

Markku Siikanen

# Louhinnan teknistaloudellinen optimointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Mestarityö

28.8.2017

Tekijä Otsikko	Markku Siikanen Louhinnan teknistaloudellinen optimointi
Sivumäärä Aika	49 sivua 28.8.2017
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennusalan työnjohto
Suuntautumisvaihtoehto	Talonrakennustekniikka
Ohjaajat	Lehtori, Tapani Järvenpää, Metropolia Ammattikorkeakoulu Työmaapäällikkö, Mikko Honkonen, Destia Oy
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä louhinnan teoriaan ja siihen, miten louhintatyö käytännössä tehdään ja mitä asioita tulee ottaa huomioon, että louhinta on teknisesti ja taloudellisesti mahdollisimman tehokasta.</p> <p>Lakimuutokset panostajien pätevyyskirjoissa muuttuivat vuoden 2016 syksyllä ja muutoksia käsitellään tässä opinnäytetyössä.</p> <p>Louhinnan teoriaosassa suunniteltiin räjäytettävät kentät alan kirjallisuudesta saatujen oppien mukaisesti käyttämällä valmiita taulukoita tai laskemalla teoreettisesti tarvittavat mittatiedot. Käytännön suunnittelussa otettiin huomioon kokemusperäinen tieto. Louheen käyttötarkoitus määrää vaaditun lohkarokoon.</p> <p>Käytännön tutkimustyö tehtiin viidellä eri työmaalla, jotka olivat erilaisia toistensa suhteen. Jokainen poikkesi toisistaan niin paljon, että niissä pystyi tekemään erilaisia ratkaisuja, että louhintatyö oli mahdollisimman kustannustehokasta. Kallion laatu ja kivilaji asettavat omat haasteensa. Huonolaatuinen kallio on vaikea louhia. Lähistöllä olevat tärinäherkät rakennukset ja laitteet asettavat rajoituksia yhtenä panoksena räjäytettävään räjähdysainemäärään.</p> <p>Tutkimustyöstä saatuja kokemuksia voidaan hyödyntää erilaisissa louhintatöissä. Tärinäherkällä alueella louhinta, tai matalat louhinnat, ovat töitä, joissa joutuu suunnittelemaan paljon.</p>	
Avainsanat	Louhinta, räjäytys, taloudellisuus, optimointi

Author Title	Markku Siikanen Technical and Economic Optimization of Quarrying
Number of Pages Date	49 pages 28 August 2017
Degree	Bachelor of Construction Site Management
Degree Programme	Construction Site Management
Specialisation option	House Building Site Management
Instructors	Tapani Järvenpää, Senior Lecturer, Metropolia University of Applied Sciences Mikko Honkonen, Site Manager, Destia Oy
<p>The goal of this thesis was to survey the theory of quarrying and how quarrying is conducted in practice, as well as factors that need to be considered maximize cost-efficiency. There were changes in Finnish legislation during 2016 regarding the blaster qualification. These changes are clarified in this thesis.</p> <p>In theory part of this thesis blastings are planned using either concepts from theory related literature using table values or by calculating with theoretical formulas. When planning in practice the knowledge of the blaster is also taken into consideration. Use of the blasted rock defines the required size of the blasted rock.</p> <p>The research was done on five working sites, all of them with special features. On each of these sites different blasting techniques were used to maximize cost-efficiency. Quality of the rock provided its own challenges. When the rock quality is poor blasting is difficult. Vibration sensitive structures and devices located near the blasting zone set limits to the amounts of explosives that can be detonated simultaneously.</p> <p>Experience gained from this research utilized at in various quarrying working sites. Quarrying in areas with vibration sensitive structures and quarrying with shallow bench height are cases where precise planning is required.</p>	
Keywords	Quarrying, blasting, cost-efficiency, optimization

## Sisällys

Käsitteitä	6
1 Johdanto	1
1.1 Erilaiset louhintatyöt	1
1.1.1 Maanalainen louhinta	1
1.1.2 Vedenalainen louhinta	2
1.1.3 Tarvekivilouhinta	3
1.1.4 Louhinta räjäyttämättä	4
1.1.5 Maanpäällinen louhinta	5
1.2 Työn taustat	5
1.3 Työn tavoite ja tutkimusmenetelmät	5
2 Lakimuutokset räjäytystöissä	7
2.1 Panostajan pätevyyskirjat, vaadittu työkokemus ja rajoitukset räjähteiden käytössä	7
2.1.1 Tehosteräjäyttäjän pätevyyskirja	8
2.1.2 Nuoremman panostajan pätevyyskirja	8
2.1.3 Vanhemman panostajan pätevyyskirja	9
2.1.4 Ylipanostajan pätevyyskirja	9
2.1.5 Räjäytystyön vastuuhenkilön pätevyyskirja	10
2.1.6 Panostajan pätevyyskirja maanalaisessa ja maanpäällisessä louhinnassa	10
3 Louhinnan teoriaa	11
3.1 Käsitteet	11
3.2 Käytännön esimerkki pengerialouhinnan poraussuunnitelmasta	13
3.2.1 Maksimietu $V_{maks}$ .	14
3.2.2 Porausreiän pituus $H$	16
3.2.3 Käytännön etu $V_1$	16
3.2.4 Käytännön reikäväli	16
3.2.5 Ominaisporaus	17
3.2.6 Pohjapanos	17
3.2.7 Varsipanos	18
3.2.8 Ominaispanostus	18
3.3 Louhinnan aiheuttama tärinä	18

3.3.1	Tärinämittaus ja katselmukset	18
3.3.2	Tärinän arviointiin perustuvia taulukoita ja laskentakaavoja	19
3.3.3	Käytännön esimerkki tärinän ja kiihtyvyyden laskemisesta	22
3.3.4	Tulosten tarkastelu	25
4	Käytännön laskentaa erilaisille räjäytyskentille	26
4.1	Korkeat louhepenkereet	26
4.2	Matalat louhepenkereet	29
5	Tutkimustyö	31
5.1	Lentoaseman louhintatyömaa	31
5.2	Kaitaan avolouhintatyömaa	32
5.3	Biotuotetehdas Äänekoskella	34
5.4	Piiparinkallion louhinta biotuotetehtaan tarpeisiin	35
5.5	Pohjoisbaana	36
5.5.1	Pääsiäiskatko Pohjoisbaanalla	37
5.5.2	Louhintakustannusten tarkastelua	41
6	Tulokset	44
6.1	Lentokentän työmaa	44
6.2	Kaitaan louhinta	44
6.3	Äänekosken biotuotetehdas	45
6.4	Piiparinkallio	45
6.5	Pohjoisbaana	46
7	Yhteenveto ja johtopäätökset	47
	Lähteet	49

## Käsitteitä

Etu	Reiän etäisyys louhittavan kallion etureunasta.
Etutäyte	Murskeella, sepelillä tai vastaavalla täytetty reiän yläosa, jolla varmistetaan, että reiän suulta ei sinkoudu kiviä räjähdysten voimasta.
Ohiporaus	Reikä porataan pengerkorkeutta syvemmälle. Tällä varmistetaan, että kallio irtoaa haluttuun syvyyteen.
Pengerkorkeus	Louhittavan kallion korkeus, joka halutaan räjäyttää irti.
Pohjapanos	Voimakkaampi räjähdysaine, jolla varmistetaan pohjan irtoaminen haluttuun syvyyteen.
Reikäväli	Reikärivissä olevien reikien etäisyys toisistaan.
Varsipanos	Räjähdysaine, joka tulee pohjapanoksen päälle.
Merlo	Kurottaja. Rotatorin myymä tavaramerkki. Jos kurottajan puomin päässä on häkki, voidaan siitä käsin tehdä erilaisia töitä.
Tilaaaja	Urakoitsijan sopimuskumppani, joka on tilannut urakkasuorituksen. Tilaajana voi toimia rakennuttaja tai urakoitsija.
Urakoitsija	Tilaaajan sopimuskumppani, joka on sitoutunut tekemään sopimusasiakirjoissa määritellyn työntuloksen.

## 1 Johdanto

Destia Oy on suomalainen rakennusalan palveluyritys. Sen liikevaihto oli vuonna 2016 493,2 miljoonaa euroa ja työntekijöitä oli keskimäärin 1492. Toiminnan painopiste on infrastruktuuri, sisältäen rakentamisen maanalaisesta maanpäällisen toiminnan toteuttamiseen. Yrityksen erikoisrakentamisen toimialoja ovat muun muassa ratarakentaminen ja -ylläpito, kiviainestuotanto, kalliorakentaminen ja asiantuntijapalvelut.[1.]

Destia Oy:n kallioyksikkö toteuttaa louhintatöitä sekä maan alla että maan päällä. Yrityksen vahvuutena on hyvä kalusto sekä ammattitaitoinen henkilöstö. Avolouhinta sisältää pohjarakentamisen, kunnallisteknisen rakentamisen, tie- ja katulinjojen leikkausten ja massalouhintojen louhintatyöt.[1.]

### 1.1 Erilaiset louhintatyöt

Louhintatyöt voidaan jakaa seuraavasti: maanalainen louhinta, vedenalainen louhinta, tarvekivilouhinta, louhinta räjäyttämättä sekä maanpäällinen louhinta.

#### 1.1.1 Maanalainen louhinta

Maanalaisia louhintakohteita ovat mm. erilaiset tunnelityöt. Kohteina voi olla metrotunnelit, liikennetunnelit, ratatunnelit ja yhteiskäyttötunnelit, joihin sijoitetaan lämpö-, jäähdytys-, sähkö- ja vesiputkistoja. Viikin jätevesipuhdistamolta on rakennettu puhdistetun jäteveden purkutunneli, jonka purkupää on Katajaluodon eteläpuolella. Sairaaloita on yhdistetty tunneleilla ja kansanedustajille on rakennettu tunneli Eduskuntatalon ja eduskunnan lisärakennuksen välille. Puolustusvoimille on rakennettu omat tunneliverkostot ja maanalaiset tilat. Vuosituhannen vaihteessa Helsingissä oli tunneleita noin 200 kilometriä.

Maanalaisia tiloja ovat esimerkiksi liikunta- ja uimahallit sekä pysäköinti- ja varastointitilat. Myös suuria kallioon louhittuja öljysäiliöitä on rakennettu. Kuvassa 1 on Itäkeskuksen uimahalli, joka on rakennettu louhimalla tilat kallion sisään.[2.]



**Kuva 1 [2.] Itäkeskuksen uimahalli, joka on rakennettu kallion sisään.**

### 1.1.2 Vedenalainen louhinta

Vedenalaista louhintaa ovat vesiväylien ja satamien rakentaminen. Laiturien rakentamisessa on yleisessä käytössä rakentaminen kasuuneilla, jolloin kasuunit valetaan rannalla ja uitetaan kohteeseen. Nämä vaativat tasaisen ja riittävän syvän pohjan. Satamien laajennustöissä voi kallio olla niin korkealla, että laituria ei pysty rakentamaan, jolloin se joudutaan louhimaan pois. Suuremmat alukset, joiden syväys on niin suuri, että ne eivät pääse laituriin, tarvitsevat syvemmän väylän, jolloin väylää syvennetään louhimalla ja ruoppaamalla.

Yleisesti vedenalainen louhinta tehdään poralautoilla. Nämä ovat lauttoja, joissa on yksi tai useampi poratorni. Kuvassa 2 on poralautta, jossa on kaksi poratornia.

Poraus ja panostus suoritetaan lautalta ja kun reikäriivi on porattu ja panostettu, lautta siirretään seuraavalle porattavalle reikäriiville. Siirto suoritetaan mittaamalla lautan sijainti tarkasti, että reikien etu on oikean suuruinen ja panostettuun reikään poraamista ei pääse tapahtumaan. Panostusaste on  $0,8 - 2,5 \text{ kg/m}^3$ . [3.]



**Kuva 2 [3.] Poralautta, jossa on kaksi poratornia. Kulmissa olevilla tukijaloilla lautta ankuroidaan paikalleen porauksen ja panostuksen ajaksi.**

Pienemmissä vedenalaisissa louhintatöissä poraus- ja panostustyön voi suorittaa asianmukaisen ammattitutkinnon suorittanut sukeltaja. Tämä on hidas ja kallis ratkaisu, joten sitä käytetään vain pienissä kohteissa, joissa lautan käyttö ei ole taloudellisesti kannattava.

Vedenalainen louhinta voidaan suorittaa rakentamalla kohteeseen työpato ja pumppamalla kaivanto kuivaksi. Tällöin menetelmänä on normaali avolouhinta. Louhinta voidaan suorittaa myös maapenkereen läpi.

### 1.1.3 Tarvekivilouhinta

Tarvekiveä käytetään esimerkiksi hautakiviin, katukiveyksiin ja talojen julkisivuihin. Tarvekiveen kohdistuu tiukkoja laatuvaatimuksia. Kiven laatu ja ominaisuudet täytyy olla tarvekiviin sopivia. Tämä asettaa vaatimuksia alueille, joista tarvekiveä on tarkoitus louhia. Kiven on oltava ehjää, sekä väriltään sopivaa.

Tarvekivien louhinnassa on käytössä useita tekniikoita. Niitä voidaan louhia irtiporaamalla, sahaamalla, kiilaamalla, polttoleikkaamalla tai räjäyttämällä.

Kun tarvekiveä irrotetaan räjäyttämällä, porataan kallion alareunaan sekä kaikille sivuille tiheällä reikävälillä reiät. Ne panostetaan kevyesti ja räjäytetään samanaikaisesti käyttäen räjähtävää tulilankaa.. Louhinta alkaa irrottamalla ensin 1000 – 2000 kuutiometrin kokoinen lohko, ”kami”. Tämän jälkeen siitä lohkotaan useilla menetelmillä ja työvaiheilla halutun kokoisia palasia. Menetelminä voi olla poraus ja kevyt panostus tai kiilaaminen hydraulisella kiilauslaitteella.

#### 1.1.4 Louhinta räjäyttämättä

Joskus louhintatöissä tulee vastaan kohteita, joissa louhintatöitä ei voi suorittaa räjäyttämällä. Tällaisia kohteita ovat muun muassa paikat, joissa kalliolla ei ole tilaa purkautua. Räjäyttämällä kallion tilavuus kaksinkertaistuu tai kohteessa voi olla myös niin värinäherkkiä laitteita, etteivät ne kestä louhinnan aiheuttamaa värinää. Tällöin louhinta täytyy suorittaa räjäyttämättä.

Menetelmät ovat hydraulinen kiilaus, irrotus kemiallisella paisunta-aineella tai railoporaus.

Hydraulisessa kiilauksessa porataan reikiä riittävän tiheästi, että kiilauksella saadaan kallio irrotettua. Reikään työnnetään hydraulikiila, jossa on sisäkiila ja ulkokiilat. Sisäkiila työnnyttyä hydrauliiikan avulla kohti ulkokiiloja paisuttaen niitä, jolloin kallioon kohdistuu vetoa ja kallio lohkeaa. Reiät on porattava riittävän syviksi, ettei ulostuleva kiila osu reiän pohjaan.

Kemiallisena paisunta-aineena voidaan käyttää CRAS-paisuntamassaa, jota kutsutaan myös etanadynamiitiksi. Voimakas kemiallinen reaktio paisuttaa ainetta ja luo niin suuren paineen, että tämä riittää murtamaan kalliota.[4.]

