



Mittalaitteiden hyödyntäminen poraus-räjäytys-menetelmällä toteutettavassa avolouhinnassa

Eemeli Liukko

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2019

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Infrarakentaminen

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Infrarakentaminen

LIUKKO, EEMELI:

Mittalaitteiden hyödyntäminen poraus-räjäytys-menetelmällä toteutettavassa avolouhinnassa

Opinnäytetyö 72 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Huhtikuu 2019

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää eri mittalaitteiden merkityksiä avolouhintakoh-teissa. Työn toimeksiantaja oli Robit Plc. Työssä käsiteltiin louhintatyön perusteita ja kerrottiin ilmiöistä, joiden ratkaisuun työssä tutkitut mittalaitteet on suunniteltu käytettävän. Työssä arvioidaan mittalaitteiden merkitystä kokonaisprosessille ja vertaillaan eri reikäsuoruuksimittalaitteita keskenään. Mittalaitteilla parannetaan tietoutta louhittavasta kentästä, minkä avulla toimijat hakevat urakoille korkeampaa katetta tai sijoitetun pää-oman tuottoa.

Tutkimusmenetelmänä oli empiirinen tutkimus. Opinnäytetyön tekijä opetteli mittalaitteiden käytön ammattilaisen opastuksella sekä työskenteli niillä itsenäisesti. Mittalaitteista ja louhintatyöstä kerättiin aineistoa alan kirjallisuudesta ja verkkolähteistä, minkä pohjalta arvioitiin mittalaitteiden merkitystä louhintatyön onnistumiseen. Lisäksi opin-näytetyön tekijä hankki aineistoa haastattelemalla alalla työskenteleviä henkilöitä.

Mittalaitteen on elinkaarensa aikana maksettava hankintahinta urakoitsijalle takaisin. Mittalaitteisiin investointi vaatii pitkäjänteistä ajattelua, jossa korkea hankintahinta muu-tetaan työmaalla jopa merkittäväksi säästökseen esimerkiksi henkilötyötunneissa ja louheen jatkojalostuksessa. Lisäksi mittalaitteiden avulla saavutetaan työturvallisuudessa merkit-täviä parannuksia sekä urakoitsija voi tarjota mittauksia palveluna tilaajalle, minkä talou-dellinen arvo on tapauskohtainen mutta merkittävä. Mittalaitteiden käytettävyyden nousi vertailussa oleelliseksi asiaksi.

Asiasanat: avolouhinta, digitalisaatio, mittalaitteet, tuottavuus, työturvallisuus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Civil Engineering

LIUKKO, EEMELI:

Use of Measuring Instruments in Drilling and Blasting Excavation

Bachelor's thesis 72 pages, appendices 3 pages
April 2019

This thesis was made by request for Robit Plc to research the importance of measuring devices at opencast mining sites. With measuring devices, the amount of information about the site being mined is increased, and consequently, profitability and safety are improved.

The thesis contains literature reviews, interviews and an empiric part. The empiric part is based on the author's own experiences of learning how to use measuring devices under the guidance of professionals, and using them by himself. Information on the measuring devices and mining work was collected from the industry literature, internet sources and from interviews of the employees of different companies.

The theoretical part of the thesis provides a review of the basics of mining and the reasons of why these measuring devices are made. Main part of this study offers a discussion of different measuring devices as part of the overall process and to comparison of them. Moreover, a part of this work deals with the future of the industry. Furthermore this work estimates the value of measuring devices to changes in work performance. The challenge in digitalization for the companies that make measuring devices is to make contractors see the benefits of those products. The measuring device must pay itself back to the contractors within its lifetime by making their productivity better. This calls for long-term thinking in which the high cost of the devices is thought to be balanced by significant savings or additional income that their use brings. Also, with the use of measuring devices it is possible to achieve considerable improvements in safety, the value of which is measured case by case, but is always valuable nevertheless.

Key words: mining, digitalisation, measuring instruments, productivity, safety

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	PERUSTIETOA LOUHINGOISTA	9
3	REIKÄSUORUUSMITTAUS	16
3.1	Porareian taipuman mittaaminen	16
3.1.1	Manuaalinen reikäsuoruuksmittauslaitteisto	18
3.2	Reikätaipuman mittauksen hyödyt yleisesti	19
3.3	Työturvallisuus	21
4	MITTALAITTEET OSANA KOKONAISPROSESSIA	22
4.1	Kokonaisprosessi	22
4.2	Ympäristönäkökulmat ja räjäytysturvallisuus	29
4.2.1	Melu	32
4.2.2	Pöly	32
4.2.3	Tärinä	32
4.2.4	Räjäytyksestä muodostuvat kaasut	34
4.2.5	Räjähämättömät räjähdysaineet	35
4.3	Mittalaitteiden valinta käyttötarvekohtaisesti	35
4.3.1	Reikäsuoruuksmittauslaite	37
4.3.2	GPS	39
4.3.3	Rintauksen skannaus	41
4.3.4	Malmikartta	42
4.4	Mittalaitteiden vertailu matriisi	44
4.4.1	Kynsien muodostuminen	45
4.4.2	Edun määrittäminen	46
4.4.3	Lohkaroituminen	46
4.4.4	Edun määrittäminen ilman reikäsuoruuksmittausta	47
4.4.5	Sivukiven louhinta	47
4.4.6	Kaikki vertailtava kalusto käytössä	48
4.5	Mittaustyön kustannukset	50
4.6	Kiven jatkokäsittely	50
4.7	Mittapalvelut aliurakoitsijalta	51
4.7.1	Aikataulu	51
4.7.2	Kustannukset	52
4.7.3	Työssä kehittyminen	52
5	REIKÄSUORUUSMITTAUSLAITTEIDEN VERTAILU	54
5.1	Nyky päivän laitteet	54
5.1.1	Robit M Sense	54

5.1.2	Robit S Sense.....	55
5.1.3	Transtronic Pulsar/Nomad	57
5.2	M Sense vs S Sense.....	58
5.2.1	Kustannus.....	58
5.2.2	Käytettävyys.....	59
5.2.3	Aikataulu.....	59
5.3	M Sense vs Transtronic	59
5.4	Vaihtoehtoiset metodit reikätaipuman arviointiin	60
5.4.1	Taskulamppu	60
5.4.2	Bambukeppi.....	61
6	POHDINTA.....	62
6.1	Tilaaaja.....	62
6.2	Globaali näkökulma	63
6.3	Tulevaisuus.....	63
6.4	Työssä onnistuminen.....	65
	LÄHTEET.....	67
	LIITTEET.....	70
	Liite 1. Haastattelu Ari Pökkä.....	70

ERITYISSANASTO

Rikko	Louhintaräjäytyksessä jäänyt ylisuuri lohkarie, joka pitää pienentää esimerkiksi räjäyttämällä tai hydraulivasaralla
O-Pitblast	Räjäytyssuunnitteluohjelmisto 3D-poraus ja räjäytyssuunnitelmien luomiseen, jakamiseen ja optimointiin.
Vaarallinen alue	Räjäytyskohteen ympäristö, jossa henkilö voi vahingoittua
Drone	Kauko-ohjattava miehittämätön ilma-alus
Melu	Ääni, joka koetaan häiritseväksi
Täkkäys	Louhittavan kentän suojaus esimerkiksi peitematoilla tai hiekkalla louheen sinkoilun estämiseksi
Fotogrammetria	Kohteiden kolmiulotteista mittausta kohteesta otetuilla valokuvilla
Laserskannaus	Mittaustapa, jolla kohteesta saadaan mittatarkka kolmiulotteinen pistepilvi kohteeseen koskematta
Kynsi	Louhitun kentän pohjan tavoitetason yläpuolelle jäänyt kalliion osa
Kova	Tavoitellun louhintaprofiilin ulkopuolelle jäänyt louhimaton kalliopinta
Lusta	Avonainen tai täytteenen rako kalliiossa
Sinkoilu	Hallitsematonta kiven lentoa määritellyn vaarallisen alueen ulkopuolelle
Hydraulivasara	Kaivinkoneen lisälaitte, jolla voidaan palastella rikkoja
Top Hammer –poraus	Päältä iskevä poraus, jossa vasaran tuottama voima välitetään porakangilla porakruunulle
Down-the-Hole –poraus	Uppovasarapora, jossa iskuvasara on suoraan porakruunun takana (DTH-poraus)
Etutäyte	Estää korkeapaineikaasujen karkaamisen porareistä
Malmio	Runsaasti metalleja sisältävä mineraalien kasauma
GNSS-mittaus	Global Navigation Satellite System, satelliittipaikannusjärjestelmien muodostama kokonaisuus
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto
Piiska	Kuukausipalkan lisäksi maksettava urakkapalkka

Momentaaninen räjähdysainemäärä	Samanaikaisesti räjähtävä räjähdysainemäärä
Ominaispanostus, q	Yhden kuutiometrin kalliota irrottamiseen käytetty räjähdysainemäärä. Yksikkö [kg/m ³]
Ominaisporaus	Yhden kuutiometrin kalliota irrottamiseen käytetty poraustarve. Yksikkö [pm (porametri)/m ³]
Malmi	Luonnollinen mineraaliesiintymä, josta voidaan taloudellisesti tuottaa metalleja/mineraaleja
Rusnaus	Kalliopinnan irtokivien eli komujen irrotus

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön pohjana on nykypäivän globaalit megatrendit: ilmastonmuutos, kaupungistuminen, digitalisaatio ja teknologian kehittyminen, joiden merkitys myös avolouhintatyömailla on kasvanut. Tämä näkyy entistä haastavampina louhintakohteina sekä uusina mittalaitteina ja tietokoneohjelmina työmailla. Mittalaitteiden tavoitteena on parantaa työvaiheiden ennustettavuutta, riskienarviointia, työturvallisuutta sekä työn tuottavuutta.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Robit Plc. Robit on kansainvälinen kasvuyhtiö, joka valmistaa, myy ja huoltaa porauksessa käytettäviä kulutusosia. Kulutusosien valikoima porauksessa on markkinoiden laajin. Tuotteita viedään yli 115 maahan. Yhtiön liiketoiminta on jaettu kolmeen strategiseen liiketoimintayksikköön: Top Hammer, Down-the-Hole ja Digital Services. Vuonna 2018 yhtiön liikevaihto oli 82,7 miljoonaa euroa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä avolouhintatyötä tukevien mittalaitteiden merkitykseen työn suorittamisessa ja arvioida työssä onnistumista niitä hyödyntäen. Alan louhintalaittevalmistajat kehittävät innovatiivisesti mittalaitteita, jotta työn toteuttaminen parantuisi. Kehitystyössä panostetaan suuressa roolissa olevaan mittalaitteiden helppokäyttöisyyteen. Kehitystyössä hyödynnetään asiakkaiden antamaa palautetta.

Työn tavoitteena on avata valikoitujen mittalaitteiden (reikäsuoruuksimittauslaite, GPS-mittauslaite, laserkeilain ja malmikartta) aikaansaamia hyötyjä kokonaisprosessille sekä vertailla eri reikäsuoruuksimittauslaitteita. Työssä kerrotaan perusteita louhintatyöstä, arvioidaan louhintatyön muutoksia historiasta nykypäivään sekä pohditaan alan tulevaisuuden näkymiä.

2 PERUSTIETOA LOUHINNOISTA

Kaupungistuminen on ilmiö, jossa kaupungissa asuvan väestön osuus kokonaisväestöstä kasvaa. Monet kaupunkialueet ovat hyvin täyteen rakennettuja ja varsinkin keskusta-alueella tilanpuute on huomattava. Kallioperä tarjoaa uuden ulottuvuuden, jota hyödyntämällä parannetaan elinympäristön laatua, säästetään ympäristöä ja energiaa. Kalliotilat ovat lähes ikuisia, jolloin niiden suunnitteluun pitäisi paneutua vakavasti. Kallioperän käytön tehostamisen esteenä on kuitenkin usein se, että sen käyttömahdollisuuksia eivät tiedosta muut kuin alan asiantuntijat. (RIL154-1 Tunneli- ja kalliorakennus 1, 1987, 26–31.)

Asutulla alueella tehtävien louhintojen osuus kaikista maassamme tehtävistä louhinnoista on jatkuvasti lisääntynyt. Entistä useammin joudutaan työt suunnittelemaan ottaen huomioon ympäristön rakennukset ja niissä olevat värinäherkät laitteet. (RIL154-1 Tunneli- ja kalliorakennus 1, 1987, 26–31). Tilanpuutteen vuoksi rakentamista ei voi tehdä vain kallioperän pinnanmuotojen ehdoilla, jolloin rakentaminen antaa vaateita kallioperän louhinnalle. Asutulla alueella louhittaessa työn turvallinen suorittaminen korostuu, mitä edesauttaa nykyaikaisten louhintalaitteiden käyttäminen.

Lainsäädännössä asutulla alueella tarkoitetaan aluetta, joka ulottuu 200 metrin etäisyydelle asutusta rakennuksesta tai paikasta, jossa ihmisiä tavallisesti oleskelee. Maanalainen louhintakohde, joka on 100 metriä lähempänä sinne johtavan tunnelin suuaukkoa, kun suuaukko on asutulla alueella, luokitellaan asutuksi alueeksi. Lisäksi maanalainen louhintakohde on asutulla alueella, jos siitä etäisyys asuttuun rakennukseen tai paikkaan, jossa ihmisiä tavallisesti oleskelee, on alle 50 metriä. Alue, jossa ihmisiä tavallisesti oleskelee, on esimerkiksi asunto, työpaikka, kauppa, kesämökki, tie ja katu, rautatie, meriväylä, uimaranta tai muu sellainen paikka, jossa ihmisiä luonnollisesti voi olla. (Vuento & Pinomäki 2017.)

Louhintatyöllä tarkoitetaan kallion irrotusta räjäyttämällä, kiilaamalla, rouhimalla, sahaamalla tai iskemällä. Louhintatyöt jaetaan maanpäällisiin avolouhintoihin, maanalaisiin tunnelilouhintoihin sekä vedenalaisiin louhintoihin. Avolouhinta voidaan jakaa pääryhmiin, jotka ovat pengerlouhinta, tasaouslouhinta ja kaanalilouhinta. (Vuolio & Halonen

2012, 141). Tämä työ ei käsittele vedenalaisia louhintoja ja keskittyy pääasiassa pengerrilouhintaan.

Suomen kallioperä on miltei koko maassa geologisellakin asteikolla ikivanhaa. Noin kolmannes siitä on iältään yli 2500 miljoonaa vuotta (Jääskeläinen 2011, 305–310). Suomen kallioperä soveltuu kovuutensa ansiosta hyvin louhintaan poraus-räjäytys-menetelmällä. Tunnelirakentamisessa kallion lujitustyöt ovat merkittävä osa kokonaiskustannuksia. Kovassa kallioperässä kallion lujittamisen tarve on vähäisempi, jolloin se soveltuu kustannustehokkaammin käyttökohteeksi rakentamiselle.

Tyypillisiä kalliotiloja ovat rautatietunnelit, maantietunnelit, väestönsuojat ja pysäköintihallit. Lisäksi kalliotiloja hyödynnetään edellä mainittujen lisäksi esimerkiksi öljy-, neste- ja kaasusäiliötiloina, vesi-, jätevesi- ja yhteiskäyttötunneleina, urheilu- ja varastohalleina sekä ydinjätteen loppusijoitustiloina. Rakennusten maanalaisten kallioon louhittujen kerrosten määrä on myös lisääntynyt. (Vuolio & Halonen 2012, 39). Kalliotilat soveltuvat hyvin sellaiseen käyttöön, jossa oleskelu ei ole pysyvää, pitkäkestoista ja päivittäistä. Kallioon rakennettu tila on mahdollisesta viihtyvistä sisustuksesta huolimatta luonnonvaloton ja askeettinen, jotkut ihmiset voivat kokea kalliotilat jopa ahdistaviksi.

Räjähdeonnettomuudella on sattuessaan vakavat seuraukset. Espoon Matinkylässä Ison Omenan viereisellä työmaalla sattunut onnettomuus oli miltei merkittävä. Sivullisia uhreja oli mittavien materiaalivahinkojen lisäksi seitsemän, joista kaksi loukkaantui vakavasti. Kiviä sinkoili satojen metrien päähän huonosta kentän peittämisestä ja väärästä ominaispanostuksesta johtuen. Kiviä sinkoili ihmisten päälle, asuntojen ja liiketilojen ikkunoihin sekä katoille. Louhinnat suorittaneen urakoitsijan työnjohtaja sekä panostaja tuomittiin ehdolliseen vankeuteen. (Yle Uutiset. 2014. Matinkylän räjähdyksestä ehdollista vankeutta.)

Työntekijöiden asenteet, lainsäädännön kiristäminen, valvonta, koulutukset ja turvallisemmat sekä luotettavammat räjähdysaineet ovat vähentäneet onnettomuuksien määrää. Suomessa vuosina 1951-1959 oli työmailla yhteensä 318 onnettomuutta, kuolleita 109 ja 347 loukkaantunutta. Tällöin oli laskettu, että aikajaksolla kuoli keskimäärin 1 henkilö/813 räjähdysainetonna ja loukkaantui 1 henkilö/240 räjähdysainetonna. Nykyisellä

räjähdysaineiden kulutuksella tapahtuisi 80-90 kuolemantapausta ja lähes 300 loukkaantumista vuosittain, mikä ei onneksi pidä aiemmin mainittujen syiden ansiosta paikkaansa. (Forcit 2017, Räjähdeonnettomuudet Suomessa.)

Räjähdeonnettomuuksia tapahtuu valitettavasti säännöllisesti. Riskit ovat aina olemassa vaarallisten aineiden kanssa työskennellessä. Porsche Center työmaalla Espoossa louhetta sinkoili viereisen rakennuksen suuntaan rikkoen ovia K Caara rakennuksessa. Räjähdyksestä selvittiin omaisuusvahingoilla. (Iltalehti 2019, Räjähdyssuojaukset pettivät Espoossa.)

Asutuilla alueilla, pienillä porareillä, suomalaisessa graniittikalliossa louhittaessa ominaispanostuksen tulisi olla noin 400 g/m^3 . Näin ainakin ennen kuin on saatu paikallisesta kalliosta tarkempaa tietoa. (Jääskeläinen 2010, 210). Ominaispanostuksen suuruuteen vaikuttaa käytettävän räjähdysaineen lisäksi se onko louhintaa pengerlouhintaa, tasauslouhintaa vai kanaalilouhintaa. Ominaispanostukseen vaikuttaa räjähdysten purkautumissuunta. Tunnelilouhinnassa ominaispanostuksen on oltava suurempi, louheen purkautumissuunta ollessa vain yksi.

Usein asutulla alueella louhittaessa porataan reiät suurehkoja porakruunuja käyttäen. Näin voidaan välttyä paremmin reikien taipumisvirheeltä. Reiät voidaan kuitenkin joutua panostamaan esimerkiksi heiton rajoittamisen ja tärinärajoitteiden vuoksi halkaisijaltaan huomattavasti pienempiä patruunoita käyttäen. Mitä suurempi porattava reikä on, sitä pienempi reikätaipuma muodostuu. (Vuolio & Halonen 2017, 106–111.)

Kustannustason voimakas nousu ja kova kilpailu on pakottanut urakoitsijat suunnittelemaan työn ja työvaiheiden rytmityksen niin, että hukka-ajat jäävät koneiden ja työvoiman osalta mahdollisimman pieniksi. Vaihtoehtoisia ratkaisuja louhintojen suorittamiseen kehitetään paljon, mutta toistaiseksi poraus-räjähdyksen menetelmällä suoritettava louhintaa on yleensä kustannustehokkainta. Kovien kivien louhinnoissa ei ole tapahtunut merkittävää rakenteellista muutosta. Jyrsintä tai jokin muu räjähteetön louhintamenetelmä ei ole odotuksista huolimatta vielä osoittautunut kannattavaksi kovissa kivissä. (RIL154-1 Tunneli- ja kalliorakennus 1 1987, 24). Porauksen kustannus on pienentynyt laitekehityksen ansiosta. Tiukkojen tärinävaatimusten tai louhintatoleranssien vuoksi kiilaus, irtiporaus tai vaijerisahaus ovat toisinaan taloudellisesti mahdollisia (Salonen 2019).

Yleensä kalliosta irrotettu kivi pyritään käyttämään erilaisten rakenteiden runkomateriaalina, jota varten se on murskattava (RIL154-1 Tunneli- ja kalliorakennus 1 1987, 51). Varsinkin tiheään asutuissa kaupungeissa louheesta jalostettava kalliomurske on haluttu rakennusmateriaali, mikä näkyy siitä saatavassa hinnassa. Kalliomurskeen käyttö on viime aikoina noussut merkittävästi soran käytön rajoittamisen johdosta. Kalliomurskeen kustannuksista suuren osan muodostaa sen kuljettaminen. Erityisesti suuria määriä käsiteltäessä on tärkeää saada louheelle/murskeelle käyttökohde mahdollisimman läheltä louhintoja.

Louhitun kallion lohkaroitumisen onnistuminen on merkittävässä roolissa kustannustehokkaassa murskauksessa. Mikäli louheessa on esimurskaimen kitaan sopimattomia rikoja, on ne eroteltava ja louhittava pienemmiksi (RIL154-1 Tunneli- ja kalliorakennus 1 1987, 207–209). Ylisuurten lohcareiden käsittely ja rikotus nostavat hankkeen kokonaiskustannuksia.

Kallio poikkeaa maalajeista suuren lujuutensa vuoksi, kallion irrottaminen vaatii porausta ja räjäyttämistä taikka näihin verrattavia muita voimatoimenpiteitä (RIL154-1 Tunneli- ja kalliorakennus 1 1987, 51). Avolouhintoihin liittyy paljon työvaiheita, joiden suorittamisen tukemiseksi on kehitetty louhintalaitteita.

Räjäytysmenetelmässä ensiksi puhdistetaan kallio kaikesta maa-aineksesta. Sitten kalliopinta mitataan sekä kartoitetaan massalaskentaa ja louhintakenttien suunnittelua varten. Mittauksen ja kartoituksen voi tehdä, joko takymetri- tai GPS-mittauksella tai fotogrammetriaan perustuvalla Drone-kuvauksella. Sen jälkeen kallioon porataan reiät kentän suunnittelussa ja pannonlaskennassa määritetyllä reikäkoolla ja -tiheydellä. Ominaisporaus pyritään pitämään mahdollisimman pienenä kustannusten minimoiseksi. Reikien oikeaoppisella kallistuksella, suuntauksella ja syvyydellä on suuri merkitys lopputulokseen. (Mattila 2018, Opinnäytetyö, 7.)

