



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

LOUHINNASTA AIHEUTUVA TÄRINÄ JA SEN MITTAAMINEN

Sonja Kivistö

Opinnäytetyö
Tammikuu 2016
Rakennustekniikka
Infrarakentaminen



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka
Infrarakentaminen

KIVISTÖ SONJA:

Louhinnasta aiheutuva tärinä ja sen mittaaminen

Opinnäytetyö 65 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Tammikuu 2016

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä louhinnan aiheuttaman tärinän hallintaan ja vahinkojen ehkäisyyn. Osana opinnäytetyötä tärinäarvoja tutkittiin myös käytännössä louhintatyömailla kesän 2015 aikana. Työn tarkoituksena oli tutkia tärinän huippuarvoja skaalatun etäisyyden suhteen ja vertailla, kuinka omat tulokset asettuvat ohjeiden mukaisten arvojen suhteen. Jos tärinän huippuarvot ovat liian suuria, ne aiheuttavat helposti vahinkoa lähistöllä oleville rakenteille. Tämän työn avulla haluttiin parantaa tärinäarvoihin vaikuttavien seikkojen tuntemista ja näin ollen ehkäistä tulevaisuudessakin vahingollisen suuret tärinäarvot.

Tärinän monimuotoisuuden tutkimiseen ja ymmärtämisen apuna käytettiin alan kirjallisuutta. Tärinäarvojen mittaamiseen käytettiin oikein sijoitettuja ja asennettuja tärinämitareita eri etäisyyksillä. Tuloksia saatiin eri puolilta Pirkanmaata, joten erilaisten kalliolaatujen vaikutuksia tuloksiin pystyttiin jonkin verran analysoimaan. Saaduista tärinäarvoista koostettiin kuvaajia, joissa jokainen työmaa on esitetty erivärisellä merkinnällä.

Tuloksista huomattiin, että pystysuuntaisen tärinän arvo ei ollutkaan aina, tai edes useimmiten, suurin saatu tärinäarvo. Lisäksi kuvaajat tärinän eri suunnista muistuttavat hyvin paljon toisiaan. Jokaisen työmaan pisteet olivat suunnilleen samassa kohtaa kuvaajaa, riippumatta siitä oliko kyseessä pysty- vai vaakasuuntaisen tärinän kuvaaja. Jokaisesta räjäytyksestä saatiin kolme eri tärinäarvoa. Näistä kaksi olivat yleisesti hyvin lähellä toisiaan, ja kolmas oli huomattavasti kahta muuta pienempi. Myös kallion laadulla oli vaikutusta pisteiden sijoittumiseen kuvaajalla, kovasta ja ehjästä kalliosta saatiin suurempia tärinätuloksia kuin pehmeämmästä ja rakoilevasta kalliosta.

Työstä tuli tiivis teos kallion louhinnan aiheuttamista tärinäistä, niihin vaikuttamisesta ja tärinätulosten ennakoinnista. Työ on käyttökelpoinen työmaalla tapahtuvaan tärinöiden huomiointiin ja vahinkojen ehkäisyyn.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Construction Engineering
Infrastructure construction

KIVISTÖ, SONJA:
Vibration caused by blasting and its measurement

Bachelor's thesis 65 pages, appendices 3 pages
January 2016

The purpose of this thesis was to familiarize with vibration caused by the blasting of the control and prevention of damage. As part of the thesis, the vibration values were examined in practice quarries during the summer of 2015. The purpose was to investigate the vibration peak values with respect to the scaled distance and compare how own results settle in official diagram. If the vibration peak values are too large, they can easily cause damage to nearby structures. In this work was intended to improve the vibration knowledge of factors affecting the value of, and thus to prevent future damaging large vibrations.

Understanding and studying vibration diversity were used the field of literature. The measurement of vibration emission values correctly located and installed vibration gauges were used at different distances. Results were obtained from different parts of Pirkanmaa, so various rock formations to affect the results was able to some extent to analyze. The obtained vibration values were compiled in a graph, where each site is shown with different colored marking.

From the results it is found that the vertical vibration value was not always, or even mostly, the vibration value of the largest received. In addition, graphs from different directions of vibration are very similar to each other. Each construction site points were about the same location on the graph, regardless of whether it was a vertical or horizontal vibration graph. Of each detonation three different vibration values were obtained. Two of these were in general very close to each other, and the third was significantly lower than the other two. Also, the rock quality had the effect of the location of points on time, hard and intact rock for higher vibration results than softer and cracking out of the rock was obtained.

The thesis came to a close work vibrations caused by the blasting of the rock, to the influence of vibration and the results anticipating. The thesis is useful to take place at the site of vibrations questioning and prevention of damage.

Key words: blasting, vibration, rock

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	RÄJÄYTYSTEN AIHEUTTAMAT MAATÄRINÄT	8
2.1	Räjätystyömaan ympäristö.....	8
2.2	Räjätysten aiheuttama tärinä.....	9
2.2.1	Yleistä aaltoliikkeestä	9
2.2.2	Aaltotyypit kallio- ja maaperässä.....	10
2.2.3	Maatärinöihin ja rakennuksiin vaikuttavat geologiset tekijät	12
3	RAKENTEIDEN VAURIOITUMISVAARA	15
4	TÄRINÄRAJA-ARVOT RAKENTEILLE	17
4.1	Tärinäraja-arvot eri maissa	17
4.2	Tärinäraja-arvojen määrittäminen	18
4.2.1	Tärinäkestävyyden luokat	18
4.3	Tärinän ohjearvot.....	19
4.3.1	Heilahdusnopeuden laskenta.....	20
5	HERKKIEN LAITTEIDEN TÄRINÄKESTÄVYYS	23
5.1	Tietokoneiden tärinäherkkyys.....	23
5.2	Sähköreleiden tärinäherkkyys	25
6	HERKKIEN LAITTEIDEN TÄRINÄVAIMENNUS	26
6.1	Erilaisia vaimennustapoja	26
6.1.1	Louhinta-alueen ja rakennuksen erottaminen raolla	26
6.1.2	Laitteiden siirtäminen muualle tai käytön pysäyttäminen	27
6.1.3	Laitteiden eristäminen tärinävaimentimilla.....	27
7	TÄRINÄVAIKUTUSTEN ARVIOINTI	29
7.1	Tärinävaikutuksen arviointi	29
8	YMPÄRISTÖN KATSELMUKSET	32
9	RÄJÄYTYSTEN TÄRINÄN MITTAAMINEN	33
9.1	Tärinän mitattavat suureet	33
9.2	Mittauspisteiden sijoittaminen	34
9.3	Käytettävissä oleva kalusto.....	35
10	TÄRINÄN SUURUUDEN ENNAKKOARVIOINTI.....	38
10.1	Tärinän suuruuteen vaikuttavat tekijät.....	38
10.2	Toiminta, jos tärinöitä ei mitata	40
10.3	Tärinän yhteisvaikutus	41
10.4	Momentaanisen räjähdysainemäärän rajoittaminen.....	42
10.5	Skaalattu etäisyys.....	42
10.6	Momentaaninen räjähdysainemäärä ja etäisyys.....	46

11 TULOSTEN KÄSITTELY	47
11.1 Tulosten kerääminen	47
11.2 Kohteiden esittely	47
11.3 Heilahdusnopeus skaalatun etäisyyden funktiona	50
11.4 Tulosten tulkinta	56
12 POHDINTA.....	60
12.1 Pohdintaa työstä.....	60
12.2 Pohdintaa työn tekemisestä.....	60
LÄHTEET	62
LIITTEET	63
Liite 1. Tärinän pystysuuntaisen komponentin kuvaaja (vertical)	63
Liite 2. Tärinän vaakasuuntaisen (poikkisuuntaisen) komponentin kuvaaja (transverse).....	64
Liite 3. Tärinän vaakasuuntaisen (pituussuuntaisen) komponentin kuvaaja (radial).....	65

ERITYISSANASTO

Momentaaninen räjähdysainemäärä	Kerralla räjähtävä räjähdysaine määrä
Asuttu alue	”Alue, joka ulottuu 200 metrin etäisyydelle asutusta rakennuksesta tai paikasta, jossa ihmisiä tavallisesti oleskelee.” (Tukes, Valtioneuvoston asetus räjäytys- ja louhintatyön turvallisuudesta 16.6.2011/644)
V_{max}	Heilahdusnopeuden suurimman komponentin maksimiarvo
g	Kiihtyvyys maan vetovoiman kiihtyvyytenä ilmaistuna
Ominaisporaus	porametrejä/ m^3
Ominaispanostus	räjähdysainetta kg/m^3
Panostusaste	räjähdysainetta kg/m
Etu	Porareikien välinen etäisyys kentän heittosuunnassa
Reikäväli	Porareikien välinen etäisyys kentän heittosuuntaan kohtisuorassa
Täkkäys	Räjäytyskentän peittäminen sinkoilun estämiseksi
Skaalattu etäisyys	Louhittavan kentän ja tärinämittarin välinen etäisyys, johon on huomioitu kentän momentaanisen panoksen suuruus arvoa kasvattavasti tai vähentävästi. Jos momentaaninen panos on 1 kg, on skaalattu etäisyys sama kuin mitattu etäisyys.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää louhinnan tärinän suuruuteen vaikuttavia tekijöitä. Tässä työssä on tarkoitus tutkia myös kokeellisesti tärinän huippuarvoja skaalatun etäisyyden suhteen ja tutkia, kuinka saadut tulokset asettuvat virallisiin ohjearvoihin nähden. Liian suuret tärinäarvot vahingoittavat helposti erilaisia rakenteita ja tämän työn avulla pyritään ennakoimaan aikaisempaa paremmin tulevia louhintatärinän arvoja.

Opinnäytetyössä on tarkoitus esittää louhinnan aiheuttaman tärinän monimuotoisuutta ja ottaa huomioon erilaisia tärinään vaikuttavia asioita. Tässä työssä ei oteta kantaa muihin mahdollisiin louhinnan aiheuttamiin vahinkoihin. Lisäksi kuvaajien lähtötiedot otetaan vain tilaajan työmailta kesän 2015 aikana. Alueellisesti tuloksia saadaan lähinnä Pirkanmaalta. Tutkimuksen aineistona käytetään alan kirjallisuutta sekä työmailta saatuja tärinämittaustuloksia.

Työn teettäjä on Räjätystyö U&M Pitkänen Oy, joka on Pirkanmaalla toimiva louhinta-alan yritys. Yritys aloitti toimintansa toiminimellä 1960-luvulla ja tarjoaa asiantuntemusta räjäytystöissä, kalliolouhinnassa, maanrakentamisessa ja pohjatöissä. Yrityksen pääjohtajana toimii Unto Pitkänen ja toimitusjohtajana Marko Pitkänen. Yrityksessä työskentelee vakituisesti kaksi työntekijää. (Räjätystyö U&M Pitkänen Oy. 2015.)

Tärinäasioiden asiantuntijana työssä toimii Taratest Oy. Yritys on perustettu vuonna 1978 Juha Mäkisen toimesta. Aluksi yrityksen toiminta keskittyi maaperätutkimuksiin ja rakennusmittauksiin. Nykyään yritys tarjoaa myös kiinteistökatselemuksia ja tärinämittauksia. Taratest Oy työllistää noin 40 alan ammattilaista. (Taratest Oy. 2015.)

2 RÄJÄYTYSYSTEIN AIHEUTTAMAT MAATÄRINÄT

2.1 Räjätystyömaan ympäristö

Asutuilla alueilla räjätystyöhön liittyy paljon huomioon otettavia asioita. Tällaisia asioita ovat esimerkiksi ennakkoinformointi, riskianalyysi, talojen katselmukset, tärinämitaukset, varovainen räjätystapa sekä avolouhintakenttien huolellinen peittäminen. Asuttujen alueiden ulkopuolella saattavat reikäpanokset, momentaaniset räjätystysainemäärät ja räjätystyskentät olla suurempia. (Räjätystyöt 2012, 298)

Räjätystys synnyttää kallioon jännitysaallon, joka aiheuttaa kiven irtoamisen. Jännitysaalto aiheuttaa myös väliaineen hiukkasissa siirtymistä eli tärinää. Tämä tärinä voi vaurioittaa lähistöllä olevia rakennuksia, herkkiä laitteita sekä häiritä ihmisiä. (Räjätystyöt 2012, 298)

Ennen räjätystöiden aloittamista asutulla alueella täytyy lähiympäristössä sijaitsevat rakennukset tarkastaa ja merkitä muistiin niissä olevat vauriot. Lisäksi täytyy arvioida rakennuksien ja niissä mahdollisesti olevien herkkien laitteiden tärinäkestävyys. Räjätystyksen ympäristössä olevien ihmisten häiriintymistä ei voida täysin estää, mutta ennakkoon tapahtuvalla tiedotustoiminnalla voidaan saada ihmiset sietämään räjätystyksen aiheuttamia ääni- ja tärinähaittoja. Käytössä olevien tilastotietojen perusteella voidaan räjätystykset suunnitella niin varovaisiksi, että rakennuksiin ei tule rakennevaurioita ja, että herkissä laitteissa ei ilmene häiriöitä tai vaurioita. Louhintatyön aikana valvotaan tärinäarvoja tärinämittareilla. Näin voidaan varmistaa, ettei tärinä ylitä sallittua tasoa. Toisaalta voidaan myös välttää liian varovaista louhintaa, joka usein johtaa merkittäviin kustannusten nousuihin. Räjätystyksen päätyttyä suoritetaan rakennuksiin loppukatselmukset, joissa voidaan todeta tärinän vaikutuksesta syntyneet vauriot ja aikaisempien vaurioiden suurentuminen. (Räjätystyöt 2012, 298)

2.2 Räjätysten aiheuttama värinä

2.2.1 Yleistä aaltoliikkeestä

Maatärinä on maa- ja kallioperän aaltoliikettä, joka aiheutuu seismisten aaltojen etenemisestä. Seismisiä aaltoja aiheuttavat muun muassa räjäytykset, maanjäristykset, liikenne ja paalutus. Seismisten aaltojen nopeus kallioperässä on 3500 – 6000 m/s ja maaperässä 400 – 3500 m/s. (Räjätystyöt, 2012, 298; Hänninen, 2015, 5)

Yksinkertaisin heilahdusliike on sinimuotoinen, eli niin kutsuttu harmoninen heilahdus. Kuvassa 1 on esitetty sinimuotoisen aallon muotoa eri suureiden osalta. Yleisimmin räjäytysten värinätkarkkailujen yhteydessä käytetyt kaavat ovat

$$v = 2\pi f A \quad (1)$$

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

$$a = 2\pi f v \quad (3),$$

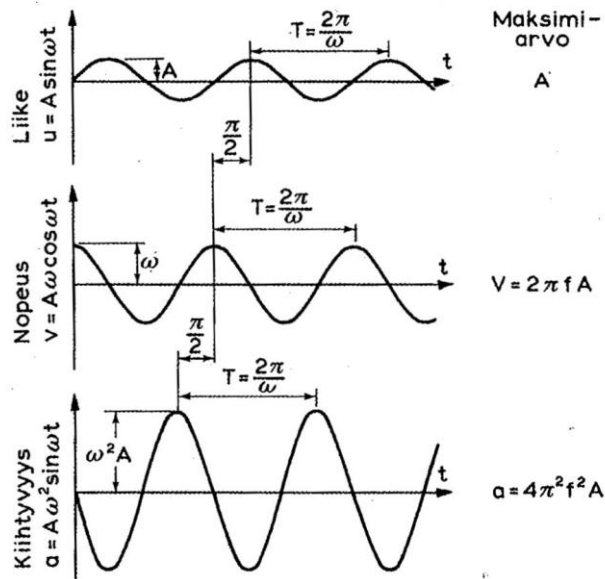
joissa

A=siirtymän heilahdusamplitudi (mm)

f=taajuus (Hz tai 1/s)

v=heilahdusnopeus (mm/s)

a=kiikhtyvyys (m/s^2) (Räjätystyöt, 2012, 298)



KUVA 1. Siniaalto (Räjätystyöt, 2012, 299)

T = jakson aika

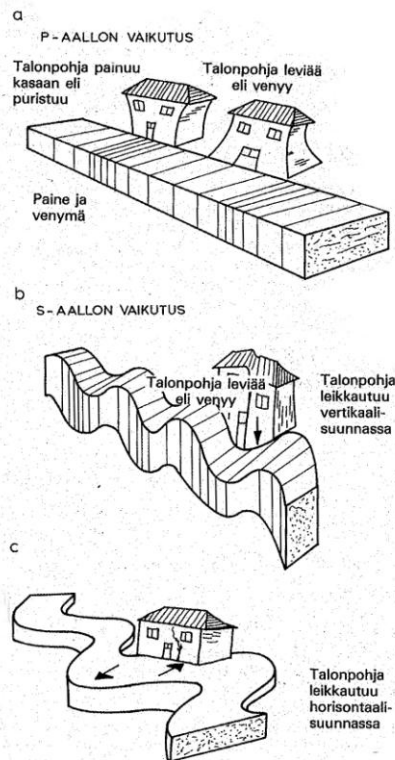
ω = kulmataajuus

2.2.2 Aaltotyypit kallio- ja maaperässä

Kun räjähdysaine räjähtää porareissä, syntyy paineaalto. Paineaalto aiheuttaa aineen tiivistymistä ja pienen alueen murskautumista. Loppu paineaallon voimasta, jatkaa väliaineessa etenemistä shokkiaaltona. Shokkiaalto on nopein räjähdysten aiheuttamista aaltoliikkeistä. Kun aallon voimakkuus on vaimentunut niin paljon, ettei väliaineessa synny enää pysyviä muutoksia, on aalto muuttunut kimmoaaloksi. (Räjätystyöt 2012, 299)

Kimmoaallot voidaan jakaa kahteen päätyyppiin, runkoaaltoihin ja pinta-aaltoihin. Tunnetuimpia runkoaalloista on P-aallot, joissa liike tapahtuu pituussuunnassa, eli ainehiukkaset siirtyvät aallon etenemissuunnassa, sekä S-aallot, joissa liike tapahtuu poikittaissuunnassa, eli ainehiukkaset liikkuvat kohtisuorassa etenemissuuntaan nähden. Kuvassa 2 on havainnollistettu eri aaltotyyppien vaikutusta rakenteisiin. Räjähdyspanos on yleensä sylinterimäinen ja aiheuttaa myös leikkausta väliaineessa. Tästä syystä räjäytyksissä syntyy sekä P- että S-aalto. Pinta-aalloista tunnetuin on Rayleigh-aalto eli R-aalto. Se syntyy, kun runkoaalloorintama kohtaa vapaan rajapinnan ja taipuu.