Porausreikien koko vaihtelee 25 – 70 mm välillä. Reikiä on porattava niin tiheästi, että paisuntamassan voima riittää kallion irrotukseen. Massaan sekoitetaan kylmää vettä 30 % ja se kaadetaan reikään viimeistään 15 minuutin kuluttua sekoituksesta. Reiät suojataan sateelta ja auringolta, sekä peitetään niin, että kallion alkaessa murtua, irtonaisia

louhekappaleita ei pääse sinkoutumaan ympäristöön. Massan murtamiseen kestävä reaktioaika on 6 – 8 tuntia. Ilman lämpötilan on oltava yli 0 astetta ja liian kuumalla ilmalla työtä ei voi tehdä. Auringon lämmittämään reikään paisuntamassaa ei saa kaataa. Lämpiminä kesäpäivinä massa kaadetaan aamulla reikiin, kun on viileämpi ilma. Jos massan lämpötila nousee nopeasti, on vaarana, että massa pursuaa reiästä ulos. Tämän vuoksi reiät on syytä peittää esimerkiksi kostealla juuttisäkillä.[4.]

### 1.1.5 Maanpäällinen louhinta

Avolouhinta käsittää kaiken maanpinnalla tapahtuvan louhinnan. Talonrakennustyömailla kallio louhitaan rakennettavan kohteen edestä pois. Tie- ja katuhankkeissa louhitaan kallio rakennettavissa kohteissa suunniteltuun leveyteen ja syvyyteen, sekä louhitaan kanaalit tarvittaville rakenteille, kuten putkilinjat, valaistus ja kuivatus. Massalouhintoja ovat murskalle irrotettavat kohteet sekä avolouhintana suoritettavat kaivoshankkeet.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään maanpäälliseen louhintaan.

## 1.2 Työn taustat

Opinnäytetyön tarkoitus on optimoida kustannuksia erilaisissa louhintatöissä. Louhinta-alalla on lukuisia yrityksiä ja kilpailu urakoista on kova. Kaikki säästö, mitä louhintatyössä voidaan saavuttaa, auttaa urakoitsijaa positiivisen tuloksen saavuttamiseksi ja kilpailukykyisen tarjouksen tekemiseen.

## 1.3 Työn tavoite ja tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyön tavoitteena on löytää optimaalisia menetelmiä louhinnan toteutukseen. Asutuskeskuksissa louhinnan aiheuttama tärinä on ongelma. Matalien louhintojen kustannukset ovat suuria. Muun muassa näihin on tarkoitus etsiä ratkaisuja, joilla kustannuksia saadaan pienemmään.

Opinnäytetyö koostuu teoreettisesti lasketuista louhintakustannuksista sekä käytännön työn seurannasta eri työmailla ja erilaisten vaihtoehtoisten menetelmien kokeilusta. Nämä ovat esimerkiksi edun ja reikävälin muutokset, reikäkoot, erilaiset räjähdysaineet

ja sytytysmenetelmät. Eri vaihtoehdoista lasketaan todelliset kustannukset ja niitä verrataan keskenään edullisimman ratkaisun löytymiseksi. Jos joku muutos havaitaan hyväksi, otetaan se yrityksessä käyttöön.

## 2 Lakimuutokset räjäytystöissä

Vuonna 2016 voimaanastuneilla lakimuutoksilla muutettiin panostajien pätevyysvaatimuksia. Laissa poistettiin räjäyttäjän ja panostajan koulutukset ja lisättiin tehosteräjäyttäjän, nuoremman panostajan, vanhemman panostajan ja räjäytystyön vastuuhenkilön koulutukset. Ylipanostajan koulutus säilyi ennallaan.

Aikaisemmin hankitut pätevyudet pysyvät voimassa ja ne päivitetään uusimisen yhteydessä. Räjäyttäjäloukka A – D ja F saavat uusimisen yhteydessä nuoremman panostajan pätevyyskirjan ja räjäyttäjäloukka E tehosteräjäyttäjän pätevyyskirjan. Panostajan pätevyyskirja muutetaan vanhemman panostajan pätevyyskirjaksi.

Lakimuutoksella muutettiin aikaisemmin räjäytystyönjohtajana toimineen henkilön vastuu räjäytystyön vastuuhenkilön tehtäväksi. Asetus tuli voimaan 1.9.2016. Siirtymäaika määrättiin 31.12.2019 asti, jolloin aikaisemmin asutulla alueella toiminut ylipanostaja saa toimia räjäytystyönjohtajana edellä mainittuun päivämäärään asti.[5.]

### 2.1 Panostajan pätevyyskirjat, vaadittu työkokemus ja rajoitukset räjähteiden käytössä

Uuden lain mukaisesti uudet panostajan pätevyyskirjat ovat:

- Tehosteräjäyttäjän pätevyyskirja
- Nuoremman panostajan pätevyyskirja
- Vanhemman panostajan pätevyyskirja
- Ylipanostajan pätevyyskirja
- Räjäytystyön vastuuhenkilön pätevyyskirja. [6.]

Aluehallintovirasto myöntää panostajan pätevyyskirjan. Hakijalta edellytetään, että hän on täyttänyt 20 vuotta, on terveydeltään sopiva, hyvämaineinen, koulutukseltaan pätevä ja hänellä on riittävä työkokemus. Aluehallintovirasto vaatii hakijalta suppean henkilöturvallisuusselvityksen. Sen hakija voi toimittaa hakemuksen mukana, tai antaa suostumuksen Aluehallintovirastolle sen tekemiseen.[6.]

Panostajan pätevyyskirja on voimassa enintään viisi vuotta kerrallaan ja sen voimassaolo päättyy, kun panostaja täyttää 68 vuotta. Aluehallintovirasto pitää rekisteriä panostajan pätevyyskirjoista.[6.]

Panostajan pätevyyskirjaa haetaan kirjallisesti. Mukaan täytyy liittää selvitys koulutuksesta, enintään kaksi vuotta vanha kuulustelutodistus, selvitys työkokemuksesta sekä enintään kolme kuukautta vanha lääkärintodistus.[7.]

Vanhemman panostajan pätevyyskirja voidaan myöntää diplomi-insinöörin, insinöörin, teknikon tai vastaavan tutkinnon suorittaneelle, jos hänellä koulutuksen ja hankkimansa työkokemuksen perusteella on riittävät tiedot ja taidot. Käytännön työkokemusta räjäytys- ja louhintatöistä täytyy olla vähintään 12 kuukautta. Lisäksi hakijan täytyy suorittaa vanhemman panostajan kuulustelu.[6.]

Edellä mainituille henkilöille voidaan myöntää ylipanostajan pätevyyskirja. Hänellä täytyy olla vanhemman panostajan pätevyyskirja, vähintään 18 kuukautta monipuolista kokemusta vanhempana panostajana, sekä ylipanostajan kuulustelu suoritettu.[6.]

Edellä mainituille henkilöille voidaan myöntää räjäytystyön vastuuhenkilön pätevyyskirja, jos hän on suorittanut räjäytystyön vastuuhenkilön kurssin ja kuulustelun. Lisäksi hänellä täytyy olla työkokemusta vähintään 24 kuukautta ylipanostajan pätevyyttä edellyttävässä työssä asutulla alueella. Työkokemuksesta maanpäällisessä käytännön louhinta- ja räjäytystyöstä täytyy olla vähintään kuusi kuukautta. Jos henkilöllä ei ole vanhemman panostajan tai ylipanostajan pätevyyskirjaa, on hänen lisäksi suoritettava nuoremman panostajan kurssi.[6.]

#### 2.1.1 Tehosteräjäyttäjän pätevyyskirja

Työkokemusta vaaditaan vähintään kuusi kuukautta tehosteräjäyttäjän työstä.[6.]

#### 2.1.2 Nuoremman panostajan pätevyyskirja

Nuoremman panostajan pätevyyskirja vastaa entistä räjäyttäjän pätevyyskirjaa. Pätevyyskirjan saamiseksi vaaditaan työkokemusta vähintään kuusi kuukautta nuoremman panostajan työstä.[6.]

Nuoremman panostajan ja räjäytystyön vastuuhenkilön pätevyyskirjalla saa räjäyttää asumattomalla alueella yhtenä panoksena enintään kilon ja vuorokaudessa enintään 25 kiloa. 25 kiloa saa räjäyttää kerralla, kunhan reikäpanos ei ylitä yhtä kiloa. Asutulla alueella toimitaan alla olevan taulukon mukaisesti. Kerralla ei saa räjäyttää kuin yhden reikäpanoksen.[5.]

Taulukossa1 on räjähdysainemäärät, joita nuorempi panostaja saa käyttää yhtenä panoksena asutulla alueella.

Taulukko 1. Taulukko 1. Asutun alueen määrittämät rajoitukset räjähdemääristä, joita nuorempi panostaja saa räjäyttää yhtenä panoksena ja vain yhden reikäpanoksen kerrallaan.[5.]

Yhtenä panoksena räjäytettävä räjähdemäärä kilogrammoina	Etäisyys metreinä asutusta rakennuksesta tai paikasta, jossa ihmisiä tavallisesti oleskelee
0,06	10
0,12	20
0,25	40
0,50	80
1,0	160

### 2.1.3 Vanhemman panostajan pätevyyskirja

Pätevyyskirjan saamiseksi vaaditaan työkokemusta vähintään 12 kuukautta räjäytys- ja louhintatyössä. Työkokemuksesta täytyy olla vähintään kolme kuukautta vanhemman panostajan pätevyyttä edellyttävässä työssä.[6.]

Asutulla alueella, muualla kuin kaivoksessa, saa vanhempi panostaja käyttää räjähteitä 500 kiloa vuorokaudessa ja enintään 10 kiloa panostilassa. Asutun alueen ulkopuolella ei ole rajoituksia räjähteiden käytössä.[5.]

### 2.1.4 Ylipanostajan pätevyyskirja

Ylipanostajan pätevyyskirja edellyttää, että on suorittanut vanhemman panostajan pätevyyskirjan. Vanhemman panostajan edellyttämää työkokemusta täytyy olla vähintään 18 kuukautta ja tästä ajasta vähintään kolme kuukautta ylipanostajan pätevyyttä edellyttävässä työssä.[6.]

Ylipanostajan pätevyyskirjalla ei ole määrä- eikä paikkakohtaisia rajoituksia.[6].

### 2.1.5 Räjätystystyön vastuuhenkilön pätevyyskirja

1.9.2016 voimaan astuneen panostajalain mukaisesti asutulla alueella räjäytystöistä vastaa räjäytystyön vastuuhenkilö. Ennen tätä päivämäärää ylipanostajan pätevyyskirjan saanut henkilö voi toimia räjäytystyönjohtajana 31.12.2019 asti. Voimaan astuneen lain jälkeen ylipanostajan pätevyyskirjan suorittanut henkilö joutuu suorittamaan räjäytystyön vastuuhenkilön kuulustelun toimiakseen vastuuhenkilönä asutulla alueella.[6.]

Kouluttautuakseen räjäytystyön vastuuhenkilöksi on mahdollista edetä kahta eri reittiä. Vaihtoehtoina on edetä työn kautta kouluttautumalla ensin vanhemmaksi panostajaksi ja sen jälkeen ylipanostajaksi. Toinen vaihtoehto on insinööri- tai vastaavan koulutuksen perusteella hakea räjäytystyön vastuuhenkilön koulutukseen. Jälkimmäisessä vaihtoehdossa vaaditaan asutulla alueella vähintään nuoremman panostajan pätevyyskirjaa.[6.]

Molemmissa vaihtoehdoissa vaaditaan pätevyyskirjan saamisen jälkeen asutulla alueella saatua ylipanostajan pätevyyttä vaativaa työkokemusta vähintään 24 kuukautta, josta vähintään kolme kuukautta maanpäällisissä louhinta- ja räjäytystöissä, sekä suoritettua räjäytystyön vastuuhenkilön tutkintoa.[6.]

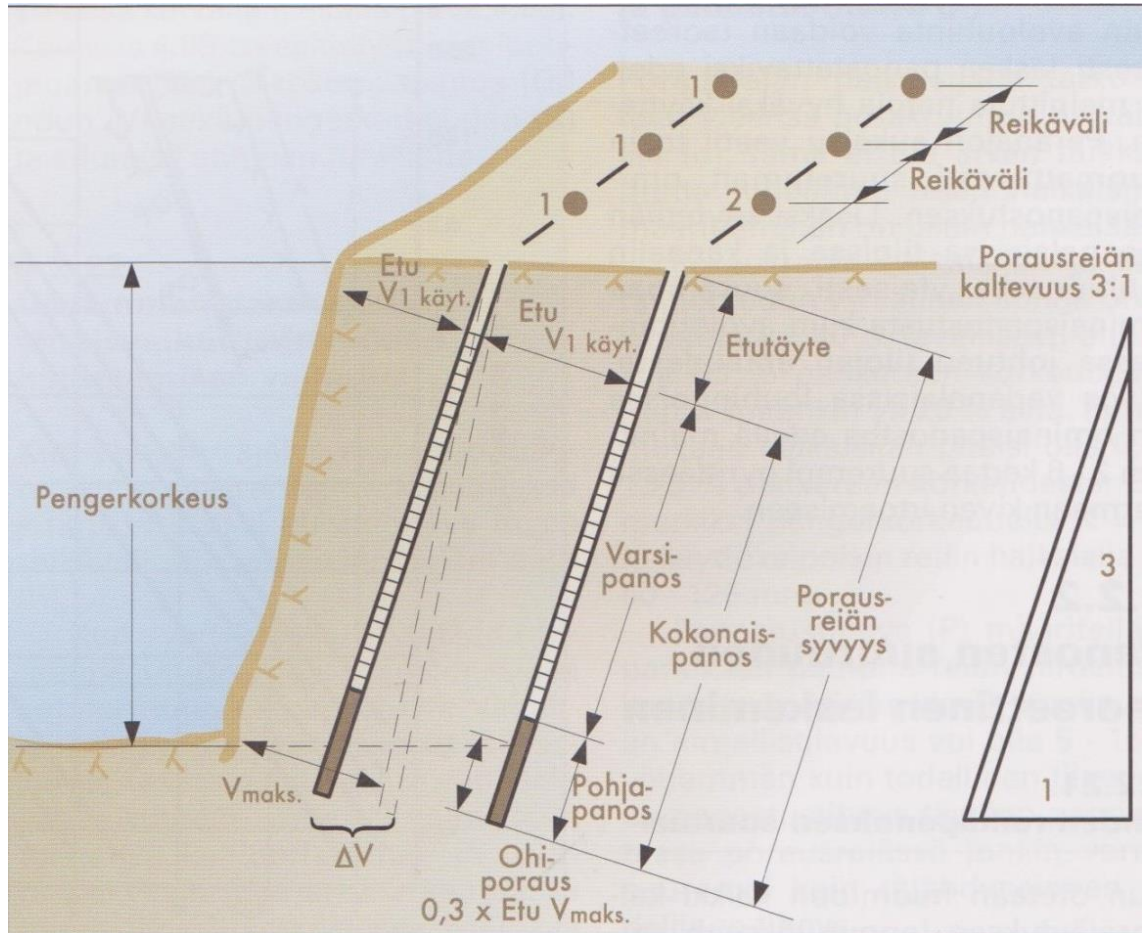
### 2.1.6 Panostajan pätevyyskirja maanalaisessa ja maanpäällisessä louhinnassa

Vanhemman panostajan tai ylipanostajan pätevyyskirja voi koskea sekä maanpäällistä että maanalaista louhintaa. Saadakseen molemmat pätevyyskirjat, vaaditaan vanhemmalta panostajalta vähintään 12 kuukautta kokemusta räjäytys- ja louhintatöistä, joista vähintään kolme kuukautta vanhemman panostajan pätevyyttä edellyttävää työkokemusta maanpäällisestä louhinnasta ja vähintään kolme kuukautta vanhemman panostajan pätevyyttä edellyttävää työkokemusta maanalaisesta louhinnasta.[8.]

