

Tarvekiven irrotusmenetelmien kustannusvertailu

Tiivistelmä

Tekijä(t) Salmela, Jouni	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2022
	Sivumäärä 22	
Työn nimi Tarvekiven irrotusmenetelmien kustannusvertailu		
Tutkinto ja koulutusala Rakennusmestari AMK		
Ohjaavan opettajan nimi, titteli ja organisaatio Jari-Pekka Sinkko, Lehtori, LAB-Ammattikorkeakoulu		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio (jos opinnäytetyöllä on toimeksiantaja) Jukka Jokela, Työnjohtaja, Palin Granit Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Työn aiheena ja tavoitteena oli saada Palin Granit Oy:lle yrityksen tarpeita vastaava kustannuslaskennan työkalu tarvekiven louhintaa varten.</p> <p>Työn lähteinä käytettiin yrityksen omia hintatietoja ja yrityksen omia työtapoja kustannusten laskennassa. Opinnäytetyössä tutkittiin porauksen, vaijerisahauksen ja panostuksen kustannuksia.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsiteltiin tarvekiven louhinnan periaatteita ja työtapoja sekä erilaisten materiaalien, koneiden ja räjähdysaineiden käyttöä tarvekivilouhinnassa.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena vaijerisahauksen käyttöä tarvekivilouhinnassa tullaan lisäämään sen pienempien kustannusten vuoksi.</p>		
Asiasanat tarvekivi, vaijerisahausta, louhinta, räjähdysaineet		

Abstract

Author(s) Salmela, Jouni	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2022
	Number of Pages 22	
Title of Publication Stone quarrying calculation of costs		
Degree and field of study Construction Supervisor (UAS)		
Name, title and organization of the supervising teacher Jari-Pekka Sinkko, Senior Lecturer, LAB University of Applied Sciences		
Name, title and organisation of the client Jukka Jokela, Senior Supervisor, Palin Granit Oy		
<p>Abstract</p> <p>The aim and the subject of this thesis was to create functional calculation of costs tool for Palin Granit company for quarrying natural stone.</p> <p>Sources of this thesis were company's own price knowledge and their own working methods in stone quarry. Calculation of costs were made based on this knowledge. The thesis examines drilling, diamond wire cutting and charging costs.</p> <p>Theory section includes basics of stone quarrying and working methods and usage of different materials, machines and explosives.</p> <p>As the result of this thesis usage of the diamond wire cutting will increase because of its cheaper costs.</p>		
<p>Keywords</p> <p>natural stone, diamond wire cutting, quarrying, explosives</p>		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Tarvekiven louhinta Suomessa	2
3	Tarvekiven louhintatekniikka	4
3.1	Tarvekiven louhinta.....	4
3.2	Irrotuslouhinta.....	5
3.3	Railoporaus	5
3.4	Timanttivaijerisahaus	6
3.5	Poraus	7
3.6	Porakruunut	7
3.7	Panostus ja räjäyttäminen.....	8
3.8	Kaadot	10
3.9	Kiviblokin viimeistely ja kiilaaminen.....	10
4	Kamin irrotustekniikat.....	12
4.1	Kamin irrotus sahaamalla	12
4.2	Kamin irrotus railoporauksella ja poraamalla.....	14
4.3	Kamin irrotus poraamalla	15
5	Esimerkkilaskelmat	17
6	Yhteenveto ja pohdinta	21
	Lähteet	22

1 Johdanto

Opinnäytetyössä käsitellään tarvekiven louhinnassa kiintokalliosta irrotettavan irrotuksen eli kamin kustannuksien muodostumista. Kustannuslaskennassa vertaillaan kamin päätyjen vapauttamismenetelmiä ja niiden kustannuksia. Menetelmistä opinnäytetyössä käsitellään railon porausta, vaijerisahausta, nostojen eli vaakareikien porausta, sekä raon räjäytystä. Tarvekiven louhinnan kustannukset muodostuvat pääsääntöisesti räjähdysaineista, käytetävästä porakalustosta, tarvikkeista ja polttoainekustannuksista.

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä yritykselle yksinkertainen työkalu helpottamaan irrotusvaiheen kustannuslaskentaa ja ennustamaan louhinnan vuotuisia kustannuksia. Kustannuslaskentaan on tarkoitus kehittää laskentataulukko yrityksen tarpeisiin, jota voi muokata eri louhintamenetelmien mukaan. Palin Granit Oy:n louhimoilla on aikaisemmin käytetty paljon railonporausta, jota nyt timanttivaijerisahaus on syrjäyttämässä. Timanttivaijerisahauksesta ei ole aikaisemmin laskettu tarkkoja kustannuksia ja tässä opinnäytetyössä nämä kustannukset pyritään saamaan esille. Opinnäytetyö rajataan koskemaan vain kiintokalliosta otettavan irrotuksen kustannuksia, eri päätyjen vapauttamismenetelmiä ja lisäksi kaatojen tekemistä poraamalla tai sahaamalla.

Palin Granit Oy:n historia ulottuu vuoteen 1921 jolloin perustettiin hautakiviveistämö Loimaalle. Yritys on nyt kolme sukupolvea myöhemmin vakiinnuttanut roolinsa kansainvälisesti tunnettuna ja arvostettuna suomalaisen graniitin louhijana. Palin Granit Oy toimittaa raakakiveä nyt ympäri maailmaa. Kivilouhimoita Palin Granit Oy:llä on ympäri Suomea, suurimmat Itä-Suomessa. Henkilöstöä sillä on noin 40.

2 Tarvekiven louhinta Suomessa

Suomessa on jo vuosisatojen ajan louhittu tarvekiviä. Suomesta louhitusta kivistä on kuljetettu valtavia määriä punaista rapakivigraniittia Pietariin, josta on rakennettu muun muassa lisäkin kirkko. 1970-luvulla kivilouhimoiden tuotantomäärät nousivat rajusti, koska louhimoille tulivat putkipanokset, pyöräkuormaajat sekä juuri tarvekivilouhintaan tarkoitettut riiviporauslaitteet helpottamaan ja tehostamaan louhimotyöskentelyä. (Räjäytystyöt 2012, 375.)