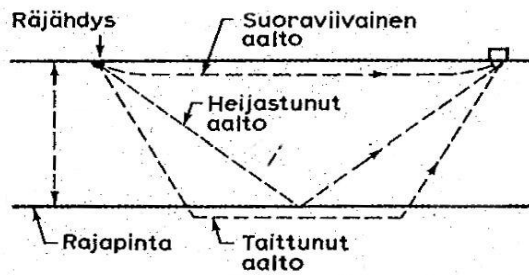
(Räjätystyöt 2012, 299, 300)



KUVA 2. Eri aaltojen vaikutus rakenteisiin (Räjätystyöt, 2012, 301)

Räjätystutkimuksissa on havaittu myös pinta-aaltotyypiset C- ja H-aalto, mutta käytännössä seismisissä tutkimuksissa tarkkaillaan yleensä P-, S- ja R-aaltoja. P-aaltojen etenemisnopeus on näistä kolmesta suurin. S-aaltojen etenemisnopeus on P-aaltoihin nähden hitaampi ja ilmaistaan usein lukuarvolla 0,577 P-aaltoon nähden. Tämä arvo pitää paikkansa vain kovassa ja kiinteässä kalliassa. Soramaassa tämä nopeus on noin 0,45. R-aaltojen etenemisnopeus on korkeintaan 90 % S-aaltojen nopeudesta. (Räjätystyöt 2012, 300)

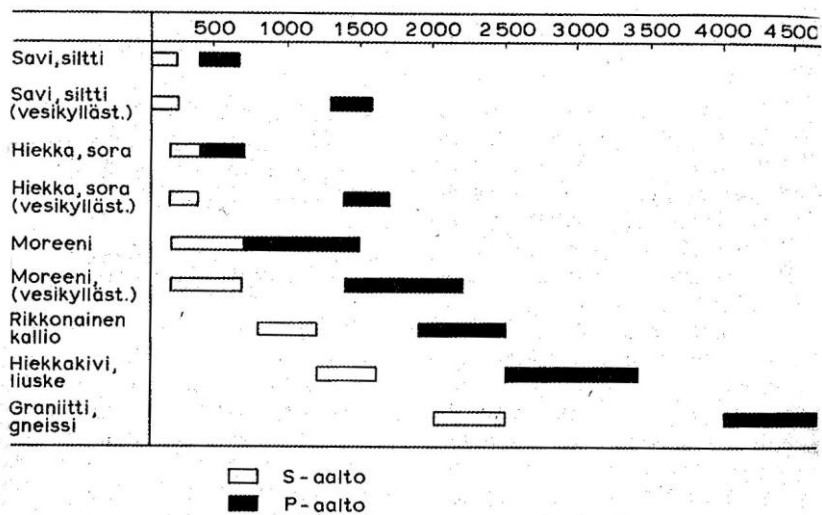
Jokainen näistä kolmesta aallosta voi edetä kolmea eri tietä. Aallot voivat edetä suoraviivaisesti tai se voi esteen kohdatessaan taittua tai heijastua (kuva 3). Monimutkaisemman tilanteesta tekee se, että ainoastaan suorassa kulmassa saapuvassa aallossa puristus säilyy puristuksena ja leikkaus leikkauksena. (Räjätystyöt 2012, 300)



KUVA 3. Suoraviivainen aalto, heijastunut aalto ja taittunut aalto (Räjätystyöt, 2012, 300)

2.2.3 Maatärinöihin ja rakennuksiin vaikuttavat geologiset tekijät

Erilaisissa maa- ja kallioperäolosuhteissa värinä leviää ympäristöön ja vaimenee eri tavalla. Kuvassa 4 on esitetty aallon etenemisnopeuksia eri maalajeille.



KUVA 4. P- ja S-aaltojen etenemisnopeus (m/s) eri kalli- ja maalajeissa (Räjätystyöt, 2012, 300)

Rune Gustafsson on esittänyt tärinääaltoliikkeen energian heijastumisen sen siirtyessä kalliosta, jossa sen etenemisnopeus on 5000 m/s, saveen, jossa sen etenemisnopeus on 1000 m/s, olevan Fresnelin kaavan (4) mukaan

$$E_{ref} = \frac{c_2 - c_1}{c_2 + c_1} = 44\% \quad (4),$$

jossa $c_1 = 5000$ m/s

$c_2 = 1000$ m/s

Gustafssonin huomion mukaan vain noin puolet aallon energiasta siirtyy kalliosta saveen. Mikäli kalliosta on rakoja, on vaimennus vieläkin voimakkaampi. Kun momentaaninen räjähdysainemäärä ja etäisyys kasvavat, alkavat samansuuruisilla momentaani-silla panoksilla ja samoilla etäisyyksillä saaduissa tuloksissa esiintyä suurta hajontaa. Samoin peräkkäisten räjäytysten aiheuttama tärinä saattaa olla samassa mittauspisteessä erilaista, vaikka räjäytyskohde olisi siirtynyt vain muutaman metrin. (Räjäytystyöt, 2012, 301)

Tärinän luonteeseen ja leviämiseen vaikuttavat erilaiset geologiset olosuhteet:

- perustuksen dynaamiset olosuhteet ovat aaltoliikkeen etenemisnopeuden kannalta tärkein tekijä
- perustuksen tyyppi ja kosteus vaikuttavat eniten taajuuden suuruuteen
- kallio ja maaperän topografia saattavat aiheuttaa seismisten aaltojen heijastumista
- perustuksen kiinteys ja lämpötila sekä vaimennusominaisuudet

Rakennuksen ja perustuksen taajuuksilla voi olla yhteisvaikutus, joka saattaa aiheuttaa joko tärinän voimistumista tai resonanssia. Yleisimmin näitä ilmiöitä on tavattu 1-2 -kerroksissa omakotitaloissa, jotka on rakennettu paksujen (>15m) sedimenttikerrosten päälle. Aaltojen taittuminen ja heijastuminen saattavat aiheuttaa odottamattoman suuria tärinäarvoja. Useimmiten näitä esiintyy silloin, kun tärinä on jatkuvaa – ei siis räjäytystöiden yhteydessä. (Räjäytystyöt, 2012, 301)

Asutuksen lähellä kalliota räjäytettäessä joudutaan reikäpanosten kokoa lähirakennusten ja niissä olevien laitteiden vuoksi rajoittamaan. On todettu, että käytettäessä pienehköjä reikäpanoksia (<10 - 20 kg), ei edellä mainittua heijastus- ja taittoilmiötä esiinny, koska korkeataajuuksinen kalliota pitkin etenevä aaltoliike vaimenee lähes täysin kallion ja pehmeämmän aineen rajapinnassa. (Räjäytystyöt, 2012, 302)

3 RAKENTEIDEN VAURIOITUMISVAARA

Tärinäiden aiheuttama rakenteiden vaurioituminen voi johtua repeämisestä, taipumisesta tai venymisestä. Lähtökohtana vauriorajojen määrittämiselle pidetään rakenteiden elastisia ominaisuuksia. Lisäksi on huomioitava rakenteissa esiintyvät epäsäännöllisyydet ja jännitystilat, sillä ne voivat alentaa rakenteen tärinäkestävyyttä huomattavasti. (Räjätystyöt, 2012, 302)

1940-luvun loppupuolella Ruotsissa ryhdyttiin hakemaan vaurioraja-arvoja rakennuksille tärinämittausten avulla. Asiaan oli tehtävä seuraavia yksinkertaistuksia, jotta työ pystyttiin suorittamaan kohtuullisin kustannuksin:

- tärinäarvot mitattiin rakennusten kantavista rakenteista mahdollisimman läheltä rakennuksen perustusta. Näin saadaan tietoon rakennuksen kohdistuva tärinä ilman voimistumis- tai vaimentumisvaikutuksia
- todettiin heilahduksen vertikaalikomponentin eli pystykomponentin olevan usein suurin ja vaikuttavin, joten pystyheilahdus valittiin mittaussuunnaksi tietoja kerätessä. 1960-luvun ruotsalaisilla valvontamittareilla pystyttiin mittaamaan tärinän amplitudia vain yhdessä mittaussuunnassa.

Kokemusperäisesti on havaittu, että sallittu heilahdusnopeus määräytyy rakennuksen rakentamistavan ja kunnan lisäksi myös seismisen etenemisnopeuden perusteella. Tärinän aaltoliikkeen etenemisnopeus on riippuvainen räjäytyskohteen ja rakenteen välissä olevan materiaalin laadusta. Jos etenemisnopeus on suuri, on aallonpituuskin suurempi. Jos aallonpituus on niin pieni, ettei talo voi ”ratsastaa” aalloilla, on sen rikkoutumisvaara repeytymällä suuri, koska tällöin talon toinen osa kohoaa ja toinen osa laskee. Taulukossa 1 on esitetty suomalaisia ja ruotsalaisia vaurioraja-arvoja eri maalajeille. (Räjätystyöt, 2012, 302)

TAULUKKO 1. Suomalaiset ja ruotsalaiset vaurioraja-arvot (Räjätystyöt, 2012, 302)

Tärinäaallon etenemisnopeus c (m/s)	1000 - 1500	2000 - 3000	4500 - 6000	Vaikutus normaaliin asuinrakennukseen $Q/R^{3/2}$
	Hiekka, sora, savi: pohjavesipinnan alapuolella	Moreeni, liuske, pehmeä kalkkikivi	Graniitti, gneissi, kalkkikivi, diabaasi	
Tärinän heilahdusnopeus mm/s, mitataan vertikaalikomponenttia	18	35	70	Ei havaittavaa raonmuodostusta 0,03
	30	55	100	Pieniä rakoja ja rappauksen putoamista 0,06
	40	80	150	Raonmuodostusta 0,12
	60	115	225	Suuria rakoja 0,25

Heilahdusnopeuden ohella taajuuskin voi aiheuttaa rakenteisiin vaurioita. Korkeataajuuksinen perustuksessa etenevä tärinä aiheuttaa pienempää venymistä ja jännitystä, sekä näiden aikaansaamaa rakojen syntymisvaaraa kuin matalataajuuksinen tärinä, joka on lähellä rakennuksen tai sen osien ominaistajuutta. Usein sekä seinät että kantavat rakenteet värähtelevät vapaasti senkin jälkeen, kun niihin kohdistuva tärinä on loppunut. Seinissä vapaan värähdysliikkeen siirtymän heilahdusamplitudi ja taajuus ovat yleensä suurempia kuin kantavissa rakenteissa. Ominaisuus seinissä on luokkaa 12 - 20 Hz ja kantavissa rakenteissa 5 - 10 Hz. (Räjätystyöt, 2012, 304, 305)

4 TÄRINÄRAJA-ARVOT RAKENTEILLE

4.1 Tärinäraja-arvot eri maissa

Suomalaiset tärinäraja-arvot perustuvat suomalaisiin, ruotsalaisiin ja norjalaisiin tutkimuksiin ja kokemuksiin. Saksassa sovellettavat tilastotiedot eivät ole käyttökelpoisia Suomessa, sillä rakennukset on Saksassa usein perustettu paksun maakerroksen varaan ja käytetyt rakennustavat poikkeavat suomalaisista rakennustavoista. Rakennusten tärinäarvoja tutkittaessa on usein mitattu heilahdusnopeuden huippuarvon pystykomponenttia. Jos mittaus kohde on ollut kalliotila, putki tai kaapeli on mitattu kolmea komponenttia. (Räjätystyöt, 2012, 305)

Yli 70 metrin etäisyyksillä tilastotiedot ovat paljon vähäisempiä kuin pienemmillä etäisyyksillä. Tällöin myös usein jommankumman vaakakomponentin huippuarvo on merkittävästi isompi kuin pystykomponentin. Käytettäessä raja-arvona pystykomponentin huippuarvoa suurehkoilla etäisyyksillä räjäytettäessä on sallittujen heilahdusnopeuksien raja-arvojen oltava melko pieniä. (Räjätystyöt, 2012, 305)

USA:ssa on kehitetty ennustemalleja, joiden avulla voidaan laskea rakennuksen eri osien räjäytystärinästä aiheutuvia jännitystiloja, jos tunnetaan rakenteiden ominaistuuksia ja tärinänvaimentumiskerroin. Nämä mallit kuitenkin vaativat lukuisia mittauksia ja analysointeja, tai ne edellyttävät tyytymistä epätarkkoihin oletuksiin. Tämän takia mallit eivät sovi käytettäväksi raja-arvolaskelmiin käytännössä. (Räjätystyöt, 2012, 305)

Suomessa on keskusteltu yli 20 vuotta tärinästandardin laatimisesta, nyt tärinästandardi on jo käytössä Ruotsissa ja Norjassa. Tärkeää standardissa olisi se, että jos annettuja tärinäraja-arvoja ei ylitetä, rakennevaurioista vastaa tilaaja (rakennuttaja). Nykyisellään vaurioista vastaa louhija (urakoitsija), jollei toisin sovita. Todennäköisesti Ruotsi ja Norja siirtyvät kolmen komponentin mittaukseen lähitulevaisuudessa. Se tarkoittaisi, että Suomella voisi olla yhteiset tärinästandardit näiden maiden kanssa, ja ehkä myöhemmin yhteiset EU-standardit. (Räjätystyöt, 2012, 312)

4.2 Tärinäraja-arvojen määrittäminen

Jotta voitaisiin määrittää realistisia tärinäraja-arvoja rakennuksille, täytyy raja-arvojen antajan omata kokemusta sekä tärinämittauksista että räjäytyksistä. Liian pienen raja-arvon käyttäminen lisää irrotuskustannuksia moninkertaisesti. Jos käytetään liian suuria raja-arvoja, lisääntyy vahinkovaara. Raja-arvomäärittämisessä tärkeimpiä huomioitavia asioita ovat:

- rakennusmateriaalin tärinänkestävyys
- rakennuksen yleinen kunto
- tärinöiden luonne ja kestoaika
- rakennuksessa mahdollisesti olevat tärinäherkät laitteet
- rakennuksen perustamistapa, kallioperän tai maan laatu rakennuksen alla
- aaltoliikkeen etenemisnopeus rakennuksen alla olevassa materiaalissa
- rakennuksen ja räjäytyskohteen välinen etäisyys

Sallittujen raja-arvojen määrittäminen perustuu vaurioutilastoihin, jotka on saatu erilaisissa kallio- ja maaperäolosuhteissa räjäytettäessä. Tilastoja on kerätty eri tavoin perustetuista ja rakennetuista rakennuksista. Erityisesti lähietäisyyksillä ($R < 10$ m) voivat muut tekijät kuin tärinä aiheuttaa rakennevaurioita. (Räjäytystyöt, 2012, 306)

4.2.1 Tärinäkestävyyden luokat

Rakennukset jaotellaan tärinäkestävyytensä perusteella viiteen luokkaan. Luokkien 1-4 rakennukset ovat hyväkuntoisia. Luokkaan yksi kuuluvat raskaat rakenteet, kuten laiturit ja sillat, luokassa kaksi ovat teollisuus- ja konttorirakennukset. Tavalliset asuinrakennukset kuuluvat luokkaan kolme. Luokissa neljä ja viisi ovat erittäin herkät rakennukset sekä historialliset huonokuntoiset rakennukset. Rakennusmateriaalit jaetaan neljään luokkaan. Luokkaan yksi kuuluu muun muassa raudoitettu betoni ja teräs. Luokassa neljä on herkin materiaali, kalkkikivi. R. Holmbergin ja C. Sjöbergin mukaan ensimmäiset vauriot rakenteissa ovat usein hiushalkeamia ja saumojen aukeamisia. (Räjäytystyöt, 2012, 306)

4.3 Tärinän ohjearvot

Tärinän ohjearvot ovat tarkoitettu helpottamaan rakenteiden tärinäkestävyyden arviointia. Tärinäarvot ovat ohjeellisia ja ne edustavat hyvää rakennustapaa tärinän huomioimisessa. Suurimmat ohjearvot on määritetty lähinnä rakennusten perustuksille, sillä niistä tärinä siirtyy rakenteisiin. Rakennuksen perustuksissa resonanssi-ilmiötä ei välttämättä esiinny, mutta ylempissä rakenteissa, kuten palkeissa, jatkuva tärinä voi vahvistua resonanssitilanteessa. Yleensä yksittäinen iskumainen tärinäkuormitus ei riitä aiheuttamaan resonanssi-ilmiötä, mutta se voi saada aikaan rakenteiden ominaisvärähtelyn. Tämän ominaisvärähtelyn vaimentuminen saattaa kestää jopa useita sekunteja, riippuen rakenteiden vaimennuksesta. Tällöinkin ylempien rakenteiden värähtely saattaa olla suurempaa kuin perustuksen värähtely. (Räjäytystyöt, 2012, 309)

Ylempien rakenteiden tärinän mittaustarve ja ohjearvot arvioidaan tapauskohtaisesti. Ylärakenteiden tärinän huomiointi on erityisen tärkeää silloin, kun kantavien palkkien ja laattojen varaan on rakennettu hauraita levymäisiä rakenteita. Usein on mahdollista soveltaa perustuksille annettuja ohjearvoja myös ylärakenteissa, mutta silloin on otettava huomioon, että värähtely voi ylempissä rakenteissa olla selvästi suurempaa. (Räjäytystyöt, 2012, 309, 311)

Tärinän ohjearvot eivät ota huomioon ihmisen häiriintymistä tärinästä. Ihmisen on vaikea erottaa tärinä louhintaan liittyvistä ääni- ja paineilmiöistä. Usein ihminen kokee vaarallisena ilmiön, joka todellisuudessa on epämiellyttävyyttä. Tärinän havaitseminen on yksilöllistä, mutta yleensä tärinän havaintokynnys on noin $v_{\max} = 0,1 - 0,2$ mm/s, tällainen tärinä voi aiheuttaa astioiden kilinää. Jos tärinän taso on korkeampi kuin $v_{\max} = 0,4 - 0,8$ mm/s, useat ihmiset kokevat tärinän häiritseväksi. Huonekalut voivat heilua, jos heilahdusnopeus $v = 6$ mm/s. Asiallinen tiedottaminen saattaa vähentää tärinän häiritsevyyttä ihmisten silmissä. (Räjäytystyöt, 2012, 311, 316)

Heilahdusnopeutta on yleisesti käytetty tärinän vaurioalttiuden kriteerinä, sillä sen mittaaminen on helpompaa kuin kiihtyvyyden tai siirtymien. Todellisuudessa vauriot aiheutuvat yleensä rakenteiden siirtymäeroista. Tärinämittauksen yhteydessä mitataan tärinän taajuus. Taajuus on otettu huomioon ohjearvoja määritettäessä etäisyyden ja maapohjakertoimien muodossa. Tärinän suurimmat ohjearvot on laskettu siten, ettei

tärinä aiheuttaisi rakenteisiin vaurioita. Vaurioiden syntymiseen voi kuitenkin olla useita syitä, joten joissain kohteissa ohjearvoja on mahdollisesti alennettava. (Räjätystyöt, 2012, 311)

Kun tärinän vaikutuksia arvioidaan, on huomioitava myös, että rakenteen oma paino ja muut kuormat ovat jo saattaneet aiheuttaa rakenteisiin merkittäviä rasituksia. Rakenteiden tärinän kestävyys vaikuttaa huomattavasti rakenteiden aiempi kuormitushistoria sekä rakenteiden kunto. Huonokuntoinen rakennus voi vaurioitua vähäisestäkin tärinästä. Rakenne vaurioituu, jos kuormitus ylittää rakenteen lujuuden. Yleensä rakenteen heikoin lujuus on vetolujuus. (Räjätystyöt, 2012, 311)

4.3.1 Heilahdusnopeuden laskenta

Tärinän heilahdusnopeuden v (mm/s) suurin ohjearvo saadaan kaavasta

$$v = F_k \cdot v_1 \quad (5),$$

jossa v =heilahdusnopeus (mm/s)

F_k = rakennustapakerroin

v_1 = heilahdusnopeuden perusarvo (Räjätystyöt, 2012, 311)

Taulukoista löytyvät rakennustapakertoimet eri rakenteille (taulukko 2) sekä heilahdusnopeuden perusarvot eri etäisyyksille ja maalajeille (taulukko 3).

