



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Harri Mikkola

Louhintaturvallisuuden kehitys tietoteknisillä laitteilla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

1.5.2019

| | |
|--|--|
| Tekijä Otsikko | Harri Mikkola Louhintaturvallisuuden kehitys tietoteknisillä laitteilla |
| Sivumäärä Aika | 49 sivua + 0 liitettä 1.5.2019 |
| Tutkinto | Insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma | Rakennustekniikka |
| Ammatillinen pääaine | Infrarakentaminen |
| Ohjaajat | Rakennuspäällikkö Pekka Kotro Lehtori Anu Ilander |
| <p>Tämän opinnäytetyön tilaaja oli Kreate Oy. Opinnäytetyössä tutkittiin avolouhinnan turvallisuutta ja sen kehittämistä tietoteknisten laitteiden avulla kirjallisesti sekä kolmessa eri työkohteessa. Opinnäytetyössä käsiteltäviä laitteita ovat laserkeilain, GNSS-mittasauva, reikäsuoruuksmittari, GPS-poravaunu sekä lisäksi Forcit Oy:n jälleenmyymä sähköinen poraus- ja räjäytys suunnitteluohjelma, O-Pitblast.</p> <p>Räjähteillä louhiminen luokitellaan vaaralliseksi työksi, ja tutkimusongelmana on louhinnan riskien pienentäminen. Louhinnassa esiintyy monia erilaisia vaaroja, jotka käsitellään opinnäytetyössä. Yleisin vaaran aiheuttaja on kivien sinkoilu, jonka ehkäisyä opinnäytetyö käsittelee suurimmaksi osaksi. Työn tavoitteena oli tutkia, miten louhintaturvallisuutta voidaan parantaa tietoteknisten laitteiden avulla.</p> <p>Opinnäytetyön laitteiden käyttöä opeteltiin ja niitä käytettiin 2018 alkukesästä lähtien. Kolmessa esimerkikohteessa räjäytykset suoritettiin vuoden 2018 alkutalvesta sekä vuoden 2019 tammikuussa. Opinnäytetyön tulosten ja laitteiden käytön oppimisen perusteella louhinnassa saavutetaan merkittäviä turvallisuusparannuksia tietotekniikan lisääntyessä alalla. Lisäksi laitteista on huomattavasti hyötyä räjäytysten optimoinnissa myös kustannusten kannalta.</p> | |
| Avainsanat | Louhinta, Turvallisuus, O-Pitblast, Porareikien poikkeamat |

| | |
|--|---|
| Author Title | Harri Mikkola Development of Rock Blasting Safety by Digital Equipment |
| Number of Pages Date | 49 pages + 0 appendices 1 May 2019 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Civil Engineering |
| Professional Major | Infrastructural Construction Engineering |
| Instructors | Pekka Kotro, Construction Manager Anu Ilander, Senior Lecturer |
| <p>This thesis was commissioned by and in collaboration with Kreate Oy. The thesis researched the safety of open-pit mining and its development by digital equipment. The research is executed first in writing and then with examples of three different blasting fields. The equipment covered in the thesis is a laser scanner, a GNSS receiver, a borehole deviation measuring system, a GPS drill rig and in addition, an electronic drilling and blasting program, O-Pitblast, which was sold by Forciti Oy.</p> <p>Rock blasting is classified as a dangerous work. The research problem of this thesis is to reduce the risks of rock blasting. There are many different dangers in rock blasting that are brought out in this thesis. The most common cause of danger is flyrock and this thesis examines mainly how to prevent flyrock. The aim of this thesis was to research how safety in rock blasting can be improved with digital equipment.</p> <p>The equipment researched in this thesis was used from the early summer of 2018. The blasts in three example sites were executed in the end of 2018 and in January 2019. Based on the results of the thesis and the use of the equipment, open-pit mining will achieve significant safety improvements as the use of the digital equipment grows in the industry. In addition, the devices have considerable benefits in optimizing blasting, also in terms of costs.</p> | |
| Keywords | Rock blasting, Safety, O-Pitblast, Borehole deviation |

Sisällys

Termit

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Avolouhinta | 2 |
| 2.1 | Pengerlouhinta | 2 |
| 2.2 | Kanaalilouhinta | 4 |
| 2.3 | Tarkkuuslouhinta | 5 |
| 3 | Avolouhinnan riskit | 7 |
| 4 | Räjähdysaineet, nallit ja hidastimet | 10 |
| 4.1 | Räjähdysaineet | 10 |
| 4.2 | Nallit ja hidastimet | 12 |
| 5 | Louhinnan turvallisuuteen liittyvä laki | 15 |
| 6 | Poraus ja panostus | 17 |
| 6.1 | Poraus | 17 |
| 6.2 | Panostus | 19 |
| 6.2.1 | Peittäminen | 20 |
| 7 | Esimerkkiräjätyskentät | 21 |
| 7.1 | Siuntio, Soraliike Lindberg | 21 |
| 7.2 | Kouvola, Toikka Ky | 23 |
| 7.3 | Loviisa, NCC Kiviaines | 23 |
| 8 | GPS-poravaunu | 25 |
| 9 | Kallion 3D-mallinnus | 27 |
| 9.1 | Kallion pinnan mittaaminen | 27 |
| 9.2 | Kallion keulan laserskannaus | 28 |
| 10 | Räjätyskentän suunnittelu tietokoneohjelmalla | 29 |

| | | |
|------|--|----|
| 11 | Reikien toteutumat ja suoruusmittaus | 32 |
| 11.1 | Mittaustuloksen hyödyt | 35 |
| 12 | Kivien sinkoilu ja kaavat | 37 |
| 12.1 | Sinkoilun laskenta | 39 |
| 13 | Todellisen edun vaikutus reikäpanostukseen | 40 |
| 13.1 | Vaarallisen keulareiän esimerkkipanostus | 40 |
| 14 | Kuvauslaitteiden käyttö louhinnassa | 42 |
| 15 | Esimerkkikenttien tulokset | 43 |
| 15.1 | Siuntio | 43 |
| 15.2 | Kouvola | 45 |
| 15.3 | Loviisa | 46 |
| 16 | Yhteenveto | 48 |
| | Lähteet | 49 |

Termit

| | |
|---------------|--|
| Etu | Porareiän etäisyys edellä olevaan porareikään tai avoimeen kallion pintaan. |
| Etutäyte | Sepelillä tai murskeella täytetty reiän yläosa kivien sinkoilun estämiseksi. |
| Kansi | Etutäytteen paksuus porareiässä (m). |
| Keula | Louhittavan kalliopenkereen avoin seinämä. |
| Momentaaninen | Samanaikaisesti syttyvä räjähdysainemäärä. |
| Ohiporaus | Kiven irtoamisen varmistava haluttua louhintatasoa alemmas poratun porareiän osuus. |
| Ominaispanos | Räjähdysaineen määrä suhteessa kalliotilavuuteen (kg/m ²). |
| Panostusaste | Räjähdysaineen määrä kiloina per porametri (kg/m). |
| Pohjapanos | Porareiän pohjalla oleva tehokas patruonoitu räjähdysaine, johon nalli kiinnitetään. |
| Reikäväli | Rivissä olevien reikien välinen etäisyys. |
| Rikotus | Ylisuuren louheen pienentämistä kaivinkoneeseen kiinnitettävällä iskuvasaralla. |
| Ryöstö | Räjäytyskentän reunan ulkopuolelta räjäytyksessä lohjennut kalliorakenne. |
| Varsipanos | Porareiän varressa oleva räjähdysaine, jonka pohjapanos sytyttää. |

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, miten erilaisten tietoteknisten laitteiden avulla louhinnan turvallisuutta voidaan parantaa. Louhinnassa yleisimmät vaaratilanteet liittyvät kivien sinkoiluun ja tässä työssä käytettyjen laitteiden sekä tietokoneohjelman avulla kivien sinkoilua voidaan ehkäistä. Opinnäytetyö käsittelee avolouhintaa ja sen turvallisuutta pääasiassa isoissa massalouhintakohteissa. Työssä tarkastellaan kolmea eri esimerkkikohtetta, joissa käytetään turvallisuutta parantavia laitteita sekä sähköistä poraus- ja räjäytyssuunnitteluohjelmaa.

Opinnäytetyön teoria käsittelee louhinnan käytäntöä, avolouhinnan riskejä sekä turvallisuuteen liittyviä lakeja. Työssä tutustutaan turvallisuutta parantaviin laitteisiin ja ohjelmistoon sekä tutkitaan, kuinka nämä vaikuttavat turvallisuuden kehittymiseen. Lopuksi käsitellään esimerkkikohteiden avulla laitteiden vaikutusta poraukseen, panostukseen sekä louhintaturvallisuuden yleiseen parantumiseen. Työ on sisältänyt tutkimisen lisäksi laitteiston ja ohjelmiston käytön opettelun.

Opinnäytetyön tilaaja on Kreate Oy, joka on yksi Suomen suurimmista infrarakentajista. Yritykseen on perustettu vuoden 2018 alussa oma kalliorakentamisyksikkö, joka toimii sekä maanpäällisessä että maanalaisessa kalliorakentamisessa. Yksikön yksi päätavoitteista on kehittää louhinnan turvallisuutta ja viedä se digitalisaation avulla korkealle tasolle. Opinnäytetyö on tehty tukemaan tätä yrityksen tavoitetta.

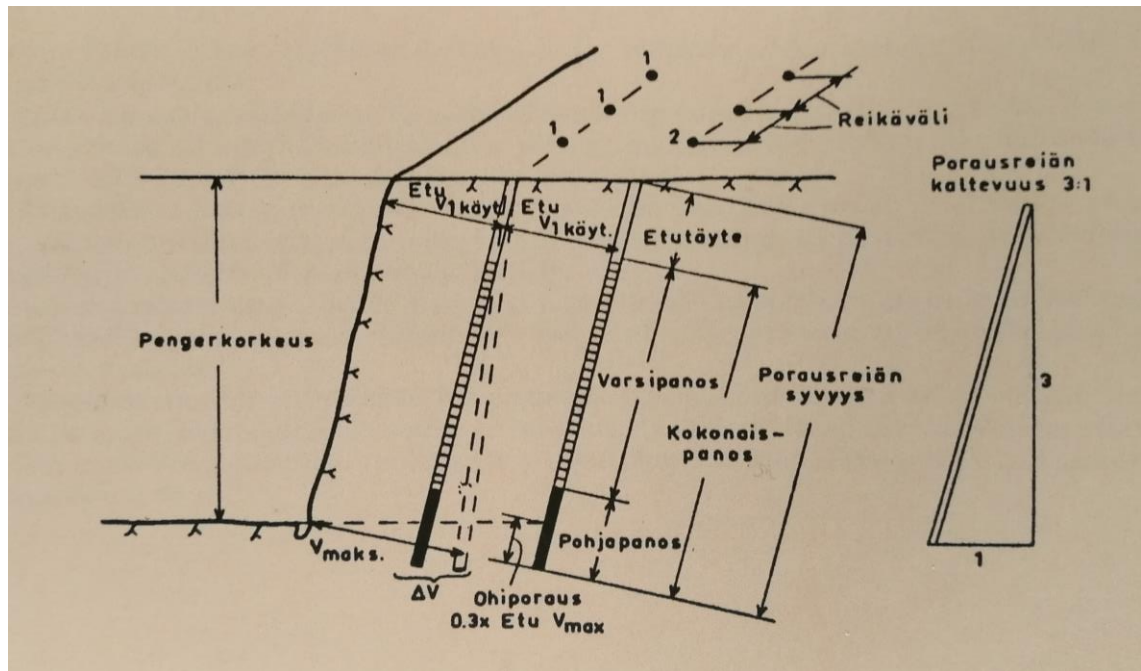
2 Avolouhinta

Louhinta voidaan jakaa pääpiirteittäin kolmeen osaan: avolouhintaan, maanalaiseen louhintaan sekä vedenalaiseen louhintaan. Avolouhintaa tehdään taivasalla, maanalaista kallion sisällä ja vedenalaista veden alla. Tämä opinnäytetyö käsittelee avolouhintaa.

Avolouhinnassa kiveä irrotetaan kallioista pääsääntöisesti räjähteillä, mutta sitä voidaan irrottaa myös ilman räjähteitä mekaanisesti iskuvasaralla tai kiilaamalla sekä porarei'issä turpoavalla murtolaastilla. Kalliota louhitaan massalouhintoina, raivauslouhintoina ja tarvekilouhintoina. Massalouhinnassa kalliota louhitaan käyttökiveksi esimerkiksi tierakenteisiin tai kalliossa sijaitsevan esiintymän, kuten malmin, jalostamiseksi. Raivauslouhinnoissa kalliota poistetaan esimerkiksi rakennettavien teiden tai rakennusten tieltä. Tarvekilouhinnassa kallioista irrotetaan kiveä isona ja mahdollisimman ehjänä kappaaleena, minkä jälkeen kivistä työstetään muun muassa katukiveyksiä ja hautakiviä. Avolouhinnassa käytetään pääsääntöisesti kolmea louhintamenetelmää: pengerialouhintaa, kanaalilouhintaa ja tarkkuuslouhintaa. [Vuolio s. 88.]

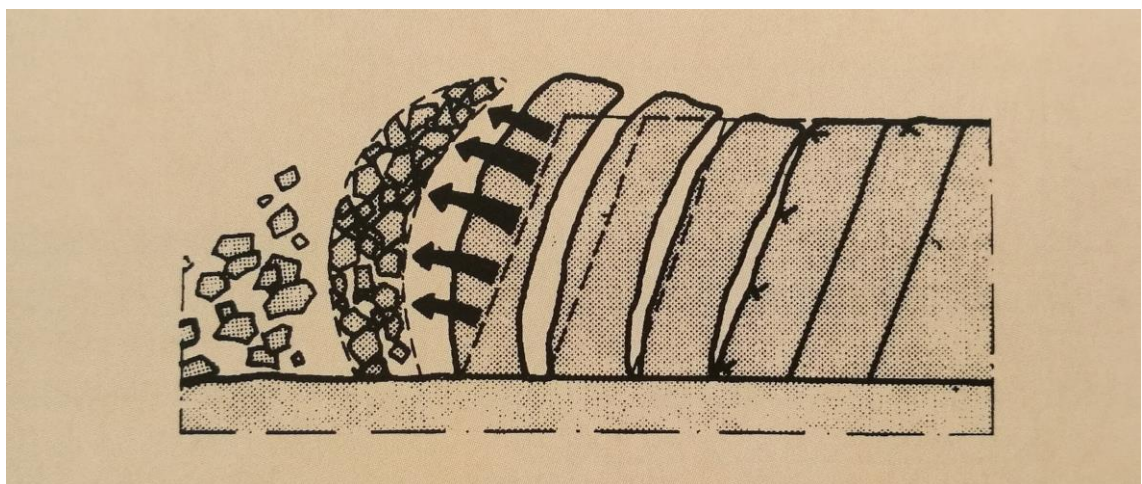
2.1 Pengerlouhinta

Pengerlouhinta on avolouhinnassa yleisimmin käytetty räjäytystyömenetelmä. Siinä on vähintään yksi avoin kallioseinämä, jonka korkeus on yleensä louhittavan penkereen korkeus. Pengerlouhinnassa kallioon porataan reikiä tasaisilla väleillä halutun muotoiseen ruutuun ja tiettyyn syvyyteen. Ruutu muodostuu edusta ja reikävälistä. Etu on reikärivien välinen etäisyys ja reikäväli on reikärivissä olevien reikien välinen etäisyys (Kuva 1). Reiät ovat hieman kallistettuja räjäytyskentän purkautumissuuntaan, minkä ansiosta louhe irtoaa helpommin kallioista ja kiven lohkaroituminen parantuu. Porareivät porataan yhteen tai useampaan riviin ja yleensä haluttua pohjan tasoa alemmas, ja tätä osaa porareissä kutsutaan ohiporaukseksi. Ohiporaus varmistaa kallion irtoamisen vähintään haluttua pohjan tasoa myöten. Panostuksessa reikä koostuu pohjapanoksesta, varsippanoksesta sekä etutäytteestä eli sepelillä täytetystä panostamattomasta osasta (Kuva 1). [Vuolio s. 88.]



