

Joni Salonen

# Louhintatöiden kehittäminen timanttivaijerisahauksella

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Mestarityö

9.1.2017

Tekijä(t) Otsikko	Joni Salonen Louhintatöiden kehittäminen timanttivaijerisahauksella
Sivumäärä Aika	40 sivua + 2 liitettä 9.1.2017
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennusalan työnjohto
Suuntautumisvaihtoehto	Infrarakentaminen
Ohjaaja(t)	Mika Räsänen, Lehtori Mika Jokela, Toimitusjohtaja
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia tarvekilouhimoilla perinteisesti käytettyä timanttivaijerisahauksen soveltuvuutta yrityksen louhintatöissä. Lisääntyneet vaativat louhinnat pääkaupunkiseudulla ovat vieneet yrityksen pyrkimään parantamaan osaamistaan ja tarjontaa kiristyvässä kilpailutilanteessa. Hankintaosaston positiivisten kokemusten ja tietotaidon johdosta Louhintahiekka Oy hankki käyttöönsä timanttivaijerisahaukseen soveltuvan kaluston syksyllä 2016.</p> <p>Opinnäytetyön tutkimus jakaantui esitutkimukseen, jossa paneuduttiin louhintaan yleisesti ja erityisesti poraukseen liittyvään aineistoon. Esitutkimusvaiheessa käytettiin aineistona alan kirjallisuutta ja haastateltiin louhintatyön ammattilaisia. Seuraavassa vaiheessa katseet käännettiin kohti työmaalla tehtävää tutkimusta. Kohteena työssä oli Louhintahiekka Oy:n aliurakka Olympiastadionin maanrakennus- ja louhintaurakasta. Toinen timanttivaijerisahaus suoritettiin Länsimetron työmaalla Kivenlahden asemalla sekä tunnelissa. Kenttätutkimus suoritettiin kolmessa vaiheessa. Ensimmäisen vaiheen aikana tutkittiin meneillään olevaa aukiporausta ja siitä saatavia työsaavutuksia työvuorossa. Laskennassa käytettiin Excel-asiakirjaa, jonka avulla työsaavutukset merkittiin työvuoroittain ja niistä muodostettiin työlle menekki. Lisäksi sovellettiin yrityksen jälkilaskentatietoja edellisistä aukiporauksista vastaavissa ympäristöolosuhteissa ja muodostettiin keskimääräinen työsaavutus. Toisessa vaiheessa pohdittiin hankkeissa olevia timanttivaijerisahauksia ja miten ne tulisi toteuttaa meneillään olevien louhintojen kannalta kustannustehokkaasti. Koesahaus uudella kalustolla suoritettiin Olympiastadionin työmaalla. Aikataulujen ja työtehtävien johdosta kalusto siirrettiin koesahauksen jälkeen Länsimetron työmaalle jatkamaan haastavia kuilulouhintoja.</p> <p>Työssä ensisijainen päämäärä oli lopulta osata ohjata tuotantoa laitteiston käytöstä ja soveltaa sen käyttötarkoituksia tulevaisuuden louhintakohteissa. Tähän liittyy oleellisesti nykyisten louhintaan liittyvien menetelmien ymmärrys, jotta timanttivaijerisahaukselle löytyy käyttöä ja sen toiminta on samalla kustannustehokasta kilpailun kannalta. Timanttivaijerisahauksia vastaavanlaisissa louhintatöissä ei ole sovellettu yrityksessä aikaisemmin.</p>	
Avainsanat	timantti, vaijeri, poraus, louhinta, kustannus

Author(s) Title	Joni Salonen Diamond wire saw quarrying in urban blasting sites
Number of Pages Date	40 pages + 2 appendices 9th January 2017
Degree	Bachelor of Construction Management
Degree Programme	Construction Management
Specialisation option	Infrastructure Site Management
Instructor(s)	Mika Räsänen, Senior Lecturer Mika Jokela, CEO
<p>The purpose of this study was to investigate the proper use of diamond wire sawing in urban blasting environments. Tougher competition in the urban blasting and quarrying projects have brought the client company, Louhintahiekka Oy to a state where they need to improve their methods for future jobs. Good and positive feedback from similar sawing projects done by other companies such as Lemminkäinen Oy led Louhintahiekka Oy to purchase equipment for diamond wire sawing in autumn 2016.</p> <p>The study was divided into a preliminary study and a field study. Literature was used in the preliminary study and professional blasting workers were interviewed. The focus in the preliminary study was to get basic information on blasting and drilling projects in urban environment. The actual use of the diamond wire saw machine was explored in the field study. The construction sites were located in Helsinki and Espoo. The first diamond sawing worksite was the Olympic stadium in Helsinki. The main contractor was Lemminkäinen Infra Oy and the job was to improve and rebuild the stadium by mining and blasting underground buildings and structures. An important subcontractor was Louhintahiekka Oy. The second worksite for diamond sawing was in Kivenlahti, Espoo, where the main contractor was Kalliotekniikkayhtiöt Oy and the job was to build a new subway from Matinkylä to Kivenlahti. Louhintahiekka Oy was the subcontractor there as well and in general their contracts include mining and blasting for east and west subway stations.</p> <p>Field research was carried out in three stages. First, it was calculated how cost-effective the drilling projects done at the Olympic stadium were. An Excel spreadsheet was used to calculate the work capacity in the drilling projects. Calculations on the required workload were also made based on the capacity, which can be used to schedule future projects better. Proper planning for the diamond wire sawing was done in the second stage. The final stage was to get the machine to the worksite and see how well it can perform.</p> <p>The primary goal of this study was to manage the projects and control of diamond wire sawing in urban blasting sites. This essentially involves basic understanding of blasting and drilling methods used in an urban environment. Understanding blasting and drilling methods leads to better knowledge on how to use and plan future diamond wire sawing projects.</p>	
Keywords	diamond, saw, blasting, drilling, wire

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tilaaajayritys	1
2	Avolouhinta	2
2.1	Louhinta kaupunkialueella	2
2.2	Louhintamenetelmät asutuskeskusalueella	3
2.2.1	Pengerlouhinta	3
2.2.2	Kanaalilouhinta	4
2.2.3	Tasauslouhinta	4
2.2.4	Tarkkuuslouhinta	4
2.2.5	Räjähdysaineeton louhinta	5
2.3	Räjähdyksestä syntyvä tärinä	5
3	Porausmenetelmät avolouhinnassa	6
3.1	Päättälyövä poraus	7
3.2	Porauskaluston valinta avolouhintaan	8
3.3	Aukiporaus	10
3.4	Aukiporauksen tarkoitus	12
4	Tarkkuuslouhinta	13
4.1	Tarkkuuslouhinnan suunnittelu	13
4.2	Tarkkuusvaatimuskäsitteet	15
5	Timanttivaijerisahaus	15
5.1	Lyhyt historia	16
5.2	Ympäristö ja käyttö	16
5.3	Timanttivaijerisahauskalusto	19
6	Kenttätutkimus Helsingin Olympiastadion työmaalla	22
6.1	Avolouhinta työmaalla	24
6.2	Irtiporaus	25
6.2.1	Kalusto	25

6.2.2	Kustannustehokkuus	26
6.2.3	Laatu ja ympäristö	27
6.3	Timanttivaijerisahaus	27
6.3.1	Atlas SpeedCut 75	28
6.3.2	Käyttö ja koesahaus	29
6.3.3	Kustannustehokkuus	31
7	Kenttätutkimus Länsimetron työmaalla	32
7.1	Timanttivaijerisahaus Kivenlahdessa	32
8	Tulokset	35
8.1	Timanttivaijerisahaus	36
8.2	Aukiporaus	37
8.3	Kustannustehokkuus työmaalla	37
9	Johtopäätökset	38
	Lähteet	40
	Liitteet	
	Liite 1. Tuntihintalaskelma	

## Käsitteet

Kestoikä	Timanttivaijerin kestävyys sahausneliömetriä vaijerimetrillä esim. 18 m <sup>2</sup> /vm.
Leikkuunopeus	Timanttivaijerin teoreettinen leikkuunopeus m <sup>2</sup> /h.
Louhintatoleranssi	Sallittu mittapoikkeama louhinnalla esim. +200/-100 (ylilouhinta/kova).

## 1 Johdanto

Tämän mestarityön tarkoitus oli tutkia timanttivaijerisahauksen käyttöä osana louhintaa. Työn tavoitteena oli selvittää timanttivaijerisahauksen käyttö ja soveltuvuus louhinnoissa sekä kustannustehokkuus erityisesti irtiporausta vastaavissa töissä. Työn aihe muodostui yrityksen kiinnostuksesta saada tietoutta timanttivaijerisahauksen hyödyntämisestä louhintatöissä. Yrityksen hankintaosastolla oli positiivisia kokemuksia yhteistyökumppaneiden suorittamista timanttivaijerisahauksista. Yritys päätti lisääntyneiden kaupunkilouhintojen ja niiden haastavuuden takia hankkia oman timanttivaijerisahauskaluston syksyllä 2016.

Työn toisessa luvussa paneudutaan lyhyesti avolouhintaan ja tutkimuksen kannalta oleelliseen teoriaan siitä. Seuraavat kolme lukua pitävät sisällään avolouhintojen näkökulmasta porauksen ja siinä käytettävän kaluston, irtiporauksen ja timanttivaijerisahauksen toiminnan. Varsinainen tutkimus suoritettiin työmaaolosuhteissa ja siellä tutkittiin timanttivaijerisahauksen käyttökohteita ja soveltuvuutta louhintatöissä. Työn toteuttaminen sovitussa aikataulussa kustannustehokkaasti ja mitä hyötyjä sahauksella voidaan saavuttaa verrattuna perinteiseen poraus- ja räjäytystyöhön. Olympiastadionin työmaalla sahauksen kustannuksia ja hyötyjä verrattiin työmaalla suoritettuun aukiporaukseen. Aukiporauksen ja timanttivaijerisahauksen työsaavutukset voidaan laskea  $m^2/tv$ . Työvuorossa saavutetut neliömetrit muunnetaan työmenekiksi ja sitä kautta menetelmiä pystytään vertailemaan kustannusten kannalta tehokkaasti. Kenttätutkimuksesta saadut tiedot laskettiin Excel-asiakirjaan jokaisen työvuoron loputtua. Toinen kohde timanttivaijerisahauksille oli Länsimetron Kivenlahden asemalla ja siellä paneuduttiin kuilun seinämän ja sisäänkäynnin otsan sahauksiin. Olympiastadionin työmaalla tehtiin koesahaus laitteella ja työtehtävien sekä aikataulun johdosta sahauksia jatkettiin Länsimetron työmaalla.

### 1.1 Tilaajayritys

Opinnäytetyön tilaajana toimii Tuusulalainen perheyrittäjä Louhintahiekka Oy. Yritys on toiminut yli 40 vuotta ja työntekijöitä sillä kuluvana vuonna oli 80. Työskentely maanrakennusalalla on kattavaa ja yrityksen toimialoihin kuuluu mm. Tie- ja

katurakentaminen, maankaivu, louhinta ja murskaus, kunnallistekniikka, paikallavalurakenteet, pohjavesi alennukset, paalutus, kaivantojen tuenta sekä vihertyöt. Toimialoihin kuuluu lisäksi vahvasti erikoisosaaminen vaativissa kohteissa, kuten mm. Moottoritiet ja lentokentät, räjähdysaineeton louhinta, haastavat maankaivu-, louhinta- ja tuentatyöt sekä erilaiset rakennusten ja kallion lujitus- ja vahvistustyöt.

## **2 Avolouhinta**

Louhinta voidaan jakaa sijainnin perusteella avolouhintaan, maanalaiseen ja vedessä tapahtuvaan louhintaan. Louhintaa avoimen taivaan alla kutsutaan avolouhinnaksi. Avolouhinnassa on tekijöitä, jotka tekevät siitä haastavaa ja erilaista muihin louhintoihin nähden. Maanpäällä louhittaessa muutama tekijä erottuu selvästi joukosta ja yksi niistä on maanpoisto. Varsinaisen kalliopinnan näkyviin saaminen tarkoittaa huolellisesti suunniteltua maamassojen poiskuljetusta tai läjitystä alueella.

Louhintatyö lähtee käyntiin ensimmäiseksi kasvillisuuden ja puuston raivauksella, jonka jälkeen siirrytään itse maanpoistoon. Pintamaa poistetaan ja sen alla olevat maakerrokset hyödynnetään tai kuljetetaan niille osoitetuille alueille. Suomessa on tiukat määräykset ympäristön käsittelyyn maamassojen läjityksessä. Ensisijaisesti rakentamisessa tulee hyödyntää rakennettavalla alueella olevat maa-ainekset. Monesti suurin osa maamassoista on kuitenkin käyttökelvotonta ja se joudutaan kuljettamaan maanläjitysalueelle. Maakerrosten poiston jälkeen ja yleensä viimeisen kerroksen yhteydessä kalliopinta paljastetaan. Kallion paljastus tapahtuu samoilla välineillä kaivamisen yhteydessä kaivinkoneella. Maanpoiston suunnittelussa täytyy huomioida maaluskien stabiliteetti työn edetessä. Lisäksi voidaan joutua alentamaan pohjavettä, jotta saavutetaan haluttu taso kaivutyölle tai louhinnalle. [2, s. 177.]

### **2.1 Louhinta kaupunkialueella**

Kun louhintaa suoritetaan asutuskeskusalueella tulee siinä huomioida monta asiaa, jotka eivät muutoin liity kiviaineksen irrotukseen rakennus- ja kaivosteollisuudessa. Louhinnan vaikutuksen läheisyydessä on usein paljon erilaisia rakenteita ja rakennuksia sekä tietenkin ihmisiä. Ennen louhintamenetelmän valintaa täytyy varsinainen louhittava alue katselmoida ja tehdä tarvittavat toimenpiteet jatkoa varten. Normaaleissa olosuhteissa



usein kaupunkialueella päädytään räjäytystyöhön, jonka suunnittelu riippuu ympäröivien rakenteiden ja rakennusten etäisyydestä, perustamistavasta ja ominaisuuksista. Räjäytyksen jälkituotteena syntyy rakennuksille haitallista värinävaikutusta ja ihmisille häiriötä. Räjäytysajankohdat ja niistä tiedottaminen tarpeelliseksi katsotuille henkilöille on työsuunnittelussa oleellista. Asutusalueilla louhinta on usein monen menetelmän summa. Perinteinen irrotuslouhinta tehdään räjäyttämällä ja jälkilouhintaa voidaan tehdä lujituksen jälkeen muilla menetelmillä. Tänä päivänä kaupunkien keskustoissa tapahtuva louhinta on lähes poikkeuksetta monien menetelmien summa. Louhintojen suunnittelulla ja menetelmien hallinnalla on merkittävä rooli toteutuksessa ja se antaa yrityksille varmuutta tarjouslaskentaan. [3, s. 35.]