TAULUKKO 2. Rakennustapakertoimen F_k (Räjätystyöt, 2012, 310)

Rakenneluokka (hyväkuntoinen rakenne)	Rakennustapakerroin F_k (kelpoisuus a-luokka)	Rakennustapakerroin F_k (kelpoisuus aa-luokka)
1. Raskaat teräsbetoni- tai teräsra- kenteet, kuten sillat ja laiturit	1,75	2,00
2. Teräsbetoniset, teräksiset ja puurakenteiset teollisuus ja va- ratorakennukset, ruiskube- tonoidut kalliotilat, yleensä staattisesti määrätyt rakenteet, joissa ei asuta tai työskennellä	1,25	1,50
3. Pilariperustuksille rakennetut elementtirakenteiset teräsbe- tonirakenteet, teräksiset ja puu- rakenteiset toimisto ja asuinra- kennukset, muut puu- ja teräs- rakennukset, johdot, maakaape- lit	1,00	1,20
4. Massiiviseinäiset tiili-, kevytso- raharkko-, ja teräsbetonirunkoi- set teollisuus-, toimisto- ja asuinrakennukset, lasiseinäiset teräsrunkoiset sekä tiiliverhotut puurunkoiset rakennukset, ruis- kubetonimattomat kalliotilat	0,85	1,00
5. Rakennukset, joissa on kevyt- betoni- tai kalkkihiekkatiilira- kenteita, tai muuta vaurioherk- kää materiaalia, tärinä- värähte- lyherkät vanhat rakennukset, kuten kirkot tai korkeita holveja käsittävät rakenteet	0,55	0,65

TAULUKKO 3. Heilahdusnopeuden perusarvo v_1 (Räjätystyöt, 2012, 310)

1	2	3	4	5
	$c < 1000$ ms	$c < 1000 - 1500$ ms	$c < 2000 - 3000$ ms	$c < 4500 - 6000$ ms
Etäisyys (m)	Pehmeä savi, leikkauslujuus $< 25 \text{ kN/m}^2$	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

c = värinäaallon etenemisnopeus

Taulukot ja kaavat perustuvat pääosin ennen vuotta 1990 tehtyyn räjäytystärinäseurantaan ja pystykomponenttimittauksiin. Viimeisen 30 vuoden aikana mittauskalusto on kehittynyt valtavasti ja on herättänyt mietteitä siitä, pitäisikö tehdä uutta perustutkimusta muun muassa seuraavista seikoista:

- Pitäisikö yli 100 Hz värinöiden rekisteröinti lopettaa? Siirtymän heilahdusamplitudi on usein näissä tapauksissa lähes olematon, mutta korkeilla taajuuksilla lähietäisyyksillä mitatut suuret heilahdusnopeuden arvot antavat usein värinästä liioitellun kuvan.
- Olisiko mahdollista käyttää lähietäisyyksillä ($R < 10$ m) raja-arvona siirtymän heilahdusamplitudia heilahdusnopeuden asemasta?
- Pehmeissä maaolosuhteissa ja suurilla etäisyyksillä esiintyvien matalataajuuksisia värinöitä ja niiden vaikutusta tulisi tutkia lisää
- Vaikuttaako siirtyminen pystykomponenttiraja-arvosta kolmensuuntaisen komponentin raja-arvoon ja rakennustapakertoimen (F_k) pienentäminen irrotuskustannuksiin? (Räjätystyöt, 2012, 312)

5 HERKKIEN LAITTEIDEN TÄRINÄKESTÄVYYS

Tietokoneet ja erityisesti niiden levymuistiyksiköt ovat erittäin vaurioitumisalttiita tärinästä. Tällaisista laitteista ei ole tehty tilastolliseen havaintomateriaaliin perustuvaa tutkimusta, kuten rakennuksista on. Herkkien laitteiden osalta noudatetaan valmistajan ilmoittamia raja-arvoja, jotka perustuvat teollisuudessa käytettävien tietokoneiden arvoihin, eli huomattavasti alhaisempiin taajuuden arvoihin. Näin ollen siirtymän heilaidusamplitudi (A) on suurempi kuin, mitä räjäytystöissä on yleensä mitattu lähietäisyyksillä ($R < 70$ m) räjäytettäessä. Teollisuuslaitoksissa tärinä on jatkuvaa, kun se räjäytystöissä taas on hetkellistä. (Räjäytystyöt, 2012, 312)

Normaali elektroniikkalaitte kestää hajoamatta jatkuvaa 2 g:n sinimuotoista tärinää useita tunteja ja toimii häiriintymättä 0,5 g:n kiihtyvyydellä. Useimmiten pahin taajuusalue on 60 - 300 Hz. Lyhytaikainen tärinä, joka kestää alle 0,5 s, ja yksittäiset iskut vaikuttavat yleensä erittäin vähän, sillä lyhyt tärähdys ei saa resonansseja syntymään. Vaurioita syntyy harvoin, jos iskun kiihtyvyys on alle 30 g, 7 g:n kiihtyvyyksillä on huomattu toimintahäiriöitä. Tällöin kyseessä on ollut yleensä raskas ja suhteellisen helposti liikkuva osa, kuten rele tai kontaktori. (Räjäytystyöt, 2012, 312)

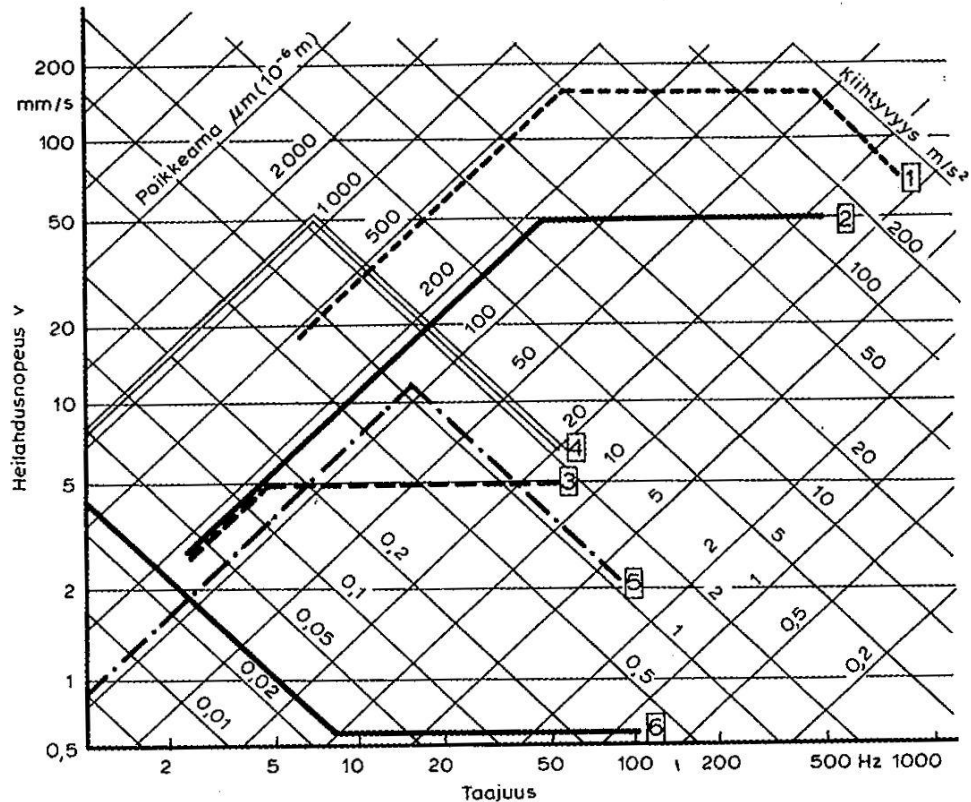
5.1 Tietokoneiden tärinäherkkyys

Sellaiset tietokoneet, joissa valmistajan mukaan on erittäin tärinäherkkiä osia, vaikeuttavat, tai joissain tapauksissa jopa estävät sellaiset rakennushankkeet, joihin liittyy louhintaa. Ongelmia aiheuttavat muun muassa seuraavat seikat:

- Tietokoneiden valmistajat eivät takaa koneidensa virheetöntä toimintaa, jos koneeseen kohdistuu tärinää tai iskuja
- Jos räjäytys aiheuttaa häiriön, tai jopa keskeytyksen tietokoneessa, saattavat seuraukset olla hyvinkin isoja
- ”tärinättömät” tietokonehuoneet voivat aiheuttaa merkittävän hinnan nousun räjäytystyössä (Räjäytystyöt, 2012, 312)

Suurimmat IBM:n ilmoittamat sallitut värinäraja-arvot käynnissä oleville tietokoneille ovat:

- jos värinä on hetkellistä ja taajuus alle 7 Hz saa kaksinkertaisen siirtymän heilahdusamplitudi olla korkeintaan 2,5 mm (Kuva 5, käyrä 4)
- jos värinä on hetkellistä ja taajuus 7 Hz tai enemmän, on suurin sallittu kiihtyvyyden arvo $a = 0,25 \text{ g}$ (Kuva 5, käyrä 4) (Räjätystyöt, 2012, 312)



KUVA 5. Ruotsalaisen normiehdotuksen (1982) vahinkoarvot ja suositukset (Räjätystyöt, 2012, 313)

Kuvassa 5 käyrä

- 1) Räjätysten aiheuttamat suorat vahingot
- 2) Suositeltu ylin raja räjätystyksissä
- 4) Ylin raja-arvo IBM:n tietokoneille värinäkestoajan ollessa alle 5 sekuntia
- 5) Ylin raja-arvo IBM:n tietokoneille värinäkestoajan ollessa yli 5 sekuntia
- 6) Värinät, jotka vaikuttavat häiritsevästi ihmisiin (Räjätystyöt, 2012, 313, kuva 9.44)

Asutuskeskuslouhintojen mitatut värinäarvot ovat lähes poikkeuksetta $f > 14$ Hz, näillä arvoilla sallituksi kiihtyvyydeksi tulee $a = 0,25$ g. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi 10 metrin etäisyydellä tietokoneesta räjäytettäessä momentaaninen räjähdysainemäärä on vain 0,04 – 0,08 kg. Kaikissa Pohjoismaissa on todettu sekä käytännössä että tutkimuksissa tietokoneiden kestävän huomattavasti suurempia värinöitä, kuin mitä kuvassa 5 esitetään. (Räjäytystyöt, 2012, 312)

5.2 Sähköreleiden värinäherkkyys

Välillä sallittuja louhintavärinöitä rajoittavat sähköreleet. Räjäytyksen aiheuttama värinä on aiheuttanut releiden laukeamisen ja näin ollen räjäytys on aiheuttanut sähkökatkoja. Yleisesti releiden värinäraja-arvot vaihtelevat välillä $a = 1 - 8$ g, laitteiden tarkat raja-arvot saadaan laitteiden valmistajilta. Joidenkin relekehikkojen kohdalla on mahdollista nostaa ne vaimentimille, taloissa sijaitsevia releistä ei yleensä pystytä vaimentamaan. (Räjäytystyöt, 2012, 313)

Releiden läheisyydessä räjäytettäessä on pyritty tekemään seuraavat varmistukset:

- releet on oikosuljettu räjäytysten ajaksi
- esimerkiksi sähkölaitokselta on hankittu miehiä räjäytysten ajaksi, jos rele tai releet ovat menneet pois päältä, on korjaus voitu tehdä saman tien (Räjäytystyöt, 2012, 313)

Ohjeellisia raja-arvoja on annettu myös seuraaville kohteille:

- puhelinlaitokset $v = 50$ mm/s, $a = 1,0 - 3,0$ g
- TV-asemat $v = 35$ mm/s, $a = 3,0$ g
- sähkölaitokset $a = 0,5 - 2,0$ g (Räjäytystyöt, 2012, 313)

6 HERKKIEN LAITTEIDEN TÄRINÄVAIMENNUS

6.1 Erilaisia vaimennustapoja

Yleisesti herkkien laitteiden vaimentamiseen käytetään soveltaen jotakin seuraavista neljästä toimenpiteestä:

- Tärinän aiheuttajan eristäminen ympäristöstään. Tämä on toteutettu poraamalla tai vaijerisahauksella rako louhinta-alueen ja rakennuksen väliin. Käytännössä tällaisen raon pitäisi olla täysin auki ja ulottua louhintasyvyyden alapuolelle
- Tärinäherkkien laitteiden siirtäminen muualle louhinnan ajaksi
- Laitteiden pysäyttäminen tai sulkeminen räjähdysten ajaksi tai releiden oikosulkeminen
- Eniten käytetty vaihtoehto on tärinäherkkien laitteiden eristäminen ympäristöstä kohteeseen sopivilla tärinävaimentimilla (Räjäytystyöt, 2012, 314)

6.1.1 Louhinta-alueen ja rakennuksen erottaminen raolla

Louhintatöissä kohteen suojeleminen vaimentavalla raolla tulee kysymykseen vain silloin, kun suojeltava kohde sijaitsee kalliolla ilman, että kohteen ja louhinta-alueen välissä on vaimentavia maalajeja. Poratun raon tulee olla täysin auki. Rako vaimentaa rakennukseen kohdistuvia tärinöitä ja estää kohteen alla olevan kallion lohkaroitumista ja kohoamista. Suomessa ja Ruotsissa vaimentavaa rakoa on käytetty tärinävaimennukseen jo yli 30 vuoden ajan. Raon aiheuttama tärinän vaimentuminen riippuu kentän ja raon etäisyydestä sekä rakosyvyydestä (taulukko 4). (Räjäytystyöt, 2012, 314)

Jotta rako toimisi kunnolla, edellytetään seuraavia:

- raon reikien on oltava yhdensuuntaisia
- raon on oltava täysin avoin
- raossa ei saa olla vettä tai porausjauhetta
- raon oltava reilusti syvempi kuin teoreettinen louhintataso
- raon on ulotuttava rakennuksen nurkkien ohi vähintään poraussyvyyden verran (Räjäytystyöt, 2012, 314)

TAULUKKO 4. Raon takana mitattu vaimentuminen (Räjätystyöt, 2012, 314)

Etäisyys rakoon m	Etäisyys/rakosyvyys m	Vaimennus %
< 3	< 0,5	> 80
3 - 6	0,5 – 1,0	65 - 80
6 - 9	1,0 – 1,5	50 - 65
> 9	> 1,5	< 50

6.1.2 Laitteiden siirtäminen muualle tai käytön pysäyttäminen

Laitteiden siirtämiseen on turvauduttu silloin, kun ko. laitteisiin ei ole saanut kohdistua lainkaan tärinää. Laitteiden pysäyttämistä voidaan harkita esimerkiksi joissakin tietokonekeskuksissa. Eräs ”pysäyttämismenetelmä” on tärinäherkkien releiden oikosulkemisen räjäytyksen ajaksi, releet voivat kuitenkin olla oikosuljettuina vain korkeintaan 5 sekuntia. Tietokoneiden pysäyttämistä ei suositella, usein kone saa pysäytettäessä suuremman tärinäpiikin kuin räjäytettäessä. (Räjätystyöt, 2012, 315)

6.1.3 Laitteiden eristäminen tärinävaimentimilla

Jos lattiasta tietokoneisiin välittyvä tärinä ylittäisi tietokoneille määrätyt sallitut tärinäarvot, voidaan tietokoneet eristää lattiasta vaimentimien avulla. Yleisimmin tähän on käytetty kumivaimentimia. Vaimentimien tarve pyritään selvittämään koeräjäytyksillä, mikäli koeräjäytyksiä ei voida suorittaa, perustuu vaimennuksen arviointi laskelmiin ja aikaisempiin kokemuksiin. (Räjätystyöt, 2012, 315)

Jos vaimentimen ominaistajuus on alle puolet pienimmästä merkittävästä häiriötaajuudesta, on vaimennin riittävän pehmeä. Tällöin päästään resonanssitaajuuden alapuolelle, ja vaimennus toimii parhaiten. Parhaimmissa olosuhteissa voidaan vaimentimilla päästä 70 - 90 % vaimennussuhteeseen. Vaimennusjärjestely on mitoitettava oikein, ja se on sitä vaativampaa, mitä useampia ja mitä matalampia häiriötaajuuksia kohteessa esiintyy. Mitoitus vaikeutuu myös jos kohteessa on merkittäviä horisontaalisia värähtelyjä tai suojattavan laitteiston massa on epätasaisesti jakautunut. (Räjätystyöt, 2012, 315)