Kuva 1. Yleisimmät termit pengerialouhinnassa [Vuolio s. 88.]

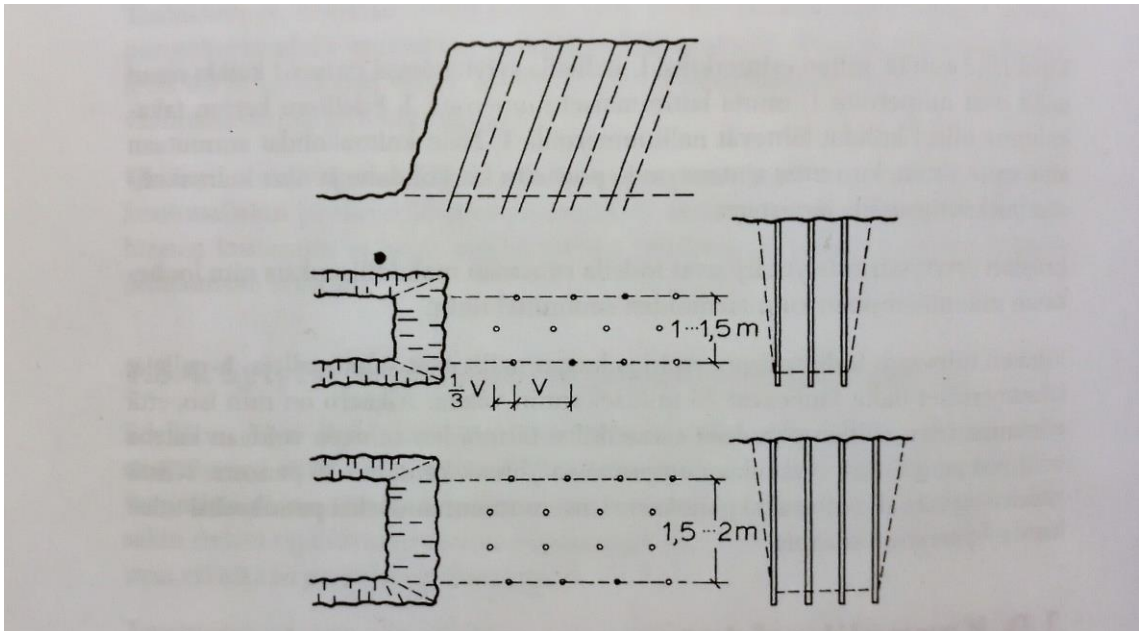
Panostaja panostaa poratut reiät, ja reikien syttyminen ajastetaan niin, että ensimmäinen reikäriivi syttyy ennen seuraavaa, jolloin räjäytyskentän kallio irtoaa aaltomaisesti purkautumissuuntaansa kohden (Kuva 2). Pengerlouhinnassa käytetään lyhythidastesytyksen menetelmää, jossa reiät tai reikäriivit syttyvät hyvin pienillä aikaeroilla. Reikien syttymisajoissa on eroa vaihtelevasti joitakin millisekunteja, ja tyypillisesti louhittavan kentän räjähdys kestää muutamasta sadasta millisekunnista pariin sekuntiin.



Kuva 2. Räjäytyskentän oikea palamisjärjestys [Vuolio s. 103.]

2.2 Kanaalilouhinta

Kanaalilouhinta ei juurikaan eroa normaalista pengerialouhinnasta, mutta siinä louhittavan penkereen leveys on pieni ja näin kiven purkautumissuunta on ahdas ja kallion vastajännitys suuri (Kuva 3). Jotta kivi irtoaisi kalliosta paremmin, on reikiä porattava tiheämpään ruutuun. Näin myös ominaispanos (kg/m^3), eli panostettavan räjähdysainemäärän suhde louhittavan kallion tilavuuteen, kasvaa. Lisäksi reikiä tulee kallistaa enemmän kallion irtoamisen ja paisumisen helpottamiseksi. Suuren ominaispanoksen ja kanaalipenkereen ahtaan purkautumisen takia kivien sinkoilu on todennäköisempää, ja siksi kenttä joudutaan peittämään normaalia paksummin. Kanaalilouhinta on edellä mainituista syistä kalliimpaa kuin tavallinen pengerialouhinta, kun tarkastellaan hintaa kuutiota kohden. [Vuolio s. 88, 105-106.]



Kuva 3. Kanaalilouhinta [Jääskeläinen s. 224.]

2.3 Tarkkuuslouhinta

Tarkkuuslouhinta on melko yleisesti käytetty louhintamenetelmä, jota käytetään tarvikelouhinnassa ja paikoissa, joissa louhittavan kallion taakse jäävällä seinämällä on tietty tarkkuusvaatimus. Tarkkuuslouhittavalle seinämälle annetaan louhintatoleranssi, jonka sisällä louhittavan reunan tulee pysyä. Tällaisia paikkoja ovat esimerkiksi teiden ja junaratojen kallioleikkaukset sekä tunneleiden suuaukot. Seinämissä näkyy tiheästi porattujen reikien puolikkaat (Kuva 4). Tarkkuuslouhinnassa ehjäksi jätettävään reunaan porataan yksi reikälinja tiheämmin kuin räjäytettävän kentän reiät. Tiheästi porattu reikälinja panostetaan kevyesti, mutta reikien sytytyksen tulee olla mahdollisimman yhdenaikainen, jotta kallio leikkautuu tasaisesti. Riippuen kivilajista ja porauksen tiheydestä, rakolinjan jokainen tai joka toinen reikä panostetaan. Joka toisella reiällä panostettaessa porauksen tulee olla tiheämpää. Kun kallioseinämälle ei ole annettu louhintatoleranssia, mutta halutaan silti säilyttää mahdollisimman tasainen näkyväksi jäävä pinta, on kyse silolouhinnasta. [Jääskeläinen s. 225.]



Kuva 4. Tarkkuuslouhittu seinämä [Google Maps.]

Tarkkuuslouhinnassa on kaksi erilaista menetelmää: jälkilouhinta ja raonräjäytys. Jälkilouhinnassa varsinainen räjäytyskenttä louhitaan aluksi pois jättäen tarkkuuslouhittavalle seinämälle kapea kannas, joka räjäytetään erikseen tarkkuuslouhintana. Raonräjäytyksessä tiheästi porattavat reiät panostetaan ennen varsinaisen räjäytyskentän louhimista, jolloin kallioon syntyy rakolinja. Kun varsinainen räjäytyskenttä laukaistaan, kivi irtoaa rakolinjaa myöten. Molemmissa menetelmissä laukaisu on mahdollista tehdä kentän

laukaisun yhteydessä tai erikseen. Kentän yhteydessä räjäytettävä tarkkuuslouhittu linja yhdistetään varsinaisen räjäytyskentän kytkentään. [Jääskeläinen s. 226.]

Joissain tapauksissa kallion seinämä joudutaan irrottamaan ilman räjähteitä. Tällaisia tapauksia ovat kohteet, joissa vaaditaan kyseisten menetelmien käyttöä, tai kohteen läheisyydessä on esimerkiksi värinäherkkiä rakenteita, jolloin kallioon tehdään rako, joka vaimentaa värinän kulkeutumista kalliossa. Rako voidaan leikata kallioon timanttivaijerisahaamalla tai irtiporaamalla. Timanttivaijerisahauksessa kallion seinämään porataan pilottireiät, joista timanttivaijeri pujotetaan läpi. Vaijeri kiinnitetään vaijerisahaan, joka pyörittää ja kiristää vaijeria leikaten kallion. Seinämästä tulee siisti ja tasainen. Irtiporauksessa kallioseinämä porataan kallion pinnalta irti käyttäen poravaunua (Kuva 5). Kallioon porataan aluksi lähekkäin pilottireikiä, minkä jälkeen pilottireikien väliin jäävä kannas porataan irtiporaukseen tarkoitetun ohjurikappaleen avulla. Porametrejä kertyy irtiporattavaa neliötä kohden huomattavasti, joten menetelmä on melko kallis. Haasteellisuutta työhön lisäävät kalliossa olevat halkeamat ja epätasaisuudet.



Kuva 5. Irtiporattu seinämä

3 Avolouhinnan riskit

Avolouhinnassa vakavia henkilövahinkoja aiheuttaneita onnettomuuksia ovat aiheuttaneet räjähteiden tahaton räjähtäminen, kivien sinkoilu, tippuminen sekä puristuminen. [http://totti.tvk.fi 21.2.2019.] Materiaalivahinkoja aiheuttavia riskejä avolouhinnassa ovat kivien sinkoilu, louhintatärinät sekä paineaalto.

Räjähteen tahaton räjähtäminen aiheutuu yleensä porarin poratessa kalliassa olleeseen räjähteeseen. Panostusvaiheessa tätä voidaan välttää poraamalla riittävällä etäisyydellä panostetuista rei'istä (Kuva 5). Vanhoja räjähtämättömiä räjähdysaineita voi olla kuitenkin mahdotonta havaita. Mikäli voidaan epäillä kalliassa olevan räjähdysaineita, kallion pinta tulee puhdistaa ja löytyneet reiät puhaltaa paineilmalla mahdollisten räjähdysaineiden löytämiseksi.

| Porattavan reiän pituus (m) | Pienin etäisyys panostettuun reikään (m) | Pienin etäisyys parhaillaan panostettavaan reikään (m) | Pienin etäisyys parhaillaan panostettavaan reikään puhdistettaessa reikää (m) |
|-----------------------------|---|---|---|
| alle 6 | 2 | 5 | 5 |
| 6–12 | 3 | 5 | 5 |
| 12–16 | 4 | 5 | 5 |
| 16–20 | 5 | 5 | 5 |
| yli 20 | määritellään olosuhteiden mukaan, kuitenkin aina vähintään 5 m. | määritellään olosuhteiden mukaan, kuitenkin aina vähintään 5 m. | määritellään olosuhteiden mukaan, kuitenkin aina vähintään 5 m. |

Kuva 6. Ohje-etäisyydet poraukselle panostettavien reikien läheisyydessä [Räjäytys- ja louhintatyön turvallisuusohje, s. 25.]

Tippuminen on estettävä putoamissuojaimilla tai aidoilla. Putoamissuojaimet ovat työntekijöiden päälle puettavia valjaita, jotka avolouhinnassa kiinnitetään niille tarkoitettulla köydellä kallion pintaan. Putoamista estävä aita voidaan asentaa kalliopenkereen reunalle tolpiesta sekä pitkistä kuormaliinoista. Puristumistapauksia voidaan estää perehdyttämällä, välttämällä työkoneiden läheisyydessä oleskelua sekä suunnittelemalla työvaiheet turvallisiksi.

Kivien sinkoilua aiheuttaa liian ohut keulaetu, ylisuuri ominaispanos, liian pieni kansi tai huono etutäyte, vääränlainen nallitus ja sytytysjärjestys sekä kallion rakenne. Liian ohut etu keulalla, eli kalliopenkereen avoimella seinämällä räjäytyskentän etupuolella,

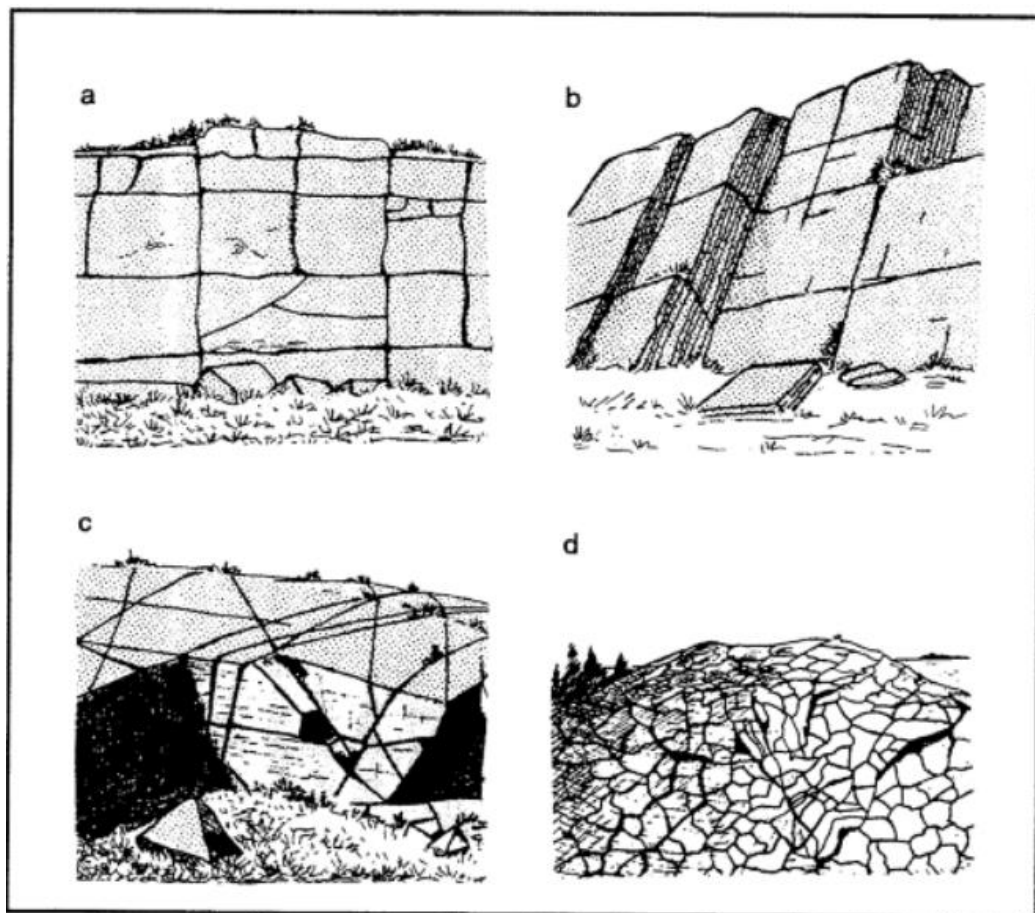
aiheuttaa kivien sinkoilemisen voimakkaasti räjäytyskentän purkautumissuuntaan. Tällöin reiässä oleva räjähdysainemäärä on liian iso reiän edessä olevaa kalliota kohden, jolloin räjähdysvoima voi lennättää kiviä satojen metrien päähän. Tähän syynä voi olla ensimmäisten rivien porareikien taipuminen, porauksen kallistusvirhe, porareian väärä sijainti ja edellisen räjäytyskentän ryöstäminen. Ryöstäminen tarkoittaa räjäytyskentän aiheuttamaa kallion tarkoituksetonta lohkeamista kentän ulkorajojen ulkopuolelta. Koska kallion läpi ei pysty näkemään, porareikien todellista sijaintia suhteessa räjäytyskentän keulaan on mahdotonta havaita silmällä. Tämän takia räjäytyskentän keula aiheuttaa kentässä suurimman sinkoiluriskin turvallisuutta ajatellen.

