FQM Kevitsa Minig Oy)

5 RÄJÄYTYSTYÖT

5.1 Räjättyksen suunnittelu

Kallion lohkaroituminen ja kallion sopivan pitkä siirtäminen eli heitto ovat tärkeimpiä asioita irroitusräjäytyksessä. Räjätystulokseen vaikuttavat monet tekijät, kuten kallion geologiset ominaisuudet, käytettävän räjähdysaineen ominaisuudet, räjähdysgeometria eli reikien purkautumiskulmat vapaan edun suuntaan sekä sytytysvälineet/aikavälit räjähtävien reikäpanosten kesken. (Vuolio–Hälonen 2010, 101.)

Räjättyksen suunnittelussa pitää ottaa huomioon lukuisat eri muuttujat. Kuviossa 16 on esitetty muuttujia, jotka vaikuttavat räjätyksen tulokseen.



Kuvio 16. Räjättykseen vaikuttavat tekijät. (Chiappetta–Borg 1983, 310)

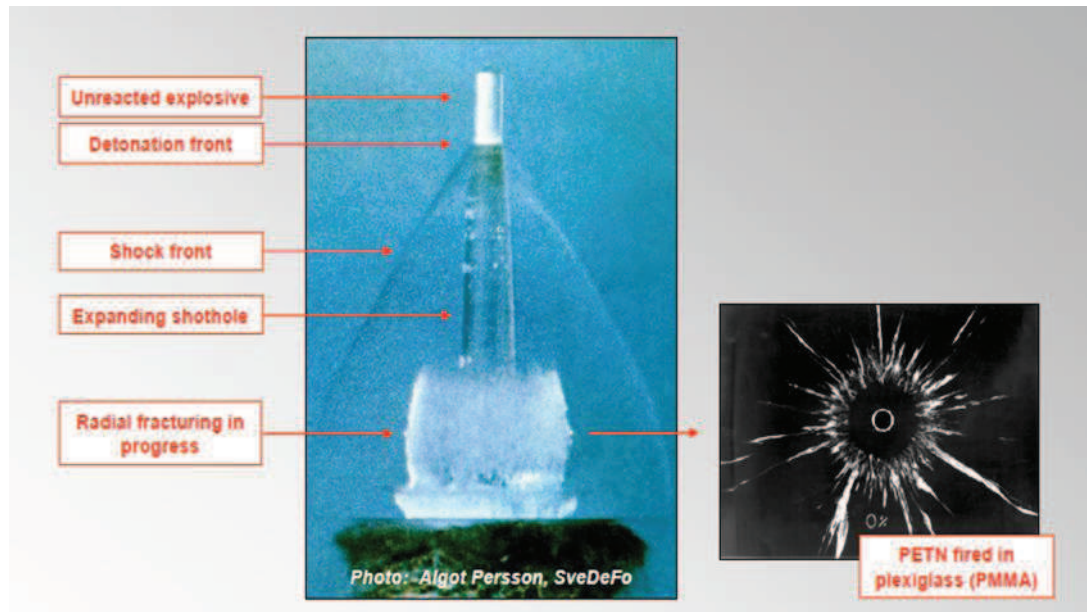
5.1.1 Räjähdyksen eteneminen

Kallion irtoaminen räjähdyksessä sisältää kolme eri vaihetta. Ensin räjähdyksestä syntyvä iskuaalto kulkee kallion läpi nopeudella 3000–6000 m/s. Tämä nopeus vastaa 0,15–0,30 millisekuntia edun metriä kohden. Nopeuteen vaikuttavat eniten kallion geotekniset ominaisuudet. Iskuaallon aiheuttama paine synnyttää porausreiän reunoihin tangentiaalisia jännitystiloja. Paineaallot eivät irrota kalliota, mutta murskaavat sitä 1–5 kertaa porausreiän säteen suuruiselta alueelta ja aiheuttavat mikroskooppisia rakoja, jotka helpottavat kallion rikkoutumista seuraavassa vaiheessa. (Vuolio–Halonen 2010, 101.)

Iskuaalto saapuu vapaaseen kallionpintaan tai kallion rakoihin, jolloin se heijastuu näistä pinnoista, ja puristusjännitystila muuttuu vetojännitystilaksi. Tutkimukset ovat osoittaneet, että aallonnopeus on heijastumisen jälkeen 500–2000 m/s tai 0,5–2,0 millisekuntia edun metriä kohden. Tämä toisen vaiheen jännitystila aiheuttaa pieniä usein reiän keskeltä alkavia säteittäisiä rakoja. (Vuolio–Halonen 2010, 101.)

Normaalilouhinnassa, jossa ominaispanostus luokkaa 0,3–2,0 kg/m³. Kallion irtoaminen tapahtuu huomattavasti hitaammin kuin iskuaalto. Räjähdyslämmön laajentamat räjähdyskaasut tunkeutuvat rakoihin, laajentavat niitä ja samalla kallio liikkuu vapaata pintaa kohden. Tästä liikkeestä ja kaasun purkautumisesta johtuen porausreiässä oleva paine laskee, vetojännitys halkeamissa kasvaa, joten halkeamat lisääntyvät ja kalliomassa liikkuu. Useat halkeamat ulottuvat vapaaseen pintaan asti ja kallio irtoaa. Normaalisti irtoavan kallion nopeus on 20 m/s. (Vuolio–Halonen 2010, 101.)

Räjäytyksestä vapautuvasta energiasta vain 20 % kuluu kallion siirtymiseen ja rikkoutumiseen, loput purkautuvat ilmaan. Kuviossa 17 on esitetty räjähdyskulkun kulku.



Kuvio 17. Räjähdyksen mekanismi (Lisnerud 1999, 43)

5.2 Räjähdyksen teho

Räjähdystekniisiä ominaisuuksia ovat räjähdysnopeus, räjähdysvälitys, pannotusaste (kg/m), kaasutilavuus, räjähdyslämpö, voima/painoyksikkö ja voima/tilavuusyksikkö. (Vuolio–Halonen 2010, 64.)

Räjähdysnopeus kuvaa nopeutta, jolla ohut reaktiorintama etenee aineen läpi. Pintapanosten käyttö perustuu käytettävän räjähdysaineen suureen räjähdysnopeuteen. Reikäpanoksissa räjähdysen etenemisestä johtuva isku-aalto aiheuttaa alkumurtumia porausreiän seinämissä. Sen jäljessä tuleva kaasun paineaalto tekee varsinaisen irrotuksen. Räjähdysnopeus ei ole kaikissa olosuhteissa vakio, vaan vaihtelee huomattavasti sytytystavasta, pannotustiheydestä, patruunan läpimitasta, lämpötilasta ja säilytysajasta riippuen. (Vuolio–Halonen 2010, 64.)

Räjähdyvälityksellä on suuri merkitys. Se kuvaa suurinta etäisyyttä, jolla räjähdys etenee räjähdysainekappaleesta toiseen. Patruunan halkaisijan suureneminen lisää välityskykyä huomattavasti. Kovalla pakkasella räjähdysvälitys pienenee sitä enemmän, mitä pienempi dynamiitin sisältämä räjähdysöljypitoisuus on. Jauhemaisten varmuus- sekä emulsioräjähdysaineiden välityskykyyn eivät lämpötilan vaihtelut vaikuta. (Vuolio-Halonen 2010, 64.)

5.2.1 Panostusaste

Panostusaste tarkoittaa porausreikämetrillä olevaa ainemäärää (kg/m). Mitä suuremmaksi panostusaste saadaan eli mitä enemmän se lähestyy räjähdysaineen ominaispainoa, sitä voimakkaampi on räjähdysaineen teho porausreiässä. Suuri panostusaste on erittäin tärkeä pohjapanoksissa ja vedenalaisissa louhinnoissa, jotta kallio irtoaisi pohjia myöten eikä sinne jäisi ”kynsiä”. (Vuolio-Halonen 2010, 64.)

Esimerkki 1.

Panostusasteen määrittäminen. Porareian halkaisija on 171 millimetriä. Emulsioräjähdysaineen Fortis™ Advantage 100 tiheys on porareiaässä keskimäärin 1,15 kg/dm³.

Panostusaste (l_b) $= \pi r^2 \times h \times 1,15 \text{ kg/dm}^3 = (\pi \times (0,0855 \text{ m})^2 \times 1000 \text{ mm} \times 1,15 = 26,41 \text{ kg/m}$.

Kun panos sytytetään reiän yläpäästä, on mahdollista, että räjähdys katkeaa. Tämä johtuu siitä, että reiän pohjalla oleva räjähdysaine puristuu tiheämmäksi kuin räjähdysessä syntyvien kaasujen tiheys, jolloin räjähdysaalto ei voi edetä aineessa. (Vuolio-Halonen 2010, 66.)

Kallion räjäytyksissä on erittäin tärkeä tietää, kuinka suuri panostusaste saavutetaan räjähdysaineelle. Paremman murskaavan ja leikkaavan vaikutuksen

aikaansaamiseksi panostusasteen suuruus on hyvin merkittävä tekijä. Panostusasteen (kg/m) ja samalla panostustiheyden (kg/dm^3) kasvaessa suurenee räjähdysnopeus. Kasvattaessa panostustiheyttä pohjapanoksessa lisääntyy räjähdysaineen kiveä irroittava vaikutus. Tällöin voidaan kasvattaa etua ja reikäväliä, ja se saa aikaan huomattavia säästöjä porauskustannuksia. (Vuolio–Halonen 2010, 67.)

Kaasutilavuus ja räjähdyslämpö vaikuttavat siihen, että vapautuva lämpö laajentaa syntyvät kaasut. Mitä suurempi kaasutilavuus on ja mitä kuumemmiksi kaasut räjähdyksessä saadaan, sitä voimakkaampi on kaasupaineaallon vaikutus eli räjähdysaineen suorittama työ. Lämpölaajenemissa 30–40 prosenttia lämmöstä muuttuu mekaaniseksi työksi. Voima/painoyksikkö (s) on räjähdysaineen räjähdysaineen kuvaava suhdeluku, joka saadaan räjähdyksessä syntyvien kaasujen määrän ja lämpömäärän perusteella. Voima/tilavuusyksikkö saadaan kertomalla voima/painoyksikkö panostustiheydellä. Se kertoo verrannollisen kuvan eri räjähdysaineiden tehosta panostetussa porausreiässä. Nykyisin otetaan tarvittavaa ominaispanostusta (kg/m^3) määrittäessä voima/painoyksikön lisäksi huomioon myös räjähdysaineen hyötysuhteen vaikutus, joka perustuu käytännön kokemukseen. (Vuolio–Halonen 2010, 67.)

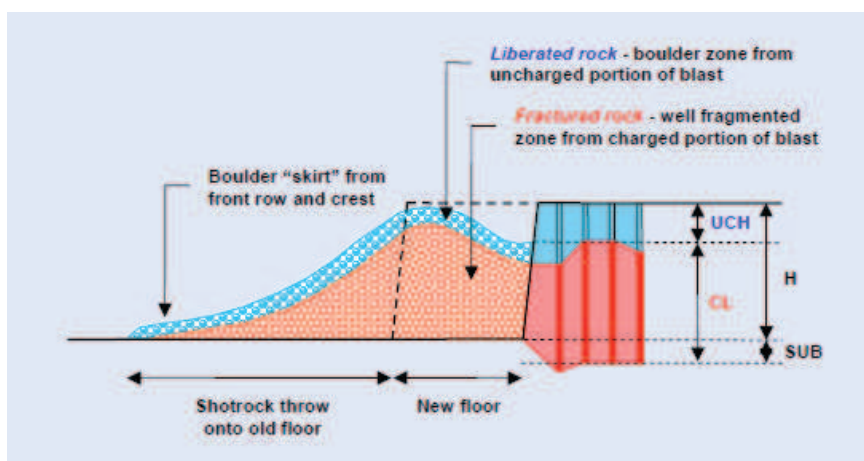
5.3 Räjähdysten tulos

Räjähdyksessä räjäytettävä kenttä siirtyy ja saa uuden profiilin. Kallio pirstoutuu ja turpoaa eri olomuotoon, jolloin louheen lastattavuus on mahdollista. Kivikasan tulisi turvota huomattavasti ja rikkoontuneiden kivien liikkuu kunnolla, jotta lastattava rinta olisi tarpeeksi kuohkea eikä tiukasti kiinni oleva. Huonossa vaihtoehdossa räjäytettävä kenttä jää ”lukkoon” eli se ei liiku ollenkaan, eikä sitä voi lastata. Räjähdystulosten tallentaminen ja analysointi on hyvin tärkeä työssäni, jossa siis vertaillaan näiden kahden erilaisten räjähdysten hyötyjä. Lisäkustannukset on tasoitettava saavutetuilla hyödyillä, ku-

ten kuormaustehon nousu ja optimaalinen lohkaroko hyödyttää myös louheen jatkokäsittelyä.

Kivikasan päälle muodostuu kentän panostamattomasta osasta (etutäyte=UCH) isompaa lohkar kokoa, kuten kuviossa 18 on esitetty. Tätä voidaan pienentää ohiporaamalla (SUB) ylemmällä tasolla olevaa edellistä kenttää. Kun aloitetaan avolouhusta tämä ei ole kuitenkaan mahdollista, koska ylempää kerrosta ei ole vielä olemassa. Lisäksi kallion pinnan luonnollinen halkeilu ja ruhjeet muodostavat ensimmäisessä tasossa ylisuuria lohkarkeitä. Alemmilla tasoilla pinnan ylisuuria lohkarkeitä voidaan pyrkiä vähentämään ohiporauksella.

Ohiporauksen päätarkoitus on saada räjäytettävä kenttä haluttuun syvyyteen. Tämä toteutetaan poraamalla reiät syvemmälle kuin kentän pohjan taso, sillä reikien väleihin jää korkeampia kumpareita, ja reiän pohjalle syntyy kuoppa. Näiden muodostuneiden kumpareiden yläpinta tulee olla kentän pohjan kanssa samalla tasolla, ja reikien kohdan kuopat täyttyvät irtoluoheella. Näin saadaan tasainen pohja uudelle tasolle oikeaan korkoon, jota pitkin poravainut ja muukin kalusto voi liikkua. Käytännön testit ovat osoittaneet, että täällä Kevitsassa 1,4 metrin ohiporaus on hyvä pohjan tasaisuuden ja ylisuurien lohkarkeitä välttämiseksi. Porareian pituus (H) eli penkan tavoitekorkeus on 12 metriä.



