

Timi Mustonen

**Peränporauslaitteen etäohjaus**

## **Peränporauslaitteen etäohjaus**

Timi Mustonen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2021  
Yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma, yhdyskuntatekniikka

---

Tekijä: Timi Mustonen

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Peränporauslaitteen etäohjaus

Työn ohjaajat: Kehitysinsinööri Janne Isomäki YIT Suomi Oy ja lehtori Jarmo Erho

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021

Sivumäärä: 30

---

Maanalaisessa louhinnassa on tärkeää päästä käyttämään työaika tehokkaasti. Nykyisillä menetelmillä osa työajasta kuluu savutuntien kulumista odotellessa sekä työvuorojen vaihdossa. Maanalainen tunnelinlouhinta eli peränajo sisältää seuraavat työvaiheet: peränporaus, panostus, räjäytys, lastaus, rusnaus, ruiskubetonointi ja pulttaus. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin peränporaukseen, joka on tunnelinpäädyn räjäytysreikien poraamista. Peränporauksen etäohjaus on alalla vielä uusi menetelmä, minkä vuoksi etäohjaukseen haluttiin perehtyä tarkemmin. Opinnäytetyössä tutkittu peränporauksen etäohjaus oli keväällä 2021 kokeilussa esimerkiksi Kittilän kaivoksella, mutta muutoin sen käyttö oli vielä aika harvinaista. Toimeksiantaja oli YIT Suomi Oy.

Työn tarkoituksena oli selvittää, mitä tarvitaan etäohjauksen käyttämiseen ja miten etäohjaus eroaa perinteisestä peränporauksesta. Tavoitteena oli tutkia myös sitä, mitä hyötyjä etäporauksella on verrattuna perinteiseen poraukseen.

Etäohjauksen käyttöä selvitettiin haastattelemalla laitevalmistajia sekä Kittilän kaivoksen edustajaa, jonka kaivoksella käytetään etäohjausporausta. Haastatteluista selvisi, että Sandvik Mining and Rock Technologyltä on mahdollista saada peränporauksen etäohjausoptio kolmeen eri laitemalliin. Epiroc Oy puolestaan juuri julkaisi uuden peränporauslaitteen, Boomer M20:n. Boomer M20 on Epirocin ensimmäinen peränporauslaite, joka tukee etäohjausoptiota.

Peränporauksessa käytettävä etäohjaus on opinnäytetyön kirjoittamisen hetkellä vielä uusi menetelmä, eikä siitä ole paljoa dataa. Työssä kuitenkin todettiin, että etäohjauksesta saatavat edut ovat selvät: Etäohjauksella on positiivinen vaikutus työturvallisuuteen, ja se mahdollistaa porauksen savutuntien ja vuorovaihtojen aikana. Operaattorin aikaa on mahdollista käyttää tehokkaammin, jos operaattori voi porata useammalla porajumbolla.

---

Asiasanat: etäohjaus, työturvallisuus, porajumbo, peränporauslaite

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Civil Engineering, Option of Municipal Engineering

---

Author: Timi Mustonen

Title of thesis: Remote Control of Development Drill Rig

Supervisor(s): Development Engineer Janne Isomäki YIT Finland Ltd and Senior Lecturer Jarmo Erho

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2021

Pages: 30

---

The aim of this thesis was to study remote control development drill rig. The study was made to find out what procedures are required for the use of the remote controlling and what kind of equipment is needed for that. At the time of writing the study, it was not yet common to use remote control with a development drilling rig. The method was experimented for example in Kittila Mine. The thesis was assigned by YIT Finland Ltd.

The purpose of the study was to find out what is needed, so that the operator can use the remote control of the development drilling rig. Furthermore, the study aimed to show how the remote controlling differs from the traditional way of drilling, and what are the benefits achieved by using the method of remote controlling

The use of remote controlling was studied by interviewing the equipment manufacturers and a representative of Kittila mine. According to the interviews Sandvik Mining and Technology can provide the remote-control option for three different development drilling rig models. Epiroc Finland Ltd on the other hand had just released their version of the remote-control option for development drilling rigs. Epiroc's first development drilling rig, Boomer M20, is their first development drilling rig that supports the remote controlling option.

Based on the interviews with the representative of Kittila mine it became clear that the daily drilling time could be increased by a couple hours at the best. The benefit of using remote control is even bigger if the operator gets to use multiple drilling rigs instead of one. Using the remote control increases also work safety when the operator is moved to safer environment.

At the time of writing this study, remote control drilling was a new technology and therefore there is not much data available about it. The benefits got from remote controlling are clear though. It has positive effect on work safety. The new method makes it possible to continue drilling even after blasting and during the shift change. The operator can work more efficiently if the person is put in charge of controlling more than on drilling rig.

---

Keywords: remote controlling, work safety, development drill rig

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	6
2 MAANALAISEN LOUHINNAN TYÖVAIHEET .....	7
2.1 Poraus .....	7
2.2 Panostus.....	8
2.3 Lastaus ja rusnaus.....	9
2.4 Ruiskubetonointi .....	10
2.5 Pulttaus.....	11
2.6 Vaijerointi.....	13
2.7 Injektointi .....	14
3 PERINTEINEN PORAUSMALLI.....	15
3.1 Peränporauksen valmistelu .....	15
3.2 Peränporaus .....	16
3.3 Porauksen aikana ilmenevät ongelmat .....	16
3.3.1 Kuluvat osat .....	16
3.3.2 Väliaikainen lujitus .....	17
3.3.3 Alilouhinta .....	17
3.4 Peränporauksen lopetus.....	17
4 ETÄOHJATTU PORAUSMALLI .....	18
4.1 Epiroc Tele Remote ja Multi Machine control .....	18
4.1.1 Etäohjauksen vaatimukset .....	21
4.1.2 Etäohjauksen hinnoittelu .....	21
4.2 Etäohjausoptio peränporaukseen Sandvikilta .....	21
4.2.1 Etäohjauksen vaatimukset .....	22
4.2.2 Etäohjauksen hinnoittelu .....	22
4.3 Eroavaisuus perinteiseen porausmalliin .....	23
4.4 Turvallisuus .....	23
5 PERÄNPORAUKSEN KOKEILUN KÄYTTÖKOKEMUKSET KITTILÄN KAIVOKSELLA .....	25
6 YHTEENVETO.....	27
LÄHTEET .....	29

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tutkittiin, miten maanalaiseen tunnelinlouhintaan kuuluvaa peränporausta voitaisiin optimoida käyttämällä etäohjausta. Etäohjattaessa peränporauslaitetta eli porajumboa operaattori voi esimerkiksi maanpinnalla sijaitsevasta toimistosta ohjata porausta koneen ollessa miehittämätön.

Maanalaisissa louhintatöissä on tavoitteena saavuttaa mahdollisimman turvallinen, tuottava sekä tehokas tapa louhia. Tuotantoporausken osalta etäohjaus on maailmanlaajuisesti jo käytössä ja sen avulla operaattori voi hallinnoida useampaa porauslaitetta yhtä aikaa. Peränporauksen etäohjausta tarjoaa Suomessa Sandvik. (Kukkonen 2020.) Epirocilta on juuri tullut markkinoille ensimmäinen peränporauslaite, Boomer M20, joka tukee etäohjausoptiota (Hansen & Tikander, 2021).

Etäohjaus mahdollistaa porauksen jatkumisen savutuntien aikana, kun räjäytyksien aikaansaamat myrkylliset kaasut tuuletetaan louhintakohteesta. Etäohjaus mahdollistaa porauksen jatkumisen myös vuorojen vaihtuessa. Vaikka etäohjausta käytetään, porajumbo on silti ajettava porauskohteeseen sekä kytkettävä sähköverkkoon ja porausvesilinjaan. Toisin sanottuna poraustoiminnot ovat etäohjattuja. (Kukkonen 2020.)

Työn tarkoituksena on perehtyä siihen, mitä etäporaus vaatii porauslaitteelta sekä toimintaympäristöltä toimiakseen. Lisäksi tavoitteena on saada selville, mitä hyötyjä on saavutettavissa käytettäessä etäporausta ja missä etäporausta voisi olla hyödyllistä käyttää. Työssä myös pyritään vastaamaan siihen, ovatko etäporauksen hyödyt saavutettavissa sekä kaivosolosuhteissa että infrarakentamisen parissa.