Ylisuuri ominaispanos (kg/m^3) koko räjäytyskentässä aiheuttaa hallitsemattoman kivien sinkoilun voimakkaasti joka suuntaan. Ominaispanostukseen voidaan vaikuttaa laskennallisesti suunnitelmavaiheessa porauksen ruutukoolla, reikäläpimitalla ja käytettävillä räjähdysaineilla. Jotta ominaispanos pysyy suunniteltuna, porauksen täytyy olla tarkkaa. Jos reiät panostetaan samalla tavalla, liian tiheästi poratut kohdat kentässä nostavat paikallista ominaispanosta, kun taas harvemmin poratut kohdat pienentävät ominaispanosta. Oikein suunniteltu ja porattu räjäytyskenttä on ominaispanokseltaan turvallinen mutta myös taloudellinen eli riittävän hyvin kiveä rikkova.

Kansi on räjäytyskentän pinnan panostamaton osa, joka muodostuu reikien etutäyteen paksuudesta ja jonka tehtävänä on estää kivien sinkoilua ylöspäin. Riittävä kansi ja keulaetu muodostavat räjäytyskentälle kivien sinkoilua estävän vaipan. Kannen paksuus määritellään aikaisempien räjäytysten perusteella, reikäläpimitan ja ympäristön varomistarpeen mukaan. Liian suuri kansi ei ole enää kustannustehokas ylisuuren louheen ja suurentuvan rikotustarpeen takia. Rikotus on ylisuuren louheen mekaanista iskemistä pienemmäksi ja on paljon tehtynä kallista. Mikäli kentän lähellä on varottavia kohteita, joudutaan kantta paksuntamaan. Panostaja joutuu myös säätämään kannen paksuutta kallion pinnanmuotojen mukaan, koska reiässä räjäytysaineen ylin osa pitää jättää turvallisuudelle etäisyydelle lähimmästä kallion pinnasta. Jos kallio on hyvin epätasaista, kentän keskimääräinen kansi on tavallista paksumpi. Mikäli räjäytyskentän lähellä ei ole varottavia kohteita, voidaan kannen osuutta pienentää ja näin vähentää kannesta jäävien ylisuurien kivien rikotuskustannusta. Kansi voi myös pettää aiheuttaen kivien sinkoilua, kun etutäyte on huono. Jos reiässä käytetään esimerkiksi väärää etutäytemateriaalia kuten porauspölyä, tai jos etutäytettä ei jostain syystä mene tarpeeksi reikään,

räjähdyskaasut pääsevät purkautumaan liian voimakkaasti ylöspäin aiheuttaen kivien sinkoilun. Tähän vaikuttaa huolellisuus panostustyössä.

Kivien sinkoilua voi aiheuttaa myös kallion rakenne. Kallio voi olla valmiiksi rikkonainen tai lustainen, eli kalliossa on jo valmiiksi luonnon muovaamia rakoja. Kallion rakoilutyyppiä ovat kuutiorakoilu, laattarakoilu, kiilarakoilu ja sekarakoilu (Kuva 7). Rakoja pitkin räjähdyskaasut voivat purkautua voimakkaasti puhaltaen kiviä. Myös irtonaisen räjähdysaineen valuminen rakoihin voi lisätä reikään menevän räjähdysaineen määrää, jolloin ominaispanos kentässä kasvaa. Kallion rakoisuutta havaitaan silmämääräisesti sekä porarin poratessa räjäytyskentän reikiä. Porarin tulee ilmoittaa kalliossa havaitsemastaan rakoilusta, jolloin siihen voidaan varautua panostusvaiheessa.



Kuva 7. Rakoilutyyppit [luentomateriaali Anu Ilander.]

4 Räjähdysaineet, nallit ja hidastimet

4.1 Räjähdysaineet

Räjähdysaineet voidaan jaotella patruonituihin räjähdysaineisiin ja patruonoimattomiin irtoräjähdysaineisiin. Patrunoidut räjähdysaineet pakataan yleensä muovisiin tai paperisiin patruonihin, jolloin räjähdysaine pysyy suunnitellusti patruunan sisällä ja on hallittua panostaa. Yleisimmin käytettyjä patruonoituja räjähdysaineita ovat dynamiitit, putkipanokset, emulsiopatruunat sekä TNT-pohjaiset aloituspanokset (Kuva 8). Patrunoituja räjähdysaineita saa eri kokoisina, mikä vaikuttaa panostusasteeseen reiässä, eli kuinka paljon räjähdysainetta on reiässä per metri. Lisäksi on räjähtävä tulilanka, jota voidaan käyttää tarkkuuslouhinnassa reikäpanoksena sekä sytyttimenä. Dynamiittejä käytetään yleensä pohjapanoksina porareii'issä. Dynamiitti palaa nopeasti ja se on voimakas räjähdysaine. Dynamiitin syttyessä räjäytyskentän pohja leikkautuu hyvin, ja reiän muu räjähdysaine syttyä tehokkaalla palamisnopeudella. [forcit.fi, 13.3.2019.]

Putkipanokset ovat ohuita muoviputkeen pakattuja räjähdysaineita, joita käytetään tarkkuuslouhinnassa, koska niiden panostusaste on muita patruunoita pienempi. Välikappaleiden ansiosta niitä voidaan yhdistää toisiinsa. Emulsiopatruunoita käytetään yleensä varsipanoksina räjäytyskentissä. Ne kestävät hyvin vettä sekä pakkasta ja ovat ympäristöystävällisiä räjähdysaineita. TNT-pohjaisia räjäytysaineita käytetään aloituspanoksina massalouhintakentissä. [forcit.fi, 13.3.2019.]



Kuva 8. Dynamiitti-, putkipanos- sekä emulsiopatruunat [www.forcit.fi.]

Avolouhinnassa patruimattomia räjähdysaineita käytetään asumattoman alueen räjäytyskentissä niiden kustannustehokkuuden takia. Patruimaton räjähdysaine on irtotavaraa, joka täyttää porareian koko leveydeltään. Avolouhinnassa näitä ovat bulk-emulsioräjähdysaineet sekä anfo.



Kuva 9. Forcit Oy:n kemiittiauto [Jääskeläinen s. 228]

Bulk-emulsioräjähteet eli kemiitit ovat vesi öljyssä -emulsioita, jotka kuljetetaan työmaalle niille tarkoitetuilla kemiittiautoilla (Kuva 9). Kemiitin ainesosat valmistetaan tehtaalla, mutta sekoitus tapahtuu työmaalla kemiittiauton sekoittimessa. Kun kemiitti panostetaan letkulla porareikiin, seos herkistyy hetken päästä varsinaiseksi räjähdysaineeksi. Siksi kemiittiauto ei myöskään kuljeta missään vaiheessa valmista räjähdysainetta, joten kuljetus on turvallinen. Kemiitit kestävät erinomaisesti vettä ja ne syrjäyttävät rei'istä veden pois. Lisäksi kemiitin panostaminen on erittäin nopeaa, ja se on ympäristöystävällinen räjähdysaine. [forcit.fi, 13.3.2019.]

Anfo on prillatun eli huokoistetun raemaisen, ammoniumnitraatin ja polttoöljyn seosta. Anfo kuljetetaan työmaalle säkkitavarana ja sitä käytetään yleensä, kun räjäytyskenttää ei kustannussyistä kannata panostaa kemiittiautolla tai patruimoidulla räjähdysaineella tai

kemiittiauto ei yksinkertaisesti pääse louhittavalle kentälle. Anfo ei kestä vettä, joten sillä ei voida panostaa vesireikiä. On olemassa myös vettä paremmin kestävää Ahti-anfoa, mutta sitäkin käytettäessä vesireiät pitää puhaltaa paineilmalla tyhjäksi. [forcit.fi, 13.3.2019.] Jos reiän pohjalla on osittain vettä, pitää reikä niin sanotusti kuivata eli pudottaa reikään niin monta patruunaräjähdettä, että veden pinta jää ylimmän patruunan alapuolelle ja vasta sen jälkeen panostaa reikä anfolle.

4.2 Nallit ja hidastimet

Nallit ovat räjähdysaineen sytyttimiä, jotka sijoitetaan reiän pohjassa olevaan pohjapanokseen sekä tarvittaessa pinta- tai välipanoon. Kaikki nallit ovat metallisen holkin sisällä ja sisältävät pienen määrän räjähdysainetta. Louhinnassa käytettäviä nalleja on kolmenlaisia: sähkönalleja, impulssiletkunalleja sekä elektronisia nalleja.

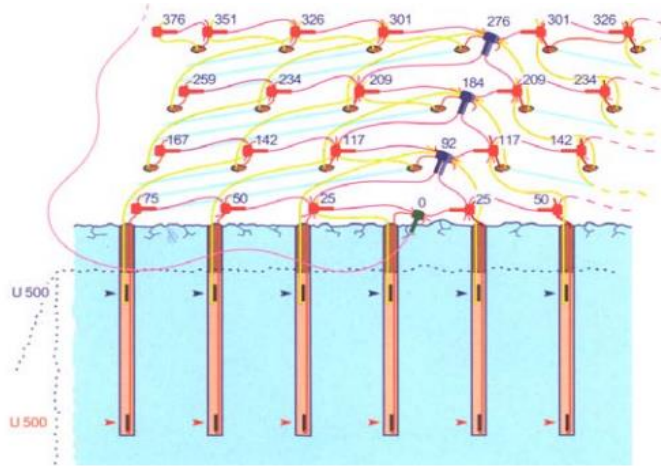
Sähkönallit toimivat sähköllä. Jokaisesta nallista lähtee kaksi nallijohtinta, jotka kytetään toisten nallien johtimiin (Kuva 10). Kaksi nallijohtoa miltä tahansa väliltä yhdistetään laukaisimeen, jolloin nallit ja laukaisin muodostavat piirin. Sähkönalleja saa 20:llä eri hidastusajalla 25 millisekunnin välein. [www.forcit.fi, 15.3.2019.]



Kuva 10. Sähkönalli [www.forcit.fi.]

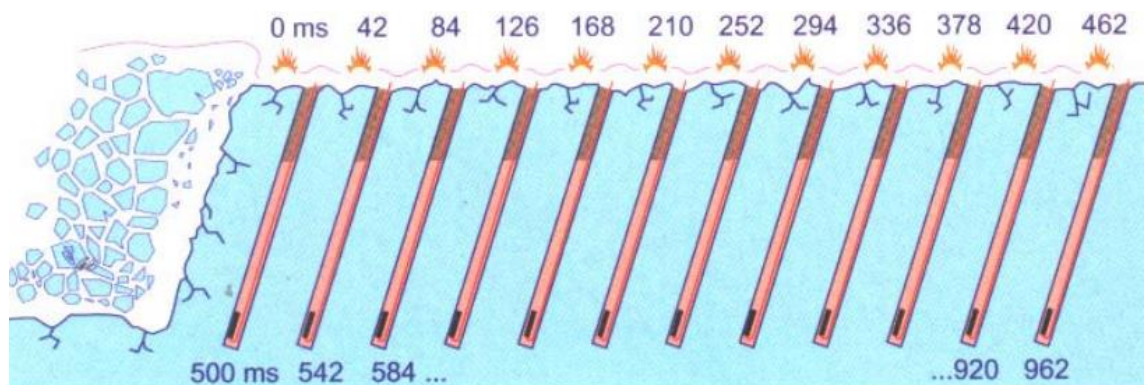
Impulssiletkunallit ovat sähkötön nallijärjestelmä. Nallista lähtee ohut muovinen letku, jonka sisäpinnalla on reaktiivista materiaalia, joka kuljettaa paineaaltoa 2100 m/s. Paineaallon päätyessä nalliin nalli syttyy. Nalli asetetaan pohjapanokseen, joka lasketaan nalliletkun varassa reiän pohjalle. Reiän suulle tuleva nallijohto kiinnitetään impulssiletkunallijärjestelmän pintahidasteeseen, joka sytyttää pohjanallin impulssiletkun ja määrittää reiän syttymisajan sekä välittää impulssin seuraavalle pintahidasteelle. (Kuva 11)

Kuva on havainnollinen ja luvut esittävät syttymisaikoja. Vihreä pintahidaste aloittaa räjäytyksen, punaiset pintahidasteet viivyttävät siihen kytketyn nallin syttymistä 25 millisekuntia ja siniset 67 millisekuntia.



Kuva 11. Impulssiletkunallin sytytysuunnitelma [www.forcit.fi.]

Pintahidastimet ovat yleensä 0, 9, 17, 25, 42, 67, 109 ja 176 millisekuntia. Hidastusajoissa on pieniä eroja eri valmistajien välillä. Pohjanallien hidastusaika on yleensä 500 ms tai 475 ms riippuen nallijohdon pituudesta, ja tämän takia suurin osa pintahidastimista ehtii palamaan ja välittämään impulssin pohjanalleille ennen ensimmäisten reikien syttymistä (Kuva 12). Impulssiletkujärjestelmä on massalouhintakentillä eniten käytetty nallijärjestelmä sen nopean kytkemisen, käytettävyyden ja hinnan takia. [www.forcit.fi, 15.3.2019]



Kuva 12. Kumulatiivinen hidastusaika rei'issä [www.forcit.fi.]

Elektroniset nallit ovat ohjelmoitavia nalleja, joihin panostaja voi itse määrittellä millisekunnin tarkkuudella syttymisajan. Jokaisen nallin sisällä on pyroteknisen hidastusmassan sijaan piirikortti. Tämän takia elektroniset nallit ovat tarkempia syttymisajoissa kuin sähkönallit tai impulssiletkunallijärjestelmä. Elektroniset nallit ovat pituudesta riippuen kelalla tai vyyhdillä. Elektroniseen nallijärjestelmään kuuluu elektroniset nallit, ohjelmointiyksikkö, jolla nallien syttymisajat määritellään kytkentävaiheessa, sekä laukaisulaite, jolla räjäytyskenttä voidaan laukaista (Kuva 13).

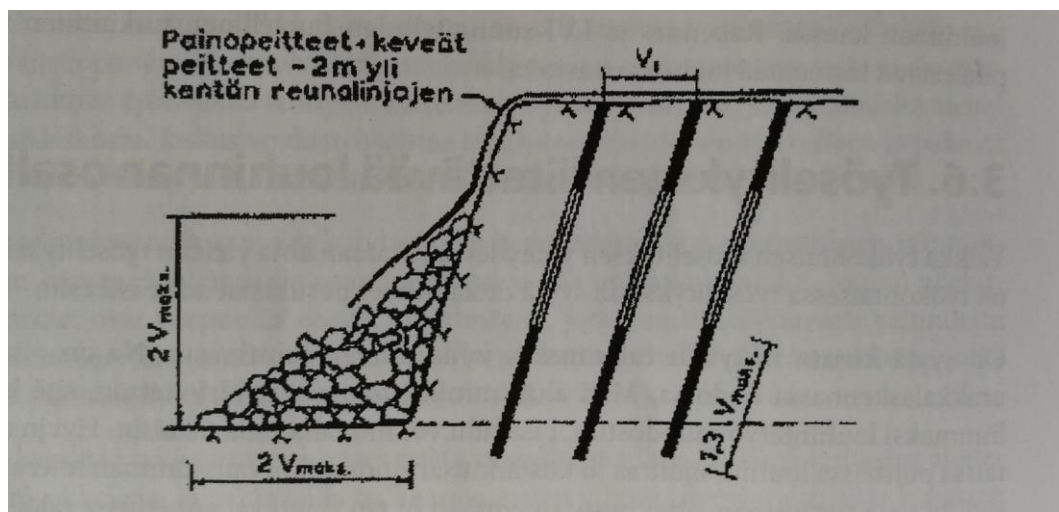


Kuva 13. Elektroninen nallijärjestelmä [www.enaex.com.]