Joissain tapauksissa paikallinen värinävaimennus voi aiheuttaa haittaa, jos suojatun laitteen massa ei ole tarpeeksi suuri, tai jos siinä on liikkuvia osia. Liikkuvat osat voivat aiheuttaa jopa voimakasta keinumisliikettä laitteelle. Myös kokonaisia laiteryhmiä voidaan sijoittaa samoille värinävaimentimille, se on tehokas tapa saada passiivinen massa tarpeeksi suureksi. (Räjätystyöt, 2012, 315)

Valittavana on värinävaimentimia eri materiaaleista. Eri aineilla on erilaiset yleiset ominaisuudet ja matalimmat resonanssitaajuudet, näin vaimentimet saadaan sopimaan moniin kohteisiin. Vaimentimen materiaalin jousto-ominaisuuden perustuva värinäeristys edellyttää alimman esiintyvän värinätaajuuden tuntemista. Systemin ominaistaajuus saadaan halutulle tasolle valitsemalla kuormitettavuudeltaan sopiva vaimennintyyppi. Laitteen paino taas aiheuttaa vaimentimiin painuman, joka puolestaan määrää vaimennintyyppillä saavutettavan ominaistaajuuden. Kun painuma kasvaa, pienenee systemin ominaistaajuus. Värinävaimennuksessa pyritään suureen taajuussuhteen n arvoon.

$$n = \frac{f}{f_0} \quad (6), \text{ jossa}$$

f = värinätaajuus

f_0 = ominaistaajuus

Tämän takia käytetään vaimenninmatoille suurinta painumaa ja suurinta sallittua kuormitusta. (Räjätystyöt, 2012, 315)

7 TÄRINÄVAIKUTUSTEN ARVIOINTI

7.1 Tärinävaikutuksen arviointi

Tärinävaikutusten arviointi kuuluu yleensä osaksi hankkeen pohjarakenne- tai kallio-tekniistä suunnittelua. Rakennustyön ympäristöön aiheuttaman tärinän vaikutuksen arviointia varten on vaativuusluokitus, jossa on luokat 1 – 3. Tärinävaikutusten arviointi tehdään yleensä tilaajan toimeksiannosta, mutta sen voi tehdä myös urakoitsija. Pienissä kohteissa tärinävaikutusten arvioinnin on voinut tehdä esimerkiksi louhintaurakoitsija katselmusten yhteydessä. Eri vaativuusluokkien tärinävaikutusten arvioinnit sisältävät erilaisia tutkimuskohteita (taulukko 5). Myös tärinävaikutusten arviointien aluerajaukset vaihtelevat syntyvien tärinöiden luonteen perusteella (taulukko 6). (Räjätystyöt, 2012, 316; Rakentamisen aiheuttamat tärinät, RIL 253-2010, 32)

TAULUKKO 5. Tärinävaikutuksen arvioinnin tehtävät. (Rakentamisen aiheuttamat tärinät, RIL 253-2010, 32)

Tehtävä	Ohjeellinen sisällyttäminen arviointiin eri vaativuusluokissa		
	Luokka 1	Luokka 2	Luokka 3
1. Rakennuskohteen ja ympäristön geologia, topografia ja maakäyttö		x	x
2. Tärinälähteet, niiden luonne	x	x	x
3. Tärinän voimakkuuden arviointiperusteet		x	x
4. Tärinävaikutusten arvioinnin alue	x	x	x
5. Selvitys tarkastelualueella olevista tärinästä vaurioituvista kohteista ja toiminnot, joihin tärinän vaikutus on otettava huomioon		x	x
6. Tärinän suurimman ohjearvon suuruuden määrittäminen, ohjearvot		x	x
7. Riskien arviointi			x
8. Esitys tärinän mittaamiseksi ja tärinävaikutusten tarkkailuksi		x	x
9. Katselmualueen ja tarvittaessa katselmusten suorittaminen	(x)	x	x
10. Toimenpiteet tärinäherkkien laitteiden suhteen		x	x
11. Toimenpiteet tiedottamiseksi	x	x	x
12. Toimenpiteet työskentelyajankohdista sopimiseksi		x	x
13. Tärinän vähentämismahdollisuuksien selvittäminen		x	x

TAULUKKO 6. Tärinävaikutuksen arvioinnin aluerajaus. (Rakentamisen aiheuttamat tärinät, RIL 253-2010, 33)

Syntyvän tärinän luonne	Vaativuusluokka 1	Vaativuusluokka 2	Vaativuusluokka 3
Tärinä voi olla havaittavissa vielä n. 100 m etäisyydellä, louhinta asutuskeskuksessa tai kunnallistekniikkaan liittyvä louhinta	Lähimmät kohteet erisuunnissa, ei kuitenkaan yli 50 m etäisyydellä	Alue 50 – 100 m etäisyydellä	Alue 50 – 100 m etäisyydellä sekä 100 – 200 m etäisyydellä erityisen tärinäherkät kohteet
Tärinä voi olla havaittavissa jopa kilometrien päässä, massalouhinta	Lähimmät kohteet erisuunnissa	Suurimpien räjäytyskenttien räjähdysainemäärästä riippuva alue	Suurimpien räjäytyskenttien räjähdysainemäärästä riippuva alue, kauempaa myös erityisen tärinäherkät kohteet erillisen selvityksen mukaan

Ympäristöministeriön asetuksen mukaan ennen rakentamista on tarvittaessa selvitettävä rakenteisiin mahdollisesti kohdistuvat tärinävaikutukset. Tärinävaikutukset eivät saa aiheuttaa vauriota rakennukselle eivätkä häiritä kohtuuttomasti rakennuksessa olevia ihmisiä. (Suomen rakentamismääräyskokoelma, Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto B3 Pohjarakenteet. Määräykset ja ohjeet. 2004)

Tärinävaikutusten arviointi täytyy tehdä vähintään samalla laajuudella kuin työn suoritukseen liittyvät katselmukset. Arviointialueen rajauksessa otetaan huomioon myös melun ja paineaallon vaikutus. Jos tärinävaikutusten arvioinnissa otetaan huomioon tärinän aiheuttama häiriö ihmisille, voidaan mahdollisesti vähentää työstä aiheutuvia valituksia. (Räjäytystyöt, 2012, 317)

8 YMPÄRISTÖN KATSELMUKSET

Ympäristön rakennukset ja muut kohteet katselmoidaan, jotta räjäytystöiden aiheuttamiksi väitettyjen vaurioiden korvausasiat voidaan hoitaa mahdollisimman oikeudenmukaisesti. Alkukatselmuksessa tarkastetaan ympäröivien rakennusten kunto juuri ennen räjäytystöiden alkua, loppukatselmuksissa tarkastetaan rakenteiden kunto uudelleen ja todetaan mahdollisesti syntyneet uudet vauriot tai vanhojen vaurioiden suurentuminen. Loppukatselmuksiset suoritetaan heti räjäytystöiden päätyttyä. Asukkaiden pyynnöstä on mahdollista tehdä myös välikatselmuksia. (Räjäytystyöt, 2012, 317)

Katselmuksessa asianosaiset tarkastavat ja kirjaavat olemassa olevat rakenteiden vauriot. Katselmusten suorittamista tai kiinteistön suostumista katselmukseen ei voida lakimääräisesti velvoittaa. Katselmuksen suorittaa tärinäasiantuntija. Katselmus tulee järjestää siten, että kiinteistön omistajalla tai omistajan edustajalla sekä rakennustyön toteuttajalla on mahdollisuus osallistua tarkastukseen. (Räjäytystyöt, 2012, 317)

Yleensä katselmus antaa yleiskuvaa, eikä kaikkia halkeamia voida erottaa yleisesti käytetyn tarkasteluetaisyuden, 1,5 metrin päästä. Betonirakenteet mitoitetaan siten, että halkeamat pysyisivät alle 0,3 mm:n suuruisina. Näin pieniä halkeamia ei voida silmällä havaita, joten tarvittaessa on käytettävä tarkempia menetelmiä. Suomessa kiinteistöjen katselmuksen suoritetaan joko videoimalla tai piirtämällä. Molemmissa menetelmissä katselmuspöytäkirjoja täydennetään valokuvin. Piirtämismenetelmä on näistä havainnollisuutensa takia parempi. Katselmuksiasiakirjat säilytetään 10 vuotta räjäytystöiden loppumisesta. (Räjäytystyöt, 2012, 317, 318)

9 RÄJÄYTYSTEN TÄRINÄN MITTAAMINEN

9.1 Tärinän mitattavat suureet

Nykyään lähes poikkeuksetta käytetään tärinämittausta apuna louhittaessa asutuilla alueille tai teollisuuslaitosten läheisyydessä. Tärinämittauksilla voidaan myös valvoa, että räjäytyksen aiheuttaman tärinän voimakkuus pysyy rakennuttajan ja suunnittelijan antamien ohjearvojen alapuolella. Louhintaräjäytyksessä syntyvä tärinä on luonteeltaan epäsäännöllistä. Räjäytyksen synnyttämän liikkeen suuruus ja taajuus voivat vaihdella saman räjäytystapahtuman aikana huomattavasti. Hetkellä t tärinän voimakkuutta ja laatua voidaan kuvata käyttämällä neljää eri suuretta:

- v = heilahdusnopeus (mm/s)
- f = taajuus (1/s)
- A = siirtymän heilahdusamplitudi (mm)
- a = kiihtyvyys (m/s^2)

Räjäytystärinän pienuudesta johtuen yksiköiksi on valittu SI-järjestelmästä poikkeavat yksiköt. Louhintatärinä on luonteeltaan epäsäännöllistä, eli sisältää useita taajuuksia, erisuuruisia huippuja ja on kestoltaan lyhytaikaista, joten on tarkoituksenmukaista mitata tärinäsuureiden huippuarvoa. Yleensä huippuarvomittauksien tulosten käsittelyssä oletetaan yksittäisen aallon muodoltaan siniaallon kaltainen. Kaavojen 1 ja 3 (sivu 9) avulla voidaan laskea kahden tunnetun, samalla hetkellä mitatun suureen avulla muut samalla hetkellä mitatut tärinään vaikuttavat suureet (Räjäytystyöt, 2012, 319, 320)

Analyysimittauslaitteet (kuva 6) mittaavat ja tallentavat tärinätapahtuman kokonaisuudessaan, ja tulostavat yleensä mitattujen suureiden huippuarvot pitkittäiseen, poikittaiseen ja pystysuuntaan taulukkomuodossa. Suomessa nykyään käytössä olevista mittareista suurin osa on analyysimittareita. (Räjäytystyöt, 2012, 320)

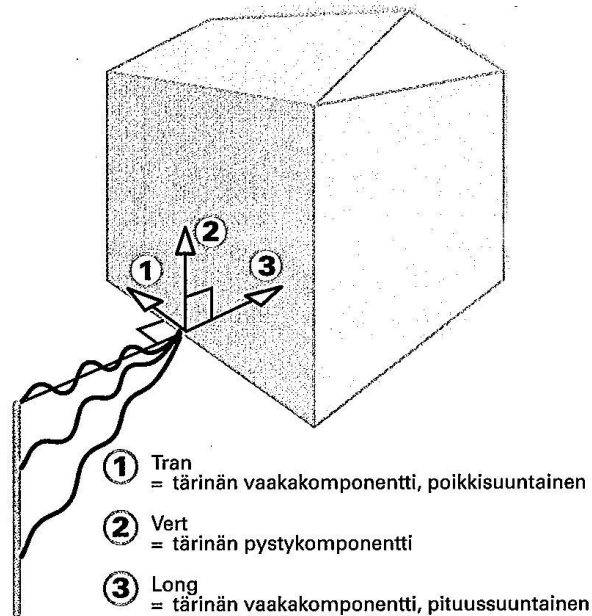


KUVA 6. Tärinämittari (Räjätyskonsultit - mittauskalusto 2015).

Tärinän ohjearvo ilmaistaan poikkeuksetta heilahdusnopeuden maksimiarvoina v_{maks} , [mm/s]. Heilahdusnopeus antaa parhaan kuvan tärinän vaarallisuudesta, koska tärinän nopeus on verrannollinen tärinän sisältämään energiaan. Nykyään vaurioitumisriskin kannalta on yhä enemmän korostunut tärinän taajuuden ja aallonpituuden merkitys. Hienomekaniikkaa sisältäville laitteille, esimerkiksi ATK-laitteille tai laboratorio- ja sairaalalaitteille, ohjearvot on määritelty suurimpana sallittuna kiihtyvyyden arvona a_{maks} , [m/s²]. Suurille pyöriviä koneenosia ja laakerointeja sisältäville koneistoille räjäytystärinän ohjearvo ilmaistaan heilahdusnopeuden v_{maks} ja siirtymän A_{maks} avulla. (Räjätystyöt, 2012, 320, 321)

9.2 Mittauspisteiden sijoittaminen

Rakennukseen vaikuttavaa tärinää mitatessa mittausanturit sijoitetaan rakennuksen pohjatasoon tai mahdollisimman lähelle sitä (kuva 7). Anturit pyritään sijoittamaan louhintakohdetta lähinnä olevaan rakennuksen osaan. Näin saadaan rakennukseen tuleva tärinä rekisteröityä mahdollisimman totuudenmukaisena, ennen kuin rakenteiden ominaisuudet monimutkaistavat mittaustulosten tulkintaa. Rakennuksen kantavasta rakenteesta mitatut tärinäarvot kuvaavat parhaiten koko rakennukseen vaikuttavan tärinän energian määrää ja ovat eniten vertailukelpoisia vertailtaessa eri rakennuksista mitattuja arvoja keskenään. (Räjätystyöt, 2012, 323)



KUVA 7. Mittausantureiden sijoittaminen rakenteeseen. (Räjäytystyöt, 2012, 323)

Herkkien laitteiden takia asennetut tärinämittausanturit tulisi sijoittaa siten, että ne antavat aina oikean kuvan räjäytysten aiheuttamasta tärinävaikutuksesta. Laitteiden käytöstä ja käyttäjien toiminnasta aiheutuu usein laitteen runkoon tärinää, joka häiritsee räjäytystärinän mittausta. Tällöin voidaan tehdä valvontamittaukset laitteiden lähellä olevista kantavista rakenteista. Näin saadaan laajempi käsitys vaikuttavasta tärinästä ja usein pystytään eliminoimaan laitteen käytöstä aiheutuvat tärinät. Jos mittaukset tehdään kantavista rakenteista, on usein syytä tarkistaa analyysimittauksin, kuinka paljon tärinää siirtyy laitteisiin ja kuinka paljon tärinäeristimet vaimentavat tärinää. (Räjäytystyöt, 2012, 323)

9.3 Käytettävissä oleva kalusto

Räjäytystärinän mittauksessa käytettävät anturit ovat lähes pelkästään geofoneja eli nopeusantureita. Geofonit ovat melko pieniä kooltaan, jolloin ne on helppo asentaa asianmukaisesti. Pysty- ja vaakageofonin rakenne on erilainen, joten geofoni valitaan mitattavan komponentin mukaisesti. Geofoni ei tarvitse mittausignaalin vahvistamista ennen signaalin siirtoa kaapelin välityksellä tiedonkeruuyksikköön. Käytettävissä olevien geofonien taajuusalue on yleensä noin $f = 5 - 1000$ Hz. Ominaisaajuus geofoneilla on usein alhainen, noin $f_0 = 5 - 10$ Hz, joka voi aiheuttaa merkittävää resonanssista johtu-

vaa virhettä. Geofonien signaalista saadaan selville sähköisesti tai digitaalitekniikkaan perustuen integroimalla siirtymät ja derivoimalla kiihtyvyydet. (Räjäytystyöt, 2012, 324)

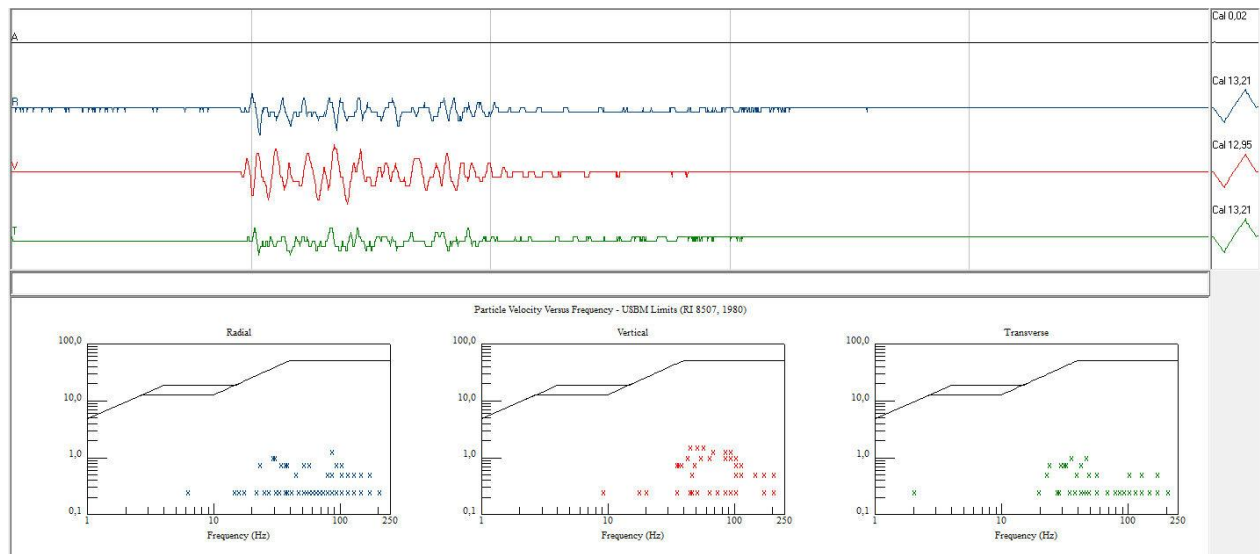
Akselerometrieni eli kiihtyvyyssantureiden käyttö räjäytystöissä on vähäistä. Niiden toiminta periaate perustuu pietsosähköisen elementin tilavuuden muutoksessa syntyvään vaihtojännitteeseen. Anturin taajuusvaste voi ylittää erittäin korkeisiin taajuuksiin, esimerkiksi 100 kHz. Anturin lähettämä signaali on syytä vahvistaa, ennen sen johtamista kaapelin välityksellä tiedonkeruuyksikköön. Kiihtyvyyssanturit ovat pienikokoisia, joten niiden ominaistaajuus saattaa olla hyvinkin korkea. (Räjäytystyöt, 2012, 324)

Siirtymäanturit ovat käytössä hankalia suuren kokonsa vuoksi. Lisäksi ne ovat kalliita. Siirtymäantureita ei käytetä louhintatärinän mittauksessa ollenkaan. (Räjäytystyöt, 2012, 324)

