



TEKNIikka JA LIIKENNE

Rakennustekniikka

Ympäristörakentaminen

INSINÖÖRITYÖ

IRTIPORAUKSEN VAIKUTUS LOUHINTATÄRINÖIDEN VAIMENNUKSESSA

**Työn tekijä: Lauri Harri
Työn ohjaaja: Petri Cavander
Työn ohjaaja: Jari Heikkilä**

Työ hyväksytty: __. __. 2010

**Jari Heikkilä
lehtori**

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Lauri Harri	
Työn nimi: Irtiporauksen vaikutus louhintatärinöiden vaimennuksessa	
Päivämäärä: 16.3.2010	Sivumäärä: 32 s. + 5 liitettä
Koulutusohjelma: Rakennustekniikka	Ammatillinen suuntautuminen: Ympäristörakentaminen
Työn ohjaaja: Jari Heikkilä, dipl. ins.	
Työn ohjaaja: Petri Cavander, työpäällikkö	
<p>Tämä insinööri työ tehtiin Destia Oy:lle. Työssä tutkittiin irtiporauksen vaikutusta louhintatärinöiden vaimennuksessa sekä sen lisäksi myös muita irtiporauksen käyttökohteita. Tutkimus suoritettiin Museoviraston toimitilahankkeessa Sturenkatu 2:ssa ja 4:ssä olleen louhintaurakan yhteydessä.</p> <p>Työssä tutkittiin aluksi aiheeseen liittyvää teoriaa. Ensimmäisenä paneuduttiin aaltoliikeoppiin ja tärinän etenemiseen kallioperässä. Seuraavaksi keskityttiin irtiporauksen suorittamiseen ja sen eri käyttökohteisiin sekä kustannuksiin. Viimeisessä osiossa suoritettiin irtiporauksen aiheuttaman tärinänvaimennuksen laskenta keskittymällä heilahdusnopeuden arvon prosentuaaliseen alenemiseen.</p> <p>Tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että irtiporauksella on vaimentavaa vaikutusta tärinöiden suuruuteen. Työssä on lisäksi ilmennyt, että tärinänmittauspisteen ja räjäytyksen välisellä etäisyydellä ei olisi merkitystä tärinänvaimennuksen suuruuteen. Lisäksi irtiporauksen leveyden merkitys tärinänvaimennuksen suuruuteen on osoittautunut vähäiseksi.</p>	
Avainsanat: Irtiporaus, louhintatärinä, k-arvo, tärinänvaimennus	



ABSTRACT

Name: Lauri Harri	
Title: The Influence of Vibration Isolation	
Date: 16 March 2010	Number of pages: 32 pages+5 appendices
Department: Civil Engineering	Study Programme: Environmental Construction Engineering
Instructor: Jari Heikkilä, M.Sc	
Supervisor: Petri Cavander, Project Manager	
<p>This thesis was commissioned by Destia Ltd. The aim of this thesis was to study the influence of vibration isolation. Vibration isolation has been executed in the site by drilling. The study was carried out in National Board of Antiquities and Historical Monuments construction project.</p> <p>In the theoretical framework of the study consist of the basic theories on wave. The blasting and blasting vibration were studied more accurately. Furthermore, the theory of vibration isolation was examined.</p> <p>In the research nine of blasting monitoring results were analysed.</p> <p>It was observed that the vibration isolation has influence for the vibration damping. Furthermore, it was observed that the distance between blast and vibration indicator has not influence for the results.</p>	
Keywords: blasting vibration, vibration isolation	

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	AALTOLIIKEOPPI	1
2.1	Yleistä	1
2.2	Värähdysliike	1
2.2.1	Värähtelyn tekijät	1
2.2.2	Värähtely ja ympäristö	2
2.3	Aaltoliike	3
2.3.1	Aaltoliikkeen syntyminen ja eteneminen	3
2.3.2	Poikittainen ja pitkittäinen aaltoliike	3
2.3.3	Aallonpituus ja värähdysaika	4
2.3.4	Aaltoliikkeen etenemisnopeus v	5
2.3.5	Aaltoliikkeen taitto ja heijastuminen	5
3	RÄJÄYTYKSISTÄ JOHTUVA TÄRINÄ KALLIOPERÄSSÄ	6
3.1	Yleistä	6
3.2	Kalliotärinä	8
3.3	Kallioperän aaltotyypit	9
3.4	Geologisten seikkojen vaikutus tärinän etenemiseen	12
3.5	Tärinän suuruuden ennakoarviointi	13
3.5.1	Suuruuteen vaikuttavat tekijät	13
3.5.2	Väliaineen vaikutus tärinän suuruuteen	14
3.5.3	Momentaanisesti syttyvän räjähdysaineen synnyttämä tärinä	14
4	IRTIPORAUS	15
4.1	Yleistä	15
4.2	Irtiporauksen syvyyden, leveyden ja vahvuuden määrittäminen tärinärajatarvoja silmällä pitäen	15
4.2.1	Irtiporauskanavan syvyys	15
4.2.2	Irtiporauskanavan leveys	17
4.2.3	Irtiporauskanavan vahvuus	17
4.3	Irtiporauksen tekeminen	18
4.3.1	Porauskalusto	18
4.3.2	Työvaiheet	18
4.3.3	Huomioitavat asiat	20
4.4	Irtiporauksen käyttökohteet	21
4.4.1	Tärinän vaimennus	21

4.4.2	<i>Rakennusten perustusten suojele</i>	21
4.4.3	<i>Lujitustöistä saatavat säästöt</i>	22
4.4.4	<i>Sähkö- ja puhelinkaapeliupotukset</i>	22
4.4.5	<i>Rakennusten vesisuojaukset</i>	22
4.5	Irtiporauksen kustannukset	22
5	LÄHTÖTIEDOT	23
5.1	Museoviraston toimitilahanke Sturenkatu 2 ja 4	23
5.2	Irtiporauksen syvyys (m)	23
5.3	Momentaaninen räjähdysainemäärä (Q)	24
5.4	Etäisyys (R) ja heilahdusnopeus (v)	24
6	LASKENTA	25
6.1	Yleistä	25
6.2	k-arvon laskenta	25
6.3	Irtiporauksen aiheuttaman tärinänvaimennuksen laskenta	26
7	TULOKSET	27
7.1	Heilahdusnopeuden arvon vaimennus	27
7.2	Virhetekijät	29
7.2.1	<i>Nallien hidastusvaihtelut</i>	29
7.2.2	<i>Etäisyys (R)</i>	29
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	31
	VIITELUETTELO	32
	LIITTEET	
Liite 1	Sytytyskaavio	
Liite 2	Havainnekuva, räjäytykset 52 ja 53	
Liite 3	Havainnekuva, räjäytykset 54 ja 87	
Liite 4	Havainnekuva, räjäytykset 68 ja 79	
Liite 5	Havainnekuva, räjäytykset 65 ja 92	

1 JOHDANTO

Tässä insinööriyössä tutkitaan irtiporauksen vaikutusta louhintatärinöiden vaimennuksessa. Tutkimustyömaana käytetään Museoviraston toimitilahan-
ketta Sturenkatu 2:ssa ja 4:ssä.

Tutkimuksessa paneudutaan ensin aiheeseen liittyvään teoria tietoon. Lu-
vuissa 2 ja 3 tutkitaan aaltoliikettä ja tärinän etenemistä kallioperässä. Lu-
vussa 4 selvitetään irtiporausta ja sen eri käyttökohteita sekä kustannuksia.

Luvuissa 5, 6 ja 7 esitetään itse tutkimus ja sen lähtötiedot sekä tutkimus-
menetelmät. Tutkimuksessa on tarkoituksena saada useilla samantyyppisillä
toistoilla selville irtiporauksen aiheuttaman tärinänvaimennuksen prosentua-
aalinen suuruus käyttämällä määrittävänä suurena heilahdusnopeuden ar-
voa. Irtiporauksen syvyyden ja leveyden vaikutusta vaimennuksen suuruu-
teen pyritään myös selvittämään.

Tutkimuksen tuloksista tehtävät johtopäätökset esitetään luvussa 8.

2 AALTOLIIKEOPPI

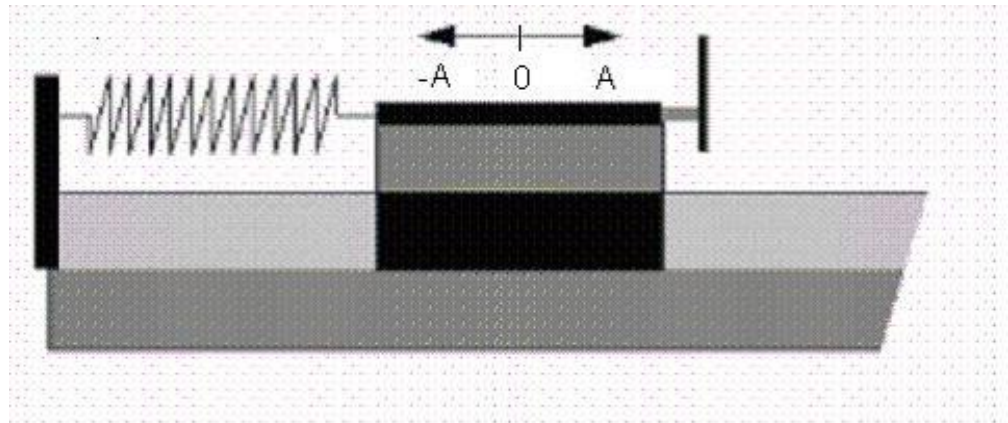
2.1 Yleistä

Värähdysliikkeessä kappaleeseen kohdistuvan voiman suuruus ja suunta
muuttuvat sen liikkussa. Värähdysliikettä ovat esimerkiksi sydämemme
lyönti, kellon viisarien kierto kellotaululla sekä auton männän liikkuminen.
Aaltoliike syntyy värähtelijöiden yhdessä muodostamasta liikkeestä. Aaltolii-
kettä ovat esimerkiksi veteen putoavien vesipisaroiden vedenpintaan aiheut-
taman häiriön synnyttämät aallot, sekä narussa, jonka toista päätä heilute-
taan koko ajan samalla taajuudella ja toinen pää on vapaana.

2.2 Värähdysliike

2.2.1 Värähtelyn tekijät

Tasapainoaseman ohi edestakaisin tapahtuvaa jaksottaista liikettä kutsutaan
värähdysliikkeeksi. Esimerkiksi jouseen kiinnitetty punnus voi olla värähtelijä.



Kuva 1. Jousen päässä värähtelevä punnus. [6, s.126]

Kuvassa 1 punnus on kiinnitetty jousella. Punnus alkaa värähdellä jousivoiman vaikutuksesta pisteiden $-A$ ja A välillä, kun se poikkeutetaan pisteestä 0 pisteeseen $-A$. Suurinta poikkeamaa tasapainoasemasta kutsutaan amplitudiksi, kuvassa 1 amplitudi on A .