Kuvio 18. Kentän olomuodon muutos räjähdysen jälkeen. (Lisnerud 1999, 83)

6 RÄJÄHDYSAINHEET JA SYTYSVÄLINEET

6.1 Emulsioräjähdysaineet

Suomessa on otettu käyttöön ensimmäiset emulsioräjähdysaineet 1980-luvulla. Niiden yksinkertaistettuna peruseriaatteena on ammoniumnitraatti/vesiliuoksen ja öljy/vahaseoksen emulgoiminen joko vesi-öljyssä- tai öljyvedessä -matriisiksi. Herkistys tehdään hyvin pienillä kemiallisesti aikaansaatavilla kaasukuplilla tai mikropalloilla, joiden läpimitta on noin 0,1 millimetriä. (Vuolio–Halonen 2010, 22.)

Emulsioräjähdysaineiden valmistus vaatii erittäin tarkkaa tuotantotekniikkaa ja raaka-aineiden tasalaatuisuutta, jotta lopputuotteen laatu saataisiin hyväksyttäväksi. Niiden etuna on mahdollisuus muunnella räjähdysaineen tehoa ja syttymisherkkyyttä. Lisäksi niillä on myös erittäin hyvä vedenkestävyys, korkea ja stabiili räjähdysnopeus, sekä ne ovat käsittelyvarmoja. Räjäytyksessä muodostuvat kaasut ovat melko myrkyttömiä, johtuen lähes täydellisestä palamisesta. Emulsioräjähdysaineet sisältävät vettä, ja niillä on rajoitettu pakka-kestävyys, mutta Suomen oloihin tehdyt emulsiot toimivat varsin alhaisissaakin lämpötiloissa. (Vuolio-Halonen 2010, 22.)

Emulsioräjähdysaine pumpataan suoraan säiliöautosta porareikään. Pumpausteho on noin 120-150 kg/min ajoneuvosta riippuen. Kuviossa 19 emulsioräjähdysaine johdetaan suppilosta letkua pitkin porareikään, herkistyminen tapahtuu vasta poranreiässä.



Kuvio 19. Emulsioräjähdysaine Fortis™ Advantage 100 (Orica Finland Oy 2013)

6.2 Dynamiitit

Dynamiittien hyvänä puolena irrotuslouhinnan pohjapanoksena verrattuna muihin räjähdysaineisiin on suuri tiheys, suuri räjähdysnopeus ja suuri kaasutilavuus sekä korkea räjähdyslämpö. Haittana on usein herkkä syttyminen esimerkiksi silloin, kun pora osuu räjähtämättömään panokseen sekä muita patruonoituja räjähdysaineita korkeampi hinta. Toisaalta ei voida taata minäkään muunkaan räjähdysaineen sataprosenttista räjähtämättömyyttä, jos siihen porataan. (Vuolio–Halonen 2010, 25.)

Dynamiitin käyttöä Anfon tilalla on myös tuotantolouhinnan pohjapanoksissa todettu pienentävän kokonaiskustannuksia, vaikka räjäytyskustannukset ovat kasvaneet. Asutun alueen ulkopuolella, kuten kaivoksissa, louhittaessa on tulevaisuuden räjähdysaine pumpattava emulsioräjähdysaine. (Vuolio–Halonen 2010, 25.)

6.3 Anfo

Nopea panostus ja alhainen hinta ovat Anfon etuja. Huonoja puolia ovat melkein olematon kosteuden kestävyys, jota lisääaineilla pystytään jossain määrin parantamaan, alhainen tiheys ja usein epätäydellinen räjähdys. Tästä syystä irrotusteho on oletettua huonompi, myrkkyykaasuja syntyy runsaammin kuin muita räjähdysaineita käytettäessä. Lisäksi epätäydellisen räjähdysdynamiikan seurauksena liukenee vesiin nykyään vaarallisena pidettäviä tyypiyhdisteitä. Tästäkin syystä on todennäköistä, että ympäristöystävälliset emulsiot vievät yhä paremmiksi kehitettyinä valtaosan siitä lisäyksestä, mikä räjähdysaineiden käyttöön 2030-luvulle mentäessä tulee. (Vuolio–Halonen 2010, 24.)

6.4 Impulssiletkunalli-sytytys

Impulssiletkunallit kehitettiin aluksi sellaisia kohteita ja olosuhteita varten, joissa on sähkönallien tahattoman syttymisen vaara. Se on myös syrjäyttänyt sähkösytytystä sähköä johtavissa olosuhteissa, joissa eristysvirhe voi aiheuttaa sähkönallien syttymättömyyden. Niillä pystytään räjäyttämään suuria kenttiä ja saamaan sopiva lohkokoko, niin että ympäristöön leviävä tärinävaikutus jää pieneksi ja kiven heitto pystytään säätämään sopivan pitkäksi. (Vuolio–Halonen 2010, 85–86.)

Impulssiletku on ulkohalkaisijaltaan 3 mm ja sisähalkaisijaltaan 1,2 mm muovinen letku, jonka sisäpinnalla on hienojakoista räjähdysainetta noin 20 mg/m. Sytytyksen jälkeen shokkiaalto etenee letkussa noin 2100 m/s sytyttämällä letkun päässä olevan nallin. Shokkiaalto ei vaurioita letkua, eikä sytytä räjähdysainetta ilman nallia. Näin saadaan aikaan räjähdysaineen räjähtäminen pohjalta, joka yleensä takaa parhaan louhintatuloksen. (Vuolio–Halonen 2010, 66.)

Aikahajonta impulssiletkunalleissa on suhteellisen suuri. Se voi olla jopa 8 ms nallia kohden. Tällöin nallit lähtevät epätarkasti ja räjähdysen toiminta voi olla puutteellinen. Lisäksi letkussa kulkeava shokkiaalto aiheuttaa noin 0,5 ms/m viiveen.

Tämän sytytystavan rajoittavana toimintona on hidasteaikojen määrittäminen tiettyjen ajanjakson välein. Kevitsassa käytetään 475 ms hidastetta pohjanalissa ja 500 ms hidastetta pintanallissa. Kentän sytytysjärjestyksen suunnittelussa käytetään kytkinkappaleita (kuvio 20), joille voidaan määrittää oma hidasteaika. Yleisesti reikien välillä käytetään 0 ms tai 17 ms hidastetta ja rivien välillä 67ms tai 109 ms hidastetta. Vaihtoehdot ovat siis rajallisia. Impulssiletkunallien kytkinkappaleiden hidasteajat ovat liitteessä 3.



Kuvio 20. Kytinkappale 0 ms, johon liitetään halutut impulssiletkunallijohtimet. (Orica Finland Oy 2013)

6.5 Elektronisilla nalleilla toimiva sytytys

Viime vuosina on siis kehitetty elektronisia räjäytysnalleja (diginalli), joissa nykyisen hidastesähkönallin pyrotekninen hidastemassa on korvattu sähköisellä hidastimella. Elektronisten tai digitaalisten hidastimien käyttö poistaa

hidastehajonnan ja tarkentaa nallien syttymisaikaa.(Vuolio–Halonen 2010, 25.)

Hidasteajaksi voidaan ohjelmoida 0–10 000 millisekuntia yhden millisekunnin välein. Räjäytystä kohden voidaan käyttää jopa 800 räjäytysnallia, mikä tarjoaa riittävästi joustavuutta useimpiin räjäytystöihin. EBS-järjestelmän ytimessä sijaitseva elektroninen ajoitusmoduuli mahdollistaa jopa tuhat kertaa paremman tarkkuuden ja huomattavasti joustavamman ajoituksen kuin tavanomaiset pyrotekniset järjestelmät. (Orica Finland Oy 2013.)

Jokainen elektroninen nalli sisältää pyroteknisen hidasteen sijasta mikrosirun. Se sisältää nallin oman yksilöllisen tunnisteensa. Tämä tunniste on toistettu nallijohtimessa olevassa viivakoodilipukkeessa, jolloin se voidaan lukea räjäytyskentällä siihen tarkoitetulla skannerilla, kuvio 21. Skannerilla määrätään jokaisella nallille haluttu hidasteaika. Kentän kaikkien nallien tulee olla tallennettu skannerille ja samalla määrätty hidasteaika.



Kuvio 21. Skanneri (Orica Finland Oy 2013)

Kentän kaikki nallijohtimet kytketään runkojohtoon, joka kiertää koko kentän. Sen jälkeen runkojohto kiinnitetään testiyksikköön (Test Box), jotta voidaan testata koko kenttä nallien osalta. Siihen syötetään skanneriin tallennetut tiedot nalleista, jotta nähdään, ovatko kaikki skannatut nallit piirissä mukana ja

onko piiriin kytketty sellaisia nalleja, joiden tietoja ei ollut vielä tallennettu. Lisäksi testiyksikkö kertoo mahdolliset oikosulut ja mittaa maavuotoa. Käytännössä testiyksikkö on vian määrittämis-työkalu. Kuviossa 22 on käytössä ollut testiyksikkö.



Kuvio 22. Testiyksikkö (Orica Finland Oy 2013)

Kun räjäytyskenttä on testattu ja kaikki on muutoin valmiina ampumiskäskyyn, kytketään runkojohto räjäytysyksikköön (Blast Box). Kevitsassa räjäytyksessä käytettiin kaukolaukaisumahdollisuutta, jolloin kaksi räjäytysyksikköä kommunikoivat keskenään; toinen yksiköistä on kytkettynä runkojohtoon, ja toinen on itse räjäytyskäskyn antaja, kaukolaukaisin. Räjäytysyksikköön (kaukolaukaisimeen) siirrettiin skannerilta nallien hidasteet ja aloitettiin nallien ohjelmointi. Kun kaikki nallit on ohjelmoitu räjähtämään haluttuun aikaan, voidaan antaa ampukäsky, mikäli räjäytysyksikön antama lopullinen testiraportti vastaamattomista nalleista on hyväksyttävissä. Elektronisten nallien etuna on siis monipuolisten hidasteaikojen ja todella pienen aikahajonnan, 0,3 ms, lisäksi myös turvallinen käyttö. Kun nalli on saanut ohjelmoinnissa hidasteajan, niin se tietää räjähtää silloin, vaikka johtimet menisivätkin poikki räjähdysten edetessä.

7 PANOSLASKENNAN PERUSTEET

7.1 Räjätyskuvio ja ominaispanostusaste

Kun räjäytetty louhe on tarkoitus murskata, tällöin on käytössä halkaisijaltaan 64 millimetriä tai suuremmat porareivät, ja avolouhinnan ominaispanostusaste on tavallisesti 0,6–1,0 kg/m³. Tätä korkeammalla ominaispanostusasteella saadaan kivi hienonnettua kokonaistaloudellisimmin. (Vuolio-Halonen 2010, 103.)

Esimerkki 2.

Ominaispanostuksen laskeminen yhdessä porausreiässä. Kentän ruutu koko on 20 m², eli reikäväli (E) on 5 metriä ja riviväli (V) 4 metriä. Penkan (K) korkeus on 12 metriä, ohiporaus (S_d) on 1,4 metriä ja etutäytteen korkeus (H₀) on 3,0 metriä .

Panostusasteeksi (L_b) on saatu laskemalla aikaisemmin 26,41 kg/m.

$$\text{Ominaispanostus}(q) = \frac{((K + S_d - H_0) \times l_b)}{(E \times V \times K)} = \frac{((12\text{m} + 1,4\text{m} - 3,0\text{m}) \times 26,41 \frac{\text{kg}}{\text{m}})}{(5\text{m} \times 4\text{m} \times 12\text{m})} = \underline{1,14 \text{kg/m}^3}$$

Esimerkki 3.

Ominaispanostuksen laskeminen koko kentässä. Räjäytettävän kentän tilavuus on 65 000 m³, kun penkan korkeus on 12 metriä. Kentän räjäyttämiseksi käytetään 56 200 kg räjähteitä.

$$\text{Ominaispanostus } (q) = \frac{\text{Räjähteiden paino}}{\text{Kentän tilavuus } (V)} = \frac{56\,200 \text{ kg}}{65\,000 \text{ m}^3} = \underline{0,86 \text{ kg/m}^3}$$

Esimerkki 4.

Räjätettävän kentän edun (V) ja reikävälin (E) määrittäminen laskemalla. Poravaunun kruunun halkaisija 171 millimetriä. Penkan (K) korkeus on 12 metriä, ohiporaus (Sd) on 1,4 metriä ja etutäytteen korkeus (H₀) on 3 metriä .

Panostusasteeksi (L_b) on saatu laskemalla aikaisemmin 26,41 kg/m.

Ensimmäiseksi lasketaan 12 metrin penkalle panostusaste.

$$L_b = \frac{((12m + 1,4m - 3,0m) \times 26,41 \frac{kg}{m})}{(12m)} = \underline{22,88 \text{ kg/porametri.}}$$

A = ruutukoko.

$A = \frac{\text{Panostusaste}}{\text{Ominaispanostus}}$, ominaispanostukseksi on laskettu aiemmin 1,14 kg/m³.

$$A = \frac{22,88 \text{ kg/m}}{1,14 \text{ kg/m}^3} = \underline{20,07 \text{ m}^2}$$

Seuraavaksi voidaan tehdä verranto reikä- ja riviväliä käyttäen. Tyypillinen massalouhinnassa käytettävä suhde on E = 1,15 * V, kun käytetään salmiakkikuvioista reikien sijoittelua kentässä.