Tämä opinnäytetyö tehdään YIT Suomi Oy:lle. Tutkimus koostuu pääasiallisesti kirjallisuuskatsauksesta, jossa perehdytään etäporauksen toimintaperiaatteeseen sekä vaatimuksiin esimerkiksi tietoliikenteen osalta. Kirjallisuuskatsausta tuetaan keskustelemalla laitevalmistajien sekä Kittilän kaivoksen edustajan kanssa. Kittilän kaivoksella on kokeilussa peränporaus etäohjattuna yhteistyössä Sandvikin kanssa.

## 2 MAANALAISEN LOUHINNAN TYÖVAIHEET

Maanalainen tunnelinlouhinta eli peränajo noudattaa usein sykliä, jossa toistuvat seuraavat työvaiheet: poraus, panostus, räjäytys, tuuletus, lastaus, rusnaus, ruiskubetonointi ja pulttaus ja joissain tapauksissa verkotus. Tunnelin etenemää kutsutaan katkoksi ja sen pituus on yleisimmin noin 5 metriä. (Pyhäjärvi 2020, 9.)

### 2.1 Poraus

Louhinnassa käytetään nykyään peränporauslaitteita, porajumboja (kuva 1), jotka on varustettu yhdestä neljään puomilla. Jokaisessa puomissa on hydraulinen iskuporakone sekä mahdollisesti viides puomi, jossa on henkilönostin. Puomien määrän kasvaessa louhittavan tunnelipinta-alan kokoa voidaan kasvattaa. Tunnelit luokitellaan OCED:n standardien mukaan neljään eri koko luokkaan: 2 – 10 m<sup>2</sup>, 10 – 30 m<sup>2</sup>, 30 – 100 m<sup>2</sup> ja > 100 m<sup>2</sup>. Porauskaluston valintaan vaikuttaa louhintaperän koko. (Halonen & Vuolio 2010, 215.)

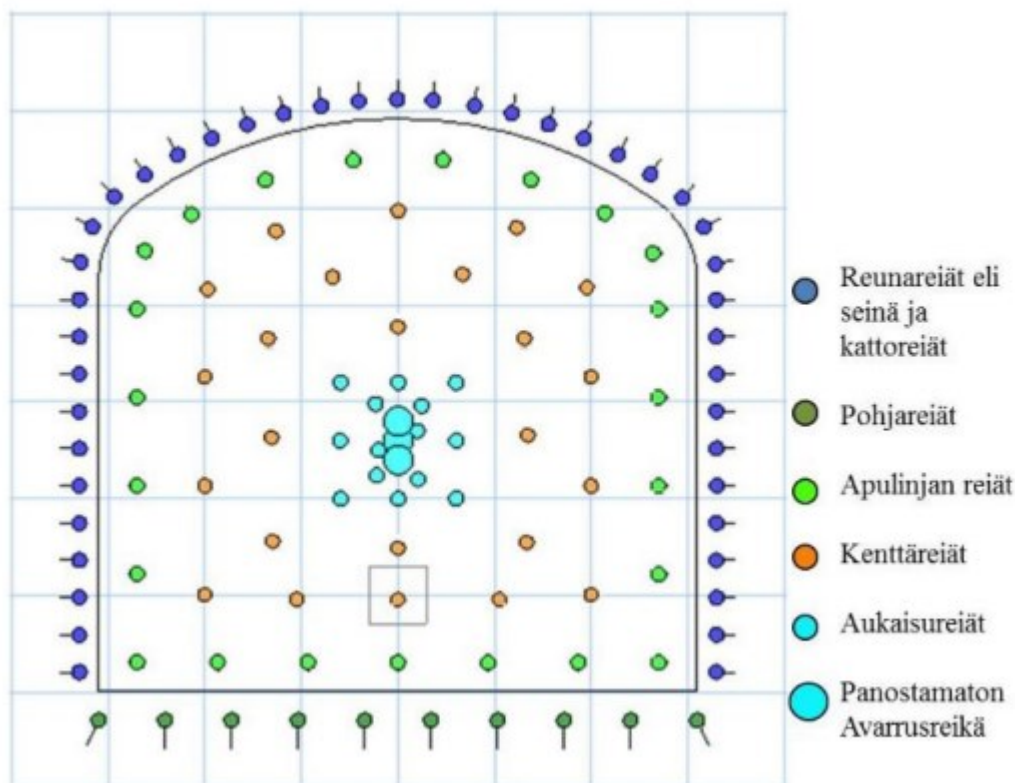


*KUVA 1. Viisipuominen porajumbo, jossa viidennessä puomissa henkilönostin (YIT 2020)*

Porajumboa asemoitaessa voidaan käyttää takymetria tai perään voidaan merkata suunnat ja linjat valmiiksi. Porauksessa noudatetaan porauskaaviota, josta vastaa esimerkiksi työmaainsinööri. Porauskaaviosta näkee porattavien reikien sijainnin sekä niiden suunnan. Ennen porausta on hyvä käydä työnjohtajan kanssa läpi

huomioitavia asioita, joita voivat olla esimerkiksi tuleva risteys, joka vaatii kattokorotusta sekä levitystä. (Viitanen 2015, 10.)

Porauskaavion (kuva 2) tarkoituksena on saada räjäytyksessä kivi haluttuun suuntaan halutun kokoisena louheena. Peränajossa kivi purkautuu taaksepäin; ainoaan mahdolliseen suuntaan. Kaavion keskelle porataan suuremmat reiät, jotka jäävät panostamatta. Näitä reikiä kutsutaan avarrusreiiksi. Isojen, panostamattomien reikien ympärille tulevat normaalit porauskruunun kokoiset aukaisureiät, jotka panostetaan. Aukaisureikien ympärille tulevat kenttäreiät. Reunareivät eli seinä- ja kattoreiät porataan tiheään, mikä parantaa tunnelin profiilin tarkkuutta. (Viitanen 2015, 10–12.)



KUVA 2. Esimerkki Underground Managerilla suunnitellusta porauskaaviosta (Koskinen 2014, 15)

## 2.2 Panostus

Panostuksessa käytetään panostusajoneuvoa. Ajoneuvo voi olla kuorma-auto, johon on rakennettu panostamiseen liittyvä laitteisto, tai se voi olla nimenomaan vain panostukseen käytettävä ajoneuvo (kuva 3).





KUVA 3. Panostuslaite, Charmec (YIT 2011)

Nykyisin tunnelilouhinnassa käytetään sytytyksessä suurimmalta osin NONEL LP -tunnelisarjaa sekä myös jonkin verran Firex VA-T -sähkötunnelisarjaa (Halonen & Vuolio 2010, 231). Panostuksessa reikä täytetään suunnitellulla määrällä räjähdeainetta, joka voi olla esimerkiksi 0,35 kg/m. Nallien tehtävänä on räjäyttää räjähdeaine tietyllä viiveellä. Viiveen oikea valinta on tärkeää, sillä väärä ajoitus ei saa kiveä liikkumaan pois perästä, jolloin räjäytyksen lopputulos on huono eikä kivi esimerkiksi pääse purkautumaan perästä. Normaalisti viive kasvaa aukaisusta kohti reuna- ja pohjalinja. Näin ollen keskellä räjähtää ensimmäisenä, jotta ympärillä olevalla kivellä on tilaa räjähtäessä purkautua perästä poispäin. Viimeisenä yleensä räjähtävät nurkkareivät. (Pyhäjärvi 2020, 10.)

### 2.3 Lastaus ja rusnaus

Lastaus aloitetaan tuuletuksen jälkeen. Panostaja tai räjäytystyönjohtaja tarkistaa räjäytyksen lopputuloksen. Ennen lastausta on hyvä kastella kivet, sillä se sitoo pölyn kiviin, mikä parantaa ilmanlaatua ja näkyvyyttä

lastauksen aikana. Useimmin lastauksessa käytetään polttomoottorilla toimivaa pyöräkuormaajaa tai lastaajaa, minkä takia ilmassa on jo paljon dieselmoottorista syntyvää pakokaasua, mikä heikentää näkyvyyttä ja ilmanlaatua perässä. (Pyhäjärvi 2020, 11.)

Kivet lastataan kuorma-autoihin, jotka vievät kivet sovittuun kohteeseen, esimerkiksi maanpinnalle. Kun perä on saatu lastattua, on vuorossa perän rusnaus. (Pyhäjärvi 2020, 11.)