Värähdysliikkeen jaksonaika T tarkoittaa yhteen edestakaiseen värähdykseen kulunutta aikaa. Ominaistaajuus f_0 kuvaa jaksollisen ilmiön tietyssä ajassa tapahtuvien värähdysten määrää. [6, s.126.]

$$f_0 = \frac{1}{T} \quad (1)$$

Taajuuden yksiköksi saadaan $[f] = \frac{1}{s} = \text{Hz}$, hertsi

Kun kappaleeseen vaikuttaa harmoninen voima, kutsutaan värähtelyä harmoniseksi värähtelyksi. Harmoninen voima suuntautuu aina kohti tasapainoasemaa ja on suoraan verrannollinen poikkeamaan siitä.

$$F = -kx \quad (2)$$

k = jousivakio, N/m

x = poikkeama tasapainoasemasta

2.2.2 Värähtely ja ympäristö

Värähtelevän kappaleen pysäyttämiseksi tarvitaan siihen kohdistuvia ulkoisia voimia. Mikäli värähdysliikettä vastustavia voimia ei olisi, kasvaisi värähdysliikkeen amplitudi. Värähtelijää vastustavia voimia ovat esimerkiksi kitka ja väliaineen vastus.

Ulkoiset voimat ja niiden aiheuttamat värähtelyt on otettava huomioon rakennuksia ja siltoja suunniteltaessa. Jos rakennukseen kohdistuva värähtely tapahtuu samalla taajuudella kuin rakennuksen ominaisvärähtelytaajuus, voi rakennus romahtaa. Tällöin rakennus ottaa tästä värähtelystä lisää värähtelyenergiaa ja värähtelee yhä voimakkaammin. Edellä mainittua ilmiötä, jossa värähtelijä luovuttaa toiselle energiaa tämän ominaistajuudella f_0 , kutsutaan resonanssiksi. [6, s.134.]

2.3 Aaltoliike

2.3.1 Aaltoliikkeen syntyminen ja eteneminen

Mekaaninen aaltoliike tarvitsee edetäkseen väliaineen, jossa sijaitsevien rakenehiukkasten välisestä vuorovaikutuksesta värähtely siirtyy hiukkasesta toiseen. Mekaaninen aaltoliike voidaan jakaa pitkittäiseen ja poikittaiseen aaltoliikkeeseen. Aineen rajapinnassa etenevät rajapinta-aallot ovat usein yhdistettyä aaltoliikettä. [6, s.138.]

Tyypillisesti samassa väliaineessa etenee yhtäaikaaisesti useita aaltoliikkeitä, joiden yhteisvaikutusta kutsutaan interferenssiksi. Interferenssiaalloksi kutsutaan näiden yhteisvaikutuksesta syntyvää summa-aaltoa. Aaltojen poikkeamien ollessa samansuuntaiset ne vahvistavat toisiaan, mutta vastaavasti poikkeamien ollessa vastakkaisuuntaiset ne heikentävät toisiaan. [6, s.159.]

Aaltoliikkeessä kulkeutuu energiaa värähdysliikkeen energiana. Väliaineessa osa aaltoliikkeen energiasta vaimenee muuttuen lämmöksi. [6, s.146.]

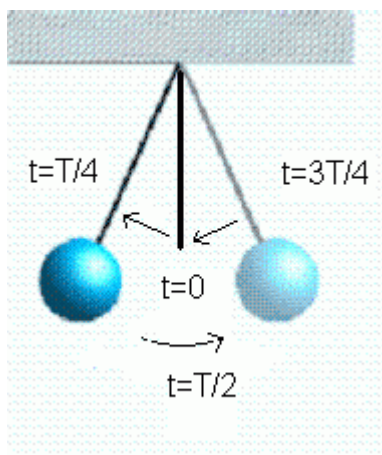
2.3.2 Poikittainen ja pitkittäinen aaltoliike

Poikittaisessa aaltoliikkeessä värähdysliike on kohtisuorassa aaltoliikkeen etenemissuuntaa vastaan. Jotta poikittaista mekaanista aaltoliikettä voi tapahtua, on aaltoliikettä välittävän väliaineen rakenneosasten välillä oltava riittävän suuri vuorovaikutus. Tästä johtuen poikittainen aaltoliike voi edetä vain kiinteässä aineessa.

Pitkittäisessä aaltoliikkeessä yksittäisen värähtelijän ja aaltoliikkeen etenemissuunta ovat samat. Siinä etenevät väliaineen tiivistymät ja harventumat. Pitkittäisessä aaltoliikkeessä ei edellytyksenä ole väliaineen rakenehiukkasten välinen voimakas vuorovaikutus. Täten pitkittäinen aaltoliike voi edetä väliaineen kaikissa olomuodoissa. [5, s.85-86.]

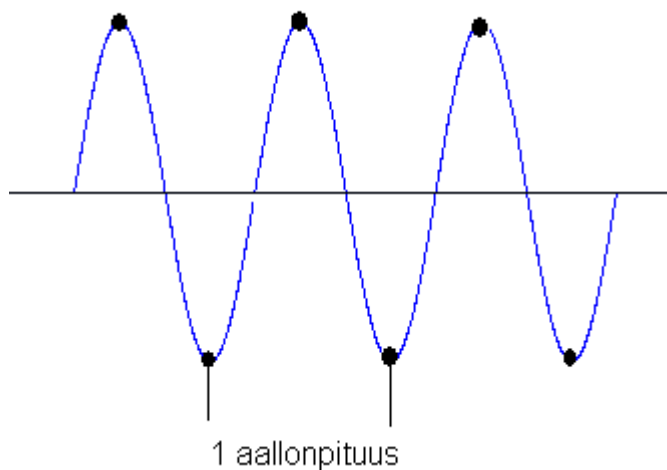
2.3.3 Aallonpituus ja värähdysaika

Aallonpituutta ja värähdysaikaa voidaan tarkastella heilurin avulla. Siinä heiluri lähtee liikkeelle alkuasemasta, käy kummassakin ääriasennossa ja palaa tämän jälkeen alkuasemaan. Värähdysaikaa nimitetään tunnuksella T .



Kuva 2. Heilurin liike kuvaa värähdysaikaa T heilahtaessaan vasemmalle, oikealle ja palatessaan takaisin tasapainoasemaan.

Aaltoliikkeessä kuvan 2 mukaisia heilureita yhdistetään mekaanisesti toisiinsa, jolloin aallonpituudeksi λ saadaan kahden peräkkäisen ja samanvaiheisen värähtelijän välimatka (kuva 3). [5, s.139.]



Kuva 3. Aallonpituus λ . [5, s.159]

Edellä mainittu systeemi esittää harmonisen värähtelyn siirtymistä värähtelijästä toiseen, jolloin syntyvää aaltoliikettä voidaan pitää lähes sinikäyrän muotoisena. Kyseessä olevaa muotoa pidetään aaltoliikkeen perusmuotona ja sitä voidaan käyttää mallina monelle luonnossa esiintyvälle, aineen kim-

moisuuteen perustuvalla mekaanisella ja sähkömagneettisella aaltoliikkeelle.
[5, s.159.]

2.3.4 Aaltoliikkeen etenemisnopeus v

Aaltoliikkeen etenemisnopeus saadaan laskettua seuraavasti:

$$v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda \quad (3)$$

T = Värähdysaika

λ = Aallonpituus

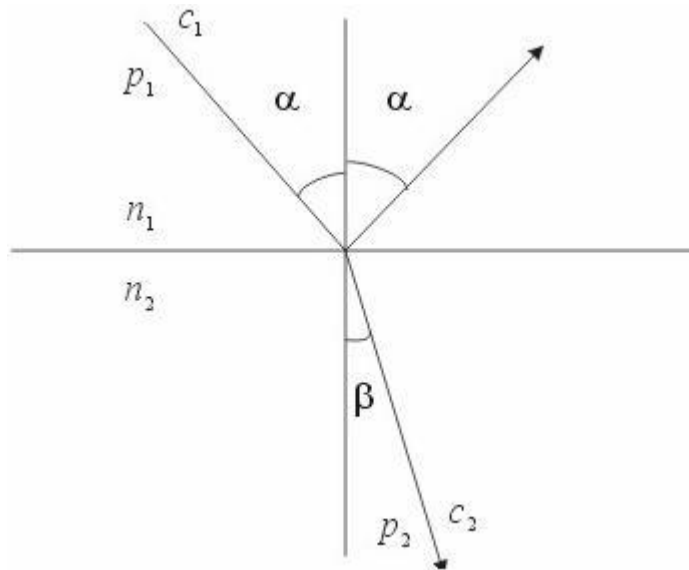
f = Taajuus

Edellä esitettyä yhtälöä kutsutaan aaltoliikkeen perusyhtälöksi. Koska $f = 1/T$, voidaan aaltoliikkeen etenemisnopeus ilmaista myös $v = f\lambda$.

Aaltoliikkeen taajuus f riippuu täysin värähtelyn aiheuttajasta, ei väliaineesta, jossa aaltoliike etenee. Aaltoliikkeen etenemisnopeus on sen sijaan voimakkaasti riippuvainen väliaineesta, jossa se etenee. Tästä johtuen aallonpituus on myös riippuvainen väliaineesta, jossa aalto etenee. [5, s.86.]

2.3.5 Aaltoliikkeen taitto ja heijastuminen

Aaltoliikkeen saavuttaessa aineen rajapinnan osa sen energiasta heijastuu rajapinnasta ja palaa takaisin alkuperäiseen väliaineeseen. Aaltoliikkeen heijastuminen on riippuvainen aineiden kiinteyksien eroavaisuudesta. Mitä suurempi kiinteyksien ero on, sitä suurempi osa aaltoliikkeen energiasta heijastuu takaisin alkuperäiseen aineeseen.



Kuva 4. Aaltoliikkeen heijastuminen ja taittuminen.

Kuvassa 4 esitetään aaltoliikkeen heijastumista. Kulmassa α rajapintaan saapuva aalto c_1 heijastuu heijastuslain mukaisesti rajapinnasta takaisin samassa kulmassa α . Osa aaltoliikkeen energiasta läpäisee rajapinnan ja taittuu pinnan normaaliin nähden kulmassa β .

Määritetään rajapintaan saapuvan aallon c_1 nopeudeksi v'_1 , aallonpituudeksi λ_1 ja taajuudeksi f . Tällöin taittuvan aallon c_2 nopeudeksi saadaan v'_2 , aallonpituudeksi λ_2 ja taajuudeksi f .