Nallit voidaan ohjelmoida syttymään alueella 0-14000 ms. Nallit kytketään panostuksen jälkeen runkolinjaan, ja piirin toimivuutta voidaan seurata ohjelmointilaitteella kytkennän aikana. Nallit voidaan laukaista ainoastaan järjestelmän omalla laukaisulaiteella. Elektroninen nallijärjestelmä on turvallisin menetelmä räjäytyskentän sytytykseen, mutta tois-
 taiseksi järjestelmä on myös kallein. Suuria hyötyjä on toimintavarmuus ja sytytystarkkuus, joten räjähtämättömien räjähdysaineiden riski pienenee, ja reiät syttyvät suunnitellusti oikeilla ajoituksilla. Syttymistarkkuus vaikuttaa myös positiivisesti louhintatärinän hallintaan. [www.forcit.fi, 15.3.2019.]

5 Louhinnan turvallisuuteen liittyvä laki

Louhinta jaetaan laissa asutuskeskuslouhintaan sekä asumattoman alueen louhintaan. Asutuskeskuslouhinta on louhinta, joka tapahtuu alle 200 metrin päässä asutusta rakennuksesta tai paikasta, jossa ihmisiä tavallisesti oleskelee. Asutuskeskuslouhinnassa saa käyttää ainoastaan patruonoitua räjähdysainetta tai vastaavan turvallisuuden takaavaa räjähdettä ja menetelmää. Asutulla alueella louhittaessa räjäytyskenttä tulee aina peittää. Kentän keulalla tulee olla louhetäkkäys, joka estää kivien sinkoilemisen kentän etupuolelta ja pinnalla kumimatotus, joka yltää reilusti louhetäkkäyksen reunan yli estäen kivien sinkoilun ylöspäin (Kuva 14). [www.finlex.fi 20.02.2019.]



Kuva 14. Kentän peittäminen [Jääskeläinen s.250.]

Rakennuttaja tai tilaaja laatii aina työmaasta turvallisuusasiakirjan, jossa ilmenee toteutettavan hankkeen ominaisuuksista, olosuhteista ja luonteesta aiheutuvat haitta- ja vaaratekijät ja toteuttamiseen liittyvät työturvallisuutta sekä työterveyttä koskevat tiedot. Urakoitsijan on otettava turvallisuussuunnitelmassa huomioon turvallisuusasiakirjan tiedot. Rakennustyömaalla tehdään viikoittain kunnossapitotarkastukset, joissa tarkistetaan työmaan turvallisuustasoa. Seuranta voidaan tehdä MVR-mittarilla (maa- ja vesirakentaminen) sekä Murskamittarilla. Mittarit ovat täytettäviä kaavakkeita, joissa huomioidaan työmaan työturvallisuushavaintoja. [Räjäytys- ja louhintatyön turvallisuusohje, s. 8-9.]

Louhintatyön toteuttaja laatii louhintatyöstä turvallisuussuunnitelman. Turvallisuussuunnitelma lähetetään liitteenä louhintatyön viranomaisilmoitukseen, joka tehdään aina

ennen työmaalla alkavaa räjäytystyötä. Viranomaisilmoitus on lähetettävä vähintään seitsemän vuorokautta ennen ensimmäistä räjäytystyötä. Turvallisuussuunnitelmaa täydennetään aina tarvittaessa. Turvallisuussuunnitelmassa selvitetään työn ja työympäristön vaarat sekä turvallisuuden toteuttamiseksi tehtävät toimenpiteet ja ohjeet. Turvallisuussuunnitelma sisältää myös:

- Turvallisuustoiminnan kuvauksen
- louhintatasot
- etenemisjärjestys ja louhintavaiheet
- panostusmenetelmät
- sytytysmenetelmät
- vaaralliseen alueen määrittämistapa
- peittäminen ja muu sinkoilun rajoittaminen
- vaarallisen alueen eristäminen
- louhintatärinän hallinta
- räjähteiden toimittaminen työmaalle
- säilytys ja siirrot työmaalla
- erityiset turvallisuusriskit ja niiden edellyttämät toimenpiteet
- rusnauksen suorittaja ja taso
- yhteydenpito, kulku- ja pelastautumistiet ja suojapaikat
- suojaetäisyydet
- onnettomuuden aikaiset ohjeet.

Turvallisuussuunnitelman liitteeksi tehdään työmaan järjestelypiirros, jossa ilmenee työkohteet, kulkuväylät, poistumisreitit, suojapaikat, räjähdystarvikkeiden säilytys- ja varastointipaikat, ensiapu- ja sammutusvälineiden sijainti sekä työn turvallisuuteen vaikuttavat muut alueet. [Räjäytys- ja louhintatyön turvallisuusohje, s. 10-12.]

Räjäytystyön vastuuhenkilö tai panostaja laatii jokaisesta räjäytettävästä kentästä kirjallisen räjäytys-suunnitelman, jonka räjäytystyön vastuuhenkilö allekirjoittaa. Räjäytys-suunnitelmassa ilmenee tiedot porauksesta, räjähteestä ja sen määrästä, panostamisesta, sytytyksestä ja sytytysjärjestyksestä, peittämisestä, räjäytysajankohdasta, vaarallisesta alueesta ja varmistustoimenpiteistä sekä muista räjäyttämisen turvallisuuteen vaikuttavista tekijöistä. [Räjäytys- ja louhintatyön turvallisuusohje, s. 12-13.]

6 Poraus ja panostus

Päävaiheet louhintatyössä ovat poraus ja panostus. Poraus aloitetaan isoissa massalouhintakentissä hyvissä ajoin ennen panostusta, ja se kestää tyypillisesti parista viikosta muutamaan viikkoon riippuen räjäytettävän kentän koosta ja poravaunujen määrästä. Panostus voidaan aloittaa, kun porattu kenttä on valmis tai valmistumassa panostuspäivänä, kunhan porauksen läheisyydessä ei panosteta reikiä. Panostus kestää tyypillisesti yhden työpäivän. Massalouhintakentät sijaitsevat yleensä asumattomalla alueella, jolloin kenttää ei tarvitse peittää kumimatoilla, ja ne voivat olla erittäin isoja. Asutuskeskuslouhinnoissa kentät ovat keskimäärin paljon pienempiä, ja poraus saattaa kestää tunteista muutamaan päivään.

6.1 Poraus

Massalouhintakentissä poraus tehdään yleensä hytillisillä poravaunuilla (Kuva 15). Porareiän halkaisijan määrittää porauksessa käytetyn porakruunun halkaisija. Keskiuurissa räjäytyskentissä tyypillisimmät kruunukoot ovat 76 mm, 83 mm ja 89 mm. Asutulla alueella, jossa käytetään ainoastaan patruonoitua räjähdysainetta, porareikien halkaisijat ovat yleensä 38-76 mm. Porareiän halkaisija määrittää, kuinka paljon räjähdysainetta voidaan reikään laittaa. Isolla reikäkoolla voidaan porata suurempaan ruutukokoon, jolloin kalliin porauksen metrimäärä kentässä pienenee.

Perinteisesti porari maalaa mittakepin avulla kallion pinnalle ennalta määritetyn ruutukoon mukaiset reikäpaikat. Porakangen päässä oleva porakruunu asetetaan maalatulle reikäpaikalle, josta poraus aloitetaan oikealla kallistuksella. Poravaunu kertoo porarille reiän kallistuksen digitaalisesti näytöltä. Kalliolle asetetun tasolaserin avulla poravaunulla voidaan porata epätasaisessa maastossa juuri oikean syvyisiä reikiä.



Kuva 15. Sandvik DX780 poravaunu

Massalouhinnassa optimaalinen pengerkorkeus vaihtelee noin kymmenen ja kuudentoista metrin välissä. Liian matalissa penkereissä porareikiä joudutaan pienentämään sekä ruutukokoa tihentämään, ja liian korkeissa penkereissä reikätaipumat alkavat olla iso ongelma. Reikien taipuminen tarkoittaa porareian epäsuoruutta, jolloin reikien pohjat eivät päädy suunnitelluille paikoille. Noin 20 metrin pengerkorkeus kannattaa vielä louhia yhdessä osassa, mutta sitä korkeammat kannattaa jakaa kahteen kerrokseen reikätaipumien ja räjäytyksen laadun takia. [www.rakennusteollisuus.fi 23.3.2019.] Korkeilla penkereillä poraus on suoritettava erittäin tarkasti ja maltillisia porauspaineita käyttäen, sillä kovilla porauspaineilla reikien taipuminen kasvaa. Porareikien taipumista voidaan ehkäistä myös erillisellä ohjuritangolla, joka asennetaan porakruunun ja poratangon väliin. Ohjuritanko on halkaisijaltaan lähes porakruunun paksuinen tanko, joka pakottaa porakruunun porautumista suoraan. Myös kallion geologia vaikuttaa reikien taipumiseen, ja yleensä reiät pyrkivät taipumaan samaan suuntaan samassa räjäytyskentässä. Kalliossa olevat ruhjeet ja lustat ohjaavat porakruunua kalliossa.

6.2 Panostus

Panostaminen on luvanvaraista työtä, johon vaaditaan panostajan pätevyyskirja. Lupa voidaan myöntää 20 vuotta täyttäneille viideksi vuodeksi kerrallaan. Pätevyyskirjan saamiseen vaaditaan panostajan kurssin käyminen ja siihen liittyvän kuulustelun läpäisy sekä vaadittava työkokemus riippuen, mitä pätevyyskirjaa henkilö on hakemassa. Panostajaluokka määrittää, kuinka paljon räjähdysaineita saa käyttää vuorokaudessa ja kuinka paljon yhtenä panoksena eli yhdessä reiässä oleva määrä. Luokkia on nuorempi panostaja, vanhempi panostaja ja ylipanostaja sekä lisäksi räjäytystyön vastuuhenkilö, joka tulee olla nimettynä jokaisella räjäytystyömaalla. Jokainen luokka vaatii oman kurssinsa, hyväksytyt kuulustelutodistuksen sekä vaadittavan työkokemuksen. [www.ty-osuojelu.fi, 23.3.2019.]

Reiän panostus alkaa räjäytysnälin kiinnittämisellä pohjapanokseen. Pohjapanos laskeaan nallijohtimen avulla reiän pohjalle. Asutuskeskuslouhinnassa pohjapanoksen päälle tiputetaan varsipanospatruunoita mittakepillä tunnustelemalla etutäytekorkeuteen asti. Tämän jälkeen reiän kansi täytetään sepelillä. Massalouhintakentissä varsipanos korvataan irtoräjähdysaineella, ja yleensä varsipanospatsaan yläosaan tulee reiän syttymisen varmistava pintapanos. Kantta eli reiän yläosassa olevan sepelikerroksen paksuutta säädellään kallion pinnanmuotojen mukaan. Panostuksen jälkeen kentän reikien nallijohtot kytetään syttymissuunnitelman mukaisesti oikealla nallijärjestelmällä, kenttä peitetään tarvittaessa kumimatoilla, alue tyhjennetään, soitetaan varoitusmerkkiä ja räjäytyskenttä laukaistaan. Räjäytyksen jälkeen kenttä tarkistetaan esimerkiksi mahdollisten räjähtämättömien räjähdysaineiden varalta. [Räjäytys- ja louhintatyön turvallisuusohje, s. 30-34.]

6.2.1 Peittäminen

Asutulla alueella räjäytyskenttä pitää peittää (Kuva 16). Kenttä peitetään kumimatoilla ja se tehdään kaivinkoneella peittämiseen tarkoitetulla täkkäyspuomilla, joka kiinnitetään kaivinkoneen kauhan tilalle. Panostaja ohjaa ja valvoo peittämistä koko ajan ja tarkistaa, että kentän pinnalla oleva kytkentä pysyy ehjänä ja peittäminen tapahtuu turvallisesti. Kenttä tulee peittää niin, että kumimatot ulottuvat riittävästi kentän ulkoreunojen yli ja matot limittyvät toistensa päälle sitoen peitteen yhtenäiseksi. Kumimattokerroksen tulee olla niin paksu, ettei kentästä pääse sinkoilemaan kiviä. [Räjäytys- ja louhintatyön turvallisuusohje, s. 33.] Kentän reunoja on usein vaikea muistaa, kun mattoja on jo osittain räjäytyskentän päällä. Hyvä tapa on merkata kumimatotuksen ulkorajat etukäteen merkintämaalilla, jolloin voidaan varmistua mattojen olevan riittävästi räjäytyskentän ulkoreunojen yli.



Kuva 16. Kumimatoilla peitetty räjäytyskenttä

7 Esimerkkiräjätyskentät

Kreate Oy louhii monille eri kiviainestuottajille kiveä. Sopimukseen kuuluu yleensä kiven irrotus sekä rikotus, eli tuote on murskattavaksi valmista louhetta. Esimerkkiräjätyskentät ovat kaikki murskalouhintakenttiä. Kivimurskatuotannossa kallio irrotetaan räjähteillä ja ylisuuret louheet rikotetaan murskausta varten pienemmäksi. Kiven murskaus tapahtuu syöttämällä louhetta kaivinkoneella kivimurskaimeen, joka murskaa louheen pienemmäksi kivimateriaaliksi. Tämän jälkeen kivimurska voidaan seuloa eri kokoisiksi kivimateriaaleiksi, joita käytetään yleisesti rakentamisessa. Kaikissa esimerkkitapauksissa räjäytyskentät ovat korkeita, ja niissä tehdään keulan skannaukset sekä reikäsuoruuksimitaukset.

7.1 Siuntio, Soraliike Lindberg

Siuntion louhintatyömaan ensimmäinen räjäytyskenttä on haasteellinen. Avolouhoksen viimeiseen kulmaan on jäänyt erittäin korkea pengerrus, joka on pinta-alaltaan niin pieni, ettei sitä kannata louhia kahdessa kerroksessa, sillä ensimmäiselle louhintatasolle ei mahdu järkevästi murskauskalustoa. Koeräjätystä ei myöskään saa järkevästi toteutettua, ja kalliossa olevan selkeän lustan (Kuva 17) takia räjäytyskenttä joudutaan rajaamaan sitä myöten, jolloin kenttä kasvaa noin 35 000 m³ kokoiseksi.



