

Tuomo Tahvanainen

**KIVIKLUSTERIHANKE**

**Louhintateknologian kehittäminen**

**Saimaan ammattikorkeakoulun julkaisu**  
**Saimaa University of Applied Sciences Publications**



Etelä-Karjalan liitto

**Vipuvoimaa**  
**EU:lta**  
2007-2013



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

Saimaan ammattikorkeakoulun julkaisu

Sarja A: Raportteja ja tutkimuksia 28

ISBN 978-952-5714-64-7 (PDF)

ISSN 1797-7266

## TIIVISTELMÄ

Tarvekiven louhinnan kehitysselvitys on osa Etelä-Karjalan kiviklusterihanketta, jossa yhtenä tavoitteena on kehittää tarvekiven louhintamenetelmiä.

Tavoitteena on ollut kartoittaa sellaisia kehittämiskohteita tarvekiven louhinnassa tai louhimoiden toiminnassa, joita voitaisiin selvittää kiviklusterin toiminnan yhteydessä tai myöhemmin tämän projektin jälkeen tehtävinä jatkotoimenpiteinä siltä osin kuin niitä ei ole mahdollista toteuttaa käynnissä olevan projektin aikana.

Selvitystyötä on tehty vieraillemalla kivilouhimoilla ja keskustelemalla toiminnan vastuuhenkilöiden kanssa, keskustelemalla laite- ja materiaalitoimittajien kanssa ja tekemällä havaintoja louhimoiden toiminnasta.

Toimintaa voidaan louhimoilla tehostaa mm. kehittämällä poraustekniikkaa ja lisäämällä porauksen automaatioastetta. Porauksessa olisi mahdollista kehittää koneohjausta samoin menetelmin kuin maarakennuksessa. Louhinnan suunnittelua on mahdollista kehittää tekemällä mittausten ja havaintojen avulla tietomalli louhittavasta alueesta ja käyttämällä optimointiohjelmia, jonka avulla pyritään löytämään paras malli kamin paloitteluun myytäviksi lohkareiksi siten, että sivukiveä syntyy mahdollisimman vähän. Kiilauksen ja sahauksen lisäämisellä voidaan vähentää ympäristöhaittoja, mutta molempiin tarvitaan kehitystyötä jotta laajempi käyttö olisi mahdollista. Toimenpiteet, joilla pyritään käyttämään suurempi osa kivistä hyödyksi ja vähentämään turhia työvaiheita myytävän lohkarkeen muotoilussa, parantavat myös energiatehokkuutta ja vähentävät ympäristön kuormitusta.

Työturvallisuuden, ergonomian ja työolosuhteiden kehittäminen on tarpeellista työurien pidentämisen, työssä jaksamisen ja työvoiman saannin turvaamiseksi. Tehtävää riittää ainakin seuraavissa asioissa: melu ja pöly, hankalat työasennot esim. kamin pohjareikien panostuksessa, koneiden hytit, apuvälineet kuten peruutuskamerat ajoneuvoissa, putoamis-, liukastumis-, kompastumisvaarojen torjunta, koneiden suojalaitteet, kulku työstettävien kivien päälle, koulutus ja motivointi.

Osa kehittämistyöstä voidaan tehdä yritysten omin voimin, mutta osassa paikallaan olisivat alan yhteiset kehitysprojektit yhteistyössä esimerkiksi ammattikorkeakoulun kanssa.

# SISÄLTÖ

1 JOHDANTO .....	6
2 NYKYINEN TYÖTAPA TARVEKIVEN LOUHINNASSA.....	7
2.1 Kamin irrotus .....	7
2.2 Kamin paloittelu .....	10
2.3 Kaatolohkare .....	11
2.4 Blokkien muotoilu ja kiilaus.....	12
2.5 Railon poraus .....	15
2.6 Sahaus .....	16
3 LOUHIMOKÄYNNIT JA KESKUSTELUT LAITEVALMISTAJIEN KANSSA	19
3.1 Louhimokäyntien yhteydessä käydyt keskustelut ja havainnot .....	19
3.1.1 Poraus .....	19
3.1.2 Räjätys.....	24
3.1.3 Kiilaus.....	27
3.2 Keskustelut laitevalmistajien kanssa.....	29
3.2.1 Nykytilanne porauslaitteissa .....	29
3.2.2 Porauslaitteiden automaation nykytilanne .....	30
3.2.3 Kiilaus.....	31
4 KEHITTÄMISTARPEET JA MAHDOLLISUUDET .....	32
4.1 Kehitystarpeet porauksessa .....	33
4.2 Automaation hyödyt porauksessa.....	35
4.3 Koneohjaus porauksessa .....	36
4.4 Suunnittelu ja tuotannon ohjaus .....	37
4.5 Kiilaus .....	38
4.6 Uusien yrittäjien ja palvelujen tarve .....	39
4.6.1 Sivukiven hyödyntäminen.....	39

4.6.2 Korjaus ja huoltopalvelut .....	40
4.7 Työskentelyolosuhteiden parantaminen .....	40
4.8 Kivien mittaus ja laadun tarkastaminen .....	41
4.9 Räjähdyksineet .....	41
4.10 Saantiprosentin parantaminen .....	42
4.11 Sahaus .....	43
5 KIRJALLISUUDESTA JA MUISTA LÄHTEISTÄ POIMITTUA.....	43
5.1 Paisuvat laastit.....	44
5.2 Vesipiikkaus.....	45
5.3 Räjähdyksivoiman suuntaaminen.....	45
5.4 Laserleikkaus.....	45
6 YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN VÄHENTÄMINEN .....	46
6.1 Melu.....	46
6.2 Pöly.....	47
6.3 Sivukivi .....	47
6.4 Pinta- ja pohjavesi .....	48
6.4 Energiatehokkuus.....	48
7 TULEVAISUUDEN KIVILOUHIMO .....	50
8 SUOSITUKSET JATKOTOIMENPITEIKSI.....	52
8.1 Porauksen tehokkuuden parantaminen .....	52
8.2 Mittaukset, suunnittelu, tietomalli.....	54
8.3 Kiilaus .....	55
8.4 Sahaus .....	55
8.5 Räjähdyksineet.....	55
8.6 Ergonomia, työolosuhteet ja työturvallisuus.....	56
8.7 Kiven vikojen ja värisävyn tunnistaminen .....	56
8.8 Kehitystoimenpiteiden kannattavuuden arviointi.....	56
Lähteet.....	58

## 1 JOHDANTO

Tarvekiven louhinnan kehitysselvitys on osa Etelä-Karjalan kiviklusterihanketta, jossa yhtenä tavoitteena on kehittää tarvekiven louhintamenetelmiä.

Tavoitteena on ollut kartoittaa sellaisia kehittämiskohteita tarvekiven louhinnassa tai louhimoiden toiminnassa, joita voitaisiin selvittää kiviklusterin toiminnan yhteydessä tai myöhemmin tämän projektin jälkeen toteutettavina jatkotoimenpiteinä siltä osin kuin niitä ei ole mahdollista toteuttaa käynnissä olevan projektin aikana. Tässä vaiheessa ei ole pohdittu mitkä esitetyistä kehystoimenpiteistä ovat taloudellisesti kannattavia. Aluksi on esitelty lyhyesti nykyinen toimintatapa ja lähtötilanne kiven irrotuksessa ja eri työvaiheissa, joissa kivi muotoillaan myytäväksi blokiksi.

Selvitystä on tehty käymällä louhimoilla, tekemällä havaintoja käyntien aikana ja keskustelemalla louhinnasta vastaavien henkilöiden kanssa sekä hakemalla tietoa kirjallisuudesta tai internetlähteistä. Lisäksi on keskusteltu joidenkin louhimoille työkoneita valmistavien yritysten kanssa sekä porakalustotoimittajan ja räjähdysainetoimittajan kanssa heidän näkemyksistään. Tarkoituksena on ollut hakea aluksi tarpeita ja aihepiirejä, joiden tarkemmasta selvittämisestä voisi olla alalle hyötyä. Tavoitteena on antaa alalla toimiville yrityksille ajatuksia toiminnan kehittämisen mahdollisista suuntaviivoista ja vauhdittaa kehitystyötä, jota on kansainvälisen kilpailun kiristyessä pakko tehdä, mikäli halutaan olla mukana alan toimijoina jatkossakin. Selvityksen tarkoitus on myös toimia keskustelun pohjana projektin ohjausryhmässä mietittäessä, miten kehittämistä voitaisiin jatkaa. Lähtökohtana on ollut nykyisen kaltainen toimintatapa kiven irrotuksessa. Nykyisellä toimintatavalla etuna on se, että osa kiven sellaisista heikkousvyöhykkeistä ja vioista, joita ei voida havaita aikaisemmin, tulee esille kamin irrotuksen ja pilkkomisen yhteydessä. Mikäli nämä piilevät viat voitaisiin paikantaa ennen louhintaa, voitaisiin kyseenalaistaa myös nykyinen toimintatapa. Onko tarpeen irrottaa ensin suuri kami ja pilkkoa se pienemmiksi blokeiksi, vai voitaisiinko blokit tehdä valmiiksi alkuperäisellä paikallaan ilman turhia siirtoja.

## 2 NYKYINEN TYÖTAPA TARVEKIVEN LOUHINNASSA

Oleellisin ero tarvekivenlouhinnan ja tavanomaisen, pelkästään kiviaineksen irrotukseen tähtäävän louhinnan välillä on se, että tarvekivilouhinnassa tulee sekä irrotettavan että jäljelle jäävän kallion säilyä mahdollisimman ehjänä, kun tavanomaisessa rakennuslouhinnassa pyritään vain jäljellejäävän kallion eheyteen. Lisäksi tarkkuus- ja eheysvaateet ovat tarvekivilouhinnassa huomattavasti suuremmat kuin tavanomaisessa tarkkuuslouhinnassa, jota tehdään maaraken- tamisen yhteydessä. Tarvekivien louhinta ja vienti saivat vauhtia 1970- luvun puolivälistä lähtien, kun kivilouhimot ”teknistyivät”. Louhimoille tulivat putki- panokset räjäytystöitä helpottamaan, pyöräkuormaajat raskaita kivilohkareita siirtelemään sekä nopeat, juuri näihin töihin suunnitellut porakoneet, ”riviporaus- laitteet”, reikien tekoa tehostamaan. ( Vuolio & Halonen 2010, 375)

Tarvekivilouhinnassa voidaan irrotuslouhinnan vaiheet jaotella työn etenemisjär- jestyksessä seuraavasti (Mesimäki 1999, 19):

- irrotuslouhinta eli kamin irrotus (kuvat 1a, 1b)
- kamin paloittelu lohkareiksi (kuvat 5 a-c) tai kiilaaminen
- lohkareiden paloittelu ja jälkikäsitteily, pilkontaporaus

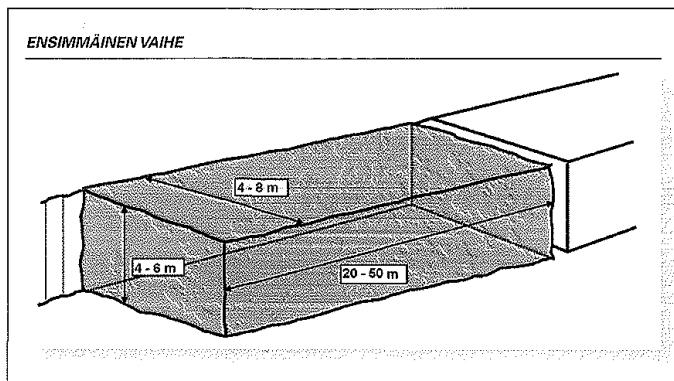
Tarvekivien irrotuksessa käytettyjä menetelmiä ovat (Vuolio & Halonen 2010, 376, Mesimäki 1999, 19):

- poraus
- räjäyttäminen
- railonporaus
- kiilaaminen
- sahaus

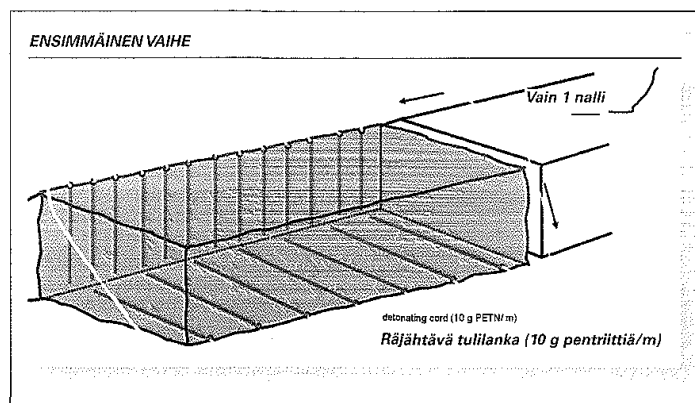
### 2.1 Kamin irrotus

Irrotuslouhinnalla tarkoitetaan tarvekivilouhinnassa työvaihetta, jolla kiintokalli- osta irrotetaan suuri peruslohkare, kami. Näiden kamien koot vaihtelevat kallion laadusta ja työmenetelmästä riippuen melko paljon. Suurimmat kamit ovat usei-

den tuhansien kuutioiden suuruisia, mutta jonkinlaisena yleisenä kokona voitaneen, keskiuurilla ja suurilla louhoksilla, pitää 1000 - 2000 m<sup>3</sup> suuruista kama.



Kuva 1a. Kamin irrotus. Mitat ovat ohjeellisia, tapauksesta riippuvaisia. Räjähdyksineena käytetään K-putkipanosta 17 x 460 tai KK-putkipanosta 17 x 460. (Vuolio & Halonen 2010, 376)



Kuva 1b. Irrotettava kami on kahdelta sivulta auki. Yhdellä sivulla on luonnonlusta tai porattu railo. Yksi sivu ja pohja räjäytetään auki. Sytytys räjähtävällä tulilangalla. (Vuolio & Halonen 2010, 376)

Selkälínjan reiät jätetään porattaessa hiukan kamin pohjatason yläpuolelle ja vastaavasti pohjareiät eivät saa ulottua ohi selkälínjan. Liian pitkät reiät aiheuttavat halkeamia jäljelle jäävässä kalliiossa.



