

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma

Rakennusmestari (AMK)

2011

Panu Mikkola

# ÄÄNENPAINEN AIHEUTTA- MAT TÄRINÄT RAKENTEISSA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma | Rakennusmestari (AMK)

Valmistumisajankohta 2011 | Sivumäärä 36+37 liitettä

Ohjaaja: Vesa Virtanen

Panu Mikkola

# ÄÄNENPAINEEEN AIHEUTTAMAT TÄRINÄT RAKENTEISSA

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on selvittää, millaista vaikutuksia äänen aiheuttamalla värinällä on rakenteisiin. Työssä perehdytään akustiikkaa sekä rakenteiden värinää käsittelevään kirjallisuuteen sekä Tuska-festivaalien aikana suoritettujen värinämittauksen tuloksiin.

Aluksi käsitellään lyhyesti äänen ominaisuuksia sekä perussuureita. Akustiikasta tutkitaan rakenteiden värinän kannalta keskeisimpiä ilmiöitä.

Rakenteiden värinää käsittelevässä osiossa tutkitaan erilaisten värinöiden vaikutuksia rakenteissa sekä tarkastellaan erilaisia raja-arvoja ja niiden soveltuvuutta äänen aiheuttaman värinän vaarallisuuden arviointiin.

Asiaa havainnollistetaan Suvilahden Kattilahallissa Tuska-festivaalien aikana suoritettujen värinämittausten avulla. Mitatun värinän ominaisuuksia tutkitaan mittauspistekohtaisesti verraten niitä louhinnasta aiheutuvaan värinään.

Lopuksi selvitetään mitatun värinän vaikutuksia rakenteisiin ja värinän syntyyn vaikuttavia tekijöitä sekä värinämittaustuloksista mahdollisesti saatavaa hyötyä eri osapuolten kannalta.

ASIASANAT:

akustiikka, värinä, äänenpaine, resonanssi, interferenssi, seisovat aallot, taajuus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme in Construction Management | Construction Supervisor

Completion of thesis 2011 | Total number of pages: 36 + 37 appendices

Instructor: Vesa Virtanen

Panu Mikkola

# STRUCTURAL VIBRATIONS CAUSED BY SOUND PRESSURE

The purpose of this thesis was to clarify the effect of sound-induced vibration on structures. Professional literature on acoustics and on vibration of structures was studied. In addition this thesis deals with the results of vibration measurements performed during the Tuska festival.

Initially, properties as well as basic quantities of sound are discussed. Acoustics are only taken into account when examining phenomena of major importance for the effects of vibration on structures.

The section on the vibration of structures discusses the effect of different vibrations on structures and looks at various thresholds and their suitability for the evaluation of the risk induced by sound-derived vibrations.

The phenomenon is illustrated with vibration measurements carried out during the Tuska festival in the Kattilahalli building in Suvilahti. The measured vibration characteristics are examined using individual measuring points and practical reference results.

In conclusion it is explained how sound induced vibration affects structures. Factors contributing for the emergence of vibration as well as the potential benefit of vibration measurement results from various parties' viewpoints are considered.

## KEYWORDS:

acoustics, vibration, sound pressure, resonance, interference, standing waves, frequency

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>6</b>
<b>2 ÄÄNI</b>	<b>7</b>
2.1 Äänentaajuus	7
2.2 Aallonpituus	8
2.3 Äänenvoimakkuus	8
2.4 Äänekkyystaso	9
2.5 Interferenssi	11
2.6 Seisovat aallot	12
<b>3 ÄÄNI JA RAKENTEET</b>	<b>14</b>
3.1 Massalaki	14
3.2 Koinssidenssi	15
3.3 Resonanssi	16
<b>4 RAKENTEIDEN TÄRINÄ</b>	<b>18</b>
4.1 Aaltoliike	18
4.2 Tärinän vauriovaikutus rakenteissa	19
4.2.1 Jatkuva tärinäkuormitus rakenteissa	20
4.2.2 Jatkuva iskumainen tärinäkuormitus rakenteissa	21
4.3 Tärinän raja- ja ohjearvot	22
4.4 Taajuussidonnaiset raja-arvot	22
4.5 Tärinän mittaaminen rakenteista	23
4.6 Mittaustavat	24
4.7 Ihmisen subjektiivinen käsitys tärinästä	25
<b>5 KATTILAHALLIN TÄRINÄMITTAUS</b>	<b>26</b>
5.1 Kohde	26
5.2 Rakenteet	26
5.3 Tärinämittaus	27
5.4 Mittauskalusto	28
5.5 Mittauspisteet ja tulosten tarkastelu	29

5.5.1	Mittauspiste 1	29
5.5.2	Mittauspiste 2	29
5.5.3	Mittauspiste 3	30
5.5.4	Mittauspiste 4	31
<b>6</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>33</b>
6.1	Tärinän vaarallisuudesta	33
6.2	Tärinän luonne	34
6.3	Tärinämittauksen mahdollisuudet	34
	<b>LÄHTEET</b>	<b>36</b>

## **LIITTEET**

Liite 1. Mittauspisteiden sijainti

Liite 2. Mittaustulokset

# 1 JOHDANTO

Aiheen valintaan vaikutti oma kiinnostukseni äänenpaineen aiheuttamaa tärinää kohtaan sekä aiheeseen suoraan liittyvän tiedon niukkuus. Olin jo aiemmin huomionnut konserttien yhteydessä rakenteiden tärisevän tuntuvasti ja joidenkin rakenteiden resonoivan kuuluvasti. Ajatus konserttien yhteydessä syntyvän tärinän tason selvittämisestä syntyi, kun työskentelin Varsinais-Suomen Kalliotekniikka Oy:ssä tehden muun muassa tärinämittauksia räjäytys-, paalutus- ja maanrakennustöiden yhteydessä.

Opinnäytetyön tekeminen antoi minulle tilaisuuden selvittää ja tutkia tarkemmin äänenpaineen aiheuttamaa tärinää rakenteissa. Kiinteistö Kaapelitalo Oy antoi minulle mahdollisuuden suorittaa tutkimukseni Suvilahden Kattilahallissa Tuska-festivaalien aikana. Tutkimuksessa oli oleellista mitata esiintyneet tärinät. Tässä kohdin aiempi työnantajani, Varsinais-Suomen Kalliotekniikka Oy, tarjoutui antamaan käyttöni neljä seismografia mittausten suorittamiseen.