Eli ruutukoko saadaan kaavalla $A = X(V) * 1,15X(E)$

$$20,07 \text{ m}^2 = x * 1,15x$$

$$20,07 = 1,15x^2 / \sqrt{}$$

$$\underline{4,48} = 1,15x$$

$$x = \underline{3,89}$$

Tästä saadaan ruutukooksi 4,48 m * 3,89 m. Eli reikäväli voidaan valita 4,5 metriksi ja riviväli 4 metriksi. Näillä arvoilla voi lähteä suunnittelemaan räjäytettävää kenttää. Sen jälkeen voi hienosäätää lukuja, kun on ensin saanut tietoa, miten kentät räjähtävät näillä arvoilla. Teoriassa reikäväliä pienentämällä saadaan lohkokokoa myös pienemmäksi. Liikkeen parantamiseksi

voidaan vähentää rivien välistä etäisyyttä. Kuitenkin näitä arvoja ei voida muuttaa mahdottomasti, ainoastaan 1-2 metriä riippuen kohteesta.

7.2 Optimaalisten reikä- ja rivivälien hidasteiden määrittäminen

Laskennallisesti voidaan määrittää kentän reikä- ja rivivälit. Tällöin pitää tietää kentän reikäväli (S) 5 metriä ja etu (B) 4 metriä.

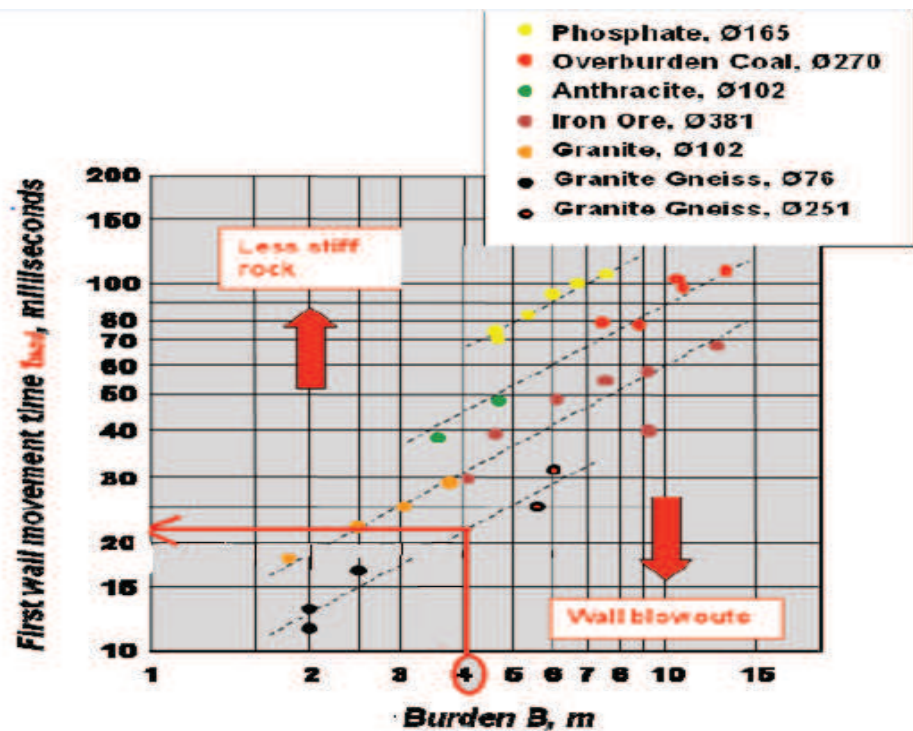
Reikähidaste voidaan laskea kaavasta, kun $S=5$ m:

$$t_{\text{split}} = 1 + \frac{S \cdot 1000}{(0,38 \cdot C_p)} = 1 + \frac{5 \text{ m} \cdot 1000}{(0,38 \cdot 5000 \text{ m/s})} = \underline{3.63 \text{ ms}}, C_p = \text{aallonnopeus}$$

graniitissa.

Seuraavaksi lasketaan rintauksen liikeaika t_{wall} , kun $B=4$ m. Taulukosta 1 saadaan kovan kiven kohdalta arvoksi 22 ms.

Taulukko 1. Räjähdyksestä aiheutuvan rintauksen liikeaika suhteessa riviväliin erilaisilla kivilaaduilla ja porareian halkaisijoilla.



Rivihidaste saadaan kaavalla, kun oletetaan että kovan kiven liikenopeus (V_{wall}) on noin 20 m/s ja tiedetään rintausten liikenopeus t_{wall} , joka saatiin taulukosta eli 22 ms.

$$t_{rowexpansion} = t_{wall} + \frac{0,35 \cdot B \cdot 1000}{V_{wall}} = 22 \text{ ms} + \frac{0,35 \cdot 4 \text{ m} \cdot 1000}{20 \text{ m/s}} = \underline{92 \text{ ms.}}$$

(Yhtälöt ja taulukko on saatu Sandvikin Quarry Academystä sivuilta 77 ja 80, jotka on tehnyt Arne Lisnerud.)

8 TESTATTAVAT KENTÄT

8.1 Impulssinallikentät

Molemmat kentät olivat samalla tasolla eli 198 metriä merenpinnasta. Toinen kentistä sisälsi malmia ja toinen sivukiveä. Kentät olivat A1198M006 ja A1198R009.

Tarkoitus oli, että räjäytettävästä kentästä ainakin yksi sivu olisi avoinna. Siitä syystä, että kasa pääsisi liikkumaan vapaaseen tilaan päin. Toisiinsa verrattavien kenttäparien purkautumismahdollisuudet pitäisi siis olla uhtäläiset. Panostusaste pidettiin samana kentissä, ainoastaan rivien- ja reikien välisiä hidasteaikoja muutettiin.

Taulukko 2. Kenttien A1198M006 ja A1198R009 yhteiset ominaisuudet

Porakoko	171 mm
Etu	4,0 m
Reikäväli	5,0 m
Etutäyte	3,0 m
Pengerkorkeus	12 m
Ohiporaus	1,4 m

8.1.1 Kenttä A1198M006

Ensimmäisessä impulssinallikentässä oli yhteensä 18 romahtanutta reikää. Pinta-ala on mitattu panostuksen jälkeen laitimmaisten reikiä myöten (blast report).

Taulukko 3. Kenttä A1198M006

Pinta-ala	3648 m ²
Tilavuus	3648m ² x(13,96 – 1.4)m= 45 819 m ³
Panostettujen porareikien määrä	182
Porareikien yhteispituus	182 x 13.96 m= 2540 m
Porareikien keskimääräinen pituus	13,96 m (mitattu 152 reikää)
Panostusaste (esim.1)	26,41 kg/m
Kokonaisräjähddekilot	(182x10,96m)x26,41kg/m= 52 680 kg
Ominaispanostus	52 680 kg/45 819m ³ =1,15 kg/m ³
Täkkäys, suunniteltu 3 metriä	ka. 2,49 metriä (76 reikää mitattu)

Toteutunut emulsion panostus kentässä oli 52 348 kg eli panostajat ovat onnistuneet hyvin kyseisen kentän emulsioräjähdysaineen pumppaamisessa. Tämä johtuu todennäköisesti kentän ruhjeisuudesta eli emulsioräjähdysaine pääsee karkaamaan jotain ”lustoa” pitkin, eikä tällöin porareikä täyty haluttuun korkeuteen suunnitellulla emulsiomäärällä. Kentän ominaispanostus 1,14 kg/m³ on hyvin lähellä suunniteltua, kun otetaan huomioon myös pinta- ja pohjapanokset.

Sytytyksessä käytettiin pääsääntöisesti 109 ms rivihiidasteena ja 0 ms reikähiidasteena. Liitteessä 4.

8.1.2 Kenttä A1198R009

Kentän ruhjeisuuden vuoksi romahtaneita porareikiä oli 53 kappaletta. Tämä on noin neljännes koko kentän porareijistä.

Taulukko 4. Kenttä A1198R009

Pinta-ala	3581 m ²
Tilavuus	3581 m ² x (13,4 – 1.4)m = 42 972m ³
Panostettujen porareikien määrä	159
Porareikien yhteispituus	159 x 13.4 m = 2130m
Porareikien keskimääräinen pituus	13,4 m (mitattu 105 reikää)
Panostusaste (esim.1)	26,41 kg/m
Kokonaisräjähddekilot	(159x10,4m)x26,41 kg/m=43 672 kg
Ominaispanostus	43 672 kg/42 972m ³ =1,016 kg/m ³
Täkkäys, suunniteltu 3 metriä	ka. 3,17 metriä (151 reikää mitattu)

Panostus kentässä A1198R009 emulsion osalta oli 42 873 kg. Se on noin 800 kg vähemmän kuin laskennallisesti. Tämä näkyy täkkäyksen hiukan liian suurena arvona, mutta pääsääntöisesti hyvin panostettu.

Yhdessä porareiässä pitäisi (10,4m x 26,41kg/m) olla 274,66 kg emulsiota. Nyt arvoksi tuli 269,64 kg.

Rivihidasteena käytettiin 67 ms ja reikähidasteena 0 ms. Liite 5.

8.2 Elektronisten nallien kentät

Elektronisilla nalleilla räjäytettävissä kentissä ainoastaan täkkäyksen korkeus kasvoi 0,5 metriä verrattuna impulssinallikenttiin, muuten perusparametrit pysyivät samana.

8.2.1 Kenttä A1198R010 ja A1198M008

Kentät A1198R010 ja A1198M008 yhdistettiin yhdeksi kentäksi. Kentässä oli yhteensä 28 romahtanutta reikää.

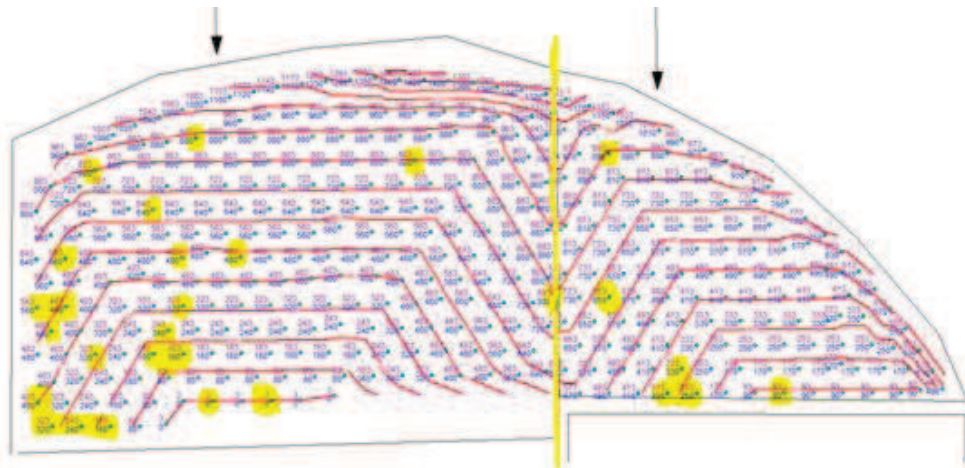
Taulukko 5. Kenttä A1198R010&M008

Pinta-ala	$4426 \text{ m}^2 + 2254 \text{ m}^2 = 6680 \text{ m}^2$
Tilavuus	$6680 \text{ m}^2 \times (13,06 - 1.4) \text{ m} = 77\,888,8 \text{ m}^3$
Panostettujen porareikien määrä	343
Porareikien yhteispituus	$343 \times 13,06 = 4479,6 \text{ m}$
Porareikien keskimääräinen pituus	13,06 m (mitattu 340 reikää)
Panostusaste	26,41 kg/m
Kokonaisräjähdekilot	$(343 \times 9,56 \text{ m}) \times 26,41 \text{ kg/m} = 86\,600 \text{ kg}$
Ominaispanostus	$86\,600 \text{ kg} / 77\,889 \text{ m}^3 = 1,111 \text{ kg/m}^3$
Täkkäys, suunniteltu 3,5 metriä	ka. 3,37 metriä (290 reikää mitattu)

Toteutunut panostus kentässä on 88 630 kg eli suurempi kuin suunniteltu 86 600 kg. Tästä syystä myös kentän ominaispanostus kasvaa $1,138 \text{ kg/m}^3$.

Nallien hidasteiksi ohjelmoitiin reikäväliksi nolla ms ja rivihidasteväliksi 80 ms. Kenttien takalaitoja hidastettiin lisäksi noin 100 ms, jotta säästyttäisiin ryöstöiltä ja takareuna aukeaisi riittävästi. Sytytyskuvio oli loivasti auramainen, näin saatiin etu puolitettua ja lohkareet kasalle sekä mahdollisimman hyvin liikkeelle. Sytytysjärjestelmässä haluttiin testata myös elektronisten nallien tarkkuutta hyväksi käyttäen todellisten nollien vaikutusta. Kentän sytytyskuvio on esitetty kuviossa 23, jossa punaiset viivat ovat 100 ms välein olevia

intervalliaikoja. Romahtaneet reiät on esitetty keltaisin pistein ja keltainen viiva on malmin ja sivukiven rajalla.



Kuvio 23. Kentän A1198R010 & A1198M08 sytytyskuvio.

Tämän kentän pintanallit (Edev) olivat vääränlaisia, eivätkä ne olleet yhteen-sopivia käytettävään Unitronic-järjestelmään. Tämän vuoksi niiden käyttö ei onnistunut halutulla tavalla. Niiden tarkoitus on varmistaa emulsioräjähdys-aineen räjähdys. Nyt ne räjäytettiin kaikki kerralla 10 ms päästä viimeisen pohjanallin räjähdyksestä, eli silloin kivi on jo liikkunut. Jos emulsiopatsas oli ehjä, niin pintanallit lähtivät myös melkein samaan aikaan kuin pohjanallit räjähdysvaikutuksesta. "Hidasteena" oli räjähdysaallon kulkunopeus emulsiossa eli noin 5000 m/s.

Pohjanallit voitiin ohjelmoida oikealla tavalla ja testata saadaanko yhteys niihin. Mihin ei saatu yhteyttä, voitiin paikallistaa. Näissä tapauksissa voitiin tarkastaa ainoastaan liittimen oikeinkytkentä ja johdon mahdollinen rikkinäisyys, ei sitä osaa, mikä on jäänyt maan alle. Tässä vaiheessa oli siis "täkkäys" jo suoritettu. Tämän takia "täkkäys" tulisi tehdä vasta testauksen jälkeen.