Kaivoksilla rusnauksessa käytetään usein kaivinkonetta, joka on varustettu hydraulisella vasaralla. Katto, peräseinä ja seinät käydään vasaralla läpi irrottaen irtolohkareet. Infrahankkeessa voidaan käyttää sen sijaan rusnapiikkiä, millä raavitaan seinät, katto ja perä. Myös käsin rusnausta voidaan käyttää, jolloin rusnauskangella koputellaan kivet irti. (Pyhäjärvi 2020, 11–12.)

## **2.4 Ruiskubetonointi**

Ruiskubetonointi luo turvalliset työolosuhteet kallioalustassa. Betonin tehtävänä on estää kallion muodonmuutokset, irtokivien tippumiset ja vuotovesien valuminen kallioalustaan. Ruiskubetonointia ei ole välttämättä pakko tehdä heti rusnauksen jälkeen, jos kallion laatu on hyvä eikä irtokivien tippumisesta ole vaaraa. (Savonen 2007, 15.)

Ruiskubetonoinnilla taataan turvallinen työympäristö. Ruiskubetonoinnissa käytetään siihen erikoistuneita laitteita (kuva 4). Ennen ruiskubetonointia kallioalusta pestään pölystä, jotta betonimassa tarttuu paremmin kallioalustaan. Ruiskubetonoinnissa betoni ruiskutetaan pumpun ja paineilman avulla kallioalustaan. Betonimassassa voidaan käyttää kuituja massan ominaisuuksien parantamiseen ja kiihdytinaine lisätään ruiskutuksen yhteydessä betonimassaan. (Viitanen 2015, 18.)



*KUVA 4. Esimerkki kuva ruiskubetonointilaitteesta, Spraymec (YIT 2011)*

## **2.5 Pulttaus**

Pultauksessa on tarkoitus sitoa mahdolliset irtolohkareet kalliopintaan tehden siitä ehyen ja lujan pinnan. Pultit on jaettu kahteen eri ryhmään: passiiviset ja aktiiviset kalliopultit. Aktiiviset pultit tukevat kalliota heti asennuksesta alkaen ja passiiviset tukevat, kun kallio on liikkunut. (Hiukka 2017, 34.)

Infratyömailla pulttaus tapahtuu pääosin käsin. Porajumbolla porataan pulttien reiät ja henkilönostimen avulla pultit saadaan käsin asennettua reikiin. Työnaikainen pulttaus tehdään yleensä ct- tai nc-pulteilla (kuva 5). (Isomäki 2021.) Ct-pulteissa yhdistyvät pohja-ankkurin avulla tehtävä välitön lujitus ja juottamalla aikaansaattava lopullinen lujitus (Saferoad 2021). Lopullinen tuenta tehdään vielä harjateräspultein.



*KUVA 5. Kuvassa CT-pultti, kärkianturipultti (Saferoad Finland 2021)*

Kaivosolosuhteissa käytetään pulttaukseen suunniteltua pultituslaitetta (kuva 6). Pultituslaitteella tehdään kaikki pulttauksen vaiheet porauksesta pultin juotokseen. Tasoperissä, louhoksissa ja välitasoilla voidaan käyttää swellex-pultteja, jotka eivät ole lopulliseen tuentaan sopivia niiden huonon korroosion kestävyuden takia. Pultti saa pitovoimansa sen sisälle pumpattavan veden ansiosta. Vesi pumpataan kovalla paineella pultin sisälle, jolloin pultti laajenee reiän seinämiä vasten. (Vilpas 2006, 15.)



*KUVA 6. Pultituskone, Boltec (Epiroc 2021)*

Harjateräspultteja juotetaan hartsipatruunoilla. Reiän porauksen jälkeen reikään ammutaan hartsipatruunat paineilmalla, minkä jälkeen harjateräspultti asennetaan reikään. Pultin kohdatessa hartsipatruunat ne rikkoutuvat ja kovettuvat lähes heti. Harjateräspulteilla on hyvä korroosionkesto-ominaisuus ja ne soveltuvatkin hyvin lopulliseen tuentaan. (Vilpas J 2006, 17.)

Kallion laadun heikentyessä tasolle, jota ei voida varmasti tukea ruiskubetonin ja pulttien avulla, voidaan verkottaa. Verkotuksessa tulee huomioida verkon ominaisuuksien sopivuus kohteeseen. (Pyhäjärvi 2020, 12.)

## 2.6 Vaijerointi

Vaijerointi on yleisempi kaivoksilla verrattuna infrakohteisiin. Vaijeroinnilla saadaan suurempi alue tuettua. Kaapelipultti valmistetaan terässäikeistä. Vaijerointia käytetään, kun tarvitaan pitkälle ulottuvaa tuentaa. Toisin kun muut pultit kaapelipultti varastoidaan kerällä ja lujituskohteessa voidaan kerältä ottaa suoraan vaijerointisuunnitelman pituisia pätkiä. Vaijerointi tehdään pääsääntöisesti vaijeripulttituskoneella (kuva 7), koska sen asentaminen käsin on erittäin haasteellista. (Vilpas J 2006, 18–19.)



KUVA 7. Vaijeripulttituskone (YIT 2018)

## 2.7 Injektointi

Kun kalliosta tulee tehdä tiivis vettä läpäisemätön rakenne, voidaan kalliota injektoida. Injektoidessa kalliota kallioon pumpataan täyteainetta, yleisimmin sementtilaastia, joka leviää kallion rakoihin ja muihin tyhjiin osiin ja estää veden tulon. Esi-injektoinnin tavoitteena on tiivistää tunneliprofiilin ulkopuolelle tuleva suojakerros, jonka tehtävänä on estää veden pääsy tunneliin. (Isomäki 2007, 9.)

Esi-injektointi tarkoittaa louhinnan aikana tapahtuvaa injektointia, mikä hidastaa normaalia louhintatoimintaa. Esi-injektoidessa louhittavasta perästä porataan pitkiä reikiä, jotka ovat noin 15–30 metriä pitkiä ja ulottuvat noin kolmen katkon päähän. Injektoidun alueen tulee olla niin kaukana seinästä, ettei alueelle tulevalla pulttuksella puhkaista tiivistettyä aluetta. (Isomäki 2007, 9–10.)

Injektoinnin tarve selvitetään tunnustelu reikien poraamisella. Reiät porataan porajumbolla käyttäen jatkotankoja apuna. Tunnustelureiässä tehdään joko tunneliin virtaavan veden mittaus tai vesimenekikoe. Jos mittauksen tai kokeen tuloksista saadaan injektoinnin tarpeellisuuteen saatu tulos, aloitetaan injektointireikien poraus. Injektoitavien reikien pituus vaihtelee 15–30 metrin välillä. Reiät tulee huuhdella hyvin porauksen jälkeen, ettei reikiin jää kiviä eikä porasojjaa. (Isomäki 2007, 13–14.)

Injektoitaviin reikiin asennetaan mansetit. Mansetin reikään tulevassa päässä on kumi, joka laajenee tukkien reiän mansettia kiristäessä ja lukittautuu näin paikalleen. Kun mansetit ovat tarpeeksi kireällä ja kaikki mansetit on tarkistettu sekä ankkuroitu kallioon, voi injektointimassan valmistus alkaa. (Isomäki 2007, 15.)

Massa pumpataan paineella mansetin läpi injektioreikiin ja yhden reiän injektoiminen päättyy suunnittelijan määrittämällä kriteereillä, joita voi olla esimerkiksi massamenekin saavuttaminen. Kaikki injektioreiät injektoidaan ja injektiomassan tulee antaa reagoida rauhassa, jotta se kestää jatkuvan louhintatoiminnan. (Isomäki 2007, 16.)

### 3 PERINTEINEN PORAUSMALLI

Perinteisessä porausmallissa operaattori poraa normaalisti ollessaan porajumbon hytissä. Porausmallilla kuvastetaan, miten poraus etenee aina saapumisesta porauskohteeseen ja peränporauksen loppumiseen saakka. Luvuissa 3.1 - 3.4 esitetty työvaiheiden kuvaus perustuu Kittilän kaivoksella vuosina 2018–2019 tehtyihin havaintoihin.