Kuva 17. Selkeä lusta keskellä kalliota

Penkereen keskikorkeus on noin 27 metriä. Koska korkeimmat reiät ovat 32 metriä ja lähimmät asuinrakennukset ovat noin 750 metrin päässä, tärinöiden pienentämiseksi porareian halkaisijaksi valitaan 83 mm, jolloin momentaanisen räjähdysaineen (kg) määrä on pienempi. Momentaaninen räjähdysainemäärä tarkoittaa samanaikaisesti syttyvän räjähdysaineen määrää, ja tämä vaikuttaa erityisesti louhintatärinöihin. Lisäksi sytytysjärjestelmäksi valitaan elektronisen nallijärjestelmä, jotta kentässä jokaisella reiällä on oma tarkka syttymisaika eikä kahta reikää syty samaan aikaan. Tällöin momentaaninen räjähdysainemäärä on yhden reiän räjähdysaineen verran. Poraus toteutetaan kahdella poravaunulla. Ympäristössä on lisäksi räjäytyskentästä noin 230 metrin päässä kulkeva 110 kV ilmalinja, jota on erityisesti syytä varoa. Lisähaastetta tuo myös avolouhoksen aiempien räjäytysten keulalle jättämä irtonainen korkea kivipaasi (Kuva 18), jota on ylhäältä käsin yritetty pudottaa onnistumatta. Paasiin on mahdotonta ja epäturvallista porata reikiä, eikä sen juuresta ole turvallista poistaa louhetta romahtamisen takia. Paasi on pakko jättää paikalleen ja räjäyttää myöhemmin kentän räjäytyksen jälkeen.



Kuva 18. Kallion keulalle jäänyt kivipaasi

7.2 Kouvola, Toikka Ky

Kouvolassa sijaitsevalla avolouhoksella Kreate Oy on louhinut keväästä 2018 asti, ja räjäytyskenttiä on ollut muutamia. Tutkimuskentän pengerkorkeus on 24 metriä (Kuva 19). Kivien sinkoilua tulee estää, sillä työmaalla kentän etupuolella on valmiita murske- kasoja sekä kauempana murskausrakennelma. Lisäksi aivan kentän takana noin 10 metrin päässä sijaitsee pressuvarasto sekä ympäristössä kulkee lenkkipolku. Kentän koko on noin 18 000 m³.



Kuva 19. Kouvolan räjäytyskenttä

7.3 Loviisa, NCC Kiviaines

Loviisassa sijaitsevalla avolouhoksella Kreate Oy on aloittanut louhimaan vuoden 2019 tammikuussa. Avolouhoksen kivi on erittäin kovaa, ja tyypillisesti räjäytykset aiheuttavat kovassa kivessä enemmän kivien sinkoilua. Louhittavan kentän pengerkorkeus on noin 18 metriä ja tilattu kentän tilavuus on noin 18 000 m³ (Kuva 20). Varottavia kohteita ei lähistöllä juuri ole, mutta noin 150 metrin päässä kentän etupuolella kulkee soratie, josta liikenne katkaistaan. Lisäksi avolouhoksella on valmiita murskekasoja, joihin kivien lentämistä on vältettävä.



Kuva 20. Loviisan räjäytyskenttä

Loviisan räjäytyskenttä on kyseisellä työmaalla Kreate Oy:n ensimmäinen. Kuvassa räjäytyskenttä on rajattu punaisella.

8 GPS-poravaunu

Poravaunun GPS-järjestelmä on poravaunuun liitettävä lisäominaisuus, joka kertoo porarille poravaunun tietokoneeseen viedyt reikäpaikat (Kuva 21). Järjestelmä korvaa porarilta reikäpaikkojen merkitsemiseen kuluvan työn kokonaan, ja näin inhimilliset porausvirheet vähenevät sekä päivittäinen aktiivinen porausaika pidentyy. Porari voi myös itse luoda poravaunun tietokoneella reikäpaikat, kun järjestelmään syötetään etu, reikäväli, suuntaus ja kallistus. Poravaunu kertoo porarille reikäkohtaiset kallistukset sekä tiedon, mitkä reiät voidaan porata poravaunun sijainnista. GPS-järjestelmästä on apua etenkin kokemattomille porareille, mutta se helpottaa myös ammattitaitoisten porareiden työtä. Turvallisuuden kannalta täsmälleen suunniteltuun ruutuun poraaminen estää paikallista yli- ja alipanostusta, mikä vähentää kivien sinkoilua ja louhintatärinää.



Kuva 21. GPS-poravaunun näyttö

Panostuksen kannalta on huono porata kallion monttukohtiin, koska vesisateen aikana reikään menee veden mukana liejua, ja reiät voivat lyhentyä sekä mennä tukkoon. Tällaisissa tapauksissa porareikä kannattaa aloittaa montun vierestä. Kuitenkin reiän pohja pitää saada oikealle kohdalle, joten kallistus ja suuntaus pitää laskea uudelleen. GPS-järjestelmällä varusteltu poravaunu tekee tämän porarin puolesta ja kertoo oikean suuntauksen sekä kallistuksen, jotta reiän pohja osuu oikealle kohdalle. GPS-poravaunu luo poratessaan automaattisesti reiän paikkadataa sekä räjäytyskentän tilavuusdataa, joita voidaan hyödyntää räjäytyksen suunnittelussa sekä massan seurannassa. [www.rakenusteollisuus.fi 25.3.2019.]

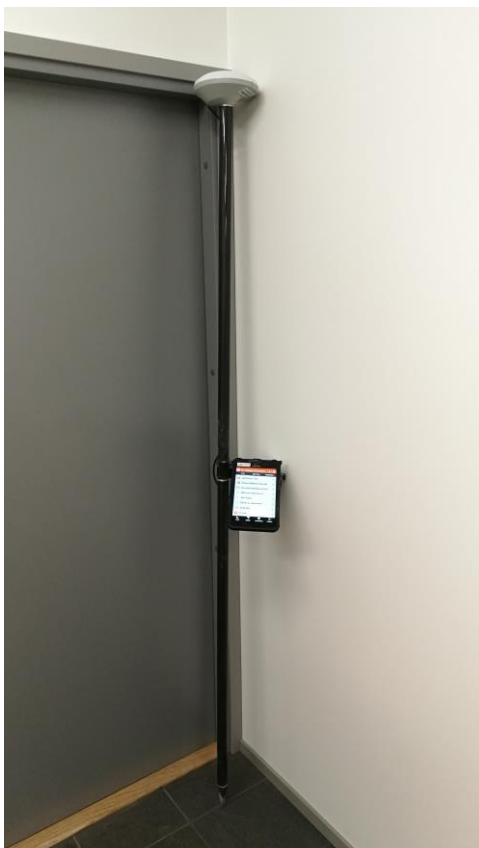
Kuvassa 21 nähdään poravaunun näytöltä monia eri tietoja. Kuvan näkymässä on porauksen eteneminen reiässä, poran uppoama (m/min) sekä reiän porausaika. Alhaalla näkyy porareian huipun ja pohjan korko sekä tulevan porareian pituus. Vasemmalla nähdään reikäkartta ja reiän tietoja.

9 Kallion 3D-mallinnus

Kallion hahmottaminen alkaa kallion pinnan mittaamisella sekä keulan laserskannauksella. Kallion pinnan mittaus tehdään GNSS-mittasauvalla ja keulan laserskannaus laserkeilaimella. Kreate Oy käyttää tutkimushetkellä kallion pinnan mittaamiseen Geolaser Satlab SLC:ta ja keulan laserskannaukseen Carlson Quarryman Pro:ta.

9.1 Kallion pinnan mittaaminen

Kallion pinnan mittaaminen GNSS-mittasauvalla perustuu satelliittipaikannukseen. GNSS on lyhenne, joka tulee sanoista Global Navigation Satellite System. Satlab SLC -mittasauva koostuu hiilikuitusauvasta, satelliittilautasesta, vastaanotinlaitteesta sekä tabletista tai älypuhelimesta (Kuva 22). Kuvassa vastaanotinlaite on tabletin takana kiinni hiilikuitusauvassa.



Kuva 22. Geolaser Satlab SLC

Mittasauva tallentaa mittapisteitä koordinaatistossa alle 10 cm:n tarkkuudella omalla sisäisellä antennilla, ja ulkoisella antennilla päästään 10 mm:n mittatarkkuuteen. Mittapisteet tallentuvat bluetooth:in kautta tabletin sovellukseen, josta ne voidaan jakaa kallion mallintamisohjelmaan. Pinnan mittaaminen tapahtuu kävelemällä louhittavan kallion pinnalla ja ottamalla pinnasta mittapisteitä mittasauvan avulla. Mittapisteet tallentuvat mittasauvan tablettiin, josta ne voidaan jakaa myöhemmin räjäytysuunnitteluohjelmaan. [<http://www.geolaser.fi> 14.3.2019.]

9.2 Kallion keulan laserskannaus

Kreate Oy:llä on tutkimushetkellä käytössä Carlson Quarryman Pro -laserkeilain. Kallion keulan laserkeilaus perustuu laserin etäisyystietoon, kolmiomittaukseen sekä satelliitti-paikannukseen. Laserkeilain mittaa lasersäteiden kimpoamisetäisyyksiä ja ampuu tietylle alueelle halutulla tarkkuudella lasersäteitä, joista laserkeilain laskee kolmiomittauksella pisteiden sijainnit sekä muodostaa pistepilven. Kun laserkeilaimen sijainti sekä vertailupiste tiedetään, voidaan pistepilvi asettaa koordinaatistoon. Laserkeilaimen sijainti sekä vertailupisteen sijainti saadaan GNSS-mittasauvalla. Laserkeilain mittaa asemoinnin jälkeen kallion keulan melko itsenäisesti ja tallentaa mittausdatan muistikortille, josta data voidaan siirtää räjäytysuunnitteluohjelmaan. [<http://www.carlsonsw.com> 14.3.2019.]

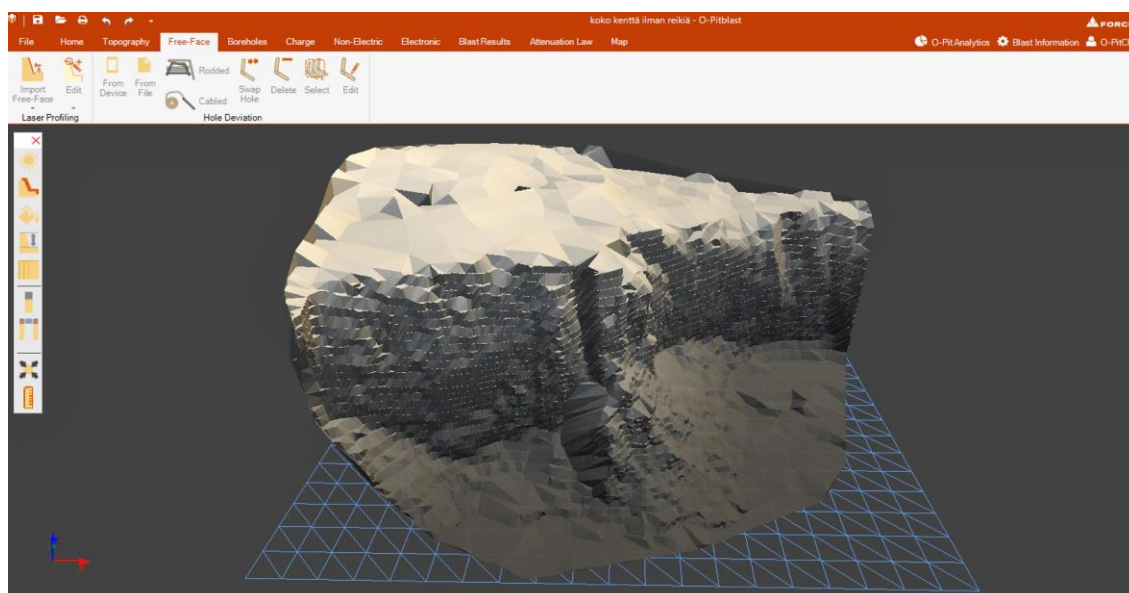


Kuva 23. Laserkeilain kolmijalan päällä

10 Räjätyskentän suunnittelu tietokoneohjelmalla

Räjätyskentän suunnittelu tietotekniikan avulla luo louhinnalle turvallisuuden kannalta uudenlaisen lähtökohdan. Yleinen hahmotus kallion mitoista ja muodosta parantuu, mikä helpottaa vaarallisten kohtien panostamista. 3D-mallista voidaan nähdä kalliopenkereen keulan kallistus sekä mahdolliset edellisten kenttien ryöstöt, jolloin ensimmäisen reikäriivin sijainti ja kallistus saadaan täsmälliseksi ja näin myös turvalliseksi.

Kallion pinnan satelliittipisteet sekä kallion keulan laserpistepilvi muodostavat suunnittelulle lähtöaineiston, joka voidaan tuoda räjäytysuunnitteluohjelmaan. Kreate Oy käyttää tutkimushetkellä Forcit Oy:n jälleenmyymää O-Pitblast-räjäytysuunnitteluohjelmaa. Räjätyskentän suunnittelu O-Pitblast-ohjelmalla alkaa yhdistämällä keulanskannauksen pistepilvi ja kallion pinnan GPS-pisteet. Näin saadaan louhittavalle kalliolle 3D-malli (Kuva 24). Räjätyskentälle määritetään tietyn tyyppiselle kalliolle sopiva ominaispanos, joka perustuu kokemukseen edellisistä räjäytyksistä. Ominaispanos määrittää halutun ruutukoon, reikäkallistuksen sekä reikäläpimitan, sillä käytettäessä lähes nestemäistä bulk-emulsioräjähdysainetta, reikä täyttyy käytännössä kauttaaltaan räjähdysaineesta pois lukien kannen osuus. Jos halutaan minimoida louhintatärinöitä, joudutaan käyttämään pienempää reikäläpimitaa sekä tihentämään ruutukokoa, jolloin haluttu ominaispanos pysyy samana. Näin momentaanisen räjähdysaineen määrä kuitenkin pienenee.



Kuva 24. Kallion 3D-malli [O-Pitblast.]

Kun ominaispanoksen kautta laskettu ruutukoko ja reikäläpimitta on määritelty, suunnitellaan keulareiät sopivalle etäisyydelle keulasta, jolloin minimoidaan mahdollista keulareikien kivien sinkoilua. Etuun keulalla vaikuttaa reikäkoko ja kallion eheys. Jos kallio on rikkonainen tai kentässä käytetään isoa reikäkokoa, etua keulalla kasvatetaan. Jos kallio on ehjä, reikäkoko pieni tai keula panostetaan patruunoilla, etu voi olla pienempi. Etu ei saa olla liian iso, koska silloin räjäytyskenttä ei pääse kunnolla liikkumaan, mikä voi johtaa kivien sinkoiluun ylöspäin ja heikkoon räjäytyksen lopputulokseen. Keulareikien mukaisesti räjäytyskentän rivitystä voidaan jatkaa suunnitteluohjelmassa taaksepäin, kunnes saadaan aikaiseksi halutun kokoinen ja muotoinen räjäytyskenttä.