## 2.2 Louhintamenetelmät asutuskeskusalueella

Louhintamenetelmän valintaan vaikuttaa ensisijaisesti louhittavan kohteen sijainti ja ympäristössä vallitseva tilanne. Asutusalueella tapahtuva irrotus asettaa usein haasteita työlle ympäristön johdosta. Lähellä olevat rakennukset ja mahdollisesti värinäherkät laitteet vaativat erityysoaamista työsuunnittelussa. Asutusalueella työ lähtee aina käyntiin ympäristön katselmoinnilla ja sen perusteella pystytään ratkaisemaan tarvittavat louhintamenetelmät sekä työlle syntyvät kustannukset. Mahdollisten vahinkojen välttämiseksi laaditaan louhinnan turvallisuussuunnitelma ja riskianalyysi. Katselmoinnin jälkeen asennetaan tarvittaessa räjäytyksistä johtuvaa värinää seuraavat mittauslaitteet. Irrotettavan kallion välittömässä läheisyydessä olevat rakenteet ja rakennukset ratkaisevat tehdäänkö louhinta räjäyttämällä vai ilman. Räjäytyskenttä suunnitellaan ja siitä laaditaan asiakirja ennen räjäytystä. Siinä tulee olla tiedot räjäytyksestä eli räjähdysainemäärä, tilavuus, porametrit, ominaispanostus, momentaaninen räjähdysainemäärä ja räjähteet sekä sytytyskaavio. Räjäytystyössä tulee aina käyttää kaupunkialueella patruunoituja räjähdysaineita tai erityisluvalla räjähdysainetta voidaan käyttää sukassa. [2, s. 35.]

### 2.2.1 Pengerlouhinta

Pengerlouhinta on yleisin menetelmä irrottaa kalliota. Irrotettava alue eli räjäytyskenttä, tehdään poraamalla pystyreikiä tai jonkin verran kallistettuja reikiä, joita on yksi tai useampia rivejä. Pengerlouhinta etenee yleensä tasoittain louhepenkereen ylhäältä alaspäin. Räjäytyksissä tulee suunnitella kiven heittosuunta niin, että sillä on tilaa irrota

ja myös louhinta tapahtuu turvallisesti. Kallioon voidaan myös tehdä avaus, jossa heittosuunta muodostuu louhittuun avaukseen. Reikien koko sekä etäisyydet toisiinsa eli kentän ruutukoko riippuu ympäristöstä ja kalliolaadusta sekä halutusta lopputuloksesta.

Yhden kiintokuution irrotukseen vaaditaan, jokin määrä tietyn voimakkuuden omaavaa räjähdysainetta. Ominaispanostus tarkoittaa siis voiman ja painoyksikön suhdetta esim.  $\text{kg/m}^3$ . Kallion ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi panoslaskennan ominaispanostukseen. Pengerlouhinta pitää sisällään seuraavat työvaiheet: poraus ja räjäytys (irrotus), rikotus sekä louheen lastaus ja kuljetus. [3, s. 123.]

### 2.2.2 Kanaalilouhinta

Kanaalilouhinnassa ero pengerlouhintaan muodostuu louhittavan tilan ahtaudesta. Kanaalia louhittaessa pengerleveys vaihtelee 0–5 metrin välillä. Kanaalille tyypillistä on suuri kallion vastajännitys, jonka johdosta louhinnassa käytetään suurempaa ominaispanostusta. Ominaispanostuksen kasvaessa myös porauksen määrä kasvaa. Lisäksi reikien oikea kallistus on tärkeää. Kaltevuuteen n. 3:1 poratut reiät vähentävät jännitystä pohjalla siten, että kallion irtileikkautuminen ja paisuminen helpottuvat varsinkin syvissä kanaaleissa. Porausreiän valittu koko vaikuttaa irrotuskustannuksiin merkittävästi. Suuren porausreiän käyttö pienentää ominaisporausta, mutta lisää irtaavan kallion määrää ja siten myös kokonaiskustannuksia. [3, s. 81.]

### 2.2.3 Tasauslouhinta

Tasauslouhinta on sellaista pengerlouhintaa, jossa pengerkorkeus on pienempi kuin 2 x maksimietu. Tämä tarkoittaa yleensä sitä, että pengerkorkeus on 1–1,5 metriä. [3, s. 80.]

### 2.2.4 Tarkkuuslouhinta

Tarkkuuslouhinta on nimensä mukaisesti louhintaa, jossa pyritään tarkkuusvaatimukseen sallittujen poikkeamien eli toleranssien avulla. Pengerlouhinnassa tulee etukäteen miettiä louhittavan tilan käyttötarkoitusta sallittua rakoiluvyöhykettä määrätessä. Ensisijaisesti pyrkimys on pitää louhittavan alueen ulkopuolelle jäävä kalliopinta, suunnitellun toleranssin mukaisesti ehjänä. Louhinta edellyttää louhittavan alueen reunoilla tiheämpää porausta sekä eritysratkaisuja

panostuksessa. Vielä nykyäänkin suunnitelmissa esiintyy kohtuuttomia tarkkuusvaatimuksia, kuten pienet kapeat urat ja kulmat, joiden tarkka louhinta on vaikeaa ja kallista sekä myös usein mahdotonta. [3, s. 259.]

### 2.2.5 Räjähdysaineeton louhinta

Ilman räjähteitä suoritettava louhinta on kehittynyt ja kasvanut viime vuosina varsinkin kaupunkialueella. Räjähdysaineeton louhinta voidaan jakaa toimintatavan perusteella kahteen osaan, mekaaniseen ja kemialliseen louhintaan. Mekaaniseen louhintaan kuuluvat ensisijaisesti hydraulikalla toimivat kiilauslaitteet sekä rikotuksessa käytetyt kaivinkoneiden iskuvasarat. Kemiallisiin menetelmiin voidaan lukea erilaiset paisuntailmiöön perustuvat aineet sekä ponneaineet. [3, s. 411.]

### 2.3 Räjähdyksestä syntyvä tärinä

Räjähdyksen tapahtuessa ympäröivään kallioon syntyy jännitysaalto, joka aiheuttaa kallion lohkeamisen. Jännitysaalto on väliaineessa olevaa siirtymistä eli ulkopuolelle muodostuvaa tärinää. Räjähdyksestä syntyvä tärinä voi vaurioittaa lähellä olevia rakennuksia ja muita herkkiä laitteita. Asutuskeskuslouhinnoissa usein suurimman haasteen panoslaskennalle aiheuttaa, jokin lähellä oleva rakenne tai laite. Ennen räjäytystä tehtävän katselmoinnin tarkoitus on huomioida ja tarvittaessa asentaa valittuihin kohteisiin tärinää mittaavat laitteet.

Tärinän voimakkuutta mitataan kahdessa vaakasuunnassa, eli pituus- ja poikittaissuunnassa sekä pystysuunnassa. Tärinän mittaussuurena käytetään heilahdusnopeutta, joka ilmoitetaan yksikössä mm/s. Tärinää syntyy räjähtyksen lisäksi rakentamisessa mm. paalutuksesta, ponttauksesta, piikkauksesta sekä purku- ja kaivutöistä. Tärinän syntyminen ympäristöön on riippuvainen tärinälähteen iskuvoimasta ja maan sekä kallion tärinäjohtavuudesta, rakennusten ja rakenteiden dynamiikasta sekä perustamistavasta. Tilastoihin perustuen rakenteiden tärinäkestävyyden tunnuslukuna käytetään heilahdusnopeuden pystykomponentin huippuarvoa. Suomessa voimassa olevat rakenteiden raja-arvot ja suositukset on määritelty lähinnä vaurioitumisriskin kannalta.

Suomessa käytössä olevat värinä raja-arvot on määritelty ministeriön julkaisemassa Räjätysalan normit, räjätys- ja louhintatöiden turvallisuusmääräykset 16:0. Määräyksistä löytyy taulukot, joissa esitetään sallittu heilahdusnopeuden arvo  $V_1$  ja rakennustapakerroin  $F_k$ . Näiden taulukoiden avulla saadaan määriteltyä tapauskohtaisesti värinän heilahdusnopeuden pystykomponentin sallittu raja-arvo, rakennustapakerroimen ja etäisyyden funktiona seuraavaa laskukaavaa käyttäen: [7.]

$$V = F_k \times V_1$$

$V$  = heilahdusnopeus *mm/s* (pystykomponentin huippuarvo)

$F_k$  = rakennustapakerroin

$V_1$  = heilahdusnopeuden huippuarvo etäisyyden funktiona *mm/s*

### 3 Porausmenetelmät avolouhinnassa

Porauskalusto maanpäällä louhittaessa valitaan yleensä pengerkorkeuden perusteella. Suomessa on lähes kaikki kallio kovaa ja näin ollen porausmenetelminä voidaan käyttää kolme eri tekniikkaa, päältälyötävää-, kierto- tai uppoporausta. Suomessa käytetään lähes poikkeuksetta pelkästään päältälyötävää kalustoa. Lisäksi menetelmät voidaan jakaa kolmeen ryhmään poraussuunnan perusteella. Yleisesti käytetty menetelmä on penkereen päältä tapahtuva poraus ja siinä etuina on riippumattomuus panostus- ja kuormaustyöstä. Vaakasuoraporaus penkereen alareunasta on menetelmä, jossa tarvitaan kolme työvaihetta porauksen etenemiselle. Maanalaisessa louhinnassa vaakasuoraa porausta käytetään yleisesti ja siinä työvaiheisiin kuuluu poraus, panostus ja kiven poiskuljetus. Lisäksi voidaan käyttää näitä kumpaakin menetelmää samaan aikaan. Yhdistelmämenetelmää käytetään geologisesti vaikeissa olosuhteissa, missä alueilla esiintyy esim. kallion rikkonaisuutta, lustia, pehmeää kalliota tai erittäin korkea louhepenger.

Voimansiirto porauskalustolla oli pitkään pneumaattinen ja on vieläkin pienemmissä laitteissa ja käsikoneissa. Hydraulikan kehittymisen myötä markkinoille on tullut entistä tehokkaampia poravaunuja. Pneumaattisen ja hydraulisen voimansiirron erona on energiansiirrossa käytetty väliaine. Hydraulisessa voimansiirrossa raskaampi väliaine öljy antaa kalustolle hyvän tehonsiirron sekä voimien ja väännön säätö voidaan tehdä

entistä tarkemmin. Hydraulioiljyn ansiosta nykyisten poravaunujen automatisointi ja mekaniikka on parantunut huomattavasti. Pneumaattisissa porauslaitteissa paineilma ja sen kokoonpuristuminen tekevät siitä epätaloudellisen tehonsiirron näkökulmasta ja näin ollen toimintoja ei voida automatisoida samalla tavalla kuin hydraulisissa laitteissa.

[1, s. 142.]

Lisäksi tiettyihin töihin on kehitetty menetelmä, jossa väliaineena tehonsiirrossa käytetään vettä tai ilmaa. Tätä menetelmää kutsutaan uppoporaukseksi. Uppoporakone on rakenteeltaan ja ulkomuodoltaan päättällyövän koneen kaltainen. Porauksessa siirtyy iskuenergia suoraan porakruunuun, sillä porakone työskentelee porausreiän pohjalla ja poratankojen sijasta käytettävien poraputkien tehtävänä on vain pyöritysmomentin ja syöttövoiman välittäminen. Lisäksi erillistä huuhtelua ei tarvita, koska paineilmaa tai vettä siirretään poraputkien ilmakehää pitkin. Reikä huuhdellaan poistoilman tai veden avulla. Suurilla avolouhoksilla käytetään lisäksi rotaatioporausta pehmeässä kivessä tuotantolouhinnoissa. Reikäkoot ja pengerkorkeus ovat näissä kohteissa suurta 127-441mm ja pengerkorkeus vaihtelee 12-35 m.

[3, s. 129.]

### 3.1 Päättällyövä poraus

Viime vuosikymmenen aikana erityisesti päättällyövät porauslaitteet ovat kehittyneet merkittävästi. Yleisin avolouhinnan porausmenetelmä on päättällyövä ja työmailla käytetään poraukseen kiinto-, kartio- tai jatkotankokalustoa. Nämä kaikki kalustot koostuvat kuusikulmaisesta tankoprofiilista valmistetuista poratangoista. Yleisin tankoprofiili on Hex22 mm (7/8”).

Jatkotankokalusto sisältää tangon eli niskakappaleen, jatkoholkin, jatkotangon ja alimman osan eli porakruunun. Kaluston osat liitetään toisiinsa kierteiden avulla. Iskuenergian siirtyminen vaatii, että osat ovat tiukasti kierretty toisiinsa kiinni. Kierteitä on muutamia erilaisia, mutta yleisimmin käytetty kierre on strapetsikierre. Porakruunun valintaan vaikuttaa kallion kivilajiolosuhteet siten, että nastakruunu valitaan pehmeään ja rikkonaiseen ja palakruunu puolestaan kovaan ja kuluttavaan kallioon. Tärkeimmät parametrit ja tekijät porauksen tehokkuuteen päättällyövässä ovat: iskun energia ja taajuus, pyöritysnopeus sekä huuhtelu.

Kiintoporaksi kutsutaan kalustoa, jossa niskakappale terä ja varsi on yhdistetty samaan kappaleeseen. Kiintokalustossa on omanlainen talttamainen kovametallipala, joka toimii jatkotankokaluston porakruunun sijaan teränä. Kartiokalustossa kovametalli- tai nastapaloista koostuva terä liitetään poratankoon kartioliitoksen avulla. Kiintokalustoa lukuun ottamatta kartio- ja jatkotankokalustossa voidaan teräkoko ja mallia vaihtaa porauksen vaatimusten mukaisesti. Vaihtomahdollisuus helpottaa myös kruunujen huoltoa eli teroitusta.

Lisäksi kevyissä ja keskiraskaissa poravaunuissa on mahdollista käyttää yhden tangon porausta ns. drifter-tankoporausta. Kalusto koostuu nastaterästä "tunnelitangosta" eli drifertangosta sekä erillisestä niskakappaleesta. Drifertangon profiili on yleensä Hex35 mm (1 3/8"). Drifertangolle on tyypillistä, että teräkierre ja niskakierre poikkeavat toisistaan kokonsa puolesta. Teräkierteenä voi olla esim. R32, jolloin on mahdollista saavuttaa pieni reikäkoko, joka on yleensä 43-51 mm. Niskakierre voi olla suurempi esim. T38, jolloin kierteen kulumiskestävyys sekä käyttöikä ja energiansiirto ovat pidempiä. [3, s. 131.]