Mattila avaa hyvin avolouhintoihin liittyvää, valmistelemaa, räjäytystä edeltävää työtä. Nykyaikaisessa prosessin läpiviennissä korostuu kustannustehokkuus ja työturvallisuus, mitä varten alalle kehitetään ja on kehitetty paljon työtehoa parantavia mittalaitteita. Urakoitsija pyrkii kehittämään työmenetelmiään kustannustehokkaampaan suuntaan, jonka mukaan arvioidaan, mitä louhintalaitteita on investoitava.

Mattila kertoo opinnäytetyössään, että ”Ominaisporaus pyritään pitämään mahdollisimman pienenä kustannusten minimoimiseksi” (Mattila 2018, Opinnäytetyö,7). Todellisuudessa ominaisporaus pyritään optimoimaan (kokonaisprosessin) liikevoiton maksimimiseksi. (Salonen 2019).

Yhteiskunta tarvitsee mineraalisia raaka-aineita. Niiden tarve lisääntyy koko ajan maapallon väkiluvun kasvaessa ja kaupungistuessa. Tämän tarpeen tyydyttämiseksi on tarpeen löytää uusia malmiesiintymiä, jotta voidaan avata uusia kaivoksia. Kaivostoiminta on edellytys teollisuudelle ja rakentamiselle. (Kaivannaisala, Kaivostoiminta). Kaivostoiminta työllistää Suomessa suoranaisesti noin 4500 henkilöä (ProKaivos, Aineistot & julkaisut).

Suomi ja EU ovat riippuvaisia muualta tuoduista mineraaleista. Ilman kaivoksia ei olisi esimerkiksi teollisuudessa tarvittavia metalleja, koska toistaiseksi ei ole keksitty muuta tapaa saada niitä yhteiskunnan käyttöön. Kierrätyksen mineraalit eivät riitä tyydyttämään tarvittua tarvetta. Kuvassa 1 suuri kultakaivos Australiassa.



KUVA 1. Kultakaivos Australiassa 2010 (Sunrise Dam Gold Mine 2010).

Kaivosteollisuus lisää tuoreen tutkimuksen mukaan Suomen bruttokansantuotetta 1,2 miljardilla eurolla vuodessa. Kokonaisvaikutus kansantalouden tulovirtoihin on 3 miljardia euroa. Kaivoksista hyötyvien ketju on pitkä, malminetsinnästä kaivostuotteiden jat-

kojalostajiin. Kaivosteollisuus ry:n toiminnanjohtajan Pekka Suomelan mukaan alan näkymät ovat piristyneet muutaman viime vuoden aikana. Tähän ovat vaikuttaneet maailmantalouden parantunut tilanne ja megatrendit kuten sähköinen liikenne ja energiamuros. Suomesta löytyy kaikkia tarvittavia akkumetalteja ja niiden jatkojalostuksen osaamista, kertoo Suomela. (Kaivosteollisuus 2018, Tutkimus: Kaivokset kasvattavat Suomen bkt:tä 1,2 miljardilla). Jatkojalostamalla tuotteet mahdollisimman pitkälle, valmiiksi tuotteiksi, mahdollistetaan suurin tuotto Suomen bruttokansantuotteeseen.

Norjakaan ei anna öljyvarantojaan ilmaiseksi sille, joka sattuu ne löytämään. Mineraalit ovat Suomen ja suomalaisten kansallista omaisuutta, jonka käyttämisestä tulee saada yhteiskunnallinen korvaus. Mineraalivarojen polkumyynti on lopetettava. Erillisellä kaivosverolla tai –maksulla voitaisiin jatkossa varmistaa, että nykyistä suurempi osa kaivostoiminnan taloudellisista hyödyistä jää Suomeen. (Suomen luonnonsuojeluliitto, Kaivostavoitteemme.)

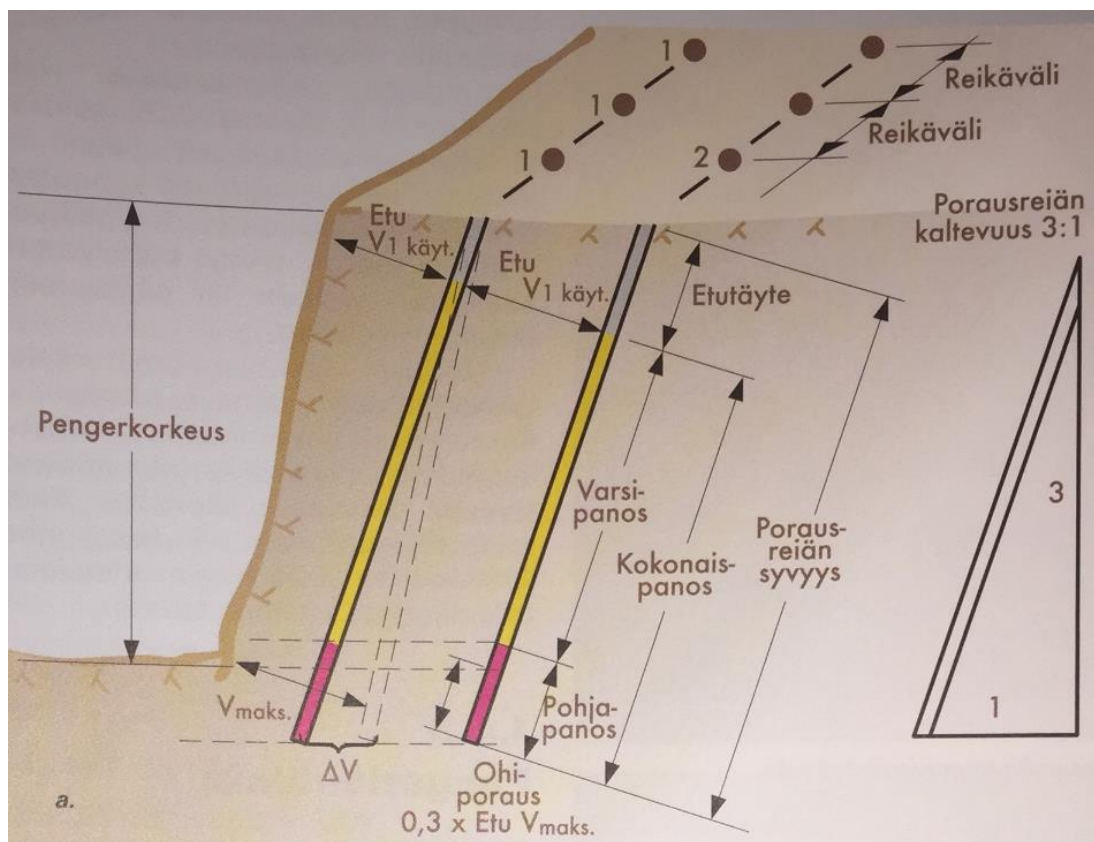
Suomen luonnonsuojeluliiton julkaisun esittämä ajatus erillisestä kaivosverosta ei ole aukoton. Suomessa on yksiselitteisen kaivoslain ansiosta hyvä asema puhuttaessa kiinnostavista kaivosmaista. Lupamenettely on kansainvälisesti toimiva ja asettaa ulkomaalaiset kaivosyhtiöt kilpailukykyiseen asemaan. Salonen kertoo haastattelussa, että kaivostoiminta sitoo todella paljon pääomaa, eikä Suomessa ole riittävästi suuria toimijoita. Mikäli Suomen valtio ei investoi kaivostoimintaan, sen kannattaa tarjota ulkomaalaisille kaivosyhtiöille johdonmukainen toimintaympäristö. Suomessa on paljon louhintalaitteita valmistavia yrityksiä sekä alan työvoimaa. Kaivokset työllistävät myös paljon suomalaisia maakuntien haja-asutusalueilla, missä työllistyminen on ongelma. Paikallinen kaivostoiminta luo edellytykset tuotteiden jatkojalostamiselle kaivosmaassa, mikä työllistää välillisesti myös muita toimijoita. (Salonen 2019.)

Uusiutuvan energian, sähköautojen ja muun uuden teknologian kysynnän kasvu lisää metallien ja mineraalien tarvetta lähivuosina. Kaivosteollisuus tarjoaa omalta osaltaan ratkaisuja eduskuntapuolueiden joulun alla julkaistuihin ilmastopolitiikan linjauksiin. (Kaivosteollisuus 2019, Suomalainen kaivosteollisuus on globaali edelläkävijä). Kaivosteollisuus mahdollistaa ilmastolinjauksien toteuttamiseen tarvittavien raaka-aineiden tuottamisen.

Eduskuntapuolueiden yhteisiä ilmastolinjauksia ovat esimerkiksi Suomen oman osansa tekeminen maailman keskilämpötilan nousun rajoittamiseen 1,5 asteeseen, hiilineutraaliuden saavuttaminen Euroopan unionissa vuoteen 2050 mennessä, edistämme vähäpäästöistä ja päästötöntä liikennettä sekä päästövähennysvelvoitteen tiukentamista vähintään 55 prosenttiin vuoteen 1990 verrattuna. (Demokraatti 2018, 8 puolueelta yhteiset ilmastolinjaukset.)

Räjähdyksaineet ovat kemiallisia yhdisteitä, jotka sisältävät sekä palavan aineen, että hapen. Räjähdyksään se ei tarvitse ulkopuolista happea. Räjähdyks on kemiallinen reaktio, josta aiheutuu hyvin nopeasti mahtava kuumuus ja valtavasti kaasuja. (Jääskeläinen 2010, 190-195). Kuumuus ja kaasut muodostavat kallioon iskuaaltoja, jotka aiheuttavat kallion rikkoutumisen. Oikein suoritettu louhintatyö takaa hallitun ja turvallisen kiven liikkumisen.

Avolouhintaan liittyy paljon käsitteitä, ammattisanastoa. Kuvassa 2 on esitetty panostuksen ja porauksen kannalta tärkeimpiä.



KUVA 2. Louhintaan liittyviä käsitteitä (Vuolio & Halonen 2012).

3 REIKÄSUORUUSMITTAUS

Reikätaipuma lähtötietona on merkittävä apu kentän panostuksen optimoinnissa. Reikäsuoruuksittauksen antaman tiedon avulla voidaan välttää esimerkiksi virheellinen paikallinen räjähdysainemäärä.

3.1 Porareian taipuman mittaaminen

Ajatus, että kallio on pinnasta lähtien ehjää tiivistä ainetta, on hyvin harvoin totta. Yleensä kallio on pintaosiltaan varsin rikkonaista, rikkonaisuuden vähetessä syvemmälle mentäessä. (Jääskeläinen 2011, 305–316). Kallioon porattava reikä alkaa poratessa taipua. Taipuman aiheuttaa kallion rakenteen muodostamat voimat porakalustoon. Porarin huolellisuus, ammattitaito ja poravaunun säädöt vaikuttavat taipuman määrään.

Top hammer -porauksessa taipuma keskimäärin kasvaa porattavan reiän pituuden kasvaessa, koska porakankiletka pitenee. Top hammer -porauksen etu on parempi hyötysuhde, nopeus, halvempi hinta ja korkeammat poraustehot. Reikäpituus ja reikäkoko ovat rajoitettavia tekijöitä Top hammer -porauksessa.

DTH-porakalusto on kalliimpi, mutta tietyissä tapauksissa ainoa mahdollinen porausmenetelmä. Reikätaipuma on vähäisempää, koska porakruunulle iskun tuottava vasara on suoraan kruunun perässä. Porakanget eivät aiheuta niin suuria tehohäviöitä, kun Top hammer -porauksessa.

Top hammer -porauksessa on mahdollista ehkäistä taipumaa ohjureiden ja putkikaluston avulla. Näiden käyttöä rajoittaa urakoitsijan näkökulmasta lisäkustannus, joka niistä aiheutuu. Ratkaisuja suuremman reiän tekemiseen on, mikäli niistä on valmis maksamaan sekä tinkimään työtehossa.

DTH-porausta käytetään pääasiassa porakaivoja tehdessä, tutkimusreikiin sekä porapöytäporaukseen. Suomessa vain yksi avolouhos käyttää, pengerlouhinnassa, poraukseen DTH-porausta. Tämä työ ei keskity tarkemmin DTH-poraukseen.

Porareikä pysyy paremmin suorassa, mitä pystysuorempaan reikää lähdetään poraamaan. Keskimäärin porattava reikä lähtee taipumaan kallistuksen suunnassa. Kallistuksen suuntaisen taipuman aiheuttaa painovoima kankiletkaan sekä porakruunun huuhtelu. Porattavan reiän pohjalla, pystysuunnassa alareunassa, on kuvan 3 mukaisesti hieman enemmän porasoijaa ja irtopölyä, mikä edesauttaa taipuman muodostumista. (Salonen 2019.)



KUVA 3. Havainnekuva porareikään muodostuvasta hienoaineksesta.

Mittausten perusteella suurimmat reikätaipumat voivat 15 metrin pengerkorkeudella ja 76-89 millimetrin reikäkoolla helposti olla yli kolmen metrin suuruisia, mikä tarkoittaa 20 % virhettä. Laadukkaassa porauksessa, mitä edesauttaa kokeneen porarin lisäksi uusi ja hyväkuntoinen kalusto, pidetään yleisesti maksimi porausvirheenä 3 %:a pengerkorkeudesta. Porakruunuja, joista on irronnut nastoja ei tule käyttää eturivin (tai muualla, missä reikäsuoruus on kriittinen) porauksessa, koska tällöin reikätaipuman mahdollisuus on oleellisesti suurempi. (Salonen 2016, 3.)

Reiän taipumaa on vaikea ennustaa, joten ainoa keino on mitata reikätaipuma poruksen jälkeen. Räjähdyksineen panostus on mahdollista suunnitella oikein, kun reikätaipuma on mitattu. Porareikä mittaamatta jättäminen voi johtaa liian suuriin tai pieniin paikallisiin räjähdysainemääriin. Liian suuri tai pieni paikallinen räjähdysainemäärä voi johtaa kivien ei-toivottuun sinkoiluun.

Infrainsinööri Ari Pökkä kertoo haastattelussaan, että reikäsuoruuksittauksista saatu data on välitettävä panostajalle, joka pystyy reagoimaan taipuneiden reikien panostukseen.

Avolouhintakohteissa kiviä on sinkoillut liian ohuiden etujen vuoksi jopa useita kilometrejä. (Pökkä 2019, Haastattelu liite 1). Räjähdyksen vaarallista aluetta on mahdollista pienentää täkkäyksellä, mutta se on aina tyhjennettävä ihmisistä (Vuolio & Halonen 2017, 159).

Jokainen louhittava kenttä on ominaisuuksiltaan uniikki, joten kaikki tutkittava data on hyödyksi, oletuksia ei tule tehdä. Porareiän taipuman mittaustulos on helppo viedä tietokoneohjelmaan, jonka avulla panostussuunnitelmat voidaan laatia tarkasti suhteessa kentän reikien vallitseviin olosuhteisiin. Pökkä kertoo haastattelussaan, että reikäsuoruuksimittauksen sekä rintauksen skannauksen mittausdata saadaan dokumentoitua 30-60 minuutissa (Pökkä 2019, Haastattelu liite 1).

3.1.1 Manuaalinen reikäsuoruuksimittauslaitteisto

Manuaalinen reikäsuoruuksimittaus tapahtuu laskemalla mittausyksikkö porattuun reikään johdosta roikottamalla. Laitteissa on merkkikohtaisia eroja, tehdäänkö mittaus nosto- vai laskuvaiheessa, mutta perusperiaate on sama. Mittausyksikkö ja mittalaitteet keskustelevat keskenään. Johtoon on merkattu metrimääriä, joiden mukaan mittalaitteella annetaan reiässä olevalle mittausyksikölle käsky suorittaa mittaus. Käyttämässämme laitteissa mittausväli oli kaksi metriä.

Normaalisti reikäsuoruuksimittaukset tehdään kalliorintauksen puolelle räjäytettävän kentän ensimmäiseen tai kahteen ensimmäiseen reikäriiviin. Yhden reiän mittaamiseen menee tyypillisesti 1-3 minuuttia riippuen reiän syvyydestä, mutta ongelmien ilmetessä jopa 5 minuuttia. Aikaa kuluttavia ongelmia voi olla esimerkiksi näppäilyvirhe tai johdon juuttuminen kiven alle. Kenttä mitataan kerralla, jonka jälkeen mitattu data viedään tietokoneohjelmaan suunnittelua varten.

Manuaalinen mittauskalusto on akkukäyttöinen. Akku riittää suurehkonkin kentän mittaamiseen. Toiminta-aika on noin 2 tuntia, jonka takia kallion päälle on syytä mennä laitteen kanssa, jossa on täysi akku. Mitattu data pysyy laitteessa, vaikka akku loppuisi, mutta se venyttää mittaamiseen kuluvaan aikaan ja näin ollen seuraavien työvaiheiden alkamista.

Kuvassa 4 manuaalinen reikäsuoruuksmittaus on käynnissä. Mittalaitteen ohjausyksikkö on mittaajan kädessä ja mittausyksikkö laskettu reikään johdosta roikottamalla.



Kuva 4. Manuaalinen reikäsuoruuksmittaus käynnissä (YIT työmaa, Salo).

3.2 Reikätaipuman mittauksen hyödyt yleisesti

Kivilajien ja kallion rakenteelliset ominaisuudet vaikuttavat osaltaan poran tunkeutumisenopeuteen, mutta ennen kaikkea poran tunkeutumistapaan. Vainoisti liuskeisuutta tai lustasuuntaa vastaan suunnatussa porauksessa saattaa pora taipua ja juuttua tai katketa. Samoin voi käydä, jos poranterän eteen osuu vinoasti poraussuunnan leikkaava pehmeä savitäytteinen tai varsinkin soratäytteinen rako. Rapautuneessa sekä voimakkaasti rakoilleessa kalliolla pora voi myös helposti taipua tai juuttua kiinni. Kovuudeltaan toisistaan poikkeavat kivilajikerrokset aiheuttavat usein myös poran taipumisen. Pora etenee suoraa, kun porataan liuskeisuutta, kerroksellisuutta tai yleensä voimakkainta rakosuuntaa vastaan kohtisuoraan. (RIL154-1 Tunneli- ja kalliorakennus 1 1987, 67.)

Kallion liuskeisuuteen ja rakoiluun ei voida vaikuttaa, joten poraus on tehtävä vallitsevissa olosuhteissa. Porarin on tyydyttävä siihen, että reikätaipumaa syntyy, koska aina ei voida porata kohtisuoraan rakoilua vastaan. Kokenut porari voi toiminnallaan kuitenkin minimoida reikätaipuman esimerkiksi rajoittamalla porakruunun tunkeutumista pienentämällä paikallisesti työntövoimaa.

Kivilajien ja kallion rakenteellisten ominaisuuksien lisäksi poran tunkeutumistapaan vaikuttaa porauksessa käytettävä kalusto. Käytettävillä kulutusosilla voidaan ehkäistä taipuman syntymistä. Hyväkuntoiset porakruunut, kanget ja poralaite mahdollistavat hyvän porarin lisäksi parhaan lopputuloksen. Hyväkuntoinen porakruunu tunkeutuu kallioon pienemmällä voimalla, eikä ole niin hakeutuvainen kallion rakoilun aiheuttamiseen voimiin.

Voimakkaasti taipunut reikä rasittaa todella paljon porakalustoa ja poravaunua. Kankiletkan pyörittäminen taipuneessa reiässä väsyttää kankia ja saattaa johtaa porakangen katkeamiseen. Porakruunun nostovaiheessa poravaunulta vaaditaan todella paljon voimaa, kun reikä on voimakkaasti taipunut, mikä rasittaa kankia. Nostovaiheessa kankien jumittaminen saattaa aiheuttaa myös kangen katkeamisen. Reikä menetetään, jos porakangi katkeaa, mistä johtuen lisäkustannuksia syntyy rikutun kaluston lisäksi uuden reiän poraamisen tarpeesta. Hyvästä porakruunusta tingitty hinta voi aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia.

Seepsula Oy työmaalla Tuusulassa pääurakoitsijan määrittelemä maksimi porausvirhe ohjaa myös porauksen suorittavan aliurakoitsijan palkanmaksua. Pääurakoitsija suorittaa porattuun kenttään kontrollimittauksia, kun aliurakoitsija on suorittanut porauksen. Jos kentässä on virhetoleranssin ylittäviä reikiä, virheelliset reiät porataan uudelleen. Aliurakoitsija ei maksa porareilleen virheelliset reiät korvaavien uusien reikien poraamisesta kuin tuntihinnan (ei piiskaa). Toimitusjohtaja Peltola kertoo haastattelussa, että porarit eivät ole mielissään joutuessaan korjaamaan virheellisesti suoritettua porausta pelkällä tuntihinnalla. (Peltola 2019.)

3.3 Työturvallisuus

Louhintatyöt ovat käytettävästä kalustosta, tilojen ahtaudesta ja räjähdysaineista johtuen verrattain vaarallinen ala. Suomessa 1950-luvulla räjäytystöissä kuoli 44 henkilöä, 1960-luvulla 22, 1970-luvulla 2, 1980-luvulla 2 ja 1990-luvulla 3 ihmistä. Vuonna 1965 valtioneuvoston antamat uudet järjestysohjeet tuottivat tulosta ja työonnettomuustilastot laskevat merkittävästi. (Vuolio & Halonen 2012, 39). 1950- ja 1960-lukujen merkittävästi korkeampi työonnettomuuksien määrä johtui pääasiassa käytettävän kaluston kehittymisestä käsikäyttöisistä laitteista suurempiin koneisiin.

Reikätaipuman mittaaminen manuaalisella mittalaitteistolla on suoritettava reiän vieressä, joka sijaitsee lähellä kallion reunaa. Mittausta suorittaessa on vältettävä turhaa oleskelua kallion reunalla, koska putoamisvaara on ilmeinen. Kallion reunalta voi olla maahan 30 metrin suora pudotus, joten mittausta tehdessä tulee käyttää turvavaljaita.

Mittauskalustoa kantaessa on vaara kaatumiselle. Kalliopinta on normaalisti hyvin epätasainen ja varsinkin märkänä todella liukas. Kalliopinnoilla voi olla myös irtolohkareita, jotka astuessa käyttäytyvät ennalta arvaamattomasti. Huolellisella ja rauhallisella toiminnalla kaatumisen tai nilkan vääntymisen vaara on mahdollista minimoida.