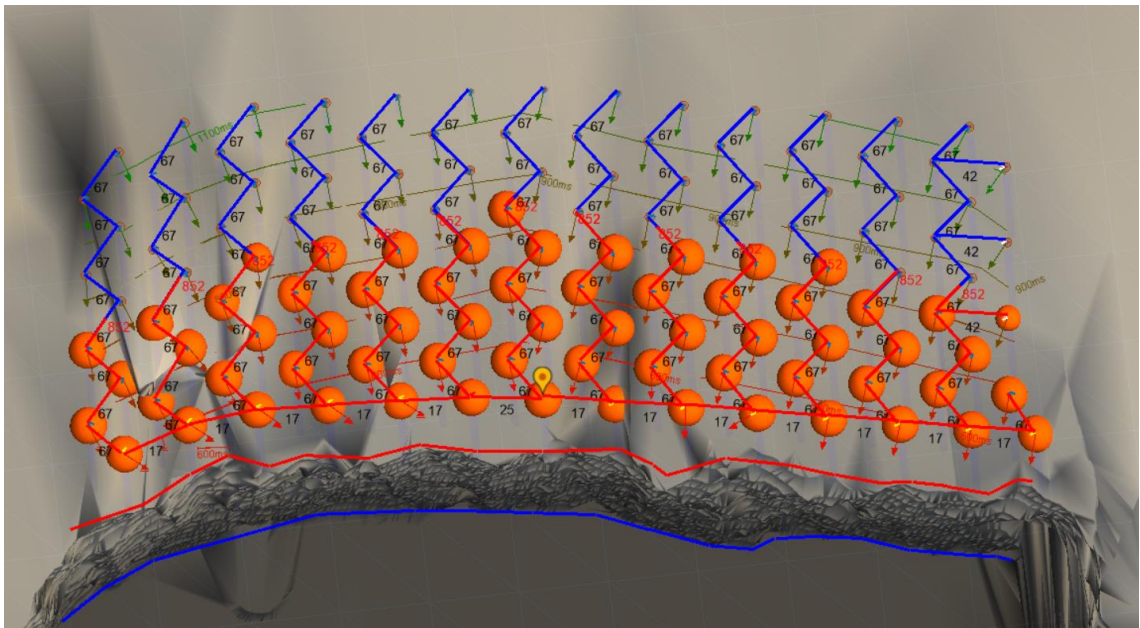
Suunnitellut reiät voidaan tuoda joko GNSS-mittasauvalle tai suoraan GPS-poravaunun tietokoneeseen. Jos työmaalla ei ole GPS-poravaunua ja porareikä tiedot tuodaan GNSS-mittasauvalle, työnjohto voi käydä työmaalla merkaamassa sopivat kallion keulan mukaiset reikäpaikat kallion pinnalle (Kuva 25). Sade, lumi sekä porauspöly tuhoavat usein kalliolle merkattuja maalimerkintöjä, joten kokonaisen räjäytyskentän merkaaminen on usein turhaa työtä. Muut kenttäreiät voidaan hyvin merkitä porauksen edetessä porarin mittauksilla, jotka perustuvat ennalta määriteltyyn ruutukokoon ja haluttuun rivimäärään. Mikäli työmaalla on GPS-poravaunu ja reikä tiedot tuodaan suoraan poravaunuun, voi porari porata räjäytyskentän poravaunun tietokoneen tiedon mukaisesti.



Kuva 25. GNSS-mittasauvan tabletinäkymä

Kun kallio on mallinnettu ja porareiät suunniteltu ohjelmassa, voidaan reikien panostus suunnitella ohjelmassa. Näin saadaan arviolta kentän kokonaisräjähdysainemäärä ja kalliomallin tilavuuden kautta koko räjäytyskentän ominaispanos. Ohjelma kertoo myös reikäkohtaisen räjähdysainemäärän, jolloin voidaan arvioida räjäytyskentän aiheuttamaa tärinää.

Ohjelmalla voidaan suunnitella myös reikien syttymistä, jolloin louhintatärinöihin voidaan vaikuttaa lisää. Se näyttää visuaalisesti animaationa räjähtävien reikien syttymisjärjestystä (Kuva 26), mikä helpottaa sytytyksen suunnittelua varsinkin, jos kentän keularivi ei ole suora. Etummaisten reikien on syyttävä ennen taaempia. Tällöin kentän sytytys on turvallinen. Kuvassa näkyvät luvut ovat impulssiletkunallijärjestelmän pintahidasteiden hidastusaikoja millisekunneina ja oranssit pallot syttyneitä reikiä. Ohjelma kertoo myös tiettyssä aikaikkunassa räjähtävien reikien lukumäärän, mikä helpottaa tärinälaskentaa. Kun minimoidaan samaan aikaan syttyvien reikien määrää, saadaan tärinöitä pienennettyä.



Kuva 26. Reikien palamisajat [O-Pitblast.]

11 Reikien toteutumat ja suoruusmittaus

Suomessa mittaus ei ole pakollista, mutta sillä saavutetaan merkittäviä turvallisuus- ja kustannushyötyjä. Reikien mittaamisella voidaan havaita reikien vaarallista taipumaa ja liian ohutta etua, reagoida siihen ja näin myös ehkäistä louhintaonnettomuuksia. Reiän toteutumatieta hyödyntämällä voidaan myös optimoida räjähdysaineiden käyttöä ja näin parantaa kallion lohkaroitumista. Ruotsissa vähintään ensimmäisen keularivin reikien poikkeamien mittaus on pakollista, mikä lisää alalla huomattavasti yleistä turvallisuutta. [www.robitegroup.com, 23.3.2019.]

Kreate Oy:llä on käytössä Carlson Boretrak Cabled -reikäsuoruusmittari. Laite koostuu mittaussensorista, 35 metrin kaapelista sekä kaapelin päässä olevasta mittaussensorista (Kuva 27). Laitteen käyttö perustuu kaksiakselisen mittaussensorin kallistukseen ja kompassisuuntaukseen. [carlsonsw.com, 23.3.2019.] Porareian kallistusta ja suuntausta mitataan halutuin mittausvälein, jolloin mittauslaite luo tiedostoon reikäkohtaiset suoruusprofiilit.



Kuva 27. Carlson Boretrak Cabled -reikäsuoruusmittari [www.carlsonsw.com.]

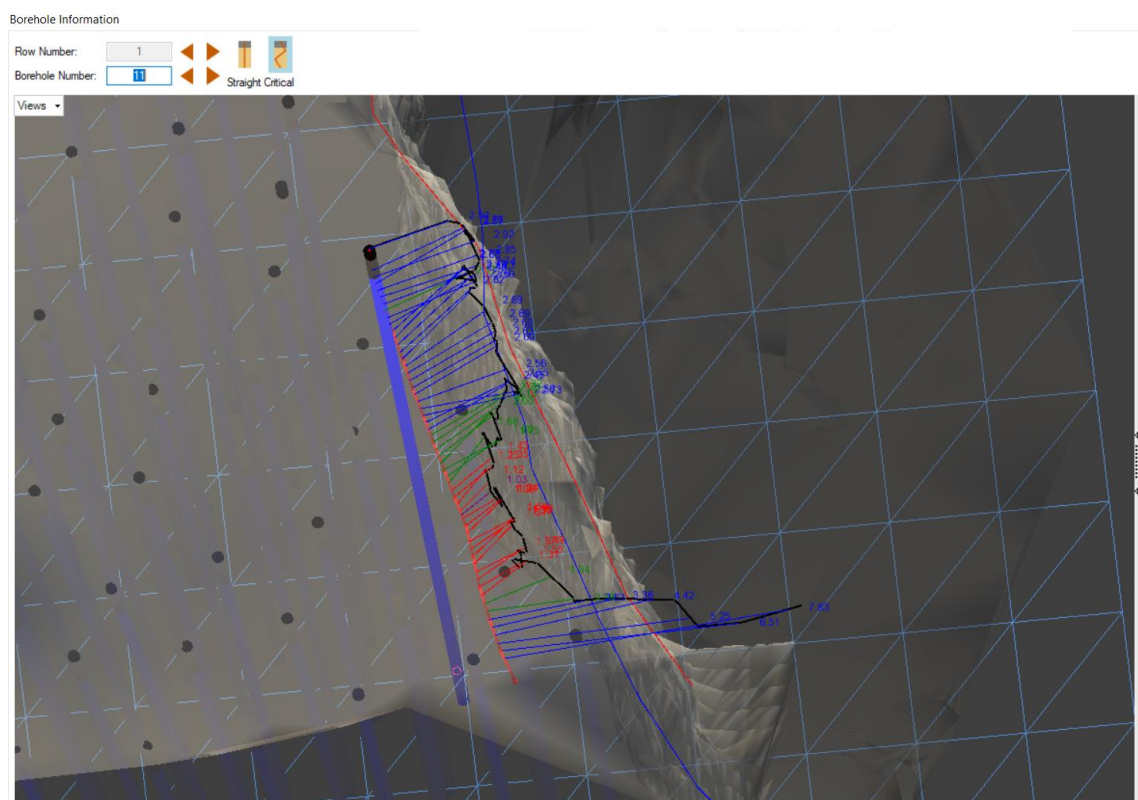
Reikäsuoruuksmittaus voidaan aloittaa, kun haluttu määrä rivejä kallion keulalta on porattu. Korkeissa kalliopenkereissä on hyvä mitata keulalta vähintään kahden ensimmäisen rivin porareikien suorudet. Kallion ominaisuuksien ollessa hankalat ja porareikien kiertäessä herkästi on hyvä mitata jopa kolmen ensimmäisen rivin reikätaipumat, sillä pahimmillaan takana olevan rivin reiän pohja saattaa korkeissa kalliopenkereissä kiertää jopa edellisen etupuolelle. Näin saadaan varmistettua toteutuneiden reikien todelliset keulaedut.



Kuva 28. Reikäsuoruuksmittarin näyttö

Reikäsuoruuksmittaus alkaa mittaamalla GNSS-mittasauvalla toteutuneiden reikien paikat kallion pinnalla. Tämän jälkeen reikäsuoruuksmittarin kompassi kalibroidaan, minkä jälkeen laite on valmis käytettäväksi. Laitteeseen määritetään mittausväli reiässä ja mittaus sensori lasketaan reiän pohjalle kaapelin varassa. Kaapelissa on metrin välein merkinnät, joiden mukaan mittaus suoritetaan halutuina mittausvälein kaapelia nostettaessa reiästä. Mittauspisteissä sensori nojaa porareian reunaa vasten, jolloin tiedetään mittauspisteiden kohdan kallistus ja suuntaus porareian suuntaan. Jokaisella mittauspisteellä on oma kallistus ja suuntaus. Mittaus tehdään järjestelmällisesti jokaiselle mitattavalle reiälle, ja reikäjärjestys täytyy muistaa reikädatan ohjelmaan sijoittamista varten. Laite näyttää jatkuvasti mittaus sensorin kallistusta (*Inclination*) sekä suuntausta (*Heading*) (Kuva 28).

Mittauksen jälkeen mittasauvalla kerätty reikien paikkadata sekä reikäsuoruuksimittarilla kerätty reikäsuoruuksidata voidaan yhdistää O-Pitblast-ohjelmassa 3D-malliin. Tulokseksi saadaan reikäkohtaista tietoa porauksen toteutumasta, jota paljaalla silmällä kalliolla ei kyetä havaitsemaan. Kuvasta 29 nähdään reiän taipumista 3D-mallissa ylviistosta kuvattuna. Punainen viiva esittää toteutunutta reikää ja musta viiva reikää lähinnä olevaa kallio pinta keulalla. Sininen pilari esittää mallissa reikää, jossa ei tapahtuisi taipumaa. Kuvan reiän pituus on noin 30 metriä. Reiän ja kallionpinnan välissä näkyy jaksoittain todellinen keulaetu, joka sinisenä on turvallinen, vihreänä alkaa olla ohut ja punaisena vaarallinen kivien voimakasta sinkoilua aiheuttava. Ohjelmassa voidaan tarkastella yksityiskohtaisesti jokaista kentän reikää.

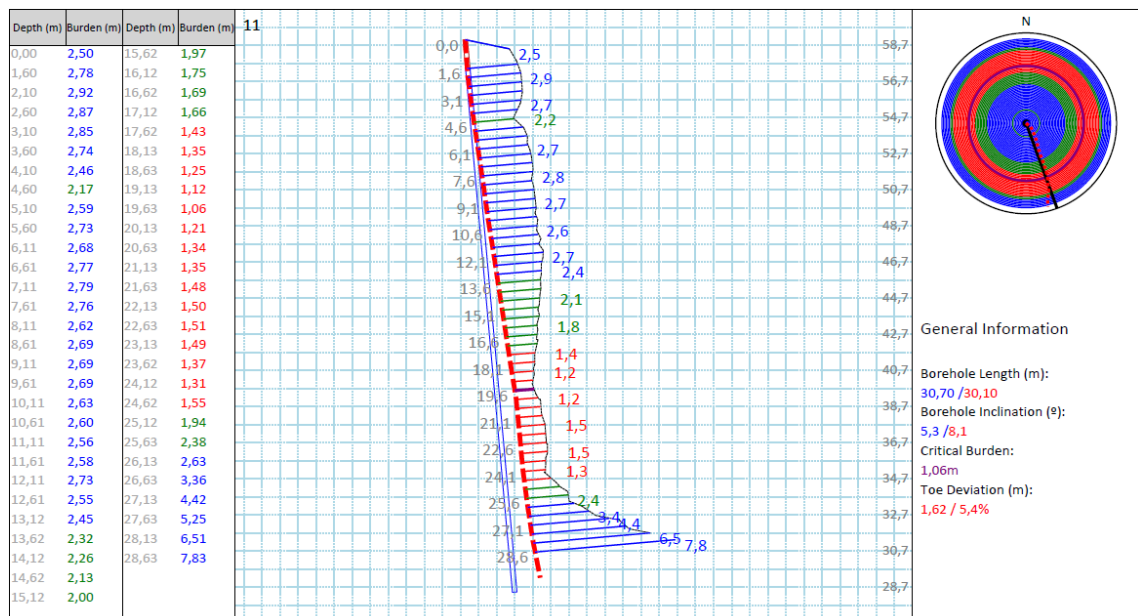


Kuva 29. Reikä toteutuma [O-Pitblast.]

Poravaunuihin on myös saatavilla porakruunun tyveen asennettavia reikäsuoruuksensoreita, jotka kertovat porauksen yhteydessä reiän taipumaa. Porareian profiili voidaan yhdistää poravaunusta suoraan 3D-malliin, jolloin reikäsuoruuksimittausta ei tarvitse käsin suorittaa. [www.robgroup.com, 26.3.2019.] Tällä hetkellä osat ovat kuitenkin kalliita käyttää, mutta tulevaisuudessa ne tulevat todennäköisesti yleistymään.

11.1 Mittaustuloksen hyödyt

Pääasiassa mittaustuloksista saadaan turvallisuuden kannalta kaksi tärkeää havaintoa reikätooteutumista: reikien yhdistyminen tai merkittävä lähentyminen kalliosta sekä liian ohut toteutunut etu kallion keulalla. Kahden reiän yhdistyminen aiheuttaa reikien samaan aikaan syttymisen, mikä aiheuttaa suurempia tärinöitä ja kivien sinkoilua varsinkin korkeissa ja suuriläpimittaisissa porareißissä. Liian ohut toteutunut etu kallion keulalla taas aiheuttaa kivien voimakasta sinkoilua räjäytyskentän purkautumissuuntaan. Mikäli molemmat ongelmat sattuvat samaan kohtaan keulalla, voivat sinkoilevat kivet lentää todella kauas aiheuttaen merkittävää vaaraa ympäristöön. Mittausdatan perusteella tilanteeseen voidaan reagoida poraus- ja panostusvaiheessa ja välttää näin mahdollisesti tapahtuva onnettomuus.