Tarvekiveä käytetään nykyään paljon hautakivinä, pintamateriaalina rakennusten sokkeleissa ja julkisivujen verhouksissa. Sisätiloissa kiveä käytetään seinä- ja lattiapäällysteisiin. Ympäristörakentamisessa kiveä käytetään katujen päällysteisiin, muuri rakenteisiin, portaisiin, erilaisiin verhoilu kohteisiin ja ympäristön maisemointiin.



Kuva 1. Tarvekiven käyttökohteita. (Kivi-info.fi)

Tarvekivituotannosta suurin osa, jopa 90 % menee vientiin. Tärkeimmät vientimaat ovat Kiina, Espanja, Saksa, Ranska, Puola ja Egypti. Suuri osa viedystä raakakivistä jatkaa matkaa vientimaasta jalostettuna eteenpäin. Suomessa jalostetaan loput noin 10 % irrotetusta tarvekivistä kotimaan tarpeisiin tai ulkomaan vientiin. (Räjäytystyöt 2012, 375.)

Suomesta löytyy paljon tarve- tai rakennuskiveksi sopivia kivilajeja. Tärkein näistä kivilajeista on graniitti, jonka päämineraalit ovat maasälpä, kvartsi ja kiille. Graniiteille päävärin antaa maasälpä, mutta kvartsi ja kiille antavat kiven väriin eri vaihteluita. Kaakkois- ja Lounais-Suomesta löytyy runsaasti tarvekiveksi sopivaa rapakivigraniittia. Ylämaan rapakivigraniitti tunnetaan maailmalla myyntinimellä ”Baltic Brown” joka on viborgiittia ja sitä esiintyy useissa eri sävyissä. Punaista graniittia löytyy Virolahden, Kotkan ja Taivassalon alueelta. Virolahden kiven kauppanimi on ”Carmen Red”, Kotkan kiven ”Eagle Red” ja Taivassalon

kiven "Balmoral Red". Harmaista graniiteista tunnetuin on Kurun harmaa, jota on louhittu myös paperiteollisuuden tarpeisiin. Palin Granit louhii myös mustaa kiveä Korpilahdella, mutta sen tuotanto- ja myyntimäärät ovat pieniä. Musta kivi on sitkeää ja sillä on hyvä puristuslujuus. Kiven sitkeyden vuoksi sen irrottaminen on haastavaa, mutta kivi on pehmeää, joten sitä on helppo työstää. Mäntsälässä Palin Granit louhii migmaattista kiveä myyntinimeltään "Aurora", joka on ns. loimukiveä. Kivessä esiintyy juovaisia mineraalikeskittymiä, jotka antavat kivelle loimukuvioinnin. (Räjäytystyöt 2012, 375.)

Ero tarvekivenlouhinnan ja tavanomaisen louhinnan välillä on, että tarvekilouhinnassa yritetään räjäyttää kalliota siten, että myös irrotettava osa kalliosta säilyy mahdollisimman ehjänä. Tavanomaisessa louhinnassa vain jäljelle jäävän kallion eheyteen kiinnitetään huomioita. (Räjäytystyöt 2012, 375.)

3 Tarvekiven louhintatekniikka

3.1 Tarvekiven louhinta

Tarvekilouhimolla pyritään aina louhimaan kalliota useassa tasossa yhtäaikaaisesti. Näin päästään suurempaan tuotantonopeuteen ja pienempiin kustannuksiin. Kuvassa 1 yleisnäkymä tarvekilouhimolta. Useammassa tasossa louhintaa viemällä eteenpäin voidaan säästää aikaa räjäyttämällä useampia kohteita samanaikaisesti ja eri työvaiheita voidaan jakaa eri puolilla louhimoa. Näin toimimalla louhimoa ei tarvitse tyhjentää kalustosta ja henkilöstöstä niin usein räjäytystöiden ajaksi.



Kuva 2. Yleiskuva tarvekilouhimosta

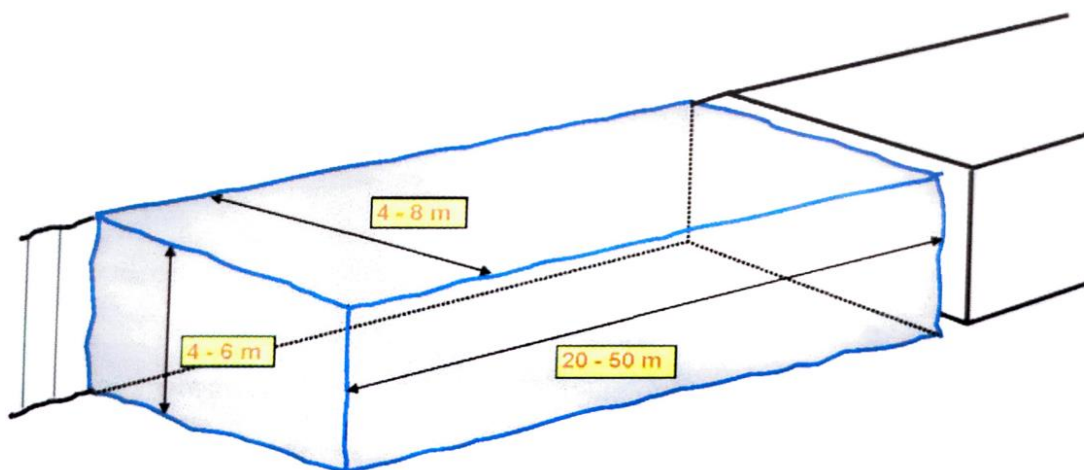
Tarvekiven irrotuksessa käytettyjä menetelmiä ovat (Mesimäki 1999, 19):

- poraus
- räjäyttäminen
- railonporaus
- kiilaaminen

- sahaus.

3.2 Irrotuslouhinta

Irrotuslouhinnalla tarkoitetaan työvaihetta, jolla kiintokalliosta irrotetaan suuri peruslohkare, kami. Kamien koot vaihtelevat eri kivilaatujen ja työmenetelmien mukaan. Kuvassa 2 havainnekuva tyypillisestä irrotettavasta kamista. Yleisesti kamien koot ovat normaali tapauksissa 1000–2000 kuutiometrin välillä. (Räjäytystyöt 2012, 376.)