Ylipanostajalta, saadakseen pätevyyskirjat molempiin louhintatöihin, vaaditaan vähintään 18 kuukautta kokemusta räjäytys- ja louhintatöistä, joista vähintään kolme kuukautta ylipanostajan pätevyyttä edellyttävää työkokemusta maanalaisesta louhinnasta ja vähintään kolme kuukautta ylipanostajan edellyttämää työkokemusta maanpäällisestä louhinnasta.[8.]

### 3 Louhinnan teoriaa

Alla olevassa kuvassa 3 on esitetty käsitteistöä, joihin pengerialouhinta perustuu.



Kuva 3. Pengerlouhinnan käsitteistöä [9, s.103].

Tarvittaessa kenttä peitetään kumimatoilla, teollisuushuovalla tai muulla luotettavalla tavalla. Tämän lisäksi käytetään tarvittaessa louhetta kentän etureunassa, niin sanottu louhetäkkäys. Louhetta laitetaan kentän etureunalle siten, että se ulottuu etureunan päälle tulevien kumimattojen alle siten, että kumimatot ovat louheen päällä. Louhetäkkäyksen tarkoitus on estää lohcareiden hallitsematon sinkoutuminen, kun keulariät räjähtävät.

#### 3.1 Käsitteet

$V_{maks.}$  = Suurin etu metreissä panosreiän pohjalla, millä kallio vielä irtoaa [9, s. 109].

$$V_{\text{maks.}} = 1,47\sqrt{l_b} \text{ (1) [7, s. 109].}$$

$$V_{\text{maks.}} = 1,42\sqrt{l_b} \text{ (2) [7, s. 109].}$$

$$V_{\text{maks.}} = 1,36\sqrt{l_b} \text{ (3) [7, s. 109].}$$

$$V_{\text{maks.}} = 1,44\sqrt{l_b} \text{ (4) [7, s. 109].}$$

Kaavoissa  $l_b$  on räjähdysaineen ominaiskerroin eri räjähdysaineille. Kaavassa 1 kerroin on dynamiiteille, kaavassa 2 patruroiduille emulsioille, kaavassa 3 anfoille ja kaavassa 4 pumpattaville emulsioille. Räjähdysaineiden panostusaste kg/m saadaan räjähdysainetoimittajan taulukoista.[10.]

Käytännön etu  $V_1$  lasketaan maksimiedun avulla. Laskennassa huomioidaan reiän aloituksen porausvirhe kertoimella 0,1 ja suuntausvirhe kertoimella  $0,03 * H_{\text{kall}}$ , jossa  $H_{\text{kall}}$  on porausreiän syvyys.  $V_1 = V_{\text{maks.}} - 0,1 - 0,03 * H_{\text{kall}}$ . [9, s. 149].

Porausvirheellä tarkoitetaan sitä, että reiän aloitus ei ole suunnitellussa kohdassa ja suuntausvirhe sitä, että reiän suuntaus ei ole suunnitellun mukainen.

Reikäväli  $E_1$  lasketaan käytännön edun avulla. Suhdelukuna käytetään yleisesti 1,25.  $E_1 = 1,25 * V_1$ . [9, s. 150].

Porausreiän pituutta laskettaessa on huomioitava myös reiän kallistuksen vaatima lisäpituus. Kun porausreiän kaltevuus on 3:1, on kaltevuuskerroin 0,05. Ohiporaus pystyreissä on  $0,3 * V_{\text{maks.}}$ . Pystyreian pituus  $H$  on  $K + 0,3 * V_{\text{maks.}}$ . Kaavassa  $K$  on pengerkorkeus. Kun huomioidaan kallistuksen vaatima lisäpituus, saadaan kaava  $H_{\text{kall}} = H + a * H$ . Kaavassa  $a$  on kaltevuuskerroin. Esimerkiksi kaltevuudella 5:1 on kaltevuuskerroin  $a=0,03$ . Kaltevuuskertoimista löytyy kirjasta valmiiksi lasketut kertoimet. [9, s. 149].

Tarvittavat asteet ja kaltevuuskertoimet lasketaan suorakulmaisen kolmion lausekkeilla.

**B3****TARKKA LASKENTA**

$$h = \frac{K}{\cos \beta}$$

$$b = K \times \tan \beta$$

Vastaus saadaan pelkästään reikäkaltevuusmittoina, joten saatuun tulokseen pitää vielä lisätä ohiporaus (0,3 x V<sub>maks.</sub>).



. [9, s. 149].

Ominaisporaus  $b$  lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$b = \frac{n \cdot H_{kall}}{B \cdot V_1 \cdot K} \quad [9, s. 150].$$

$n$  = reikien lukumäärä reikäriiviä kohti

$H_{kall}$  = reiän pituus

$B$  = kentän leveys

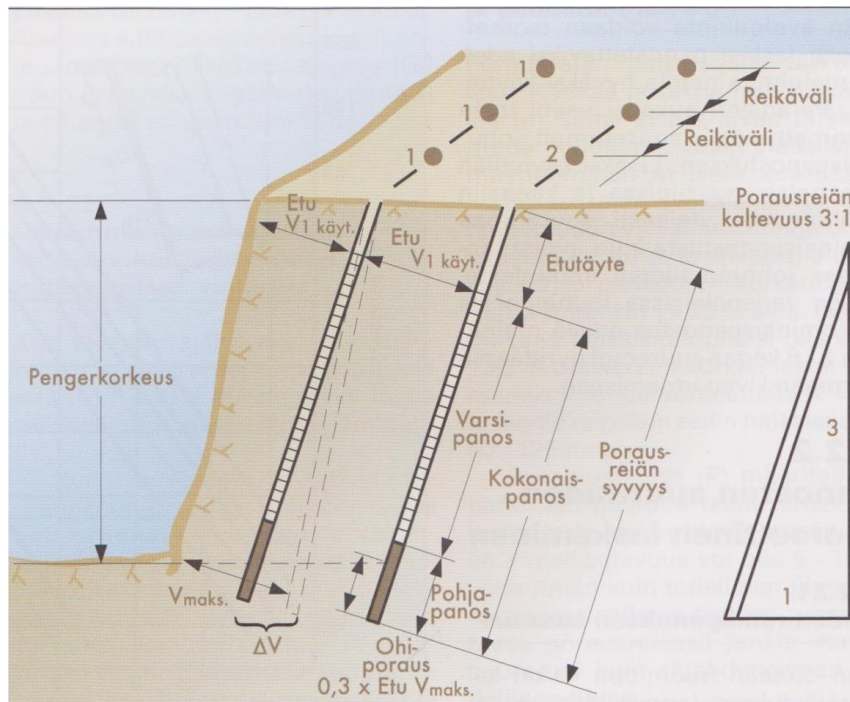
$V_1$  = käytännön etu

$K$  = kentän korkeus

### 3.2 Käytännön esimerkki pengerlouhinnan poraussuunnitelmasta

Kentän korkeus on 12 metriä, pituus 11 metriä ja leveys 20 metriä. Kenttä porataan 76 mm:n halkaisijalla olevalla porakruunulla. Reiän kaltevuus on 5:1. Pohjapanoksena käytetään Fordyn 65x560 patruunoita. Patruunat tiivistetään 10 %:n tiiviysasteella.

Kuvassa 4 on käsitteet, joihin avolouhinta perustuu.



Kuva 4. Esimerkkikuva porattavasta ja panostettavasta kentästä.

### 3.2.1 Maksimietu $V_{maks.}$

Räjähdysaineen toimittajan taulukosta näemme, että Fordyn 65x560 panostuksessa  $l_b = 4,98$  kg/m. Panosta tiivistetään 10 %, jolloin panostus on  $1,1 \cdot 4,98$  kg/m eli 5,48 kg/m.

Koska kyseessä on dynamiitti, käytetään kaavaa  $V_{maks.} = 1,47\sqrt{l_b}$

$$V_{maks.} = 1,47\sqrt{5,48} = 3,44 \text{ metriä} > 3,4 \text{ m}$$

Taulukossa 2 on räjähdysaineiden teknisiä ominaisuuksia.

Taulukko 2. Louhintaräjähdeiden teknisiä ominaisuuksia.[8, s. 45].

Räjähdysaine	PAKKAUS			TEKNISET OMINAISUUDET					
	Ø x pituus (mm)	Paino (g netto)	Pakkaus (kpl/ltk)	Pakkaus (kg netto)	Panostus (kg/m) <sup>(1)</sup>	Suhteellinen voima/m <sup>1</sup>	Tiheys (kg/dm <sup>3</sup> )	Räjähdysnopeus (m/s) <sup>2</sup>	Räjähdysenergia (MJ/kg)
Fordyn *	25x380	250	100	25	0,74	1,00	1,45-1,55	2500 - 6000	4,5
	29x380	350	71		0,99	1,34			
	35x380	500	50		1,44	1,95			
	43x560	1100	23		2,18	2,95			
	50x560	1600	16		2,95	3,99			
	55x560	1900	13		3,56	4,81			
	60x560	2100	12		4,24	5,73			
	65x560	2500	10		4,98	6,73			
	75x500	3100	8		6,63	8,96			
	85x500	4200	6		8,51	11,50			
Redex *	25x380	250	100	25	0,74	1,19	1,49-1,51	6540 - 6760	5,5
	43x560	1100	23		2,18	3,49		6550 - 6950	
	55x560	1900	13		3,56	5,71		6300 - 7000	
Forprime *	15x150	25	500	13	0,17	0,25	1,40-1,45	7200	5,0
Kemix A *	25x530	290	86	25	0,58	0,69	1,15 - 1,20	4600 - 5600	3,8
	32x530	530	47		0,94	1,11			
	36x530	670	37		1,20	1,42			
	40x530	830	30		1,48	1,75			
	50x530	1250	20		2,31	2,73			
	55x530	1560	16		2,79	3,30			
	60x530	1800	14		3,32	3,92			
	65x530	2100	12		3,90	4,61			
	70x530	2500	10		4,52	5,34			
	90x530	4200	6		7,48	8,84			
Anfot *	Anfo			25	4,13 (76mm)	5,11	n. 0,9	3000 - 3500	4,0
	Anfo 800			25	3,63 (76mm)	4,46	n. 0,8		3,9
	Ahti-Anfo			25	4,13 (76mm)	4,85	n. 0,9		3,8
	Pito-Anfo			20	4,13 (76mm)	4,70	n. 0,9		3,5
Kemiitti *	Kemiitti 510	bulk			5 - 6 (76mm)	5,43	1,15 - 1,2	4200 - 5500	3,0 ***
	Kemiitti 610	bulk			5 - 6 (76mm)	5,41	1,15 - 1,2	4200 - 5500	3,0 ****
	Kemiitti 810	bulk/IBC			4,54 (76mm)	4,38	n. 1,0	3000 - 5000	2,9
	Merikemiitti	IBC			5,9 (76mm)	7,93	n. 1,3	5500 - 6500	4,5
K-putkipanos **	17x500	100	150	15	0,20	0,66	n. 1,1	n. 2000	1,7
F-putkipanos **	17x500	100	150	15	0,20	1,00	n. 1,1	n. 2400	2,4
Kemix-putki **	17x1000	220	113	25	0,22	1,46	n. 1,0	n. 4200	2,9
Kemix A -putki **	22x1000	420	59	25	0,42	2,90	n. 1,2	4400 - 5000	3,0
	25x1000	550	45	25	0,55	3,79	n. 1,2	4400 - 5000	3,0
	29x1000	740	33	25	0,74	5,10	n. 1,2	4400 - 5000	3,0
	32x1000	900	27	25	0,90	6,21	n. 1,2	4400 - 5000	3,0
	39x1000	1290	19	25	1,29	8,90	n. 1,2	4400 - 5000	3,0

\* Voima/metri vertailu 25x380 dynamiittiin, ANFO- ja KEMIITTI-tuotteilla 76 mm reiässä.

\*\* Voima/metri vertailu F-putkipanokseen.

\*\*\* 20% AN prilli.

\*\*\*\* 30% AN prilli.

Esimerkiksi Fordyn dynamiitti 65x560 on 560 millimetriä pitkä, painaa 2,5 kg ja sen ominaispanostus tiivistämättä on 4,98 kg/m.

### 3.2.2 Porausreiän pituus H

Reiän kaltevuuden ollessa 5:1, saadaan kallistuskertoimeksi  $a=0,03$ . Pystyreian pituus H on  $K + 0,3 * V_{maks}$ . Pystyreian pituus  $H=12m+0,3*3,4m=13,02m >13m$ . Kallistus otetaan huomioon käyttämällä kallistuskerrointa  $a=0,03$ .  $H_{kall}=13m+0,03*13m=13,39m >13,4m$ .

### 3.2.3 Käytännön etu $V_1$

Käytännön etu lasketaan kaavalla  $V_1 = V_{maks} - 0,1 - 0,03 * H_{kall}$ , jossa 0,1 on reiän aloituspaikan virhe ja  $0,03 * H_{kall}$  on porauksen suuntausvirhe.

$$V_1 = 3,4 m - 0,1 m - 0,03 * 13,4 m = 2,9 m$$

Käytännön etu sovitetaan kentän pituudella. Kentän pituus on 11 metriä, jolloin käytännön etu lasketaan jakamalla kentän pituus lasketulla käytännön edulla.

$$V_1 = \frac{11m}{2,9m} = 3,8 \text{ etuväliä} \rightarrow 4 \text{ etuväliä.}$$

Korjattu käytännön etu on  $V_1 = \frac{11m}{4} = 2,75 m$ .

### 3.2.4 Käytännön reikäväli

Käytännön reikäväli lasketaan yleensä kaavalla  $E_1 = 1,25 * V_1$ .

$$E_1 = 1,25 * 2,75 m = 3,4 m$$

Käytännön reikäväli korjataan kentän leveydellä. Esimerkkitapauksessa kentän leveys on 20 metriä. Tämä jaetaan lasketulla reikäväliillä.

$E_1 = \frac{20m}{3,4m} = 5,9$  reikäväliä  $\rightarrow 6$  reikäväliä. Reikärivissä on 7 reikää.

Korjattu käytännön reikäväli on  $E_1 = \frac{20m}{6} = 3,3 m$ .

### 3.2.5 Ominaisporaus

Ominaisporaus lasketaan kaavalla  $b = \frac{n \cdot H_{kall}}{B \cdot V_1 \cdot K}$

$$b = \frac{7 \cdot 13,4 \text{ pom}}{20 \text{ m} \cdot 2,75 \text{ m} \cdot 12 \text{ m}} = 0,142 \text{ pom/m}^3$$

Kentän tilavuus on korkeus \* pituus \* leveys = 12 m \* 11 m \* 20 m = 2640 m<sup>3</sup>.

Porametrejä kentässä on 7 \* 4 \* 13,4 pom = 375 pom

Käytännön ominaisporaus on  $\frac{375 \text{ pom}}{2640 \text{ m}^3} = 0,142 \text{ pom/m}^3$

### 3.2.6 Pohjapanos

Esimerkkikentässä pohjapanokseksi on valittu Fordyn 65 x 560. Sitä tiivistetään 10 %, jolloin panostusaste on 1,1 \* 4,98 kg/m = 5,478 kg/m > 5,48 kg/m. [7, s. 150].

Pohjapanoksen pituus on 1,3 \* käytännön etu V<sub>1</sub>.

Tässä tapauksessa se on  $\frac{1,3 \cdot 2,75 \text{ m}}{1,1} = 3,575 \text{ m}$ . Pituus jaetaan tiivistämisen aiheuttamalla pohjapanoksen lyhenemisellä. [9, s. 150].