Aaltoliikkeen taittumislaki noudattaa seuraavaa muotoa:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v'_2}{v'_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{c_1}{c_2} = \eta_{12} \quad (4)$$

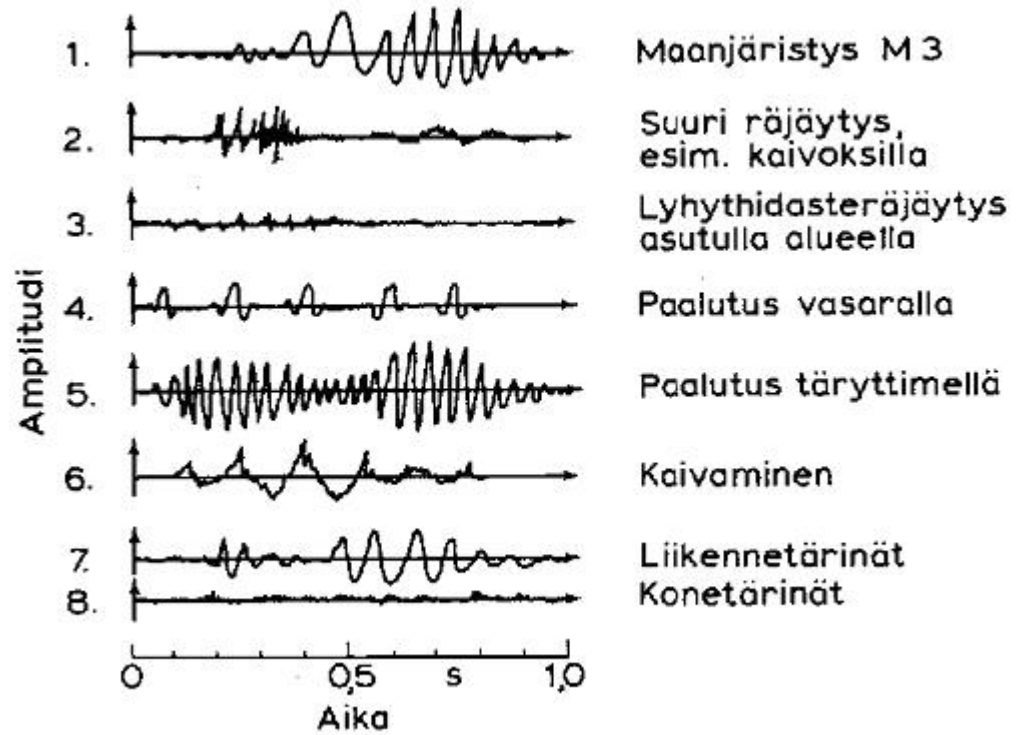
η_{12} kuvaa taitesuhdetta ainesparin 1 ja 2 välillä. Aaltoliikkeen taittuessa taitteikulma β riippuu tulokulmasta α sekä aaltoliikkeen nopeuksista kyseisissä aineissa. [6, s. 151.]

3 RÄJÄYTYKSISTÄ JOHTUVA TÄRINÄ KALLIOPERÄSSÄ

3.1 Yleistä

Räjähdyksestä syntyy kallioon jännitysaalto, joka aiheuttaa kiven irtoamista sekä tärinää. Tärinä on seurausta väliaineessa tapahtuvasta siirtymästä. Tä-

rinä saattaa aiheuttaa vaurioita lähistöllä sijaitseviin rakennuksiin ja laitteisiin sekä häiritä ihmisiä.



Kuva 5. Erilaisia värinälähteitä ja niiden aiheuttamia värinöitä. [7, s.164]

Ympäristön rakennuksissa on syytä ennen räjäytystyön aloitusta järjestää alkukatselmuksia. Alkukatselmuksissa rakennuksissa ennestään olevat vauriot merkitään muistiin sekä arvioidaan rakennusten ja niissä sijaitsevien herkkien laitteiden värinäkestävyys.

Räjäytykset voidaan suunnitella tilastollisen tiedon perusteella tehtyjen tutkimusten avulla niin varovaisiksi, ettei niistä aiheudu rakennuksille tai värinäherkille laitteille vaurioita. [7, s.164.]

Työssä keskitytään enimmäkseen värinään kalliosta, koska värinänmittauspisteinä käytetty rakenne on perustettu kalliosta varovaisesti. Värinän eteneminen kalliosta pehmeämpään ja tiheydeltään pienempään materiaaliin otetaan myös huomioon, koska tilanne kuvaa käytännön irtiporausta.

3.2 Kalliotärinä

Yleisesti kalliotärinä käsitetään maanpinnan aaltoliikkeeksi. Se on seurausta seismisten aaltojen etenemisestä, joita voivat aiheuttaa esimerkiksi maanjäristykset, räjäytykset, paalutus, liikenne ja erilaiset koneet. Heilahdusliikettä voidaan käytännön vaatimissa tarkkuuksissa pitää sinimuotoisena eli harmonisena heilahduksena. [7, s.165.]

Kalliotärinän mitoitus

Heilahdusliikkeen suuruutta kuvataan siirtymäamplitudilla. Seuraavilla kaavoilla voidaan määrittää kalliotärinätarkkailujen yhteydessä yleisimmin käytetyt suureet:

$$u = A \sin \omega T \quad (5)$$

$$v = 2\pi f A \quad (6)$$

$$a = 4\pi^2 f^2 A \quad (7)$$

u = poikkeama hetkellä ωt

A = siirtymäamplitudi, [mm, tai $\eta = 1/1000$ mm]

T = jakson aika

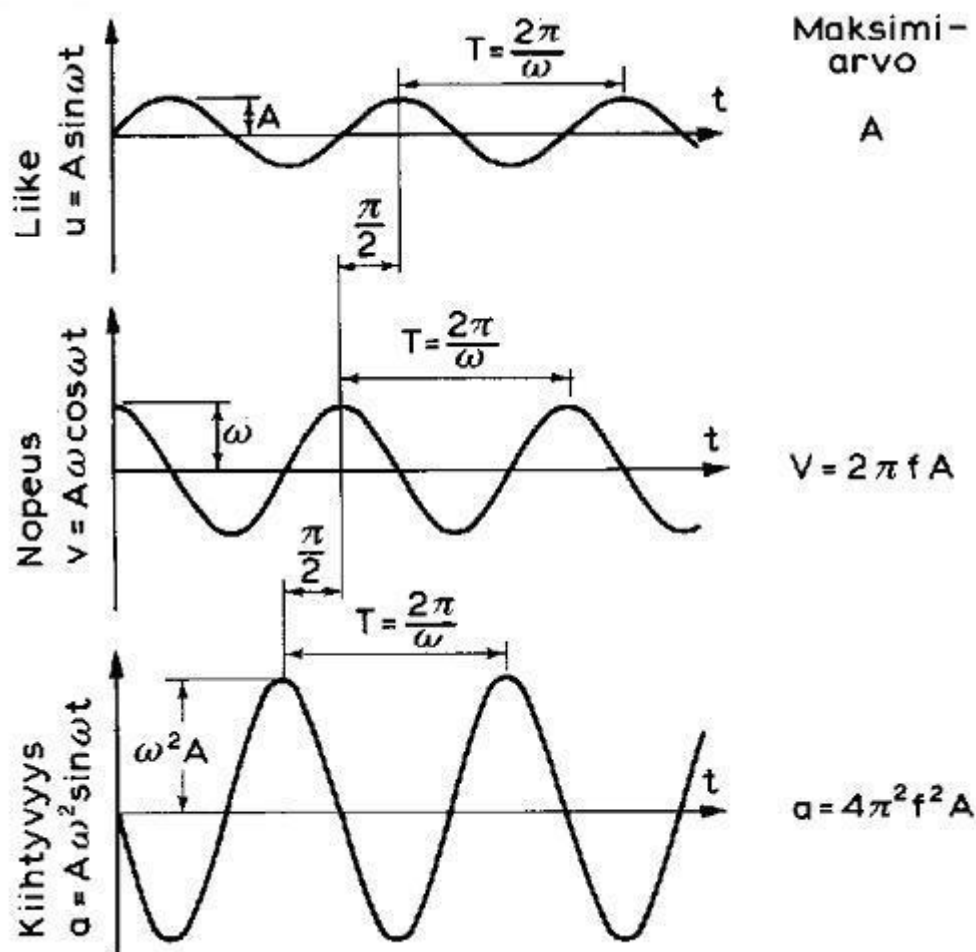
ω = kulmafrequenssi (jaksoluku) rad/s

f = frequenssi (= jaksojen luku/s) [1/s tai Hz]

v = heilahdusnopeus [mm/s]

a = kiihtyvyys [m/s^2]

Kaavasta 5 saadaan matemaattisesti derivoimalla heilahdusnopeuden kaava 6 ja siitä edelleen derivoimalla kiihtyvyyden kaava 7 [7, s.165].



Kuva 6. Harmoninen heilahdus [7, s. 164]

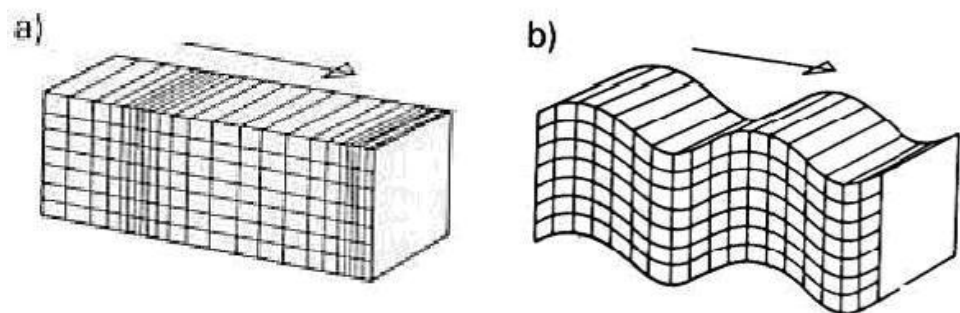
3.3 Kallioperän aaltotyypit

Kalliossa syntyy vastareaktiota räjähdysaineen räjähdyksestä aiheutuvan paineaallon vaikutuksesta. Vastareaktiot johtavat aineen tiivistymiseen ja myös pienen alueen murskautumiseen. Paineaallon voiman loppuosa jatkaa etenemistä väliaineessa shokkiaallona, joka on nopein kaikista räjähdyksestä aiheutuvista aaltoliikkeistä. Sen energia on keskittynyt varsin ohueen pallomaiseen kuoreen ja sen vaikutusaika on noin 0,2 s sekä vaikutusvyöhyke noin 1 cm paksuinen. Shokkiaallon vaikutuksesta kallio tiivistyy ja rikkoutuu, jolloin aallon energiaa häviää sekä etenemisnopeus pienenee. Lopulta shokkiaalto muuttuu plastiseksi aalloksi, joka aiheuttaa kalliossa pelkästään plastisia muutoksia, joilla ei kivilajien haurauden vuoksi ole merkitystä.