#### 3.1 Peränporauksen valmistelu

Peränporaus alkoi siitä, että esimerkiksi työnjohtaja antoi operaattorille tehtäväksi porauksen nimetyssä perässä. Perään mentäessä oli varmistuttu siitä, että operaattorilla oli tunnelilinjat ja porauskaaviot porauslaitteen järjestelmässä valmiina. Ennen porauksen käskemistä oli varmistettu myös, että porattavaan perään oli turvallista mennä, eikä siellä ollut toista työvaihetta menossa. Perään mentäessä varmistettiin, että varustelut olivat siinä kunnossa, että poraus oli mahdollista.

Operaattori ajoi porauslaitteen porattavaan paikkaan ja kytki porajumbon sekä porausvesilinjaan että sähköverkkoon. Kytöntöjen jälkeen vedonpoistajien käyttö oli tärkeää, ettei veto kohdistunut sähkö- ja vesilinjaan pahimmillaan rikkomalla liitännöitä. Operaattori ei tässä vaiheessa vielä kytkenyt sähköjä päälle. Kun porajumbo oli ajettu perään eikä jumboa tarvinnut enää siirtää, voitiin virrat kytkeä. Porajumbo tuettiin paikalleen sen omilla hydraulisilla tunkeilla. Tämä esti porajumboa liikkumiselta porauksen aikana. Kun jumbo oli tukevasti paikallaan, voitiin aloittaa navigointi.

Navigointi tapahtui takymetrin avulla. Operaattori laittoi kahdesta kolmeen prismaa seiniltä löytyviin paikkoihin kiinni ja suuntasi prismat takymetria kohti. Prismojen laittamisen jälkeen takymetri laitettiin kolmijalalle ja säädettiin vaakasuoraan. Takymetrissa oli integroitu vesivaaka ja takymetria pystyi säätämään kolmijalan säädöillä sekä takymetrin omilla säätörullilla. Kun takymetri oli saatu säädettyä paikalleen, käynnistettiin takymetri. Käynnistyessään takymetri otti yhteyden porajumboon Bluetooth-tekniikalla ja etsi automaattisesti prismat kallion seinämiltä ja määritteli, missä porajumbo oli. Tunnelilinja valittiin porajumbolta. Määritetyn tunnelinjan perusteella reikien suuntaus onnistui vaadittuun suuntaan.

Ennen porauksen aloitusta oli hyvä varmistaa, että perässä oli toimiva pumppu, koska porauksen aikana vettä kertyi perään. Operaattori tarvitsi perään valmiiksi myös kynsiputket, joiden tarkoituksena oli helpottaa panostajan toimintaa suojaten pohjareikiä porauksessa syntyvältä porasoijalta sekä perästä irtoavalta kiviaineksella.

## 3.2 Peränporaus

Poraus aloitettiin poraamalla pohjareiät ja pohjareiät suojattiin kynsiputkilla. Kynsiputket sahattiin kovasta muoviputkesta, joka mahtui porausreikään. Panostuksessa pohjareiät löytyivät kynsiputkien ansiosta porasoijan ja kivien seasta, eivätkä reiät olleet tukossa. Porauksen edetessä porakruunut kuluivat ja niitä täytyi välissä vaihtaa. Porakruunun tylsyessä tunkeumanopeus heikkeni, mistä operaattori tunnisti, että porakruunu piti vaihtaa. Operaattoreilla oli mukanaan porakruunulaatikko, jossa oli teroitettuja kruunut. Vuoron lopussa kuluneet kruunut otettiin mukaan ja vietiin teroitukseen. Perän poraus kesti yleensä 2–3 tuntia, mutta esimerkiksi perän koko ja kallionlaatu vaikuttivat porauksen kestoon.

## 3.3 Porauksen aikana ilmenevät ongelmat

Porauksen aikana voi ilmetä erilaisia ongelmia, jotka hidastavat porausta merkittävästi tai voivat olla pieniä vastoinkäymisiä. Haasteita voivat aiheuttaa väliaikaisen lujituksen tarve ja mittauksessa esille tullut alilouhinta, mutta yleisimmät ongelmat johtuvat kuluvista osista.

### 3.3.1 Kuluvat osat

Remontit olivat yksi iso osa porauksen aikana syntyvistä häiriöistä. Remontin tarve tuli useasti huomaamatta tai se oli osa piittaamattomuutta. Letkurikot olivat yksi syy porauksen keskeytykselle. Hydrauliletkut olivat uutena kiiltävän mustia ja taipuisia. Ajan myötä letkut kuluivat ja alkoivat hilseilemään. Ajan myötä hilseilevä letku antoi periksi ja syntyi öljyvuoto. Öljyvuotoa ei välttämättä heti huomattu, mutta öljyntason laskiessa huomattiin jonkin olevan pielessä. Ensimmäisenä tuli lopettaa poraus ja paikantaa vuotopaikka. Vuotopaikan löydettyä tuli aloittaa imeytystoimenpiteet ja ilmoittaa vuodosta sekä kirjata vuoto ylös.

Vioittunut letku irrotettiin ja vietiin remonttipaikalle ja tehtiin uusi letku. Joissain tapauksissa porajumbolla olisi voinut olla eri mittaisia letkuja valmiina vaihtoa varten. Sen jälkeen siirryttiin takaisin perään ja kiinnitettiin letku paikoilleen ja kokeiltiin, että letku ei vuoda. Vuodoista tulisi aina ilmoittaa työnjohdolle, jotta tapahtumat voitaisiin kirjata ylös.

Porakanget, porakruunut ja niskat kuluivat käytössä. Porakruunuja tuli vaihtaa niiden suunnitellun porausmetrien jälkeen. Kun porakanki meni rikki, se vaihdettiin. Yleensä laitteella oli pari varakankea. Kangen vaihto olikin hyvin nopea toimenpide. Se onnistui noin viidessä minuutissa, mikäli varakanki löytyi koneelta. Kangen vaihdosta tuli suurempi viive poraukseen, jos uusia kankia ei ollut muistettu tuoda lisää koneelle valmiiksi ja niitä pitikin lähteä hakemaan muualta.



### **3.3.2 Väliaikainen lujitus**

Oli mahdollista, että porattavassa kohteessa huomattiin tarve väliaikaiselle lujituspulttaukselle. Väliaikaista lujituspulttausta käytettiin silloin, kun haluttiin varmistaa kallion pysyvyydestä ja louhinnan oli jatkuttava nopeasti. Tällöin tehtiin välittömästi kantavan lujitus. Väliaikaisina lujituspultteina käytetään esimerkiksi CT-pultteja, joita kiristäessä paikoilleen päässä oleva ankkuri ottaa kallioon kiinni. (Savonen 2007, 12.)

Kun pulttaus oli suoritettu ja todettu, että alueelle oli taas turvallista mennä, voitiin työvaihetta jatkaa.

### **3.3.3 Alilouhinta**

Tarkemittauksien aikana voitiin huomata esiintyvän alilouhintaa. Alilouhinnalla tarkoitettiin, että louhittu tila ei ollut suunnitelmien mitoissa ja louhittu tila oli jäänyt vajaaksi. Jos alilouhintaa ilmeni mittauksien aikana, täytyi se erikseen louhia määrämittaan.

Infrarakennushankkeessa porajumboissa on voinut olla skanneri käytössään. Jumbon navigoituaan pystyi operaattori käynnistämään skannauksen. Skannerilla skannattiin valittu alue, joka usein oli edellinen katko. Skannauksen jälkeen operaattori näki näytöstä skannauksen tulokset ja pystyi tutkimaan yksittäisiä pisteitä jo louhitulta alueelta. Jos havaittiin alilouhintaa, voitiin alilouhinnat porata oikeisiin mittoihin. (Bever Control 2021.)

### **3.4 Peränporauksen lopetus**

Katkon porauksen jälkeen ilmoitettiin työnjohdolle, että poraus oli valmistunut, sekä kerrottiin, jos oli havaittu panostamista vaikeuttavia asioita. Panostamiseen vaikuttavia tekijöitä olivat esimerkiksi ylimääräiset reiät sekä niiden pituuden vaihtelut. Vesipumppu jätettiin perään, jos perässä oli vielä poraamisen jäljiltä jäänyt vettä. Ajan salliessa valmistuneessa perässä voitiin tehdä huoltavia toimenpiteitä, kuten vaihtaa kuluneet porakruunut seuraavaa porauskohdetta ajatellen. Porauksen valmistumisen jälkeen perästä kerättiin roskat ja muut ylimääräiset tavarat. Lopuksi irrotettiin porajumbo sähköverkosta ja poravesilinjasta ja poistuttiin alueelta.