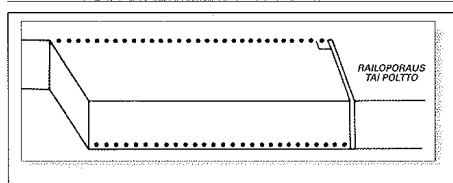


Kuva 2. Kamin selkälínjan poraus käynnissä

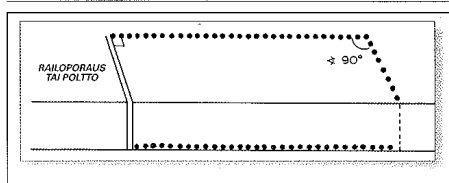


Kuva 3. Kamin pohjareikien porausta.

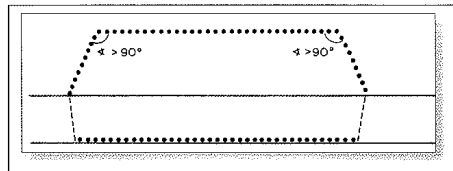
Kamin irrotuksessa voidaan käyttää hyväksi myös luonnon lustapintoja, mikäli niiden voidaan todeta jatkuvan läpi koko irrotuspinnan ja se on oikean suuntainen. Rakopintaa (lustaa) voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi kamin päädyissä tai pohjassa.



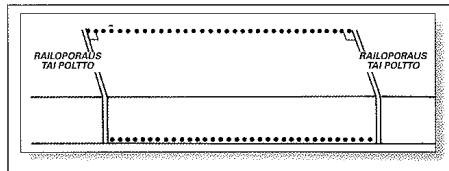
Kuva 10.08  
Irotus yhtä vapaata pintaa käyttäen. Railoporauksella toinen pää auki, porataan yksi pystylinjaa, reikien kallistus 2 - 5°, porataan vaakalinjaa.



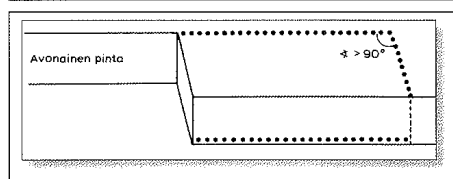
Kuva 10.09  
Railoporauksella toinen pää auki, porataan kaksi pystylinjaa, kulma > 90°, reikien kallistus 2 - 5°, porataan vaakalinjaa.



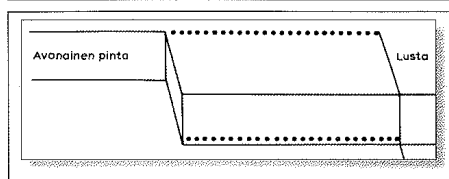
Kuva 10.10. Irotus kolmella pystylinjalla. Porataan kaikki sivut, kulmat > 90°, reikien kallistus 2 - 5°, porataan vaakalinjaa. Ei kovin suositeltava tapa, ampuvikoja ja räjäytystärinöitä syntyy enemmän verrattuna muihin menetelmiin. Käytetään irotusta aloitettaessa.



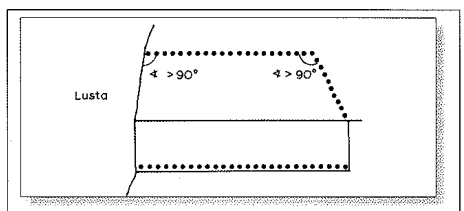
Kuva 10.11  
Irotus molemmat päät railoporauksella vapautettu. Porataan yksi pystylinjaa, kallistus 2 - 5°, porataan vaakalinjaa.



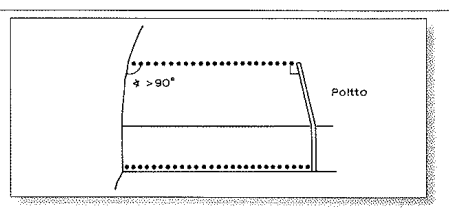
Kuva 10.12  
Irotus yhtä vapaata pintaa käyttäen. Porataan kaksi pystylinjaa, kulma > 90°, reikien kallistus 2 - 5°, porataan vaakalinjaa.



Kuva 10.13  
Yksi sivu aukeaa pystylustaan. Porataan yksi pystylinjaa, reikien kallistus 2 - 5°, porataan vaakalinjaa.



Kuva 10.06a  
Räjätys yhtä pystylustaa apuna käyttäen. Porataan 2 pystylinjaa, kulma > 90°, reikien kallistus 2 - 5°, porataan vaakalinjaa.



Kuva 10.07a  
Toinen sivu railoporauksella, porataan yksi pystylinjaa, reikien kallistus 2 - 5°, porataan vaakalinjaa.

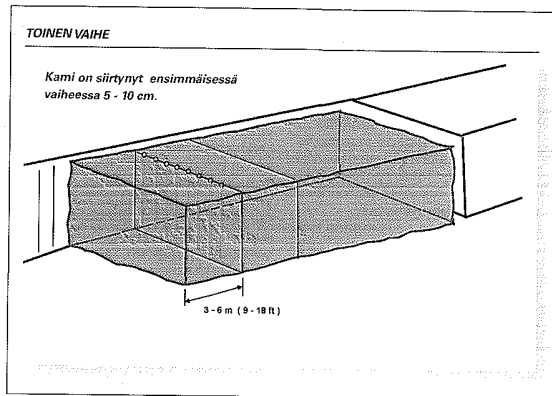
Kuva 4. Erilaisia kamin irrotustapoja (Vuolio & Halonen 2010, 379)

## 2.2 Kamin paloittelu

Koska valmiit myyntikivet on mitoitettu niin, että tulevaan levykokoon lisätään vain 50- 100 mm työvaraa, on paloittelu suunniteltava ja tehtävä huolella. On myös muistettava, että linjojen porauspinta voi jäädä tulevan kiven sivuksi.

Porauksessa käytetään nykyisin mekanisoituja porauslaitteita. Panostuksessa käytetään usein K- ja KK- putkipanoksia. Tarvittava ominaispanostus, jolla loh-kare irtoaa kamista, on kiven laadusta riippuen välillä 0,03 - 0,08 kg/m<sup>3</sup>. Panostuksessa on putket jaettava tasaisesti koko halkaistavalle pinnalle. Kaadettaval-

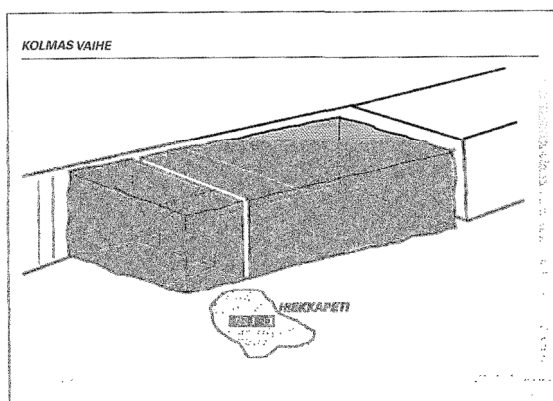
le lohkareelle tulee tehdä pehmeä alusta (kaatopeti) rikkoutumisen estämiseksi (Vuolio & Halonen 2010, 381).



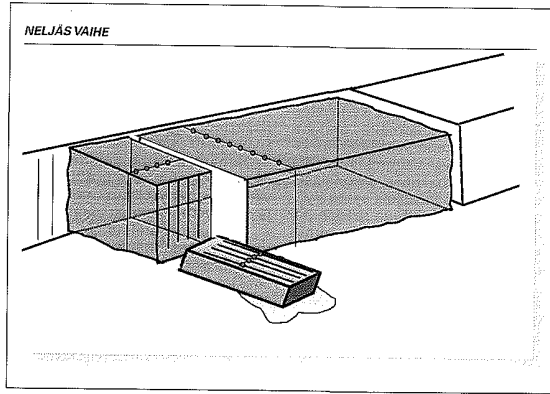
Kuva 5a. Kamin paloittelu alkaa yhdeltä sivulta. Panostus ja sytytys kuten ensimmäisessä vaiheessa (Vuolio & Halonen 2010, 377).

### 2.3 Kaatolohkare

Paloittelua jatketaan katkaisun jälkeen pystyporauksella pienemmiksi kappaleiksi kaatamalla sopivan paksuinen osa hiekkapedin päälle räjäyttämällä edelleen muotoilua varten. Ellei kaatolohkare kaadu räjäytyksen yhteydessä, se kaadetaan pyöräkuormaajalla työntämällä



Kuva 5b. Osa kamista paloitellaan pystyporauksella ja kaadetaan hiekkakerroksen päälle. Panostus ja sytytys kuten vaiheissa yksi ja kaksi (Vuolio & Halonen 2010, 377).



Kuva 5c. Kami on paloitetu ja kaadettu jälkikäsittelyä varten (Vuolio & Halonen 2010, 377).



Kuva 6. Kaatolohkareen poraus käynnissä riviporauslaitteella, jossa on kaksi porakonetta.

## 2.4 Blokkien muotoilu ja kiilaus

Lohkareen paloittelussa kiviblokeiksi käytetään räjähdysaineena tarvittavan ponnusasteen (kg/m) perusteella eri putkipanoksia, mutta usein riittää pelkkä räjähtävä tulilanka (10 g/m). Jälkikäsittelyssä oikaistaan kiven sivut ja kiviblokki saa lopulliset mittansa. Jälkikäsittelyssä käytetään työmenetelmänä usein kiilausta.



Kuva 7. Porausta blokin muotoilua varten.

Kiilaaminen irrotuslouhinnassa edellyttää kalliolta erittäin hyviä rakoilu- ja lohkeavuusominaisuuksia. Kiilaamista käytetään pääasiassa kamin lohkomisessa ja kivien jälkikäsitelyssä. Kiilauksen työvaiheet poraus ja kiilaaminen on esitetty kuvissa 7 ja 8. Kiilausta tehdään paljon käsityönä teräksestä valmistettuja kiiloja käyttäen. Kiilojen lyömiseen käytetään paineilmasarjaa. Poraus tehdään samoilla riviporauslaitteilla kuin muukin louhinta. Reikäväliä säädetään tarpeen mukaan ja se vaihtelee 10-30 cm. Kiilausta voidaan tehdä myös koneellisesti hydraulisilla kiilauslaitteilla (kuva 10).



Kuva 8. Blokin muotoilua kiilaamalla.



Kiilaus edellyttää, että poistettava osa on riittävän paksu eikä siinä ole vikoja. Muussa tapauksessa kivi ei lohkea pohjalle saakka ja lohkeamaton osa joudutaan räjäyttämään räjähtävää tulilankaa käyttäen (kuva 9).



Kuva 9. Kiilattuja lohkareita, joissa lohkeaminen ei ole jatkunut pohjalle saakka. Loppuosaa on panostettu räjähtävällä tulilangalla.

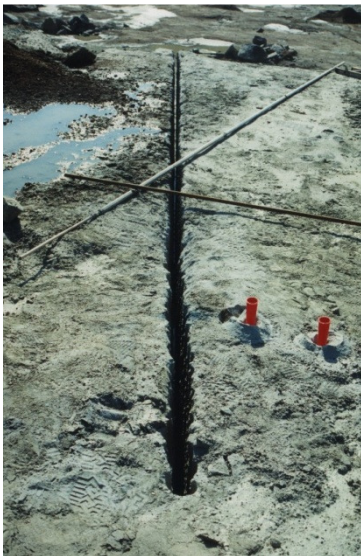


Kuva 10. Hydraulinen kiilauslaite.

## 2.5 Railon poraus

Kamin irrotuslouhinnan esityövaiheena on usein railoporaus. Railoporauksella porataan noin 5 cm levyinen kanaali, "railo", suunnitellun kamin toiseen tai molempiin päihin. Nämä railot varmistavat kamin irtoamisen ehjänä. Railoporaus porataan nykyaikaisilla vaunuporauslaitteilla, joita käytetään normaalissa pengertelouhinnassakin.

Railoporaus aloitetaan pilottireikien porauksella. Pilottireikäporauksessa porataan noin 8 - 10 cm välein mahdollisimman suorita reikiä suunnitellulle railolinjalle. Pilottireikien porauksen jälkeen aukaistaan pilottireikien väli railoporaukseen erityisesti suunnitellulla avarruskalustolla. Railon aukaisuvaiheessa pilottireiässä kulkee avarrusporauksen yhteydessä ohjuriputki, joka ohjaa avarrusporausta kulkemaan mahdollisimman suoraan pilottireikien suuntaisesti. Railoporauksen tärkein työvaihe on pilottireikien poraus, joka vaatii erittäin tarkan pystysuoran porauksen railolinjassa. Kun pilottireikien suoruus on hyvä, niin yleensä avarrusvaiheen jälkeen syntyneen railon laatu on myös hyvä. Hyvä railo on pystysuora, välikannakseton ja riittävän syvä, noin 10 - 20 cm syvempi kuin irrotettavan kamin korkeus.



Kuva 11. Porattu railo

Railonporauksessa käytetään normaalia avolouhintavaunua. Ensimmäisessä vaiheessa porataan joka toinen reikä 89 mm kruunulla (tai 76 mm) ja näiden reikien väli porataan pois 102 mm (tai 89 mm) kruunulla.



Kuva 12. Railonporauksena tehtyä pintaa.

## 2.6 Sahaus

Sahausta irrotusmenetelmänä käytetään pehmeissä ja sitkeissä kivilajeissa, joihin kiilaus-, railonporaus ja räjäytysmenetelmät eivät sovellu.

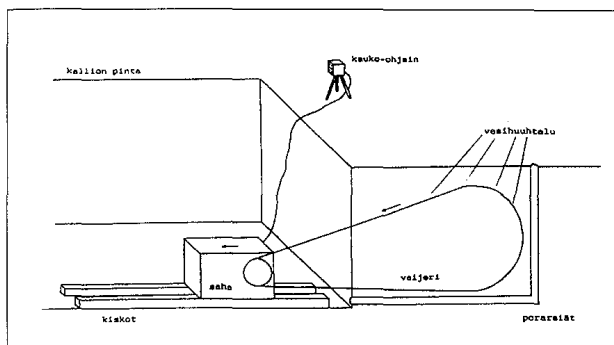
Sahausmenetelmä on käytössä irrotusmenetelmänä vuolukivilouhoksilla Suomessa.

