



# **Tärinämittausohjeen laatiminen Kallio- tekniikka CE Oy:n laatu järjestelmää varten**

Teemu Virtanen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2015  
Rakennustekniikka  
Rakennustuotanto

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikka  
Rakennustuotanto

VIRTANEN, TEEMU:

Tärinämittausohjeen laatiminen Kalliotekniikka CE Oy:n laatujärjestelmää varten

Opinnäytetyö 73 sivua, joista liitteitä 21 sivua  
Huhtikuu 2015

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda Kalliotekniikka CE Oy:n laatuksikirjaan luku tärinämittauksista. Laatuksikirjasta selviävät yrityksen toimintatavat sekä laatuvaatimukset. Tiedot työn tekemiseen saatiin alan kirjoista, diplomi- ja opinnäytetöistä sekä yrityksen työntekijöitä haastatteleamalla. Myös kirjoittajan omista kokemuksista oli hyötyä työn tekemisessä.

Louhintatyöt, jotkin maanrakennustyöt sekä liikenne voivat aiheuttaa rakennuksia vaurioittavaa sekä ihmisiä häiritsevää tärinää. Vaatimukset ympäristön ja ihmisten häiriötömyydestä sekä viihtyvyydestä vaativat kiinnittämään enemmän huomiota tärinää aiheuttavien töiden riskinarviointiin. Suomen lainsäädännön ja viranomaisohjeiden mukaan urakoitsija on vastuussa aiheuttamistaan vahingoista.

Työ onnistui hyvin ja tuloksena saatiin tiivis ja toimiva paketti tärinämittauksista yrityksen laatuksikirjaan. Tulokset olivat onnistuneita sekä luotettavia ja ne on todettu toimiviksi käytännössä. Tulokset ovat Suomen normien mukaan määriteltäviä ja ne toimivat Suomessa, mutta eivät maissa, joissa on käytössä eri normit. Yritys voi hakea laatuksikirjalleen ISO 9000 standardin mukaista hyväksyntää. Yrityksen laatuksikirjaa tulee myös päivittää, jos sen palvelut tai tuotteet muuttuvat, joten tämä vastaa yrityksen nykytilannetta.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Construction Engineering  
Construction Industry

VIRTANEN, TEEMU:  
Specifications of Vibration Monitoring for Kalliotekniikka CE Oy

Bachelor's thesis 72 pages, appendices 20 pages  
April 2015

---

The objective of this study was to gather information about vibrating monitoring for the quality handbook of Kalliotekniikka CE Oy. The quality handbook shows the customs and the standards of the company. The data were collected from professional literature, thesis and by interviewing company's employers.

Traffic, construction and blasting may cause vibrating which damages building and disturbs people. Companies have to pay attention to the disturbance that vibrating causes to people and environment and risk analysis has to be done of the matter. The legislation and authoritative regulations in Finland determines the contractor is responsible for the damages which are causes for a third part.

It was possible to create a concise and functional package of vibrating monitoring. The results were reliable and successful and the results are defined by the norms in Finland. These results indicate that the company can apply ISO 9000 standard approval for its quality handbook.

---

Key words: vibrating monitoring, quality manual, vibrating

## SISÄLLYS

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | JOHDANTO.....  | 5  |
| 2 | TYÖN TAVOITTEET .....  | 6  |
|   | 2.1 Työn taustat ja tavoitteet.....                          | 6  |
|   | 2.2 Tutkimusmenetelmät .....                                 | 7  |
| 3 | TÄRINÄLÄHTEET JA NIIDEN OMINAISPIIRTEET .....                | 8  |
|   | 3.1 Yleistä tärinälähteistä.....                             | 8  |
|   | 3.2 Tärinän teoriaa .....                                    | 9  |
|   | 3.3 Louhinta .....   | 10 |
|   | 3.3.1 Yleistä räjäytystärinästä .....                        | 10 |
|   | 3.3.2 Räjähdyksen aiheuttamat aaltoliikkeet.....             | 10 |
|   | 3.4 Maanrakennustyöt.....                                    | 16 |
|   | 3.5 Liikenne .....   | 21 |
| 4 | TÄRINÄMITTAUS .....  | 26 |
|   | 4.1 Yleistä tärinämittauksista.....                          | 26 |
|   | 4.2 Mittauskalusto.....                                      | 27 |
|   | 4.3 Laittevalmistajat.....                                   | 28 |
|   | 4.3.1 InstanTEL Minimate Plus .....                          | 28 |
|   | 4.3.2 Syscom MR3000C .....                                   | 29 |
|   | 4.4 Mittarin asentaminen .....                               | 30 |
|   | 4.5 Tulosten käsittely.....                                  | 33 |
|   | 4.5.1 BlastView.....   | 33 |
|   | 4.5.2 Blastware.....   | 36 |
| 5 | TÄRINÄMITTAUSTEN SUORITUSPERUSTEET.....                      | 38 |
|   | 5.1 Louhintätärinän mittaamisen perusteet .....              | 38 |
|   | 5.2 Maanrakennustöiden tärinöiden mittaamisen perusteet..... | 41 |
|   | 5.3 Liikennetärinän mittaamisen perusteet .....              | 42 |
| 6 | TÄRINÄERISTYS.....   | 45 |
|   | 6.1 Yleistä tärinäeristyksestä .....                         | 45 |
|   | 6.2 Tärinäeristimien valintaperusteet.....                   | 46 |
|   | 6.3 Tärinäeristyksen toteutuksen periaatteet.....            | 46 |
|   | 6.4 Laitteet joita ei voida eristää .....                    | 46 |
| 7 | POHDINTA.....  | 48 |
|   | LÄHTEET.....   | 50 |
|   | LIITTEET .....   | 52 |
|   | Liite 1. Laatuksikirja.....                                  | 52 |

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä Kalliotekniikka Consulting Engineers Oy:n laatukäsikirjaan luku tärinämittauksista. Yritysten laatukäsikirjat ovat yleistyneet viime aikoina. Laatukäsikirja voidaan näyttää asiakkaille ja he näkevät sieltä yrityksen toimintatavat sekä laatuvaatimukset. Sitä voidaan käyttää myös osana yrityksen perehdytysaineistoa.

Laatukäsikirjan luku tulee tämän opinnäytetyön liitteeksi ja se tulee sellaisenaan yrityksen käyttöön. Työssä käsitellään yrityksen käyttämää tärinämittauskalustoa, niiden asentamista, erilaisten tärinämittausten suoritusperusteita sekä tärinämittaustulosten seuranta. Aineistona työssä käytetään alan kirjallisuutta sekä haastatellaan yrityksen työntekijöitä, joilla on pitkä kokemus tärinämittauksista.

Kalliotekniikka Consulting Engineers Oy on vuonna 1974 Helsinkiin perustettu insinööritoimisto. Nykyään Kalliotekniikalla on kolme eri toimipistettä. Toimipisteet ovat Helsingissä, Tampereella, ja Tukholmassa. Se työllistää noin 18 henkilöä ja sen liikevaihto on noin 2,5 miljoonaa euroa. Kalliotekniikka tarjoaa louhinta-, räjäytys- ja kaivosalan konsulttipalveluita. Palveluihin kuuluu mm. tärinämittaus, räjäytystyömaiden valvonta, ympäristöselvitykset, kiinteistökatselemukset, melumittaukset, tarkkavaaitukset, tärinävaimennukset, radonmittaukset sekä ympäristömelun mallinnukset ja numeeriset stimuloinnit.

## 2 TYÖN TAVOITTEET

### 2.1 Työn taustat ja tavoitteet

Kalliotekniikka CE Oy on louhinta-, räjäytys- ja kaivosalan konsulttipalveluita tarjoava yritys. Kyseisellä alalla värinämittaukset ovat yksi tärkeimmistä asioista, koska värinää aiheuttavista töistä saattaa tulla vaurioita ympärillä oleviin rakenteisiin sekä laitteisiin. Lainsäädännön ja viranomaisohjeiden mukaan tämänlaisista töistä ei saa aiheutua vaaraa tai terveysriskejä ihmisille eikä kohtuutonta haittaa ympäristölle. Vahingon aiheuttaja on korvausvelvollinen aiheuttamistaan vahingoista. Tämän vuoksi on tärkeää, että värinäarvot pysyvät sallituissa rajoissa, jotta vaurioita ei pääse syntymään. Tällöin urakoitsija säästyy turhilta lisäkustannuksilta. ([www.kalliotekniikka.com](http://www.kalliotekniikka.com))

”Värinää mitataan, jotta räjäytysten aiheuttamilta vahingoilta vältyttäisiin ja jotta värinäarvot pysyisivät normien alapuolella. Mittaustuloksia urakoitsija hyödyntää poraus-, panostus- ja sytytysuunnitelmien laadinnassa. Näin ollen louhintatyötä voidaan suorittaa turvallisesti, tehokkaasti ja ympäristö huomioon otettuna.” (P-HÄMPPI 2010-2011, 11)

Tässä työssä on tarkoitus selvittää ja kertoa erilaisten värinämittausten suoritusperusteista, yrityksessä käytettävästä värinämittaustulostusta sekä muista markkinoilla olevista merkeistä ja malleista. Lisäksi kerrotaan värinämittaustulosten valvonnasta ja siihen käytettävistä tietokoneohjelmista. Tässä työssä keskitytään nimenomaan Kalliotekniikan käyttämiin tietokoneohjelmiin. Eri yrityksillä omat ohjelmansa värinämittaustulosten valvontaan.

Erilaisia värinämittauksia on louhintavärinämittaus, maanrakennustöiden värinämittaus sekä liikennetvärinämittaus. Jokaisen pääkohdan alla on myös eri tyyppisiä työtapoja, jotka aiheuttavat erilaista värinää. Louhinnassa ne ovat avolouhinta, tunnelilouhinta sekä vedenalainen louhinta. Maanrakennustöissä värinää aiheuttavat pontitustyö, paalutustyö sekä tiivistystyö täryttämällä. Liikennetvärinässä ne ovat raideliikenne, työmaaliikenne sekä tavaraliikenne. Erilaisille värinöille annetaan omat raja-arvonsa, joita ei saa työn aikana ylittää. Ne riippuvat monesta eri tekijästä ja niitä käydään läpi myöhemmin tässä työssä. Värinämittaustuloksia valvotaan sekä manuaalisesti, että kaukovalvonnalla, näille on omat valvontaohjelmansa yrityksessä.

Näistä tehdään Kalliotekniikan laatukäsikirjaan luku tärinämittauksista. Nykyään yritysten laatukäsikirjat ovat yleistyneet todella paljon ja monella yrityksellä sellainen jo on. Yritys voi myös hakea ISO 9000 standardin mukaista hyväksyntää laatukäsikirjalleen, jos toiminnan kuvaus ja toiminta vastaavat standardien vaatimuksia. Laatukäsikirjasta selviävät yrityksen toimintatavat sekä laatuvaatimukset eri työtehtävissä. Standardilla yritys pystyy myös osoittamaan asiakkailleen ja yhteistyökumppaneilleen, että he tuottavat laadukkaita tuotteita ja palveluita.

ISO standardien laadinnan periaatteita ovat avoimuus ja konsensusperustaisuus. ISO 9000 standardien soveltamisprosessissa periaatteena on innovaatio eli yrityksen oma tie tuotteen vaatimuksenmukaisuuden saavuttamisessa, suorituskyvyn parantamisessa ja yrityksen johtamisessa jatkuvaan menestykseen. Yleisesti standardit on kehitetty yleistä ja toistuvaa käyttöä varten sekä optimaalisen järjestyksen saavuttamiseksi tietyssä tilanteessa. (Pitko 2011, 15.)

## **2.2 Tutkimusmenetelmät**

Työssä tutkimusmenetelminä oli kirjallinen selvitys, jota saatiin alan kirjoista sekä diplomitoista ja opinnäytetoista. Tutkimusmenetelmänä käytettiin myös haastatteluja. Haastattelut olivat avoimia haastatteluja ja niissä haastateltiin yrityksen työntekijöitä. Keskeisimpänä aineistona käytettiin useaa tärinäalan kirjaa. Parhaat tiedot sain ”RIL 253-2010” kirjasta sekä Vuolion eri teoksista. Kokemuseräistä tietoa oli saatavilla työntekijöiltä paljon, joka oli erittäin hyödyllistä työn tekemisessä. Haastattelemalla saatiin paljon käytännönläheisempää tietoa tärinämittauksista kuin kirjoista, joka sopii paremmin laatukäsikirjaan. Laatukäsikirja kuitenkin on ”ohjekirja” eri työvaiheille.

Opinnäytetyötä tehdessäkin suoritettiin kokoajan tärinämittauksia, joten asioita tuli testattua myös koko ajan käytännössä. Suoritetuista tärinämittauksista huomaa, että on mahdotonta ennustaa ja arvioida räjäytyksistä syntyvää tärinää täysin oikein etukäteen, koska tiedot maaperästä ja kallion ominaisuuksista eivät ole täysin tiedossa. Nykyään tärinät pystytään kuitenkin ennustamaan tarkemmin ennen räjäytyksiä kuin ennen. Tämän vuoksi, että asiasta on niin paljon kokemusta ja ennustamiseen tarkoitettuja ohjelmia on pystytty kehittämään yhä luotettavimmiksi.

### 3 TÄRINÄLÄHTEET JA NIIDEN OMINAISPIIRTEET

#### 3.1 Yleistä tärinälähteistä

Kalliossa etenevän tärinän ainoana merkittävänä lähteenä voidaan pitää räjäytystyötä, jos ei oteta huomioon maanjäristyksiä. Maaperässä syntyvän ja etenevän tärinän lähteet ovat moninaisemmat. Kalliossa etenevä tärinä siirtyy maaperään ja sitä kautta maanvaraisesti perustettuihin rakenteisiin. Maanrakennustyöt (paalutus, pontitus ja tiivistys) aiheuttavat maaperään tärinää, joka voi vaikuttaa lähellä sijaitseviin rakennuksiin. Tärinää aiheuttava liikenne (raide- työmaa- ja tavaraliikenne), voi pehmeiden maalajien alueella aiheuttaa lähirakennuksiin häiritsevästi tuntuva tärinää ja jopa vaurioita. Louhinnasta johtuva tärinä vaikuttaa huomattavasti laajemmalla alueella kuin maanrakennustöistä tai liikenteestä syntyvä tärinä.

Yleisesti ottaen voidaan todeta tärinää syntyvän ja leviävän ympäristöön, kun maata käsitellään dynaamisesti. Tärinän voimakkuus tarkastelupisteestä riippuu maahan vietyä energian määrästä, sen jakautumisesta eri ilmiöiksi, maaperän ominaisuuksista sekä tarkastelupisteen ja tärinänlähteen välisestä etäisyydestä. (Pöllä ym. 1996, 3.)

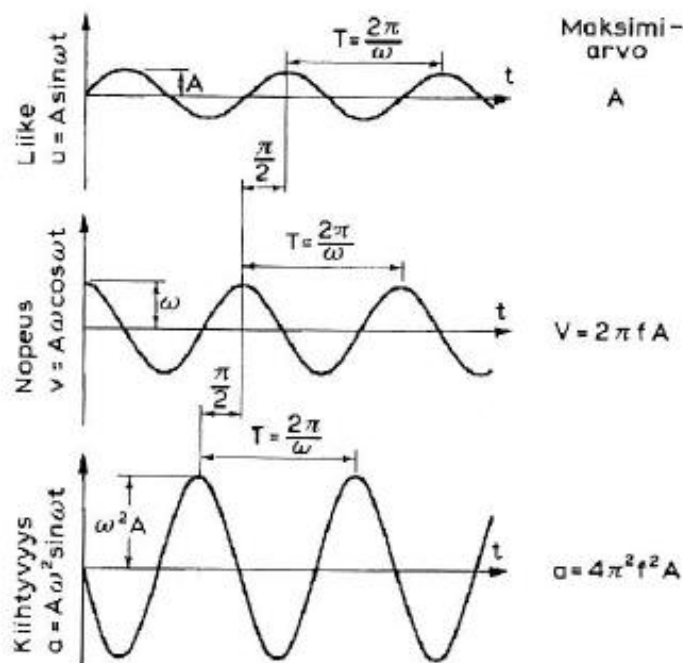
Ihmiset ovat todella herkkiä tuntemaan tärinää ja tuntevat sen epämiellyttävänä tunteena. Tärinä tuntuvat ihmisistä vielä todellista voimakkaammilta, koska he myös kuulevat (runkomeluna) tärinän aiheuttajan (räjäytys, paalutus, pontitus jne.). Yhdysvaltalainen Bureau of Mines tekemien tutkimusten mukaan jo 0,1 mm/s heilahdusnopeus voi aiheuttaa astioiden kilinää kaapissa ja 6 mm/s heilahdusnopeus voi liikuttaa huonekaluja. Ihmiset pystyvät aistimaan jo alhaisiakin tärinöitä, jotka ovat huomattavasti rakenteiden kosmeettisten vaurioiden alapuolella. Kaikki henkilöt eivät koe alhaisia tärinöitä häiritsevinä, osa henkilöistä kokee tärinän häiritsevästä vasta, kun heilahdusnopeuden arvo on 5-10 mm/s. Ihmisille aiheutuvaa haittaa tärinästä voidaan vähentää, kun tärinähaitasta tiedotetaan hyvissä ajoin ennen töiden alkua. (Vuolio & Halonen 2010, 316; Pöllä ym. 1996, 100.)



### 3.2 Tärinän teoriaa

Kun kappaleeseen kohdistuvan voiman suunta ja suuruus muuttuvat kappaleen liikkeen aikana, kutsutaan liikettä värähdysliikkeeksi. Esimerkiksi kitaran kielen värähtely ja kiinteän aineen atomien tai molekyylien lämpöliike ovat värähdysliikkeitä. Värähtelijöiden yhdessä muodostamaa liikettä kutsutaan aaltoliikkeeksi. Etenevässä aaltoliikkeessä aineen rakennehiukkasten vuorovaikutukset siirtävät energiaa, mutta itse aine ei etene. Veteen putoavat vesipisarot synnyttävät laajenevan häiriön veden pintaan, kuten myös louhintätärinä kallioon. Nämä ovat aineessa eteneviä mekaanisia aaltoliikkeitä. (Lehto & Luoma 1994, 123.)

Louhinnasta, maanrakennustöistä ja liikenteestä syntyneitä tärinöitä voidaan käsitellä aaltoliikkeenä, jonka aiheuttaa seismisten aaltojen eteneminen. Sinimuotoinen eli harmoninen heilahdus (kuva 1) on matemaattisesti yksinkertainen heilahdusliike. Heilahdusliikkeen suuruutta kuvataan siirtymäamplitudilla. Louhinnasta, maanrakennuksesta sekä liikenteestä syntyviä tärinöitä tarkastellaan yleisimmin heilahdusnopeuden, kiihtyvyyden, siirtymien ja frekvenssin kautta. (Vuolio 1991, 165.)



**Kuva 1.** Harmoninen heilahdus (Vuolio 1991, 164)

### **3.3 Louhinta**

#### **3.3.1 Yleistä räjäytystärinästä**

Louhinnassa tärinä syntyy panosten räjähdyksistä. Tärinän suuruuteen vaikuttaa paljon alueen maaperän laatu (kallio, savi, moreeni) sekä räjähdyksessä käytettävän räjähteen määrä. Räjähdysten momentaaninen räjähdeainemäärä, eli yhtä aikaisesti räjähtävä räjähdeaine, on suurin tekijä syntyvän tärinän voimakkuuteen.

Räjäytyskentässä on lähes aina useita reikiä, jotka räjäytetään joko samanaikaisesti tai pienillä aikaeroilla, jotka aikaansaadaan nallien hidasteilla. Samanaikaisesti räjähtävänä räjähdysainemääränä eli momentaanisella räjähdysainemääränä pidetään samalla hidasteajalla räjähtävien panosten yhteenlaskettua räjähdysainemäärää. Mitä suurempi on momentaaninen räjähdysainemäärä, niin sitä suurempi on syntyvän tärinän voimakkuus. Eri panosten välillä on yhteisvaikutus ja tärinä taittuu sekä heijastuu rajapinnoilta. Räjäytyksen kesto avo- ja vedenalaisessa louhinnassa on yleensä enintään noin 0,5 s ja maanalaisessa louhinnassa noin 6 s. Louhinnoissa syntyvät taajuudet ovat yleensä korkeita ja se on hyvä, koska ne eivät ole rakenteille niin haitallisia kuin matalat taajuudet. (RIL 253-2010, 41)

Räjäytyksen synnyttämä tärinä on aina luonteeltaan enemmän tai vähemmän vaihtelevaa, mutta sen voimakkuutta voidaan likimääräisesti arvioida tilastollisten tarkastelujen perusteella. Räjäytyksen aikaansaaman tärinän taajuus on varsin laajakaistaista, kun etäisyys räjäytykseen on pieni, mutta etäisyyden kasvaessa korkeammat taajuudet vaimenevat nopeammin kuin matalat. (RIL 253-2010, 41)

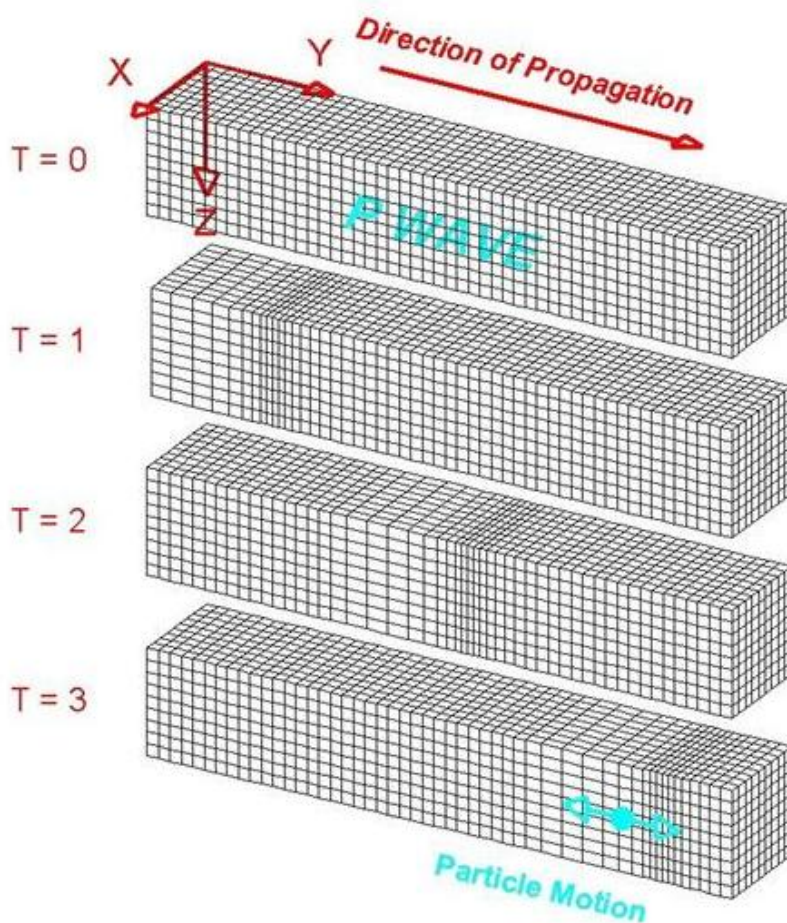
#### **3.3.2 Räjähdysten aiheuttamat aaltoliikkeet**

Räjähdysaineen räjähtäessä kallion sisällä porausreiässä syntyy paineaalto. Paineaalto saa kalliossa aikaan vastareaktioita, nämä aiheuttavat aineen tiivistymistä ja usein myös pienen alueen murskautumista. Loppuosa paineaallon energiasta jatkaa etenemistä väliaineessa shokkiaallona. Shokkiaallon vaikutusaika on noin 0,2 mikrosekuntia ja vaikutusvyöhyke noin yhden senttimetrin paksuinen, se on kaikista räjähdysten aiheuttamista aalloista nopein. Shokkiaallon tiivistää ja rikkoo kalliota, jolloin sen energia ja etenemisnopeus pienenee ja se muuttuu plastiseksi aalloksi. Se aiheuttaa kalliossa ainoastaan

plastisia muutoksia, mutta niillä ei kivilajien haurauden vuoksi ole mitään merkitystä, koska kivi murtuu ennen sen joutumista plastiseen tilaan. (Pöllä ym. 1996, 3)

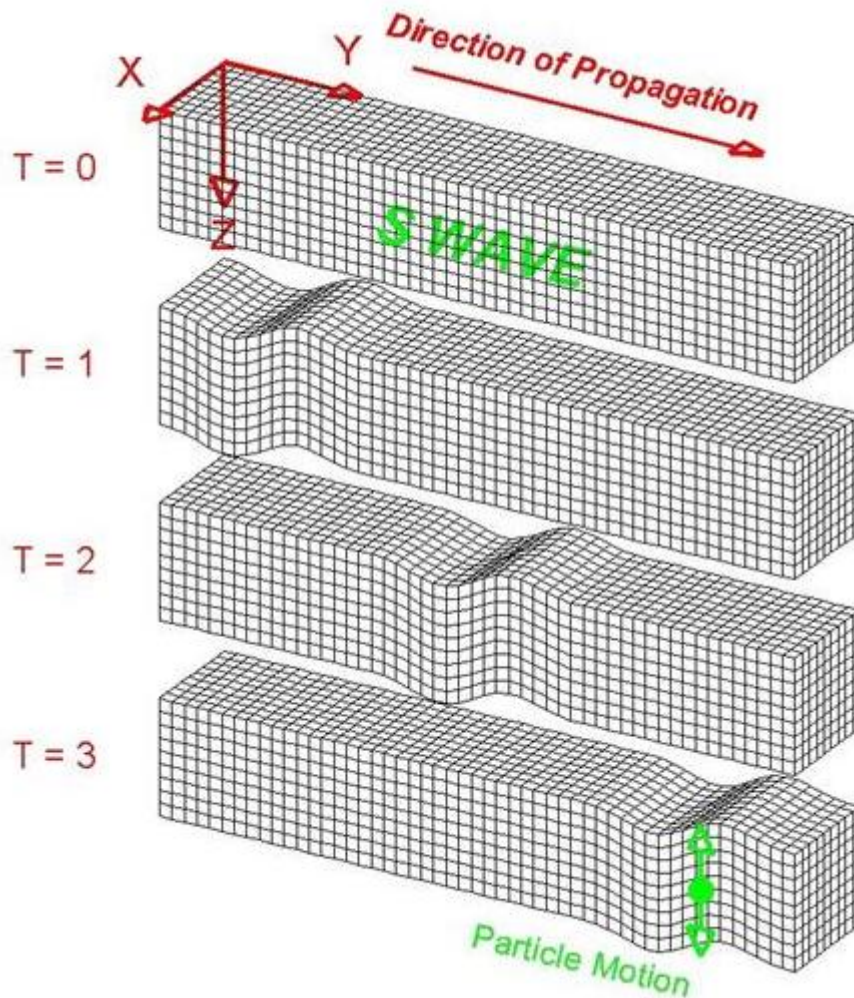
Kun aallon voimakkuus on vaimentunut niin paljon, että väliaineessa ei synny enää pysyviä muutoksia, vaan ainehiukkaset palaavat puristuksen ja vedon loputtua alkuperäiselle paikalleen, on aalto muuttunut kimmoaaltoiksi. Ne voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: runkoaaltoihin ja pinta-aaltoihin. Runkoaallot liikkuvat korkeilla taajuuksilla kalli-  
on syvemmissä kerroksissa, kun taas pinta-aallot liikkuvat ainoastaan pintakerroksissa ja varsinkin matalilla taajuuksilla. Runkoaalloista tunnetuimmat ovat P-aallot ja S-aallot ja pinta-aalloista tunnetuin on R-aalto. (Pöllä ym. 1996, 4.)

