

KAIVOSMITTAAJAN TYÖTEHTÄVÄT JA TOIMINTAYM- PÄRISTÖ

Simula Aapo

Opinnäytetyö
Tekniikan ja liikenteen ala
Maanmittaustekniikan ko.
Insinööri (AMK)

2017

Tekniikan ja liikenteen ala
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Aapo Simula	Vuosi	2017
Ohjaaja	Timo Karppinen		
Toimeksiantaja	Lapin ammattikorkeakoulu		
Työn nimi	Kaivosmittaajan työtehtävät ja toimintaympäristö		
Sivumäärä	54		

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli toimia aloittelevan mittaajan perehdytysoppaana kaivosalan toimintaympäristöön ja yleisimpiin työtehtäviin. Opas suunnattiin henkilöille, jotka toimivat ensikertalaisina kaivosalan mittaustehtävissä. Lisäksi opinnäytetyötä voivat hyödyntää soveltuvin osin tunnelirakentamisessa työskentelyn aloittavat mittaajat. Työn tavoitteena oli laajentaa aloittelevan mittaajan kaivostoiminnan kokonaiskuvan hahmotusta sekä olosuhteiden ja niiden erityispiirteiden vaikutuksien ymmärrystä.

Opinnäytetyössä selostetaan nykyaikaisessa malmikaivoksessa toimivan mittaajan yleisimmät työtehtävät. Kaivosmittaajan työtehtävien lisäksi oppaassa käsitellään kaivostoimintaa yleisellä tasolla kaivostuotannon, suunnittelun, geologian ja kalliomekaniikan näkökulmista. Työn teoreettinen tietoperusta kerättiin maanmittaus-, kaivos- ja räjäytysalan kirjallisuudesta, tiedejulkaisuista, verkkolehdistä ja artikkeleista.

Työstä selvisi, että kaivosmittaajan työtehtävillä on keskeinen asema monien kaivoksilla toimivien ammattikuntien työtehtävien suorituksessa. Mittaajan suorittamat merkintä- ja kartoitusmittaukset, tilavuuksien määritykset, kaivoskarttojen päivittäminen ja ajantasaistaminen sekä mittaustietokantojen ylläpito vaikuttavat kaivoksen toimintaan usealla tasolla. Kaivosmittauksella on tärkeä rooli osana kaivostuotantoa, ja suunnittelutyön eri osa-alueiden perustana käytetään mittaajan tuottamaa informaatiota.

Avainsanat avolouhos, kaivosmittaus, maanalainen kaivos, työtehtävät

Technology, Communication and
Transport
Degree Programme In Land Surveying
Bachelor of Engineering

Author	Aapo Simula	Year	2017
Supervisor	Timo Karppinen		
Subject of thesis	Mine surveyor's Tasks and Working Environment		
Number of pages	54		

The purpose of this thesis was to produce an orientation guide for a novice mine surveyor about the mining environment and the surveying tasks. The guide was designated for unexperienced persons working in the mine surveying profession. Additionally, the thesis can be utilized, where applicable by people working at tunnel construction sites. The objective of this thesis was to broaden the novice surveyor's perspective on the overall outlook of the mining operations, its environment and its idiosyncratic characteristics.

In this thesis, the most common tasks of a mine surveyor at a modern Nordic underground and open pit mine site were discussed. Additionally, the work explored mining operations via perspectives of mining production, engineering, geology and rock mechanics. The premises for a selecting aforementioned themes were established by the author's involvement in the mining industry. The study was conducted by acquiring information from literature on land surveying, mining and explosive industries, scientific publications and online articles.

To summarize, it can be said that a mine surveyor has an integral role in several facets of mining operations. Advances in technology and in mining industry's strife for increased automation of operations have evolved the methods that a mine surveyor uses in his line of work. However, the principal necessity for geographic information at mine sites will remain unaltered.

Key words mine surveying, open pit, tasks, underground mine

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	AVOKAIVOKSEN TUOTANTOLOUHINTA.....	7
2.1	Avolouhintamenetelmät	7
2.1.1	Pengerlouhinta	7
2.1.2	Paikalleenräjäytys	8
2.2	Porausmenetelmät.....	8
2.2.1	Iskuporaus.....	8
2.2.2	Uppoporaus.....	10
2.2.3	Iskuporaus putkitankokalustolla	10
2.2.4	Kiertoporaus	11
2.3	Avolouhoksen räjäytystyöt	12
2.3.1	Räjähdysaineet.....	12
2.3.2	Sytytysvälineet	13
2.3.3	Panostusvälineet	15
2.4	Pengerlouhinnan suunnittelu	17
2.4.1	Kallion räjäytykseen vaikuttavat tekijät	17
2.4.2	Panostuksen suunnittelu	17
2.4.3	Porauskaavio	18
2.4.4	Sytytyskaavio	19
2.5	Tuotantolouhintaan liittyvät mittaustehtävät	20
2.5.1	Louhintakenttien porareikien kartoitus- ja merkintämittaukset.....	20
2.5.2	Lastaus- ja läjitysalueiden mittaustehtävät	21
2.5.3	Käytettävät mittausvälineet	22
3	MAANALAISEN KAIVOKSEN LOUHINTATYÖT	24
3.1	Valmistelevat louhintatyöt	24
3.1.1	Peränajo	24
3.1.2	Kuilunajo	26
3.1.3	Nousunajo	27
3.2	Maanalaiset louhintamenetelmät	29
3.2.1	Avoimet menetelmät.....	29
3.2.2	Täyttömenetelmät.....	32
3.2.3	Sorrosmenetelmät	34

3.3	Maanalaisen kaivoksen tuotantotehtävien mittaustyöt	36
3.3.1	Louhosten merkintä- ja kartoitusmittaukset	36
3.3.2	Kuilun-, nousun- ja peränajon mittaustehtävät	37
3.3.3	Tunnelin runkoverkon rakentaminen	38
3.3.4	Maanpäällisten ja maanalaisten koordinaatistojen yhdistäminen ..	38
4	KAIVOSGEOLOGIA	40
4.1	Yleistä	40
4.2	Kaivosgeologisten tutkimusten näytteenottomenetelmät	40
4.3	Kaivosgeologiaan liittyvät mittaustehtävät	41
4.3.1	Timanttikairauksen ja RC-porauksen merkintä- ja kartoitustyöt	41
4.3.2	Kallioperän 3D-kuvaus	42
5	KALLIOMEKANIikka	44
5.1	Yleistä	44
5.2	Kallioperän jännitykset	44
5.3	Kalliolujitus	45
5.4	Kalliomekaaniset seurantamittausmenetelmät	47
5.4.1	Yleistä	47
5.4.2	Seinämätutka	47
5.4.3	Maalaserkeilain	48
5.4.4	Takymetrillä tehtävät siirtymämittaukset	48
6	POHDINTA	50
	LÄHTEET	52

1 JOHDANTO

Kaivosalan suosio on kasvanut Suomessa 2000-luvulla. Tätä kehitystä kuvastaa perustettujen kaivosten lisääntynyt lukumäärä. Kehitys on nähtävissä erityisesti Pohjois-Suomessa, missä sijaitsee yli kolmannes nykyään toiminnassa olevista malmikaivoksista. Kaivosalalla työskentelevien mittaajien työtehtävät ovat monipuolistuneet samanaikaisesti kaivosten modernisaation, sekä mittausalan nopean kehityksen mukana.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on toimia käytännönläheisenä oppaana kaivosalalle suuntautuville mittausalan henkilöille. Oppaassa selostetaan kaivosmittaajan yleisimmät työtehtävät, mittauslaitteiden toimintaperiaatteita ja malmikaivosten toiminnan eri osa-alueita yleisellä tasolla. Työn tavoitteena on toimia vasta-alkajan perehdytysoppaana, mikä parantaa mittaajan valmiuksia toimia itsenäisesti ja vastuullisesti työssään kaivoksilla. Lisäksi oppaasta voivat hyötyä henkilöt, jotka toimivat maanalaisten tunneleiden mittaustehtävissä.

2 AVOKAIVOKSEN TUOTANTOLOUHINTA

2.1 Avolouhintamenetelmät

2.1.1 Pengerlouhinta

Pohjoismaissa toimivien avokaivosten yleisin louhintamenetelmä on pengerlouhinta. Avolouhinta on yleensä taloudellisesti kannattavampaa kuin maan alla suoritettava louhintatyö. Pengerlouhinta etenee tasoittain ylhäältä alaspäin, pääsääntöisesti tasapaksuin penkerein. Louhinta aloitetaan luiskan louhinnalla, mitä suoritetaan niin kauan, kunnes saavutetaan tavoitesyvyys. Sen jälkeen tason louhinta laajenee vaakasuuntaisesti, kunnes louhintaa jatketaan jälleen luiskan avulla alemmille tasoille. Penkereet yhdistetään väliaikaisilla ja pysyvillä ajoteilla eli rampeilla, joita pitkin louhosautot kuljettavat malmia ja sivukiveä (Kuvio 1). (Lappalainen & Paalumäki 2015, 107–109.)



Kuvio 1. Havainnekuva avolouhoksen penkereistä ja ajoteistä

Pengerlouhinnassa käytetään yleisesti 6–18 astetta etukallistettuja reikiä (Lappalainen & Paalumäki 2015, 111). Reikien kallistaminen kasvattaa reikien pohjalla olevaa kallion vapaata purkaantumiskulmaa, joka kohdistaa iskuaaltoenergian paremmin kallion irtileikkaukseen, mikä vähentää kynsien syntymistä kalli-

on pohjalle (Vuolio 2012, 106, 113). Joissain haastavissa kallio-olosuhteissa voidaan käyttää lisäksi louhoksen pohjalle porattuja vaakasuuntaisia apureikiä (Vuolio 2012, 172). Porareikien läpimittana käytetään yleisesti 64–152 millimetriä, sekä muutamissa Suomen kaivoksissa on viime vuosina otettu käyttöön suurempienkin reikäkokojen porauskalustoa (Lappalainen & Paalumäki 2015, 109–111).

2.1.2 Paikalleenräjäytys

Paikalleenräjäyttäminen on pengerlouhinnan muunnelma, jossa kallio pyritään irrottamaan räjäytyksellä aiheuttamatta räjäytyskentän vaakasuuntaista liikettä. Porauskalustolla porataan louhintakenttään pystysuuntaisia reikiä. Räjäytys suoritetaan ennen kuin edellisen räjäytyskentän louhe on lastattu, minkä ansiosta louheella ei ole vapaata purkautumissuuntaa ja kentän horisontaalinen liike on mahdollisimman vähäistä. (Lappalainen & Paalumäki 2015, 109.)

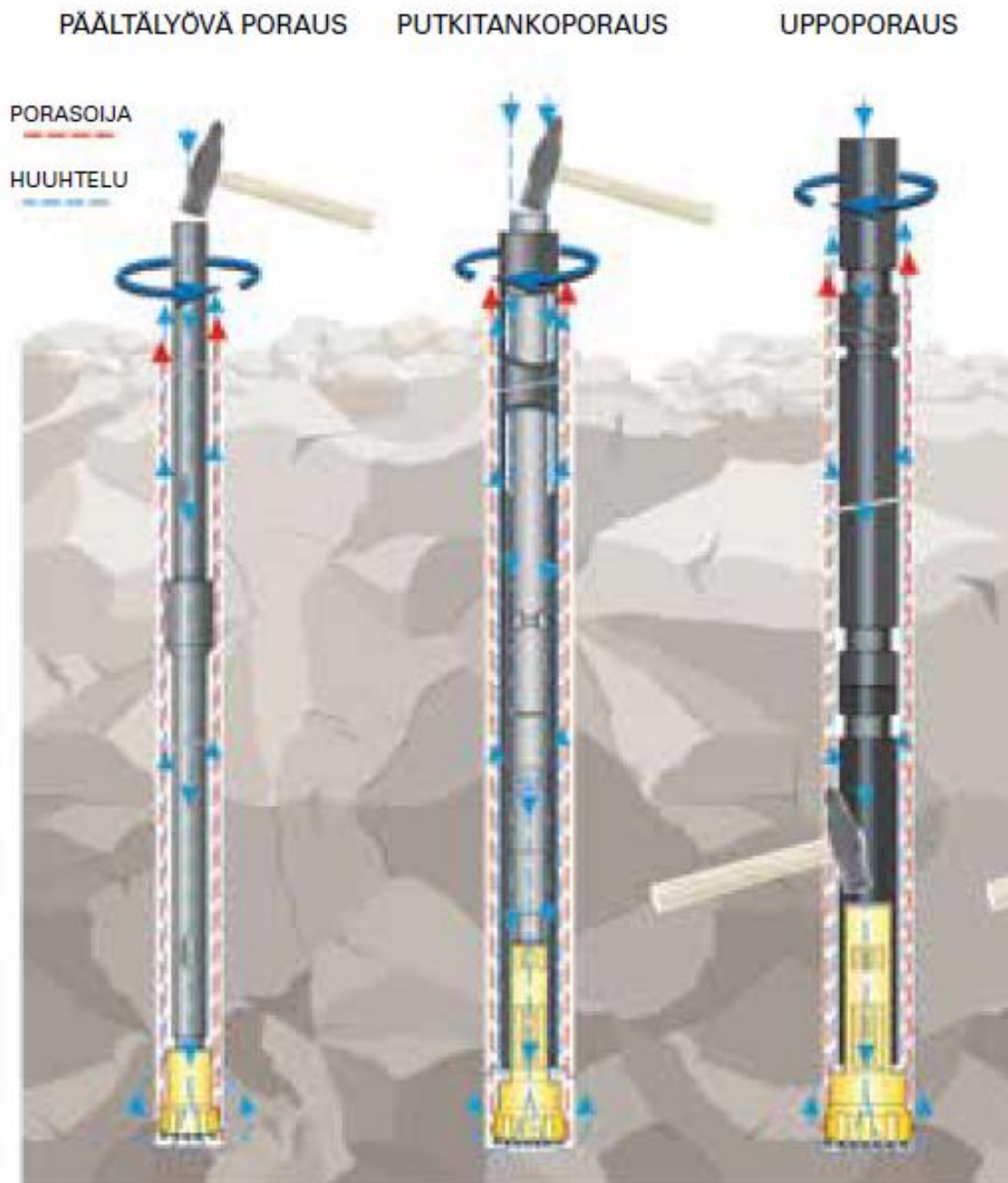
Paikalleenräjäytys on hyvä menetelmä loivakaateisten malmien louhinnassa ja kapeiden juonimaisten malmien louhinnassa, missä louheen lastaus joudutaan tekemään selektiivisesti. Selektiivisessä louhinnassa irrotetun louhoksen sisältämä malmi ja sivukivi lastataan vaiheittain, millä pyritään minimoimaan raakku-laimennus ja maksimoimaan malmin talteensaanti. (Lappalainen & Paalumäki 2015, 109.)

2.2 Porausmenetelmät

2.2.1 Iskuporaus

Useimmissa kivilajeissa iskuporaus on yleisin porausmenetelmä. Poraus perustuu kallion rikkomiseen painamalla poranterän kovametallinastaa tai -pala kalliota vasten, mikä riittävän suuren paineen alla murskaantuu. Lähes kaikki kallioporausmenetelmät perustuvat lastuamiseen, jossa kuormituksen kasvaessa riittävästi kallio alkaa rakoilla ja poranterän läheisyydessä kallioista irtoaa pala. (Räsänen, Eskola, Kaukinen & Niiranen 2015, 155–156.)

Iskuporauksessa terään välitettävä iskuenergia tuotetaan päältälyövällä iskumännällä, kuten Kuvion 2 vasemmassa laidassa on esitetty. Iskumännän liike saadaan aikaan hydraulisesti tai paineilman avulla. Poraussyvyyttä säädetään syöttölaitteella ja jatkotangoilla, jotka liitetään toisiinsa kierrelitöksin. Terää pyöritetään porakoneen sisään rakennetulla telkiakselilla tai erillisellä pyöritysmootorilla, minkä ansiosta jokaisen iskun jälkeen porakruunu osuu eri kohtaan porattavassa reiässä. (Räsänen ym. 2015, 157, 159, 161–162.)



Kuvio 2. Erilaisia iskuporausmenetelmiä (Räsänen 2013, 20–21)

2.2.2 Uppoporaus

Uppoporaus on iskuporausmenetelmä, missä energia välitetään porakruunuun (Kuvio 2). Päättälyövä iskuporaus ja uppoporaus on samankaltaisia menetelmiä, minkä keskeisin ero on iskuenergian välityksessä. Päättälyövässä menetelmässä isku kohdistuu porakangen päähän. Jokaisessa jatkotangon kierrelitoksessa iskuaalto heikkenee 6–10 prosenttia, mikä osittain johtuu huonosta tankojen välisestä kontaktista, sekä tangon ja liitosholkin välisestä välyksestä. Uppoporausessa isku välittyy suoraan porareissä olevaan porakruunuun, millä vältetään jatkotankojen liitoksien energiahäviö. (Räsänen ym. 2015, 157.)

