

PERÄNAJON TYÖVAIHEET, TEHOKKUUS JA
HÄIRIÖTEKIJÄT KITTILÄN KAIVOKSELLA

Agnico Eagle Finland Oy

Hiukka Sakari

Opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Kaivosalan muutokoulutus
Insinööri (AMK)

2017

Tekniikka ja Liikenne
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Sakari Hiukka	Vuosi	2017
Ohjaaja	DI Lauri Saarelainen		
Toimeksiantaja	Agnico Eagle Finland Oy Janne Yliportimo		
Työn nimi	Peränajon työvaiheet, tehokkuus ja häiriötekijät Kittilän kaivoksella		
Sivu- ja liitesivumäärä	50		

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Kittilän kaivoksen peränajon tehokkuuteen ja työnkiertoon vaikuttavia häiriötekijöitä. Tavoitteena oli saada selville mitkä tekijät hidastavat peränajon tuottavuutta, ja kuinka paljon häiriötekijöiden vuoksi menetetään tehokasta työaika.

Työssä tutustuttiin maanalaisen kaivoksen peränajon poraus-räjäytysmenetelmään perustuvan katkolouhinnan eri osa-alueisiin. Lisäksi haastateltiin kaivososaston henkilöstöä eri osaamisalueilta. Kun kokonaiskuva eri työvaiheista oli muodostettu, mitattiin peränajon resurssien kokonaistehokkuutta. Työssä selvitettiin peränajon työnkierron pullonkauloja ja työvaiheissa esiintyviä odotusaikoja. Odotusajat kerättiin tuloksissa eri kategorioihin, jotta päästään pureutumaan tarkemmin häiriötekijöihin ja niissä hukattuun aikaan. Kokonaistehokkuuden mittaus tapahtui 12.10 - 5.12.2017. Työn tuloksissa esitellään peränajon työvaiheiden tehokkuutta ja odotusaikoja perän porauksen, pulttauksen ja ruiskubetonoinnin osalta.

Tutkimustyön tulosten perusteella kävi ilmi, että peränajon työkonneissa on liian paljon suunnittelemattomia remontteja, joihin hukkaantuu 9 % työajasta. Myös perien puhdistus hidastaa usein seuraavia työvaiheita. Lisäksi kaivoksen infran ennakoivassa suunnittelussa ja toteutuksessa on parantamisen varaa varsinkin niin sanottujen kiirekohteiden osalta. Työtä tukevien tehtävien suorittamiseen ja logistiikkaan kuluu myös paljon tehokasta työaika.

Avainsanat

peränajo, tunnelilouhinta, peränporaus, pultitus, ruiskubetonointi

Technology, Communication and
Transport
Electrical and Automation
Bachelor of Engineering

Author	Sakari Hiukka	Year	2017
Supervisor	Lauri Saarelainen, MSc (MechEng)		
Commissioned by	Agnico Eagle Finland Oy Janne Yliportimo, General Supervisor		
Subject of thesis	Underground drifting work phases, efficiency and disturbances at Kittilä Mine		
Number of pages	50		

The purpose of this thesis was to discover the disturbances affecting the efficiency of drifting cycle at Kittilä Mine. The aim was to find out what the factors slowing down the drifting performance are and how much efficient working time is lost in the work phases due to the distractions.

The first goal of the thesis was to familiarize with the various phases in drifting operation based on the drilling-blasting method of the underground mine. In addition, the mining department personnel from different areas of expertise was interviewed. When the overall picture of the different work phases was formed, the overall efficiency of the drifting cycle was measured. Bottlenecks and waiting times in different working phases were measured. The waiting times were collected in the results in different categories to help to get to know more about the distractions and the wasted time. The measurements of total efficiency was carried out between 12th Oct and 5th Dec 2017. The results of the work introduce the efficiency and waiting time analysed from drilling, bolting/meshing and shotcreting.

Based on the results obtained in the research, it turned out that there are many unplanned repairs in the work machines, which produce 9 % of down time. There is also room for improvement in the proactive planning and implementation of the mines infrastructure, especially in urgent targets from the point of view of schedule. A lot of ineffective time is spent for logistics and tasks supporting the actual work.

Key words

drifting, mining, drilling, rock bolting, shotcreting

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	AGNICO EAGLE MINES LTD, KITTILÄN KAIVOS JA TUOTANTOLUVUT ...	9
2.1	Agnico Eagle Mines Ltd	9
2.2	Kittilän kaivos ja historia.....	9
2.3	Kittilän kaivoksen geologia ja malmivarat	9
2.4	Tuotantoluvut, nykyhetki ja tulevaisuus.....	10
3	PERÄNAJO JA KALUSTO	14
3.1	Tunneliprofiilit.....	15
3.2	Tuotannonsuunnittelu	16
3.3	Tuotannonohjauskeskus (Toke).....	17
3.4	Kaivosmittaus	18
3.5	Perän puhdistus	19
3.6	Peränporaus ja kalusto	20
3.6.1	Automaatioporaus Sandvik Axera DT922i.....	23
3.6.2	Peränporaus Kittilän kaivoksella.....	24
3.7	Perän panostus ja räjäytykset	26
3.8	Lastaus ja kuljetus	29
3.9	Rusnaus.....	30
3.10	Kalliolujitus.....	31
3.10.1	Ruiskubetonointi	31
3.10.2	Ruiskubetonointi Kittilän kaivoksella	32
3.10.3	Pultitus	34
3.10.4	Pultitus Kittilän kaivoksella	34
3.10.5	Vaijeripultitus.....	37
3.11	Varustelut	38
3.12	Peränajon työkierto.....	38
3.13	Kittilän kaivos peränajon kaluston investoinnit ja kunnossapito.....	39
4	PERÄNAJON TEHOKKUUS JA ODOTUSAJAT	40
4.1	Käytetyt tutkimusmenetelmät.....	40
4.2	Tutkimustulokset.....	41
4.2.1	Peränporauksen kokonaistehokkuus ja odotusajat	42
4.2.2	Pultitus	43

Technology, Communication and
Transport
Electrical and Automation
Bachelor of Engineering

4.2.3	Ruiskubetonointi.....	45
4.2.4	Yhteenvedo poraus, pultitus ja ruiskubetonointi	47
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	48
6	POHDINTA	49
	LÄHTEET.....	50

ALKUSANAT

Tämä työ tehtiin Agnico Eagle Mines Ltd:n Kittilän maanalaisessa kaivoksessa 1.10.2017 - 31.12.2017.

Haluan kiittää Agnico Eagle Finland Oy:n Matias Suomelaa ja Mika Hannulaa tarjoamastanne mahdollisuudesta ja mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta.

Haluan kiittää työni ohjaajia ylityönjohtaja Janne Yliportimoa Agnico Eagle Finland Oy:sta ja lehtori Lauri Saarelaista Lapin AMK:sta opastuksesta ja neuvoista.

Kieliasun tarkastuksesta haluan kiittää lehtori Päivi Honkaa ja lehtori Martta Ruotua Lapin AMK:sta.

Kiitos kaikille kaivososaston henkilöille, joilta sain apua työni tekemiseen. Erityiskiitos peränajon operaattoreille kärsivällisyydestä sekä tiedoista, jotka olivat korvaamattomia opinnäytetyöni tekemisessä.

Lisäksi haluan kiittää perhettäni ja erityisesti vaimoani Pirittaa ymmärtävyydestä ja kannustuksesta opintojeni aikana.

Torniossa 24.4.2018

Sakari Hiukka

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AEF	Agnico Eagle Finland Oy
AEM	Agnico Eagle Mines Ltd
eLOM	Extended Life Of Mine
HTP	haitalliseksi tunnettu pitoisuus
LHD	Load Haul Dump
LIP	liejuperä
LOM	Life Of Mine
MWD	Measurement While Drilling
OEE	Overall Equipment Efficiency
PUP	pumppaamoperä
RJT	räjätysten jälkeinen tarkastus
RRK	räjätysrunkokaapeli
RVT4	Rouravaaran vinotunneli nro 4
SVT1	Suurikuusikon vinotunneli nro 1
TOKE	Tuotannonohjauskeskus
TP	tasoperä
VAP	varastoperä
YP	yhdysperä

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyö tehtiin kaivosyhtiö Agnico Eagle Finland Oy:n Kittilän kaivokselle 1.10 – 31.12.2017. Aiheena on peränajon työvaiheet, tehokkuus ja varsinkin peränajon tuottavuutta alentavat häiriötekijät ja odotusajat. Tarkoituksena on kulkea peränajon operaattoreiden mukana työnsuorituspaikalla seuraamassa työvaiheita ja kirjata ylös työn suorittamista häiritseviä tekijöitä ja niistä johtuvia odotusaikoja. Tavoitteena on saada selville, mitkä tekijät aiheuttavat eniten odotusaikoja ja hidastavat peränajon työnkiertoa.

Peränajossa on paljon työvaiheita, jotka seuraavat toisiaan nopeassa rytmissä: poraus, panostus, räjäytys, tuuletus, kastelu, lastaus, rusnaus, lujitus ja mittaus. Työkohteita on ajossa rajallinen määrä, jonka vuoksi on tärkeää, että työvaiheet voidaan suorittaa tuotannolle suunnittelussa aikataulussa. Jos jokin työvaiheista keskeytyy, niin se estää seuraavien työvaiheiden suorittamisen, mistä seuraa koko peränajon syklin hidastuminen. Pahimmillaan käy niin, että jos yhdessä työvaiheessa on useampana päivänä paljon odottamattomia hidasteita tai koneet ovat remontissa, niin seuraavien työvaiheiden työkoneet seisovat työttömänä odottamassa. Tasainen peränajo kaikkien työvaiheiden osalta on avainasemassa, jottei tietyille osa-alueille tule ylikuormitusta. Peränajon etenemisen hidastuminen pidemmällä aikavälillä vaikuttaa myös tuotannon louhintajärjestyseen ja kaivoksen malmin tuotantoon.

Tutustuin kaikkiin Kittilän kaivoksen peränajon työvaiheisiin, jotka on kuvattu tässä työssä. Varsinaisessa tutkimustyössä keskitytään peränajon häiriötekijöiden löytämiseen perän porauksen ja kalliolujituksen osalta (pultitus ja ruiskubetonointi).

2 AGNICO EAGLE MINES LTD, KITTILÄN KAIVOS JA TUOTANTOLUVUT

2.1 Agnico Eagle Mines Ltd

Agnico Eagle Mines Ltd on kanadalainen kaivosyhtiö, joka on perustettu vuonna 1957. Sillä on yhdeksän kaivosta kolmessa maassa ja malminetsintää Kanskassa, Yhdysvalloissa, Meksikossa ja Pohjoismaissa. AEM on listattu Toronton pörssiin. Sen liikevaihto vuonna 2016 oli 2,138 mrd. euroa ja nettotulos 159 milj. euroa. Pääasiallisesti louhittava arvometalli on kulta, jota tuotettiin vuonna 2016 1 662 888 unssia, lisäksi sivutuotteena saadaan hopeaa, sinkkiä ja kuparia. (Agnico Eagle Finland Oy 2017b.)

2.2 Kittilän kaivos ja historia

Agnico Eagle Finland Oy:n Suurikuusikon kaivos sijaitsee noin 50 km Kittilän pohjoispuolella, Kiistalan kylässä. Liikevaihto vuonna 2016 oli 229 milj. euroa ja liikevoitto 44 miljoonaa euroa. Ensimmäiset viitteet kullasta saatiin vuonna 1986 tienlinjan oikaisun yhteydessä, jonka jälkeen Geologian tutkimuskeskus tutki esiintymää vuoteen 1998 saakka, jolloin ruotsalainen Riddarhyttan aloitti malminetsintän alueella. Myöhemmin se sai ympäristöluvan ja perusti kaivospiirin, kunnes vuonna 2005 AEM osti koko Riddarhyttanin omistukseensa ja alkoi tekemään kannattavuustutkimuksia ja päätti kaivoksen rakentamisesta. Malminlouhinta alkoi avolouhoksella vuonna 2008, jonka jälkeen se siirtyi vaiheittain maanalaiseksi louhinnaksi, kunnes vuonna 2012 se siirtyi kokonaan maan alle. (Agnico Eagle Finland Oy 2017b.)

2.3 Kittilän kaivoksen geologia ja malmivarat

Kittilän kaivos sijaitsee Lapin vihreäkivivyöhykkeellä kuten muutkin Lapin kaivokset. Kaivoksen alueella on muuttuneita kivilajeja, pääasiassa karbonaatteja, albiittia ja kloriittia. Kulta esiintyy useissa rinnakkaisissa kapeissa malmilinsseissä, jotka ovat geometrialtaan monimuotoisia ja pienipiirteisiä. Kulta on näkymättömissä yleisimmin arseenikiisun hilassa eli se on submikroskoopista refraktorista

kultaa, kultaa on myös rikkikiisussa ja vähissä määrin vapaana kultana. (Agnico Eagle Finland Oy 2017b.)

Todettuja ja todennäköisiä malmivaroja on yli 30 miljoona tonnia, todennäköisiä mineraalivarantoja yli 20 miljoonaa tonnia ja mahdollisia mineraalivarantoja yli 11 miljoona tonnia (Taulukko 1). (Agnico Eagle Finland Oy 2017b.)

Taulukko 1. Malmivarat ja mineraalivarannot (Agnico Eagle Finland Oy 2017b.)

31.12.2016	Au (g/t)	Tonneja (000's t)	Kultamäärä (000's oz)
Todetut / todennäköiset malmivarat	4,64	30 055	4 479
Todennäköiset mineraalivarannot	2,92	20 721	1 946
Mahdolliset mineraalivarannot	4,05	11 059	1 442

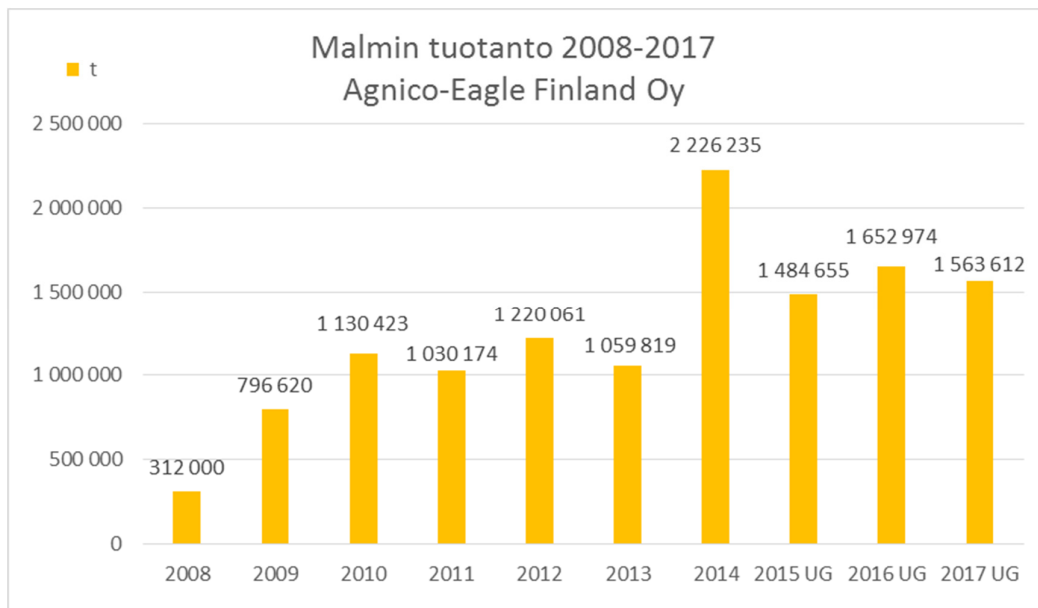
2.4 Tuotantoluvut, nykyhetki ja tulevaisuus