### 3.2 Porauskaluston valinta avolouhintaan

Päältä lyövät porauslaitteet avolouhintaan voidaan luokitella rakenteen ja koon mukaan seuraavasti:

- käsiporakoneet
- kevyet työkoneisiin asennettavat porausyksiköt
- commando-luokka
- kumipyöräiset kevyet porausvaunut
- keskiraskaat porausvaunut
- telaketjuiset raskaat porausvaunut

Pitkään aina 1980-luvulle asti tavallisin tapa porata matalia penkereitä oli käsiporakoneilla. Porauskaluston ja erityisesti hydraulisten vaunujen kehitys on vähentänyt käsikoneiden käyttöä huomattavasti. Pääosin nykyään käsikoneporauksella tehdään porausta, jota ei tilan ahtaudesta tai maasto-olosuhteista johtuen voida muuten suorittaa. Lisäksi tärinärajoitteisilla alueilla, joita tehdään usein räjähdysaineettomasti on käsikoneporaus tehokas tapa suorittaa poraus. Käsiporauksessa tarvittava voima porakoneen syöttöön saadaan porakoneen, lisäpainojen ja porarin avulla. Poraukseen tarvittava aika on suurempi kuin syöttölaitteilla varustetuissa porakoneissa, koska tunkeutumisenopeus on alhaisempi. Käsiporakoneita on ilmanpaineella ja hydraulilla toimivia ja molempia näkee tänä päivänä työmailla. Porakone vaatii erillisen energianlähteen, joka voi olla auton perässä vedettävä tai traktoriin asennettu kompressorisyksikkö tai hydraulinen tehoyksikkö.

Työkoneisiin asennettavat porauslaitteet ovat kehittyneet automatisoinnin ja mekaniikan myötä ja niitä löytyy monenlaisia. Markkinoilla yleisesti myytävät laitteet ovat syöttölaitteita, jotka vaativat puomin, jolle laite asennetaan. Huuhteluilmaa ja öljyn jäädyttämistä varten tarvittava kalusto on syöttölaitteella niin pientä, että se voidaan helposti asentaa työkoneeseen. Hallintalaitteet asennetaan työkoneen ohjaamoon muiden laitteiden joukkoon. Kaivinkoneeseen tai traktoriin asennettu syöttölaite on näistä yleisin. Asennettavassa koneessa täytyy olla konevoimaa ja toimiva hydraulikka. Lisäksi tarvitaan puomi, joka antaa ulottuvuutta sekä toimii alustana syöttölaitteen asennukselle.

Commando-luokka tulee suositun poravaunun mallista, joka oli nimeltään Commando. Näitä kevyitä kumipyöräisiä vaunuja tehdään edelleen ja ulkomuoto on samankaltainen mitä se oli alkuvuosina. Kumipyöräiset ja telaketjulla varustetut laitteet voivat toisinaan kuulua mihin vaunuluokkaan tahansa. Poravaunun koko on suoraan verrannollinen sen suorituskykyyn. Vaunun suurentuessa myös porausteho kasvaa ja rakennusosien eli komponenttien toiminnalliset vaatimukset kasvavat.

Porauskaluston valintaan vaikuttaa ensisijaisesti louhintakohteen suuruus ja aikataulu, koska nämä tekijät vaikuttavat kapasiteettiin, jolla työ tehdään aikataulussa. Pengerkorkeus on tärkeä tekijä, kun mietitään porauskalustoa työmaalle. Kaluston käyttöalueet voidaan jakaa pengerkorkeuden perusteella matalaan, keskikorkeaan ja korkeaan penkereeseen. Pienreikä alueeksi kutsutaan matalia penkereitä, joita voidaan porata kevyellä kalustolla ja käsiporakoneilla. Matalissa penkereissä reikäkoko vaihtelee 27-64 mm ja pengerkorkeus on alle 6 metriä. Poraukseen tarvittava aika matalissa

penkereissä on suhteellisen lyhyt ja huomiota tulisi kiinnittää erityisesti maasto-olosuhteisiin ja siihen miten nopeasti siirrytään reiältä toiselle. Pienreikä alueet voivat olla asutuskeskusalueella haastava louhintakohde, koska lähellä on usein erilaisia louhintaa rajoittavia rakenteita ja rakennuksia. Työsuunnittelu ja porauskaluston valinta vaikuttavat merkittävästi kokonaiskustannuksiin. Mataliin penkereisiin voidaan sisällyttää mm. rakennusten pohjat, kanaalilouhinta, tarkkuuslouhinta, matalat tieleikkaukset, tasoitus ja rikkoporaus.

Kevyet avolouhintavaunut ovat kehittyneet huomattavasti ja pääosin syrjäyttäneet pienreikäporauksessa käytetyt syöttölaitteet. Louhintatyömailla porauksen tuottavuutta on lisätty merkittävästi siirtymällä käsikoneporauksesta ja syöttölaitteiden käytöstä louhintavaunujen käyttöön. Nykyaikaista louhintavaunua säätelevät niin louhijoiden tarpeet kuin EU-direktiivit. Laitteiden ergonomia, käyttöliittymät, maasto-ominaisuudet sekä pölyn ja melun torjunta on ottanut harppauksia eteenpäin. Kevyet avolouhintavaunut soveltuvat ensisijaisesti matalien penkereiden, tieleikkausten ja kanaalien louhintaan. Keskiraskaita vaunuja käytetään yleensä reikäkoon 45-89 mm poraamiseen 5-25 m penkereissä. Raskaat vaunut on puolestaan suunniteltu suuriläpimittaisten reikien 76-203 mm poraamiseen isoissa louhintakohteissa.

[3, s. 132-137.]

### 3.3 Aukiporaus

Yleisesti tarvekivilouhinnoissa käytetty louhintamenetelmä, jossa tarkoitus on porauksella tehdä railo irrotuslouhinnan ja kohteen välille. Ennen puhuttiin paljon railonporauksesta, mutta nykyään käytetään enemmän irti- tai aukiporaus käsitteitä, jotka siis kaikki tarkoittavat samaa asiaa. Erityisesti asutusalueella ympäristö asettaa louhinnalle rajoituksia mm. tärinän muodossa ja kohteella usein tarkoitetaan suojeltavaa rakennusta tai rakennetta. Rakenne voi itsessään olla kallion osa, joka halutaan pitää ehjänä esimerkiksi vahvistus- ja lujitustöiden vähentämisen takia. Tunnelin suuaukoilla on usein nähtävissä aukiporauksen jälkiä suorassa kallioseinämässä. [8, s. 18.]

Irtiporaus lähtee käyntiin aloitusreikien eli ns. pulpukkareikien poraamisella. Ensimmäisenä porataan koko railon mitalle 62 mm välein ja yleensä 89 mm kruunulla 150 – 300 mm syvät pulpukkareiät. Aloitusreikien jälkeen aloitetaan tarkkuutta vaativa pilot-reikien poraus haluttuun syvyyteen, jossa käytetään apuna vatupassia ja



ohjausputkea. Porauksessa on kiinnitettävä erityistä huomiota reikien suoruuteen ja se tehdään yleensä mittaamalla 300 mm välein ohjausputken molemmilta sivuilta. Kun porausreiät on porattu haluttuun syvyyteen täytyy porareikien välit, eli kannakset porata pois. Se tehdään ohjurin avulla ja kalliosta riippuen on haastava ja työläs työvaihe, koska ensimmäisten reikien epätarkkuus ja reikiin kertynyt kiviaines sekä kallion ominaisuudet hankaloittavat kannaksen poistamista. Ohjauskalusto eli ns. könkkä koostuu porakruunusta esim. 102 mm ja ohjausputkesta. Kallion lustaisuus voi aiheuttaa epätarkkuutta railon alapäässä sekä ryöstöt railossa lisäävät vahvistus- ja lujitustyötä valmiissa seinämässä. Porauksen jälkeen suoritetaan varsinainen irrotuslouhinta ja louheen kuormauksen jälkeen aukiporattu seinämän laatu on nähtävissä.

Aukiporauskalusto koostuu louhintavaunusta ja usein avolouhintaan tarkoitettusta vaunusta. Porauskalustona käytetään yleisesti 2 tuuman eli 55 mm tankokalustoa, mutta myös pienempiä tankoja voidaan käyttää. Porakruunut ovat erikoisvalmisteisia normaalia pidempiä retrac-teriä, joilla saavutetaan paremmin ohjautuva ja mahdollisimman suora porareikä. Lisäksi kalustoon kuuluu mittalaite, yleensä vatupassi ja ohjausputki eli ns. ”könkkä”. [8, s. 18.]



**Kuva 1. Irtiporauskalusto.**

### 3.4 Aukiporauksen tarkoitus

Aukiporauksella voidaan saavuttaa monia hyötyjä ja etuja infrarakentamiseen. Tilojen louhinta toleranssiin ja jäljelle jäävän kallion suoruus sekä ehjyys. Yleisimmät hyödyt infrarakentamisessa mm. Tärinävaikutuksen lieventäminen, rakennusten vesien hallinta, railon käyttö kaapeloinnissa sekä kallion vahvistus- ja lujitustöiden vähentäminen.

Kaupunkialueella aukiporauksella voidaan estää haitallisen tärinän kulkeutuminen rakenteisiin ja herkkiin laitteisiin. Ennen louhintaa tehtävässä katselmoinnissa tulee selvittää mahdollisten tärinäherkkien laitteiden ja lähistön rakenteiden tärinäraja-arvot. Laitteiden valmistaja yleensä asettaa vaatimuksia herkille komponenteille tai koko laitteelle sekä Suomessa terveys- ja sosiaaliministeriö on laatinut räjäytysalan normit. Tärinän raja-arvojen perusteella suunnitellaan aukiporauksen pituus, syvyys ja leveys. Irrotuslouhinnan kenttäkoko ja louhintamenetelmä tulee hallita niin, että räjäytyksistä syntyvä tärinä ei ylitä sille annettua raja-arvoa.

Rakennusten vesienhallinta tarkoittaa lähinnä pinta- ja valumavesien ohjausta kallioalueella. Rinnetonteilla rakennuksiin valuu rinnettä pitkin vettä ja sen ohjaaminen railon avulla sadevesiviemäriin on monesti edullinen ja ympäristöystävällinen menetelmä. Aukiporausta voidaan myös käyttää kaapeloinnissa esimerkiksi alueilla, joissa kanaalin tekeminen tilan ahtaudesta tai tärinärajoitteista johtuen ei ole mahdollista. Railo porataan haluttuun syvyyteen ja sähkö- tai puhelinkaapeli asennetaan pohjalle ja täytetään hienolla hiekalla. Railoa voidaan käyttää kaapeleiden jälkiasennukseen puhaltamalla hieno hiekka pois paineilmalla ja asentamalla vanhojen kaapeleiden päälle uudet.

Yhdessä tärinän estämisen kanssa kallion vahvistus- ja lujitustöiden vähentäminen tai korvaaminen aukiporauksella on yleistä. Haluttu ehjä kalliopinta voidaan ennen louhintaa aukiporata, jotta säästytään vahvistus- ja lujitustöiltä. Tunnelin suuaukoilla sivut ja ns. ”otsa” on hyvä esimerkki tästä. Lisäksi ehjä kallionpinta voi olla esteettinen osa suunnittelua rakenteessa. [8, s. 18-19.]

## 4 Tarkkuuslouhinta

Tarkkuuslouhinta jaetaan usein suoritustapansa perusteella kahteen ryhmään, raonräjäytykseen ja jälkilouhintaan. Tarkkuuslouhinnassa toleranssi vaatimukset ovat kovempia. Lisäksi kalliota voidaan louhia esteettisistä syistä ja tätä tapaa kutsutaan silolouhinnaksi. Louhittavan alueen tilaajan tulee huomioida käyttötarkoitus huolellisesti, jotta oikeat tarkkuusvaatimukset saadaan suunniteltua. Tarkkuuslouhinta vaatii aina suurempaa ominaisporausta ja erikoisratkaisuja panostuksessa. Nämä tekijät aiheuttavat huomattavia kustannuksia työlle. Hyvin sovellettuna tarkkuuslouhinnalla voidaan saavuttaa mm. seuraavia hyötyjä: [3, s. 261.]

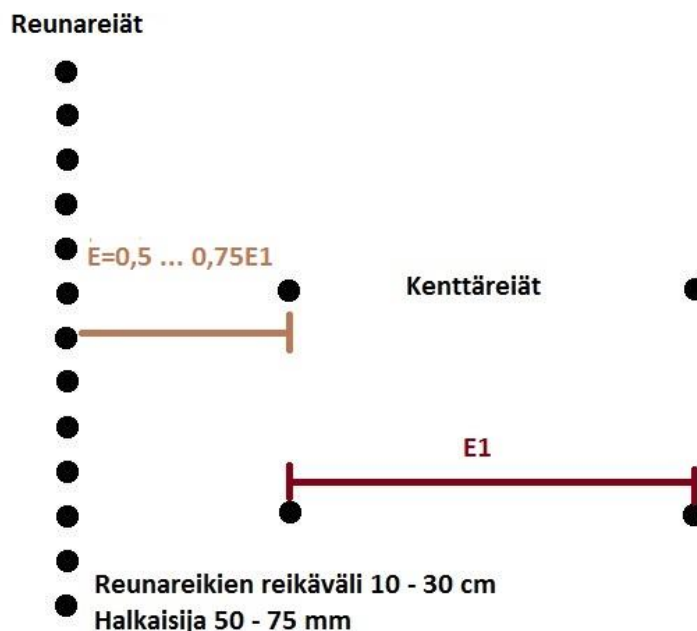
- vähäisempi betonin kulutus valettaessa kallioon
- pienempi irtokivien putoamisvaara
- vähäisempi seinien ja kattojen jälkivahvistus ja -puhdistus
- pienempi veden virtausvastus vesi- ja viemäritunneleissa
- pidentää kalliorakenteen käyttöikää ja parantaa turvallisuutta sekä vähentää kunnossapitotarvetta

### 4.1 Tarkkuuslouhinnan suunnittelu

Tarkkuuslouhinnan onnistuminen on monen tekijän summa. Ennen kaikkea siihen vaikuttaa kallion laatu, suunnittelu, poraus ja panostus. Kokemusperäinen tietous on osoittanut, että huonosta kalliosta ja toisaalta huonosti poratusta kalliosta sekä panostuksesta ei koskaan synny haluttua lopputulosta. Haluttaessa saavuttaa, jokin tietty tarkkuus louhinnalle, täytyy usein varsinaisen irrotuslouhinnan jälkeen tehdä jälkilouhintaa. Porauksen ja panostuksen suunnittelussa on kallion rakoilu otettava huomioon. Rakoja ja halkeamia tulee välttää porauksessa niin, että reiät porataan ehjälle osalle kalliota. Kentän osat eli lohkot porataan ehjälle kalliolle esim. kaksi tai useampia reikiä halkeamissuunnan varmistamiseksi. Kallion rakoilulla ja liuskeisuudella on merkitys reikävälin E ja edun V mitoituksessa.