Nykyaikana avolouhosten tuotantoporausessa käytetään 100–254 millimetrin reikäkoossa yleisimmin uppoporausta. Uppoporausmenetelmän etuna päättälyövä iskuporaus on pienempi iskuenergian häviö, sekä mahdollisuus porata syvempiä ja suurempiläpimittaisia reikiä tarkemmin ja pienemmällä reikätaipumalla. Uppoporausmenetelmän maksimireikätaipuma on 1,5 prosenttia (Atlas Copco 2012, 49). Uppoporausessa käytetään jäykkiä poraputkia, joita syötetään porareikään. Poraputket parantavat reikäsuoruutta, porausjätteen poishuuhtelua ja reikien aukipysyvyyttä. (Räsänen 2009, 16.)

2.2.3 Iskuporaus putkitankokalustolla

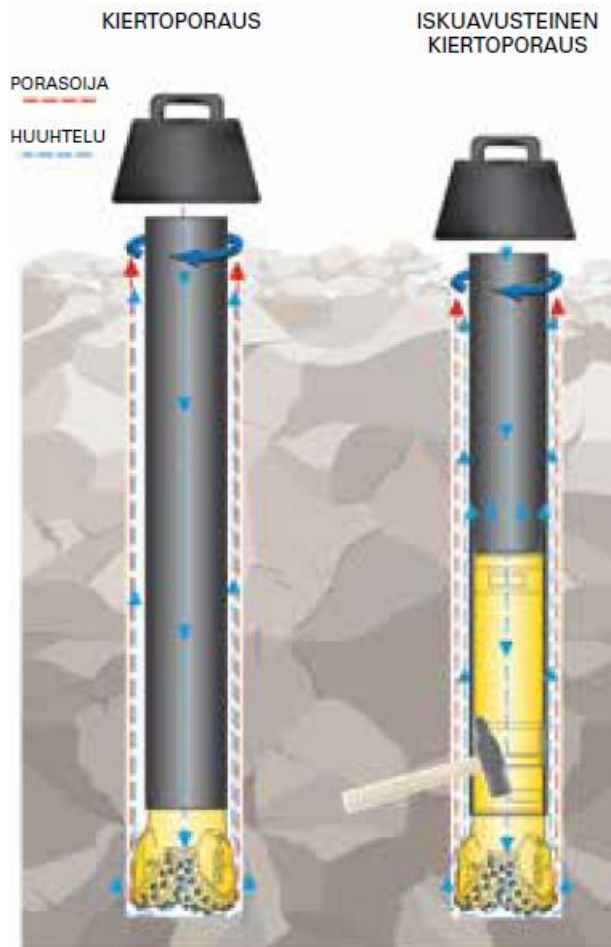
Iskuporaus putkitankokalustolla yhdistää päättälyövässä porausmenetelmässä ja uppoporausmenetelmässä käytetyt tekniikat. Kierteettömät iskutangot pinotaan päällekkäin ja niiden tehtävä on välittää ylhäältäpäin tuleva iskuenergia ja syöttövoima porakruunuun. Iskutankojen ympärillä olevien poraputkien tehtävänä on pyörittää porakruunua. (Räsänen ym. 2015, 157.)

Putkitankokalustolla porattaessa saavutetaan useita etuja iskuporausmenetelmään ja uppoporausmenetelmään nähden. Reikäkoon ollessa 90–180 millimetriä, putkitankokalustolla saavutetaan iskuporausmenetelmän porausnopeus ja samanaikaisesti säilytetään uppoporausmenetelmän reikäsuoruus (Räsänen ym. 2015, 157). Putkitankokalustolla porattaessa poraputkien huoltoväli on pitkä ja mekaaninen rasitus alhai-

nen, minkä vuoksi poraputkiin ei kohdistu iskuenergiaa kuten iskuporauksessa (Atlas Copco 2012, 176).

2.2.4 Kiertoporaus

Kiertoporausmenetelmässä (Kuvio 3) pyöritysmoottorilla pyöritettävään porakruunuun kohdistetaan suuri alaspäin suuntautuva syöttövoima, mikä aiheuttaa kiven hajoamisen. Nykyään on kehitetty myös iskuavusteinen kiertoporausmenetelmä (Kuvio 3), joka parantaa poran tunkeutumisenopeutta (Räsänen 2013, 176). Porakruunuissa käytetään kahdenlaisia terätyyppejä. Nastateriä käytetään kiertoporauksen murskausmenetelmässä ja kokopalateriä käytetään leikkaavassa kiertoporauksessa. Leikkaavaa kiertoporausta voidaan käyttää ainoastaan alhaisen vetolujuuden omaaviin kivilajeihin, ja murskausmenetelmää voidaan käyttää kovissakin kivilajeissa. (Räsänen ym. 2015, 157, 159–161.)



Kuvio 3. Kiertoporaus ja iskuavusteinen kiertoporaus (Räsänen 2013, 176)

Kiertoporaus on ensisijaisesti käytetty menetelmä suuriläpimittaisten reikien porauksessa. Porauksessa käytetyn energian kustannukset louhittua tonnia kohden alenevat kiertoporausessa reikäkoon ja tuotantovolyymin kasvaessa. Kovissa kivilajeissa sähkömoottoritoimisen poravaunun energiakustannukset ovat noin 25–30 prosenttia dieselkäyttöiseen poravaunuun verrattuna reikäkoon ollessa 200–230 millimetriä. (Räsänen 2013, 177). Suurimmissa porausvau- nuissa käytetään pitkiä porausmastoja, mitkä mahdollistavat halutun reikäsy- vyyden porauksen ilman jatkokankien liittämistä. Yksivaiheinen poraus parantaa porauksen tuotantotehokkuutta. (Räsänen ym. 2015, 157.)

2.3 Avolouhoksen räjäytystyöt

2.3.1 Räjähdyksineet

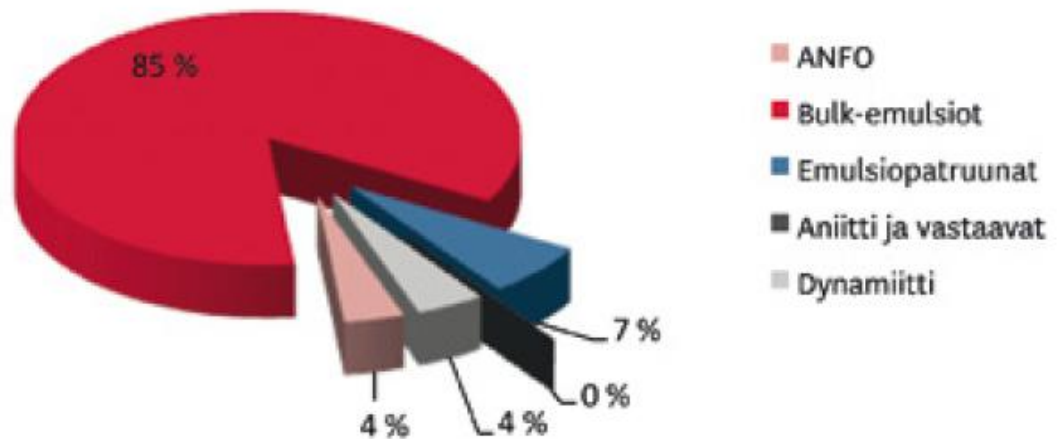
Louhintaräjähdyksineiden tarkoitus on irrottaa ja rikkoa kiviainesta kalliosta. Li- säksi räjäytysaineen tehtävänä on siirtää räjäytyksen aikana louhittava kivi ha- luttuun suuntaan, mistä se voidaan lastauskoneiden avulla siirtää jatkokäsittely- paikkaan. Louhintaräjähdyksineet panostetaan lähes aina porattuun louhinta- reikään. Harvinaisissa erikoistapauksissa räjäytysaineita käytetään edellämäini- tusta tavasta poikkeavin menetelmin kallion louhinnassa. (Halonen 2015, 183.)

Louhintaräjähdyksien olosuhteet ja tavoiteltu lopputulos vaihtelevat suuresti, mi- kä vaikuttaa käytettävän räjäytysaineen valintaan. Rikottavan kallion kovuus, rakoilu, kosteus ja haluttu lohkokoko on huomioitava arvioidessa kohteeseen parhaiten soveltuvaa räjähdysainetta. (Halonen 2015, 183.) Räjähdyksineiden räjähdysnopeus, vedenkesto ja taloudellisuus ovat myös valintaan vaikuttavia tekijöitä (Vuolio 2012, 57–59).

Bulk-emulsio on Suomessa nykyään eniten käytetty räjähdysainetyppi (Kuvio 4) (Halonen 2016, 4). Bulk-emulsio koostuu useista raaka-ainekomponenteista, mitkä pumpataan panostusajoneuvolla tai -laitteella suoraan porareikään. Osa tuotteista muodostuu räjähdysaineksi vasta noin 10–20 minuuttia pumppaami- sen jälkeen. (Vuolio 2012, 63.) Anfo on myös irtoräjähdyksine, minkä käyttö rajoittuu asutuksen ulkopuolelle muiden bulk-räjähdyksineiden tavoin. (Forcit

2015). Emulsiopatruunat pakataan muovipatruunaan ja niitä voidaan käyttää kaikenlaisiin räjäytystöihin.

Eri räjähdysaineiden kulutus Suomessa 2015



Kuvio 4. Suomessa käytettävien räjähdysainetyyppien jakauma vuonna 2015 (Halonen 2016, 4)

2.3.2 Sytytysvälineet

Sytytysvälineiden tarkoituksena on toimia räjäytysaineiden sytyttiminä. Erilaisissa kalliilouhinnan sovelluksissa räjäytysaineet pyritään räjäyttämään sytyttimien avulla halutun mukaisessa järjestyksessä. Räjäytysjärjestyksellä voidaan vaikuttaa lohkokokoon, kiven heittoon, louhintajälkeen ja ympäristöön kohdistuviin värinöihin. Nykyään yleisimmin käytetyt sytytysvälineet ovat aikatulilanka, räjähtävä tulilanka, sähköräjäytysnalli, impulssiletkunalli ja elektroninen räjäytysnalli. (Halonen 2015, 184.)

Räjähtävä tulilankaa käytetään sytytysmenetelmänä pääasiassa tarkkuus- ja tarvekivilouhinnassa. Räjäytyksellä pyritään aikaansaamaan kestäviä ja tarkkoja kivenpintoja. Räjähtävä tulilanka on muovipinnoitteinen sisältä ontto lanka, joka on täytetty räjähdysaineella. Aikatulilanka on samankaltainen kuin räjähtävä tulilanka, mutta sen palonopeus 120 metriä sekunnissa on huomattavasti hi-

taampi kuin räjähtävän tulilangan, joka on 6000–7000 metriä sekunnissa. Aika-tulilangan käyttö Suomessa on nykyään erittäin vähäistä. Avolouhoksilla voidaan käyttää räjähtävää tulilankaa raonräjäytyksissä. (Vuolio 2012, 23, 77–79.)

Nykyään sähköräjäytysnallia (Kuvio 5) käytetään toisena pääasiallisena sytytysmenetelmänä Suomessa. Sähkönalli sytytetään johtamalla sähkövirtaa nalliin, minkä vaikutuksen ansiosta noin yhden gramman suuruinen räjähdysainemäärä syttyy nallissa. Räjäytyskentän saa laukaista Suomessa vain viranomaisen hyväksymällä sytytyskojeella. Sähkönalli voi syttyä tahattomasti staattisen sähköön, suurjännitejohtojen, radio-, tv- ja tutkalähettimien, sekä ukkosen johdosta. (Vuolio 2012, 23, 79–82, 85, 92.)



Kuvio 5. Räjähdysaineiden sytyttämiseen käytettävä sähköinen räjäytysnalli (Orica 2017)

Impulssiletkunallilla tehtävä räjähdysaineiden sytytys on pääasiallinen sytytysmenetelmä Suomessa sähköisten räjäytysnallien ohella. Järjestelmä on kehitet-

ty alun perin korvaavaksi menetelmäksi kohteisiin, missä sähköräjäytysnalleilla on tahattoman syttymisen vaara. Impulssiletku on sisältä ontto muovinen letku, minkä ulkohalkaisija on kolme millimetriä ja sisähalkaisija 1,2 millimetriä. Letku sisältää räjähdysainetta noin 20 milligrammaa per metri. Räjähdysaine synnyttää shokkiaallon letkussa, mikä sytyttää letkun päässä olevan nallin. Impulssiletku on vedenpitävä, pakkasenkestävä ja suoraa salamaniskua lukuun ottamatta, ei voi syttyä tahattomasti sähköisten vaaratekijöiden johdosta. Impulssiletkunalli on monipuolisten käyttöominaisuuksiensa vuoksi korvannut sähkösytytysnallin sytytysmenetelmänä useissa louhintatehtävissä. (Vuolio 2012, 85–86.)

Elektroninen nalli muistuttaa ulkoisesti sähköräjäytysnallia, mutta sillä saavutetaan useita etuja kaikkiin muihin sytytysvälineisiin nähden. Elektroniseen nalliin voidaan asettaa haluttu hidasteaika yhden millisekunnin intervallilla, jopa 12 sekuntiin asti. Nallin räjäytyksen tarkka ajoitus kohentaa louhintajälkeä, pienentää tärinöitä, sekä parantaa kiven heiton ja lohkarokoon hallintaa. Elektronisia nalleja käyttämällä voidaan louhintakustannuksia alentaa ja käyttöturvallisuutta lisätä. Elektronisten nallien käyttö Suomessa on tällä hetkellä suhteellisen vähäistä, mutta käytön uskotaan yleistyvän merkittävästi tulevaisuudessa. (Vuolio 2012, 23–24, 92.)

2.3.3 Panostusvälineet

Porareikien panostuksessa käytetään monenlaisia panostusvälineitä. Suomessa käytettävien panostuslaitteiden täytyy olla viranomaisten hyväksymiä. Anfon panostuksessa käytetään paineastiaperiaatteella toimivaa panostuslaitetta, missä räjähdysaine pakotetaan paineen avulla panostusletkua pitkin porareikään. Kaivoksilla on käytössä panostusajoneuvoja (Kuvio 6), joihin on asennettu kiinteästi Anfo-panostuslaite. (Halonen 2015, 189.)



Kuvio 6. Kaivoksilla, tunnelityömailla ja suurilla louhintatyömailla käytettävä AN-FO-panostusajoneuvo (Tunneltalk 2012)

Bulk-emulsioiden panostuslaitteet ovat teknisesti edistyneitä laitteita, joilla voidaan säädellä räjähdysaineiden räjäytysteknisiä ominaisuuksia ja pumppauksessa käytettävää panostusletkua mekaanisesti. Bulk-emulsioiden panostuslaitteiden alustana voidaan käyttää monen tyyppisiä panostusajoneuvoja (Kuvio 7). Louhintakentän panostustapahtuma dokumentoidaan reikäkohtaisesti. (Halonen 2015, 189.)



Kuvio 7. Esimerkkikuva avolouhoksilla käytettävästä emulsioräjäytysaineiden panostusajoneuvosta. (Halonen 2016, 6)

2.4 Pengerlouhinnan suunnittelu

2.4.1 Kallion räjäytykseen vaikuttavat tekijät

Räjäytys suunnittelussa on tärkeää huomioida useita louhinnan lopputulokseen vaikuttavia tekijöitä. Kallion räjäytyksessä pyritään saavuttamaan sopiva lohkarakoko ja heitto. Heitolla tarkoitetaan räjäytyksessä tapahtuvaa kallion siirtymistä, jota pyritään kontrolloimaan suunnittelun avulla. Kallion geologiset ominaisuudet ja käytettävät räjähdysaineet vaikuttavat kallion irrotukseen. (Vuolio 2012, 101.)

Räjäyttämällä toteutettu kallion irrotus tapahtuu kolmivaiheisesti. Ensin räjäytyksen aiheuttama iskuaalto etenee kalliossa 3000–6000 metriä per sekunti. Kallion geologisilla ominaisuuksilla on suurin vaikutus iskuaallon etenemisnopeuteen. Iskuaalto aiheuttaa kallion murskaantumista porareian ympärillä, mikä aikaansaa mikroskooppisia rakoja. Seuraavassa vaiheessa puristusjännitystilasta muuttuu vetojännitystilaksi, kun iskuaalto heijastuu takaisin vapaasta kallionpinnasta ja raoista. Tämä muodostaa kallioon pieniä säteittäisiä rakoja. Viimeisessä vaiheessa räjäytyslämmöstä laajentuneet räjäytyskaasut tunkeutuvat rakoihin, mikä kasvattaa vetojännitystä ja kalliossa tapahtuu liikettä vapaata pintaa kohden. Lopuksi halkeamat lisääntyvät ja kallio irtoaa liikenopeudella 10–30 metriä per sekunti. (Vuolio 2012, 101.)