Timanttivaijerisahausta on käytetty marmorin irrotusmenetelmänä maailmalla vuosikymmenien ajan. Graniittisten kivien timanttivaijerisahaustekniikka on yleistynyt viime aikoina kehittyneempien timanttivaijereiden ansiosta tarvekivenlouhinnan irrotusmenetelmänä myös kovissa kivilajeissa. Suomessakin on alettu käyttää timanttivaijerisahausta tarvekivenlouhinnassa sekä irrotuslouhinnassa että kamin jatkopaloittelussa. Timanttivaijerisahauksen suurimmiksi hyödyiksi lasketaan valmiiden blokkien työvarat, jotka ovat pienemmät kuin poratussa ja räjäytetyssä blokin pinnassa. Irrotuslouhinnassa timanttivaijerisahauksen hyödyiksi on laskettu saantoprosentin kasvaminen, kun irrotuslouhinnan yhteydessä sahataan kamin vaakapohjakin. Tällöin ampuvikojen muodostuminen irrotet-



tavan kamin alapuolelle on estetty. Näiden asioiden lisäksi sahauksen hyvänä puolena voidaan ottaa esille myös ympäristöön leviävän melun vähäisyys vähäisemmällä räjähdysmäärillä. Timanttivaijerisahaustekniikka tarvekivenlouhinnassa on ollut muutamilla louhimoilla käytössä Suomessa. (Vuolio & Halonen 2010, 378)

Timanttivaijerisahaus perustuu siihen, että haluttuun sahaustasoon kalliossa porataan kaksi toisensa kohtaavaa reikää, joiden kautta sahausvaijeri pujotetaan. Reikien kohdistuksessa käytetään apuna luotilankaa, teodoliittia tai laser-suuntauslaitetta. Vaijeri vedetään reikien läpi narulla tai koukkupäisellä tangolla. Reikien poraamisen jälkeen asennetaan kiskoilla liikkuva saha penkereen pohjalle tai päälle siten, että sahan vetopyörä asettuu samaan tasoon porareikien muodostaman tason kanssa. Jos saha joudutaan sijoittamaan toisin, vaijerin kulkua voidaan muuttaa juoksupyörillä. Päiden liittämisen jälkeen vaijeri kiristetään sahan vetopyörän ympärille siirtämällä sahaa kiskoilla taaksepäin. Vaijerin ja kiven kontaktiin järjestetään vesihuuhdeltu (1—3 m<sup>3</sup>/h), jonka tarkoituksena on jäähdyttää vaijeria ja poistaa syntynyt kivisoija. Sahaus tapahtuu ajamalla sahaa kiskoilla pois päin leikkauksesta (kuva 13). (Mesimäki 1999, 72). Pehmeämmissä kivissä voidaan käyttää ketjusahausta (kuva 14.).



Kuva 13. Timanttivaijerisahauksen periaate (Mesimäki 1999, 73)



Kuva 14. Vuolukiven sahausta ketjusahalla ( Tulikivi Oy, yritysesittelydiat).

### **3 LOUHIMOKÄYNNIT JA KESKUSTELUT LAITEVALMISTAJIEN KANSSA**

#### **3.1 Louhimokäyntien yhteydessä käydyt keskustelut ja havainnot**

Louhimokäyntejä on tehty LT Graniitti Oy:n Mätön louhimolle, jossa keskusteltiin Jarmo Tielisen kanssa ja louhimon työnjohtaja Markku Niemen kanssa. Taivasalon Graniitin Mätön louhoksella, jossa keskusteltiin Pasi Hännisen kanssa. Suomen Kiviteollisuus Oy:n Teemu Kälkäjän kanssa keskusteltiin ja tutustuttiin Ylämaan louhimoon. Palin Granit Oy:n Mäntsälän louhimolla keskusteltiin Olavi Selosen ja Jukka Valsin kanssa. Raimo Tankan kanssa keskusteltiin Virojoella Granicon Oy:n Lammaskallion louhimolla. Louhinnassa ei nykyisellään koeta olevan suuria ongelmia. Suuria kehitysaskelleita ei kuitenkaan ole tapahtunut useaan vuoteen. Seuraavassa on yhteenvetoa esille tulleista kehitettävistä asioista.

##### **3.1.1 Poraus**

Porauksessa hydraulisten porakoneiden tulo markkinoille paransi merkittävästi porauskapasiteettia. Porauksessa käytetään louhimoilla eniten kahdella syöttölaitteella ja porakoneella varustettuja riviporakoneita. Yhdestä koneen asemasta voidaan tehdä suurimpiin myytäviin blokkeihin tarvittava poraus siirtämättä konetta välillä (suurin sivun pituus esim. 3.3 m). Riviporauslaitteet on asennettu sopivalle alustalle, esim. pyöräalustaisen kaivukoneen puomiin pystyporauksessa tai vaakaporauksessa traktorin perävaunuun, josta porauslaite nostetaan porauksen ajaksi maahan säädettävien tukijalkojen varaan. Kaivukonealusta mahdollistaa suuremman ulottuvuuden kuin avolouhinnassa käytettävät vaunukoneet. Voidaan jopa porata kamin päälle alhaalta käsin tai kamin pohjareikiä koneen ollessa kamin päällä.

Porauksessa käytetään 32 mm reikäkokoa ja 7/8” kiintokankia kartioliitoksella. Osassa koneita on poratangon vaihtoa varten rullat, joilla voidaan vetää reiässä oleva tanko ylös porauksen jälkeen tai silloin, kun reiät ovat niin pitkiä, ettei

syöttölaitteen pituus riittää koko reiän pituiselle kangelle. Ellei tangon nostolaitetta ole, joutuu porari nostamaan vaihdettavan kangen pois reiästä ja nostamaan pidemmän kangen tilalle. Pisimmät kanget ovat 8 m pitkiä (porasarja nro 10), jopa pidempiäkin.

Porauksessa tärkeää on reikien suoruus, oikea suuntaus ja oikea aloituspaikka. Kamin irrotuksessa ja katkaisuporauksessa sekä kaatolohkareiden porauksessa reiän pituus on yleensä suuruusluokkaa 5-6 m. Reikien aloituksen ja suuntauksen on oltava kohdallaan, koska porausvirheet aiheuttavat sen, ettei räjäytyksessä syntyvä rako etene reiästä toiseen, vaan voi muuttua suuntaansa joko kamin puolelle tai jäljelle jäävän kallion puolelle. Reikien taipumat voivat aiheuttaa ongelmia raon syntymisessä reiän alapäässä. Reiät voivat taipua raonsuunnassa siten että vierekkäiset reiät taipuvat eri suuntiin ja reikäväli rakolinjan pohjalla muodostuu liian pitkäksi. Tällöin raon syntyminen räjäytyksessä on epävarmaa. Räjäytettävää rakolinjaa vastaan kohtisuorassa suunnassa tapahtuva taipuma tai suuntausvirhe voi vastaavasti aiheuttaa reikien liian pitkiä välimatkoja reiän pohjaosissa tai epätasaisuutta irrotettavan kappaleen pinnassa. Pahimmillaan pinta voidaan joutua muotoilemaan uudelleen siinä vaiheessa kun tehdään myytäviä blokkeja. Reikien aloituspaikka on helpompi saada oikeaksi riviporauslaitteella kuin yksittäisten reikien tekoon tarkoitetuilla porauslaitteilla. Reikien taipuman hallinnassa tärkeintä on, että reiän aloitus onnistuu hyvin. Oikeaan suuntaukseen päästään huolellisella koneen paikalleen asennuksella ennen reiän aloitusta ja tarkasti tehdyllä reikien aloitusvaiheella. Myös koneen kunto, erityisesti nivelten väljyys ja poraohjainten kuluneisuus vaikuttaa oikeaan suuntaukseen. Reikävälinä käytetään kamin irrotuksessa ja katkaisuissa n. 30 cm ja kivien viimeistelyssä 10-20 cm reikäväliä. Kamin pohjareikien reikäväli on 30-50 cm.



Kuva 15. Kaivukonealustaisella porauslaitteella on hyvä ulottuvuus.



Kuva 16. Vaakaporauslaite. Seinämän alaosassa on havaittavissa ”aaltoilua”, joka johtuu porauksen virheistä. Etuosassa on kohta, jossa porausvirheestä johtuen on ollut vaikeuksia räjäytysraon muodostumisessa reikien välille. Myöhemmissä työvaiheissa voidaan joutua oikaisemaan näitä pintoja uudelleen. Kamin porauksessa reikien alapäävät ovat jääneet hiukan eri tasoisille, mikä aiheuttaa kynsien jäämistä räjäytyksessä seinän viereen. Tämä vaikeuttaa ja hidastaa pohjareikien aloitusta tai aiheuttaa tarvetta nostaa seuraavan kamin

pohjatasoa ylemmäksi. Kuvassa kamin pohjan poraustaso on merkitty sinisellä viivalla.



Kuva 17. Porauksesta johtuvaa epätasaisuutta seinän alaosassa. Seinän yläosa on suora.

Porauslaitteisiin oltiin louhimoilla melko tyytyväisiä. Riviporauslaitteilla esim. kaivukoneen alustalle asennettuna päästään hyvin porauskohteisiin, ulottuvuus on hyvä. Suuntausta ei pidetty ongelmana ja reikien suoruus nähtiin lähinnä porarin taidoista riippuvaksi asiaksi. Toisaalta poraus on tärkein vaihe, kun kiveä muotoillaan myytäväksi lohkareeksi. Myytävät kivet mitataan minimimittojen mukaan. Kaikki minimimittojen ulkopuolinen kivi lisää kuljetuskustannuksia. Esimerkiksi kun myytävä kivi painaa 2,7 t/m<sup>3</sup>, voidaan joutua kuljettamaan jopa 3,5-4 t/myyty m<sup>3</sup>.

Porauksessa olisi mahdollista lisätä automatiikan käyttöä. Nykytekniikalla olisi käytettävissä paikannus- ja suuntausautomaatiikkaa sekä reikien syvyysautomaatiikkaa. Mahdollista olisi myös lähteä kehittämään laitteita niin, että riviporauslaitte poraisi automaattisesti kaikki reiät, jotka porataan samasta koneen asemasta. Porarin tulisi puuttua poraukseen vain häiriötilanteissa ja koneen siirtojen yhteydessä. Reiän aloitusautomaatiikka on kehittynyt myös viimeaikoina, mikä

voisi mahdollistaa reiän aloituksesta aiheutuvien suuntaus- ja taipumavirheiden vähenemisen ja toisaalta mahdollistaa miehittämättömän porauksen (esim. ruoka- ja kahvitaukojen aikana).

Matalissa rei'issä suuntaus ja reikien taipuma ei ole ongelma, mutta korkeiden kamien porauksissa on reikien alapäissä havaittavissa suuntauksen ja taipuman aiheuttamaa epätarkkuutta, joka voi aiheuttaa kamin pohjaosan blokkien uudelleen muotoilua tai vähintään lisätä ylimääräistä painoa valmiiden raakakivien kuljetuksessa.

Porakalustona käytetty 7/8" kiintokanki taipuu pitkillä rei'illä ja tästä aiheutuu myös epätarkkuutta reikien alapäässä. Kehitysmahdollisuutena olisi ohjaavan porakaluston käyttö ja jäykempien kankien käyttö porauksessa. Tämä kuitenkin johtaa todennäköisesti reikäkoon kasvattamiseen, mikä on vähintäänkin tarpeetonta ellei jopa haitallista. Suurempaa reikäkokoa käytettäessä panostukseen ja totuttuihin räjähdysainemääriin pitää tehdä tarvittavat muutokset.

Louhimoilla käyntien yhteydessä tuli esille kaluston kuntoon liittyvä kehitystarve. Porauskalustona käytetään erilaisille alustoille asennettuja riviporauslaitteita. Käytetty kalusto on usein ikääntynyttä. Kalustoa voidaan käyttää yli 10 vuotta. Näin iäkkäässä kalustossa alkaa väistämättä olla väljyyttä nivelissä ja porakoneet voivat olla kuluneita. Suuntaus vaikeutuu ja voi muuttua porauksen aikana ja kuluneet porakoneet voivat aiheuttaa öljysumun leviämistä porauspaikan ilmaan. Työteho heikkenee kaluston ikääntyessä.

Louhimokäyntien yhteydessä tuli esille seuraavia mahdollisia kehitettäviä asioita porauksessa:

- porausparametrien säädön helpottaminen tai automatisointi (isku-, pyörittäminen, syöttöpaine)
- reikien aloitusautomaattisuus (reikien lähtö suoraan)
- automaattinen poraus riviporauslaitteella (paikalleen asennuksen jälkeen esim. kone voisi tehdä työtä ruokatunnin tai yksi porari voisi käyttää kahden koneen)

- syvien reikien porauksessa reikäkoon valinta siten, että voitaisiin käyttää ohjaavaa kalustoa ja jäykempiä tankoja reikien suoruuden parantamiseksi (kamit)
- syvien reikien jatkotankoporaus (kamit)
- reikien syvyysautomaattikka, reikien pohjat samalle tasolle, kynsien väheneminen, pohjareikien aloitus helpottuu
- kaluston kunto
- kalusto on usein ikääntynyttä, käyttöiän lyhentäminen
- porarin työolosuhteiden parantaminen hyillä

### 3.1.2 Räjätys

Räjätyskäyttöä käytetään kaikissa tarvekiven louhintavaiheissa kamin irrotuksesta blokkien viimeistelyyn saakka. Räjätysaineina käytetään K-putkia ja räjähtävää tulilankaa (10 g/m). Mustaruuti oli aikaisemmin käytetty räjätysaine kiviteollisuudessa. Sen käyttö on jäänyt nykyisin hyvin vähäiseksi. K-putket ovat viimeinen merkittävä kehitysaskel räjätysaineiden alueella. Nykyisiin räjähteisiin (K-putki ja räjähtävä tulilanka) ollaan tyytyväisiä. Ne toimivat hyvin 32 mm reiässä, eivätkä aiheuta liikaa louhittavan kiven tai jäljelle jäävän kallion rikkoutumista silloin kun kivi tiivistä ja ehjää. Ainoa haitallinen asia on kiven pinnan nokeentuminen räjätyksessä. Erityisesti pelkän räjähtävän tulilangan käyttö jättää kiven pintaan nokikerroksen. Kaupattavan kiven pinta pitäisi olla puhdas, jotta ostaja näkee oikean värin. Kiilausta käyttämällä kiven pinta jää puhtaaksi ja oikean väriseksi. Ns. tervalanka aiheuttaa jonkin verran vähemmän nokeentumista kuin tavallinen muovipäälysteinen räjähtävä tulilanka.