Kuva 3. Kamin irrotus. Mitat ovat ohjeellisia, tapauksesta riippuvaisia. (Räjäytystyöt 2012, 376)

Irrotettava kami kuvassa on kahdelta sivulta auki. Kamiin porataan selkälinja ja pääty avataan railoporauksella, timanttivaijerisahauksella tai normaalilla porauksella. Selkälinja on kamin pisin sivu, joka porataan pystylinja porauksella.

Selkälinjaan porattavat reiät porataan kamin pohjan yläpuolelle noin 20 cm ja vaakaporauksen reiät jätetään vajaaksi siten, että ne eivät ulotu selkälinjan reikiin. Jos nämä reiät ovat liian pitkät, ne aiheuttavat halkeamia jäljelle jäävään ehjään kallioon.

3.3 Railoporaus

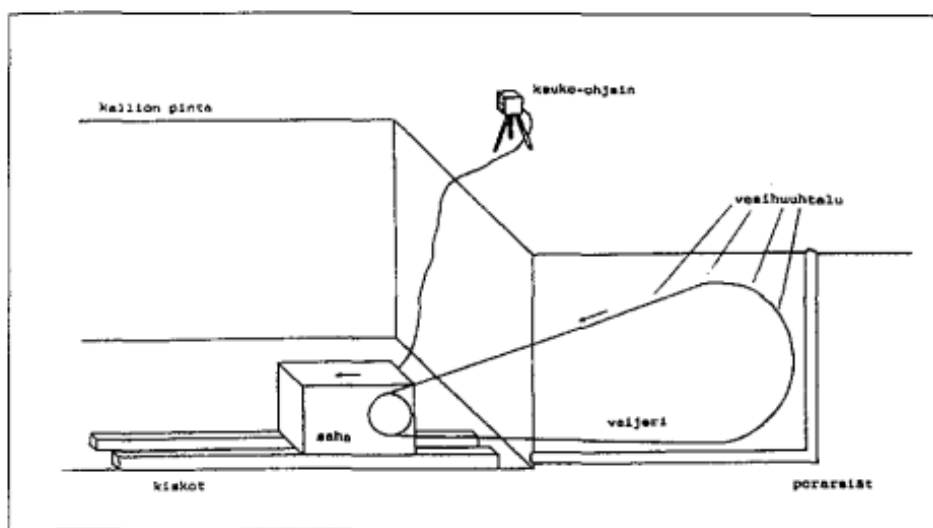
Kamin irrotuslouhinnassa käytettiin aikaisemmin usein railoporausta. Palin Granit Oy:llä timanttivaijerisahaus on syrjäyttämässä railoporausta. Railoporauksessa porataan irrotuksen päätyyn tai päätyihin noin 10 cm välein noin 5 cm railo. Railoporaus aloitetaan poraamalla pilottireiät vaunuporauslaitteella. Reiät porataan n. 10 cm välein ja reikien välit avataan erityisesti tähän suunnitellulla avarruskalustolla. Railon avausvaiheessa reiässä kulkee

ohjuriputki, joka ohjaa avarrusporausta kulkemaan pilottireikien suuntaisesti. (Räjäytystyöt 2012, 378.)

3.4 Timanttivaijerisahaus

Timanttivaijerisahauksen suurimpia hyötyjä ovat sen kustannustehokkuus verrattuna railo-poraukseen ja sahauksella valmiiden blokkien työvarat ovat pienempiä kuin blokit, joiden pinnat ovat porapintoja.

Vaijerisahauksen toiminta perustuu siihen, että kallioon porataan vaaka- ja pystyreikä, jotka kohtaavat. Vaijeri pujotetaan näiden reikien kautta. Vaakareikä porataan ensin suurem-malla reikäkoolla, jonka jälkeen pystyreian paikka kohdistetaan käyttämällä apuna luotilan-kaa tai lasersuuntauslaitetta. Reikien porauksen jälkeen tuodaan paikalle saha, joka on kis-kojen päällä. Sahauskaluston siirrot tehdään pyöräkuormaajalla. Vaijeri kiristetään liikutta-malla sahaa kiskoilla taaksepäin. Vesihuuhdeltu vaijerin ja kallion väliin järjestetään tuomalla paikalle vesisäiliö, josta saadaan vesihuuhdeltu, joka jäähdyttää vaijeria ja vesi huuhtelee sahauksesta syntyneen kivisoijan pois. Sahaus tapahtuu liikuttamalla sahaa taaksepäin leikkaus kohteesta. (Vuorityö ja -tekniikka, 19–20.)



Kuva 4. Timanttivaijerisahauksen periaate (Mesimäki 1999,73)

Vaijerisahausta käytettäessä eri kivilajien ja eri louhimoiden erot voivat olla hyvinkin suuria. Oikeanlaisella sahauksen suunnittelulla voidaan välttyä monilta ongelmilta. Pystysuoraa sa-hausta tehdessä hyvä penkan korkeus on 8–10 metriä ja sopiva sahauspinta-ala on 80–200 neliömetriä yhdellä sahauskerralla. (Vuorityö ja -tekniikka, 19–20.)

Sahauksen paikka puhdistetaan huolellisesti irtonaisesta maa- ja kiviaineksesta, jotta sahatessa irtonainen maa- tai kiviaines ei joudu sahausuraan. Sahaus vaatii vettä 6–18 litraa minuutissa, riippuen millä nopeudella sahataan ja mikä on sahaussuunta. Veden määrän täytyy myös kiinnittää huomiota, koska liiallinen veden virtaus pienentää sahauksen tehoa ja vaikuttaa vaijerissa olevien timanttien kiillottumiseen. Kiillottunut vaijeri ei leikkaa kalliota enää samalla tavalla, kuin uusi vaijeri. Vaijeria pyöritetään 28–34 metriä sekunnissa. Vaijerin pyörittämisnopeuteen vaikuttavat kivilaatu, sahauskalusto ja käyttöön valittu vaijeri. (Vuorityö ja -tekniikka, 19–20.)