Shokkiaallon heikennyttyä voimakkuudeltaan niin paljon, että väliaineessa ei enää tapahdu pysyviä muutoksia, on aalto muuttunut kimmoaalloksi. Kimmoaallot voidaan jakaa P-aaltoihin, S-aaltoihin, R-aaltoihin, kahden erilaisen

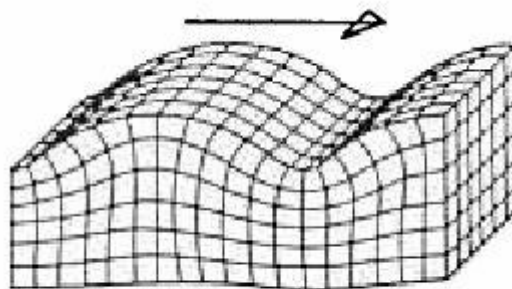
materiaalin rajapinnassa syntyvään Stoneley-aaltoon sekä pinta-aaltotyyppisiin H- ja C-aaltoihin. Käytännön seismisissä tutkimuksissa keskitytään yleensä tarkkailemaan P-, S- ja Rayleigh-aaltoja. Kimmoaalto voidaan jakaa kahteen päätyyppiin, runkoaaltoihin ja pinta-aaltoihin.

Runkoaalloista tunnetuimmat ovat P-aallot ja S-aallot. P-aallossa ainehiukaset siirtyvät etenemissuunnassa eli pitkittäisesti ja S-aallot etenemissuuntaan nähden kohtisuorasti eli poikittaissuunnassa. Käytännön räjäytystyössä käytettävät sylinterimäiset panokset aiheuttavat väliaineessa sekä puristusta että leikkausta, jolloin syntyy siis sekä P- että S-aaltoja.



Kuva 7. Runkoaallot elastisena aaltoliikkeenä. a) P-aallot ja b) S-aallot

Rayleigh- eli R-aalto on pinta-aalloista tunnetuin, se syntyy pyöristyneen runkoaaltorintaman kohdatessa vapaan rajapinnan. Aallosta aiheutuu ellipsin muotoinen liike osittain pinnan suuntaisena ja osittain kohtisuorassa edettävää pintaa vasten. Erilaisten materiaalien rajapinnassa syntyy Stoneley-aalto. Lisäksi räjäytystutkimuksissa on havaittu myös pinta-aaltotyyppiset C- ja H-aalto. [7, s.165.]



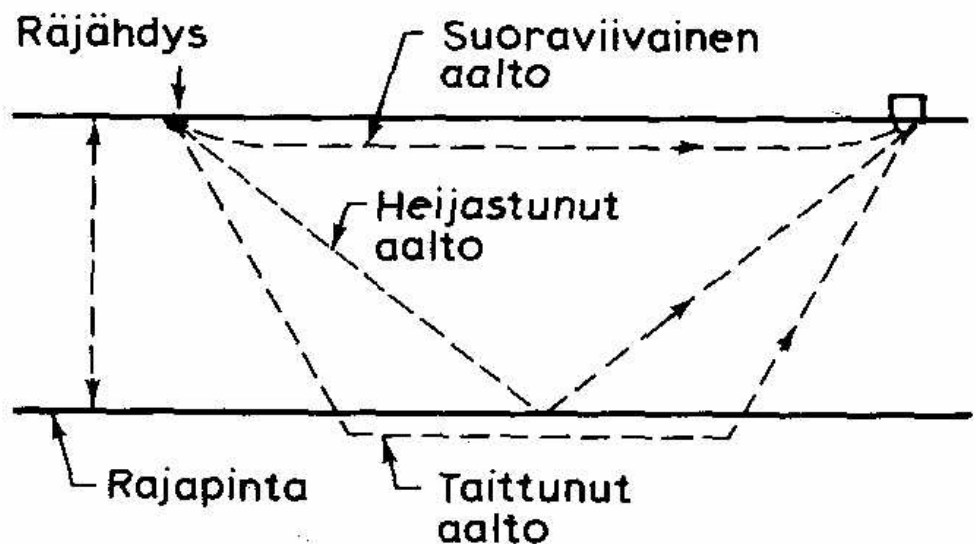
Kuva 8. R-aalto.

Käytännön seismisissä tutkimuksissa on selvitetty, että etenemisnopeudeltaan P-, S-, ja R-aalloista nopein on P-aalto. S-aaltojen etenemisnopeus on P-aaltoihin nähden 0,577-kertainen ja R-aaltojen korkeintaan 0,9-kertainen. Nämä lukuarvot pätevät vain kovassa ja kiinteässä kallioperässä.

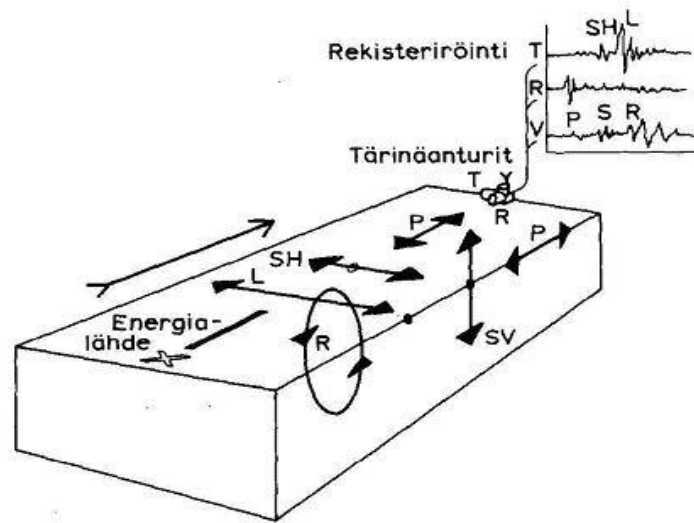
Edellä mainituilla aaltotyypeillä voi olla kolme eri etenemistietä:

- Edetä suoraviivaisesti
- Taivuttua
- Heijastua.

Vain suorassa kulmassa saapuvassa aallossa puristus pysyy puristuksena ja leikkaus leikkauksena eli tällöin esimerkiksi P-aalto jakautuu vain heijastuneeksi ja taivuttuneeksi P-aalloksi. Normaalisti sekä P-, että S-aallosta syntyy kaksi heijastunutta ja taivuttunutta aaltoa. Yleensä yhdestä räjähtävästä porausreikäpanoksesta saapuu ensimmäisenä mittauskohteeseen suoraviivaisesti etenevä P-aalto. Seuraavina saapujina lähellä mittauskohdetta ovat taivuttuneet P- ja S-aalto. Niiden jälkeen mittauskohteeseen saapuu suoraviivaisesti etenevä S-aalto. Mikäli räjäytys tapahtuu suurilla etäisyyksillä mittauskohteesta, voi ensimmäisenä saapujana olla myös taivuttunut P-aalto. Etäisyydestä riippumatta viimeisinä mittauskohteeseen saapuvat pinta-aallot. [7, s.166.]



Kuva 9. Aaltojen etenemistiet. Suoraviivainen aalto, heijastunut aalto ja taivuttunut aalto. [7, s.166]



Kuva 10. Kuvassa esitetään suoraviivaisten aaltojen etenemistä levyllä. [7, s.166]

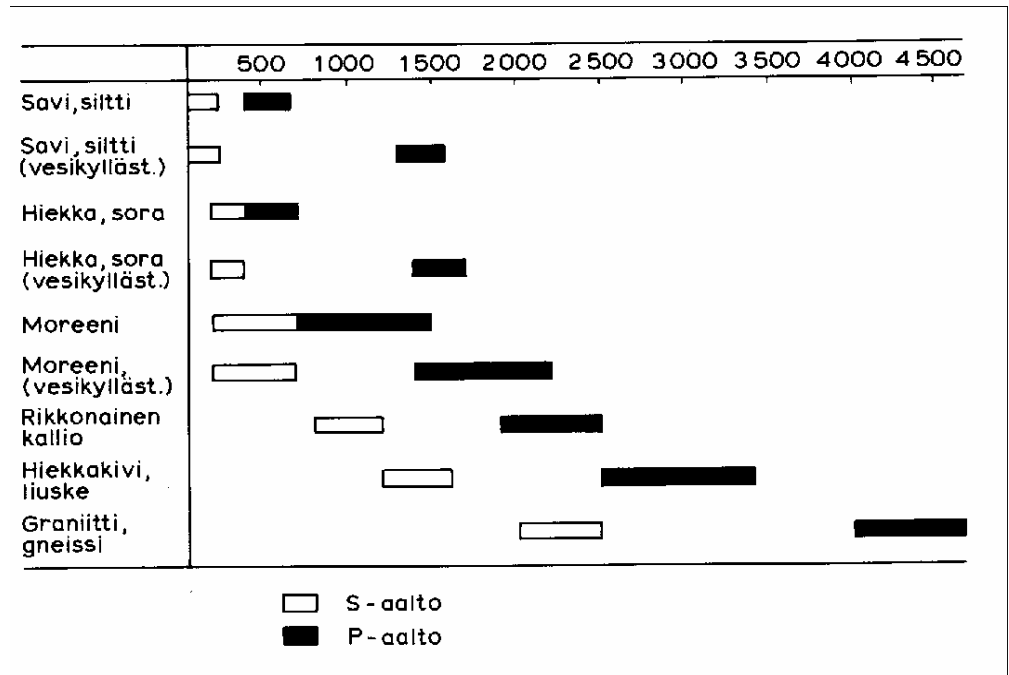
3.4 Geologisten seikkojen vaikutus värinän etenemiseen

Yleisesti maa- ja kallioperäolosuhteiden ominaisuuksien vaihtelulla on vaikutusta värinöiden etenemiseen. Tärinäaaltoliikkeen energian heijastumisen suuruutta kuvataan Rune Gustafssonin esittämässä Fresnelin kaavassa:

$$E_{ref} = \frac{c_2 - c_1}{c_2 + c_1} = 44\% , \text{ jossa } c_2=5000 \text{ m/s ja } c_1=1000 \text{ m/s} \quad (8)$$

c_2 = Rajapintaan saapuvan aaltoliikkeen nopeus (materiaalikohtainen)

c_1 = Rajapinnan takana olevan tärinäaaltoliikkeen nopeus (materiaalikohtainen)



Kuva 11. P- ja S-aaltojen etenemisnopeudet (m/s) erilaisissa materiaaleissa. R-aaltojen etenemisnopeus on hieman pienempi kuin S-aaltojen. [7, s.166]

Raimo Vuolion tärinämittauskohteista saamista kokemuksista on osoittanut, että tärinä vaimenee kallion ja saven rajapinnassa lähietäisyyksillä jo pienillä momentaanisilla räjähdysainemäärillä (1,0...2,0 kg) lähes kokonaan. Täten Fresnelin kaavasta saamaa arvoa voidaan pitää hyvin varovaisena. Etäisyyden ja momentaanisen räjähdysainemäärän kasvaessa esiintyy mittaustuloksissa suurta hajontaa. [7, s.166-167.]