Pohjapanoksen paino on pohjapanoksen pituus \* panostusaste, 3,575 m \* 5,48 kg/m = 19,59 kg. Luku jaetaan patruunan painolla, jolloin saadaan patruunoille tasaluku. Yksi patruuna painaa 2,5 kg, joten  $\frac{19,59 \text{ kg}}{2,5 \text{ kg}} = 7,84 \text{ kpl}$ . Muutetaan kappalemäärä tasaluvuksi. 7 \* 2,5 kg = 17,5 kg Tämä luku on pohjapanoksen paino. [9, s. 150].

Pohjapanoksen kappalemäärä on pyöristetty alaspäin, koska varsipanoksen hinta on halvempi.

### 3.2.7 Varsipanos

Varsipanos tehdään Anfollla. 76 mm:n reiässä sen panostusaste on 4,13 kg/m. Varsipanoksen pituus saadaan vähentämällä reiän pituudesta pohjapanoksen osuus, sekä reiän suulle laitettava etutäyte. Etutäytteenä käytetään murskettä, sepeliä tai vastaavaa. Etutäyte on teoriassa käytännön etu  $V_1$ , eli tässä tapauksessa 2,75 m.[9, s. 151.]

Käytännössä etutäytteen määrä on liian suuri. Pinnasta jää paljon suuria lohkareita. Jos räjäytystyö tehdään alueella, jossa kivien sinkoilu ei haittaa, tai kenttä peitetään, voidaan etutäytteen pituutta pienentää. Käytännössä etutäytteen määrä olisi noin 1,7 metriä. Tässä laskennassa käytetään etutäytteen pituutena 2,75 m välittämättä lohkaroitumisongelmasta.

Varsipanoksen pituus on  $13,4 \text{ m} - 3,56 \text{ m} - 2,75 \text{ m} = 7,1 \text{ m}$ . Varsipanoksen paino on  $7,1 \text{ m} * 4,13 \text{ kg/m} = 29,3 \text{ kg}$ .

### 3.2.8 Ominaispanostus

Ominaispanostus saadaan laskemalla kentän reikien lukumäärä kerrottuna reikäpanoksella ja jakamalla saatu luku kentän tilavuudella.  $28 * 46,8 \text{ kg} = 1310 \text{ kg}$ .  $\frac{1310 \text{ kg}}{2640 \text{ m}^3} = 0,5 \text{ kg/m}^3$ .

## 3.3 Louhinnan aiheuttama tärinä

Louhintatyö aiheuttaa tärinää. Jos louhintakohde on lähellä asutusta, koetaan se yleensä epämiellyttävänä. Yleinen pelko on, että louhinnan aiheuttama tärinä vahingoittaa rakenteita.

### 3.3.1 Tärinämittaus ja katselmukset

Rajoittavaksi tekijäksi louhinnassa, varsinkin kun sitä suoritetaan asutuskeskuksessa tai tärinäherkän laitteen läheisyydessä, muodostuu tärinä. Mitä suurempi samalla nallinumerolla samanaikaisesti räjähtävä räjähdemäärä on, sitä suurempi tärinä siitä aiheutuu.

Voimakas louhinnan aiheuttama värinä saattaa aiheuttaa rakennuksiin halkeamia. Muita vaurioita, kuten rappauksen irtoamista tai taulujen putoamista seiniltä tapahtuu pienemmillä värinöillä. Värinäkonsultti antaa raja-arvot värinälle, jonka rakennus kestää vaurioitumatta, eikä muitakaan värinän aiheuttamia ilmiöitä esiinny.

Värinää seurataan värinämittareilla. Rakennuksissa sekä vastaavissa seurataan värinän aiheuttamaa heilahdusnopeutta ja teknisissä laitteissa, kuten tietokoneissa kiihtyvyyttä. Värinälle alttiit kohteet katselmoidaan ja pätevä katselmusmies antaa kohteen perusteella värinän raja-arvon. Kun annettua raja-arvoa ei ylitetä, on kohteen vaurioituminen epätodennäköistä.

Ennen louhinnan aloitusta katselmusmies arvioi alueen, johon louhintavärinä saattaa aiheuttaa vaurioita. Alueen laajuus riippuu louhittavasta määrästä ja pengerkorkeudesta. Arvioidun alueen perusteella rakennukset ja värinäherkät laitteet katselmoidaan. Katselmuspöytäkirjaan piirretään jo olemassa olevat halkeamat ja vauriot, jotka ovat olleet ennen louhintatyön aloitusta. Tarvittaessa vauriot myös kuvataan.

Laitteissa, joissa kiihtyvyys on rajoittava tekijä, laitevalmistaja usein antaa raja-arvon.

Kun louhintatyö on loppunut, tehdään tarvittaessa loppukatselmus, jos on epäilystä siitä, että louhintatyö on aiheuttanut vaurioita. Loppukatselmuksessa verrataan alkukatselmuksessa todettuja vaurioita ja näiden perusteella arvioidaan mahdolliset vauriot. Värinämittaustulokset ovat merkittävässä asemassa, kun vaurioita tarkastellaan.

Ihmiset reagoivat herkästi värinään. Se tuntuu epämiellyttävältä ja jo pienet heilahdusnopeuden arvot saavat epäilemään, että rakennus vaurioituu räjäytysten vuoksi.

### 3.3.2 Värinän arviointiin perustuvia taulukoita ja laskentakaavoja

Kun louhinta aloitetaan, voidaan etukäteen arvioida värinän suuruus käyttämällä tutkimuksiin perustuvia taulukoita sekä laskentakaavoja. Erilaisissa rakenteissa käytetään rakennustapakerrointa, jolla kerrotaan kaavalla laskettu tulos ja saadaan raja-arvo.

Taulukossa 3 esitetyllä kelpoisuudella tarkoitetaan vastaavan pohja-, kalliorakenne- tai rakennesuunnittelijan tai tärinäasiantuntijan kelpoisuutta. Kun tärinäasiantuntijan kelpoisuus on aa-luokka, on hän kokeneempi asiantuntija ja määrittää rakennustapakertoimet suuremmilla arvoilla.

Massiiviset siltarakenteet kestävät huomattavasti enemmän tärinää kuin rakennukset, joissa on kevytbetoni- tai kalkkihiekkatiilirakenteita, tai muuta vaurioherkkää materiaalia. Tärinäasiantuntija, määritellesään tärinän raja-arvoa, huomioi rakenteen rakennustapakertoimen.

Taulukko 3. Rakennustapakertoimet[9, s. 24].

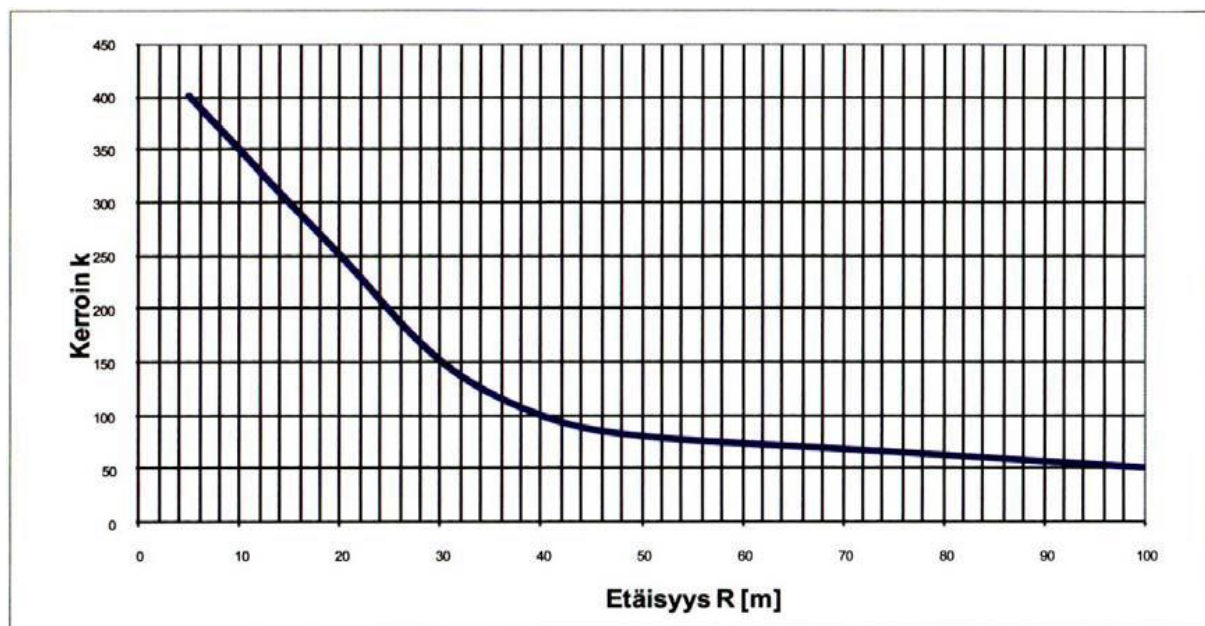
Rakenneluokka (hyväkuntoinen rakenne)	Rakennustapakerroin $F_k$ , (kelpoisuus a-luokka)	Rakennustapakerroin $F_k$ , (kelpoisuus aa-luokka)
1. Raskaat teräsbetoni- ja teräsrakenteet, kuten sillat ja laiturit	1,75	2,00
2. Teräsbetoniset, teräksiset ja puurakenteiset teollisuus- ja varastorakennukset, ruiskubetonoidut kalliotilat (ks. myös kohta 3.9), yleensä staattisesti määrätyt rakenteet, joissa ei asuta tai työskennellä	1,25	1,50
3. Pilariperustuksille rakennetut elementtirakenteiset teräsbetonirakenteet, teräs- ja puurakenteiset toimisto- ja asuinrakennukset, muut puu- ja teräsrakennukset, johdot ja maakaapelit (ks. myös kohta 3.9)	1,00	1,20
4. Massiiviseinäiset tiili-, kevytsoraharkko- ja teräsbetonirunkoiset teollisuus-, toimisto- ja asuinrakennukset, lasiseinäiset teräsrunkoiset sekä tiiliverhotut puurunkoiset rakennukset, ruiskubetonoimattomat kalliotilat (ks. myös kohta 3.9)	0,85	1,00
5. Rakennukset, joissa on kevytbetoni- tai kalkkihiekkatiilirakenteita, tai muuta vaurioherkkää materiaalia, tärinä- ja värähtelyherkät vanhat rakennukset, kuten kirkot tai korkeita holveja käsittävät rakenteet	0,55	0,65

Taulukossa 4 on louhintatärinän perusarvoja eri etäisyyksille ja erilaisille maa- ja kallioalueille perustetuille rakennuksille. Taulukossa 5 on k-arvoja, jotka ovat kallion tärinäjohtavuudesta tulevia arvoja. Mitä ehjempi kallio on, sitä suurempi on k-arvo.

Taulukko 4. Louhintätärinän perusarvo (mm/s) etäisyyden suhteen erilaisille maa- ja kallioperille perustetuille rakennuksille.[9, s. 25].

Etäisyys (m)	Pehmeä savi, leikkauslujuus <25 kN/m <sup>3</sup>	Sitkeä savi, siltti, löyhä hiekka	Tiivis hiekka, sora, moreeni, rikkonainen tai löyhä kallio	Kiinteä kallio
1	9	18	35	140
5	9	18	35	85
10	9	18	35	70
20	8	15	28	55
30	7	14	25	45
50	6	12	21	38
100	5	10	17	28
200	4	9	14	22
500	3	7	11	15
1000	3	6	9	12
2000	3	5	7	9

Taulukko 5. Kokemusperäisiä k:n arvoja pengerlouhintaan.[9, s. 83].



Kerroin k on rakenteen tarkastelupisteen perustamistavasta, räjäytystavasta, kallion laadusta ja etäisyydestä riippuva kerroin. Jos rakennus on rakennettu kiinteälle kalliolle ja lähelle louhintakohdetta, saa se suurempia k-arvoja, kuin maanvaraisesti rakennettu rakennus, joka sijaitsee kauempana räjäytyksestä.[11, s. 82.]

Tärinän heilahdusnopeuden suuruutta voidaan arvioida kaavalla:

$$v = k \sqrt{\frac{Q_m}{R^{1,5}}} \rightarrow k = v \sqrt{\frac{R^{1,5}}{Q_m}} \rightarrow Q_m = \frac{v^2}{k^2} R^{1,5} [9, \text{ s. } 326].$$

$v$  = heilahdusnopeus

$k$  = kallion tärinänjohtavuus

$Q_m$  = momentaaninen samalla ajanhetkellä räjähtävä räjähdysainemäärä (kg)

$R$  = mittauspisteen ja räjäytyksen välinen etäisyys (m)

Kaava on kokemusperäinen, joten yksiköt eivät täsmää lopputuloksessa.

Kun louhintakohteen lähellä on herkkiä laitteita, mitataan niistä yleensä kiihtyvyyden arvoja. Arvot ovat joko laitevalmistajalta saatuja, tai kokemusperäisiä.

$$v = \frac{a}{2\pi f} [9, \text{ s. } 320].$$

$$Q_m = \frac{v^2}{k^2} R^{1,5}$$

$a$  = kiihtyvyys ( $\text{m/s}^2$  tai  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ )

$f$  = taajuus ( $1/\text{s} = \text{Hz}$ )

Kiihtyvyyden ja taajuuden arvot saadaan tärinämittarista. Mittari laskee kaiken oleellisen tiedon räjäytyksen aiheuttamista ympäristövaikutuksista. Mittari lähettää tulokset tarvittaessa tietokoneeseen tai matkapuhelimeen.

### 3.3.3 Käytännön esimerkki tärinän ja kiihtyvyyden laskemisesta

Kentän korkeus on 12 metriä, pituus 11 metriä ja leveys 20 metriä. Kenttä porataan 76 mm:n halkaisijalla olevalla porakruunulla. Reiän kaltevuus on 5:1. Pohjapanoksena käytetään Fordyn 65x560 patruunoita. Patruunat tiivistetään 10%:n tiiviysasteella.

Käytetään samaa esimerkkikenttää, mutta lisätään kohteeseen 4 rakennusta, joista lasketaan tarvittavat tiedot.

1. Omakotitalo, jonka etäisyys kohteesta on 50 metriä. Rakennus on puurakenteinen, harkkoperusta, joka on perustettu kallion päälle.
2. Kalkkihiekkatiilirakenteinen omakotitalo, joka on perustettu moreenin päälle. Etäisyys räjäytyskohteeseen on 100 metriä.
3. Tiiliverhottu, puurunkoinen omakotitalo, joka on perustettu siltin päälle ja sen etäisyys kohteesta on 100 metriä.
4. Rakennus, jossa on ATK-serveri. Valmistaja on antanut kiihtyvyyden huippuarvoksi 0,75 g. Etäisyys kohteesta on 100 metriä. Tärinän taajuus on 90 Hz. Rakennus on perustettu kallion päälle.

Tärinäkonsultin kelpoisuus on a-luokka.

Kohde 1

Katsotaan ensin taulukosta 2 rakennustapakerroin. Koska rakennus on perustettu kallion päälle, on rakennustapakerroin 1.

Taulukosta 3 katsotaan louhintatärinän perusarvo, eli heilahdusnopeus. Rakennus on perustettu kallion päälle ja sen etäisyys kohteesta on 50 metriä, joten tärinän perusarvo on 38 mm/s.

Taulukosta 4 katsotaan kokemusperäinen k:n arvo. Etäisyydellä 50 metriä k:n arvo on 80.

Tämän jälkeen sijoitetaan luvut kaavaan.

$$Q_m = \frac{v^2}{k^2} R^{1,5}$$

$$Q_m = \frac{38^2}{80^2} * 50^{1,5} = 79,7 \text{ kg. Tämän määrän voi räjäyttää samanaikaisesti.}$$

## Kohde 2

Koska rakennus on rakennettu kalkkiehkekatilistä, on sen rakennustapakerroin 0,55. Rakennus on perustettu moreenin päälle, joten etäisyydellä 100 metriä sen värinän perusarvo on 17 mm/s. K:n arvo etäisyydellä 100 metriä on 50.