Tutkimuksissa ja käytännössä on havaittu, että suhteen  $E/V$  tulisi olla n. 0,8. Rakoilu ja liuskeisuus ovat kallion ominaisuuksia, jotka vaikuttavat räjäytyskohdasta riippuen reikävälin ja edun mitoittamiseen. [3, s. 262.]

Haastavassa jälkilouhintakohteessa voidaan rikkonaiseen kallioon tehdä ennakkolujitusta ennen varsinaista tarkkuuslouhintaa. Rakennuksen vierestä kallion seinämää louhittaessa niin, että kentän pitkittäissuunnassa on ruuhjeyöhyke, voi kallion lustaisuus aiheuttaa vakavia seurauksia. Tämän tyyppinen louhinta vaatii ennakkopultituksen kallion lujittamiseksi ennen louhintaa. Lujituksen jälkeen voidaan porata tiheällä reikäväliä rakolinja louhinnan ja rakennuksen väliin. Usein porataan noin 10-30 cm reikäväliä ja suurta läpimittaa esim. 50-75 mm käyttäen. Tämä riippuu täysin sallitusta louhintatoleranssista. Rakolinjan reikiä ei välttämättä tarvitse panostaa ollenkaan vaan panostus tehdään n. puolen metrin päässä oleviin kenttäreikiin. Rakoreiät aiheuttavat kallion lohkeamisen porattuun rakolinjaan, kun kenttäreiät räjäytetään. Rakolinjan porausta käytetään yleensä rakennusten välittömässä läheisyydessä ja tunnelin otsia louhittaessa. Erittäin sitkeissä kivilaaduissa, kuten tummat kalliot sekä runsas ja tiheärakoisessa kalliossa joudutaan usein panostamaan kevyemmin rakolinja. Esimerkiksi joka neljäs reikä panostetaan läpimitasta riippuen 17-25 mm putkipanoksilla ja räjähtävää tulilankaa käyttäen. [3, s. 275.]



Kuva 2. Rakolinjaporausmenetelmä.

## 4.2 Tarkkuusvaatimuskäsitteet

Nykyään on muodostunut käsite louhintajälki, joka sisältää työtarkkuuden ja ennen louhintaa olevan kallion lujuuden verrattuna louhinnan jälkeiseen lujuuteen. Työtarkkuudella tarkoitetaan suunnitellun kohtisuorassa suunnassa olevan pinnan ja louhitun pinnan todellista mittapoikkeamaa. Louhintatoleranssi on työtarkkuuden enimmäispoikkeama. Toleranssin + -merkkinen arvo tarkoittaa liiallista louhintaa eli ylilouhintaa tilasta ulospäin ja -merkkinen puolestaan alilouhintaa eli kovaa. Maa RYL 2000 kohta 13.51 määrittää yleisen louhintatoleranssin 0 ... +450 mm eli T450. Tarkkuuslouhinnassa on kuitenkin louhintapinnoilla normaalia tiukemmat vaatimukset esim. +200/-0 tai T100.

Rakoiluvyöhyke on oleellinen ja kiistelty käsite louhijoiden keskuudessa. Se tarkoittaa louhinnoissa syntyvien rakojen leviämispituutta. Vyöhykkeen syvyys tai pituus ilmoitetaan metreinä tai millimetreinä. Yleensä suurin sallittu suuruus vaakaporauksessa on 0,4 metriä. Pystyporauksessa rakoiluvyöhykettä ei voida etukäteen yksiselitteisesti määrittää. Rakoiluvyöhyke rajoittaa lisäksi panostusastetta reunareijissä ja niitä lähinnä olevissa sekä täyttöastetta ja laatua. [3, s. 280.]

## 5 Timanttivaijerisahaus

Yleisesti rakennuskiviteollisuudessa käytetty louhintamenetelmä, joka perustuu sahaukseen ja siinä tärkeässä roolissa toimii vaijeri ja sen timantit. Timanttivaijerisahausta on pitkään käytetty tarvekilouhimoilla, erityisesti pehmeissä ja puolikovissa kivilajeissa, kuten kalkkikivi ja marmori. Louhimoilla ensimmäinen kami eli ns. Primäärilohkare irrotetaan käyttäen aukiporausta tai nykyään entistä enemmän timanttivaijerisahausta. Pitkään sahauksen suurin ongelma oli, ettei se soveltunut pohjoisen koviin kivilajeihin. Syy tähän oli vaijerin heikossa laadussa ja suhteessa kalliissa hinnassa. Tänä päivänä kehitys on ajanut markkinoille entistä parempia ja halvempia laitteita sekä timanttivaijerin hinta on pudonnut merkittävästi. Tämä taas tarkoittaa sitä, että vaijerisahausta voidaan tietyissä määrin alkaa soveltaa tehokkaasti louhintatöissä. Vaijerisahauksen vertaaminen perinteiseen porausräjäytysmenetelmään tai aukiporaukseen riippuu aina täysin tilanteesta. Ympäristön ja kalliolaadun erot louhittavalla alueella voivat olla hyvinkin suuria. Louhintakustannuksiin ja valittuun menetelmään vaikuttaa monta tekijää. [5, s. 19.]

## 5.1 Lyhyt historia

Timanttityökaluja on pitkään käytetty kivenjalostuksessa ja rakennusteollisuudessa. Ensimmäiset timanttivaijerisahat valmistettiin Ranskassa vuonna 1885 marmorin sahaukseen. Varhaiset timanttityökalut olivat kalliita, koska niiden valmistukseen käytettiin luonnon timantteja. Myöhemmin 1900-luvun puolivälissä alkoi synteettisten timanttien valmistus ja se aloitti timanttityökalujen varsinaisen kehityksen. Ensimmäiset vaijerisahat tulivat 1900-luvun alussa ja niiden toiminta perustui teräsvaijeriin, jota pyöritettiin väkipyörillä ja mukaan syötettiin kvartsihiekkää kiven leikkaamiseksi. Englannissa samoihin aikoihin synteettisen timantin valmistuksen kanssa alkoi timanttivaijerin käyttö. Keksittiin ratkaisu galvanoida timantteja helmiin, jotka pujotettiin vaijeriin. Samantapaista vaijeria käytetään vielä tänäkin päivänä marmoreiden louhinnassa.

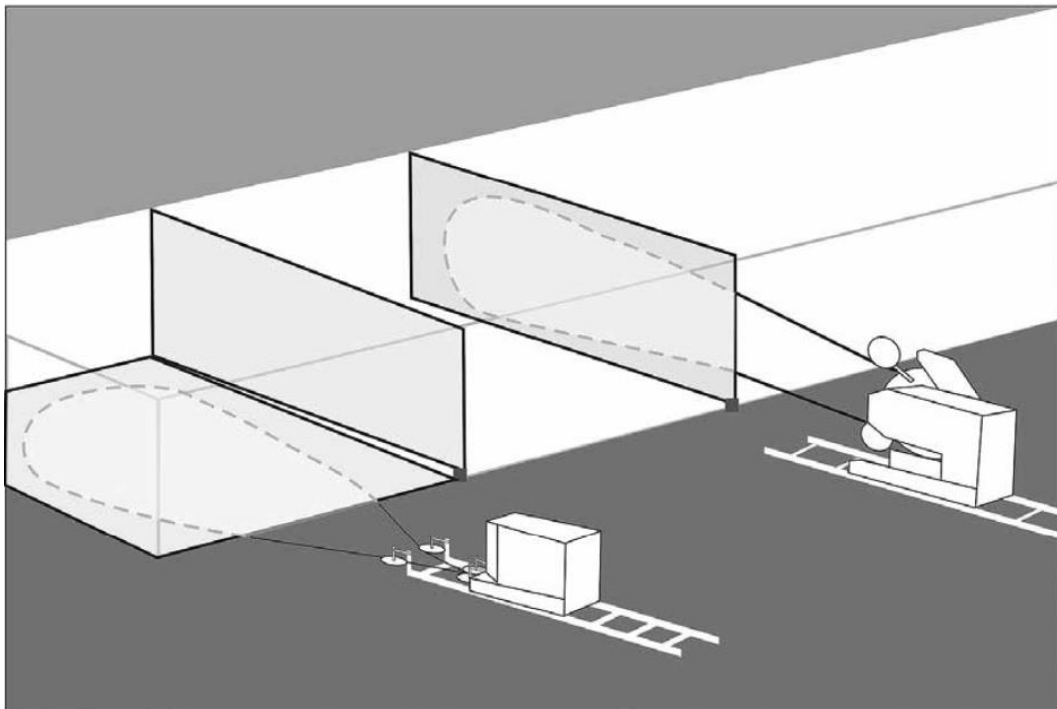
Norjassa aloitettiin ensimmäiset vaijerisahaukset jo 1980-luvulla dieselkäyttöisillä sahoilla ja tänä päivänä lähes kaikki tarvekivilouhinta tehdään sahoilla. Ruotsissa louhinta timanttivaijerilla alkoi yleistyä 1990-luvulla ja on siitä asti ollut tasaisessa kasvussa. Suomessa on Pohjois-Karjalan ja Kaakkois-Suomen muutamilla louhoksilla ollut käytössä vaijerisahausta ja kasvua on havaittavissa. [5, s. 18.]

## 5.2 Ympäristö ja käyttö

Asutusalueella tapahtuvassa louhinnassa timanttivaijerisahausta toimii ikään kuin työn tehostajana ja sillä tehdään haastavimmat paikat kohteessa. Perinteistä poraus- ja räjäytystyötä ei tulla lähitulevaisuudessa korvaamaan ja tuskin pitkään aikaan millään menetelmällä. Työtä tullaan tehostamaan ja siitä tehdään ympäristön ja ihmisten kannalta turvallista. Kaupunkialueella on paljon kohteita, joissa melun tai tärinän takia perinteinen louhinta on haastavaa tai jopa mahdotonta. Ympäristötekijöistä merkittävin on alhainen melu verrattuna esim. poraukseen, joka vaijerisahauksessa on n. 70 dB luokkaa. Irrotuksesta syntyvä kivipöly on vähäisempää ja näin ollen sen hallinta helpompaa. Timanttivaijerilla sahattu kalliopinta on lähes poikkeuksetta vähemmän rikkonainen verrattuna muilla louhintamenetelmillä irrotettuun kallioon. Toleranssiin tai esteettisyyteen pyrittäessä timanttivaijerisahausta toimii erinomaisesti. Haastavissa louhintakohteissa näistä tekijöistä on merkittävää hyötyä etenkin asutuskeskuksissa.

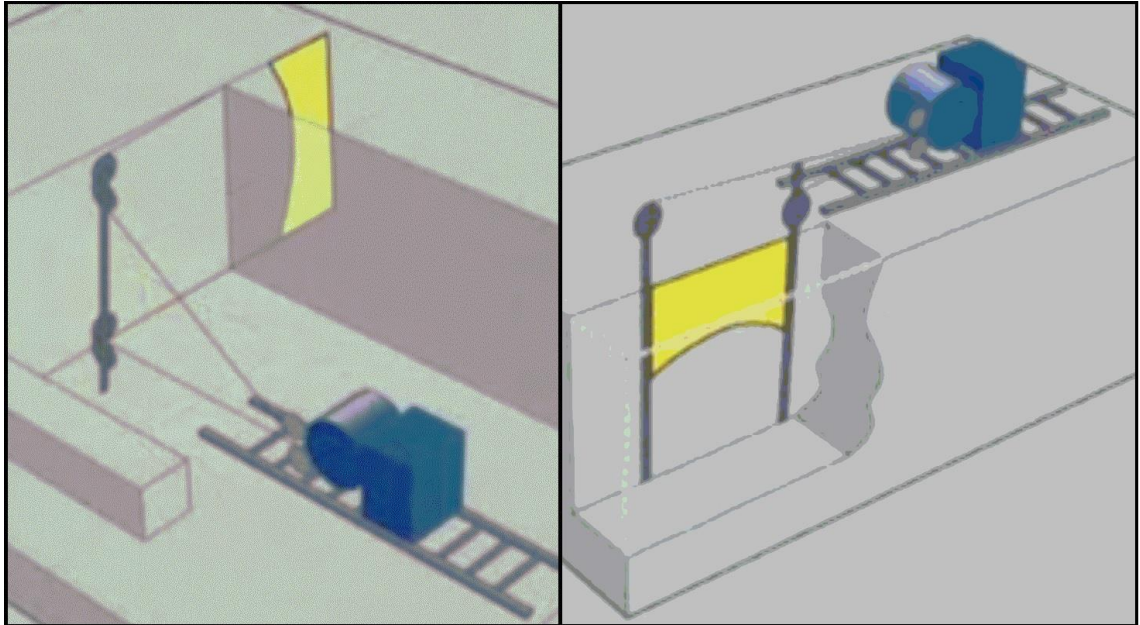
Timanttivaijerisahausten suunnittelu on tärkein työvaihe menetelmässä. Valmistajan ohjeiden mukainen laitteen asennus kohteeseen työmaalle. Sahauskiskot tulee asentaa tukevasti tasoitetulle pohjalle ja niiden pituus riippuu sahattavasta pinta-alasta. Kiskoa on hyvä olla reilusti n. 8-10 metriä, jolloin vaijeria ei tarvitse lyhentää liian usein. Vaijerin pujottamista varten täytyy suunnitella porareitit niin, että sahausliete ja -kulma otetaan huomioon. Esimerkiksi vaakareikiä poratessa on hyvä porata ne hieman yläviistoon, jotta vesi sekä sahausliete saadaan kulkemaan tehokkaasti pois. Reikäkoko riippuu sahauskalustosta ja vaijerista, mutta yleisesti voidaan sanoa sen olevan 2-3 tuumaa. Toiminnan kannalta tärkeää on pitää sahausura puhtaana ja ennen vaijerin pujottamista tulee louhepenkereen yläpuoli puhdistaa huolellisesti. Vaijerin jäähtymiseen ja kulkuun urassa käytetään vettä. Veden tarve on 6-18 litraa minuutissa ja se riippuu kalustosta, joka taas riippuu kivilaadusta, leikkuunopeudesta ja sahauskulmasta. Ennen sahausmenetelmän aloittamista tulee lisäksi varmistaa, ettei sahausalueelle pääse ulkopuolisia henkilöitä. Vaijerin pyörimisnopeus on 20-34 metriä sekunnissa ja siihen vaikuttaa kalusto, kivilaatu sekä käytössä oleva vaijeri. Suojaetäisyys sahausella on 1,5 kertaa vapaan vaijerin mitta. [5, s. 19-20.]