Reikätaipuman mittaaminen on syytä suorittaa hyvässä valossa. Mittaus tulisi suorittaa ensisijaisesti päivällä, mutta mikäli tämä ei aikataulullisesti ole mahdollista on alue valaistava hyvin. Valon ansiosta työ on tekijän sekä kaluston kannalta turvallisempaa ja tehokkaampaa.

Reikätaipuma noudattelee usein tietyllä poravaunulla ja porarilla samaa kaavaa. Mikäli panostetulle kentälle on pakko mennä poraamaan, tulee se tehdä samalla poravaunu/porari yhdistelmällä kuin kentän alkuperäinen poraus. Vaunu on asemoitava samaan paikkaan, jossa se oli korvaavaa/puuttuvaa reikää porattaessa. Poraus on suoritettava siten, että ihmiset ovat varoetäisyyden ulkopuolella. (Salonen 2016, 3.)

4 MITTALAITTEET OSANA KOKONAISPROSESSIA

Louhintojen ympärille rakentuva kokonaisprosessi kaivoksella on monen toisistaan riippuvaisen työvaiheen kokonaisuus. Työvaiheiden onnistuneen jatkumon edellytys on aikaisempien työvaiheiden onnistuminen. Virheet aikaisemmissa työvaiheissa on mahdollista havaita hyödyntämällä mittalaitteiden mittausdataa. Mittausdatan avulla voidaan tehdä muutoksia, jotta lopputulos olisi ihanteellisin.

4.1 Kokonaisprosessi

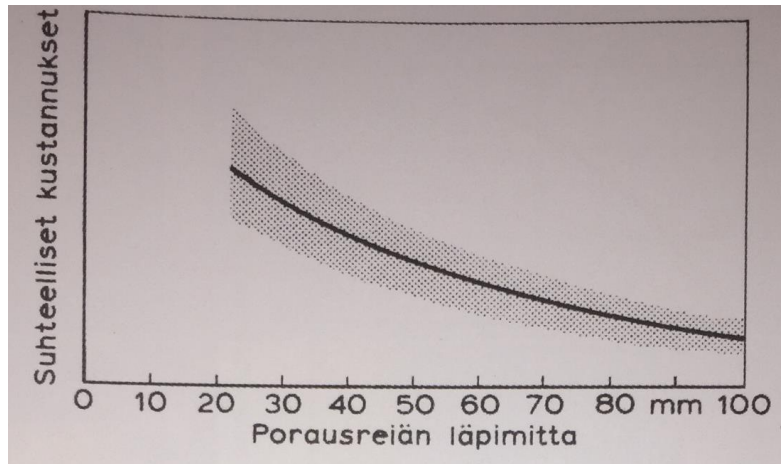
Kaivokset eroavat kalliorakennuskohteista siinä, että toiminta jatkuu samankaltaisena pidempään. Louhinta on osa kokonaisprosessia, jossa tuotannon jatkuvuus ja häiriöttömyys ovat keskeisiä. (Vuento & Pinomäki 2017.)

Lähdettäessä suunnittelemaan kustannustehokasta louhintatyötä asutuskeskuksen ulkopuolelle esimerkiksi murskausta tai malmin louhintaa varten ei pelkkä kiviaineksen irrottamisen tarkkailu riitä. Seuraavat seikat on otettava huomioon jo kiven irrotusta suunniteltaessa:

- porauskustannukset
- räjähdekustannukset
- panostus- ja räjäytyskustannukset
- rikkojen käsittely
- kuormauskustannukset
- murskauskustannukset (kaivokissa rikastuskustannukset)

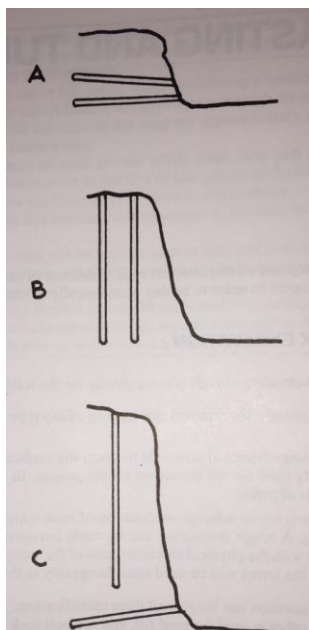
Näiden lisäksi on otettava huomioon kallion laatu, pengerkorkeus, louhintakohteen leveys, louheen kuljetus sekä kerralla räjäytettävän kentän koko. (Vuolio & Halonen 2012, 179.)

Porametrin kustannukset kasvavat reikäkoon kasvaessa. Kuvasta 5 nähdään, kuinka kuutiometriä kohti kentän porauskustannukset laskevat reikäkoon kasvaessa, koska kentän ominaisporaus pienenee. Heiton, sinkoilun ja tärinöiden kasvaminen porareian halkaisijan kasvaessa on jopa täysin ennalta-arvaamatonta (Vuolio & Halonen 2012, 179.)



KUVA 5. Porauksen suhteelliset kustannukset (Vuolio & Halonen 2012).

Pengerkorkeus vaikuttaa kannattavan poraussuunnitelman valintaan. On usein kannattavaa porata penkereen alaosaan vaakasuuntaisia porareikiä, kun penger on todella korkea. Tasaisen pohjan toteuttaminen helpottuu vaakasuuntaisten reikien avulla. Kun penger on porattu vain pystysuuntaisilla rei'illä, reikätaipuma voi olla niin suuri, että tasaisen pohjan saavuttaminen on haastavaa. (Herbert & Day 2010, 9.1–9.10). Kaikissa kohteissa kuvan 6, kohdan C, mukainen rintauksen alaosiin toteutettava vaakasuuntainen poraaminen ei ole mahdollista. Esimerkiksi poravaunun siirtyminen porauspaikalle ei ole toteutettavissa tai työmaalla käytössä olevalla kalustolla ei pystytä poraamaan vaakasuuntaisia reikiä. Suomessa poraus toteutetaan lähes poikkeuksetta vain pystysuuntaisia reikiä poraten (pengerlouhinnassa).

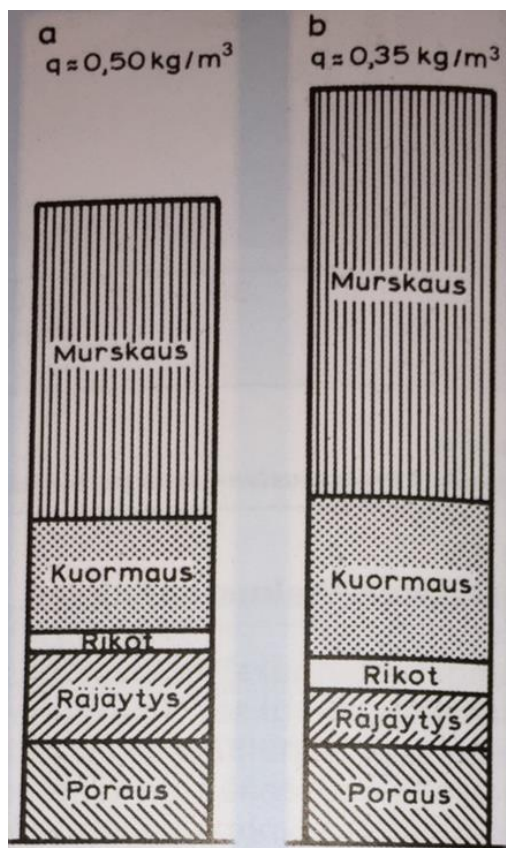


KUVA 6. Penkereen porauksen vaihtoehtoja (Herbert & Day 2010).

Porareiän koon kasvattaminen tarkoittaa reikävälin ja edun kasvamista, mikä johtaa suurempaan lohkokokoon. Louhintatyönjohtaja arvioi kenttäkohtaisesti, paikallisen geologian huomioon ottaen, millä reikäkoolla kokonaisprosessista saadaan kustannustehokain.

Paikallinen geologia vaikuttaa porakaluston kulutusosien kestävyys. Pora tunkeutuu helpommin pehmeään ja hauraaseen kivilajiin. Kivilajin kulutuskestävyys tarkoittaa sen kykyä vastustaa mekaanista kulutusta. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminne 2006, 19–20.)

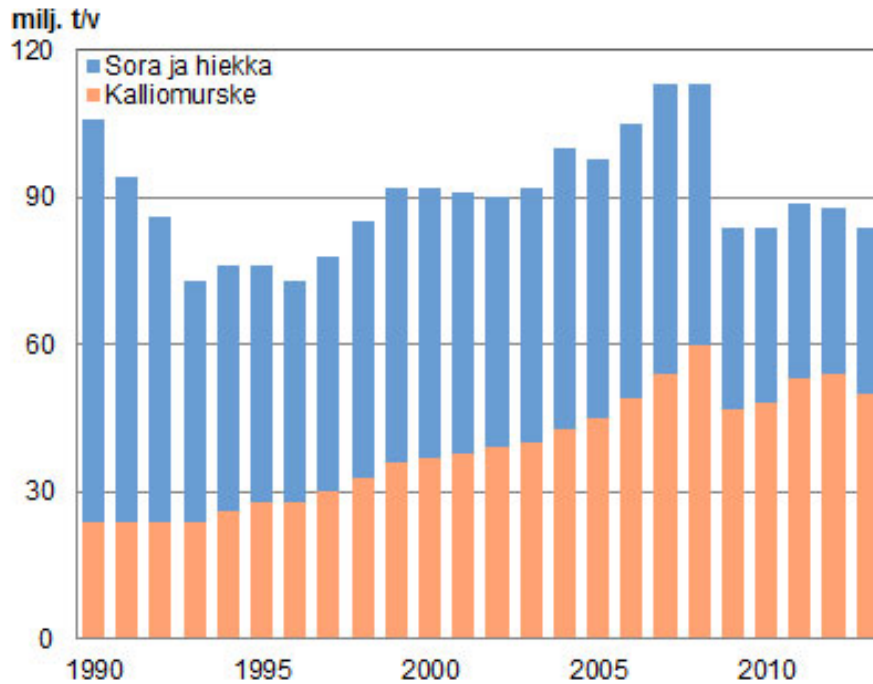
Panostuskustannukset pienenevät porareiän koon kasvaessa. Reikien lukumäärä pienenee, jolloin panostuksessa toistettavia työvaiheita on vähemmän. Kuvasta 7 nähdään, kuinka ominaispanostuksen nostaminen pienentää kokonaiskustannuksia. Kentän ominaispanostusta on nostettava, kun porareiän kokoa kasvatetaan (Salonen 2019). Ominaispanostuksen nostaminen tarkoittaa suurempia räjähdysainekuluja.



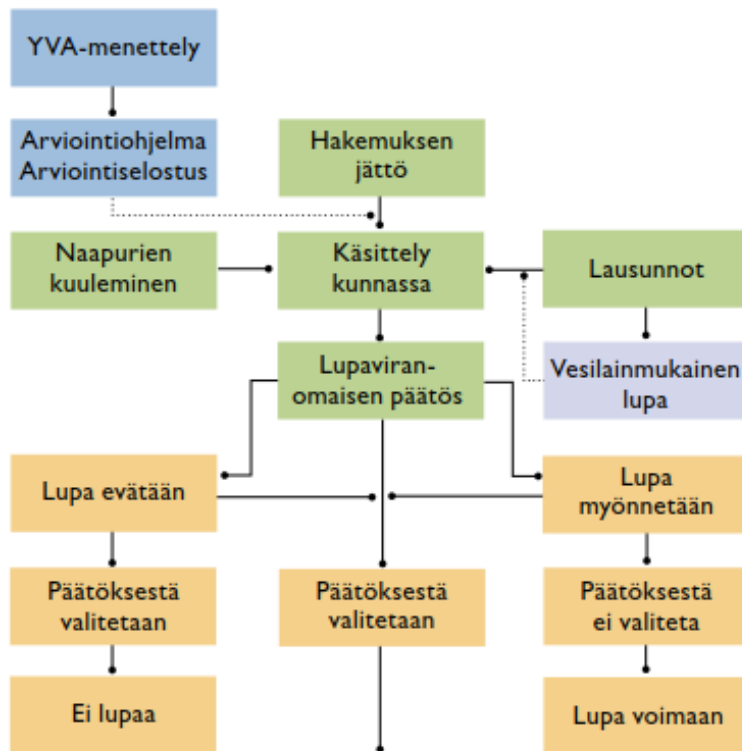
KUVA 7. Kokonaiskustannusten jakautuminen, kun reikäläpimitta, $d \leq 51 \text{ mm}$ (Vuolio & Halonen 2012).

Suomessa käytetään maa-aineksia, lähinnä soraa ja kalliomursketta noin 100 miljoonaa tonnia vuosittain (taulukko 1). Maa-ainesten käytön määrä on vuosina 1990-2013 pysynyt likimain samana. (Ymparisto 2015). Samassa ajassa kalliomurskeen käyttö on noussut noin 25 prosentista 60 prosenttiin (Geologian tutkimuskeskus. Kalliokiviaines).

TAULUKKO 1. Soran ja kalliokiven otto 1990-2013 (Suomen ympäristökeskus 2014).

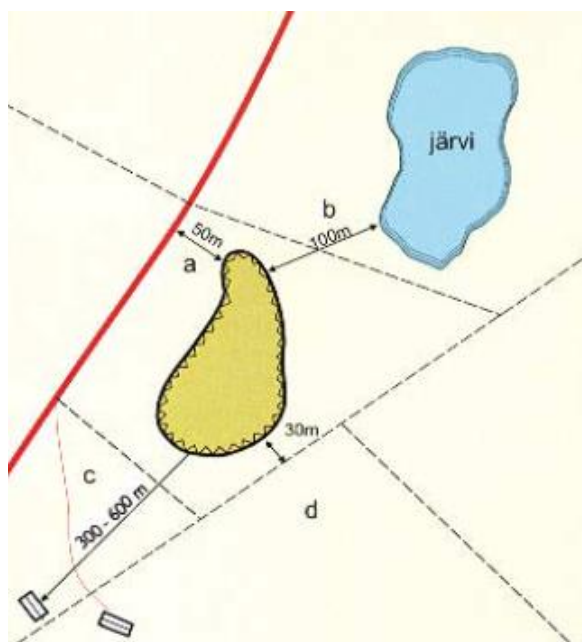


Louhintaan tarvitaan maa-aineslain mukainen maa-ainesten ottolupa ja ympäristösuojelulain mukainen ympäristölupa. Maa-aineslain tavoitteena on ainesten ottaminen ympäristön kestävästä kehitystä tukevalla tavalla. Maa-aineslain lisäksi on noudatettava, mitä muualla laissa säädetään. Keskeisimpiä ovat esimerkiksi ympäristönsuojelulaki, vesilaki, luonnonsuojelulaki ja laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä. (Ympäristöministeriö 2009). Kuvassa 8 maa-aineslain mukainen lupamenettely. Tämä työ ei keskity hakumenettelyyn tarkemmin.



KUVA 8. Lupahakemusprosessi (Ympäristöministeriö 2009).

Kokonaisprosessi lähtee tilaajan luomasta tarpeesta lopputuotteelle. Urakoitsija alkaa pohtia sopivaa aluetta, josta voisi lopputuotteen tuottaa. Hakemusten jälkeen urakoitsija on saanut alueellisen ottoluvan, jonka pohjalta työmaapäällikkö alkaa suunnitella alueen aluesuunnitelmaa. Kuvassa 9 on esitelty kallion ottamisalueen ympärille suositeltavat suojaetäisyydet.



KUVA 9. Suositeltavat suojaetäisyydet (Ympäristöministeriö 2009).

Aluesuunnittelun pohjalta työmaapäällikkö alkaa suunnitella kallion ottoalueita, työmaateitä ja murskaamon paikkaa, jotta alue olisi mahdollisimman tehokkaasti käytettävissä. Kalliosta suoritetaan massalaskemia esimerkiksi kenttien suunnittelua ja panostussuunnittelua varten. Kallion ottoalueesta on luotava 3D-malli, jos työmaan räjäytyssuunnittelussa käytetään tietokoneohjelmaa.

Kallion ottoalueen suunnittelu jatkuu yksittäisen kentän suunnitteluun. Kentät on suunniteltava ottorajojen ehdot huomioiden. Työmaapäällikkö valitsee louhittavan kentän koon sekä porattavan kentän ruutu- ja reikäkoon. Porareian ruutu ja halkaisija valitaan kokonaistaloudellisen optimoinnin kautta (Salonen 2016, 16). Louhinnan kokonaistaloudellisessa optimoinnissa on monta muuttuvaa tekijää.

Työmaalta saatujen palautteiden mukaan poraamisen ohjaaminen haluttaisiin koneohjaus pohjaiseksi maalattujen reikäpaikkojen sijaan. Koneohjaus pohjaisessa porauksessa poraussuunnitelma laaditaan tietokoneohjelmalla ja siirretään poravaunuun, jolloin poraaminen voidaan aloittaa. Porarilla on sähköisesti tiedot (pituus, sijainti, suunta ja reikäkoko) porattavista rei'istä. (Kiviniemi 2019.)

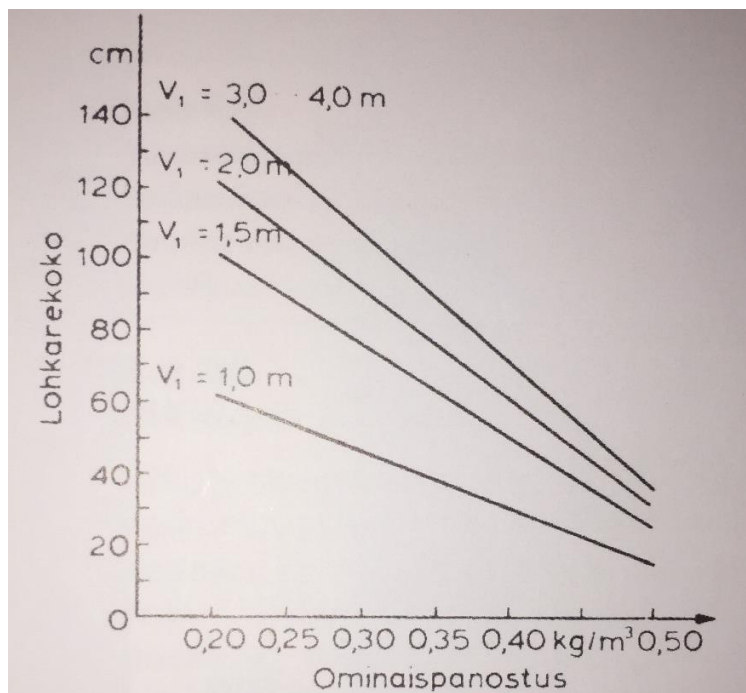
Kaikissa poravaunuissa ei koneohjausjärjestelmää ole käytössä, jolloin poraussuunnitelman reikäpaikat on käytävä maalaamassa tai muuten merkkäämassa kalliopintaan tarkepisteiden tai GPS-pisteiden avulla. Maalauksen voi suorittaa mittamies tai porari. Porarin suorittaman tarkkuudessa saattaa olla virhettä ja samalla poravaunu seisoo tehottomana. Mittamiehen työ on työmaalla arvokasta. Näin ollen koneohjausjärjestelmästä saatu säästö voi olla hyvinkin suuri. (Salonen 2016, 15.)

Jos porari suorittaa porauksen käyttäen mittamiehen maalaamia pisteitä reikien aloituspaikkoina, on toteutuneen porareian paikkatieto syytä varmistaa porauksen jälkeen GPS- tai takymetrimittauksella. Koneohjausjärjestelmällä varustettua poravaunua käytettäessä, järjestelmä antaa automaattisesti poratuille rei'ille paikkatiedot.

Koneohjausjärjestelmällä varustettu poravaunu antaa porauksen jälkeen porausraportin sähköisenä ja kertoo, onko poraus tehty suunnitelmien mukaan ja mikäli ei niin myös toteutuneen porauksen. Porausraportista näkee esimerkiksi reikäpituudet, joiden avulla

tarkempaa massalaskentaa voidaan suorittaa panostusta varten. Koneohjausjärjestelmä ei kuitenkaan pysty huomioimaan reikätaipumaa.

Porauksen jälkeen suoritetaan kentän panostus. Panostussuunnitelman turvallisen ja kustannustehokkaan optimoinnin pohjaksi, on reikien taipumamittaukset sekä louhittavan rintauksen skannaus suoritettava. Porarin käyttäessä S Senseä on kentän valmistelu yhden työvaiheen edellä (porauksen yhteydessä saadaan reiän reikäsuoruuksimittaus). Kuvasta 10 nähdään, kuinka etu sekä ominaispanostus vaikuttavat lohkar kokoon.



KUVA 10. Kuvassa muuttuja V_1 = etu (Vuolio & Halonen 2012).

Porausraportin, reikäsuoruuksimittauksen ja rintauksen skannauksen antamien lähtötietojen perusteella voidaan tehdä panostussuunnitelma esimerkiksi O-Pitblastilla. Panostussuunnitelma laaditaan kaikki lähtötiedot hyödyntäen, jotta siitä saadaan ihanteellinen louhittavalle kentälle.

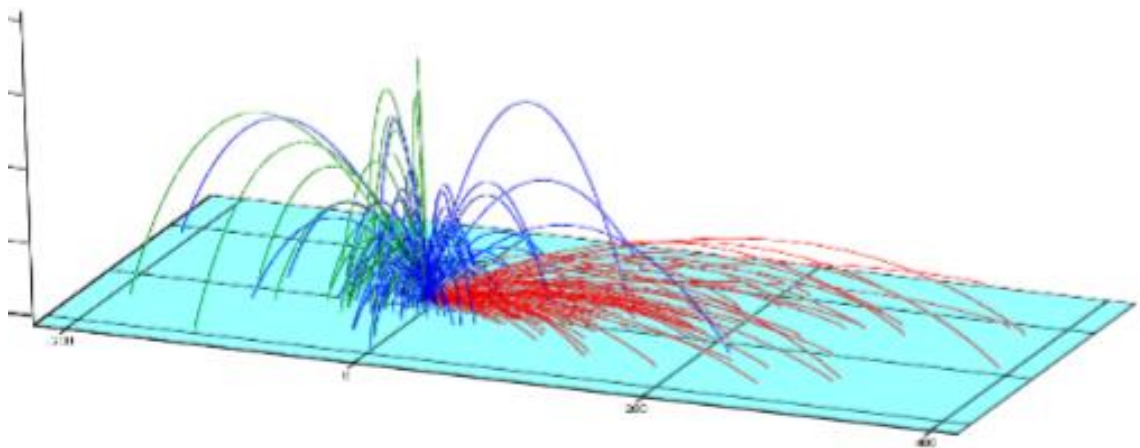
Räjähdyksen jälkeen louhe lastataan ja kuljetetaan murskaukseen. Ylisuuret lohkarit louhitaan pienemmiksi. Louhinnan työvaiheet tähtäävät ihanteelliseen kallion lohkaroitumiseen, työn turvalliseen suorittamiseen ja turvalliseen räjäytykseen.