Työni alku painottuu teoretiseen äänenpaineen aiheuttaman tärinän taustatekijöistä, kuten tilassa vaikuttavista akustisista ilmiöistä ja rakenteiden tärinäteknisistä ominaisuuksista. Tavoitteena tämän työn yhteydessä on selvittää äänenpaineen aiheuttaman tärinän tasoa, syntyä, ominaisuuksia sekä vaikutuksia rakenteisiin. Lopuksi esittelen tutkimustuloksiani ja pohdin tärinämittausten avulla mahdollisesti saatavaa hyötyä eri osapuolten kannalta. Samalla pohdin, voitaisiinko tärinän mahdollisesti aiheuttamia haittoja minimoida tutkimustuloksia hyväksikäyttäen.

## 2 ÄÄNI

Ääni on väliaineessa etenevää aaltoliikettä. Väliaineena voi toimia neste, kaasu tai kiinteä aine (Wood Focus 2004, 10). Väliaineen hiukkaset eivät liiku aallon mukana, vaan välittävät aallon energian vierushiukkaselle värähtelynä (Teittinen 2005).

Ääniä voidaan nimetä sen perusteella, missä väliaineessa ääni etenee. Ilmassa etenevää ääntä kutsutaan ilmaääneksi. Tämän ihminen kykenee havaitsemaan kuuloaistinsa avulla. Rakennuksen rungossa etenevää ääntä kutsutaan runkoääneksi, jonka ihminen voi havaita tärinänä äänen ollessa riittävän voimakasta. Ilma- ja runkoäänien eroavaisuuksista huolimatta, ne ovat yleensä toisistaan riippuvaisia, koska ilmaääni aiheuttaa runkoääntä ja runkoääni ilmaääntä. (Wood Focus 2004, 10.)

### 2.1 Äänentaajuus

Äänen edetessä aaltomaisena väliaineen hiukkaset värähtelevät. Värähdysliikkeessä kappale suorittaa edestakaista liikettä tasapainoasemansa suhteen. Kappaleen suorittamien värähdysliikkeiden määrää ajanjaksolla kutsutaan värähdyslukuksi, jaksoluvuksi tai taajuudeksi. (Halme 1976, 4.)

Taajuuden yksikkö on hertsi (Hz), joka ilmoittaa värähdysten määrän sekunnissa. Vähäinen värähdysten lukumäärä aiheuttaa matalan äänen, kun taas suuri värähdysten lukumäärä aiheuttaa korkean äänen. Äänentaajuuden ollessa riittävän matala tai korkea, ei ihminen kykene kuulemaan ääntä lainkaan. Ihminen kuulee äänet taajuusalueelta 16 Hz – 20 kHz. (Wood Focus 2004, 11.)

Kuuloalueen alapuolella olevia ääniä kutsutaan infraääniksi. Niitä korva ei pysty aistimaan ääninä, mutta niitä esiintyy mm. teollisuudessa ja laivoilla. Infraäänit voivat aiheuttaa kuulovaurioita.

Kuuloalueen yläpuolella olevia ääniä kutsutaan ultraääniksi. Ultraäänit eivät yleensä ole kuulolle vaarallisia, koska ne ovat aika hiljaisia ja etenevät huonosti. (Äänipää 2007.)

## 2.2 Aallonpituus

Äänen nopeuden ollessa 344 m/s (+20°C) voidaan ääniaallon pituus määrittää taajuuden avulla. Ääniaallon pituus on kahden tihentymän eli ilmanpainemaksimin välinen matka. Aallonpituus voidaan laskea jakamalla äänennopeus (344 m/s ilmassa) sen taajuudella (ks. kuva 1). Esimerkiksi 100 Hz:n taajuudella aallonpituus on noin 3,44 metrin mittainen. (Äänipää 2007; Teknillinen korkeakoulu 2011.)

Hertsi, Hz	Äänen taajuus esimerkiksi	Aallonpituus
20	kuuloalueen alaraja	17 m
100	miehen puheäänien perustaajuus	3,4 m
200	naisen puheäänien perustaajuus	1,7 m
500	keskitaajuus	68 cm
4 000	puheäänien konsonantit	17 cm
8 000	musiikin diskanttialue	4 cm
20 000	heinäsirkan siritys	1,7 mm

Kuva 1. Äänen taajuuksista ja aallonpituuksista (TKK 2006).

## 2.3 Äänenvoimakkuus

Äänenvoimakkuutta mitataan pääasiassa äänenpaineen avulla  $p$  [Pa]. Kuuloalueen äänenpaineet vaihtelevat 20  $\mu$ Pa – 20Pa välillä. Voidaan todeta, että äänenpaineen vaihtelut ovat erittäin pieniä staattiseen ilmanpaineeseen nähden, joka on noin 100 Kpa. (Hongisto 2010, 7.)

Staattisen ilmanpaineen ja äänenpaineen ero määrittää äänenvoimakkuuden. Mitä suurempi tämä ero on, sitä voimakkaampi on ääni.



Äänenpaineen mittauksessa on otettu käyttöön logaritminen asteikko, koska suuret vaihtelevat erittäin laajoissa rajoissa. Logaritmisuus puolustaa paikkaansa myös siksi, että ihmisen kuuloaisti noudattaa ns. Weberin lakia. Tämän mukaan yhtä suuret ärsykkeen suhteelliset muutokset aiheuttavat yhtä suuret muutokset havainnoissa. (Halme1976, 29.)

Äänenpaine ilmaistaan suureella, jota kutsutaan desibeliksi (dB). Äänen voimakkuuden kasvaminen 10 dB vastaa kuuloaistimuksessa äänekkyuden kaksinkertaistumista. Logaritmisuuden vuoksi desibeliarvoja ei voida suoraan laskea yhteen. Kun yksi soittaja soittaa 60 dB:n voimakkuudella, kaksi soittajaa soi korkeintaan noin 63–64 dB:n voimakkuudella. Jos tilassa vaikuttaa kaksi yhtä voimakasta mutta erilaista ääntä, voimakkuus lisääntyy 3–4 dB. Jos äänet ovat korreloivia ja samanvaiheisia, niiden yhdistäminen aiheuttaa yhteensä 6 dB:n nousun äänenpaineeseen. (Äänipää 2007.)

Ihmisen korvan tasoerotuskyky on noin 1 dB, ja ero hiljaisimman ja voimakaimman kuultavan äänen välillä on 130 dB (ks kuva 2.).