$Q_m = \frac{17^2}{50^2} * 100^{1,5} = 115,6$  kg. Saatu määrä kerrotaan rakennustapakertoimella 0,55, jolloin samanaikaisesti räjäytettäväksi määräksi saadaan 63,5 kg.

## Kohde 3

Puurunkoisen, tiiliverhoillun rakennuksen rakennustapakerroin on 0,85. Siltin päälle perustettuna ja etäisyyden ollessa 200 metriä värinän perusarvo on 9 mm/s ja k:n arvo 50.

$Q_m = \frac{9^2}{50^2} * 200^{1,5} = 91,6$  kg. Rakennustapakertoimella kerrottuna tulos on 77,8 kg.

## Kohde 4

Rakennuksessa on tietokonelaitteisto, jolle valmistaja on antanut kiihtyvyyden huippuarvoksi 0,75 g. Värinän taajuudeksi on arvioitu 90 Hz. Kiihtyvyys asettaa momentaaniselle panostukselle raja-arvon.

Laskenta tapahtuu kahdella kaavalla. Ensin lasketaan heilahdusnopeus ja sen jälkeen momentaaninen räjähdysainemäärä.

$v = \frac{0,75 * 9,81}{2\pi * 90} = 0,013$  m/s Metrit muutetaan millimetreiksi kertomalla saatu luku luvulla 1000, jolloin saadaan tulokseksi 13 mm/s, jota tarvitaan seuraavassa kaavassa.

$Q_m = \frac{13^2}{50^2} * 100^{1,5} = 67,6$  kg

### 3.3.4 Tulosten tarkastelu

Kohteista teoreettisella laskennalla saadut suurimmat momentaaniset räjähdysainemäärät ovat:

- Kohde 1: 79,7 kg
- Kohde 2: 63,5 kg
- Kohde 3: 91,6 kg
- Kohde 4: 67,6 kg

Kohde 2 määrittää pienimmän samanaikaisesti räjäytettävän räjähdysaineen kilomäärän, 63,5 kg. Esimerkin kentän reikäpanos on 46,8 kg, joten kenttä täytyy nallittaa siten, että vain yksi reikäpanos räjähtää kerrallaan.

Teoreettinen laskenta antaa suuntaa-antavan tuloksen, mutta tarkan tuloksen saa tärinämittarista. Tärinämittaustulosten perusteella voidaan suunnitella kentän panostus ja kerralla räjäytettävä räjähdysainemäärä, kun oikeaa mittaustietoa on käytettävissä.

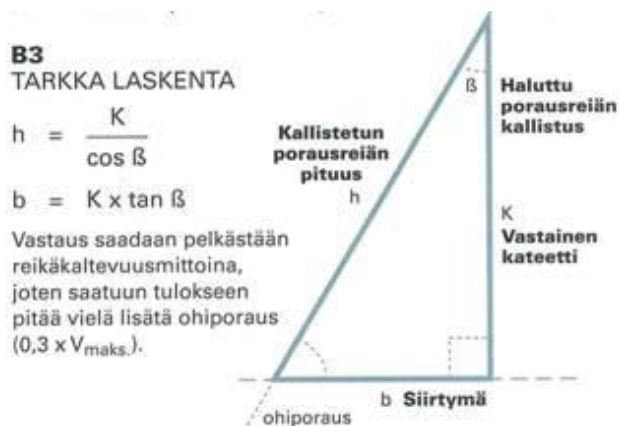
## 4 Käytännön laskentaa erilaisille räjäytyskentille

Käytännössä louhintaa ei voida tehdä oppikirjojen mukaan. Kivilaatu, kentän sijainti ja halutun lohkarokoon saaminen vaikuttavat räjäytystyöhön. Jos esimerkiksi tehdään louhetäyttöä mereen tai järveen, on suurempi lohkarokoko lopputuloksen kannalta parempi. Jos taas louhe menee rakenteisiin tai murskaukseen, on pienempi lohkarokoko parempi.

### 4.1 Korkeat louhepenkereet

Kentän korkeus on 12 metriä, pituus 11 metriä ja leveys 20 metriä. Kenttä porataan 76 mm:n halkaisijalla olevalla porakruunulla. Reiän kaltevuus on  $12^\circ$ . Pohjapanoksena käytetään Fordyn 65x560 patruunoita ja varsipanoksena anfoa.

Käytetään samaa esimerkkiä, mutta muutetaan reiän kallistusta ja lasketaan sillä tarvittava reiän pituus. Kaltevuutta  $12^\circ$  käytetään yleisesti.



[7, s. 149].

$$h = \frac{12}{\cos 12} = 12,3 \text{ m}$$

$$b = 12 * \tan 12 = 2,55 \text{ m}$$

Siirtymä on 2,55 m. Oletamme, että alueella on aikaisemmin louhittu  $12^\circ$  kallistuksella. Jos ei, vaan louhinta aloitetaan uudessa kohteessa, on siirtymä huomioitava louhinnan aloituksessa ja keulareiät porattava pystympään. Tämän jälkeen kallistusta lisätään vähitellen, että päästään tavoitekaltevuuteen. Kallistettu reikä irrottaa louheen huomattavasti paremmin kuin pystyreivät.

Normaalisti käytämme tällaisessa louhinnassa etuna 2 metriä, reikävälinä 3 metriä ja ohiporauksena 1 metri. Porareian pituus on 13 metriä. Etutäytteen pituus on 1,7 metriä. Keularivi porataan suuremmalla edulla, ettei louhe irtoa hallitsemattomasti. Tässä tapauksessa keularivin etu on 2,5 metriä.

Kenttä on 11 metriä pitkä, jolloin etu muille riveille lasketaan vähentämällä keulareikien etu kentän pituudesta ja jakamalla saatu tulos suunnitellulla edulla.  $11 \text{ m} - 2,5 \text{ m} = 8,5 \text{ m}$ .  $8,5 \text{ m} / 2 \text{ m} = 4,25 \text{ etuväliä} \rightarrow 4 \text{ etuväliä}$ .  $8,5 \text{ m} / 4 = 2,125 \text{ m} \rightarrow 2,13 \text{ m}$ .

Reikäväli lasketaan jakamalla kentän leveys suunnitellulla reikävälillä.  $20 \text{ m} / 3 \text{ m} = 6,7 \text{ reikäväliä} \rightarrow 7 \text{ reikäväliä}$ .  $20 \text{ m} / 7 = 2,86 \text{ m}$ .

Etuvälejä tulee 5 kappaletta ja reikävälejä 8 kappaletta. Yhteenlaskettu reikien lukumäärä on 40 kappaletta. Porametrejä tulee yhteensä  $40 \cdot 13 \text{ m} = 520 \text{ metriä}$ . Ominaisporausräus kentälle on  $\frac{520 \text{ pom}}{2640 \text{ m}^3} = 0,197 \text{ pom/m}^3$ .

Poraus kustannus 76 mm:n reiälle on 4,60 €/m joten kentän porauskustannukset ovat  $520 \text{ m} \cdot 4,60 \text{ €/m} = 2392 \text{ €}$ .

Poraus kustannus koko kentälle on  $2640 \text{ m}^3 / 2392 \text{ €} = 1,10 \text{ €/m}^3$ .

Kenttä panostetaan anfollla. Jos reiässä on vettä, anfollla ei voi panostaa kuin kuivan osuuden, koska anfo sulaa vedessä. Vesireikä panostetaan muilla räjähdysaineilla niin ylös, että reikäpanos ulottuu kuivaan osuuteen, jolloin loppu voidaan panostaa anfollla. Oletetaan, että reiät ovat kuivia. Silloin ei tarvita kuin yksi patruuna dynamiittia pohjapanokseksi. Fordyn 65x560 painaa 2,5 kg ja se maksaa 2,91 €/kg. Anfo maksaa 1,08 €/kg.[12].

Kentässä on 40 reikää, joten dynamiittia kuluu  $40 \cdot 2,5 \text{ kg} = 100 \text{ kg}$ . Reiän pituus on 13 m, joten varsipanoksen pituus on reiän pituudesta vähennettynä pohjapanos ja etutäyte.  $13 \text{ m} - 0,56 \text{ m} - 1,7 \text{ m} = 10,74 \text{ m}$ . Anfon panosmäärä on 4,13 kg/m. Kokonaismäärä, mitä kenttään menee anfoa, on  $40 \text{ reikää} \cdot 10,74 \text{ m} \cdot 4,13 \text{ kg/m} = 1775 \text{ kg}$ .

Räjähdysainekustannukset ovat dynamiitilla  $100 \text{ kg} \cdot 2,91 \text{ €/kg} = 291 \text{ €}$  ja anfollla  $1775 \text{ kg} \cdot 1,08 \text{ €/kg} = 1917 \text{ €}$ . Räjähdysaineiden kokonaiskustannukset ovat 2208 €.

Räjähdyksainekustannukset kentälle ovat  $\frac{2208\text{€}}{2640\text{m}^3} = 0,84 \text{ €/m}^3$

Poraus ja räjähdysainekustannukset ovat yhteensä  $1,94 \text{ €/m}^3$ . Tämän lisäksi tulevat kustannukset panostustyöstä, etutäyteen materiaalikustannukset, nallit, kentän peittäminen ja lohcareiden rikotus, joka tarkoittaa suurten lohcareiden pienentämistä kaivinkoneeseen laitetulla iskuvasaralla. Rikotuskustannusten osuus on suuri, jos räjäytetystä kentästä jää paljon ylisuuria lohcareita. Tämän vuoksi kenttä pyritään räjäyttämään siten, että lohcarekoko on sopivan pientä sekä murskaukseen että louherakenteisiin.

Näissä esimerkeissä lasketaan selvyyden vuoksi vain poraus- ja räjähdysainekulut. Esimerkkinä oleva kenttä voisi olla tien kallioleikkaus, jolloin reunoihin porataan tarkkuuslouhintareivät tiheämmin ja ne panostetaan kevyemmin.

Jos kenttä sijaitsee alle 200 metrin päässä asutuksesta tai paikoista, joissa ihmisiä yleensä oleskelee, on käytettävä räjähdysainetta, joka on patruunassa. Samoin täytyy menetellä, jos kenttä on niin täynnä vesireikiä, että sitä ei pysty panostamaan anfollla. Käytetään edellä olevaa esimerkkiä.

Porauksen kustannukset eivät muutu, mutta räjähdysainekustannukset muuttuvat. Anfo on tehokas räjähdysaine, jolloin pohjapanokseksi riittää yksi dynamiittipötkö. Kun varsipanoksena käytetään kemixiä, on pohjapanoksen pituutta lisättävä, että kenttä varmasti lähtee pohjaan asti.

Käytetään pohjapanoksena fordyn 65x560. Lisätään pohjapanoksen pituutta laittamalla pohjalle neljä patruunaa dynamiittia. Pohjapanoksen pituus on 2,24 m ja räjähdysainetta kuluu 400 kg.

Varsipanoksen pituus on reiän pituus – pohjapanoksen pituus – etutäyte = 9,06 m. Käytetään varsipanoksena kemixiä 60x530. Panosten kappalemäärä on  $9,06 \text{ m} / 0,53 \text{ m} = 17,1 \text{ kpl} > 17 \text{ kpl}$ . Panos painaa 1,8 kg ja niitä menee kenttään  $40 \text{ reikää} * 17 \text{ kpl} * 1,8 \text{ kg} = 1224 \text{ kg}$ . Räjähdysaine maksaa 2,08 €/kg,[12].

Kokonaiskustannus räjähdysaineille on dynamiitilla  $400 \text{ kg} * 2,91 \text{ €/kg} = 1164 \text{ €}$  ja kemixillä  $1224 \text{ kg} * 2,08 \text{ €/kg} = 2546 \text{ €}$ . Yhteensä nämä ovat 3710 €.

Räjähdyksineekustannukset kentälle ovat  $\frac{3710\text{€}}{2640\text{m}^3} = 1,41 \text{ €/m}^3$  ja kokonaiskustannukset poraus mukaan luettuna  $2,50 \text{ €/m}^3$ .

Samanlaiset kentät, jotka panostetaan erilaisilla räjähdysaineilla, ovat räjähdysaineekustannuksiltaan erilaiset. Jos kentän pystyy panostamaan anfollla, on kustannus  $0,84 \text{ €/m}^3$ . Jos kenttä panostetaan kappaleräjähteillä, on kustannus  $1,41 \text{ €/m}^3$ . Anfolla panostaminen on edullisempaa.

#### 4.2 Matalat louhepenkereet

Kentän korkeus on 0,5 metriä, pituus 11 metriä ja leveys 20 metriä. Kenttä porataan 76 mm:n halkaisijalla olevalla porakruunulla. Reiän kaltevuus on  $12^\circ$ .

Kyseessä on neliölouhintaa, jonka louhintakustannukset ovat huomattavasti korkeammat kuin korkeampien penkereiden louhintaa. Kun louhinnan pengerkorkeus on alle metrin, on kyseessä neliölouhintaa. Jos pyritään louhimaan vain 0,5 m, on sen porauskustannukset suhteettoman kalliit. Käytännössä porataan pitemmät reiät, ellei kohde ole tarkkuuslouhintaa-alueella, jolloin yliporausta ei sallita. Kentästä irtoaa myös ylimääräistä louhetta, jonka käsittelykustannukset täytyy huomioida. Usein kohteissa, joissa kalliopenger on korkea ja matalien osuuksien määrä pieni, ei porauskalustoa vaihdeta, vaan porataan samalla kalustolla.

Matala pengeri panostetaan patruunoidulla räjähdysaineella. Käytetään pohjapanoksena yksi kappale Fordyn 65x560. Varsipanoksena käytetään 1,5 kappaletta Kemix 60x530. Reikäpanoksen yhteispituus on 1,36 m ja etutäytteen pituus 1,64 m.

Louhittavaan kenttään tulee porametrejä  $40 \times 3 \text{ m} = 120$  metriä. Porauslaskutus kentälle on  $120 \text{ m} \times 4,60 \text{ €/m} = 552 \text{ €}$ .

Louhittavan kentän tilavuus on  $11 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} = 110 \text{ m}^3$ . Porauslaskutus kentälle ovat  $552 \text{ €} / 110 \text{ m}^3 = 5,02 \text{ €/m}^3$ .

Räjähdysaineita kenttään kuluu Fordyn 65x560 100 kg ja Kemix 60x530 108 kg. Räjähdysaineekustannukset ovat yhteensä Fordyn 291 € ja Kemix 224,64 €.[12].

Kokonaiskustannus räjähdysaineille on 515,64 €. Louhittavan kentän räjähdysainekustannukset ovat  $515,64 \text{ €}/110 \text{ m}^3 = 4,69 \text{ €/m}^3$ .

Poraus- ja räjähdysainekustannukset ovat yhteensä 9,71 €/m<sup>3</sup>.

Kenttä porataan 51 mm:n halkaisijalla olevalla porakruunulla. Etu on 1 m, reikäväli 1 m ja porareian pituus 1 m. Porauskuustannus on 4,30 €/m.

Kenttään tulee yhteensä 231 reikää, porametreinä 231 m. Porauskuustannus on  $231 \text{ m} \cdot 4,30 \text{ €/m} = 993,30 \text{ €}$ . Porauskuustannukset kentälle ovat  $993,30 \text{ €}/110 \text{ m}^3 = 9,03 \text{ €/m}^3$ .

Räjähdysaineena käytetään 1 kappale Fordyn 29x380, joka painaa 0,35 kg. Kenttään menee räjähdysainetta 231 kpl, jonka yhteispaino on 81 kg. Räjähdysaineen hinta on 2,88 €/kg.[12].