Testiysikön toiminta oli epävarma, sillä se näytti ensin kolmessa paikassa virhettä, jotka korjattiin ainakin osittain (väärä liitos). Tämän jälkeen se näytti

uudet kolme virhettä eri paikoissa, joita se ei aiemmin näyttänyt. Mahdollisesti testiyksikössä oli jokin häiriö, tai sitten se voi johtua mahdollisesti maa-
vuodoista.

Räjätysyksiköstä saatiin lopullinen määrä vastaamattomille pohjanalleille, joita oli kaksi kappaletta. Mahdollisesti pintanalli räjähdyttää emulsion, mikäli reiässä oleva emulsio on ollut vielä yhteydessä pintapanokseen. Voi olla että emulsio on jo liikkunut niin kauas kiviaineksen mukana, että pohjapanokset ovat molemmissa rei'issä jääneet räjähtämättä. Lastauksen yhteydessä kentästä löytyi yhteensä kuusi kappaletta lähtemätöntä panosta.

8.2.1 Kenttä A1198X011

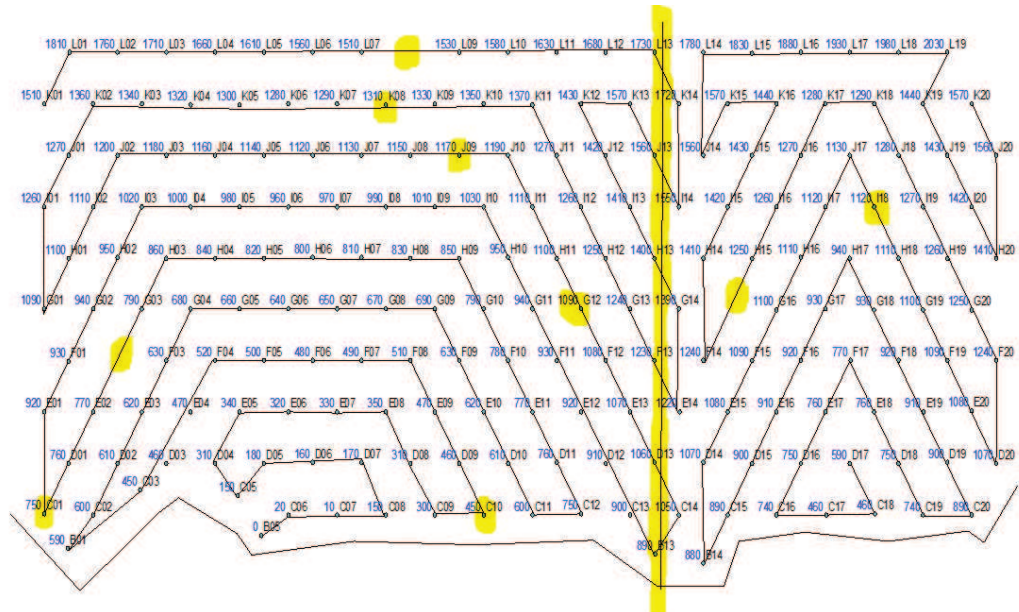
Taulukko 6. Toinen elektronisilla nalleilla räjäytetty kenttä

Pinta-ala	3895 m ²
Tilavuus	3895m ² x(14,18 – 1.4)m= 49 778,1 m ³
Panostettujen porareikien määrä	193
Porareikien yhteispituus	193 x 14,18= 2736 m
Porareikien keskimääräinen pituus	14,18 m (mitattu kaikki reiät paikan päällä)
Panostusaste	26,41 kg/m
Kokonaisräjähddekilot	(193x10,68m)x26,41kg/m=54 437 kg
Ominaispanostus	54 437 kg/49 778,1m ³ =1,094 kg/m ³
Täkkäys, suunniteltu 3,5 metriä	ka. 3,53 metriä (172 reikää mitattu)

Panostus kentässä on 52 881 kg. Se on pienempi kuin suunniteltu 54 437 kg. Tästä syystä myös kentän ominaispanostus jäi vähän alhaiseksi 1,062 kg/m³.

Sytytyskuvio oli isommassa kasassa auramainen ja pienemmässä v-kuvion mallinen, jotta saatiin kasat erilleen. Rivienvälinen hidasteaika oli 150 ms ja reikäväliden hidasteaika oli 10 ms. Auramaisessa kuviossa sivut aukaistiin ensin ja sen jälkeen yläosan keskeltä sivuille päin vuorotellen. V-mallissa sivut etenivät kärkeä kohti käytännössä yhtäaikaan eli 10 ms välein reikää kohden. Viimeisen rivin reikähidasteeksi laitettiin 50 ms ja sen rivihiidasteika nostettiin 200 ms, jotta säästyttäisiin ryöstöiltä ja takakatkolle olisi riittävästi aikaa purkautua.

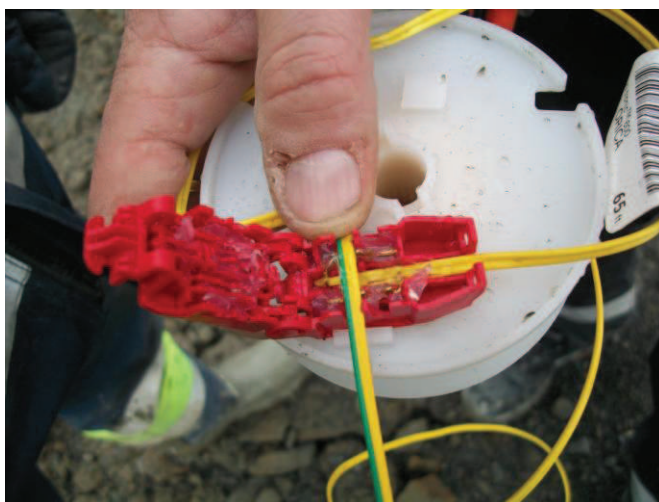
Romahtaneita reikiä tässä kentässä oli yhteensä 9 kappaletta. Ne on merkattu sytytyskuvioon 24, jossa on myös sivukiven ja malmin raja merkattu keltaisella viivalla.



Kuvio 24. Kentän A1198X011 sytytyskuvio

Kentän räjäytys onnistui mielestäni hyvin. Tällä kertaa pintanallit olivat oikeita, Unitronic 600, ja ne ohjelmoitiin räjähtämään 3 ms päästä pohjanallin räjähtämisestä. Näin ollen ne varmistivat emulsiopatsaan yhtenäisen räjähtämisen myös yläpäästä, mikäli emulsioon olisi muodostunut jokin katkos.

Kentän kytkentä tehtiin tällä kertaa hiukan erilailla, sillä aikaa oli enemmän. Nallien skannaus tehtiin järjestelmällisesti sytytyskuviioon merkattua reittiä pitkin ja merkkamalla ylös mitkä nallit oli ohjelmoitu. Tämä varmisti sen, ettei mikään nalli ei jäänyt skannaamatta ja jokaiselle nallille merkattiin oma järjestysnumero. Sen jälkeen kytkettiin huolellisesti nallit runkojohtoon, joka kulki kahden rivin välissä niin, että nallien johdot riittivät siihen. Näin kierrettiin koko kenttä, kunnes koko kentän nallit olivat kytketty runkojohtoon. Sen jälkeen voitiin testata kenttä, että jokaiseen nalliin saadaan yhteys. Tämä kaikki tehtiin räjäytystä edeltävänä päivänä, jotta valmistelut voitiin suorittaa rauhassa. Kuviossa 25 yhdistetään pohjapanoksen nallijohdin runkojohtoon.



Kuvio 25. Pohjapanoksen elektronisen nallin Unitronic™ 600 kytkinkappale (Orica Finland Oy 2013)

Testauksessa huomattiin, että kahteen pohjanalliin ei saatu yhteyttä. Tämä voi johtua siitä, että siihen menevä johto on vioittunut täkkäyksessä tai jotenkin muuten. Tästä huolimatta kenttä räjäytettiin, sillä pintanallien pitäisi varmistaa myös räjähdys näissä porarei'issä. Kuitenkin näiden pohjanallien paikat merkittiin varmuudeksi räjäytettyyn kenttään, 10 metriä x 10 metriä kokoisella ruudulla varoitusnauhoin. Nallien numeroinnin ansiosta porareikien paikat tiedettiin sytytyskuviossa ja kaivosmittaus kartoitti näiden porareikien paikat. Lastauksen yhteydessä kentästä löydettiin yksi lähtemätön panos.

9 TESTATTAVIEN KENTTIEN PROFIILIT

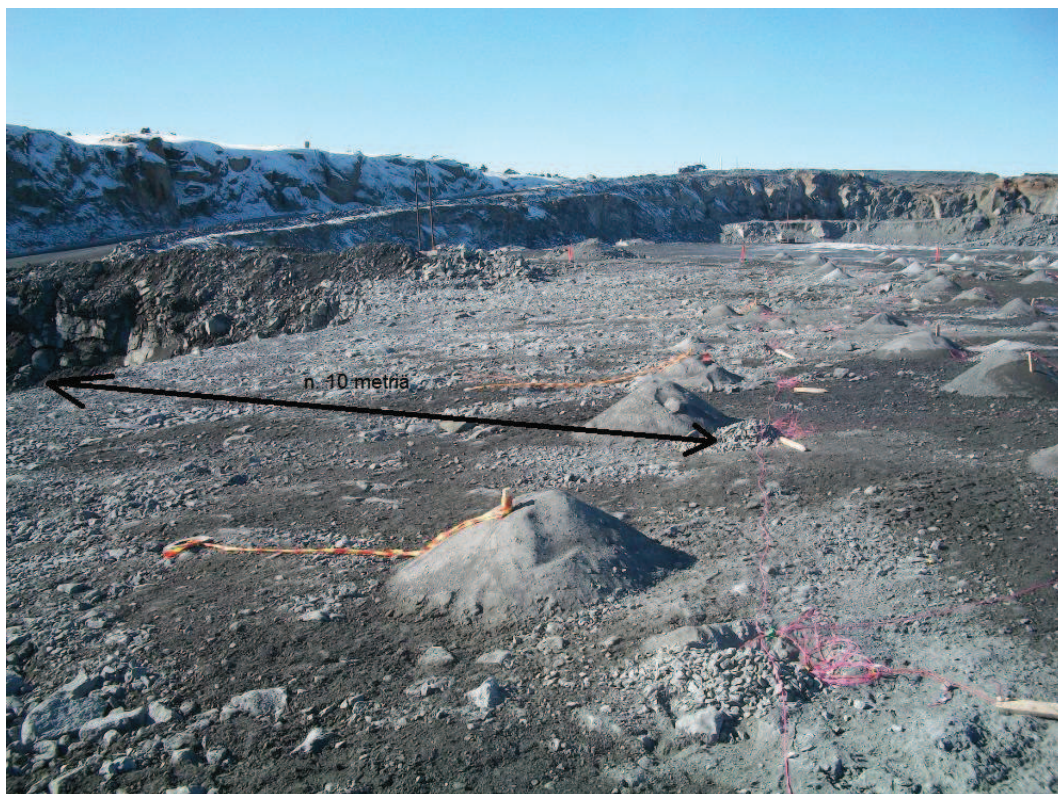
9.1 Kenttien tilavuudet

Räjähdyksen laatuun vaikuttaa oleellisesti, kuinka paljon räjäytetyn kentän tilavuus kasvaa. Tällöin kenttä on löyhtynyt, ja se on tehokkaammin lastattavissa.

Räjäytetyt kentät on mitattu yhteistyössä Kevitsan mittaustyöryhmän kanssa GPS-mittalaitteella ja takymetrillä. Mittaus suoritettiin kävelemällä kasan muotoja mukaillen GPS-mittalaitteen kanssa sekä mittaamalla takymetrillä mahdollisimman kattavasti. Näiden jälkeen kartoitetut mittapisteet yhdistettiin yhteen tiedostoon ja luotiin Surpac-ohjelmistolla kentän tilavuusprofiili ennen ja jälkeen räjäytystä.

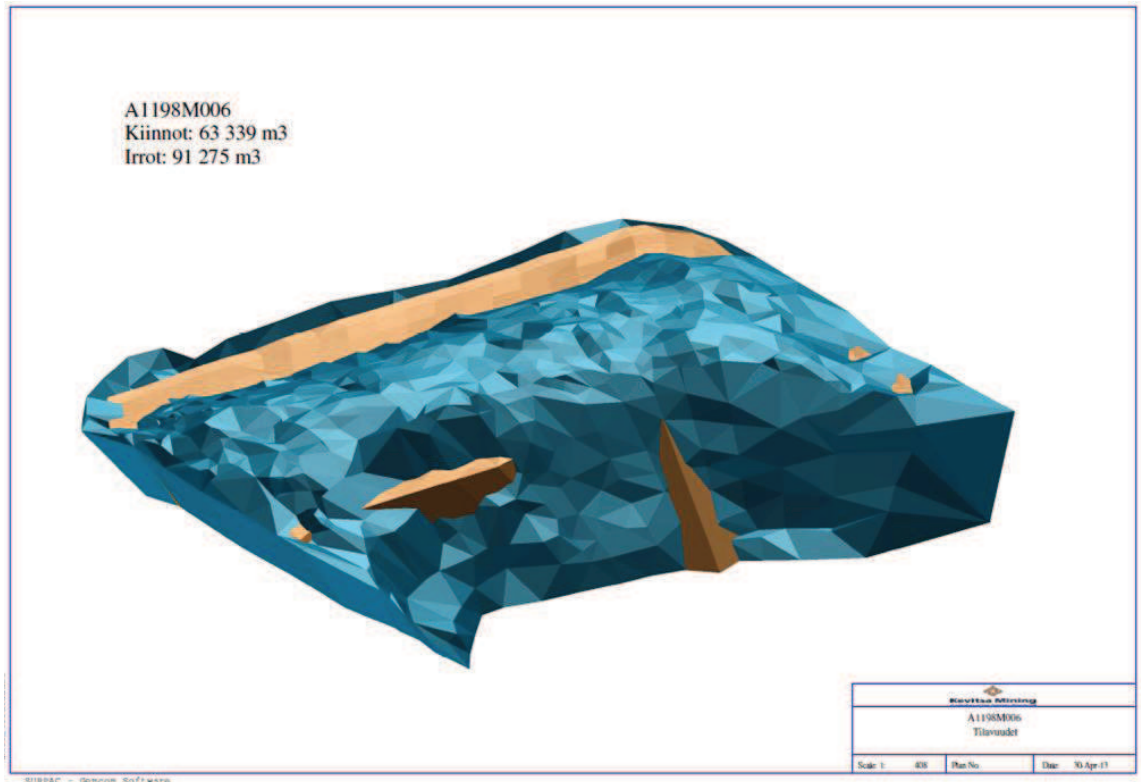
9.1.1 Kentän A1198M006 tilavuus

Kentässä A1198M006 on huomioitavaa, että yhtään kentän sivua ei ollut auki ennen räjäytystä. Kentän edessä oli tiivistä louhetta noin 10 metrin levyinen penkka edellisestä räjäytyksestä, mitä ei ehditty lastata ennen räjäytystä (kuvio 26). Tästä syystä kenttä ei päässyt kunnolla liikkumaan.