2.4.2 Panostuksen suunnittelu

Pengerlouhinnan panostuksen ominaisuuksilla voidaan vaikuttaa monella tavalla louhinnan lopputulokseen. Kallion irrottaminen räjäyttämällä vaatii tietyn suuruisen räjähdysainemäärän, minkä laskennassa käytetään ominaispanostukseksi kutsuttua teoreettista suuretta. Ominaispanostus tarkoittaa räjähdysainemäärän suhdetta irrotettavaan kalliotilavuuteen. Avolouhoksen louhintasuunnittelussa on räjähdysainekulutuksen laskennalliseksi määräksi vakiintunut 0,4 kilogrammaa per kuutiometri, mutta kalliolaatu ja haluttu lopputulos voivat nostaa kulutusta. Ominaispanostusasteen suuruudella voidaan vaikuttaa kallion

lohkarekokoon, heittoon ja louheen murskauksen taloudellisiin kustannuksiin. (Vuolio 2012, 103, 106–108.)

Porausreiän panostus jakaantuu pystysuuntaisesti kolmeen eri osioon. Pohjapanos panostetaan reiän pohjalle. Pohjapanos vaatii suurimman ominaispanostusasteen porareiässä, koska kallion niin sanottu ”vastajännitys” on suurinta reiän pohjalla. Pohjapanoksen yläpuolelle tulee huomattavasti keveämmän ominaispanostusasteen omaava varsipanos. Porareiän yläosa täytetään etutäytteellä, jonka tarkoitus on pidätellä louhintatyötä tekeviä räjäytyskaasuja reiässä mahdollisimman pitkään. Etutäytteenä suositellaan käytettäväksi sepeliä. (Vuolio 2012, 142.)

2.4.3 Porauskaavio

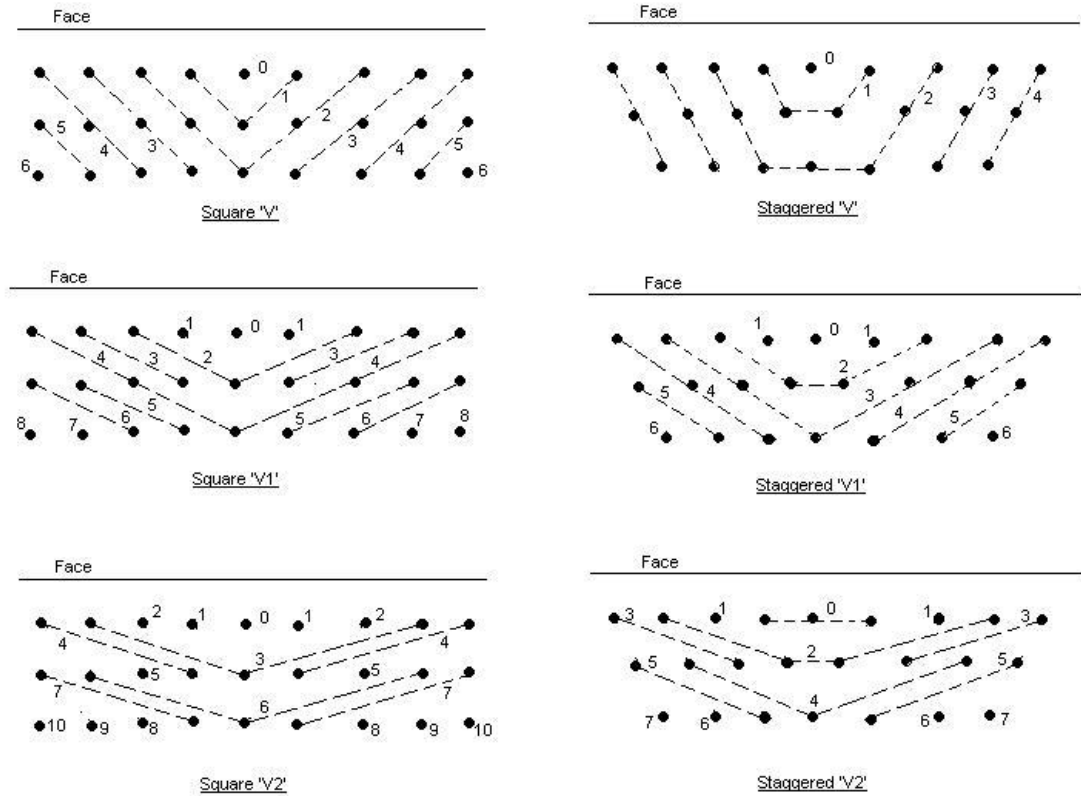
Pengerlouhinnassa käytettävän porauskaavion valinta perustuu olosuhteiden ja halutun lopputuloksen eri painotuksiin. Porauskaavio on neliömäinen tai salmiakkikuvion tapainen, missä reikärivit ovat lomittain (Halonen 2015, 191). Porauskaavioilla pyritään saavuttamaan erilaisia tavoitteita, kuten räjähdysaineen tasainen jakautuminen, kiven hyvä rikkoontuminen, pieni lohkarekoko ja taloudellisuus (Atlas Copco 2012, 62–64).

Pengerlouhinnan reikäsijoittelu on jaettu kolmeen eri perustyyppiin. Normaalisessa reikäsijoittelussa reikärivit ja reikävälit ovat kohtisuoraan toisiaan vastaan räjäytyskentässä. Reikärivien välistä keskinäistä etäisyyttä kutsutaan eduksi. Edun ja reikävälin etäisyyden suhdeluvuksi on vakioitunut 1,25-kertainen reikävälien etäisyys etuun nähden (Vuolio 2012, 33). Harvareikämenetelmässä reikärivit ovat lomittain ja reikärivien välinen keskinäinen etäisyys on paljon pienempi, kuin reikärivissä olevien reikien välinen etäisyys. Niin sanottu ”stagged” -menetelmä on samankaltainen kuin normaali reikäsijoittelu. Menetelmässä reikärivit ovat lomittain, mikä muistuttaa salmiakkikuviota. (Halonen 2015, 191.)

2.4.4 Sytytyskaavio

Pengerlouhinnan yleisin sytytystapa on lyhythidastesytytys. Lyhythidastesytytyksessä louhittava kallioalue räjäytetään reikä, tai reikärivi kerrallaan vapaata purkaantumisuuntaa kohden lyhyin aikavälein. Kallion purkaantumiskulman täytyy olla yli 135 astetta. Nallien avulla reikärivit ajoitetaan räjähtämään sopivin aikavälein. Liian lyhyt aikaväli aiheuttaa kallion huonon irtoamisen, mikä jättää irtoamatonta kalliota räjäytyskentän pohjalle. Lisäksi panostettujen reikien suulta sinkoilee kiviä ympäristöön. Liian pitkä aikaväli aiheuttaa kallion suuren heiton eteenpäin, koska edellisen reikärivin kivimassa ei toimi enää suojapeitteenä seuraavalle irrotetulle reikäriville. Sopiva aikaväli liikuttaa kalliota hallitusti eteenpäin. (Vuolio 2012, 111–112, 143, 145.)

Moniriviräjäytykset voidaan toteuttaa käyttämällä useita eri tyyppisiä sytytyskaavioita (Kuvio 8). Pengerlouhinnan yleisimmin käytetyssä sytytysjärjestelmässä reikärivit sytytetään rivi kerrallaan, lukuun ottamatta kentän reunimmaisista reikiä, jotka sytytetään samalla hidasteajalla seuraavan reikärivin kanssa. Aurasmenetelmää käytettäessä reikärivit järjestetään syttymään rivi kerrallaan v-kirjaimen mukaisesti kentän keskilinjaa kohden. Aurasmenetelmän etuna on pieni lohkokoko, paikalleen jäävän kallion eheys ja reunareikien kunnollinen irtoaminen. Haittapuolena on räjäytyskentän takaosan ja keskustan vaikeutunut irtoaminen. Viuhka- ja aurakiilajärjestelmää käytetään avauslouhinnassa, missä kalliolla ei ole vapaata purkaantumisuuntaa. (Vuolio 2012, 143–146.)



Blastholes / Initiation patterns for shot fired to an open face

Kuvio 8. Esimerkkikuva louhintakentän erilaisista sytytyskaavioista ja porauskuvioista (Das Sharma 2012)

2.5 Tuotantolouhintaan liittyvät mittaustehtävät

2.5.1 Louhintakenttien porareikien kartoitus- ja merkintämittaukset

Avolouhoksen tuotantoporausken porareikien merkintä- ja kartoitusmittaukset kuuluvat kaivosmittaajan yleisimpiin työtehtäviin. (Härmälä, Kinnunen, Mononen & Wikman 2015, 400). Kaivossuunnittelija tekee poraussuunnitelmat louhittaville kentille, mitkä perinteisesti kaivosmittaaja merkitsee maastoon. Suunnitelmassa määritetään porattavien reikien yksilöivä tunnus, taso- ja korkeussijainti, porauskaavio ja -syvyys, ohiporausken pituus, reikähalkaisija, reikäväli, etu, sekä mahdollisten kallistettujen reikien kallistuskulma ja -suunta (Oberndorfer 2000, 435). Tyypillisesti mittaaja merkitsee maastoon suunniteltujen porareikien reikä-tunnuksen, taso-sijainnin ja korkeusaseman. Vaihtoehtoisesti mittaaja voi kartoittaa kallio-pinnan korkeussijainnin merkintätyön yhteydessä ja toimittaa tiedot suunnittelijalle, joka suunnittelee porareikien lopullisen porauspituuden (Ober-

dorfer 2000, 436). Merkinnot voidaan tehdä porakentälle monin eri tavoin kuten lipuilla, merkintämaalilla, paaluilla ja linjalangoilla. Tärkeinä on kuitenkin, että merkinnot on tehty selkeästi ja riittävän pysyviksi, että ne pysyvät paikallaan porauskaluston liikkeessa kentällä.

Louhintakenttien kartoitustietoa käytetään moniin eri tarkoituksiin. Louhittavan kentän poraustyön valmistuttua kaivosmittaaja kartoittaa porattujen reikien taso- ja korkeuskoordinaatit. Kartoitettuja porareikiä tarkastelemalla voi poraus- ja räjäytysuunnittelija vertailla suunniteltujen ja toteutuneiden reikien lukumäärää sekä sijaintia, analysoida porauksen tuottavuutta ja mahdollisia ongelmia, ja tehdä lopullisen räjäytysuunnitelman (Oberndorfer 2000, 435–437). Vastavasti panostettujen reikien kartoituksella voidaan analysoida panostustyötä ja räjäytyksen vaikutuksia. On tärkeää huomioida, että louhittavan kentän alkupe- räinen poraussuunnitelma, toteutunut poraus ja toteutunut panostustyö voi sisältää toisistaan poikkeavaa paikkatietoa, jonka tallentaminen tietokantoihin mahdollistaa kaivostoiminnan kehittämisen monin eri tavoin.

2.5.2 Lastaus- ja läjitysalueiden mittaustehtävät

Avolouhoksen lastausalueiden perinteiset merkintätyöt ovat vähentyneet teknologian kehittyessä. Louhitun penkereen lastauksessa käytetyissä lastauskoneissa koneohjausjärjestelmien käyttö on yleistynyt. 3D-koneohjauksella lastauskoneesta näkee koneen tasosijainnin, suunnan, koneen ja kauhan korkeusaseman, lastattavan kentän mahdolliset malmin ja sivukiven väliset rajat. Ilman koneohjausjärjestelmää mittaajan on merkittävä maastoon geologin määrittämät rajalinjat eri kiviaineksille ja suunnitelman mukainen lastaussyvyys.

Lastattu louhe voidaan kuljettaa useille väliaikaisille tai lopullisille sijoituspaikoille. Sivukivi eli raakku on malminlouhinnan sivutuotteena syntyvää hyödyntämätöntä kiviainesta, mikä läjitetään louhoksen läheisyyteen sivukivialueelle tai kuljetetaan tarvekiveksi murskattavaksi (GTK 2017). Kaivosmittaajan on ylläpidettävä kaivoskarttaa sivukivialueista ja tarvittaessa merkittävä maastoon sivukiven läjityssuunnitelmat työkonien operaattorien nähtäväksi. Malmi kuljetetaan rikastamolle murskattavaksi, tai varastoidaan välivarastoihin, mistä sitä voidaan

tarpeen mukaan ottaa käyttöön. Usein murskaamon läheisyyteen malmi eritelään aumoihin, joista louhetta syötetään murskaimeen suunnitelmien mukaisesti. Malmiaumojen kartoitus ja massanlaskenta kuuluvat kaivoksen rutiininomaisiin mittaustehtäviin, minkä mittaja voi suorittaa monenlaisilla mittauslaitteilla.

Lastauspenkan alahelma kartoitetaan ajoittain ja päivitetään kaivoskarttoihin, jotta työnjohto ja suunnittelijat pystyvät seuraamaan työn edistymistä. Lastauksen päätyttyä penkereen ala- ja yläreuna kartoitetaan ja tallennetaan tietokantoihin. Tallennettu kartoitustieto toimii kaivososaston analysointi- ja suunnittelu-työn lähtötietona.

2.5.3 Käytettävät mittausvälineet

Avolouhoksilla pääasiallisena mittausvälineenä käytetään nykyaikana GNSS-järjestelmää hyödyntävää satelliittipaikanninta. Avolouhoksen syventyessä ja työskenneltäessä korkeiden seinämien läheisyydessä, saatavilla olevien satelliittien määrä voi laskea niin alhaiseksi, ettei tarkka mittaaminen ole enää mahdollista (Härmälä ym. 2015, 397). Viime vuosina on kehitetty tekniikka, jossa kaivoksen reunoille on asetettu koordinaateilta tunnetuille sijainneille radiolähetimiä, minkä avulla satelliittimittausta voidaan tehdä syvissäkin avolouhoksissa (Härmälä ym. 2015, 397). Satelliittipaikantimen käyttö avolouhoksilla on nykyisin hyvin yleistä ja menetelmä tarjoaa tehokkuutta mittaustehtävien suorittamiseen. Laite soveltuu käytettäväksi useimpiin mittaustehtäviin, kunhan käyttäjä ymmärtää satelliittipaikannuksen peruseriaatteita.

Satelliittipaikantimen sijasta avolouhoksilla voidaan mittausvälineenä käyttää takymetriä, millä saavutetaan tiettyjä etuja satelliittipaikantimeen verrattuna. Takymetriä voidaan hyödyntää vaikeapääsyisten ja vaarallisten kohteiden kartoituksessa käyttämällä prismatonta etäisyydenmittausta. Nykyaikaisissa takymetreissä lähes kaikissa on ominaisuutena prismaton etäisyydenmittaus. Prismatonta etäisyydenmittausta voidaan hyödyntää avolouhoksen mittaustehtävissä. Etäisyydenmittaus on toteutettu etäisyydenmittauksen signaalin vaihe-eron mittauksella tai pulssilaserin signaalin kulkuajan mittauksella. Vaihe-erolla toteutettu säteen mittausmenetelmä on tarkempi kuin pulssilaserilla toteutettu mene-

telmä, koska pulssilaserin mittaussäteen koko kasvaa etäisyyden kasvaessa ja vaihe-eron näkyvä säde on mittaussäde. Vaihe-eroon perustuvalla teknologialla on vaikea päästä yli 400 metrin mittausetäisyyksiin ja pulssilaserin mittausetäisyys voi olla jopa kaksi kilometriä. (Wikman 2010, 18–19.) Takymetrin käyttö voi olla perusteltua avolouhoksilla mittaustehtäviin, missä vaaditaan suurempaa tarkkuutta, kuin tyypillisesti GNSS-laitteella tehtävä RTK-mittausmenetelmä tarjoaa.