3.5 Tärinän suuruuden ennakoarviointi

3.5.1 Suuruuteen vaikuttavat tekijät

Tärinän suuruuteen voidaan katsoa vaikuttavan seuraavat tekijät:

- Kallioperän kivilajit ja sen rakenne sekä muun materiaalin kuin kallion tärinänjohto-ominaisuudet
- Etäisyys räjäytyskohteen ja mittaustuokhteen välillä
- Tärinäyhteisvaikutuksesta, joka saattaa ilmaantua useamman samalla räjäytyskerralla sytytettävistä reikäpanoksista
- Momentaanisesta räjähdysainemäärästä
- Räjäytyskentän ja sen välillä vallitsevan kalliopinnan pinnanvaihteluista (topografiasta) [7, s.182.]

3.5.2 Väliaineen vaikutus tärinän suuruuteen

Tärinän etenemiseen kalliossa vaikuttaa kallion rakenteelliset ominaisuudet. Tärinän on todettu vaimentuvan huomattavasti, kun se etenee kohtisuorassa kalliossa esiintyvää liuskeisuutta tai rakoilua vastaan.

Yleistä tärinänjohtavuutta kuvaavaa vakiota ei voida määrittää eri materiaaleille. Tärinänjohtavuuden lisäksi väliaine vaikuttaa myös tärinäaallon frekvenssiin (f) ja etenemisnopeuteen (v). [7, s.182.]

3.5.3 Momentaanisesti syttyvän räjähdysaineen synnyttämä tärinä

Useimmat tutkijat ovat päätyneet seuraavanlaiseen heilahdusnopeuden suuruutta kuvaavaan kaavaan:

$$v = k \frac{Q^m}{R^n} \quad (9)$$

v = heilahdusnopeus (mm/s)

k = tärinänjohtavuusluku

Q = momentaaninen räjähdysainemäärä (kg)

R = etäisyys tärinäherkkään rakennukseen tai laitteeseen

Mittaustuloksia yksittäisistä porausrei'istä voidaan käyttää hyväksi eksponenttien m ja n määrittämisessä. Langefors ja Kihlström ovat määrittäneet Suomessa yleisesti käytännössä käytetyt $m:n$ ja $n:n$ arvot $m= \frac{1}{2}$ ja $n= \frac{3}{4}$ käyttämällä pienimmän neliösumman menetelmää, jolloin aikaisemmin esitetty kaava 9 saa muodon:

$$v = k \sqrt{\frac{Q}{R^{1,5}}} \quad (10)$$

v = heilahdusnopeus (mm/s)

k = tärinänjohtavuusluku

Q = momentaaninen räjähdysainemäärä (kg)

R = räjäytyskentän ja tärinämittarin välinen etäisyys (m)

Edellä esitetyssä muodossa oleva kaava on todettu toimivan suhteellisen hyvin suurilla heilahdusnopeuden arvoilla (>10 mm/s) ja pienillä etäisyyksillä ($R \leq 50$ m).

Tärinänjohtavuusluku k :n suuruus riippuu kallion laadusta. Mitä rikkonaisempaa kallio on, sitä pienempi k :n arvo on. k :n maksimiarvo on 400. Tärinänjohtavuusarvo pienenee oletetusti etäisyyden kasvaessa, koska todennäköisyys tärinää vaimentavista tekijöistä kasvaa. Tekijät, jotka vaimentavat tärinää, ovat mm. kalliossa olevat heikkousvyöhykkeet, raot ja liuskeisuudet.

Heilahdusnopeutta ja kiihtyvyyttä voidaan arvioida myös skaalatun etäisyyden mukaan, mutta koska työssä keskitytään arvioimaan teoreettista heilahdusnopeuden arvoa ilman irtiporausta Langeforsin ja Kihlströmin esittämällä kaavalla, ei sitä esitetä tässä luvussa. [7, s.182-184.]

4 IRTIPORAUS

4.1 Yleistä

Irtiporauksessa räjäytettävän kallion ja suojeltavan rakenteen tai laitteen väliin porataan täysin avonainen rako ennen räjäytystyön suorittamista. Teoriassa irtiporauksen jälkeen louhittavan kallion ja suojeltavan rakennuksen tai laitteen väliin syntyisi täysin avonainen rako, jota pitkin tärinäaallot eivät pysyisi etenemään väliaineen puuttuessa.

Menetelmää on suoritettu Suomessa eri tarkoituksia silmällä pitäen jo ennen vuotta 1988, mutta silloin se suoritettiin ensimmäistä kertaa ”täydellisesti”. Tällöin Helsingin Vallilassa, Elimäenkatu 8:ssa, irtiporaus tehtiin jättämättä jäljelle hyvin tärinää johtavia kalliokannaksia. Kalliokannasten poistamisen lisäksi työmaalla suoritettiin raon aukipitämiseksi paineilmapuhallusta. [3, s.44.]

4.2 Irtiporauksen syvyyden, leveyden ja vahvuuden määrittäminen tärinäraja-arvoja silmällä pitäen

4.2.1 Irtiporauskanavan syvyys

Irtiporauskanavan syvyydellä tarkoitetaan eristyskanavan tehokasta pysytysuoraa syvyyttä kallionpinnasta alkaen. PSRC:n tekemässä tutkimuksessa

irtiporauskanavan syvyyden määrittämiseksi on esitetty seuraavanlainen kaava [12, s.21]:

$$f = v' * \lambda \Rightarrow \lambda = \frac{f}{v'} \Rightarrow H \geq 1,33\lambda \quad (11)$$

f= taajuus, (Hz)

v'= aaltoliikkeen nopeus, (mm/s)

λ = aallonpituus

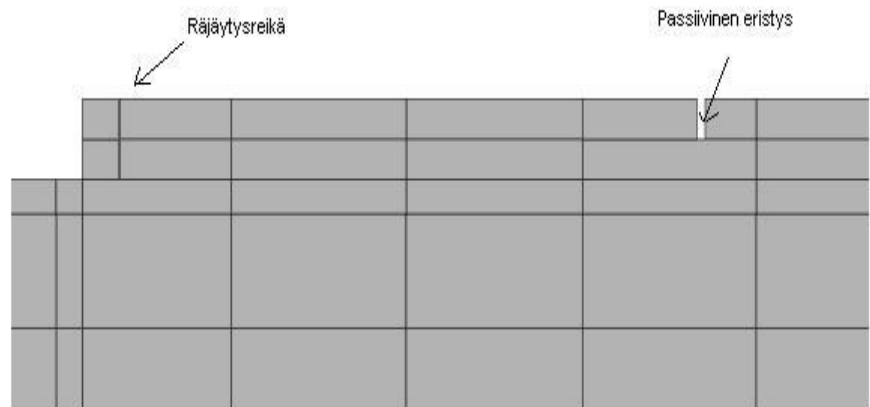
H= irtiporaussyvyys

Intian kansallinen kalliomekaniikan tutkimuslaitos selvitti tutkimuksessaan passiivisen eristyskanavan- ja räjäytysreikäsyvyyden välisen suhteen merkitystä tärinöiden vaimennuksessa. Tuloksena saatiin seuraavanlainen taulukko:

Taulukko 1. Passiivisen eristyskanavan- ja räjäytysreiän syvyyden suhteen vaikutus heilahdusnopeuden arvoon. [9, s.82]

Eristyskanavan syvyys (m) H	Räjäytysreiän syvyys (m) T	Suhde T/H	Heilahdusnopeus (mm/s) pisteessä A R= 146 m	Heilahdusnopeus (mm/s) pisteessä B R= 188 m	Heilahdusnopeuden vaimennus Piste A (%)	Heilahdusnopeuden vaimennus Piste B (%)
0	7	0	4,26	3,51	-	-
3,5	7	0,5	3,55	2,53	16	27
7	7	1,0	1,91	1,40	55	60
10,5	7	1,5	1,57	1,14	63	67
14	7	2,0	1,34	0,76	68	78

Taulukosta 1 nähdään, että passiivisen eristyksen vaikutus nousee ainoastaan 13 % suhteen H/T muuttuessa 1,0:sta 2,0:aan. Tutkimuksessa on päädytty johtopäätökseen, että on järkevämpää tehdä kaksi vierekkäistä räjäytysreiän syvyistä eristyskanavaa kuin syventää yksittäistä kanavaa kaksinkertaiseksi panosreiän syvyydestä. [9, s.82.]



Kuva 12. Intian kansallisen tutkimuslaitoksen suorittaman tutkimuksen olosuhteet. Kuvassa olevassa tilanteessa passiivisen eristyksen syvyys on puolet räjäytysreiän syvyydestä. [9, s.73]

4.2.2 Irtiporauskanavan leveys

Irtiporauskanavan leveydellä tarkoitetaan irtiporauskanavan leveyttä katsottuna räjäytyskohteesta. Vähimmäisleveyden määrittämiseen on olemassa seuraavanlainen kaava [12, s.21]:

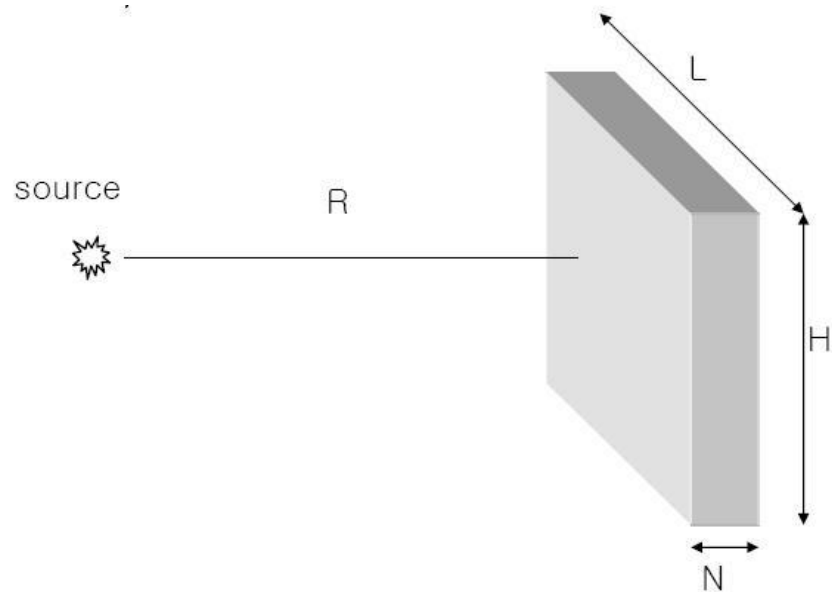
$$L = 3 * \lambda \quad (12)$$

L= irtiporauskanavan leveys

λ = aallonpituus

4.2.3 Irtiporauskanavan vahvuus

Irtiporauskanavan vahvuudella tarkoitetaan teoreettista kanavan vahvuutta. Käytännössä kanavan vahvuus vaihtelee poraustarkkuudesta riippuen. Tutkimuksen perusteella irtiporauskanavan vahvuudella ei ole merkitystä täri-
noiden vaimennuksen suuruuteen. [12, s. 21.]