Vuonna 2017 Kittilän kaivoksesta nostettiin malmia noin 1,536 miljoona tonnia. Kuviossa 1 esitetään Kittilän kaivoksen kullan tuotanto avolouhoksesta ja maanlaisesta kaivoksesta vuosina 2008 – 2017, vuodesta 2015 alkaen tuotanto siirtyi kokonaan maan alle. Maanalaisen kaivoksen malmin tuotanto on ollut vuositasolla noin 1,5 – 1,65 miljoonaa tonnia viimeisen kolmen vuoden aikana (Kuvio 2). (Agnico Eagle 2018)

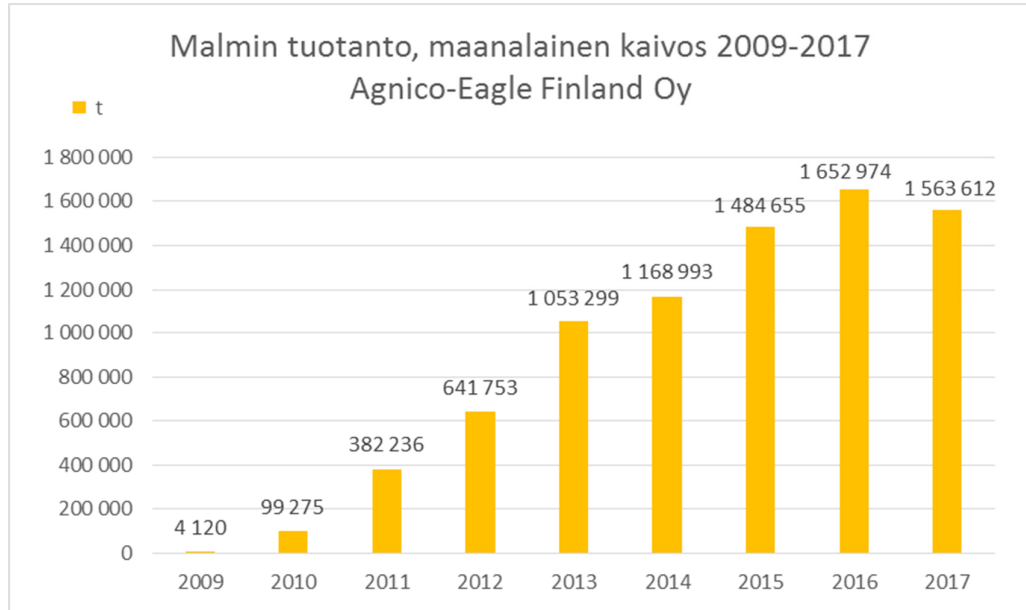
Kittilän maanlaisessa kaivoksessa on louhittu periä ja tunnelia yhteensä yli 89 km vuoden 2017 loppuun mennessä. Tästä kaivosyhtiön oman peränajon osuus on 73 km ja urakoitsijoiden osuus 16 km. Peränajon trendi on ollut noususuhdanteinen koko kaivoksen olemassaoloajan (Kuvio 3). Peränajossa saavutettiin ennätys vuonna 2017, yhteensä 16 477 m. Kaivosyhtiön oma peränajo notkahti hie-man vuonna 2017 edellisvuoteen verrattuna, kun alkuvuosi syksyyn saakka oli haasteellinen ja tuloksellisesti heikko (Kuvio 4). Selviä pirstymisen merkkejä oli havaittavissa loppuvuodesta kun tavoitteisiin päästiin ja mainittakoon, että tam-mikuussa 2018 yhtiö ajoi periä ennätyselliset 1084 m. (Agnico Eagle 2018)

Kultaa rikastettiin vuonna 2017 noin 1,684 miljoonaa tonnia pitoisuudella 4.15 g/t, josta kultaa saatiin 6125 kg / 196 923 t oz. Kaivoksen elinkaari on tämänhetkisten todettujen malmivarojen puitteissa vuoteen 2035 saakka. 1,5 kilometrin syvy-

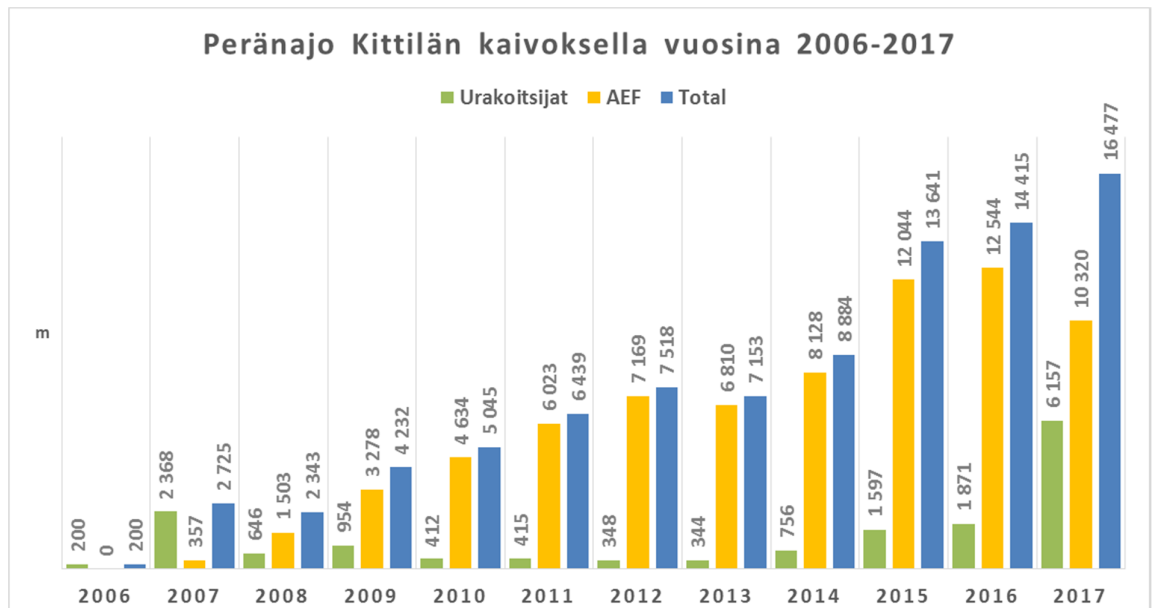
destä on löydetty uusia mineraalivarantoja, jotka mahdollistaisivat kaivoksen toiminnan jatkumisen vielä pidempään ja myös kahden kilometrin syvyydestä on löydetty lupaavia esiintymiä. Kullan louhinta ja tehokas nosto syväosista edellyttää nostokuilua, jonka investoinnille saatiin pitkään odotettu rahoituspäätös helmikuussa 2018. Nostokuilun rakentaminen on aloitettu ja se valmistuu vuoden 2021 aikana. Se tulee ulottumaan 1040 m syvyyteen ja uusi päätaso tehdään 900-tasolle. Tällä hetkellä malmi ajetaan pintaan kumipyöräkalustolla. (Agnico Eagle Finland Oy 2017b; Agnico Eagle 2018)



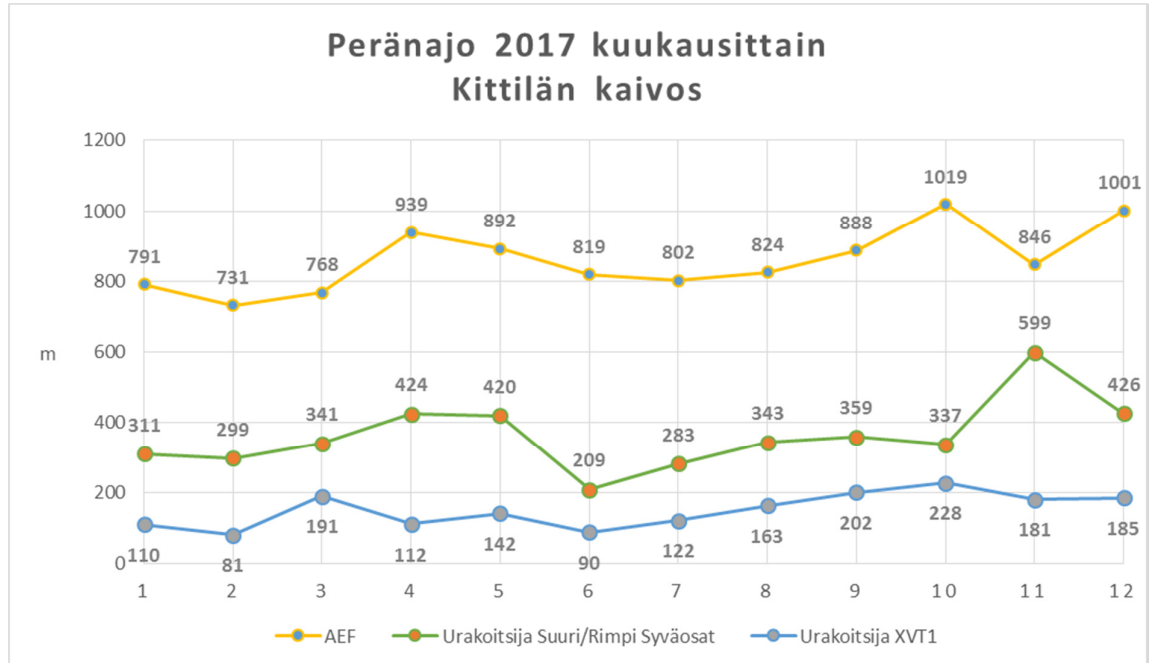
Kuvio 1. Malmin tuotanto avolouhos ja maanalainen kaivos 2008 – 2017, Kittilän kaivos (Agnico Eagle 2018)



Kuvio 2. Malmin tuotanto maanalainen kaivos 2009 – 2017, Kittilän kaivos (Agnico Eagle 2018)



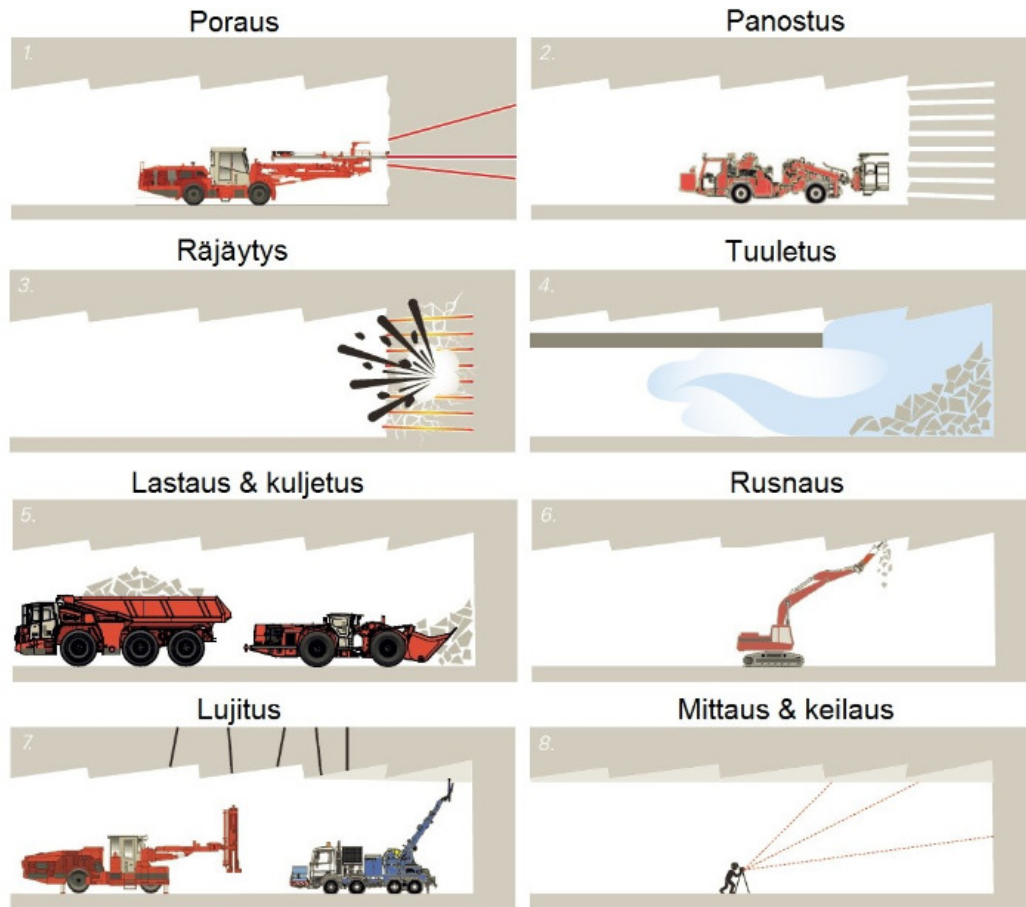
Kuvio 3. Peränajo Kittilän kaivoksella 2006 – 2017 (Agnico Eagle 2018)



Kuvio 4. Peränaajo 2017 kuukausittain, Kittilän kaivos (Agnico Eagle 2018)

3 PERÄNAJO JA KALUSTO

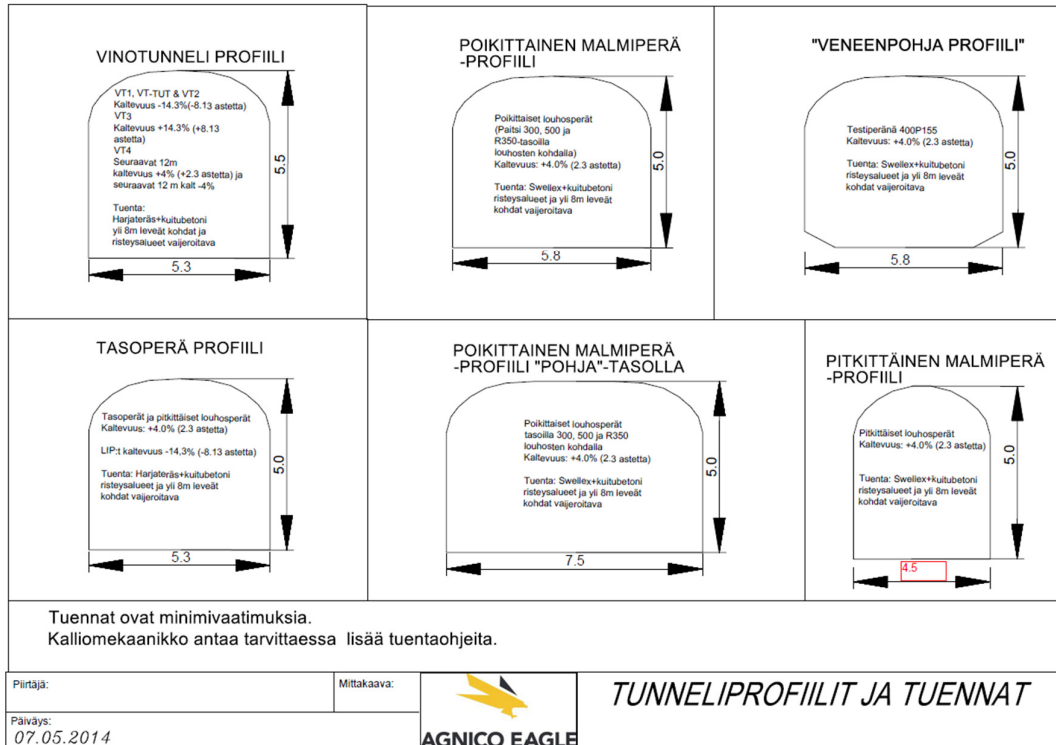
Suomen kaivoksilla tunnelit louhitaan poraus- ja räjäytysmenetelmällä. Peränajossa hyvin tiivis työnkierto eri työvaiheiden välillä, jotta katkolouhinta etenee asetettujen tavoitteiden mukaisesti. Työvaiheet seuraavat toisiaan ja turhia odotusaikoja pyritään välttämään. Peränajon louhintasykli jaetaan seuraaviin vaiheisiin: poraus, panostus, räjäytys, tuuletus ja kastelu, lastaus ja kuljetus, rusnaus, lujitus ja mittaus (Kuva 1). (Paalumäki, Lappalainen & Hakapää & 2015, 150.)