P-aalto (Pressure) on pitkittäistä aaltoliikettä (kuten ääniaalto) ja se liikkuu kaikista aalloista nopeimmin. Se altistaa värinää välittävän väliaineen sekä vedolle että puristukselle. Tärinäanturi rekisteröi tämän aallon toisella vaakakomponentilla (Longitudinal). Ku-  
vassa 2 on esitetty P-aalto.



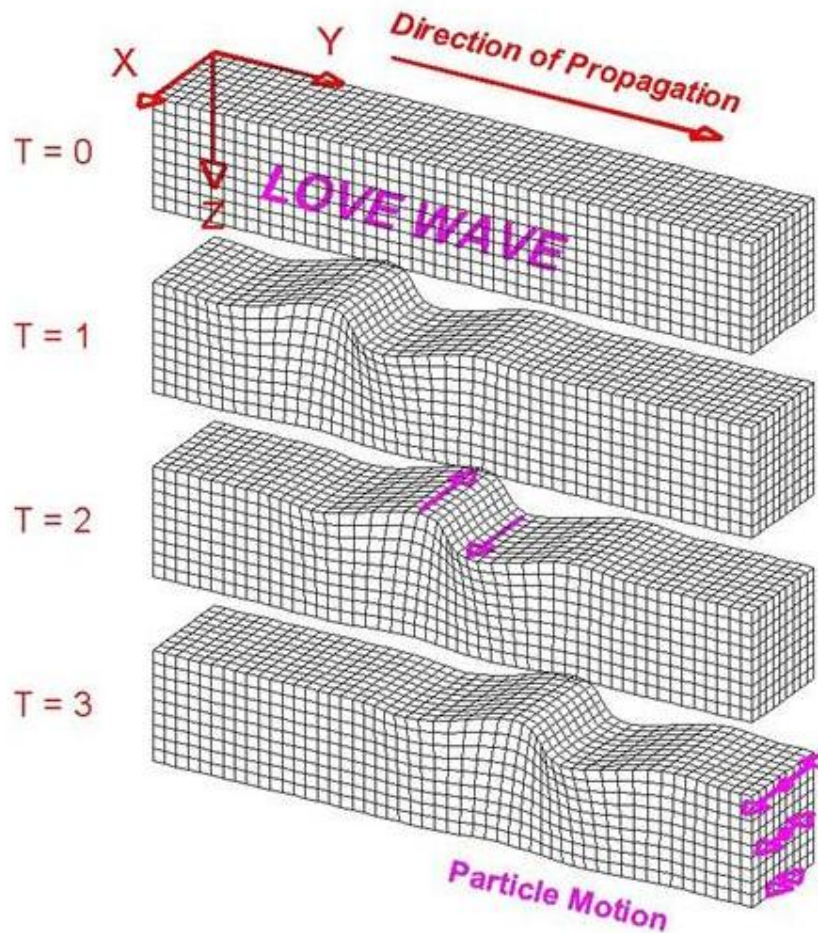
**Kuva 2.** P-aallon liike (www.geo.mtu.edu)

S-aalto (Shear) on poikittaista aaltoliikettä, joka aiheuttaa ainehiukkasten siirtymistä kohtisuorasti tai poikittaisesti etenemissuuntaansa nähden. Se nopeus on noin 0,6-kertainen P-aaltoon nähden ja se altistaa väliaineen leikkaukselle. S-aallon värinäanturi rekisteröi pystykomponentilla (Vertical) ja toisella vaakakomponenteista (Transverse). Kuvassa 3 on esitetty S-aalto.



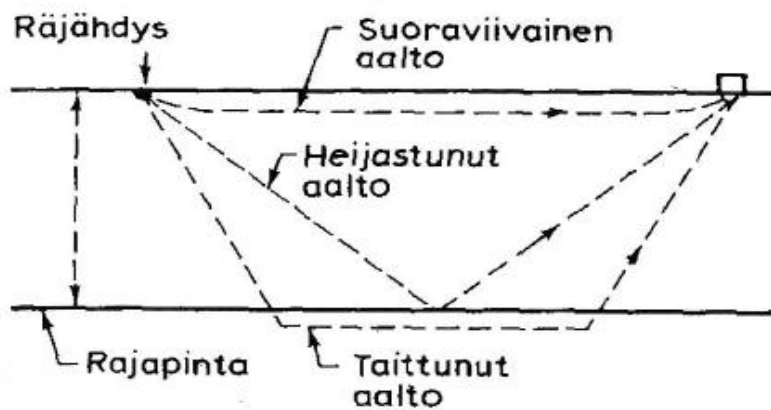
**Kuva 3.** S-aallon liike ([www.geo.mtu.edu](http://www.geo.mtu.edu))

R-aalto (Rayleigh) on S-aallon nopeuteen verrattuna korkeintaan 0,9-kertainen, eli se on hitain kaikista aalloista. Se on ellipsin muotoista liikettä ja se aiheuttaa ainehiukkasten siirtymistä etenemissuuntaansa nähden kaikissa x, y ja z suunnissa. Se syntyy, kun runkoaaltorintama kohtaa vapaan rajapinnan ja taittuu. R-aaltoa voisi verrata meressä etenevään aaltoiluun. Kuvassa 4 on esitetty R-aalto.



**Kuva 4.** R-aallon liike (www.geo.mtu.edu)

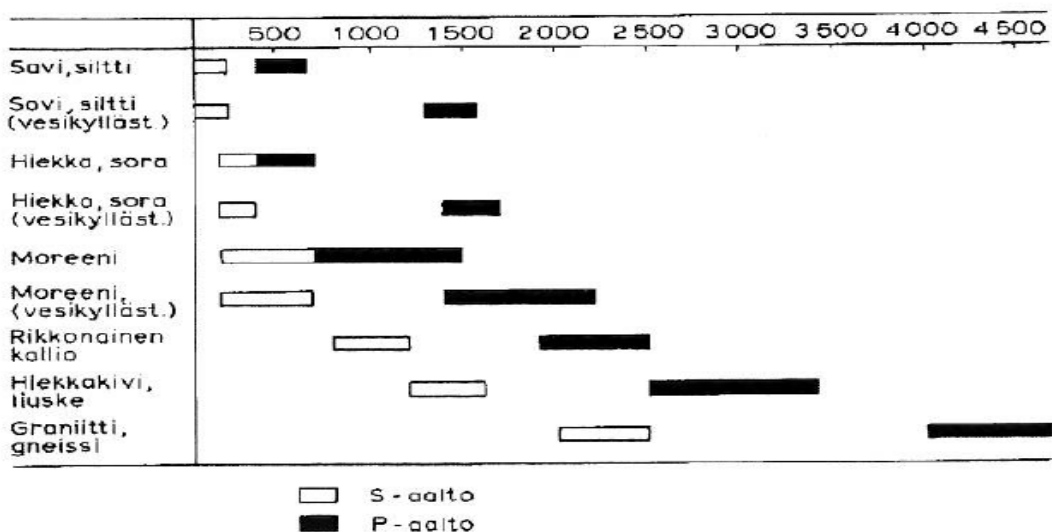
Näistä aalloista jokainen voi edetä kolmea tietä, suoraviivaisesti tai vapaan pinnan kohdatessaan taittua ja/tai heijastua, nämä on esitetty kuvassa 5. Ainoastaan silloin, kun aalto saapuu kohtisuorasti rajapintaan nähden, niin puristus pysyy puristuksena ja leikkaus leikkauksena. Tämän takia P-aalto ja S-aalto muodostavat yleensä yhden taittuneen aallon ja yhden heijastuneen aallon. (Vuolio 1991, 165.)



**Kuva 5.** Suoraviivainen-, heijastunut- ja taittunut aalto (Vuolio 1991, 166)

Jos ajatellaan aaltojen saapumista räjäytyspanoksesta mittauskohteeseen, niin lähellä sijaitsevaan mittauskohteeseen saapuu ensimmäisenä suoraviivaisesti etenevä P-aalto. Suurilla etäisyyksillä ensimmäisenä voi saapua taittunut P-aalto. Tämä johtuu aaltojen nopeuksista eri maalajeissa. Suoraviivaisesti saapuneen P-aallon jälkeen lähellä olevaan mittauskohteeseen saapuu taittuneita ja heijastuneita P- ja S-aaltoja. Niiden jälkeen saapuu suoraviivaisesti edennyt S-aalto, sen jälkeen tulee vielä kauempana taittuneita ja heijastuneita P- ja S-aaltoja. Viimeisenä saapuvat pinta-aallot, eli käytännössä R-aallot. Pinta-aaltojen on käytännössä todettu leviävän sylinterimäisesti porausreiän keskusta, eivätkä siis leviä alaspäin. Lisäksi on havaittu, että P- ja S-aallot vaimenevat nopeammin kuin R-aallot (pinta-aallot), koska niillä on suurempi frekvenssi ja etenemisnopeus. (Pöllä ym. 1996, 4.)

Aallot etenevät eri maalajeissa eri nopeutta. Mitä kiinteämpi maalaji on niin sitä nopeammin aalto siinä etenee. Kuvassa 6 on esitetty aaltojen nopeuksia eri maaperissä, nopeudet ovat m/s. Räjäytyksissä syntyy useita eri aaltoja, joilla on eri etenemisnopeus ja nämä aallot vielä taittuvat ja heijastuvat. Tämän vuoksi on mahdollista, että yhden räjäytyspanoksenkin aiheuttama värinä jossain mittapisteessä on usean eri teitän edenneen aallon yhteisvaikutuksen summa. Maaperien rajapinnat vaikuttavat paljon siihen kuinka laajalle alueelle värinät leviävät. Koska aallon kohdatessa rajapinnan, osa sen energiasta menee rajapinnan läpi ja osa heijastuu. Mitä enemmän aineiden kiinteudet eroavat toisistaan, sitä pienempi osa menee rajapinnasta läpi ja suurempi osa heijastuu. Aallon alkuperäisen energian määrä riippuu siitä, kuinka suuri momentaaninen räjähdysainemäärä on ollut räjähdyksessä. (Lehto & Luoma 1994, 151, 154.)



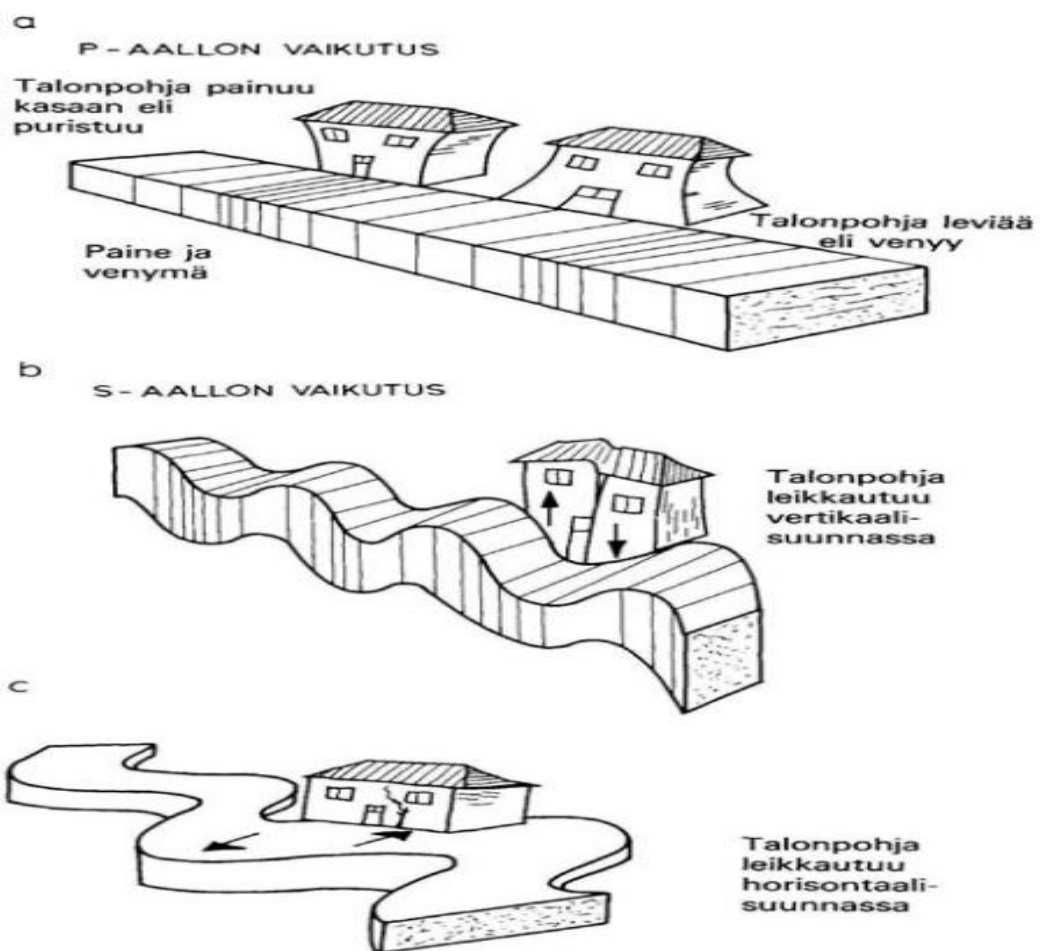
**Kuva 6.** S- ja P-aaltojen etenemisnopeudet eri maaperissä (Vuolio 1991, 166)

Maaperien olosuhteilla on myös suuri vaikutus tärinöiden leviämiseen. Pöllä ym. (1996, 4) ovat esittäneet laskemalla tärinäaallon energian heijastumisen kalliosta saveen, kalliosta aallon nopeutena on käytetty  $v_1=5000$  m/s ja savessa  $v_2=1000$  m/s.

Fresnelin kaava:

$$E_{ref} = \frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1} \approx 44\%$$

He toteavat myös, että vain noin puolet siirtyvät kalliosta saveen ja jos kalliosta on rakoja (lustia), niin vaimennus on vieläkin suurempi.



**Kuva 7.** Tärinän aiheuttamia liikkeitä talossa, liikkeet ovat ylikorostettuja (Vuolio 1991, 167)

Kuvassa 7 on esitetty hyvin, miten erilaiset aallot pyrkivät liikuttamaan taloja. Kuvassa liikkeet ovat tietenkin ylikorostettuja, jotta se havainnollistaisi tilanteita mahdollisimman hyvin.

### 3.4 Maanrakennustyöt

Maanrakennustöistä häiritsevää ja mahdollisesti vaurioita aiheuttavaa tärinää aiheuttavat, paalutus-, pontitus- ja tiivistystyöt. Paaluttaminen, pontittaminen ja tärytiivistys aiheuttavat työkohteen läheisyydessä melua, tärinää, maanpinnan painumista ja kohoamista, sivusiirtymiä sekä huokospaineenkasvua. Niistä aiheutuva tärinä ja melu saattavat tuntua ihmisistä epämiellyttävältä, mutta todella harvoin se rikkoo hyväkuntoisia rakennuksia. Vanhat ja huonokuntoiset rakennukset, joissa on heikkoja rakenteita, ovat vaurioalttiita tärinälle. Vauriot voivat olla hiushalkeamia tai pahimmissa tapauksissa täydellisiä kantavien rakenteiden pettämistä, mutta tämä on todella harvinaista. (Pöllä ym. 1996, 11.)

Maanrakennustöistä aiheutuvat tärinät ovat matalataajuisia. Lyöntipaalutuksessa tärinäntaajuus maassa lähialueella on noin 5-40 Hz, kun lyönti tapahtuu pudotusjätkäleellä. Yleensä matalammat taajuudet tulevat, kun maakerrokset ovat pehmeitä ja taas korkeampia, kun maakerrokset ovat tiiviimpiä. Suurin tärinä lyöntipaalutuksessa syntyy yleensä paalun kärjestä. Jos maa on tiivis, niin paalun sivuvastuksella saattaa myös olla merkitystä tärinän syntymiseen. Lyöntipaalutuksessa tärinä vaimenee nopeasti, mitä kauempana paalusta ollaan. Tärinän lähialue ulottuu paalusta etäisyydelle, joka on 50-100% paalun pituudesta. Kauempana myös tärinän taajuus alenee huomattavasti ja on noin 5-20 Hz. (RIL 253-2010, 43.)

Lyöntipaalutus hydraulivasaralla on jaksollista ja sen tärinän taajuusalue on noin 5-100 Hz, eli se on huomattavasti korkeampi kuin pudotusjätkäleellä paaluttaessa. Vasaralla lyötäessä iskut aiheuttavat yksittäisiä taajuushuippuja, kun taas pudotusjätkäleellä yksittäisiä huippuja ei ole havaittavissa. Paalutuksen loppulyöntien aikana tärinätaso saattaa nousta, jos vaipan vastus on suuri. Muiden paalutustapojen (puristuksen, porauksen ja kaivamisen) aiheuttamat tärinät ovat yleensä mitättömät verrattuna lyöntipaalutukseen. (RIL 253-2010, 43-44.)

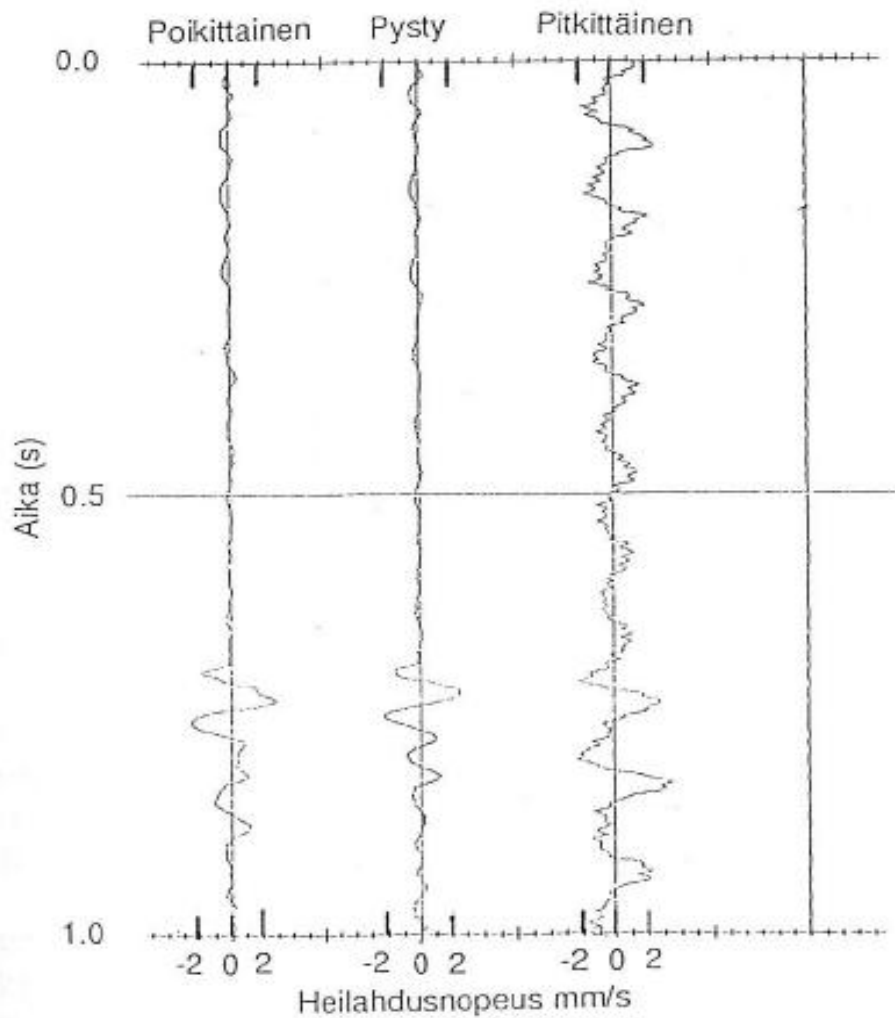
Paalutuksessa syntyvän tärinän suuruuteen vaikuttavat olennaisesti (Pöllä ym. 1996, 11):

- paalutuslaite (iso/pieni, hidas-/nopeaiskuinen)
- paalutyypin (poikkileikkauksen pinta-ala, kalliokärkeä vai ei)
- Jätkäleön pudotuskorkeus ja massa.



Siihen vaikuttavat myös huomattavasti maalaji sekä käytetty energia. Mitä enemmän energiaa siirtyy paalusta maahan, niin sitä enemmän siitä syntyy värinää ja se leviää laajemmalle alueelle. Jos paalun tunkeutuma pienenee, niin käytetty energia ei absorboitu sen liikkeeseen, vaan nosta värinätaaso. Maalajeista otollisin värinän leviämislle on pehmeä savi ja siltti, joilla on korkea vesipitoisuus. Sen jälkeen tulevat kova savi ja hiekka. Sorassa ja moreenissa värinä vaimenee nopeimmin. (Slunga 1983.)

Kuvassa 8 on värinämittaustulos paalutuksesta, joka on suoritettu Pöllän ym. (1996) tekemässä tutkimuksessa. Värinäanturi oli kiinnitetty paalutuskenän vieressä olevan ATK-salin lattiaan. Värinän heilahdusnopeuden huippuarvo oli  $v=3,2$  mm/s ja taajuus kyseisellä hetkellä oli  $f=16$  Hz. Mittauskäyrästä on nähtävissä juuri tyypillinen pudotusjärkällellä tehdyllle paalutukselle ominainen värinän luonne.



**Kuva 8.** Paalutuksen aiheuttamaa värinää ATK-salin rakenteissa (Pöllä ym. 1996, 12)

Pontitustyö tapahtuu joko, lyömällä, täryttämällä tai puristamalla. Näistä täryttäminen on yleisin käytetty tapa. Siinä pontin tunkeutuminen perustuu ympäröivän maan häi-

riintymiseen. Pontin vaipan ja maan välille syntyvä häiriintynyt vyöhyke vähentää pontin ja maan välistä kitkaa, parantaa pontin tunkeutumista sekä rajoittaa siitä syntyvän tärinän siirtymistä ympäristöön. Yleensä pontin asennuksessa käytettävän täryttäjän taajuus on noin 30-45 Hz. Jos verrataan asennusmenetelmistä syntyvien tärinöiden suuruutta, niin yleensä täryttämällä syntyy pienemmät tärinät kuin lyömällä. Osasyys siihen on, että energiahukka asennuslaitteen ja pontin välillä on pienempi kuin lyöntikoneen ja pontin välillä. Näiden välinen ero ei aina ole kovinkaan suuri ja se riippuu muun muassa asennusolosuhteista. (RIL 253-2010, 46.)

Asennusolosuhteet voidaan luokitella kolmeen eri luokkaan (Otava 2011, 12):

- vaikea, kun pontin tunkeutumisnopeus alle 22 mm/s
- kohtalainen, kun pontin tunkeutumisnopeus 22-60 mm/s
- helppo, kun pontin tunkeutumisnopeus yli 60 mm/s.

Kaikki asennustavat eivät sovi kaikille maalajeille, vaan ne täytyy ottaa huomioon mietittäessä asennustapaa. Puristaminen sopii parhaiten hienorakenteisiin maakerroksiin. Puristamisen tarkoitus on vähentää melua ja värähtelyä, jota pontitustyöstä aiheutuu. Asennus lyömällä sopii kaikkiin maalajeihin, mutta siitä syntyy myös yleensä eniten melua ympäristölle. Täryttäminen sopii parhaiten karkearakeisiin maakerroksiin kuten sora ja hiekka ja erityisesti, jos ne ovat vedellä kyllästettyjä. Sitä voidaan käyttää myös moreenimaakerroksissa sekä hienorakeisissa maakerroksissa. (Eronen 1995.)

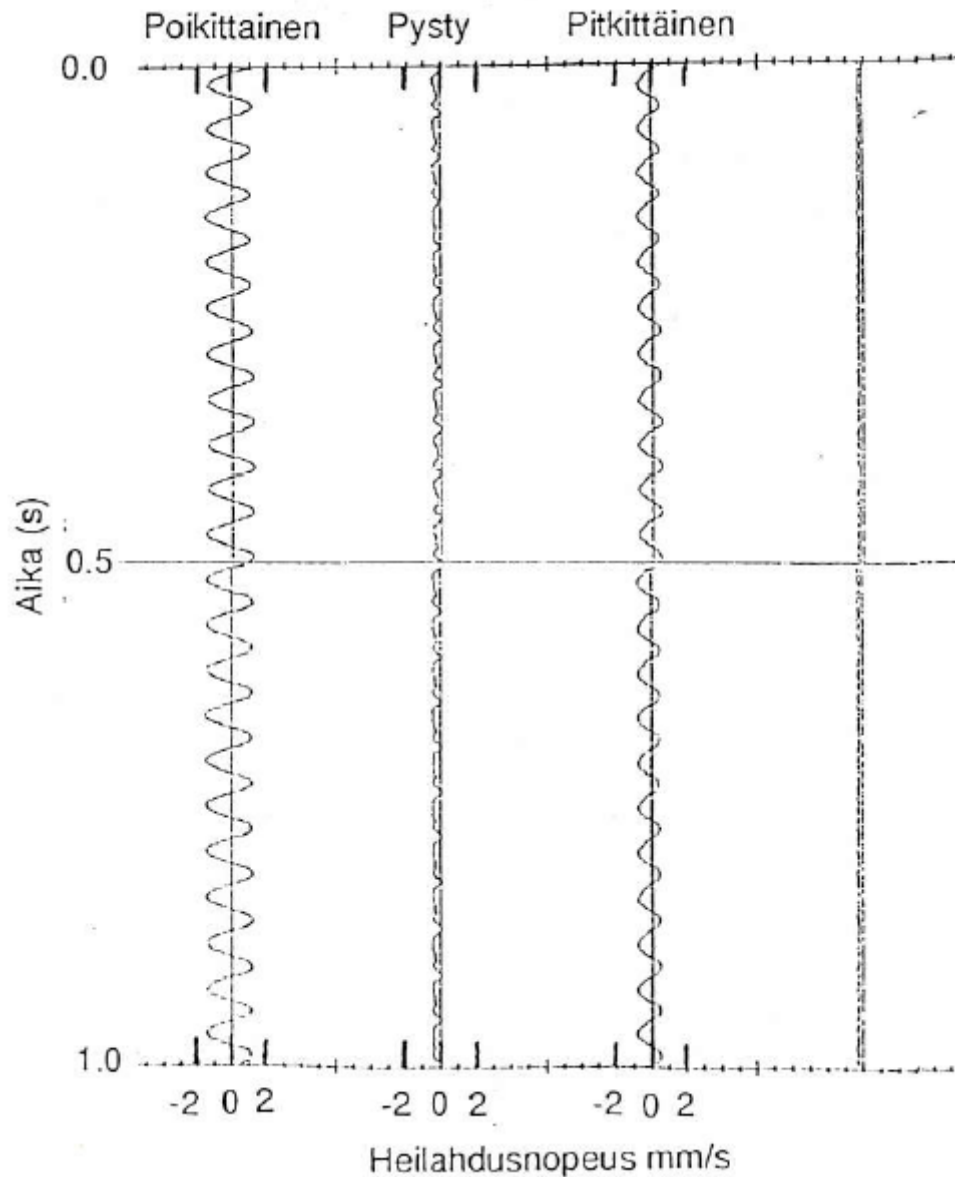
Pontituksesta aiheutuva tärinä syntyy pontin kärkivastuksen sekä vaippavastuksen johdosta. Puristus- ja leikkausaallot syntyvät pontin päässä ja ne etenevät pallomaisesti, vaipalle syntyy myös pystysuuntaisia leikkausaaltoja. Täryttäessä pyritään, että tärytaajuus ja pontin ominaistaajuus ovat resonanssissa. Tällöin pontin tunkeutumisnopeus on suurin. Ongelmia syntyy, jos asennuslaitteen ja ympäröivän maan ominaistaajuudet ovat samat, koska silloin syntyvä tärinä on suurinta ja värähtely voimakasta. Silloin lähellä sijaitseviin rakennuksiin saattaa syntyä vaurioita. (RIL 253-2010, 47.)