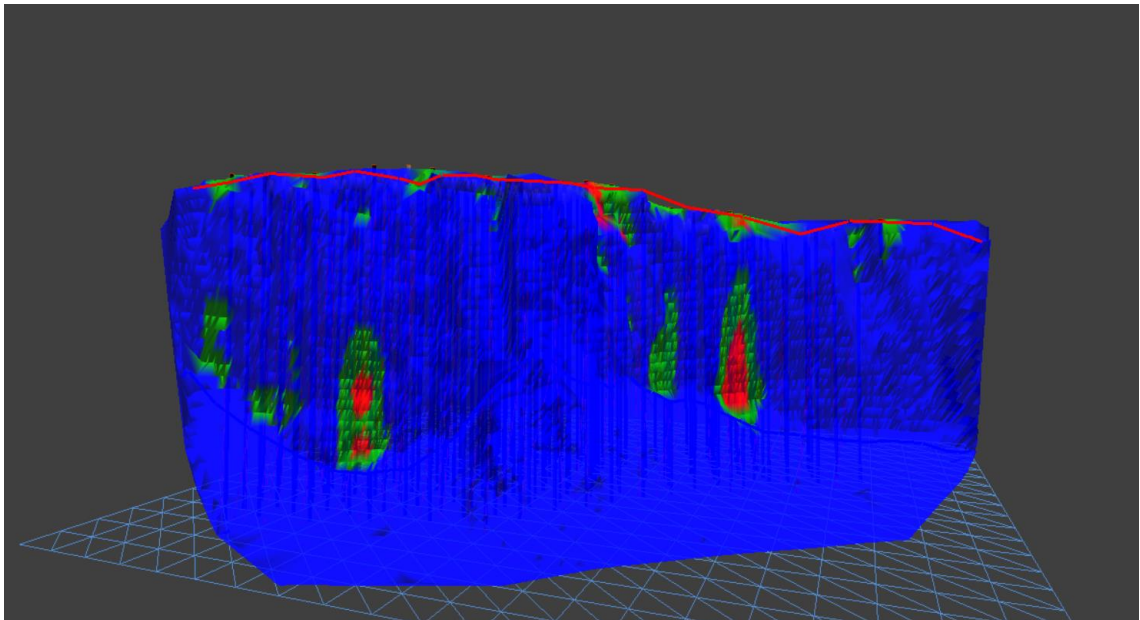


Kuva 30. Tulostusversio reikätooteutumasta [O-Pitblast.]

Kuvassa 30 nähdään tulostusversio kuvan 29 reiän sivuprofilista. Siinä punainen katkoviiva esittää toteutunutta reikää, sininen pilari taipumatonta vertailureikää ja musta viiva kallion keulaa. Toteutuneen reiän ja keulan välillä nähdään todelliset keulaedut puolen metrin välein. Vasemmalla taulukossa nähdään eri syvyyksillä (*Depth*) toteutuneet edut (*Burden*). Oikealla nähdään reiän yleiset tiedot, kuten porareian pituus (*Borehole*

Length), porareian kallistus (*Borehole Inclination*), ohuin kriittinen etu (*Critical Burden*) sekä taipumisen aiheuttama porareian pohjan siirtymä (*Toe Deviation*).

Kuvasta huomataan, että edellinen räjäytyskenttä on ryöstänyt kallioseinämästä kallion pintaa ja noin 10 metrin korkeudella pohjalta katsottuna kallion keula on siksi huomattavan lähellä porareikää. Reiän poraus on aloitettu oikealla kallistuksella, mutta reikä alkaa taipumaan loivasti jo kolmen metrin poraamisen jälkeen keulaa kohti, mikä aiheuttaa erittäin ohuen edun ryöstön kohdalla. Myös reiän aloituspaikka on liian lähellä keulaa, koska vaikka reikä ei olisikaan taipunut, etu olisi silti jäänyt liian ohueksi. Penkereen alaosassa keulaskannerin lasersäteet ovat kimmonneet juurella olleesta louheesta, ja etu kallioon näyttää todellista suuremmalta.



Kuva 31. Vaaralliset kohdat keulalla [O-Pitblast.]

O-Pitblast-ohjelmassa on myös hyödyllinen ominaisuus, joka näyttää väreinä räjäytyskentän vaaralliset kohdat (Kuva 31). Kuva on 3D-mallissa Siuntion esimerkkiräjäytyskentän etupuolelta ja siinä näkyy kentän keula. Punaiset kohdat ovat alueita, joissa etu on vaarallisen pieni.

12 Kivien sinkoilu ja kaavat

Koska kalliosta irrotetaan kiveä räjähteillä, kivimassa liikkuu aina voimakkaasti johonkin suuntaan ja hallittuna näin kuuluukin käydä. Kivien sinkoilu on räjäytyksessä kivien hallitsematonta lentämistä suunniteltua pidemmälle tai korkeammalle. Kivien sinkoilua voi tapahtua rei'istä ylöspäin, kun kansi on liian ohut ja räjähdys kraateroi (*Cratering*) pinnan tai etutäyte on huono esimerkiksi sepelin holvaantumisen takia ja reikä korkkaa (*Rifling*) (Kuva 33). Holvaantuminen on kivien tukeutumista reiässä toisiinsa niin, että reikä tukkeutuu eikä sepeliä mene tarpeeksi reikään etutäytteeksi.

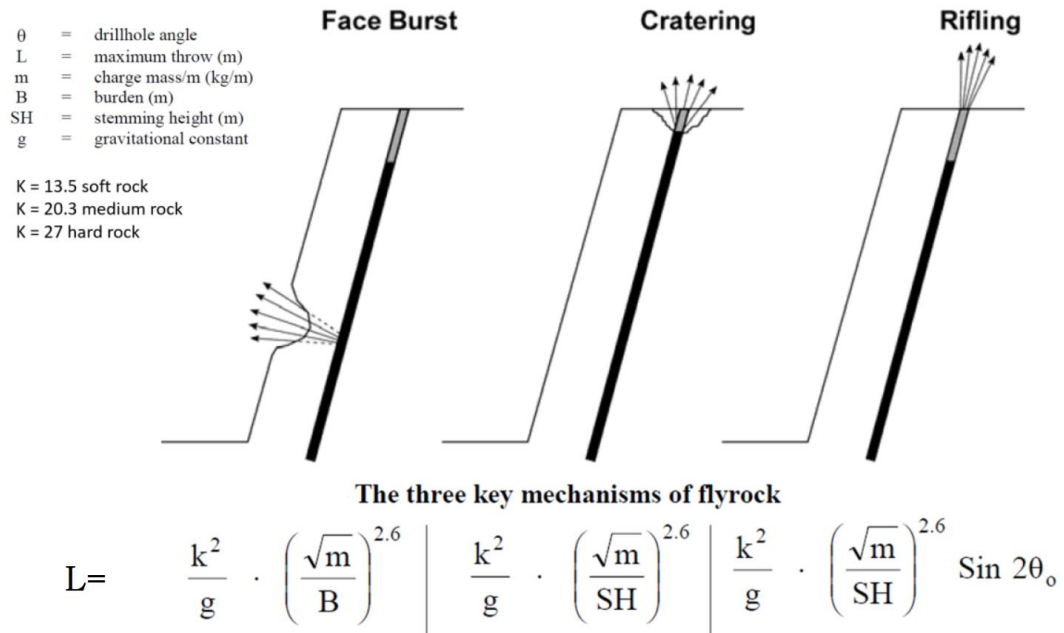
Lisäksi kivet voivat sinkoilla ylöspäin, kun rivikohtainen hidastusaika on liian lyhyt (Kuva 32 oikea puoli), jolloin rivin kivimassa ei ehdi liikkua seuraavan tieltä ja takana olevat rivit räjähtävät ylöspäin. Jos taas rivikohtainen hidastusaika on liian pitkä, edellisen rivin louhe ehtii liikkua liian kauas estääkseen seuraavan rivin kivien sinkoilun (Kuva 32 vasen puoli). [www.oricaminingsservices.com, 10.4.2019.] Ylöspäin tapahtuva sinkoilu aiheuttaa kivien lentämisen korkealle, mutta kivet eivät yleensä lennä kovinkaan pitkälle. Ylöspäin sinkoilevia kiviä voidaan ehkäistä huolellisella panostuksella, riittävällä etutäytteellä ja sytytyksen suunnittelulla.



Kuva 32. rivikohtaisen hidastuksen vaikutus kivien sinkoiluun [www.oricaminingsservices.com,]

Kallion keulalta sinkoilevat kivet (*Face Burst*) voivat pahimmassa tapauksessa lentää erittäin kauas, mikä on vaarallisin kivien sinkoilua aiheuttava tapahtuma (Kuva 33). Liian ohut etu voidaan havaita reikäsuoruuksimittauksilla ja onnettomuus voidaan näin välttää. Sinkoilun kannalta liian paksu etu on myös huono, sillä räjäytyskaasut eivät välttämättä jaksa liikuttaa edessä olevaa kivimassaa eteenpäin, jolloin räjähdyskaasut pyrkivät purkautumaan helpointa reittiä pois kalliosta eli tällöin ylöspäin. Tällaisessa tilanteessa ylöspäin sinkoilevien kivien lisäksi räjäytyksen laatu on huono, sillä louhe jää liian isoksi sekä kenttä saattaa pahimmassa tapauksessa jäädä niin sanotusti lukkoon. Tällöin louhe on

isona kiinteänä kasana, jota on vaikeaa ja epäturvallista purkaa ja kentän pohjalle jää uudelleen porattavia kynsiä eli paikallisesti liian korkeaksi jäänyttä pohjaa. Reiän oikea sijainti keularivissä on turvallisuuden kannalta ehdottoman tärkeää.



Kuva 33. Teoreettiset kivien sinkoilun kaavat eri tapauksissa [O-Pitblast.]

Kuvan 33 kaavojen merkit selitettynä suomeksi:

θ = porareian kallistus

L = maksimi heitto (m)

m = panostusaste (kg/m)

B = etu (m)

SH = kannen paksuus (m)

g = painovoiman vaikutus (m/s^2)

k = kallion kovuuden arvo

12.1 Sinkoilun laskenta

Kivien sinkoilua voidaan teoreettisesti laskea eri sinkoilutavoilla (Kuva 33). Esimerkiksi Siuntion esimerkkikentän keulareiässä todellinen etu oli ohuimmillaan vain 1,06 metriä. Jos reikä panostettaisiin kokonaan kemiitillä, 83 mm reiässä panostusaste on noin 6,3 kg/m. Siuntion kivilaatu on porauksen perusteella arviolta keskikova eli k-luku on 20,3 ja painovoiman vaikutus on 9,81 m/s². Käytetään keulasta sinkoilemisen kaavaa (Face Burst), jolloin kaava on muodossa:

$$L = \frac{k^2}{g} \times \left(\frac{\sqrt{m}}{B}\right)^{2.6} \quad L = \frac{20,3^2}{9,81} \times \left(\frac{\sqrt{6,3}}{1,06}\right)^{2.6} \quad L = 395 \text{ m}$$

Laskennallisesti pisimmälle sinkoilevat kivet voivat lentää noin 400 metrin päähän. Jos kalliossa on valmiita halkeamia, kivet voivat lentää pidemmälle. Siuntion räjäytyskentän läheisyydessä ilmalinjat kulkevat noin 230 metrin päässä kentästä, joten ilman tietoa keulareiän ohuesta edusta vahinko voisi olla suuri.

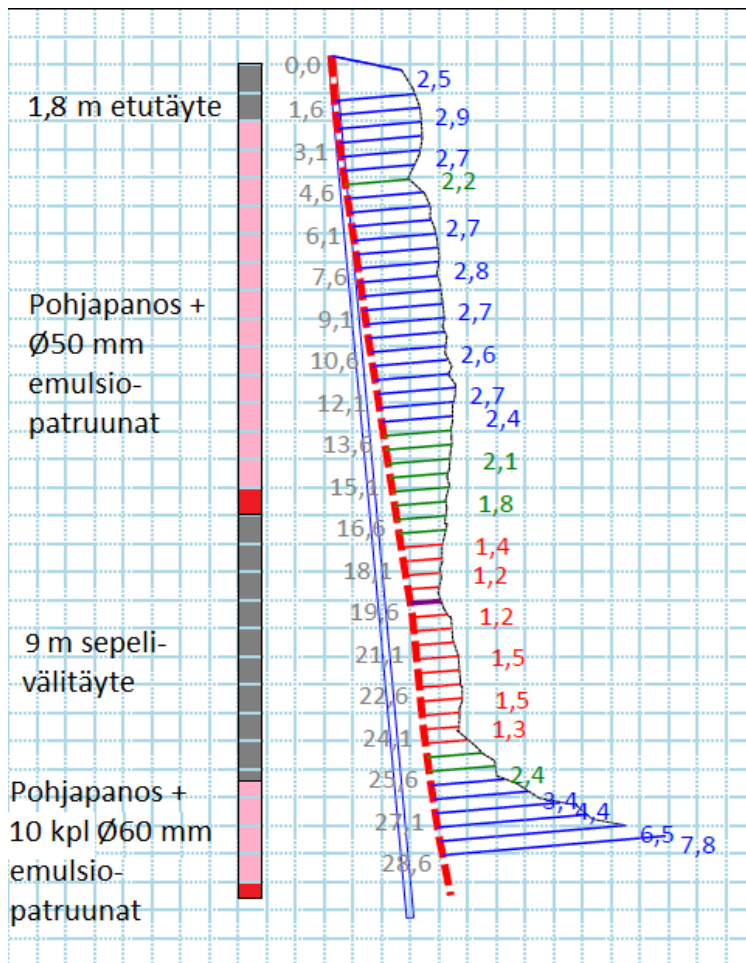
Vaikka räjäytyskenttä tehdään niin turvallisesti kuin mahdollista ja kivien sinkoilun maksimietäisyyttä laskettaisiin, sinkoilun riski on kuitenkin aina olemassa. Siksi alue on tyhjennettävä ihmisistä riittävältä etäisyydeltä ja suhtauduttava räjäytykseen aina niin, että kivien sinkoilu on mahdollista. Räjäytyksissä myös oma sijainti kannattaa harkita tarkkaan. Kannattaa aina seistä suojan takana ja muistaa, että selän takaa voi myös tulla kimmokkeita. Aurinko kannattaa pitää aina selän puolella, koska häikäistyneenä on mahdotonta väistää kiviä.

13 Todellisen edun vaikutus reikäpanostukseen

Kun todelliset edut on saatu mitattua, panostaja voi reikien profiilien mukaan säätää keulareikien sopivaa panostusta keventämällä räjähdysainemäärää porareiässä. Panostusta voidaan säätää irtoräjähdysainepatsaan korkeudella, sepelivälitöillä sekä eri kokoisilla patruunoiduilla räjähdysaineilla. Patruunoiden käyttöä rajoittaa reiän koko. Reiässä voidaan käyttää vain halkaisijaltaan reilusti yli puolet reiän läpimitasta olevia räjähdysaineita, koska sitä pienemmät patruunat limittyvät reiässä vierekkäin. Jos toteutunut etu on liian ohut patruunoiduille räjähdysaineille, porataan uusi korvaava reikä tai hankalassa tapauksessa jätetään reikä panostamatta. Reiän pohjalle on kuitenkin hyvä saada räjähdysainetta kynsien välttämiseksi.

13.1 Vaarallisen keulareiän esimerkkipanostus

Käytetään esimerkkinä Siuntion kentän keulareikää, jossa oli ohuin todellinen etu. Esimerkkinä on yksi tapa, jolla reikä voidaan panostaa turvallisemmin (Kuva 34). Reiän pohjalle lasketaan pohjapanos nalleineen. Pohjapanoksen päälle pudotetaan 10 kappaletta halkaisijaltaan 60 mm emulsiopatruunoita. Patruunan pituus on reiässä tiivistyneenä noin puoli metriä, joten pohjalla olevan räjähdysainepatsaan korkeus on 5 metriä. Tämän päälle kaadetaan 9-metrinen sepelivälitöyte, jolloin ohuen todellisen edun kohdalle ei tule räjähdysainetta ollenkaan. Sepelivälitöyteen jälkeen lasketaan uusi pohjapanos ja tämän päälle pudotetaan halkaisijaltaan 50 mm emulsiopatruunoita. Pintapanos asennetaan reiän yläosaan ja sen päälle pudotetaan halkaisijaltaan 50 mm emulsiopatruunoita, kunnes reiän yläosaan voidaan kaataa kanneksi 1,8 metrin etutäyte. [Ylipanostajan haastattelu 14.12.2018.] Jos alueella olisi lähempänä varottavia kohteita, joudutaan reikään jättämään paksumpi etutäytekerros.