Teoriassa vaijerisahauksella voidaan toteuttaa mitä tahansa muotoja sahattuihin kohteisiin. Käytännössä kuitenkin voidaan sahaus jakaa kahteen osaan, eli pystysuoraan ja vaakasuoraan sahauskeeseen. Alla neljä esimerkkiä yleisimmistä sahausmenetelmistä.



Kuva 3. Pysty- ja vaakasahaus timanttivaijerilla. [5, s. 24.]

Vaijerisaha liikkuu kiskojen etuosasta taaksepäin samalla vetäen ja pyörittäen timanttivaijeria mukanaan. Tämä laitteen kiskoja pitkin muodostama veto pitää vaijerin kireällä ja aiheuttaa kitkaa vaijerin ja kalliopinnan väliin. Aloitus- ja lopetusnopeus vaijerilla tulee säätää kalliolaadun ja laitteen ohjeiden mukaan sopivaksi. Asetuksista valitaan kilogrammoina tai ampeereina tarvittavat voimat. [9, s. 17.]



Kuva 4. Kulma- ja sokkoreikäsahaus [11, s. 24.]

Tärkeä tekijä on ennen vaijerin pujottamista tehtävä reikäporaus, joka tehdään poravaunulla. Kallioon tulee porata haluttuun sahaustasoon kaksi tai kolme reikää niin, että ne kohtaavat toisensa ja timanttivaijeri on mahdollista pujottaa reikien läpi silmukaksi. Yllä olevassa kuvassa sahaus tapahtuu ylimääräisten ohjauspyörien avulla ns. 90 asteen kulmasahaus ja sokkoreikäsahaus. Lisäksi menetelmiä voidaan yhdistellä ja ohjauspyörien avulla sahauskulmia pystytään muuttaa tilanteen ja tarpeen mukaan. Sahausta varten tulee järjestää erillinen vesihuuhtelu, joka toimii jäähdytyksenä ja poistaa sahauksesta syntyvää kiviainesta sahausurasta. Turvallista käyttöä varten on määritelty timanttivaijerin pituudesta ja sahausmenetelmästä riippuen suojaetäisyydet. Yleisesti voidaan ajatella, että tärkein suojaetäisyys määritellään sahaussuunnassa, koska jos vaijeri vuoripaineen, kitkan tai kulumisen takia katkeaa se melko varmasti tulee railoa pitkin sahaussuuntaa kohti. Tämä sahaussuuntainen suojaetäisyys on sama kuin timanttivaijerin kokonaispituus L. [4, s. 24.]



### 5.3 Timanttivaijerisahauskalusto

Teollisuudessa ja rakennuskiviteollisuudessa käytetään monivaijerisahausta ja paikalleen asennettuja laitteistoja sekä profiilisahausta. Paljon tarvekilouhimoilla ja sinne alun perin tarkoitetut timanttivaijerisahauslaitteet ovat yleistyneet rakentamisessa ja niitä voidaan louhinnan lisäksi käyttää mm. purkutöissä ja betonirakentamisessa. Kalusto voidaan jakaa sähkö- ja dieselkoneisiin sekä kiskoilla tai telaketjuilla liikuteltaviin. Lisäksi vaijerin lyhentäminen sahauksen aikana voidaan laitteesta riippuen tehdä kelaamalla pyöriin tai katkaisemalla ja lyhentämällä vaijeria. Vauhtipyöriä ja ohjauspyöriä on lisäksi useita erilaisia ja erikokoisia riippuen laitteistosta ja sen käyttökohteesta.



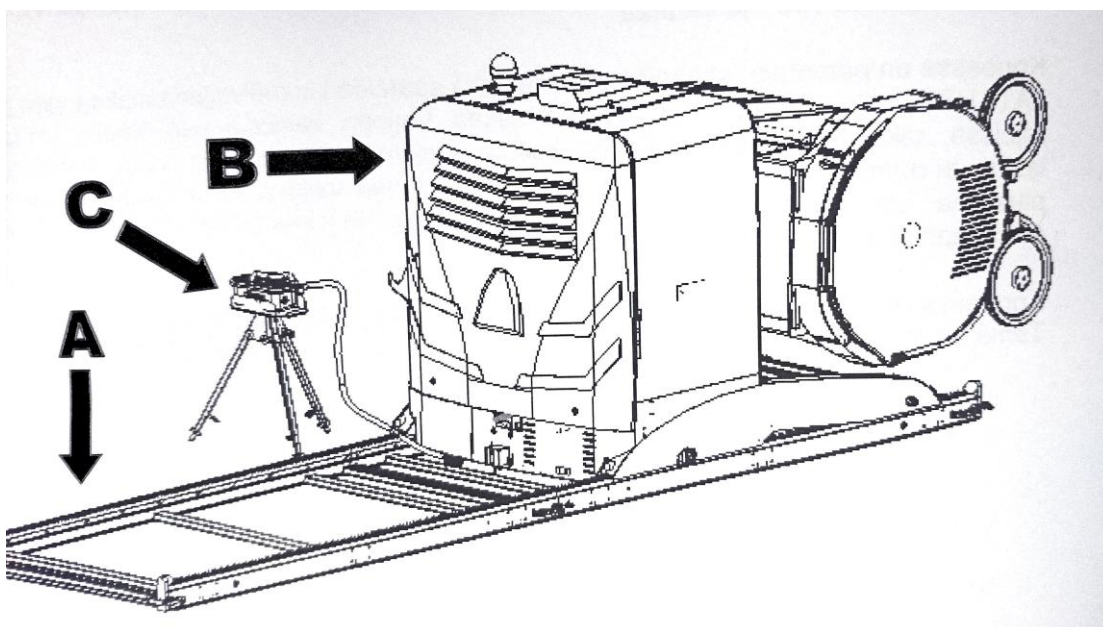
**Kuva 5. Dieselkäyttöinen timanttivaijerisaha.**

Yllä olevassa kuvassa kumiteloilla toimiva dieselkone, jossa vauhtipyörä ja ohjauspyörät liikkuvat kiinteästi koneessa olevaa kiskoa pitkin. Timanttivaijeria voidaan pidentää ja lyhentää käyttämällä pienempiä ohjauspyöriä apuna. Vaijerin ja sahaus pinta-alan suuruus määräytyy pyörien ja kiskon sekä tietoenkin kohteen perusteella. Yleisesti voidaan ajatella, että kumiteloilla toimivat laitteet soveltuvat paremmin pienempiin sahauksiin. Laitteiston valintaan vaikuttaa monta tekijää ja erityisesti sahattavan kohteen

pinta-ala ja sen ominaisuudet. Betonirakenteiden sahausissa ja ahtaissa tiloissa pienemmät kumiteloilla varustetut laitteet toimivat isompia sähkösahoja paremmin.

Suomessa louhintaan soveltuvien timanttivaijerisahojen jälleenmyynti on melko vähäistä ja suurin osa sahoista tulee ulkomailta. Tässä työssä keskityttiin Suomessa myytävään sähkökäyttöiseen sahauskalustoon, joka soveltuu yrityksen louhintatöihin. Ulkomailla myytävät sahauslaitteet ovat usein moninkertaisesti halvempia, mutta takuu ja toimivuus voi olla jotain muuta. Tulevaisuuden näkymiä ajatellen tulee ulkomailla myytäviin malleihin perehtyä jatkossa.

Louhinnassa käytetyt sähkökäyttöiset timanttivaijerisahat koostuvat kolmesta pääyksiköstä. Liukuyksikkö A, koneyksikkö B ja ohjausyksikkö C.

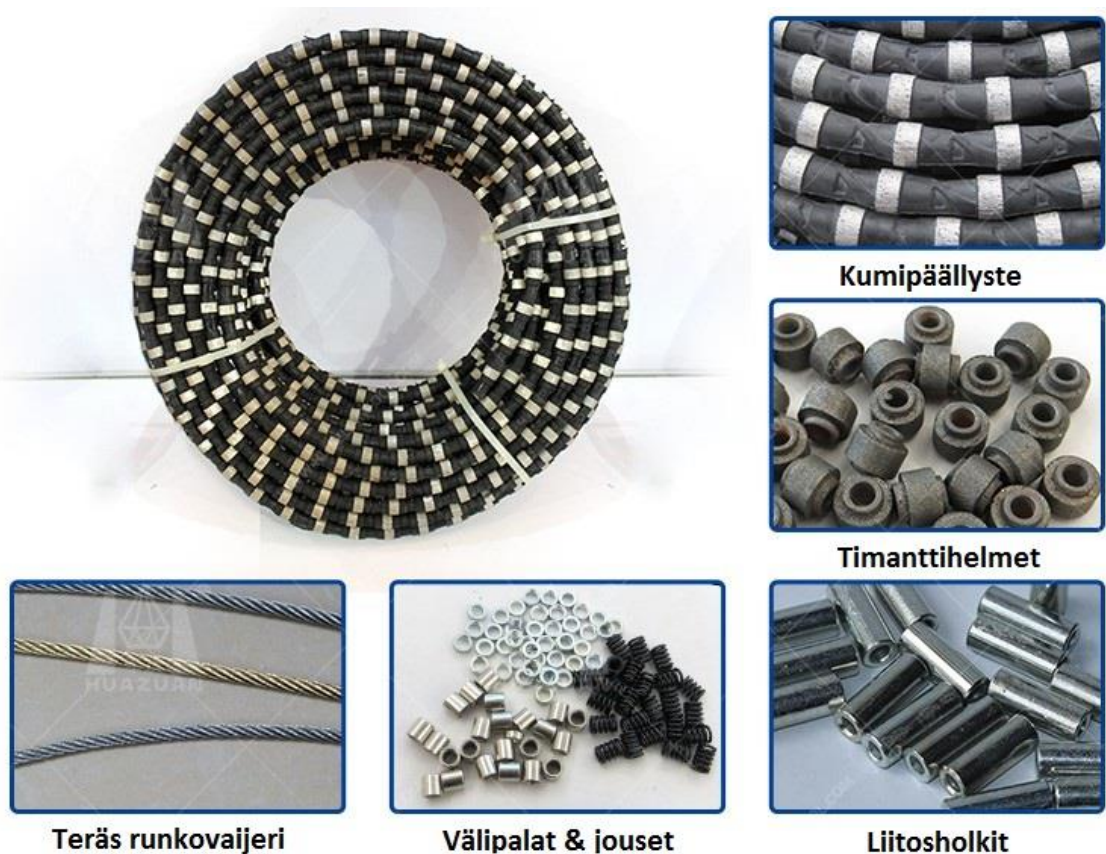


Kuva 6. Kiskoilla toimiva timanttivaijerisaha [11, s. 11.]

Liukuyksikkö on yleensä vakio pituinen ja modulaarinen, jotta kisko voidaan kytkeä kasvattamaan koneen iskua. Molemmilla kiskoilla on hammastetut osat, jotka tekevät liikkeestä tehokasta ja turvallista. Koneyksikkö koostuu kahdesta pääosasta, joita ovat laitteen runko ja vauhtipyörän runko. Vauhtipyörän runko on usein suoraan kiinnitetty koneen runkoon. Koneen päämoottorin teho riippuu käyttötarkoituksesta ja koviin kivilajeihin tehot ovat n. 55-75kW. Rungossa on kolme vauhtipyörää, joista yksi on käyttöyksikön suurempi pyörä ja pienemmät ohjausvauhtipyöriä. Vauhtipyörän

asettaminen ja liikuttelu tapahtuvat koneessa olevan hydrauliiikan avulla. Ohjausyksikkö on kiinnitetty runkoon ja sitä voidaan käyttää kauko-ohjauksella. [9, s. 9.]

Timanttivaijeri koostuu nimensä mukaisesti synteettisesti valmistetuista timanteista. Vaijeri ja sen ominaisuudet valitaan louhittavan kivilaadun mukaan niin, että pyritään mahdollisimman suureen leikkuunopeuteen tai pitkään käyttöikään tai näiden yhdistelmään. Yleisimmät timanttivaijerit graniitin louhintaan ovat 10-11,4 mm halkaisijaltaan ja timanttihelmiä on 35-40 kappaletta metrillä vaijeria. Profiilisahauksessa ja betonissa vaijerin läpimitta on 7-10 mm. Koviin kivilaatuihin tarkoitettu vaijeri on vulganoitu kumipäällysteellä, joka jousien kanssa yhdessä suojaa runkovaijeria kulumiselta. Hydraulisella puristimella vaijeria liitetään yhteen teräsholkkien avulla. Valmistajan ohjeiden mukaisesti liittimet tulisi vaihtaa 8-12 tunnin käytön jälkeen. Vaijerin tasaisen kulumisen aikaansaaminen tapahtuu pyörittämällä vaijeria oman akselinsa ympäri. Vaijerin muoto mahdollistaa automaattisen ympäripyörimisen yhdessä laitteiston ja pyörien kanssa.



Kuva 7. Timanttivaijeri ja sen komponentit.

Timanttivaijerin laatu yhdessä laitteiston kanssa vaikuttaa merkittävästi kahteen parametriin, leikkuunopeuteen ja kestoikään. Timanttivaijereita on markkinoilla paljon ja hyvän sekä laadukkaan vaijerin valinta voi joskus olla haastavaa. Norjan Larvikin alueella on pisimpään käytetty Pohjoismaissa timanttivaijerisahausta ja sieltä saatujen tutkimusten mukaan nykyaikaisella laadukkaalla vaijerilla leikkuunopeus on yli 20 m<sup>2</sup> tunnissa ja kestoikä 18-22 m<sup>2</sup>/vaijerimetri. [5, s. 19.]

## **6 Kenttätutkimus Helsingin Olympiastadion työmaalla**

Kenttätutkimus suoritettiin Helsingin olympiastadionilla. Meneillään oli maanrakennus- ja louhintavaihe koko projektin perusparannus- ja uudistamishankkeesta. Työmaan rakennuttajana toimi Helsingin kaupungin rakennusviraston HKR-Rakennuttaja yhdessä Stadion-säätiön kanssa. Pääurakoitsijana oli Lemminkäinen Infra Oy ja merkittävänä maanrakennus- ja louhintatöiden aliurakoitsijana toimi Louhintahiekka Oy.