Kuva 1. Peränajon louhintasykli (Väliaho 2014)

3.1 Tunneliprofiilit

Peräkoko vaihtelee Kittilän kaivoksella käyttötarkoituksesta riippuen. Yleisin peräkoko on 25 - 30 m², mutta esimerkiksi vinotunnelin louhinnassa kaarteiden kohdalla (leveys 8 m) koko on yli 40 m². Tunneliprofiileja on käytössä yli kymmenen erilaista (Kuva 2).



Kuva 2. Yleisimmät tunneliprofiilit Kittilän kaivoksella (Agnico Eagle 2014)

Kuvassa 2 esitellyjen lisäksi on olemassa profiilit esimerkiksi vinotunnelin kaarteita varten (vasen/oikea), LIP, VAP ja PUP varten. Yhdysperät porataan 5.5 m korkeana. Yleisimmin käytettyjä ovat seuraavat profiilit:

- Vinotunneli-profiili: leveys 5.3m, korkeus 5.5m. VT1, VT-TUT ja VT2 kaltevuus -14.3% (-8.13 astetta).
- Tasoperä-profiili: leveys 5.3m, korkeus 5.0m, kaltevuus +4.0% (2.3 astetta).
 - o Myös pitkittäinen malmiperä –profiili ajetaan nykyään tasoperä-profiililla, jotta tuotantokoneet ja varsinkin Rhino-nousunajokoneet mahtuvat työskentelemään perissä

- Poikittainen malmiperä -profiili: leveys 5.8m, korkeus 5.0m, kaltevuus +4.0% (2.3 astetta).
 - o Niin kutsutuilla pohja-tasoilla poikittaisia malmiperiä on joskus ajettu myös 7,5 m leveänä, jolloin ei tarvitse erikseen ottaa louhokselle levityksiä, mutta ne aiheuttavat kalliomekaanisia ja tuennallisia haasteita. Katon jänneväli kasvaa niin suureksi, että perän katto ja seinät pitää vaijeroida koko matkalta, mikä aiheuttaa lisäkustannuksia ja venyttää aikatauluja.

(Agnico Eagle Finland Oy 2014)

3.2 Tuotannosuunnittelu

Kaivoksen suunnittelu pohjautuu geologien tekemiin arvioihin malmioiden sijainneista. Tästä tehdään kaivokselle layout, jossa määritellään, mihin vinotunnelit ja tasot louhitaan. Malmimallit ohjaavat suunnitelmia. Karkeimman tason suunnitelma on LOM (Life Of Mine), jossa määritellään mitä todettuja malmivarantoja on tarkoitus louhia. Kaivoksen laajennussuunnitelmia kuvataan eLOM:ssa (Extended Life Of Mine). (Koivuniemi 2017b.)

Viisivuotissuunnitelmassa huomioidaan, miten infra kyseessä olevilla alueilla riittää peränajolle ja tuotannolle. Lisäksi lasketaan tarkemmin seuraavan viiden vuoden aikana louhittavat louhokset sekä peränajo ja infra. Tunnelilouhinnan edessä tasoille karkeaa suunnitelmaa tarkennetaan saatujen tietojen perusteella. Esimerkiksi kalliomekaniikka ja geologisten tietojen tarkentuminen voi määrittää peränajon uudelleen. (Koivuniemi 2017b.)

0-18 kk suunnitelma on niin sanottu budjettisuunnitelma, johon budjetoidaan tarkemmin seuraavan 18 kk:n aikana kaivoksesta ylös saatava malmi/unssit. Tätä suunnitelmaa "hierotaan" kuukausitasolla, josta muodostuva ennuste antaa tavoitteet esimerkiksi peränajon kohteiden metrien osalta. (Koivuniemi 2017b.)

Deswik -ohjelmiin (Deswik SCH, CADS) syötetään parametrejä, joiden mukaan saadaan peränajon vaadittavat metrit. Sieltä nähdään myös, mitä riippuvuuksia kysessä olevilla kohteilla on, esimerkiksi täyttöjen kovettumisajat ja peränajon suuntaus. Nämä tiedot siirretään tuotannonohjaus -järjestelmä Deswik OPS:iin,

joka otettiin tuotantokäyttöön alkuvuonna 2018. Kohteet siirretään suoraan ohjelmasta toiseen, jonka jälkeen ne tarkistetaan. Toteutumat syötetään tällä hetkellä käsin. Suunnitelmaan on hyvä pystyä määrittelemään mahdollisimman tarkasti eri työvaiheissa kuluva aika, jotta tuotantoa pystytään ohjaamaan mahdollisimman hyvin. Myös koneiden huoltoaikataulut huomioidaan tuotannonsuunnittelussa. (Koivuniemi 2017b.)

3.3 Tuotannonohjauskeskus (Toke)

Tuotannonohjauskeskus ohjaa maanalaisen kaivoksen toimintaa. Toke-operaattorit, kaksi henkilöä per vuoro, vastaanottavat työsuoritteet operaattoreilta ja kirjaavat ne järjestelmiin kuten InSiteen. Tokelle tulee ilmoitus työvaiheiden aloituksesta, lopetuksesta, keskeytymisestä ja tauoista työkoneiden operaattoreilta pääasiassa kaivoksen VHF-radiopuhelimen välityksellä, jotka kirjataan sekä Excel-pohjaisiin välikirjoihin ja reaaliaikaiseen tuotannonohjausjärjestelmään Deswik OPS:iin, joka otetaan käyttöön alkuvuonna 2018. OPS:sta voidaan seurata reaaliaikaisesti eri työvaiheita ja koneita, esimerkiksi peränajon työnjohtaja näkee, missä työkohteissa kukin operaattori on menossa. OPS:ssa on paljon uuden teknologian mukanaan tuomia hyötyjä. Eri työvaiheiden välille voidaan asettaa riippuvuuksia esimerkiksi louhostäyttöjen kovettumisajan osalta, mikä estää seuraavan työvaiheen aloittamisen. Tarvittaessa Toke ohjaa operaattoreita uusiin työkohteisiin. Tämän lisäksi Toke -operaattoreiden vastuulla on eri automaatiojärjestelmien kuten tuuletuksen ohjaaminen, pumppaamoiden toiminnan ja poravesialtaiden vedenpinnan seuranta ja ohjaaminen, sekä IVN eli ilmanvaihtokeskusten toiminnan seuraaminen. Ennen räjäytyksiä tuuletustenohjausjärjestelmään merkitään sellaiset tasot, missä ammutaan ja joissa puhaltimet sammuvat ennen räjäytystä ja lähtevät automaattisesti päälle 15 min kuluttua ammusta. Normaalina työaikana operaattorit pyytävät Token laittamaan tuuletuksen päälle työskentelytasolle työvaiheen alkaessa, joissakin kohteissa tuuletus lähtee automaattisesti päälle liiketunnistimen avulla. Token tehtäviin kuuluu myös kulunvalvonnan seuraaminen ja paikannustägien tekeminen. (Oikarinen 2017.)

3.4 Kaivosmittaus

Mittausryhmään kuuluu viisi mittamiestä. Heidän työtehtäviinsä kuuluu mm. perien porauksen, louhosten porasuunnitelmien ja vaijerointikohteiden merkitseminen sekä perien kartoitukset ja louhosten skannaaminen. Perien kartoitukset tehdään viimeistään kuun lopussa tai erikseen suunnittelijoiden pyynnöstä. Myös kuun 15. päivä tehdään perien kartoituksia. Kaivosmittaajan tehtäviin kuuluu myös savutarkastusten tekeminen ennen vuorojen alkua räjäytetyissä kohteissa. Ennen työkohteisiin lähtöä, mittamies lataa päivitettyt suunnitelmat, kartoitukset, kiintopisteet ja apukiintopisteet muistitikulle. Näin saadaan ajantasainen tilanne ladattua takymetriin. Tiedot vuoron aikana merkattavista ja kartoitettavista kohteista saadaan tuotannonohjauskeskukselta ja välikirjoista sekä vuorotyönjohtajilta. (Satta 2017.)

Perän merkkkaus tapahtuu orientoimalla takymetri kahteen kiinteään mittapisteeseen tai kolmeen maalilla merkittyyn apukiintopisteeseen, joiden avulla takymetri saa sijaintitietonsa. Tämän jälkeen merkataan keskiristi tulevalle katkolle yhteen metriin, jonka jälkeen merkataan 3 – 4 m päähän peräseinästä sivumitat porarille puomin suuntaamiseksi (Kuva 3). Jos perän pohjan korkoa ei pystytä merkkamaan 1 metrin ajoon esimerkiksi edessä olevien kivien takia, merkitään myös tämä tieto keskimerkin viereen tiedoksi porarille. Tarvittaessa tulee merkata suuntaviiva, katkon mitta, muutettu kaltevuus sekä kattokorotuksen ja risteyksen paikka. Viuhkoja merkatessa tulee merkitä seinälinjat ja 1,3 m korkolinja sekä suuntaviivat takaseinään. Perät pyritään käymään merkkauksessa ennen pulttista, koska jos seuraavan katkon jälkeen on tarkoitus porata seinään viuhka, merkitään myös tämä tieto pulttarille esim. ”ei pultteja oikeaan seinään”. Kiinteiden mittapisteiden lisäksi kaivosmittaajilla on käytössä myös apukiintopisteitä louhosperien merkkaukseen, mikä helpottaa ja nopeuttaa työskentelyä. Jos asetetaan uusia kiinteitä mittapisteitä, pitää takymetrin sijaintitieto saada kolmen kiinteän mittapisteen perusteella tarkan sijainnin varmistamiseksi. (Satta 2017.)



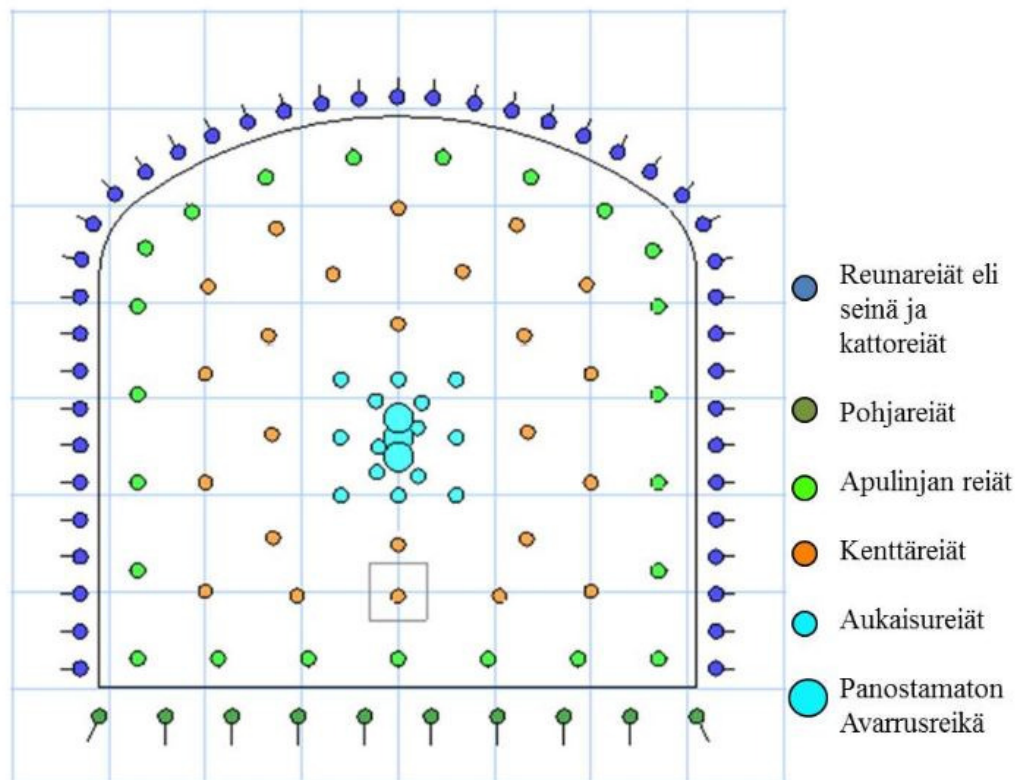
Kuva 3. Kaivosmittausta takymetrillä Kittilän kaivoksella

3.5 Perän puhdistus

Perien puhdistaminen ennen porausta on tärkeää, jotta saadaan peräseinästä noin 2 m:n matkalta pohja luille ja seuraavan 10 m:n matkalta pohja tasattua seuraavia työvaiheita varten. Kynnet, nurkat ja patit tulee puhdistaa huolellisesti, jotta voidaan varmistua, että pohjassa ei ole lähtemättömiä räjähteitä. Puhdistuksen yhteydessä tulee kolisuttaa ja raapia peräseinää, jotta sieltä mahdollisesti irtoavat kivet eivät vaaranna seuraavia työvaiheita. Rusnauksen jälkeen perän puhdistus suoritetaan yleensä pyöräkoneella ennen ruiskubetonointia, myös joitakin panostuskohteita voidaan puhdistaa pyöräkoneella, lähinnä louhoslevityksiä. Peränporausta varten puhdistus suoritetaan pyöräkaivinkoneella ja porauksen jälkeen voidaan joissakin kohteissa joutua katko puhdistamaan vielä toiseen kertaan panostajalle, jos peräseinä on tiputellut kiviä porauksen aikana siten, että pohjareitit ovat kivien peitossa. Kaivoskuokalla käsin retkomalla voidaan puhdistaa pienet määrät kiviä, mutta isommat määrät pitää puhdistaa koneellisesti. Kittilän kaivoksella on käytössä 2 kpl Mecalac 12MTX -pyöräkaivinkonetta, 1 kpl Caterpillar 313 -pyöräkaivinkone sekä 2 kpl Caterpillar 962 -pyöräkonetta.

3.6 Peränporaus ja kalusto

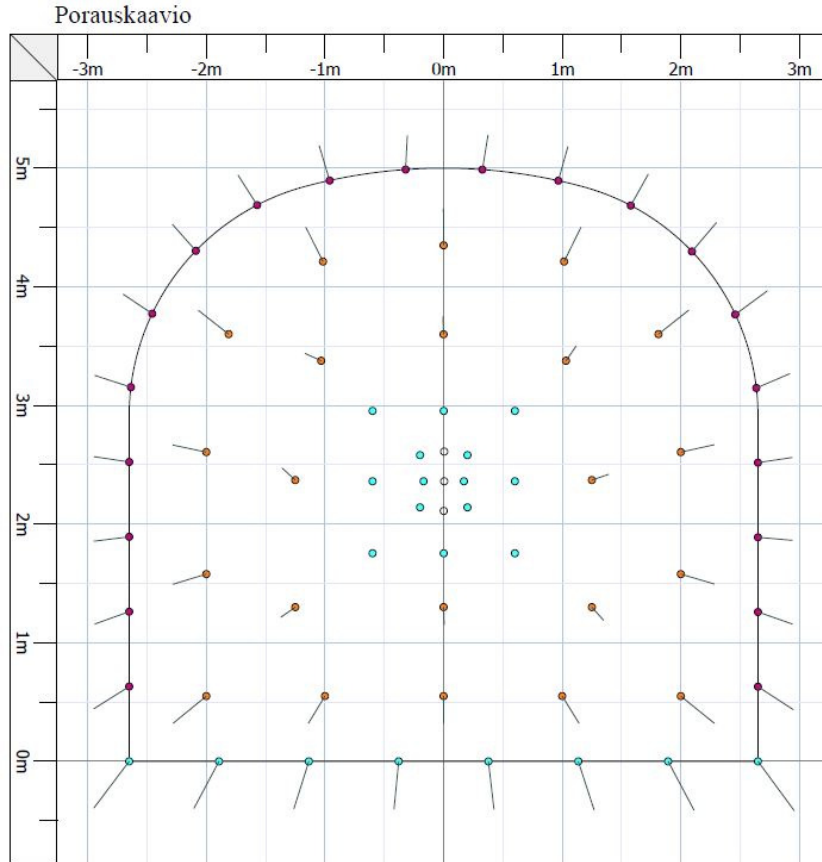
Peränporaus tehdään yleensä yhdensuuntaisavauksella ja porattavan katkon pituus on tyypillisesti 4,5 – 5 m. Tarvittaessa halutun poraussyvyyden saavuttamiseksi voidaan lisätä poratankoja toisiinsa kierrellyksin. Peräseinään on merkitty mittamiehen toimesta keskimerkki ja sivumitat, joiden avulla porari linjaa puomin porattavan katkon suuntaiseksi. Porarilla tulee olla myös tieto mahdollisesta kattokorotuksesta, risteyksestä, kaarteesta, selektiivisen louhinnan katkon mitasta ja muutetusta kaltevuudesta. Tämän jälkeen porajumboa navigoidaan valitun porauskaavion mukaisesti, porattavia reikiä ei ole tarpeen merkitä erikseen peräseinään. Porauskaaviossa näkyy porattavat reiät: reunareivät eli seinä ja kattoreivät, pohjareivät, apulinjan reiät, kenttäreiät, aukaisureiät sekä avarrusreiät (Kuva 4). Avarrusreikiä, joita on yleensä 3 kpl, ei panosteta ja ne avarretaan halkaisijaltaan 102 mm:n porakruunulla. Muut reiät porataan 48 mm:n kruunulla. (Koskinen 2014, 15; Paalumäki ym. 2015, 151.)