Kuvio 26. Kenttä A1198M006

Edellisestä kentästä oleva lastaamaton louhe on otettu mukaan molemmissa tilavuuksien laskennoissa. Kuvassa oleva ruskea väri kuvaa kenttää ennen räjäytystä ja sinivihreä malli on räjäytyksen jälkeen mitattu profiili (kuvio 27).



Kuvio 27. Kentän A1198M006 tilavuuden muutoksen malli

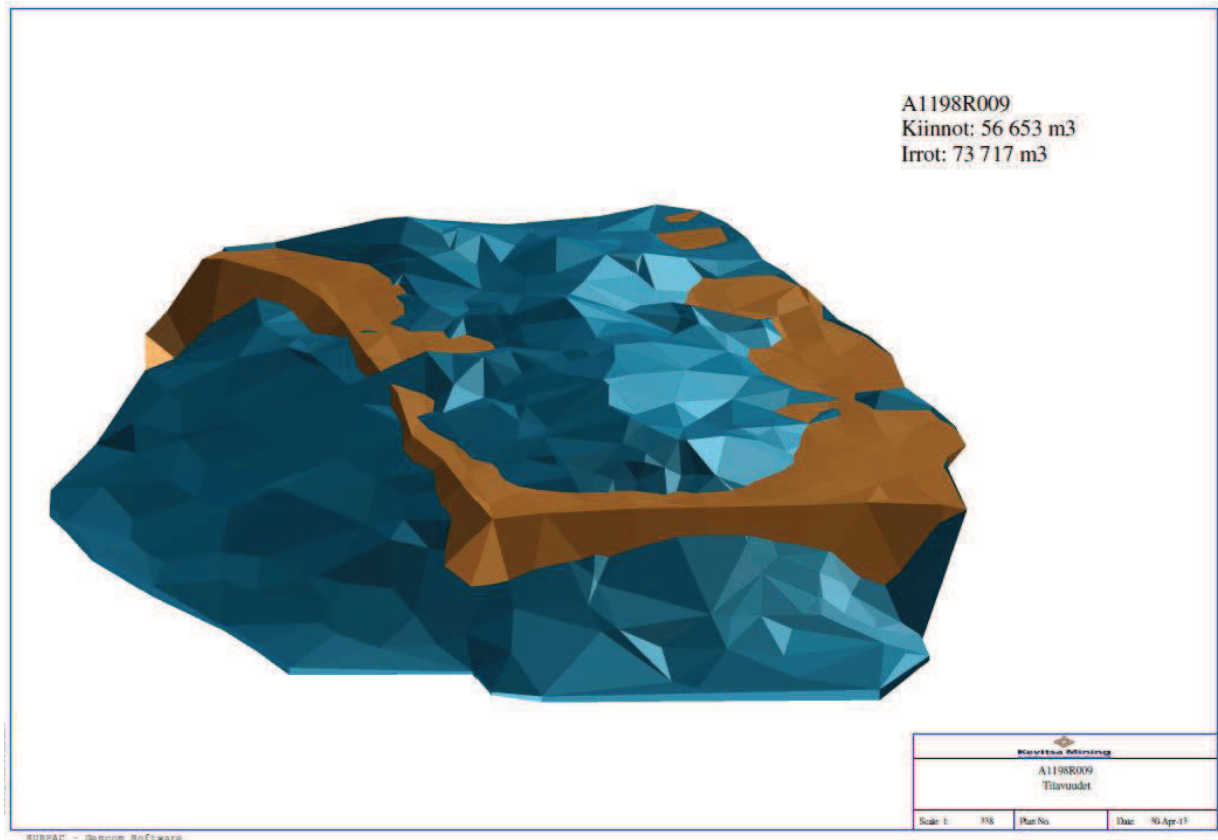
Tilavuuden kasvu on tässä kentässä $91\,275\text{m}^3 - 63\,339\text{m}^3 = \underline{27\,876\text{m}^3}$

Löyhtymiskerroin $91\,275\text{m}^3 / 63\,339\text{m}^3 = 1,441$ eli kasan tilavuus on kasvanut 44,1 %.

9.1.2 Kentän A1198R009 tilavuus

Kenttä A1198R009 oli impulssiletkunalleilla räjäytetty kenttä, jossa oli hyvin paljon tukkoreikiä. Ruhjevyöhykkeen sijainti tällä kentällä vaikeutti räjäytyksen toteuttamista suunnitellulla tavalla. Lisäksi räjähdysen energia pääsee purkautumaan ruhjeita pitkin eikä tällöin ole niin voimakas kuin halutaan.

Tässä kentässä oli kaksi sivua auki ennen räjäytystä, tällöin kenttä pääsee liikkumaan esteettömästi (28).



Kuvio 28. Kentän A1198R009 tilavuuden muutoksen malli

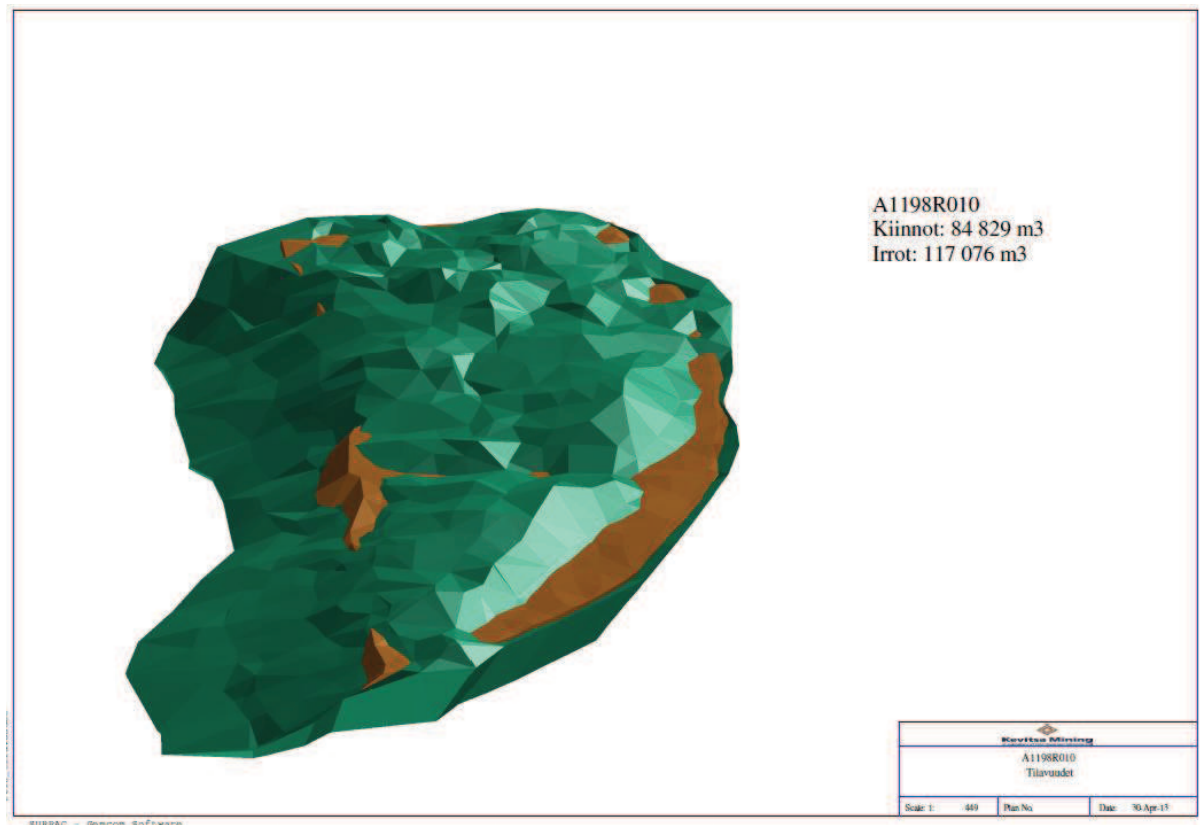
Tilavuuden kasvu on tässä kentässä $73\,717\text{ m}^3 - 56\,653\text{ m}^3 = \underline{17\,064\text{ m}^3}$

Löyhtymiskerroin $73\,717\text{ m}^3 / 56\,653\text{ m}^3 = 1,301$ eli kasan tilavuus on kasvanut 30,1 %.

9.1.3 Kentän A1198R10&A1198M008 tilavuus

Elektronisilla nalleilla räjäytettiin kaksi kenttää A1198R10 ja A1198M008 yhdessä tuotannollisista syistä. Toisessa näistä kentistä oli pelkästään sivukiveä ja toisessa pääosin malmia (Lg) sekä vähän sivukiveä. Tarkoitus oli saada muodostettua kaksi kivikasaa erilleen, joissa toisessa on malmi ja toisessa sivukiviaines. Pientä sivukivialuetta kentän perällä ei huomioitu, noin 20 reikää, sillä se oli räjähdysteknisesti hankala toteuttaa. Rintaus oli auki ennen räjäytystä.

Malmikenttä turposi ja liikkui ihan suunnitelmallisesti. Valitettavasti raakkukenttä pysyi melkein paikoillaan ja turposi epätasaisesti (kuvio 29). Tämä johtui kentän geoteknisistä ominaisuuksista ja ehkä sytytyssuunnitelmasta. Sytytyksen avauksen kohdalla oli myös runsaasti tukkoja. Räjähdyksen energia pääsi purkautumaan väärällä lailla ruhjeiden ja haurastuneen kallion kautta. Lisäksi kentästä löytyi lähtemättömiä panoksia.



Kuvio 29. Kentän A1198R10&A1198M008 tilavuuden muutoksen malli

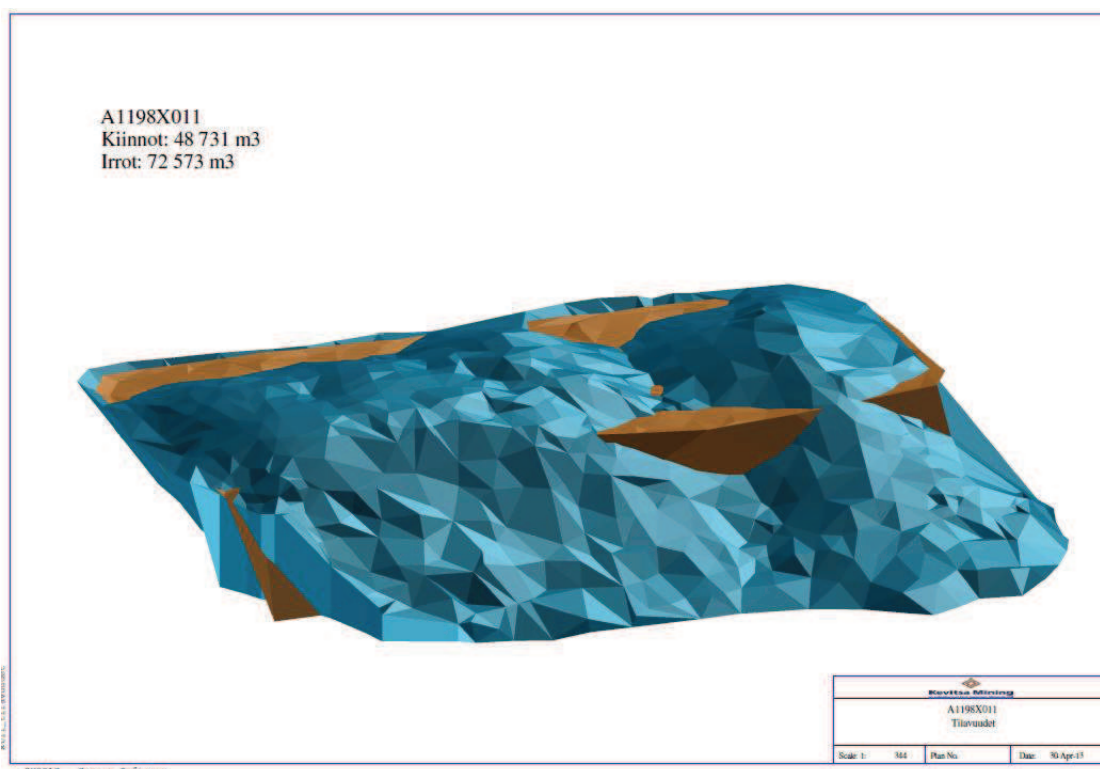
Tilavuuden kasvu on tässä kentässä $117\,076\text{ m}^3 - 84\,829\text{ m}^3 = 32\,247\text{ m}^3$

Löyhtymiskerroin $117\,076\text{ m}^3 / 84\,829\text{ m}^3 = 1,380$ eli kasan tilavuus on kasvanut 38,1 %.

9.1.4 Kentän A1198X011 tilavuus

Kentässä A1198M011 oli korkea- ja matalapitoista malmia ja sivukiveä (raakku). Tästä syystä sytytyskuviolla pyrittiin saada malmi ja sivukivi omiin kasoihin. Kentän yksi sivu oli auki. Tämä onnistui mielestäni ihan hyvin. Erilliset kivikasat muodostuivat ja niiden välille muodostui selvä ”oja” (kuvio 30). Näin ollen malmin ja sivukiven sekoittuminen on hallittavissa lastauksessa. Ainoastaan sivukiven takana ollut ohut kaista matalapitoista malmia jäi erottamatta, koska se oli mahdoton toteuttaa sytytyksen avulla. Tämä kaista jäi kuitenkin aika hyvin paikoilleen, eli lastausvaiheessa tämä alue pitää huomioida.