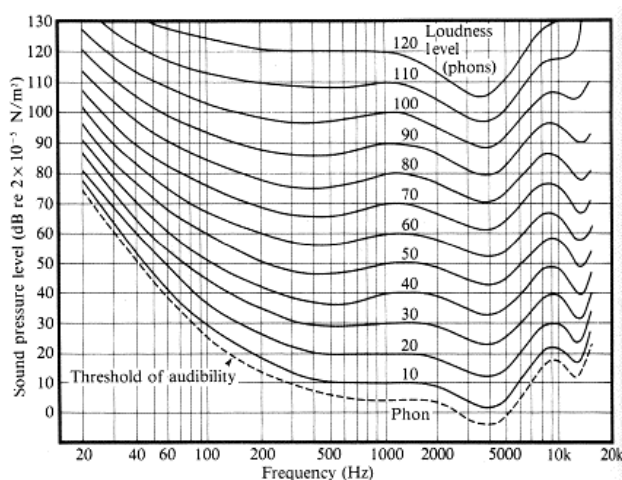
Äänitaso dB	Äänilähde esimerkiksi	Oleskeluaika enintään
0	kuulokynnys	
20...25	makuuhuoneiden taustamelu yöllä	
30...40	ilmastoinnin taustamelu	
60...70	puheääni huoneessa	
70...80	voimakas puheääni, liikenne	8 tuntia
85...90	moottoripyörä	2...4 tuntia
90...110	disco tai rock-konsertti	2 tuntia...1 minuutti
110...130	kipukynnys	oleskelua ei suositella

Kuva 2. Esimerkkejä äänien voimakkuuksista (TKK 2006).

## 2.4 Äänekkyystaso

Äänenpainetaso kuvaa äänen fysikaalista voimakkuutta. Korvan herkkyys on kuitenkin erilainen eri taajuuksilla. Korvan herkkyyttä mitataan foniasteikolla. Foni- ja desibeliasteikko vastaavat toisiaan äänen taajuuden ollessa 1000 Hz.

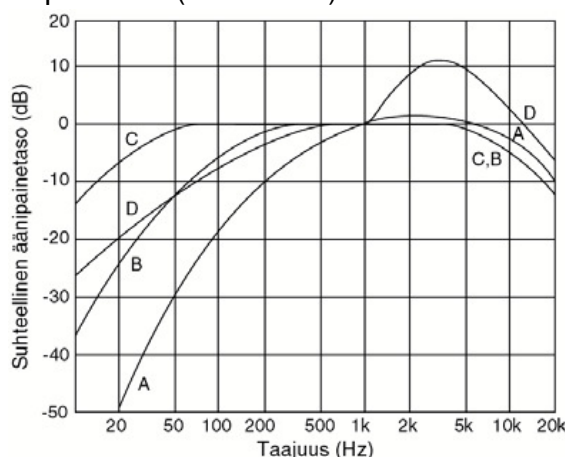
Korvan herkkyyttä eri taajuuksilla ja äänenpaineilla voidaankin tarkastella Munson-Fletcherin kuulokäyriä avulla (ks. kuva 3). Kuulokäyräkuvassa vaakakselilla on äänen taajuus ja pystyakselilla fysikaalinen voimakkuus. Käyrät kuvaavat, miten voimakkaana ääni keskimäärin kuullaan. Korvan herkkyyserot taajuuden suhteen tasoittuvat huomattavasti äänenpaineen kasvaessa. (Äänipää 2007.)



Kuva 3. Fletcher & Munson vakioäännekkyyssäyrästä (TKK 2006).

Kuuloaistin herkkyyserojen vuoksi voidaan käyttää taajuuspainotuksia, joiden avulla pystytään paremmin arvioimaan äänen aiheuttamaa vaikutusta ihmisiin. Standardisoituja taajuuspainotuksia ovat A-, B-, C- ja D-painotus, joista A-painotus on yleisin. Se on sisäänrakennettuna lähes kaikkiin äänitasomittareihin (ks taulukko 1). A-taajuuspainotuksessa etenkin pienitaajuisien äänten vaikutusta on vähennetty suhteessa keskitaajuisiin ääniin. A-painoitettu äänitasosta käytetään usein myös nimitystä *melutaso*. (TKK 2011.)

Taulukko 1. Taajuuspainotus (TKK 2011).



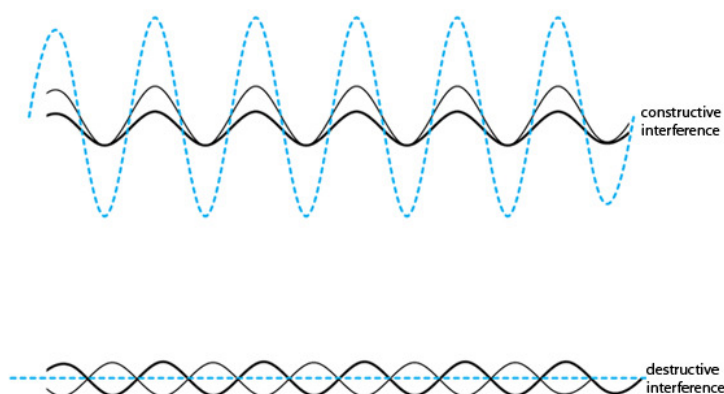
## 2.5 Interferenssi

Kahden tai useamman aaltoliikkeen vaikuttaessa samassa tilassa ne interferoivat keskenään. Interferenssi saattaa aiheuttaa erittäin suuria vaihteluja äänenpaineessa alkuperäiseen äänenpaineeseen verrattuna. Seuraavassa esitetään kaksi äärimäistä ilmiötä.

Kun kahden äänilähteen signaali ja vaihe ovat yhtenevät, syntyy konstruktii-  
nen interferenssi, jossa ääniaallot vahvistavat toisiaan. Täydellisessä konstruk-  
tiivisessa interferenssissä äänenpainetaso nousee +6 dB.

Kun kahdella äänilähteellä on sama signaali, mutta vastakkainen vaihe (180 astetta), syntyy destruktiivinen interferenssi. Tällöin ääniaallot heikentävät toisi-  
aan. Täydellisessä destruktiivisessä interferenssissä ääniaallot kumoavat toisen-  
sa täydellisesti ja äänenpaine häviää kokonaan. Ilmiötä käytetään hyväksi vas-  
taäänisovelluksissa. (Hongisto 2010, 13–14.)

Seuraavassa kuvanto konstruktii-  
visesta sekä destruktiivisesta interferenssistä. Kuvannossa mustat aallot kuvaavat tilassa vaikuttavia ääniaaltoja ja sininen katkoviiva niiden resultanttiaaltoa (ks. kuva 4).



Kuva 4. Kuvanto konstruktii-  
visesta ja destruktiivisesta interferenssistä (The Uni-  
versity at Buffalo / School of Architecture and Planning 2011).