Kuva 4. Esimerkki Underground Managerilla suunnittelusta porauskaaviosta (Koskinen 2014, 15.)

Peränporauslaitteen eli porajumbon pääkomponentit ovat alusta, puomisto (1 - 4 puomia) ja porakone. Porakoneen pääkomponentit ovat runko, huuhtelupesä, vaihteisto, iskumäntä, pyöritysmoottori, rekyylivaimenninmäntä, luisti ja paineakut. Atlas Copco Boomerissa ja Sandvikin Axerassa porausmenetelmä on päältä lyövä iskunporaus, jossa energia siirretään kallioporatangosta poratankoon ja porakruunuun, jota käytetään kiven murskaamiseen. Pääältä lyövä kallio-
porakone on asennettu kelkkaan, joka liikkuu syöttölaitteessa hydrauliiikan tai ketjun välityksellä. Syöttövoiman, iskunopeuden ja pyöritysnopeuden säätäminen optimaaliseksi on tärkeää reikäsuoruuden ja tehokkaan porauksen varmistamiseksi. Katkon porauksessa käytetään Kittilässä 5,2 m pitkiä drifter-tankoja. Sandvik Axera 922DTi:ssa on mahdollisuus jatkotankokalustoon, joka ei ole tällä hetkellä käytössä. Poranteränä käytetään joko ballistisia tai pyöreänastaisia porakruunuja, jotka voidaan uudelleen teroittaa. (Paalumäki ym. 2015, 157.)

Kittilän kaivoksella on käytössä kolme kaksipuomista porajumboa: 2 kpl Atlas Copco Boomer E2C sekä 1 kpl Sandvik DT922i Axera. Ne ovat on tietokoneavusteisia porajumboja, joihin porauskaaviot luodaan porajumbon valmistajakohtaisilla tietokoneohjelmilla (Kuva 5). Porauskaaviot on siirretty porajumboon muistikulla, ja operaattori valitsee oikean kaavion porausta varten työkohteen mukaan. Operaattori näkee hytissä olevalta monitorilta puomin sijainnin ja käytettävän porauskaavion. Monitori kertoo operaattorille myös reiän syvyyden, tunkeutumisenopeuden, porausajan ja muita porauksen aikana tarvittavia oleellisia tietoja.



Kuva 5. Tasoperän porauskaavio 5,3 x 5,0m (Agnico Eagle Finland 2017a)

Atlas Copcon MWD-järjestelmä pystyy keräämään raakadataa seuraavista kymmenestä parametrasta:

- Reiän pituus (m)
- Poraus aika (min)
- Tunkeutumisnopeus (cm/min)
- Syöttöpaine (bar)
- Iskupaine (bar)
- Pyöritysnopeus (rpm)
- Pyörityspaine (bar)
- Vaimennus (Damper pressure) (bar)

- Huuhteluveden paine (bar)
- Huuhteluveden virtaus (l/min).

(Koskinen E. 2014, 22.)

3.6.1 Automaatioporaus Sandvik Axera DT922i

Kittilän kaivoksella on tarkoitus ottaa vuoden 2018 aikana käyttöön automaatioporaus peränporauksessa Sandvik Axera 922DTi:ssa. Sandvik tarjoaa eri automaatiotasoja per konemalli, ja ne on esitelty alla olevassa yleiskatsauksessa (Kuva 6).

Overview of the Automation levels

Sandvik drilling jumbo automation levels are available in following four main categories:

AUTOMATION LEVEL				
Automation level	STANDARD	SILVER	GOLD	PLATINUM
Control System	SICA	SICA	SICA	SICA
Boom parallel holding	Hydraulic	Hydraulic	Electronic	Electronic
15' touch screen display and electric joysticks for boom and drilling controls	x	x	x	x
Torque optimised drilling control system	x	x	x	x
Display of feed angles, drilling depth and penetration rate		x	x	x
Presetable angle and depth indication for reference hole		x	x	x
Counters and recommended change levels for bits and tools		x	x	x
iSURE- office tool for design of drilling pattern with charging and blasting simulation			x	x
Round analysis and MWD Information			x	x
Drill pattern and bit visualisation via onboard touch screen			x	x
Drill rig suitable with various navigation methods			x	x
Hole end- correction from different start point vs. plan				x
Semi-Automatic boom control				x
Automatic boom control				x

Available automation level varies based on selected equipment model as follows:

AVAILABLE AUTOMATION LEVELS / UNIT MODELS				
	STANDARD	SILVER	GOLD	PLATINUM
DD422i	x	x	x	x
DD422iE	x	x	x	x
DT922i	x	x	x	x
DT912D	N/A	N/A	x	x

Suitable automation level depends on end user needs and vision on how to gain the most optimized results from the underground mine development or tunneling.

Kuva 6. Yleiskatsaus Sandvik peränporausjumbojen automaatiotasosta (Sandvik 2018)

Tarkoitus on käyttää automaatioporausta savutuntien aikana klo 17-19 ja 05-07, jolloin kaluston käyttöaste ja kokonaistehokkuus saataisiin nousemaan. Kuten yleiskatsauksesta (Kuva 7) nähdään, on Kittilän kaivoksen DT922i – mallissa

käytettävissä Platinum-taso, joka mahdollistaa automaatioporauksen ilman operaattoria. Automaattinen puomin ohjaus ja hallinta mahdollistaa useiden reikien automaattiporauksen ennalta määritetyn sekvenssin mukaisesti. Reiän valmistuttua puomi siirtyy porauskaavioon asetetun järjestyksen mukaisesti poraamaan seuraavaa reikää. Poraussekvenssi luodaan iSure-ohjelmistolla ja ladataan porauskaavioon mukana porajumboon joko usb-muistitikulla tai Wifi-yhteydellä. Sekvenssi pystytään tarvittaessa luomaan tai muuttamaan myös koneella kosketusnäytöltä. Tätä ominaisuutta voidaan tarvita johtuen porattavassa kohteessa olevista haasteista, joita ovat esimerkiksi epätasainen kallionpinta ja rajallinen puomien liikkumavara reikien välillä, jotka voivat estää porauksen ennalta määritetyn sekvenssin mukaisesti. Tällöin operaattori mukauttaa alkuperäisen poraussekvenssin suunnitelmaa porattavaan kohteeseen sopivaksi ennen automaattiporauksen käynnistämistä. (Sandvik 2018)

3.6.2 Peränporaus Kittilän kaivoksella

Kittilän kaivoksen kiven laatu tunneli- eli sivukiven louhinnassa voidaan porattavuuden osalta luokitella kovaksi kiveksi. Malmia lähestyttäessä eli kiisuvyöhykkeellä kivi on pehmeämpää. Perän porauksessa tunkeutumisenopeus on tyypillisesti noin 1 - 2,5 m/min, avarruksen porauksessa noin 0,7 - 1,5 m/min. Kovan kiven vyöhykkeillä ballistisella porakruunulla saavutetaan parempi tunkeuma, mutta pyöreänastaiseen porakruunuun verrattuna kruunuja pitää vaihtaa useammin. Kruunuja vaihdetaan yleensä 8 - 10 reiän välein kiven kovuudesta riippuen, malmiperää poratessa harvemmin. Kruunuja ei saa yliporata, jotta nastat voidaan teroittaa uudelleenkäyttöön, ballistisen kruunun nastassa saa olla enintään 30 % tasaista pintaa. Normaalisti katkoon porataan 70 reikää. Kynsi-, seinä- ja katto-reiät porataan puolipistolla, kenttäreiät ja apulinjat pienellä pistolla ja aukaisureiät yhdensuuntaisena. Katko aloitetaan poraamalla ensin pohjareiät ja apulinja, jonka jälkeen ylhäältä alaspäin kaarireiät. Porausjärjestys on tärkeää varsinkin laskuperissä sen vuoksi, että reiät pysyvät auki porasoijasta.

Avarrusterä asetetaan paikalleen, kun on 9 kenttäreikää jäljellä, jolloin molemmat puomit ovat tehokkaasti käytössä. Avarrusreiät (3 kpl) porataan oletusarvoisesti pystylinjaan, tarvittaessa voidaan käyttää neliapila-kuviota tai vaakalinjaa. Katto-

korotuksissa porataan ylhäällä olevien kaarireikien väliin apulinjoja, jolloin reikämäärä kasvaa. Kattokorotus lastauspaikkaa varten on n. 7 m korkea. Vinotunnelin kaarteet porataan 8 metriä leveänä. Ne on mahdollista tehdä poraamalla levitystä samalla kun poraa katkoa tai ottaa levitys katkon poraamisen jälkeen, mikä on työläämpää. Kaarteiden reunoihin otetaan tilaa hieman enemmän kuin suunnitelmassa on, eli lisätään pistoa. Kaarteiden pohjan porauksessa pitää pistoa muuttamalla pyrkiä siihen, ettei pohjasta tule kalteva. (Koivuniemi 2017a.)

Katkot porataan lähes poikkeuksetta käyttämällä koneen viitetaso-valikkoa, jolloin porajumbon automatiikka tasaa reiän sen sijainnista riippuen katkon pituuteen, joka on Kittilässä 4,7 m. Avauksen reiät porataan mahdollisimman suoraan, ja ne ovat tärkeimmät reiät onnistuneen katkon räjäytyksen kannalta. Kalliovalikkoa käytetään, kun porataan viuhkoja ja levityksiä, jolloin jumbo poraa aina täyden kangen 5,2 m. Viuhkat, eli perästä yleensä kohtisuoraan sivulle lähtevä uuden perän lähtö, porataan 45 asteen kulmassa seitsemän linjaa, joihin tulee yleensä kuusi reikää per linja. Viuhkan poraus aloitetaan poraamalla kolme linjaa, joista ensimmäinen noin 4 m seinälinjan takapuolelta, jotta viuhkan pystytään poraamaan oikeaan kohtaan ja perä lähtee viistetysti. Sitten kone asemoidaan uudelleen keskimerkin mukaan ja porataan loput neljä linjaa keskimerkin takapuolelta. Louhoslevityksessä porataan 7 - 15 m:n matkalle louhoslevitysten koosta riippuen yleensä kuusi reikää per linja täysillä kangilla, kaivossanastossa puhutaan levitysten kohdalla myös suomustamisesta. (Koivuniemi 2017a; Ruotsalainen 2017.)

Alakätisissä laskuperissä tulee pohjareiät putkittaa, koska reiät menevät muuten tukkoon porasoijasta (Kuva 7 ja 8). Putkittaminen on haastavaa, koska alakätisissä perissä on aina jonkin verran vettä pumppauksesta huolimatta ja pohjareiät pitäisi saada lähelle pohjaa hyvän poraustuloksen saavuttamiseksi. Porauskohteiden rusnaus sekä puhdistaminen pyöräkaivinkoneella on erittäin tärkeää, jotta mahdollistetaan mahdollisimman hyvä poraustulos ja turvallinen työskentely. Jos pohjassa tai seinässä on kynsiä, ne pitää saada kaivettua mahdollisimman hyvin auki, jotta saadaan mahdolliset edellisen katkon korventaneet reiät näkyville. Tarvittaessa tehdään korjausampu ennen katkon porausta. Kovettuvan täytön läpi

poraaminen on haastavaa, koska CRF-perissä reiät eivät pysy auki ja pastaperät ovat niin pehmeitä, että kruunut menevät tukkoon. (Koivuniemi 2017a.)



Kuva 7. Peränporauksen operaattori Juha Koivuniemi putkittamassa pohjareikiä alakätisessä vinotunnelissa RVT4.

Kuva 8. RVT4 pohjareivät putkitettuna

3.7 Perän panostus ja räjäytykset

Perän porauksen jälkeen perät panostetaan emulsioräjähdyksaineella tai putkipanoksilla. Räjähdyksaineina maan alla käytetään yleensä NONEL -impulssiletkuräjätysnalleja. Kittilän kaivoksella käytetään Forcitin toimittamaa K810-emulsioräjähdyksainetta ja Kemix - putkipanoksia, joiden pääraaka-aineena on ammoniumnitraatin vesiliuos, öljy ja emulgointiaineet. Putkipanoksia käytetään pääsääntöisesti vain perien korjausräjätöksissä. Kemix – putkipanokseen on lisätty alumiinia sen räjähdyksenergian lisäämiseksi. K810 - matriisi herkistetään kemiallisesti panostusalustan prosessilaitteistolla sekoittamalla emulsioon mikropalloja, jolloin se muuttuu emulsioräjähdyksaineeksi vasta käyttökohteessa porareikään pumpattaessa. Kaivoksella on käytössä maanalaiseen louhintaan ja panostukseen kehitetty järjestelmäprosessi Kemiitti 810, joka sisältää emulsioräjähdyksaineiden ja teknologian lisäksi myös tarvittavat tukipalvelut joita ovat luvitus, käyttötuki ja varastojärjestelyt. (Forcit 2015.; Forcit Tuoteluettelo 2015.)