Räjätysten onnistuessa rako muodostuu reiästä toiseen, eikä rikkoutumista irrotettavan kappaleen sisään juuri tapahdu. Kiveen reiän ympärille muodostuvat raot eivät ulotu ensimmäistä kiven tasaussahauserrosta pidemmälle.

Räjätysten kiviin kulmat voivat lohkeilla, joka on räjäytysten heikko puoli. Toinen huono puoli on räjätyksistä aiheutuva melu, joka rajoittaa ympäristöystävällistä toimintaa.



Vuorotyö ei ole yleistynyt tarvekivituotannossa myöskään sen vuoksi, että kivien viat on helpompi havaita luonnonvalossa kuin keinovalossa.

Panostustyössä joudutaan nykyisiä räjähdysaineita käytettäessä työskentelemään hankalissa asennoissa erityisesti kamin pohjareikiä panostettaessa.



Kuva 18. Kaatolohkareen panostus K-putkipanoksilla ja räjähtävällä tulilangalla.



Kuva 19. Reikiin menevät tulilangan päät sidotaan selkälankaan.



Kuva 20. Lohkare kaatuu räjäytyksessä murskeesta tai hiekasta tehdyn pehmustepatjan päälle.



Kuva 21. Kiven yläosa on kiilattu ja alaosa räjäytetty. Kiven pinta nokeentuu räjäytyksessä, eivätkä värit ole näkyvissä.

Mahdollisia kehityksiä:

- emulsioräjähdysaineet
- panostustyön ergonomia



### 3.1.3 Kiilaus

Kiilausta käytetään myytävien blokkien viimeistelyssä. Vinoja pintoja oikaistaan ja blokit tehdään määrämittäisiksi kuljetusta varten. Kiilauksen etuna on, että kivipinnat ovat puhtaita kiilauksen jäljiltä. Räjähdyksen aiheuttamaa pinnan nokeutumista ei tapahdu. Kiilaus on myös materiaalikustannuksiltaan halpa työtapa. Kiiloja voidaan käyttää monia kertoja uudestaan. Räjähdyksineet sen sijaan on hankittava jokaista räjäytystä varten.



Kuva 22. Kiilojen asennus porattuihin reikiin.



Kuva 23. Kiilojen kiristys paineilmavasaralla.



Kuva 24. Raon muodostumisen jälkeen kiilat poistetaan. Kiilattu pinta on puhdas ja värit näkyvät hyvin. Kivi on käännetty kiilausta varten siten, että poistettavan kappaleen leveämpi puoli on ylöspäin. Näin lohkeaminen saadaan jatkumaan helpommin pohjalle saakka.

Kiilausta tehtäessä kiiloja aletaan kiristää poistettavan kappaleen paksummasta päästä. Kivi käännetään kiilausta varten siten, että poistettavan osan paksuin osa on ylöspäin ja päästään tekemään kiilaus edulliseen suuntaan kiven päältä. Poistettava osa ei saa olla liian ohut, muutoin kappale murtuu reiän kohdalta eikä toivottua halkeamista reikäriviä pitkin tapahdu. Kiilausta tekevä työntekijä määrittelee paksuuden kokemuksensa mukaan. Jos kiven poistettavassa osassa on vaakavika, poistettava osa katkeaa vikaa pitkin ja jäljelle jäävä osa joudutaan poistamaan räjäyttämällä, koska kiilaa ei saada enää reikiin, jotka ovat kiven kyljessä.

Kiilausta tehdään yleisimmin käsityönä teräskiiloilla. Kiilojen kiristykseen voidaan käyttää paineilma- tai hydraulivasaraa, jolloin ei enää tarvitse kiristää kiiloja lekalla iskemällä. Myös hydraulisesti toimivia kiilauskoneita on tullut käyttöön. Hydrauliset kiilat asennetaan reikiin ja kiilojen kiristys tehdään hydraulioiljyn paineen avulla. Hydraulisessa koneessa kaikkiin reikiin tulee sama paine.

Kiilauksen osuutta kivien muotoilussa ja myös aikaisemmissa työvaiheissa nostettaisiin mielellään. Ongelmana on, että pitkien kiilojen käyttö on käsin tehtynä

hankalaa. Jos kivi lohkeaa vian vuoksi osittain, ei voida jatkaa enää kiilaamalla vaan joudutaan räjäyttämään.

Kehityskohteet:

- kiila tai kiilausmenetelmä, jota voitaisiin käyttää pitkien reikien kiilauksessa ja kiilausvoima kohdistuisi koko reiän matkalle
- kiilauksen koneellistaminen niillä louhimoilla, joissa sitä ei vielä ole tehty

## **3.2 Keskustelut laitevalmistajien kanssa**

### **3.2.1 Nykytilanne porauslaitteissa**

Kivilouhimoiden porauslaitteissa peruskoneena käytetään yleensä valmiita tuotteita, kaivukoneita tai metsätraktoreita. Näihin peruskoneisiin tehdään porauksen vaatimat laitteistot porauslaitteiden valmistukseen erikoistuneiden yritysten toimesta.

Porauslaitteita on saatavissa useilta valmistajilta. Riviporauslaitteita tehdään pystyreikien poraukseen kahdella tai neljällä syöttölaitteella ja porakoneella. Vaakareikien porauksessa käytetään yleisimmin yhdellä syöttölaitteella varustettuja porakoneita. Pienemmät valmistajat käyttävät laitteissaan muiden suunnittelema komponentteja. Asiakas voi myös määrittellä, mitä osia hän haluaa koneessaan käytettävän esim. porakone. Myös suuret valmistajat (esimerkiksi Sandvik) ovat ulkoistaneet kokoonpanoan pienille toimijoille. Laitteen suunnittelu ja osien valmistus, esim. porakone, tapahtuu tällöin Sandvikin toimesta.

Railonporaukseen käytetään normaaleja avolouhinnassa käytettäviä vaunuja. Sahaukseen tarvittavat vaijerireiät porataan joko avolouhintavaunuilla tai upporakoneilla.

Riviporauslaitteen nykyinen vuosimalli esimerkiksi Sandvikilla on 2003. Muilla valmistajilla laitteet ovat samantyyppisiä, joitakin pieniä muutoksia on voitu tehdä. Porakoneina käytetään nykyisin Sandvikin koneissa mallia HEX1 (teho 5,5 kW). Atlas Copcon laitteissa porakone on Doofor DF 420 (teho 5kW) tai DF

522 (teho 10 kW). Nämä porakoneet ovat yleisiä myös muiden valmistajien koneissa. Edellä mainituilla porakoneilla porattavien reikien läpimitta voi olla 22-45 mm. Yleisimmin käytetty reikäkoko on 32 mm. Riviporauslaitteen ”raamin” pituus vaihtelee 3,2- 4,6 m. Porakalustona käytetään yleisimmin 7/8” heksagonaalikankia ja 32 mm kartiokruunuja.

### 3.2.2 Porauslaitteiden automaation nykytilanne

Porauslaitteisiin on saatavissa automatiikkaa seuraavasti:

- radio-ohjaus kaikille muille toiminnoille paitsi koneen ajolle (turvallisuussyistä)
- raamin pituus voidaan porata automaattisesti
- reikien automaattiporauksessa oltava yhden kangen reikiä, kangen vaihto ei onnistu automaattisesti, vaan on tehtävä käsin
- reiän suuntaus saadaan tehtyä automaattisesti (sama kaltevuus kaikille rei'ille)
- kevennetty reiän aloitus ja lopetus voidaan tehdä automaattisesti
- tuotantotietojen rekisteröinti (porametrit, porametrit/kanki, kruununvaihtovälin seuranta) on saatavissa
- saatavissa on myös MVD-rekisteröinti ja tiedonsiirto haluttuun paikkaan langattomasti
- vaakareikien suuntaukseen ja paikannukseen ei ole keksitty sopivaa menetelmää,
- mm. katvealueet voidaan käyttää kolmessa moodissa: täysin automaattinen poraus, puoliautomaattinen (porari varmistaa reiän aloituskohdan ja siirtää tarvittaessa) tai manuaalinen poraus, jossa porari ohjaa koneen toimintaa
- GPS-ohjausta ei ole käytetty. GPS-ohjauksen esteenä ovat louhimon olosuhteet. Syntyy helposti katvealueita, jolloin ohjaussignaali ei pääse perille. GPS-ohjauksen tarkkuus voi myös vaihdella eikä välttämättä ole riittävä porausta varten.

### 3.2.3 Kiilaus

Kiilauslaitteita valmistaa Kirnuvuori Oy, jossa keskusteltiin laitteiston kehittämisestä ja mahdollisuuksista käyttää pidempiä kiiloja tai muuten kohdistaa kiilausvoima koko kiilausreiän matkalle, että kiilausta voitaisiin käyttää jo kamin paloitte-  
telusta lähtien. Kiilaus työtapana säästää kiven ehjempänä kuin räjäytys ja ympäristön kannalta se on hiljaisempi työtapa kuin räjäytys. Kiilauksessa on ongelmana kiven lohkeamiset viikaintaa pitkin ennen kuin lohkeaminen ulottuu läpi kiven. Jälkiä joudutaan hoitamaan räjäyttämällä. Ehdotukseen pidempien kiilojen käytöstä tai koko reiän pituudelle ulottuvasta kiilasta ei ainakaan välittömästi löytynyt ratkaisua. Koko reiän mitalle ulottuvien kiilojen avulla kiilausta voitaisiin jatkaa, vaikka kivi lohkeaisi vikaa pitkin liian aikaisin. Pitkät kiilat voivat olla hankalia käyttää, joten tarvittaisiin uusi innovatiivinen ratkaisu.

## 4 KEHITTÄMISTARPEET JA MAHDOLLISUUDET

Kehittämisessä on tavoitteena tuottavuuden nostaminen. Muita esillä olevia kehittämistoimenpiteitä vaativia asioita ovat mm. energiatehokkuus, sivukiven määrän vähentäminen ja ympäristöhaittojen vähentäminen.

Usein louhimon toiminnassa poraus on avainasemassa ja tuotantonopeus määräytyy pitkälti porauskapasiteetin kautta. Muita tekijöitä, jotka vaikuttavat tuotantonopeuteen ja tehokkuuteen, ovat kiven käsittelykapasiteetti ja hukkakiven osuus käsiteltävästä kivimäärästä. Panostus ja räjäytykset ovat harvemmin tuotannon määrää rajoittavia tekijöitä. Pääsääntöisesti kaikki kivi, joka saadaan porattua, ehditään käsitellä myös muuten tai muut työvaiheet ovat helpommin säädeltävissä kuin poraus. Tästä syystä poraukseen kannattaa kiinnittää ensimmäisenä huomiota, kun halutaan tehostaa toimintaa.

Louhimokäyntien yhteydessä on tullut esille seuraavia tarpeita ja ehdotuksia:

- porauslaitteiden säätöjen helpottaminen (isku, pyöritys ja syöttöpaineet ja niiden ohjausjärjestelmät)
- kaluston kunto ja ikääntynyt kalusto
- porakaluston kehitys (kestävyys)
- porarin työolosuhteiden parantaminen hyillä
- saantiprosentin parantaminen (mm. halkeamien paikallistaminen, ennakkosuunnittelu)
- sivukiven käsittely, murskauksen helpottaminen, ympäristökivituotanto, jalostusasteen nostaminen, markkinointi ja yrittäjät
- kiila tai kiilausmenetelmä, jota voitaisiin käyttää pitkien reikien kiilauksessa ja kiilausvoima kohdistuisi koko reiän matkalle, vesikiilaus?
- kiilauksen koneellistaminen niillä louhimoilla, joissa sitä ei vielä ole tehty
- kivien mittaus- ja laaduntarkastuslaitteet
- sahaus, mm. talviongelmät
- reikien aloitusautomaattikka (reikien lähtö suoraan)



- automaattinen poraus riviporauslaitteella (paikalleen asennuksen jälkeen esim. kone voisi tehdä työtä ruokatunnin tai yksi porari voisi käyttää kah- ta konetta).
- syvien reikien porauksessa reikäkoon valinta siten, että voitaisiin käyttää ohjaavaa kalustoa ja jäykempiä tankoja reikien suoruuden parantamiseksi (kamit)
- syvien reikien jatkotankoporaus (kamit)
- reikien syvyysautomaatiikka, reikien pohjat samalle tasolle, kynsien vähe- neminen, pohjareikien aloitus helpottuu
- emulsioräjähdysaineet
- panostustyön ergonomia
- kamin paloittelussa käytettävän kaatopuomin hydrauliset apuvälineet, joilla helpotettaisiin kaatolohkareiden kaatamista

#### 4.1 Kehitystarpeet porauksessa

Tuottavuuden nostamisessa näyttää yhtenä pullonkaulana olevan nykyisin käy- tettävän porakaluston (kankien) kestävyys. Porakalusto ei kestä nykyisen pora- konemallin käyttämistä täysillä. Nykyisillä 7/8"-kangilla käytetään alle 140 bar iskunpainetta, varaa olisi korottaa 160 bariin. Tunkeutumisenopeuden nosto 25 %:lla on mahdollinen, jos kanget kestäisivät. Vaihtoehdot ovat:

- kehittää paremmin kestäviä kankia nykyisellä läpimitalla 7/8". 25 mm (1") -kankea voitaisiin käyttää nykyiselläkin reikäkoolla ja porakoneissa voi- daan käyttää myös tätä kankikokoa
- siirtyä suurempaan reikäkokoan ja suurempi läpimittaisiin kankiin
- kehittää porakonetta kalustoystävällisemmäksi

Kaluston kestävyuden parantaminen nykyisellä läpimitalla olisi todennäköisesti tehty, mikäli olisi löytynyt taloudellisesti toteutettavissa oleva vaihtoehto. Lisäksi näin ohuella kangella on toinenkin ei toivottu ominaisuus, se taipuu helposti ja reiän suunta muuttuu porauksen aikana kangen taipumisen vuoksi tai kallion rakojen ohjaamana. Syöttöpaine on pidettävä porauksen aikana riittävän piene- nä kankien taipumisen vuoksi.