## 4 ETÄOHJATTU PORAUSMALLI

### 4.1 Epiroc Tele Remote ja Multi Machine control

Etäohjauksen käyttöönotto tapahtuu vaiheittain. Keväällä 2021 Epirocilta on juuri tullut peränporaukseen ensimmäinen tunnelinporauslaite, joka tukee etäohjausoptiota. Boomer M20 tukee etäohjausta ja siinä on uusi puomirakenne, joka parantaa näkyvyyttä sekä vähentää huoltotarvetta ja parantaa porausalueen kokoa. (Hansen & Tikander, 2021.)

Etäohjausta lähdetään ajamaan eteenpäin automatisoimalla turvallisuuteen liittyviä toimintoja. Laki säättää, että etäohjauksessa olevassa tunnelinporauslaitteessa tulee olla automaattinen sammutusjärjestelmä siltä varalta, että kone syttyy palamaan silloin, kun kone on etäohjauksessa, miehittämättömänä. Porauksen pysäytys kuuluu myös lakisääteiseen konedirektiiviin. Havaitessaan porattavalla alueella henkilön kone lopettaa porauksen. Kallioperän ominaisuuksien mukaan porattaessa voi irrota kiviä perästä, joten tällä ehkäistään henkilövahinkojen sattuminen. Lisäksi liikkuvat puomit voivat aiheuttaa vaaratilanteita, kun kameroita käyttäessä katvealueille ei nähdä. Porauksen pysäytys toteutetaan asentamalla liikkeen havaitsevia antureita tunnelinporauslaitteen sivuille hytin läheisyyteen. Poraus keskeytyy, kun liikeanturit havaitsevat liikettä hytin edessä. Kun liikettä on havaittu, pitää laitteelta kuitata tapahtuma, jotta porausta voi jatkaa. (Epiroc 2020a, 14.)

Ennen etäohjauksen käyttöönottoa tunnelinporauslaite automatisoidaan. Automatisoitavia toimintoja ovat navigointi, porauskaavion mukainen poraus ja poraterien vaihtaminen, jos tämä lisävaruste halutaan ottaa etäohjausoption kanssa. Automatisointi vaihdetta kutsutaan ABC-totaliksi. ABC-totalin käyttöönoton jälkeen kone voi autonomisesti toteuttaa poraussuunnitelman, mutta tässä vaiheessa etäohjaus ei ole vielä mahdollista. (Epiroc 2020a, 16.)

Automaation pariin voidaan ottaa Epirocin Certiq -niminen lisävaruste. Epirocin Certiq on telematiikkaohjelma, joka kerää suoritteita, vertaa ja välittää tunnelinporauslaitteen dataa. Certiqin dataa voidaan käyttää esimerkiksi tuotannonsuunnittelun sekä huollon tukena. Certiq kerää laitteen suoritteita, kuten porausmetrejä, iskutunteja, käyttöasteen ja hälytykset. Certiqistä saa siis selville kaiken, mitä tunnelinporauslaitteella tapahtuu ja ei tapahdu. Certiq-ohjelma ei vaadi jatkuvaa langatonta yhteyttä, mutta tämä mahdollistaa ajan-tasaisen tiedonsiirron. Tietoa voidaan liikuttaa myös mobiilisovelluksella. (Epiroc 2020a, 17.)

Rig Remote Access -ohjelma, RRA, mahdollistaa tiedostojen langattoman siirron suoraan tunnelinporauslaitteelle ja takaisin toimistoon. Rig Remote Accessin kautta voidaan siis siirtää porauskaaviot suoraan tunnelinporauslaitteelle sekä ladata lokitiedostot jatkokäsittelyyn esimerkiksi suunnittelijalle, jos sille katsotaan olevan tarvetta. Rig Remote Access ei ole välttämätön etäohjauksen kannalta, mutta osa etäohjauksen hyödyistä tuntuu valuvan hukkaan, jos Rig Remote Accessia ei ole käytössä. RRA onkin hyvä olla etäohjauksen parina, koska sen avulla voidaan siirtää langattomasti poraukseen tarvittavat tiedostot tunnelinporauslaitteelle käymättä laitteella. Certiq, Rig Remote Access ja etäohjaus toimivat saman verkon kautta, mutta jokainen näistä toimii omalla yhteydellä verkon sisällä. (Epiroc 2020a, 19.)

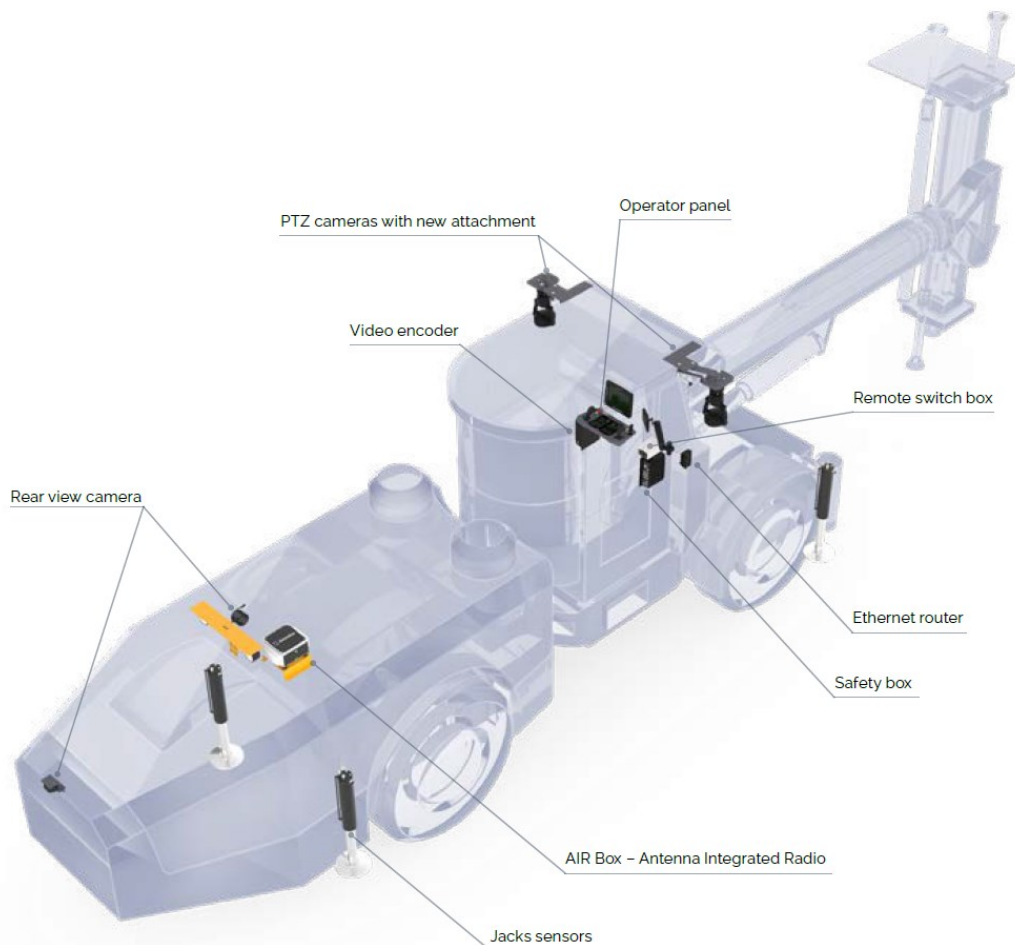
Automaation, ABC-totalin, jälkeen on mahdollista siirtyä etäohjattavaan poraukseen. Tele Remote, etäohjaus, toteutetaan etäohjauspisteen kautta (kuva 8). Etäohjauksen jälkeen on mahdollista siirtyä useamman laitteen etäohjaukseen, Multi machine control on Tele Remoteen. (Hansen & Tikander, 2021.)