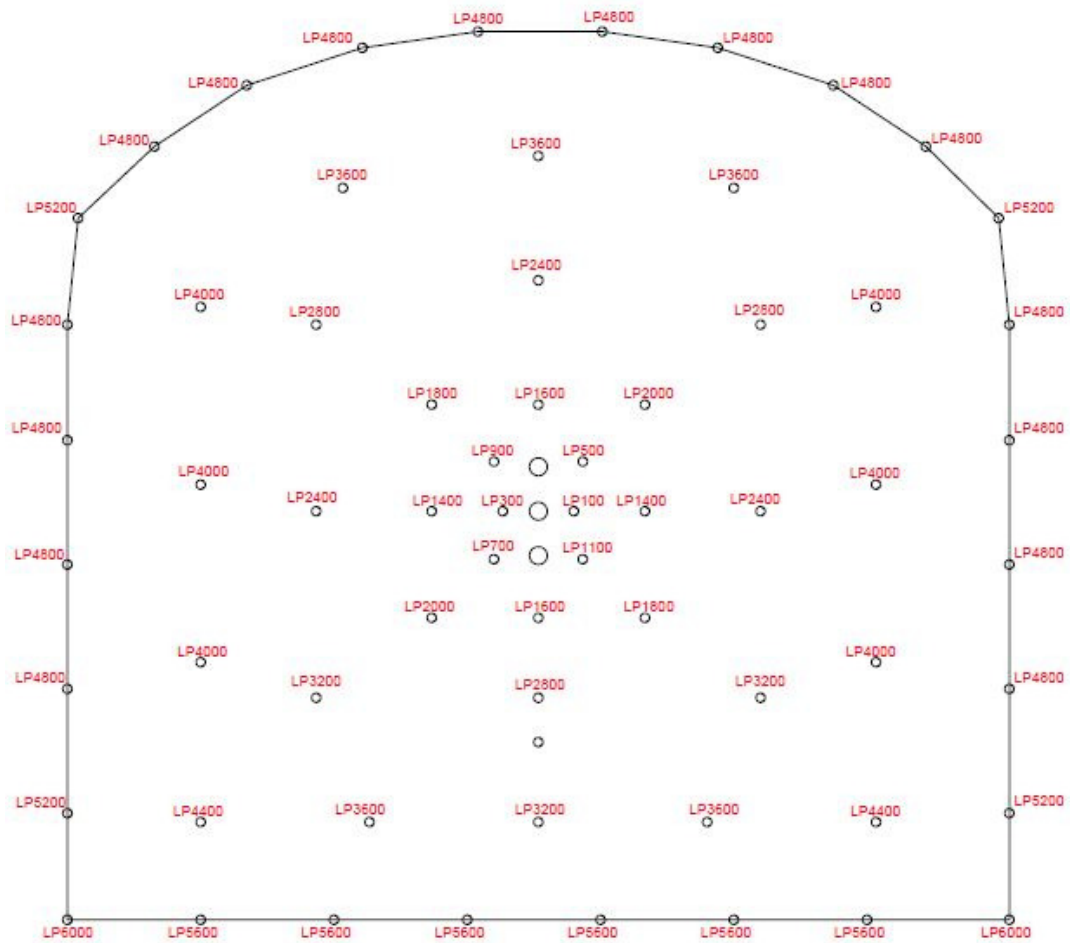
Agnico Eagle käyttää Kittilän kaivoksella Austin Powder sähköttöntä sytytysjärjestelmää (NONEL) perien panostuksessa sekä Daveytronicin elektronista sytytysjärjestelmää (diginallit) louhospanostuksessa. Perien panostuksessa käytetään Austin Powder LP -nallisarjoja Forprime-aloitepanosten kanssa. Sytytys tehdään

niputtamalla NONEL – letkut (maksimissaan 20 ja vähintään 5) Snapline-kytkin-kappaleeseen, jossa nippu pujotetaan räjähtävästä tulilangasta tehdyn silmukan läpi. Nippusytyttimet yhdistetään yhteen Snaplineen, joka liitetään sähkönalliin kytkentävaiheessa eli vuoron lopussa (Kuva 9). (Forcit 2015.)



Kuva 9. Louhoslevityksien panostettu kenttä, jossa NONEL letkut on niputettu Snapline - kytkinkappaleilla

Ennen panostusta tulee panostajan suorittaa huolellinen peräseinän koputtelu/käsin rusnaus työturvallisuuden varmistamiseksi sekä rassata panostettavat reiät auki. Panostuksessa eri hidasteajoilla (100 - 8000 ms) olevat nallit asetetaan siten, että avausreiät panostamattomien avaruusreikien ympäriltä lähtevät ensimmäisenä ristiin ja loput sisältä ulospäin panostuskaavion mukaisesti, nurkkareivät lähtevät viimeisenä (Kuva 10). (Paalumäki ym. 2015, 152.)



Kuva 10. EXEL LP (NONEL) nallikaavio (Agnico Eagle 2017a)

Elektronissa nalleissa ohjelmointiyksiköllä nalleille annetaan yksilölliset sytytysajat ja ne testataan ennen räjäytystä. Muihin sytytystapoihin verrattuna elektronisilla nalleilla saavutetaan tarkempi lohkokokoko ja kiven heitto, parempi louhintajälki, parantunut käyttöturvallisuus ja alhaisemmat louhintakustannukset. (Paalumiäki ym. 2015, 188)

Perien panostuksessa Kittilän kaivoksella käytetään Charmec 1610 BE ja Scania 31 Forcit panostusaluustoja. Näissä on erilliset säiliöt ammoniumnitraattia ja öljyä varten sekä sekoituslaite. Panostajat asettavat nallin ensin Forprime -aloitepanokseen, jonka jälkeen se asetetaan matriisiletkun päähän ja työnnetään panostettavaan reikään, näin nalli tulee asianmukaisesti panostettavan reiän pohjaan. Tämän jälkeen pumpataan matriisi. Panostuslaitteisto on varustettu letkunkäsit-

telyautomaatiikalla, joka myös mahdollistaa räjähdysainemäärän säätämisen vaakareijissä. Pumppaamisessa reseptiä muutetaan panostettavan reiän sijainnista riippuen siten, että avausreiät panostetaan lähes täyteen ja kaarireikiin tulee vähiten silolouhinnan periaatteiden mukaisesti. (Paalumäki ym. 2015, 152.)

Kittilän kaivoksessa on tavoitteena ampua 4 katkoa per vuoro, ja ne ammutaan vuoron päätteeksi klo 05.00 tai klo 17.00. Panostajat kytkevät ja ohjelmoivat panostetut kentät vuoron lopussa, testaavat tason RRK:n kytkentäpaikalla linjan vastuksen ohmimittarilla, ja varmistavat ne vielä päätason kytkentätaululla. Itse räjäytys suoritetaan maan pinnalla tuotannonohjauskeskuksesta, jossa linjat mitataan vielä kertaalleen. Ennen napin painamista työnjohtaja varmistaa, ettei kaivoksessa eikä avolouhoksessa ole henkilöstä, tunnelin suulla on kulkukieltoa tarkoittavat punaiset valot, paikallistuuletukset ovat pois päältä ja vaara-alueet on panostajien toimesta tarkistettu. Perien lähteminen varmistetaan aistinvaraisesti (ääni ja värinä). Räjähdyksessä muodostuu 700 - 100 l kaasua räjähdysainekiloa kohti, sisältäen pääasiassa vesihöyryä, hiilidioksidia ja typpeä. Pieni osa on myrkyllisiä kaasuja, kuten häkää (CO) ja typpioksideja (NO ja NO₂). Paikallistuuletus laitetaan päälle räjäytyksen jälkeen, jotta haitalliseksi tunnettujen savukaasujen pitoisuudet laimentuvat riittävästi HTP - arvojen alapuolelle. (Paalumäki ym. 2015, 184.)

3.8 Lastaus ja kuljetus

Perän lastaus suoritetaan seuraavan vuoron alussa tuotannon toimesta. Ensimmäisenä perään tulee tehdä räjäytyksen jälkeinen tarkastus (RJT), jossa panostaja tai työnjohtaja käy varmistamassa, että perä on lähtenyt suunnitellusti, eikä lähtemättömiä ole jäänyt. Myös savukaasupitoisuudet tarkistetaan monikaasumittarilla. Tämän jälkeen suoritetaan perän kastelu, jossa louhittavan materiaalin hienoaineksesta syntynyt pöly saadaan sitoutumaan kiveen. Kivet lastataan yleensä LHD-lastauskoneella kiviautoihin 28 tn kuormissa. Kuormat kuljetetaan joko louhostäyttöihin tai pintaan sivukiven, kiisun tai malmin läjitysalueille. Tavallisesti katkon lastauksessa kestää noin 2 h / 400 tn riippuen lastattavan kohteen sijainnista ja käytössä olevasta kiviautomäärästä riippuen. Lastauskone "rusnaa" kauhalla peräseinästä ja katosta kohtuudella irtoavat kivet lastauksen aikana ja puhdistaa perän pohjan irtokivistä.

3.9 Rusnaus

Rusnaustöitä tehdään kaivoksessa yleisesti seuraavissa neljässä työvaiheessa: välittömästi louhintatyövaiheeseen liittyen, kalliomekaanisten ja seismisten tapahtumien vaikutusalueilla, aktiivisten tuotanto- ja työtilojen sekä pitkäaikaisten tilojen tarkastuksissa. Kallion rusnaamisella tarkoitetaan irtonaisen kivi-aineksen eli komujen irrottamista kallioseinämistä ja katosta, katkolouhintaprosessissa se suoritetaan välittömästi perän lastauksen jälkeen. Rusnaustyöt tehdään pääosin mekaanisesti, käsin rusnausta tehdään vain sellaisissa työkohteissa, joissa työn määrä on vähäinen ja kallionlaatu hyvä. Käsin rusnatessa meisselipäisellä alumiini- tai teräskangella koputellaan kallion pintaa, irtonaisen kiviaineksen tunnistaa matalasta/kumeasta vastinäänestä, irti oleva materiaali tiputetaan alas komukankea käyttämällä. Käytettävän henkilönostimen kori on yleensä varustettu turvakatoksella eli komukatolla. Huomioitavaa on, että käsin rusnaus on kaikkien kaivostyöntekijöiden perustaito, jolla voi varmistaa oman työalueensa turvallisuuden. Mekaaninen rusnaus tehdään koneellisesti yleensä iskevällä hydraulivasaralla tai kaivinkoneeseen kiinnitettävällä rusnauspiikillä. Tunnelin katto- ja seinäpinnat vasaroidaan tai raavitaan järjestelmällisesti alas. (Paalumäki ym. 2015, 240.)

Kittilän kaivoksella on käytössä 3 kpl hydraulivasaralla varustettua diesel/sähkömoottorikäyttöistä iskevää rusnauskonetta, joista 2 kpl on Normet Scamec 2000M ja 1 kpl Jaman SBU8000. Perää lähdetään rusnaamaan järjestelmällisesti, katto ensin ja seinät ylhäältä alas katkon alusta loppua kohti. Kattoa rusnatessa pitää muistaa, että puomi ei saa olla liian pystyasennossa tai takaviistossa, koska se voi vaurioittaa kalustoa, esimerkiksi vasaran tiltin sylinteri voi katketa. Peräseinä tulee rusnata (alhaalta ylöspäin) hyvin seuraavia työvaiheita varten. Rusnaus tulee tehdä mahdollisimman huolellisesti, mutta yllirusnausta tulee välttää, jotta perän profiili pysyy muodossa ja esimerkiksi katto ei lähde ”kirkottamaan”. Rusnatessa muodostuu paljon kivipölyä, jota sidotaan vesisumulla. Rusnauksen jälkeen perä käydään puhdistamassa seuraavia työvaiheita varten rusnauskivistä pyöräkoneella. (Kallo 2017.)

3.10 Kalliolujitus

Kalliolujitus on kalliomassan vahvistamista esimerkiksi kalliopulteilla tai kallionpintaa ruiskubetonoimalla. Se on tarkoitus vahvistaa kalliota niin, että se pystyy kantamaan itse siihen kohdistuvat rasitukset. Tuennalla varmistetaan tilan tarpeen mukainen pysyvyys halutulla aikavälillä, mikä vaihtelee käyttötarkoituksen mukaan. Vinotunneleissa, huoltohalleissa ja nostokuiluissa pyritään kaivoksen elinikäiseen pysyvyyteen, kun taas louhinta-alueella perälujituksessa käytetään lyhytikäisiä kitkapultteja ja louhoslujuksessa vaijeripulttitusta ja louhostäyttöä. Kalliolujitusta on tarkasteltava investointina sekä tuotantovarmuuteen että työturvallisuuteen, eikä suinkaan kustannuksena. Esimerkiksi yksi louhossortuma voi vastata usean kuukauden lujituskustannuksia malmitappioiden ja raakkulaimenuksen kasvaessa. (Paalumäki ym. 2015, 237.)

Kittilän kaivoksella vinotunnelit, yhdysperät ja tasoperät lujitetaan ruiskubetonoinnalla ja hartsipulteilla. Lisäksi kohteet, missä on isompi jänneväli, kuten risteysalueet ja tunneleiden kaarteet, vaijeripulttitetaan. Louhosperät tuetaan ruiskubetonoinnalla ja swellex - pulteilla, lisäksi louhoksen katto ja lastausaukko vaijeripulttitetaan.

3.10.1 Ruiskubetonointi

Ruiskubetonointi on lujitusmenetelmä, jossa betoni ruiskutetaan ruiskutuspuuttimen avulla ohuena kerroksena tuettavan kallion pintaan noin 5-10 cm paksuudella, paksuus riippuu käyttökohteesta. Se jaetaan kahteen menetelmään, jotka ovat kuiva- ja märkäseosmenetelmät. Märkäseos huomattavasti edullisempi ja selvästi yleisin kaivoksissa, kuivaseosta käytetään vain ahtaissa tiloissa kuten kuiluissa ja betonirakenteiden korjauksissa. Märkäseosruiskutuksessa valmiiksi sekoitettu betonimassa syötetään ruiskutuspuuttimeen. Ruiskubetonikiihdyttimillä voidaan tehdä nopeasti kovettuvia betonirakenteita, niillä saadaan lisättyä kerralla ruiskutetun kerroksen paksuutta ja nopeutetaan betonin lujuuden kehittymistä. Vahvistetussa ruiskubetonissa käytetään kuituja 30 – 50 kg/m³ (teräs tai muovi) heikon kallionlaadun kohteissa, jotka lisäävät sen sitkeyttä. Raudoitusverkkoa/pulttitusta käytetään ruiskubetonoinnin yhteydessä huonoissa kiviolosuhteissa. Kittilän kaivoksen kiviolosuhteissa ruiskubetonointi on harvoin yksistään

riittävä lujitus vaan se tarvitsee pultituksen, verkotuksen ja/tai vaijeripultituksen rinnalle. (Paalumäki ym. 2015, 250-251.)

Ruiskubetonointijumbossa on yleensä kaksoismäntäpumppu kahdella sylinterillä, joista toinen syöttää betonimassaa letkuun toisen imiessä sitä pumpun syöttösuppilosta. Kaksoismäntäpumpppua käytettäessä sopiva painauma arvo ruiskubetonimassan notkeudeksi on 6 - 10 cm. Ruiskubetonointijumboissa ruiskutus-suutin on kiinni hydraulisesti ohjattavassa puomissa ja niihin voidaan asentaa erilaisia automaattitoimintoja kuten suuttimen pyöritys, kiihdyttimien suhteutus ja automaattinen puomin zoomi. Niissä voi olla kaksi ruiskutuspuomia. Normetin Spraymecissa voidaan sekä ohjaamosta että kauko-ohjaimella säätää seuraavia toimintoja:

- Kiihdyttimen annostelumäärä (%)
- Betonin pumppaustuotto (m³/h)
- Paineilmavirtauksen tuotto (m³/min)
- Veden tuotto seinämän pesua varten (l/min)

(Normet 2014.; Paalumäki ym. 2015, 254)

3.10.2 Ruiskubetonointi Kittilän kaivoksella

Kittilän kaivoksella on käytössä kolme yksipuomista ruiskubetonointijumboa: 2 kpl Normetin Spraymec 1050 WPC ja 1 kpl Jama CSU 8000. Valmiiksi sekoitettu betonimassa toimitetaan Ruduksen toimesta 5 – 6 m³ betoniautoilla kohteisiin. Rappari tilaa kuorman Tokesta, jolloin se ilmoittaa työkohteen, toimitettavan määrän (m³), lisätäänkö massaansa teräskuituja vai posliinia sekä tarvitaanko kiihdytintä rappauskoneen säiliön täyttämiseksi. Kittilässä käytetään lähes poikkeuksetta teräskuitumassaa sekä kiihdytintä. Työkohde tulee olla tarkistettuna ennen massan tilausta, jotta se on varmasti hyvin rusnattu ja puhdistettu, eikä siellä ole edellisen katkon räjäytyksen jälkeen piuhoja tai lähtemättömiä.