Panostettuja porareikiä oli yhteensä 193 ja näiden lisäksi oli yhdeksän tukko-reikää eli suunniteltu reikien kokonaismäärä oli 202. Lisäksi kentässä oli panostamattomia testireikiä, joihin oli laitettu merkkikeppiä kasan liikkeen seuraamiseksi.



Kuvio 30. Kentän A1198X011 tilavuuden muutoksen malli

Tilavuuden kasvu on tässä kentässä $72\,573\text{m}^3 - 48\,731\text{m}^3 = \underline{40\,326\text{m}^3}$

Löyhtymiskerroin $72\,573\text{m}^3 / 48\,731\text{m}^3 = 1,489$ eli kasan tilavuus on kasvanut 48,9 %.

9.1.5 Tilavuuksien vertailu

Taulukko 7. Löystymisprosentit kentissä

A1198M006	44,1 %
A1198X011 (elektroninen)	48,9 %
A1198R009	30,1 %
A1198R10&A1198M008 (elektroninen)	38,1 %

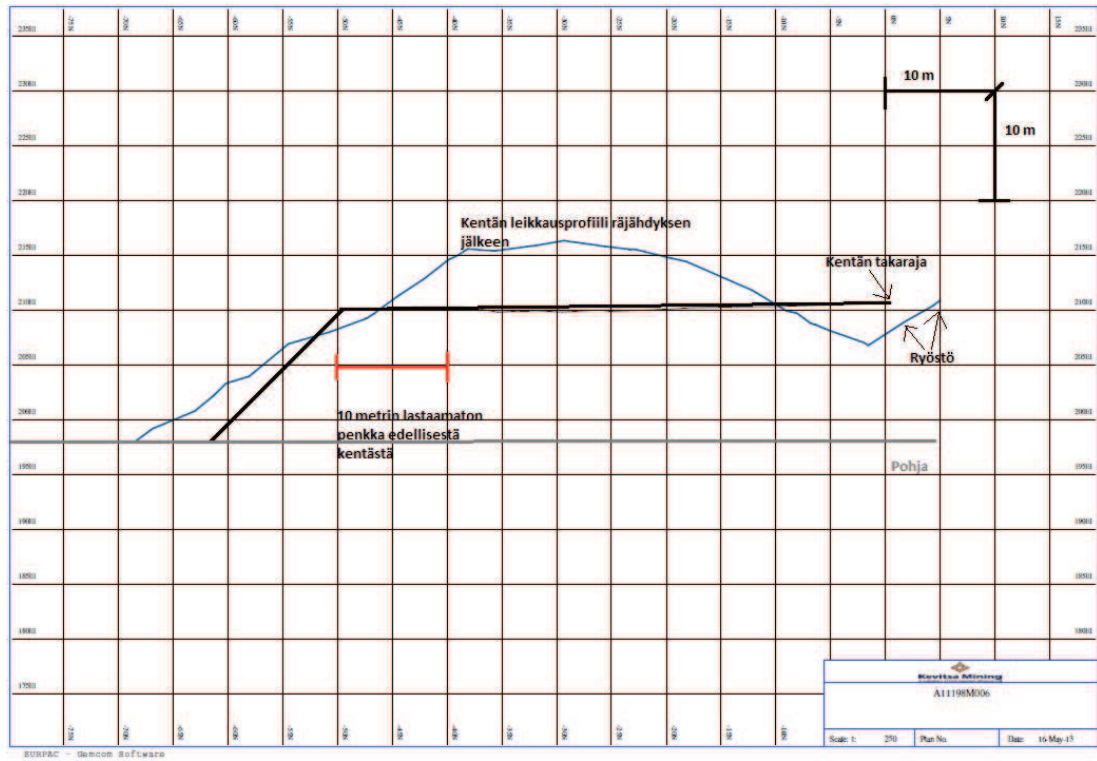
Löystymisen vertailussa on elektronisilla nalleilla ollut parempi vaikutus. Tietenkin tähän vaikuttaa moni muukin muuttuja, kuten räjähdyksen aiheuttamat ”ryöstöt”. Ruhjevyöhykkeen vaikutus on selvästi havaittavissa taulukon 7 kahden alimmaisen kentän osalta.

9.2 Kenttien leikkausprofiilit

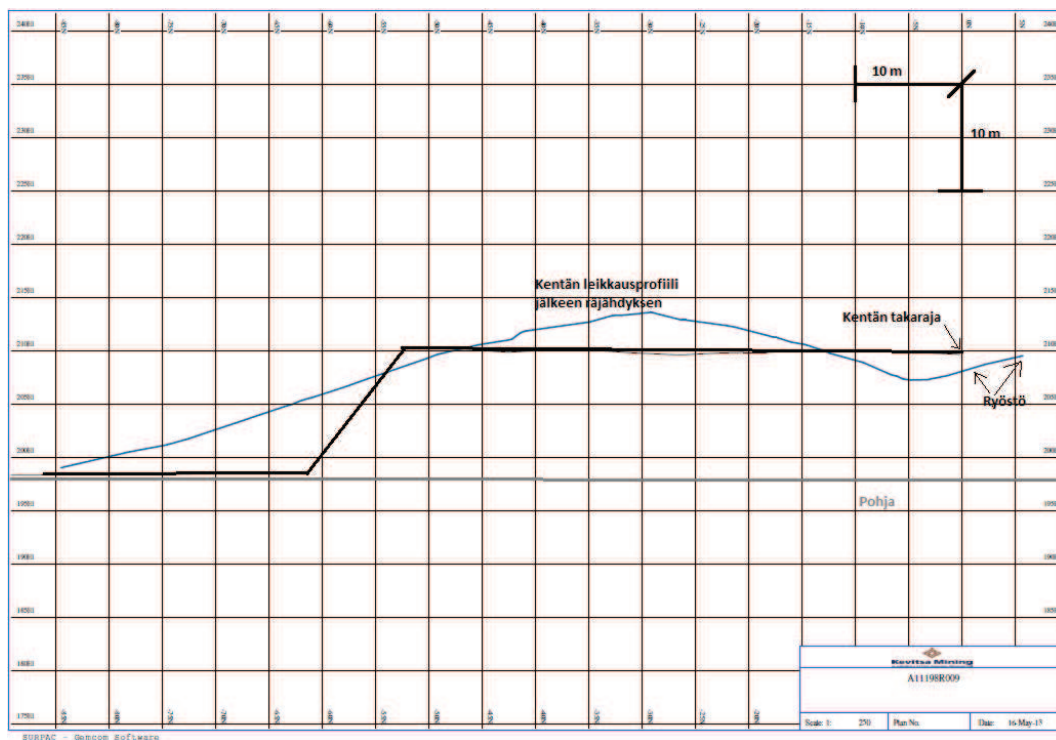
Kenttä liikkuu vapaan rintauksen suuntaan eli löyhtymistä saadaan myös kentän vaakatasoisella liikkeellä ja ylöspäin suuntautuvalla liikkeellä. Kasan liikkeen tulkintaa tehdään leikkausprofiilien avulla.

Leikkausprofiili on otettu kentän kohdalta, joka kuvaa parhaiten keskimääräisesti kentän profiilia. Vaakasuntaiseen liikkeeseen vaikutti myös elektronisten nallien sytytyskuvio, jolla haluttiin saada kenttä eroteltua kahteen eri kasaan, malmiin ja sivukiveen. Tästä syystä kenttien liike suuntautui liikaa ylös-

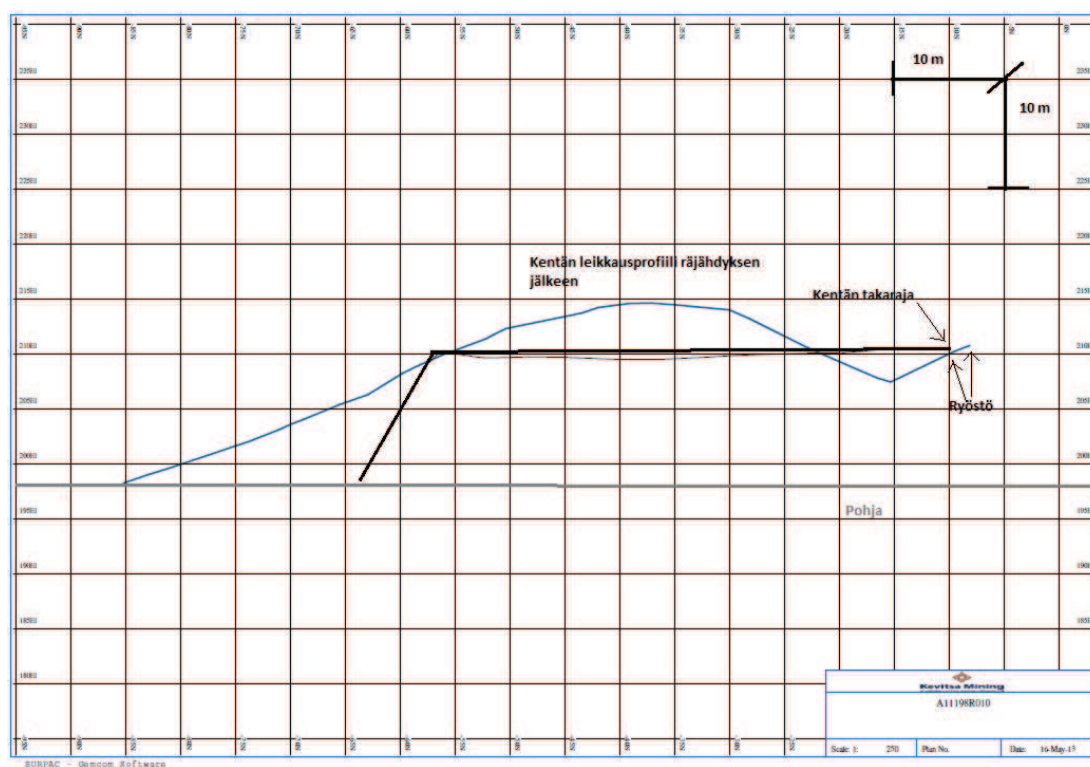
päin. Lisäksi kentän A1198M006 edessä oleva 10 metrin lastaamaton penkka esti kentän vaakasuuntaisen liikkeen. Leikkausprofiilit on esitetty kuvioissa 31–34.



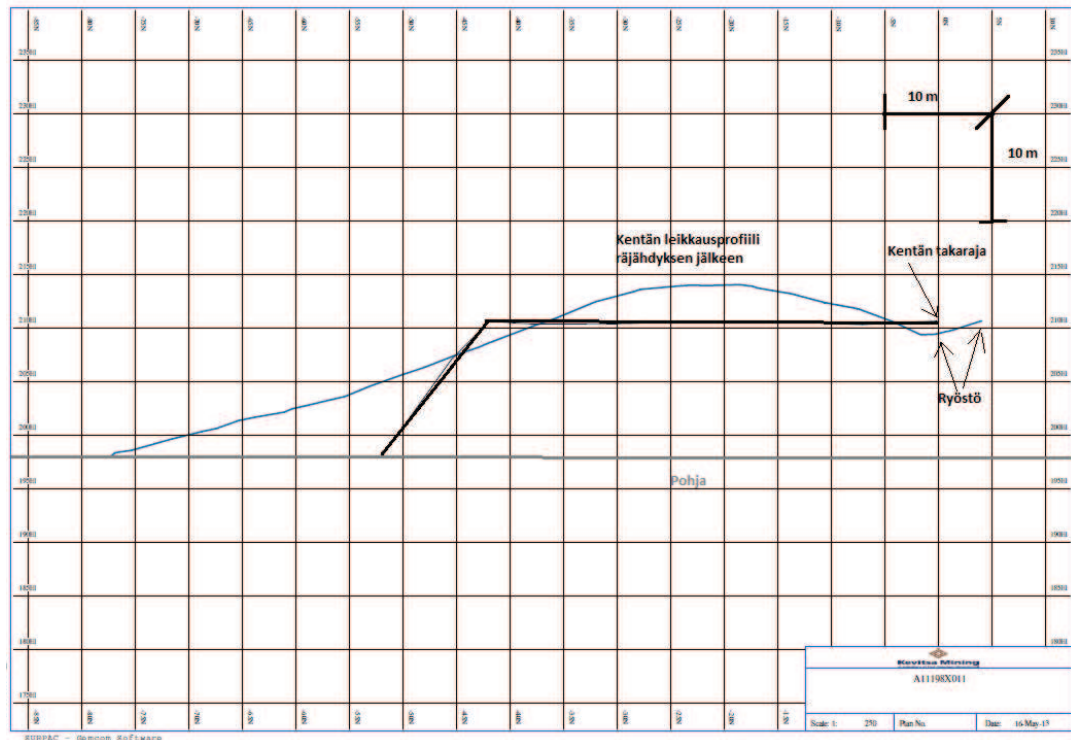
Kuvio 31. Kentän A1198M006 leikkausprofiili



Kuvio 32. Kentän A1198R009 leikkausprofiili



Kuvio 33. Kentän A1198M008 leikkausprofiili



Kuvio 34. Kentän A1198X011 leikkausprofiili

Leikkausprofiilien perusteella paras lastattavuus olisi kentässä A1198R009. Lastauskoneelle (PC 5500) sopiva penkan korkeus olisi kentän korkeus ennen räjähdystä eli noin 12 metriä. Huomioitavaa on myös se, että elektronisilla nalleilla räjäytetyissä kentissä haluttiin erottaa materiaalit toisistaan, mistä syystä kasan korkeus nousee ja mahdollisesti myös lastaus heikkenee. Tässä tapauksessa kivet ammutaan kasalle, jolloin erityisesti kasan pohja tiukenee.