Kokonaiskustannus räjähdysaineelle on 233,28 €. Louhittavan kentän räjähdysainekustannukset ovat  $233,28 \text{ €}/110 \text{ m}^3 = 2,12 \text{ €/m}^3$ .

Poraus- ja räjähdysainekustannukset ovat yhteensä 11,15 €/m<sup>3</sup>. Lyhyempien reikien porauskuustannukset ovat kalliimpia, johtuen niiden suuresta määrästä. Jälkimmäisessä tapauksessa kentästä irtoaa huomattavasti vähemmän louhetta, jonka käsittelykuustannukset täytyy myös huomioida. Rikotuskuustannukset ovat pienempiä kuin edellisessä tapauksessa, koska tiheällä reikävälillä louhe menee pienemmäksi.

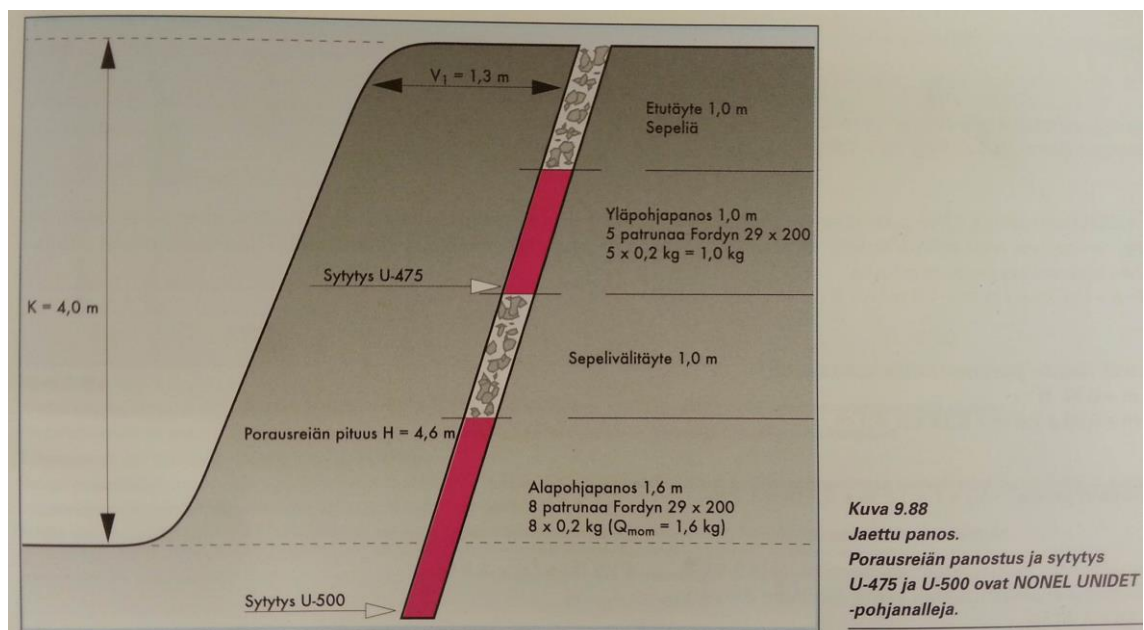
## 5 Tutkimustyö

Vuoden 2014 -2017 välillä Destialla oli useissa eri kohteissa louhintatöitä. Nämä olivat erilaisia louhintakohteita, joissa oli omat rajoitteensa. Näillä työmailla pyrittiin vertailemaan erilaisten louhintamenetelmien kustannusvaikutuksia, sekä pyrkimään parhaaseen mahdolliseen tehokkuuteen.

### 5.1 Lentoaseman louhintatyömaa

Vuoden 2014 loppupuolella Destialla alkoi louhinta-urakka Helsinki – Vantaa -lentoaseman välittömässä läheisyydessä. Louhittava alue sijaitsi lentokenttäalueen ja varikkoalueen välissä. Louhittavan kallion päällä oli vanha vesitorni, joka purettiin. Louhinnan syynä oli lentoaseman lisääntynyt tilantarve.

Louhittavan alueen välittömässä läheisyydessä sijaitsi paljon värinäherkkiä laitteita, joten värinä muodostui rajoittavimmaksi tekijäksi työn suorittamiseen. Penkereen korkeus oli seitsemän metriä ja porareian pituus kahdeksan metriä. Näin pitkää reikää ei pystynyt kerralla räjäyttämään. Vaihtoehtoina oli suorittaa louhinta kahdessa kerroksessa tai käyttää jaettua reikäpanosta. Destia päätyi jälkimmäiseen, koska kustannukset olivat pienemmät ja työn suoritus tehokkaampaa. Kuva 5 on periaatekuva jaetusta panoksesta.



Kuva 5. Jaettu reikäpanos.[7, s. 351].

Jaettu reikäpanos tehtiin yllä olevan kuvan mukaisesti. Ensin laitettiin pohjapanos, jonka päälle kaadettiin sepeliä välitäytteeksi. Tämän jälkeen laitettiin varsipanos ja tämän päälle etutäyte. Nallitus tehtiin eri hidastusajalla olevilla nalleilla, jolloin kumpikin reikäpanos räjähti eriaikaan.

Kentän ensimmäisen rivin etu oli 2,5 m ja reikäväli 2,5 m. Seuraavissa riveissä etu oli 2 m ja reikäväli 2,5 m. Kaikkien reikien ohiporaus oli 1 m ja kaikki reiät kahdeksan metriä pitkiä.

Pohjapanokseksi laitettiin yksi kappale Fordyn 50x560, painoltaan 1,6 kg. Tämän päälle laitettiin Kemix 50x530 neljä kappaletta, yhteispainoltaan 5 kg. Panoksen pituus oli 2,68 m ja kokonaispanos 6,6 kg. Tämän päälle kaadettiin yhden metrin korkuinen sepelivälitäyte.

Sepelitäyteen päälle laitettiin viisi kappaletta Kemix 50x530 räjäytysainetta, jonka yhteispituus oli 2,65 m ja yhteispaino 6,25 kg. Etutäyteen pituudeksi jäi 1,67 m.

Kenttä räjäytettiin ja tärinämittaritulosten perusteella ei tärinälyityksiä tullut, joten louhintaa voitiin jatkaa samalla menetelmällä.

Jos louhinta olisi tehty kahdessa kerroksessa, olisi ensimmäisen kerroksen jälkeen jouduttu puhdistamaan kalliopinta uudestaan. Koska kyseessä olisi ollut louhitun kallion pinnan puhdistus, olisi se pitänyt tehdä mahdollisimman huolellisesti, jotta pinnalle ei olisi jäänyt louhetta, joka olisi haitannut porausta. Tämä olisi ollut kallis työvaihe, sekä lisäksi vähentänyt huomattavasti louhintatehoa.

## 5.2 Kaitaan avolouhintatyömaa

Vuoden 2014 lopussa Destia sai urakseen Länsimetrolta neljän ajotunnelin louhinnat, Soukassa, Finnoossa, Sammalvuoressa ja Kaitaalla. Urakkaan kuului ajotunneleiden avoleikkauslouhinnat tunneleiden suuaukoille asti, sekä tunneleiden louhinta- ja rakennustyöt tulevalle metrolinjaukselle asti. Näiden tunneleiden kautta rakennettiin varsinaiset metrotunnelit.

Muiden tunneleiden avoleikkaukset oli helppo toteuttaa, mutta Kaitaan avoleikkauksessa oli enemmän haastetta. Avoleikkauksen päällä oli paljon maata, joten ennen kaivutöitä sinne piti asentaa pontit. Maaleikkauksen edetessä pontteihin hitsattiin soljet ja pontit ankkuroitiin teräsvaijereilla ympärillä olevaan kallioon. Kalliopinnan puhdistuksen jälkeen ponttien alapäähän etupuolelle porattiin juuritapit estämään niiden liukumista eteenpäin.

Pontit aiheuttivat sen, että niiden väliin tehtävä avoleikkaus täytyi suorittaa varovasti, että pontit pysyisivät paikallaan. Kallioleikkaus oli korkeimmillaan yli 10 metriä, joten se jouduttiin louhimaan kolmessa osassa. Reunat olivat tarkkuuslouhinta-alueita, jossa reiät porattiin rakolinjana 7<sup>o</sup>:n kallistuksella ja reikäväli oli 30 senttiä. Panostus suoritettiin 17x500 F-putkipanoksilla sekä räjähtävällä tulilangalla. Näin saatiin riittävän mieto reunanapanostus, ettei jäävä kalliopinta rikkoutuisi liikaa ja seinistä tulisi mahdollisimman siistit. Reiät porattiin kerralla pohjaan asti, koska louhinnan edetessä kerroksittain, ei niitä olisi enää mahtunut poraamaan. Pohja oli myös tarkkuuslouhinta-alueita, joten ohiporausta ei tehty.

Destia suunnitteli louhinnan siten, että louhitaan kerralla enintään neljän metrin kerros. Tunneliin menevä ajotie laski alaspäin 1:7 suhteessa. Louhinta alkoi louhittavan alueen pohjatasosta, joka aluksi oli matalaa neliölouhinta ja se jouduttiin poraamaan tiheästi. Pengerkorkeuden noustessa yli neljän metrin, louhinta jouduttiin suorittamaan kahdessa kerroksessa. Pengerkorkeus jaettiin kahdella. Näin säästettiin porauskustannuksia, koska reikiä ei tarvinnut porata turhan tiheästi. Esimerkiksi viiden metrin pengerkorkeudesta, kahdella jaettuna, saatiin kaksi 2,5m korkeaa pengertä. Jos tästä olisi ensin louhittu neljä metriä, olisi jäljelle jäänyt yksi metri ja se olisi vaatinut tiheän porauksen.

Neljän metrin penkere suunniteltiin porattavaksi 64 mm:n reikäkoolla. Etuna käytettiin 1,4 m ja reikävälinä 1,9 m. Ohiporausta ei suoritettu. Kenttäreikiin laitettiin 0,5 kpl Fordyn 50x560, paino 0,8 kg ja varsipanokseksi 5 kappaletta Kemix 40x530, paino 4,15 kg. Yhteispaino reikäpanoksella oli 4,95 kg, joka oli myös momentaaninen räjähdysainemäärä, koska kenttä nallitettiin siten, että jokainen reikä räjähti eriaikaan. Reunareivät panostettiin 3,5 m:n syvyyteen. Kun louhe ajettiin pois, ne löytyivät helpommin ja oli helpommat panostaa uudelleen.

Louhinta oli sekä työlästä että kallista. Tärinät pysyivät kurissa ja mitään vaurioita ei ponttiseinään tullut.

### 5.3 Biotuotetehdas Äänekoskella

Vuonna 2015 Destia lähti louhimaan Äänekoskelle rakennettavan biotuotetehtaan tulevan rata-alueen edessä olevaa kalliota. Minkäänlaisia pohjatutkimuksia ei ollut tehty kalliosta ja maamassoista kallion päällä. Kalliota piti olla 265 000 m<sup>3</sup>, mutta maanpoiston jälkeen sitä oli vain 106 000 m<sup>3</sup>. Vieressä oli toimiva tehdas, joten tämä aiheutti tärinärajoituksia.

Valmistauduimme siihen, että tärinärajat ovat meidän haaste louhinnalle, mutta ne eivät aiheuttaneet ongelmia. Ongelmana oli kallion laatu.

Kalliossa oli paljon rakoilua ja vaakatasoisia, paksuja ruhjevyöhykkeitä. Vaakatasoinen ruhjevyöhyke aiheutti sen, että kun reikä porattiin ja aloitettiin uuden reiän poraaminen, saattoi edellisestä reiästä alkaa nousemaan porapölyä, joka kulkeutui sinne ruhjevyöhykkeen kautta ja reikä alkoi täyttyä porapölystä. Ainoaksi vaihtoehdoksi jäi panostaa reiät saman tien porauksen jälkeen. Toinen ongelma oli se, että räjäytettäessä edellinen nallinumero saattoi katkaista ruhjevyöhykkeen kautta seuraavaksi räjähtävän reiän, jolloin räjäytys pysähtyi katkenneeseen kohtaan ja loput räjähdysaineet jäivät räjähtämättä. Tätä korjattiin käyttämällä useampia nalleja samassa reiässä, mutta silti räjähtämättömiä panoksia jäi ja kallio irtosi huonosti.

Räjähtämättömät panokset täytyi kerätä louheen joukosta. Tämä oli hankalaa, koska niitä tuli esille lastauksen yhteydessä, jolloin ne olivat kerättävissä. Tämä hidasti lastaus-työtä ja lisäsi työkustannuksia. Huonoimmillaan Destia joutui räjäyttämään kolme kertaa samasta kohdasta, että saatiin louhittua pohjaan asti.

Huono kallion laatu aiheuttaa aina ongelmia louhintatöille. Niihin on vaikea suunnitella edullista louhintatapaa, kun kallio ei irtoa normaalisti. Destia kokeili erilaisia etu- ja reikävälejä, sekä erikokoisia porakruunuja. Mikään ratkaisu ei toiminut muita paremmin.

Destian onneksi kalliomassat vähenivät huomattavasti suunnitellusta, koska louhinta oli hidasta ja kallista.

#### 5.4 Piiparinkallion louhinta biotuotetehtaan tarpeisiin

Koska louhe ei kalliomassojen vähenemisen johdosta riittänyt Äänekosken biotuotetehtaan työmaalle, jouduttiin sitä ajamaan tehdasalueen ulkopuolelta. Destialla on Piiparinkalliossa louhos, josta aiemmin oli murskattu kiveä. Se oli myös sopivan matkan päässä, matka yhteen suuntaan noin 15 kilometriä. Destia sopi rakennuttajan kanssa, että se louhii sieltä puuttuvan louhemateriaalin.

Koska kohde sijaitsee riittävän kaukana asutuksesta, lähimpään asuttuun taloon yli 700 metriä, pystyttiin louhinta suorittamaan irtoräjähteellä. Tällaisissa kohteissa yleisesti käytetty räjähdysaine on Kemiitti 610. Se tuodaan työmaalle säiliöautolla. Kemiitti koostuu useammasta eri ainesosasta, jotka ovat säiliöautossa erillään ja mikään näistä ei ole valmista räjähdysainetta. Työmaalla ainesosat sekoitetaan toisiinsa ja pumpataan poratuihin reikiin. Porareiässä tapahtuu kemiallinen reaktio, jolloin ainesosat herkistyvät räjähdysaineeksi. Kun panostamisesta on kulunut noin 20 minuuttia, on tuote valmista räjähdysainetta. Kemiitti kestää hyvin vettä, mutta tarvitsee voimakkaan aloitepanoksen. Yleensä käytetään Redexiä, jonka räjähdysnopeus on riittävän suuri.

Koska penkereen leveys oli suuri, porattiin pitkät reikärivit. Keulareikien etu oli 3 m ja sen takana olevien reikien etu 2,4 m. Reikäväli oli 3,5 m. Penkereen keskikorkeus oli 17,6 m, ohiporaus 1 m ja reikärivejä porattiin 5 kappaletta. Yhteensä porattiin 95 reikää, joiden yhteispituus oli 1767 m. Louhittavan kentän tilavuus oli 13970 m<sup>3</sup>. Porametrin hinta oli 4,80 €, joten porauskustannukset olivat 8482 €.

Pohjapanoksena sekä pintapanoksena käytettiin Redex 43x560 räjähdysainetta, jota kului yhteensä 250 kg. Redex maksaa 4,99 €/kg, joten panosten yhteishinnaksi tuli 1248 €. Varsipanoksena käytettiin Kemiittiä. Sitä kului 10425kg. Kemiitin hinta riippuu siitä, kuinka paljon sitä kohteessa kuluu. Tässä tapauksessa kustannukset Kemiitille olivat 10425 kg\*0,97 €/kg = 10112 €. Yhteensä räjähdysainekustannukset olivat 11360 €.