3.5 Poraus

Porauksessa pyritään käyttämään mahdollisimman pientä reikäkokoa. Reikien halkaisijat ovat 28–33 millimetriä. Tästä pienempääkin reikäkokoa haluttaisiin käyttää, koska käytettävät räjähdysaineet eivät tarvitse näinkään isoa reikäkokoa, mutta porakankien taipuma määrittää reiän minimikoon.

Tarvekiven louhinnassa poralinjojen suoruus on tärkeää, jotta irrotetusta kappaleesta tulisi mahdollisimman vähän hukkaa. Vinot porauslinjat aiheuttavat usean prosentin laskun tuotantomääriin. Tarvekiven saantiprosentit ovat 5–20 prosentin luokkaa riippuen kivilajista, joten onnistuneet porauslinjat ovat tärkeitä.

Reikävälit ovat myös tarvekivilouhinnassa pieniä, noin 10–30 senttimetriä. Kamin irrotuksessa reikävälit ovat suurempia kuin kaatoja tai blokkeja paloiteltaessa.

Vaakareiät porataan vaakatasoon ja selkälinjan porausta kallistetaan muutama aste. Kamin sivujen olisi hyvä olla yli 90 asteen kulmassa selkälinjaan nähden, jotta kami pääsee irtoamaan räjäytyksessä kunnolla, eikä sivuissa olevien epätasaisuuksien takia kami jäisi päädyistä kiinni.

3.6 Porakruunut

Tarvekiven linjaporauksessa käytetään yleensä kahta erilaista porakruunu tyyppiä. Palakruunussa on kovametalliset kulutuspalat ristin muodossa, jotka poraustyöntekijä voi teroittaa työn ohessa porakalustoon asennetulla hiomakoneella. Nastakruunussa, joka on näistä yleisempi, on kovametalliset pyöreät nastat koko terän alueella. Kokemusten perusteella nastakruunulla on parempi tunkeutumisnopeus. Nastakruunut voidaan myös teroittaa niiden teroittamiseen tarkoitetulla hiomakoneella. Porakruunujen teroittaminen on tapa

säästää porauskustannuksissa ja porakruunujen tunkeutumisnopeus pysyy hyvänä, kun porausta suoritetaan tarpeeksi terävällä porakruunulla.

3.7 Panostus ja räjäyttäminen

Räjäyttäminen tehdään tarvekivilouhintaan suunnitelluilla räjähdysaineilla. K-putkipanokset sisältävät nitroglykolia ja piimaata. K-putkipanosten räjähdysherkkyys on todella pieni, joten niiden kanssa käytetään aina räjähtävää tulilankaa räjähdysen varmistamiseksi. K-putkillä panostettaessa ominaispanostus on 0,06–0,15 kg/m³. Reikäväli vaakareissä on 0,2–0,5 metriä ja selkälinjassa 0,15–0,4 metriä. (Räjäytystyöt 2012, 381.)



Kuva 5. K-putkipanos (Forcitr)

Onnistuneella porauksella ja panostuksella irrotettava kami siirtyy räjäytyksessä 5-10 cm. Mahdolliset viat ja lustat aukeavat räjäytyksessä ja kamin paloittelu suunnitellaan siten, että kamista porattavat lohkat olisivat mittojen puolesta viimeistely kelpoisia. (Räjäytystyöt 2012, 381)

Tarvekiven louhinnassa rei'issä pyritään pieneen panostustiheyteen. Tarvekiven louhintatapa perustuu tiheään poraukseen ja kevyeen panostukseen. Panostuksessa pyritään välttämään ylipanostusta, jolloin kallioon syntyy vähemmän rakoilua. (Räjäytystyöt 2012, 262)

K-putket on kehitetty tarvekivien louhintaan. Muoviputket ovat helppoja käsitellä ja niiden kosteuden kestävyys on hyvä. K-putkillä voidaan panostus suorittaa tarkasti ja ne voidaan sijoittaa haluttuun kohtaan reiässä. (Räjäytystyöt 2012, 61.)

K-putkien kanssa käytetään aina räjähtämisen varmistamiseksi räjähtävää tulilankaa. Räjähtävän tulilangan räjähdys nopeus on 6000–7000 metriä sekunnissa, joten kaikki panostetut reiät räjähtävät melkein samanaikaisesti. Nopea F-Cord 10 räjähtäessään saa aikaan pienet alkumurtumat porareikien seinämiin, mihin putkipanosten räjähdyskaasut suuntautuvat, eli vierekkäin poratuissa rei'issä reiästä toiseen. (Räjäytystyöt 2012, 78.)



Kuva 6. Räjähtävä tulilanka F-Cord 10 (Forcit)

Tarvekivien louhinnassa käytetään Termo-muovilla päällystettyä F-Cord 10T räjähtävää tulilankaa. Termo-muovilla päällystetty räjähtävä tulilanka nokeaa vähemmän, eli se ei värjää räjäytettyjä pintoja, joka helpottaa tarvekivien laadun tarkkailua. F-Cord 10T on hieman jäykempää kuin PVC-päällysteinen F-Cord 10. Kuvassa 5 valmis panostettu irrotuksen selkälinja, jossa reiät panostettu K-putkilla ja räjähtävällä tulilangalla.



Kuva 7. Panostettu selkälinja

3.8 Kaadot

Kamin paloittelu aloitetaan kamin päädyistä, tai kamin sivulta, jos kumpikaan pääty ei ole avonainen. Kaatolohkareen alle kasataan hiekasta, murskeesta tai hienosta louheesta peti, joka suojaa lohkareta rikkoutumasta. Kaato porataan sopivien mittojen mukaan ja kaadetaan murskepedille räjäyttämällä. Räjäytyksessä käytetään K-putkia ja räjähtävää tulilankaa. Jos kaatolohkare jää pystyyn räjäytyksen jälkeen, se voidaan kaataa pyöräkuormaajalla. Kaatoja voidaan myös sahata vaijerisahauksella. Sahauksen uran leveys on vain noin 1,5 cm, joten sen kaataminen työntämällä ei onnistu, ellei kaadosta lohkaista palaa pois, josta voidaan pyöräkuormaajalla työntää. Sahausrussa voidaan käyttää tähän suunniteltua paisuvaa vedenpaineella täytettävää tyynyä. Tyynyyn pumpataan vettä 30–40 bar:n paineella, jolloin se paisuu 25–30 cm ja antaa jopa 1000 tonnin työntövoiman. Tämän jälkeen kaatolohkare voidaan kaataa pyöräkuormaajalla.