Porakoneen kehittäminen porakalustoa säästävämmäksi edellyttäisi porakoneeseen rekyylinvaimennusta. Suuremmissa porakoneissa tätä käytetään, mutta ei tämän kokoluokan koneissa. Rekyylin vaimentaminen edellyttää myös muutoksia porakalustossa. Pitää siirtyä käyttämään kierrekalustoa, jotta kanki ei pääse liikkumaan vapaasti iskun jälkeen, vaan takaisin heijastuvan iskuaallon vaikutukset voidaan vaimentaa ennen seuraavaa porakoneen iskua.

Tuottavuuden parantamiseen voidaan pyrkiä myös lisäämällä porauksen automaatioastetta. Pystyreikien porauksessa automaattinen poraus on mahdollinen yhden kangen rei'illä. Reiän pituus voi olla syöttölaitteesta riippuen 3,5-4 m. Kamin irrotuksessa halutaan kuitenkin yleensä käyttää pitempiä reikiä. Hankaluutena automatisoinnissa on nykyisessä menetelmässä kiintokangen käyttö reiän jatkamiseen (porataan ensin lyhyemmällä kangella alkuosa reiästä ja jatketaan pidemmällä kangella reiän pohjaosa). Kiintokangen vaihdon automatisointi on hankalaa. Ratkaisu tässäkin olisi kierteellisen jatkotankokaluston käyttö. Haittana on kierretankokaluston kalliimpi hinta ja myös reikäläpimittaa voi olla tarpeen kasvattaa.

Suurempaan reikäkokoön siirtymisellä etuna olisi suurempiläpimittaisen porakangen käyttömahdollisuus, suuremman iskuenergian käyttömahdollisuus, kierrekaluston käyttömahdollisuus ja suuremmat reiät jäykemmällä kalustolla. Myös ohjaavan porakaluston käyttö mahdollistuisi. Haittana on suurempi energian kulutus reikäkoon kasvaessa. Myös tunkeutumisenopeudesta osa menetetään reikäkoon suurentamisen takia. Kierrekalustolla olisi mahdollista kehittää porakonetta kalustoa säästävämmäksi.

Vaakareikien porauksessa automaatiota on vielä vähemmän kuin pystyreikien porauksessa. Myös vaakarei'illä olisivat tarpeen samat automaattiset toiminnot kuin pystyrei'illä. Tärkeää tässä olisi kehittää reikien suuntausautomaatiikkaa ja reiän pituuden automaattista mittausta sekä porauksen lopettamista suunniteltuun kohtaan. Näin saataisiin reikien pohjat pysty- ja vaakalinjoilla tarkemmin kohdalleen ja ylisyvien reikien poraaminen vältettyä.

## 4.2 Automaation hyödyt porauksessa

Automaation lisääminen parantaa koneen tehokasta käyttöä eli lisää käyttötuntien suhteellista määrää kokonaistyöajasta.

- kone ei väsy vaan tekee töitä koko ajan, esimerkiksi työnjohdon ja porarin keskustelujen ajan. Koneen jättäminen yksin töihin taukojen ajaksi voi olla turvallisuuskysymys, mutta ainakin suljetussa kaivosympäristössä tässä on onnistuttu.
- tuotannon tehokkuus paranee, koneen käyttöaste parempi
- ennustettavuus säädöissä on parempi kuin käsin ohjatussa porauksessa. Esimerkiksi reiän aloitus tapahtuu aina samalla tavalla ja syöttölaitteen ajo kiinni kallioon aina samalla voimalla.
- virheet aina samanlaiset, jolloin reikien keskinäinen samansuuntaisuus paranee käsin ohjattuun poraukseen verrattuna
- reiät ovat samansuuntaisia keskenään
- kiven sivut ovat suoremmat, räjäytys tai kiilaus onnistuu paremmin
- kuljetettava sivukivi mahdollisesti vähenee, koska tarvitaan vähemmän korjaavaa toimintaa blokin muotoilussa

Vaikka konetta ohjataan automaattitoiminnoilla, eivät reiät ole täysin virheettömästi paikallaan. Virhettä syntyy puomin ja muiden osien erilaisesta taipumisesta, kun poraustyötä tehdään eri etäisyyksillä peruskoneen rungosta. Myös koneen vanhetessa kulumisesta aiheutuvat väljyydet heikentävät poraustarkkuutta. Näiden tekijöiden vaikutusta ei pystytä täysin eliminoimaan.

Automaation lisääminen vaatii myös käyttöhenkilöstön kouluttamista, jotta uusista menetelmistä saataisiin kaikki hyöty käyttöön. Korjaushenkilöstölle uudet toiminnot aiheuttavat myös koulutustarvetta. Uudemmissa laitteissa on muutenkin siirrytty toimintojen sähköiseen ohjaukseen, mikä aiheuttaa myös huolto- ja korjaushenkilöstölle uudenlaisen osaamisen tarvetta. Toisaalta vianetsintään on tullut uusia menetelmiä (CANBUS-väylät ja vikadiagnostiikka) ja nämä osaltaan helpottavat huoltohenkilöstön toimintaa. Huollon ja kunnossapidon kannalta edistysaskel on myös keskusvoitelun yleistyminen koneissa.

Haittapuolena uusista tekniikoista on laitteiden hinnan nousu ja monimutkaistuminen, mutta käytettävyyden paraneminen ja parempi tehokkuus korvannevat nämä panostukset.

### **4.3 Koneohjaus porauksessa**

Maarakennuskoneiden koneohjaus on viime aikoina yleistynyt. Suunnitelmista tehdään koneohjausta varten pintamalli toteutettavasta työstä ja koneenkuljettaja voi tehdä työn mallin mukaan eikä perinteistä korkomerkkeihin perustuvaa mittauksia enää tarvita. Koneen paikannus voi tapahtua GPS-mittauksena tai takymetrin käyttöön perustuvana mittauksena. GPS-mittauksen tarkkuus ei riitä tarkimpiin mittauksiin vaan niissä käytetään takymetriä koneen paikantamiseen ja tehtävien pintojen mittaamiseen.

Porauksessa ohjaus voisi tapahtua samanlaisilla menetelmillä joko määrittelemällä porattavat pinnat ja suuntaamalla reiät tämän pinnan mukaisesti tai käyttämällä ohjausta poranreikien suunnan määrittämiseen koneelle. Myös reikien aloituspaikat saadaan koneohjauksen avulla oikeaan paikkaan. Kun konetta siirretään, porari voi asettaa raamin oikeaan kohtaan ohjaustietojen perusteella.

Porauksessa tarkkuus ja reikien oikea suuntaus on tärkeää, jotta porattavat reiät saataisiin yhdensuuntaisiksi ja seinä tai kamin pohja mahdollisimman suoraksi sekä reikien pohjat oikeaan tasoon. Takymetriohtaus antaa tarkemman tuloksen kuin GPS-ohjaus. Takymetriohtauksessa tarkkuus on senttien luokkaa ja GPS-ohjauksella virheet voivat olla noin 10 cm luokkaa. Tämän vuoksi takymetriohtauksella voidaan pitää porauksen ohjaukseen suositeltavampana. Lisäksi takymetrin paikka louhimolla voidaan valita tilanteen mukaan siten, ettei katvealueita synny. GPS-ohjauksen signaali tulee yleensä kauempana olevalta tukiasemalta ja katvealueita voi muodostua. Myös GPS-ohjauksen tarkkuus paranee koko ajan.

#### 4.4 Suunnittelu ja tuotannon ohjaus

Rakennusala on Suomessa siirtymässä suunnittelussa ja toteutuksessa 3D-mallinnukseen ja tietomallin (BIM, Building Information Model) käyttöön. Myös kaivosteollisuudessa louhittavasta malmista tehdään suunnittelun pohjaksi malmimalli, joka on pohjana louhinnan suunnittelulle.

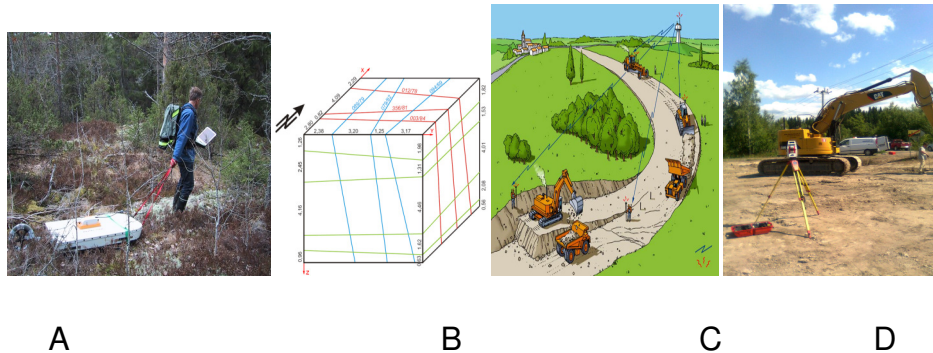
Kiviteollisuudessa louhinnan suunnittelun tukena voisi olla tietomalli, jota tarkennettaisiin jatkuvasti alkaen esiintymän paikan tutkimuksissa aina kamin paloitteeluun saakka. Tietomalliin voitaisiin kerätä kaikki eri vaiheissa saatava tieto kiven ominaisuuksista. Esiintymän tutkimusvaiheessa saadaan tietoja esiintymän laajuudesta ja käyttökelpoisuudesta, rikkonaisuusvyöhykkeistä, kiven eheydestä ja väristä. Tiedot tarkentuvat louhinnan valmisteluvaiheessa ja kamin irrotusta suunniteltaessa. Geofysikaalisilla mittauksilla voidaan hankkia tietoa rikkonaisuusvyöhykkeistä ennen louhintaa. Louhimon seinämien kartoituksella ja silmämääräisesti tehtävillä havainnoilla voidaan täydentää tietoja louhittavasta kamista ennen irrotusta. Vielä kamin porauksen aikana voidaan saada tietoja kiven rikkonaisuudesta (MWD - Measure While Drilling). Kaikki tiedot voitaisiin kerätä 3D-tietomalliksi. Tietomallia käyttäen voitaisiin suunnitella kamin louhinta siten, että saadaan paras taloudellinen tulos eli mahdollisimman paljon myytäviiä blokkeja pienimmällä työpanoksella.

- Ennakkotutkimukset:
  - maatumka, magneettiset ja sähköiset mittaukset
  - kartoitetaan raot ja viat näkyviltä pinnoilta takymetrimittauksella ja havainnoimalla silmämääräisesti
  - porauksen aikana tehdyt mittaukset (MWD)

Tämä osa vaatii vielä ennen käyttöönottoa tarkempia selvityksiä ja käyttökokemusta, jotta voidaan varmistaa saatavan tiedon oikeellisuus.

- tiedot yhdistetään ja siirretään suunnitteluohjelmaan
- tehdään 3D-malli rakotietoineen ja vikoineen irrotuskohdasta
- työnjohtaja suunnittelee kamin mitat ja optimoi tehtävät blokit suunnitteluohjelmalla

- tieto porauslinjoista siirtyy langattomasti porauslaitteelle
- porauslaite poraa reiät suunniteltuun paikkaan ja syvyyteen takymetrin ohjauksessa, porari valvoo ja siirtää konetta



Kuva 25. Toimintamalli tietojen hankintaan, käsittelyyn ja käyttöön louhinnan ohjauksessa. A) Maatutkamittaus ja muut geofysikaaliset mittaukset sekä kartoitetut havaintotiedot. B) Malli kamin rakoilusta ja muista vikatiedoista (kuva 3D- block expert -esite). C) ja D) Koneohjaus (kuva Jari Mäntykivi, opinnäyte-työ)

#### 4.5 Kiilaus

Kiilauksessa louhimokäyntien yhteydessä keskusteltiin kehitysmahdollisuutena kiilauksen koneellistamisesta ja kiilauksen osuuden lisäämisestä kamin pilkkomisvaiheessa. Kiilaukseen on kehitetty hydraulinen kone, mutta pienemmillä louhimoilla koneelle ei riitä tarpeeksi töitä, joten sen hankkiminen voi olla kannattamatonta. Kiilauksen käytön esteenä eri vaiheissa voivat olla kivessä esiintyvät viat, jotka aiheuttavat sen, ettei kiilattava pinta halkea pohjaan saakka. Keskeltä kiveä lohjennut kivi on viimeisteltävä räjäyttämällä. Tässä voisi olla mahdollisuus kehittää kiilaustekniikkaa siten, että kiilan voima jakaantuisi koko kiilattavan reiän pituudelle, jolloin lohkeaminen keskeltä ei aiheuttaisi välttämättä kiilauksen keskeytymistä. Tarvitaan uudenlainen kiilatyypin koneelliseen kiilaukseen. Tämä voisi mahdollistaa kiilauksen lisäkayttömahdollisuuksia, koneellistamisen kannattavuuden paranemista ja ehjempää sekä puhtaampia kivipintoja myyntikiviin.