Maan tärytiivistystöistä aiheutuu myös tärinää ympäristöön, joka saattaa olla haitallista ja vaurioita aiheuttavaa. Tärytiivistystä käytetään, koska se on todella tehokas keino saada maata tiivistettyä. Tiivistykseen käytetään myös jyriä, jotka eivät tiivistä maata dynaamisesti. Dynaamisesta tiivistyksestä ei synny ympäristöön vaurioita aiheuttavaa tärinää. Tärytiivistys suoritetaan joko tärylevyillä tai -jyrillä. Jos tiivistyksen täytyy ulottua syvemmälle, saatetaan käyttää pudotusjärkälettä. (Vuento 1987.)

Tärytiivistyksestä syntyvän tärinän voimakkuuteen vaikutusalueeseen vaikuttaa suuresti seuraavat seikat (Pöllä ym. 1996, 14):

- Tiivistettävät maalajit ja profiilit vaihtelevat suuresti. Suurimmat värähtelyt syntyvät siltillä ja savella, koska niillä on korkea vesipitoisuus.
- Usein routaantuneessa maassa syntyy suurempia tärinöitä kuin sulassa maassa.
- Rakennuksen rakenteissa saattaa syntyä resonanssitilanne, jos värähtelyn taajuus on sama kuin rakenteen ominaistajuus, tämä voi lisätä vaurioriskiä.
- Jos maan aikaisemmat painumat ovat aiheuttaneet rakenteisiin jännityksiä, jotka ovat lähellä rakenteiden murtorajoja, niin hyvinkin pieni lisäjännitys voi aiheuttaa vahinkoja.
- Täryttimen käynnistäminen ja sammuttaminen saattaa hetkellisesti lisätä maan tärinää, joten sen vuoksi niitä ei pidä käynnistää tai sammuttaa rakennuksen vieressä.
- Staattinen jyrääminen on hyvä vaihtoehto dynaamiselle tiivistämiselle, jos se soveltuu käytettäväksi.

Pöllän ym. (1996) tekemässä tutkimuksessa tutkittiin kevyenliikenteenväylän rakentamisen yhteydessä tehdyn tärytiivistyksen vaikutusta viereiseen pientaloon. Suoritetuista tärinämittauksista voidaan todeta, että suurimmat tärinät kohdistuivat vaakakomponenteille. Suurin mitattu arvo oli noin 1,8 mm/s ja se tuli anturin poikittaiselta akselilta (kuva 9). Täryrummun paino oli noin 10 tn ja matka kevyenliikenteenväylästä pientaloon oli noin kahdeksan metriä.



**Kuva 9.** Tärytiivistyksestä aiheutunutta värinää noin kahdeksan metrin etäisyydellä värinälähteestä (Pöllä ym. 1996, 14)

Täryjyrällä tapahtuva tiivistys perustuu sullontaan sekä jyrän aiheuttamaan värinään maassa. Tärylevyllä tiivistäessä tiivistys tapahtuu lähinnä värinän avulla, koska levyn massan vuoksi, sen aiheuttama sullonta on vähäistä. Tällöin suuri osa sen energiasta siirtyy värinäaalloiksi maahan. Värinä aikaansaadaan epäkeskeisen voiman avulla ja niiden käyttämä taajuusalue on yleensä noin 30-75 Hz. Täryjyrät ovat yleensä matalataajuisia ja tärylevyt korkeataajuisia. (RIL 253-2010, 48).

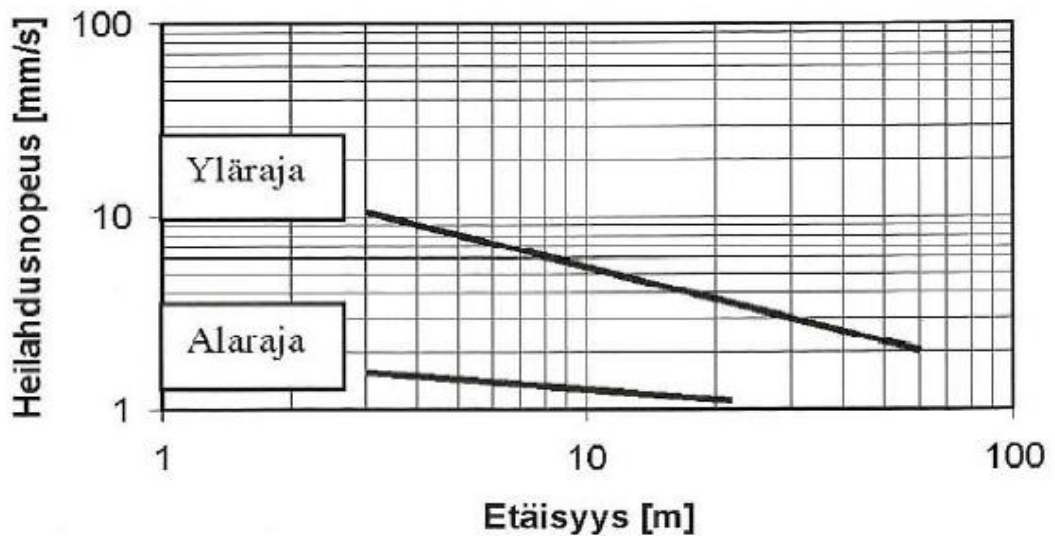
Tiivistystyössäkin maapohjalla on suuri merkitys värinän voimakkuuteen, mitä tiiviimpi maapohja on, niin sitä suurempi osa energiasta siirtyy ympäristöön värinäaalloiksi. Työn aikana värinän suuruus kasvaa noin kaksin-kolminkertaiseksi maan tiivistymisen vuoksi. Värinäkuormitus on tärytiivistyksessä jatkuvaa ja lähes harmonista. Tiivistys-

työn aikana tapahtuu noin 100 000-200 000 sykliä tunnissa. Irto rakeiset maa-ainekset, kuten hiekka, sora, karkearakeiset moreenit, murskatut kiviainekset ja louhe tiivistetään yleensä tärytiivistyksellä. Tällöin sullonnan lisäksi myös maassa leviävällä värähtelyllä on suuri merkitys tiivistykseen. Hienorakeiset maa-ainekset taas tiivistetään yleensä sullomalla, koska niissä rakeiden välinen koheesio estää rakeiden irtoamisen toisistaan tärymenetelmällä. (RIL 253-2010, 48.)

### 3.5 Liikenne

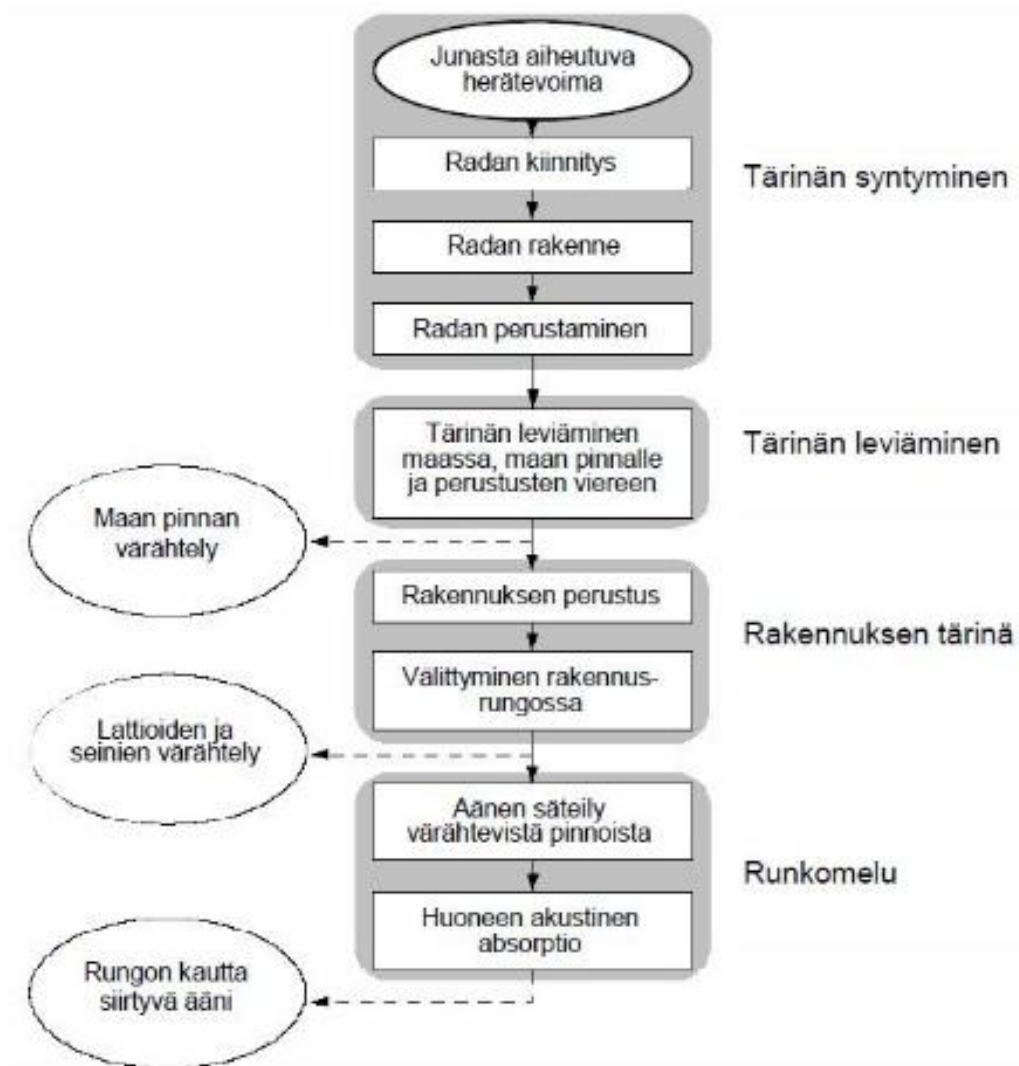
Ajoneuvon kulkiessa maantiellä sen massa aiheuttaa tiessä painuman. Samoin sen jokainen rengas saa tiessä aikaan nopean paineen muutoksen. Ajoneuvon liikkeessä siitä siirtyy maaperään energiaa, joka ilmenee tärinänä maaperässä. Jos tie on kovin kuoppainen tai epätasainen, syntyy ajoneuvon renkaan ja maantien välillä iskuja, jotka lisäävät maahan aaltoliikkeen muodossa leviävän tärinän voimakkuutta. Maantien alla ja läheisyydessä tarvitsee olla pehmeitä maalajeja, jotta aaltoja syntyy. Pehmeässä vedenkyllästämässä savessa aaltojen nopeus voi olla todella matala, vain noin 35 m/s, kun taas kovemmissa maalajeissa nopeudet kasvavat huomattavasti. Moreenissa nopeus voi olla noin 1500-2000 m/s. Aallon aiheuttama vahinkovaikutus on sitä suurempi, mitä hitaampi aalto on. Kuvassa 10 on esitetty suuntaa-antava kuvaaja työmaaliikenteen aiheuttamasta tärinästä ja vaimenemisesta. (Pelkkikangas 1985.)

## Työmaaliikenne, tärinä maassa



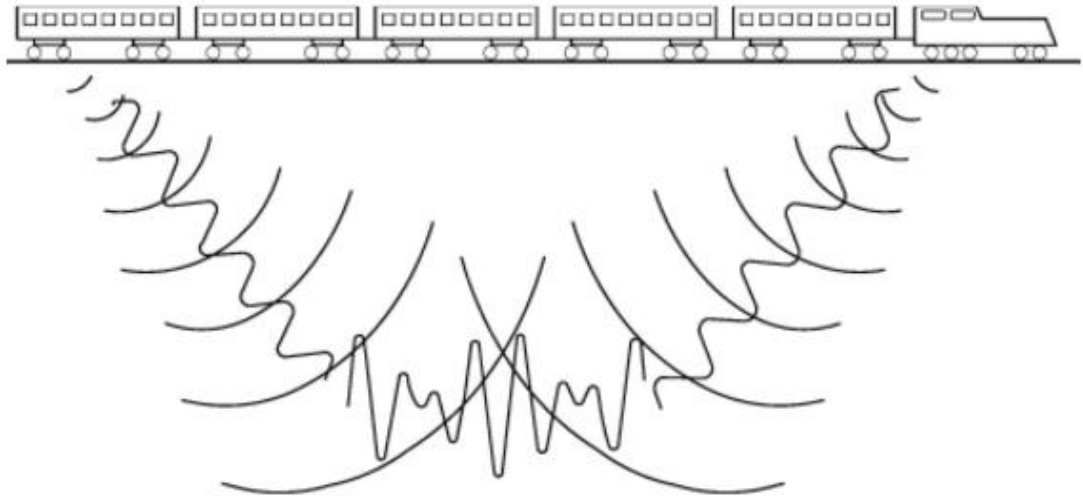
**Kuva 10.** Suuntaa-antava työmaaliikenteen aiheuttaman tärinän suuruus ja sen vaimeneminen työkoneen ympäristössä (RIL 253-2010, 94)

Junasta aiheutuva tärinä syntyy junan pyörien ja kiskojen välisistä voimista, joka edelleen siirtyy junaradan rakenteista maaperään. Raiteissa olevat epätasaisuudet, kuten kiskojen jatkokset, niiden vialliset kohdat ja vaihteiden ylitykset voivat nostaa pyöriin kohdistuvan kuorman jopa kolminkertaiseksi. Junissa on monta akselia ja ne kaikki muodostavat erillisiä yksittäisiä herätelähteitä, joista muodostuu pitkä nauhamainen herätelähde. Ilmiö nimeltä ohitustaajuus syntyy siitä, että yksittäisten akselien muodostavat akselikuormat liikkuvat samaan suuntaan. Ohitustaajuuden suuruus riippuu junan tyypistä (massasta, nopeudesta ja akselien lukumäärästä). Esimerkiksi, jos tavarajuna kulkee 60-80 km/h, niin sen akselit aiheuttavat 1,1-5,2 Hz taajuuden. Samanlaisen taajuuden aiheuttaa henkilöjuna, jos sen nopeus on 100-140 km/h. (Mäkelä ym. 2002, 154; Törnqvist & Nuutilainen 2002, 10.)



**Kuva 11.** Junaliikenteestä aiheutuvan tärinän leviäminen ympäristön kautta rakennukseen (Törnqvist & Talja 2006, 12)

Junan aiheuttaman tärinän suuruuteen vaikuttaa sen painon ja nopeuden lisäksi junan pituus ja kuinka se on lastattu. Juna voi aiheuttaa interferenssi-ilmiön, jos se on pitkä. Ilmiö syntyy siitä, kun junan alku- ja loppupään aiheuttamien tärinöiden taajuuksien välille syntyy vaihe-ero. Ilmiöstä johtuen tärinäaallot saattavat summautua tietyn välimatkan päässä, eli ne vahvistavat toisiaan, kuvassa 12 on esitetty tämä ilmiö. Junan kunto vaikuttaa tärinän voimakkuuteen myös huomattavasti, jos sen jousitus on huonossa kunnossa ja pyörät kuluneet, niin junan aiheuttama herätevoima saattaa kasvaa huomattavasti. (Törnqvist & Nuutilainen 2002, 11-12.)



**Kuva 12.** Junan aiheuttama interferenssi-ilmiö (Törnqvist & Nuutilainen 2002, 11)

Liikennetärinä saattaa kestoltaan olla hyvin pitkäaikaista ja ympärivuorokautista. Liikennetärinän syntyyn ja suuruuteen vaikuttavat monet asiat, mutta oleellisimmin seuraavat asiat:

- ajoneuvon nopeus
- ajoneuvon massa
- tien kunto (epätasaisuus, pinnoite, kuopat, hidastusyssyt, ym.).

Tärinän luonteeseen (taajuuteen) ja voimakkuuteen vaikuttavat myös ajoneuvon tekniset ratkaisut mm. akseliväli ja -lukumäärä sekä jousitus.

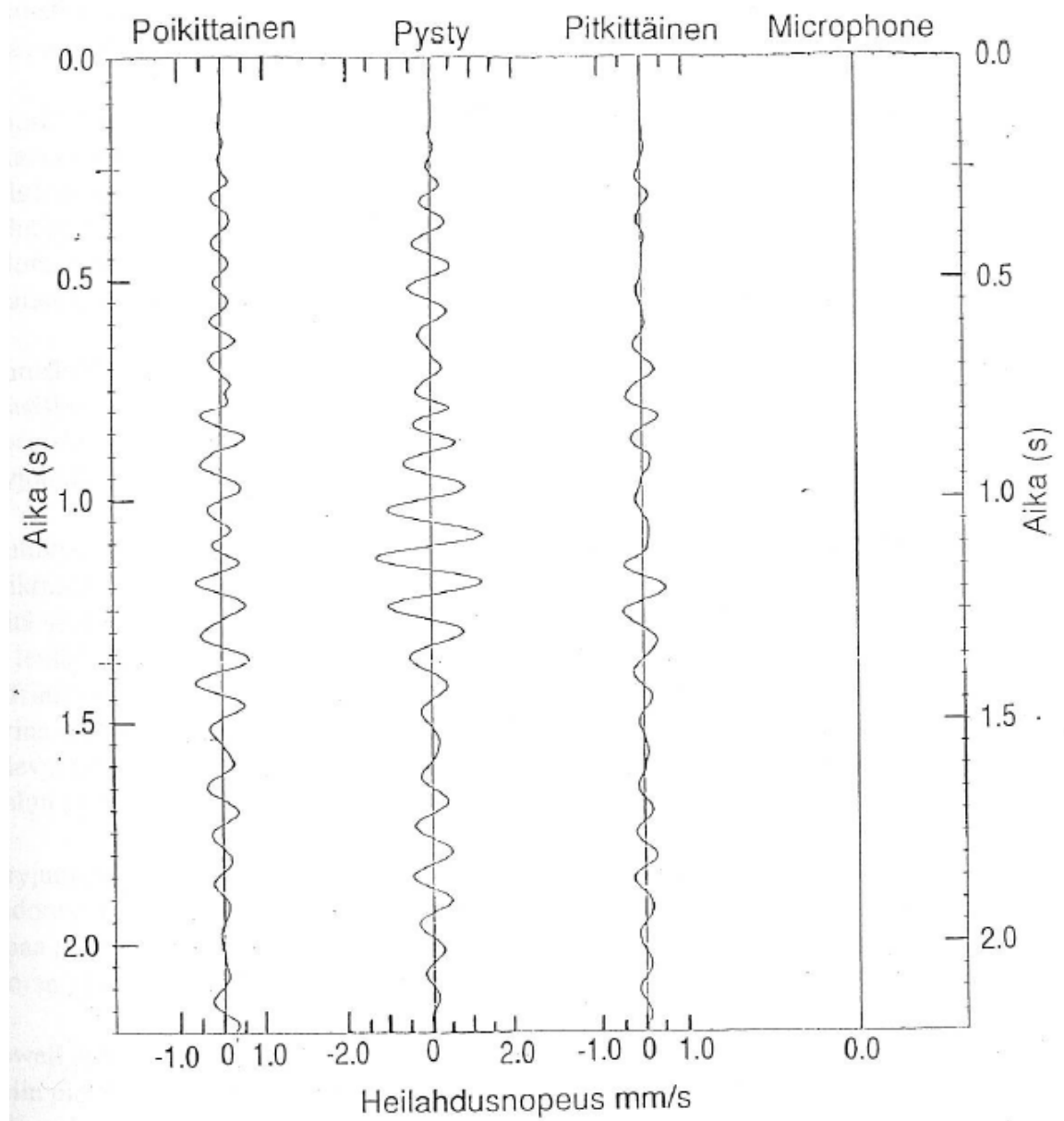
Kuvassa 13 on esitetty tärinämittaustulos pientalossa olleesta tärinämittarista, jolla on mitattu ohiajavan kuorma-auton aiheuttama tärinää. Kyseessä on ollut Pöllän ym. (1996) Kalliorakentaminen 2000 tutkimushankkeen laatiminen, jossa mittaus on suoritettu.

Mittauksen olosuhteet ovat olleet seuraavat:

- Pientalon ja tien välinen etäisyys oli noin 15 metriä.
- Ajoradassa oli hidastusyssyjä.
- Ajoneuvo lasteinen painoi 16 tonnia.
- Ajonopeus oli noin 30 km/h.



Mittauksessa suurin tulos saatiin pystykomponentilta, maksimiarvo oli  $v=1,33$  mm/s ja sen hetkinen taajuus  $f=9$  Hz. Mittauksesta saadun taajuusanalyysin mukaan koko värinäenergian siirtyminen pientaloon tapahtui noin 10 Hz taajuudella. Tapahtumahetkellä värinä oli kohteessa selvästi tuntuva ja havaittavaa. (Pöllä ym. 1996, 10.)



**Kuva 13.** Pientaloon kohdistunutta, hidastustustöyssystä aiheutunutta värinää. Heilahdusnopeuden pystykomponentin suurin arvo on 1,3 mm/s (Pöllä ym. 1996, 10)

## 4 TÄRINÄMITTAUS

### 4.1 Yleistä tärinämittauksista

Tärinämittauksia suoritetaan nykyään lähes aina, jos louhitaan asutuilla alueilla tai teollisuuslaitosten läheisyydessä. Ne toimivat apukeinoina vahingollisuuden arvioinnissa sekä rakenteiden ja laitteiden vaurioiden minimoinnissa. Niillä valvotaan myös, että räjäytysten aiheuttamat tärinät eivät ylitä rakennuttajan tai suunnittelijan antamia raja-arvoja. Kiinteistön tärinän raja-arvot määritellään yleisesti ottaen rakennuksen perustuksille, koska sinne kohdistuva tärinä on voimakkainta. Tärinän voimistuminen perustusten yläpuolisissa rakenteissa on hyvin harvinaista. Toisaalta mittauksilla varmistetaan myös se, että työtä ei tehdä liian varovasti ja epätaloudellisesti. (Pöllä ym. 1996, 83.)

Tärinämittauksia suoritetaan myös lähes aina, kun tehdään muitakin töitä, jotka aiheuttavat tärinää, kuten paalutus, pontitus, tärytiivistys. Näiden raja-arvojen määrittämiselle on myös omat ohjeensa. Tärinämittauksilla voidaan myös valvoa liikennetärinää, esimerkiksi junaradan lähellä, työmaa ajoneuvoista aiheutuvaa tärinää tai raskaasta kalustosta aiheutuvaa tärinää.

Herkille laitteille laitevalmistajat ja maahantuojat antavat omat raja-arvonsa, jonka laitteet kestävät. Herkkiä laitteita on hienomekaniikkaa sisältävät laitteet, esimerkiksi ATK-laitteet tai laboratorio- ja sairaalalaitteet. Näiden laitteiden raja-arvon määrittävänä suurena on yleensä kiihtyvyyden huippuarvo. (Pöllä ym. 1996, 84.)

Tärinälle herkkää on myös kovettuva betoni. Sen herkkyys tärinälle on suurimmillaan sitoutumisessa ja kovettumisen alkuvaiheessa. Sitoutumisvaiheessa olevan betonin tärinänkestävyys on kokemuksen mukaan huonoimmillaan betonin ollessa 6-72 tunnin ikäistä. Tämän vuoksi sitoutumisvaiheessa olevan betonin läheisyydessä tulisi välttää räjäytyksiä tai muita tärinää aiheuttavia töitä. Jos räjäyttämisen on välttämätöntä tulee tärinän raja-arvo asettaa tällöin rakenne, betonilaatu, valuolosuhteet ja tärinän luonne huomioon ottaen. (RIL 253-2010, 27.)

Taulukossa 1 on esitetty periaate raja-arvon määrittämiseksi. Talvibetonoinnissa Betonin lujuuden kehittyminen suunnittelulujuuteensa on tietyissä tapauksissa erittäin hidas-

ta. Näin ollen valujen läheisyydessä on syytä käyttää kovettumisvaiheen alkuosalle määritellyjä raja-arvoja riittävän pitkään.

**Taulukko 1.** Periaate kovettuvaan betoniin kohdistuvan tärinän raja-arvon määrittämiseksi (RIL 253-2010, 27)

| Betonirakenne                                   | Kovettuvaan betoniin kohdistuvan tärinän ohjearvo              |  |   |
|---|--|--|---|
|   | Ennen tärytysrajan alkua                                       | Kovettumisvaiheen alkuosa                | Kovettumisvaihe   |
| Massiiviset muotitetut valut, kuten perustukset | Ei rajoituksia   | 5...20 mm/s puristuslujuuteen 5 MPa asti | Tärinäraja kasvaa alkuarvosta kunnes saavuttaa rakenteen ohjearvon 80 %:n lujuudessa  |
| Muut muotitetut valut                           | Ei rajoituksia (muotit voivat rajoittaa)                       | 2...10 mm/s puristuslujuuteen 5 MPa asti | Tärinäraja kasvaa alkuarvosta kunnes saavuttaa rakenteen ohjearvon 80 %:n lujuudessa  |
| Ruiskubetoni                                    | 10 mm/s, kun betoni voi irrota pinnasta, muuten ei rajoituksia | 2...10 mm/s puristuslujuuteen 5 MPa asti | Tärinäraja kasvaa alkuarvosta suora-<br>viivaisesti lujuuden funktiona kunnes saavuttaa ohjearvon 70 mm/s 80 %:n lujuudessa |
| Betonijuotetut kalliopultit                     | 10 mm/s, kun pultti voi pudota, muuten ei rajoituksia          | 2...10 mm/s puristuslujuuteen 5 MPa asti | Ei rajoituksia  |

## 4.2 Mittauskalusto

Nykyään lähes aina tärinämittauksissa käytetään tärinämittauksissa kolmikomponentti-tärinämittareita, joilla pystytään mittamaan useaa eri mittasuureta samaan aikaan. Ennen mitattiin ainoastaan heilahdusnopeuden pystykomponentin huippuarvoa. Kolmikomponenttimittarilla pystytään mittamaan heilahdusnopeutta kolmelta eri akselilta (pystyakselilta, pitkittäisakselilta ja poikittaisakselilta), siirtymää, kiihtyvyyttä ja taajuutta. Yleensä määräävänä suurena rakenteille toimii heilahdusnopeuden huippuarvo, mutta on tilanteita, joissa joku muu suure on määräävä. Esimerkiksi kiihtyvyys saattaa olla määräävä suure, kun rakennuksessa on herkkiä laitteita. (Vuolio & Halonen 2010, 319.)

Tärinämittareissa käytettävät anturit ovat lähes aina geofoneja eli nopeusantureita. Geofonit ovat kooltaan pieniä, joka helpottaa niiden asentamista ja käyttöä. Sen ominaisuudet sopivat myös hyvin mittauksiin, joissa mitataan heilahdusnopeutta taajuusalueella 5-300 Hz. Geofonien ominaistaajuus on yleensä alhainen (5-10 Hz), jolloin matalataajuista tärinää mitattaessa voi resonanssista johtuen tulla merkittävää virhettä tuloksiin. Kiihtyvyyssantureiden käyttö on todella vähäistä ja siirtymäantureita ei käytetä räjäytystärinän mittauksessa lainkaan. (Vuolio & Halonen 2010, 323-324.)