3.9 Kiviblokin viimeistely ja kiilaaminen

Myytävät kivet saavat viimeisen muotoilunsa pilkonta vaiheessa. Kiviblokit tutkitaan silmämääräisesti mahdollisimman tarkoin ja kivi pilkotaan poraamalla riviporauslaitteella sopiviin myyntimittoihin. Pilkontavaiheessa kivistä pyritään poistamaan kaikki mahdolliset luonnon viat, värivirheet ja muut viat. Valmiin kiven tulisi olla mahdollisimman tasalaatuinen. Valmiit

blokit pestään ja pesuvaiheessa niistä etsitään vikoja. Valmiit kivet laatu luokitetaan kivissä esiintyvien vikojen mukaan. Jokaiselle kivilaadulle on ominaisia virheitä ja eri laatuluokkia.

Kiven kiilaamista käytetään pääsääntöisesti kivien viimeistelyssä. Kiilattavan kiven sivun tulee olla tarpeeksi paksu, jotta se kiilautuu oikein. Kiilausta voidaan tehdä käsityönä paineilmavasaraa käyttäen tai käyttämällä hydraulista kiilauslaitetta. Vaijerisahan käyttäminen kiven viimeistelyssä on järkevää, koska sahaamalla saadaan kivistä otettua ohuempia siivuja, jolloin kivelle jää enemmän myyntimittaa.

Kun kiilaus on suoritettu, niin kiilat poistetaan ja kiilatut pinnat puretaan pyöräkuormaajalla. Tuoreesta kiilatusta pinnasta kiven värit näkyvät hyvin. Jos kivistä löytyy vaakasuunnassa kulkeva vika, kivi yleensä kiilautuu vain tähän vikaan saakka ja tämä loppuosa poistetaan räjäyttämällä räjähtävällä tulilangalla. Kiven ollessa ehjää, kaadotkin kannattaa kiilata, jolloin kiven värit ja viat näkee hyvin puhtaalta kiilatulta pinnalta.

4 Kamin irrotustekniikat

4.1 Kamin irrotus sahaamalla

Vaijerisahauksella sahausnopeus on 10–15 neliömetriä tunnissa ja yksi mies voi hoitaa useampaa sahausyksikköä samaan aikaan. Yksi sahayksikkö pystyy sahaamaan 80–120 neliömetriä kahdeksan tunnin työvuorossa. Sahauskalustoa siirrellään pyöräkuormaajalla.



Kuva 8. Sahauskalusto. Vesisäiliö, aggregaatti ja vaijerisaha kiskoilla

Kamin irrotus aloitetaan poraamalla vaakaporauksella pilottireikä. Reikä porataan uppoporallaitteella tai muulla menetelmällä. Uppoporauslaitetta käytettäessä reiän kiertymä on vähäinen. Sahaamalla irrotettu kami tulee olla toisesta päästä avonainen, että porakalusto mahtuu poraamaan selkälinjan paikan. Täysin sahaamalla irrotetun kamin koolla ei käytännössä ole tarkkoja maksimimittoja. Vaakaan poratut pilotti reiät etsitään kamin päältä poraamalla pystyreikä. Reiän löytymisen helpottamiseksi on olemassa laitteistoa, joka kertoo reiän sijainnin. Reiän etsiminen onnistuu myös mittaamalla ja muulla havainnoinnilla. Porauksen jälkeen reikään syötetään vaijeri ja sahaamisen voi tehdä myös yhtä aikaa päty ja selkälinjalla, jos sahauskalustoa on riittävästi. Käytännössä vaakasahaus tehdään ensin.

Kamin nurkkaan asetetaan vaijerisaha ja sahauksessa syntyvä kivisoija pitää kamin paikoillaan, ettei vaijeri puristu eikä jää kiinni. Sahamaalla irrotetusta kamista jäävät sahapinnat voidaan hyödyntää suoraan valmiissa kivessä, joka vähentää hukkaa. Sahauksesta ei synny melu- tai pölyhaittaa.

Jos kiintokalliosta irrotetaan kami, niin päädyt porataan tai sahataan auki. Jos päädyt avataan sahaamalla, tulee vuoripaine ottaa huomioon. Jos vuoripainetta on, niin päädyt yleensä porataan auki, koska sahaaminen ei onnistu. Kiintokalliosta sahaamalla otetusta irrotuksesta sahataan vain päädyt. Vaakareiät tehdään poraamalla ja kamin syvyys määräytyy vaakaporauslaitteiston porakangen mitoista, joka tänä päivänä on yleisimmin 8 metriä. Vaakareiät pyritään poraamaan ilman kallistusta mahdollisimman suoraan. Pystyreiät porataan pienellä heittokallistuksella noin 1–4 asteen kallistuksella. Pystyreiät porataan noin 20 cm päähän vaakareiästä. Kamin päädyt sahaamalla hiukan ”antavaksi”, eli kamin molemmat päädyt ovat vinoja, että kami pääsee irtoamaan.

Kamin panostetaan putkipanoksilla ja räjähtävällä tulilangalla kevennetyllä panostuksella. Ominaispanostus on noin 80–150 grammaa kuutiometrille.

Sahaukseen vaadittava kalusto:

- Vaijerisaha esim, Speedcut 100
- Uppoporauslaitteisto esim. Epiroc Speedroc D30
- Sahaukseen tarvittava huuhtelu vesi, esim. siirrettävä säiliö
- Sähkö suoraan verkosta tai aggregaatti esim. Atlas Copco QES150
- Vaijerit
- Pysty- ja vaakaporauskalusto.

Sahausohjeita

Sahan kisko pyritään sijoittamaan riittävän etäälle sahattavasta kohteesta, jotta varmistetaan vaijerin riittävä pyöriminen akselinsa ympäri, tämä tapahtuu parhaiten ulkona sahaus urasta, minimissään 3–4 metriä.