Avokaivoksen tuotantolouhintaan liittyvät mittaustehtävät suoritetaan pääsääntöisesti satelliitti paikantimella ja takymetrillä, mutta muidenkin mittausvälineiden käyttö on lisääntynyt viime vuosina. Laserkeilaimella tuotettuja pistepilviaineistoja hyödynnetään tilavuudenmäärittäyksissä, maastomallien muodostuksessa, pengerrofiilien mallinnuksessa ja monitorointimittauksissa. Monitorointimittauksiin on kehitetty myös seinämätutka, joka kykenee mittaamaan louhoksen seinämiä reaaliaikaisesti tiheimmillään muutaman minuutin intervallilla. Avolouhoksilla käytetään pääsääntöisesti pulssilaserteknologiaan perustuvia laserkeilaimia, jotka kykenevät vaihe-eroon perustuvia laserkeilaimia merkittävästi pidempiin mittausetäisyyksiin. (Härmälä ym. 2015, 395, 398.) UAV –lennokilla voidaan tehdä ortoilmakuvia, maastomalleja, ympäristönseurantaa ja malminetsintää. Kaivoksilla tehtävä lennokokokuvaus on perinteisin menetelmin tehtyä kartoitustyötä tehokkaampi ja turvallisempi vaihtoehto suurten alueiden paikkatiedon tuottamiseen. (Kuvaparoni, 2011.)

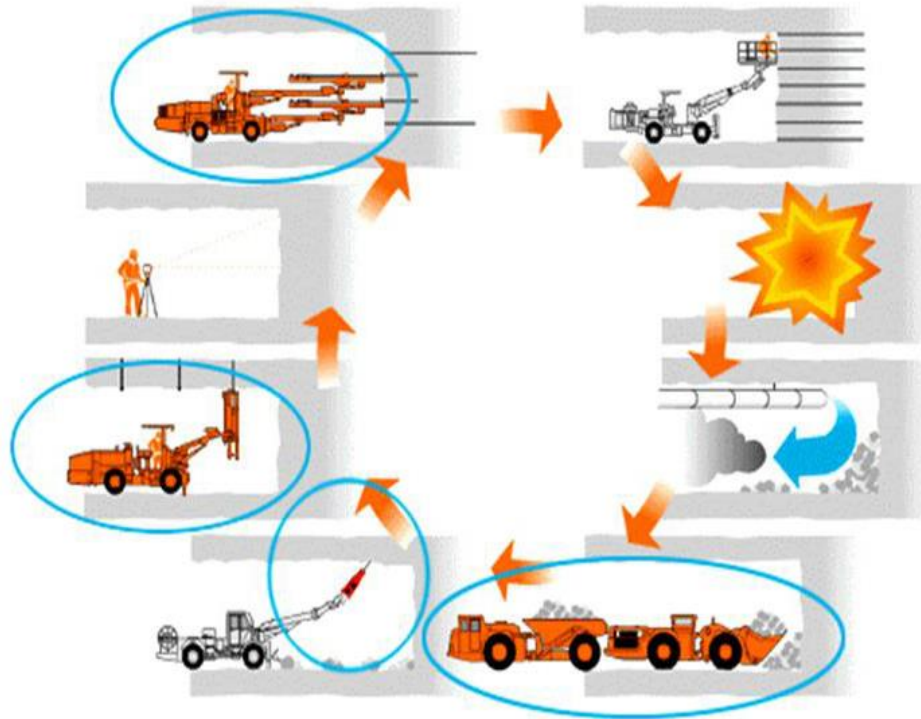
3 MAANALAISEN KAIVOKSEN LOUHINTATYÖT

3.1 Valmistelevat louhintatyöt

3.1.1 Peränajo

Peränajolla tarkoitetaan maanalaisen tunnelin louhintaa. Kovilla kallioperäalueilla käytetään Suomessa poraus- ja räjäytysmenetelmää peränajossa. Menetelmän etuna on alhaiset investointikustannukset ja selkeä työrytmi. Suomen ulkopuolella on käytetty peränajomenetelmänä täysprofiiliporausta, jossa pyörivällä teräyksiköllä porataan halutun kokoinen pyöreä tunneli. Menetelmän etuna on tunnelin nopea eteneminen ja alhaiset lujituskustannukset, mutta haittana on korkeat investointikustannukset. Pehmeiden ja rakoilevien puolikovien kivilaatujen tunnelin louhinnassa voidaan käyttää myös iskuporausmenetelmää, jonka investointikustannukset ovat alhaiset. (Vuolio 2012, 213–215.)

Poraus- ja räjäytysmenetelmällä tehtävä peränajo suoritetaan jaksoittain, missä eri työvaiheet seuraavat toisiaan. Peränajon vaiheet ovat poraus, panostus, räjäytys, tuuletus, lastaus, kuljetus, rusnaus ja tukeminen (Kuvio 9). Louhintamenetelmän valintaan vaikuttaa louhittavan tunnelin koko. Pieniksi luokitellut 2–15 neliömetrin päätypinta-alan kokoiset tunnelit ja niiden louhinta tehdään päätylouhintana, käyttäen yhdensuuntaisia reikiä avauksessa. Päätylouhinnassa louhitaan olosuhteista riippuen, noin 2,4–6 metrin mittainen koko tunnelin päätypinta-alan kattava osio, mitä kutsutaan katkoksi. Keskisuuret 15–100 neliömetrin suuruiset tunnelit louhitaan päätylouhintana, missä perän koko pinta-ala räjäytetään kerralla, tai pilottilouhintana missä aluksi louhitaan tunnelin keskiosa ja seinien levitys tapahtuu 1–2 katkoa jäljempänä. Yli 100 neliömetrin kokoiset ja yli kymmenen metriä korkeat tunnelit louhitaan yleensä katto-pengerlouhintana. Louhinta tapahtuu vaiheittain, missä ensimmäisenä louhitaan päätylouhintana katto-osa. Katto-osan louhinnan jälkeen alapuoli louhitaan yhdellä tai useampana penkereenä. Louhinnassa käytetään pysty- tai vaakaporausta. (Vuolio 2012, 215–217; Sorsa & Lindeman 2015, 151.)



Kuvio 9. Poraus- ja räjäytysmenetelmällä toteutettavan peränajon työvaiheet (Sandvik 2017)

Tunnelin räjäytys- ja panostuskaavion suunnittelutyö perustuu useiden osatekijöiden vaikutusten arviointiin. Räjäytystulokseen vaikuttaa kallion porattavuus, räjäytettävyyys, räjähdysainelaji, louhintatärinät ja niiden voimakkuuden rajoittaminen asutusten ja herkkien laitteiden lähistöllä. Suunnittelussa määritettäviä parametreja on tunnelin koko, profiili ja geometria, geologiset ja kalliomekaaniset olosuhteet, oletetut vesivuodot ja käytettävän poraus- ja kuljetuskaluston ominaisuudet. Päätylouhintana tehtävän peränajon tunneliin porattavat reiät on ryhmitelty reunareikiin, avarrusreikiin, pohjareikiin ja aukaisureikiin. Aukaisureiät ajastetaan räjähtämään ensimmäisenä, mikä järjestää avarrusreiille purkaantumistilaa. Avarrusreikien räjäytyksen jälkeen tunnelissa on riittävästi tilaa myöhemmin räjähtämään ajastetuille reuna-, katto-, ja pohjareiille. (Vuolio 2012, 225–226, 229, 231.)

Räjäytyksen jälkeen louhe kuljetetaan pois ja tunneli valmistellaan seuraavan katkon louhintaa varten. Tunnelista poistetaan tuuletuksen avulla räjäytyksessä syntyneet räjäytyskaasut ja panostaja tai räjäytystyönjohtaja tarkastaa räjäytystuloksen. Tarkastuksen jälkeen luohetusta voidaan kastella pölyn vähentä-

miseksi. Lisäksi kastelu edistää räjäytyskaasujen poistumista louhekasasta. Louheen lastaus suoritetaan yleisimmin LHD-kalustolla (Kuvio 10) ja pyöräkooneilla (Jaakonmäki ym. 2015, 213). Lastauspaikalle voidaan joutua louhimaan kattokorotus, jotta lastauskoneen kauhalla voidaan lastata louhetta kuljetuskaluston lavalle. Lastaustyön päätyttyä suoritetaan tunnelin rusnaus. Rusnaus tarkoittaa komujen, eli irtonaisten kiviaineksen irroittamista seinistä ja katosta. Rusnaus tehdään koneellisesti hydraulivasaran tai raapimispään avulla. Lopuksi perässä suoritetaan tapauskohtaisesti valitun menetelmän mukainen kallion lujittaminen. Perälujituksessa käytetään yleisesti kitkapulttitusta, verkotusta ja ruiskubetonointia. (Lappalainen, Kuula, Lehto, Syrjänen & Vennelä 2015, 237, 239–240; Räsänen ym. 2015, 152.)



Kuvio 10. Maanalaisiin kaivoksiin kehitetty LHD (load-haul-dump) –lastauskone (Ottawa 2013)

3.1.2 Kuilunajo

Maanalaisissa kaivoksissa louhittavien pystysuuntaisten vakiopoikkipinta-alaisten kalliotilojen louhintaa kutsutaan kuilunajoksi. Kuilut ovat yleensä poikkipinta-alaltaan pyöreän muotoisia, mutta kuiluja tehdään myös ellipsin ja suorakaiteen muotoisina. Kuiluun tulevien rakenteiden, laitteiden, kallioperän rakenne ja kalliojännitykset vaikuttavat kuilun muodon ja pinta-alan määritykseen. Kaivoksilla kuiluja käytetään tuuletukseen, malminnostoon, tavara- ja henkilökuljetukseen, tietoliikenne- ja sähkökaapeleiden sekä vesiputkien kuljetusreitteinä. (Vuolio 2012, 236; Sorsa & Lindeman 2015, 141.)

Kuilunajoprojekti aloitetaan tekemällä tutkimuksia hankkeeseen kohdistuvista mahdollisista vaikeuksista. Pintamaakerroksen paksuus ja laatu määritetään, sekä pohjaveden esiintyminen alueella ja sen alentamistarve selvitetään. Kuilulinjalle tehdyistä timanttikairauksista selvitetään kalliopinnan rapautuneisuus, kallion pintaosien pohjavedet ja syvemmillä vallitsevat kalliovesiolosuhteet, suuret vesivuotokohdat, kallion rikkonaisuus, ruhjeet, rakosuunnat, liuskeisuus ja kivilajien vaihtelut. (Sorsa & Lindeman 2015, 141.)

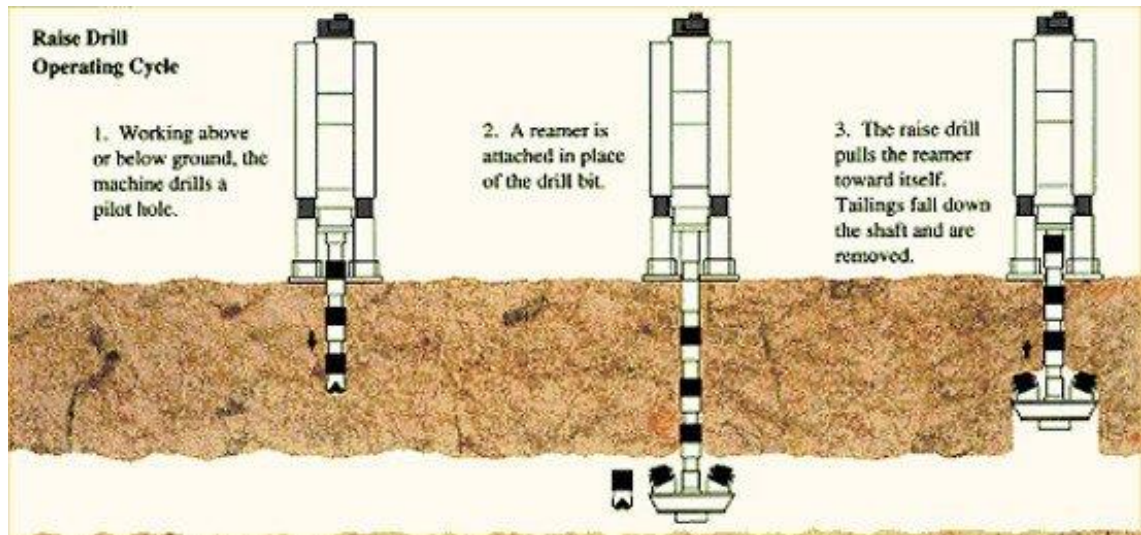
Kuilun teko aloitetaan kaivamalla kalliopinta puhtaaksi kuilun kohdalta. Maakerroksen paksuudesta riippuen kuilun kohdalle rakennetaan tarpeen mukaiset tukiseinät. Pintamaan poiston jälkeen kuilun rapautunutta kalliota louhitaan niin pitkään, että saavutetaan terve kallio. Kuilua ajetaan muutaman katkon verran, minkä jälkeen kuilun kaulusosa valetaan maanpinnan tasolle asti. Kaulus toimii samalla kuilunajotornin alustana. Tornin avulla kuiluun lasketaan kuilunajolaitteisto, mistä poraus, panostus ja lastaus suoritetaan. Suorakaiteen muotoisia kuiluja ajetaan puolikatkomenetelmällä, missä kuilun pohjan pinta-alasta louhitaan viuhkaporauksella puolet kerrallaan ja kuilu syvenee portaittain puolisko kerrallaan. Pyöreissä ja ellipsin muotoisissa kuiluissa käytetään spiraalimenetelmää, jossa kuilun louhinta etenee puolisko kerrallaan ruuvimaisesti. Kuilun lujitus tehdään kallion injektoinnin, pultituksen, verkotuksen, ruiskubetonoinnin tai liukuvalun avulla, mikä vie huomattava osuuden kuilun louhinnan työajasta. (Sorsa & Lindeman 2015, 141–144.)

3.1.3 Nousunajo

Nousunajolla tarkoitetaan pystysuuntaisten vakiopoikkipinta-alaisten kalliopintojen louhimista. Nousunajon ja kuilunajon periaatteellisena erona pidetään louhinnan etenemissuuntaa. Kuilunajon louhinta tapahtuu ylhäältä alaspäin ja nousunajossa alhaalta ylöspäin. Nykyään nousunajoa voidaan tietyillä menetelmillä tehdä ylä- ja alakätisenä. (Vuolio 2012, 236.) Nousuja käytetään kaatonousuina, välitasolouhinnan avausnousuina ja lohkosorroslouhinnan avauksina (Sorsa & Lindeman 2015, 145).

Nousunajo pitkäreikämenetelmällä on nykyään yleisin räjäyttämällä tehtävä nousunajo. Menetelmällä voidaan tehdä maksimissaan noin 60 metriä pitkiä nousuja. Nousun maksimipituus määräytyy saavutettavan poraustarkkuuden mukaan. Nousun kaltevuus on oltava vähintään 45 astetta ja pitkien nousujen ajossa vähintään 50 astetta. Reikien sijainnin keskipoikkema saa olla enintään 0,25 metriä. Nousuun poratun porauskaavion rei'istä 1–4 reikää avarretaan suureikäavarrukseen. Porattujen reikien ylä- ja alapään sijainti on aina kartoitettava ennen panostus- ja nallitussuunnitelman tekoa, koska mahdollinen sijaintipoikkeama alkuperäisestä porauskaaviosta vaikuttaa räjäytystulokseen. (Vuolio 2012, 238)

Suomessa on perinteisten nousunajomenetelmien käyttö vähentynyt täysprofiiliporauksella tehtävien nousujen yleistymisen vuoksi. Täysprofiiliporaukseen siirtymisellä on haluttu vähentää työn vaarallisuutta ja ympäristöön kohdistuvia tärinä- ja paineiskuhaittoja. Lisäksi täysprofiiliporauksella saavutetaan suuri louhintateho ja parempi louhintajälki. Täysprofiiliporaus (Kuvio 11) aloitetaan valamalla nousunajokoneelle perustus ja asentamalla koneen jalusta tarkasti poraussuunnitelman mukaiseen asentoon, sekä tukevasti alustaan kiinni juotospultein. Seuraavaksi pilottireikä porataan nousun alaperään ja lopuksi alaperästä vedetään takaisin avarrusterä, jolla tehdään 0,6–6 metriä halkaisijaltaan oleva reikä. Nousunajo voi tehdä myös poraamalla pilottireiän ja avarrusreiän alhaalta ylöspäin. Täysprofiiliporauksella voidaan tehdä jopa 1000 metriä pitkiä nousuja. Menetelmän haittana on suuret perustamiskustannukset, jotka ovat nousun pituudesta riippumattomia, mutta kustannusero perinteisiin menetelmiin vähenee ja lopulta muuttuu edullisemmaksi nousun pituuden kasvaessa. (Sorsa & Lindeman 2015, 146–147.)