Kuva 13. Irtiporauskanavan leveys, korkeus ja vahvuus. [12, s.21]

4.3 Irtiporausksen tekeminen

4.3.1 Porauskalusto

Porauskalustona käytetään yrityksestä riippuen 1,45-2 tuuman tankokalustoa ja erikoisvalmisteisia retractorilla varustettuja porakruunuja. Retracterillä valmistetut kruunut ohjautuvat suoremmin eivätkä kierrä vinoon reikää porattaessa. [2.]

4.3.2 Työvaiheet

Irtiporausessa on kolme eri vaihetta. Irtiporaus aloitetaan poraamalla ns. pulpukkareivät, joiden halkaisija on 89 mm. Ne porataan 62 mm välein koko railon mitalle 150- 200 mm syvyisinä.

Seuraavassa vaiheessa pulpukkareivät syvennetään ja väliin jäänyt kallio-kannas poistetaan poraamalla pilot-reiät. Pilot-reiän tarkoituksena on tehdä varsinainen irtiporaus. Tästä johtuen reikien suoruutta on tarkasteltava noin 300 mm välein. Reiät porataan määritetystä irtiporaussyvyydestä metrin syvemmäksi, koska avarrusreikään vaadittavan kaluston eteen ei saa jäädä porauksesta syntyvää porasoijaa. Pilot-reiän tekemisessä käytetään apuna ohjurikalustoa. Pilot-reiän halkaisija on 89 mm.

Pilot-reiän valmistuttua irtiporausta avarretaan. Avarrukseen käytetään ns. könkää, joka ohjaa jälkimmäisenä porattavan avarrusreiän tekemiseen vaadittavan 102 mm:n kruunun irtiporauksen pohjalle. Porakruunu pyörii könkässä olevan holkin välissä avartaen reikää poistaen samalla pilot-reikien välille porauksessa syntyneen kannaksen. Tehokas porausreiän halkaisija pienenee 6 mm holkin ja kruunun välisestä tilasta johtuen. Avarruksen poraus on irtiporauksen työläin vaihe, koska rakoon kertynyt kivenmuju, liian suuri välikannas, huonosti tehty pilot-reikä sekä ajoittain esiintyvä vuoripaine vaikeuttavat porauskaluston ylös nostamista. Könkän yläosaa viistetään, jotta sen pois nostaminen onnistuu reiän valmistuttua. [2.]



Kuva 14. Irtiporauksen avarrukseen käytettävä ns. könkä. Porakruunu pyörii holkin sisäpuolella avartaen pilot-reiän porauksesta jääneet kalliokannakset pois. [11]



Kuva 15. Irtiporauksen viimeinen vaihe alkamassa. Työvaiheessa käytettävä konkka avartaa tärinää hyvin johtavat kalliokannakset pois. [11]

4.3.3 Huomioitavat asiat

Irtiporausta suoritettaessa porarin on noudatettava suurta huolellisuutta porauskohdan oikeellisuudessa. Irti porattavan seinämän on oltava oikeassa asemassa sekä pystysuora. Reiän porauksen edetessä porauskangen pystysuoruutta ja asemaa on tarkkailtava jatkuvasti käyttämällä apuna vatupasia. [2.]

4.4 Irtiporauksen käyttökohteet

4.4.1 Tärinän vaimennus

Irtiporauksella pystytään tehokkaasti estämään tärinän eteneminen louhinnan läheisyydessä oleviin rakennuksiin ja niissä sijaitseviin tärinäherkkiin laitteisiin. Tärinänvaimennuksesta johtuen lähietäisyydellä päästään suurempiin räjäytyskenttiin kuin ilman irtiporausta. Tärinästä herkästi vaurioituvia laitteita ovat esimerkiksi tietokoneet, elektroniset mittauskojeet, röntgenlaitteet ja käynnissä olevat voimalaitoksen turbiinit. [3, s.44-45; 2, s.18.]

4.4.2 Rakennusten perustusten suojele

Vaurioherkkien suoraan kalliopintaan perustettujen rakennusten läheisyydessä tehtävän louhinnan takia suoritetaan usein irtiporausta. Mikäli louhinta kulkee perustusten välittömässä läheisyydessä ja sen alapinnan korko on perustuksen alapuolella, on olemassa vaara, että louhinnasta johtuva ryöstö ulottuu perustusten alle. Tämä voidaan estää tehokkaasti irtiporaamalla rakennuksen perustukset erilleen louhittavasta alueesta. [4.]



Kuva 16. Irtiporausseinämä louhinnan jälkeen. Rakennuksen perustusten alainen kallio on jäänyt ehjäksi. [12]

4.4.3 Lujitustöistä saatavat säästöt

Irtiporauksella säästetään lujituskustannuksissa. Perustan ennakkopulttitusta ei tarvita ollenkaan, koska irtiporauksen kohdalla ei tapahdu ryöstöjä. Seinäpulttien määrä vähenee huomattavasti, koska rikkonaisessakin kallioperässä seinäpinta jää ehjäksi. Ruiskubetonoinnin tarpeeseen vaikuttaa tulevan rakenteen käyttötarpeet sekä työturvallisuusvaatimukset. Tulevan rakenteen tullessa irtiporatun seinämän läheisyyteen on esimerkiksi sulkulaatan alapuolisen tilan tyhjänä pysyminen varmistettava ruiskubetonoimalla kalliopintaa. Tasaiseen kalliopintaan ruiskutettaessa säästyy huomattavia määriä betonia, koska pinnan epätasaisuus aiheuttaa kerrosvahvuuseroavaisuuksia sekä suurempia hukkabetonin määriä. [1, s.19 ja 3, s.44.]

4.4.4 Sähkö- ja puhelinkaapeliupotukset

Sähkö- ja puhelinkaapelien upotuksia varten joudutaan usein tekemään kanaalilouhintoja. Paikoissa, joissa räjäytyksiä ei saa suorittaa voidaan kaapelit upottaa irtiporattuun rako. Kaapeliasennuksen jälkeen rako täytetään hienolla hiekalla. Jos tulevaisuudessa joudutaan rakoon lisäämään tai huoltamaan jo olemassa olevia kaapeleita, voidaan rako puhalttaa paineilmalla tyhjäksi. [2, s.19.]

4.4.5 Rakennusten vesisuojaukset

Yläpuolelta valuva vesi aiheuttaa kosteushaittoja rakennuksiin, jotka sijaitsevat kalliopintaisessa rinteessä. Ongelma voidaan ratkaista poraamalla yläpuoliseen kallioon rako johdattamaan vedet normaaliin sadevesikaivoon. [2, s.19.]

4.5 Irtiporauksen kustannukset

Irtiporauksen hintaan vaikuttavat kaluston siirtomatka, porauspaikan olosuhteet, railojen määrä ja niiden syvyudet kohteessa sekä kalliopinnan muoto. Joissakin tapauksissa kalliopinnan tasaamiseksi porauskelvolliseksi joudutaan suorittamaan tasausvalu. Kallioperän sisältämistä lustoista syntyy kustannusten nousua, koska ne aiheuttavat porauksen suunnan muutoksia ja täten hidastavat työn etenemistä.

Irtiporauksen hinta määritellään neliometriä kohden. Hinnat vaihtelevat kohteesta riippuen 100-200 euron välillä. Työsaavutus hyvissä olosuhteissa on 10-15 m² työvuoroa kohden. [1, s.19.]

5 LÄHTÖTIEDOT

5.1 Museoviraston toimitilahanke Sturenkatu 2 ja 4

Museoviraston toimitilahankkeeseen Sturenkatu 4:ssä ja 2:ssa sisältyy louhintaurakka, jossa louhitaan avolouhintaa käyttäen yhteensä kalliota noin 16 000 m³. Urakan pääurakoitsijana louhintavaiheessa toimii Destia Oy. Räjätystä tehdään kahden Museoviraston suojeleman rakennuksen välissä, perustuksien läheisyydessä.

Työmaalla ei suoritettu irtiporauskanavan tyhjänä pitämiseksi paineilmapuhallusta, koska ensisijainen tarkoitus irtiporaukselle oli rakenteiden ehjänä säilyminen. Tästä johtuen kanavaan jäi tärinää johtavia komponentteja, kuten kivenmujua, porasoijaa sekä vettä.



Kuva 17. Museoviraston toimitilahankkeessa Sturenkatu 2a:ssa ja 4:ssä raillo ennen räjäytystä. [11]

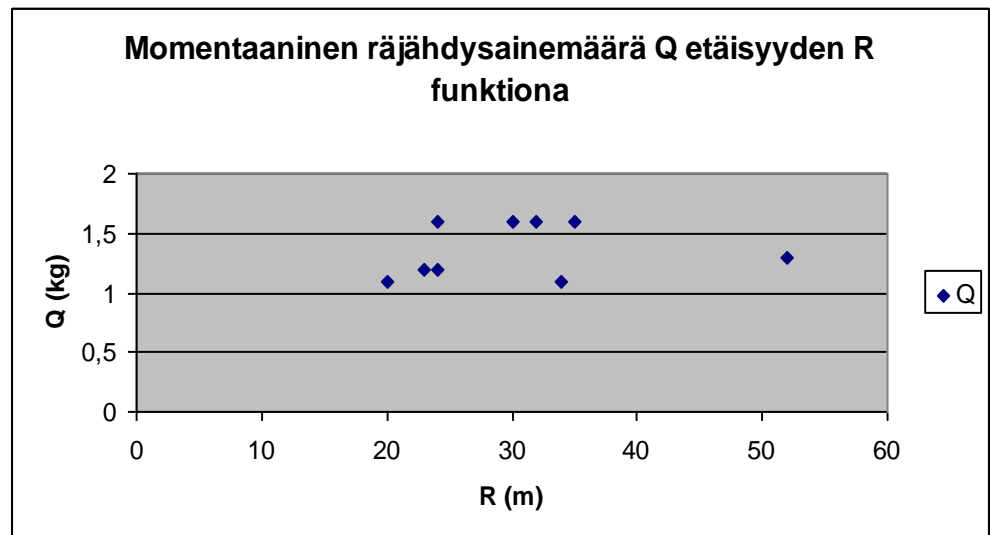
5.2 Irtiporauksen syvyys (m)

Irtiporaus ulotetaan rakennusten reunustoissa kallion pinnasta 3 m:n syvyydelle. Pilot-reikien porauksesta johtuen poraussyvyys ulottuu käytännössä 4

m:iin, mutta mahdollisesti jäljelle jäävistä kalliokannaksista johtuen sitä ei huomioida. Räjätysreiän ja irtiporauksen välinen syvyysuhde on tutkimustyömaalla 1,0.