## 4.6 Uusien yrittäjien ja palvelujen tarve

### 4.6.1 Sivukiven hyödyntäminen

Louhimoilla syntyy suuri määrä myyntikiviksi kelpaamatonta kiviainesta, jolle ei useimmissa tapauksissa ole vielä keksitty järkevää käyttöä. Yksi esille nousnut selvityksen aihe on miten voitaisiin edistää tämän kiven jatkokäsittelyä. Nyt kivi ajetaan läjitysalueelle ja siinä on sekaisin kaikenkokoisia kappaleita. Kasojen purkaminen mahdollisessa hyötykäyttötilanteessa tulee olemaan hankalaa, koska joukossa on niin suuria kappaleita, että niiden käsittely tavanomaisilla kaivukoneilla on vaikeaa. Kasojen purkaminen on kuitenkin mahdollista käyttämällä pitkäpuomisia kaivukoneita, kuten Mäntsälän louhimolla on tehty. Kiven lajittelu louhintavaiheessa vaatii paljon nykyistä enemmän tilaa. Pitäisi selvittää, mitä toimenpiteitä kiven helpompi jatkokäyttö edellyttäisi louhimoilta.

Toinen tähän liittyvä tarve olisi löytää yrittäjiä, jotka olisivat kiinnostuneita hyödyntämään sivukiveä. Kiinnostus tietenkin edellyttää, että kivelle löydetään markkinat.

Ympäristökivien markkinoinnin kehittäminen ja tuotantomenetelmien kehittäminen olisivat erityisesti Etelä-Karjalan alueella tarpeellinen asia, koska täällä murskeiden kuljetusmatkat potentiaalisille markkinoille ovat pitkät. Markkinoiden etsiminen ja pääoman sitominen kalustoon ja valmiisiin varastossa oleviin mursketuotteisiin voivat olla yksittäiselle yrittäjälle kynnyksysymyksiä silloin kun murskeiden menekki on pieni. Ympäristökiven jalostuksen kehittämiseen tarvittaisiin yhteistyötä nykyisten yrittäjien kesken tai uusi yrittäjä ja sekä riittävä tuki markkinointiin. Ympäristökiven jalostuslaitteisto voitaisiin suunnitella siirrettäväksi, jolloin toiminta eri louhimoilla olisi mahdollista. Toisaalta esimerkiksi Euroopan markkinoilla pienillä yrityksillä voi ongelmaksi muodostua riittävä kapasiteetti suurempiin hankkeisiin.

#### **4.6.2 Korjaus ja huoltopalvelut**

Yksi keskusteluissa esille tullut tarve on koneiden ja laitteiden huolto- ja korjauspalvelu. Huoltoa ja korjausta tehdään louhimoilla omana työnä, mutta vaikeammissa tapauksissa tarvitaan ulkopuolista apua. Laitteiden valmistajilta on saatavissa osaamista, mutta matkat ovat pitkiä ja viiveitä koneen kuntoon saannissa syntyy tästä syystä. Lappeenrannan seudulla voisi olla joku yrittäjä, joka perehtyy koneiden vaikeampiin korjaustarpeisiin ja on tarvittaessa nopeasti paikalla kun apua tarvitaan. Yksi jatkoselvityksen aihe on, olisiko paikkakunnalla tällaisille palveluille riittävä kysyntä ja yrittäjälle riittävästi työtä tarjolla.

#### **4.7 Työskentelyolosuhteiden parantaminen**

Louhimoilla tehdään töitä kaikissa sääolosuhteissa. Töitä tehdään pääosin avoitaivaan alla. Työntekijöiden fyysinen rasitus on huomattavasti suurempi kuin esimerkiksi tehdastyössä. Työntekijät altistuvat sateelle, pakkaselle talvella ja kesällä lämpötila louhimolla voi olla korkea. Pöly on myös ongelma ainakin kesäaikaan, koska kivi jauhautuu raskaiden koneiden renkaiden alla hienoksi ja nousee helposti ilmaan, ellei sitä sidota esimerkiksi kastelun tai suolauksen avulla. Koneiden ja räjähtävällä tulilangalla tehtävien räjäytysten melu on myös haittatekijä. Riskit kompastumisille, liukastumisille ja putoamiselle ovat koko ajan olemassa ja vaativat tarkkaavaisuutta työntekijöiltä.

Kaluston ja menetelmien kehityksellä voidaan vaikuttaa myös työoloihin. Koneet on mahdollista varustaa ilmastoiduilla ja äänieristetyillä hyteillä. Tulevaisuudessa alan kilpailukykyisyyttä työntekijöiden rekrytoinnissa voidaan lisätä työolosuhteita parantamalla. Alalla työskentelevien ikärakenne edellyttää sukupolvenvaihdoista, kuten muillakin aloilla.



## 4.8 Kivien mittaus ja laadun tarkastaminen

Kiven värivirheiden ja vikojen tarkastaminen vaatii pitkän kokemuksen ja silti eri ihmiset päätyvät erilaiseen lopputulokseen. Mittauksessa voi tulla rullamitalla mitattaessa virheitä. Haittaa mittavirheistä voi tulla kuljetuksen aikana ylipainona joko maantiekuljetuksen aikana tai kivien purkamisessa laivasta mikäli vastaanottosataman nosturi on kovin tarkasti mitoitettu.

Näihin on toivottu kenttäkelpoisia mittalaitteita, joilla voitaisiin todeta kiven koko täsmällisesti ja määrittellä siinä olevat viat ja värivirheet siten, että mittaajasta riippumatta saataisiin sama lopputulos. Vikojen ja värivirheiden havaitseminen mittalaitteilla on haasteellista.

## 4.9 Räjähdysaineet

Räjähdysaineissa ei ole tapahtunut kivilouhimoiden osalta kehitystä pariin kymmeneen vuoteen. Viimeinen merkittävä kehitys on K- ja KK-putkien kehittäminen. Muissa louhinnoissa viimeinen merkittävä kehitys on tapahtunut Bulk-emulsioaineiden osalla, joiden käyttö on lisääntynyt merkittävästi rakennus- ja kaivoslouhinnoissa. Merkittävinä etuina emulsiolla panostamisessa voidaan kivitöteollisuutta ajatellen pitää panostuksen helpottumista (koneellistaminen) ja emulsioräjähdysaineen hidasta palamisnopeutta räjähtävään tulilankaan verrattuna. Hidas palamisnopeus tuottaa vähemmän ei toivottuja vikoja kiveen, mikäli räjähdysainemäärä saadaan muuten sopivaksi. Tällä hetkellä ei ole olemassa kivitöteollisuuden tarpeisiin riittävän ”heikkoa” emulsioräjähdysainetta. Lähimpänä on tunnelin louhintaan käytetty emulsio, jota käytetään tunnelin reunareikien panostuksessa n. 350 g/m. Tämä määrä aiheuttaa vähemmän rakoilua jäljelle jäävässä kalliossa kuin vaihtoehtona olevat 17 mm F-putket tai Kemix-putket (Myllymäki, 2006). Tämä on kuitenkin liian voimakas panostus tarvekivilouhintaan. Ongelmana on, ettei pienempi määrä (ohuempi rantu) räjähdä luotettavasti koko panoksen matkalta. Pystyreikien osalta joudutaan todennäköisesti käyttämään putkiin pakattua ainetta tai kehittämään tiettyyn reikäläpimittaan sopivan voimakas emulsio. Haittana voi olla myös nykyisten emulsioiden tarvitsema aloitepanos, joka voi paikallisesti aiheuttaa kiven tarpeetonta rikkoutumista.

Ympäristöasioissa typpipäästöt ovat viime aikoina olleet huomion kohteena. Mahdollisien uusien räjähteiden typpipäästöt eivät saa olla ainakaan suuremmat kuin nykyisin käytössä olevien. Ympäristön kannalta parhaita vaihtoehtoja ovat nykyisistä räjähdysaineista patruunoihin tai putkiin pakatut räjähdysaineet ja emulsioräjähdysaineet. Patrunoiduissa aineissa räjähdysaineen hukka on pieni, koska ylimääräistä räjähdysainetta ei joudu kallionrakoihin panostuksen yhteydessä. Emulsioräjähdysaineet vedenkestävämpiä kuin muut räjähdysaineet, eikä veteen liuennut aine kulkeudu vesiin aiheuttamaan typpikuormitusta (Forcit Oy:n tuote-esite).

#### **4.10 Saantiprosentin parantaminen**

Sivukiven osuus louhittavasta kivistä vaihtelee louhintapaikoittain kiven rikkinaisuuden ja värivirheiden mukaan, mutta on joka tapauksessa on suuri. Saantin parantaminen vaikkapa 5 %:lla olisi louhimon kannattavuuden kannalta jo merkittävä asia. Vikojen paikallistaminen geofysiikan keinoin ja siihen perustuva kamin paloittelun ennakkosuunnittelu on herättänyt mielenkiintoa alan toimijoissa. Nykyisin saanti voi vaihdella henkilön mukaan, joka päättää miten kami paloitellaan.

Mikäli vikoja pystytään paikallistamaan riittävän tarkasti esim. geofysiikan keinoin, voidaan rakennuskiveksi kelpaamaton osa räjäyttää suoraan rikoksi vähemmällä porausmäärällä kuin myyntituotteiksi menevä kivi.

Myös suunnittelijoiden ja arkkitehtien osuudesta sivukivikasojen muodostumiseen on keskusteltu. Luonnonkiven ominaisuuksiin kuuluu väri vaihtelu, yksivärisyys on keinotekoisien materiaalien ominaisuus. Samassa rakennuksessa tai seinässä ei kuitenkaan voi olla vierekkäin kovin monen värisiä kivilaattoja. Voitaisiinko vähentää väri virheisten sivukivien osuutta lajittelemalla kivet optisesti, konenäköä käyttäen samanvärisiin tai toistensa kanssa yhteensopiviin ryhmiin? Tätä käytetään esimerkiksi Tulikivellä uunien valmistuksessa, jossa tuotantolinjalla valitaan samaan uuniin samaa värisävyä. Kivien jatkojalostus tapahtuu Kiinassa, mikä vaikeuttaa sahaus- ja hiontavaiheen väri lajittelua, mutta blokkita-

son lajittelu voitaisiin tehdä Suomessa. Tulisiko näin esimerkiksi "savuilmiön" takia hylätyistä kivistä myyntikelpoista tuotetta lajittelun avulla?

#### **4.11 Sahaus**

Kiven sahaus näyttää yleistyvän muualla maailmassa myös louhimoiden työmenetelmänä. Yleistymisen syynä on sahaustekniikan kehittyminen ja timanttityökalujen kehittyminen ja hinnan lasku. Kovissa kivissä eniten käytetty menetelmä on timanttivaijerisahaus. Suomessa ollaan louhimoilla vielä menetelmän testausvaiheessa. Menetelmää käytetään kesäaikaan parilla louhimolla. Tehtävää riittää vielä sekä sahaustehon parantamisessa, että talven aiheuttamien ongelmien ratkaisemisessa. Sahaus tulee todennäköisesti lisääntymään myös Suomen louhimoilla, mutta ei korvaa kokonaan poraus- räjäytysmenetelmää. Sahauksessa ongelmia aiheuttavat talven kylmä sää ja kallion jännitystila. Vaijerin huuhtelussa käytetään vettä, joka jäätyy talvella. Jännitystila voi aiheuttaa vaijerin kiinnijuuttumista, kun sahattu rako painuu kiinni jännitystilan vuoksi. Mikäli sahausta tehdään talvella, on kehitettävä menetelmiä huuhtelun järjestämiseksi (esim. veden kierrätys ja lämmitys) ja vaijerin kiinnijuuttumisen estämiseksi. Markkinoilla on nykyisin suuri määrä erityyppisiä vaijereita ja sopivimman vaijerin valinta on myös työlästä. Helppokäyttöinen testausmenetelmä auttaisi valintatilanteessa.

### **5 KIRJALLISUUDESTA JA MUISTA LÄHTEISTÄ POIMITTUA**

Tähän on poimittu muutamia kirjallisuudessa ja muissa lähteissä esiin tulleita kiven käsittelyyn liittyviä tekniikoita ja kokeiluja, jotka saattavat olla mielenkiintoisia tulevaisuudessa tai jossakin erityistilanteessa.

## 5.1 Paisuvat laastit

Paisuvat laastit on tarkoitettu kallionlouhintaan ja betonirakenteiden murtamiseen. Tuotteen teho perustuu kemialliseen reaktioon, joka aiheuttaa voimakkaan paisumisilmiön. Laasti aiheuttaa paisuessaan jopa 100 Mpa paineen, joka halkaisee kiven. Perusversion tehokas käyttölämpötila-alue on  $-5^{\circ}\text{C} - +25^{\circ}\text{C}$ .

Tuotteen etuja maahantuojan mukaan ovat (Dextex tuote-esite ).

- turvallinen ympäröiville rakenteille
- ei tärinää tai shokkiaaltoja
- ei ääntä, savua tai pölypilviä
- ei lentäviä kiviä
- ei saasteita
- ei lupia
- ei erikoismiehiä, -laitteita tai -kalustoa
- muita töitä ei tarvitse keskeyttää louhinnan takia
- louhinta jopa asiakkaan tiloissa toimintojen häiriintymättä (esim. sairaalat, koulut)
  
- luontoystävällinen
- vesiliukoinen
- lämpötilaoptimoitu
- markkinoiden vahvin murtolaasti
- kustannustehokas

Joillakin ulkomaisilla louhimoilla käytetään paisuvia laasteja myös tarvekivi-louhinnassa (Dexpan tuote-esite).

Paisuvia laastien käyttöä Suomen olosuhteissa rajoittaa kylmä sää talvella. Lisäksi työ on tehtävä huolellisesti, ettei laastilla sotketa valmiin kiven pintoja.

## **5.2 Vesipiikkaus**

Korkeapaineisella vesisuihkulla eri materiaalien työstäminen on yleistynyt viime aikoina. Vesipiikkausta käytetään jo yleisesti esimerkiksi betonin korjauksessa viallisen materiaalin poistamiseen. Tutkimuksia on tehty myös kiviteollisuuden tarpeita varten esimerkiksi graniitin työstämiseen. Vesisuihkun tehoa voidaan parantaa lisäämällä suihkuun kuluttavia materiaaleja (Huang & al.).