10 TULOKSET

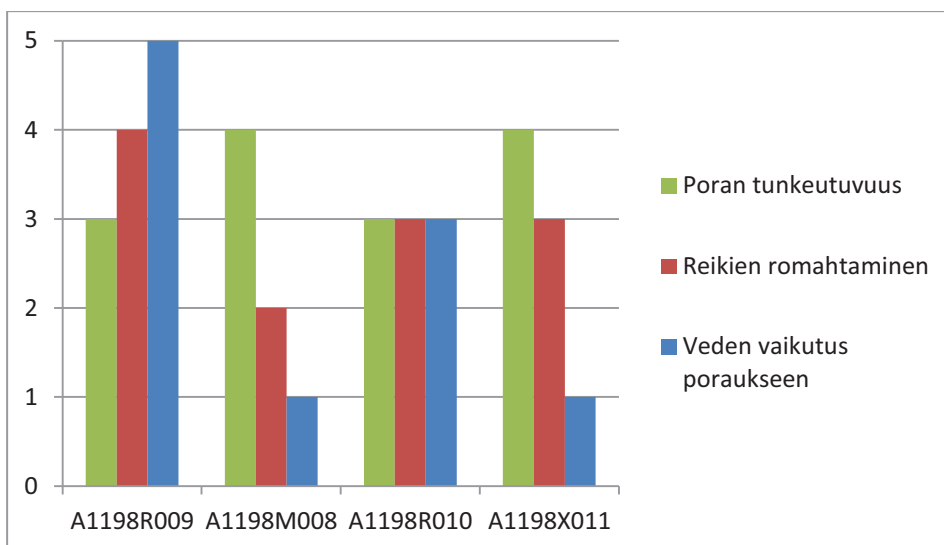
10.1 Porattavuuden arviointi

Kenttien porattavuuden tulokset ovat porareiden täyttämien arviointilomakkeiden pohjalta. Lomakkeita näistä kentistä saatiin yhteensä 33 kappaletta.

Kentän A1198M006 tietoja ei ole. Todennäköisesti tämän kentän tulokset ovat aika samanlaiset kuin sen takana olevan kentän A1198X011. Tällä alueella ei ollut ruhjevyyöhykettä. Kentät A1198M008 ja A1198R010 arviointiin erikseen tässä osiossa, vaikka nämä kentät räjäytettiin yhdessä.

Taulukossa 8 on kuvattuna kentittäin keskiarvot porattavuuden parametreista. Poran tunkeutuvuutta kuvaavan pylvään arvo 5 on erinomainen ja arvo 1 on erittäin huono. Porareikien romahtaminen ja veden vaikutuksen arvioinnissa pylväsdiagrammin arvoista 1 on ei vaikutusta ja 5 erittäin paljon.

Taulukko 8. Porattavuus



Kentistä porattavuuden kannalta parhaimmat ominaisuudet oli kentällä A1198M008. Tämä kenttä sijaitsi ensimmäisen elektronisilla nalleilla räjäytetyillä kentän eteläpäässä.

Ratkaisuksi porattavuuden parantamiseen on veden hallinta. Tämä vaikeuttaa suuresti porausta. Romahtaneet reiät jäävät panostamatta ja aiheuttavat ylisuuria lohkareita, jotka joudutaan rikkomaan vielä uudestaan. Lastaus vaikeutuu, kalusto kuluu ja murskaus hidastuu, mikäli näitä menee päämurskamolle asti. Vesi siis pitää saada kerättyä pois, jotta reikien romahtaminen vähentyisi. Porattavan tason alapuolella pitää veden poisto toimia pumppaamalla riittävän aikaisessa vaiheessa ja tehokkaasti. Tämän voi tehdä räjäyttämällä ramppia riittävästi syvemmälle, 24 metriä alemmaksi siitä tasosta, millä poravaunut sijaitsivat.

Poraustarkkuuteen pitää myös kiinnittää huomiota. On tärkeää, että porauksen aloituspiste on suunnitellussa pisteessä eikä sen läheisyydessä. Poreikien syvyydet pitää olla myös mahdollisimman lähellä haluttua syvyyttä. Tähän voisi vaikuttaa porareiden motivoivalla opastuksella ja mahdollisella palkkiojärjestelmällä, jossa huomioitaisiin myös porauksen tarkkuus porattujen metrien lisäksi. Vaihtoehtona olisi myös 3D-porausjärjestelmän hankinta, jonka avulla voitaisiin turvallisesti porata myös kallistettuja reikiä. Tästä järjestelmästä saisi tarkat porareikien paikannus-, suuntaus-, kallistus- ja syvyytiedot. Tämä on kustannuksiltaan aika kallis hankinta.

10.2 Testattavien kenttien olomuodon muutos

Räjäytetyt kentät on esitetty kuvioissa 35–43. Tämän tarkoitus on havainnoida kenttien muutosta käytännössä. Malmi ja sivukivi on pyritty erottamaan toisistaan kentän sisällä räjähdysten avulla.



Kuvio 35. Kentän A1198M006 muoto räjähdysten jälkeen



Kuvio 36. Kentän A1198R009 muoto ennen räjähdystä



Kuvio 37. Kentän A1198R009 muoto räjähdysten jälkeen, kuvattuna kentän takaa eli vastakkaiselta puolelta kuin purkautumissuunta



Kuvio 38. Kentän A1198R010&M008 muoto ennen räjähdystä



Kuvio 39. Kentän A1198R010&M008 muoto räjähdysen jälkeen, kuvattu kentän sivukiveä sisältävän kentän reunalta



Kuvio 40. Kentän A1198R010&M008 muoto etupuoletta räjähdysen jälkeen



Kuvio 41. Kentän A1198X011 muoto ennen räjähdystä



Kuvio 42. Kentän A1198X011 muoto räjähdysten jälkeen



Kuvio 43. Kentän A1198X011 muoto räjähdysten jälkeen, kasat on onnistuttu erottamaan toisistaan

10.3 Lastattavuuden arviointi

Louhekasas sujuva lastattavuus on erittäin tärkeä. Tutkin tätä asiaa seuraamalla itse paikan päällä lastaamista sekä keskustelemalla lastauskoneiden kuljettajien kanssa. Laadin heille oman arviointilomakkeen, liite 2, mutta niiden täyttäminen ei toteutunut.

Lastattavuutta analysoin kentittäin Ivolve-järjestelmän kautta, johon tallentuu tiedot kiviaineksen lastauksesta ja kuljetuksesta. Järjestelmä on aika uusi ja sen käytössä on vielä kehittämistä ja opettelemista. Periaatteessa tästä järjestelmästä pitäisi saada kaikki tieto talteen, kuten lastausaika. Työhöni liittyvän saatavilla olevan aineiston osalta tutkin lastauskoneen kauhan täyttöastetta. Mielestäni tämä kertoo hyvin sen, kuinka hyvin räjähdys on onnistunut eli lohkaroitumisen ja löyhtymisen.

Lohkaroitumista analysoin myös kuvaamalla kenttiä räjähdysten jälkeen. Lohkarekoon tarkka määritteleminen on aika haastava tehtävä. Sen kuvailemiseen otin louhekasasta runsaasti kuvia koripallon kanssa, jotta saisin vertailukohdan lohkarokokojen mittasuhteista. Koripallon halkaisija on 24 cm.

10.3.1 Kauhan täyttöaste

Lastattavuuden analysointi perustuu lastauskoneiden: kaivinkone PC 5500 ja pyöräkoneen WA 1200 kauhan täyttöasteisiin. Kauhassa olevan louheen keskiarvoinen paino on kiviauton kyydissä olevan louheen massa tonneissa/kauhallisten lkm kiviautoa kohden.

Kaivinkone PC 5500 kauhan kapasiteetti on 26 m^3 . Pyöräkuormaaja WA 1200 kauhan kapasiteetti on 20 m^3 . Kevitsan kiven tiheys on noin $3,17 \text{ t/m}^3$. Yhteensä analysoin 1913 louhosautojen kuormaa.

Taulukko 9. Lastauskoneiden kauhallisten keskimääräinen paino kentittäin

Kenttä	Lastauskone	Kauhallisen ka. paino	Analysoitujen kuormien lkm	Kauhan täyttöaste
A1198R009	WA 1200	35,621 t	96	100 %
A1198M006	WA 1200	30,006 t	495	84,23 %
A1198X011 (elektroninen)	WA 1200	29,316 t	100	82,29 %
A1198R009	PC 5500	41,652 t	409	100 %
A1198R010 (elektroninen)	PC 5500	40,636 t	330	97,56 %
A1198R008 (elektroninen)	PC 5500	40,229 t	192	96,58 %
A1198X011 (elektroninen)	PC 5500	39,525 t	291	94,89 %

Eroavuudet kenttien välillä ovat pieniä, varsinkin PC 5500 arvoilla. Näiden tulosten mukaan paras lastattavuus oli kentässä A1198R009. Tässä kentässä oli ennen räjäytystä kaksi sivua auki. Siinä käytettiin rivihiidasteena 67 ms ja reikähiidasteena 0 ms. Todennäköisesti tämä kenttä on päässyt parhaiten liikkumaan sivusuunnassa, mikä on helpottanut lastausta. Täkkäys ja panostus onnistui myös tässä kentässä lähelle suunniteltua arvoja. Lisäksi myös ruhjevöhykkeen sijainti tällä kentällä vaikutti kauhan täyttöasteeseen.

10.3.2 Lohkaroituminen

Määrittelin lohkaroitumisen tulkitsemalla ottamiani kuvia räjäytetyistä kentistä. Lisäksi tutkin kasan lohkaroitumista havainnoimalla kasaa, kun mittasimme kasan profilin gps-mittalaitteella. Arvioin sitä numeroilla 1-5, jossa 1 on huo-

noin, siinä oli eniten ylisuuria lohkareita ja kävely kasan päällä oli erittäin hankalaa. Arviointi on mukana kuvioissa 44–47.

Vaikeutena tässä oli kentän lohkaroitumisen selvitys koko kentän osalta, sillä kentän geotekniset ominaisuudet muuttuivat kentän sisällä. Toiseksi tämä kasan päältä arvioiminen ei välttämättä anna oikeaa käsitystä lohkaroitumisesta, koska kiviaines kasan sisällä voi olla eri kokoista.



Kuvio 44. Kentän A1198M006 lohkaroitumisen arviointi on 3



Kuvio 45. Kenttä A1198R009 lohkaroitumisen arvointi on 3



Kuvio 46. Kentän A1198M008&R010 lohkaroitumisen arviointi on 2



Kuvio 47. Kentän A1198X011 lohkaroitumisen arviointi on 2

Kuvissa näkyvät ylisuuret lohkarieet syntyvät ensimmäisen panostetun reikärivin ja kentän reunan väliseltä alueelta sekä etutäyteen kohdalta. Tämän välttämiseksi porattavan kentän etuseinään porattaisiin apureikiä tai ensimmäiset porareivät olisi kallistettuja reikiä. Edellisen kentän ”ryöstö” on suurempi penkan yläosassa kuin alhaalla. Tämän huomioimiseksi suunnittelussa porattavan kentän rintausta pitäisi olla aukaistua ennen poraussuunnitelman tekoa, jotta suunnittelija näkisi tilanteen ja pystyisi suunnittelemaan siihen kallistetut porareivät. Kallistuksissa pitää huomioida oikea porauskulma, jotta porareivät eivät tule penkan alapäästä läpi.

Mahdollisesti etutäyteen kohdalta muodostuvia lohkarieita voitaisiin estää pienentämällä etutäyteen raekokoa. Nyt käytössä olevan 16–32 mm murskeen sijalle 8–16 mm mursketta. Tämä materiaali voisi kiilautua paremmin reikään ja pitää tällöin räjähdysenergian paremmin kentän sisällä. Lisäksi täkkäysmateriaalin riski vahingoittaa nallijohtimia pienentyisi.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Elektronisten nallien käyttö suurissa kallion irroitusräjäytyksissä ei ole tarpeeksi hyödyllistä. Ne sopivat paremmin tarkkuutta vaativiin kohteisiin, tunnelihin ja asutuksen lähellä tehtäviin räjäytystöihin. Tärinän hallintaan nallit soveltuvat hyvin.

Toimintavarmuus ei ole vielä tarpeeksi korkealla tasolla näillä nalleilla. Esimerkiksi nallijohtimien vetolujuus on 200 N eli noin 20 kg, mikä on 100 N pienempi kuin impulssiletkunalleilla. Tämäkin voi vaikuttaa nallijohtimien katkeamisiin porarei'issä.

Saavutetut hyödyt eivät korvaa elektronisten nallien korkeita kustannuksia. Elektronisilla nalleilla toteutettu räjäytys maksaa noin 33 euroa/panostettu porareikä, kun taas impulssiletkunalleilla se maksaa 7 euroa/reikä. Ero on melkein viisinkertainen. Kentän panostettujen porareikien lukumäärää pitää vähentää huomattavasti, jos halutaan päästä lähellekään impulssiletkunallien hintoja. Todennäköisemmin tämän eron pitäisi saada takaisin räjähdysten tuloksesta, haluttuna lohkokokona sekä tehokkaammalla lastattavuudella. Ainakaan tämän opinnäytetyön tuloksien mukaan tällaista hyötyä ei saavutettu.

Tarkkuus ja erittäin monipuolinen mahdollisuus eri hidasteajoille antaa mahdollisuuksia sytytyksen suunnitteluun. Lisäksi lähtemättömien panosten lukumäärän ja sijainnin tietäminen heti räjähdysten jälkeen on erittäin hyvä turvallisuustekijä. Tämä edellyttää järjestelmään sopivien nallien käytön.

Tulevaisuudessa elektronisten nallien käyttö varmasti yleistyy. Nallien hintojen täytyy kuitenkin tulla huomattavasti halvemmaksi. Tämä varmasti vaatii sen, että näitä nalleja aletaan käyttämään suuria määriä ympäri maailmaa.

Opinnäytetyöni toimintamenetelmät tulosten esittelemisen kannalta olivat mielestäni onnistuneita. Kenttien vertailun lähtökohdassa pitää ottaa huomioon kokonaistuotannollinen käsitys. Räjäytetäänkö kentän sisällä mahdollisesti olevat eri materiaalit erilleen vai koko kenttä samaan suuntaan, jonka jälkeen merkitään rajat. Koko kentän räjäyttämällä samaan suuntaan saavutetaan todennäköisemmin tehokkaampi lastattavuus, koska kenttä pääsee liikkumaan paremmin purkautumissuuntaan päin eikä kasa nouse liian korkeaksi.