*KUVA 8. Office Tele Remote (Epiroc 2020)*

Maanalaiseen etäporaamiseen Epiroc myy toimistoon sijoitettavaa Office Tele Remote -pakettia (kuva 8). Pakettiin kuuluvat hyvin mukaiset sauvaohjaimet ja paneelit, tietokone, Epiroc-konepalvelin, palvelimen räkki,

johon tulee myös näyttömoduuli, kaksi kappaletta videodekoodereja ja turvallisuusmoduuli. Lisäksi tunnelinporauslaitteeseen asennetaan kaksi kameraa taakse ja eteen tulee kaksi kappaletta 360-asteen kameroita. Tunnelinporauslaitteeseen asennetaan myös video enkooderi, Wlan- sekä Ethernet-reitittimet, turvallisuusmoduuli ja etäohjauksen kytkin. Lisävarusteena on suositeltavaa ottaa porakruunun vaihtaja tai käyttää vaihtoehtoisesti timanttiporakruunuja. Timanttiporakruunujen arvioitu kestävyys on yli kilometrin luokkaa. Timanttiporakruunut ovat kertakäyttöisiä toisin kuin teroitettavat porakruunut. (Epiroc 2020b, 7.)



*KUVA 9. Tunnelinporauslaitteeseen lisättävät varusteet, kuvassa pitkäreikäporauslaite, Simba (Epiroc 2020)*

Kun tarvittavat komponentit on asennettu ja Office Teleremote -paketti on saatu käyttökuntoon, etäohjaus toimii kytkimestä vaihtaen paikallisohjauksen etäohjaukseen. Epirocin etäohjausoptiolla voi hallita kuutta eri tunnelinporauslaitetta yhdeltä asemalta. Etäohjaukseen ei ole erillistä koulutusta, vaan käyttöönoton aikana

opastetaan, miten etäohjaus toimii. Muistettavaa on vain etäohjauksen ja paikallisohjauksen kytkentä. (Hansen & Tikander, 2020.)

#### **4.1.1 Etäohjauksen vaatimukset**

Epiroc suosittelee verkon viiveeksi alle 100:aa millisekuntia. Langattoman yhteyden työryhmän tulee olla vähintään tasolla IEEE 802.11 g ja kaistaa ilmoitetaan käytettäväksi noin 5 Mbps jokaista konetta kohden. (Epiroc 2020b, 6.)

Tunnelinporauslaitteen järjestelmän tulee olla vähintään RCS 4.0 -versio. Näin järjestelmä tukee tarvittavia toimintoja ja langattoman verkon käyttöä. (Epiroc 2020b, 6.)

#### **4.1.2 Etäohjauksen hinnoittelu**

Epiroc hinnoittelee etäohjauspakettia tapauskohtaisesti. Hintaan vaikuttaa se, otetaanko etäohjausoptio uuteen koneeseen vai tehdäänkö se jälkiasennettuna. Etäohjausta ostaessa hintaan myös vaikuttaa se, tuleeko etäohjausoptio useampaan laitteeseen, jolloin etäohjauspisteitä ei tarvita jokaiselle koneelle erikseen. (Hansen 2021.)

#### **4.2 Etäohjausoptio peränporaukseen Sandvikilta**

Sandvik tarjoaa optiona etäporausta peränporaukseen kolmeen eri laitemalliin, joita ovat DT922i, DD422i sekä DD422iE. Näistä jälkimmäisin on akkuteknologialla toteutettu malli, jossa ei ole polttomoottoria ollenkaan. Etäohjaus voidaan joko ottaa optiona suoraan tehtaalta tai se voidaan myös jälkiasentaa. Etäohjauspaketti sisältää liikuteltavan etäohjausaseman (kuva 10), kolme PTZ-kameraa, valmiuden kahdelle etäohjattavalle kohdevalolle ja ohjelmamoduulin, joka mahdollistaa ohjaussignaalien lähettämisen porajumbolle sekä langattoman tiedonsiirron toimiston ja porajumbon välillä. Etäohjausoption lisäksi pakollisia optioita ovat Sandvik access protector sekä automaattinen tulipalon sammutusjärjestelmä. (Sandvik 2020, 1.)



*KUVA 10. Liikutettava etäohjausasema (Sandvik 2020)*

#### **4.2.1 Etäohjauksen vaatimukset**

Sandvikilla etäohjausoptio on peränporauslaitteille DD422i, DD422iE sekä DT922i. Etäohjaus käyttää langatonta verkkoa kommunikoidakseen porauslaitteen kanssa, joten langattomalle yhteydelle on myös vaatimuksia. (Sandvik 2020, 1.)

Sandvik ilmoittaa, että langattoman verkon tulee olla IEEE 802.11b/g/n työryhmää ja datasiirto kapasiteetin tulee olla vähintään 15 Mbps laitetta kohden. Viiveen kannalta Sandvik suosittelee alle 200 millisekunnin viivettä käytettävyyden kannalta. (Sandvik 2020, 2.)

#### **4.2.2 Etäohjauksen hinnoittelu**

Hintaan vaikuttaa se, otetaanko etäohjausoptio tehtaalta tulevaan koneeseen vai tehdäänkö se jälkiasennuksena. Hinnoittelu katsotaan tapauskohtaisesti (Kukkonen 2020).

### 4.3 Eroavaisuus perinteiseen porausmalliin

Porajumbo pitää ajaa ja kytkeä porausvesilinjaan sekä työmaan sähköverkkoon, jotta poraus onnistuu. Näitä vaihteita ei pystytä tekemään etäohjauksella. Suurin hyöty saadaan etäohjauksesta irti, kun operaattorilla on useampi kuin yksi porajumbo hallinnassaan. Maanalla on hyvä olla joku, joka siirtää sekä kytkee porajumbon, jottei etäohjausta käyttävän tarvitse lähteä etäohjauspisteeltä, jolloin aikaa kuluu siirtymisiin. Apumiehen tulee navigoida etäohjattava porajumbo perään, minkä jälkeen hän kytkee laitteen takaisin etäohjaukselle, jolloin etäporausta suorittava operaattori voi aloittaa seuraavan katkon poraamisen. Apumiehen ei tarvitse olla vaihtamassa porakruunuja, sillä etäohjauksen käytössä on tähän ongelmaan kaksi eri ratkaisua, joita voidaan myös käyttää perinteisessä porauksessa.

Porakruunujen vaihtamiseen etäohjauksen yhteydessä on mahdollista asentaa porakruununvaihtaja. Jos porakruunun vaihtajaa ei asenneta, voidaan käyttää timanttiporakruunuja, joilla voi porata jopa yli kilometrin verran.

Kun työvuoro alkaa lähestyä loppuaan, ei operaattorin tarvitse lopettaa porausta ja lähteä siirtymään kohti maanpintaa. Kaivoksessa etäisyydet maanpinnan ja porauskohteen välillä voivat olla suuria. Siirtymiseen porauskohteesta maanpinnalle voi kestää jopa puoli tuntia, jolloin vuoron alkavasta ja päättyvästä ajasta saadaan porausaikaa kasvatettua jopa tunnilla. Vuodessa se on jo hyvinkin huomattava määrä.

### 4.4 Turvallisuus

Louhinta-alalla edistetään aina turvallisuutta ja uusimpia turvallisuuteen liittyviä innovaatioita on etäohjaus. Etäohjaus vaikuttaa moneen turvallisuutta lisäävään tekijään. Yksi tekijöistä on esimerkiksi ilmanlaadusta johtuvat komplikaatiot. Jos poraaja voi viettää työpäivänsä toimistolla hyvälaatuisessa ilmassa, voidaan vähentää riskiä altistua pölyhiukkasille, dieselpäästöille ja muille epäpuhtauksille, kuten asbestille, jos sitä on havaittu kaivoksella.

Porakruunujenvaihtaja tai timanttikruunujen käyttöönotto ehkäisevät turhaa hytistä laskeutumista epätasaiselle maalle. Hyvin monet poissaoloon johtavat tapaturmat ovat edelleen kompastumisen tai nilkan nyrjähdysten kaltaisia tapaturmia (taulukko 1). Taulukkoon on otettu myös tapaturmia, jotka olisivat voineet tapahtua louhintaolosuhteissa.