Mittausantureilta saatu signaali käsitellään tulostusta ja muistitallennusta varten tiedonkeruuyksikössä. Seismografit, eli tiedonkeruulaiteet, jaetaan kahteen pääluokkaan, huippuarvomittareihin ja analyysimittareihin. Laitteista voidaan saada selville tärinän maksimiarvot tai monipuolisempi kuva tärinän luonteesta. (Räjäytystyöt, 2012, 324)

Huippuarvomittarit mittaavat halutun tärinäsuureen siirtymä-, nopeus- tai kiihtyvyyshuippuarvoa jatkuvana mittauksena. Anturin ja tiedonkeruuyksikön toiminta on riippuvainen anturin toimintataajuusalueesta. Tiedonkeruuyksikkö seuraa geofonilta tulevaa jännitettä valitun pituisen mittausjakson aikana. Tällainen mittausjakso voi olla pituudeltaan esimerkiksi 10 sekuntia. Jos mittausjakson aikana laitteeseen asetettu ns. kynnyсарvo ylittyy, laite tallentaa mitatun huippuarvon ja kellonajan muistiinsa ja tulostaa sen paperille. Kynnyсарvo on laitteeseen asetettu raja-arvo, jota pienemmät tärinäarvot eivät rekisteröidy laitteen muistiin. Kynnyсарvon käytöllä rajataan pois merkityksettömät tärinäarvot, joita esiintyy kiinteistöjen ja laitteiden normaalin käytön aikana. Mittaus ei keskeydy tallennus- tai tulostustoimintojen aikana. (Räjäytystyöt, 2012, 324)

Analyysimittari seuraa mittausanturilta tulevia vaihtojännitteitä jatkuvasti. Kun jonkun mittaussuunnan kynnysarvo ylittyy, laite tallentaa valitun mittaisen ajan geofoneilta tulevia tietoja laitteen välimuistiin. Mittausjakson päätyttyä laite prosessoi koko mittausjakson käsittävän tiedon digitaalisena tiedostona tallennettavaan muotoon. Kuvassa 8 näkyy, miltä tärinädata näyttää tärinäohjelmalla avattuna tietokoneella. Mittaus keskeytyy prosessoinnin ja tulostuksen ajaksi. Toimintataajuusalue määräytyy usein laitteen näytteenottotaajuuden perusteella. Yleisesti toimintataajuusalueen alaraja on noin $f = 2 - 5$ Hz ja yläraja noin $f = 300$ Hz. (Räjäytystyöt, 2012, 325)



KUVA 8. Esimerkkikuva miltä näyttää tärinädata Seismograph Data Analysis -ohjelmalla katsottuna

10 TÄRINÄN SUURUUDEN ENNAKKOARVIOINTI

10.1 Tärinän suuruuteen vaikuttavat tekijät

Tärinäaallot etenevät ja vaimentuvat eritavoin väliaineesta riippuen. Kallion rakenteellisilla ominaisuuksilla ja kivilajilla on iso merkitys tärinän suuruuteen. Tärinä vaimenee voimakkaammin, jos se etenee kohtisuorassa kalliossa esiintyvää liuskeisuutta tai rakoi-lua vastaan, kuin silloin jos tärinä etenee samansuuntaisesti kallion suuntautuneisuuden kanssa. Väliaineen vaihtumisella, esimerkiksi kallioista soraan tai saveen, on suuri, usein tärinää vaimentava vaikutus. On kuitenkin tapauksia, joissa paksun savikerroksen läpi edennyt tärinä on heijastunut tai taittunut odottamattomasti. Tällaisia odottamattoman suuria tärinöitä esiintyy vain suuria reikäpanoksia, vähintään 20 kg, käytettäessä, ja sil-loin kun rakenteet on perustettu suoraan pehmeiköille. (Räjätystyöt, 2012, 325)

Tärinän johtavuuden lisäksi väliaineella on vaikutusta tärinäaallon taajuuteen f ja tärinä-aallon etenemisnopeuteen c . Räjätuksesta syntyvän tärinän voidaan katsoa olevan riip-puvainen seuraavista tekijöistä:

- kallioperän kivilajeista ja rakenteesta, tai materiaalin tärinänjohtavuudesta
- räjäytyskohteen ja mittauskohteen välisestä etäisyydestä
- yhdessä porareissä samanaikaisesti räjähtävän panoksen suuruudesta
- useamman samalla räjäytyskerralla räjähtävien reikäpanosten tärinän yhteisvai-kutuksesta
- räjäytyskentän ja rakenteen välisen kallion topografisista olosuhteista (pinnan vaihteluista)
- panosten sijoittelu suojeltavan kohteen suhteen, sauvamainen vai pistemäinen asento (Räjätystyöt, 2012, 325, 326)

Räjätystärinöiden heilahdusnopeuden ennakointiin on erilaisia matemaattisia malleja, jotka perustuvat kaavan 7 mukaiseen riippuvuuteen.

$$v = k \frac{Q^m}{R^n} \quad (7),$$

jossa

v = heilahdusnopeus (mm/s)

k = kalliovakio, joka kuvaa kallion tai muun väliaineen tärinän johtavuutta

Q = momentaaninen panos, eli kerralla räjähtävä räjähdysainemäärä

R = etäisyys (m)

Kun useampia reikäpanoksia räjäytetään samalla kerralla, Langeforsin ja Kihlströmin mukaan $m = \frac{1}{2}$ ja $n = \frac{3}{4}$, näin ollen kaava 7 saa muodon

$$v = k \sqrt{\frac{Q_m}{R^{1,5}}} \quad (8)$$

Kalliovakion maksimiarvo on pääsääntöisesti $k = 400$. Pienillä etäisyyksillä, $R < 10$ m, saattaa suurista taajuuksista, $f > 100 - 150$ Hz, johtuen k -arvo olla suurempi kuin $k = 400$. Tällöin voidaan tärinäasiantuntijan päätöksellä tärinäraja-arvona käyttää heilahdusnopeuden sijaan siirtymän heilahdusamplitudia (A). Taulukossa 8 on taulukkomuodossa momentaaninen räjähdysainemäärä ja tärinänjohtavuuskerroin k etäisyyden ja heilahdusnopeuden funktiona. Roudan vaikutuksesta voivat heilahdusnopeuden arvot nousta 1,2 – 1,5-kertaisiksi. (Räjätystyöt, 2012, 326)

Muita tekijöitä, jotka vaikuttavat louhintatärinään:

- Kentän ominaisporauksen ja ominaispanostuksen suuruus. Tärinöitä minimoitaessa edun ja reikävälin pitää olla niin pieniä, että kevyellä panostusasteella ja pienillä reikäpanoksilla päästään irtoamisen kannalta sopivaan ominaispanostukseen. Asutulla alueella ominaispanostus on usein $q < 0,5 \text{ kg/m}^3$, jos ominaispanostus on tätä suurempi, on täkkäystä tehostettava.
- Rakennuksen sijainti kentän heittosuuntaan nähden, kentän takana tärinät ovat usein suurempia kuin kentän sivuilla (Räjätystyöt, 2012, 328)

TAULUKKO 8. Momentaaninen räjähdysainemäärä ja värinäjohtavuuskerroin k etäisyyden ja heilahdusnopeuden funktiona (Nitro Consult, Sweden, Räjätystyöt, 2012, 328)

Heilahdusnopeus								
Etäisyys	9	12	18	25	35	50	70	k-kerroin
Samanaikaisesti räjähtävä räjähdysainemäärä Q_m [kg]								
5	-	-	-	0,04	0,08	0,17	0,34	400
10	-	0,04	0,08	0,16	0,32	0,65	1,30	350
15	0,05	0,09	0,20	0,40	0,80	1,60	3,10	300
20	0,11	0,21	0,45	0,89	1,75	3,60		250
25	0,25	0,45	1,00	1,95	3,80	7,80		200
30	0,59	1,10	2,40	4,60	9,00			150
35	1,10	1,90	4,30	8,20	16,20			125
40	2,10	3,60	8,20	15,80				100
45	3,00	5,40	12,10					90
50	4,50	8,00	17,90					80
75	12,50	22,10						65
100	32,40							50

10.2 Toiminta, jos värinöitä ei mitata

Jos louhinnan aiheuttamia värinöitä ei syystä tai toisesta mitata edellytetään, että:

- Louhintakentät ovat niin pieniä, että voidaan noudattaa taulukon 9 mukaisia arvoja, eikä ole tarvetta tehdä värinävaikutusten arviointia tai värinämittauksia normaalissa laajuudessa
- Lähimmät varottavat kohteet ovat vähintään 20 m etäisyydellä, ja alle 100 m päässä ei ole värinälle erityisen herkkiä laitteita (Räjätystyöt, 2012, 327)

TAULUKKO 9. Suurimmat momentaaniset räjähdysainemäärät, kun etäisyydet varotta-
viin kohteisiin ovat R, ja niiden rakennekerroin on vähintään 0,85. (Räjäytystyöt, 2012,
327)

Etäisyys R [m]	Samanaikaisesti enintään räjähtävä räjähdysainemäärä Q_m [kg]
20	1,4
25	2,0
30	2,6
40	4,0
50	5,5
60	7,5
70	9,5
80	11,5
90	14,0
100	16,5
120	21,0
150	29,0
200	45,0

Ennen työn aloitusta tehdään suppea värinävaikutusten arviointi ja lisäksi tiedotetaan työstä 50 – 100 m säteellä oleviin rakennuksiin. Lähimmät rakennukset, etäisyys alle 50 – 100 m, katselmoidaan, mutta värinämittareita ei asenneta, ellei rakennuksia ole perustettu pehmeiköille. (Räjäytystyöt, 2012, 327)

10.3 Värinän yhteisvaikutus

Nykytiedon mukaan 8 ms ja yli 8 ms aikavälein syttyvien panosten voidaan katsoa vaikuttavan eriaikaisesti, jos varottavat rakennukset sijaitsevat kalliolla tai kiinteällä moreenilla. Tällöin heilahdusnopeuden huippuarvoa vastaava taajuuden f arvo on noin $f = 30$ Hz. Suomen kovat kivilajit aiheuttavat sen, että räjäytettäessä lähellä kalliolle perustettuja rakenteita, saattaa jopa 5 – 2 ms aikaväli olla riittävä. Heilahdusnopeuden huippuarvoa vastaava taajuus f on tällöin noin $f \geq 100$ Hz. (Räjäytystyöt, 2012, 329)

Paksujen sedimenttikerrosten ja pehmeiköiden päälle perustettuihin taloihin saattaa suurilla etäisyyksillä suurista räjähdyksistä levitä värinää, jonka taajuus on huomattavasti alle 30 Hz. Tällöin aikavälin panosten syttymisen välillä täytyy olla suurempi. Esimer-

kiksi jos taajuus on noin $f = 4 - 8$ Hz, tulee panosten aikavälin olla noin 60 ms tai enemmän. (Räjäytystyöt, 2012, 329)

Suomessa ennen vuotta 2008 painetuissa oppikirjoissa on esitetty pienennyskertoimia samalla nallinumerolla syttyvien panosten yhteisvaikutuksille. Tämä perustui siihen, että samalla numerolla syttyvät nallit räjähtävät hajonnasta johtuen hieman eri aikaan. Hidasteet ovat kuitenkin tarkentuneet, ja varsinkin alkupään nallinumeroiden hidasteiden osalta pienentynyt lähes olemattomaksi. Nallivalmistajat ovat ilmoittaneet, ettei hajontaan perustuvaa pienennyskerrointa saa enää käyttää. (Räjäytystyöt, 2012, 329)

10.4 Momentaanisen räjähdysainemäärän rajoittaminen

Momentaanista räjähdysainemäärää voidaan rajoittaa muun muassa seuraavilla tavoilla

- räjäytetään pengelouhinnassa pengeri kahdessa tai useammassa osassa
- tihennetään taulukkoarvojen mukaista porausta, näin ollen panostusaste ja reikäpanos saadaan pienemmäksi
- jaetaan reikäpanos hiekkavälitetyllä useampaan osaan, ja laitetaan panokset räjähtämään eri aikaan (Räjäytystyöt, 2012, 329)

10.5 Skaalattu etäisyys

Skaalattu etäisyys kuvaa suhteutettua etäisyyttä louhittavan kentän ja tärinämittarin välillä. Skaalatun etäisyyden arvossa on otettu huomioon räjäytettävän kentän momentaaninen panos. Momentaanisen panoksen suuruudesta riippuen skaalattu etäisyys voi olla joko suurempi tai pienempi, kuin mittaamalla saatu kentän ja mittarin välinen etäisyys. Momentaanisen panoksen ollessa 1,0 kg, on skaalattu etäisyys sama kuin mitattu etäisyys, jos momentaaninen panos on alle 1,0 kg, skaalatun etäisyyden arvo on suurempi kuin mitattu etäisyys. Vastaavasti, jos panos on yli 1,0 kg, on skaalattu etäisyys suurempi kuin mitattu etäisyys.

Louhinnoissa, joissa panos on sylinterimäinen, paras tärinän valvontatapa on määrittää odotettavissa oleva heilahdusnopeus v tai kiihtyvyys a skaalatun etäisyyden kaavaan perustuvien kuvien avulla. Skaalaus tulisi tehdä yhden mittauspisteen suhteen kerral-

laan. Hyvä tapa on määrittää räjäytyksestä aiheutuva heilahdusnopeus v tai kiihtyvyys a kuvien 9, 10 ja 11 esittämällä tavalla, nämä kuvat perustuvat skaalatun etäisyyden kaavoihin, jotka ovat

$$v = k\left(\frac{R}{Q_m}\right)^\alpha \quad (9)$$

$$a = k\left(\frac{R}{Q_m}\right)^\alpha \quad (10),$$

joissa

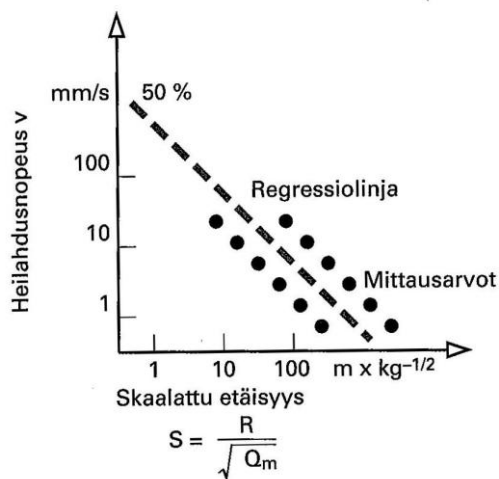
v = heilahdusnopeuden huippuarvo (mm/s)

a = kiihtyvyyden huippuarvo (m/s^2)

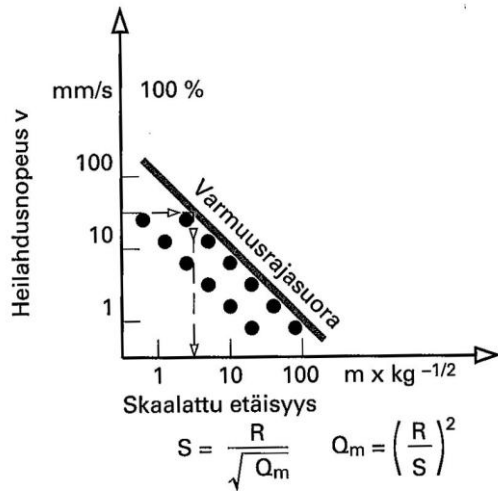
R = etäisyys (m)

Q_m = samanaikaisesti räjähtävä räjähdysainemäärä (kg)

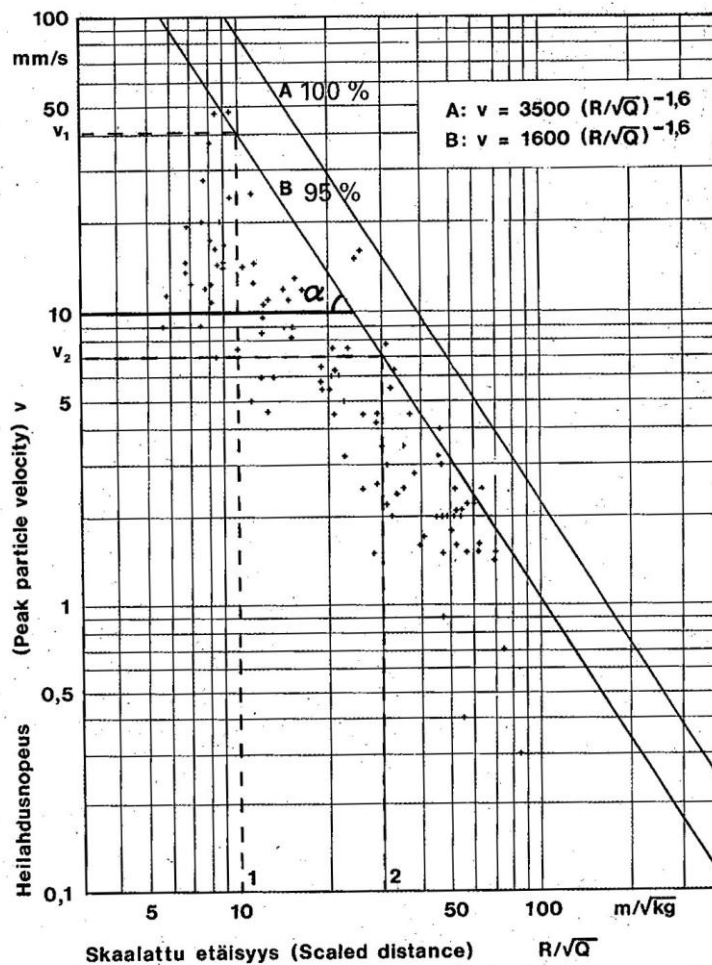
k ja α = vaihtelevat perustamisolosuhteista, räjähdyskentän geometriasta ja räjähdysainetyypistä riippuen (Räjäytystyöt, 2012, 329)



KUVA 9. Regressiosuoran piirtäminen mittaustulosten perusteella, 50% mittaustulokista on regressiolinjan alapuolella. (Räjäytystyöt, 2012, 331)



KUVA 10. Raja-arvon suuruuden ja regressiosuoran leikkauspisteen avulla määräytyy suhteen minimiarvo, 95-80% mittaustuloksista on varmuussuoran alapuolella, tästä voidaan laskea Q_m , kun etäisyys R tunnetaan. (Räjätystyöt, 2012, 331)