Olympiastadion on rakennuksena museoviraston alainen suojelukohde ja ensimmäisten tarveselvitysten mukaan sen käyttöikä olisi tullut viimeistään vuonna 2020 tiensä päähän. Stadionin ensimmäinen vaihe valmistui jo vuonna 1938 ja toisessa vaiheessa tehtiin vuonna 1952 pidettäviin olympialaisiin pohjois- ja eteläkaarteeseen betonirakenteiset katsomot. Vanhimmat betonirakenteet ovat suojelun kannalta tärkein kohde ja toisaalta louhintojen kannalta haastavimmat paikat ovat juuri näiden vanhojen sekä hauraiden betonirakenteiden lähellä. Stadionin torni on myös perustettu ensimmäisessä vaiheessa vuonna 1938 ja se rakennettiin n. 2,5 metrin syvyiseen louhittuun tilaan kallionvaraisesti.

Stadionin kaikki katsomoalueet uudistetaan ja katsomot katetaan. Hankkeen valmistuttua aikaisintaan vuonna 2019 toimii uudistettu olympiastadion monitoimiareenana, jossa on liikunta-, media-, kokous- ja toimistotiloja sekä urheilumuseo. Koko hanketta toteutetaan työsuunnitelman mukaisesti siten, että uusia yleisöpalvelu-, monitoimi-, liikunta-, logistiikka- ja tekniikkatiloja rakennetaan maanalaisina laajennuksina. Louhintahiekka Oy:llä on aliurakkana kokonaisuudessaan maankaivuuta noin 70 000 m<sup>3</sup>ktr ja avolouhinnan määrä noin 150 000 m<sup>3</sup>ktr. Urakka pitää perinteisen maankaivuun ja irrotuslouhinnan lisäksi sisällään sovitulta osin purkutyöt, rakenteiden lujitukset, ruiskubetonoinnin ja tarkkuuslouhinnan. Urakka on louhintojen osalta haastava ja työvaiheet tulee yhteensovittaa sisäpuolella sekä ulkopuolella, jotta rakenteiden lujitukset ja tuennat saadaan tehtyä oikein. Sterkman



Mining Oy louhii avolouhintana kulkuyhteydet ulkopuolelta sisälle ja irrottaa katsomorakenteiden alla olevaa kalliota. Lisäksi hankkeessa on lukuisia timanttivaijerisahauksia, jotka lähinnä sijoittuvat kulkuyhteyksiin ulkopuolisista sisäpuolisiin tiloihin. Louhintahiekka Oy hoitaa sovituilta osin ulkopuoliset sahausrillot.



Kuva 8. Stadionin sisäpuoli.



Kuva 9. Stadionin ulkopuoli.

## 6.1 Avolouhinta työmaalla

Edellisistä kuvista voidaan todeta, että louhinta tapahtuu nykyisen stadion rakennuksen välittömässä läheisyydessä tai oikeastaan stadionissa. Sisäpuolella on tarkoitus louhia uusi juoksurata ja logistiikkatunneli sekä kulkuyhteydet katsomorakenteiden alta ulkopuolisiin tiloihin. Olympiastadionin sisä- ja ulkopuolella on tehty suuri määrä porausta ja käytännössä koko stadionin rakenteet on irrotettu varsinaisesta irrotuslouhinnasta rakolinjamenetelmällä tai aukiporauksella.

Kuten edellisestä kappaleesta kävi ilmi ovat stadionin vanhimmat betonirakenteet ja niiden lähistöllä tapahtuva louhinta erittäin vaativaa. Erityisesti stadionin torni asettaa haasteita louhinnalle, koska siinä lähimpänä louhittava liikuntatila ulottuu noin neljän metrin päähän tornin perustuksista. Louhittavaa kalliota tornin lähellä on paljon ja se ulottuu alimmillaan yli 10 metriä nykyisestä tornin perustuksesta alaspäin. Kalliotekniikan kokeneen insinöörin mukaan tornin osalta louhinta on Suomen haastavin tähän mennessä, koska aikaisempaa kokemusta ei ole vastaavasta korkean ja hoikan rakenteen vieressä tapahtuvasta louhinnasta. Suomalaisia tärinäraja-arvo normeja ei voida täysin soveltaa louhinnoissa vaan on käytettävä tutkimusperäisesti saksalaista DIN-normia sekä soveltaa Simon tuulivoimalan läheisyydessä tehtyjä louhintatietoja.



**Kuva 10. Tornin aukiporaus ja lujitustyöt.**

Hankkeessa on toteutettu lukuisia katselmuksia louhintaa varten ja räjäytuskonsultoinnista sekä mittareista vastaa Kalliotekniikka Oy. Heti ensimmäisten louhintakatselmointien jälkeen päädyttiin asentamaan 25 kpl tärinää mittaavia laitteita kriittisiin kohtiin stadionissa. Tärinämittarit asennettiin kalliotekniikan toimesta ja niiden paikat määräytyivät katselmoinnin ja suunnittelun pohjalta. Paikkoina olivat pilareiden alareunat lähellä louhintaa sekä vastaavasti pilari- ja palkkirakenteiden yläosat. Tärinämittareita lisättiin louhintojen edetessä ja loppuvuodesta 2016 niitä oli asennettu lähes jokaiseen pilariin stadionissa.

## 6.2 Irtiporaus

Irtiporausta oli suunniteltu stadionin sisä- sekä ulkopuolelle. Sisäpuolella poraus suoritettiin suoran osuudella, jossa katsomon katosrakenne oli erityisen tärinäherkkä. Ulkopuolella oli haastava osuus porattavana. Porauksen työläimpänä alueena oli tornin läheisyydessä tapahtuva irtiporaus. Tornin juuressa tehtävä irtiporaus suoritettiin neljän metrin kerroksissa, koska kallionvarainen torniperustus vaati vahvistusta. Ennakkopulttit porattiin aukiporattuun seinämään kerrosten edetessä. Poraurailon vierestä suoritettiin pulttauksen jälkeen varsinainen irrotuslouhinta.

### 6.2.1 Kalusto

Porauksessa käytettiin lähinnä aliurakoitsijoita, kuten Kymen Kalliotyö Oy, PLP-Kivi Oy ja Manninen Oy sekä lisäksi kenttäreikiä porattiin oman kaluston lisäksi VL Kalliotyö Oy:n vaunulla. Sisä- ja ulkopuolella irtiporausta teki PLP-Kivi Oy ja Kymen Kalliotyö Oy Tamrock vaunuilla. Kalustoresurssien tarve hankkeessa oli suuri ja tämän takia kustannustehokas tapa oli käyttää hyviksi todettuja alihankkijoita poraustyössä. Irtiporausta tehtiin parhaimmillaan sisäpuolella kahdella Tamrock 600s vaunulla ja ulkopuolella Rangereilla sekä lisäksi kenttäreikiä porattiin kahdella vaunulla. Commandoja käytettiin kenttäreikien lisäksi lujituspulttien poraukseen.

- Tamrock 600dha 2kpl
- Ranger 780 2kpl
- Atlas Copco T35
- Commando 2kpl





**Kuva 11. Tamrock 600s aukiporausta sisäpuolella.**

### 6.2.2 Kustannustehokkuus

Irtiporauksen kustannuksiin vaikuttaa mm. kalliolaatu ja sen muoto, porausmäärät ja syvyydet sekä kalustokuljetukset. Kallionlaatu ja erityisesti sen lustaisuus aiheuttavat porauksessa suunnan muutoksia ja porauksen hidastumista. Kalliopinnan muodoista johtuvat suuret korkeuserot voidaan tiukassa paikassa joutua tasaamaan betonivalulla. Tässä kohteessa kalliolaatu ja sen lustaisuus sekä muodot olivat kustannuksien näkökulmasta hyvät. Porausmäärät ja kaluston liikuttaminen kohteesta toiseen tosin kulutti aikaa ja sitä kautta kasvatti kustannuksia.

Irtiporauksen osalta työsuoritukset olivat melko hyvin ennustettavissa. Työsaavutusten perusteella määriteltiin poraukselle työmenekki ja porausmetrien sijaan käytettiin porausrillon seinämän pinta-alaa neliönä saavutuksen laskentaan. Yksikköhinta irtiporaukselle määritellään neliometriä kohden. Ympäristötekijöistä ja hankkeesta riippuen hinta vaihtelee 100-200 euron välillä. Hyvissä olosuhteissa työsaavutus on 10-15 m<sup>2</sup> työvuoroa kohden. [8, s. 19.]



### 6.2.3 Laatu ja ympäristö

Stadionin sijainnista johtuen melua aiheuttavat työt louhintaurakkaan määriteltiin arkisin kello 07-18. Kuuden jälkeen iltaisin tehtävä työ piti sisällään lähinnä louheen kuormausta ja kuljetusta. Poraus- ja louhintatyöt pyrittiin tekemään päivän aikana. Aikataulun ohjaamana työt tehtiin pääsääntöisesti arkena ja viikonloppuja pyrittiin välttämään, ainakin räjäytystöiden osalta. Poraustyössä syntyvä pöly ei vaatinut porauskaluston oman sidontakaluston lisäksi erityistoimenpiteitä. Pääurakoitsijan toimesta stadionille asennettiin ilmanvaihtojärjestelmiä lähinnä katsomorakenteiden alla ja sisäpuolella tapahtuviin louhintoihin. Olympiastadionin tilava ja avara rakenne huolehti luonnollisesti ilmanvaihdosta ulkopuolella. Irtiporauksessa kallion lustaisuus aiheutti muutamissa railoissa normaalia enemmän työtä. Muutoin kallionlaatu ja korkeuserot sisä- ja ulkopuolella tehtävään irtiporaukseen olivat hyvät. Timanttivaijerisahauksille ongelmia ja haasteita aiheutti lähinnä kallion rikkonaisuus sahauskohdissa. Lustat ja ylimääräinen kiviaines rikkonaisessa kivessä hankaloitti stadionilla tehtyä koesahausta ja kulutti siten aikaa ja kustannuksia odotettua enemmän.

### 6.3 Timanttivaijerisahaus

Louhintahiekka Oy hankki timanttivaijerisahaukseen kaluston syksyllä 2016. Kaluston hankintaan vaikutti pitkälti Olympiastadion työmaan urakassa muodostuneet ongelmakohdat. Perinteistä poraus-räjäytysmenetelmää on pitkään jalostettu asutuskeskuslouhinnoissa ja siinä osaaminen on vuosikymmenten työn aikaansaannos. Nykyajan louhinnat kaupunkialueella kuitenkin vaativat entistä enemmän kokemusta vaativista louhinnoista ja menetelmiä ongelmien ratkaisuun on hyvä olla monia.

Louhintojen edetessä huomattiin, ettei tiettyjä stadionin katsomorakenteiden alapuolisia louhintoja voida toteuttaa perinteisin menetelmin. Kalusto hankittiin hankkeeseen tekemään ensisijaisesti aukiporausta vastaavaa työtä ahtaissa tiloissa. Toki mekaanisesti voidaan louhia, mutta tarvittava aika ja kustannustehokkuus on asia erikseen. Timanttivaijerisahauksella pyritään ympäristön, laadun ja kustannustehokkuuden näkökulmasta toteuttamaan erilaisia muutoin mahdottomia louhintoja sekä parantamaan yrityksen tarjontaa kehittyvässä infrarakentamisessa.

### 6.3.1 Atlas SpeedCut 75

Työmaalle hankittu timanttivaijerisahauskalusto on Atlas Copco:n valmistama SpeedCut 75 laitteisto. Laitteisto koostuu kolmesta pääyksiköstä, jotka ovat koneyksikkö, liukukiskot ja PMI-ohjausyksikkö. Lisäksi laitteeseen on lisävarusteena hankittu ns. kulmasahausta ja sokkoreikäsaahausta varten ylimääräisiä ohjauspyöriä tankoineen. Lisävarusteet vaativat muokkausta konepajalla, jotta ne soveltuvat yrityksen louhintatöiden käyttöön halutulla tavalla.



Kuva 12. Atlas Copco SpeedCut koneyksikkö.

Ylläolevassa kuvassa työmaalle hankittu koneyksikkö. Laitteisto on kaikin puolin kappaleessa 5.3 timanttivaijerisahauskalusto kaltainen. Koneyksikkö sisältää ison vauhtipyörän ja kaksi ohjauspyörää, jotka ovat kiinnitetty runkoon. Harmaa osa koneesta on pyörien liikutteluun tarkoitettu hydraulikkajärjestelmä. Järjestelmässä on moottoroitu lisäpyörä, joka mahdollistaa vauhtipyörän rungon 360 asteen kierron. Hydraulisylinteri huolehtii koneen moottorin ja päävauhtipyörän poikittaisliikkeestä. Lisäksi molemmille hydraulisyksiköille voidaan asettaa kaksi eri liikenopeutta PMI-ohjausyksiköllä. [9, s. 6.]

Taulukko 1. Atlas SpeedCut tekniset tiedot. [9, s. 10.]

Päämoottorin teho ja liitäntätyyppi	75 hv 125A pistoke
Invertterit	Omron (YASKAWA)
Timanttivaijerin nopeus	0-40 m/s
Päävauhtipyörän halkaisija	800 mm
Ohjausvauhtipyörän halkaisija	425 mm
Päävauhtipyörän kiertoalue	360 astetta
Sähkömekaaninen paneeli	Tuuletettu ja suodatinjärjestelmä
Koneyksikön paino	2300 kg

### 6.3.2 Käyttö ja koesahaus

Timanttivaijerisahauskaluston ensimmäinen haaste työmaalla oli suorittaa koesahaus ja varmistaa oikeaoppinen laitteen käyttö. Laitteen käyttöä varten jälleenmyyjältä tuli työmaalle asiantuntija neuvomaan ja varmistamaan laitteen käyttöä koesahauksessa. Laitteen koesahaus suoritettiin stadionin ulkopuolella tulevan logistiikka-alueen louhintapohjalla. Tuleva ongelmakohta työmaalla oli juuri logistiikkatilan ja stadionin sisäpuolisen tilan käytävyyhteys katsomorakenteiden alla. Tilat tuli yhdistää avolouhinnalla pilari-palkkirakenteen sisällä katsomon alapuolella. Työsuunnitelmissa oli määrätty louhintataso käytävälle niin alas, että pilari-palkkirakenne täytyi tukea porapaaluilla ennen välin louhintaa. Rakenteiden läheisyyden takia irrotuslouhintaa ei voitu perinteisesti tehdä poraus-räjäytysmenetelmällä ja toisaalta tilan ahtauden takia aukiporausta ei voitu suorittaa katsomorakenteiden alapuolella. Näin ollen päädyttiin timanttivaijerisahaukseen.