Itse rappaus aloitetaan pesemällä rapattava alue vesipaineella, jolla varmistetaan ruiskubetonin tarttuminen kallionpintaan sekä puhdistus irtokivistä. Betoniauton saapuessa tarkistetaan massan lämpötila, jonka tulee olla 17 - 25 C. Itse rappaus aloitetaan alhaalta ylöspäin, jotta massa pysyy paremmin. Katko rapataan kynnestä kynteen ja mahdolliset kolot pyritään täyttämään, jotta kallionpinnasta tulisi mahdollisimman tasainen. Kärrän etäisyys kallionpintaan tulee olla riittävä, jotta massa jää seinään. Ruiskubetonoinnin paksuudentulee olla vähintään 5 cm. Peräseinää ei rapata, ellei sitä ole erikseen pyydetty ja mahdolliset roiskeet pestään rappauksen jälkeen. Vuoron alussa kone valellaan muottiöljyllä puomiston, kärrän ja hopperin alueilta sekä linjasto voidellaan. Vuoron lopussa suoritetaan koneen huolellinen pesu kauttaaltaan, massalinjasto huuhdellaan vedellä ja paineella 3 - 4 kertaa ja öljytään. Ruiskubetonin kuivumisaika on 6 h ennen seuraavaa työvaihetta. Kuvassa 11 kovettuvan CRF-täytön läpi ajetun perän ruiskubetonointia. (Hettula 2017; Martikkala 2017)



Kuva 11. Ruiskubetonointia CRF-perässä Kittilän kaivoksella

3.10.3 Pultitus

Yleisin tapa kallion lujitukseen on kalliopultitus, jossa käytetään yleensä 2 – 3 m pitkiä terästankoja. Niitä käytetään tavallisesti yhdessä ruiskubetonin tai verokituksen kanssa riittävän tuennan ja työturvallisuuden varmistamiseksi. Pultitus vahvistaa rikkonaista kalliota puristamalla murtumapinnat yhteen lisäten pintojen välistä kitkaa tai säteittäistä puristusjäännitystä. Kalliopultit jaetaan aktiivisiin ja passiivisiin pultteihin. Passiiviset pultit tukevat kalliota vasta sen jälkeen kun kallion muodonmuutokset kohdistavat niihin kuormitusta. Kittilän kaivoksella on käytössä aktiiviset pultit, jotka tukevat kalliota välittömästi asennuksen jälkeen, niitä esitellään seuraavana. (Paalumäki ym. 2015, 246-247.)

Swellex – pultti on vedellä laajennettava ohutseinäinen teräsputki. Se on aluslevyllinen heti tukevia kitkapultti, joissa tartuntalujuus perustuu pultin reiän seinämään kohdistuvan säteen suuntaiseen paineeseen. Se luokitellaan lyhytaikaiseksi tueksi eikä se kestä erittäin happamissa olosuhteissa ($\text{pH} > 4$). Kokoon taitettu putki asennetaan 32 - 39 mm reikään ja pullistetaan vesipaineella. Kitka-vaikutus ja mekaaninen lukitus syntyy, kun laajentunut putki seuraa tarkasti reiän seinämiä. Se myös paisuessa lyhenee hieman, mikä vetää aluslevyn kalliopintaa vasten ja jännittää putkea. (Paalumäki ym. 2015, 248-249.)

Hartsijuotettuja harjateräspultteja käytetään pitkäikäisissä kohteissa. Ne kestävät hyvin korroosiota, eivätkä ole herkkiä värinälle ja irtoamiselle. Ne kiinnittyvät hyvin rikkonaiseen kallioon. Niiden asentaminen on noin puolet hitaampaa kuin Swellex - pulttien asennus. Lisäksi Kittilän kaivoksella käytetään pitkäaikaiseen tuentaan myös CT - pultteja, jotka ovat sementoituja paisuntakuoriankuri-pultteja. Ne on suojattu korroosiolta polyeteeniputkella ja ovat kalliimpia kuin useat muut pulttityypit. Kittilän kaivoksella pulttaus tehdään ruiskubetonoinnin 6 h:n kuivumisajan jälkeen. (Paalumäki ym. 2015, 246-248)

3.10.4 Pultitus Kittilän kaivoksella

Louhosperien tuentaan käytetään vesipaineella laajenevia 2,4 m Swellex-pultteja ruiskubetonoinnin jälkeen. Kittilän kaivoksella on käytössä Swellex – pultitukseen 2

kpl Atlas Copco Boltec LC – pultitusjumboa. Pultit asennetaan kohteen pulttauskaavion mukaisesti, tavalliseen louhosperään tulee 7 pulttia kolmeen linjaan, yhteensä 21 pulttia. Swellex - pultteja laitetaan louhosperissä 2,5 m työskentelytassosta 1,5 x 1,5 m ruutuun. Pulttaus aloitetaan tuetulta alueelta. Swellex - pulttaus vaatii poravesilinjasta 3 - 4 barin paineen, pienemmällä vesipaineella korotuspumppu ei yleensä lähde päälle. Pulttauksessa porataan ensin 35 mm:n porakruunulla 2,35 m pitkä reikä, jonka auki pysyminen varmistetaan porakangella puhaltamalla reikä lopuksi vedellä ja ilmalla puhtaaksi. Tämän jälkeen reikään laitetaan Swellex - pultti, joka paisutetaan vesipaineella kallionseinämää vasten. (Väisänen 2017.)

Vinotunneleiden, taso- ja yhdysperien sekä muiden pitkäikäisten kohteiden pulttaukseen käytetään hartsijuotettuja 2,4 m harjateräspultteja. Kittilän kaivoksella on käytössä kaksi kaksipuomista pultitusjumboa hartsipulttaukseen: 1 kpl Atlas Copcon Boltec LC (Kuva 11) ja 1 kpl Sandvik DS511i Robolt. Boltecissa on huomattavasti enemmän automatiikka kuin Roboltissa, ja Roboltissa pystyy tekemään seuraavia työvaiheita manuaalisesti edellisen työvaiheen ollessa vielä käynnissä. Pultteja laitetaan samalla tiheydellä kuin Swellex - pultteja. Ensin porataan 33 mm pyöreänastaisella porakruunulla 2,35 m pitkä reikä. Porauksen jälkeen tulee varmistaa porakangella sekä paineilmalla ja vedellä, että porattu reikä on varmasti auki, jotta hartsipatruunat pystytään ampumaan reikään eivätkä ne hajoa. Hartsimakasiinin täyttö on yksi hartsikoneen operaattorin suorittamista työtä tukevista tehtävistä (Kuva 12). Tämän jälkeen ladataan hartsit makasiinista hartsiletkuun. Hartsit ladataan järjestyksessä 2 kpl nopeaa keltaista patruunaa ja tämän jälkeen 4 kpl hidasta punaista patruunaa, jonka jälkeen ne ammutaan reikään. Tämän jälkeen harjateräspultti otetaan pulttausistukkaan ja työnnettäessä reikään pyöritetään pulttia 20 s hartsin sekoittamiseksi, aluslevy jätetään 1 - 2 cm irti kallioista. Tämän jälkeen työnnetään aluslevy kallioon ja odotetaan 40 s, jotta hartsit on kovettunut ja kiristetään aluslevy mutterilla kallionpintaan. (Teräsniska 2017.)



Kuva 11. Atlas Copco Boltec työkohteessa, pulppu- ja verkko-

Kuva 12. Atlas Copco Boltec hartsimakasiinin täyttö alkamassa

Verkotusta käytetään yhdessä kalliopulttien kanssa, ne estävät pienten kivenkappaleiden putoamista pulttien välistä. Niitä käytetään usein myös yhdessä ruiskubetonoinnin kanssa, jolloin se toimii raudituksen tavoin lujittaen ruiskubetonia entisestään. Ruiskubetoni/verkko -yhdistelmää käytetäänkin vaikeissa kalliomekaanisissa olosuhteissa sekä kallioräiskealueilla. Verkkotyyppejä on kahdenlaista: hitsattuja verkkoja ja kudottuja panssariverkkoja. Hitsatun 5,5 mm kaivosverkon ruutukoko on 100 x 100mm, punotussa verkossa se voi olla myös 50 x 50mm, mutta silloin se sopii huonommin ruiskubetonin kanssa. Punottu sopii taipuvuutensa takia hyvin epätasaisille kallio pinnoille. Kittilän kaivoksella verkotus tehdään mekaanisesti kaksipuomisilla pulttituskoneilla, ja verkko laitetaan kallio pulttien aluslevyjien alle. Galvanoitua verkkoa käytetään vinotunneleissa ja risteysalueella ja tavallista mustaa verkkoa louhoskohteissa. (Paalumäki ym. 2015, 243.)

Kittilän kaivoksella verkotusta käytetään säännönmukaisesti vain kovettuvan pastan tai CRF-täytön läpi ajettavissa perissä, joiden tukemiseen on oma työohje lujituksen osalta. Muita kohteita ovat esimerkiksi pilarien ja risteysalueiden verkotus sekä TRB-nousun reikien verkotus. Dynaamista verkotusta ollaan ottamassa enemmän käyttöön myös Kittilän kaivoksella, jossa verkot laitetaan ruiskubetonoinnin jälkeen, jolloin ne pääsevät kallio perän liikkeiden vaikutuksesta venymään tarvittaessa paremmin kuin ruiskubetonoinnin alla.

3.10.5 Vaijeripultitus

Vaijeripulttitusta käytetään suurten kivimassojen lujittamiseen ja niiden toiminta-periaate on sama kuin kalliopulttien. Etuna on että vaijeripulttien pituus voi vaihdella muutamasta metristä 40 metriin, lujuus on jopa kolminkertainen perinteiseen harjateräkseen verrattuna. (Paalumäki ym. 2015, 241.)

Kittilässä on käytössä kaksi Atlas Copco Cabletec -vaijeripultitusjumboa, joissa on 1,8 m jatkotankokalusto. Kittilässä kaivoksella vaijeripulttitusta tehdään ennen louhintaa louhosten kattoon ja lastausaukkoon, jolloin ne tukevat kattoa ja seiniä tuotantolouhoksia varten. Toinen käyttökohde on peränajon yhteydessä vinotunnelin kaarteiden ja risteysalueiden tuenta, joissa jänneväli on yli 8 m. Yleensä Kittilän kaivoksella käytetään 6 - 8 m vaijereita, jossa vaijerilinjojen väli on 2 m ja reikäväli 1,5m. Tavalliseen louhosperään vaijereita tulee 7 kpl per linja, risteysalueille ja vinotunneleiden kaarteisiin enemmän.

Työsuorituksessa kone asemoidaan ensimmäiselle reiälle, jonka jälkeen kone osaa automaattisesti navigoida seuraavalle. Reiät porataan 51 mm porakruunulla, joka on yleensä puoliballistinen. Kohteesta riippuen, yleensä useamman linjan porauksen jälkeen, operaattori laittaa betonisäiliöön kuivabetonimassan sekoituksen käyntiin, jossa yhteen säiliölliseen tulee 130 kg kuivasementtiä ja 40 l vettä. Injektointivaiheessa reikään laitetaan ensin betonimassa, jonka jälkeen sinne työnnetään vaijerikelalta 15,2 mm jännepunosta. Yhteen 6 m reikään menee noin 22 kg betonimassaa. Riippuen vaijerin pituudesta, siihen tehdään tarvittava määrä mutkia varmistamaan vaijerin pysyvyys reiässä. Vaijeri katkaistaan 30 - 50 cm:n etäisyydeltä reiän suulta, jotta aluslevyn asennuksessa vaijeritun-kille jää riittävästi tartuntapituutta, kuivumisaika ennen lätkitystä on 2 vrk. Mahdolliset vesireiät tulee porata uuteen paikkaan, koska on todennäköistä, ettei juot-taminen niihin onnistu. Rikkonaisessa kivessä porattaessa tulee varmistua, ettei reikään jää irtokiviä tai reikä sorru tukkoon. (Rantatalo 2017.)

3.11 Varustelut

Varusteluiden osalta tulee seuraavien asioiden olla kunnossa operaattorin mennessä työkohteeseen. Työkohteessa tulee olla riittävä paikallistuuletus ja tuulettorven pää tulee sijaita maksimissaan 60 m työskentelypaikasta. Työkoneen tarvitsema sähkökeskuksen eli VYK:n tulee olla riittävän lähellä ja siinä tulee olla porasähköpistoke, pistokkeen alapuolella tulee olla erillinen vedonpoistaja. Sähkö voidaan tuodaan lähemmäs työkonetta myös heittokaapeleilla, joita saa kytkeä peräkkäin enintään 2 kpl. Poravesi tulee olla riittävän lähellä ja hanan alapuolella tulee olla erillinen vedonpoistaja. Eri työkoneiden omilla sähkö- ja letkukeloilla on vaihteleva määrä kaapelia ja vesiletkua, mutta nyrkkisääntönä voi pitää että 50 - 70 m säteellä työkohteesta tulisi löytyä sähkö- ja vesiliittymät. Myös ajoteiden tulee olla riittävän hyvässä kunnossa.

3.12 Peränajon työnkierto

Peränajossa tulee olla tiivis kierto työvaiheiden välillä, jotta peränajo etenee tavoitteiden mukaisesti. Pitäisi pyrkiä siihen, että työkone esim. porajumbo pystyy työskentelemään pienellä alueella, mielellään viereisillä tasoilla koko vuoron. Näin saadaan siirtymiä minimoitua ja työskentely on tehokasta. Välikirjan olisi hyvä olla esimerkiksi peränporauksen osalta 6.11.2017 päivävuoron mukainen (Kuva 13). Tällöin myös tulevien työvaiheiden osalta peränajon kokonaistehokkuus saavuttaa toivotun tason. Esimerkiksi jos peränporauksessa 525 – 550 tasoilla porataan neljä katkoa 1-2 vuoron aikana, niin ne voidaan seuraavan vuoron aikana panostaa ja räjäyttää kaikki kerralla. Tämän jälkeen ne voidaan myös lasata, rusnata, rapata ja pultata tehokkaasti, jolloin peränajon ja kaluston sykli kyseisellä alueella eri työvaiheiden välillä on optimoitu ja pitkiä siirtymiä on vuoron aikana vähän. Tietysti on tapauksia, että kone joudutaan ajamaan kauemmas kiireisemmille kohteille tai kiirekohde pitää räjäyttää ennen lähellä sijaitsevia periä, mutta tämä pirstaloi myös tulevat työvaiheet ja kokonaistehokkuus kärsii.

T,1	S525TP1	K	pultattu	x														
	S525TP4	K	pulttaus kesken Boltec1															1
	S525P156	L	putsattu, merkkamatta	1	2													
	S525P157	K	pultattu	x														
T, 1	S550TP1	L	putsattu		x													
	S550TP2	K	pultattu	x														
	S550P170	K	räjätetty 05:00							x								
	S550P174	K	räjätetty 05:00							x								
	S600TP2	K	putsattu, merkattu			x												
	S625TP2	L	putsattu			x												17.3
	S700YP	L	porattu				x											
	S725YP	L	poraus kesken Boomer2			x												
	S725P171																	
	S725TP1	L																
	S725TP2	L																
T, 2	S750KUP1	L	putsattu			x												

Kuva 13. Peränajon välikirja 6.11.2017, porajumbojen paikat keltainen/vihreä.

3.13 Kittilän kaivos peränajon kaluston investoinnit ja kunnossapito

Peränajon kalusto on joidenkin työkoneiden osalta 10 vuotta vanhaa. Niiden peruskunnostukseen joudutaan laittamaan paljon rahaa ja koneissa on paljon suunnittelemtomia remontteja. Kaivoksella on suunnitteilla kaluston hankintoja, ja niihin ollaan saamassa investointirahaa kaivoksen laajenemisen myötä. Uusien hankintojen myötä laitteiden käytettävyyys ja käyttöaste tulee varmasti nousemaan.

Kunnossapidon tilat ovat liian pienet nykyisellekin kalustofleetille. Päätasolla sijaitsevaan 350 huoltohalliin ei mahdu koneita riittävästi ja perissä tehtäviä remontteja joudutaan tekemään usein. Laajennusten myötä myös kunnossapito saa uudet isommat huoltotilat uudelta päätasolta, mikä tuo helpotusta myös kunnossapidon haasteisiin.