## **5.3 Räjähdysoiman suuntaaminen**

Tutkimuksia suunnatusta räjäytyksestä on tehty useissa paikoissa mm. Ruotsissa. Tarkoituksena on suunnata reiässä tapahtuvan räjähdysvoiman voima muodostamaan rako reikien välille ja vähentää vaikutusta irrotettavaan kiveen tai jäljelle jäävään kallioon päin. Räjähdysoiman suuntaaminen voidaan tehdä muotoilemalla räjäytysreikään lovet halutun raonmuodostuksen suuntaan. Reiän muotoilu voidaan tehdä esimerkiksi vesipiikkauksella (Bjarnholt & Holmberg & Ouchterlony, Rathore & Bhandari).

Reiän muotoilun lisäksi voidaan käyttää myös erilaisia suojamateriaaleja täyteenä räjähdysaineen ja reiän seinämän välillä (hiekkä, muovi, kartonki). Näiden avulla on pyritty vähentämään ei-toivottua rakoilua irrotettavassa kivessä ja jäljelle jäävässä kalliossa (Rathore & Bhandari).

## **5.4 Laserleikkaus**

Laseria käytetään kiven jatkojalostuksessa mm. pintakäsittelyssä, louhimoille saakka se ei vielä ole tullut, odotellaan tekniikan kehitystä. (Pou & al.)

## 6 YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN VÄHENTÄMINEN

Luonnonkiven louhinta vaikuttaa ympäristöön kuten kaikki muukin teollinen toiminta. Ympäristövaikutusten on GTK:n johdolla vuosina 1999-2003 tehdyssä tutkimuksessa todettu rajoittuvan louhimoalueille tai louhimon välittömään läheisyyteen ja olevan kokonaisuutena paikallisia ja pienialaisia.

Suurimmat kivilouhimon ympäristövaikutukset ovat sivukiven läjityksestä syntyvät maisemalliset haitat ja räjäytysten ja muun louhimon toiminnan aiheuttama melu (Selonen, Soile).

### 6.1 Melu

Melulähteitä ovat louhimolla poraaminen, sahaaminen ja räjäytykset. Räjäytysten aiheuttama melu kuuluu kauimmaksi, mutta räjäytykset ovat lyhytaikaisia tapahtumia, eivätkä kuormita näin ollen ympäristöä jatkuvasti. Muusta toiminnasta aiheutuva melu vaikuttaa ainoastaan louhimon lähiympäristöön. Melun aiheuttamaa häiriötä vähentää se, että luonnonkiveä louhitaan päiväsaikaan, eikä louhimoilla yleensä ole yö-, ilta- ja viikonlopputoimintaa. Louhinnan toiminta-ajat määritellään louhintalupien ehdoissa. Louhimon ympäristön melutasolle on annettu ohjearvo, joka on 55 desibeliä lähimmän asuintalon ja 45 desibeliä lähimmän loma-asunnon kohdalla. Melun määrä todetaan meluselvitysten ja mittauksen avulla (Selonen, Soile).

Melun kuuluvuuteen vaikuttavat myös ympäristön maastonmuodot ja sää, kuten tuuli ja lämpötila. Melusta ei aiheudu louhimoalueen ympäristössä terveydelle haittaa, koska melutaso vaimenee matkan kasvaessa. Louhimolla työskentelevien on suojauduttava melulta kuulosuojaimin. Melun leviämistä ympäristöön voidaan torjua hyvällä louhimoalueen suunnittelulla. Sivukivikasojen sijoittelulla, puuston jättämisellä louhimoalueelle ja tarvittaessa meluvallien rakentamisella voidaan pienentää melun leviämistä ympäristöön. Louhinnan edetessä myös louhimon seinät toimivat meluesteinä (Selonen, Soile).

## 6.2 Pöly

Louhimoilla syntyy pölyä porauksen ja sahauksen yhteydessä. Porauslaitteissa on imurit, joiden avulla pölyn leviäminen estetään porausvaiheessa. Pölyä syntyy myös työkoneiden liikkuesssa louhimon ajoväylillä. Pölyn leviämiseen vaikuttaa sää, erityisesti tuuli ja sade (Selonen, Soile).

Luonnonkiven louhinnassa pölyvaikutukset jäävät pääasiassa louhimon alueelle ja vähäisessä määrin louhimon ympäristöön. Pölylaskeumat ovat melko pieniä ja pölyn määrä vähenee nopeasti etäisyyden kasvaessa. Pölyn pitoisuustasot eivät ylitä ilman laadulle annettuja ohjearvoja louhimon lähialueilla (Selonen, Soile).

Louhimon pölyvaikutuksia voidaan tarvittaessa vähentää kulkuväylien kastelulla. Louhimoalueella olevat meluvallit, sivukivikasat, puusto ja louhimon seinät toimivat pölyn leviämisen esteinä. Pölyntorjuntatoimien tarpeellisuutta arvioitaessa on huomioitava myös pölyn vaikutus louhimoalueella työskentelevien terveyteen (Selonen, Soile).

## 6.3 Sivukivi

Sivukivi on alkuperäistä rikottua luonnonkiveä, johon ei ole louhinnan aikana lisätty mitään ihmisille, tai luonnolle haitallisia lisäaineita. Sivukivi on luontaisesti pysyvää ja liukenematonta materiaalia, eikä sen varastoinnista aiheudu kemiallista kuormitusta maaperään tai pohjaveteen (Selonen, Soile).

Sivukiven varastointi muuttaa paikallisesti maisemaa. Louhinnan loputtua sivukivialueet maisemoidaan ympäristöön sopivaksi. Maisemointi ei saa haitata sivukiven jatkokäyttöä myöhemmin (Selonen, Soile).

Sivukivi voidaan käyttää monissa kohteissa sellaisenaan tai jatkojalostaa murskeiksi ja muiksi ympäristön rakentamisessa tarvittaviksi tuotteiksi. Sivukiven käyttö mursketuotteina lisääntyy, koska harjusoravarat vähenevät. Sivukiven taloudellisissa käyttömahdollisuuksissa on eroja paikallisesta tarpeesta ja kulje-

tuskustannuksista johtuen. Sivukivi on kuitenkin nähtävä enemmän mahdollisuutena kuin haittana.

#### **6.4 Pinta- ja pohjavesi**

Luonnonkiven louhinnan vaikutus pohjaveteen ja sen laatuun tai korkeuteen on vähäinen. Louhimot sijoitetaan mahdollisimman ehjille kallioalueille, joissa on vähän halkeamia ja rakoja. Kallioiden pohjavesi kerääntyy suuriin rakoihin ja rikkonaisiin osiin, jotka muodostavat kallion pohjavesivarannot. Tiiviissä ehjässä kivessä vettä on vähän (Selonen, Soile).

Louhinnan vaikutus pohjaveden pinnan korkeuteen on myös kiven eheydestä johtuen vähäinen ja ulottuu alle 50 m etäisyydelle louhimon reunasta.

Uutta pohjavettä louhimoalueilla ei kallion eheydestä johtuen juuri synny. Louhimon pintavedet eivät kallion tiiveydestä johtuen imeydy kallioon, eivätkä sekoitu kalliopohjavesiin. Louhimoiden toiminnalla ei ole todettu olevan vaikutusta ympäristön kaivojen veden laatuun (Selonen, Soile).

Porattaessa ja sahattaessa syntyvä kivipöly on vaikeasti liukenevaa materiaali, joten kemiallista kuormitusta ei tästäkään aiheudu. Louhimoiden kuivatusvesien mukana kulkeutuu kiintoainesta, joten kuivatusvedet on laskettava saostusaltaiden kautta takaisin luonnonkiertoon.

Toiminnan harjoittajan on tarkkailtava pohja- ja pintavesiä louhimon toimint aikana louhintaluvissa määrättyllä tavalla. (Selonen)

#### **6.4 Energiätehokkuus**

Mahdollisuudet energian säästämiseen kulkevat käsi kädessä tehokkaan toiminnan kanssa. Jos pystytään välttämään turhia työvaiheita, myös energiaa säästyy. Kerralla valmiiksi periaate on paras energian säästötapa.



Valmiiden blokkien kuljetuksessa pitäisi pyrkiä vähentämään kuljetettavia hukkatonneja ja saamaan myytävän kiven mitat täsmällisiksi.

Laitevalmistajat kehittävät tuotteitaan energiaystävällisemmiksi, jos asiakas sitä vaatii. Uusia koneita ostettaessa on kiinnitettävä huomiota myös koneiden hyötysuhteisiin. Kuinka paljon esimerkiksi porakoneen moottorin polttoaineen sisällyttämisestä energiasta saadaan hyödyksi reiän tekemiseen ja mikä osa menee hukkaan. Esimerkiksi porauksessa suuri osa energiasta käytetään reiän huuhteluun. Porausjätteen (soijan) poistaminen reiästä edellyttää riittävää ilman virtausnopeutta reiän seinämän ja porakangen välissä. Kangen ja reiän läpimittojen oikealla suhteella voidaan vaikuttaa energiankulutukseen. Toisaalta on huolehdittava siitä, että reiän pohja pysyy puhtaana, eikä energiaa käytetä irrallisen kivitouheeseen hienontamiseen.

## 7 TULEVAISUUDEN KIVILOUHIMO

Tulevaisuudessa kivilouhimolla voisi olla mm. seuraavia nykyisestä poikkeavia toimintatapoja.

- porauslaitteissa käytetään suuntausautomaatiikkaa ja reiän aloitusautomaatiikkaa reikien suoruuden ja oikean suunnan varmistamiseksi sekä porauspaineiden (pyöritys, isku, syöttö, huuhtelu) automaattista säätöä tunkeutumisenopeuden optimoimiseksi.
- porauslaitteissa reikien syvyys määritetään automaattisella mittauslaitteella, jolloin reikien pohjat saadaan samalle tasolle. Tämä vähentää kynsien esiintymistä kamin juuressa ja helpottaa vaakareikien aloitusta. Myös vaakareikien syvyys mitataan automaattisesti ja reikien pohjat porataan ennalta määrättyyn tasoon.
- riviporauslaitteet pystyvät poraamaan automaattisesti kaikki reiät, jotka ovat porattavissa ilman koneen siirtoa (kone tekee töitä ruokataukojenkin aikana)
- syvissä rei'issä (yli 4 m) porattava reikä on läpimitaltaan suurempi kuin nykyisin käytettävä. Tämä mahdollistaa ohjaavan porakaluston käytön ja jatkotankokaluston käytön. Reikien suoruus paranee, porauksen automatisointi mahdollistuu ja porarin työ helpottuu.
- suunnitteluvaiheessa tehdään mittauksia geofysiikan keinoin, kartoitetaan kaikilta näkyviltä pinnoilta raot, viat ja värivirheet ja porauksen aikana mitataan kiven laatua. Tiedot kootaan tietomalliksi, jota käytetään lähtötietona louhinnan optimointiohjelmassa.
- porauksessa käytetään koneohjausta. Em. suunnitteluohjelmasta lähetetään porauslaitteelle tiedot, mihin porauslinjat sijoitetaan ja mihin suuntaan reiät porataan. Porari siirtää koneen halutulle linjalle koneen näytöruudun tietojen perusteella.
- konekanta nuorennetaan erityisesti porauksessa, käyttöikä puoleen nykyisestä, jolloin voidaan käyttää ajan tasalla olevaa ja tehokkainta konekanta.

- sivukivi lajitellaan jatkokäytön mukaan ja varastoidaan eri alueille huomioiden kuitenkin tilantarve ja mahdolliset ennakoitavissa olevat käyttömuodot.
- sivukiveä käytetään eri tavoilla. On kehitetty koneita, joilla voidaan tehdä ympäristökiviä ja muita markkinoille meneviä tuotteita.
- suurin osa hylkykivestä markkinoidaan murskeena. Murskeeksi menevä osa pilkotaan sopivaan kappalekokoon ennen läjitystä. Rikoksi ammuttava kivi räjäytetään riittävän pieneksi murskausta varten ja muu murskaukseen menevä kivi rikotetaan iskuvasaralla.
- räjäytykseen kehitetään emulsioräjähdyksaine ja käytetään momenttinalleja sytytykseen (pienempi räjähdysnopeus, ehjempi kivi).
- kiilaustekniikkaa on kehitetty siten, että kamin irrotuksen jälkeen kaikki paloitteluvaiheet voidaan tehdä kiilaamalla
- toiminta on riittävän laajaa, että se mahdollistaa työmenetelmien kehitystyön.

## 8 SUOSITUKSET JATKOTOIMENPITEIKSI

Edellä kuvatuista asioista voidaan nostaa esille ainakin seuraavat aihepiirit, joissa jatkokehittämisestä voitaisiin saada hyötyä. Tässä projektissa kartoitettiin mahdolliset kehittämisen kohteet, mutta ei menty kokeiluihin tai muihin käytännön toimenpiteisiin. Jatkossa tehtävät toimenpiteet vaativat käytännössä louhimoilla tehtäviä kokeiluja ja niiden perusteella tehtäviä johtopäätöksiä, mihin suuntaan kannattaa jatkaa. Osa edellä mainituista kehitysaiheista voidaan kehittää yritysten toimesta ja osa on sellaisia, joissa olisi tarvetta jatkoprojektille.

### 8.1 Porauksen tehokkuuden parantaminen

Louhintatyötä tehdään koneilla. Usein poraus tahdistaa koko louhimon toimintaa, muut työvaiheet ehditään tekemään sitä mukaa, kun poraus edistyy. Lisäksi muita työvaiheita on usein helpompi säädellä kuin porausta. On kuitenkin selvittävä tapauskohtaisesti, onko muita pullonkaulatyövaiheita olemassa ja miten ne olisivat ratkaistavissa.

Erään laitevalmistajan käsityksen mukaan porakoneen koko tehoa ei voida hyödyntää nykyisellä porakalustolla, jossa käytetään 7/8” kankea ja 32 mm kruunua. Tämän kaluston kanget ovat niin ohuita, että mahdollisimman suorien reikien poraaminen rajoittaa myös syöttövoiman käyttöä alhaiselle tasolle. Reiät voivat taipua varovaisesta porauksesta huolimatta ainakin kamin irrotukseen tarkoitettuja pitkiä reikiä poratessa. Taipumisesta voi aiheutua tarvetta blokkien sivujen uudelleen muotoiluun.