*TAULUKKO 1.Poimintoja vuonna 2020 poissaoloon johtaneista tapaturmista, joista osa on tapahtunut kaihoksella (YIT 2020)*

Päivä	Yksikkö	Maa	Tapaturman kuvaus	Poissaolo (arvio)
4.3.2020	IRSR	Suomi	Henkilö oli huoltamassa porajumboa. Henkilö nousi palkin päälle 0,5 m korkeuteen. Vääntöraudan pää luiskahti vääntökohdasta ja henkilö menetti tasapainon ja putosi selin lattialle. Alaselkä kipeytyi ja henkilö hakeutui hoitoon seuraavana päivänä.	2
27.4.2020	HSFU	Suomi	Työntekijä ajoi työmaan pyöräkuormaajan parkkiin työpäivän päätteeksi ja astui harhaan hytistä ulos tullessa. Nilkka nyrjähti.	7
8.6.2020	HHME	Suomi	Työntekijä astui kulkuväylällä olleeseen kuoppaan. Töiden jälkeen jalka kipeytyi ja alkoi turvota.	4
22.7.2020	IEQH	Suomi	Työntekijä nyrjäytti nilkkansa astuessaan ison sorakiven päälle varastointialueella.	2
28.9.2020	ISTS	Suomi	Työntekijä oli kävellyt työpisteelle ja venäytti jalan hiekkatiellä kantaessaan samaan aikaan työkaluja työpisteelle.	4
2.11.2020	BNFL	Suomi	Henkilö käveli perehdytystilasta kohti työmaata ja nyrjäytti nilkkansa. Osa piha-alueesta oli karkeammasta murskeesta.	11
10.11.2020	IRSF	Suomi	<b>Kokenut poraustimi suoritti rutiinomaista injektointiputkien porausta kun paineletku irtosi kompressorin päästä pyyhkäisten porarin ja apumiehen jalat alta. Irronnut paineletku osui ensin kompressorin vetoaisaan aiheuttaen kolhun venttiiliin, minkä jälkeen apumies sai letkusta iskun nilkkaan.</b>	<b>61</b>
10.11.2020	IRSF	Suomi	Edelliseen tapaturmakuvaukseen liittyvä tapaturma. Toinen porari sai letkusta iskun reiteen.	12

Kaikkia tapaturmia ei voida etäohjauksellakaan estää. Kuten taulukosta 1 voi havaita, sattuu muitakin tapaturmia, joita edes etäohjauksella ei voida ehkäistä. Vuonna 2020 YIT:llä ei tapahtunut vakavia tapaturmia peränporauksessa.

Yhden työtapaturman keskimääräinen kustannus on noin 8 000–8 500 €. Laskennassa on otettu huomioon poissaolon pituus. (Mitrinen 2021.) Kompastumisesta ja nilkan nyrjähdyksestä johtuvat sairaspoissaolot alkavat yleensä parista päivästä ja vakavuudesta riippuen niistä voi tulla myös useita viikkoja kestäviä sairauslomia.



## 5 PERÄNPORAUKSEN KOKEILUN KÄYTTÖKOKEMUKSET KITTILÄN KAIVOKSELLA

Kittilän kultakaivos on Euroopan suurin kultakaivos ja sen omistaa Agnico Eagle Mines Ltd. Kaivos on aloittanut louhinnan avolouhoksena vuonna 2008 ja maanalaisen louhinnan vuonna 2010. Kaivos sijaitsee Lapissa ja arvioilta on toiminnassa arviolta vuoteen 2034 asti. Kaivos yltää jo yli kilometrin syvyyteen. (Agnico Eagle Finland Oy.)

Opinnäytetyössä haastateltiin Tapani Kemppaista, joka on kehitys- ja tutkimusinsinööri virassa Kittilän kaivoksella. Luvussa 5 kuvatut käyttökokemukset perustuvat Kemppaisen kanssa käytyyn keskusteluun 12.1.2021.

Kittilän kultakaivoksella on ollut jo käytössä päättälyövä pitkäreikäporausta etäohjauksella. Viime aikoina kaivoksella on otettu testaukseen myös peränporauksen etäohjaus Sandvikin kanssa yhteistyökumppaneina. Agnico Eagle Finland Oy tekee laajaa yhteistyötä Sandvikin kanssa kehittäen toimintaansa ja edistäen kaivoksen turvallisuutta.

Kittilän kaivoksella on otettu peränporauksen etäohjaus testaukseen ja kaivoksella on jo olemassa pitkäreikäporausta etäohjauksella. Käyttöönotto oli helppoa, sillä kaivoksella oli jo olemassa verkko pitkäreikäporausten ansiosta. Itse käyttöönotossa kesti pari päivää ja käyttöönotto tapahtui ongelmitta. Tällä hetkellä kokeilussa on yksi peränporauslaite etäohjauksella.

Kaivoksella haluttiin kokeilla myös peränporauksen etäohjausta siellä vallitsevien kalliomekaanisten ominaisuuksien takia. Syvemmillä kallio voi esimerkiksi paukhdella ja tiputella kiviä.

Kehitys- ja tutkimusinsinööri Kemppaisen mukaan peränporaukseen on saatu lisää tehokkuutta, kun porausta ei tarvitse lopettaa räjäytysten ajaksi eikä tarvitse odottaa räjähdyskaasujen hälvenemistä. Porauksesta ei ollut vielä saatu tarvittavaa dataa, joiden avulla voitaisiin käsitellä tarkkoja tuloksia, mutta etäohjaus on koettu hyödylliseksi.

Työntekijät ovat pitäneet etäohjauksesta sekä pitkäreikä- että peränporauksessa. Etäohjauksen käytön aikana saa toimia hyvin ilmastoidussa sekä puhtaassa ympäristössä. Etäohjauksen käytössä oli alussa haasteellista muistaa kytkeä etäohjaus paikallisohjaukselle, jos operaattorin tarvitsi mennä maanalle tarkistamaan työn jälkeä.

Peränporauksen etäohjauksessa esiintyy myös uudenlainen ongelma, mitä ei esiintynyt pitkäreikäporauksessa. Ongelmana on langattoman verkon jatkaminen louhittavaan kohteeseen. Jos langattoman verkon laitteistoa tuodaan liian lähelle louhittavaa kohtaa, laitteisto rikkoutuu räjähdysten takia. Tähän ei ole vielä löydetty täydellistä ratkaisua.

Työvaiheet tulee suunnitella hyvin, ettei saman operaattorin tarvitse mennä ensin alas laittamaan perää porattavaan kuntoon ja sitten palata ylös jatkamaan porausta, sillä turhaa aikaa menee paikkojen välisiin siirtymiin. Etäohjauksen käyttämiseen tulee nimetä useampi kuin yksi henkilö, jotta sairastapauksissa poraus voi jatkua.

Kemppaisen (2021) mukaan pitkäreikäporauksessa porausaikaa saadaan päivässä parhaimmillaan noin kaksi tuntia enemmän verrattuna siihen, ettei etäohjausta olisi käytössä. Peränporauksessa on vielä vaikea sanoa hyötyjä, koska käytössä on yksi peränporauslaite etäohjauksella eikä ole mahdollista antaa tarkkoja lukuja vielä etäporauksella saavutetusta edusta.

Kemppainen kertoi, että kuten monissa uusissa menetelmissä ja ratkaisuissa, tulee työntekijöitä valmistaa muutoksiin. Heillä alettiin ajoissa puhumaan sekä valmistamaan työntekijöitä etäohjauksella tapahtuvaan poraukseen. Pitkäreikäporauksessa operaattorit ovat pitäneet etäohjauksen tuomista parannuksista töihin ja he jopa suosivat etäohjausta. Yhden porauspaikan valmistuessa ei tule odottelua, sillä käytössä on useampi porajumbo operaattoria kohden ja aika menee nopeasti tehdessä töitä ilman turhaa odottelua. Myös remontin tarpeessa voi jatkaa toisella poralla poraamista eikä tarvitse odottaa korjauksen päättymistä.

Kemppainen ajattelee positiivisesti etäohjauksesta ja uskoo, että etäohjaus tulee yleistymään tulevaisuudessa. Vielä on kuitenkin matkaa siihen, että peränporaus saadaan toimimaan halutulla tavalla. Verkon kanssa on vielä ongelmia peränporauksessa. Ei ole tavatonta, että räjäytyksen aikana verkkolaitteet ovat menneet rikki. Pitkäreikäporauksessa tätä ongelmaa ei ole, kun tunneli on valmiiksi louhittu.

Kaivoksella mennään työntekijän turvallisuuden edellä ja jatketaan yhteistyötä Sandvikin kanssa kehittämällä peränporauksen etäohjausmahdollisuuksia.