Kuvio 11. Täysprofiiliporauksella tehtävän nousunajon toimintaperiaate (Infomine 2012)

Alimak- ja Jora-menetelmä ovat perinteisiä nousunajomenetelmiä, missä työ suoritetaan nousunajohissistä. Alimak-menetelmässä nousunajohissi liikkuu paineilma- tai sähkömoottorikäyttöisellä kattoon asennetulla hammastankokiskolla. Paineilmamoottorilla voidaan ajaa 100 metriä pitkiä nousuja ja sähkömoottorilla 200 metriä pitkiä nousuja. Ajomoottorin letku tai kaapeli rajoittaa menetelmällä tehtävän nousun pituutta, koska ne eivät kestä omaa painoansa pidemmissä nousuissa. Jora-menetelmässä on oltava yhteys nousun ala- ja yläosan välillä, koska nousunajohissia liikutetaan kannatusköydellä yläpuolella olevan vintturin avulla. Menetelmällä tehdään tyypillisesti 20–100 metriä pitkiä nousuja. (Sorsa & Lindeman 2015, 147-149)

3.2 Maanalaiset louhintamenetelmät

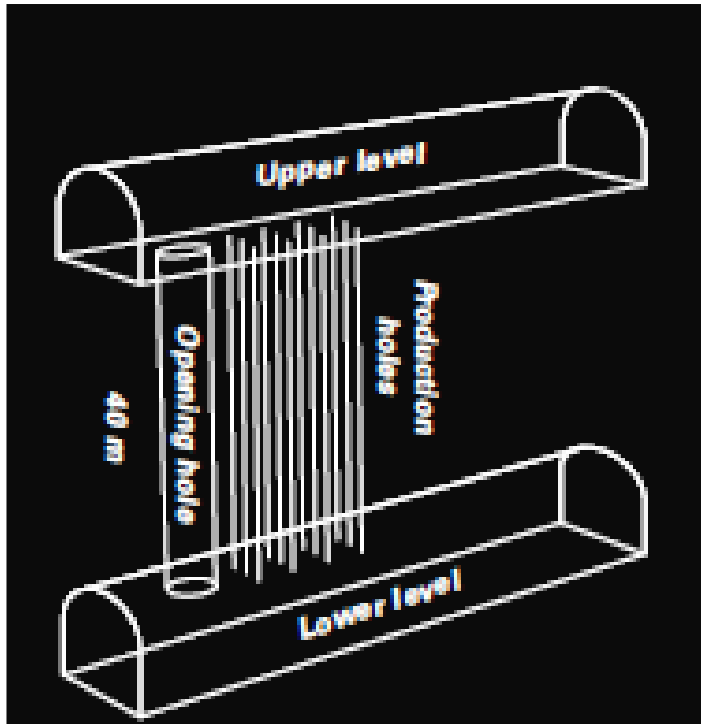
3.2.1 Avoimet menetelmät

Maanalaisten malmilouhosten avoimiin louhintamenetelmiin luokitellaan pilari-louhintaa, välitasolouhintaa ja pengerialouhintaa. Avoimien louhintamenetelmien yhteisenä piirteenä on louhoksen avoimeksi jättäminen malmitukipilareiden ja holvimuotoisen louhoskaton avulla. Vakaat kalliomekaaniset olosuhteet ovat edellytyksenä avoimille menetelmille, koska louhosten seinien ja katon on pysyttävä koossa louhinnan ajan ilman merkittäviä tukemistoimenpiteitä. Pitkän ajan lou-

hospysyvyyden vuoksi myös avoimissa menetelmissä käytetään yleensä pulttista ja louhoksen jälkitäyttöä. (Rissanen 2011, 46; Lappalainen & Paalumäki 2015, 118–120)

Pilarilouhintaa käytetään loivakaateisissa ja laattamaisissa malmiesiintymissä. Työskentely tapahtuu louhoksen sisällä, missä louhinta muistuttaa tavallista peränajoa. Malmi louhitaan yhdessä tai useammassa kerroksessa edeten ylhäältä alaspäin. Korkeissa malmeissa voidaan käyttää pengerpوراusta. Louhitavalle alueelle jätetään pilariverkosto tukemaan kattoa. Työturvallisuuden vuoksi louhosten katot pyritään tukemaan pultituksen, verkotuksen ja ruisku-betonoinnin avulla. Pilarilouhinta on tehokasta 5–15 metriä korkeissa malmeissa, mutta tyypillisissä Suomen olosuhteissa menetelmä on ongelmallinen repeleisten malmirajojen, malmin paksuusvaihteluiden ja liian jyrkän kaateen vuoksi. (Lappalainen & Paalumäki 2015, 121.)

Suomessa ylivoimaisesti eniten käytetty maanalainen louhintamenetelmä on pitkäreikäporaukseen perustuva välitasolouhinta. Välitasolouhinta soveltuu hyvin käytettäväksi menetelmäksi, jos malmi sekä sivukivi ovat lujia. Malmin kaateen on oltava vähintään 45–50 astetta, mikä aikaansaa räjäytetyn louheen virtaamaan painovoimaisesti lastaustasolle. Ohuissa malmeissa käytetään pitkittäistä louhintatapaa ja paksuissa malmeissa poikittaista louhintatapaa. Louhos muodostuu alhaalta ylöspäin kuvailtuna lastaustasosta ja yhdestä tai useammasta välitasosta, joiden tasoväli vaihtelee 15–40 metrin välillä. Poraus-, panostus-, räjäytys- ja lujitustyö tehdään malmiin ajetuista tasoperistä. Louhinta aloitetaan tekemällä avausnousu (Kuvio 12) tyypillisesti louhoksen päädyistä käyttäen täysprofiili- tai pitkäreikänousua. Avausreikä toimii räjäytetyn malmin vapaana paisumistilana. Louhos on jaettu pysty- tai vaakasuuntaisiin viuhkoihin, mihin porataan 30–40m pitkiä reikiä (Rissanen 2011, 47.) Louhoksen pohja avataan alimmalta tasolta räjäyttämällä yksi tai useampi viuhka louhoksen päädyistä. Louhinta etenee tasoittain alhaalta ylöspäin vetäytymällä päädyistä pois-päin. (Lappalainen & Paalumäki 2015, 123–124.)



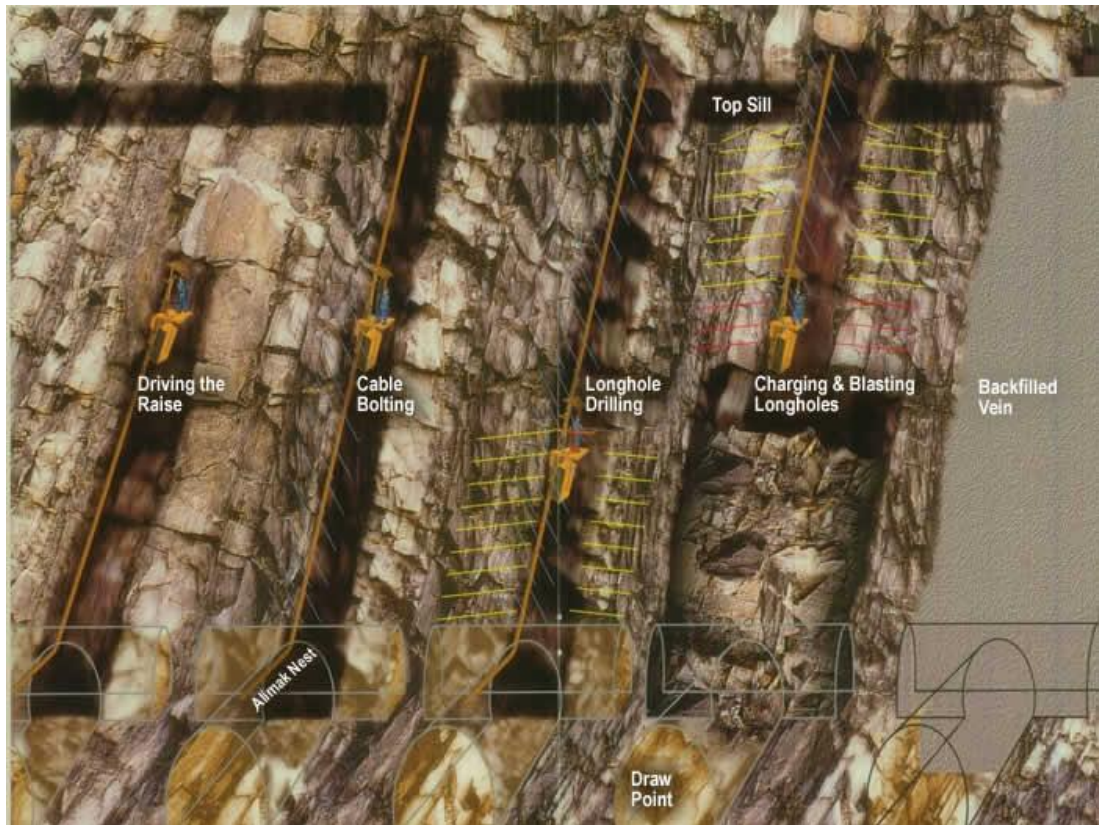
Kuvio 12. Esimerkkikuva louhinnan alituksessa käytettävästä avausnoususta ja pitkäreikäporausella tehdyistä tuotantorei'istä. (Lyly 2014)

Maanalainen pengerialouhinta on muunnelma välitasolouhinnasta, missä louhitaan tasojen välinen louhospenger. Porausta voidaan tehdä alas- tai ylöspäin eli ala- tai yläkätisenä. Pengerlouhinta voi olla välitasolouhinnan tavoin pitkittäistä tai poikittaista. Louhintajärjestys voi edetä ylhäältä alaspäin tai alhaalta ylöspäin. Vaakasuuntaisesti louhinta etenee pois päin vetäytyen avauspäädyistä. Epävakaissa kallio-olosuhteissa louhokset lujitetaan katto- ja vaijeripulttituksella, verkotuksella ja ruiskubetonoimalla. Louhoksen lastaus suoritetaan alaperästä. Lastauksessa käytetään yleisesti etäohjausta, minkä avulla kuljettajan ei tarvitse työskennellä louhoksen sisällä. Tyhjiinlastauksen jälkeen louhos täytetään kovettuvalla pastatäytöllä, kovettuvalla sivukivitäytöllä tai ei-kovettuvalla louheella. Ensimmäisen vaiheen louhokset täytetään kovettuvalla täytteellä, minkä vuoksi näiden välissä olevat toisen vaiheen louhokset voidaan louhia myöhemmin. (Lappalainen & Paalumäki 2015, 125–129.)

3.2.2 Täyttömenetelmät

Maanalaisen louhinnan täyttömenetelmiin luetellaan makasiinilouhinnan eri sovellukset, mitkä ovat lyhytreikä- ja pengertäyttölouhinta. Täyttölouhintamenetelmille on ominaista louhoksen seinien ja katon työskentelyn aikainen tukeminen. Tukemismateriaalina käytetään sivukivilouhetta, rikastehiekkaa tai kovettuvaa pastaa. Täyttömenetelmä voidaan käsittää tietyn tapaisena massanvaihtomenetelmänä, missä poiskuljetettavan louhoksen muodostama avoin tila täytetään samanaikaisesti täytemateriaalilla. Avoimen tilan koko ei yleensä ylitä perän kokoa. Louhostäytön vuoksi täyttömenetelmillä saavutetaan korkea malmin talteensaanti. Menetelmä soveltuu parhaiten rikkaisiin malmiesiintymiin ja vaikeisiin kallio-olosuhteisiin. (Lappalainen & Paalumäki 2015, 119–120.)

Makasiinilouhinta on avoimen ja täyttölouhintamenetelmän yhdistelmä. Louhoksen seinien tuentana käytetään väliaikaisesti malmilouhetta. Tuennan tarkoituksena on estää seinämien lohkeilu ja sekoittuminen malmiin, mikä aiheuttaa raakkulaimennusta. Louhos pyritään pitämään mahdollisimman täynnä malmilouhetta louhinnan ajan. Menetelmä sopii jyrkkäkaateisille malmioille, joiden malmi on lujaa, mutta sivukivi heikkoa. Makasiinilouhinta etenee vaiheittain alhaalta ylöspäin vaakasuuntaisin kerroksin. Alun perin tuotantoporausreiät porattiin käsin malmikasan päältä, mutta menetelmää ei käytetä enää heikon tuottavuuden ja turvallisuuden vuoksi. Kanadalaisessa VRC-menetelmässä louhoksen ylätasolta porataan alakätisiä suur'reikiä, joiden pohjat panostetaan ja räjäytetään vaiheittain. Ruotsissa kehitetyssä menetelmässä käytetään Alimak – noususta (Kuvio 13) tehtävää vaakasuuntaista viuhkaporausta, jossa louhe räjäytetään vaakasuuntaisin kerroksin. Makasiinilouhinnassa louhoksen pohjan aukaisu ja kuljetus järjestetään samalla tavalla kuin välitasolouhinnassa, mutta louhinnan aikana malmia lastataan vain noin 40 prosenttia. Louhinnan päätyttyä malmi pyritään lastaamaan mahdollisimman nopeasti ja louhos täytetään tarpeen mukaisella täytteellä samoin tavoin kuten välitasolouhinnassa. (Lappalainen & Paalumäki 2015, 130–131.)

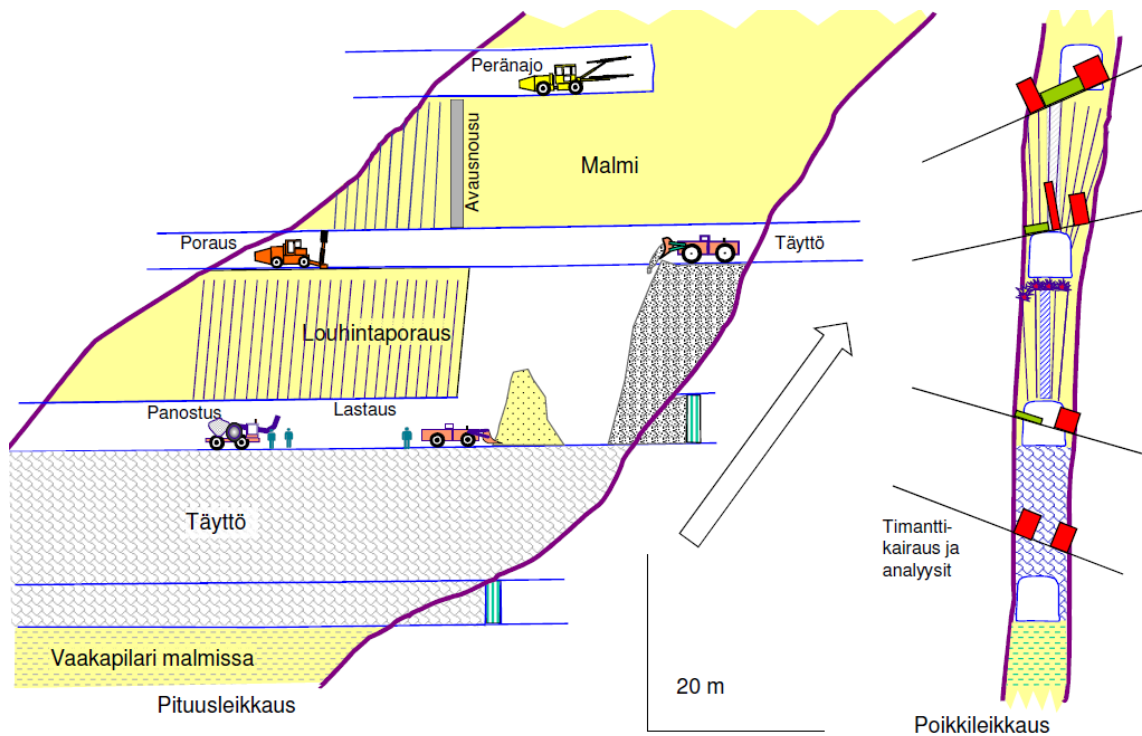


Kuvio 13. Periaatekuva Alimak-nousuporaukseen perustuvasta makasiini-louhinnasta (Manroc 2017)

Lyhytreikätyttölouhinta on matalan tuotantotason louhintamenetelmä, missä selektiivisellä louhinnalla saavutetaan korkea malmin takaisinsaanti. Lyhytreikätyttölouhinnassa malmin louhinta suoritetaan kerroksittain vaakasuuntaisena tunneliajona edeten yleensä alhaalta ylöspäin. Louhinnan jälkeen tunneli täytetään sivukivellä tai hydraulisesti pumpatulla rikastamon jätehiekalla. Täytetty tunneli toimii yläpuolella olevan louhintakerroksen työalustana. Louhinta voi edetä myös ylhäältä alaspäin, jos louhittu tunneli täytetään kovettuvalla täytteellä, mutta työskentely joudutaan suorittamaan sementoidun täytekaton alla. Lyhytreikätyttölouhinta on pitkäreikälouhinnan sovelluksiin nähden tehoton menetelmä, eikä sitä käytetä nykyään ilman pengerialouhintaa. Menetelmä soveltuu parhaiten jyrkkäkaateisiin ohuisiin ja rikkaisiin malmiesiintymiin, missä on heikot kallio-olosuhteet. (Lappalainen & Paalumäki 2015, 132.)