5.3 Momentaaninen räjähdysainemäärä (Q)

Työmaalla käytetään louhintatyön aikana suhteellisesti hyvin pieniä momentaanisia räjähdysainemääriä. Suurimmillaan teoreettinen momentaaninen räjähdysainemäärä on urakan aikana 1,6 kg. Louhinta on suoritettu räjäyttämällä yksi reikänumero kerrallaan. Reikäsyvyys on noin 3,0 m ja reikä jaetaan kahteen eri aikaan räjähtävään panokseen käyttämällä väli-hidastetta ja täytettä (30-40 cm). Pohjapanoksena käytetään 32*400 mm aniittia ja varsi-panoksena 28*400 mm aniittia.



Kuva 18. Momentaaninen räjähdysainemäärä etäisyyden R funktiona.

5.4 Etäisyys (R) ja heilahdusnopeus (v)

Etäisyyden (m) ja heilahdusnopeuden arvo (mm/s) saadaan Oy Finnrock AB:n ylläpitämän internetpohjaisen tärinämittaustulosten käsittely- ja raportointijärjestelmä NcVib-palvelun kautta. Jokaisen räjäytyksen painopiste syötetään palvelussa olevalle kartalle, josta ohjelma laskee automaattisesti räjäytyksen painopisteen ja tärinämittarin kolmiulotteisten koordinaattien avulla niiden välisen etäisyyden. Tutkimuksessa käytetään aina suurinta heilahdusnopeuden arvoa sen kolmesta eri komponentista.

6 LASKENTA

6.1 Yleistä

Laskennassa määritetään ensin työmaan kallioperästä k-arvo Finnrockin palvelusta saatavien suureiden avulla. Kaikki räjäytykset, joita käytetään k-arvon laskentaan, ovat alle 50 m:n päässä tärinän mittauspisteestä ja niiden välillä on suora kallioyhteys. Tärinämittarit on kiinnitetty kalliolle perustettujen teräsbetonisten rakennusten pohjakerrosten rakenteisiin.

Tärinän suuruuden arviointiin tarvittavien suureiden ollessa laskettuna pystytään määrittämään irtiporauksen vaikutusta louhintatärinöiden vaimennuksessa. Vaikutusta kuvataan prosentuaalisella häviöllä arvioidusta heilahdusnopeuden vertikaalikomponentin suuruudesta.

Laskenta suoritetaan tutkimalla heilahdusnopeuden kaikkia kolmea komponenttia, joista laskentaan valitaan sen suurin arvo.

6.2 k-arvon laskenta

k-arvo määritetään tutkimustyömaan kallioperälle laskemalla eri etäisyyksillä k-arvon suuruuksia, kun mittauspisteen ja räjäytyksen välillä on suora kallioyhteys. Tärinän vaimennuksen suuruuden arvioinnissa käytetään aiemmin määritettyjä samassa suuruusluokassa olevaa k-arvon lukuarvoa. Seuraavassa esitetään esimerkki k-arvon laskennasta:

Mittauspiste: nro 4

Räjäytysnumero: 100

Pvm: 27.7.2009

Etäisyys: 31 m

$Q_{\max} = 1,0 \text{ kg}$

$v = 32,3 \text{ mm/s}$

$$v = k \sqrt{\frac{Q}{R^{1,5}}} \Rightarrow k = \sqrt{\frac{v_{\max}^2 R^{1,5}}{Q}}$$

$$k = \sqrt{\frac{(32,3\text{mm/s})^2 * (31\text{m})^{1,5}}{1,0\text{kg}}} = 305,47$$

Taulukko 2. *k*-arvon laskennasta saadut tulokset keskiarvona etäisyydestä riippuen. Keskiarvo on laskettu viidestä eri etäisyysluokan tuloksesta.

R (m)	k-arvo
12-22	294
23-32	291
33-42	266
43-52	215

6.3 Irtiporauksen aiheuttaman värinänvaimennuksen laskenta

Irtiporauksen aiheuttaman värinänvaimennuksen suuruus määritetään prosenteissa oletetusta värinän suuruudesta. Kokonaisvaikutus määritetään 8:n eri räjäytyksen aiheuttamien vaimennusten keskiarvona. Räjäytyksen korkeusasema on samalla tasolla irtiporauksen kanssa värinämittarista katsoen. Ensin lasketaan oletettu heilahdusnopeuden arvo, jonka jälkeen siihen verrataan kyseisen räjäytyksen jälkeen värinämittarista saatua heilahdusnopeuden suurinta arvoa. Prosentuaalista suhdetta heilahdusnopeusarvojen välillä kuvataan merkillä *e*. Seuraavassa esimerkki yhdestä suoritetusta vaimennuksen laskennasta:

Räjäytysnumero: 52

Mittauspiste: Numero 4

Pvm: 21.7.2009

Mitattu heilahdusnopeuden arvo: 9,65 mm/s

Etäisyys: 35 m

Q: 1,6 kg

k-arvo: 163

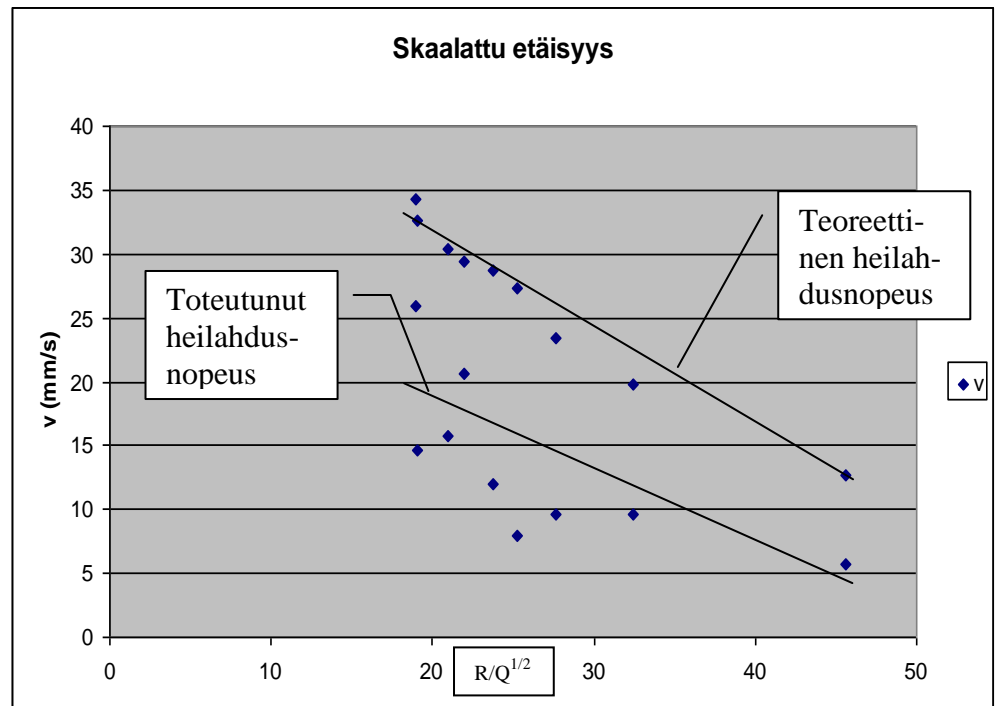
$$v = k \sqrt{\frac{Q}{R^{1,5}}} = 210 * \sqrt{\frac{1,6kg}{(35m)^{1,5}}} = 14,33 \text{ mm/s}$$

$$e = 1 - \frac{v_{todellinen}}{v_{arvioitu}} = 1 - \frac{9,65mm/s}{23,38mm/s} = 0,55 \approx 55\%$$

7 TULOKSET

7.1 Heilahdusnopeuden arvon vaimennus

Heilahdusnopeuden arvon vaimentumista on tutkittu kahdeksasta samantyyppisestä räjäytyksestä. Tutkimuksessa saatiin määritettyä heilahdusnopeuden arvon vaimentumisen suuruudeksi 50 %. Taulukosta 3 nähdään lisäksi, että etäisyyden muutoksella 52 m:stä 20 m:n ei ole ollut suurta merkitystä tärinöiden vaimentumisessa. Pienin vaimennusprosentti on saatu etäisyyden arvolla 24 m. Myös leveyden vaikutus vaimennusprosenttiin näyttäisi olevan vähäinen.



Kuva 19. Tärinän heilahdusnopeus skaalattun etäisyyden funktiona.

7.2 Virhetekijät

7.2.1 Nallien hidastusvaihtelut

Räjätysreikien keskinäisenä hidasteaikavälinä käytetään 17 ms:a ja rivivälien 42 ms:a. Suomalaisen räjähdysainevalmistaja Forcit Oy:n tekninen asiantuntija Janne Järvinen esittää Suomessa valmistettujen Nonel-nallien hidasteaikavälin vaihteluksi suurimmillaan ± 10 ms. Tällöin huonoimmassa tapauksessa reikien välillä tapahtuu samanaikaista syttymistä. [10.]

Ominaisjaksoluvulla (f) ja sen käänteisarvolla ominaisvärähdysajalla (T) on tärkeä merkitys muodostuvaan tärinään. Nallien hidasteaikavälien ollessa suurempia tai yhtä suuria kuin $2,5 \dots 3 T$, ei tärinää voimistavaa yhteisvaikutusta tapahdu, koska vain $2,5 \dots 3$ täyttä aaltoa on merkitsevää suuruusluokkaa.

Ominaisjaksoluvun ollessa esimerkiksi 100 Hz, jolloin värähdysaika on $T = 1/100 \text{ s} = 10 \text{ ms}$ ja $2,5 T = 25 \text{ ms}$ sekä $3 T = 30 \text{ ms}$ nallien hidasteaikavälin on oltava vähintään 25 ms. [7, s.185.]

7.2.2 Etäisyys (R)

Tärinämittarin ja räjäytyskentän välinen etäisyys on haettu Finnrock Oy Ab:n NCVIB palvelusta. Räjäytyskentän paikka sijoitetaan palvelussa olevaan

karttapohjaan, jolloin etäisyyksissä räjäytyskentän ja tärinämittarin välillä saattaa esiintyä pieniä vaihteluita.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen pohjalta voidaan todeta, että irtiporauksella on vaikutusta louhintatärinöiden vaimennuksessa. Tulokset ovat hyvin samansuuntaisia Intian kansallisen tutkimuslaitoksen suorittaman tutkimuksen kanssa, jossa irtiporauksen syvyys oli saman syvyinen räjäytysreikään nähden. Työmaan aikana on huomattu myös irtiporauksen estävä vaikutus louhintaryöstöille rakennusten perustusten alta. Tutkimuksen tulosten perusteella irtiporauskanavan leveydellä ei näyttäisi olevan vaikutusta tärinänvaimennuksen suuruuteen.