Kuva 34. Vaarallisen keulareiän panostaminen

Tällaisen panostamisen tarkoituksena on vähentää räjähdysainemäärää reiän kriittisissä kohdissa, jolloin hallitsematonta kivien sinkoilua ei tapahdu. Tämän kaltainen reiän panostaminen kuitenkin on paljon kalliimpaa kuin pelkällä kemiitillä panostaminen. Patrunoitu räjähdysaine on kilohinnaltaan noin 2-2,5 kertaa kalliimpaa kuin kemiitti, nalleja käytetään enemmän, työhön menee enemmän aikaa ja lohkaroituminen heikentyy. Siksi optimaalisessa tilanteessa keulassa ei ole ryöstöjä, ja reikä on tasaisesti sopivalla edulla keulaan nähden niin, että reikä voidaan panostaa kauttaaltaan kemiitillä. Näin säästetään patruoitujen räjähdysaineiden käytössä mutta myös työhön kuluvassa ajassa sekä paremman lohkaroitumisen ansiosta pienemmässä rikotustarpeessa. Kuitenkin mallintamisella, reikäsuoruuksimittauksella sekä panostuksen suunnittelulla ehdoton hyöty on työn turvallisuuden lisääntyminen, sillä ilman tietoa vaarallisista rei'istä onnettomuuden riski on suuri.

14 Kuvauslaitteiden käyttö louhinnassa

Kreate Oy käyttää räjäytyskenttien suunnitteluun sekä räjäytysten analysoimiseen myös kuvauslaitteita. Drone, eli kuvauskopteri, on hyödyllinen apuväline, kun halutaan nähdä iso kokonaiskuva alueesta tai räjäytyskentästä. Nykyään drone-kuvauksen perusteella voidaan määrittää kallioiden ja maamassojen tilavuuksia, mutta kuvaamista voidaan hyödyntää myös turvallisuuden parantamisessa. Dronella päästään näkemään kalliot ja työmaat sellaisesta kuvakulmasta, jonne ihminen ei pääse. Näin räjäytyskenttiä sekä alueen yleistä louhintaa voidaan suunnitella paremmin ja työmaan yleiskuva voidaan tuoda videomuodossa myös toimistolle.

Räjäytysten kuvaamisessa drone on erittäin hyödyllinen laite. Koska räjäytysten lähelle ei pääse, dronella saadaan tallennettua hyvälaatuinen ilmasta kuvattu video melko läheltä itse räjäytystä. Videosta voidaan analysoida räjäytystä ja kehittää seuraavia räjäytyskenttiä. Videolta nähdään esimerkiksi räjäytyskentän kivimassojen liikkuminen, kivien sinkoilu ja lohkaroituminen hyvin selkeästi. Jos räjäytyksessä tapahtuu pieniäkin ongelmia, ne havaitaan helposti videolta.

Räjäytyskentän analysoimisessa yleiskuvaa parantaa myös keulan kuvaaminen. Tätä varten kentän etupuolelle maan pinnalle voidaan asentaa pieniä iskuja kestävä kamera. Etupuolelta kuvatessa voidaan analysoida keulareikien panostuksen onnistumista ja kehittää seuraavan kentän poraamista sekä panostusta ja näin myös turvallisuutta. Jos esimerkiksi videoista havaitaan, että räjäytyskentän reikien kohdilta sinkoilee kiviä selvästi ylöspäin, voidaan seuraavaan räjäytyskenttään lisätä kannen paksuutta ja näin vähentää kivien sinkoilua.

15 Esimerkkikenttien tulokset

Siuntion, Kouvolan ja Loviisan esimerkkikenttien räjäytykset on kuvattu videona sekä dronella ilmasta että kentän etupuolelta maan pinnalta. Näin on saatu kattava kokonaiskuva esimerkkikenttien onnistumisesta. Koska esimerkkikentät ovat korkeita, reikätaipumia tulee väkisin. Reikäsuoruumittauksista on ollut iso hyöty räjäytyskenttien turvallisen panostamisen kannalta. Kenttien reiät on panostettu joitain keulareikiä lukuun ottamatta bulk-emulsioräjähdyksineillä.

15.1 Siuntio

Siuntion esimerkkikenttä on tilavuudeltaan noin 35 000 m³, ja kentässä on käytetty yli 27 000 kg räjähdysainetta. Korkeimmillaan kenttä on noin 30 metriä ja matalimmillaan noin 25 metriä. Korkeuden takia kentän keulalla pienikin reikätaipuma vaikuttaa edunmuuttumiseen huomattavasti, minkä takia osa keularei'istä on panostettu osittain tai kokonaan patrunoiduilla räjähdysaineilla.



Kuva 35. Drone-kuvasarja Siuntion kentän räjäytyksestä

Siuntion esimerkkikentän ilmakuvastasarjasta (Kuva 35) havaitaan, että räjäytyskenttä liikkuu reilusti eteenpäin, mutta kivet eivät sinkoile hallitsemattomasti. Kentän pinnalta nousee jonkin verran kiviä, mutta suurimmaksi osaksi vain kivipölyä. Kivet eivät käy liian korkealla ja ne tippuvat lähelle lähtöpistettä. Kentän keskiosasta huomataan, ettei kivi-massa liiku kunnolla eteenpäin, mikä johtuu kentän edessä olleesta kivipaasista, jonka taakse ei ole saatu tarpeeksi räjähdysainetta. Tämä johtaa yleensä paikallisesti huonoon lopputulokseen.

Siuntion esimerkkikentän keulan kuvasta (Kuva 36) huomataan, ettei keulasta lähde mistään kohdasta hallitsemattomasti kiviä. Kuvan keskellä nähdään ongelmallinen kivipaasi ja kuinka se rajoittaa kentän optimaalista räjäytystä. Paasin vasemmalla puolella on aikaisemmin käsitelty kuvan 34 vaarallinen keulareikä, jonka keskiosa on jätetty panostamatta välitäytteen avulla, mikä näkyy kuvan räjäytyksessä isompana louheena.



Kuva 36. Kuva keulasta Siuntion kentässä

15.2 Kouvola

Kouvolan esimerkkikenttä on kooltaan noin 18 000 m³, ja siihen on käytetty noin 15 000 kg räjähdysainetta. Kentässä seitsemän keulareikää on panostettu reikäsuoritusmittausten perusteella osittain tai kokonaan patruunoiduilla räjähdysaineilla ohuemman edun takia. Kentän takana sijaitsevaa pressuvarastoa varotaan käyttämällä pienempää kantta.

Esimerkkikentän ilmakuvasarjasta (Kuva 37) havaitaan ensimmäiseksi selvästi korkkaava reikä, joka tuottaa korkean pölypatsaan. Reiässä etutäyte pettä, jolloin räjähdyskaasut pääsevät purkautumaan reiän yläosasta. Korkkaaminen ei kuitenkaan nosta isompia kiviä ilmaan. Kentän oikeassa reunassa on pressuvaraston takia käytetty 2 metriä paksua kantta, mikä näkyy selvästi kivien vähäisempänä lentämisenä. Kentän vasemmassa reunassa on käytetty 1,8 metriä paksua kantta pinnalle jäävän ylisuuren louheen pienentämiseksi ja tämä näkyy selvästi kuvassa kivien nousemisena. Kivet käyvät ilmassa, mutta eivät lennä hallitsemattomasti pitkälle.



Kuva 37. Drone-kuvasarja Kouvolan kentän räjäytyksestä

Kouvolan esimerkikentän keulan puoleisessa kuvassa (Kuva 38) havaitaan oikealla sama reiän korkkaaminen kuin kuvassa 37 sekä keskellä noin 15 metrin korkeudella käyviä kiviä. Kivet tippuvat lähelle lähtöpistettä eivätkä ne aiheuta vaaraa. Keulasta huomataan, että räjäytys onnistuu hyvin, koska mistään kohdasta kiviä ei sinkoile ja kallioseinämän pinta rikkoutuu hyvin.



Kuva 38. Kuva keulasta Kouvolan kentässä

15.3 Loviisa

Loviisan esimerkikenttä on kooltaan noin 16 000 m³, ja siihen on käytetty vajaa 13 000 kg räjähdysainetta. Kenttä on matalampi kuin Siuntion ja Kouvolan esimerkikentät ja siksi poraus on onnistunut paljon paremmin. Vain kahdessa keulareiässä on jouduttu käyttämään osittain patruonoitua räjähdysainetta, ja räjäytys on erittäin hallittu. Loviisan kentän ilmakuvasarjasta (Kuva 39) huomataan, että kentän keula liikkuu tasaisesti hallittuun suuntaan eikä kiviä sinkoile ollenkaan.



Kuva 39. Drone-kuvasarja Loviisan kentän räjäytyksestä

Loviisan kentän keulan kuvasta (Kuva 40) voidaan havaita, että kallion keulan pinta lohkaroituu hyvin ilman eteenpäin sinkoilua. Keskellä kenttää voidaan havaita kannen pettämistä ja muutamassa reiässä pientä korkkaamista, mutta isoja kiviä ei nouse hallitsemattomasti ilmaan ollenkaan.



Kuva 40. Kuva keulasta Loviisan kentässä

16 Yhteenveto

Opinnäytetyössä tutkittiin avolouhinnan vaaroja ja niiden ehkäisyä tietoteknisten laitteiden avulla kirjallisesti sekä kolmessa eri työkohteessa. Massalouhintakohteissa yleisimmin vaaraa aiheuttaa kivien sinkoilu. Tärkeimpänä sinkoilun ehkäisemisessä on henkilövahinkojen välttäminen. Toisena on materiaalivahinkojen välttäminen. Opinnäytetyön tulosten perusteella kivien sinkoilua räjäytyskentistä voidaan merkittävästi ehkäistä tietoteknisten laitteiden avulla, ja näin louhintatyön turvallisuus parantuu huomattavasti. Lisäksi laitteiden käyttö helpottaa seuraavien räjäytyskenttien kehittämistä optimoimalla porausta ja panostusta. Yrityksen investointi laitteisiin ja ohjelmistoon tulee maksamaan itsensä takaisin. Lisäksi laitteiden käyttö mahdollistaa louhinnan suorittamisen erittäin haastavilla työmailla, joiden läheisyydessä saattaa olla varottavia kohteita.

Opinnäytetyön aikana havaittuja haasteita kallion mallinnuksen osalta ovat kiire ja aikataulu. Välillä murskauksen asettamien tavoitteiden takia seuraava räjäytyskenttä tulisi räjäyttää silloin, kun edellinen louhekasa loppuu. Usein edellinen murskattava louhekasa on tulevan räjäytyskentän keulan edessä, eikä laserkeilausta tällöin voi suorittaa aikataulussa, jossa poraukseen voisi vaikuttaa. Asia vaatii jatkossa kehittämistä ja yhteistyötä tilaajan ja murskaajan kanssa.

Opinnäytetyön aikana laitteita on käytetty monilla eri työmailla ja niitä on ostettu lisää kalliorakennusyksikön kasvaessa. Laitteet ovat aktiivisessa käytössä ympäri Suomea, ja yksikön työntekijät ovat kehittyneet niiden käytössä. Turvallinen työskentely on toiminut hyvänä lähtökohtana yksikön toiminnassa.

Lähteet

Kirjallisuuslähteet:

Raimo Vuolio. 2008. Räjätysopas

Raimo Jääskeläinen. 2010. Maarakennuksen ja louhinnan perusteet

J.A. Sanchidrian. 2009. Rock Fragmentation by Blasting

Työturvallisuuskeskus. 2016. Räjätys- ja louhintatyön turvallisuusohje

Kivirock 2/2017 s. 9-11 lehti

Luentomateriaali:

Anu Ilander

Verkkolähteet:

http://www.epa.wa.gov.au/sites/default/files/PER_documentation/App%20H2%20-%20Golden%20Pike%20Flyrock%20Modelling%20Report%20Nov%202005.pdf, Terrock Consulting Engineers, tutkimus. Luettu 29.3.2019.

<https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/infra-akatemia/kivianespaivat-2016/jouko-salonen-mursketuotannon-porauksen-optimointi-2016.pdf>, Jouko Salonen, tutkimus. Luettu 25.3.2019.

<http://totti.tvk.fi>, TOT-tietojärjestelmä. Luettu 21.2.2019.

<https://www.tyosuojelu.fi/tietoa-meista/asiointi/luvat-ja-ilmoitukset/panostajien-pate-vyyskirja>, Työsuojelu, verkkosivut. Luettu 23.3.2019.

http://www.oricaminingservices.com/uploads/Sweden/Safety%20for%20you-%20your%20colleagues%20and%20the%203rd%20part%20Aug%202006_.pdf, Räjähdysainevalmistaja Orica, verkkosivut. Luettu 10.4.2019.

<https://forcit.fi/assets/sidebar-downloads/Forcit-tuoteluettelo.pdf>, Räjähdysainevalmistaja Forcit, verkkosivut. Luettu 13.3.2019.

<https://forcit.fi/assets/product-brochures/Tuotetieto.pdf>, Räjähdysainevalmistaja Forcit, verkkosivut. Luettu 15.3.2019.

http://www.geolaser.fi/Tuotteet_-_Geolaser_Oy/GPS_-_GNSS_-_Geolaser_Oy/Esitely2016-08-24_Satlab_-_SLC.pdf, Geolaser verkkosivut. Luettu 14.3.2019.

<http://www.carlsonsw.com/products/laser-measurement-devices/quarryman-pro/>, Carlson verkkosivut. Luettu 14.3.2019.

<https://www.robitgroup.com/robit-sense-systems-drills-deep-efficiency-safety-gains-rock-drilling-digitalization/>, Robit verkkosivut. Luettu 23.3.2019.

<https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/tapahtumat/2018/kiviainespaivat---esitykset/pe/3-daniel-palander.pdf>, Daniel Palander, esitys. Luettu 23.3.2019.

Haastattelut:

Rakennuspäällikkö Pekka Kotro, useita kertoja

Ylipanostaja 14.12.2018

Kuvalähteet:

Raimo Vuolio. 2008. Räjätysopas

Raimo Jääskeläinen. 2010. Maarakennuksen ja louhinnan perusteet

Google Maps, Street View-näkymä

Työturvallisuuskeskus. 2016. Räjätys- ja louhintatyön turvallisuusohje

Luentomateriaali, Anu Ilander

<https://forcit.fi/assets/product-brochures/Tuotetieto.pdf>

<https://www.forcit.fi/assets/product-brochures/FIREX-A-INFO-FI.pdf>

<https://www.enaex.com/wp-content/uploads/2018/05/DB-DaveyTronic-UG-SP-ES.pdf>

files.carlsonsw.com/mirror/manuals/Carlson_Cabled_Boretrak.pdf

O-Pitblast-räjätysuunnitteluohjelma

Työmaakuvat, Harri Mikkola