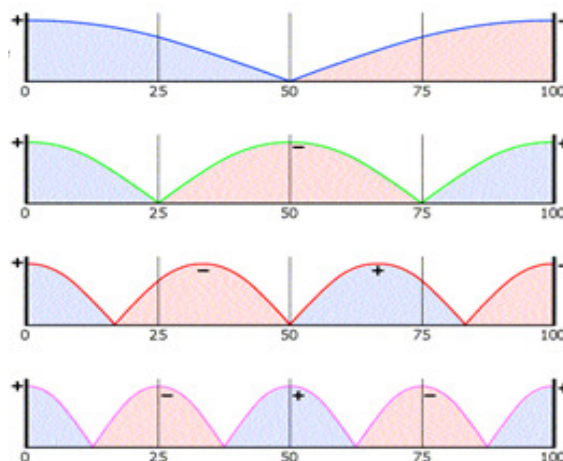
## 2.6 Seisovat aallot

Seisova aaltoliike eli huonemoodi muodostuu, kun kaksi vastakkaisiin suuntiin etenevää harmonista aaltoliikettä interferoivat keskenään. Vastakkaisiin suuntiin etenevät aallot syntyvät, kun tilassa on kaksi saman suuntaista pintaa, joiden välillä ääni heijastuu. Ilmiö syntyy taajuuksilla, joilla huoneen mitta on puolet ääniaallon pituudesta tai ääniaallon puolikkaan monikerta. Seisovia aaltoja muodostuu enemmän tai vähemmän kaikissa tiloissa ja tilan kaikissa suunnissa (pituus, leveys ja korkeus). (Halme 1976, 45.)

Kun pinta on täydellisesti heijastava, siihen kohdistuu kaksinkertainen äänenpaine verrattuna pinnan kohdanneeseen paineeseen (Halme 1976, 45).

Seisovat aallot aiheuttavat tilaan paikallisia äänenpaineen korostumia ja vaimentumia tilan resonanssitaajuuksille (ks. kuva 5).

Neljännesosa-aallonpituuden päähän heijastavasta pinnasta syntyy kohta, jossa äänenpaine on pieni. Puolen aallonpituuden päässä pinnasta saavuttaa paine jälleen maksimiarvon. Nämä kupu- ja solmukohtat pysyvät koko ajan paikallaan ja siksi ilmiötä kutsutaan seisovaksi aalloksi. (Halme 1976, 45).



Kuva 5. Kuvanto seisovien aaltojen muodostamien kupu- ja solmukohtien sijoittumisesta tilaan (Hifizine 2011).

Ero äänenvoimakkuudessa voi olla huomattava jo lyhyilläkin siirtymillä. Jos tilan mitat ovat samoja tai toistensa monikertoja, seisovat aallot korostavat toisiaan.

Tilan akustisella suunnittelulla voidaan välttää seisovien aaltojen muodostumista. Tiloissa, joita ei ole suunniteltu konserttikäyttöön, voidaan seisovien aaltojen haitallisia vaikutuksia vähentää suodattamalla pois äänilähteestä huonemoodien taajuuksia tai niiden kerrannaisia. (T. Heikkinen, henkilökohtainen tiedonanto 16.10.2011.)

### 3 ÄÄNI JA RAKENTEET

Rakenteen kohdatessaan heijastuu osa äänestä takaisin ja osa siirtyy rakenteeseen. Lisäksi osa rakenteen kohdanneesta äänestä muuttuu lämmöksi rakenteessa esiintyvän kitkan ansiosta. Äänen siirtyminen rakenteeseen aiheuttaa rakenteessa värähtelyjä eli niin sanottuja runkoääniä (Halme 1976, 48). Seuraavassa esitellään äänen vaikutuksia rakenteisiin.

#### 3.1 Massalaki

Ääniaallon kohdatessa rakenteen se synnyttää rakenteeseen värähtelyä. Mitä voimakkaammin rakenne värähtelee, sitä enemmän se synnyttää ääniaaltoja rakenteen toiselle puolelle. Kevyen rakenteen värähdellessä samasta äänenpaineesta enemmän kuin raskaan rakenteen, voidaan todeta, että raskas rakenne eristää paremmin ääntä. Tätä ilmiötä kutsutaan ääneneristävyyden massalaki. (Wood Focus 2004, 18.)

Rakenteiden ilmaäänieristävyyttä voidaan määrittää käyttämällä seuraavaa kaavaa. Määrittämällä rakenteelle ilmaääneneristävyys taajuudella 500 Hz, voidaan tietyissä tapauksissa suuntaa-antavasti arvioida rakenteen ilmaääneneristysluvun  $R_w$  suuruus.

$$R = 20 \lg(mf) - 49$$

$R$  = rakenteen ilmaääneneristävyys [dB]

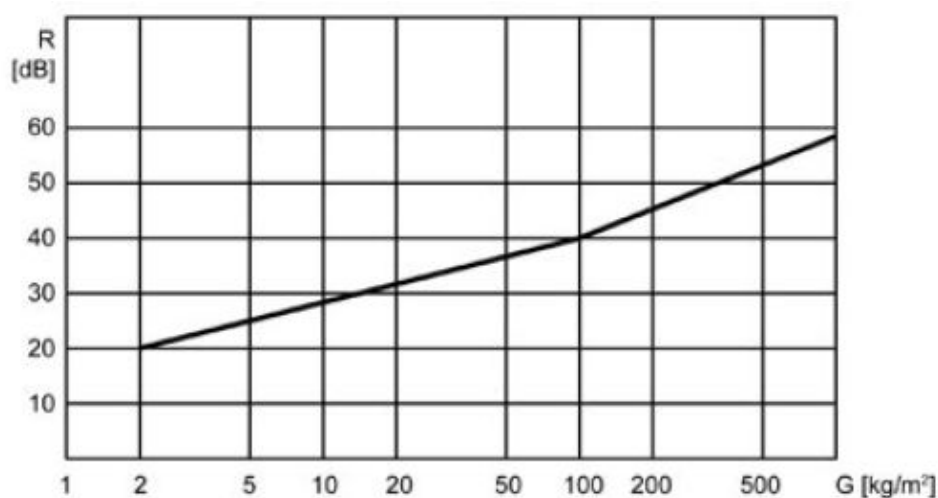
$m$  = rakenteen massa [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]

$f$  = äänentaajuus [Hz]

Tarkka rakenteen ilmaääneneristysluku määritetään vertailukäyrämenettelyllä koko taajuusalueen mittaustulosten perusteella (Wood Focus 2004, 18).