4.2 Ympäristönäkökulmat ja räjäytysturvallisuus

Kiviaineksen tuotanto siirtyy jatkuvasti yhä lähemmäs asuttuja alueita, ja samalla ympäristön asettamat vaatimukset louhinnalle tiukkenevat. Ympäristön aiheuttama paine pakottaa uusien toimintatapojen ja menetelmien jalkautumiseen. (Forcit 2015, Ruutiset). Siivulliset on huomioitava kaikessa rakentamisessa, jotta voidaan ehkäistä turhia riitoja ja ongelmia sekä niiden aiheuttamia lisäkustannuksia.

Kallion räjäyttäminen voi aiheuttaa kivien sinkoilua. Sinkoilu jaetaan neljään luokkaan sinkoilun aiheuttaneen tekijän mukaan. Ei-toivotusta sinkoilusta vaarallisin on liian pienestä edusta rintauksessa johtuva kivien sinkoilu, joka on kuvassa 11 esitetty punaisella värillä. Sinisellä kuvattu sinkoilu aiheutuu liian ohuesta kannesta ja vihreällä kuvattu puolestaan reikien korkkaamisesta. (Salonen 2016, 7.)

Reikien korkkaaminen on ilmiö, jossa etutäyteen alareunaan muodostuu räjäytyksestä suurempi paine kuin, mitä se pystyy vastustamaan. Räjäytys aiheuttaa kiven purkautumista ei-toivottuun suuntaan, ylöspäin. Toimintavikaisesta nallista johtuva reiän ennenaikainen räjähtäminen tai nallituksen liian tiukka hidastus voivat myös aiheuttaa vihreällä värillä kuvattua sinkoilua (Kuva 11). (Salonen 2019.)



KUVA 11. Kivien ei-toivottu sinkoilu (Salonen 2016).

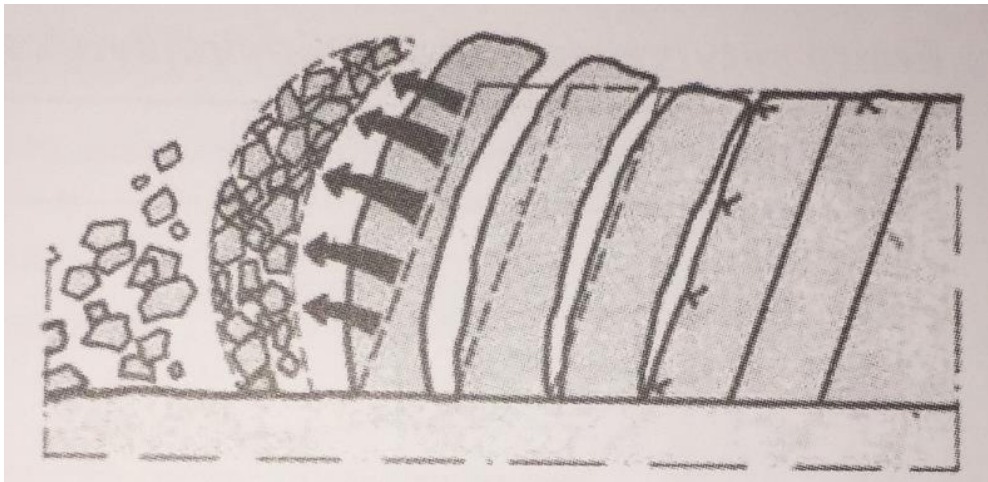
Pienen etuun vaikuttavat edellisen kentän takaryöstö, reiän virheellinen aloituspiste, reiän väärä kallistus ja reikätaipuma. Iso etu pohjalla aikaansaa sen, ettei kivi irtoa, jolloin räjähdyskaasut etsivät toista pakotietä. Paine ylempänä porareissä kasvaa isosti ja sinkoilun riski on ilmeinen. Edellisen kentän takaryöstön aiheuttama pieni etu seuraavan

kentän rintauksessa voi aiheutua tilanteessa, jossa kallioon on porattu valmiiksi usealle kentälle porareiat ja edellisen kentän räjäytys on ryöstänyt kalliota viimeisen reikärivin takaa. Muuttuvissa olosuhteissa panostajan ammattitaito korostuu. (Salonen 2019.)

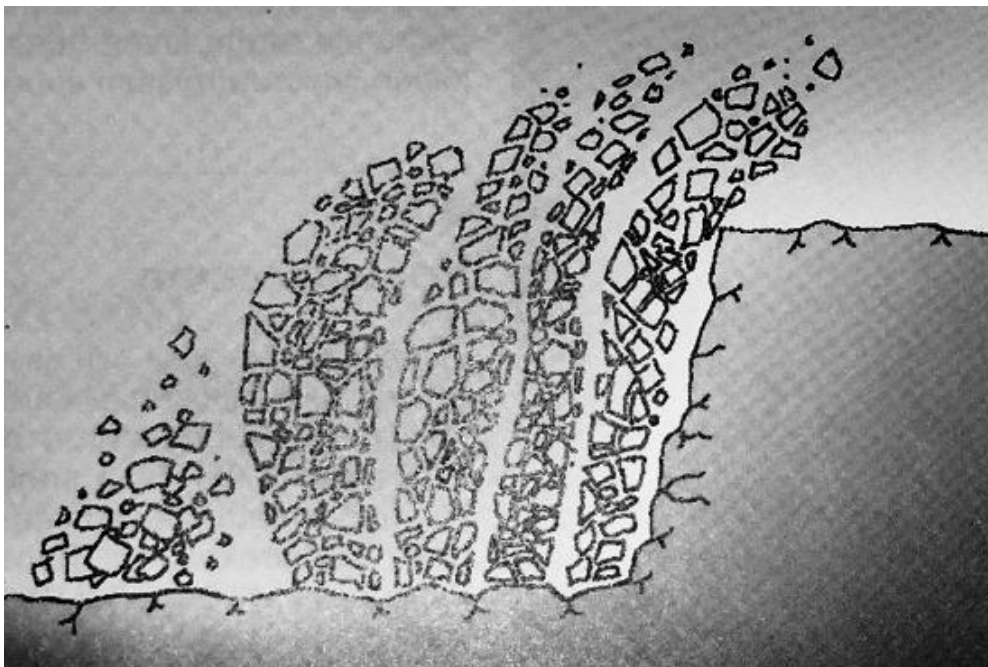
Avolouhinta etenee kentissä. Salonen kertoo työssään eri lähteistä keräämiään kommentteja työmailta: ”Edellisen kentän räjäytys on voinut aiheuttaa rakoja kentän taakse (seuraavan kentän rintausta), joten hyvän lohkaroitumisen varmistamiseksi keularivin ominaispanostusta on lisättävä”. Toisessa työmaalta kuullussa kommentissa sanotaan, että ”koska kivi on rikkonaista keulalla, sinkoilun vaara lisääntyy. Vaikka lohkaroituminen jääkin huonommaksi, ominaispanostusta on pienennettävä”. (Salonen 2016, 8). Reikätaipuman mittaaminen, reiän paikkatieto ja rintausten skannaus ovat lähtökohta oikealle panostukselle ja kivien ei-toivotun sinkoilun välttämiseksi. Kun reikätaipuma on kentästä tiedossa, panostus on mahdollista optimoida siten, että sinkoilun ja lohkaroitumisen lopputulos on ihanteellisin.

Asutulla alueella, avolouhinnassa, saa käyttää vain patruunoitua räjähdettä tai ominaisuuksiltaan vastaavan turvallisuuden takaavaa räjähdettä ja menetelmää. Asutulla alueella räjäytettävät kentät on peitettävä tai muulla luotettavalla tavalla varmistettava (esimerkiksi louhetäkkäyksellä ja riittävällä kannella), että ei ole vaaraa louheen sinkoilulle. (Valtioneuvoston asetus räjäytys- ja louhintatyön turvallisuudesta 644/2011). Patruunoitua räjähdysainetta käytettäessä reikään/reikiin panostetun räjähdysaineen määrä on mahdollista tietää tarkkaan.

Heitolla tarkoitetaan irrotetun kivimassan painopisteen siirtymää. Heiton voiman ratkaisee louhittavan kentän ominaispanostus. Jos räjähdysainetta on liikaa, eivät mitkään täkkäykset pitele kivikasan vaarallista lentoa. Isoon heittoon liittyy helposti rajua yksittäisten kivien sinkoilua. (Jääskeläinen 2010, 218). Pengerlouhinnassa, oikein nallitetussa kentässä kivi purkaantuu hallitusti eteenpäin. Kuvassa 12 nähdään kuinka edellä räjähtäneen reikärivin heitto muodostaa peitteen seuraavan reikärivin räjähdykselle. Kuvassa 13 nähdään liian lyhyen, nallituksen, aikavälin vaikutus heiton virheelliseen muodostumiseen (kiviä sinkoilee myös ylöspäin).



KUVA 12. Sopiva nallitus takaa turvallisen räjäytyksen (Vuolio & Halonen 2012).



KUVA 13. Virheellisen nallituksen vaikutus heittoon (Vuolio & Halonen 2012).

Porakruunun kuluminen pienentää porattavan reiän halkaisijaa. Uudella kruunulla porattu reikä voi olla jopa 30 % suurempi kuin, mitä saman porakruunun viimeiset porattavat reiät. (Salonen 2019). Reiän halkaisijan vaihtelu vaikuttaa reiän tilavuuteen, mikä on mahdollista huomioida emulsioräjähdyksineitä käytettäessä.

4.2.1 Melu

Louhintatyössä on monia työvaiheita, jotka aiheuttavat ympäristöön melua. Melulähteitä ovat esimerkiksi poraus, räjäytys, louheen kuormaus, rusnaus, louheen kuljettaminen, murskaus, vasarointi, kiilaus ja monet muut. (Kaiva, Ympäristövaikutukset.)

Melun muodostumista ympäristöön voidaan vähentää käyttämällä työkoneissa kotelointeja, äänen- ja värinänvaimentimia. Melusteiden rakentaminen louhintakohteen ympärille voi olla tietyissä tapauksissa ainoa mahdollinen vaihtoehto. (Kaiva, Ympäristövaikutukset.)

4.2.2 Pöly

Louhinnassa pölyä aiheuttavat poraus, kiilaus, sahaus, kuljetukset, räjäytykset ja louheen lastaaminen. Pölypäästöjä voidaan ehkäistä pölyn talteenottolaitteistoilla, työkoneiden huollolla, kastelemalla, puhdistamalla räjäytettävät kalliopinnat, ajonopeuksia alentamalla sekä tiestön kastelulla ja suolaamisella. (Kaiva, Ympäristövaikutukset.)

4.2.3 Tärinä

1970-luvun alussa Helsingin metron louhintatöiden alkaessa, alettiin enenevässä määrin kiinnittää huomiota räjähdyksestä ympäristöön leviäviin tärinäihin. Räjäytys synnyttää kallioon jännitysaallon, joka aiheuttaa kiven rakoilun ja irtoamisen lisäksi tärinää. (Vuolio & Halonen 2012, 34–36). Tärinöiden syntymistä vähennetään pienentämällä momentaanista räjähdeainemäärää.

Nykyaikainen tapa suunnitella räjäytystä on tietokoneohjelmalla (esimerkiksi O-Pitblast) mallinnettu räjäytys. Räjäytystä pystyy simuloimaan, jolloin panostuksen ja nallituksen parametreja voidaan optimoida ihanteellisiksi oikeaan räjäytykseen (Bauer 2007, 46). Tietokoneohjelmien avulla voidaan arvioida myös tärinöiden muodostumista ympäristöön.

Uuden kohteen tärinöiden muodostumista voidaan lähteä arvioimaan räjäyttämällä yksittäinen porareikä ja tutkimalla räjäytyksen muodostamia tärinöitä ympäristöön. Reiän muodostamia tärinöitä voidaan mallintaa suurempaan mittakaavaan ja arvioida, kuinka suuria kentät ja kentän momentaaniset räjähdysaineet voivat kyseisessä kohteessa maksimissaan olla. Yksittäisen reiän räjäytys on tärinöiden muodostumisen tutkimisessa todella vähän käytetty, mutta toimiva menetelmä. (Salonen 2019.)

Suunnitelma-asiakirjojen ympäristöselvityksessä osoitetaan, missä laajuudessa tärinät mitataan ja kuka huolehtii mittauksista. Riskianalysissä osoitettujen tietokoneiden ja muiden herkkien laitteiden suojaamiseksi tärinöiden aiheuttamilta vaurioilta noudatetaan suunnitelma-asiakirjoissa määrättyjä tai laitteiden omistajien kanssa sovittuja raja-arvoja. (InfraRYL 2018, 286). Suunnitelma-asiakirjat eivät aina ota kantaa tärinöihin, jos niitä ei ole esitetty, on sovittava erikseen, kuka niistä huolehtii ja missä laajuudessa.

Tärinämittauksilla varmistetaan, että pystytään louhimaan taloudellisesti ilman, että ympäristössä olevat herkät laitteet ja rakenteet vaurioituvat. Liian varovainen toiminta saattaa aiheuttaa huomattavaa kustannusnousua. Tärinäkestävyyden ja tärinän vaimentumisen määrittäminen perustuu käytännön räjäytystöihin liittyviin tutkimuksiin. Vain tätä tietoutta käyttäen pystytään arvostelevaan, onko räjäytysten ja vaurioiden välillä syy-yhtettyä. Työnaikaisia tärinöitä mitataan tärinämittareilla. (Vuolio & Halonen 2017, 155–161.)

Ennen räjäytystyön aloittamista on suotavaa, että ympäristön rakennukset katselmoidaan ja merkitään niissä olevat vauriot muistiin. Lisäksi arvioidaan mahdollisia tärinälle poikkeuksellisen kriittisiä rakennuksia ja laitteita. Lisäksi ympäristön ihmisiä tulee tiedottaa tehtävästä toiminnasta, jotta he osaavat varautua ääni- ja tärinähäiriöihin. Laki ei velvoita katselmoimaan ympäristön rakennuksia, mutta käytäntö on hyvin yleinen.

Tärinäistä tai muista tekijöistä aiheutuneet vauriot kolmansille henkilöille ovat alan valittava ongelma. Ennakkokatselmuksien ja loppukatselmuksien dokumentointi on huolellisesti turhien kustannusten välttämiseksi ristiriitatilanteissa. Räjäytystyön vaarallisesta luonteesta johtuen on räjäytystöiden suorittajalle vakiintunut oikeuskäytännössä ankara eli tuottamuksesta riippumaton vastuu. Työn suorittajan on korvattava kolmannelle henkilölle räjäytystyöstä aiheutuneet vahingot, vaikka työn suorittaja olisi menetellyt täysin

moitteettomasti. (Vuolio & Halonen 2017, 161–199). Ennakkokatselmuksilla voidaan todistaa kolmannen osapuolen korvaushakemukset aiheettomiksi tilanteissa, joissa vauriot rakenteissa on ollut jo ennen louhintojen aloittamista.

Räjähdyksestä aiheutuneet värinat säikäyttävät usein ympäristön asukkaita. Valkeakoskella on ihmetelty voimakasta värinää, joka vavisutti maata. Mitattu 1,2 magnitudin järitys on seismologin mukaan peräisin räjähdyksestä. Räjähdyksestä kertoo esimerkiksi se, että taajuuksia mittaavassa spektrogrammissa räjähdys näkyy raidallisena. Lähialueen asukas kertoo tapahtuneesta, että värinän seurauksena tiilitalon seinät vapisivat ja autotalin betonilaatat hyppelivät. (Aamulehti 2019, Maa järisi Valkeakoskella, syynä oli louhosräjähdys.)

4.2.4 Räjähdyksestä muodostuvat kaasut

Räjähdyksen aiheuttama ilma-aallon paine saattaa joskus olla huomattavasti suurempi ympäristöä häiritsevä ja vaurioittava tekijä kuin värinä. Ilma-aallon paineen vahinkovaiikutuksesta ei ole niin laajaa ja selväpiirteistä tilastollista materiaalia kuin värinöistä. (Vuolio & Halonen 2102, 34–36). Paineaallon aiheuttamat vauriot ovat usein pienempiä, ikkunarikkoja sekä pintavaurioita. Paineaallot ovat usein hyvin vaikeasti ennustettavia ja odottamattomia.

Räjähdyksessä syntyy myrkyllisiä räjähdyskaasuja, joista vaarallisimpia ovat hiilimonoksidi ja typpioksidi. Tehdasvalmisteiset räjähdysaineet on pyritty saamaan sellaisiksi, että kaasua syntyy mahdollisimman vähän. Räjähdyskaasut aiheuttavat ongelmia lähinnä suljetuissa tiloissa sekä maan alla. Ongelmat voidaan ehkäistä hyvällä tuuletuksella ja kaasumittareille suoritetuilla mittauksilla, joilla varmistetaan hajuttomien kaasujen riittävä tuulettuminen ennen muuta työskentelyä tilassa. (Vuolio & Halonen 2012, 68–69.)

4.2.5 Räjähämättömät räjähdysaineet

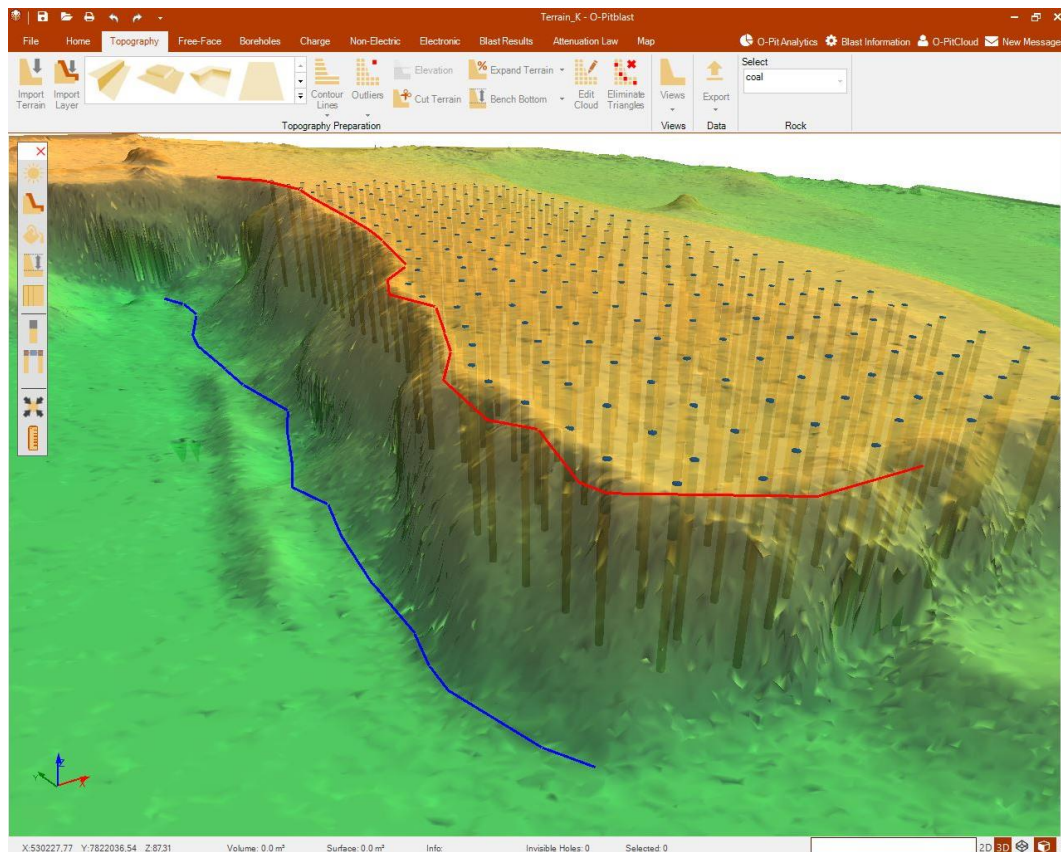
Kentän räjäytyksessä osa räjähteistä voi jäädä räjähtämättä. Räjähämättömyyden syitä voi olla esimerkiksi nallin toimintavika, vanhentuneet räjähdysaineet tai deflagraatio/kuoliaaksipuristuminen.

Suuri porausvirhe voi johtaa siihen, että räjähdysaine ei käyttydy oikein. Kentän reikäreitit panostetaan eri nallien vasteajoilla. Suuren porausvirheen takia aiemmin räjähtänyt reikä voi aiheuttaa viereiseen räjähtämättömään porareikään niin suuren paineen, että räjähdysaine kuoliaaksi puristuu. Ilmiötä kutsutaan deflagraatioksi eli räjähtäväksi palamiseksi. Räjähähdysaineen palonopeus pienenee todella merkittävästi, eikä sillä ole siten kiveä irrottavaa vaikutusta. (Ruotsalainen 2010. Opinnäytetyö, 46.)

4.3 Mittalaittevalinta käyttötarvekohtaisesti

Tämän otsikon alla vertaillaan eri mittalaitteiden vaikutuksia niistä saatavaan hyötyyn. Lisäksi pohditaan eri mittalaitteiden yhteisvaikutuksia, joiden pohjalta urakoitsija voi valita tarpeisiinsa sopivan mittalaitteen/mittalaitteet. Mittalaitteista saatava hyöty ja yhteensovittaminen paranevat, kun käytössä on lisäksi tietokoneohjelmisto, esimerkiksi Forcitin maahantuoma O-Pitblast, joka näissä esimerkeissä on käytössä.