Jyrkkäkaateisissa ohuissa malmeissa pengertäytöllouhinnalla saavutetaan lyhytreikätyttölouhinta huomattavasti suurempi tuotantokapasiteetti. Menetelmä on lyhytreikätyttölouhinta huomattavasti tehokkaampi. Louhinta etenee pen-

gerloughintana välitasomaisesti alhaalta ylöspäin, missä vetäydytään pois päin malmin pituussuuntaisesti, kuten Kuviossa 14 esitetään. Louhintaa seuraa samanaikaisesti tapahtuva louhostäyttö. Täytön ansiosta avoimen tilan vaakasuuntainen jänneväli pysyy pienenä, mikä estää seinien lohkeilun. Pystysuuntaista avoimen tilan korkeutta rajoitetaan tasovälillä, mikä on yleensä 15–25 metriä. Matalan tasovälän ansiosta malmin muotoja voidaan seurata tarkasti. Malmitasoperät pyritään levittämään malmin täyteen leveyteen. Tason tuenta tehdään vajjeripultituksella. Pitkäreikälohinnan ansiosta pengertäyttölouhinnalla saavutetaan kohtuullinen kustannustehokkuus ja menetelmän työturvallisuus on hyvä, koska louhoksen sisällä ei tarvitse työskennellä. (Lappalainen & Paalumiäki 2015, 133.)



Kuvio 14. Periaatekuva Pampalon kultakaivoksella käytettävästä pengertäyttölouhinnasta (Endomines 2017, 11)

3.2.3 Sorrosmenetelmät

Sorrosperiaatteeseen perustuvat maanalaiset louhintamenetelmät ovat suuri- ja mittakaavaista louhintaa, missä louhoskaton annetaan sortua vapaasti. Louheen lastaus suoritetaan pohjatasolta, johon kartiomaisesti etenevä sortuminen valuttaa malmia. Louhos täyttyy malmion yläpuolisesta sivukivestä, mikä rik-

koontuessaan löyhtyy eli paisuu ja täyttää avoimen tilan. Sorrosmenetelmän sortuma etenee yleensä pintaan saakka, mikä aiheuttaa maanpinnan vajoamista. Menetelmät soveltuvat parhaiten massiivisille, pystysuuntaisille malmeille. Sorrosmenetelmillä saavutetaan korkea vuosittainen tuotantomäärä, alhainen kustannus malmitonnia kohden, mutta ongelmana on alhainen malmin talteen-saanti ja suuri sivukivilaimennus. Menetelminä käytetään levysorros- ja lohkosorroslohuinta. (Lappalainen & Paalumäki 2015, 118, 120–121, 134.)

Levysorroslohuinta käytetään massiivisten jyrkkäkaateisten malmiesiintymien louhintaan. Esiintymän malmi on oltava kohtalaisen lujaa, eikä sivukivestä saa muodostua hienojakoista materiaalia, mikä tunkeutuu malmin läpi lastauspisteeseen. Louhinta aloitetaan ajamalla malmiin vaakasuuntaisia louhintaperiä tasavälein. Seuraavaksi louhintaperistä porataan yläkätisiä viuhkoja sortumaan saakka. Porauksen jälkeinen räjäytys aiheuttaa louhoksen yläpuoleisen katon sivukiven sortumisen, mikä estää tyhjän tilan syntymisen (Rissanen 2011, 49). Lastauspaikan kierrättämisellä pyritään hallinnoimaan malmilouheen tasaista virtaamista alaspäin (Lappalainen & Paalumäki 2015, 134-135).

Lohkosorroslohuinta perustuu painovoiman ja kalliojännitysten avulla tapahtuvaan malmin lohkaroitumiseen. Malmi avataan malmilohkon alta, mikä aikaansaa ylöspäin etenevän lohkaroitumisen. Räjäytyksen avulla voidaan pysähtynyttä lohkaroitumista jatkaa. Menetelmä soveltuu tasaisesti rikkonaisille suurimassaisille malmeille, minkä vaakaulottuvuus on useiden satojen metrien laajuinen. Lohkosorroslohuinta vaatii suuria alkuinvestointeja, jotka käytetään kaivoksen infrastruktuurin rakentamiseen. Vuosia kestäneiden alkuvalmisteluiden jälkeen aloitetaan kaivoksen louhintatyöt. Louhinnan päivätuotantokapasiteetti on erittäin suuri ja tuotannon käyttökustannukset ovat maanalaisten louhintamenetelmien alhaisimmat. (Lappalainen & Paalumäki 2015, 136.)

3.3 Maanalaisen kaivoksen tuotantotehtävien mittaustyöt

3.3.1 Louhosten merkintä- ja kartoitusmittaukset

Maanalaisten kaivosten malmin louhintatöissä mittaaja tekee tarvittavat merkinnät, jotta porauskaluston operaattori voi suorittaa louhoksen porauksen. Merkinnät ja tuotantoporauslaitteen asemointi perustuvat ennalta määriteltyyn referenssilinjaan, joka on yleensä louhoksen suunniteltu teoreettinen keskilinja. Tyypillisesti kaivosmittaaja merkitsee takymetrin avulla suunnitelman mukaiset louhoksen leikkauslinjat tunnelin seiniin, keskilinjan kattoon, sekä mahdollisesti porattavien reikien aloituspaikat kattoon.

Louhosten merkintätehtävien laajuuteen vaikuttaa käytettävän louhintakaluston porausautomaatioaste. Poraus voi olla käsikäyttöistä, yhden reiän automaattikalalla toimivaa tai täysautomaattista (Räsänen ym. 2015, 181). Joissain porauslaitteissa käytetään takymetriä, jota koneen operaattori käyttää itse asemoimalla kojeen tunnelin seinillä olevista mittapisteistä prismojen avulla, minkä jälkeen poravaunu pystyy määrittelemään oman taso- ja korkeussijaintinsa sekä atsimuutin.

Malmilouhosten tyhjiinlastauksen jälkeen niiden tilavuus pyritään määrittämään jollakin menetelmällä. Määritetyn tilavuuden avulla tehdään monenlaista analysointia, kuten suunnitellun ja toteutuneen louhoksen vertailua, malmitappiota ja raakkulaimennusta, lastauskirjanpidon kontrollointia ja louhoksen täyttötarpeen laskentaa. Tilavuuden määrittämisessä laserkeilaimen käyttö on Suomessa nykyään suhteellisen yleistä. Louhoksen skannaus pyritään tekemään siten, ettei mittaajan tarvitse työskennellä louhoksen sisällä.

Edellä mainittua tapaa käytetään mittaajan turvallisuuden vuoksi, koska räjäytetty louhoksen seinämät voivat sortaa kallionlohkareita louhoksen pohjalle. Laserkeilain kuljetetaan louhoksen sisälle puomin avulla ja keilainta käytetään etäohjatusti. Välitasolouhintamenetelmillä räjäytettyjen louhosten skannauksessa riittävän kattavan aineiston tuottaminen vaatii yleensä skannauksen ylä- ja alaperästä. Skannausten georeferointi tehdään pääsääntöisesti kartoitettujen tähytysten avulla. Skannerin orientoinnissa käytettävien ylä- ja alatason välisten

kiintopisteiden homogeenisyys koordinaatistossa on tärkeää onnistuneen skannauksen vuoksi, koska keilaimen asemapisteen ja suunnan välinen keskinäinen virheellisyys aiheuttaa vääristymiä skannausten välillä.

3.3.2 Kuilun-, nousun- ja peränajon mittaustehtävät

Peränajon louhinnan ohjauksen merkintätyöt ovat maanalaisen kaivoksen mittaajan yleisimpiä työtehtäviä. Merkintätyön käytännöt voivat vaihdella kaivoksittain, mikä johtuu käytettävästä peränajokalustosta ja sen porausautomaatiikasta, henkilöstön koulutustasosta ja käytettävästä mittausvälineistöstä. Pääsääntöisesti louhinnan ohjaus perustuu sovittuun referenssilinjaan, joka on yleensä peräajotunnelin suunniteltu keskilinja. Mittausvälineinä voidaan käyttää vaakalankapareja, katosta riippuvia luoteja, putkilaseria ja takymetriä.

Takymetrin käyttö maanalaisissa kaivoksissa on nykyään erittäin yleistä, ja sen avulla merkitään peränajossa tunnelin peräseinään sovitut merkinnät. Merkinnöistä on käytävä ilmi muun muassa tunnelin keskilinja, sovittu korkeusasema, vaakasuunta, pystykulma, louhittavan katkon pituus ja kivimateriaali, mutkissa etäisyys mutkan alkuun ja loppuun, kattokorotuksen tarve ja porauskuvio. Edellä lueteltujen ominaisuustietojen merkintätavat ja niiden tarve on kaivoksittain tapauskohtaista.

Kaivosmittaajan on ylläpidettävä peränajotunneleista ajantasaista kartoitustietoa. Kartoitustietoa hyödyntävät kaivoksen työnjohto, suunnittelijat ja kaivosinsinöörit. Perän merkinnän yhteydessä etenemä kartoitetaan ja päivitetään tietokantoihin aikaleiman kanssa, josta voidaan laskea määräajoin peränajometrit. Perien muodon ja sijainnin kontrollointia voidaan tehdä takymetrillä kartoitettujen poikkileikkausten tai laserkeilauksen avulla. Tuotettua dataa käytetään myös louhosten, tuuletuksen, vedenkäsittelyn, kuilujen ja nousujen suunnittelun lähtötietoina.

Pitkäreikäporauksella ja täysprofiiliporauksella tehdään nousuporausta monenlaiseen tarpeeseen maanalaisessa kaivoksessa. Louhosten avausreikien merkintä-, suuntaus- ja kartoitustyötä tehdään louhintasuunnittelua tukemaan. Lou-

hosten avausnousujen lisäksi porataan vedenpoisto-, kaapeli-, ja tuuletusnousuja sekä muita kaivoksen varusteluun liittyviä reikiä pitkäreikäporaus-, tai täysprofiiliporausmenetelmällä. Pitkäreikäporauksen alkusuunta voidaan tarkastaa avulla käyttämällä reikään sopivaa holkkia, joka ulottuu vähintään metrin verran reiän sisä- ja ulkopuolelle ja mittaamalla takymetrillä polaarisesti (Salmenperä 2003, 154-155). Täysprofiiliporauksessa käytettävän nousuporauslaitteen suunta voidaan tarkastaa mittaamalla laitteesta kohde sylinterien ylä- ja alasennoissa ja määrittämällä niiden välinen suunta.

3.3.3 Tunnelin runkoverkon rakentaminen

Tunnelissa tehtävä tasorunkoverkon mittaus joudutaan tekemään haastavissa olosuhteissa ja mahdollisesti maanpäällisen verkon mittauksesta poikkeavin tavoin. Tunnelissa oleva pöly, kosteus, liikenne, värinä ja mittausalueen suppeus vaikeuttavat mittauksen suoritusta. Maan alla on suotavaa käyttää takymetriä, jossa on hyvä kulmanmittaustarkkuus ja mittaushavainnot suositellaan tehtävän kahdessa kojeasennossa (Härmälä ym. 2015, 394). Umpinaisen tunnelin runkoverkko joudutaan tekemään ns. pistepiikkijonona, jossa jonoa ei voida sulkea tunnetulle pisteparille. Jono on suljettava apupisteiden avulla taaksepäin tai mittaamalla kaksi rinnakkaista jonoa. (Salmenperä 2003, 145.)

Mittaukset suoritetaan keskistämällä takymetri kattopisteiden alle tai käyttämällä lapiopisteitä. Lapiopisteet kiinnitetään seinään ja niiden päälle asetetaan työn edetessä vuoroin takymetri ja pakkokeskistysalustalla oleva prisma. Lapiopisteitä käyttäessä mittaustarkkuus on huomattavasti parempi kuin kattopisteitä käytettäessä. (Härmälä ym. 2015, 400.)

3.3.4 Maanpäällisten ja maanalaisen koordinaatistojen yhdistäminen

Maanalaisen mittausten sitominen maanpäälliseen koordinaatistoon voidaan tehdä pystykuilujen avulla. Kahden kuilun avulla suoritettava koordinaatiston muunnos tehdään laskemalla molemmista kuilusta luotilanka kuilun pohjalle. Luotilangat upotetaan neste- tai öljyastiaan, millä pyritään vähentämään heilahdusliikettä. Maanpinnalla mitattujen luotien koordinaattieroista voidaan laskea suunta, mitä käytetään maanalaisissa mittauksissa, jos kuilujen välillä on näkö-

yhteys. Ilman näköyhteyttä maanalaiset mittaukset on tehtävä omassa koordinaatistossa ja Helmert-muunnoksen avulla muunnettava maanpäällä käytettävään koordinaatistoon. (Salmenperä 2003, 153)

Weisbachin kolmiomenetelmää käytetään yleisesti, jos kaivoksessa on käytävissä vain yksi kuilu. Kuilusta ripustetaan vähintään kaksi luotia, joiden keskinäinen etäisyys pyritään saamaan mahdollisimman suureksi. Tunnetulta pisteeltä maanpinnalta ja kaivoksesta mitataan luotien suuntakulma ja etäisyys. (Salmenperä 2003, 154.) Molemmilta havaintopaikoilta muodostuu kolmio havaintopaikan ja havaittujen luotien välille, jossa luotien välinen sivu on identtinen peilikuva toisistaan. Tämän avulla voidaan laskea kaivoksessa sijaitsevan pisteen koordinaatit.

4 KAIVOSGEOLOGIA

4.1 Yleistä

Kaivosgeologian tärkeimmät tavoitteet ovat malmin kolmiulotteinen määrittely ja malmivarantojen taloudellisen hyödyntämisen arviointi. Ennen kaivoksen tuotantovaihetta kaivosgeologit pyrkivät tutkimusten avulla määrittämään malmin sijainnin, koon, asennon ja laadun. Geologit vastaavat myös louhintaa edeltävien selvitysten tuottamisesta, kuten sisäraakun ja louhintaan sisältyvän sivuraakun arvioinnista, näytteenotosta, louhinta-alueen geologisen rakenteen ja kalliion lujuusominaisuuksien määrittämisestä, sekä hydrogeologisten olosuhteiden selvityksestä. (Matikainen 1982, 19; Hartman & Ranta 1992, 282–283.)

Tuotantovaiheessa olevassa kaivoksessa kaivosgeologisen tutkimuksen pääpaino on louhinnan ohjauksessa ja valvonnassa. Lisätutkimuksien avulla täydennetään ja varmistetaan aikaisemman vaiheen tutkimuksia. Kaivosgeologisen tutkimustiedon avulla määritetään louhintarajoja. Tuotannon laadunvalvontaa tehdään arvioimalla rikastamoon syötetyn malmin arvioitua ja mitattua pitoisuutta. Tietokantoihin kerätään geologista tietoa, millä avustetaan kaivosinsinöörien ja suunnittelijoiden päätöksentekoa. (Hartman & Ranta 1992, 284–285; Puustjärvi ym. 2015, 39.)

4.2 Kaivosgeologisten tutkimusten näytteenottomenetelmät

Geologisen tiedon tallennuksen ja keräyksen tavoitteena on tuottaa mahdollisimman tarkka luonnehdinta esiintymän geometrisestä muodosta ja ominaisuuksista. Näytteenotolla on merkittävä rooli geologisen tiedon hankkimisessa. Kaivoksen johto hyödyntää geologisia ominaisuustietoja hanketta koskevissa päätöksissä. (Hartman & Ranta 1992, 288, 314.)

Timanttikairauksella saadaan yleensä käyttökelpoisinta tietoa malmiesiintymästä ja se on kattavin näytteenottomenetelmä. Kairanäytteestä voidaan määrittää esimerkiksi kivilaji, mineraologia, alkuainepitoisuudet, kalliomekaanisia tekijöitä ja geofysikaalisia parametreja. Timanttikairaus suoritetaan ontolla timantein varustetulla teräkruunulla kiertoporausmenetelmällä poraamalla. Reikään syötet-

tävillä jatkettaviin poraputkiin saadaan kerättyä tyypillisesti 40–50 millimetriä halkaisijaltaan oleva kallionäyte. Timanttikairaus on suhteellisen kallis ja hidas näytteenottomenetelmä, missä kairaus etenee olosuhteista riippuen muutamista metreistä muutamiin kymmeneen metreiin työvuoron aikana. (Hartman & Ranta 1992, 316; Puustjärvi ym. 2015, 41.)