Laitteen käyttöönotto vaatii tasaisen pohjan ja tarpeeksi kiskopituutta pohjalle. Pohjan kaltevuus voi enintään poiketa pituussuuntaan kuusi astetta ja leveyssuuntaan kolme astetta. Ensimmäinen vaihe työssä oli tehdä kaivinkoneella murskepohja ja tiivistää se täryjyrällä. Kun pohja oli tasattu ja pituutta oli tarpeeksi, työmaalle tuotiin sahauskalusto. Liukukiskojen pituus on 3 metriä ja koesahausta varten kiskoja asennettiin 9 metriä murskepohjalle. Kiskojen pituus vaikuttaa laitteen liikkeeseen ja mitä pidemmät kiskot, sitä vähemmän vaijeria tarvitsee lyhentää sahauskessa. Lisäksi hammastetut kiskot pitävät laitteen tukevasti paikallaan kun sahaus etenee.

Asennus tapahtui asentamalla kisko murskeen päälle ja liittämällä kiskot toisiinsa lukoilla. Lukituskohdat toimivat maadoituksena kiskoille ja koneyksikön paino pitää kiskot tukevasti paikallaan. Koneyksikkö toimii sähköllä ja kuluttaa sitä suhteellisen paljon, joten vuokrasimme oman sähkögeneraattorin laitteelle. Generaattorin täytyi tuottaa virtaa yli laitteen tehon, jotta sahaa voidaan käyttää turvallisesti. Vaijerin asentamisen jälkeen tuli määrittää turvallinen suojaetäisyys vaijeripituuden perusteella. Koesahaus aloitettiin niin, että louhepenkereen korkeus oli noin kuusi metriä ja sahaus toteutettiin pystysahausta. Koesahauksen tarkoitus oli koeluontoisesti sahata vain vähäinen pinta-ala, jotta nähdään kallionlaatu ja varmistetaan laitteen toimivuus. Timanttivaijeria sahaukseen käytettiin noin 40 metriä, jolloin suojaetäisyys sahauksella tuli pituussuuntaan olla vähintään 60 metriä. Laitteen sivuilla suojaetäisyydet olivat neljäsosan vaijerin pituudesta eli 7,5 metriä. Sahauskalusto voi toimia täysin automaattisesti, puoliautomaattisesti tai manuaalisesti riippuen valituista asetuksista. PMI-ohjausyksikköön määritetään sahausta varten parametrit. Laitteessa on kuormauksen hallintajärjestelmä, joka mahdollistaa voimien ja liikkeen automaattisen ohjauksen määritettyjä parametrejä noudattaen.



Kuva 13. Koesahaus valmiina alkamaan.



Sahausta varten laitteeseen syötettiin valmistajan ohjeiden mukaiset säädöt mm. vauhtipyörän nopeus, vaijerin kireyden hallinta ampeereina tai kilogrammoina, liikkeen hallinta ja nopeus kiskoilla sekä kynnsarvot ja takaisinvetonopeus. Kuormauksen hallintajärjestelmällä on tässä laitteessa mahdollista ajaa puoliautomaattisesti testisahaus, jonka perusteella hallintajärjestelmä laskee tarvittavan liikenopeuden kiskoilla ja pitää vaijerin tiukalla. Tämän järjestelmän ansiosta laite pystyy toimimaan täysin automaattisesti. Louhintatyömailla kallion muoto ja ominaisuudet tekevät sahauksesta haastavaa, joten käytännössä ilman laitteen käyttäjää ei sahausta pysty suorittamaan loppuun. Vuoripaine kalliossa ja railon tukkeutuminen sahauksen aikana pysäyttää ja pahimmassa tapauksessa katkaisee vaijerin. Lisäksi käyttäjän vastuulla on huolehtia suojaetäisyydet sahauksen aikana.

### 6.3.3 Kustannustehokkuus

Kalustolle asetetut vaatimukset ja odotukset olivat epävarmoja, koska yrityksellä ei ollut aikaisempaa kokemusta vastaavanlaisesta työstä. Yrityksen hankintaosasto toki tiesi ennen hankintaa, että samanlaisia sahauksia oli toteutettu Lemminkäisen toimesta laadun ja kustannuksien näkökulmasta kannattavasti. Ensimmäisten päivien sahauksista voidaan todeta, että ne olivat puhtaasti uuden oppimista eikä tarkkoja neliöpinta-aloja kannattanut vielä laskea. Lisäksi sahauksessa oli odotettua enemmän ongelmia, joka johtui osittain suuresta kallion vuoripaineesta ja parametrien virheellisyydestä. Heti toisena päivänä timanttivaijeri katkesi liitosholkin kohdalta. Jälleenmyyjän asiantuntijan mukaan kallion rikkonaisuus yhdessä suuren vuoripaineen kanssa aiheutti vaijeriin normaalista suurempaa kuormaa. Tämä huomattiin myös seuraavan päivän sahauksessa. Kallion vuoripaine vaikutti ensimmäisen sahauspäivän yönä niin, että railon yläpuoli pieneni juuri sen verran, ettei vaijeri enää mahtunut sahattuun railoon.

Seuraavana päivänä muutimme parametreja ja aloitimme sahauksen pienemmällä nopeudella ja voimalla, jotta vaijeri asettuisi railoon. Vesihuuhtelun lisääminen ja timanttivaijerin vetäminen hitaasti nopeutta kasvattaen poisti railoon jääneen ylimääräisen kiviaineksen ja sahausta pystyttiin jatkamaan. Timanttivaijerin asettumisen jälkeen vetoa voitiin lisätä ja koesahaus noin 24 m<sup>2</sup> suoritettiin seuraavan muutaman tunnin aikana loppuun. Timanttivaijerisahauksen loputtua sahausrailo puhdistettiin ylhäältä päin vesihuuhtelulla ja paineilmalla.

## 7 Kenttätutkimus Länsimetron työmaalla

Länsimetron toinen rakennusvaihe pitää sisällään viisi asemaa ja yhteensä seitsemän kilometriä aina Matinkylästä Kivenlahteen. Timanttivaijerisahauksia jatkettiin Olympiastadionin jälkeen Kivenlahden asemilla sekä tunnelissa. Kivenlahden sisäänkäyntejä ja tunneliosuutta rakennuttaa Länsimetro Oy ja pääurakoitsijana toimii Kalliorakennus-Yhtiöt Oy. Louhintahiekka Oy:n urakkaan kuului kahden sisäänkäynnin ja huoltokuilun avolouhinnat. Sisäänkäynnit Kivenlahdessa jakaantuvat itäpuolen sisäänkäyntiin torilla sekä länsipuolen huolto- ja sisäänkäyntikuiluun.

### 7.1 Timanttivaijerisahaus Kivenlahdessa

Kivenlahden itäpuolen sisäänkäynnin avolouhintojen yhteydessä tehtiin suunnitelmien mukaisesti aukiporausta suuaukolla. Louhinnat aloitettiin itäpuolella kesällä 2016 ja suunnitelmia aseman louhintojen osalta päivitettiin vielä myöhemmin. Louhinnat lähti käyntiin louhintarajojen aukiporauksella ja perinteisellä poraus-räjäytys avolouhinnalla. Ensimmäinen aukiporaus tehtiin muutaman metrin syvyyteen. Aukiporauksen jälkeen jatkettiin rakolinjalla ja kenttärei'illä louhintaa. Porauskalustoa oli toteutushetkellä vaikea saada ja sen johdosta syntyi ajatus toteuttaa otsan ja yhden seinämän poraukset timanttivaijerisahauksella.

Louhintahiekalta Pasi Kurki hoiti urakkaan kuuluvat louhintatyöt hankkeessa ja yhdessä suunnittelijoiden ja pääurakoitsijan kanssa päädyttiin toteuttamaan timanttivaijerisahaukset asemalla. Sahaus toteutettiin kahdessa osassa seinämien pohjatason perusteella. Lisäksi suuaukon louhintojen jälkeen suunnitelmiin tuli muutoksia, jotka helpottivat päätöstä sahata ylemmän tason seinämä toleranssiin louhintarajan muututtua. Tunnelin suuaukon otsan kohdalta avolouhinta toteutettiin louhintatasoon, jonka jälkeen alemmalta tasolta porattiin vaakareikä ylemmän tason seinämän alareunaan sekä pystyreikä. Timanttivaijerisahaus toteutettiin vaakareiän tasolta pystysahauksena vaijerin pujottamisen jälkeen. Ylemmän seinämän louhinta sahaamalla vaati myös pienemmän väliin jääneen seinämän poistoa louhimalla ennen varsinaista sahausta. Kulmasta louhitun lohkon jälkeen timanttivaijerisahaus voitiin toteuttaa halutulla tavalla.



**Kuva 14. Kivenlahti ylempi seinämä.**

Tunnelin suuaukon otsan seinämä oli alunperin suunniteltu aukiporattavaksi. Tilan ahtaudesta johtuen sen hetkiselällä kalustolla sitä ei kuitenkaan voitu järkevästi toteuttaa. Näin ollen yhdessä suunnittelijan ja pääurakoitsijan kanssa päädyttiin sahaamaan timanttivaijerilla otsan seinämä. Timanttivaijerisahausta varten täytyi porata vaijerille reiät sekä asentaa kalusto tunneliin.



**Kuva 15. Sahauskalusto asennettu tunneliin.**

Yllä olevassa kuvassa sahauskalusto asennettu tunneliin. Sahauskiskoja on 9 metriä ja pyöriä vaijerisuunnalle kaksi kappaletta sekä tietenkin laitteiston omat ohjauspyörät. Ohjauspyörä on asennettu tukevasti betoniseen lisäpainoon. Vesihuuhtelu railoon kulkee tunnelin yläpuolelta poraus reikiä pitkin alas. Sisäänkäynnin otsan sahauksessa tarkasti mitatut porareivät ja huolellinen suunnittelu laitteen asennuksessa sekä tarpeellinen vesihuuhtelu railoon oli tärkeää. Tunnelin päältä porattiin pystyreikiä kaksi kappaletta sekä vaakareikä tunnelista toiseen tunneliin. Vaakareiän ja tunnelin toisessa päässä on ohjauspyörä, joka on kiinnitetty tunnelin seinämään. Toinen ohjauspyörä ei näy yllä olevassa kuvassa. Ohjauspyörän kautta vaijeri kulkee pystyreikää pitkin ylös. Alhaalta ylöspäin vetävä vaijeriliike pystyreikässä muodostaa suunnitellun kaarevan muodon otsaan.

Haasteita ja ongelmia tässä sahauksessa oli lähinnä kallionlaadussa. Kallio oli osittain erittäin rikkonaista ja tunnelin päällä olevat lustat aiheuttivat odotettua enemmän kitkaa vaijeriin. Vesihuuhtelua ylhäältä täytyi seurata ja laitteistoa sahauksen aikana tarkasti. Timanttivaijerin nopeus oli keskimäärin 25 m/s. Joka päivä timanttivaijeri jumittui muutamia kertoja irtokiven ja sahauksesta syntyvän kiviaineksen johdosta ja sahaus pysäytettiin. Laitteistoon säädetty enimmäisarvo timanttivaijerin voimalle kilogrammoina pysäyttää sahauksen jumittumisen aikana. Vaarana liiallisessa voimassa jumittumisen aikana on vaijerin katkeaminen ja mahdolliset laitevauriot. Timanttivaijerin sai usein liikkumaan vetämällä käsin vaijeria ja lisäämällä vesihuuhtelua ylhäältä päin. Sahausnopeutta säätämällä hitaasti ylöspäin yhdessä vesihuuhtelun kanssa yleensä viimeistään käynnistää sahauksen uudelleen jumittumisen jälkeen.



Kuva 16. Itäpuolen sisäänkäynnin otsa.



Kuvassa aseman sisäänkäynnin otsa sahattuna. Siinä näkyy hyvin pitkä pystysuora lusta kallioseinämässä. Lustasta timanttivaijerisahauksen aikana irronnut kiviaines aiheutti ylimääräistä kitkaa tukkimalla railoa ja tämän johdosta sahaus pysäytettiin monta kertaa. Sahauspinta-ala seinämällä oli n. 140 m<sup>2</sup> ja pääosin sahausta hankaloitti lustasta irronnut ylimääräinen kiviaines. Lisäksi veishuuhtelu ja määrä oli kohtuullisen suuri, koska sahauspinta-alaa oli seinämällä paljon. Vettä varten käytettiin pääurakoitsijalle ja työmaalle tehtyä vesipistettä. Kuten kuvista näkyy on kallio timanttivaijerisahauksen jälkeen ehjää ja se helpottaa lujitus- ja vahvistustöitä huomattavasti.

Kivenlahteen tulee yhteensä kolme sisäänkäyntiä ja länsipuolella louhinnat käynnistyvät alkuvuodesta 2017. Siellä on tarkoitus jatkaa sahauksia samalla periaatteella, mutta seinämiä sahataan useampia kuin itäpuolella. Itäpuolella hyvin onnistuneet timanttivaijerisahaukset herättivät rakentajien mielenkiinnon ja siitä kiinnostuneena suunnittelua ohjattiin sahauksia silmällä pitäen. Kivenlahteen on tarkoitus tehdä länsipuolen louhintakuiluun vielä alkuvuodesta 2017 lisää timanttivaijerisahauksia. Itäpuolella hyvin onnistuneet timanttisahaukset antoivat lisävirtaa sahaukselle ja sitä tullaan käyttämään myös jatkossa hankkeessa.

## **8 Tulokset**

Timanttivaijerisahauksen ja aukiporauksen osalta tulokset työmenekin laskemiseksi tehtiin työsaavutusten laskennalla Excel-asiakirjaan. Lisäksi ohjelmaan laskettiin työsaavutusten perusteella menetelmille työmenekki. Työsaavutukset ja tarkemmat tiedot esitetään ainoastaan yritykselle asiakirjassa liitteenä. Seuranta tehtiin viiden työvuoron aikana Olympistadionin sekä Länsimetron työmailla. Aukiporauksesta yrityksellä oli edellisten kohteiden jälkilaskentatietoja ja niitä käyttämällä tehtiin kustannusvertailua menetelmien välillä. Lisäksi laskettiin erikseen omalle sahauskalustolle työtunteihin ja kustannuksiin perustuen teoreettinen tuntihinta eur/h. Tuntihintalaskelma on esitetty liitteenä ja siihen on laskettu yhden työntekijän vuosipalkka sekä kalustosta muodostuvat kustannukset ja nostot sekä kuljetukset teoreettisesti työtunteihin perustuen. Todellisuudessa kenttätutkimukset ovat osoittaneet, että yhdellä työntekijällä vaativia isoja timanttivaijerisahauksia ei ole järkevä toteuttaa ja lisäksi laitteen työtunteja vuositasolla on vaikea määrittää. Ohjauspyörien ja lisäpainojen asentaminen sekä itse laitteen asentaminen ennen sahausta vaatii lähes poikkeuksetta kaksi työntekijää. Vesihuuhtelun järjestäminen ja sen seuranta työnaikana

on myös hyvä tehdä toisen työntekijän turvin. Laitteen käyttäjä ei voi poistua sahauksen aikana ja näin ollen vesihuuheltuun ja muihin ongelmiin on asennuksessa ja sahauksessa hyvä olla muutama työntekijä.