Pohjan sahaus tehdään yleensä ensimmäisenä ja pyritään ohjaamaan lähtevä vaijeri vapaaseen reikään ja paluupuoli eli tuleva vaijeri tekee suurimman työn.

Vaijerin pyörimisnopeus 26–34 metriä sekunnissa ja erittäin kovilla graniiteilla 24–28 metriä sekunnissa, vaununopeus enimmillään 3 metriä tunnissa, tätä nopeampi veto lyhentää vaijerin kestoikää.

Vaakasahauksessa vettä käytetään vain sen verran että pisaroita tippuu ohjauspyöriltä ja pystysahauksessakin vain sen verran, ettei liika vesi vaikuta sahan tehoihin.

Pystysahauksessa vaijeri kulkee ylhäältä alas, vedensyöttö noin 0,5 metriä etuyläkulmasta ja toinen keskellä aloitettaessa. Tällöin ei tarvitse käydä siirtämässä vesilettoa niin usein ja on myös turvallisempi suunta. Tällöin voidaan myös käyttää pyörää alhaalla kiskon päässä, joka estää alemman vaijerin nousun liian aikaisin.

Lisäpyöriä käytetään mahdollisimman vähän, ehkä aloituksessa, jos tarvitaan lisää pitoa vetopyörälle. Haluttaessa voidaan laittaa pyörä myös ylös etukulmaan, jolloin voidaan sahata nopeammin lopetusvaijeriin asti ja näin saadaan myös matalassa (alle 6 metriä) penkassa korkeus pysymään hyvänä ja vaijerin kesto paranee.

Kun uudella vaijerilla sahataan aloitus niin ensimmäisessä lyhennyksessä, voidaan vaihtaa kuluneempi vaijeri tilalle. Sauman lopetus sahataan aina lähes loppuun ajetulla vaijerilla koska kiinni juuttuminen tai vaijerin rikkoontumisriski on kohtuullisen suuri. Ei pidä yhdistää toisiinsa vaijereita, joiden halkaisijassa on suurempi kuin 0,2 millimetrin ero.

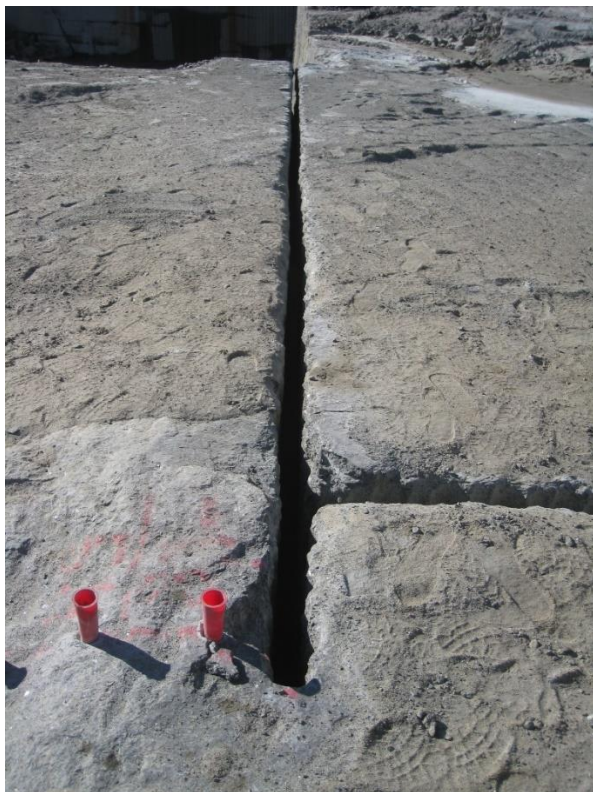
Vaijeriin kierretään liitettäessä esikierteitys vasten kellon pyörimissuuntaa, uudelle vaijerille riittää 0,5–1 kierrosta per metri ja kuluneelle 1–2 kierrosta per metri. Vaijeria lyhennettäessä tarkistetaan, että kuluminen on tasaista ja muutetaan kierteytystä tarpeen vaatiessa.

Vaijerin kesto Suomessa punaisilla, ruskeilla ja mustilla graniiteilla 7–15 neliömetriä metrille ja leikkuunopeus 8–15 neliömetriä per tunti. Tähän vaikuttavat suuresti kivilaatu, käytettävän koneen teho, leikkaussuunta, vedenkäyttö ja sahauksen koko ja vaijerin laatu. Ihanteellinen leikkuukorkeus on 7–12 metriä ja voi olla pituudeltaan jopa 20 metriä tai ylikin.

Liittimet on uusittava aina kun vaijeria lyhennetään ja isoissa sahauksissa viimeistään 8–12 tunnin välein tai jos ovat kuluneet voimakkaasti. On tärkeää, että kaikki 4 puristusta tehdään samaan suuntaan tai niin että vierekkäiset puristukset samaan suuntaan ja seuraavat 90 astetta kääntäen.

4.2 Kamin irrotus railoporauksella ja poraamalla

Railoporauksella yksi kone tekee noin 20 neliömetriä kahdeksan tunnin työvuoron aikana. Railoporauksella saadaan kallioon suora ja ehjä pinta.



Kuva 9. Valmis railo

Kami voidaan irrottaa poraamalla railot päätyihin ja selkälinjaan. Railoporausta voidaan käyttää kamiin, josta toinen pääty on auki tai kiintokallioon. Vaakaporaus tehdään normaalisti vaakaporauslaitteella. Jos päädyt ja selkälinja porataan railoporauslaitteella, niin ominaispanostus vähenee, koska vain vaakaporareivät räjäytetään. Käytännön syiden takia, railoporaus tehdään edelleen yleensä avovaunu kalustolla reikien suoruuden takia ja ohjureiden käytön takia. Huonoja puolia railoporauksessa ovat porarille aiheutuvat rasitukset, kuten melu ja pöly. Tämäkin on yksi syistä mikä on kasvattanut sahauksen suosion lisääntymistä.

Railoporauksella irrotettavan kamin tarvittava kalusto:

- railoporauskalusto
- erikoisvalmisteiset ohjurit
- vaakaporauskalusto
- pystyporauskalusto.