RC-poraus on timanttikairauksen ohella yleinen näytteenottomenetelmä etenkin avolouhoksilla. RC on lyhenne sanoista ”Reverse Circulation”, joka tarkoittaa poraussoijan käänteistä huuhtelua. RC-porausessa näyttereikä porataan uppoporausmenetelmällä ja porauksessa muodostunut murskenäyte kuljetetaan paineilman ja veden sekoituksella poraputkea pitkin ylös näytteenottokeräimeen (Hartman & Ranta 1992, 315; Puustjärvi ym. 2015, 43.)

RC-porausmenetelmän etu timanttikairaukseen verrattuna on näytteenkeräyksen edullisuus ja nopeus. Avolouhoksilla porauspituus on yleensä 30–50 metriä, mutta uppoporausmenetelmällä voidaan porata yli 100 metriä pitkiä reikiä. Menetelmää käytetään yleisesti avolouhoksen grade control-porausessa, jossa tehdään malmin laaduntarkkailua. Korkealla oleva pohjavesi ja kova pakkane rajoittavat menetelmän käyttöä, ja rikkonainen kallio voi aiheuttaa näytteen kontaminaatiota. (Hartman & Ranta 1992, 315; Puustjärvi ym. 2015, 43–44.)

4.3 Kaivosgeologiaan liittyvät mittaustehtävät

4.3.1 Timanttikairauksen ja RC-porausmenetelmän merkintä- ja kartoitustyöt

Timanttikairauksen merkintätehtävissä kaivosmittaaja merkitsee yleensä kairareian aloituskohdan ja suunnan. Timanttikairausta käytetään tuotantovaiheessa olevassa kaivoksessa yleisemmin tunnelissa kuin maan päällä. Maanalaisessa kaivoksessa mittaaja merkitsee suunnitelman mukaiset kairauskohdat tunnelin seinille. Poraus suunnitellaan tehtäväksi usein poikittain tunneliin nähden ja horisontaalinen suuntakulma merkitään merkintämaalilla tunnelin molemmille seinille ja kattoon tarpeen mukaan. Suunnitelmissa voi olla määriteltynä myös kairauksen aloitus tasokorkeus, joka on merkittävä kallioon. Vertikaalinen kallistuskulma määritetään kairakoneen mittalaitteilla, mutta erityistapauksissa kallistus-

kulma voidaan tarkastaa tai paikalleenmitata takymetrillä käyttäen geodeettista käänteistehtävää.

RC-porausta käytetään yleisesti avolouhoksilla näytteenotossa. Mittaaja merkitsee yleensä vain porareian aloituskohdan tasosijainnin, koska reiät ovat pääsääntöisesti pystysuuntaisia. Kallistetuille rei'ille on merkittävä horisontaalinen poraussuunta maastoon. Merkinnät tehdään GNSS-kalustolla tai vaihtoehtoisesti porausvaunun omalla satelliittipaikannus-laitteistolla.

Kairatut ja poratut näytteriät on kartoitettava, jotta geologit voivat käyttää tietoja hyväksi malmin 3D-mallinnuksessa. Suunniteltujen ja toteutuneiden reikien välillä on usein hieman eroavaisuuksia olosuhteista johtuen. Avolouhoksilla käytettävä RC-porausmenetelmän näytteriistä kartoitetaan aloituspaikan taso- ja korkeuskoordinaatit. Timanttikairatuista rei'istä kartoitetaan porauksen aloituspaikan koordinaatit ja suunta. Aloitussuunta voidaan määrittää geodeettisen käänteistehtävän avulla mittaamalla reikään asetetusta suorasta tangosta kaksi pistettä. Mittaukset on tehtävä huolellisesti ja pisteiden välimatka on pidettävä mahdollisimman suurena tarkimman mahdollisen suuntakulman havaitsemiseksi.

4.3.2 Kallioperän 3D-kuvaus

Kallioperän 3D-kuvausta käytetään kaivoksilla avointen kalliopintojen kolmiulotteisessa mallinnuksessa. Kuvattavia kohteita ovat tyypillisesti maanpoistoalueiden pestyt kalliopinnat, avolouhosten seinämät ja maanalaisten tunneleiden seinät ja katto. Menetelmää hyödynnetään rakojen, siirrosten, heikkousvyöhykkeiden, malmin ja sivukivilajien kartoituksessa. (Puustjärvi ym. 2015, 40–41.)

Kuvaus suoritetaan digitaalikameralla, millä otetaan halutuista kohteista kuvia, mitkä yhdistetään jälkikäteen tietokoneohjelmistolla. Kuvattavalla alueella näkyvöitetään merkintämaalilla kohteita, mitkä mittaajan on kartoitettava GNSS-kalustolla tai takymetrillä. Kartoitettujen kohteiden koordinaattien avulla kuvat voidaan georeferoida, ja niiltä voidaan poimia tutkimuksen kohteena olevia ominaisuustietoja halutussa koordinaattijärjestelmässä. 3D-kuvausta tehdään ny-

kyään myös UAV-lennokeilla sekä laserkeilaimen liitetyllä digitaalikameralla, millä on mahdollista tuottaa aineistoja laajoilta alueilta, kuten avolouhosten seinämiltä.

5 KALLIOMEKANIikka

5.1 Yleistä

Kalliomekaniikka on kallion mekaanisen käyttäytymisen sovellettua ja teoreettista tiedettä. Kalliomekaniikka tutkii saavutettavissa olevien kalliomassojen ominaisuuksia ja käyttäytymistä. Tutkimuksen tarkoituksena on saada käsitys kalliion reaktioista louhintaan ja muihin ulkoisiin kuormituksiin. (Särkkä & Johansson 1982, 45.)

Kalliomekaaninen tutkimus on pääpiirteiltään jaettu kolmeen osaan. Yhdessä osassa tutkitaan kiven ominaisuuksia ja rakenteita. Toisessa osassa tutkitaan kalliion rakojen, siirrostien ja ruhjeiden ominaisuuksia. Kolmannen osion tutkimus keskittyy pohjaveden paineen ja virtauksen tutkimukseen. (Särkkä & Johansson 1982, 45.)

5.2 Kallioperän jännitykset

Kallioperässä vallitsee monen suuntaisia puristus- ja vetojännityksestä johtuvia jännitystiloja. Kallion jännitystilat aiheutuvat kalliomassan omasta painosta, sekä mannerlaattojen liikkeestä. Jännitystilaa kuvataan yleisesti kolmella toisiinsa nähden kohtisuorassa olevilla pääjännityssuuntakomponenteilla, jotka ovat suurin, keskimäinen ja pienin pääjännitys. Mannerlaattojen toisiinsa kohdistamista voimista johtuen vaakajännitystila on yleensä aina suurempi kuin pystyjännitystila. Lähellä pintaa olevan kalliion jännitystilien suuruus ja suunta vaihtelevat merkittävästi, mutta syvemmillä kalliossa vaaka- ja pystyjännityksien välinen ero tasoittuu. (Särkkä & Johansson 1982, 58; Syrjänen, Antikainen, Bergström & Hakala 2015, 70.)

Jännitystilat aiheuttavat maankuoren deformaatiota eli muodonmuutosta. Deformaatio synnyttää kalliossa siirroksia, hirtovyöhykkeitä, rakoja, poimuja ja suuntautunutta rakennetta. Muodonmuutos on jaoteltu kolmeen luokkaan. Kalliion elastinen muodonmuutos palautuu alkuperäiseen muotoonsa jännityksen poistamisen jälkeen, viskoosinen muodonmuutos jää pysyväksi jännityksen poistumisen jälkeen ja plastinen muodonmuutos on alhaisella jännityksellä elas-

tista, mutta muuttuu pysyväksi riittävän jännityksen alla. Muodonmuutoksesta aiheutuvia murroksia on kahdenlaisia. Leikkausmurtumat ilmenevät kallion siirroksina ja vetomurtumat rakoina. (Kähkönen & Lehtinen 1998, 66–67.)

5.3 Kalliolujitus

Kalliolujituksen tarkoituksena on vahvistaa kalliomassaa. Lujitustarve riippuu tilan käyttötarkoituksesta. Kalliolujituksella halutaan varmistaa tilan käytön aikainen pysyvyys, mikä vaihtelee hyvin lyhytaikaisesta tarpeesta koko kaivoksen elinkaaren kestävään pysyvyyteen. Kallion lujitusmenetelminä käytetään kalliopulttitusta, teräsverkotusta ja ruiskubetonointia ja kallion injektointia. Kalliolujitustyyppi valitaan turvallisuuden, kustannustehokkuuden ja suunniteltavan rakenteen mukaisen soveltuvuuden perusteella. (Lappalainen ym. 2015, 237; Syrjänen ym. 2015, 71,73.)

Kalliopultituksen tarkoituksena on vahvistaa kalliota kiinnittämällä 2–3 metrin pituisia terästankoja kallioon, mitkä estävät kalliolohkareiden liikkeet lisäämällä rakojen välistä kitkaa. Pultitus on maanalaisen kaivoksen yleisin lujitusmenetelmä, mitä voidaan käyttää muiden lujitusmenetelmien kanssa tai yksinään lyhytaikaiseen tai pysyvään kallion lujitukseen. Kalliopultit on jaettu aktiivisiin pultteihin, mitkä tukevat kalliota välittömästi sekä passiivisiin pultteihin, mitkä alkavat tukemaan kalliota vasta muodonmuutoksesta syntyvän kuormituksen vaikutuksesta. (Saarnio, Holopainen, Solojew, Seppänen & Kupias 1982, 525; Lappalainen ym. 2015, 243–244.)

Vaijeripultituksella on samanlainen toimintaperiaate kuin kalliopultteilla, mutta sen etuna on pitkien pulttien mahdollistama suurten kalliomassojen lujittaminen. Vaijeripultin pituus voi olla jopa 40 metriä ja sen lujuus on jopa kolminkertainen harjateräksestä valmistettuun pulttiin verrattuna. Vaijeripultit voidaan asentaa pienestä tunnelista ja niitä käytetään maanalaisessa kaivoksessa louhosten tukemiseen. Ennen louhintaa asennetuilla vaijereilla tuetaan avoimien louhosten kattopuolen seinämiä ja kattoa, lastausaukon ympärillä olevaa kalliota sekä pilareita. Avolouhoksilla käytetään vaijeripulttitusta tukemaan kallioseinämiä. (Lappalainen ym. 2015, 243–244.)

Teräsverkotusta käytetään estämään pienten kivien putoilua verkon läpi ja lujittamaan kalliota heikoissa kalliomekaanisissa olosuhteissa. Kalliolujitukseen käytetään verkotusta kalliopulttien kanssa ja ruiskubetonin kanssa vahvistaen rakennetta raudoituksen tavoin. Ruiskubetonoinnin kanssa käytetään 100 millimetrin silmäkoolla varustettua hitsattua jäykkää verkkoa, mikä soveltuu tasaisille kalliopinnoille. Epätasaisilla kalliopinnoilla käytetään 50 millimetrin silmäkoolla varustettua kudottua panssariverkkoa. (Lappalainen ym. 2015, 243).

Suomessa on käytetty kaivoksilla ja tunnelirakentamisessa märkäruiskutusmenetelmään perustuvaa ruiskubetonointia 1980-luvun lopusta asti (Lehto 2015, 10). Ruiskubetonoinnin tarkoituksena on sitoa kallion pinnassa oleva rikkonainen kiviaines ja suojata kallio (Saarnio ym. 1982, 534). Ruiskubetonissa käytetään teräksisiä tai muovisia kuituja vahvistamaan rakennetta ja sen sitkeysominaisuuksia. Ruiskubetonointia käytetään kalliopulttien, -vaijereiden ja verkotuksen kanssa yhdessä kalliolujitukseen. (Lappalainen ym. 2015, 249, 251.)

Injektointi tarkoittaa kallioon, maahan tai betonirakenteeseen pumpattavaa täyteainetta, minkä tarkoitus on tiivistää ja lujittaa rakennetta. Täyteaineena käytetään sementin ja veden sekoitusta tai kemiallista injektointiainetta (Lappalainen ym. 2015, 255). Injektointia käytetään kallion vesivuotojen tukkimiseen. Liiallinen vesivuoto voi vaikeuttaa louhintaa, kasvattaa veden pumppauskustannuksia, heikentää kalliota rakotäyteen poishuuhtelulla ja aiheuttaa pohjavedenpinnan haitallista alenemista. Lisäksi injektointia käytetään betonirakenteiden ja rikkonaisen kallion lujittamiseen. Ennen kallion louhintaa tehtävää injektointia kutsutaan esi-injektoinniksi ja louhinnan jälkeen tapahtuvaa jälki-injektoinniksi. (Saarnio ym. 1982, 537.)

5.4 Kalliomekaaniset seurantamittausmenetelmät

5.4.1 Yleistä

Avolouhoksen seinämien monitorointimittauksilla pyritään havainnoimaan kalli-
on liikettä ja ennakoimaan seinämien sortumia. Suurimittakaavaisessa avo-
louhinnassa oletetaan tapahtuvan väistämättä jonkin tasoisia sortumia. Sortu-
mia ja niiden aiheuttamia henkilöönnettomuuksia ja taloudellisia tappioita voi-
daan minimoida avolouhoksen geometrisillä suunnitteluparametreilla, kuten
penkereen muodolla, avulouhosten välisellä kaltevuuskulmalla ja louhoksen
kokonaiskaltevuudella. (Syrjänen ym. 2015, 71, 73; Härmälä ym. 2015, 398.)

Louhosseinämien stabiliteetin mittaukseen käytetään monenlaisia mittausmene-
telmiä ja –tapoja, minkä tuottama mittausdatan tarkkuus ja laajuus vaihtelevat
merkittävästi. Mittausmenetelmän soveltuvuutta täytyy arvioida tapauskohtai-
sesti tarpeellisuuden, sekä taloudellisten ja ajankäytöllisten resurssien näkö-
kulmasta. Useimmat mittausmenetelmät perustuvat kallioseinämien pitkäaikai-
seen seurantaan, missä mittauksia tehdään määrätyn väliajoin. Uusia mittaus-
tuloksia verrataan vanhempiin, mistä voidaan seurata mahdollisen muutoksen
suuruutta, suuntaa, nopeutta ja kiihtyvyyttä.

5.4.2 Seinämätutka

Reaaliaikaiseen avolouhoksen seinämien monitorointiin on kehitetty viime vuo-
sina mikroaaltojen vaihe-eron havainnointiin perustuvia seinämätutkia Seinämä-
tutka voi havainnoida muutoksia seinämässä millimetrin osien tarkkuudella, yl-
tään laitteistosta riippuen parhaimmillaan useiden kilometrien mittausetäisyyk-
siin. (Härmälä ym. 2015, 398.)

Pitkän havainnointietäisyyden ja laitteiston liikuteltavuuden johdosta menetel-
mällä voidaan monitoroida seinämiä laajalta alueelta. Seinämätutkan etäisyy-
den havainnointi on sääoloista riippumatonta, eikä avolouhoksilla yleisesti esiin-
tyvä pöly, savu tai sade vaikuta mittaustapahtumaan. Monitorointi suoritetaan
automaattisesti ympärivuorokautisesti halutun mittasyklin mukaisesti, missä mit-

tausdata on valmiina tulkittavaksi muutaman minuutin viiveellä mittaustapahtumasta. (Kumar & Villuri 2015, 76.)

5.4.3 Maalaserkeilain

Maalaserkeilaimen käyttö on yleistynyt kallioseinämien stabiliteetin monitorointimittauksissa suuren resoluution, tarkkuuden, mittauksen nopeuden ja laitteen monipuolisen käyttömahdollisuuksien ansiosta. Kaivosmittauksissa käytettäviin laserkeilaimiin on kehitetty etäisyydenmittauksen signaalitekniikoita, joiden avulla saavutetaan parhaimmillaan useiden kilometrien mittausetäisyyksiä. (Härmälä ym. 2015, 395.)

Mittaukset suoritetaan yhdeltä tai useammalta skannausasemalta, mitkä yhdistetään yhtenäiseksi pistepilviaineistoksi. Skannausasemien sijainnin kartoitus helpottaa aineistojen karkeaa rekisteröintiä. Aineistojen yhdistys tehdään yleisesti pistepilvissä näkyvien koordinaateiltaan tunnettujen vastinpisteiden avulla, tai luomalla pistepilviaineistoista kolmiulotteiset pintamallit, jotka yhdistetään toisiinsa iteratiivisten laskentamenetelmien avulla. Nykyään aineistojen rekisteröinti on pitkälti automatisoitu prosessi.