KUVA 11. Tärinän heilahdusnopeus v skaalatun etäisyyden s funktiona. Suoran A alapuolella on 100% tuloksista ja suoran B alapuolella 95%. (Räjätystyöt, 2012, 331)

Parhaiten voidaan määrittää tekijät k ja α , kun räjäytetään aluksi niin pienillä panoksilla koeräjäytykset, etteivät tärinäarvot varmasti ylity. Koeräjäytyksistä rekisteröidään heilahdusnopeuden v huippuarvo, ja se sijoitetaan kuvien 7, 8 ja 9 mukaisiin diagrammeihin skaalatun etäisyyden (R/\sqrt{Q}) funktiona ja regressiosuora piirretään mitta-arvojen mukaan. (Räjäytystyöt, 2012, 331)

Rakennukselle tai herkälle laitteelle riskianalyysin perusteella määrätty raja-arvo sijoitetaan diagrammiin, ja vahinkoraja-arvo ja regressiosuoran leikkauspiste on pienin sallittu suhteen (R/\sqrt{Q}) arvo S (skaalattu etäisyys). Kun tunnetaan etäisyys R , pystytään laskemaan sallittu momentaaninen räjähdysainemäärä kaavoista 11 ja 12.

$$S = \frac{R}{\sqrt{Q_m}} \quad (11)$$

$$Q_{m=} = \left(\frac{R}{S}\right)^2 \quad (12)$$

Kääntäen saadaan suurin mahdollinen heilahdusnopeuden v arvo, kun skaalattu etäisyys S tunnetaan. (Räjäytystyöt, 2012, 331)

Regressiosuoran perusteella määrätty momentaaninen räjähdysainemäärä johtaa usein tärinäarvojen ylittymiseen. Tämän takia ”raja-arvosuora” piirretään mitattujen pisteiden yläpuolella niin, että suoran alapuolella on halutusta varmuudesta riippuen 80 – 95 % pisteistä. Jotta suoraa voidaan käyttää luotettavasti, mittaustuloksia tulisi olla noin 50. Jos koeräjäytykset on tehty niin, että kallio ei irtoa, on mahdollista käyttää 95 % käytäntöä. (Räjäytystyöt, 2012, 332)

Jos kallio ei irtoa, tärinä on suurempi kuin täydelliseen kallion irtoamiseen johtavassa räjäytyksessä. Tämän voi aiheuttaa esimerkiksi jonkin panoksen räjähtämättä jääminen. Jos kallio on irronnut hyvin koeräjäytyksissä, voidaan käyttää 80 % -käytäntöä. Silloin otetaan huomioon panosten räjähtämättömyydestä johtuvat suuremmat tärinät, jotka aiheuttaa räjähtämättömän panoksen takana olevat panokset. (Räjäytystyöt, 2012, 332)

10.6 Momentaaninen räjähdysainemäärä ja etäisyys

Momentaanisen räjähdysainemäärän käsite on epätäsmällinen, koska panosten yhteisvaikutus muuttuu etäisyyden räjäytyspisteen ja mittauspisteen välillä muuttuessa. Matallilla taajuuksilla panosten välille syntyy helpommin yhteisvaikutuksia kuin korkeilla taajuuksilla. Yhteisvaikutus riippuu seuraavista asioista:

- syttymisaikavälistä
- panosten suuntauksesta sekä niiden välisestä etäisyydestä
- värinäaallon etenemisnopeudesta
- värinän kestoajasta
- tarkkailupisteen ja panoksen välisestä etäisyydestä
- räjähdysnopeudesta

Nykyään jokainen panos voidaan sytyttää eriaikaisesti lyhyhidasteaikaväliä käyttäen. Tämä onnistuu EXEL-sytytystä ja elektronisia nalleja käytettäessä. Näissäkin tapauksissa suurilla etäisyyksillä voi panosten välille syntyä yhteisvaikutuksia. (Räjäytystyöt, 2012, 332)

11 TULOSTEN KÄSITTELY

11.1 Tulosten kerääminen

Keräsin tuloksia tilaajan työmailta noin kahden kuukauden ajan keväällä ja kesällä 2015, huhtikuun lopusta kesäkuun loppuun. Tuloksia tuli kaikkiaan kahdeksalta eri työmaalta, jotka sijaittivat Nokialla, Kangasalla, Kämmenniemessä, Ylöjärvellä ja Tampereella. Työmailla oli käytössä 1 – 3 tärinämittaria, tuloksia tuli yhteensä 103 kappaletta. Työmaalla kirjasin ylös työmaan osoitteen, jokaisen kentän momentaanisen räjähdysainemäärän, etäisyyden mittariin tai mittareihin sekä räjäytysajan. Osa etäisyyksistä mitattiin perinteisesti mittanauhalla, ja osa taas hieman helpotetusti laseretäisyydsmittarilla.

Tärinämittarit olivat analyysimittauslaitteita, ja niiden oikeasta asennuksesta huolehti Taratest Oy. Taratest lähetti mittareiden tallentamat datat omalle koneelleni, ja tulokset saatuani kävin Taratest:in tiloissa opettelemassa Seismograph Data Analysis – ohjelman käyttöä. Ohjelma näyttää paljon erilaisia tietoja räjäytyksestä, mutta tässä työssä keskityin kolmen eri suunnan tärinäarvoihin. Tuloksista tein viisi eri kuvaajaa.

11.2 Kohteiden esittely

Kohteiden lähtötiedot on esitelty taulukossa 10. Lähtötiedot sisältävät vain ilman tutkimuksia havaittavia tietoja. Maaperätutkimukset tai muut tarkemmat tiedot eivät ole tilaajan tiedossa.

TAULUKKO 10. Kohteiden lähtötiedot

Kohde	Sijainti	Louhintatyyppi	Ympäristö	Rakennuskannan ikä
Linnakekatu	Nokia	Avolouhinta	Pientaloalue	alle 10 vuotta
Kirkkoniementie	Kangasala	Kanaali	Loma-asuntoalue	yli 50 vuotta
Lehtomäenkuja	Kämmenniemi	Avolouhinta + kanaali	Pientaloalue	10 – 20 vuotta
Metsästäjäntie	Ylöjärvi	Avolouhinta	Pientaloalue	alle 10 vuotta
Finninmäenkatu	Tampere	Avolouhinta	Pientaloalue	10 – 20 vuotta
Mursketie	Kangasala	Kanaali	Teollisuusalue	rakenteilla
Harjutie	Kangasala	Avolouhinta	Pientaloalue	10 – 20 vuotta
Töyhtöiaisentie	Ylöjärvi	Avolouhinta	Pientaloalue	alle 10 vuotta

Taulukkoon 11 on kerätty arvot, joilla skaalattu etäisyys on määritetty. Skaalatun etäisyyden määrittämiseen tarvittiin kentän momentaaninen panos ja etäisyys tärinämittariin. Työmailla tärinämittareita oli 1 – 3 kpl, taulukossa 11 arvo x viittaa siihen, että kyseistä mittaria ei ole asennettu tai mittari on sijainnut niin kaukana kentästä, että se ei ole rekisteröinyt tärinää.

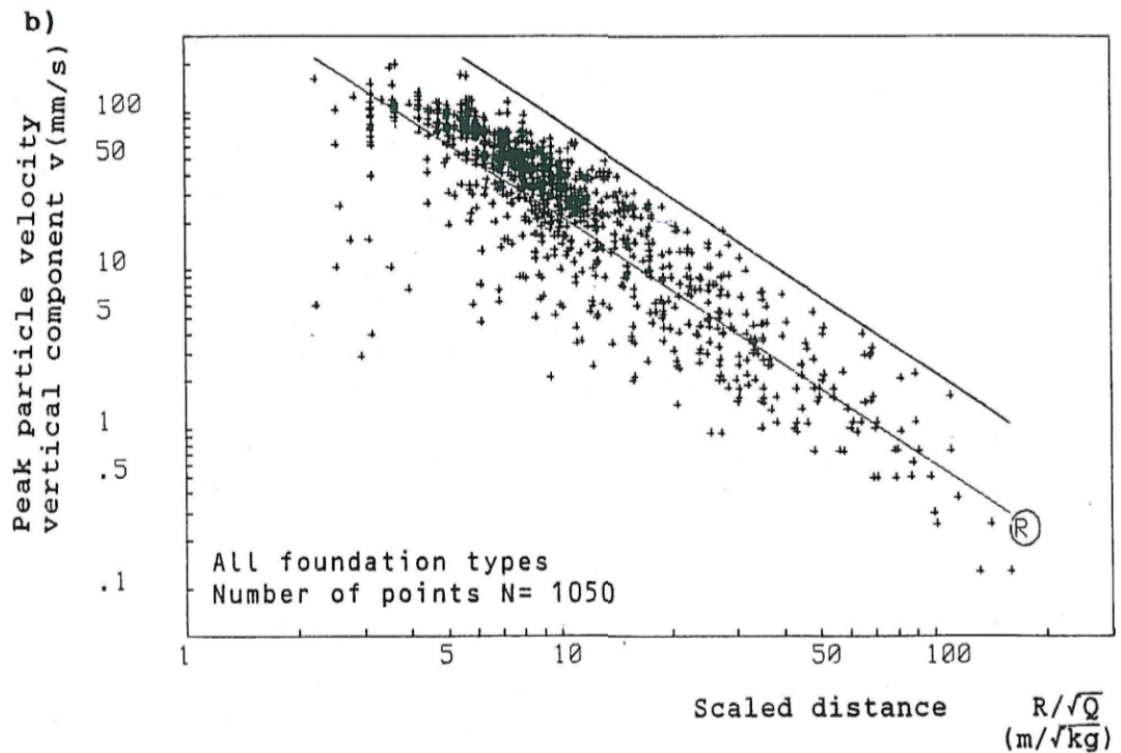
TAULUKKO 11. Skaalattujen etäisyyksien määrittämiseen käytetyt arvot

	Q _m (kg)	Mittari 1 (m)	Skaalattu etäisyys mittariin 1 (m)	Mittari 2 (m)	Skaalattu etäisyys mittariin 2 (m)	Mittari 3 (m)	Skaalattu etäisyys mittariin 3 (m)
Linnakekatu	1,35	27	23,2	x	x	x	x
	2,5	25,3	16	x	x	x	x
	2,5	25,2	15,9	x	x	x	x
	1,8	24,9	18,6	x	x	x	x
	7,2	33	12,3	x	x	x	x
	10,4	29,8	9,2	x	x	x	x
Kirkkoniementie	0,5	23	32,5	x	x	x	x
	1,1	20,2	19,3	x	x	x	x
	3,6	18,2	9,6	x	x	x	x
	1,6	15,2	12	x	x	x	x
Lehtomäenkuja	1,5	51	x	32	26,1	x	x
	1,4	51	43,1	27,4	23,1	x	x
	1,5	51	41,6	24,4	19,9	x	x
	1,64	70	54,7	22	17,2	x	x
	1,5	69	x	18,5	15,1	x	x
	2,1	69	47,6	18,2	12,6	x	x
	1,2	76	x	15,4	14,1	x	x
	1,1	51	48,6	23,7	22,6	x	x
	3,0	53,5	30,9	20,8	12	x	x
	3,4	57,5	31,2	17	9,2	x	x
	2,44	53	x	15	9,6	x	x
Metsästäjäntie	1,4	15	12,7	35	29,6	29	24,5
	1,8	22	16,4	28,5	21,2	26	19,4
	1,35	30	25,2	23,8	20,5	33,3	28,7
	1,3	18,6	16,3	38,8	34	42	36,8
	1	23	23	31	31	39	39
	1,8	17	12,7	37	25,6	45	33,5
	1,8	31,3	23,3	23	17,1	34	25,3
	2,7	31,3	19	26	15,8	36	21,9
	1,5	18	14,7	37	30,2	39	31,8
	2,4	34	21,9	22,5	14,5	36,8	23,8
Finninmäenkatu	0,9	5,4	5,7	30,1	26,9	x	x
	0,9	3,9	4,1	29,1	30,7	x	x
	0,7	3,9	4,7	26,3	31,4	x	x
	0,85	4	4,3	25,9	28	x	x

	0,9	4,7	5,0	22,6	23,8	x	x
	1,1	7,2	6,7	20,4	19,5	x	x
	1,4	10,2	8,6	20,3	17,2	x	x
	0,85	8,3	9	15,8	17,1	x	x
Mursketie	0,7	11	13,4	x	x	x	x
	1,2	17	15,5	x	x	x	x
	0,8	24	26,8	x	x	x	x
Harjutie	1,25	17	15,2	10	8,9	x	x
	0,75	18,9	21,8	13	15	x	x
	1,45	16	13,3	11,4	9,5	x	x
	1,1	17,2	16,4	9	8,6	x	x
	1,35	14	12,4	14	12,4	x	x
	0,9	14,6	15,4	14	14,8	x	x
	1,0	12	12	16	16	x	x
Töyhtötiaisentie	1,2	22,3	20,4	19,5	17,8	x	x
	1,2	21,7	19,8	18,6	17	x	x
	1,2	20,4	18,6	16,4	15	x	x
	0,8	27,6	30,9	28	31,3	x	x
	0,9	32	33,7	31,6	33,3	x	x
	0,6	40,6	52,4	30	38,7	x	x

11.3 Heilahdusnopeus skaalatun etäisyyden funktiona

Kuvaajat tehtiin jokaiselle tärinän kolmelle suunnalle. Raimo Vuolio on laatinut pystysuuntaiselle tärinäkomponentille kuvaajan (kuva 12). Vuolion kuvaajassa on määritetty tärinälle maksimiraja sekä tulosten keskiarvo. Olen verrannut omia tuloksiani juuri tähän kuvaajaan. Vaikka Vuolion laatima kuvaaja on tehty vain tärinän pystysuuntaiselle komponentille, vertaan siihen jonkin verran myös omia vaakasuuntaisten komponenttien tärinäarvojani.



KUVA 12. Raimo Vuolion laatima kuvaaja heilahdusnopeudesta skaalatun etäisyyden funktiona (Acta Polytechnica Scandinavica – Civil engineering and building construction series No. 95, 1990)

Skaalatun etäisyyden arvot lasketaan kaavoilla 9 ja 10. Tässä työssä en laskenut kaavoja auki käsin, vaan kaavat syötettiin suoraan Microsoft Excel –ohjelmaan, joka laski arvot suoraan.

$$v = k\left(\frac{R}{Q_m}\right)^\alpha \quad (9)$$

$$a = k\left(\frac{R}{Q_m}\right)^\alpha \quad (10),$$

joissa

v = heilahdusnopeuden huippuarvo (mm/s)

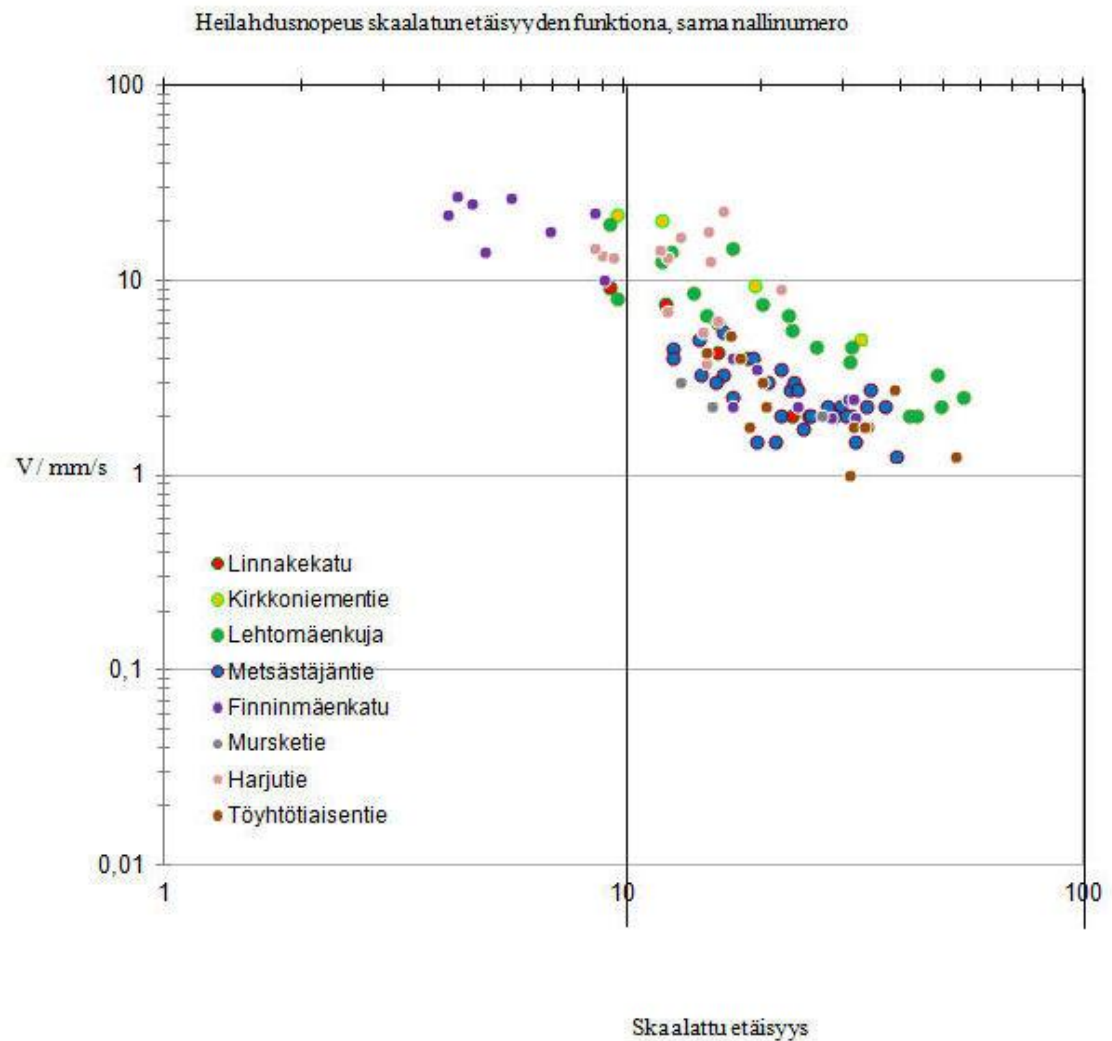
a = kiihtyvyyden huippuarvo (m/s^2)

R = etäisyys (m)