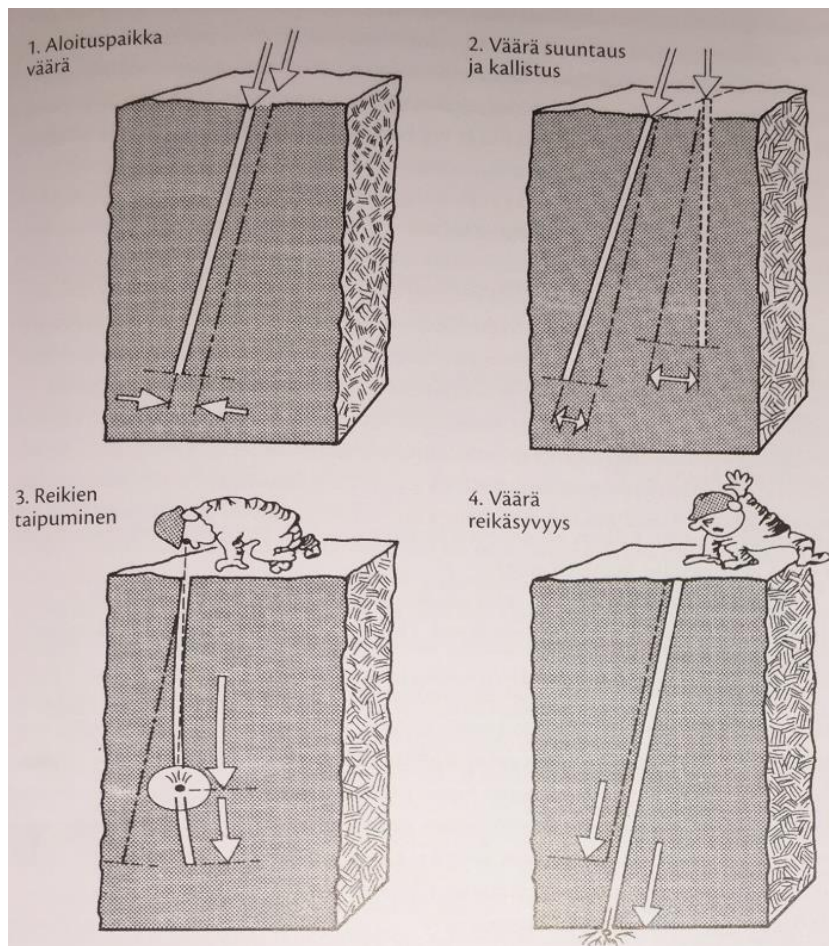
O-Pitblast tuo räjähdysuunnittelun digiaikaan, ja ohjelma onkin osoittanut, että erilaiset digitaaliset ratkaisut ja pilvipalvelut soveltuvat hyvin myös räjähdädealalle. Ohjelman tarkoitus on nopeuttaa erilaisten poraus- ja panostusvaihtoehtojen käsittelyä sekä selkiyttää suunnitelmien tekoa. Ohjelmaan voidaan tuoda toteumatietoa ulkopuolisista lähteistä kuten reikäsuoruuksimittareista, laserskannaus-ohjelmista tai porakoneista. Ohjelma muodostaa 3D-näkymän työmaasta (kuva 14) ja luo yksityiskohtaisen räjäytyssuunnitelman. (Vuolio & Halonen 2017, 206.)



KUVA 14. Louhintatyön tietokoneavusteinen suunnittelu (Rock Fragmentation 2019).

Räjätystyön ruusuiheen tulevaisuuteen liittyvät oleellisesti tietokoneavusteinen kokonaisvaltainen louhintasuunnittelu, langaton tiedonsiirto, reaaliaikainen työseuranta, porareikätaipuman mittaaminen, rintausten skannaus ja analysointi, panostusparametrien hallinta ja loggaaminen mekanisoidussa panostuksessa, ohjelmoitavat räjäytysnallit, reaaliaikainen värinämittaus, räjähteiden yksilöllinen seuranta ja moni muu asia. Nämä asiat tullaan nivomaan yhteen, mikä helpottaa panostajan arkea ja vähentää louhintatyöhön liittyviä riskejä. Samalla saavutetaan nykyistä parempi louhinnan lopputulos ja alhaisemmat kustannukset. Tämä kaikki kuulostaa ehkä toiveajattelulta, mutta on itse asiassa totta jo lähitulevaisuudessa. Kaikki palaset ovat jo olemassa – ne vaan täytyy nivota yhteen, toimivaksi kokonaisuudeksi. (Vuolio & Halonen 2017, 206.)

Porareian paikallaan olemisessä esiintyy kuvassa 15 esitettyä neljänlaista virhettä: aloitus väärästä paikasta, suuntausvirhe, reikätaipuma ja reiän virheellinen pituus. Porauksen aloitus ei aina tapahdu suunnitellusta kohdasta kalliion pinnanmuodoista tai olosuhteista johtuen. Suuntaukseen vaikuttaa ennen kaikkea porarin ammattitaito ja apulaitteet. Virheellinen suuntaus vaikuttaa poratun reiän pituuteen. (RIL154-2 Tunneli- ja kalliorakennus 2 1987, 259-260.)



KUVA 15. Porareissä esiintyviä virheitä (Vuolio & Halonen 2017).

Virheistä taipuman havainnointi on porarille vaikeinta. Poratessa hänellä ei ole nykyteknologialla kykyä nähdä, missä porakruunu etenee. Tehtyjen virheiden havaitsemiseksi ja mittaamiseksi on valmistettu mittalaitteita. Laitteista saatavan datan avulla voidaan reagoida myöhemmissä työvaiheissa jo tehtyihin virheisiin, jotta ongelmia lopputuloksessa voidaan välttää.

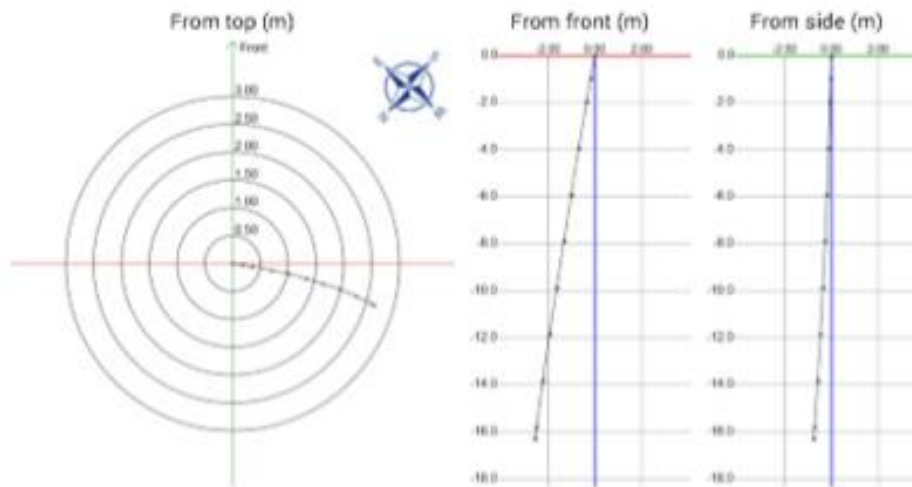
4.3.1 Reikäsuoruuksmittauslaite

Louhintatyön onnistuminen on riippuvainen porauksen ja panostuksen onnistumisesta. Porauksen suunnittelulla ja huolellisella toteutuksella luodaan perusta kokonaisprosessin taloudelliselle ja tekniselle onnistumiselle. (RIL154-2 Tunneli- ja kalliorakennus 2 1987, 91.)

Kuvassa 16 näkee reikäsuoruuksmittauksesta saatavan datan. Musta viiva kuvaa poratun reiän todellista kulkua ja sininen teoreettista, jota on tavoiteltu porattavan. Reikäsuoruuksmittauksesta saadaan samalla myös reikäpituus, joka on tärkeä tieto panostuksen optimoinnissa pohjan tasaisuuden saavuttamiseksi. Ylipitkään reikään voidaan tehdä täyttöä esimerkiksi soralla räjähdysaineen sijaan.

Borehole 1-10

Depth: 16.50 m
 Pattern heading: 140.00 °
 Total heading: 246.46 ° Total inclination: 9.28 °



True heading (°)	Inclination (°)	Position (m)
237.92	10.35	0.00
237.92	10.35	1.00
240.70	9.83	2.00
241.08	9.89	4.00
242.83	8.90	6.00
246.73	9.36	8.00
247.21	9.33	10.00
250.12	9.08	12.00
255.90	8.72	14.00
255.47	8.96	16.00
266.37	7.59	16.50

KUVA 16. Reikäsuoruuksmittaus (Robit).

Reikäsuoruuksmittauslaitteen käyttöä arvioitaessa koko kenttään, on mahdollista käyttää reikäsuoruuksmittauslaitteen vaikutusvaltaan perustuvaa kerrointa. Kerroin määritetään kentästä mitaamalla keskimääräinen taipuma sekä räjähtämättömän kiven osuus kentästä. Epäonnistuneesti räjähtänyt prosentuaalinen määrä kentästä (esimerkiksi 8%) jaetaan reikätaipuman prosentuaalisella suuruudella (esimerkiksi 4%). Lukua, joka tässä esimerkissä on 2,

voidaan käyttää seuraavien kenttien kustannuslaskennassa, kun arvioidaan tarvetta reikäsuoritusmittaukselle. (Gransell 2016, 8–11.)

4.3.2 GPS

Koneohjausjärjestelmällä varustetulla poravaunulla poratessa reiän sijainti tulee automaattisesti porausdataan. Vanhemmissa poravaunuissa, joissa ei ole koneohjausjärjestelmää mittausta tehdään porauksen jälkeen erillisellä GPS-mittalaitteella, jolloin todellinen reikäpaikka saadaan panostussuunnitelmiin.

Sandvik on kehittänyt avolouhintavaunuihin GNSS-paikannuksen ja tietotekniikan yhdistävän koneohjausjärjestelmän. Poravaunun tietokonejärjestelmä lukee esimerkiksi Driller´s Office ohjelmalla luodun datan ja on yhteydessä satelliittipaikannukseen, jolloin poravaunulla saa tarkasti porattua reiät ohjelmassa suunniteltujen koordinaattien mukaan. Vaunun järjestelmä myös tallentaa poratut reiät toteutuneeksi porausdataksi ja antaa niille koordinaatit sekä tekee porauksesta porausraportin. (Mattila 2018, Opinnäytetyö, 16.)

Porausta ei voi aina suorittaa ennalta suunniteltuun paikkaan, mistä johtuen toteutuneen reiän sijainti (suhteessa maastoon ja toisiin reikiin) on tärkeä tieto suunniteltaessa panostusta. Vaihtoehtoinen menetelmä GPS-mittauksen sijaan on käyttää takymetri-mittausta, joka on hieman työläämpi. Kuvassa 17 reikäpaikkojen sijainnin määrittäminen käynnissä GPS-mittalaitteella.

Jos porausvirhettä on liikaa, reikä täytetään ja porataan uusi. Uuden poratun reiän sijainti tulee ottaa huomioon kentän panostuksen suunnittelussa. Louhintatyönjohtaja arvioi kenttäkohtaisesti rajat porauksen maksimivirheelle. Myös tilaaja voi määrittää sallittavan maksimivirheen poraukselle.



Kuva 17. GPS-mittaus kentän ensimmäiseen reikäriiviin (YIT työmaa, Salo).

GPS-mittauksella voidaan korvata perinteinen takymetrimittaus massalaskennassa. Perinteisempään (takymetri) massalaskentaan verrattuna GPS-mittaus on paljon nopeampi eikä vaadi niin ammattitaitoista henkilöstöä työssä onnistumiseen. Mittamiesten ammattitaito on suuressa roolissa massalaskennan tehokkaassa onnistumisessa. Kiireellisen työmaan aikataulutuksessa massalaskentaan kulutettava aika on siitä aiheutuvien kustannuksien lisäksi ongelma.

4.3.3 Rintauksen skannaus

Rintauksen skannauksella tarkoitetaan laserkeilaimella tehtävää mittausta, jolla saadaan kallion rintauksesta pistepilvimalli. Pistepilvimallista luodaan 3D-malli lähtötiedoksi panostusohjelmiin. Nykyaikaisella laserkeilaimella saadaan mittatarkkaa tietoa nopeasti ja laajalta alueelta, keilainten mittausetäisyydet alkavat noin 30 centtimetrinä aina yli 300 metriin saakka, jolloin isokin rintausta on nopeasti skannattu (Geotrim, Laserkeilausjärjestelmät).

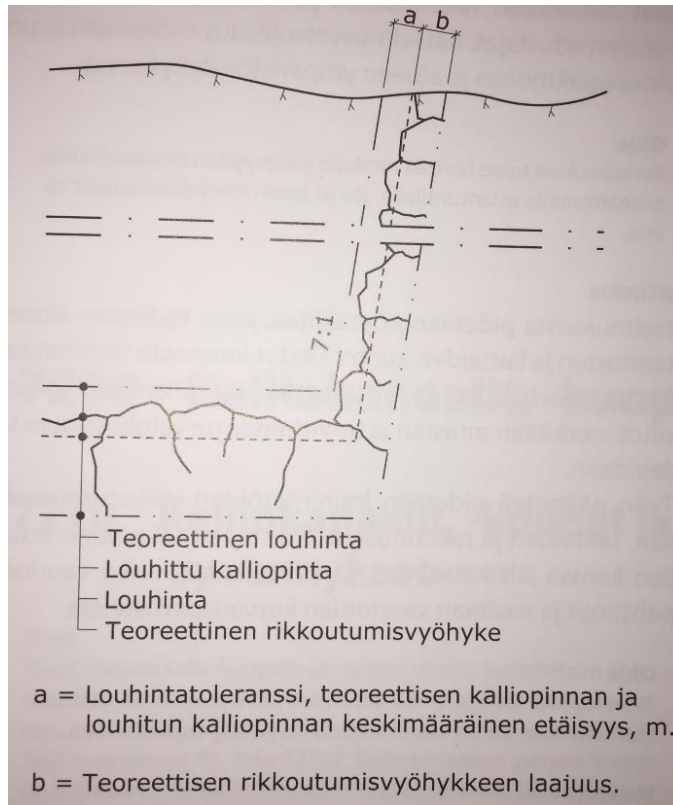
Rintauksen skannaus mahdollistaa porareikien taloudellisen ja turvallisen suunnittelun. Skannaamalla kallion rintausta ennen porauksen suunnittelua voidaan valita reikäpaikka ja porauskulma suhteessa etuun sopivaksi. Reikäpaikkojen optimoinnilla poraus on mahdollista suunnitella taloudellisimmaksi.

Rintauksen skannaus on mahdollista tehdä myös porauksen jälkeen tukemaan panostusta. Kuvassa 18 kalliorintauksen skannaus käynnissä. Skannauksesta voi tulla sateisella säällä epätarkka, joten onnistumisen takaamiseksi skannaus tulee tehdä pouta säällä.



KUVA 18. Rintauksen skannaus (YIT työmaa, Salo).

Rintauksen skannauksella suoritetaan myös louhintojen jälkeistä laaduntarkkailua arvioitaessa ryöstöjä/kovia kalliopintoja. Laaduntarkkailulla todistetaan louhinnat suoritetuiksi annetuissa louhintatoleransseissa. Urakoitsijan toteuttaman louhintatuloksen tarkemmitukset tehdään ja tulostetaan etenemisen mukaan. Kuvassa 19 esitetty termejä, jotka liittyvät louhittavien kalliopintojen laaduntarkkailuun.



KUVA 19. Louhittavan kalliopinnan laaduntarkkailu (InfraRYL 2018).

Kallioavoleikkauksen tarkemittauksen laatuvaatimukset on jaettu kolmeen luokkaan. Luokassa yksi mittausmenetelmäksi hyväksytään vain laserskannaus. Luokissa 2 sekä 3 hyväksytään laserskannauksen lisäksi myös takymetrimittaus. Laatuluokassa yksi tarkemittaus tehdään louhinnan jälkeen ennen lujituksia sekä valmiista pinnasta työn etenemisen mukaan. Kaikki louhitut kalliopinnat tarkemmitataan (luokassa 1). (InfraRYL 2018, 285.)

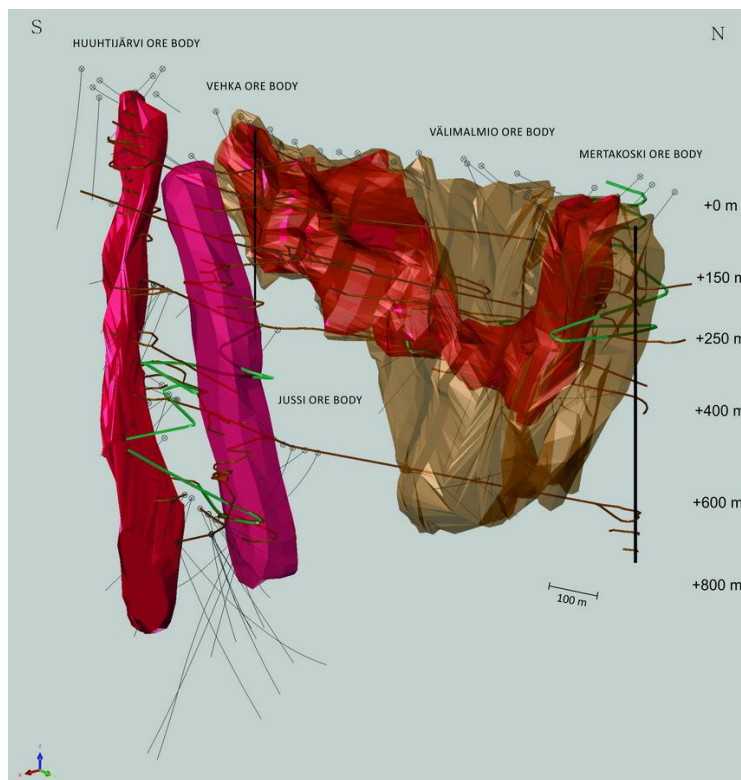
4.3.4 Malmikartta

Malmietsinnässä haetaan ja tutkitaan malmiesiintymää, joka saattaisi olla pitoisuuksiltaan ja määrältään kannattava hyödyntää. Keskimäärin yksi tuhannesta malmietsintäoperaatiosta johtaa kaivoksen perustamiseen. Malmietsintä aloitetaan tutustumalla alueeseen erilaisin kartoin sekä maastokäynnein jokamiehen oikeuden nojalla (systemaattisesta näytteenotosta on ilmoitettava maanomistajalle). Mikäli alue on kiinnostava, sille haetaan

malmietsintälupaa Tukesilta, jonka jälkeen alueella voi tehdä syväkairauksia. Kaivoksen perustamiseen tarvittavat kaivoslupa ja kaivosturvallisuuslupa haetaan myös Tukesista. (Malminetsintä, Kaivannaisala.)

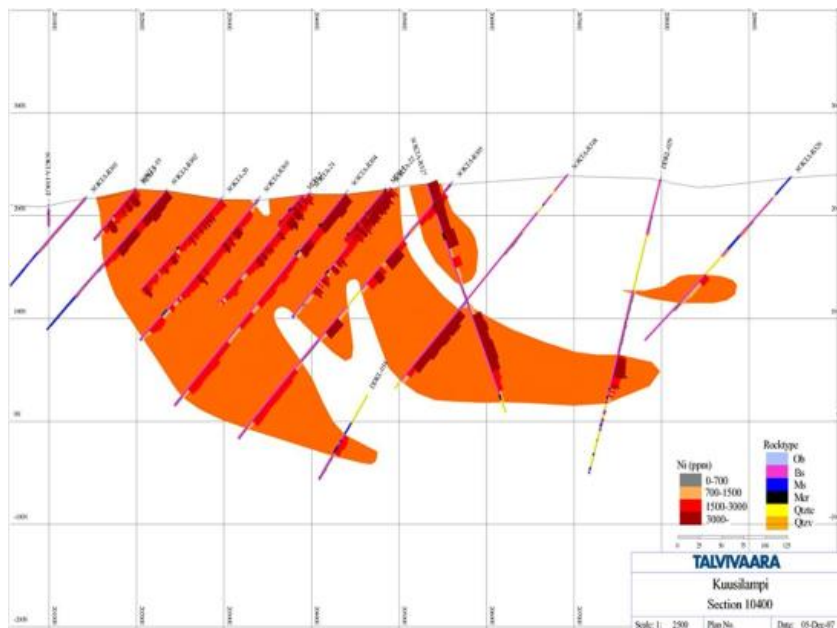
Malmietsinnästä maksetaan, Suomessa, vuosittain miljoonien eurojen korvaukset maanomistajille. Suomen valtio on merkittävin korvauksien saaja suurimpana yksittäisenä maanomistajana, mutta myös yksityisten maanomistajien saamat korvaukset ovat merkittäviä. Suomen yksiselitteinen kaivoslaki, vaivaton lupakäytäntö ja hyvä infrastruktuuri nostavat kaivosyhtiöiden kiinnostusta Suomeen. Suomi nousikin vuonna 2018 maailman houkuttelevimmaksi kaivos- ja malminetsintäinvestointien maaksi. (Aamulehti 2019, Kairaus tuo euroja maasta.)

Syväkairauksen tavoitteena on lävistää malmiesiintymä. Syväkairauksen tuloksena saadaan näytteitä syvältä kallioperästä. Syväkairaukset antavat tietoa malmiesiintymän syvyydestä, paksuudesta, pitoisuuksista ja rakenteesta. Näillä aineistoilla voidaan mallintaa kallioperää ja löydettyä malmiesiintymää. Tietojen avulla rakennetaan kuvan 20 mukainen 3D-malli, jonka avulla tarkastelua voidaan tehdä monelta eri suunnalta. 3D-malli on tärkeä väline malmiesiintymän taloudellisen hyödyntämisen kannattavuuden arvioinnissa. (Malminetsintä, Kaivannaisala.)



KUVA 20. Kotalahden suljetun nikkeli- ja kuparikaivoksen 3D-malmimalli (kaiva.fi).

Kaivosteollisuudessa malmioiden keskimääräiset pitoisuudet ovat vähenemässä, mikä johtaa suurempien kiviainemäärien prosessointiin ja kaivannaisjätteen lisääntymiseen. Kaivosyhtiöiden on toimittava vaativammassa olosuhteissa, kuten syvemmissä kaivoksissa. (Robit 2017, Markkinakatsaus). Malmioiden tutkimusporauksia, koekairauksia, suoritetaan tarkemmin ja laajemmin uusia kannattavia alueita etsiessä. Kuvassa 21 esitetty 2D-malli malmion muodosta.



KUVA 21. Poikkileikkaus malmio muodosta ja koosta koekairausten perusteella (Ruotsalainen 2010, Opinnäytetyö).

Koekairausten perusteella laadittua 3D-mallia malmion muodosta, koosta ja sijainnista muokataan kaivoksella työnaikana tehtyjen geologisten tutkimusten mukaan. Geologi kantaa mukanaan, esimerkiksi tabletilla, 3D-mallia malmioista ja vertaa sitä kaivoksen olosuhteisiin, jonka mukaan tekee muutoksia 3D-malliin. 3D-mallia päivitetään tulevia louhintoja varten. Päivitetyn 3D-mallin mukaan jatketaan louhintoja tehokkaalla tavalla. (Marjoribanks 2007, 51–61.)