Geofonin tuottama analoginen signaali siirretään tärinämittariin kaapelia pitkin. Kaapelien tarvitsee olla laadultaan vaatimukset täyttäviä, niiden signaalin vaimeneminen ja signaali-kohinasuhteen täytyy olla tarkkuusvaatimusten mukaiset (vähintään 10 dB). Kaapelien tarvitsee myös kestää mekaanista käsittelyä työmaalla sekä vaihtelevia sääolosuhteita. Joissain antureissa on myös langaton tiedonsiirto. Mittauslaitteisto koostuu mittausturista, kaapelista, tiedonkeruuyksiköstä (tärinämittari) sekä tarvittaessa modeemista. (Pöllä ym. 1996, 87; RIL 253-2010, 78.)

Mittaustulokset jäävät tärinämittarin omaan muistiin, josta ne voidaan purkaa tietokoneelle tai lukea suoraan mittarin näytöltä. Useimpiin tärinämittareihin saa liitettyä myös modeemin, jolla tulokset saadaan lähetettyä suoraan kaukovalvontaohjelmaan langattomasti. Kaukovalvonnassa olevat tärinämittarit on yleensä ohjelmoitu lähettämään tulokset verkkoon välittömästi tuloksen rekisteröimisen jälkeen. Joidenkin laitevalmistajien tärinämittareissa kaukovalvontaominaisuus on sisäänrakennettuna, eikä se tarvitse ulkoista modeemia. Jos mittaria ei ole liitetty kaukovalvontaan, vaan se mittaa manuaalisesti, niin tulokset tarvitsee käydä lukemassa paikan päällä.

### **4.3 Laitevalmistajat**

#### **4.3.1 Instantel Mimate Plus**

Instantelin Mimate Plus on 3-komponenttimittari, johon saa liitettyä tärinäanturin, mikrofonin, modeemin sekä virtajohdon. Mittarissa on myös sisäinen akku, jonka toiminta-aika on noin yhden viikon. Se on analyysimittari ja sen tallennuksen ja jatkumisen pystyy ohjelmoimaan sekuntien tarkkuudella. Laitteen omaan muistiin mahtuu 300 mittaustulosta ja ne siirretään tietokoneelle kaapelia pitkin. Tulokset puretaan Instante-

lin omalla Blastware- ohjelmalla. Jos laitteessa on käytössä modeemi, niin se lähettää tulokset automaattisesti kaukovalvontaohjelmaan langattomasti.



**Kuva 14.** Instantel Minimate Plus ([www.instantel.com](http://www.instantel.com))

Instantel tärinämittarin mittausalue on 0-254 mm/s, mikä on riittävä, koska pohjoismaiden normien mukaan suurin sallittu heilahdusnopeus on luokkaa 140 mm/s. Mittarin resoluutio, eli erottelukyky, on 0,127 mm/s ja tarkkuus on +/-5 % tai 0,5 mm/s. Taajuusalueeksi tehdas ilmoittaa 2-250 Hz. Ulkomitat ovat 81 mm x 91 mm x 160 mm ja paino on 1,4 kg. Mittarilla voidaan mitata kolmella eri mittaustavalla, jatkuva, histogram ja histogram-combo. Mittarin hinta anturin kanssa on noin 5800 €. ([www.instantel.com](http://www.instantel.com))

#### 4.3.2 Syscom MR3000C

Syscomin MR3000C on myös 3-komponentti analyysimittari. Se on aika vastaava kuin Instantelin Minimate Plus, mutta sitä saa sekä ulkoisella että sisäisellä anturilla. Siihen voi asentaa myös SD-muistikortin, joka lisää sen muistin kokoa. Siinä mittaustiedon siirto tapahtuu samalla tavalla kuin Instantelin mittarissa, mutta siinä on sisäänrakennettu modeemi. Sen akun kesto on vain noin kolme päivää. Mittarin hinta on noin 6400 €. ([www.syscom-instruments.com](http://www.syscom-instruments.com))



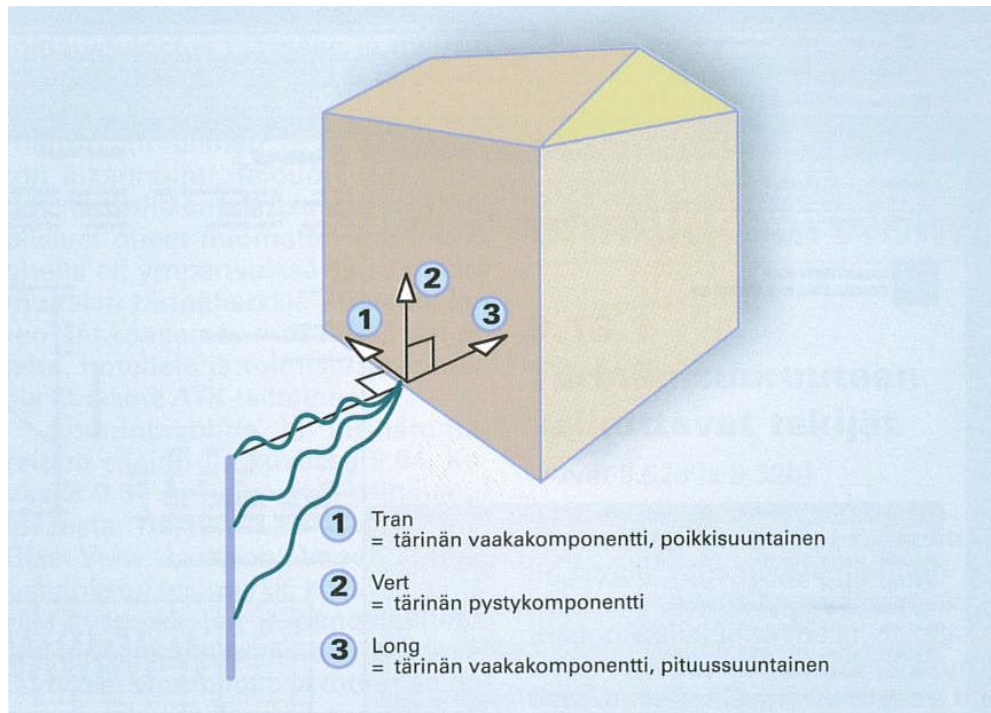
**Kuva 15.** Syscom MR3000C ([www.syscom-instruments.com](http://www.syscom-instruments.com))

Tässä oli esiteltynä laitevalmistajista ainoastaan kanadalainen InstanTel ja sveitsiläinen Syscom Instruments. Tärinämittareita on saatavilla usealta eri valmistajalta ja useita eri malleja. Muita laitevalmistajia on muun muassa yhdysvaltalainen Whiteseis sekä ruotsalaiset Abem ja Sigicom.

#### 4.4 Mittarin asentaminen

Tärinämittarit asennetaan riskianalyyysissä määrättyihin kohteisiin, kun työt ovat siinä pisteessä, että kyseisestä kohteesta tarvitsee tärinää mitata. Tärinämittarin asentamispaikan määrittämiseen tarvitsee ammattitaitoa, jotta siitä saadut tulokset kertovat tarkasti rakenteisiin kohdistuvan tärinän voimakkuuden.

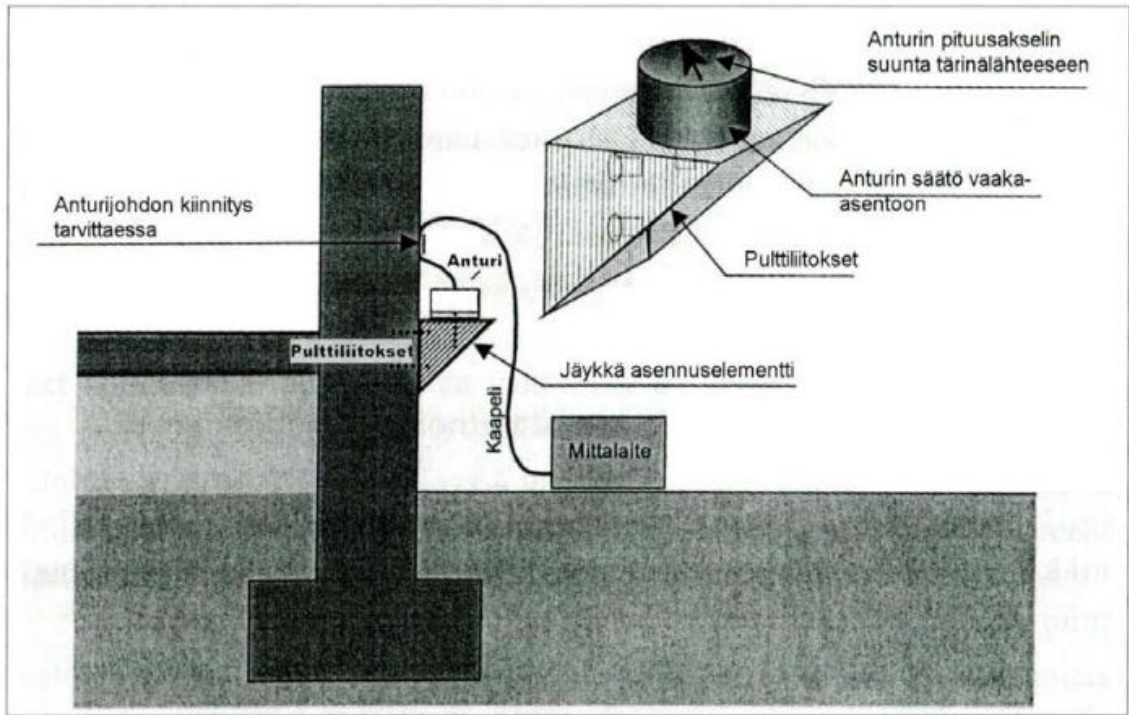
Rakenteisiin vaikuttavaa tärinää mitattaessa tärinämittarin anturit pyritään asentamaan mahdollisimman lähelle rakennuksen pohjatasoa. Perustuksiin tai kantavaan rakenteeseen rakennuksen siihen osaan, joka on lähinnä louhintakohdetta. Eli pyritään asentamaan mittari rakennuksen siihen osaan, josta tärinä siirtyy rakennukseen. Tällä pyritään siihen, että rakenteeseen kohdistuva tärinä saadaan mitattua mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, ennen kuin rakenteiden ominaisuudet (esimerkiksi resonointi) vaikeuttavat tulosten tulkintaa. Kalliotiloissa anturi kiinnitetään joko suoraan kallion pintaan, jos mahdollista tai betoniin. (Vuolio & Halonen 2010, 323; Pöllä ym. 1996, 85.)



**Kuva 16.** Tärinäanturin sijoittaminen tärinänlähteeseen ja rakenteeseen nähden (Vuolio & Halonen 2010, 323)

Mikäli halutaan mitata laitteisiin kohdistuvaa tärinää, niin anturit tulevat sijoittaa sillä tavalla, että ne antavat oikean kuvan laitteisiin kohdistuvista tärinöistä. Laitteiden ja laitteistojen käytöstä, käyntiväriinistä sekä käyttäjien toimenpiteistä aiheutuu usein laitteiden runkoon tärinää, joka häiritsee tärinämittausta. Laitemittaukset kannattaakin yleensä tehdä laitteiden ja laitteistojen lähellä sijaitsevista kantavista rakenteista, silloin saadaan käsitys laajemmalti vaikuttavasta tärinästä (esimerkiksi koko ATK-sali). Laitesalin eri laitteisiin kohdistuva tärinä saattaa voimakkuudeltaan poiketa merkittävästikin toisistaan, joten kannattaa mitata useammasta kuin yhdestä laitteesta. (Vuolio & Halonen 2010, 323.)

Tärinäanturi kiinnitetään alustaan jäykästi (kuva 17) pultilla. Anturi voidaan kiinnittää jalustaan, joka mahdollistaa kiinnityksen pystysuoraan pintaan (kuva 19). Instantelin anturit sallivat 3% heiton pysty- ja vaakasuunnassa. Jalustan dynaamiset ominaisuudet eivät vaikuta mittaustuloksiin. Jos anturi asennetaan vaakapintaan (kuva 18), niin anturi voidaan kiinnittää ilman jalustaa. Anturi kiinnitetään kantavaan rakenteeseen (esimerkiksi sokkeliin, kantavaan seinään, pilariin tai kallioon). Joissain tilanteissa (esimerkiksi laitteeseen kiinnittäessä) ei ole mahdollista kiinnittää anturia pultilla, joten silloin suositellaan käytettäväksi metallipuristinta kiinnitykseen tai muulla tavoin varmistettava riittävä kiinnitys anturille. (RIL 253-2010, 79; [www.instantel.com](http://www.instantel.com).)



**Kuva 17.** Tärinäanturin kiinnitys (RIL 253-2010, 79)



**Kuva 18.** Tärinäanturin kiinnitys vaakapintaan





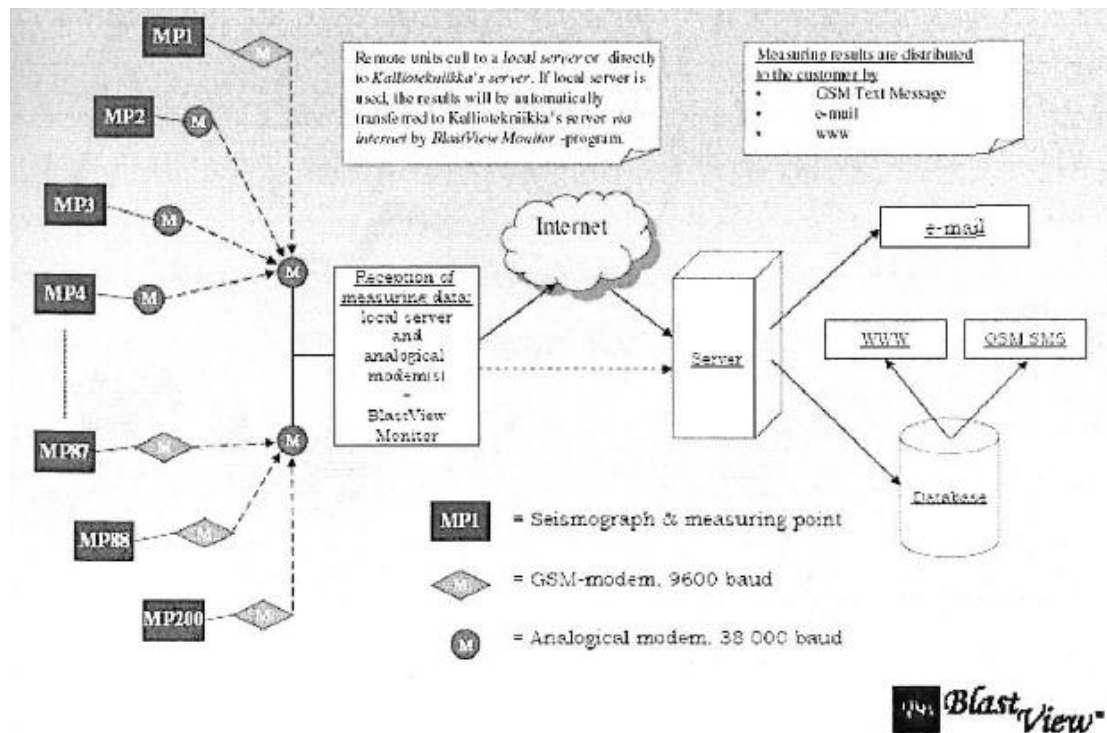
**Kuva 19.** Tärinäanturin kiinnitys pystysuoraan pintaan jalustalla

## 4.5 Tulosten käsittely

### 4.5.1 BlastView

BlastView on Kalliotekniikka CE Oy:n kehittämä kaukovalvontaohjelmisto ja se on voittanut kansainvälisen laitevalmistaja Instatelin vuoden 2006 Innovation Awardin. Se on reaaliaikainen mittausjärjestelmä, josta tärinämittareiden tulokset saadaan erittäin nopeasti verkkoon eri osapuolten käyttöön. Kaukovalvonnassa olevien mittareiden kuntoa ja asetuksia voidaan seurata tai muuttaa toimipisteestä käsin. ([www.kalliotekniikka.com](http://www.kalliotekniikka.com))

BlastView-järjestelmässä mittarit ovat useimmiten kytketty GSM-verkkoon. Mittarit on mahdollista erikoistapauksissa liittää myös kiinteään puhelinlinjaan. Tätä käytetään tilanteissa, joissa mittari on räjähdysalttiissa tilassa, jossa GSM-verkkoa ei sallita tai tila on GSM-verkon ulkopuolella. BlastView-järjestelmän toimintakaavio on esitetty kuvassa 20. (Mäkelä 2010, 42.)



**Kuva 20.** BlastView-järjestelmän toimintakaavio (www.kalliotekniikka.com)

BlastView-järjestelmään pystytään asettamaan työmaan pohjakuva, jossa näkyvät kaikki kohteen rakennukset ja muut merkittävät kohteet. Jokainen mittapiste asetetaan kartalle tarkoilla koordinaateilla ja mittapiste tulee näkyviin kartalle. Jokainen räjäytys merkitään myös karttaan tarkoilla koordinaateilla. Mittaustulokset tulevat näkyviin järjestelmän etusivulle, josta pystytään valitsemaan yksittäinen mittapiste ja tarkastelemaan sen mittaustuloksia tarkemmin. Järjestelmä laskee automaattisesti räjäytyksen ja mittapisteen etäisyyden, sekä tuloksen prosenttiosuuden sille määritetystä raja-arvosta. Raja-arvo on yleensä etäisyyssidonnainen heilahdusnopeuden huippuarvo.

Kuvassa 20 on yhden mittapisteen tarkempi raportti räjäytyksestä. Liitteessä on enemmän malleja BlastView:stä saatavista raporteista. Kuvassa 20 oleva raportti on saatu jatkuvalla mittauksella ja se on tunnelin räjäytyksestä. Histogram mittauksella raportit ja tulokset ovat erilaisia, koska mittaustapa on erilainen.

Date/Time Vert At 07:03:12 March 19, 2015 Serial Number BE7170 V 8.01-8.0 MiniMate Plus  
 Trigger Source Geo: 1.00 mm/s Battery Level 6.7 Volts  
 Range Geo: 264 mm/s Calibration June 29, 2000 by Instantal Inc.  
 Sample Rate 10.0 sec. At 1024 Sps File Name I170FRLV.LC0  
 Job Number

Notes  
 Location:  
 Client:  
 User Name:  
 General:

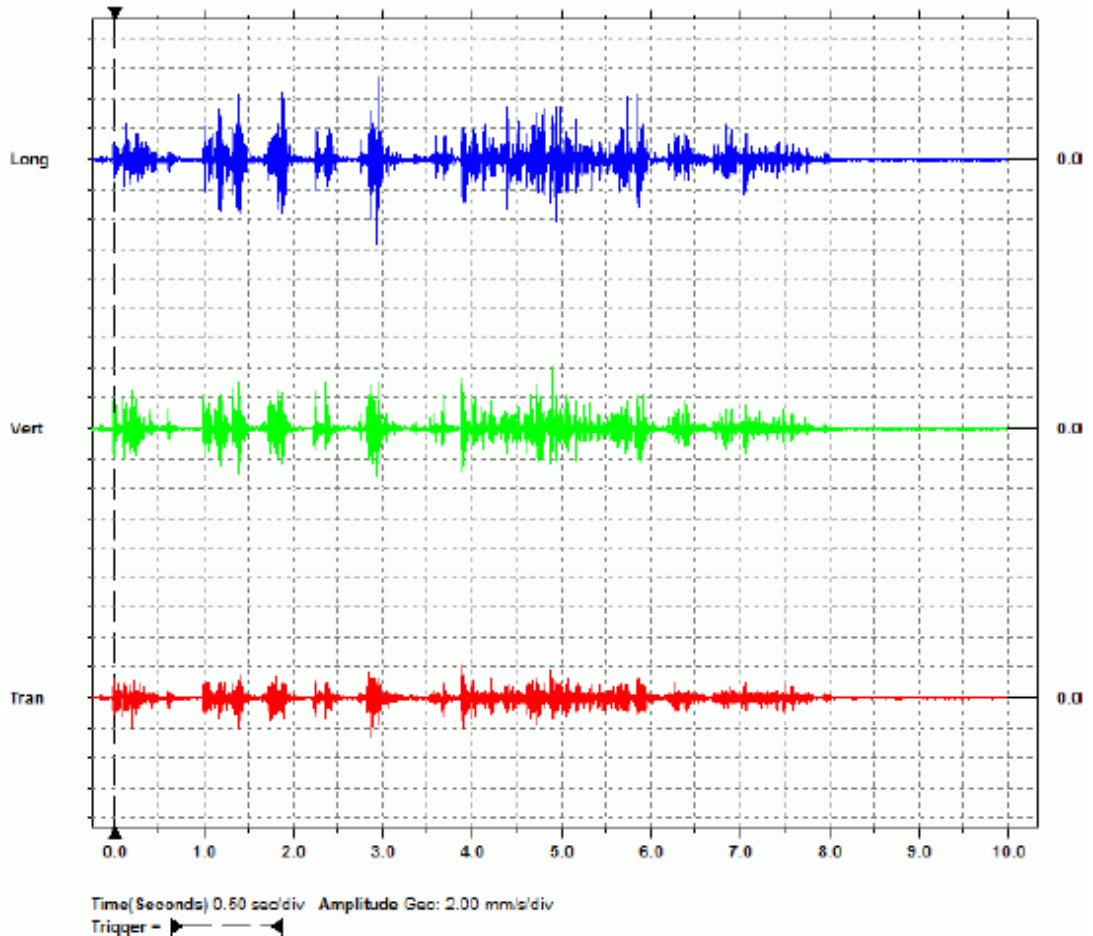
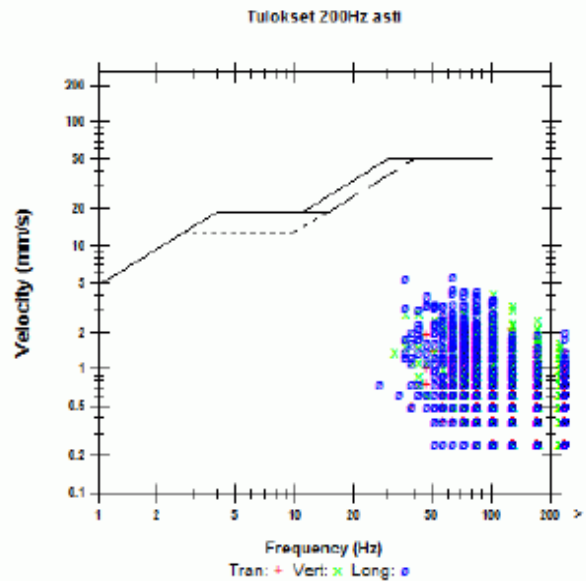
Extended Notes  
 asennettu 20.2.2015 VM

Post Event Notes

|                     | Tran    | Vert   | Long   |      |
|---------------------|---------|--------|--------|------|
| PPV                 | 2.67    | 4.06   | 5.71   | mm/s |
| ZC Freq             | 57      | >100   | 84     | Hz   |
| Time (Rel. to Trig) | 2.865   | 4.688  | 2.937  | sec  |
| Peak Acceleration   | 0.212   | 0.331  | 0.292  | g    |
| Peak Displacement   | 0.00477 | 0.0106 | 0.0130 | mm   |
| Sensorcheck         | Passed  | Passed | Passed |      |

Peak Vector Sum 6.54 mm/s At 2.938 sec

USBM RI8507 And OSMRE (Standard <100Hz)



Kuva 21. BlastView-raportti yhdestä mittapisteestä (BlastView)

## 4.5.2 Blastware

Blastware on Instantelin oma tärinämittaustulosten analysointi ohjelma. Sitä käytetään, kun tärinää mitataan manuaalisesti, koska silloin mittaustulokset jäävät tärinämittarin omaan muistiin, eivätkä siirry modeemiin välityksellä suoraan verkkoon. Tällöin mittaustulokset siirretään tietokoneella tärinämittarista Blastwareen kaapelin avulla. Blastwarella tulokset puretaan ja mittaustuloksista saadaan raportit. Taulukossa 2 ja kuvassa 22 on esimerkit Blastwaren mittausraporteista.

**Taulukko 2.** Blastwaren koontiraportti mittarin mittaustuloksista (Blastware)

| Tärinämittaustulokset 13.8.-25..8.2014 |                     |         |                  |                  |                  |             |                |                |                |                |                |                |
|--|---------------------|---------|------------------|------------------|------------------|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Event Report:                          |                     |         |                  |                  |                  |             |                |                |                |                |                |                |
| Serial No.                             | Date/Time           | Trigger | Tran Peak (mm/s) | Vert Peak (mm/s) | Long Peak (mm/s) | PVS1 (mm/s) | Tran Accel (g) | Vert Accel (g) | Long Accel (g) | Tran Freq. Hz. | Vert Freq. Hz. | Long Freq. Hz. |
| BE9380                                 | Aug 13 /14 10:26:59 | ***     | ***              | ***              | ***              | ***         | ***            | ***            | ***            | ***            | ***            | ***            |
| BE9380                                 | Aug 13 /14 13:53:16 | Vert    | 1.78             | 2.16             | 1.02             | 2.34        | 0.0530         | 0.199          | 0.0530         | 42.7           | 56.9           | 56.9           |
| BE9380                                 | Aug 14 /14 09:24:58 | Vert    | 1.78             | 2.54             | 1.02             | 2.90        | 0.0663         | 0.239          | 0.0398         | 46.5           | 73.1           | 64.0           |
| BE9380                                 | Aug 15 /14 08:18:02 | Vert    | 2.54             | 4.83             | 1.40             | 4.99        | 0.0795         | 0.292          | 0.0795         | 51.2           | >100           | 46.5           |
| BE9380                                 | Aug 15 /14 12:35:38 | Vert    | 3.94             | 6.10             | 2.03             | 6.34        | 0.146          | 0.384          | 0.0795         | 56.9           | 64.0           | 46.5           |
| BE9380                                 | Aug 18 /14 15:01:07 | Vert    | 3.43             | 5.71             | 1.90             | 5.80        | 0.119          | 0.318          | 0.0928         | 42.7           | 36.6           | 51.2           |
| BE9380                                 | Aug 19 /14 09:30:38 | Vert    | 2.79             | 4.95             | 1.65             | 5.36        | 0.0928         | 0.252          | 0.0795         | 39.4           | 64.0           | 51.2           |
| BE9380                                 | Aug 21 /14 08:58:33 | Vert    | 2.79             | 3.43             | 1.14             | 3.60        | 0.106          | 0.358          | 0.0530         | 42.7           | 46.5           | 42.7           |
| BE9380                                 | Aug 21 /14 10:18:02 | Vert    | 2.67             | 7.11             | 1.52             | 7.24        | 0.106          | 0.583          | 0.106          | 56.9           | 73.1           | >100           |
| BE9380                                 | Aug 21 /14 13:12:03 | Vert    | 1.78             | 3.05             | 1.27             | 3.24        | 0.106          | 0.424          | 0.0663         | 56.9           | 51.2           | 64.0           |
| BE9380                                 | Aug 22 /14 12:54:02 | Vert    | 2.03             | 5.46             | 2.79             | 5.81        | 0.106          | 0.411          | 0.106          | 46.5           | 46.5           | 56.9           |
| BE9380                                 | Aug 22 /14 19:34:08 | Tran    | 2.54             | 1.40             | 0.635            | 2.54        | 0.239          | 0.146          | 0.0663         | 7.88           | >100           | >100           |
| BE9380                                 | Aug 23 /14 13:37:28 | Vert    | 0.889            | 2.16             | 1.40             | 2.65        | 0.0795         | 0.186          | 0.0928         | >100           | >100           | >100           |
| BE9380                                 | Aug 23 /14 16:07:02 | Vert    | 1.14             | 9.14             | 7.11             | 11.6        | 0.159          | 1.03           | 0.835          | >100           | >100           | >100           |
| BE9380                                 | Aug 25 /14 08:58:52 | Vert    | 1.78             | 3.43             | 1.27             | 3.59        | 0.106          | 0.331          | 0.0795         | 64.0           | 73.1           | 51.2           |
| BE9380                                 | Aug 25 /14 10:18:08 | Vert    | 1.90             | 5.08             | 2.03             | 5.25        | 0.0928         | 0.199          | 0.0928         | 64.0           | 42.7           | 56.9           |
| BE9380                                 | Aug 27 /14 09:17:08 | ***     | ***              | ***              | ***              | ***         | ***            | ***            | ***            | ***            | ***            | ***            |

Blastwaren tapahtumaraportista näkee tärinämittarin eri akselien mittaaman tärinän heilahdusnopeuden, kiihtyvyyden sekä taajuuden. Blastwaresta saa myös jokaisesta eri räjäytyksestä tarkemman raportin (kuva 22). Siitä näkee aaltoliikkeen kuvajan ja eri akselien huippuarvot heilahdusnopeudelle, siirtymille, kiihtyvyydelle sekä taajuudelle. Blastwaressa raja-arvot etäisyysidonnaisille tuloksille tarvitsee itse laskea, koska ohjelma ei tiedä räjäytyksen ja mittapisteen välimatkaa. Ne pystyy laskemaan Fresnelin kaavalla.