### 8.1 Timanttivaijerisahaus

Timanttivaijerisahauksen käyttöä louhinnoissa pohdittiin usein ja todettiin Olympiastadionin oman organisaation kanssa viikon "harjoittelun" jälkeen, että menetelmällä on selvää käyttöä. Sen hyödyntäminen ahtaissa tiloissa rakenteiden ja rakennusten läheisyydessä voi olla monesti ainut järkevä vaihtoehto. Sahauksella pystytään toteuttamaan aikaisemmin mahdottomina pidettyjä louhintoja. Lisäksi tunnelin kuilulouhinnoissa seinämien aukiporauksen korvaaminen osittain sahauksella on monesti laadun ja ympäristön kannalta erinomainen vaihtoehto. Olympiastadionilla koehauksessa oli ongelmia, mutta ne olivat odotettuja. Timanttivaijerisahauksessa on erittäin oleellista hahmottaa kallionlaatua ja osata sitä kautta valita oikeat parametrit ja vaijerityyppi eri sahauksille. Vaativiin sahauksiin tulee lisäksi asentaa tukirakenteita ja lisäpainoja ohjauspyöriä varten. Laitteen ohjaaja laittaa asetukset ja säätää laitteiston sekä varmistaa turvallisen ja oikean tavan suorittaa timanttivaijerisahauksen. Asetetut säädöt laitteeseen ja asennuksessa tapahtuvat virheet maksavat aikaa ja lisäävät kalustokustannuksia. Kaluston tuntemuksella on selvä vaikutus suoritukseen ja lopputulokseen.

Olympiastadionin ja varsinkin länsimetron työmaan timanttivaijerisahaukset osoittivat sen, että hyvissä olosuhteissa aivan kuten tarvekilouhinnoissa railon sahauksen työsaavutukset ovat suurempia mitä vastaavasti aukiporauksella. Täytyy muistaa kuitenkin, että se muu työ, joka tehdään ennen sahausta on varsin kallista ja vaatii usein huolellista suunnittelua ja osaamista. Sähkökäyttöinen timanttivaijerisahaus on usein tehokasta ja turvallista esimerkiksi tunneleissa ja isoissa seinämissä. Voimalähteen ja laitteiston kuljettaminen tunneliin vaatii kuormausnosturin tai vastaavan sekä timanttivaijerisahan asennus kiskoille tapahtuu nosturilla. Sahausta varten tarvitaan tasainen alusta, joka täytyy tehdä usein kaivinkoneella tai pyöräkuormaajalla. Vesihuuheltu railoon on järjestettävä erikseen sekä huolehdittava tarvittavat suojaetäisyydet sahaukselle. Sahauskaluston asentaminen vaatii aina vähintään kaksi muuta työkonetta sekä rakennusammattimiestä ennen kuin työ voidaan varsinaisesti aloittaa. Suuria ja haastavia seinämä pinta-aloja sahattaessa täytyy ohjauspyörille

asentaa tarvittavat lisäpainot riippuen vaijerin vedon voimasta. Ahtaissa tärinäherkissä tiloissa ja ympäristörajoituksista johtuen on timanttivaijerisahaus monesti se ainut vaihtoehto toteuttaa haluttu railo kallioon. Poraukseen vaadittava tila ja siitä syntyvä melu sekä pöly voidaan kätevästi korvata hiljaisella timanttivaijerisahauksella. Kustannustehokkuus ja kustannukset timanttivaijerisahaukselle on täysin tapauskohtaista. Neliöhintaan seinämässä vaikuttaa kuljetukset ja myös kaikki se asennustyö, joka täytyy tehdä ennen sahausta sekä kallionlaatu.

## 8.2 Aukiporaus

Aukiporausta tullaan käyttämään vielä pitkään ja sitä ei pysty timanttivaijerisahaus korvaamaan kokonaan. Menetelmiä vertailtiin lähinnä siitä syntyvän railon ja neliö pinta-alan perusteella. Ennen kenttätutkimusta tiedettiin jo melko hyvin hyvissä olosuhteissa tapahtuvan aukiporauksen työsaavutus ja -menekki. Excel-asiakirjaan laskettiin irtiporauksen työsaavutukset viiden päivän ajalta ja niistä muodostettiin yksiköille työmenekki. Aivan kuten timanttivaijerisahauksessa neliöhinta ja kustannukset ovat täysin riippuvaisia kohteesta. Kuitenkin aukiporauksessa tarvittava resurssimäärä yksiköissä on vähäisempi ja siten helpommin laskettavissa. Edeltävät työt poraukselle, kuten maan tai louheen kaivu porauslinjalta kuuluu eri kustannusyksikköihin ja itse poraustyössä on ainoastaan vaunu ja sen kuljettaja sekä irtiporauskalusto. Irtiporauksen määrä metreissä, railojen syvyydet ja pituudet, kallion muodot ja laatu sekä kuljetuskustannukset muodostavat kohteelle hinnan.

## 8.3 Kustannustehokkuus työmaalla

Timanttivaijerisahauksen osalta sahattiin koesahaus Olympiastadionilla kuuden metrin louhepenkereestä neljän metrin pituudelta. Kokonaispinta-ala sahauksella oli 24 m<sup>2</sup>. Käytännössä koko sahaus oli menetelmän harjoittelua ja työsaavutuksessa on selvästi parannettavaa tulevaisuudessa. Tulosten perusteella voidaan timanttivaijerisahaukselle laskea työsaavutus 12 m<sup>2</sup> työvuoroa kohti. Tämä pitää sisällään kaikki ongelmat, jota koesahauksessa ilmeni mm. vaijerin katkeaminen, laitteiston parametrien säätö ja lukuisat pohdinnat työn aikana. Aukiporauksen osalta työsaavutukset sisäpuolella olivat noin 8 m<sup>2</sup> työvuoroa kohden seurannan jälkeen. Länsimetron työmaalla tehtiin samanlaista seurantaa ja sieltä saadut tulokset ovat positiivisia tulevaisuutta ajatellen.

Tarkemmat kalustokustannukset ja työsaavutukset esitetään tarkemmin yritykselle Excel-asiakirjassa.

## 9 Johtopäätökset

Työn alussa olleisiin kysymyksiin saatiin kenttätutkimuksen aikana osaan selvä vastaus. Miten timanttivaijerisahausta tulisi louhinnoissa käyttää ja kuinka kustannustehokas menetelmä se hyvissä olosuhteissa voi olla. Kustannustehokkuus on tosin täysin projektikohtaista, eikä sitä voi yksiselitteisesti määrittää. Olympiastadionilta saatujen koesahausten jälkeen pystyttiin arvioimaan laitteiston kapasiteetti ja asennukseen sekä sahaukseen vaadittava aika sahauskohteen kalliolaadussa. Näiden tietojen perusteella sahauksia jatkettiin haastavissa länsimetron työmaan kuilulouhinnoissa. Timanttivaijerisahauksia täytyy tehdä lisää eri olosuhteissa ja niille pitää pystyä laskemaan kilpailukykyinen hinta. Tämä vaatii sahauksien seurantaan kenttäolosuhteissa ja työsaavutusten kirjaamista tapauskohtaisesti jatkossa. Louhintahiekka Oy:llä on erittäin kokenut porukka toimihenkilöitä johtamassa työtä ja tiedon jakaminen työnjohtajille auttaa ymmärtämään paremmin louhintojen yhteydessä tehtäviä timanttivaijerisahauksia. Ennen sahausta tehtävät työvaiheet ja se minkälainen railo tehdään, vaikuttaa ensisijaisesti haluttuun lopputulokseen hinnan ja kustannusten näkökulmasta. Rakennusten lähellä ja rakenteiden sisällä on ahdasta sekä tärinärajoitteista johtuen timanttivaijerisahauksella on mahdollista irrottaa rakenteet louhittavasta tilasta. Lisäksi tarkkoihin toleransseihin pyrittäessä menetelmä toimii hyvin, koska sahaus ei riko kalliota samalla tavalla mitä poraus- tai räjäytystyöt.

Työmaalta saatujen kokemusten perusteella voidaan ajatella, että sahausmenetelmistä pystysahausta tullaan käyttämään eniten. Louhintatöiden yhteydessä tehtävät seinämät sahataan usein kohtisuoraan ja niitä on paljon erilaisissa montuissa ja kuiluissa. Sähkökäyttöinen sahauslaitteisto toimii paremmin todennäköisesti isoissa seinämissä ja tunneleissa. Voimalähde voidaan asentaa erilleen timanttivaijerisahasta tai virtaa saattaa olla tunnelissa jo ennestään tarpeeksi laitteen käyttöä varten. Dieselkäyttöisistä timanttivaijerisahoista ei vielä ole tarpeeksi käytännön kokemusta yrityksellä ja niitä täytyy tutkia jatkoa ajatellen enemmän. Kumiteloilla toimivat dieselsahat ovat varmasti pienemmissä avolouhintakohteissa tehokkaita.

Perinteinen aukiporaus tulee toimimaan vielä pitkään, eikä uusista menetelmistä ole sen varsinaiseksi haastajaksi. Aukiporauksella ja rakolinjalla tehdään suurinosa seinämistä, koska louhintatoleranssit antavat siihen mahdollisuuden. Louhintoja suunniteltaessa ei varmasti monikaan ajattele, että osa louhittavan tilan seinämistä olisi todellisuudessa helpompi ja tehokkaampi tehdä timanttivaijerisauhauksella. Tämä voi osittain johtua siitä, ettei sauhuksesta ole vielä tarpeeksi tietoutta ja sen käyttö on vähäistä. Timanttivaijerisauhauksen ja erityisesti timanttivaijerin hinta on mahdollistanut periaatteessa vanhan menetelmän nousun suosioon. Paremmat ja erityisesti kovaan kiveen tarkoitetut tehokkaammat laitteet ja kestävämmät vaijerit ovat syynä käytön lisääntymiseen louhinnoissa. Teollisuudesta alun perin tarvekilouhimoille kulkeutuneet vaijerisahat ovat tällä vuosituhanella saaneet jalansijaa infrarakentamisessa.

## Lähteet

1. Hakapää, Antero & Lappalainen, Pekka & Opetushallitus. 2009. Kaivos- ja louhintatekniikka. Helsinki: Opetushallitus & Kaivannaisteollisuus Ry.
2. Vuolio, Raimo. 1991. Räjätystyöt. 3 painos. Helsinki: Suomen Maarakentajien Keskusliitto Ry.
3. Vuolio, Raimo & Halonen, Tommi. 2012. Räjätystyöt. Päivitetty 2 painos. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.
4. Parhaat ympäristökäytännöt (BEP) luonnonkivituotannossa. 2014. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö.  
[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/152750/SY\\_5\\_2014.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/152750/SY_5_2014.pdf?sequence=1) Luettu 12.10.2016
5. Vuorityö ja -tekniikka vuosijulkaisu 2013. 2013. Verkkodokumentti. Vuoriteknikot Ry. [http://www.vuoriteknikot.fi/uploads/vuorityolehti/Vuority%C3%B6\\_ja\\_-\\_tekniikka\\_nettil.pdf](http://www.vuoriteknikot.fi/uploads/vuorityolehti/Vuority%C3%B6_ja_-_tekniikka_nettil.pdf) Luettu 14.10.2016
6. Kiviteollisuuden teknologia- ja kehittämisohjelma 1999-2002. Verkkodokumentti. TEKES. [https://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/kivi\\_loppuraportti.pdf](https://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/kivi_loppuraportti.pdf) Luettu 4.10.2016
7. Ohjeistus tärinää aiheuttavien rakennustyömaiden organisaatioille. Verkkodokumentti. Finnrock.  
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK100501.pdf> Luettu 9.10.2016
8. Vuorityö ja -tekniikka vuosijulkaisu 2006. 2006. Verkkodokumentti. Vuoriteknikot Ry. <http://www.vuoriteknikot.fi/uploads/vuorityolehti/Vuorityo2006.pdf> Luettu 13.10.2016
9. Salvatore Campo. 2016. Atlas Copco Speedcut 75 Instruction Manual. Italia: Atlas Copco Stonetec S.r.l.

**Tuntihintalaskelma****Timanttivaijerisahauskalusto sähkögeneraattorilla**

A	Hankintahinta	Timanttivaijerisaha 100hv+Aggregaatti 100kW			180 000,00 €
B	Kaluston pitoaika	vuotta		v	6,00
C	Käyttötunnit	tunti		h	1000,00
D	Jäännösarvo vaihtoheikellä				90 000,00 €
E	Keskimäärin sitoutunut pääoma	$(B+1)/(2*B)*(A-D)+D$			142 500,00 €
E1	<i>Oma pääoma</i>	k1 korkoprosentti	5,00 %		50 000,00 €
E2	<i>Vieras pääoma</i>	k2 korkoprosentti	7,00 %		130 000,00 €

**KALUSTOKUSTANNUKSET**

F	Poisto verottomasta hinnasta	$(A-D)/B$			15 000,00 €
G	Korot	$(k1/100%*E1)+(k2/100%*E2)$			11 600,00 €
H	Polttoaine	keskimääräinen kulutus 25l/h	0,80 €	/ litra	20 000,00 €
I	Timanttivaijeri	11,4mm/40b Kestoikä 20m2/m	100,00 €	/metri	11 550,00 €
J	Käyttö- ja huoltokustannukset	Kiskot, pyörät, voiteluaineet ym			3 000,00 €
K	Kuljetuskustannukset	Nostot+kuljetukset			8 000,00 €

**YHTEENSÄ****69 150,00 €****TYÖNTEKIJÄKUSTANNUKSET**

L	Työntekijän palkka	€/vuosi			25 000,00 €
M	Sosiaalikulut	€/vuosi			15 500,00 €
N	Matka- ja päivärahat	€/vuosi			5 000,00 €

**YHTEENSÄ****45 500,00 €**

2 (2)

<b>Yleiskustannukset muista kustannuksista</b>	12 %	13 758,00 €
<b>Kokonaiskustannukset yhteensä</b>		128 408,00 €
<b>Kokonaiskustannukset käyttötunnille €/h</b>		128,41 €
<b>Riskivaraus ja ylijäämätavoite</b>	10 %	12 840,80 €
<b>Kustannukset ja varaukset yhteensä</b>		141 248,80 €
<b>Tuntivuokrat</b>		
Tuntihinta ALV 0%		<b>141,25 €</b>
Kalustokustannukset		69 150,00 €
Työntekijäkustannukset		45 500,00 €
Muut kustannukset		26 598,80 €
Yhteensä		141 248,80 €
		48,96 %
		32,21 %
		18,83 %
		100,00 %