Laserkeilauksella tehtävän monitorointimittauksen etuna on tarkka ja yksityiskohtainen aineisto, jota voidaan hyödyntää laaja-alaisesti, mutta monitorointia ei voi suorittaa reaaliaikaisesti. Tietokoneohjelmistojen avulla valmista aineistoa käytetään esimerkiksi kallioseinämien analysointiin, massanlaskentaan ja penkereiden geometrian digitointiin. Laserkeilauksen yhteydessä voidaan skannattavasta alueesta ottaa digitaalikameralla kuvia, mitä pistepilviaineistoon yhdistämällä hyödynnetään kallion rakojen, siirrosten ja heikkousvyöhykkeiden kartoituksessa.

5.4.4 Takymetrillä tehtävät siirtymämittaukset

Seinämien siirtymämittauksia tehdään avolouhoksen ympärille rakennetuista kiinteistä havainnointi- ja tähysasemista. Monikulmioverkon mittaus on kaivos-toiminnassa yleinen ja kustannustehokas mittaustapa. Mittausta tehdään automaattisella tai manuaalisesti käytettävällä yhdellä tai useammalla takymetrillä, vähintään yhdeltä kiinteältä havainnointiasemalta. Oletetuille epästabiileille alu-

eille asennetaan prismatähyksiä kallioseinämään noin kaksi metriä penkereen pohjatason yläpuolelle. Louhinnan aiheuttamien siirtymien vaikutusalueen ulkopuolelle sijoitettujen kiinteiden kontrollipisteiden avulla mittaukset sidotaan käytössä olevaan koordinaatistoon. (Hustrulid & Boisen 1992, 855-856.)

Maanalaisten tunneleiden muodonmuutosten havainnointiin käytetään konvergenssimittausta. Mittauksessa tarkastellaan mittapisteiden keskinäistä muutosta. Tyypillisesti seinämiin ja kattoon kiinnitetään 5 koukkua tunnelin poikkileikkauksen mukaisesti. Jokaisen koukkujen välisiä etäisyyksiä mitataan ekstensiometrillä eli tarkkuusmittanauhalla. Mittauksia tehdään myös kallioon kiinnitetyillä ja toisiinsa nivelmekanismien avulla yhdistetyistä mittauspisteistä. Edellä kuvattua menetelmää kutsutaan Basset sovellukseksi, mikä on automatisoitu prosessi, millä saavutetaan perinteistä konvergenssimittausta parempi tarkkuus. (Syrjänen ym. 2015, 82.) Nykyään konvergenssimittaukset suoritetaan takymetrillä. Takymetri asetetaan tunnelissa olevalle kiinteälle jalustalle, mistä mitataan poikkileikkauksen mukaisesti sijoitettujen tähysten koordinaatit. (Kavvadas 2003, 5.)

6 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä on selostettu malmikaivosten toimintaympäristöön sisältyviä prosesseja, työtehtäviä ja –menetelmiä kaivosmittaajalle olennaisesta näkökulmasta. Työssä käsitellään avolouhoksilla ja maanalaisissa kaivoksissa työskentelevän mittaajan työtehtäviä, sekä pyritään selventämään tehtävien tarkoitusta, tärkeysastetta ja vaikutuksia kaivostoiminnan laajemmassa kontekstissa taustatietojen avulla. Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä perehtymisopas kaivosmittaajaksi ryhtyville henkilöille ja laajentaa tekijän tietämystä kaivosmittauksesta, sekä mittaajan kanssa läheisessä yhteistyössä toimivien osallisten työnkuvasta.

Opinnäytetyön teoreettisessa tietopohjassa käsiteltävien asiakokonaisuuksien rajauksen tekijä valikoi omakohtaisten työelämäkokemusten perusteella. Mitaustehtävät, louhintamenetelmät, kaivossuunnittelu, kalliomekaniikka ja kaivosgeologia muodostavat kokonaisuuden, joka vaikuttaa kaivosmittaajan toimintaan välillisesti ja välittömästi. Edellä mainittujen asiakokonaisuuksien sisäistämisen avulla kokematon kaivosmittaaja kykenee suoriutumaan työtehtävistään tehokkaasti ja turvallisesti, sekä ymmärtää työssä vaikuttavien asioiden riippuvuussuhteita.

Työssä käytettävän tiedon keräyksen tekijä toteutti tutustumalla kaivos-, maanmittaus- ja räjäytysalaan, sekä geologiaan liittyvään kirjallisuuteen, verkkojulkaisuihin ja aikakauslehtiin. Tietolähteiden käytössä tekijä kiinnitti erityistä huomiota tiedon vastaavan nykyaikaista pohjoismaissa käytössä olevia kaivosalan käytänteitä. Tekijän oma kokemus kaivosalasta kohensi tiedonhaun keskittämistä ennestään tunnetuista aiheista. Vastaavasti tuntemattomat aihealueet vaativat laajempaa perustietojen opiskelua ja sisäistämistä, jotta tutkittavan aiheen asiasyhteyksien ymmärtäminen olisi mahdollista.

Opinnäytetyöstä selviää, että kaivosmittaajalla on keskeinen rooli useissa eri tehtävissä työskentelevien henkilöiden toiminnassa. Kaivosinsinöörit, suunnittelijat, geologit ja kaivostuotannon henkilöstö käyttävät suurelta osin toimintansa perustana kaivosmittaajan tuottamaa paikkatietoa. Eri kaivoksilla toimivien mittaajien työtehtävät ja niiden toteutus vaihtelevat käytettävissä olevan laitteiston,

henkilöstön taitotason, louhintamenetelmien ja yleisten sovittujen käytänteiden vuoksi. Edellä mainittujen seikkojen vuoksi mittaustehtävien suoritus on pyritty selostamaan yleisellä tasolla.

Teknologian kehitys ja kaivosalan toimijoiden pyrkimys korkeampaan tuottavuuteen toiminnan automatisoinnin avulla tulee muuttamaan kaivosmittaajan toimenkuvaa tulevaisuudessa. Kehitys mahdollistaa entistä tarkemman ja yksityiskohtaisemman tiedon saatavuuden kaivosalan toimijoille. Vaikka teknologian kehitys tuo mukanaan uusia korvaavia mittausten menetelmiä, niin opinnäytetyössä kuvatut kaivostoiminnan keskeiset toimintatavat säilyvät relevanttina perustietona.

Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin onnistuneesti. Työ toimii tutustumisoppaana kaivosalan toimintaympäristöön ja yleisimpiin mittaustehtäviin, sekä teosta voivat osittain hyödyntää tunnelirakentamisessa työskentelyään aloittavat mittaajat. Lisäksi laajentamalla tietämystään kaivosalasta ja siihen liittyvistä mittaustehtävistä, tekijä tavoitti työlle asettamansa henkilökohtaiset tavoitteet.

LÄHTEET

- Atlas Copco 2012. Blasthole Drilling in open pit mining. Viitattu 7.2.2017
http://www.atlascopco.com/Images/Blasthole%20Drilling%20Third%20Edition_LR_tcm795-3516064.pdf.
- Das Sharma, P. 2012. Rock Breakage and blast design considerations in open-pit. Viitattu 28.5.2017
<https://miningandblasting.wordpress.com/2012/10/12/rock-breakage-and-blast-design-considerations-in-openpit/>.
- Endomines 2017. Esittelyssä. Viitattu 2.4.2017
http://www.endomines.com/images/pdf/presentations/fi/2013-11-05_Endomines_FI_Ilomantsi.pdf.
- Forcit 2015. Anfo, Ahti-Anfo & Anfo 800 tuoteseloste. Viitattu 3.3.2017
<http://forcit.fi/fi/explosives/tuotteet/>.
- GTK 2017. Geologiset luonnonvarat. Viitattu 27.3.2017
<http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/sivumateriaalit/>.
- Halonen, T. 2015. Räjätystyöt- ja kalusto. Teoksessa T. Paalumäki, P. Lappalainen & A. Hakapää(toim.) Kaivos- ja louhintatekniikka. Opetushallitus ja Kaivosteollisuus FinnMin. Juvenes Print Oy, 182–201.
- Halonen, T. 2016. Dynamiittitalosta Pohjoismaiseksi Kemiittitoimittajaksi. Ruutiset 2/2016. 4–6 Viitattu 3.3.2017
<http://forcit.fi/fi/explosives/ruutiset/archive/2016/>.
- Hartman, H. & Ranta, D. 1992. Project and Mining Geology. Teoksessa H. Hartman(toim.) SME mining engineering handbook: Volume 1 (2. ed.). Littleton, Colorado: SME, 281–385.
- Hustrulid, W & Boisen, B. 1992. Geomechanics. Teoksessa H. Hartman(toim.) SME mining engineering handbook: Volume 1 (2. ed.). Littleton, Colorado: SME, 807–988.
- Härmälä, O., Kinnunen, I., Mononen, S. & Wikman, E. 2015. Kaivosmittaus. Teoksessa T. Paalumäki, P. Lappalainen & A. Hakapää(toim.) Kaivos- ja louhintatekniikka. Opetushallitus ja Kaivosteollisuus FinnMin. Juvenes Print Oy, 389–404.
- Infomine 2012. Technology and Practice. Technomine. Raiseboring. Viitattu 28.5.2017
<http://technology.infomine.com/reviews/raiseboring/>.
- Jaakonmäki, A., Johansson, B., Mäkinen, I., Räsänen, H. Ulvelin, K & Vennelä, T. 2015. Kiven käsittely ja –kalusto. Teoksessa T. Paalumäki, P. Lappalainen & A. Hakapää(toim.) Kaivos- ja louhintatekniikka. Opetushallitus ja Kaivosteollisuus FinnMin. Juvenes Print Oy, 203–236.
- Kavvdas, M. 2003. Monitoring and modelling ground deformations during tunneling. Geodesy and Geodetic Applications Lab., Dept. of Civil Engineering,

Publication no 2. Viitattu 16.4.2017

https://www.fig.net/resources/proceedings/2003/2003_comm6_greece.htm.

Kumar, A. & Villuri, V. 2015. Role of mining radar in mine slope stability monitoring at open cast mines. *Procedia Earth and Planetary Science* 11, 76–83. Viitattu 14.4.2017 <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.06.010>.

Kuvaparoni 2011. Kartoituskuvauksia UAV-lennokilla. *Vuorityö- ja tekniikka* 2011, 30–31. Viitattu 28.3.2017

<https://www.vuoriteknikot.fi/lehdet/2017/4/1/vuority-ja-tekniikka-2011>.

Kähkönen, Y. & Lehtinen, M. 1998. Geologian peruskäsitteitä. Teoksessa Lehtinen M., Nurmi P. & Rämö T.(toim). Suomen kallioopera: 3000 vuosimiljoonaa. Helsinki:Suomen Geologinen Seura ry. 24–91. Viitattu 16.4.2017 <http://www.geologinenseura.fi/suomenkalliopera/CH3.pdf>.

Lappalainen, P. & Paalumäki, T. 2015. Louhintamenetelmät. Teoksessa T.Paalumäki, P. Lappalainen & A. Hakapää(toim.) Kaivos- ja louhintatekniikka. Opetushallitus ja Kaivosteollisuus FinnMin. Juvenes Print Oy, 107–139.

Lappalainen, P., Kuula, H., Lehto, J., Syrjänen, P. & Vennelä, T. 2015. Kallioliujutus ja -kalusto. Teoksessa T.Paalumäki, P. Lappalainen & A. Hakapää(toim.) Kaivos- ja louhintatekniikka. Opetushallitus ja Kaivosteollisuus FinnMin. Juvenes Print Oy, 237-262.

Lehto, J. Ruiskubetonoinnin "State-of-the-art" ennen ja nyt. *Vuorityö ja – tekniikka* 2015, 10–14. Viitattu 12.4.2017

<https://www.vuoriteknikot.fi/lehdet/jkj/vuorityo-ja-tekniikka-2015>.

Lyly, J. 2014. A new opening to save time and money. *Mining and Construction* 2014/1. Viitattu 1.4.2017 http://pdf.directindustry.com/pdf/atlas-copco-mining-rock-excavation/mining-construction-2014-1/59040-584813-_12.html.

Manroc 2017. Alimak production mining. Viitattu 2.4.2017

<http://www.manroc.com/article/alimak-production-mining-114.asp>.

Matikainen, R. 1982. Suomen kaivostoiminta. Teoksessa Kaivos- Ja Louhintatekniikan Käsikirja. (Uusittu painos). Helsinki: Vuorimiesyhdistys, 7–14.

Oberndorfer, T. 2000. Data-management aiming towards improved blasting techniques. Teoksessa T. Holmberg(toim.) *Explosives and blasting technique*. Rotterdam: A.A. Balkema, 433–440.

Orica 2017. Sytytysjärjestelmät. Dynadet™-C3-25ms. Viitattu 3.3.2017

http://www.oricaminingservices.com/fi/fi/product/products_and_services/initiating_systems/page_initiating_systems/dynadet-c3-25ms/421.

Ottawa 2013. News. Digging the Tunnel: The full scoop. Viitattu 1.4.2017

<http://ottawa.ca/en/news/digging-tunnel-full-scoop>.

Puustjärvi, H., Korteniemi, J., Lovén, P., Meriläinen, M., Mikkola, P & Nykänen, V. 2015. Geologiset tutkimukset. Teoksessa T.Paalumäki, P. Lappalainen & A. Hakapää(toim.) Kaivos- ja louhintatekniikka. Opetushallitus ja Kaivosteollisuus FinnMin. Juvenes Print Oy, 35–62.

Rissanen, T. 2011. Suomen kaivostoiminnan toimialakatsaus 2010. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun julkaisuja Sarja B. Raportit ja selvitykset 8/2011. Viitattu 1.4.2017 <http://docplayer.fi/3470436-Tiina-rissanen-suomen-kaivostoiminnan-toimialakatsaus-2010.html>.

Räsänen, H. 2009. Uppoporaus avolouhoksella. Vuorityö ja –tekniikka 2009, 16.

Räsänen, H. 2013. Porausmenetelmät kalliossa. Rakentaminen ja louhinta 1/2013, 20–21. Viitattu 3.3. 2017 http://viewer.atlascopco.com/R%26L1_2013_LR/.

Räsänen, H., Eskola, I., Kaukinen, P. & Niiranen, S. 2015. Poraustyöt ja –kalusto. Teoksessa T.Paalumäki, P. Lappalainen & A. Hakapää(toim.) Kaivos- ja louhintatekniikka. Opetushallitus ja Kaivosteollisuus FinnMin. Juvenes Print Oy, 155–182.

Saarnio, V., Holopainen, J., Solojew, N., Seppänen, P. & Kupias, P. 1982. Tukemis- ja lujitusmenetelmät. Teoksessa Kaivos- ja Louhintatekniikan Käsikirja. (Uusittu painos). Helsinki: Vuorimiesyhdistys, 525–548.

Salmenperä, H. 2003. Runko- ja kartoitusmittaukset. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Sandvik 2017. Applications. Tunneling. Viitattu 30.3.2017 <http://construction.sandvik.com/application/tunneling/>.

Sorsa, A & Lindeman, E. 2015. Kuilun-, nousun- ja peränajo kaivoksen valmistelevisenä töinä. Teoksessa T.Paalumäki, P. Lappalainen, & A. Hakapää(toim.) Kaivos- ja louhintatekniikka. Opetushallitus ja Kaivosteollisuus FinnMin. Juvenes Print Oy, 141–154.

Syrjänen, P., Antikainen, J., Bergström, P. & Hakala, M. 2015. Kalliomekaaninen suunnittelu ja seuranta. Teoksessa T.Paalumäki, P. Lappalainen & A. Hakapää(toim.) Kaivos- ja louhintatekniikka. Opetushallitus ja Kaivosteollisuus FinnMin. Juvenes Print Oy, 67–84.

Särkkä, P. & Johansson, E. 1982. Kalliomekaniikka. Teoksessa Kaivos- ja Louhintatekniikan Käsikirja. (Uusittu painos). Helsinki: Vuorimiesyhdistys, 45–129.

Tunneltalk 2012. New products and innovations. Atlas Copco unveils new underground products. Viitattu 6.3.2017 <https://www.tunneltalk.com/New-Products-Oct12-Atlas-Copco-adds-to-underground-construction-machinery-range.php>.

Vuolio, R. 2012. Räjätystyöt. Päivitetty 2. painos. Helsinki: Suomen Rakennusmedia.

Wikman, E. 2010. Takymetri – Mittaustyökalu moneen käyttöön, 18–19. Viitattu 28.3.2017 http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk410/mk410_1416_wikman.pdf.