Massalaki ei päde täysin rakenteiden ollessa alle  $100 \text{ kg}/\text{m}^2$ , jolloin ääneneristävyys on pienempi kuin teoreettinen massalaki ilmoittaa (ks. kuva 6.). Seinärakenteilla, joiden massa on yli  $100 \text{ kg}/\text{m}^2$ , äänieristävyyden kasvu massaa lisät-

täessä tapahtuu likimain massalain mukaisesti. Massan kaksinkertaistuksessa tapahtuu tällöin noin 5,5 dB:n kasvu äänieristävyyteen. (Halme 1976, 110.)



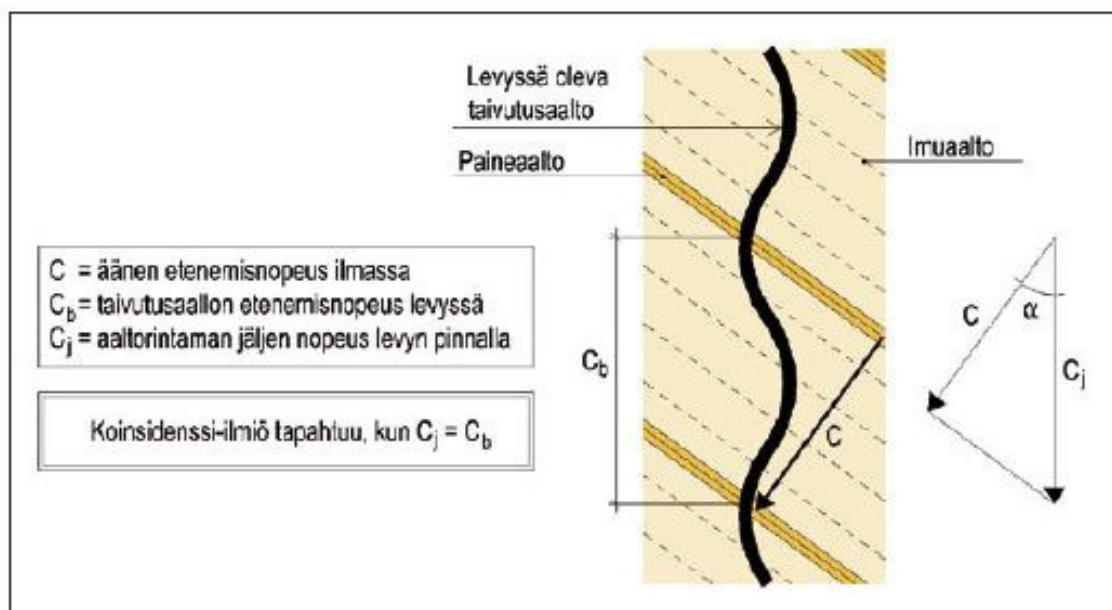
Kuva 6. Massan vaikutus yksinkertaisen rakenteen ilmaäänieristävyyteen (Wood Focus 2004, 19).

Myös taajuus vaikuttaa ääneneristävyyteen. Massalain mukaan rakenteet eristävät korkeita ääniä paremmin kuin matalia. Taajuuden noustessa yhden oktaavin äänieristävyys kasvaa 6 dB. Jos seinän äänieristävyys on 500 Hz:n kohdalla 40 dB, niin 1000 Hz:n kohdalla se on 46 ja 2000 Hz:n kohdalla 52 dB. Toisin sanoen yhden oktaavin nousu taajuudessa vaikuttaa äänen eristävyyteen likimain yhtä paljon, kuin seinän massan kaksinkertaistaminen taajuuden pysyessä samana. (Halme 1976, 110.)

### 3.2 Koinssidenssi

Koinssidenssi on erityisesti levyrakenteissa vaikuttava ilmiö. Koinssidenssi muodostuu taajuudelle, jolla äänen etenemisnopeus on sama kuin taivutusaallon etenemisnopeus levyssä. Tällöin aallot niin sanotusti kohtaavat toisensa. Kun ääni on jatkuvaa, se aiheuttaa ali- ja ylipainerintaman, joka osuu levyssä olevan taivutusaallon huippuun ja laaksoon (ks. kuva 7). Koinssidenssitaajuuksilla rakenne ei käyttyä äänieristävyydeltään massalain mukaisesti, vaan ääni läpäi-

see levyn lähes vaimentumatta. Tällöin äänieristävyys riippuu lähinnä rakenteen häviömekanismeista. (Wood Focus 2004, 22.)



Kuva 7. Rakennuslevyjen koinssidenssitaajuudet vaihtelevat 2000–3000 Hz:n välillä.

Mitä korkeammalla koinssidenssitaajuus sijaitsee, sitä vähemmän sillä on vaikutusta rakenteen äänieristävyteen (Wood Focus 2004, 21).

### 3.3 Resonanssi

Resonanssi tapahtuu rakenteen, esineen tai asian värähdellessä sen ominaistaajuudella. Jos rakenteeseen syötetään energiaa sopivalla taajuudella, värähtelyn amplitudi kasvaa. (TKK 2011.)

Resonanssi on varsin yleinen ilmiö, josta on tapauksesta riippuen joko hyötyä tai haittaa. Resonanssi-ilmiöstä on hyötyä, kun halutaan vahvistaa ääntä tai värähtelyä, esimerkiksi akustisissa soittimissa. Toisaalta resonanssi voi saada melun vahvistumaan liian voimakkaaksi tai resonoivan kohteen liikeamplitudin kasvamaan vaarallisen suureksi. (Karjalainen 2002, 7.)



Ääniaaltojen osuessa rakenteeseen sen ominaistajuudella, rakenne alkaa värähdellä ja säteillä ääntä voimakkaasti. Tällöin rakenteen värähtelysysteemi saa jatkuvasti lisää energiaa siihen kohdistuvista ääniaalloista.