4 PERÄNAJON TEHOKKUUS JA ODOTUSAJAT

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus selvittää Kittilän kaivoksen peränajon tehokkuutta ja työvaiheiden häiriötekijöitä. Peränajo ei ollut 2017 alkuvuoden aikana päässyt sille asetettuihin tavoitteisiin, jonka vuoksi oli aiheellista selvittää, mistä syistä odotusaikoja tulee eri työvaiheissa ja kuinka paljon niillä on vaikutusta peränajon tehokkuuteen. Tehokkuuden mittaroinnissa keskityttiin peräporaukseen, pultitukseen sekä ruiskubetonointiin. Niiden tuloksia esitellään seuraavassa.

4.1 Käytetyt tutkimusmenetelmät

Työ suoritettiin tutustumalla ensin peränajon kaikkiin osa-alueisiin, jotta saadaan selville, millä tavalla ja mihin työvaiheisiin on tarpeellista keskittyä. Tutkimustyö tehtiin 12.10.2017 – 5.12.2017, jolloin kuljin peränajon operaattoreiden kanssa yhteensä 25 päivävuoroo. Edellä mainitun jakson aikana tutustuin seuraaviin työvaiheisiin: peränporaus (8 vuoroo), pulttaus (6 vuoroo), ruiskubetonointi (5 vuoroo), peränpanostus (3 vuoroo), rusnaus (1 vuoro), vaijeripultitus (1 vuoro), kaivosmittaus (1 vuoro) ja tuotannonohjauskeskus (1 vuoro).

Tarkempaan tutkimukseen ja seurantajakson tulosten analysointiin valittiin mukaan peränporaus, pulttaus ja ruiskubetonointi, joiden osalta seurantajakso oli yhteensä 19 vuoroo. Vuoron kesto on 10 tuntia klo 07.00 – 17.00. Aamulla ennen vuoron aloitusta keskustelin peränajon työnjohtajan kanssa, minkä työkoneen ja operaattorin mukaan tänään kannattaa lähteä. Tarkoitus oli mennä sellaisten työkoneiden mukaan, joilla on kyseiselle vuorolle riittävästi selkeitä työkohteita, ei suunniteltuja huoltoja tai muita tiedossa olevia hidasteita. Edellä mainituista syistä johtuen tutkimuksen tulokset ovat suuntaa-antavia, koska jos olisin arpoimalla valinnut koneen, niin todennäköisesti odotusaikoja ja remontteja olisi ollut vielä enemmän. Luotettavampaan tutkimustulokseen pääseminen olisi vaatinut vähintään pari kuukautta pidemmän tutkimusjakson.

Jakso oli erittäin opettavainen, kun samalla opin eri työkoneiden työsuoritusten käytännön sisällön sekä opin tuntemaan kalustoa. Haastattelut operattoreiden kanssa toivat esiin paljon eri huomioita työvaiheisiin liittyen ja kehityskohteita.

Kirjasin ylös vuoron aikana työtä hidastavia odotusaikoja, joita olivat esimerkiksi: savujen odotus, poravesiongelmät, suunnitteleman remontti perässä ja perän puhdistuksen odottaminen.

4.2 Tutkimustulokset

Opinnäytetyön tulokset on jaettu viiteen pääosa-alueeseen keskittyen työvaiheissa eri syistä esiintyviin odotusaikoihin, tehokkaaseen työaikaan ja työtä tukeviin tehtäviin:

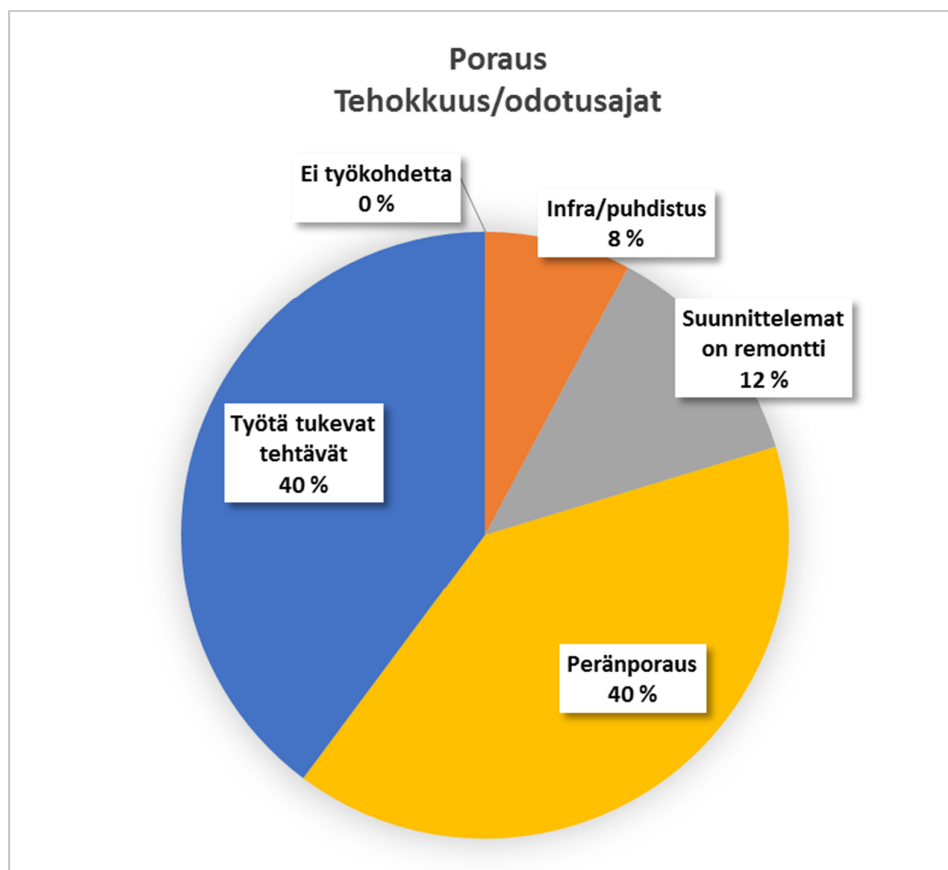
- Ei työkohdetta
 - o Työkoneelle ei ole valmista työkohdetta/edellinen työvaihe on kesken
- Infra
 - o Infraan liittyvä odotusaika koostui seuraavista asioista: savukaasujen tuulettuminen, poravesiongelmia, puhdistuskaluston odotus, SVT1 liikenne poikki varusteluiden tartuntojen porauksen vuoksi
- Suunnitteleman remontti
 - o Perässä tehtävä remontti, vika estänyt koneen käytön. Sisältää mahdollisen kunnossapidon asentajan odotusajan.
- Tehokas työaika
 - o Varsinaisen työtehtävän suorittamiseen käytetty aika (vastaa koneen sähkömoottorityötunteja)
- Työtä tukevat tehtävät
 - o Kaikki muu mikä ei liity edellä mainittuihin osa-alueisiin: Vuoron aloitus ja lopetus, siirtyminen kaivokseen/työkohteisiin ja ruokatunneille, henkilöstön kuljettaminen, työtarvikkeiden nouto, kaluston siirto eli dieselyötunnit, poraveden ja – sähköjen liittäminen työkohteessa, putkittaminen ja retkominen, porakruununvaihdot, pulttien ja hartsien täyttö, kaluston päivittäiset huoltotoimenpiteet (rasvaus, öljyt, pesu)

- Lisäksi ruiskubetonoinnin osalta on kelloitettu betonimassan toimituksen odotusaika

4.2.1 Peränporauksen kokonaistehokkuus ja odotusajat

Peränporauksessa tarkastelujakso oli 8 päivävuoroa eli 80 h. Tässä ajassa tehokas työaika, työtä tukevat tehtävät ja odotusajat jakautuivat seuraavasti (Kuvio 5):

- Tehokas työaika: 40 %
- Työtä tukevat tehtävät: 40 %
- Suunnittelemattomasta remontista johtuva odotus: 12 %
- Infrastrukturan tai työkohteen puhdistuksesta johtuva odotus: 8 %



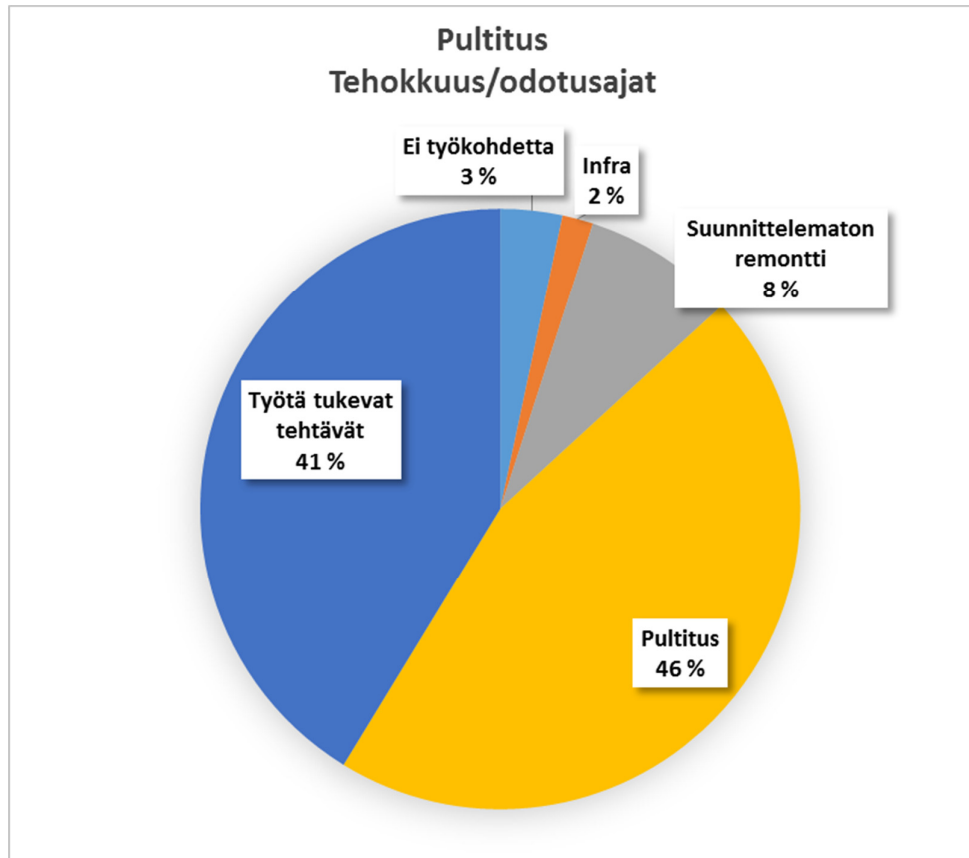
Kuvio 5. Peränporauksen tehokkuus ja odotusajat

Tehokas työaika (40 %) vastaa kohtuullisen hyvin kunnossapidon vuonna 2016 tekemää OEE -laskelmaa porajumbojen käyttöasteesta 48 % (Rautanen 2017). Kahdeksan prosentin ero selittyy sillä, että kunnossapidon laskelmassa käyttöasteeseen on laskettu sähkömoottorityötuntien lisäksi koneen siirtymissä kertyvät dieselyötunnit, kun tämän työn tuloksissa koneen siirtymät on luokiteltu työtä tukeviin tehtäviin. Perässä tehtävistä remonteista johtuvia odotusaikoja oli porajumboilla eniten, minkä voi osin tulkita johtuvan vanhasta kalustosta. Atlas Copcon Boomerit ovat 10 vuotta vanhoja, jotka alkavat peruskunnostuksista huolimatta olla elinkaarensa päässä. Esimerkiksi porapuoimit ovat sen verran ruostuneita ja lahoja, että niiden hitsaustöitä joudutaan aika ajoin tekemään. Lisäksi vasaran vaihto kestää osien etsimisen kanssa noin 5 tuntia, jonka vuoksi vasaran, vesipesän ja niskan vaihtoa pitäisi pystyä ennakoimaan ja tehdä ne suunnittelun huollon yhteydessä. Odotusaikoja tulee myös perän puhdistusta odotellessa, etenkin yhdessä tarkastelujakson vuorossa, kun koko kaivinkonekalusto (3 kpl) oli remontissa. Perien puhdistaminen ennen porausta on tärkeää, jotta voidaan varmistua, että ei esimerkiksi pohjan kynsissä ole lähtemättömiä ja saadaan vanhat porareivät näkyviin. Poravesiongelmia ei sattunut tarkastelujakson vuoroille.

4.2.2 Pultitus

Pultituksessa tarkastelujakso oli 6 päivävuoroa eli 60 h. Tässä ajassa työaika, työtä tukevat tehtävät ja odotusajat jakautuivat seuraavasti (Kuvio 6):

- Pultitus: 46 %
- Työtä tukevat tehtävät: 41 %
- Suunnittelemattomasta remontista johtuva odotus: 8 %
- Ei työkohdetta: 3 %
- Infra: 2 %



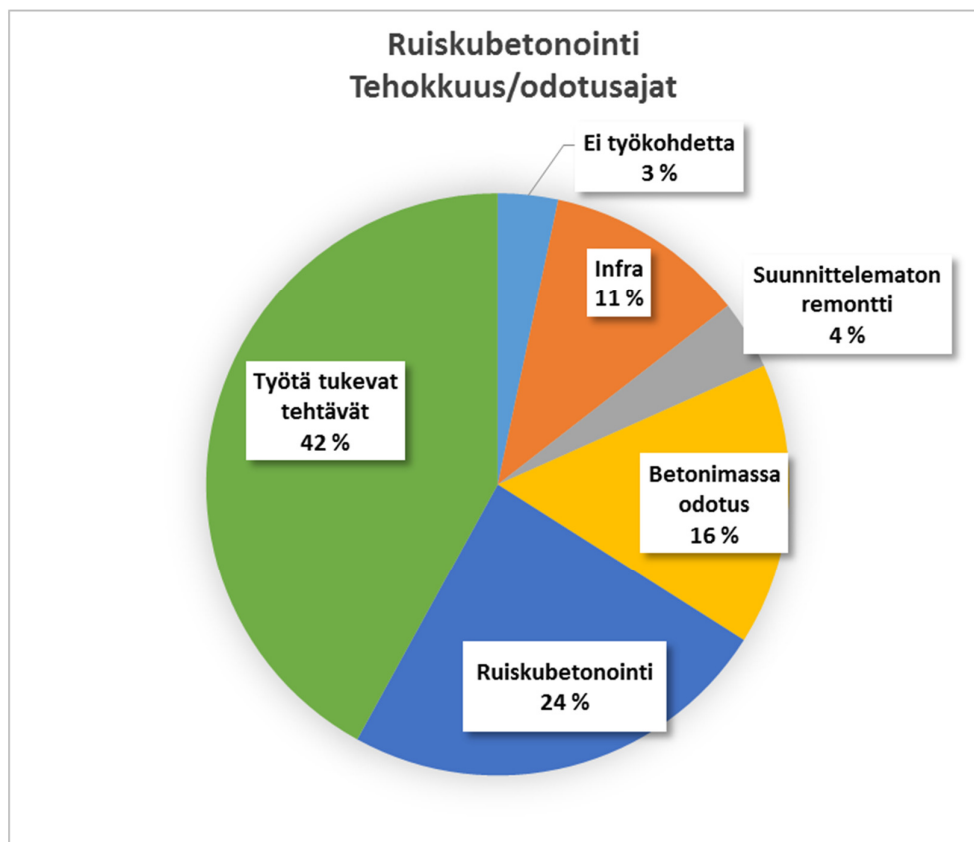
Kuvio 6. Pultituksen tehokkuus ja odotusajat

Tehokas työaika (46 %) oli pultituksessa vähän korkeampi kuin porauksessa, ja se vastaa hyvin kunnossapidon vuonna 2016 tekemää OEE -laskelmaa pultitusjumbojen käyttöasteesta 44 % (Rautanen 2017). Perässä tehtäviä remonteja oli pultitusjumboilla 8 % työajasta, joka koostui esim. vesiventtiilin vaihdosta, pultti-istukan säädöstä ja kiinnityspulttien vaihdosta. Pultituskoneissa näyttää olevan yleinen ongelma, että pultti-istukka ei ota pultteja kuin toiselta puolelta. Kiinnityspultteja ja lukkomuttereita pitäisi uusia tiheämmin, kovimmalla rasituksella oleviin paikkoihin aina suunnittelun huollon yhteydessä. Edellä mainitut ongelmat voivat osittain johtua vanhasta konekannasta. Lisäksi paineakut tulisi tarkistaa joka huollon yhteydessä ja puomien letkujen kiinnitykset. Alhaisen vesipaineen takia oli odotusta Swellex - koneilla. Hartsikoneilla oli pieniä ongelmia hartsin latauksen kanssa.