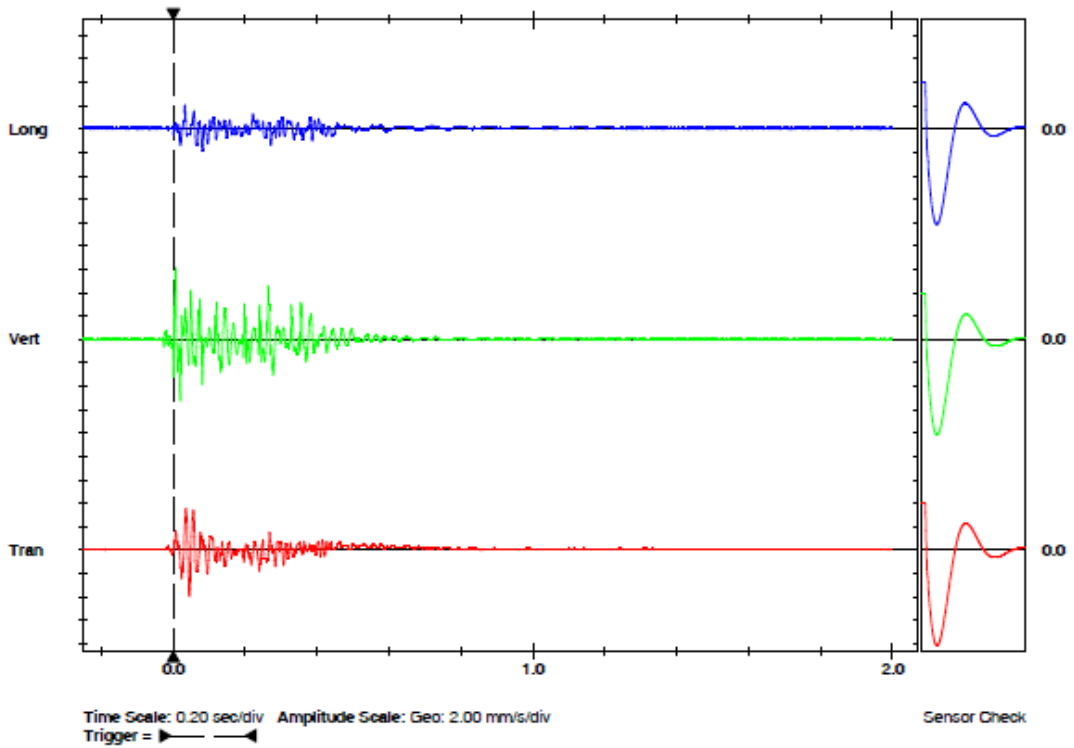
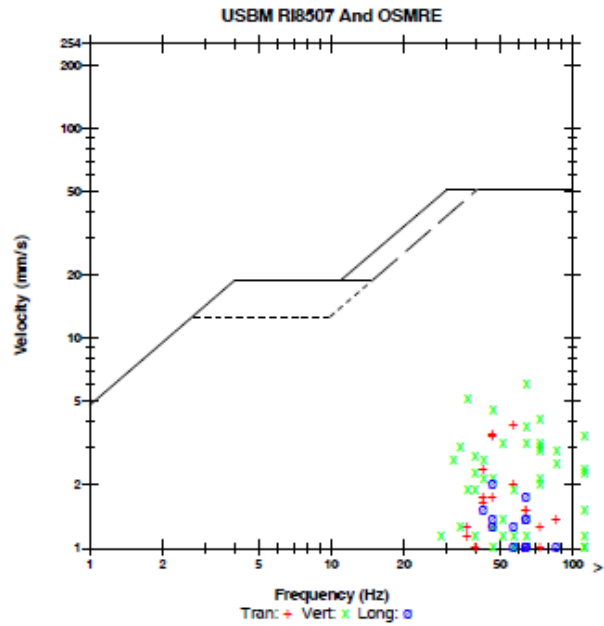


Event Report

Date/Time Vert at 12:35:38 August 15, 2014  
 Trigger Source Geo: 2.00 mm/s  
 Range Geo: 254 mm/s  
 Record Time 2.0 sec at 1024 sps  
 Job Number:  
 Notes

Serial Number BE9380 V 10.30-8.17 MiniMate Plus  
 Battery Level 6.8 Volts  
 Unit Calibration January 22, 2009 by InstanTel Inc.  
 File Name K380FGIA.ZEO

|                     | Tran                   | Vert   | Long    |      |
|---------------------|------------------------|--------|---------|------|
| PPV                 | 3.94                   | 6.10   | 2.03    | mm/s |
| ZC Freq             | 57                     | 64     | 47      | Hz   |
| Time (Rel. to Trig) | 0.045                  | 0.007  | 0.032   | sec  |
| Peak Acceleration   | 0.146                  | 0.384  | 0.0795  | g    |
| Peak Displacement   | 0.0163                 | 0.0144 | 0.00546 | mm   |
| Sensor Check        | Passed                 | Passed | Passed  |      |
| Frequency           | 7.5                    | 7.4    | 7.6     | Hz   |
| Overswing Ratio     | 3.6                    | 3.8    | 3.7     |      |
| Peak Vector Sum     | 6.34 mm/s at 0.007 sec |        |         |      |



Printed: August 27, 2014 (V 10.20 - 10.20)

Format © 1995-2011 Xmark Corporation

Kuva 22. Blastwaren raportti yhdestä mittaustuloksesta (Blastware)

## 5 TÄRINÄMITTAUSTEN SUORITUSPERUSTEET

### 5.1 Louhintätärinän mittaamisen perusteet

Louhintätärinää mitataan, jotta saadaan minimoitua rakenteiden ja laitteiden vaurioituminen. Niillä voidaan myös varmistaa, että louhinta ei ole liian varovaista ja epätaloudellista. Louhinnoissa rakenteille määritetään raja-arvot, joita ei työn aikana saa ylittää. Raja-arvot määräytyvät perustamistavan, käytettyjen rakenteiden sekä rakenteiden kunnon mukaan. Yleensä raja-arvot ovat heilahdusnopeuden etäisyssidonnaisia huippuarvoja. Joissain tilanteissa raja-arvot voivat määräytyä eri tavalla. Esimerkiksi raja-arvo voi olla heilahdusnopeuden huippuarvo (turvalaitekaapissa) tai kiihtyvyyden arvo (herkkä laite). Louhintätärinässä mittaustapana on jatkuva mittaus. (RIL 253-2010, 41.)

Louhinnasta aiheutuvan tärinän suuruus riippuu paljon räjäytyksessä käytetyn momentaanisen räjähdysaineen määrästä. Mitä korkeampi se on, sitä suuremmat tärinät räjäytyksestä syntyy. Louhintatavasta riippuu paljon, kuinka laajalta alueelta tärinää tarvitsee mitata. Yleensä asutuskeskuksen lähellä tapahtuvassa louhinnassa suurimmat mitta-usetäisyydet ovat noin 100-150 metrin päässä räjäytyskentästä. Tunnelilouhinnassa tärinän voimakkuus perän taakse on paljon matalampaa kuin perän etupuolella. Tärinää tarvitsee mitata räjäytyksen, joka puolelta, jotta saadaan oikea kuva räjäytyksen aiheuttamista tärinäistä. Taulukossa 3 on esitetty perusteet tärinävaikutusalueen arvioinnille. (Uggelberg 2015.)

**Taulukko 3.** Perusteet tärinävaikutusten arvioinnin aluerajaukseksi louhintatöissä (RIL 253-2010, 33)

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

Kun louhitaan kauempana asutuskeskuksista, esimerkiksi kiviainesottamoilla, niin räjäytyksissä käytetty räjähdeainemäärä kasvaa. Myös räjäytyksen momentaaninen räjähdeainemäärä kasvaa, tämän vuoksi räjäytyksestä syntyvä tärinä on voimakkaampaa ja leviää laajemmalle alueelle. Kauempana asutuskeskuksista mittausetäisyydet voivat olla jopa kaksi kilometriä räjäytyskentästä. Tällöinkin mittauksia tarvitsee suorittaa useammasta paikasta, jotta saadaan oikea kuva räjäytyksen aiheuttamista tärinöistä. (Mäkelä 2015.)

Räjäytykset ovat kestoltaan eripituisia avo- ja vedenalaisessa louhinnassa kuin tunnelilouhinnassa. Avo- ja vedenalaisessa louhinnassa räjähdys kestää noin 0,5 s ja maanalaisessa louhinnassa noin 6 s. Tämä johtuu siitä, että avolouhinnassa kiven purkautuminen on helpompaa kuin tunnelissa, jossa purkautumissuuntia on vain yksi. Räjäytyksestä syntyvät taajuudet ovat yleensä korkeita ja se on hyvä, koska ne eivät ole rakenteille niin haitallisia kuin matalat taajuudet. Räjäytyksen aikaansaaman tärinän taajuus on varsin laajakaistaista, kun etäisyys räjäytykseen on pieni, mutta etäisyyden kasvaessa korkeammat taajuudet vaimenevat nopeammin kuin matalat. (RIL 253-2010, 41.)

Heilahdusnopeuden suurin sallittu huippuarvo saadaan yhtälöstä:

$$v = F_k * v_1$$

|       |  |
|-------|--|
| $F_k$ | rakennustapakerroin (taulukko 4)   |
| $v_1$ | louhintatärinän heilahdusnopeuden raja-arvon perusarvo [mm/s] (taulukko 5) |

Esimerkki lasku:

Lasketaan heilahdusnopeuden suurin sallittu huippuarvo massiiviseinäiselle tiilirakennukselle (kelpoisuus a-luokka). Rakennus sijaitsee 30 metrin päässä räjäytyskentästä ja on perustettu moreenille.

$$v = 0,85 * 21 \frac{mm}{s} = 17,85 \frac{mm}{s}$$

Esimerkissä heilahdusnopeuden suurin sallittu arvo on 17,85 mm/s.

Taulukon 4 ja 5 mukaan voidaan laskea etäisyysidonnaiset raja-arvot rakenteille ylempänä olevan yhtälön avulla. Eri rakennusten raja-arvot määritellään jo riskianalyysiä tehtäessä.

**Taulukko 4.** Rakennustapakertoimet tärinän raja-arvojen määrittämiseksi perustuksissa. (RIL 253-2010, 24)

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



**Taulukko 5.** Louhintätärinän heilahdusnopeuden perusarvo  $v_1$  (mm/s) etäisyyden suhteen erilaisille maa- ja kalliopohjille perustetuille rakennuksille (RIL 253-2010, 25)

| 1            | 2  | 3                                 | 4  | 5              |
|--------------|--|-----------------------------------|--|----------------|
| Etäisyys (m) | Pehmeä savi, leikkauslujuus < 25 kN/m <sup>2</sup> | Sitkeä savi, siltti, löyhä hiekka | Tiivis hiekka, sora, moreeni, rikkonainen tai löyhä kallio | Kiinteä kallio |
| 1            | 9  | 18                                | 35   | 140            |
| 5            | 9  | 18                                | 35   | 85             |
| 10           | 9  | 18                                | 35   | 70             |
| 20           | 8  | 15                                | 28   | 55             |
| 30           | 7  | 14                                | 25   | 45             |
| 50           | 6  | 12                                | 21   | 38             |
| 100          | 5  | 10                                | 17   | 28             |
| 200          | 4  | 9                                 | 14   | 22             |
| 500          | 3  | 7                                 | 11   | 15             |
| 1000         | 3  | 6                                 | 9  | 12             |
| 2000         | 3  | 5                                 | 7  | 9              |

## 5.2 Maanrakennustöiden tärinöiden mittaamisen perusteet

Maanrakennustöistä aiheutuva tärinä on luonteeltaan erilaista kuin louhinnasta johtuva tärinä. Tärinä on jatkuvampaa sekä matalataajuisempaa kuin räjäytyksistä johtuva. Tärinöiden raja-arvot myös määritellään eri tavalla louhinnoissa kuin maanrakennustöissä juuri erojen vuoksi. Maanrakennustöistä johtuvaa tärinää mitataan histogrammittauksella, joka piirtää tärinästä pylväskuvaajan 5 minuutin välein. Kuvaajasta selviää aikavälin suurin heilahdusnopeuden huippuarvo.

Mittausetäisyydet ovat maanrakennustöissä myös pienemmät kuin louhinnoissa, koska syntyvien tärinöiden vaikutusalue on suppeampi. Mittausetäisyydet ovat yleensä alle 100 metriä maanrakennustöissä. Taulukossa 6 on esitetty heilahdusnopeuden raja-arvot eri maalajeille maanrakennustöissä. Maanrakennustöissä raja-arvoihin ei oteta etäisyyttä huomioon vaan ne ovat yleensä heilahdusnopeuden huippuarvoja. Myös maanrakennustöissä joku toinenkin suure voi määräävä (esimerkiksi kiihtyvyys), mutta tällöin mittaustapana on histogram-combo.

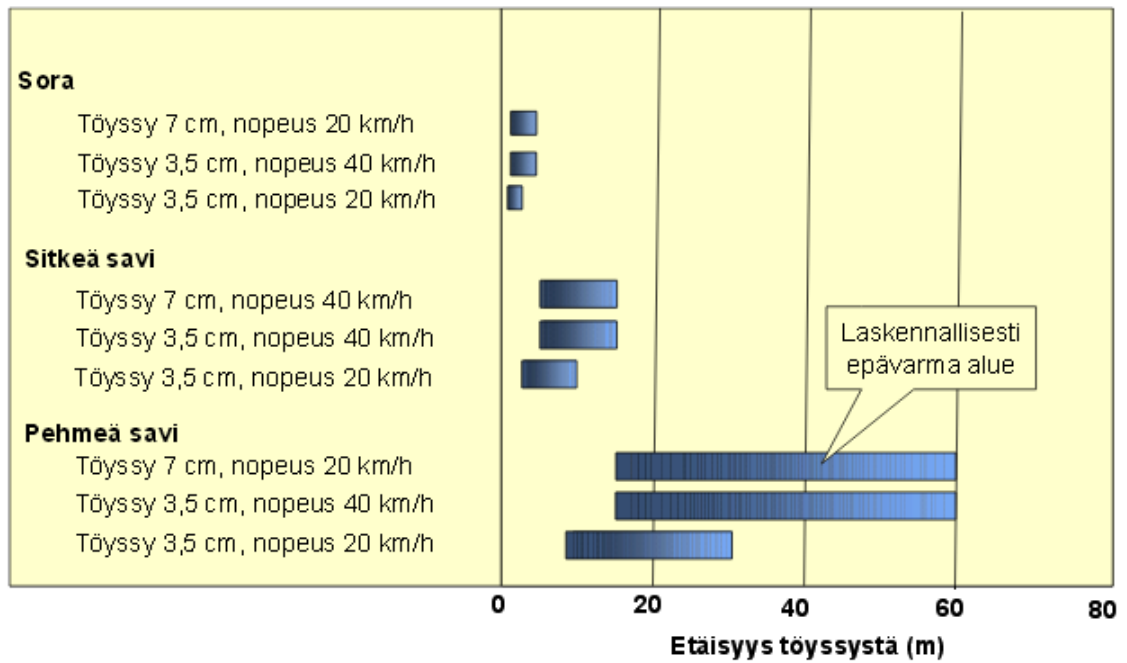
**Taulukko 6.** Heilahdusnopeuden raja-arvo eri maalajeille (RIL 253-2010, 26)

| 1  | 2  | 3                                       | 4   | 5              |
|--|--|---|---|----------------|
| Työmenetelmä   | Pehmeä savi,<br>leikkauslujuus<br>< 25 kN/m <sup>2</sup> | Sitkeä savi,<br>siltti,<br>löyhä hiekka | Tiivis hiekka,<br>sora, moreeni,<br>rikkonainen<br>tai löyhä kallio | Kiinteä kallio |
| Pudotustiivistys, lyönti-<br>paalutus, maankaivu,<br>työmaaliikenne, pontitus<br>lyömällä ja täryttämällä,<br>tärytiivistys, porapaalu-<br>tus, iskukasaran käyttö<br>eri tarkoituksiin *) | 5  | 7                                       | 10  | 12             |

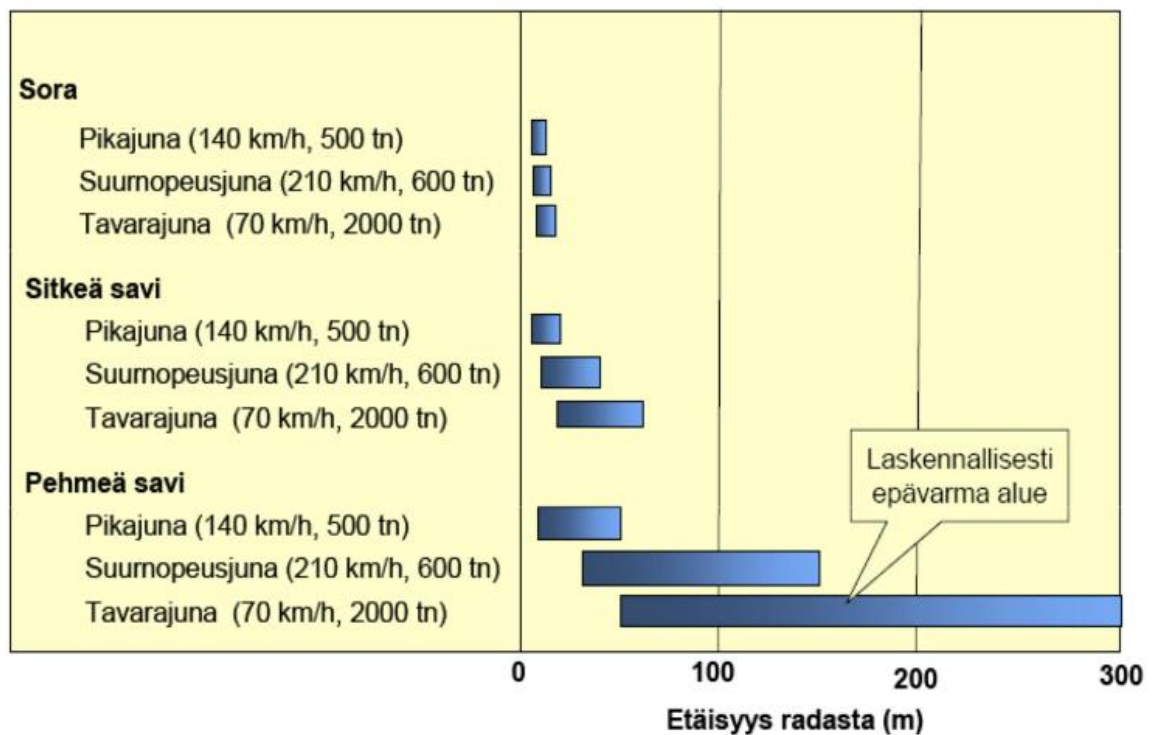
### 5.3 Liikennetärinän mittaamisen perusteet

Liikennetärinää mitataan yleensä alueilla, joissa se on ihmisiä häiritsevää. Se harvemmin on vaurioita aiheuttavaa tärinää. Jo kuntien kaavoitustilanteissa täytyy ottaa huomioon liikenteestä aiheutuvan tärinän voimakkuus ja se tarvitsee arvioida. Laissa (N:o 243/1954) määrätään teiden sijoittamisesta ja rakentamisesta siten, että liikenteen ja tien aiheuttamat haitat ympäristölle ja ihmisille jäävät mahdollisimman vähäisiksi. (Talja 2004, 9.)

Kuvassa 23 on esitetty etäisyyksiä eri maalajeilla, jolloin raskaan ajoneuvon aiheuttama värähtely on hidastustyösyssä voi olla haitallista. Tämä pätee myös tavalliseen töyssyn, joka on tiessä. Kuvassa 24 taas on esitetty etäisyyksiä eri maalajeille, jolloin junan aiheuttama tärinä voi olla haitallista.



**Kuva 23.** Suuntaa-antava arvio etäisyydestä eri maalajeilla, jolloin raskaan ajoneuvon aiheuttama värähtely hidastustöyssyssä voi olla haitallinen (Talja 2004, 17)



**Kuva 24.** Suuntaa-antava arvio etäisyydestä eri maalajeilla, jolloin junien aiheuttama värähtely voi olla haitallista (Talja 2004, 15)

Taulukossa 7 on esitetty Norjan standardiin (NS 8176, 1999) perustuvat suositukset liikenteen aiheuttamista värähtelystä rakennuksiin. Nämä suositukset pätevät myös Suomeen hyvin. Värähtelön arvoina on käytetty heilahdusnopeuden arvoja. Rakennukset ovat jaettu eri värähtelyluokkiin.

**Taulukko 7.** Suositus rakennusten värähtelyluokituksesta (NS 8176, 1999)

| Värähtely-luokka | Kuvaus värähtelyolosuhteista   | $v_{w,95}$<br>[mm/s] |
|------------------|--|----------------------|
| A                | <b>Hyvät asuinolosuhteet.</b><br><i>Ihmiset eivät yleensä havaitse värähtelyitä.</i>   | $\leq 0,10$          |
| B                | <b>Suhteellisen hyvät olosuhteet.</b><br><i>Ihmiset voivat havaita värähtelyt, mutta ne eivät ole häiritseviä.</i>   | $\leq 0,15$          |
| C                | <b>Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa.</b><br><i>Keskimäärin 15 % asukkaista pitää värähtelyitä häiritsevinä ja voi valittaa häiriöistä</i> | $\leq 0,30$          |
| D                | <b>Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla.</b><br><i>Keskimäärin 25 % asukkaista pitää värähtelyitä häiritsevinä ja voi valittaa häiriöistä</i>   | $\leq 0,60$          |

Liikennetärinää mitataan myös histogram-mittauksella, koska se on jatkuvaa sekä tasaista. Liikenteestä aiheutuva tärinä on todella matalataajuisista ja siksi myös ihmiset huomaavat sen helposti. Sen aiheuttamat heilahdusnopeuden arvot ovat huomattavasti pienemmät kuin maanrakennus- tai louhintatöistä johtuvat. (Uggelberg 2015.)

Junille on asetettu nopeusrajoitukset asutuskeskusten lähellä, jotta niiden aiheuttama tärinä ja melu ei ole haitallista ihmisille tai rakennuksille. Mutta liikennetärinää mittaamalla voidaan varmistua, että tärinä pysyy suositusten alapuolella. Yleensä tärinää mitataan, jos ihmiset valittavat tärinästä paljon, junaradan lähelle rakennetaan uutta asutuskeskusta tai junarata rakennetaan lähelle asutuskeskusta.

Työmaa- ja tavaraliikenteestä aiheutuvaa tärinää mitataan vähän samalla periaatteella kuin junaliikenteestä aiheutuvaa. Eli jos joku valittaa tärinästä tai asutuskeskuksen lähellä on aloitettu työmaa, jossa on paljon raskasta liikennettä. Tällöin liikennetärinää voidaan mitata, jotta varmistutaan, että liikenteestä aiheutuva tärinä ei ole ihmisille tai rakennuksille haitallista.

## 6 TÄRINÄERISTYS

### 6.1 Yleistä tärinäeristyksestä

Louhintatöiden aiheuttamaa tärinää eristetään asentamalla laitteiden alle tärinäeristimet, jotka vaimentavat korkeataajuisen (yli 30 Hz) tärinän. Tehokas tärinäeristys perustuu siihen, että eristettävän rakenteen/koneen ominaistajuus tehdään kuormituksen ominaistajuutta pienemmäksi. Se edellyttää rakenteen/koneen asentamista pehmeiden tärinäeristimien varaan. Eristiminä toimivat yleensä Sylodyn, Sylomer tai oikeanlainen ”kumimatto”. Tärinäeristyssuhde voi olla käytännössä parhaimmillaan lähes 90 %. Kyseinen vaikutus edellyttää, että herätteen taajuus on noin 4–5 kertaa suurempi kuin eristetyn laitteen ominaistajuus. Suurempaan taajuussuhteeseen ei ole tarvetta pyrkiä. (Vuolio & Halonen 2010, 315.)



**Kuva 24.** Herkän laitteen tärinäeristys

Tärinän eristäminen on sitä tehokkaampaa, mitä korkeampi on tärinän taajuus. Yksittäisestä, mahdollisesti tärinäsuojatusta laitteesta mitatut tärinäarvot antavat käsityksen vain kyseisen laitteen osalle tulevasta tärinästä. Samassa tilassa olevien laitteiden osalta voi eri laitteisiin kohdistuvan räjäytystärinän voimakkuus poiketa merkittävästikin. Herkki- en laitteiden vuoksi asennettavat tärinämittausanturit tulisi sijoittaa siten, että ne antavat todellisen kuvan räjäytysten aiheuttamasta tärinävaikutuksesta laitteisiin.

## 6.2 Tärinäeristimien valintaperusteet

Tärinäeristys mitoitetaan tärinäeristysmateriaalien valmistajien laatimien käyrästöjen mukaan. Tärinäeristystä käytettäessä tulee alustan jäykkyyden olla mahdollisimman suuri. Sillä mitä jäykempi alusta, sitä paremmin eristys toimii.

Vaimennustyön suunnittelussa ja suorituksessa on huomioitava seuraavat tekijät:

- Eristinkumin valintaperusteena on oltava laitteiden todelliset painot ja kuormitussuhteet eri tukipisteiden osalta.
- Eristimen painuman kuormitettuna tulee olla materiaalin valmistajan antamien rajojen mukainen.
- Mitoitusperusteena on käytettävä myös laitteen alustaan kohdistuvia tärinän amplitudi-, kiihtyvyy- ja ominaistajuusarvoja.