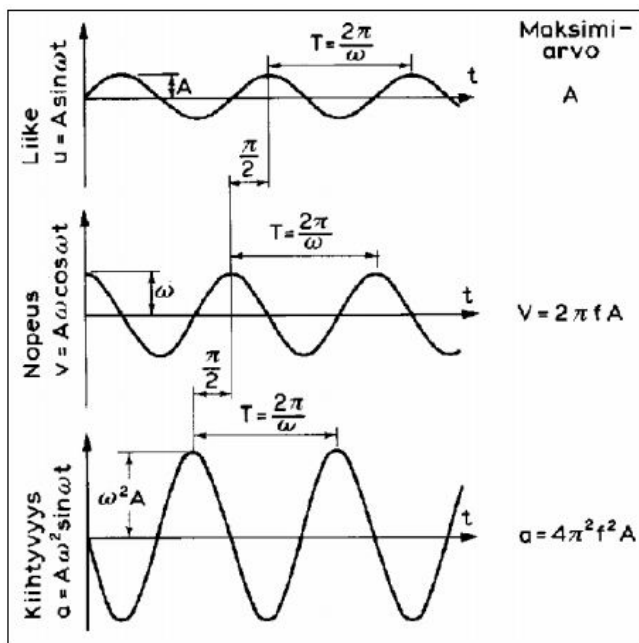
Rakenteen resonanssitaajuusalue kyetään määrittämään rakenteen alimman resonanssitaajuuden  $f_0$  [Hz] avulla, jolloin rakenteen värähtely saavuttaa maksimiarvonsa. Resonanssi-ilmiötä havaitaan myös värähtelyä aiheuttavan herätteen taajuuden ollessa lähellä rakenteen alinta resonanssitaajuutta, eli kun heräte on rakenteen resonanssitaajuusalueella. (Wood Focus 2004, 20.)

## 4 RAKENTEIDEN TÄRINÄ

Etenkin seismisten aaltojen aiheuttamaa värinää rakenteissa on tutkittu ja mitattu jo pitkään. Seismisiä aaltoja aiheuttavat mm. räjäytykset, paalutus, liikenne ja erilaiset koneet. (Vuolio & Halonen 2010, 298.) Suomalaiset raja- ja ohjeavot rakenteiden värinälle onkin määritetty tarkastellen eri töiden aiheuttamien seismisten aaltojen siirtymistä rakenteisiin. Rakennuksen sisällä tai rakenteissa, maan tai kallion yläpuolella syntyvästä värinästä löytyy huomattavasti vähemmän tietoa.

### 4.1 Aaltoliike

Yksinkertaistettuna heilahdusliike on sinimuotoinen, eli niin kutsuttu harmoninen heilahdus. Vaikka heilahdusliike ei luonnossa ole lähes koskaan sinimuotoinen, käsitellään värinää usein sinimuotoisena. Tällöin sen tarkastelu helpottuu ja eri suureiden väliseen vertailuun voidaan käyttää harmonisen värähtelyn tapauksessa käytettäviä yhtälöitä (ks. kuva 8). (Vuolio & Halonen 2010, 298.)



Kuva 8. Heilahdusliike (Vuolio & Halonen 2010, 299).

$A$  = Siirtymän heilahdusamplitudi (mm)

$T$  = jakson aika (s)

$\omega$  = kulmataajuus

$f$  = taajuus (jaksojenluku sekunneissa)

#### 4.2 Tärinän vauriovaikutus rakenteissa

Rakenteiden vaurioituminen tärinän seurauksena voi johtua venymästä, repeämästä tai taipumisesta (Vuolio & Halonen 2010, 302). Arvioitaessa tärinän vauriovaikutusta rakenteissa, on otettava huomioon rakenteiden kunto sekä aiempi kuormitushistoria. Erilaisten ja erikuntoisten rakenteiden tärinänsietoa arvioidaan rakennustapakertoimien avulla (ks. kuva 9). Rakenne vaurioituu, kun kuormitusten aiheuttamat jännitykset ylittävät materiaalin lujuuden, yleisesti heikomman vetolujuuden. (RIL 253-2010, 20.)

Rakenneluokka (hyväkuntoinen rakenne)	Rakennustapakerroin $F_k$ , (kelpoisuus a-luokka)	Rakennustapakerroin $F_k$ , (kelpoisuus aa-luokka)
1. Raskaat teräsbetoni- ja teräsrakenteet, kuten sillat ja laiturit	1,75	2,00
2. Teräsbetoniset, teräksiset ja puurakenteiset teollisuus- ja varastorakennukset, ruiskubetonoidut kalliotilat (ks. myös kohta 3.9), yleensä staattisesti määrätyt rakenteet, joissa ei asuta tai työskennellä	1,25	1,50
3. Pilariperustuksille rakennetut elementtirakenteiset teräsbetonirakenteet, teräs- ja puurakenteiset toimisto- ja asuinrakennukset, muut puu- ja teräsrakennukset, johdot ja maakaapelit (ks. myös kohta 3.9)	1,00	1,20
4. Massiiviseinäiset tiili-, kevytsoraharkko- ja teräsbetonirunkoiset teollisuus-, toimisto- ja asuinrakennukset, lasiseinäiset teräsrunkoiset sekä tiiliverhotut puurunkoiset rakennukset, ruiskubetonimattomat 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

Kuva 4.2. Rakennustapakertoimet (RIL 253-2010, 24).

Tärinän aiheuttamaa vaaraa on perinteisesti arvioitu heilahdusnopeuden avulla, koska sen mittaaminen on helpompaa kuin siirtymien ja kiihtyvyyden mittaami-

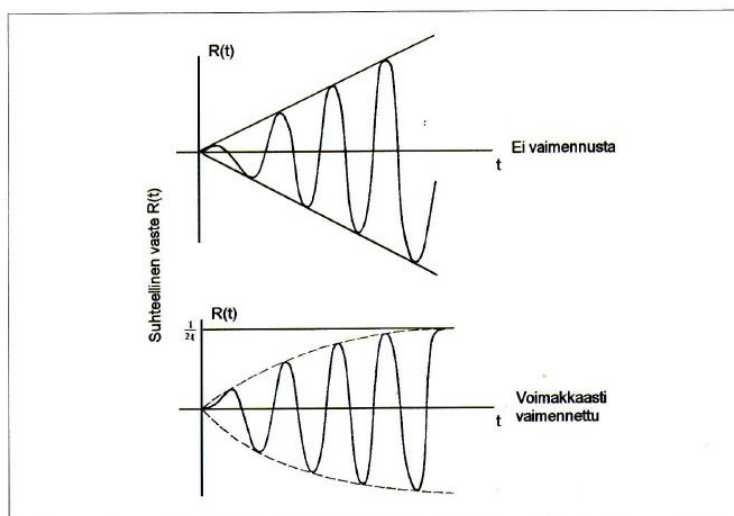
nen. ”Todellisuudessa tärinän aiheuttamat vauriot aiheutuvat rakenteiden siirtymäeroista tai joissakin tapauksissa kiihtyvyyden aiheuttamista rasituksista”. Heilahdusnopeuden ollessa sama on siirtymä suurempi matalilla taajuuksilla ja pienempi korkeamilla taajuuksilla. (RIL 253-2010, 21.)