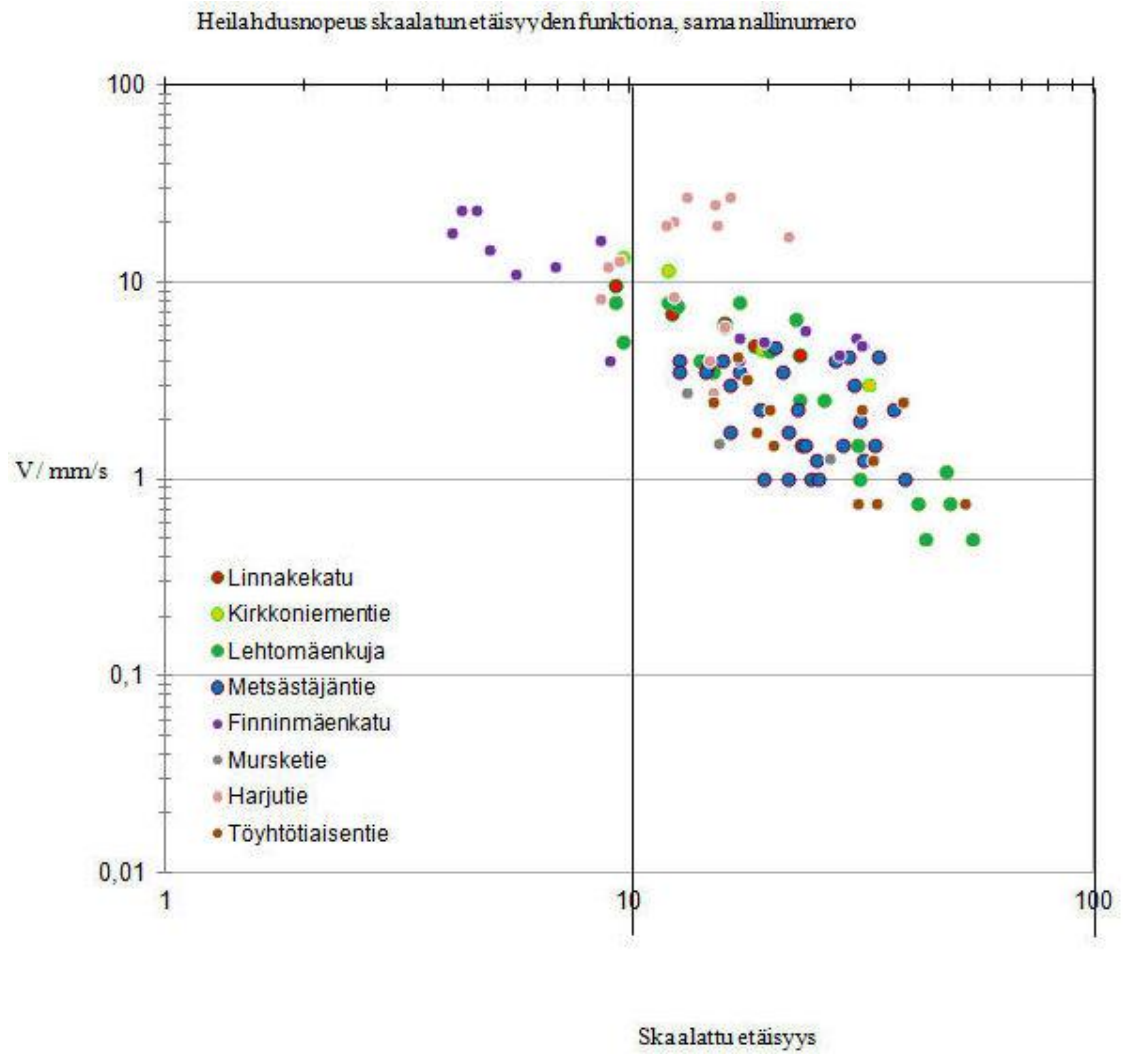
Q_m = samanaikaisesti räjähtävä räjähdysainemäärä (kg)

k ja α vaihtelevat perustamisolosuhteista, räjähdyskentän geometriasta ja räjähdysainetyypistä riippuen (Räjäytystyöt, 2012, 329)

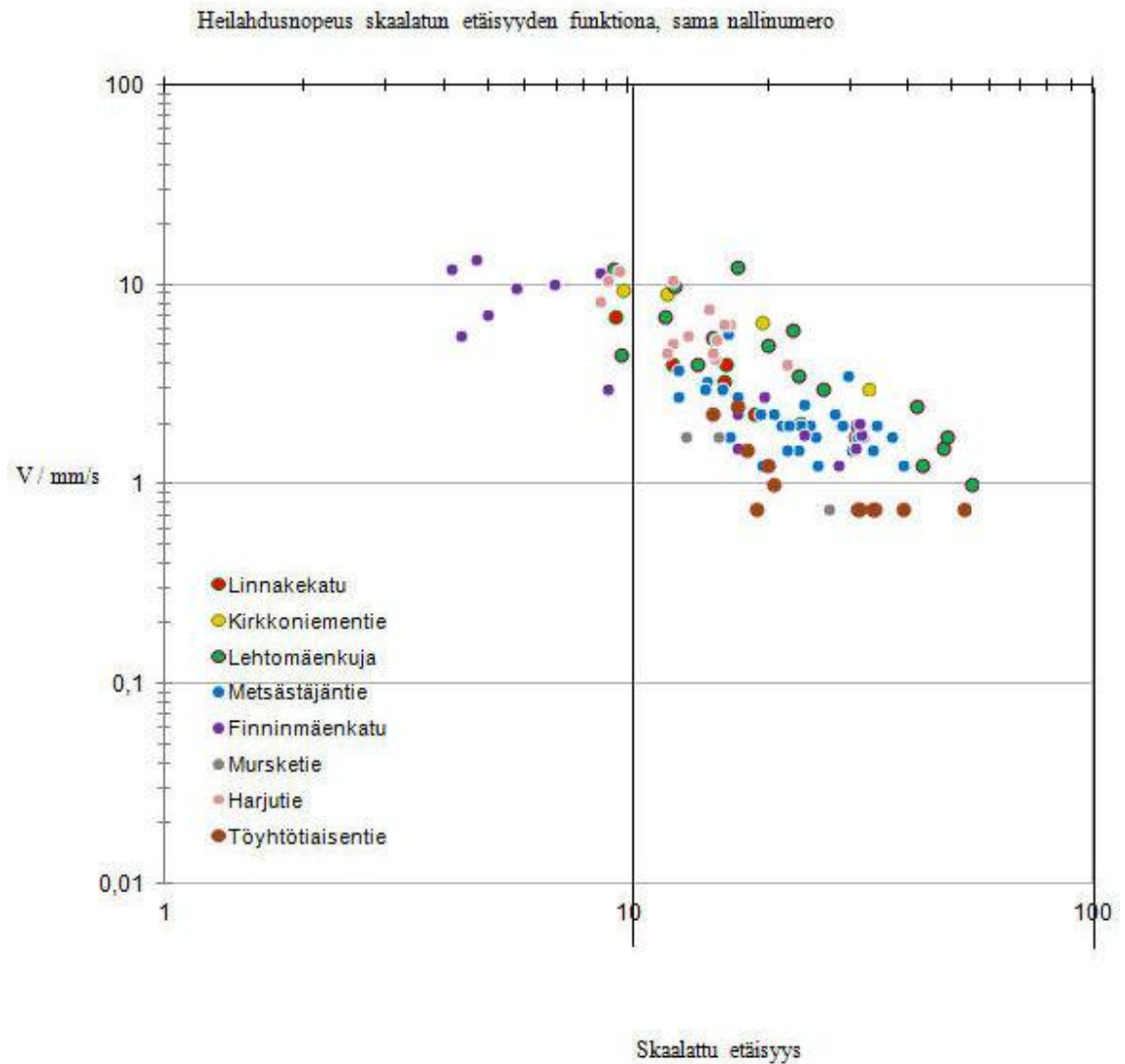
Laatimissani kuvaajissa (Kuva 13, Kuva 14 ja Kuva 15) jokainen työmaa on esitetty erivärisellä pallolla. Värien selitykset ovat jokaisen kuvaajan vasemmassa alalaidassa. Jokainen yksittäinen pallo esittää yksittäisen räjäytyksen huippuarvoa skaalatun etäisyyden suhteen.



KUVA 13. Tärinän pystysuuntaisen komponentin kuvaaja (vertical)

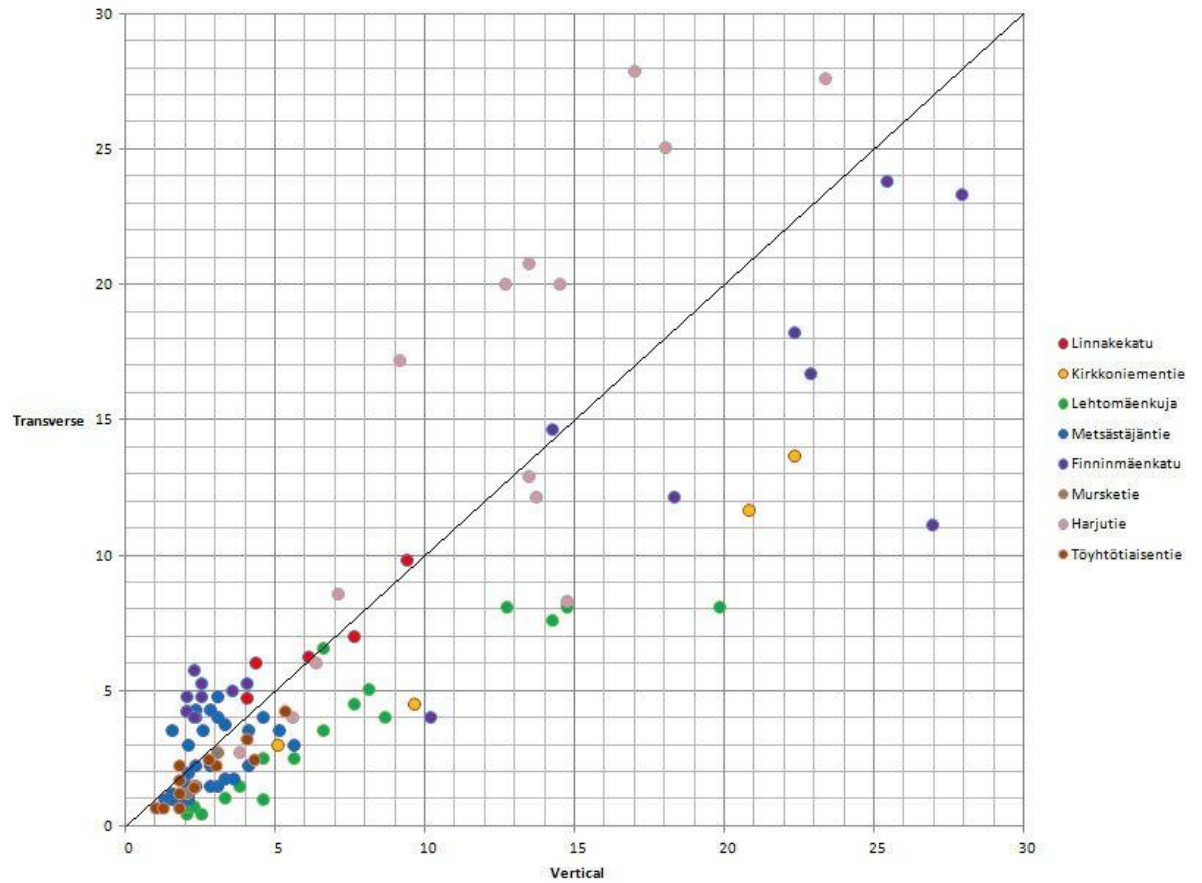


KUVA 14. Tärinän vaakasuuntaisen (poikkisuuntaisen) komponentin kuvaaja (transverse)

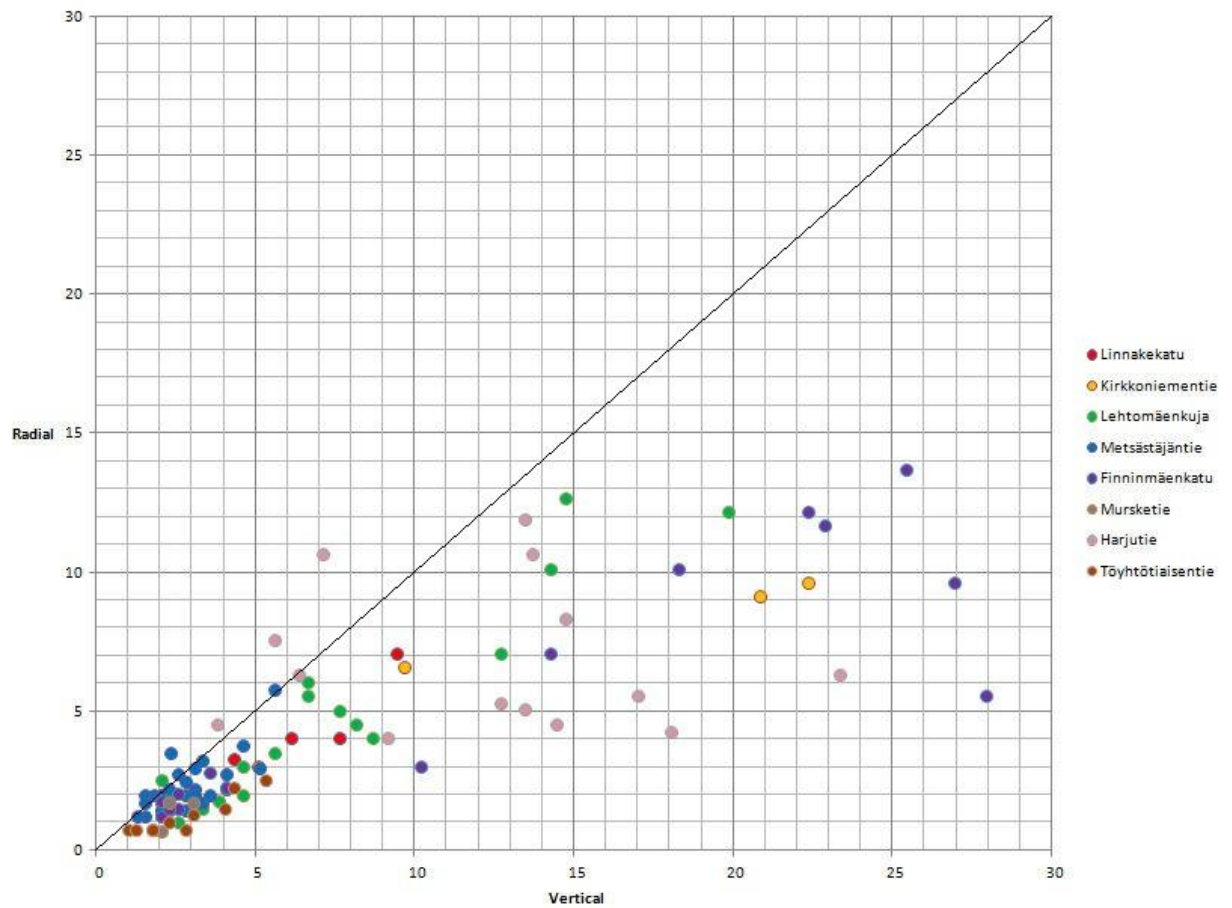


KUVA 15. Tärinän vaakasuuntaisen (pituussuuntaisen) komponentin kuvaaja (radial)

Kuvien 13, 14 ja 15 lisäksi tein kaksi muuta kuvaajaa (kuvat 16 ja 17), joissa vertailin pystysuoraa heilahdusnopeuden arvoa molempiin vaakasuuntaisiin heilahdusnopeuksien arvoihin. Myös kuvaajissa 4 ja 5 eri työmaat on esitetty eri värein. Kuvaajan poikki 45 asteessa kulkeva suora kuvaa linjaa, jolle pisteet sijoittuisivat jos molemmat tärinäarvot olisivat yhtä suuret.



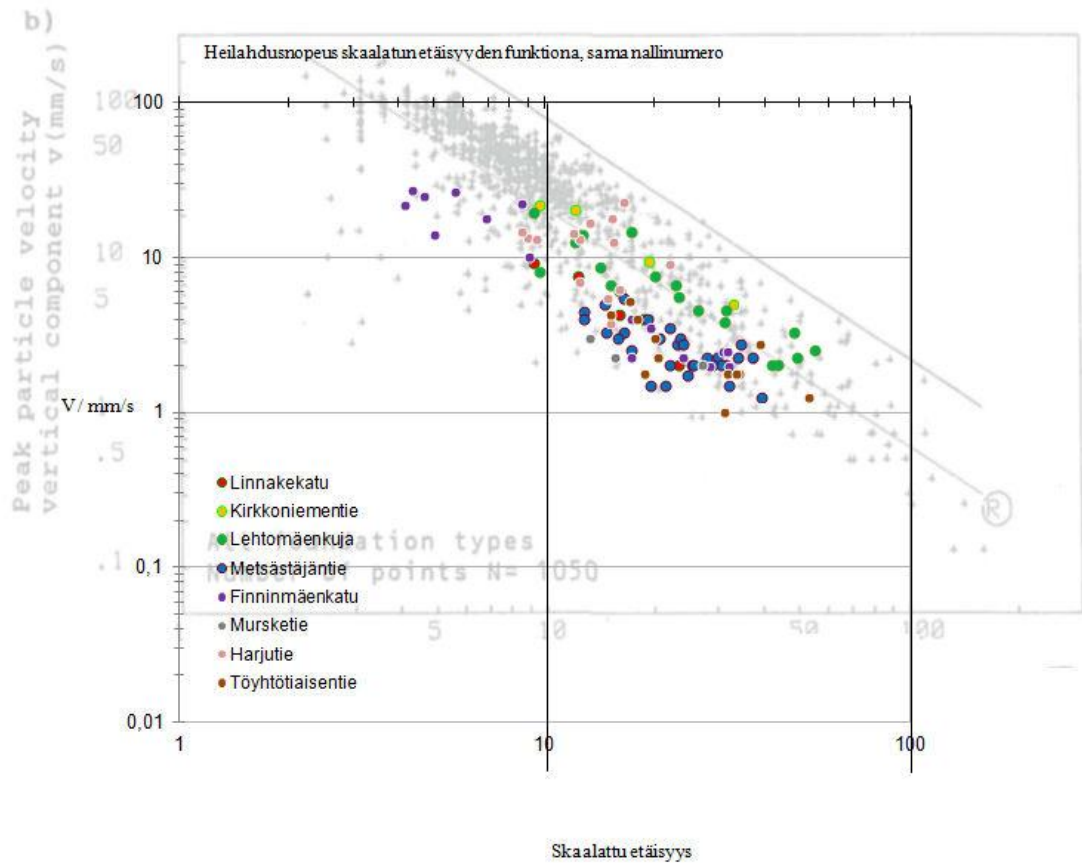
KUVA 16. Heilahdusnopeuksien vertailu pystysuorien ja vaakasuuntaisten (poikkisuuntaisten) arvojen välillä (Vertical – Transverse)



KUVA 17. Heilaudusnopeuksien vertailu pystysuorien ja vaakasuuntaisten (pituussuuntaisten) arvojen välillä (Vertical – Radial)

11.4 Tulosten tulkinta

Verrattaessa tuloksia Raimo Vuolion kuvaajaan (kuva 12) yksikään omista tuloksista ei ylitä määritettyä maksimirajaa. Tämän huomaa hyvin vertailukuvasta (kuva 18), jossa pystysuuntaisen tärinän kuvaajan kanssa samassa kuvassa on Vuolion laatima kuvaaja. Tulokset ovat pääosin Vuolion tulosten keskiarvorajan alapuolella. Tämä johtuu luultavasti siitä, että omat tulokseni on saatu kentistä, joiden koko ja ominaispanostus olivat melko pieniä.