4.2.3 Ruiskubetonointi

Ruiskubetonoinnissa tarkastelujakso oli 5 päivävuoroa eli 50 h. Tässä ajassa työaika, työtä tukevat tehtävät ja odotusajat jakautuivat seuraavasti (Kuvio 7):

- Ruiskubetonointi (sisältää perän katon ja seinien pesun): 24 %
- Työtä tukevat tehtävät: 42 %
- Betonimassan toimituksesta johtuva odotus: 16 %
- Infrastruktura tai työkohteen puhdistuksesta johtuva odotus: 11 %
- Suunnittelemattomasta remontista johtuva odotus: 4 %
- Ei työkohteita: 3 %



Kuvio 7. Ruiskubetonoinnin tehokkuus/odotusajat

Ruiskubetonointiin liittyvänä erikoispiirteenä on betonimassan toimituksen odotusaika, joka tarkastelujakson aikana vaihteli. Tämä johtuu siitä, että massaa toi-

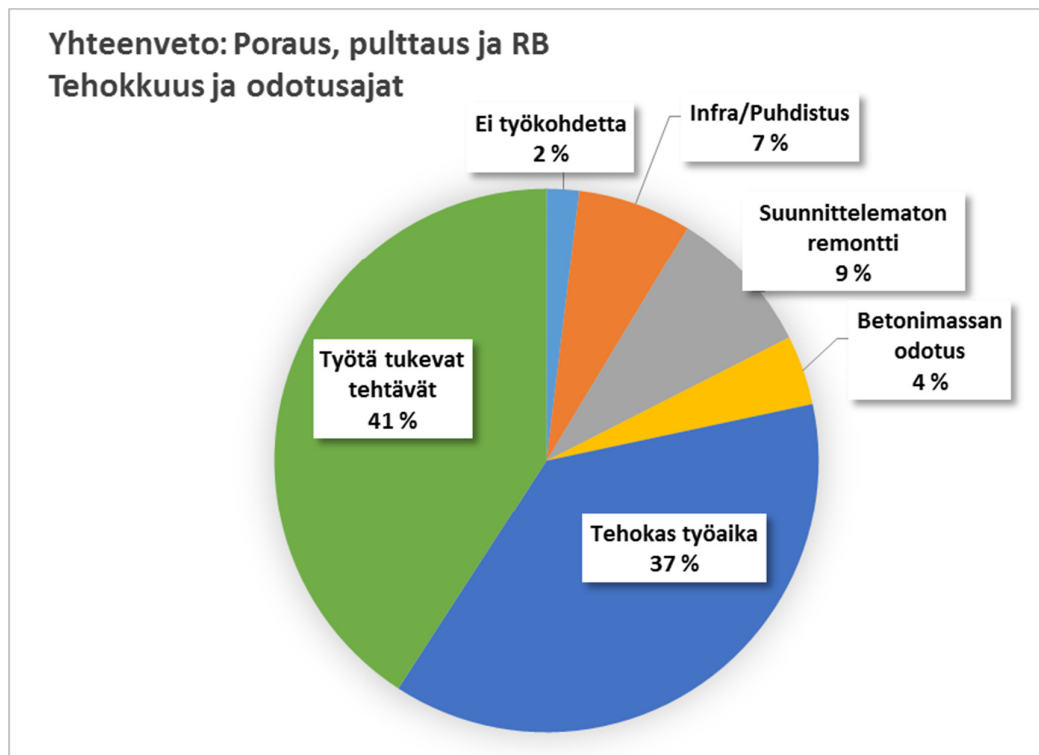
mittavalla Ruduksella on vaihteleva määrä autoja käytössä. Lisäksi massan toimituksen nopeus riippuu myös siitä, kuinka monta rappauskonetta on ko. vuorossa käytössä kaivosyhtiöllä ja urakoitsijoilla. Betoniautojen määrä jaksolla vaihteli kahdesta viiteen autoon, ja rappauskoneiden määrässä oli arviolta sama vaihtelu. Tähän pitäisi saada parannus, betonin toimittajalla pitää olla riittävä määrä betoniautoja ajossa per vuoro varsinkin jos rapattavia kohteita on paljon ympäri kaivosta. Massan tilaamisessa on eri käytäntöjä eri operaattoreiden välillä. Osa operaattoreista käy vuoron alussa tarkistamassa kohteet ja pystyy näin ollen tilaamaan massan ennakkoon edellisen kohteen valmistuessa, jolloin odotusaika oli lyhempi. Osa operaattoreista tilaa massan vasta kun on saanut koneen sähköihin ja vesiin, jolloin massan odotusaika on pidempi. Tämän vuoksi olisikin hyvä, että edellisen vuoron operaattori ajaa koneen valmiiksi seuraavan vuoron kohteeseen ja pesee perän ennen koneen pesua, jolloin myös varustelut tulee testattua toimiviksi. Seuraavalle vuorolle välitetään tieto Token kautta, että kone on kohteessa ja valmis rapattavaksi. Näin seuraava operaattori voi tilata heti vuoron alkaessa massan tai mennä työkohteeseen betoniauton kyydissä.

Ruiskubetonoinnin tehokas työaika on vain 24 % työajasta, mikä poikkeaa jonkin verran kunnossapidon vuonna 2016 tekemästä OEE – laskelman käyttöasteesta 33 %, mutta ero selittyy lyhyellä tarkastelujaksolla, betonimassan toimitusten vaikeuksilla ja dieselyötuntien luokittelusta työtä tukeviin tehtäviin (Rautanen 2017). Infrasta johtuvia odotusaikoja oli 11 %, mutta tätä lukemaa nostaa yhdessä vuorossa ollut muutaman tunnin odotus, kun SVT1 liikenne oli poikki varusteluiden tartuntojen porauksen aikana, jolloin betoniauto ei päässyt työkohteeseen. Suunnittelemattomia remontteja oli 4 % työajasta, jotka johtuivat tukoista, hopperin täryn moottorin sekä ohjaamon puhaltimen viasta. Myös poravesipaineen kanssa oli ajoittain pieniä ongelmia. Betonimassaa ei jouduttu tarkastelujakson aikana laittamaan hylkyyn, vaan kaikissa kuormissa massa lämpötila oli välillä 17 - 25 C ja laatu oli hyvä.

4.2.4 Yhteenveto poraus, pultitus ja ruiskubetonointi

Koska tarkastelujakso per työvaihe on kohtalaisen lyhyt, viidestä kahdeksaan työvuoroa per työvaihe, niin kokosin edellä esitetyt työvaiheet yhteen sektorikaavioon (Kuvio 8). Tarkastelujakso on 19 päivävuoron osalta. Tässä ajassa työaika, työtä tukevat tehtävät ja odotusajat jakautuivat seuraavasti (Kuvio 8):

- Tehokas työaika: 37 %
- Työtä tukevat tehtävät: 41 %
- Suunnittelemattomasta remontista johtuva odotus: 9 %
- Infrastruktura tai työkohteen puhdistuksesta johtuva odotus: 7 %
- Betonimassa odotus (ruiskubetonointi): 4 %
- Ei työkohteita: 2 %



Kuvio 8. Yhteenveto poraus, pultitus ja ruiskubetonointi

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tuloksista nähdään, että 16 % työajasta menee hukkaan joko suunnittelemattoman remontin, infran tai perän puhdistuksen odotusajan vuoksi. Tämä on mielestäni lukuna liian korkea ja vanhentunutta kalustoa pitäisi uusida tiheämmin. Muutamankin prosentin parannus edellä mainittuihin lukuihin toisi satoja metriä lisää ajettuja periä. Jos verrataan 16 % hukka-aikaa yhtiön oman peränajon vuositteiseen tavoitteeseen 12 000 m, niin optimistisesti ajateltuna ilman hukka-aikoja yhtiön periä ajettaisiin 1 920 m enemmän per vuosi. Jos vertailuun otetaan pelkästään suunnittelemattomien remonttien hukka-ajat (9 %), niin saadaan 1 080 m yhtiön omaa peränajoa enemmän per vuosi, eli yhden kuukausitavoitteen verran.

Lisäksi työtä tukevien tehtävien ja logistiikkaan käytetyn ajan osuus on hieman suurempi kuin tehokas työaika. On ymmärrettävää, että kaivostyössä on erityispiirteitä ja siirtymät ovat pitkiä, joihin työaikaan kuuluu väistämättä, mutta varmasti muutaman prosentin parannus olisi tälläkin osa-alueella saavutettavissa. Vuoron aloitukseen käytettävä aika on pienentynyt vuorotyönjohtajien uuden vuorojärjestelmän myötä, jonka käyttöönoton jälkeen vuoron aloitustilaisuus on alkanut ajallaan klo 07 tai 19. Henkilöstön siirtyminen porukkakyydillä työkohteisiin, ruokautunnille päätasolle ja vuoron aloituksessa/lopetuksessa tunnelin ja kaivoskonttorin välillä vie osan työajasta. Porukkakyytejä pitäisi järjestellä järkevämmiin esimerkiksi kolme operaattorin ryhmiin työalueittain, jolloin viereisillä tasoilla työskentelevät menevät aina yhteisellä kyydillä työkohteisiin.

Kaivoksen infraan liittyviä ongelmia on jo ratkottu ainakin poravesiongelmiensa kohdalla, kun poravesialtaille rakennetaan erillinen täyttölinja, jolloin altaiden täyttö ei vaikuta alentavasti poravesilinjojen paineeseen ja tilavuusvirtaan. Lisäksi ns. kiirekohteissa tulisi ennakoivasti suunnitella poistovesilinjat, moduulit, poravesi ja puhaltimet, jotta ne voidaan toteuttaa aikataulussa peränajon edettyä riittävän pitkälle. Varsinkin laskuperien ajamisessa on haasteita peräpumppujen, vesinoppien ja poistovesilinjojen toiminnan kanssa.

6 POHDINTA

Työ oli haastava, koska aiheena peränajon tehostaminen on valtavan laaja. Koska aihepiiri ja varsinkaan varsinainen operaattoreiden suorittama työ ei ollut minulle ennestään niin tuttu, vietin ensimmäiset viikot tutustumassa Kittilän kaivoksella peränajon eri työvaiheisiin ennen varsinaista tutkimustyötä. Tämän muutamien viikojen jakson jälkeen innostuin kirjoittamaan eri työvaiheiden työmenetelmistä aika seikkaperäisesti, joka kattaa yli puolet opinnäytetyön sisällöstä. Tämän jälkeen piti rajata varsinaisen tutkimustyön kohteeksi otettavat peränajon työvaiheet, joista työn tilaaja oli kiinnostunut tietämään minkälaisia pullonkauloja ja odotusaikoja työvaiheissa esiintyy.

Luotettavamman tutkimustuloksen saavuttamiseksi olisi seurantajakson pitänyt olla pidempi, koska 19 työjaksoa riittää antamaan vain suuntaa-antavan tiedon eri työvaiheiden kokonaistehokkuudesta ja hukka-ajoista. Yhdessä vuorossa sattuvat odottamattomat hidasteet vääristävät tuloksia jonkin verran esimerkiksi ruis-kubetonoinnin osalta, jossa tarkastelujakso oli lyhin. Kuitenkin tutkimustuloksista saadaan kaivosyhtiölle arvokasta informaatiota työvaiheiden pullonkauloista ja mahdollisesti tarvittavista korjaustoimenpiteistä.

Oppimiskokemuksena opinnäytetyö oli erittäin opettavainen, kun sain mahdollisuuden kulkea operaattoreiden mukana koneilla. Opin kalustosta ja työmenetelmistä olennaiset osat, joista sain hyvät eväät jatkoa varten.

LÄHTEET

- Agnico Eagle Finland Oy 2014. Tunneliprofiilit ja tuennat. Intranet.
- Agnico Eagle Finland Oy 2017a. Tasoperän poraus- ja panostuskaaviot. Intranet.
- Agnico Eagle Finland Oy 2017b. Yleisesittely. AEF esittelymateriaalit. Intranet.
- Agnico Eagle Finland Oy 2018. Kuukausiraportti vuosi 2017.
- Alaraudanjoki, J. 2017. Agnico Eagle Finland Oy. Peränajon panostajan haastattelu. 25.10.2017.
- Forcit Tuoteluettelo 2015. Louhinta-räjähteet. Viitattu 19.10.2017. <http://forcit.fi/assets/sidebar-downloads/Forcit-tuoteluettelo-20151.pdf>
- Forcit 2015. Tuote-esite Kemix A. Viitattu 19.10.2017. <http://forcit.fi/assets/product-brochures/KEMIX-INFO-FI.pdf>
- Paalumäki, T, Lappalainen, P. & Hakapää, A. 2015. Kaivos- ja louhintatekniikka. 3., uudistettu painos. Tampere: Kaivosteollisuus ry ja Opetushallitus.
- Hettula J. 2017. Agnico Eagle Finland Oy. Ruiskubetonointijumbon operaattorin haastattelu. 1.11.2017.
- Kallo, J. 2017. Agnico Eagle Finland Oy. Rusnausjumbon operaattorin haastattelu. 1.11.2017.
- Koivuniemi, J. 2017a. Agnico Eagle Finland Oy. Porajumbon operaattorin haastattelu. 2.11, 23.11.2017 ja 24.11.2017.
- Koivuniemi, T. 2017b. Agnico Eagle Finland Oy. Vanhemman poraus- ja panostusinsinöörin haastattelu. 19.10.2017.
- Koskinen, E. 2014. Porausdatan hyödyntäminen tunnelilouhinnassa kalliolaadun ja räjäytystulosten ennakoinnissa. Aalto-yliopisto. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. Kalliorakentaminen. Diplomityö.
- Lehto, J. 2015. Normet. Suomen Betoniyhdistys Ry, Ruiskubetoniohjeet-kurssi. Viitattu 31.10.2017. http://www.betoniyhdistys.fi/media/janne-lehto_ruiskubetonilaitteistot-ja-suutinmiehen-p-e4tevyys_01062015.pdf
- Martikkala, A. 2017. Agnico Eagle Finland Oy. Ruiskubetonointijumbon operaattorin. 21.11.2017.
- Oikarinen, T. 2017. Agnico Eagle Finland Oy. Tuotannonohjauskeskuksen operaattorin haastattelu. 30.10.2017.

Ollikainen, J. 2017. Agnico Eagle Finland Oy. Tuotannonsuunnittelijan haastattelu. 19.10.2017.

Rantatalo, J. 2017. Agnico Eagle Finland Oy. Vaijerointijumbon operaattorin haastattelu. 2.11.2017.

Rautanen, M. 2018. Agnico Eagle Finland Oy. Kunnossapitopäällikkön haastattelu. 12.1.2018.

Ruotsalainen, M. 2017. Agnico Eagle Finland Oy. Porausjumbon operaattorin haastattelu. 4.12.2017.

Sandvik AB 2018. Sandvik DD422i & DT922i Automation levels v3.pdf.

Teräsniska, V. 2017. Agnico Eagle Finland Oy. Pulttausjumbon operaattorin haastattelu. 20.11.2017.

Vähäaho I. 2014. (Adapted from Sandvik Mining and Construction Finland Oyj) Urban Underground Space Sustainable Property Development in Helsinki. Helsinki, Suomi: City of Helsinki, Real Estate Department, Geotechnical Division. Viitattu 18.10.2017. <https://www.hel.fi/static/kv/Geo/urban-underground-space-print.pdf>

Väisänen, A. 2017. Agnico Eagle Finland Oy. Pultitusjumbon operaattorin haastattelu. 12.10.2017.