## 6 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä käytiin läpi etäohjauksen vaikutuksia maanalaisen louhinnan peränporaus vaiheessa ja selvitettiin, miten se eroaa perinteisestä porauksesta. Työssä kerrottiin eri työvaiheista louhinnassa ja yksityiskohtaisemmin peränporauksen työvaihe sekä esiteltiin porauksen etäohjausta. Etäohjaus mahdollistaa sen, että operaattorilla on useampi porajumbo käytössään sekä sen, että operaattorin aika käytetään tehokkaasti. Kempvaisen kanssa käydystä haastattelusta selvisi, että etäohjauksella saadaan parhaimmillaan kasvatettua porausaikaa parilla tunnilla. Etäohjauksen avulla porauksen ei tarvitse pysähtyä savutuntien aikana.

Perinteisessä porauksessa jokaiselle porajumbolle tarvitaan operaattori sekä porakruunuja tulee vaihtaa suhteellisen tiheään tahtiin, jonka aikana on monta mahdollisuutta kompastumisiin sekä muihin työtapaturmiin. Ilmanlaatu etäohjauspisteellä on mainio, kun taas tunnelissa ei aina pystytä takaamaan parasta ilmanvaihtoa. Pitemmällä aikavälillä tämä voi aiheuttaa sairauksia, joita olisi voitu etäohjauksella välttää.

Etäohjauksen käyttöönottoon siirtymisessä tulee ottaa huomioon, onko maanalaisessa louhintakohteessa jo langatonta verkkoa. Langatonta verkkoa tulee laajentaa louhittavien perien edetessä. Verkon tarkastaminen sekä sen laajentaminen onkin hyvä ottaa säännöllisen tarkkailun alle.

Haastattelussa selvisi, että peränporauksen käytössä on vielä haasteita langattoman verkon kanssa. Langattoman verkon laitteet saattoivat rikkoutua räjäytyksien yhteydessä. Ehdotan vielä lisätutkimusta langattoman verkon ominaisuuksien osalta, jotta langattoman verkon käyttäminen olisi sujuvampaa. Onko mahdollista parantaa signaalin kantavuutta? Pystyykö langattoman verkon laitteita sijoittamaan tavalla, jolla ne eivät menisi rikki räjäytyksien yhteydessä.

Etäohjauksen kannattavuuteen mielestäni vaikuttaa muutama eri tekijä, jotka tulee ottaa huomioon. Jos maanalaisessa louhintakohteessa ei ole valmiina langattoman verkon infrastruktuuria, tulee tämä ottaa huomioon sekä pohtia, millä aikataululla verkko saadaan toimintavalmiuteen. Verkon rakentaminen kuitenkin tapahtuu kaiken muun työn ohessa, eikä se voi haitata muuta toimintaa.

Kun tutkitaan, voidaanko peränporauksen etäohjausta hyödyntää valitussa urakassa, tulee ottaa huomioon, kuinka iso urakka on. Kuinka monta porajumboa urakassa tulee olemaan? Lähtökohtana on, että työ tehtäisiin mahdollisimman tehokkaasti. Perien määrän kasvaessa etäohjaus vaikuttaa hyvältä vaihtoehdolta. Perien määrän kasvaessa voi olla järkevämpää, että yksi kokenut operaattori hallitsee etänä useampaa pora-

jumboa. Urakassa voidaan esimerkiksi tärkeimmät perät varustaa langattomalla verkolla, jolloin näiden perien poraus onnistuu savutunneista huolimatta ja vähemmän tärkeät perät porataan toisella porajumbolla paikallisohjauksella. Louhintaurakan kasvaessa voidaan poraukset suunnitella alueittain, jolloin etäohjattavat porajumbot pysyvät langattoman verkon alueella, jolloin yksi operaattori voi hallita useampaa porajumboa samaan aikaan.

Peränporauksen etäohjauksella saavutettavat hyödyt kasvavat pidemmällä aikavälillä. Ajatellaan, että jos peränporauksen etäohjauksella saavutetaan yksi katko enemmän kuin perinteisellä porauksella viikkoa kohden. Vuodessa tämä tekisi jo noin 250 metriä sekä se myös edistäisi työturvallisuutta.

Hankkeissa, joissa on pitkät välimatkat tai ovat aikataulullisesti haastavia, voivat juuri olla hyviä kohteita peränporauksen etäohjaukselle.

## LÄHTEET

Agnico Eagle Finland Oy 2021. Hakupäivä 12.1.2021. <http://agnicoeagle.fi/fi/tietoa-meista/toiminta/>.

Bever Control AS 2021. Bever 3D Profiles. Hakupäivä 17.2.2021. <https://www.bevercontrol.com/en/products/bever-3d-profiles>.

Epiroc 2020a. Simba Automation A series of automation functions for production drill rigs.

Epiroc 2020b. Simba Automation Combines onboard and teleremote functionalities for monitoring, drill planning and autonomous operation.

Halonen, Tommi. & Vuolio, Raimo 2010. Räjätystyöt. Helsinki: Suomen Rakennusmedia.

Hansen, Carl 2020. Tuoteryhmäpäällikkö. Epiroc Oy ja Tikander, Kjell 2020. Tekninen tuki. Epiroc Oy. Microsoft Teams -haastattelu 20.11.2020.

Hansen, Carl 2021. Tuoteryhmäpäällikkö, maanalaiset laitteet. Epiroc Oy ja Tikander, Kjell 2021. Tekninen tuki, kouluttaja. Epiroc Oy. Sähköpostiviesti 23.3.2021.

Hiukka, Sakari. Peränajon työvaiheet, tehokkuus ja häiriötekijät Kittilän kaivoksella. Lapin ammattikorkeakoulu. Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 16.1.2021.

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/148437/Hiukka\\_Sakari.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/148437/Hiukka_Sakari.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Isomäki, Janne 2007. Esi-injektointikoe Nygårdstunnelissa – Silica Sol käytännön injektointityössä. Tampereen ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 25.1.2021.

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9626/Isom%E4ki.Janne.pdf?sequence=2>.

Isomäki, Janne 2021. Kehitysinsinööri. YIT Suomi Oy. Microsoft Teams haastattelu 5.2.2021

Kemppainen, Tapani 2021. Kehitys- ja tutkimusinsinööri. Agnico Eagle Finland Oy. Microsoft Teams haastattelu 12.1.2021.

Koskinen, Esa 2014. Porausdatan hyödyntäminen tunnelilouhinnassa kalliolaadun ja räjäytystulosten ennakkoinnissa. Aalto-yliopisto. Kalliorakentaminen. Diplomityö. Hakupäivä 25.1.2021. [https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/13130/master\\_Koskinen\\_Esa\\_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/13130/master_Koskinen_Esa_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Kukkonen, Juha 2020. Myyntipäällikkö. Sandvik Mining and Rock Technology. Microsoft Teams haastattelu 2.12.2020.

Mitrunen, Antti 2021. Työturvallisuuspäällikkö. YIT Suomi Oy. Sähköpostiviesti. 10.3.2021.

Pyhäjärvi, Teemu 2020. Peränajon optimointi Kittilän kaivoksella. Lapin ammattikorkeakoulu. Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 16.1.2021.

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/338971/Per%C3%A4najan%20optimointi%20Kittil%C3%A4n%20kaivoksella.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

Saferoad 2021. Tärkeimmät CT-Bolt – pultin edut ja ominaisuudet. Hakupäivä 19.2.2021. [http://www.saferoad.fi/globalassets/saferoad-finland/products/041219\\_saferoad\\_ct-bolt\\_edut.pdf](http://www.saferoad.fi/globalassets/saferoad-finland/products/041219_saferoad_ct-bolt_edut.pdf).

Sandvik 2020. DD422i / DD422iE Teleremote drilling.

Savonen, Arto 2007. Kalliorakennustyömaiden toteumatietojen keruujärjestelmä. Tampereen ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 12.1.2021.

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9736/TMP\\_objres.948.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9736/TMP_objres.948.pdf?sequence=2&isAllowed=y).

Viitanen, Niko 2015. Tunnelilouhintatyömaan kustannusrakenne. Metropolia ammattikorkeakoulu. Rakennusmestarin koulutusohjelma. Mestarityö. Hakupäivä 16.1.2021. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/89937/viitanen\\_niko.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/89937/viitanen_niko.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Vilpas, Juha-Pekka 2006. Juotosmassan valmistuksen automatisointi robottipultituslaitteeseen. Tampereen ammattikorkeakoulu. Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Tutkintotyö. Hakupäivä 16.1.2021.

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8875/TMP\\_objres.462.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8875/TMP_objres.462.pdf?sequence=2&isAllowed=y).