#### 4.2.1 Jatkuva tärinäkuormitus rakenteissa

Rakenteiden altistuessa jatkuvalla ja harmonisella tärinäkuormituksella, jonka taajuus on samalla alueella rakenteen ominaistajuuden kanssa, rakenteeseen saattaa syntyä resonanssitilanne. Tällöin värähtelyn voimakkuutteen vaikuttaa merkittävästi rakenteen vaimennuskyky. (RIL 253-2010, 70.)

Kuormituksen taajuuden ollessa rakenteen ominaistajuudella, rakenteeseen kerääntyy energiaa ja rakenteen värähtely kasvaisi hyvin suureksi, jos rakenteen vaimennuskyky ei rajoittaisi liikettä. Tilanteessa, jossa rakenteen vaimennuskyky ei rajoittaisi liikettä, värähtelyn amplitudi kasvaisi äärettömän suureksi. Rakenteen vaimennussuhde määrittää, kuinka nopeasti täysimääräinen resonanssiamplitudi saavutetaan. Vaimennuksen ollessa suuri, saavutetaan suurin heilahdusamplitudi nopeasti värähdysliikkeen jäädessä pieneksi (ks. kuva 10).

Tärinäkuormituksen ollessa rakenteen ominaistajuuden yläpuolella, sen vaikutus vähenee rakenteiden hitausvoimien vastustaessa liikettä. (RIL 253-2010, 59.)



Kuva 10. Kuvanto värähtelyn kehittämisestä vaimentamattomassa sekä vaimennetussa rakenteessa (RIL 253-2010, 59).

Pystyrakenteet värähtelevät kokonaisena helpommin vaakasuunnassa, jossa niiden jäykkyys on huomattavasti pienempi. Vaakarakenteet, kuten välipohjat, värähtelevät helpommin pystysuunnassa.

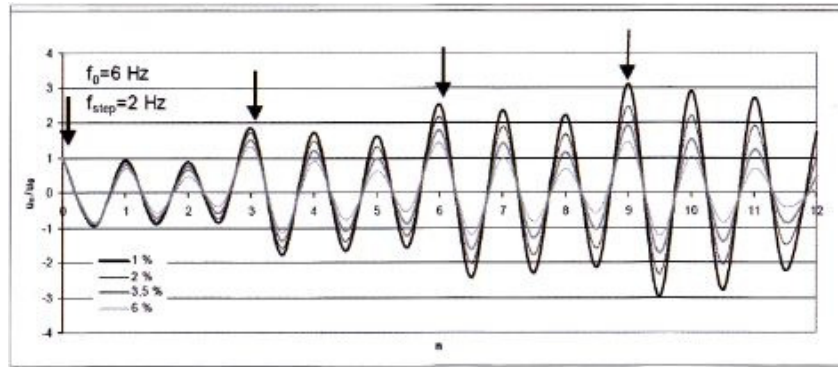
Alla esimerkkejä erilaisten välipohjarakenteiden ominaistuuksista. Mitä lyhyempi jänneväli, sitä korkeammalla ovat ominaistuuudet.

- Kevyet puu- ja teräsrunkoiset lattiat, joiden jänneväli on 3–8m, ominaistuuksisuus on 8–30 Hz
- Ontelolaattalattioilla ominaistuuksisuus on 6–20 Hz
- Pitkäjänteiset teräsbetoniliittorakenteet 3–8 Hz
- Paikallavaletut asuinrakennusten välipohjat 20–60Hz

Resonanassin ilmeneminen voi olla satunnaista, sillä resonanssi-ilmiö voimistaa vain sitä taajuuskomponenttia, joka sattuu rakenteen ominaistuuksisuuden alueelle. Kuitenkin ilmetessään resonanssin merkitys on hyvin suuri. Joidenkin mittaus-ten perusteella värähtely saattaa vahvistua jopa kuusinkertaiseksi. (RIL 253-2010 ,71.)

#### 4.2.2 Jatkuva iskumainen värähtely rakenteissa

Rakennetta kuormitettaessa dynaamisesti sopivasti toistuvilla iskuilla, saattaa rakenteen värähtely voimistua, vaikka varsinaista resonanssia ei kehittyisikään. Rakenteen altistuttua dynaamiselle kuormitukselle, kuten iskulle, se jää iskun jälkeen värähtelemään ominaistuuksudellaan. Tämä näkyy muun muassa mit-taustuloksissa jälkihuojuntana. Toistuvan kuormituksen osuessa sopivasti jälki-huojunnan kanssa yhteen, lähtee rakenteen värähtely kasvamaan (ks. kuva 11). Iskun voima, rakenteiden jäykkyys, massa ja vaimennus määrittävät, kuinka voimakkaaksi värähtely kehittyy. (RIL 253-2010, 72.)



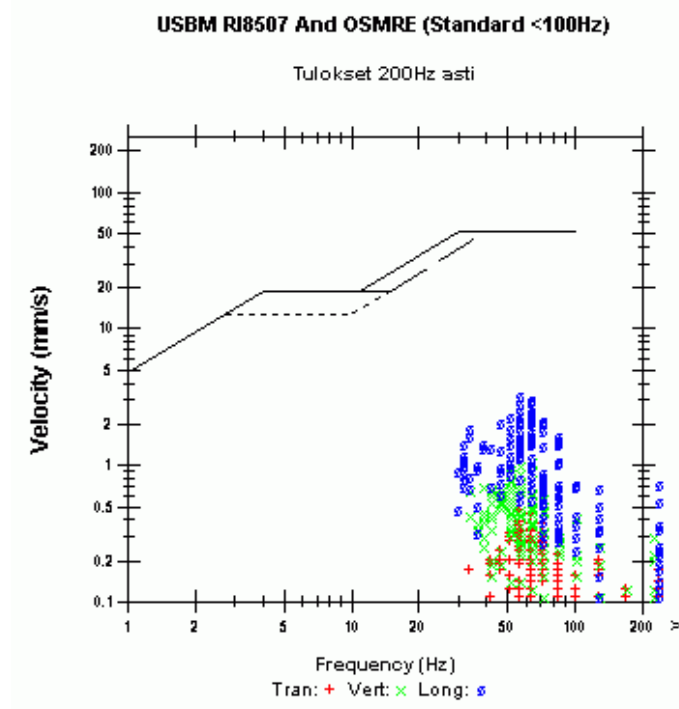
Kuva 11. Jatkuvan iskumaisen kuormituksen aikaansaama värähtelyn vahvistuminen. Kuvassa askelherätteen (2Hz) monikerta on samalla taajuusalueella lattian ominaistajuuden kanssa (6Hz). (RIL 253-2010, 72.)