Porauskustannukset louhitulla kentällä olivat 0,61 €/m<sup>3</sup> ja räjähdysainekustannukset 0,81 €/m<sup>3</sup>. Yhteensä kustannukset olivat 1,42 €/m<sup>3</sup>. Kustannukset on laskettu jakamalla sekä poraus- että panostuskustannukset kentän tilavuudella. Tämän lisäksi kustannuksia aiheutui Kemiitin pumppausveloituksesta, panostusryhmän töistä, etutäytteestä, nal-leista ja rikotuksesta.

Kun kenttä räjäytettiin, Destia totesi, että louhe meni niin pieneksi, että voitiin kasvattaa reikien etua ja väliä. Rikotuskustannukset olivat pienet ja työkohteeseen voitiin ajaa suu-  
rempaa louhetta.

Keulareikien etu oli 3 m, mutta muiden reikien etu oli 2,5 m ja muutettu reikäväli oli 3,7 m. Kaikki muut mitat pysyivät samana. Tämän kentän tilavuus oli 15240 m<sup>3</sup>. Poraus- ja räjähdysainekustannukset pysyivät samana, yhteensä 19842 €. Kokonaiskustannus oli 1,30 €/m<sup>3</sup>.

Kokonaiskustannuksiltaan jälkimmäinen kenttä oli edullisempi louhia. Irrotettu louhe pysyi sopivana ja rikotuskustannukset eivät mainittavasti kasvaneet. Samalla työmäärällä ja kustannuksilla saatiin louhittua 1270 m<sup>3</sup> enemmän.

Louhintakustannukset riippuvat paljon kallion laadusta. Piiparinkallion alueella kallio on helppo louhia, koska se on ehjää. Huonolaatuisessa kalliossa, jossa on paljon ruhjeita ja rakoja, räjähdysaineen teho häviää osittain niihin, jolloin reiät täytyy porata tiheämmin, että haluttu lopputulos saadaan aikaan. Huonolaatuisen kallion rikotuskustannukset ovat myös suurempia, koska rikkonaisesta kallioista jää aina enemmän suuria lohkareita.

## 5.5 Pohjoisbaana

Elokuussa 2016 Destialla alkoi uusi työmaa. Urakassa alettiin rakentaa Pohjoisbaanaa välille Ratapihantie – Käpylän asema. Rakennuskohde sijaitsi itäisen raiteen vieressä, lähimmillään lähin ajojohtimien kannatinpylväs sijaitsi 2,5 m:n päässä louhittavasta kallio-  
osta. Louhittavaa kalliota oli noin 20500 m<sup>3</sup>. Räjäytystyöt jouduttiin suorittamaan yöllä, jolloin liikenne raiteilla oli vähäisempää. Ympäristöviraston päätöksen mukaisesti Destia sai tehdä räjäytystöitä arki-öinä joka toinen viikko. Korkeimmillaan pengerkorkeus oli noin 10 metriä ja se jouduttiin louhimaan kolmessa kerroksessa.

Destia joutui anomaan ratatyölupaa, jolla saatiin liikenne suljettua itäiseltä raiteelta. Lupa saatiin klo 24:00 – 05:00 väliselle ajalle. Tämän lisäksi täytyi järjestää jännitekatko ajo-  
johtimelle, koska raiteen suojaus ja kentän peittäminen tapahtuivat ajojohtimen välittömässä läheisyydessä. Raiteen suojaus suoritettiin kiskopyöräkaivinkoneella. Räjäytykset täytyi suorittaa klo 02:30 – 03:00 välisenä aikana. Tänä aikana räjäytettiin useampi kenttä urakan eri kohteissa.

Louhinnat Destia joutui suorittamaan kerroksittain, koska kerralla louhittava määrä ei voinut olla kovinkaan suuri. Rajoituksia aiheutti ratalaitteisiin kohdistuva tärinä, sekä raitteen suojausten päälle pudonneet kivet. Kivet ja raidesuojaukset täytyi poistaa, sekä jännitekatko lopettaa ennen klo 05:00, koska ylimenevältä ajalta olisi joutunut maksamaan huomattavat korvaukset junaliikenteen estyessä kulkemasta raiteella.

### 5.5.1 Pääsiäiskatko Pohjoisbaanalla

Kallio oli radan puoleiselta reunalta erittäin rikkonaista. Sitä tuettiin poraamalla reunaan pitkiä pulttinreikiä ja pulttaamalla ne. Se auttoi, mutta yksi ajolankojen kannatinpylväs oli niin lähellä louhintakohdetta, että sen vieressä louhiminen olisi aiheuttanut suuren riskin pylvään vioittumiselle ja korjaaminen olisi kestänyt kauan, jolloin liikenne raiteella ei olisi ollut mahdollista. Destia anoi Liikennevirastolta lupaa pitkälle ratakatkolle ja he myönsivät sen pääsiäiselle, jolloin junaliikenne on vähäisempää.

Kuukautta ennen pääsiäistä Destia anoi Ympäristökeskuksesta lupaa toteuttaa pääsiäiskatko ja he myöntivät siihen asettaen reunaehdoja porauksen ja rikotuksen työaikaan, sekä ympäristötiedotukseen. Koko urakan ajan ympäristölle tiedotettiin räjäytysviikoista ja niiden aikana tapahtuvista työvaiheista, sekä tarkemmista kellonajoista. Tiedotteita jaettiin noin 400 kappaletta ympäristössä oleviin asuntoihin ja rakennuksiin.

Ympäristövirasto vaati, että viikkoa ennen pääsiäisen louhintoja täytyy jakaa tiedote, päivää ennen louhintoja toinen tiedote ja kolmas tiedote louhintojen aloituksen jälkeen seuraavana päivänä.

Ratatyöpalaverit pidettiin kerran viikossa, joihin urakoitsijat, jotka työskentelivät rata-alueella tai sen läheisyydessä, oli velvoitettu osallistumaan. Suurin urakoitsija Pasilan alueella on YIT, jonka Tripla-hanke kestää vielä pitkään. Päivää ennen ratatyöpalaveria täytyi lähettää hakemus ratatyöluvasta, jota tarvitaan kahden viikon päästä suoritettavasta työstä.

Alla taulukossa 6 on malliesimerkki ratatyöluvhakemuksesta. Se on tehty pääsiäisen aikaan tehdystä työstä.

Taulukko 6. Ilmoitus ratatyöluvasta.

**\_vkot 15-16****1. Viikon A työt, ratatyöluvat ja raiteiden sulut liikenteenohjauksen johdolla (14.4 – 17.4)**

<b>Urakka ja yhteystiedot:</b>	<b>Destia Oy, Baanan louhinta, Markku Siikanen 040 670 6365</b>
Raide ja työaika / EI-numero:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IR pe-ma 23:00-10:00 EI 59780</li> <li>• Kaikki raiteet pe-ma klo 23:00-10:00 räjäytyksen ajaksi EI 59786</li> </ul> <p>Louhintatyö on yhtäjaksoista. Räjähätykset suoritetaan kenttien valmistuttua liikenteen ehdoilla pyytämällä lupa räjäähätykseen ajalle, kun se on liikenteellisesti mahdollista. Tarvittava liikenneraako on max. 5 minuuttia, jolloin millään raiteella ei saa olla liikennettä. Muuten liikenne on suljettu vain itäiseltä raiteelta.</p>
Jännitekatko:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kyllä IR, ei muille raiteille</li> </ul>
Tehtävät työ:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Raiteen suojaus Baanan louhinnalle sekä suojauksen purku, pylvään irrotus ja johtimien siirto kauemmas louhittavalta alueelta, pylvään perustuksen suojaus ja näiden palauttaminen paikalleen louhinnan jälkeen.</li> </ul>
Kalusto:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kiskopyöräkaivinkone, siirtokalusto, merlo</li> </ul>
Työskentelyalue:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pasila - Käpylä</li> </ul>

Ratatyöluvassa täytyy ilmoittaa raide, johon työ vaikuttaa, sekä ajankohta, jolloin työtä tehdään. Jos tarvitaan jännitekatko, on ilmoitettava, mille raiteille se halutaan, sekä työskentelyalue. Tehtävät työt täytyy kuvata, sekä millaisella kalustolla ne ovat aikomus tehdä.

Anomukset käsittelee liikennesuunnittelukeskus ja kun EI-numero on saatu, on anomus hyväksytty.

Louhinta onnistui hyvin ja Destia pystyi luovuttamaan raiteen liikenteelle sunnuntaina klo 21:00, eli 13 tuntia etuajassa.

Alla on tiedote, joka laadittiin pääsiäisen aikana suoritettavasta louhintatyöstä.

## **POHJOISBAANA VÄLILLÄ RATAPIHANTIE JA KÄPYLÄN ASEMA**

Hyvä asukas, tämä tiedote koskee pääsiäisviikonlopun 14.4.2017 klo 23:00 – 17.4.2017 klo 10:00 Pohjoisbaanan rakennushankkeessa tehtäviä louhintatöitä.

Louhittavat kohteet sijaitsevat vilkkaasti liikennöidyn pääradan varrella. Raideliikenteen turvallisuuden ja sujuvuuden varmistamiseksi loput Pohjoisbaanan louhintatyöt tehdään

yhtäjaksoisesti pääsiäisviikonlopun aikana. Erittäin rikkonaisesta kalliosta johtuen osa ratarakenteista joudutaan purkamaan louhintatöiden ajaksi. Itäisin raide, joka kulkee lähimpänä louhittavaa kalliota, on suljettuna liikenteeltä töiden ajan. Rataviranomaisten kanssa neuvoteltuamme ainoaksi mahdolliseksi ajankohdaksi tälle järjestelylle osoittautui pääsiäinen junaliikenteen hiljentymisestä johtuen.

Meluisimmat työt (poraus, rikotus) pyritään suorittamaan klo 07:00 – 20:00 välillä. Ensimmäiset kaksi räjäytystä suoritetaan lauantai-yönä ja tämän jälkeen sen mukaan kun räjäytettävät kentät valmistuvat.



**Kuva 6.[13]. Louhittava kallioseinä ja sen välittömässä läheisyydessä oleva itäisen raitteen ajojohtimien kannatinpylväs.**

Destia Oy pahoittelee työstä aiheutuvaa meluhaittaa.

Työmaan työjohto on tavoitettavissa koko työn ajan numerosta 040 670 6365.

**Markku Siikanen**

Työmaapäällikkö, Destia Oy

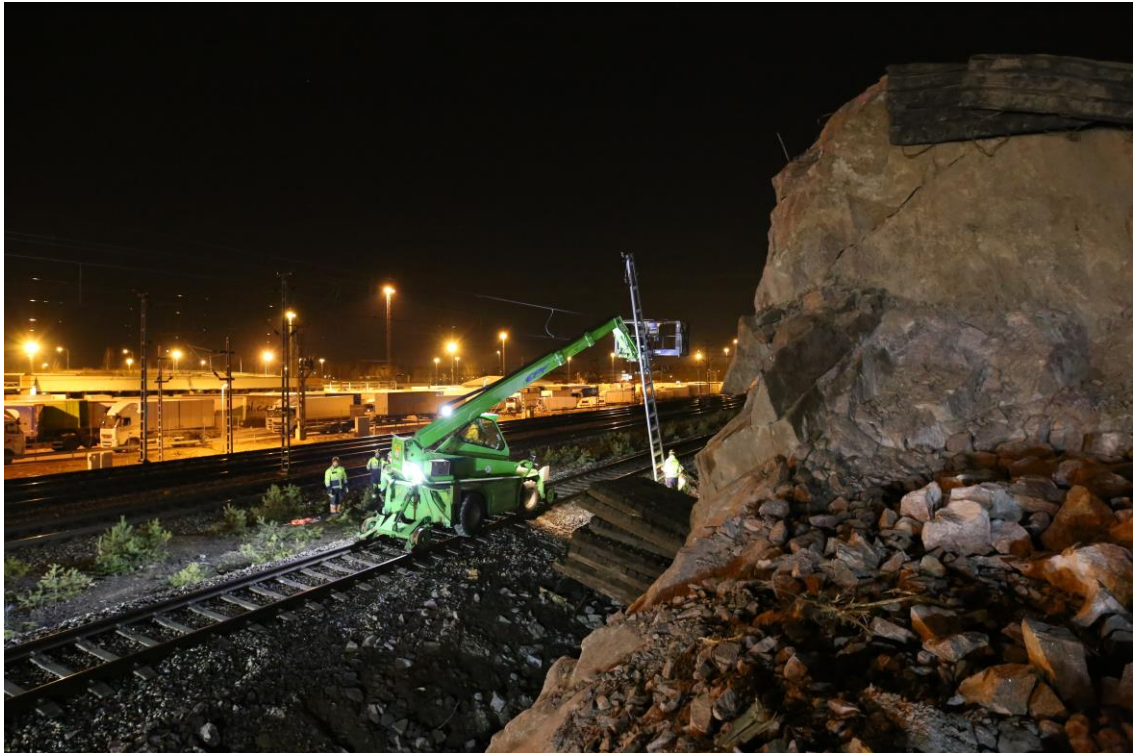
**040 670 6365**

[markku.siikanen@destia.fi](mailto:markku.siikanen@destia.fi)

Kuten yllä kuvassa 6 olevasta asukastiedotteen kuvasta näkyy, kalliosta oli paljon rakopintoja ja ne kaatoivat radalle päin. Rakopinnot olivat hankalia, koska niistä puuttui

välitäyte, jolloin niiden väliin ei muodostunut kitkaa. Kuvan oikeasta reunasta näkee rakopinnan tasaisuuden. Siitä kallio on lähtenyt irti, vaikka aluetta ei ollut porattu eikä pnostettu. Alapuolella olevat lohkareet ovat pudonneet, kun rakopinnan takana on louhittu.

Pääsiäisen louhinnat alkoivat sillä, että ensin poistettiin louhinnan edessä oleva ajojoh-  
timien kannatinpylväs. Kuvassa 7 pylväs poistetaan merlon avulla.



**Kuva 7 Ajojohdinten kannatinpylvään poisto.**

Louhittavan alueen ratasuojaus tehtiin kiskopyöräkaivinkoneella. Erityisen huolellisesti suojattiin poistetun kannatinpylvään betoninen jalusta. Jos se olisi vioittunut, olisi osa raidetta jouduttu purkamaan, että se olisi päästy korjaamaan. Raide suojattiin asentamalla sen päälle työtä varten puisista ratapöleleistä rakennetut elementit ja näiden päälle kumimatot. Pahimmissa paikoissa käytettiin 3,5 m pitkiä rengastorneja ja näiden päälle asennettiin kumimatot. Rengastornien tarkoituksena oli vaimentaa putoavien lohkareiden iskua raiteeseen. Kuvassa 8 kiskopyöräkaivinkone asettaa räjäytysmattoja rengastornien päälle.



**Kuva 8** Ratasuojauksen rakentamista kiskopyöräkaivinkoneella.

### 5.5.2 Louhintakustannusten tarkastelua

Koska louhinta suoritettiin kerroksittain, valittiin poraukseen pienempi porakalusto. Ainoastaan reunalinja porattiin pohjaan asti 0,6 m:n reikäväliä ja räjäytettiin esirakona, eli reunalinja räjäytettiin ennen kenttäreikiä. Reunareikien porauksessa käytettiin porakruunuja, joiden halkaisija oli 64 mm ja kenttäreikien reikähalkaisija oli 51 mm.