4.3 Kamin irrotus poraamalla

Kamin irroituksessa porataan päädyt, selkälinja ja vaakareivät. Poraamalla tehdään samat vaiheet kuin railoporauksella.

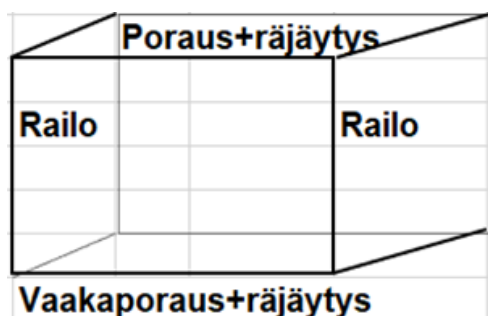


Kuva 10. Selkälinjan porausta

Huonoja puolia poraamalla irrottamalla on, että ehjäksi jäävään kallioon voi tulla ampuvikoja. Kamin päädyn ja selkälinjan nurkat porataan pyöreäksi tiheällä reikävälillä ampuvikojen vähentämiseksi. Kun kami irrotetaan kokonaan poraamalla, kamin päädyt porataan erittäin antavaksi, joka aiheuttaa enemmän hukkaa. Ominaispanostus kasvaa, kun kami irrotetaan poraamalla, koska kaikki linjat panostetaan ja räjäytetään.

5 Esimerkkilaskelmat

Edellä esimerkkilaskelmia irrotuksesta. Molempiin päätyihin porataan railot, selkälinja ja vaakaporareivät. Hinnat ovat ohjeellisia. Laskelmassa ei ole huomioitu palkkakustannuksia eikä koneiden hankintahintoja.



Kuva 11. Esimerkkilaskelman irrotettava kami

Kamin mitat $39 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 6,5 \text{ m} = 1924 \text{ m}^3$

Railoporaus korkeus x syvyys

$$6,5 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 2 = 104 \text{ m}^2$$

Pystyreikäporaus $156 \text{ kpl} \times 6,3 \text{ m} = 982 \text{ m}$

Vaakareikäporaus $97 \text{ kpl} \times 8 \text{ m} = 776 \text{ m}$

Railoporausten hinta 95 €/m^2

Pystyporausten hinta $3,2 \text{ €/m}$

Vaakaporausten hinta $3,5 \text{ €/m}$

K-putket $0,9 \text{ €/kpl}$

Räjähtävä tulilanka $0,7 \text{ €/m}$

K-putket pystyreivät $580 \text{ kpl} \times 0,9 \text{ €} = 522 \text{ €}$

Räjähtävä tulilanka pystyreivät $1150 \text{ m} \times 0,7 \text{ €} = 805 \text{ €}$

K-putket vaakareivät $600 \text{ kpl} \times 0,9 \text{ €} = 540 \text{ €}$

Räjähtävä tulilanka vaakareivät $850 \text{ m} \times 0,7 \text{ €} = 595 \text{ €}$

Railoporaus $95 \text{ €} \times 104 \text{ m}^2 = 9880 \text{ €}$

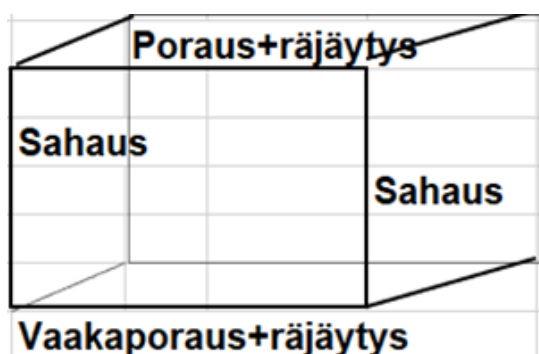
Pystyreikäporaus $3,2 \text{ €} \times 982 \text{ m} = 3142 \text{ €}$

Vaakaporaus $3,5 \text{ €} \times 776 \text{ m} = 2716 \text{ €}$

Räjähdysaineet	2462 €
Kokonaiskustannukset	18200 €
Kustannukset / m ³	9,45 €/m ³

Railoporauksen etuja ovat siistit ja ehjät seinämät jäljelle jäävään kallioon. Huonoja puolia ovat rillon tekemisen hinta ja rillon poraaminen on hidasta.

Esimerkki laskelma irrotuksen ottamisesta sahaamalla ja poraamalla. Molemmat päädyt otetaan sahamaalla, selkälinja ja vaakareivät poraamalla. Kami on samankokoinen kuin edellisessä esimerkissä.



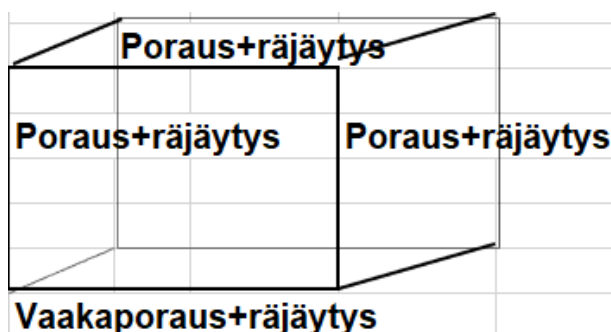
Kuva 12. Esimerkki laskelman irrotettava kami

Kamin mitat	39 m x 8 m x 6,5 m = 1924 m ³
Sahaus	korkeus x syvyys
	6,5 m x 8m x 2 = 104 m ²
Pystyreikäporaus	156 kpl x 6,3 m = 982 m
Vaakareikäporaus	97 kpl x 8 m = 776 m
Sahauksen hinta	9 €/m ²
Pystyporauksen hinta	3,2 €/m
Vaakaporauksen hinta	3,5 €/m
K-putket	0,9 €/kpl
Räjähtävä tulilanka	0,7 €/m

K-putket pystyreivät	580 kpl x 0,9 € = 522 €
Räjähtävä tulilanka pystyreivät	1150 m x 0,7 € = 805 €
K-putket vaakareivät	600 kpl x 0,9 € = 540 €
Räjähtävä tulilanka vaakareivät	850 m x 0,7 € = 595 €
Sahaus	9 € x 104 m ² = 936 €
Pystyreikäporaus	3,2 € x 982 m = 3142 €
Vaakaporaus	3,5 € x 776 m = 2716 €
Räjähdysaineet	2462 €
Kokonaiskustannukset	9256 €
Kustannukset €/m ³	4,8 €/m ³

Jos tallainen samankokoinen kami otettaisiin täysin sahaamalla, kokonaiskustannus olisi näillä hinnoilla vain 3,12 € kuutiometrille. Käytännön syistä selkälinja yleensä tehdään poraamalla ja vaakaporaus tekniikka on vielä Palin Granitilla yleisesti käytössä. Vaakasahausta on vielä kokeiltu hyvin vähän. Louhinnan suunnittelulla voitaisiin selkälinjojen sahausta lisätä.