Toisaalta kentän hyvä liike voi myös heikentää lohkaroitumista. Näiden kahden tekijän kesken pitää vallita tasapaino, jotta saavutetaan paras mahdollinen kokonaistaloudellinen tulos. Näiden kokeilujen perusteella se saavutetaan huolellisella tekemisellä ja säätämällä nyt käytössä olevia räjähdysparametrejä avolouhoksen kasvaessa.

Kenttien räjäytysten vertailussa pitää siis olla lähtökohdat samat. Tulosten analysointi olisi silloin selvempää. Vertailtavia kenttiä pitää olla useita ja vertailujakso tarpeeksi pitkä, että voidaan valita samantyyppisiä kenttiä tuotannon edetessä eteenpäin. Mielestäni tämä tutkimus osoitti kuitenkin tarpeeksi hyvin sen, että elektronisten nallien käyttö ei ole tarpeen Kevitsan avolouhoksella.

LÄHTEET

- Chiappetta, F. 2001 Choosing the right delay timing for the blasting application, optimization and maintaining field controls. In: 1998 – Eighth Annual High-Tech Seminar – State-of-the-Art Blasting Technology Instrumentation and Explosives Applications, vol. 1: International Society of Explosives Engineers.
- Chiappetta, F. – Borg, D. 1983. Increasing productivity through field control and high-speed photography. In: First International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting. Luleå, Sweden.
- Hakapää, A. – Lappalainen A. 2011. Kaivos- ja louhintatekniikka. Helsinki: Kaivannaisteollisuus.
- Kevitsa Mining Oy. 2013. Avolouhos. (Kaivoksen oma materiaali).
- Kevitsa Mining Oy. 2013. Geologia. (Kaivoksen oma materiaali).
- Lislerud, A. 2010 Quarry Academy, Sandvik Oy.
- Orica Mining Services. 2010. Electronic Blasting Systems. (Orica Mining Services' conference / educational materials) .
- Orica Finland Oy. Elektroninen sytytysjärjestelmä. Osoitteessa http://www.oricamining services.com/fi/fi/section/products_and_services/electronic_blasting_systems 15.4.2013.

Orica Finland Oy. Kytinkappaleiden hidasteajat. Osoitteessa

http://www.oricaminingservices.com/fi/fi/product/products_and_services/initiating_systems/page_initiating_systems/exel_connectad_et_sl/1238 28.5.2013.

Vuolio, R. – Halonen, T. 2010 . Räjätystyöt. Helsinki: Suomen rakennusmedia Oy.

LIITTEET

Porattavuuden arviointilomake
Lastattavuuden arviointilomake
Kytkinkappaleiden teknistä tietoa
Kentän A1198R006 sytytyssuunnitelma
Kentän A1198R009 sytytysuunnitelma

Liite 1
Liite 2
Liite 3
Liite 4
Liite 5

Liite1.

1(2)

Kenttien porattavuuden tulokset porareiden täyttämien arviointilomakkeiden pohjalta. Lomakkeita näistä kentistä saatiin yhteensä 33 kappaletta.

Kentän A1198M006 tietoja ei ole. Todennäköisesti tämän kentän tulokset ovat aika samanlaiset kuin sen takana olevan kentän A1198X011. Tällä alueella ei ollut ruuhjavyöhykettä.

Kenttä A1198M008.

Poran tunkeutuvuus; helppous ja nopeus – kiven laatu/kovuus ja ruhjeet?

Erinomainen	Hyvä	Välttävä	Huono	Erittäin huono
	keskiarvo			

Porareiän tukot; irtokiven määrä ja koko – vaikeuttiko porausta?

Ei vaikutusta	Vähän	Kohtalaisesti	Paljon	Erittäin paljon
	keskiarvo			

Veden vaikutus poraukseen – pohjan liejuuntuminen, reiän tukkeutuminen pohjalta?

Ei vaikutusta	Vähän	Kohtalaisesti	Paljon	Erittäin paljon
keskiarvo				

Kenttä A1198R009.

Poran tunkeutuvuus; helppous ja nopeus – kiven laatu/kovuus ja ruhjeet?

Erinomainen	Hyvä	Välttävä	Huono	Erittäin huono
		keskiarvo		

Porareiän tukot; irtokiven määrä ja koko – vaikeuttiko porausta?

Ei vaikutusta	Vähän	Kohtalaisesti	Paljon	Erittäin paljon
			keskiarvo	

Veden vaikutus poraukseen – pohjan liejuuntuminen, reiän tukkeutuminen pohjalta?

2(2)

Ei vaikutusta	Vähän	Kohtalaisesti	Paljon	Erittäin paljon
				keskiarvo

Kenttä A1198R010.

Poran tunkeutuvuus; helppous ja nopeus – kiven laatu/kovuus ja ruhjeet?

Erinomainen	Hyvä	Välttävä	Huono	Erittäin huono
		keskiarvo		

Porareiän tukot; irtokiven määrä ja koko – vaikeuttiko porausta?

Ei vaikutusta	Vähän	Kohtalaisesti	Paljon	Erittäin paljon
		keskiarvo		

Veden vaikutus poraukseen – pohjan liejuuntuminen, reiän tukkeutuminen pohjalta?

Ei vaikutusta	Vähän	Kohtalaisesti	Paljon	Erittäin paljon
		keskiarvo		

Kenttä A1198X011.

Poran tunkeutuvuus; helppous ja nopeus – kiven laatu/kovuus ja ruhjeet?

Erinomainen	Hyvä	Välttävä	Huono	Erittäin huono
	keskiarvo			

Porareiän tukot; irtokiven määrä ja koko – vaikeuttiko porausta?

Ei vaikutusta	Vähän	Kohtalaisesti	Paljon	Erittäin paljon
		keskiarvo		

Veden vaikutus poraukseen – pohjan liejuuntuminen, reiän tukkeutuminen pohjalta?

Ei vaikutusta	Vähän	Kohtalaisesti	Paljon	Erittäin paljon
keskiarvo				

LIITE 2.

1(1)

Lastattavuuden arviointilomake

Komatsu PC 5500 (piston) tai WA 1200 lastaaja:

Kenttä/päivämäärä/vuoro:

- 1) Lastauksen sujuvuus; helppous ja nopeus – sopiva lohkareko, löyhtynyt tarpeeksi, ei ylisuuria lohkarkeitä?

Kiitettävä	Hyvä	Välttävä	Huono	Erittäin huono

Muuta:

- 2) Pohjan tasaisuus - helppo tasoittaa, kynsien esiintyminen?

Erinomainen	Hyvä	Välttävä	Huono	Erittäin huono

Muuta:

- 3) Rintauksen muoto ja korkeus – tilava työskentelyalue, selvät rajat/merkkaukset?

Erinomainen	Hyvä	Välttävä	Huono	Erittäin huono

Muuta:

- 4) Kauhan täyttöaste (keskiarvo)?

PC 5500:

Erinomainen (60t)	Tosi hyvä (50 t)	Hyvä (40 t)	Välttävä (30 t)	Huono (20 t)

WA 1200:

Erinomainen (45t)	Tosi hyvä (40 t)	Hyvä (30 t)	Välttävä (20 t)	Huono (10 t)

Impulssiletkunallien kytkinkappaleiden hidasteajat.

Exel™ Connectader™ SL

Designation	Delay time (ms) *	Colour
SL 0	2	Green
SL 17	17	Yellow
SL 25	25	Red
SL 42	42	White
SL 67	67	Blue
SL 109	109	Black
SL 176	176	Orange

* Incl. 4.8 m Exel™ tube

Exel™ Connectader™ SL 0-176

Tube length (m)	Qty per bag (1.1B & 1.4B)	Qty per box (1.1B & 1.4B)
2.4	10	120
4.8	10	100
7.8	10	70

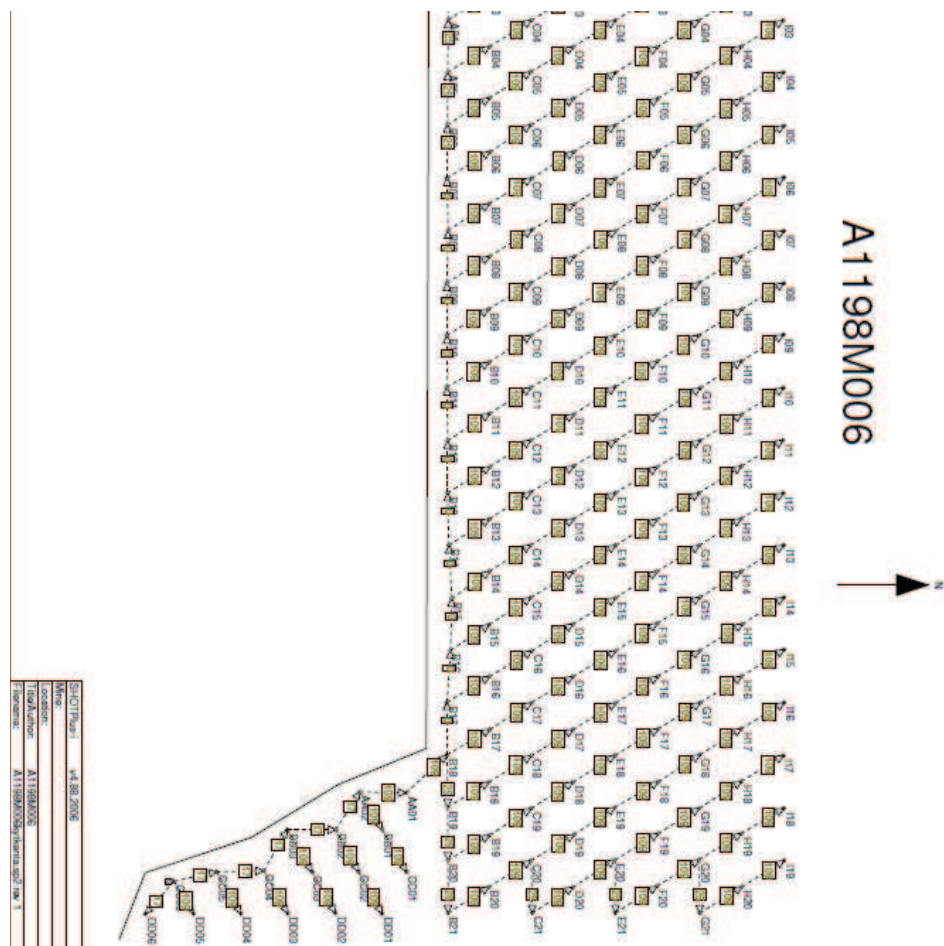
Other lengths and 1.4S packaging are available to special order.

Lähde: Orica Finland Oy 2013.

LIITE 4

1(1)

Kentän A1198M006 sytytyssuunnitelma.

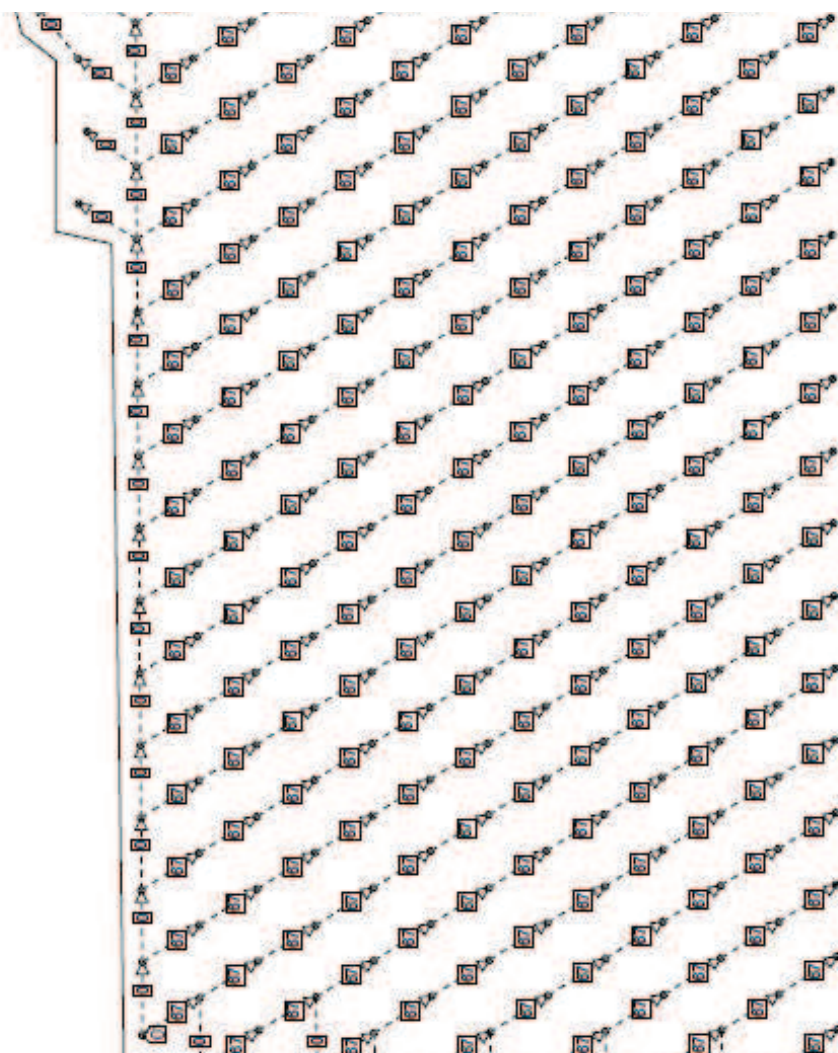


Lähde: Orica Finland Oy:n ShotPlus-ohjelma, suunnittelija Juha Kreivi FQM Kevitsa Mining Oy.

LIITE 5

1(1)

Kentän A1198M006 sytytyssuunnitelma.



Lähde: Orica Finland Oy:n ShotPlus-ohjelma, suunnittelija Juha Kreivi FQM Kevitsa Mining Oy.