Asianmukaisesti suoritettuna tärinän vaimennustyön on käytännössä todettu alentavan laitteisiin kohdistuvia tärinän kiihtyvyyssarvoja noin 80-90 % verrattuna alustasta, vaimentimien alapuolelta saatuun arvoon, kun alustasta mitattu tärinän ominaistajuus on ollut yli 90 Hz. (Vuolio & Halonen 2010, 315.)

## 6.3 Tärinäeristykseen toteutuksen periaatteet

Tärinäeristys voidaan toteuttaa usealla eri tavalla. Tärkeintä vaimennustyössä on se, että laitteen eristämistyö itsessään ei aiheuta riskiä laitteen vaurioitumiselle. Pienet laitteet eristetään kallistamalla laitetta käsin sen verran, että saadaan oikeanlaiset eristinkumit asennettua koneen alle. Suurimmissa koneissa käytetään apuna hydraulikkapumppuja tai vääntökankea, mutta periaate on muuten sama kuin pienemmissä koneissa. (Mäkelä 2015.)

## 6.4 Laitteet joita ei voida eristää

Mikäli kovalevyllisiä ATK ym. laitteita ei voida vaimentaa, eikä laitevalmistaja ole ilmoittanut kyseiselle laitteelle raja-arvoa, suoritetaan louhinta siten, ettei laitteisiin välity

raja-arvoa 0,25 g suurempia kiihtyvyyksiä. Irralliset laitteet eristetään lähes poikkeuksetta. Eristämättä jättäminen johtuu useimmiten siitä, että laitteen eristämistyö aiheuttaa suuremman riskin laitteen vaurioitumiselle, kuin odotettavissa oleva värinäkuormitus. Tällaisesta esimerkkinä vaikkapa erilaiset suuret lajittelurobotit, joiden suuret omamassat yhdessä värinäherkkyyden kanssa poissulkevat värinäneristyksen kannattavuuden.

## 7 POHDINTA

Työn tarkoituksena oli laatia Kalliotekniikka CE Oy:n laatukäsikirjaan luku tärinämittauksista. Työ oli mielenkiintoista ja sitä helpotti, että olen työskennellyt yrityksessä vähän yli vuoden nyt, joten sen toimintatavat ovat jo tuttuja. Opinnäytetyön tekemistä helpotti myös se, että aihe oli tuttu ja olen suorittanut useita tärinämittauksia. Toisilta työntekijöiltä sain paljon neuvoja ja tukea työn tekemiseen.

Laatukäsikirja on yritykselle tärkeä, koska yritys voi hakea laatukäsikirjalleen ISO 9000 standardin mukaista hyväksyntää. Se osoittaa asiakkaille, että yrityksen tuottamat palvelut ja tuotteet ovat laadukkaita. ISO 9000 standardi on tunnettu ympäri maailman. Laatukäsikirjaa voi myös käyttää kätevästi yrityksen perehdytysaineiston mukana, koska sieltä selviävät yrityksen toimintatavat. Työni tulee yhdeksi osaksi Kalliotekniikan laatukäsikirjaa ja yritys hakee ISO 9000 standardin mukaista hyväksyntää laatukäsikirjalleen, kun se valmistuu kokonaan.

Työn teko onnistui mielestäni hyvin ja se oli mielenkiintoista. Opinnäytetyön tekemisestä oli paljon apua myös työhön, koska tätä tehdessä tuli perehdyttyä tärinämittauksiin ja tärinään paljon. Työtä tehdessä opin paljon uutta tärinän teoriasta. Laatukäsikirjaa testattiin koko opinnäytetyön tekemisen ajan, koska tärinämittauksia suoritettiin joka päivä. Tästä näki helposti, onko laatukäsikirja toimiva ja mitä siinä täytyy muuttaa.

Tässä työssä tärinämittauksissa käytettävien raja-arvojen määrittämisessä käytetyt normit ovat käytössä Suomessa. Monella maalla on vähän erilaiset tavat näiden määrittämiseen, mutta tähän opinnäytetyöhön otettiin mukaan ainoastaan Suomessa käytetyt. Joissakin maissa siirtymät ovat rajoittavia ja toisissa taajuudet.

Vaikka tämä laatukäsikirja on laadittu suoraan Kalliotekniikka CE Oy:lle, niin uskoisin tämän toimivan myös muilla kotimaisilla toimijoilla. Suomessa kaikilla on käytössä samanlainen mittauskalusto, joten mittareissa ei ominaisuuksiltaan ole eroja. Eri yrityksillä on käytössä eri laitevalmistajien mittareita, mutta ne toimivat kuitenkin samalla tavalla. Tulosten käsittelyssä yrityksillä on myös erilaisia ohjelmia käytössä, mutta niiden toimintaperiaatteet ovat pääpiirteittään kaikilla samat. Sen vuoksi tulosten käsittelyn osalta tämä työ ei suoraan käy kaikille toimijoille. Mittariasennukset ja mittausten suoritusperusteet tulevat normeista, joten niissä ei ole eroja eri toimijoilla. Tätä työtä voisi siis käyttää useampikin toimija, kun siihen tekisi pieniä yrityskohtaisia muutoksia.



Mielestäni työn tulokset ovat luotettavia, koska useampi toimija toimii tällä tavoin, joten nämä ovat yleisesti käytössä. Jos puhutaan tärinämittausten tuloksista, niin yhdellä mittarilla ei voida varmistua kuinka suuri tärinä kohdistuu eri osiin rakennusta, vaan ainoastaan siihen pisteeseen kohdistuva tärinä. Mutta mittarin oikeinsijoittamisella saadaan selvitettyä rakennukseen kohdistuvat voimakkaimmat tärinät.

## LÄHTEET

- Eronen, S. 1995. Teräksiset tukiseinärakenteet, julkaisu 32. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.
- Lehto, H. & Luoma, T. 1994. Fysiikka 2: Fysiikka yhteiskunnassa, Aaltoliike. Uudistettu painos 5-10. Helsinki: Kirjayhtymä Oy.
- Mäkelä, T., Mäntynen, J. & Säily, S. 2002. Rautatieliikenne. Tampereen teknillinen yliopisto, Julkaisu 33.
- Mäkelä, V. 2010. P-Hämpin ajotunnelien räjäytyssuunnittelu tärinöiden osalta. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Mäkelä, V. Räjätyskonsultti. 2015. Haastattelu 20.4.2015. Haastattelija Virtanen, T. Tampere.
- 8176 NS. 1999. Vibrasjoner og st t. MÅling i bygninger av vibrasjoner fra landbasert samferdsel og veiledning for bedømmelse av virkning på mennesker. Oslo: Norges Standardiseringsforbund (NSF), 27 s.
- Otava, J. 2011. Teräspontin tunkeutumisnopeus eri maakerroksissa ja pontitustyön tärinävaikutukset. Saimaan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Pelkkikangas, M. 1985. Rakennustoimenpiteistä ja liikenteestä aiheutuvan tärinän vaikutus perustusrakenteisiin. Teknillinen korkeakoulu. Espoo. Diplomityö.
- Pitko, M. 2011. Johdanto laadunhallintaan ja ISO 9000 –standardeihin. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- Pöllä J., Kärnä T., Vuolio R., Paavola P. & Räsänen H. 1996. Louhintatärinän syntyminen ja välittyminen sekä rakenteiden ja laitteiden tärinänkestävyys. Espoo: VTT.
- RIL 253-2010 Rakentamisen aiheuttamat tärinät. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL ry.
- Talja, A. 2004. Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokitukselta. Espoo: VTT.
- Tielaki yleisistä teistä, säädös 243/1954.
- Törnqvist, J. & Nuutilainen, O. 2002. Rautatieliikenteen tärinän vaikutus rakenteisiin. Vaurioalttiuden kartoittaminen ja mittaaminen. Espoo: Otamedia Oy. VTT.
- Törnqvist, J. & Talja, A. 2006. Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa. Espoo: VTT
- Uggelberg, J. 2015. Räjätyskonsultti. Haastattelu 20.4.2015. Haastattelija Virtanen, T. Tampere
- Vuento A. 1987. Rakennustyön ja liikenteen aiheuttamat tärinät. Maansiirto 8. 1987.

Vuolio R. 1991. Räjätystyöt 1991, 3.painos. Helsinki: Suomen Maanrakentajien Keskusliitto ry.

Vuolio R. & Halonen T. 2010. Räjätystyöt. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

Luettu 26.2.2015. <http://www.kalliotekniikka.com>

Luettu 13.4.2015. <http://www.geo.mtu.edu/UPSeis/waves.html>

Luettu 16.4.2015. <http://www.instantel.com/products/MinimatePlus.aspx>

Luettu 16.4.2015 <http://www.syscom-instruments.com/en/monitoring/all/mr3000c>

**LIITTEET**

Liite 1. Laatukäsikirja

## SISÄLLYSLUETTELO

|  |          |
|--|----------|
| <b>6. MITTAUKSET .....</b>   | <b>2</b> |
| 6.1 TÄRINÄMITTAUS .....  | 2        |
| 6.1.1 Tärinämittauskalusto .....   | 2        |
| 6.1.2 Mittariasennukset .....  | 4        |
| 6.1.3 Louhintätärinämittausten suorittamisen perusteet .....                   | 7        |
| 6.1.4 Muiden maanrakennustöiden tärinämittausten suorittamisen perusteet ..... | 11       |
| 6.1.5 Liikennetärinämittausten suorittamisen perusteet .....                   | 13       |
| 6.1.6 Tärinämittaustulosten seuranta .....                                     | 15       |
| 6.1.6.1 Blastview kaukovalvontapalvelu .....                                   | 16       |
| 6.1.6.1 Blastware .....  | 20       |

## 6. Mittaukset

### 6.1 Tärinämittaus

Tärinämittaukset ovat tärkeitä työmailla, joissa tehdään tärinää aiheuttavia töitä, koska niistä saattaa tulla vaurioita ympärillä oleviin rakenteisiin sekä laitteisiin. Suomen lainsäädännön ja viranomaisohjeiden mukaan tämänlaisista töistä ei saa aiheutua vaaraa tai terveysriskejä ihmisille eikä kohtuutonta haittaa ympäristölle. Urakoitsija on korvausvelvollinen aiheuttamistaan vahingoista, joten tärinän hallinta on tärkeää. Tämän vuoksi on tärkeää, että tärinäarvot pysyvät sallituissa rajoissa, jotta vaurioita ei pääse syntymään. Tällöin urakoitsija säästyy turhilta lisäkustannuksilta. Mittaustuloksista voi myös arvioida tärinän suuruutta etäisyyden ja työmenetelmien muuttuessa.

”Tärinää mitataan, jotta räjäytysten aiheuttamilta vahingoilta vältyttäisiin ja jotta tärinäarvot pysyisivät normien alapuolella. Mittaustuloksia urakoitsija hyödyntää poraus-, panostus- ja sytytys suunnitelmien laadinnassa. Näin ollen louhintatyötä voidaan suorittaa turvallisesti, tehokkaasti ja ympäristö huomioiden.” (P-HÄMPPI 2010-2011, 11)

Kalliotekniikalla käytetään tärinämittauksissa kolmikomponenttitärinämittareita, joilla pystytään mittaamaan useaa eri mittasuureta samaan aikaan. Ennen mitattiin ainoastaan heilahdusnopeuden pystykomponentin huippuarvoa. Kolmikomponenttimittarilla pystyy mittaamaan heilahdusnopeutta kolmelta eri akselilta (pysty-, pitkittäis- ja poikittaisakselilta), siirtymää, kiihtyvyyttä sekä taajuutta. Yleensä määräävänä suurena rakenteille toimii heilahdusnopeuden huippuarvo, mutta on tilanteita, joissa jokin muu suure on määräävä. Esimerkiksi kiihtyvyys saattaa olla määräävä suure, kun rakennuksessa on joku todella herkkä laite.

Rakennuksille lasketaan suunnitteluraja-arvot ennen töiden alkua ja jos mittaustulokset jäävät näiden raja-arvojen alle, niin voidaan yleisesti ottaen sanoa vaurioiden johtuvan muista tekijöistä. Jos mittaustulokset ylittävät suunnitteluraja-arvoja, niin tarvitaan tulosten tulkintaan ammattitaitoa sekä lisäselvityksiä. Suunnitteluraja-arvojen ylitys ei automaattisesti tarkoita, että vaurioita olisi syntynyt. Tällöin täytyy tarkastella muita mitattavia suureita ja sillä voidaan saada selvyttä asiaan. Jos suunnitteluraja-arvo (100%) ylitetään reilusti (150%) on vaurioraja-arvo ylitetty ja voidaan olettaa, että vaurioita on syntynyt ja korvausvastuu muodostuu mahdollisesti urakoitsijalle.

#### 6.1.1 Tärinämittauskalusto

Käytämme Instantelin kolmikomponenttitärinämittareita sekä olemme myös Instantel-tärinämittareiden ja -antureiden maahantuoja sekä vuokraaja. Meillä on käytössä kahta eri mittarimallia, Instantel Minimate Plus sekä Instantel Micromate. Molemmilla näistä mittareista pystyy mittaamaan heilahdusnopeutta, kiihtyvyyttä, siirtymää, taajuutta, ääntä ja ilmanpainetta. Tärinämittareissa on liitäntäportti myös ulkoiselle modeemille, joka mahdollistaa tulosten kaukovalvonnan. Näin saadaan reaaliaikaiset tulokset ilman, että tarvitsee käydä lukemassa tulokset manuaalisesti tärinämittarista. Tulokset lähetetään BlastView

seurantajärjestelmään, joka on Kalliotekniikan oma Internet-pohjainen räjäytystulosten seurantajärjestelmä. Se mahdollistaa reaaliaikaisen tulosten seurannan ja analysoinnin.

Mittauslaitteisto koostuu mittausanturista, kaapelista, tiedonkeruuyksiköstä (tärinämittari) sekä tarvittaessa modeemista. Jos mitataan myös ilmanpaineaallon voimakkuutta, niin mittariin liitetään myös mikrofoni. Mittarissa on sisäinen akku (kesto 9 vrk), mutta se voidaan liittää myös verkkovirtaan. Mikäli mittari tarvitsee liittää ulkoiseen virtalähteeseen, eikä sitä ole mahdollista liittää verkkovirtaan, se voidaan liittää ulkoiseen akkuun.



**Kuva 1.** Instantel Minimate Plus



**Kuva 2.** Instantel Micromate

Tärinämittareissa käytettävät anturit ovat lähes aina geofoneja eli nopeusantureita. Geofonit ovat kooltaan pieniä, joka helpottaa niiden asentamista ja käyttöä. Sen ominaisuudet sopivat myös hyvin mittauksiin, joissa mitataan heilahdusnopeutta taajuusalueella 5-300Hz. Geofonien ominaistaajuus on yleensä alhainen (5-10Hz), jolloin matalataajuisista tärinää mitattaessa voi resonanssista johtuen tulla merkittävää virhettä tuloksiin. Korkeammilla taajuuksilla tätä ongelmaa ei ole. Kiihtyvyyssantureiden käyttö on todella vähäistä ja siirtymäantureita ei käytetä räjäytystärinän mittauksessa lainkaan.

Geofonin tuottama analoginen signaali siirretään tärinämittariin kaapelia pitkin. Kaapelien tarvitsee laadultaan olla vaatimukset täyttäviä sekä niiden signaalin vaimeneminen ja signaali-kohinasuhteen täytyy olla tarkkuusvaatimusten mukaiset. Kaapelien tarvitsee myös kestää mekaanista käsittelyä työmaalla sekä vaihtelevia sääolosuhteita. Joissain antureissa on myös langaton tiedonsiirto.

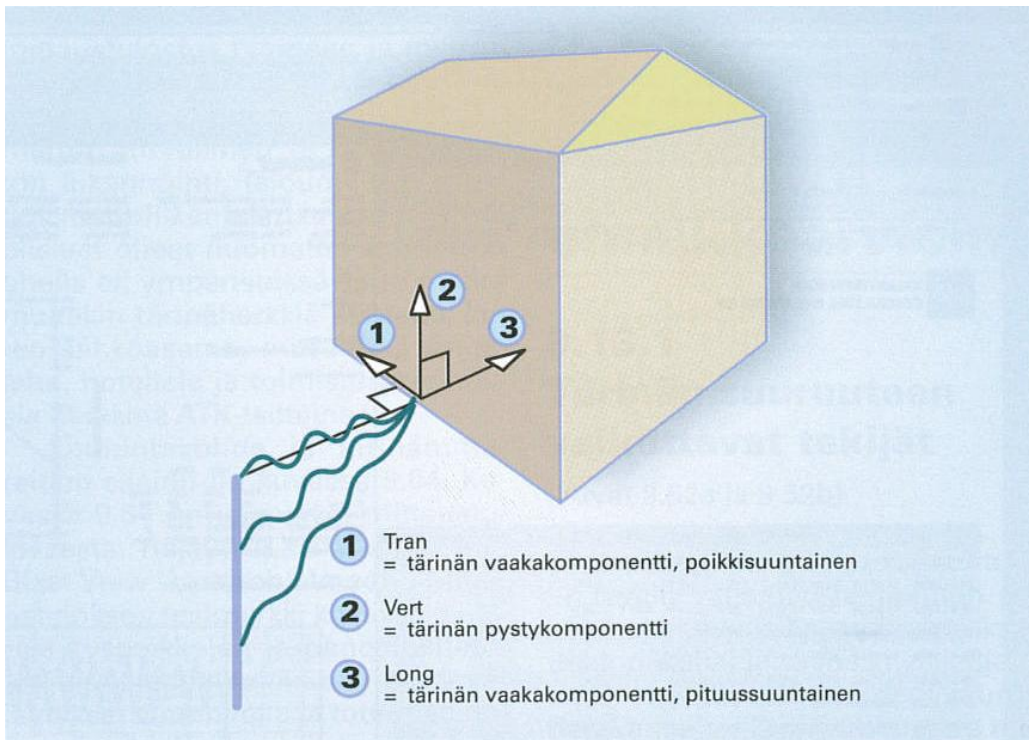
Instantel tärinämittarin mittausalue on 0 –254 mm/s, mikä on riittävä, koska pohjoismaiden normien mukaan suurin sallittu heilahdusnopeus on luokkaa 140 mm/s. Mittarin resoluutio, eli erottelukyky, on 0,127 mm/s ja tarkkuus on +/-5% tai 0,5 mm/s. Taajuusalueeksi tehdas ilmoittaa 2-250 Hz. Ulkomitat ovat 81 x 91 x 160mm ja paino on 1,4 kg.

### **6.1.2 Mittariasennukset**

Tärinämittarit asennetaan riskianalyyssissä määrättyihin kohteisiin, kun työt ovat tarpeeksi lähellä kohteita. Tärinämittarin asentamispaikan määrittämiseen tarvitsee ammattitaitoa, jotta siitä saadut tulokset kertovat tarkasti rakenteisiin kohdistuvan tärinän voimakkuuden.

Rakenteisiin vaikuttavaa tärinää mitattaessa tärinäanturit pyritään asentamaan mahdollisimman lähelle rakennuksen pohjatasoa. Perustuksiin tai kantavaan rakenteeseen rakennuksen siihen osaan, joka on lähinnä louhintakohdetta. Eli pyritään asentamaan anturi rakennuksen siihen osaan, josta tärinä siirtyy rakennukseen. Tällä pyritään siihen, että rakenteeseen kohdistuva tärinä saadaan mitattua mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, ennen kuin rakenteiden ominaisuudet (esimerkiksi resonointi) vaikeuttavat tulosten tulkintaa. Kallioiloissa anturi kiinnitetään joko suoraan kallion pintaan tai sitten betoniin.





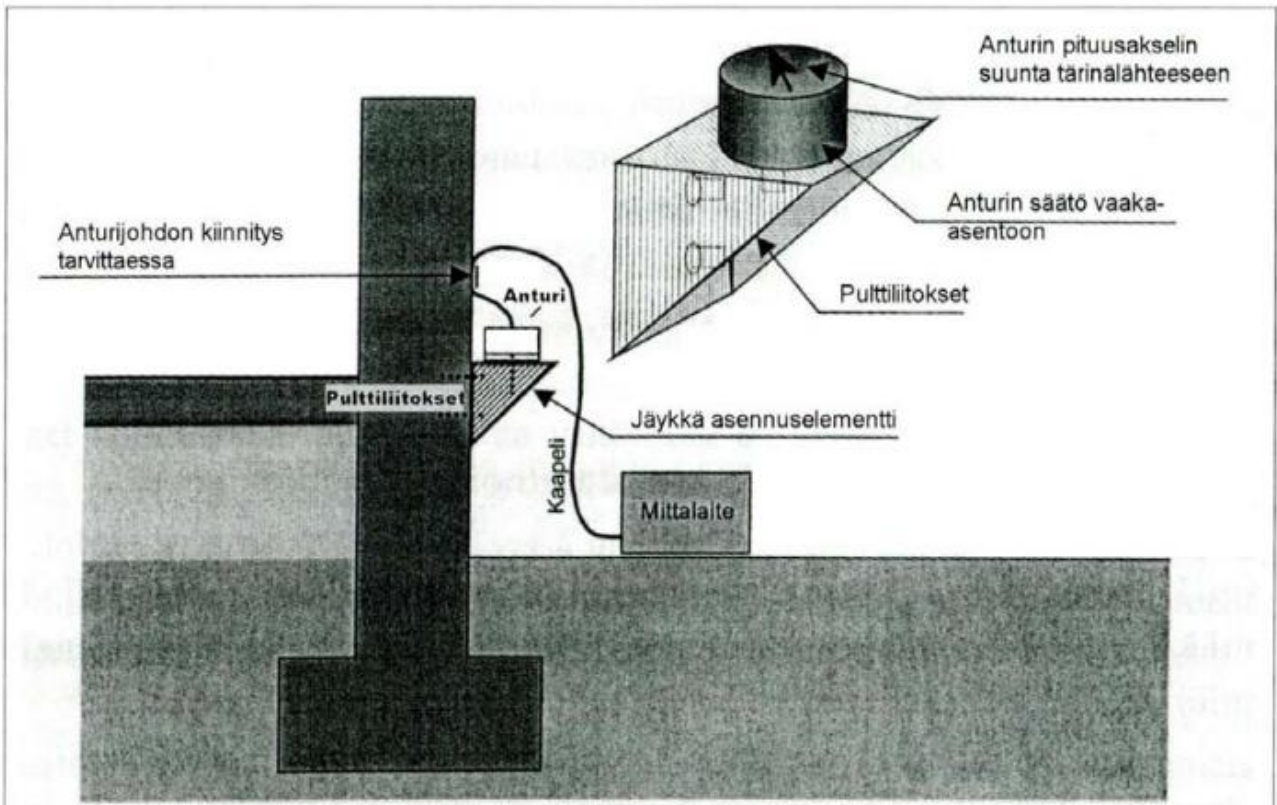
**Kuva 3.** Tärinän mittausanturin sijoittaminen tärinänlähteeseen ja rakenteeseen nähden

Nämä ohjeet määrittelevät vain rakenteiden kannalta parhaiden mittauspisteiden sijainnin. Jos rakennuksessa olevien herkkien laitteiden vuoksi asennetaan tärinämittareita. Niin silloin mittarit tulisi sijoittaa sillä tavalla, että ne antavat oikean kuvan räjäytyksen aiheuttamista tärinöistä laitteisiin. Laitteiden ja laitteistojen käytöstä, käyntivärinästä sekä käyttäjien toimenpiteistä aiheutuu usein laitteiden runkoon tärinää, joka häiritsee räjäytystärinämittausta. Laitemittaukset kannattaakin yleensä tehdä laitteiden ja laitteistojen lähellä sijaitsevista kantavista rakenteista, koska silloin saadaan käsitys laajemmalti vaikuttavasta tärinästä (esimerkiksi koko ATK-sali). Näin saadaan myös eliminoitua laitteen käytöstä johtuvat tärinät tuloksista pois. Mikäli mitataan tärinää suoraan laitteesta, niin saadaan kuva vain siihen laitteeseen kohdistuvasta tärinästä. Tilassa oleviin muihin laitteisiin kohdistuva räjäytystärinä saattaa voimakkuudeltaan poiketa merkittävästikin tästä mitatusta tärinästä.

Mikäli mittaukset tehdään kantavista rakenteista, niin kannattaa yleensä tarkistaa vielä tärinämittauksin, kuinka tärinä siirtyy itse laitteisiin. Jos laitteisiin on asennettu tärinäeristimiä, on niistäkin hyvä tarkistaa mitaamalla, kuinka hyvin ne vaimentavat tärinän voimakkuutta.

Tärinämittarin anturi kiinnitetään alustaan jäykästi pultilla. Anturi on kiinnitetty jalustaan, joka mahdollistaa kiinnityksen pystysuoraan pintaan (kuva 4). Instantelin anturit sallivat 3% heiton pysty- ja vaakasuunnassa asennettaessa. Jalustan dynaamiset ominaisuudet eivät vaikuta mitaustuloksiin. Mikäli anturi asennetaan vaakapintaan, niin anturi voidaan kiinnittää ilman jalustaa. Anturit kiinnitetään kantavaan rakenteeseen esimerkiksi kantavaan seinään, pilariin tai kallioon.

Joissain tilanteissa (esimerkiksi laitteeseen kiinnittäessä) ei ole mahdollista kiinnittää anturia pultilla alustaan. Silloin suositellaan käytettäväksi kiinnitykseen metallipuristinta tai muulla tavoin varmistaa riittävä kiinnitys anturille.



Kuva 4. Mittausanturin kiinnitys (RIL 253-2010)



Kuva 5. Mittarin kiinnitys vaakapintaan



Kuva 6. Mittarin asennus pystysuoraan pintaan

### 6.1.3 Louhintätärinämittausten suorittamisen perusteet

Kallion ja kiviaineksen rikkoutuminen räjäyttämällä perustuu panosten räjähtäessä syntyvän kaasupaineiskun aikaansaamaan seismisen aaltoliikkeen synnyttämiin jännityksiin. Ne ylittävät panosten läheisyydessä kiviaineksen lujuuden ja näin ollen kallio rikkoutuu. Kauempana räjäytyksistä rikkoutumista ei tapahdu vaan tärinän aiheuttamat muodonmuutokset ovat palautuvia. Räjäytyksistä syntyy huomattavaa tärinää, joten sitä on ympäristön vuoksi tärkeää mitata.

Räjäytyskentässä on lähes aina useita reikiä, jotka räjäytetään joko samanaikaisesti tai pienillä aikaeroilla, jotka aikaansaadaan nallien hidasteilla. Samanaikaisesti räjähtävänä räjähdysainemääränä eli momentaanisella räjähdysainemääränä pidetään samalla hidasteajalla räjähtävien panosten yhteenlaskettua räjähdysainemäärää. Mitä suurempi on momentaaninen räjähdysainemäärä, niin sitä suurempi on tärinän voimakkuus. Eri panosten välillä on yhteisvaikutus ja tärinä taittuu sekä heijastuu rajapinnoilta. Räjäytyksen kesto avo- ja vedenalaisessa louhinnassa on yleensä enintään noin 0,5 s ja maanalaisessa louhinnassa noin 6 s. Räjäytyksestä syntyvät taajuudet ovat yleensä korkeita ja se on hyvä, koska ne eivät ole rakenteille niin haitallisia kuin matalat taajuudet.