4.4 Mittalaittevertailu matriisi

Tässä otsikossa vertaillaan mittalaitteiden yhteisvaikutuksesta saatavia hyötyjä. Mittalaitteista saatavien datojen yhdistäminen antaa urakoitsijalle eri hyötyjä, kuin mitä mittalaitteet yksin.

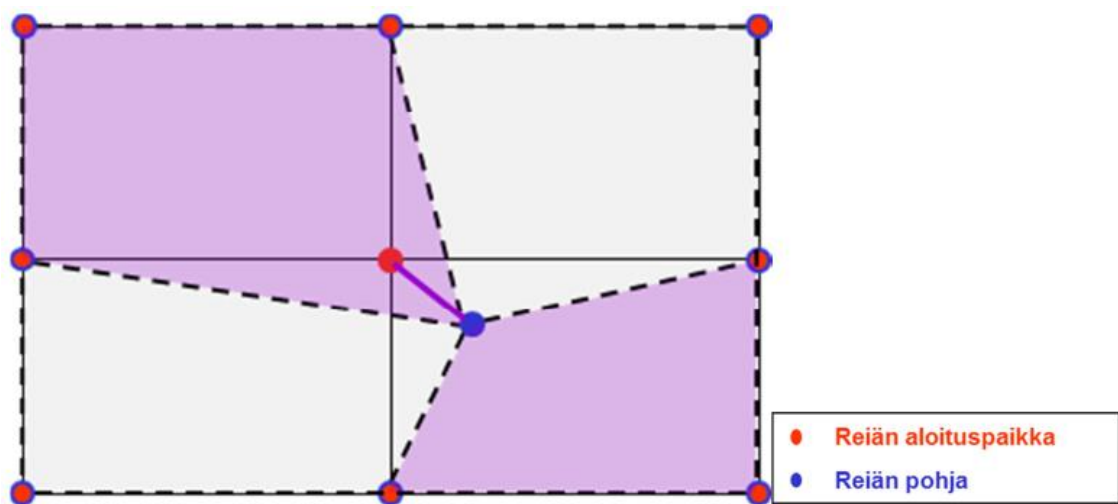
4.4.1 Kynsien muodostuminen

Reikäsuoruuksmittauksen ja GPS-mittauksen avulla saavutetaan jo merkittävää parannusta työturvallisuudessa ja kustannustehokkuudessa. Panostus voidaan suunnitella huolellisesti, kun tiedossa on reikien lähtö- sekä loppupisteet.

Reikien loppupisteet ovat merkittävässä roolissa louhittavan kentän pohjan tasaisuuden onnistumiselle. Vaikka reikien lähtöpisteet ovat poratun ruutukoon mukaisesti likimain vakio etäisyydellä toisistaan, ei tilannetta tiedetä kentän pohjalla, ilman reikäsuoruuksmittausta.

Taipuneiden ja väärän pituisten reikien johdosta väärin panostettu kenttä johtaa usein siihen, että kentän pohjalle jää kynsiä. Kynnet lisäävät koneiden liikkumiseen ja lastaukseen kuluvaa aikaa sekä ovat merkittävä kustannuksia nostava tekijä, kun niitä aletaan varoa tai louhia pois.

Kun porattu ruutu on kentän pohjalla kuvan 22 mukaisesti välillä isompi ja välillä pienempi (reikätaipuma), vaihtelee myös ominaispanostus vastaavasti. Ominaispanostuksen ollessa haluttua suurempi, rikkoutuu kivi enemmän sekä samalla syntyy enemmän ei-toivottua hienoainesta. Ominaispanostuksen ollessa pienempi, kivi kyllä yleensä irtoaa mutta louheesta tulee karkeampaa.



KUVA 22. Ruutukoko kentän pinnalla ja pohjalla (Salonen 2016).

Edun määrittäminen perustuu arvioon, mikäli rintausten skannaaminen jätetään tekemättä. Edun arviointia voi kuitenkin pitää suhteellisen sivistyneenä, kun tiedossa on reikäpaikka sekä reikätaipuma. Reikäsuoruuksimittauksesta saadaan taipuman suunta kolmiulotteisesti määritettyä, jonka avulla voidaan arvioida edun määrää eri reikäsyvyyksillä.

4.4.2 Edun määrittäminen

Reikäsuoruuksimittauksen ja rintausten skannauksen avulla voidaan määrittää louhittavan kentän etu. Edun tarkkaan määrittämiseen reikäkohtaisesti tarvitaan reikäpaikkojen paikkatieto, joka on mahdollista määrittää takymetrimittauksella. Laserkeilaimella tehty skannaus ei osaa asettaa rintausten pistepilveä oikealle etäisyydelle porareistä, mikäli porareian paikkatieto ei ole tiedossa.

Edun määrittämistä pidetään tärkeimpänä yksittäisenä tekijänä turvallisen louhinta prosessin läpiviennissä. Ensimmäisen reikärivin onnistunut panostus on perusta koko kentän räjäytykselle, koska se on heittosuuntaan ensimmäisenä, jolloin kivien sinkoilua on estämässä vain mahdolliset täkkäykset. Ensimmäisen reikärivin liian voimakas heitto/sinkoilu aikaansaa täkkäysmattojen lentämisen paikaltaan.

4.4.3 Lohkaroituminen

Malmeja louhittaessa kentät ovat usein suuria, poratut reiät pitkiä ja reikien räjähdysaine määrät suuria. Malmien louhinnassa korostuu kentän suunnittelu reikien pohjalle. Panostussuunnittelun pohjautuessa reikäsuoruuksimittauksen antamaan dataan, joka on tiedossa reiän eri syvyyksiltä, voidaan saavuttaa louheen paras mahdollinen lohkaroituminen. Ihanteellinen lohkaroituminen on malmin jatkokäsittelyn kannalta tärkeää.

Osa louheesta on työmaalle malmin jatkojalostuksen kannalta hyödytöntä, sivukiveä. Myös sivukivelle on tärkeä keksiä kustannustehokas käyttötarkoitus.

4.4.4 Edun määrittäminen ilman reikäsuoruumittausta

GPS-mittauksella ja rintausten skannauksella voidaan louhintatoleransseissa pysymisen lisäksi suunnitella porattava kenttä siten, että etu olisi sopiva. Porauksen onnistumista ei pystytä arvioimaan porareikien pohjalla. Reikäsuoruuuden arviointiin on mahdollista käyttää esimerkiksi taskulamppua.

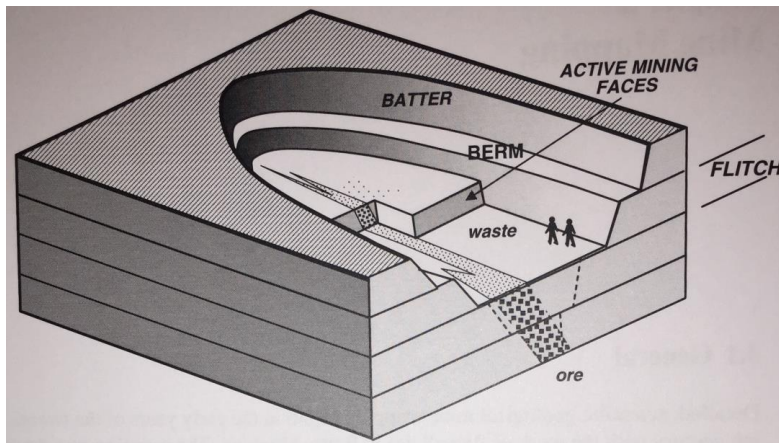
Tietokoneavusteiseen panostussuunnitteluohjelmaan mittausdata saadaan vietyä vain reikäsuoruumittalaitteilla. Kun käytössä on kalusto ilman reikäsuoruumittausta, yksi keino on jättää louhetta suojaksi rintausten alaosaan. Louhe on varotoimi siltä varalta, että etu porareikien alaosissa olisi reikätaipumasta johtuen pieni (reikätaipuma on havaittu taskulamulla olevan rintausten suuntaan). Louhesuojausta voidaan käyttää rintausten peitteinä myös tapauksissa, joissa reikäsuoruuus on mitattu ja etu on jäänyt hälyttävän pieneksi rintausten alaosassa.

4.4.5 Sivukiven louhinta

Tarkan paikannuksen ja hyvällä tutkimuksella aikaansaadun malmikartan avulla voidaan välttää sivukiven turhaa louhintaa. Sivukiven louhinnalla tarkoitetaan alueiden, joissa malmeja ei esiinny räjäyttämistä. Merkittävän kulun aiheuttaa turhan työn tekeminen. Malmisuonen louhinta on hyvin paikallista, jolloin kenttien suunnittelu on tarkempaa. Malmin louhinnassa alueella on suuri tarve mittapisteille. Ilman GPS-mittalaitetta mitaukset olisi suoritettava työläämmällä takymetrimittauksella.

Sivukiven louhinta on mahdollista minimoida, mutta sitä syntyy malminlouhinnassa kuvan 23 mukaisesti. Malmikarttaa vertaamalla voidaan louhintaa suorittaa siten, että malminio ja sivukivi räjäytetään eri kentissä. Näin voidaan minimoida jatkokäsittely ja kuljettaa sivukivi muualle ja malmiosta saatu louhe jatkokäsittelyyn, jolloin jatkokäsittely tehostuu.

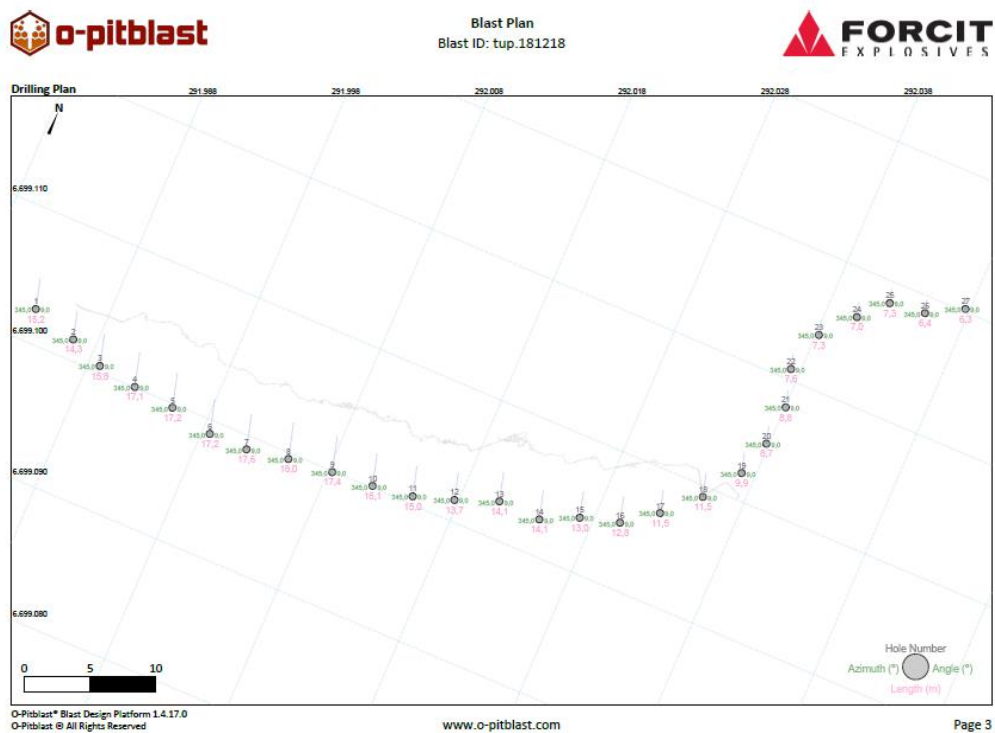
Malmisuonta louhittaessa sivukiven määrä voidaan minimoida tarkalla porauksella. Tarkka poraus mahdollistaa jyrkempien luiskien louhinnan. Jyrkät luiskat pienentävät sivukiven louhintaa ja helpottaa kenttien erottelua.



KUVA 23. Malmin (ore) louhinnassa syntyy aina sivukiven louhintaa (waste) (Marjoribanks 2007).

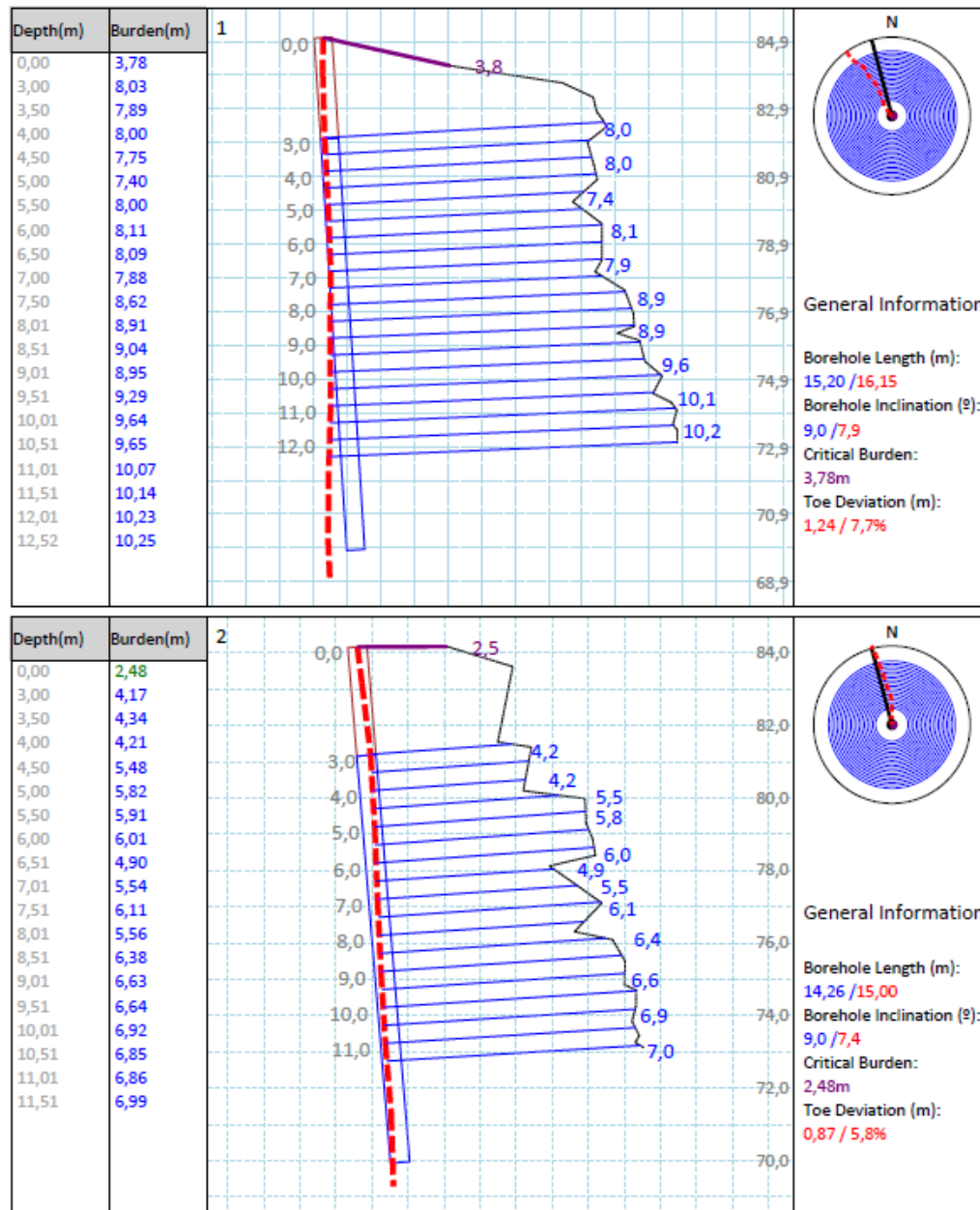
4.4.6 Kaikki vertailtava kalusto käytössä

Kun urakoitsijalla on kaikki vertailtava kalusto käytössä louhintatyön suorittamiseen, data kalliosta on merkittävä. Laitteista saatava data tukee toinen toistaan. Panostuksen tarkka suunnittelu on mahdollista, kun kalliosta on tiedossa: kallioperän laatu, reikäpi-tuus, etu ja reiän sijainti. Kuvasta 24 nähdään kentän ensimmäisen reikärivin reikien pi-tuudet sekä kuinka reiät asettuvat maastoon ja skannatun kallion rintaukseen.



KUVA 24. O-Pitblast mittausraportti (Jussi Kiviniemi).

Kuvassa 25 nähdään, kuinka kallion paksuus (etu) vaihtelee poratun reiän ja rintauksen välillä. Kuvan 25 datan saamiseen tietokoneelle tarvitaan mittapistet reiästä, rintauksen skannaus ja reiästä mitattu reikäsuoruus. Mitattu reikäsuoruus antaa mitat edulle reiän eri syvyyksillä.



KUVA 25. O-Pitblast mittausraportti, kuvan punainen viiva mallintaa porattua reikää (Jussi Kiviniemi).

4.5 Mittaustyön kustannukset

Tietävästi monissa yrityksissä on toimintamalli, että mittakalustoa ei ole yrityksellä paljoa, jolloin kalusto kiertää suuriakin matkoja mittauksia suorittavan henkilön mukana. Kustannukset muodostuvat mittalaitteiden hankintahinnoista, laitteiden huollosta ja kalibroinneista, matkakuluista sekä ohjelmistojen lisensseistä.

Reikäsuoritusmittauksia tekevät vain tietyt henkilöt, joten poissaolot aiheuttavat ongelmia. Mittalaitteiden helppokäyttöisyys nousee isoon rooliin, mikäli yritys haluaa enemmän osajia, jotka suorittavat mittauksia. Suurempi määrä osajia tekee työmaiden aikatauluttamisesta helpomman, kun kalusto ei ole enää niin henkilösidonnainen.

Mittalaitteiden hankintahinnan kuolettaminen työmailla vaatii aikaa. Kokonaishinnan kuolettamisen kannalta tärkeää on, että mittalaitteiden käyttöaste olisi korkea. Mittalaitteiden hankinta pienemmille yrityksille on suuri investointi. Kun louhintatöitä on yrityksellä vähän, mittaustöiden hankinta ostettuna palveluna on halvempi ratkaisu.

Uudet mittalaitteet vaativat opettelua ja huoltoa. Henkilöstön kouluttaminen aiheuttaa kustannuksia yritykselle. Laitteilla on määräajoin huoltoja ja esimerkiksi kalibrointeja. Reikäsuoritusmittauslaitteen kalibrointi tehdään kahden vuoden välein ja se maksaa sopimusehdoista riippuen noin 320 €. (Kiviniemi 2019.)

4.6 Kiven jatkokäsittely

Kallion irrotus ja louheen käsittely ovat peräkkäisiä, erillisiä prosesseja, mutta eivät toisistaan riippumattomia. Irrotetun louheen lohkarokoolla on suuri vaikutus louheen jatkokäsittelyyn. Käytössä olevalle kuormauskalustolle sopimattoman karkea louhe alentaa kuormaustehoa ja voi aiheuttaa ylimääräisen työvaiheen, ylisuurten lohkareiden rikotuksen. Monet louhijat säästävät irrotuskustannuksissa, mutta käyttävät säästetyn rahan monin kerroin kuormauksessa tai rikotuksessa. Suomalaisten louhintatyömaiden rikotuskalustona käytetään tavallisesti kaivinkoneen kaivuupuomiin asennettavaa hydraulista iskuvasaraa. (Vuolio & Halonen 2012, 177). Pökän mukaan he ovat tehneet vasarointitunneissa säästöjä reikäsuoritusmittalaitteiden investoinnin ansiosta (Pökkä 2019, Haastattelu liite 1).

Rintauksen skannauksen ansiosta poraussuunnitelmat on voitu suunnitella siten, että rintauksen etu on optimaalinen koko rintauksen matkalta. Tällöin rikotettavien kivien määrä on jäänyt huomattavasti vähäisemmäksi, minkä rahallista säästöä on vaikea tarkkaan arvioida. (Pökkä 2019, Haastattelu liite 1.)

Rikotuskustannusten suuruuteen vaikuttavat kuormauskaluston koko ja murskaimen kitaukon koko. Rikot aiheuttavat usein epäsuoria kustannuksia, kuten kuormauskoneen seisominen ja ylisuurten lohcareiden käsittelystä aiheutuvat laiterikot. Rikkojen esiintymistodennäköisyys kasvaa louheen lohcarekoon kasvaessa. (Vuolio & Halonen 2012, 181.)

Vaarattomammissa kohteissa halutaan usein syntyvän suurempaa heittoa. Louhe on kuohkeampaa kuormattavaksi. Jos samalla lohcarekokokin hieman pienenee, se helpottaa kuormausta. (Jääskeläinen 2010, 217). Heitto kasvaa ja lohcarekoko pienenee, kun räjäytyksen ominaispanostusta nostetaan.

4.7 Mittapalvelut aliurakoitsijalta

Kaikilla louhintoja suorittavilla yrityksillä ei ole käytössä omaa mittalaittekalustoa. Louhintakohteen antaessa vaateet mittausten suorittamiseen on mittapalvelut tilattava yritykseltä, joka näitä tarjoaa. Pökkä kertoo, että edustamansa yrityksen (Louhintaliike Ylimäki Oy) mittalaitteet ovat käytössä sekä omilla, että tilauksesta asiakkaiden työmailla. Asiakkaille tehtyjen mittausten osuus on noin 25% kalustolla vuosittain tehtävistä mittauksista. (Pökkä 2019, Haastattelu liite 1.)

4.7.1 Aikataulu

Mittapalveluiden teettäminen aliurakoitsijalla vaatii työnjohdolta huolellista aikatauluttamista. Kenttä on oltava valmiina mittaajien saapuessa, jotta turha odottelu ei aiheuta ylimääräisiä kustannuksia.

Aliurakoitsijan tilaaminen on hyvä suorittaa hyvissä ajoin, jotta voidaan varmistaa heidän pääseminen paikalle työmaan haluamana ajankohtana. Pökkä kertoo työtilanteen vaikuttavan aikatauluun. Hän kertoo myös, että mittauksia voidaan lähteä suorittamaan tapauskohtaisesti hetikin, jolloin mittauksien tulokset on parhaimmillaan saatavissa muutamassa tunnissa. (Pökkä 2019, Haastattelu liite 1.)

4.7.2 Kustannukset

Pökkä kertoo, että heidän mittaukset sisältävät aina rintauksen skannauksen sekä reikäsuoritusmittauksen. Hinnan muodostumiseen vaikuttaa myös louhittavan kohteen koko. Hinta tilaajalle, jossa yritys hoitaa kaiken mittauksesta dokumentointiin on noin 550 €, alv 0% + matkakulut. (Pökkä 2019, Haastattelu liite 1.)