Esimerkkilaskelma irrotuksen ottamisesta poraamalla. Molemmat päädyt, selkälinja ja vaakareivät porataan ja räjäytetään.



Kuva 13. Esimerkkilaskelman irrotettava kami

Kamin mitat $39 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 6,5 \text{ m} = 1924 \text{ m}^3$

Pystyreikäporaus	240 kpl x 6,3 m = 1512 m
Vaakareikäporaus	97 kpl x 8 m = 776 m
Pystyporauksen hinta	3,2 €/m
Vaakaporauksen hinta	3,5 €/m
K-putket	0,9 €/kpl
Räjähtävä tulilanka	0,7 €/m
K-putket pystyreivät	1200 kpl x 0,9 € = 1080 €
Räjähtävä tulilanka pystyreivät	1600 m x 0,7 € = 1120 €
K-putket vaakareivät	600kpl x 0,9 € = 540 €
Räjähtävä tulilanka vaakareivät	850 m x 0,7 € = 595 €
Pystyreikäporaus	3,2 € x 1512 m = 4838 €
Vaakaporaus	3,5 € x 776 m = 2716 €
Räjähdysaineet	3335 €
Kokonaiskustannukset	10889 €
Kustannukset € / m ³	5,6 €/m ³

Poraamalla irrotettavan kamin huonoja puolia ovat, että tämä tapa voi aiheuttaa jäljelle jäävään kallioon ampuvikoja.

6 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tarkoitus oli tarkastella irrotuslouhinnan kustannusten muodostumista. Kustannusten muodostumiseen eniten vaikuttavat tekijät ovat irrotustekniikan valinta. Railoporausta oli aiemmin käytetty runsaasti, vaikka se on kustannusten puolesta kallis vaihtoehto. Tarvekiven vuotuiset louhintamäärät ovat olleet jatkuvasti laskussa, joten kustannustehokkaampien vaihtoehtojen etsiminen on viime vuosina ollut tärkeää. Tänä päivänä Palin Granit Oy:n louhimoilla ei railoporausta enää juurikaan tehdä sen kalliin hinnan vuoksi.

Timanttivaijerisahaus on kustannuksiltaan halvin vaihtoehto. Sahauksen ongelmana tarvekivilouhinnassa on kalliossa esiintyvä vuoripaine. Vuoripainetta esiintyy yleensä tiettyyn louhintasuuntaan mennessä. Vuoripaine sulkee kalliossa esiintyviä halkeamia ja kalliota sahattaessa vuoripaine voi painaa valmiin sahausuran kiinni, jolloin timanttivaijeri jää puristuksiin ja jumiutuu. Myös rikkinäinen kallio on haasteellista sahauksen kannalta. Vaijerisahaus talvisin kovalla pakkasella ei myöskään onnistu. Timanttivaijeri tarvitsee juoksevaa vettä. Vesi kuljettaa sahausurasta irtonaisen kivisoijan pois, jotta sahausura pysyy auki. Talviolosuhteissa sahauksen käyttöä voidaan pidentää käyttämällä lämmitettävää vesisäiliötä.

Tulevaisuudessa vaijerisahaus tulee lisääntymään tarvekivilouhinnassa. Sahauskalusto ja vaijerit kehittyvät jatkuvasti, sahauksen jälki paranee ja sahausnopeus kasvaa. Timanttivaijerisahaus helposti mielletään kalliina ja työläänä vaihtoehtona. Vaijerisahauksen valmistelut vievät enemmän aikaa poraukseen verrattuna, mutta mitä suurempi sahattava pinta-ala on, niin sitä suurempia säästöjä saadaan tarvekiven louhinnassa aikaan käytettäessä vaijerisahausta.

Louhinnan suunnittelulla voidaan vaikuttaa paljon syntyviin kustannuksiin. Palin Granit Oy:llä takalinjojen sahausta tehdään suhteellisen vähän. Näissä kohteissa sahausta lisäämällä saadaan suhteellisen pienellä vaivalla kustannuksia alemmas. Vaakasahaus on jäänyt kokeilu asteelle, mutta sitäkin varmasti tulevaisuudessa tullaan jatkamaan.

Vaijerisahauksen etuja poraamiseen verrattuna ovat:

- työntekijän kivipölylle altistumisen väheneminen
- parempi valmiin kiven saantisuhde
- melun ja tärinän väheneminen
- pienemmät kustannukset.

Lähteet

Forcit explosives tuotteet. Viitattu 24.7.2022. Saatavissa <https://forcitexplosives.fi/>

Kivi Ry. Viitattu 24.9.2022. Saatavissa <https://kivi.info/>

Mesimäki, P. 1999. Tarvekiven louhintä. Kiviteknologia 2. Opetushallitus. Helsinki

Vuolio, R., Halonen, T. 2012. Räjätystyöt. Päivitetty 2. painos. Tammerprint Oy. Suomen Rakennusmedia Oy, Helsinki

Vuorityö ja- tekniikka vuosijulkaisu 2013. 2013. Verkkoaineisto. Vuoriteknikot RY. Viitattu 27.7.2022. Saatavissa <https://docplayer.fi/2498104-Juhlanumero-vuorityo-ja-tekniikkavuoriteknikot-ry-n-jasenlehti-vuosijulkaisu-2013-www-vuoriteknikotfi.html>