Louhinnasta aiheutuvan tärinän suuruus riippuu paljon räjäytyksessä käytetyn momentaanisen räjähdysaineen määrästä. Mitä korkeampi se on, sitä suuremmat tärinät räjähdysainestä syntyy.

Louhintatavasta riippuu paljon, kuinka laajalta alueelta tärinää tarvitsee mitata. Yleensä asutuskeskuksen lähellä tapahtuvassa louhinnassa suurimmat mittausetäisyydet ovat noin 100-150 metrin päässä räjäytyskentästä. Tunnelilouhinnassa tärinän voimakkuus perän taakse on paljon matalampaa kuin perän etupuolella. Tärinää tarvitsee mitata räjäytyksen, joka puolelta, jotta saadaan oikea kuva räjäytyksen aiheuttamista tärinöistä. Taulukossa 1 on esitetty perusteet tärinävaikutusalueen arvioinnille.

**Taulukko 1.** Perusteet tärinävaikutusten arvioinnin aluerajaukseksi louhintatöissä (RIL 253-2010, 33)

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

Kun louhitaan kauempaa asutuskeskuksista, esimerkiksi kiviainesottamoilla, niin räjäytyksissä käytetty räjähdeainemäärä kasvaa. Myös räjäytyksen momentaaninen räjähdeainemäärä kasvaa, tämän vuoksi räjäytyksestä syntyvä tärinä on voimakkaampaa ja leviää laajemmalle alueelle. Mittausetäisyydet voivat olla jopa kaksi kilometriä räjäytyskentästä. Tällöinkin mittauksia tarvitsee suorittaa useammasta paikasta, jotta saadaan oikea kuva räjäytyksen aiheuttamista tärinöistä.

Räjäytyksen synnyttämä tärinä on aina luonteeltaan enemmän tai vähemmän vaihtelevaa, mutta sen voimakkuutta voidaan likimääräisesti arvioida tilastollisten tarkastelujen perusteella. Räjäytyksen aikaansaaman tärinän taajuus on varsin laajakaistaista, kun etäisyys räjäytykseen on pieni, mutta etäisyyden kasvaessa korkeammat taajuudet vaimenevat nopeammin kuin matalat.

1. Tärinän heilahdusnopeuden huippuarvoa voi mallintaa kaavalla

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

|       |  |
|-------|--|
| v     | heilahdusnopeuden arvo [mm/s]                                    |
| k     | olosuhteista riippuva kerroin                                    |
| $Q_m$ | samanaikaisesti räjähtävä (momentaaninen) räjähdysainemäärä [kg] |
| R     | etäisyys räjäytyksestä tarkastelupisteeseen [m]                  |

Kertoimelle  $k$  voidaan olettaa arvo aikaisemman kokemuksen perusteella tai laskea se aikaisemmista räjähdyskentistä. Tällä tavalla voidaan melko luotettavasti arvioida heilahdusnopeuden pystykomponentin maksimiarvo, kun etäisyys räjäytyksen ja kohteen välillä on enintään kymmeniä metrejä.

Räjäytyksen aikaansaaman värinän suuruudelle määritetään myös raja-arvo, jota ei saada ylittää työn aikana. Yleensä heilahdusnopeus on rajoittava suure ja sille määritellään raja-arvo. Joissain tilanteissa myös joku muu suure voi olla rajoittava suure, esimerkiksi herkkien laitteiden läheisyydessä kiihtyvyys. Yleensä heilahdusnopeuden arvo on etäisyysidonnainen, mutta joissain tilanteissa sille voidaan myös antaa pelkkä huippuarvo, joka on kiinteä (esimerkiksi turvalaitekaappi).

Kiinteistön perustamistapa yhdessä kiinteistössä käytettyjen rakennusmateriaalien kanssa muodostavat rakennukselle sallitun värinän suunnitteluraja-arvon. Kiinteistön värinäraja-arvot määritellään yleisesti ottaen rakennuksen perustuksille, koska sinne kohdistuva värinä on voimakkainta. Värinän voimistuminen perustusten yläpuolisissa rakenteissa on hyvin harvinaista. Louhintatärinän luonteesta riippuen on kuitenkin mahdollista, että resonanssitilanteesta aiheutuva yläpuolisten rakenteiden värähtely voimistuu. Värinän suunnitteluraja-arvot määritellään tällaisissa erikoistapauksissa erikseen.



Värinän heilahdusnopeuden  $v$  [mm/s] suurin sallittu raja-arvo saadaan yhtälöstä

$$v = F_k * v_1$$

$F_k$  rakennustapakerroin (taulukko 2)

$v_1$  louhintatärinän heilahdusnopeuden raja-arvon perusarvo [mm/s] (taulukko 3)

**Taulukko 2.** Rakennustapakertoimet tärinän raja-arvojen määrittämiseksi perustuksissa. Taulukossa esitetyistä rakenteista poikkeavien kuten esim. huonossa kunnossa olevien rakenteiden tärinänkestävyys on arvioitava tapauskohtaisesti. Hyväkuntoiselle tukipaaluilla perustetulle rakennukselle voidaan arvoja korottaa 20%. Taulukossa esitetyllä kelpoisuudella tarkoitetaan vastaavaan pohja-, kalliorakenne- tai rakennesuunnittelijan tai tärinäasiantuntijan kelpoisuutta.

| Rakenneluokka<br>(hyväkuntoinen rakenne)   | Rakennustapakerroin <br>(kelpoisuus; a-luokka) | Rakennustapakerroin <br>(kelpoisuus; aa-luokka) |
|--|---|--|
| 1. Raskaat teräsbetoni- ja teräsrakenteet, kuten sillat ja laiturit  | 1,75  | 2,00   |
| 2. Teräsbetoniset, teräksiset ja puurakenteiset teollisuus- ja varastorakennukset, ruiskubetonoidut kalliotilat (ks. 3.2.3), yleensä staattisesti määrätyt rakenteet, joissa ei asuta tai työskennellä                                     | 1,25  | 1,50   |
| 3. Pilariperustuksille rakennetut elementtirakenteiset teräsbetonirakenteet, teräs- ja puurakenteiset toimisto- ja asuinrakennukset, muut puu- ja teräsrakennukset, johdot ja maakaapelit (ks. 3.2.3)                                      | 1,00  | 1,20   |
| 4. Massiiviseinäiset tiili-, kevytsoraharkko- ja teräsbetonirunkoiset teollisuus-, toimisto- ja asuinrakennukset, lasiseinäiset teräsrunkoiset sekä tiiliverhotut puurunkoiset rakennukset, ruiskubetonioimattomat kalliotilat (ks. 3.2.3) | 0,85  | 1,00   |
| 5. Rakennukset, joissa on kevytbetoni- tai kalkkihiekkatiilirakenteita, tai muuta vaurioherkkää materiaalia, tärinä- ja värähtelyherkät vanhat rakennukset, kuten kirkot tai korkeita holveja käsittävät rakenteet                         | 0,55  | 0,65   |

**Taulukko 3.** Louhintätärinän heilahdusnopeuden perusarvo  $v_1$  [mm/s] etäisyyden suhteen erilaisille maa- ja kalliopohjille perustetuille rakennuksille.

| Etäisyys | Pehmeä savi, leikkauslujuus < 25 kN/m <sup>2</sup> | Sitkeä savi, siltti, löyhä hiekka | Tiivis hiekka, sora, moreeni, rikkonainen tai löyhä kallio | Kiinteä kallio |
|----------|--|-----------------------------------|--|----------------|
| 1        | 9  | 18                                | 35   | 140            |
| 5        | 9  | 18                                | 35   | 85             |
| 10       | 9  | 18                                | 35   | 70             |
| 20       | 8  | 15                                | 28   | 55             |
| 30       | 7  | 14                                | 25   | 45             |
| 50       | 6  | 12                                | 21   | 38             |
| 100      | 5  | 10                                | 17   | 28             |
| 200      | 4  | 9                                 | 14   | 22             |
| 500      | 3  | 7                                 | 11   | 15             |
| 1000     | 3  | 6                                 | 9  | 12             |
| 2000     | 3  | 5                                 | 7  | 9              |

Tärinälle erityisen herkkää on kovettuva betoni. Sen herkkyys tärinälle on suurimmillaan sitoutumisessa ja kovettumisen alkuvaiheessa. Sitoutumisvaiheessa olevan betonin tärinänkestävyys on kokemuksen mukaan huonoimmillaan betonin ollessa 6-72 tunnin ikäistä. Tämän vuoksi sitoutumisvaiheessa olevan betonin läheisyydessä tulisi välttää räjäytyksiä. Mikäli räjäyttämisen on välttämätöntä, tulee tärinän raja-arvo asettaa tällöin rakenne, betonilaatu, valuolosuhteet sekä tärinän luonne huomioon ottaen. Taulukossa 4 on esitetty periaate tähän. Betonin lujuuden kehittyminen suunnittelulujuuteensa varsinkin talviolosuhteissa valettaessa on tietyissä tapauksissa erittäin hidasta. Näin ollen valujen läheisyydessä on syytä käyttää kovettumisvaiheen alkuosalle määriteltyjä raja-arvoja riittävän pitkään.

**Taulukko 4.** Periaate kovettuvaan betoniin kohdistuvan tärinän ohjearvon määrittämiseksi.

| Betonirakenne                                   | Kovettuvaan betoniin kohdistuvan tärinän ohjearvo              |  |  |
|---|--|--|--|
|   | Ennen tärytysrajan alkua                                       | Kovettumisvaiheen alkuosa                | Kovettumisvaihe  |
| Massiiviset muotitetut valut, kuten perustukset | Ei rajoituksia   | 5...20 mm/s puristuslujuuteen 5 Mpa asti | Tärinäraja kasvaa alkuarvosta kunnes saavuttaa rakenteen ohjearvon 80% lujuudessa                                      |
| Muut muotitetut valut                           | Ei rajoituksia (muotit voivat rajoittaa)                       | 2...10 mm/s puristuslujuuteen 5 Mpa asti | Tärinäraja kasvaa alkuarvosta kunnes saavuttaa rakenteen ohjearvon 80% lujuudessa                                      |
| Ruiskubetoni                                    | 10 mm/s, kun betoni voi irrota pinnasta, muuten ei rajoituksia | 2...10 mm/s puristuslujuuteen 5 MPa asti | Tärinäraja kasvaa alkuarvosta suora- viivaisesti lujuuden funktiona kunnes saavuttaa ohjearvon 70 mm/s 80 % lujuudessa |
| Betonijuotetut kalliopultit                     | 100 mm/s, kun pultti voi pudota, muuten ei rajoituksia         | 2...10 mm/s puristuslujuuteen 5MPa asti  | ei rajoituksia   |

#### 6.1.4 Muiden maanrakennustöiden tärinämittausten suorittamisen perusteet

Maanrakennustöistä tärinää aiheuttavat erityisesti paalutus-, pontitus- ja tiivistystyö täryttämällä. Näiden aiheuttama tärinä eroaa louhintatärinästä tärinän luonteen vuoksi. Maanrakennustöiden aiheuttama tärinä on jatkuvaa tärinää ja sen taajuus on pienempi. Niiden aiheuttamien tärinöiden raja-arvot määräytyvätkin eri tavalla kuin louhintatärinän raja-arvot.

Lyöntipaalutuksessa sekä pontin asennuksessa lyömällä tärinän taajuus lähialueella on noin 5-40 Hz ja kauempana noin 5-20 Hz, kun taajuus on alentunut. Pehmeissä maaperissä taajuudet ovat yleensä

matalampia kuin tiiviissä maaperässä. Tiiviissä maassa myös paalun sivuvastuksella, voi olla merkitystä tärinän syntymiseen. Sivuvastusta syntyy, jos paalua asennetaan vinoon. Paalutuksen loppulyöntien aikana tärinätaso voi olla korkea ainoastaan, jos paalun vaippavastus on suuri. Tärinän suuruuteen vaikuttaa myös paalun poikkipinta-ala. Mitä suurempi pinta-ala on, niin sitä enemmän tarvitaan energiaa maaperän läpäisemiseen ja tämän vuoksi myös tärinää syntyy enemmän.

Paalutuksen lähialueella tarkoitetaan aluetta, joka on 50-100% lyötävän paaluun pituudesta. Paalun asennusmenetelmistä lyöntimenetelmä aiheuttaa selvästi suurimmat tärinät ympäristöön. Muita asennusmenetelmiä on puristus, poraus sekä kaivaminen. Näiden aiheuttamat tärinät ovat yleensä vähäisiä. Lyöntiä voidaan suorittaa sekä pudotusjärkälleellä että hydraulivasaralla. Pudotusjärkälleellä lyönti on iskumaista ja hydraulivasaralla se on jaksollisesti iskumaista.

Pontin asentaminen täryttämällä on suositumpi tapa kuin lyömällä. Täryttämällä asennettaessa pontti on jatkuvassa liikkeessä verrattuna lyöntimenetelmään, tämän vuoksi se ei tarvitse niin paljoa energiaa liikkeeseen. Pontin asentaminen täryttämällä aiheuttaakin vähemmän tärinää kuin lyömällä, osasyynä on juuri tämä energian määrä. Ero tärinän suuruudessa asennusmenetelmien välillä ei välttämättä ole suuri ja se riippuu muun muassa asennusolosuhteista (maaperä).

Tärinästä voi tulla ympäristöön ongelmia oikeastaan vain siinä tilanteessa, jos tärylaitteen taajuus on sama kuin maaperän ominaistaajuus. Tällöin voi syntyä resonanssitilanne. Lyömällä asennettaessa resonanssitilannetta ei synny. Tärylaitteen taajuudella on suuri merkitys myös asennuksen tehokkuuteen. Kun tärylaitteen ja pontin ominaistaajuus ovat samat, saadaan pontti mahdollisimman suureen liikkeeseen maahan nähden. Tällöin myös tärinän suuruus ympäristöön pysyy kohtuullisen, jos tämä taajuus ei ole sama kuin maaperän tai lähellä olevan kohteen ominaistaajuus.

Tärinää syntyy myös maaperän tiivistämisestä tärymenetelmin. Tärytiivistystä käytetään yleensä luonnon maa-ainesten tiivistämiseen. Hienoimpien maa-ainesten (kuten saven ja siltin) tiivistämiseen tärymenetelmä ei sovi, koska niissä rakenteiden välinen koheesio estää rakeiden irtoamisen toisistaan, nämä yleensä tiivistetään sullomalla.

Tärymenetelmillä tiivistäessä syntyvän tärinän taajuus on yleensä noin 30-75Hz välillä. Matalataajuisia työkoneita ovat yleensä täryjyrät ja korkeataajuisia taas tärylevyt. Tärytiivistyksessä syntyvä tärinä on jatkuvaa ja lähes harmonista. Tärinän suuruuteen vaikuttaa voimakkaasti myös maaperän ominaisuudet. Mitä tiiviimpää maaperä on, sitä suurempi osa tiivistykseen käytetystä energiasta siirtyy ympäristöön tärinäksi. Tärinän suuruus kasvaa tiivistystyön aikana yleensä noin kaksin-kolminkertaiseksi, johtuen maan tiivistämisestä. Tärinän raja-arvojen määrittämisessä on otettava huomioon myös ympäristössä olevien rakennusten materiaalien tärinänkestävyys ja tärinäkuormituksen määrä. Tärinäkuormitus on tiivistystyössä yleensä suuri, koska tiivistystyöstä aiheutuu suuri määrä tärinäsyklejä, yleensä noin 100 000-200 000 sykliä tunnissa.



**Taulukko 5.** Tärinän heilahdusnopeuden perusarvo (mm/s), muut maa- ja pohjarakennustyöt

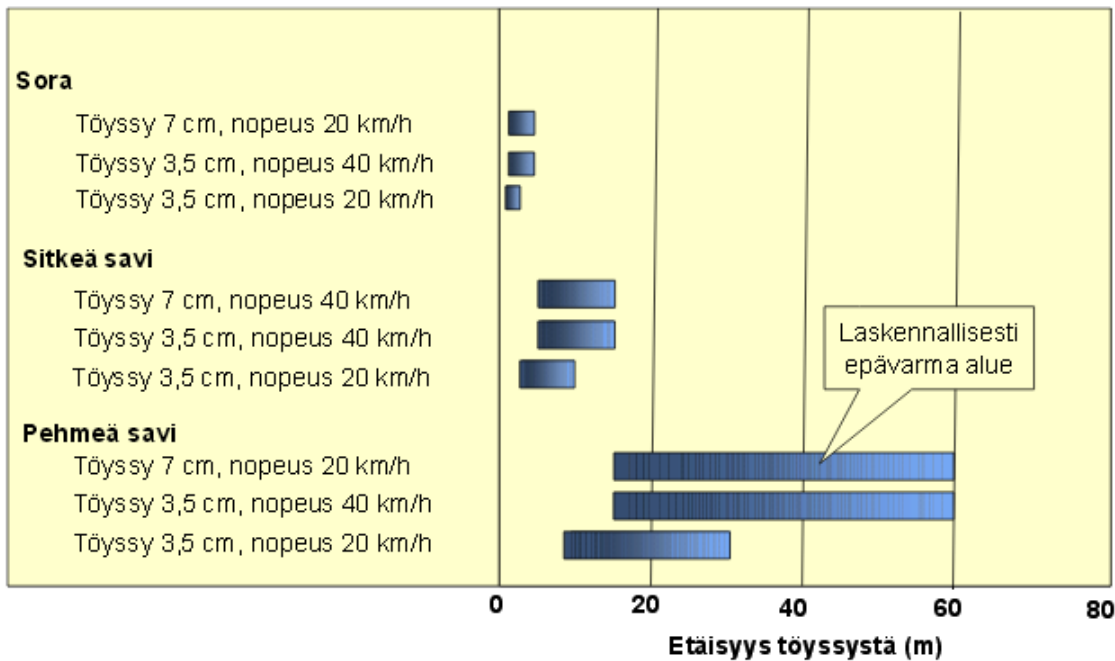
| Työmenetelmä   | Pehmeä savi,<br>leikkauslujuus<br>< 25 kN/m <sup>2</sup> | Sitkeä savi, siltti,<br>löyhä hiekka | Tiivis hiekka,<br>sora, moreeni,<br>rikkonainen tai<br>löyhä kallio | Kiinteä kallio |
|--|--|--------------------------------------|---|----------------|
| Pudotustiivistys,<br>lyöntipaalaus,<br>maankaivu,<br>työmaaliikenne,<br>pontitus lyömällä<br>ja täryttämällä,<br>tärytiivistys,<br>porapaalaus,<br>iskuvasaran käyttö<br>eri tarkoituksiin | <b>5</b>   | <b>7</b>                             | <b>10</b>   | <b>12</b>      |

Maanrakennustöistä aiheutuvaa tärinää mitataan histogram-mittauksella, koska tärinä on jatkuvaa. Histogram-mittauksessa mittari piirtää tärinästä pylväskuvaajan 5 minuutin välein. Kuvaajasta selviää aikavälin suurin heilahdusnopeuden huippuarvo. Mittausetäisyydet ovat maanrakennustöissä myös pienemmät kuin louhinnoissa, koska syntyvien tärinöiden vaikutusalue on suppeampi. Mittausetäisyydet ovat yleensä alle 100 metriä maanrakennustöissä. Taulukossa 5 on esitetty maanrakennustöissä heilahdusnopeuden raja-arvot eri maalajeille. Maanrakennustöissä raja-arvoihin ei oteta etäisyyttä huomioon vaan ne ovat heilahdusnopeuden huippuarvoja. Samalla tavalla maanrakennustöissä joku muukin suure voi olla määräävä (esimerkiksi kiihtyvyys). Tällöin mittaustapana on histogram-combo, koska tällöin mittari mittaa myös jatkuvalla mittauksella.

### 6.1.5 Liikennetärinämittausten suorittamisen perusteet

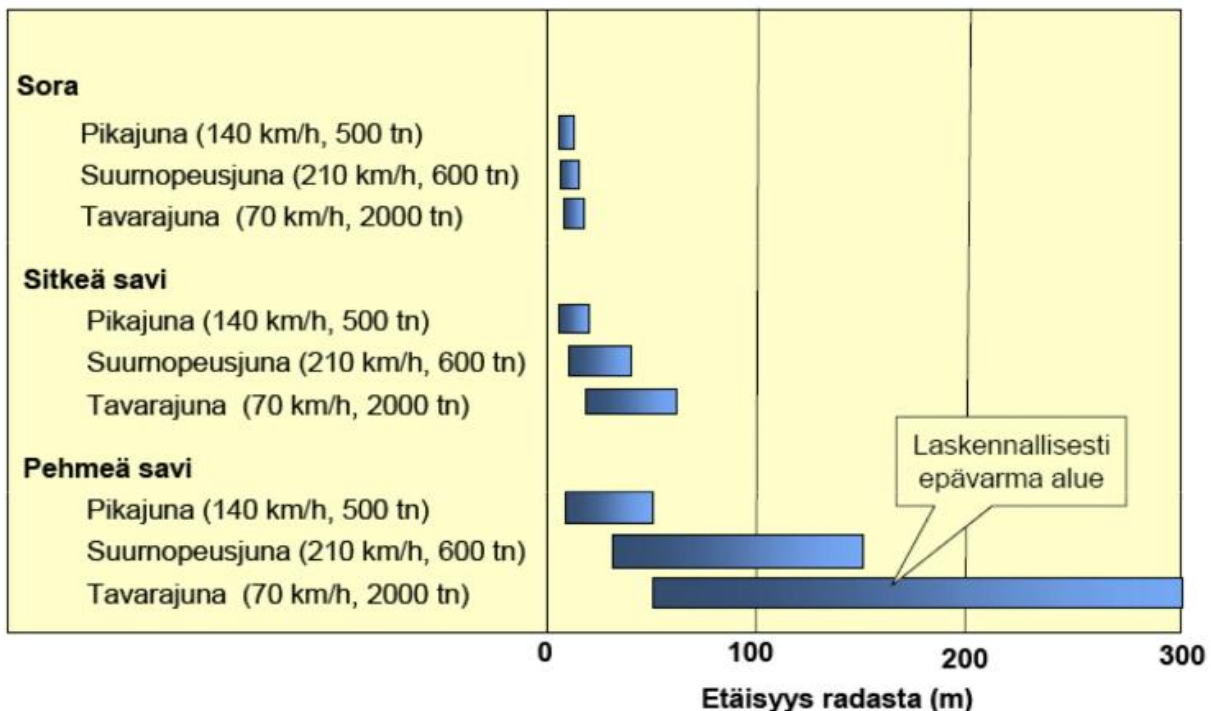
Liikennetärinää syntyy yleensä raide-, työmaa- ja tavaraliikenteestä. Harvemmin pienemmät ajoneuvot synnyttävät merkittävää tärinää. Tärinän suuruuteen vaikuttavatkin merkittävästi alustan kunto sekä kaluston koko. Pehmeillä alustoilla tärinä leviää helpommin kuin kovilla alustoilla ja suuremmat ajoneuvot aiheuttavat suurempaa tärinää kuin pienemmät. Yleensä suuri tärinä syntyy alustan epätasaisuuksista, jotka saavat ajoneuvon värähtelemään ja tästä aiheutuu tärinää. Ajoneuvojen iskunvaimentajat lopettavat tämän värähtelyn. Tämän vuoksi iskunvaimentamattomat työkonet aiheuttavat ympäristöön leviävän iskumaisen tärinän.

Lähialueen ulkopuolella pehmeillä mailla työmaaliikenteen aiheuttama tärinä on todella matalataajuista, noin 2-10Hz ja karkearakeisilla vähän korkeampi, noin 5-15Hz. Pehmeiköillä työmaaliikenne voi aiheuttaa selvästi havaittavaa tärinää, mutta harvoin se on niin voimakasta, että se vaurioittaa rakenteita. Joissain tapauksissa raskaan ajoneuvon kuormitus voi aiheuttaa rakenteiden välittömässä läheisyydessä havaittavia staattisia siirtymiä ja painumia. Kuvassa 7 on esitetty arvioituja etäisyyksiä eri maalajeille, jolloin raskaan ajoneuvon värähtely hidastustöyssyissä voi olla haitallista.



**Kuva 7.** Eri maalajeilla arvioituja etäisyyksiä, jolloin raskaan ajoneuvon värähtely hidastustöyssyssä voi olla haitallinen rakennuksille (Talja 2004, 17)

Junat aiheuttavat ympäristöönsä myös tärinää. Junasta aiheutuva tärinä syntyy junan pyörien ja kiskojen välillä muodostuvasta tärinästä, joka edelleen siirtyy junaradan rakenteiden ja maaperän välityksellä rakennuksen runkorakenteisiin. Kuvassa 7 esitetään erilaisilla maaperäolosuhteilla etäisyyksiä, joilla tärinä saattaa olla haitallinen junaradan läheisyydessä oleville rakennuksille.



**Kuva 8.** Eri maalajeilla arvioituja etäisyyksiä, joilla junan aiheuttama tärinä saattaa olla haitallinen rakennuksille. (Talja 2004, 15)

Työmaa- tavaraliikenteestä aiheutuvaa tärinää mitataan vähän samalla periaatteella kuin junaliikenteestä aiheutuvaa. Eli jos joku valittaa tärinästä tai asutuskeskuksen lähellä on aloitettu työmaa, jossa on paljon raskasta liikennettä. Tällöin liikennetärinää voidaan mitata, jotta varmistutaan, että liikenteestä aiheutuva tärinä ei ole ihmisille tai rakennuksille haitallista. Taulukossa 6 on esitetty Norjan standardiin perustuvat suositukset liikenteen aiheuttamista tärinäistä rakennuksiin. Rakennukset ovat jaettu eri luokkiin ja arvoina on käytetty heilahdusnopeuden arvoja.

**Taulukko 6.** Suositus rakennusten värähtelyluokituksesta

| Värähtelyluokka | Kuvaus värähtelyolosuhteista   | $v_{w,95}$<br>[mm/s] |
|-----------------|--|----------------------|
| A               | <b>Hyvät asuinolosuhteet.</b><br><i>Ihmiset eivät yleensä havaitse värähtelyitä.</i>   | $\leq 0,10$          |
| B               | <b>Suhteellisen hyvät olosuhteet.</b><br><i>Ihmiset voivat havaita värähtelyt, mutta ne eivät ole häiritseviä.</i>   | $\leq 0,15$          |
| C               | <b>Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa.</b><br><i>Keskimäärin 15 % asukkaista pitää värähtelyitä häiritsevinä ja voi valittaa häiriöistä</i> | $\leq 0,30$          |
| D               | <b>Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla.</b><br><i>Keskimäärin 25 % asukkaista pitää värähtelyitä häiritsevinä ja voi valittaa häiriöistä</i>   | $\leq 0,60$          |

### 6.1.6 Tärinämittaustulosten seuranta

Tärinämittauksia suoritetaan sekä kaukovalvonnalla että manuaalisesti. Kaukovalvonnassa olevat tärinämittarit lähettävät tulokset suoraan verkkoon Kalliotekniikan omaan tulosten kaukovalvontaohjelmaan, BlastViewhin, josta ne ovat sitten luettavissa. Manuaalisesti mittaavat mittarit tarvitsee käydä henkilökohtaisesti lukemassa paikanpäällä tärinämittarista tai purkaa tietokoneelle. Instantelilla on oma tulospalvelu Blastware, johon tulokset voi purkaa tärinämittarista ja ne voi analysoida sillä.