KUVA 18. Vertailukuva Raimo Vuolion kuvaajan ja saaduista tuloksista tehdyn kuvaajan välillä

Kuvaajia tutkiessa huomattiin, että saman työmaan tulokset ovat suhteellisen lähellä toisiaan. Tämän voi aiheuttaa se, että kivilaatu yhden työmaan sisällä on ollut suhteellisen samanlaista. Esimerkiksi Kirkkoniementieltä (keltaiset pallot) saadut tulokset ovat suurimpia saatuja. Siellä kallion laatu oli hyvin ehjää ja kovaa. Talo oli yli sata vuotta vanha kallioperusteinen huvila. Louhittavana tällä työmaalla oli johtokanaali, joten syvimät reiät olivat yli parimetrisiä. Tämän takia saadut tärinäarvot olivat melko korkeita.

Vastaavasti alimmat arvot saatiin Töyhtötiaisentieltä. Alueena työmaan ympäristö oli uutta pientaloaluetta, johon tyhjälle tontille rakennettiin uutta taloa. Läheiset talot eivät olleet kallioperusteisia. Tontilta louhittiin muutamia pieniä kallion kärkiä, mutta reikäsyvyys ei ollut juuri metriä enempää. Kallio oli laadultaan jonkin verran rakoilevaa ja vähän pehmeämpää. Töyhtötiaisentiellä etäisyydet läheisiin rakennuksiin olivat suurempia kuin Kirkkoniementiellä, mutta skaalatulla etäisyydellä tarkastellessa tulokset ovat kuitenkin vertailukelpoisia.

Vertaillessa eri tärinäsuuntien kuvaajia huomataan, että jokaisen tärinäsuunnan arvot ovat suunnilleen samassa kohtaa kuvaajaa. Kaikki kolme kuvaajaa ovat hyvin lähellä toisiaan, vaikka jokaisessa kuvaajassa on kuvattu tärinän eri komponentti.

Tuloksia käsitellessä huomattiin myös, että pystysuuntaisen tärinän arvo ei ollutkaan yleensä suurin. Vain alle puolessa tuloksista pystysuuntaisen tärinän arvo oli suurin, muissa tapauksissa suurin oli toinen vaakasuuntaisista tärinän komponenteista. Tuloksista, joiden suurin tärinän arvo tuli vaakasuuntaisesta tärinästä, hieman yli puolessa tapauksista suurin oli poikittainen vaakasuuntainen tärinä. Tuloksista kävi myös ilmi, että lähes jokaisessa saadussa tuloksessa pystysuuntaisen ja toisen vaakasuuntaisen tärinän arvo olivat hyvin lähellä toisiaan. Kolmas arvo oli huomattavasti näitä kahta pienempi. Tämä johtuu myös todennäköisesti siitä, että kentät ja ominaispanostukset olivat hyvin pieniä verrattuna Vuolion käyttämiin kenttäkokoihin ja ominaispanostuksiin.

Tärinäarvoja vertailtiin myös keskenään. Sekä vertical-transverse-kuvaajasta että vertical-radial-kuvaajasta huomaa, että suurin osa tärinäarvoista on hyvin pieniä. Kuvissa 16 ja 17 suurin osa pisteistä löytyy kuvaajan vasemmasta alakulmasta. Vertical-radial-kuvaajassa pistekertymä sijaitsee suurimmaksi osaksi keskiviivan alapuolella, mutta vertical-transverse-kuvaajassa pisteitä löytyy viivan molemmin puolin. Vertical-transverse-kuvaajassa huomataan muutenkin selvästi enemmän hajontaa. Tässä kuvaajassa noin puolet Harjutien tuloksista on keskiviivan yläpuolella, kun taas muut tulokset ovat pienimpiä arvoja lukuun ottamatta viivan alapuolella tai sen tuntumassa. Vertical-radial-kuvaajassa tulokset ovat keskiviivan alapuolella muutamaa Harjutien tulosta lukuun ottamatta.

Jos pisteet sijaitisivat viivalla, joka kulkee kuvaajan halki, vertailtavat tärinäarvot olisivat yhtä suuret. Vastaavasti jos pystysuuntaiset tärinäarvot olisivat kahta muuta suuntaa isompia, pisteet sijaitisivat kuvaajan alalaidassa oikeassa reunassa. Nämäkin kuvaajat tukevat sitä huomiota, että pystysuuntainen tärinäarvo ei läheskään aina ole suurin. Pienillä panoksilla räjäytettäessä transverse-suunnan, eli vaakasuuntaisen (poikkisuuntaisen), arvo on useimmiten suurin. Jos saadut tärinäarvot olivat suurempia, olivat vertical ja transverse joko suunnilleen yhtä suuria tai pystysuuntainen (vertical) suurin. Harjutie oli tässä tapauksessa ainoa poikkeus, jossa vaakasuuntaisten (poikkisuuntaisten) arvo oli suurempi kuin pystysuuntainen. Vertical-radial-kuvaaja näyttää enemmän siltä, miltä kuvaajien alun perin oletettiin näyttävän. Tässä kuvaajassa pisteet ovat kuvaajan

alalaidassa ja enemmän oikeassa reunassa. Näin ollen pystysuuntaisen tärinän arvo on suurimmassa osassa tapauksia suurempi kuin vaakasuuntaisen (pituussuuntaisen) tärinän arvo.

12 POHDINTA

12.1 Pohdintaa työstä

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää louhinnan tärinän suuruuteen vaikuttavia tekijöitä, tärinän hallintaa sekä tutkia kokeellisesti tärinän huippuarvoja skaalatun etäisyyden suhteen. Lisäksi saatuja huippuarvoja verrattiin Raimo Vuolion tekemään kuvaajaan tärinän huippuarvoista skaalatun etäisyyden suhteen. Aluksi mietittiin myös Vuolion kuvaajien päivittämistä, mutta mittaustuloksia ei kertynyt riittävästi tätä tarkoitusta varten.

Kallion louhinta aiheuttaa aina tärinää ympäröivään maahan ja lähellä oleviin rakenteisiin. Tärinän suuruuteen ja suuntaan vaikuttaa erittäin moni asia, ja niiden kaikkien ennakointi ja huomioonottaminen on välillä vaikeaa. Iso osa louhinnassa sattuneista vahingoista on juuri tärinän aiheuttamia. Sen takia tärinää ja sen vaikutuksia ei voi ymmärtää liian hyvin ja sen tutkiminen kannattaa aina.

Tutkimustulokset pysyivät sallituissa tärinärajoissa, joten toimintatapojen muutokselle ei ole tarvetta. Nykyistä varovaisuutta noudattaen vahingot ovat epätodennäköisiä. Jatkotutkimuksia olisi mahdollista tehdä Vuolion kuvaajien päivittämissä tarkoituksessa. Tämä vaatisi useita satoja tutkimustuloksia, joiden kerääminen veisi luultavasti muutaman vuoden. Akuuttia tarvetta uudelle kuvaajalle ei kuitenkaan ole, sillä Vuolion laatima kuvaaja vastaa hyvin nykypäivänkin louhintatuloksia.

12.2 Pohdintaa työn tekemisestä

Opinnäytetyö koostettiin noin puolen vuoden aikana kesällä ja syksyllä 2015. Aihe oli todella mielenkiintoinen ja riittävän laaja opinnäytetyöksi. Mittaustuloksia olisi voinut olla enemmän ja laajemmalla alueella tulosten luotettavuuden kannalta, mutta tämä olisi vaatinut huomattavasti pidemmän tutkimusjakson ja laajemmat kontaktit. Näin ollen työstä olisi tullut turhan pitkä ja suuritöinen.

Työ pysyi hyvin suunnitellussa aikataulussa, eikä takaiskuja juuri tullut. Haastavinta oli tietojen kerääminen työmailta. Työmailloilla oli niin paljon muutakin muistettavaa ja tehtävää, että välillä osa tiedoista meinasi jäädä kirjoittamatta ylös. Paljon aikaa vei myös tuloksien koostaminen kuvaajamuotoon. Kaiken kaikkiaan olin tyytyväinen työn onnistumiseen ja aihevalintaan.

LÄHTEET

Räjätystyö U&M Pitkänen Oy. Luettu 9.5.2015.

<http://rajaytystyo.fi/>

Taratest Oy. Yritys. Luettu 9.5.2015.

<http://www.taratest.fi/fi/yritys>

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

Suomen Rakennusmedia Oy, Helsinki

ISBN 978-952-269-072-2

RIL 253-2010. Rakentamisen aiheuttamat tärinät. 2010. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry

ISBN 978-951-758-515-6

Hänninen T., Oy Finnrock Ab. TAMK-Louhintatekniikan kurssi: Räjätystyöt ja ympäristö. 2015.

Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasta. Pohjarakenteet. Määräykset ja ohjeet 2004. Ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista. Luettu 13.7.2015

<http://www.finlex.fi/data/normit/17075-B3s.pdf>

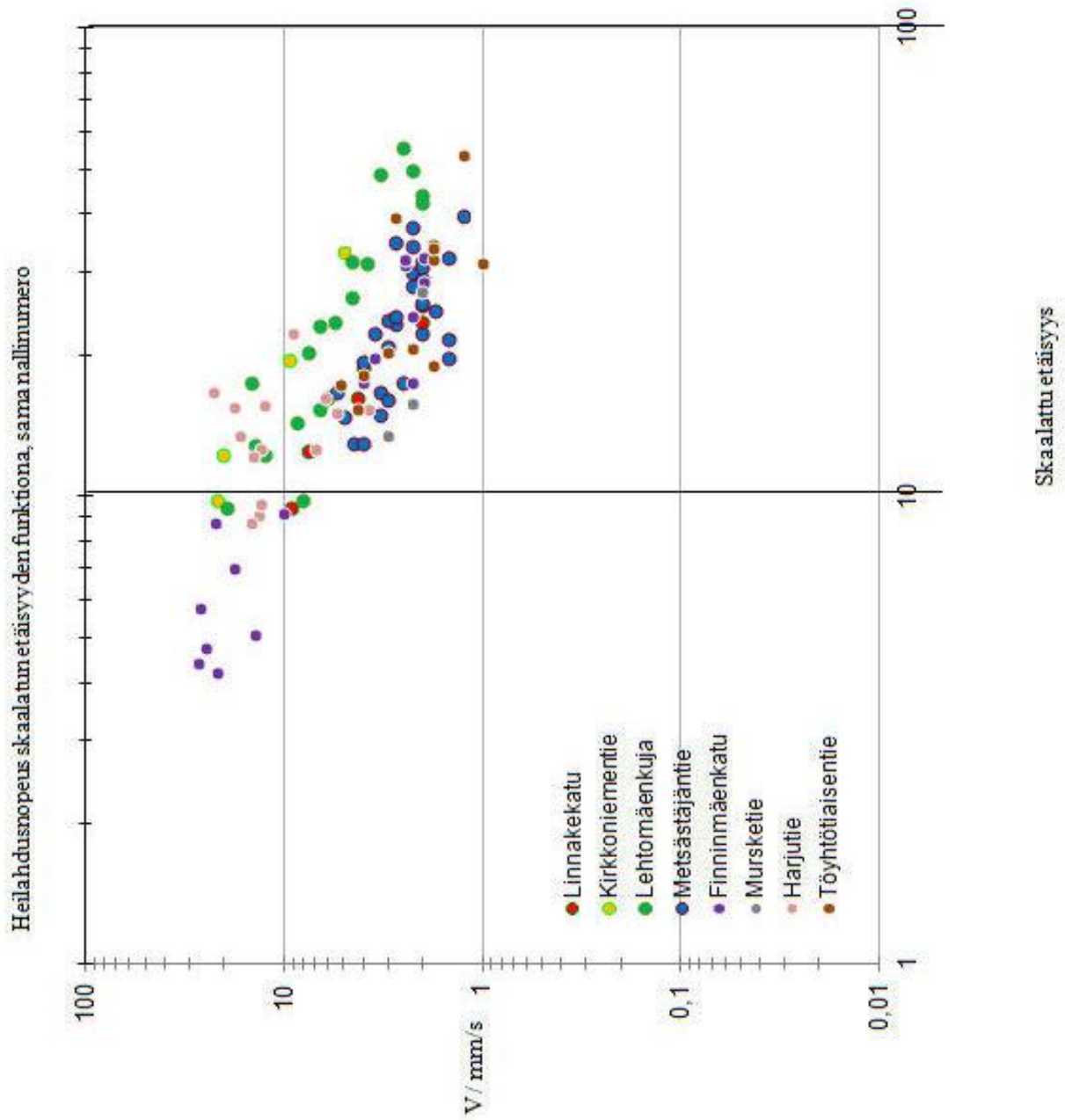
Räjätyskonsultit. 2015. Mittauskalusto. Luettu 16.9.2015.

<http://rajaytyskonsultit.fi/mittauskalusto/>

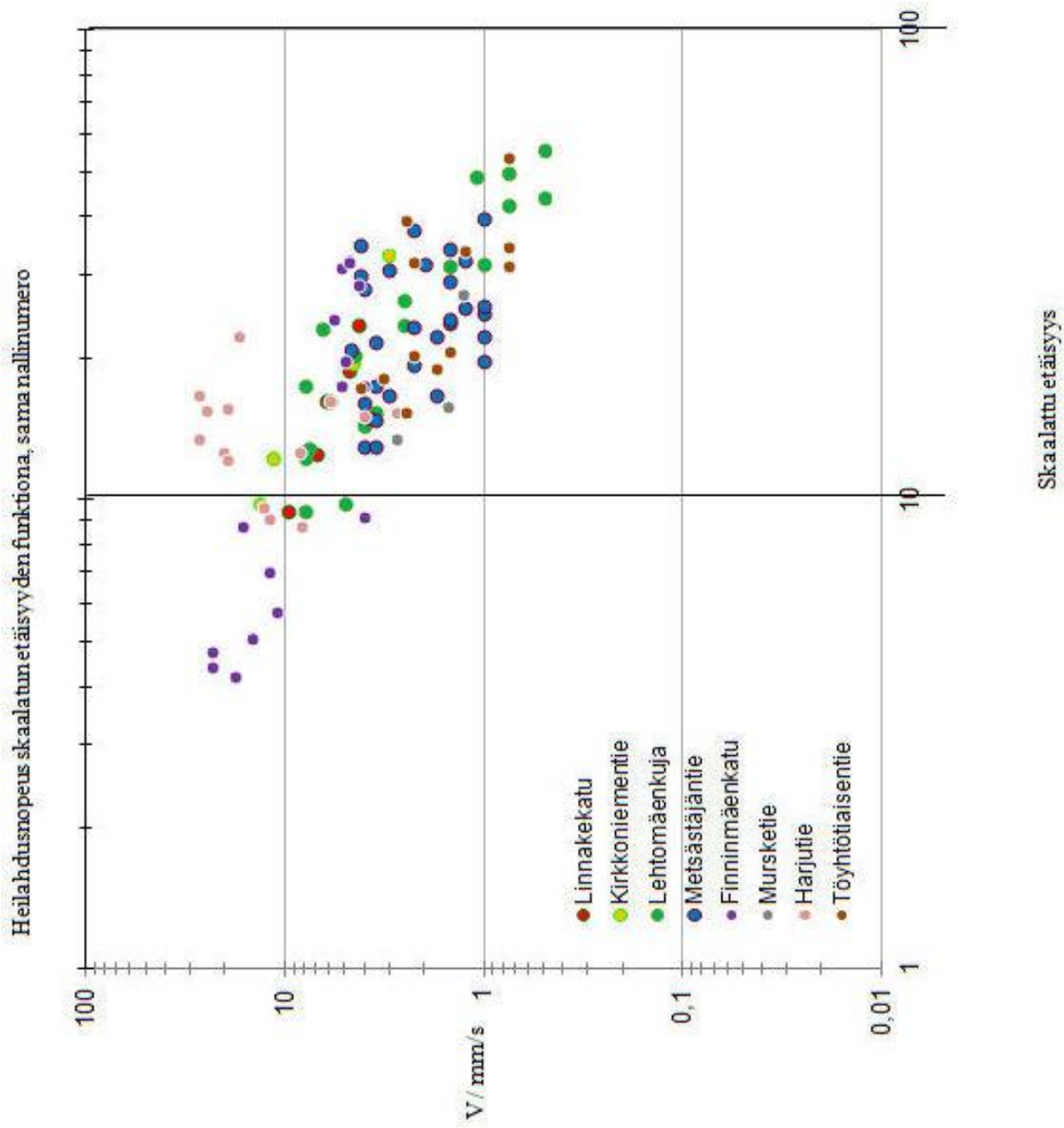
Vuolio, R. 1990. Acta Polytechnica Scandinavica – Civil engineering and building construction series No. 95. Blast Vibration: Threshold Values and Vibration Control. Helsinki: Oy Finnrock Ab.

LIITTEET

Liite 1. Tärinän pystysuuntaisen komponentin kuvaaja (vertical)



Liite 2. Tärinän vaakasuuntaisen (poikkisuuntaisen) komponentin kuvaaja (transverse)



Liite 3. Tärinän vaakasuuntaisen (pituussuuntaisen) komponentin kuvaaja (radial)