Ensimmäinen suunta antava kokeilu voitaisiin tehdä vaihtamalla 7/8” kanget 1” kankikalustoon. Tämä ei välttämättä vaadi reikäkoon suurentamista. Haittana ovat raskaammat porakanget, joten käsin tehtävä käsittely vaikeutuu. Jäykemmällä kangella voitaisiin käyttää suurempaa iskuenergiaa ja syöttöpainetta porattaessa. Tarkkailtavia asioita ovat reikien suoruus ja porausteho sekä porakaluston kesto.

Porauksen automatisointi pitkiä kamin irrotusreikiä porattaessa edellyttää siirtymistä kierrekalustoon, jotta automaattinen kangen jatkaminen ja reiän syvyyden mittaus onnistuisivat. Jatkotankokalustoa käytettäessä reikäkokoa joudutaan suurentamaan. Reikien suoruuden parantamiseksi voitaisiin kokeilla ohjaavaa kalustoa. Porauksen isku- ja syöttöpaineiden lisäämiseksi olisi kalustoa jäykennettävä. Suuremman reikäkoon käyttö edellyttää jonkin verran suurempien räjähdysainemäärien käyttöä räjäytyksissä. Kierrekaluston ja suuremman reikäkoon käyttöä voitaisiin kokeilla pengerlouhintavaunulla ennen suurempia kalustoinvestointeja. Selvitettävät asiat ovat porakaluston kesto ja kustannukset/porametri, porausteho, mahdollisuudet käyttää suurempia porauspaineita, räjähdysaineen lisäystarve ja mahdolliset haitat tästä.

Lyhyempiä (yhden kangen) reikiä porattaessa on mahdollista ottaa käyttöön automaattisia porauslaitteita, joilla saadaan porattua riviporauslaitteen raamin mitta automaattisesti. Lisäksi reikien porauskaltevuus ja reikien pituus voidaan ohjelmoida etukäteen. Koneen siirrot on tehtävä porarin toimesta. Paras hyöty automatiikan käytöstä saataisiin kuitenkin pitkillä rei'illä, koska kone voi porata samalta paikalta pidemmän aikaa ja tarkkuusvaatimukset ovat pitkillä rei'illä vielä suuremmat kuin lyhyillä. Vaakareikien automaattinen suuntaus ja muukin porauksen automatiikka on kokonaan kehittämättä.

Koneohjaus on yleistynyt viime aikoina maanrakentamisessa. Laitteet ja menetelmät ovat kehittyneet samoin mittaustarkkuus. Poraukseen voitaisiin soveltaa samoja laitteita ja menetelmiä, soveltamisen yksityiskohdat on kuitenkin selvitettävä ja etsittävä parhaiten soveltuvat laitteet.

Porauksen kehittämisessä on tullut esille myös porausparametrien (iskunpaine, syöttöpaine, pyörityspaine) säätöjen helpottaminen. Laittevalmistajat ovat jo kehittäneet ainakin joihinkin porauslaitteisiin automatiikkaa, joka optimoi tunkeutumisenopeutta säätämällä paineita sopivaksi. Tämä tekniikka voitaisiin tuoda myös kiviteollisuuden laitteisiin.

Väylätekniikka on mahdollistanut myös työkoneissa vikadiagnostiikkaohjelmien käytön. Tämä nopeuttaa niin porauslaitteiden kuin kaikkien muidenkin koneiden vianetsintää ja kannattaa ottaa käyttöön. Myös letkujen ja kaapeloinnin määrä vähenee huomattavasti.

Porauksen kehittämisessä tarvitaan laitevalmistajien aktiivista panostusta asiaan, mutta asiakkaat määrittelevät, millaisia koneita tarvitaan ja mistä halutaan maksaa.

### **8.1.1 Railonporaus**

Railonporauksessa on ollut ongelmia saada poraussoija pois reiästä ja syntyvästä railosta. Ainakin louhimoilla joilla sahataan, on ongelmana saada vaijeri tarvittaessa poratun railon pohjalle, koska railo on puoliksi täyttynyt porausjätteellä. Keskusteluissa ei ole tullut esille onko porausjätteestä haittaa myös silloin, kun railo on porattu kamin irtoamisen helpottamiseksi. Rakennuslouhinnoissa railoa käytetään louhintatärinän pienentämiseksi ja silloin railon on oltava täysin puhdas, jotta tärinä pysähtyisi railoon. Railon puhtaanapitoon olisi kehitettävä menetelmä.

## **8.2 Mittaukset, suunnittelu, tietomalli**

Tavoitteena on, että geofysikaalisista mittauksista ja muista havainnoista voitaisiin rakentaa louhimon tietomalli, johon voitaisiin yhdistää kaikki kiven tarpeelliset ominaisuudet. Ensisijaisesti malliin olisi saatava kaikki kallion rakoilu ja viikahavainnot, jotka vaikuttavat louhinnan suunnitteluun. Samaan malliin voitaisiin yhdistää myös esimerkiksi kiven värisävyn tiedot. Tietoa hankittaisiin geofysikaalisin mittauksin ja paikanpäällä tehtävin kartoituksin, jotka perustuvat silmä määräisiin havaintoihin. Tarkoituksena olisi saada käyttökelpoinen työkalu louhinnan suunnitteluun. Kamin irrotusvaiheessa pitäisi olla käytettävissä 3D-malli, jota voitaisiin käyttää lähtötietona kamin paloittelua optimoivassa ohjelmassa ja louhinnan ohjauksessa. Suunnittelun ja ohjauksen tavoitteena on saada kamista mahdollisimman paljon myytävää kiveä ja mahdollisimman edullisen muotoisia blokkeja. Lisäksi tavoitteena on minimoida työmäärä joka tarvitaan kamin paloittelussa. Mikäli tästä kokonaisuudesta saadaan käyttökelpoisia tuloksia, voidaan myöhemmässä vaiheessa yhdistää tähän vielä koneohjaus.

### **8.3 Kiilaus**

Kiilaus on menetelmänä edullinen ja ympäristöystävällinen. Kiilaus ei aiheuta melua eikä muita räjäytysten ympäristövaikutuksia (räjähdejäämät, räjähdyskaasut, pöly) kuten räjäytykset. Kiilausmenetelmää kannattaisi tästä syystä pyrkiä kehittämään edelleen. Jos halutaan käyttää kiilausta nykyistä pidemmässä rei'issä, olisi koko menetelmän perusteet mietittävä uudelleen. Tarvitaan innovatiivisia ratkaisuja ja riskinä on, ettei niitä löydy ja panostus menee hukkaan. Tämä ei kuitenkaan estä yrittämästä, koska sama riski on kaikessa kehitystyössä.

### **8.4 Sahaus**

Sahauksen yleistymisen esteenä on

- jännitystilaongelmat ja vaijerin kiinnitarttuminen
- talviongelmat, huuhteluveden jäätyminen
- vaijerin valinta monien vaihtoehtojen joukosta

Sahaukseen liittyvien ongelmien selvittäminen on kokonaisuus, joka voisi olla oma kehitysprojektinsa.

### **8.5 Räjähdyksineet**

Räjähdyksineissä emulsioräjähdyksineen käyttöönotto helpottaisi huomattavasti panostustyötä erityisesti pohjareillä. Sopivaa emulsioräjähdyksinettä kiviteollisuuden tarpeisiin ei ole markkinoilla. Kehitystyö vaatisi yhteistyötä räjähdysainetehtaan kanssa ja todennäköisesti vie kauan aikaa riittävine turvallisuustesteineen.

## 8.6 Ergonomia, työolosuhteet ja työturvallisuus

Ergonomian, työolosuhteiden ja työturvallisuuden parantaminen vaikuttavat nykyisin paljon keskustelua herättäviin ongelmiin, kuten työssäoloajan pidentäminen, ennenaikaisen eläkkeelle siirtymisen välttäminen, työssä jaksaminen ja viihtyminen, työvoiman saatavuus. Ergonomiia, työolosuhteita ja -turvallisuutta voidaan kehittää sekä yritysten omin voimin, että yhteisin projektein. Tehtävää riittää ainakin seuraavissa asioissa:

- melu ja pöly
- hankalat työasennot esim. kamin pohjareikien panostuksessa
- koneiden hytit
- apuvälineet kuten peruutuskamerat ajoneuvoissa
- putoamis-, liukastumis-, kompastumisvaarojen torjunta
- koneiden suojalaitteet
- kulku työstettävien kivien päälle
- koulutus ja motivointi

## 8.7 Kiven vikojen ja värisävyn tunnistaminen

Sivukiven määrän vähentämisessä yksi keino voisi olla lajitella valmis tuote niin, ettei jyrkkiä sävyeroja olisi esimerkiksi vierekkäisissä lattialaatoissa, mutta vähittäinen sävyn muuttuminen sallittaisiin ennalta määrätyissä rajoissa. Asiakkaille tätä voitaisiin markkinoida vihreillä arvoilla (sivukiven määrä ja työstöstä aiheutuvien päästöjen väheneminen). Tämä vaatii asenteiden muuttumista, mutta myös toimintatapojen, menetelmien ja laitteiden kehitystä. Asennoituminen tuskin muuttuu ennen kuin luotettavat menetelmät on kehitetty.

## 8.8 Kehitystoimenpiteiden kannattavuuden arviointi

Kaikkien edellä esitettyjen kehitystoimenpiteiden edellytyksenä on, että niiden toteuttaminen on kannattavaa. Osana jatkotoimenpiteitä pitää olla kannatta-



vuustarkastelu. Tämä voidaan tehdä kustannuslaskentaa käyttäen. Ainakin osassa esitettyjä toimenpiteitä on kuitenkin tarpeellista hankkia lisätietoa toimenpiteen vaikutuksesta työsaavutuksiin ennen kuin laskelmia voidaan tehdä.

## Lähteet

Bjarnholt, G., Holmberg, R., Ouchterlony, F., 1983. A Linear Sape Charge System for Contour Blasting. SweDeFo

Forcit Oy:n tuote-esite. <http://www.voimapaperi.fi/pdf/tuoteluettelo.pdf> luettu 24.5.2012

Dexpan tuote-esite

[http://www.archerusa.com/nonexplosivesblastingdemolition/dexpanphotos/naturalstonequarrymining/dexpan\\_photos\\_quarry\\_idaho\\_granite\\_noblasting.html](http://www.archerusa.com/nonexplosivesblastingdemolition/dexpanphotos/naturalstonequarrymining/dexpan_photos_quarry_idaho_granite_noblasting.html)

Dextex tuote-esite (<http://www.dextec.fi/cgi-bin/download.cgi> ).

Huang, C. Z., Hou, R.G., Wang, J., Feng, Y. X., The Effect of High Pressure Abrasive Water Jet Cutting Parameters on Cutting Performance of Granite.

[http://scholar.google.fi/scholar?start=10&q=wedging+device+dimensionstone&hl=fi&as\\_sdt=0,5&as\\_vis=1](http://scholar.google.fi/scholar?start=10&q=wedging+device+dimensionstone&hl=fi&as_sdt=0,5&as_vis=1))

[http://scholar.google.fi/scholar?start=20&q=guided+crack+initiation+blasting&hl=fi&as\\_sdt=0&as\\_vis=1](http://scholar.google.fi/scholar?start=20&q=guided+crack+initiation+blasting&hl=fi&as_sdt=0&as_vis=1)

Mesimäki, P. toim., 1999. Tarvekiven louhinta. Kiviteknologia 2. Opetushallitus. Helsinki.

Myllymäki, V. 2006. Emulsio- ja putkipanostuksen aiheuttama rikkoutumisvyöhyke tunnelilouhinnassa. Teknillinen korkeakoulu. Rakennus ja ympäristötekniikan osasto. Diplomityö

Mäntykivi, J. 2011., 3D-koneohjauksen kannattavuus pienissä maarakennuskohteissa. Saimaan ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö

Pou, J., Trillo, C. , Soto, R. , Doval, A.F. , Boutinguiza, M. , Lusquiños, F. , Quintero, F. , Amor, M.P. Laser Blasting - A New Method for Surface Treatment of Dimension Stones. <http://www.scientific.net/KEM.250.247>

Rathore, S.S., Bhandari, S., Study on Controlled Blasting Techniques in Dimensional Stone Quarrying.

([http://scholar.google.fi/scholar?start=20&q=guided+crack+initiation+blasting&hl=fi&as\\_sdt=0&as\\_vis=1](http://scholar.google.fi/scholar?start=20&q=guided+crack+initiation+blasting&hl=fi&as_sdt=0&as_vis=1))

Selonen, O., 2004. Luonnonkiven louhinta ja sen vaikutus ympäristöön. Kiviteollisuusliitto Ry.

Soile, A., toim. 2003. Luonnonkivituotannon elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset. Ympäristöministeriö. Geologian tutkimuskeskus. Helsinki.

Tulikivi Oy yritysesitydiat, [http://www.google.fi/#hl=fi&sclient=psy-ab&q=tulikivi+sahaus&oq=tulikivi+sahaus&aq=f&aqi=&aql=&gs\\_l=hp.3...15882.19377.1.20360.7.7.0.0.0.0.390.1762.1j1j3j2.7.0...0.0.mYTCIDpQcEQ&pbx=1&bv=on.2.or.r\\_gc.r\\_pw.r\\_qf..cf.osb&fp=643e4f955d1a01de&biw=1061&bih=564](http://www.google.fi/#hl=fi&sclient=psy-ab&q=tulikivi+sahaus&oq=tulikivi+sahaus&aq=f&aqi=&aql=&gs_l=hp.3...15882.19377.1.20360.7.7.0.0.0.0.390.1762.1j1j3j2.7.0...0.0.mYTCIDpQcEQ&pbx=1&bv=on.2.or.r_gc.r_pw.r_qf..cf.osb&fp=643e4f955d1a01de&biw=1061&bih=564)  
luettu 25.5.2012.

Vuolio R., Halonen T., 2010. Räjätystyöt. Suomen Rakennusmedia Oy. Helsinki. 3D- block expert esite

[http://wwwuser.gwdg.de/~geomasek/images/block\\_hp.html](http://wwwuser.gwdg.de/~geomasek/images/block_hp.html)