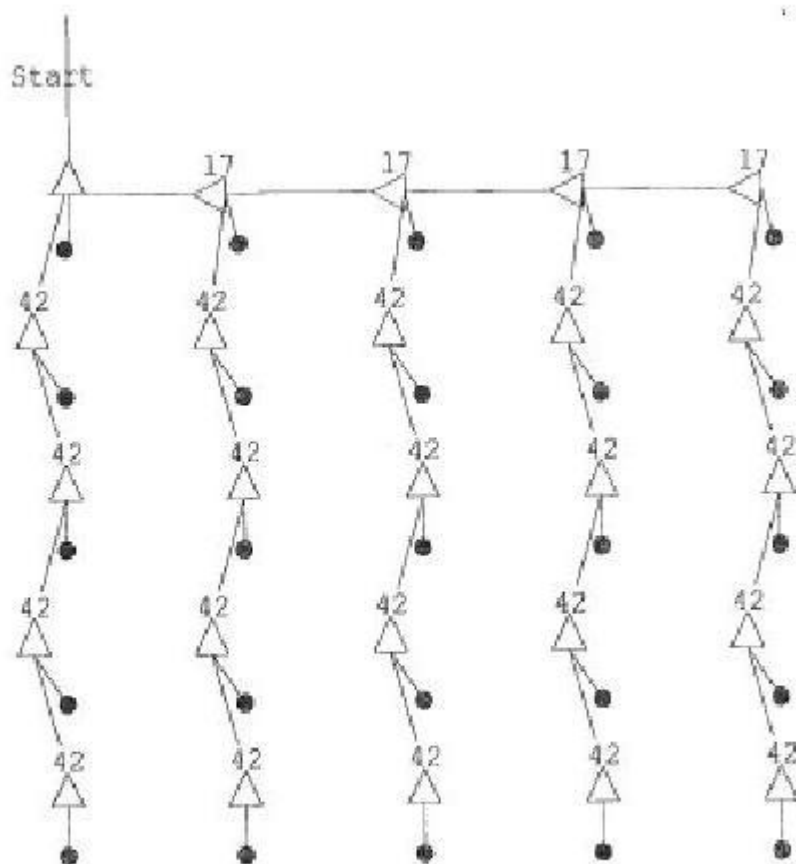
Tuloksia arvioitaessa on otettava huomioon se, että railoa ei puhdistettu avonaiseksi porauksen jälkeen perustuen sen vaatimaan suureen työmäärään ja ympäristönäkökohtiin, kuten pölyn ja melun muodostumiseen. Tästä johtuen voidaan päätellä, että irtiporauksen aiheuttama tärinänvaimennus perustuu kallion ja irtiporauskanavan sisältämän aineen väliseen tiheyseroon.

Irtiporaussyvyyden alapuolisten louhintojen yhteydessä työmaalla tapahtui tärinäraja-arvojen ylityksiä, jolloin jouduttiin suorittamaan momentaanisen räjähdysainemäärän alennuksia, josta johtuen räjäytyskenttien syvyyksiä jouduttiin alentamaan. Täten voidaan todeta, että mikäli irtiporausta suoritettaisiin tärinäraja-arvoja silmällä pitäen, tulisi sen syvyys ulottaa alemmaksi.

Tutkimus ei ottanut kantaa siihen, miten tärinä-aalto käyttäytyy irtiporauskanavan alapuolella ja kuinka suuri osa siitä heijastuu tai taittuu tärinämittaria kohti.

VIITELUETTELO

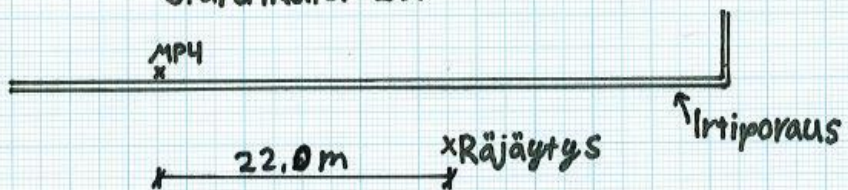
- [1] Vuorityö lehti, vuosijulkaisu 2006, Railonporaus, tarkkuutta vaativa laji, Vuotilainen Heimo
- [2] Aalto Mika, porari, Kallioporaus Arto Soininen Oy
- [3] Maansiirto lehti, 7/1988, Railolouhintakokeilu Helsingissä, Vuolio Raimo ja Sainio Pentti
- [4] Pöllä Jukka, tekn. lis., Fundatec Oy
- [5] Insinöörin (AMK) Fysiikka osa 2, Peltonen Hannu, Perkkiö Juha, Vierinen Kari
- [6] Fysiikka 2: Fysiikka yhteiskunnassa, uudistettu painos 5-7, Kirjayhtymä Oy, 1994, Lehto Heikki, Luoma Tapani
- [7] Vuolio Raimo, Räjätystyöt 1991, 3.painos, Forssan kirjapaino, 1991
- [8] Pöllä Jukka, luentomoniste TKK, 17.3.1976
- [9] Role of blast design parameters on ground vibration and correlation of vibration level to blasting damage to surface structures, National Institute of Rock Mechanics, project leader: Dr. G.R Adhikari, September 2005
- [10] Järvinen Janne, tekninen asiantuntija, Forcit Oy Ab
- [11] Harri Lauri, kuvat, Sturenkatu 2a ja 4, 24.6.2009
- [12] Harri Lauri, kuvat, Sturenkatu 2a ja 4, 16.9.2009
- [13] The Puget Sound Regional Council, www.psrc.org/projects/trans2040/deis/ch7.pdf, Chapter 7 low level vibrations in urban environments and vibrations isolation, luettu 24.9.2009



Kuva 20. Irtiporauksen kohdalla räjäytettyjen kenttien sytytyskaavio.

NRO 52

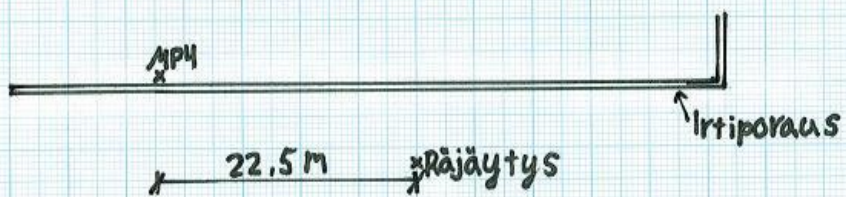
Sturenkatu 2a



1:500

NRO 53

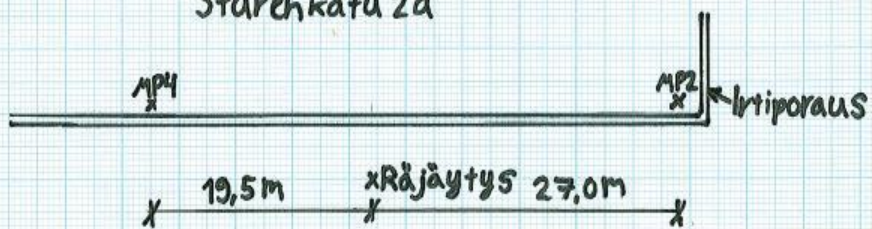
Sturenkatu 2a



1:500

NRO 54

Sturenkatu 2a



1:500

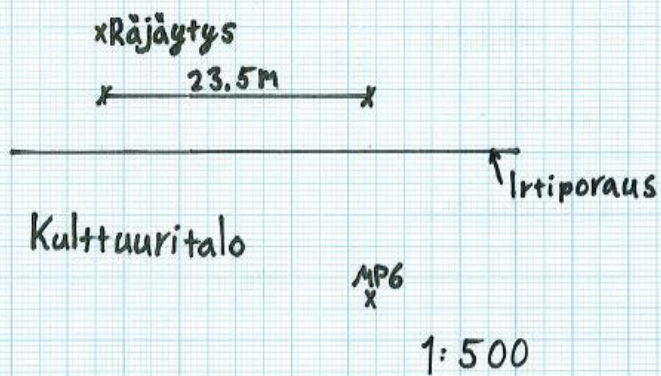
NRO 87

Sturenkatu 2a

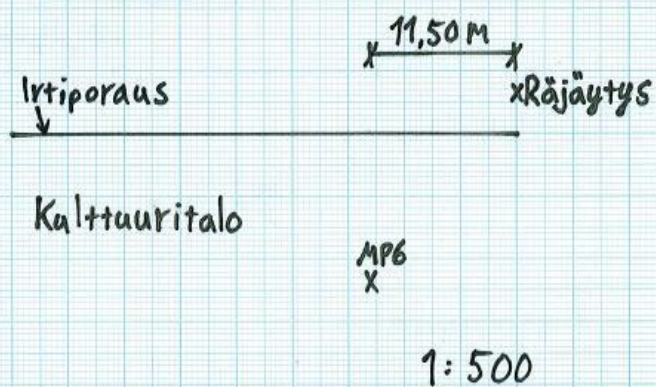


1:500

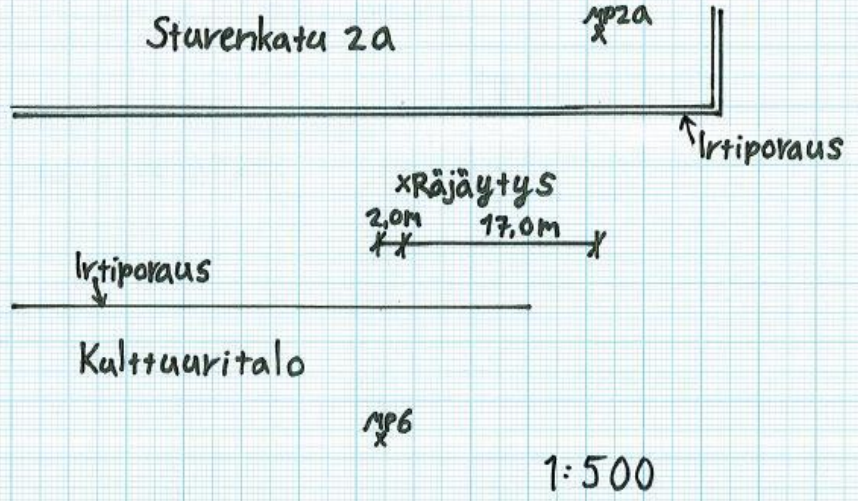
NRO 68



NRO 79



NRO 92



NRO 65