Pökkä kertoo, että heidän yrityksessään on erilaisia louhintakohteita noin 60 vuodessa, joista 25:ssä on käytetty reikäsuoritusmittausta. Mittauskalustoa käytetään siis noin 40-50 % työkohteista. Yritys kokee mittalaitteiden hankinnan olleen yritykselle hyvä investointi. (Liite 1, Haastattelu A. Pökkä). Mittalaitteiden hankintahinta on aktiivisessa käytössä maksettu takaisin hyvin nopeasti verrattaessa tilanteeseen, jossa mittaukset tilattaisiin aliurakoitsijalta.

4.7.3 Työssä kehittyminen

Yrityksen hankittua oma mittauskalusto porarit ovat ensimmäistä kertaa pystyneet reagoimaan poraukseen, siitä saatavan datan ansiosta. Porareiden ammattitaito on kehittynyt. Mittausdatan ansiosta tietyissä avolouhoskohteissa tiedetään porauksen taipuvan voimakkaasti tietyllä syvyydellä, jolloin porari on pystynyt reagoimaan siihen jo porausvaiheessa. (Pökkä 2019, Haastattelu liite 1.)

Yritys, joka tilaa reikäsuoritusmittauksen aliurakoitsijalta ei varmasti saa porareille samaa palautetta tehdystä työstä. Työssä kehittyminen jää vähäisemmäksi harvemmin suoritettujen reikäsuoritusmittauksien ja palautteen puutteellisuuden takia. Porarin kehittyminen aikaansa pitkässä juoksussa merkittäviä kustannussäästöjä kaluston kestävyys ja työ-

vaiheissa ja sitä kautta kokonaisprosessin onnistumisen muodossa. Porakalusto on huomattavan paljon kovemalla rasituksella kokemattoman porarin käytössä. Avolouhinnassa lopputuloksen onnistumisen merkittävin yksittäinen työvaihe on poraaminen.

5 REIKÄSUORUUSMITTAUSLAITTEIDEN VERTAILU

Reikäsuoruuksmittauslaitteet voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään. Toinen ryhmä koostuu eri valmistajien manuaalisista reikäsuoruuksmittauslaitteista ja toinen Robitin valmistamasta S Sensestä.

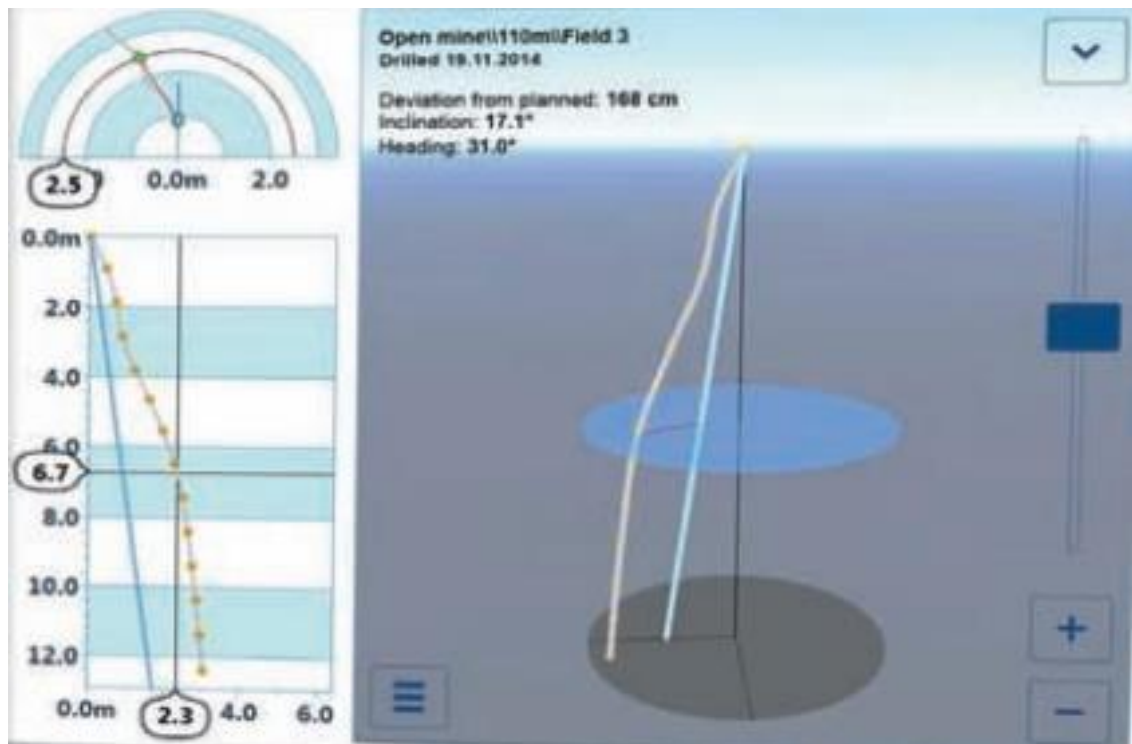
5.1 Nykypäivän laitteet

Reikäsuoruuksmittauslaitteet kehittyvät langattoman tiedonsiirron ja reaaliaikaisen työntarkkailun suuntaan. Laitteissa korostuvia kriteerejä ovat käytettävyys, tiedonsiirron helppous, mittatarkkuus ja kustannukset.

5.1.1 Robit M Sense

M Sense on Robit Plc:n valmistama manuaalinen reikäsuoruuksmittauslaite. M Sensellä mitattu data siirtyy mittauksen jälkeen pilvipalveluun, jota on mahdollista tarkastella välittömästi mittauksen jälkeen etänä. M Sensen etu on mittatuloksen tarkastelu mittauksen jälkeen suurelta tabletin kosketusnäytöltä, josta myös mittausprosessia ohjataan.

Tabletin näytöltä nähtävä mittatieto on hyvin havainnollisessa muodossa, jolloin myös laitteista vähemmän ymmärtävä saa kattavan informaation mittaustuloksesta (kuva 26). Mittaustuloksen esitys on selkeä ja informatiivinen.



KUVA 26. Sense reikätaipuman havainnollinen esitys (Robit).

5.1.2 Robit S Sense

S Sense on Robitin luoma mittalaite, joka asennetaan poravaunuun. Porauksen jälkeen, porakruunu nostetaan reiästä ylös. Nostovaiheessa S Sense suorittaa reikäsuoritusmittauksen. Mittaus tapahtuu reiän pohjalla sekä kankiletkaa nostaessa aina kangen vaihtumisen kohdalla.

S Senseä voidaan käyttää yli 70 mm porareikien poraukseen. Mittalaite toimii kaikissa kivilajeissa ja sen suorittamaa mittaustulosta voidaan tarkastella heti porarin käytössä oleva tabletilla sekä pilvipalvelusta etänä.

Porausvaiheessa porattava kenttä ei ole aina puhdas. Porattavalla alustalla voi olla kerros kuormauksessa tasolle jäänyttä hienojakoista louhetta, hiekkaa tai pintavesiä, mistä johtuen porareian auki pysyminen on haaste. Porareian auki pysyminen on tärkeää tehtäessä porareikään reikäsuoritusmittaus manuaalisesti. Käytettäessä S Senseä reikäsuoritusmittaus tulee tehtyä jo porakruunun nostovaiheessa, jolloin porareikä ei ole mahdollisesti osin tukkeutunut. Reikien on oltava puhtaita myös panostuksen alkaessa.

Porattava kenttä on erityisen tärkeää puhdistaa hyvin, jos on vaara, että voidaan porata vanhaan panostettuun reikään. Reikiin on voinut jäädä räjähtämättömiä räjähdysaineita. Louhittaessa pengerlouhintana useammassa kerroksessa, ei kenttää aina puhdisteta kallion pinnalta niin tarkkaan. Räjätystyönjohtaja arvioi pintojen tarkemman puhdistuksen tarpeen ja suojaetäisyyden siten, että mahdollinen vanhaan panokseen poraaminen ei saata työntekijöitä vaaraan. (Vuento & Pinomäki 2017.)

Porausvirheet noudattelevat usein tiettyä taipumusta, jossa virhe on tiettyyn suuntaan ja samankaltainen. Yksittäisessä kohteessa on esimerkiksi huomattu, että ”oranssin vaunun reiät taipuvat eteen ja keltaisen vasemmalle”. (Salonen 2016, 3). Palaute on avain kehittämiseen omassa työssä. Porarin on helpompi ymmärtää työvaiheensa vaikutus kokonaisprosessiin, kun myös hän näkee taipumamittauksen tuloksen. Hänellä on mahdollisuus ymmärtää oman työsuorituksen vaikutus muihin työvaiheisiin.

Reiän pituus on suurempi kuin penkereen korkeus johtuen reikien kallistuksesta ja ohiporauksesta. Kallistamalla reikiä saavutetaan pohjien kunnollinen irtoaminen. Ohiporauksen käyttö takaa sen, että kallio leikkautuu likipitään halutun louhintaprofiilin mukaisesti (Vuolio & Halonen 2017, 105–111). Kynsiä syntyy, kun ohiporaus ei ole riittävää tai taipumat suuria. Ylimääräinen ohiporaaminen on turhaa ja maksaa, joten porauksen on oltava kustannustehokasta.

Pohjan tasaisuus kertoo hyvin paljon porauksen onnistumisesta. Kokematon porari tarvitsee enemmän mittalaitteita, saadakseen hyvän lopputuloksen. Kynnet lisäävät merkittävästi kustannuksia, koska lastaus vaikeutuu, kynsiä pitää räjäyttää tai vasaroida ja aikaa kuluu enemmän koneiden liikkumiseen. S Senseä käytettäessä porauksesta saatava välitön palaute helpottaa porausvirheen välttämistä seuraavassa reiässä.

S Senseen antama reikäkohtainen palaute saa porarin pohtimaan muutoksia omassa toiminnassa. Ajatus toiminnan muuttamisesta ilman tietoa siitä, mitä kallion sisällä tapahtuu, vaatii porarilta merkittävän paljon ammattitaitoa (kuva 27). Ilman palautetta porausvirheestä, porari voi porata monta virheellistä reikää, jotka vaikeuttavat tulevia työvaiheita. Virheellinen poraus voi johtaa myös siihen, että reiät on porattava uudelleen.

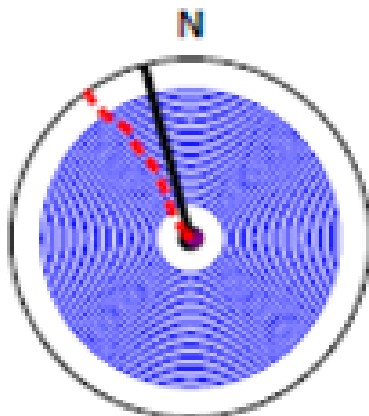


KUVA 27. Reikäsuoruuksmittaus antaa tietoa kalliopinnan alta (Robit).

5.1.3 Transtronic Pulsar/Nomad

Kolmas vertailtava mittalaite oli Transtronicin valmistama manuaalinen reikäsuoruuksmittauslaite. Mittalaitetta ohjataan kosketusnäytön avulla. Näytön pienen koon vuoksi hallinnointi on helpointa suorittaa mittalaitteen mukana kulkevan kynän avulla. Kosketusnäyttö toimii myös sormella, mutta näppäilyvirheiden määrä nousee silloin merkittävästi. (Kiviniemi 2019.)

Mittalaitteesta saatavaa mittaustulosta voi tarkastella näytöltä mittauksen jälkeen. Näytöllä taipuma näkyy bullseye-näkymässä, jossa 3D-mittaustulos esitetään 2D-näkymässä (kuva 29). Näytön mittaustulos ei ole kovin havainnollinen.



KUVA 29. Esimerkki bullseye-näkymästä (Robit).

Laitetta harvoin käyttävä voi kokea käytön haastavaksi. Laitteessa on mittausvaiheessa tiettyjä ulkoa muistettavia toimintatapoja, joiden unohtaminen harvoin laitetta käyttävälle on mahdollista. Rakennusinsinööri Jussi Kiviniemi kertoo haastattelussa, että erityisesti kämmentietokoneen (ohjausyksikön) käyttö sekä mittauksen suorittamiseen liittyvät toiminnot vaativat harjaantumista laitteisiin. (Kiviniemi 2019).

5.2 M Sense vs S Sense

S Sense on reikäsuoruuksmittausta muuttava menetelmä, jolla henkilöresursseja voidaan vapauttaa. Molemmat mittalaitteet pohjautuvat samaan käyttöliittymään, mikä mahdollistaa laitteiden käytön ristiin ilman opiskelua ja ongelmaa yhteensovittamisesta.

Hankintahinnaltaan halvempi M Sense on erityisesti vähemmässä käytössä kustannustehokkaampi. M Sense kalusto on myös helpommin liikutettava. Mittauksia voidaan käydä suorittamassa muillakin työmailla helposti, jolloin mittalaitteen käyttöastetta voidaan parantaa.

5.2.1 Kustannus

Hankintahinnan hintaero ei ole työmaan kannalta merkittävä. S Sense kalustossa on kuluvia osia (adapterit/loggerit), joiden säännöllinen uusiminen nostaa käyttökustannuksia porametriä kohti.

S Sense kaluston kuluvia osia on valmistettu toistaiseksi vain pienissä erissä, jolloin porametri kohtaisia kustannuksia on vaikea laskea. Pienten erien valmistuksesta johtuen kulusosien kestoissa on ollut vaihtelua, mikä tekee vertailusta vaikean.

S Sense kaluston kalliimpi mittaushinta säästetään työmaakohtaisesti vähempänä henkilötuntityönä työmaalla. Manuaalisia reikäsuoruuksmittauksia suorittavan henkilön palkka ja matkakulut nousevat merkittäviksi kohteissa, joissa taipumamittauksia tehdään usein. Yhteen reikäriiviin S Sensellä toteutettu mittaus on ulkoista mittauksia halvempi (Kiviniemi 2019).

5.2.2 Käytettävyys

Porarit omaksuivat nopeasti S Senseä käytön ja kehuivat sitä havainnollistavaksi ja helpokäyttöiseksi. Kosketusnäytön käyttö koettiin luontevaksi. Tabletin valikot kerrottiin olevan selkeitä ja johdonmukaisia. (Kiviniemi 2019.)

5.2.3 Aikataulu

S Senseä käytettäessä yhteen reikää kuluu keskimäärin hieman enemmän aikaa. Poraukseen käytettävä aika ei ole merkittävä lisä ajateltaessa hyötyä, kun työmaalle ei tarvitse tulla suorittamaan erikseen manuaalista reikäsuoritusmittausta. (Kiviniemi 2019.)

Rintauksen skannaus on tehtävä S Senseä käyttämisestä huolimatta, kun halutaan selvittää etu. Yrityksillä reikäsuoritusmittauslaitteet ja laserkeilaimet kulkevat usein samoilla työmailla yhdessä. S Sense kalustoa käytettäessä vaihtoehtoisella menetelmällä, esimerkiksi fotogrammetrialla suoritettujen rintauksen skannauksen tarve korostuu. (Kiviniemi 2019.)

5.3 M Sense vs Transtronic

Hankintahinnaltaan laitteet ovat lähes samanhintaisia. Manuaalisten reikäsuoritusmittauslaitteiden hinnat vaihtelevat asiakkaiden sopimusten mukaan. Niiden hankintahinta on noin 15 000 €. (Kiviniemi 2019.)

Transtronicin ohjausyksikön näyttö on paljon pienempi kuin M Senseä. Pienempi näyttö on työn suorittamiseen aivan riittävä. Mittaustuloksen arviointi ohjausyksikön näytöltä on kuitenkin helpompaa suuremmalta näytöltä, mikä korostuu tilanteissa, jossa reikätaipumaa halutaan tarkastella jo kentällä. (Kiviniemi 2019.)

Uuden kentän porauksessa porari voi porata muutaman reiän ja mitata tämän jälkeen reikäsuoritukset M Senseä itse. Välittömästi mittauksen jälkeen hän voi tarkastella porausvirheen muodostumista ja tehdä muutoksia kentän seuraavien reikien poraukseen. Porarilla on aikaa suorittaa mittauksia porattuihin reikiin poravaunun poratessa itsenäisesti

uusia reikiä. Sandvikin TIM3D-koneohjausjärjestelmällä varustettu poravaunu poraa itsenäisesti ne poraussuunnitelman reiät, joihin asemoidusta paikastaan ylittää.

Työmailla ei ole vielä menty toimintatapaan, jossa porari suorittaa itse reikäsuoritusmittauksia porauksen aikana. Kiviniemi kertoo haastattelussa, että M Sensellä suoritettu mitauskokemus on loogisempi ja sen käyttö on nopea oppia. (Kiviniemi 2019.)

Reikäsuoritusmittalaitteiden mukana tulee kosketusnäytön ohjaamista varten kynä. Kynä mahdollistaa viileällä säällä kosketusnäytön hallinnoinnin myös hanskat kädessä. Kynän avulla näytön hallinnointi nopeutuu ja tarkentuu.

Vertausmittauksessa laitteiden välillä piirtyi samanlaiset kuvat eli 10 toiston mittauksessa laitekohtaisia eroja ei syntynyt ja molempien mittalaitteiden tarkkuus oli hyvä. Vertausmittauksessa oli mukana M Sense, Transtronic ja S Sense. (Kiviniemi 2019.)

Mittauksen suorittamiseen kuluva aika eri laitteiden välillä ei ole merkittävä. Erityisesti ammattitaitoinen henkilö suorittaa mittaukset eri laitteilla yhtä nopeasti. Kiviniemi kertoo haastattelussaan, että M Senseä on uuden käyttäjän nopeampi opetella käyttämään. (Kiviniemi 2019.)

5.4 Vaihtoehtoiset metodit reikätaipuman arviointiin

Poratun reiän reikäsuorutusta on mahdollista arvioida käyttämällä mittatarkkojen mittalaitteiden sijaan vaihtoehtoisia tapoja. Reikätaipuma on arvio, joten panostussuunnittelua ei luonnollisesti ole mahdollista tehdä niin tarkasti verrattaessa mittatarkkaan dataan, joka on saatu reikäsuoritusmittauslaitteella.

5.4.1 Taskulamppu

Reikätaipuman arviointi taskulampulla tapahtuu siten, että taskulamppu kiinnitetään naruun (valokeila osoittamaan ylöspäin). Taskulamppua aletaan laskea porattuun reikään ja samalla seurataan valokeilaa. Taipuneessa reiässä valokeila alkaa mennä laskettaessa piiloon. Valokeilan avulla voidaan arvioida, kuinka porattu reikä on taipunut.

Visuaalisen havainnoinnin pohjalta panostusta muutetaan, mikäli sille on tarvetta tai suoritetaan lisämittauksia. Taskulampulla tehtävää arviointia voi käyttää myös ennakoivana tarkastuksena, jonka pohjalta louhintatyönjohtaja päättää mitataanko reikätaipuma mittalaitteella.

5.4.2 Bambukeppi

Tiettävästi Aasiassa paljonkin käytettävä menetelmä, jossa bambukeppi työnnetään porattuun reikään. Kepin vaivattomasta liikkeestä arvioidaan poratun reiän suora osuus. Kepin tunkeutumisen vaikeutuessa arvioidaan reiän taipuman voimakkuutta ja suuntaa. Materiaalina bambu toimii käyttötarkoitukseen hyvin, koska se on taipuisaa ja kestävä. (Sokka 2019.)

6 POHDINTA

Louhintatyö on muun rakennusalan tapaan hyvin konservatiivinen. Vanhoista toimintatavoista pyritään pitämään kiinni eikä muutoksia oteta helposti vastaan. Työmaamittausten asema työmailla on viime vuosina noussut merkittävästi, mutta todellinen läpimurto odottaa tulevaisuudessa. Mittalaitteiden ja tietokoneohjelmien kehittyminen ja niiden eri sovellukset muuttavat alan toimintaa teknologisempaan suuntaan. Työmaamittausten läpimurto on saavuttamatta vielä niin urakoitsijan, viranomaisten kuin tilaajankin osalta.

6.1 Tilaaja

Esimerkiksi tilaaja A ei anna panostuslupaa ennen kuin kentän reikäsuoruudet on mitattu ja rintausta skannattu. Vaatimus mittauksista on siis tilaajan puolelta ehdoton, mutta luonnollisesti he myös maksavat urakoitsijalle suoritetuista mittauksista. Tilaaja voi ohjata mittalaitteiden käyttöön jo kilpailutusvaiheessa, jolloin urakoitsijan on laskettava mitausten aiheuttamat kustannukset urakan kokonaishintaan.

Osalla tilaajista on asenne, että tarkempia mittauksia kentästä vaaditaan yrityksiltä, joilla tiedetään olevan kalusto mitausten suorittamiseen. Tilanteissa, jossa louhintoja suorittavalla yrityksellä ei ole omaa mittalaittekalustoa käytössä, on kynnys mitausten vaatimukselle suurempi. Kohtelu pitäisi olla kaikkia kohtaan sama.

Tilaaja voi vaatia, missä laajuudessa kentän reikien taipumat mitataan. Tilaaja voi antaa esimerkiksi vaatimuksen, että kentän kaksi ensimmäistä reikäriiviä mitataan, vaikka työmaapäällikkö olisi arvioinut tarpeelliseksi vain ensimmäisen reikäriivin taipumamittaukset.

Tulevaisuudessa työmaamittausten vaatimus tilaajien ja viranomaisten suunnalta on todennäköisesti nousussa. Mahdollisesti myöhemmin jopa pakollista. Urakoitsijat, jotka ovat jo nyt ottaneet mittalaitteet osaksi omaa toimintaansa ovat etulyöntiasemassa, kun kysyntä mittauksille nousee. Yritykset ovat oppineet käyttämään laitteita osana toimintaa ja osaavat hyödyntää niistä saatavaa dataa kattavasti.

6.2 Globaali näkökulma

Pohjoismaissa on rakennusalalla jo pitkään korostettu työn turvallista toteuttamista todella paljon. Vähemmän kehittyneissä valtioissa rakennusalan työturvallisuus on vielä melko vieras käsite. Osa ajattelee asiaa vasta onnettomuuden sattuessa, eikä ennalta ehkäisevänä toimenpiteenä.