Esimerkkikentässä 1 käytettiin etuna 1,1 m, reikävälinä 1,4 m ja ohiporauksena 0,7 m. Penkereen korkeus oli 3 m. Porareian halkaisija oli 51 mm. Reikärivejä oli neljä kappaletta ja reikiä rivissä 10 kappaletta. Keularivi porattiin samalla edulla kuin takana olevat reikärivit, koska alueen sijainnin vuoksi kentät täytyi peittää huolellisesti raskailla kumimatoilla. Yhtään kiveä ei saanut lentää peitetyn kentän ulkopuolelle.

Porareikiä, pituudeltaan 3,7 m, tuli 40 kappaletta. Yhteensä porametrejä tuli 148 m. Porametrin hinta oli 4,2 €/m. Kokonaiskustannus porauksesta oli 622 €.

Kentän tilavuus oli 9 reikäväliä x 1,4 m x 4 reikäriiviä x 1,1 m x pengerkorkeus 3 m = 166 m<sup>3</sup>. Porauksekustannukset olivat 3,75 €/m<sup>3</sup>.

Panostuksessa käytettiin Fordyn 29x380. Se painaa 0,99 kg ja maksaa 2,83 €/kg. Jokaiseen reikään laitettiin 6 kappaletta dynamiittia, yhteensä 240 kappaletta. Kokonaispaino oli 84 kg ja hinta 238 €. Räjähdyksaineiden yhteiskustannus oli 1,43 €/m<sup>3</sup>.

Porauksen ja räjähdysaineiden yhteiskustannus oli 5,18€/m<sup>3</sup>.

Louhe meni niin pieneksi, että etu- ja reikäväliä kasvatettiin.

Esimerkkikentässä 2 käytettiin etuna 1,4 m, reikävälinä 1,8 m ja ohiporauksena 0,7 m. Penkereen korkeus oli 3 m ja reikäläpimitta 51 mm. Reikärivejä oli 6 kappaletta ja reikiä rivissä 6 kappaletta.

3,7 m:n reikiä tuli yhteensä 36 kappaletta ja porametrejä 133 m. Poraus kustannukset olivat yhteensä 559 €. Kentän tilavuus oli 227 m<sup>3</sup> ja porauksen osuus oli 2,46 €/m<sup>3</sup>.

Räjähdyksaineena käytettiin Fordyn 29x380 ja jokaiseen reikään laitettiin dynamiittia 6 kappaletta. Yhteensä räjähdysainetta kului 75,6 kg. Räjähdyksainekustannukset olivat 214 €, 0,94 €/m<sup>3</sup>.

Porauksen ja räjähdysaineiden yhteiskustannus oli 3,40 €/m<sup>3</sup>.

Lopputuloksena oli huono. Ominaispanostus oli 0,33 kg/m<sup>3</sup>. Tämän vuoksi kentästä jäi paljon rikotettavia lohkareita ja sen lastaaminen oli tehotonta johtuen suuresta lohkarekoosta. Ominaispanostus oli liian pieni.

Esimerkkikentässä 3 etu oli 1,2 m, reikäväli 1,5 m ja ohiporaus 0,7 m. Penkereen korkeus oli 3 m. Reikärivejä oli 6 kappaletta ja reikiä 7 kappaletta rivissä.

Porareikiä, joiden pituus oli 3,7 m tuli kenttään 42 kappaletta. Reikien yhteispituus oli 155 m. Kentän tilavuus oli 194 m<sup>3</sup>.

Kokonaiskustannus poraukselle oli 651 €, 3,36 €/m<sup>3</sup>.

Räjähdyksaineena käytettiin edelleen Fordyn 29x380. Reikiin laitettiin 6 kappaletta dynamiittia, yhteensä 88,2 kg. Räjähdyksainekustannukset olivat 250 €, 1,29 €/m<sup>3</sup>.

Porauksen ja räjähdysaineiden yhteiskustannus oli 4,64 €/m<sup>3</sup>.

Ominaispanostus oli 0,45 kg/m<sup>3</sup>. Tämä oli riittävä siihen, että louhe oli helposti lastattavissa ja rikotuskulut eivät olleet suuria. Tämä menetelmä otettiin käyttöön.

## 6 Tulokset

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää keinoja, miten louhintatyö suoritetaan mahdollisimman tehokkaasti ja taloudellisesti. Tutkimustyötä tehtiin usealla erilaisella työmaalla. Näissä pyrittiin sekä laskennallisesti että työteknisesti etsimään taloudellisin tapa suorittaa louhintatyö.

### 6.1 Lentokentän työmaa

Lentokenttätöyömaalla jaettu reikäpanos osoittautui parhaaksi ratkaisuksi toteuttaa työ kustannustehokkaasti. Koska louhittavan kallion pengerkorkeus oli niin suuri, keskiarvona kymmenen metriä, ei louhintaa voinut suorittaa kertapanoksina koko korkeudella, vaan reikä jaettiin siten, että se räjähti kahtena eri kerroksena. Reikä panostettiin käyttämällä metrin välitäytettä ja reiässä olevat nallit räjähtivät eri aikaan. Syy jaettuun reikäpanokseen oli louhinnan aiheuttamat tärinät. Jaetulla reikäpanoksella saatiin kerralla räjähtävä räjäytysainemäärä pienemmäksi ja tärinät pysyivät sallitun rajoissa.

### 6.2 Kaitaan louhinta

Kaitaan avolouhintatyömaalla louhittavan alueen ympärillä oleva ponttiseinä aiheutti rajoituksia louhintatärinöille. Siellä pystyttiin räjäyttämään kerralla neljän metrin korkuinen pengeri. Koska louhittava pengeri oli kokonaisuudessaan matala, ei siellä pystynyt käyttämään jaettua reikäpanosta. Jaetun reikäpanoksen välitäytteen täytyy olla vähintään yksi metri. Kun pengerkorkeus oli viisi metriä, se räjäytettiin kahden 2,5 metrin korkuisena penkereenä. Näin säästettiin poraus- ja räjähdysainekustannuksissa.

Jos olisi ensin louhittu neljä metriä ja sen jälkeen metri, olisi jälkimmäiseen penkereeseen joutunut poraamaan reiät tiheästi, jolloin kustannukset olisivat olleet kokonaisuudessa korkeammat. Jos viiden metrin korkuinen pengeri räjäytetään jaetulla reikäpanoksella, on sen lastausteho huono, johtuen välitäytteen aiheuttamista suurista lohkarista, sekä rikutuskustannukset korkeat.

### 6.3 Äänekosken biotuotetehtähdas

Äänekosken biotuotetehtaalla ongelmaksi osoittautui louhittavan kallion huono laatu. Kallio oli ruhjeista, täynnä rakoilua, sekä rakoilupintojen välissä olevia hienoainespitoisia välitäytteitä. Poraus oli hankalaa, koska kallion laadun vuoksi porareivät menivät tukkoon ja niitä jouduttiin avaamaan joskus useaan kertaan. Kun reikää porattiin, saattoi vieressä oleva reikä täyttyä ruhjeiden läpi menevästä porauspölystä.

Kun kenttä oli porattu ja panostajat alkoivat panostamaan sitä, joutui porari olemaan apuna aukomassa tukkoon menneitä reikiä. Tämä esti poraria aloittamaan uuden kentän porausta ja reikien uudelleenaukaisu hidasti panostustyötä. Koska kallio oli ruhjeista, saattoi räjäytyksessä edeltävä reikä räjähtäessään katkaista seuraavan reiän, jolloin räjähdysaineen välitys keskenään katkesi. Tämän seurauksena louheen sekaan jäi räjähtämättömiä panoksia. Samassa reiässä käytettiin useita nalleja reiän eri kohdissa. Tällä pyrittiin siihen, että vaikka räjäytysvälitys katkesi, useammalla nallilla saatiin koko reikä räjäytettyä.

Huolimatta edellä mainituista toimenpiteistä, kenttään jäi räjähtämättömiä panoksia tai kenttä ei lähtenyt vaadittuun syvyyteen. Tällöin jouduttiin louhimaan uudestaan samalta alueelta sinne jääneet ylikorkeat alueet. Kaikki tämä hidasti louhintatöitä ja oli kallista toteuttaa. Myös lastausteho kärsi tästä.

Rikkonainen kallio on aina vaikea louhia. Äänekosken biotuotetehtaalla kallio oli poikkeuksellisen rikkonaista. Tämä aiheutti Destialle huomattavia lisäkustannuksia.

### 6.4 Piiparinkallio

Koska Äänekosken biotuotetehtaan alueelta ei saatu riittävästi louhetta rakentamisen tarpeisiin, jouduttiin sitä tuomaan muualta. Koska Destialla on kallioalue Piiparinkalliolla, sovittiin rakennuttajan kanssa, että Destia louhii puuttuvan louhemateriaalin sieltä. Työmaalla reikään pumppauksen yhteydessä ne sekoitetaan toisiinsa, jolloin muodostuu räjähdysainetta.

Tällä työmaalla suoritettiin ensimmäinen räjäytys pienemmällä edulla ja reikävälillä. Räjäytys onnistui hyvin ja etua sekä reikäväliä voitiin kasvattaa. Tällöin samalla porametri-

ja räjähdysainemäärällä saatiin irrotettua kalliosta enemmän louhetta. Tämä oli taloudellisesti edullisempaa. Lastausteho ei kärsinyt, eivätkä rikotuskustannukset mainittavasti kasvaneet.

## 6.5 Pohjoisbaana

Destia alkoi rakentaa Pohjoisbaanaa elokuussa vuonna 2016. Pohjoisbaana on pyöräilyn laatureitti, joka on päällystetty punaisella asfaltilla. Vieressä kulkee mustalla asfaltilla päällystetty jalankulku tie. Nämä on erotettu toisistaan noppakiviraidalla.

Pohjoisbaana oli haasteellinen paikka louhia. Aivan vieressä oli junaraide ja ajojohtimien kannatinpylväs oli lähimmillään 2,5 m:n päässä louhittavasta alueesta, sekä louhittavan alueen alapuolella. Kaikista hankalimmassa paikassa jouduimme pyytämään pitkän katkon raideliikenteelle. Se onnistui pääsiäisenä, jolloin junaliikenne oli vähäisempää.

Louhinnan korkeus oli suurimmillaan yli 10 metriä. Nämä alueet jouduttiin louhimaan kolmessa kerroksessa. Myös täällä etsittiin optimaalisia etu- ja reikävälejä. Useamman koikeilun jälkeen Destia löysi parhaan ratkaisun jatkaa louhintatöitä.

## 7 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä mestarityössä käytiin läpi erilaisia louhintatöitä, sekä viimeisimmät lakimuutokset, jotka koskevat panostajien pätevyyskriteerejä suorittaa erilaisia louhintatöitä. Mestarityö keskittyi avolouhintaan.

Poraus- ja panostustyöt käsiteltiin teoriapohjalta, jonka jälkeen niitä tarkasteltiin käytännön esimerkkeinä. Samoin tutkittiin tärinää aiheuttavia louhintatöitä ja teoreettisia perusteita ennakoita erilaisten panosmäärien vaikutusta tärinän suuruuteen, ottaen huomioon kohteet, joihin tärinä saattaa aiheuttaa vaurioita. Erilaiset rakennukset ja niiden perustukset täytyy huomioida, kun tärinäarvoja määritellään. Kytkevät, tietokoneet ja muut vastaavat tarkastellaan niistä saatujen suurimpien sallittujen kiihtyvyyssarvojen perusteella.

Tutkimustyö tehtiin viidellä eri työmaalla. Niissä tarkasteltiin erilaisia louhintamenetelmiä. Etu- ja reikäväli, sekä erilaiset porareikäkoot mahdollistavat muuttamaan louhintamenetelmää edullisemmaksi. Kallion laatu ja kivilaji on merkittävin. Ehjään kallioon on helpompaa suunnitella ja kokeilla erilaisia louhintamenetelmiä. Jos kallio on hyvin ruhjeista ja rikkonaista, asettaa se suuret haasteet louhinnalle halutun tuloksen saamiseksi.

Tutkimustyössä tuotiin myös esille se, että louhinta täytyy suorittaa siten, että lohkokoko on toivotun kokoista. Jos louhintakustannuksissa säästetään liikaa ja ominaispanostus on liian pieni, ongelmaksi tulee louheen käsittely. Suurikokoista louhetta on hitaampi lastata ja rikotuskustannukset kasvavat merkittävästi.

Tärinäherkissä kohteissa, joissa penkereen korkeus on riittävä, kannattaa käyttää jaettava reikäpanosta. Jos reiät saadaan louhittua kerralla pohjaan asti, on se huomattavasti kustannustehokkaampaa kuin louhia kahdessa kerroksessa. Jos louhinta tehdään kahdessa kerroksessa, joudutaan toisen kerroksen pinta puhdistamaan louhintaa varten. Tämä on kallis työvaihe ja lisäksi lastausteho on huonompi verrattuna siihen, jos penger voidaan lastata kerralla oikeaan korkoon. Myös louhintakustannukset ovat suuremmat, kun matalammissa penkereissä täytyy tihentää porausta.

Jokainen louhintakohte on erilainen. Ne asettavat aina omat haasteensa. Helpointa on jatkaa samassa kohteessa, jossa on aikaisemmin louhittu. Näistä on valmiiksi etukäteistietoa. Tällaisia kohteita on muun muassa alueet, joista irrotetaan louhetta murskausta varten ja louhintaa tehdään useamman kerran vuodessa eri aikoina.

## Lähteet

1. Destia Oy 2017. Kotisivut <http://www.destia.fi/>. Luettu 14.3.2017
2. <https://www.hel.fi/helsinki/fi/kulttuuri-ja-vapaa.../uimahallit/itakeskuksen-uimahalli> Luettu 15.3.2017
3. [https://www.google.fi/search?q=Pora-lautta&tbm=isch&source=iu&pf=m&ictx=1&fir=Nvi6cTi4tr8DjM%253A%252CKJNaL\\_FoqmwouM%252C\\_&usq=\\_pM1CSCsBQSlfWC6h3N5jYUMbdXA%3D&sa=X&ved=0ahUKEwj-pGo8vbWAhXC0RoKHaffCdEQ9QEIPjAF#im-grc=l3YBQ26PGSfgnM:&spf=1508217057254](https://www.google.fi/search?q=Pora-lautta&tbm=isch&source=iu&pf=m&ictx=1&fir=Nvi6cTi4tr8DjM%253A%252CKJNaL_FoqmwouM%252C_&usq=_pM1CSCsBQSlfWC6h3N5jYUMbdXA%3D&sa=X&ved=0ahUKEwj-pGo8vbWAhXC0RoKHaffCdEQ9QEIPjAF#im-grc=l3YBQ26PGSfgnM:&spf=1508217057254) Katsottu 15.3.2017
4. [www.meltex.fi/tuotteet/muut-tuotteet/etanadynamiitti-cras-paisuntamassa.html](http://www.meltex.fi/tuotteet/muut-tuotteet/etanadynamiitti-cras-paisuntamassa.html) Luettu 17.3.2017
5. Valtioneuvoston asetus räjäytys- ja louhintatyön turvallisuudesta 16.6.2011/644
6. Panostajalaki 3.6.2016/423
7. Valtioneuvoston asetus panostajien pätevyyskirjoista 458/2016
8. Räjäytys- ja louhintatyön turvallisuusohje. Työturvallisuuskeskus TTK: 9., uudistettu painos 2016
9. Vuolio, R. & Halonen, T. 2010. Räjäytystyöt. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.
10. <http://forcit.fi/fi/explosives/tuotteet/> Forcitin tuoteluettelo 2015
11. RIL 253-2010. Rakentamisen aiheuttamat tärinät 2010. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto
12. Räjähdehinnasto. Forcit explosives 1/2017