### **6.1.6.1 Blastview kaukovalvontapalvelu**

BlastView on Kalliotekniikan itse kehittämä kaukovalvontapalvelu ja se on voittanut kansainvälisen laitevalmistaja Instatelin vuoden 2006 Innovation Awardin. BlastView ohjelmalla on todella helppo valvoa värinämittaustuloksia reaaliaikaisesti. Sinne pystyy asettamaan työmaan kartan, johon jokainen mittapiste asetetaan koordinaateilla, silloin kaikki mittarit ovat tarkisti paikoillaan. Räjähätyksen jälkeen räjähtys merkitään BlastViewhin myös koordinaateilla ja tämän jälkeen ohjelma laskee automaattisesti heilahdusnopeuksien etäisyysidonnaiset arvot, joka mittapisteelle. Sieltä näkee suoraan, että onko räjähtys pysynyt raja-arvoissa vai ei.

BlastViewistä saa tarkat analyysit jokaisesta mittapisteestä ja räjähtyksestä. Kuvassa 9 ja 10 on mallit minkälaiset analyysi raportit BlastView:stä saa. Kuva 9 on koontiraportti räjähtyksestä ja kuva 10 on taajuusraportti samasta tuloksesta. Koontiraportista näkee kyseisen räjähtyksen heilahdusnopeuden, taajuuden, ajankohdan, kiihtyvyyden ja siirtymän huippuarvon. Kaikille kolmelle akselille on esitetty omat huippuarvon. Taajuusraportista taas näkee kyseisen räjähtyksen vallitsevan taajuuden ja kyseisellä taajuudella syntyneen siirtymän ja heilahdusnopeuden huippuarvon. Molemmissa raporteissa kaikille kolmelle akselille on eritelty omat huippuarvonsa.

Date/Time Vert At 07:03:12 March 19, 2015 Serial Number BE7170 V 3.01-3.0 MiniMate Plus  
 Trigger Source Geo: 1.00 mm/s Battery Level 6.7 Volts  
 Range Geo: 264 mm/s Calibration June 29, 2000 by Instanta! Inc.  
 Sample Rate 10.0 sec. At 1024 Sps File Name I170FRLV.LC0  
 Job Number

## Notes

Location:

Client:

User Name:

General:

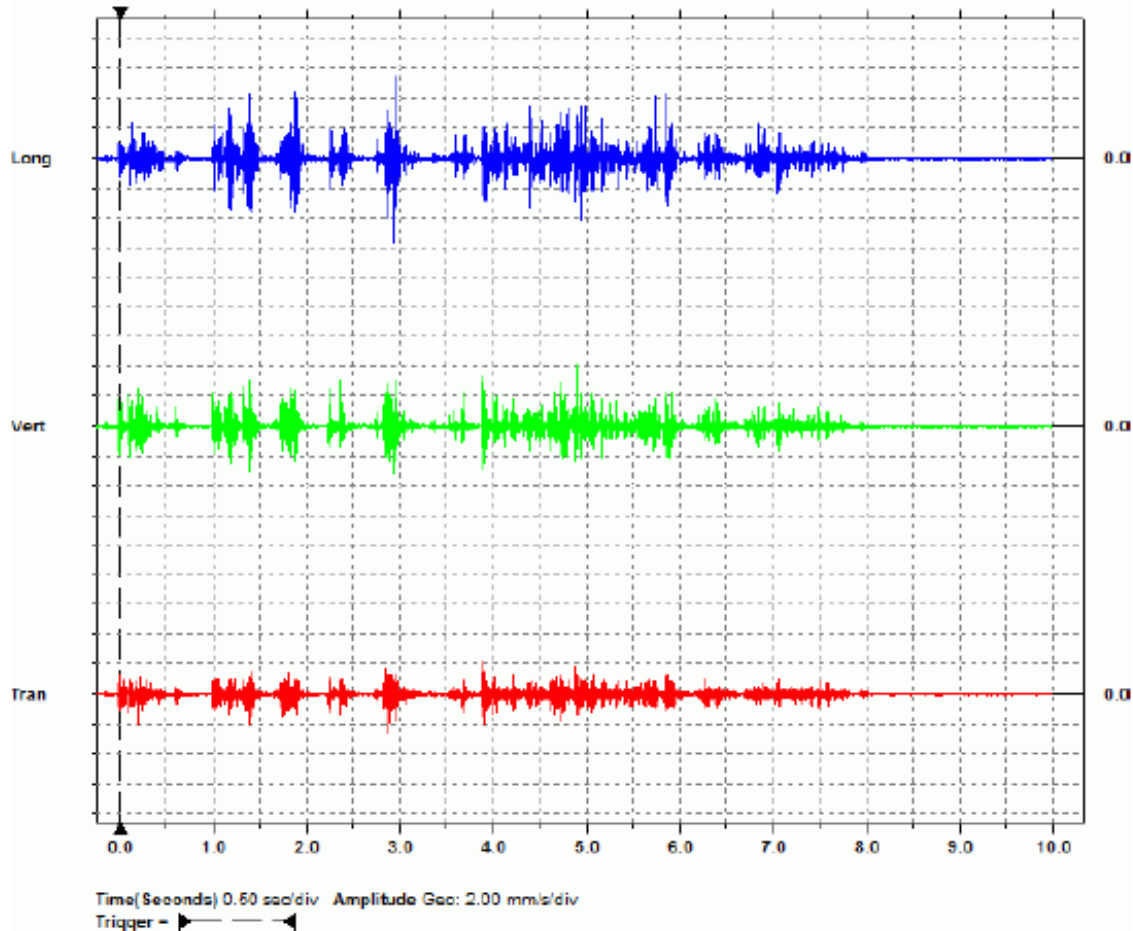
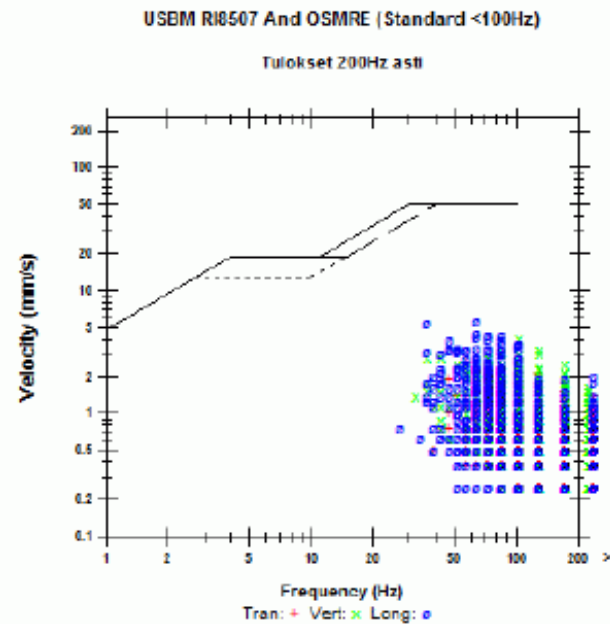
## Extended Notes

asennettu 20.2.2015 VM

## Post Event Notes

|                     | Tran    | Vert   | Long   |      |
|---------------------|---------|--------|--------|------|
| PPV                 | 2.67    | 4.06   | 5.71   | mm/s |
| ZC Freq             | 57      | >100   | 84     | Hz   |
| Time (Rel. to Trig) | 2.885   | 4.888  | 2.937  | sec  |
| Peak Acceleration   | 0.212   | 0.331  | 0.292  | G    |
| Peak Displacement   | 0.00477 | 0.0106 | 0.0130 | mm   |
| Sensorcheck         | Passed  | Passed | Passed |      |

Peak Vector Sum 6.54 mm/s At 2.938 sec



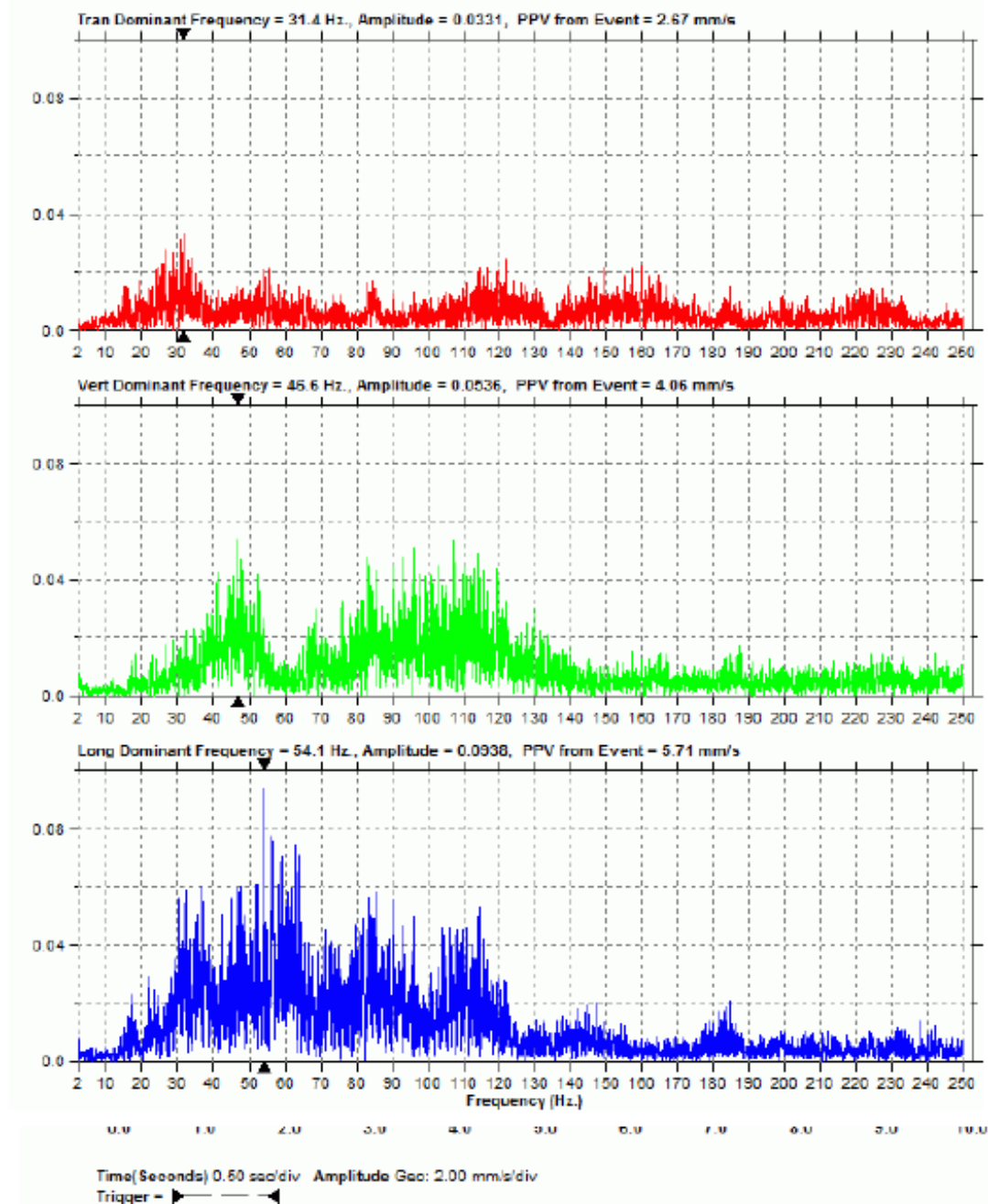
Kuva 9. BlastView raportti räjäytyksestä yhdestä tärinämittarista

Date/Time Veri At 07:03:12 March 19, 2015 Serial Number BE7170 V 8.01-8.0 MiniMate Plus  
 Trigger Source Geo: 1.00 mm/s Battery Level 6.7 Volts  
 Range Geo: 264 mm/s Calibration June 29, 2000 by InstanTel Inc.  
 Sample Rate 10.0 sec. At 1024 Sps File Name I170FRLV.LCD  
 Job Number

Notes  
 Location:  
 Client:  
 User Name:  
 General:

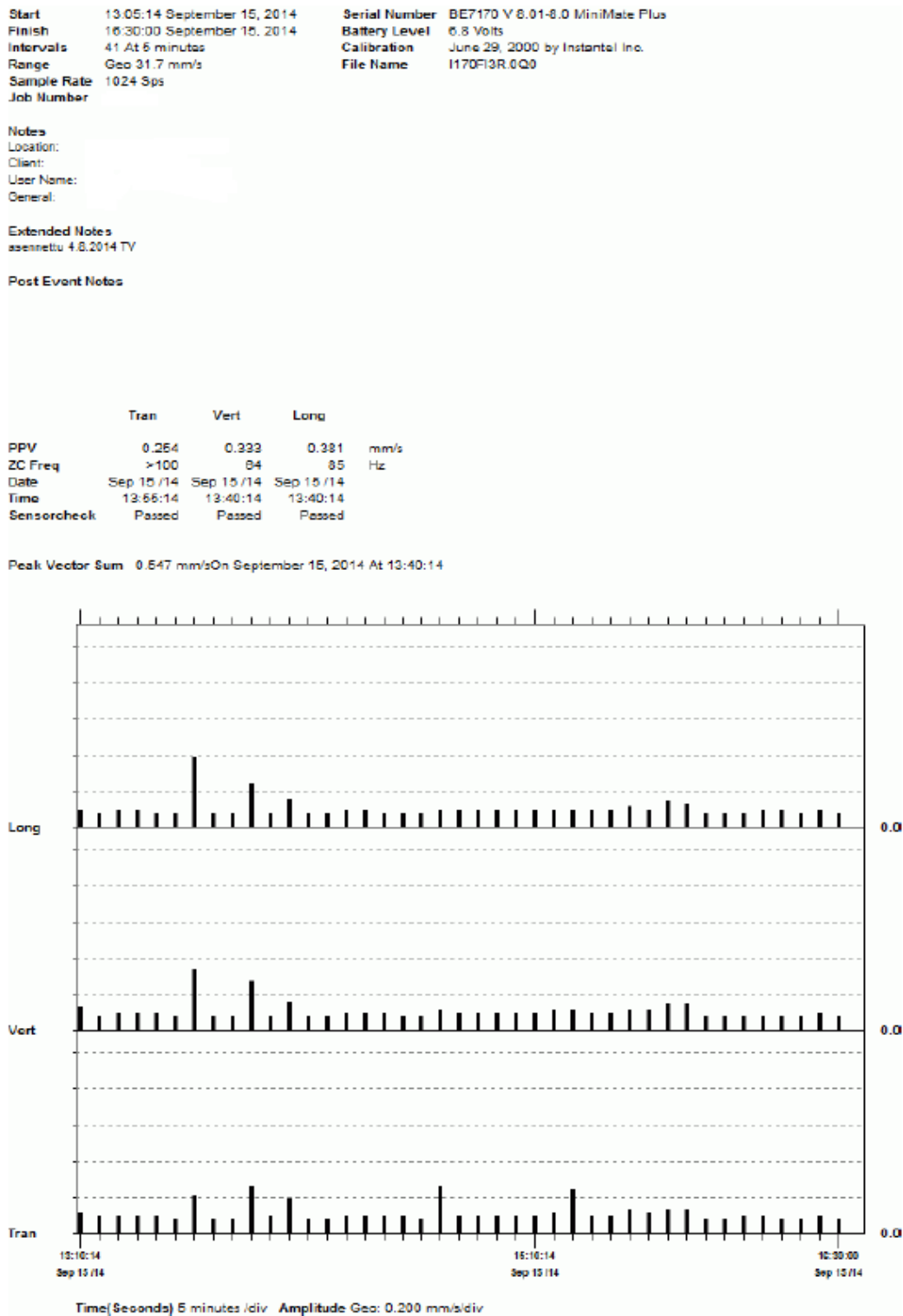
Extended Notes  
 asennettu 20.2.2015 VM

#### Post Event Notes



Kuva 10. Taajuusraportti samasta räjäytyksestä ja mittarista

Kuvissa 9 ja 10 on jatkuvalla mittauksella saatuja tuloksia tunnelilouhinnasta. Histogram-mittauksen raportit ovat erilaisia, koska mittaustapa on erilainen kuva 11 on histogram-mittauksella mitanneesta tärinämittarista. Instantelin tärinämittareilla pystyy mittaamaan myös histogram-combo mittauksella, joka mittaa sekä histogram-mittauksella, että jatkuvalla mittauksella samanaikaisesti.



Kuva 11. Histogram-mittauksen raportti

Histogram mittauksen raportista näkee kyseisen mittauksen heilahdusnopeuden huippuarvon ja taajuuden huippuarvon jokaiselle akselilla.

### 6.1.6.1 Blastware

Blastware on Instantelin oma värinämittaustulosten analysointiohjelma. Blastwarea käytetään, kun värinää mitataan manuaalisesti, koska silloin mittaustulokset jäävät värinämittarin omaan muistiin, eivätkä ne siirry langattomasti suoraan verkkoon. Tällöin mittaustulokset siirretään tietokoneella värinämittarista Blastwareen ja ne puretaan siellä. Puretuista mittaustuloksista saadaan otettua raportit. Taulukossa 7 ja kuvassa 12 on esimerkit Blastwaren mittausraporteista.

**Taulukko 7.** Blastwaren tapahtumaraportti värinämittarin mittaamista tuloksista

| Tärinämittaustulokset 13.8.-25.8.2014 |                     |         |                  |                  |                  |             |                |                |                |                |                |                |
|---------------------------------------|---------------------|---------|------------------|------------------|------------------|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Event Report:                         |                     |         |                  |                  |                  |             |                |                |                |                |                |                |
| Serial No.                            | Date/Time           | Trigger | Tran Peak (mm/s) | Vert Peak (mm/s) | Long Peak (mm/s) | PVS1 (mm/s) | Tran Accel (g) | Vert Accel (g) | Long Accel (g) | Tran Freq. Hz. | Vert Freq. Hz. | Long Freq. Hz. |
| BE9380                                | Aug 13 /14 10:26:59 | ***     | ***              | ***              | ***              | ***         | ***            | ***            | ***            | ***            | ***            | ***            |
| BE9380                                | Aug 13 /14 13:53:16 | Vert    | 1.78             | 2.16             | 1.02             | 2.34        | 0.0530         | 0.199          | 0.0530         | 42.7           | 56.9           | 56.9           |
| BE9380                                | Aug 14 /14 09:24:58 | Vert    | 1.78             | 2.54             | 1.02             | 2.90        | 0.0663         | 0.239          | 0.0398         | 46.5           | 73.1           | 64.0           |
| BE9380                                | Aug 15 /14 08:18:02 | Vert    | 2.54             | 4.83             | 1.40             | 4.99        | 0.0795         | 0.292          | 0.0795         | 51.2           | >100           | 46.5           |
| BE9380                                | Aug 15 /14 12:35:38 | Vert    | 3.94             | 6.10             | 2.03             | 6.34        | 0.146          | 0.384          | 0.0795         | 56.9           | 64.0           | 46.5           |
| BE9380                                | Aug 18 /14 15:01:07 | Vert    | 3.43             | 5.71             | 1.90             | 5.80        | 0.119          | 0.318          | 0.0928         | 42.7           | 36.6           | 51.2           |
| BE9380                                | Aug 19 /14 09:30:38 | Vert    | 2.79             | 4.95             | 1.65             | 5.36        | 0.0928         | 0.252          | 0.0795         | 39.4           | 64.0           | 51.2           |
| BE9380                                | Aug 21 /14 08:58:33 | Vert    | 2.79             | 3.43             | 1.14             | 3.60        | 0.106          | 0.358          | 0.0530         | 42.7           | 46.5           | 42.7           |
| BE9380                                | Aug 21 /14 10:18:02 | Vert    | 2.67             | 7.11             | 1.52             | 7.24        | 0.106          | 0.583          | 0.106          | 56.9           | 73.1           | >100           |
| BE9380                                | Aug 21 /14 13:12:03 | Vert    | 1.78             | 3.05             | 1.27             | 3.24        | 0.106          | 0.424          | 0.0663         | 56.9           | 51.2           | 64.0           |
| BE9380                                | Aug 22 /14 12:54:02 | Vert    | 2.03             | 5.46             | 2.79             | 5.81        | 0.106          | 0.411          | 0.106          | 46.5           | 46.5           | 56.9           |
| BE9380                                | Aug 22 /14 19:34:08 | Tran    | 2.54             | 1.40             | 0.635            | 2.54        | 0.239          | 0.146          | 0.0663         | 7.88           | >100           | >100           |
| BE9380                                | Aug 23 /14 13:37:28 | Vert    | 0.889            | 2.16             | 1.40             | 2.65        | 0.0795         | 0.186          | 0.0928         | >100           | >100           | >100           |
| BE9380                                | Aug 23 /14 16:07:02 | Vert    | 1.14             | 9.14             | 7.11             | 11.6        | 0.159          | 1.03           | 0.835          | >100           | >100           | >100           |
| BE9380                                | Aug 25 /14 08:58:52 | Vert    | 1.78             | 3.43             | 1.27             | 3.59        | 0.106          | 0.331          | 0.0795         | 64.0           | 73.1           | 51.2           |
| BE9380                                | Aug 25 /14 10:18:08 | Vert    | 1.90             | 5.08             | 2.03             | 5.25        | 0.0928         | 0.199          | 0.0928         | 64.0           | 42.7           | 56.9           |
| BE9380                                | Aug 27 /14 09:17:08 | ***     | ***              | ***              | ***              | ***         | ***            | ***            | ***            | ***            | ***            | ***            |

Blastwaren tapahtumaraportista näkee värinämittarin mittaaman räjäytyksen heilahdusnopeuden-, kiihtyvyyden- ja taajuuden huippuarvot jokaiselle akselille. Blastwaresta saa myös jokaisesta eri räjäytyksestä tarkemman raportin (kuva 12), josta näkee räjäytyksen aaltoliikkeen kuvaajan sekä huippuarvot eri mittaussuureille.





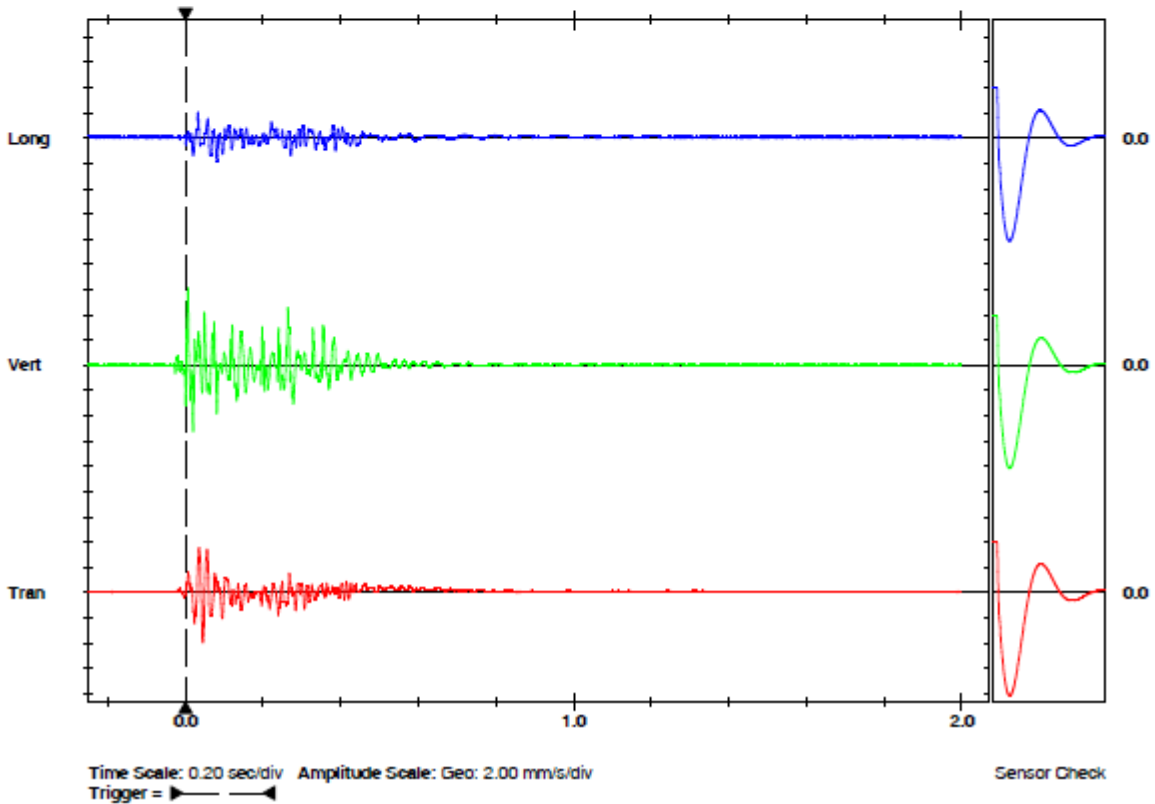
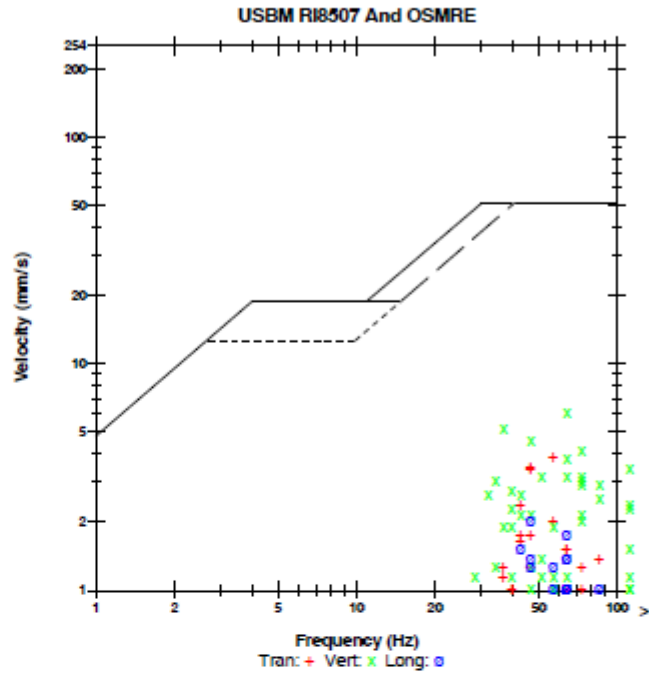
### Event Report

Date/Time Vert at 12:35:38 August 15, 2014  
 Trigger Source Geo: 2.00 mm/s  
 Range Geo: 254 mm/s  
 Record Time 2.0 sec at 1024 sps  
 Job Number:  
 Notes

Serial Number BE9380 V 10.30-8.17 MiniMate Plus  
 Battery Level 6.8 Volts  
 Unit Calibration January 22, 2009 by InstanTel Inc.  
 File Name K380FGIA.ZEO

|                     | Tran   | Vert   | Long    |      |
|---------------------|--------|--------|---------|------|
| PPV                 | 3.94   | 6.10   | 2.03    | mm/s |
| ZC Freq             | 57     | 64     | 47      | Hz   |
| Time (Rel. to Trig) | 0.045  | 0.007  | 0.032   | sec  |
| Peak Acceleration   | 0.146  | 0.384  | 0.0795  | g    |
| Peak Displacement   | 0.0163 | 0.0144 | 0.00546 | mm   |
| Sensor Check        | Passed | Passed | Passed  |      |
| Frequency           | 7.5    | 7.4    | 7.6     | Hz   |
| Overswing Ratio     | 3.6    | 3.8    | 3.7     |      |

Peak Vector Sum 6.34 mm/s at 0.007 sec



Printed: August 27, 2014 (V 10.20 - 10.20)

Format © 1995-2011 Xmark Corporation

Kuva 12. Blastwaren tapahtumaraportti yhdestä räjäytyksestä