Kehittyneiden mittalaitteiden käyttö on odotettavasti vielä usean vuoden ajan vähäistä maissa, joissa ihmistyön kustannukset ovat pienet suhteessa käytettävään kalustoon. Työn tuottavuuden kehittämisen myyminen tällaisiin kohteisiin on vaikeaa, kun vaihtoehtona on nostaa työvoiman määrää, mikä ei nosta kuluja merkittävästi.

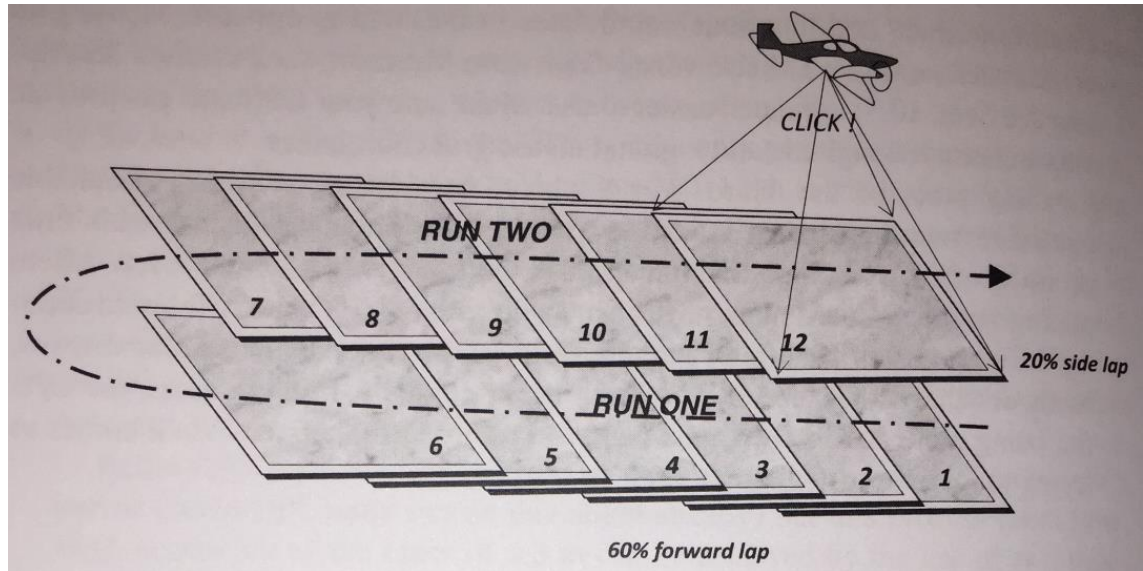
Kaivosyhtiöt ovat pääasiassa kansainvälisiä. Tekniikat hyvinkin samoja eri maissa, mutta käytettävä kalusto vaihtelee. Amerikassa on hyvin paljon vanhaa isoa kalustoa, porattavat reiät ovat myös isoja, kun taas pohjoismaissa käytetään paljon kehittyneempää kalustoa. Kaivoksen luonne ja sijainti ohjaavat kaluston valintaa. Kauempana asutuksesta sijaitsevilla kaivoksilla on mahdollista louhia suurempia kenttiä ja käyttää suurempia räjähdemääriä, koska ympäristökijät eivät aiheuta samoissa määrin ongelmia.

6.3 Tulevaisuus

Työturvallisuus on asia, minkä merkitys koko maailmassa vain nousee. Siitä ei tulla tinkimään alaspäin. Ihmisten asenteet ovat muuttuneet suuntaan, jossa työn tilaajat, työtä tekevät ja kolmannet osapuolet arvostavat turvallisesti toteutettua työtä. Työntekijät ja tilaajat osaavat myös vaatia työturvallisesti toteutettavaa työtä urakoitsijalta/työnantajalta. Turvallisesti toteutettu työ näkyy kustannussäästöissä sairaspöissaoloissa ja hoidoissa sekä hyvänä maineena ulospäin. Työn lähtökohta pitää olla työmaalta kotiin poistuminen terveenä.

Varsinkin isommilla työmailla tehdään paljon drone lentoja työmaan ohjaamisen tukemiseksi. Näiden lentojen kuvauksella, fotogrammetrialla, luodun pistepilvimallin hyödyntäminen massalaskennassa on jo tätä päivää. Kuvan 30 mukaisesti ilmakuvien sivupeiton on oltava vähintään 20 % ja pituuspeiton 60 % (Marjoribanks 2007, 25–30). Drone

kuvauksen hyödyntäminen rintauksen skannaukseen olisi toivottu ominaisuus avolouhintakohteisiin. Rintauksen skannausta ei tarvitsisi tulla erikseen työmaalle mittaamaan. Eri-tyisesti S Sense kaluston kanssa yhdistettynä toiminto olisi loistava, sillä reikäsuoruuksmittaus ja rintauksen skannaus sekä niiden avulla määritetty etu saataisiin ilman erillistä työvaihetta.



KUVA 30. Fotogrammetria kuvauksella saatavan pistepilvimallin tarkkuus paranee kuvien määrän kasvaessa (Marjoribanks 2007).

Ilmalentojen kuvauksen kustannukset perustuvat kuvaussarjoihin. Esimerkiksi Propellerin pilvipohjaisessa palvelussa yhden kuvaussarjan hinta sisältää enimmillään tuhannen kuvan mittauksen. Mittaustarkkuutta voidaan parantaa madaltamalla lentokorkeutta ja lisäämällä kuvien määrää (kuvien keskinäinen peitto paranee). Mittaustulosta voitaisiin parantaa kaksinkertaiseksi, kun käytössä olisi drone, jossa olisi kaksi 2D-kameraa. Kahden 2D-kameran ottama yksittäinen kuva on jo kolmiulotteinen. Propeller palvelussa tuhannen kuvan kuvasarja maksaa noin 150 €. Kahden tai useamman kameran tekniikalla voitaisi pienentää mittauskustannuksia pistepilvimallin laadusta tinkimättä.

Laserkeilain on todella tarkka mittausmenetelmä rintauksen skannaukseen. Kentän edun määrittämisen tarkkuudeksi riittäisi helposti noin 10 cm tarkkuus, koska suuri tarkkuus ei merkittävästi lisää työturvallisuutta. Rintauksen skannaamiseen riittäisi, jokin epätarkempikin mittaustapa esimerkiksi tulevaisuudessa fotogrammetriaan perustuva drone mittaus.

6.4 Työssä onnistuminen

Porarit toimivat usein urakkapalkalla, mikä saattaa tietyissä tilanteissa heikentää porauksen laatua. Porausta suoritetaan suurella teholla, jolloin taipumia syntyy herkemmin. Porausten urakkapalkan sitominen porausvirheen maksimaaliseen raja-arvoon olisi kokonaisprosessin kannalta erittäin merkityksellinen.

Työmaalla, jossa poraus on aliurakoitsijan ainoa kokonaisprosessin vaihe, vaaditaan poraukselta herkemmin laadun todentamista. Lähtökohtaisesti porausvirhettä syntyy vähemmän, kun porauksen suorittavalla toimijalla on myös myöhempiä työvaiheita työmaalla. Heikosti suoritettu poraus heijastuu kokonaisprosessin muissa vaiheissa, minkä takia valveutunut tilaaja vaatii vain porauksen suorittaneelta aliurakoitsijalta mittalaittein todennettua laatua.

Kentän takaseinän mahdollisimman vähäinen rikkoutuminen on tärkeä saavuttaa (seuraavan kentän rintauksen tai valmiin kalliopinnan rakoilun minimoimiseksi). Mahdollisuus hyvään lopputulokseen saavutetaan patruroidulla räjähdysaineella, ja riittävällä nallituksen aikavälillä. Vähäinen rikkoutuminen helpottaa jatkolouhintaa tai jatkokäsittelyä (esimerkiksi rusnausta ja lujittamista).

Raportoinnin, mittalaitteiden ja käytettävien tietokoneohjelmien ollessa toimintavarmoja, helppokäyttöisiä ja laadukkaita luodaan mahdollisuus kehittymiselle louhinnan kokonaisprosessissa. Pienten palasten laatu ja kehittyminen ajavat kokonaisvaltaista kehittymistä eteenpäin.

Työn laadukkaan ja selkeän raportoinnin merkitys kasvaa tulevaisuudessa, ja isoissa hankkeissa se on jo tätä päivää. Tiedonsiirtoa tarvitsee tehdä monelle eri käyttäjälle ja taholle, jolloin raportointi saattaa unohtua tai tietoa ajautuu henkilöille, jotka sillä eivät mitään tee. Tiedot kokoava pilvipalvelu tai ohjelma kokoaa tarvittavat tiedot yhteen paikkaan, josta tietoja tarvitseva voi ne helposti poimia.

Murskaamon antama palaute ja laaduntarkkailu ovat tärkeitä kokonaisprosessin tuottavuuden kehittämisen kannalta. Työmailla puhutaan, että louhintatyön ja murskauksen suorittavat henkilöt eivät kommunikoi riittävästi. Hyvä kommunikointi mahdollistaa palautteen avulla kehittymisen ja siten kokonaisprosessin tuottavuuden parantamisen. Louhintatyön suorittajan voi olla vaikea ymmärtää mittalaitteesta saatua hyötyä, jos hän ei

ajattele louheen kuormausta ja kuljetusta myöhempiä työvaiheita. Kommunikoinnin parantuminen tulisi lähteä tiedottamisesta, jolla parannettaisiin tietoutta työvaiheiden merkityksestä suhteessa kokonaisprosessiin. Mittaustulokset vaivattomasti yhdistävä kokonaisuus tulee muuttamaan louhintaprosessin suunnittelua tulevaisuudessa merkittävästi tehokkaammaksi.

Mittalaitteiden avulla tehtävät säästöt ovat työmaakohtaisia ja vaikeasti yleistettäviä. Lopputulos on se, että mittalaitteilla luodaan louhintatyön turvalliseen ja kustannustehokkaaseen onnistumiseen vahvat edellytykset.

LÄHTEET

- Aamulehti, 27.2.2019. Maa järisi Valkeakoskella, syynä oli louhosräjäytys.
- Aamulehti, 21.1.2019. Kairaus tuo euroja maasta.
- Bauer, F. 2007. Optimisation of the drill and blast work in the open pit Rabenwald mine of Rio Tinto Minerals.
<https://pure.unileoben.ac.at/portal/files/2279243/AC05859293n01vt.pdf>
- Demokraatti. 2018. 8 puolueelta yhteiset ilmastolinjaukset.
<https://demokraatti.fi/8-puolueelta-yhteiset-ilmastolinjaukset-sanna-marin-paperi-on-kunnianhimoisempi-kuin-itse-osasin-toivoa/>
- Finlex. 2011. Valtioneuvoston asetus räjäytys- ja louhintatyön turvallisuudesta. 644/2011.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110644>
- Forcit. Ruutiset 02-2015.
https://issuu.com/forcitgroup/docs/ruutiset_0215
- Gransell, F. 2016. Student thesis, Master degree. Decision analysis: determining the most appropriate drilling method for production drilling in underground mining.
<http://hig.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A974196&dswid=3742>
- Geologian tutkimuskeskus. Geologiset luonnonvarat. Kalliokiviaines.
<http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/kalliokiviaines/>
- Geotrim. Laserkeilausjärjestelmät.
<https://www.geotrim.fi/laserkeilaus>
- Herbert, N. & Day, D. 2010. Moving the Earth, the workbook of excavation. Sixth edition.
- Iltalehti. 2019. Räjäytysuojaukset pettivät Espoossa – Porsche Centerin työmaan maat iskivät päin vieressä ollutta pesukatua.
<https://www.iltalehti.fi/kotimaa/a/19844fb4-5bac-49e4-8316-ec72d0107cc9>
- InfraRYL maa-, pohja-, ja kalliorakenteet. 2018. Rakennustieto Oy.
- Jääskeläinen, R. 2010. Maarakennuksen ja louhinnan perusteet. 1. painos. Tammertekniikka Oy.
- Jääskeläinen, R. 2011. Geotekniikan perusteet. 3. Painos. Tammertekniikka Oy.
- Kaiva. Vastuullinen toiminta. Ympäristövaikutukset.
<https://kaiva.fi/vastuullinen-toiminta/ymparistovaikutukset/#up>
- Kaivannaisala. Kaivostoiminta.
<https://kaiva.fi/kaivannaisala/>

- Kaivosteollisuus. 2018. Tutkimus: Kaivokset kasvattavat Suomen bkt:tä 1,2 miljardilla. <https://www.kaivosteollisuus.fi/uutiset/tutkimus-kaivokset-kasvattavat-suomen-bktt%C3%A4-12-miljardilla>
- Kaivosteollisuus. 2019. Suomalainen kaivosteollisuus on globaali edelläkävijä. <https://www.kaivosteollisuus.fi/uutiset/suomalainen-kaivosteollisuus-globaali-edell%C3%A4k%C3%A4vij%C3%A4>
- Kiviniemi, J. Rakennustekniikan insinööri. YIT Suomi Oy. 2019. Haastattelu 21.1..2019. Haastattelija Liukko, E. Lempäälä
- Marjoribanks, R. 2007. Geological Methods in Mineral Exploration and Mining. Second edition.
- Mattila, H. 2018. Louhintakenttien tietokoneavusteisessa suunnittelussa käytettävien ohjelmien käyttö ja yhteensovitus. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018120419946>
- Peltola, J. Toimitusjohtaja. Suomen Räjätyslouhinta Oy. 2019. Haastattelu 25.3.2019. Haastattelija Liukko, E. Puhelinhaastattelu.
- ProKaivos. Aineistot & julkaisut. <http://www.prokaivos.fi/kaivosteollisuus-ry/lisatietoa/>
- Pökkä, A. Infra-insinööri. Louhintaliike Ylimäki Oy. 2019. Haastattelu 17.1.2019. Haastattelija Liukko, E. Sähköpostihaastattelu.
- Rantamäki, M., Jääskeläinen, R. & Tammirinne, M. 2006. Geotekniikka 21. painos. Ota-tieto Oy.
- RIL 154-1 Tunneli- ja kalliorakennus 1. 1987. Suomen rakennusinsinöörien Liitto.
- RIL 154-2 Tunneli- ja kalliorakennus 2. 1987. Suomen rakennusinsinöörien Liitto.
- Robit. 2017. Markkinakatsaus. <https://www.robitgroup.com/?investor=markkinakatsaus>
- Rock Fragmentation 2019, O-Pitblast. <https://www.o-pitblast.com/rock-fragmentation-kuz-ram-model/>
- Ruotsalainen E. 2010. Louhintatekniikan kehittäminen talvivaaran kaivoksella. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Savonia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201005129111>
- Salonen, J. Diplomi-insinööri, ylipanostaja, louhintatekninen asiantuntija/koulutuspäällikkö. Finnrock Oy. 2019. Haastattelu 11.2.2019. Haastattelija Liukko, E. Tampere.
- Salonen, J. 2016. Porauksen optimointi satelliittipaikannuksen ja porauksensuunnitteluohjelmien avulla mursketuotannossa. <https://docplayer.fi/14067932-21-1-2016-jouko-salonen-porauksen-optimointi-satelliittipaikannuksen-ja-porauksensuunnitteluohjelmien-avulla-mursketuotannossa.html>

Sokka, J. Global R&D Manager. Robit Plc. 2019. Haastattelu 21.1.2019. Haastattelija Liukko, E. Lempäälä.

Suomen luonnonsuojeluliitto. Kaivostavoittemme.

<https://www.sll.fi/mita-me-teemme/kaivokset/tavoittemme/>

Taulukko 1. Kallion murskaaminen korvaa soranottoa.

[https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Luonnonvarat/Kallion_murskaaminen_korvaa_soranottoa\(27946\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Luonnonvarat/Kallion_murskaaminen_korvaa_soranottoa(27946))

Vuento, A. & Pinomäki, T. 2017. Räjätys- ja louhintatyön turvallisuusohje. 10. Painos.

Wikipedia. 2010. Kuva: Sunrise Dam Gold Mine

<https://de.wikipedia.org/wiki/Sunrise-Dam-Goldmine>

Yle Uutiset. 2014. Matinkylän räjähdyksestä ehdollista vankeutta.

<https://yle.fi/uutiset/3-7075270>

Ymparisto. 2015. kallion murskaaminen korvaa soranottoa.

[https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Luonnonvarat/Kallion_murskaaminen_korvaa_soranottoa\(27946\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Luonnonvarat/Kallion_murskaaminen_korvaa_soranottoa(27946))

Ympäristöministeriö.

<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BD54254A5-77D5-4E95-9C7C-62AEB12E42B1%7D/37543>

LIITTEET

Liite 1. Haastattelu Ari Pökkä

1(3)

Opinnäytetyö haastattelu

(täytä vastaukset kysymysten perään)

Haastattelija: Eemeli Liukko TAMK

Haastateltava (nimi, titteli/arvonimi, yritys): Ari Pökkä Louhintaliike Ylimäki Oy

Kysymys 1. Yrityksenne on nyt noin vuoden omistanut reikäsuoritusmittaus laitteet. Mikä on ollut laitteiden käyttöaste?

Vastaus: Erilaisia louhintakohteita noin 60 vuodessa, joista 25:ssä on käytetty reikäsuoritusmittausta. Käyttöaste 40 – 50 % kaikista louhintakohteista. Osa louhintakohteista ei vaadi suoritusmittausta syrjäisen sijaintinsa vuoksi.

Kysymys 2. Myytte reikäsuoritusmittaus palveluita ja lisäksi teette itse avolouhintoja. Missä suhteessa mittakalusto on käytössä omat työmaat/tilauksesta ns toisen työmaalla? Tilataanko teiltä missä suhteessa "vain reikäsuoritus" / "reikäsuoritus ja rintauksen skannaus"?

Vastaus: Karkeasti 75 % omassa käytössä, loput asiakkaille myytyjä mittauksia. Tilaukseen kuuluu aina sekä reikäsuoritusmittaus että rintauksen skannaus.

Kysymys 3. Kuinka joustavasti pystytte vastaamaan tilaajan aikatauluun, saatte tilauksen reikäsuoritusmittausten suorittamiseen työmaalle 100 kilometrin päähän (avolouhintakenttä, yhden reikärivin reikien suoritusmittaus, reikiä 20 kpl, reikäpituus noin 15m, dokumentit suoritusmittauksesta). Millä aikataululla pystytte lupautumaan (keskimäärin) suorittamaan mittaukset?

Vastaus: Työtilanteesta riippuen mittauksia voidaan lähteä suorittamaan hetikin, jolloin mittauksien tulokset on parhaimmillaan saatavissa muutamassa tunnissa.

Kysymys 4. Jatko edelliseen kysymykseen. Millaiseksi arvioit hinnan tilaajalle ns. avaimet käteen palvelusta?

Vastaus: Reikäsuoritusmittaus 550 €, alv 0 % + matkakulut.

2(3)

Kysymys 5. Jatkoa kysymykseen 3. Kuinka kauan tarvitsette aikaa työmaalla työn suorittamiseen, entä siihen, että dokumentit mittauksista toimitettu tilaajalle?

Vastaus: Mittauskohteesta ja reikälukumäärästä riippuen työmaalla aikaa menee 1 – 2 h ja dokumentointiin 0,5 – 1 h.

Kysymys 6. Onko porareidenne ammattitaidossa ollut havaittavissa kehittymistä oman mittakaluston myötä (palautetta enemmän porauksen suorituksesta, kun suoritusmittausta nyt tehdään enemmän ja omalla porukalla. Korjaa jos väärässä?)?

Vastaus: Porarit on nyt ensimmäistä kertaa pystyneet reagoimaan poraukseen, suoritusmittauksen antaman datan ansiosta, joten porareiden ammattitaito on samalla kehittynyt. Suoritusmittauksia on tehty aiemmin vain 1-2 kertaa. Mittausdatan ansiosta tietyissä avolouhoskohteissa tiedetään porauksen taipuvan voimakkaasti tietyllä syvyydellä, jolloin porari on pystynyt reagoimaan siihen jo porausvaiheessa.

Kysymys 7. Kiven jatkokäsittely. Millaisia säästöjä olette tehneet reikäsuoritusmittauksien myötä? Panostus on voitu suunnitella tarkemmin tavoitteena parempi lohkaroituminen murskausta varten/rikot ja kynsien/ylihouhinnan välttäminen (väärästä reikäpituudesta(taipumasta johtuen).

Vastaus: Reikäsuoritusmittauskaluston investoinnin perusteena oli ehkäistä kivien sinkoilusta aiheutuvat vahingot ja vaaratilanteet. Hankinnan jälkeen yrityksellämme ei ole aiheutunut yhtäkään kivien sinkoilusta aiheutuvaa vahinkoa tai vaaratilannetta, jolloin säästöt ovat olleet merkittävät. Lisäksi rintauksen skannauksen ansiosta poraussuunnitelmat on voitu suunnitella siten, että rintauksen etu on optimaalinen koko rintauksen matkalta. Tällöin rikotettavien kivien määrä on jäänyt huomattavasti vähäisemmäksi, minkä rahallista säästöä on vaikea tarkkaan arvioida.

Kysymys 8. Koetko reikäsuoritusmittalaitteiden hankinnan olleen yritykselle hyvä investointi?

Vastaus: Kyllä. Louhintatyömaiden työturvallisuus on parantunut merkittävästi sekä säästöjä on syntynyt vasarointitunneissa.

3(3)

Kysymys 9: Olet paljon työskennellyt avolouhintatyömailla. Koetko reikäsuoruudesta saatavan datan olevan työmaalla konkreettisesti merkittävä työturvallisuuden parantaja?

Vastaus: Kyllä. Reikäsuoruuksista saatu data on välitettävä panostajalle, joka pystyy reagoimaan taipuneiden reikien panostukseen. Avolouhintakohteissa kiviä on sinkoillut liian ohuiden etujen vuoksi jopa useita kilometrejä.

Kysymys 10: Käyttekö GPS-mittalaitetta vai takymetriä reikäpaikkojen ja skannerin paikan määrittämiseen? Tilanne jossa tilaaja haluaa eturivin reikäsuoruudet ja rintauksen skannauksen. (Hinta-arvio kysymyksen 3 tiedoilla)? Onko tämä se mitä normaalisti tilataan?

Vastaus: SatLab:n GPS-mittalaitetta. Helpompi tiedonsiirto verraten takymetriin.

Kysymys 11: Kuka normaalisti suorittaa mittauksia työmaillanne/ tilatuilla työmailla? (työnjohto, porari vai "kukavaan")

Vastaus: Infrainsinööri A Pökkä.

Kysymys 12: Saako tietoja käyttää opinnäytetyössä? Saako nimiä (vastaaja/yritys) julkaista?

Vastaus: Kyllä saa.