#### 4.3 Tärinän raja- ja ohjearvot

Suomessa käytettävät raja- ja ohjearvot ilmaistaan heilahdusnopeuden maksimiarvona. Heilahdusnopeuden ollessa verrannollinen tärinän sisältämään energiaan se antaa hyvän kuvan tärinän vaarallisuudesta. Nämä tärinäraja-arvot perustuvat pohjoismaisiin tutkimuksiin ja kokemuksiin. Myös taajuudella on suuri merkitys tärinän vaarallisuuteen. Suomalaiset raja- ja ohjearvot ottavat taajuuden epäsuorasti huomioon, tärinälähteen ja mittauspisteen välisen etäisyyden sekä maaperän ominaisuuksien avulla. Heilahdusnopeuden käyttöä raja- ja ohjearvoissa puoltaa myös yksinkertaisemman mittauskaluston käyttö. (Vuolio & Halonen 2010, 308.)

#### 4.4 Taajuussidonnaiset raja-arvot

Sekä Yhdysvalloissa (USBM RT 8507), että Saksassa (DIN 4150-3, 1999) käytössä ovat taajuussidonnaiset raja-arvot. Mittauksissa tarkkailaan heilahdusnopeutta sekä pitkittäiseltä, poikittaiselta että pysty akselilta, joista suurin on määräävä. Nämä raja-arvot ottavat huomioon taajuuden vaikutuksen tärinän vaarallisuuteen ja määrittävät heilahdusnopeuden raja-arvon eri taajuuksille. (Vuolio & Halonen 2010, 307.)



Kuva 12. USBM RT 8507 Raja-arvotaulukko (Instantel)

Kuvassa 12 on USBM RT 8507:n vauriokuvaaja heilahdusnopeuden ja taajuuden suhteen. Pystyakselilla on heilahdusnopeus ja vaaka-akselilla taajuus. Eri akselien (tran, vert ja long) tulokset heilahdusnopeuden ja taajuuden suhteen on esitetty erivärisin pistein. Tulosten osuessa raja-arvoviivan yläpuolelle vaurion mahdollisuus kasvaa suureksi. (Vuolio & Halonen 2010, 307.)

#### 4.5 Tärinän mittaaminen rakenteista

Rakenteiden tärinää mitattaessa käytetään anturina tavallisesti geofonia tai piezosähköistä anturia. Geofoni tuottaa heilahdusnopeuteen verrannollisen signaalin, kun taas piezosähköinen anturi antaa kiihtyvyyteen verrannollisen signaalin. Ominaisuuksiensa vuoksi geofoni soveltuu erittäin hyvin mittauksiin, joissa mitataan heilahdusnopeutta taajuuksilta 5–300 Hz. Edellä mainituista antureista geofoni on rakennustärinöiden mittaamisessa suositumpi. (RIL 253-2010, 99.) Mittausantureilta saatava signaali käsitellään tulostusta ja muistitallennusta varten tiedonkeruu- ja tulostusyksikössä. (Vuolio & Halonen 2010, 324.)

Tiedonkeruulaitteet eli seismografit voidaan jakaa kahteen ryhmään, huippuarvomittareihin ja analyysimittareihin. Huippuarvomittareilla tarkkaillaan pääasiassa rakennukseen kohdistuvan heilahdusnopeuden pystykomponentin voimakkuutta. Analyysimittauslaitteet taas mittaavat ja tallentavat tapahtuneen värinän kokonaisuudessaan ja tulostavat mitattujen suureiden huippuarvot kolmelta akselilta (pitkittäinen, poikittainen ja pystysuunta). Analyysimittareilla saadaan varsin kattava kuva tapahtuneen värinän ominaisuuksista. (Vuolio & Halonen, 320-321.)

Tyypillisen analyysimittarin mittaamat suureet:

- Heilahdusnopeuden huippuarvo, mm/s (kolmella akselilla)
- Taajuus heilahdusnopeuden huippuarvolla, Hz
- Heilahdusnopeuden huippuarvohetki värinäkäyrällä, sek
- Kiihtyvyyden huippuarvo, g ( $1g = 9,8 \text{ m/s}^2$ )
- Siirtymän heilahdusamplitudin huippuarvo, mm
- Vaaka- ja pystykomponenttien vektorisumma

Lisäksi joillakin mittauslaitteilla voidaan tehdä mittausajanjaksolta Fourier-analyysi, jonka avulla selviää värinän energian jakautuminen taajuuden suhteen. Fourier-analyysissä ilmi tulleet hallitsevat taajuudet poikkeavat usein mittausraportissa olevasta taajuudesta. Tämä johtuu siitä, että mittausraportissa annetaan taajuus vain suurimman heilahdusnopeuden taajuudesta. Fourier-analyysin sijaan käsittelee koko mittausjakson taajuussisältöä (yleensä 1s). (RIL 253-2010, 56.)

#### 4.6 Mittaustavat

Värinämittauksia tehdessä on varmistuttava, että valittu mittaustapa on tarkoituksenmukainen ja ottaa huomioon mitattavan värinän luonteen.



Suoritettaessa jatkuvaa mittausta, seismografi seuraa anturilta saamaansa signaalia. Kun värinä ylittää ennalta asetetun kynnyksiarvon, laite tallentaa valitun mittausjakson (esim. 1,2-10s) ajan anturilta saadun informaation muistiin. Kynnyksiarvon avulla tuloksista voidaan rajata pois mittauksen kannalta merkityksettömät, hyvin alhaiset värinäarvot. Jatkovaa mittausta käytetään erityisesti louhintatöiden yhteydessä.

Histogrammimittauksessa seismografi tallentaa valitun pituisilta peräkkäisiltä ajanjaksoilta suurimmat heilahdusnopeuden arvot ja piirtää värinän tasoa ajan suhteessa kuvaavan pylväsdiagrammin. Histogrammimittausta käytetään yleisesti esimerkiksi paalutustöiden yhteydessä.

Histogram combo -mittaus on yhdistelmä histogrammimittauksesta ja jatkuvasta mittauksesta. Tällöin mittari piirtää jatkuvasti histogrammia, mutta asetetun kynnyksiarvon ylityksen jälkeen se tekee värinästä tarkemman tallenteen asetetun mittausjakson keston ajan. (Kalliotekniikka)

#### 4.7 Ihmisen subjektiivinen käsitys värinästä

Ihminen suhtautuu usein tunnepitoisesti ympäristössä aiheutuviin melu- ja värinähaittoihin. Värinä, joka todellisuudessa on vain epämiellyttävää, saatetaan kokea vaarallisena.

Ilmiöstä on useita tutkimuksia, joista US Bureau of Minesin mukaan ihmisen "alttiudet" värinäkokemuksille henkilöstä riippuen ovat seuraavat: tietyillä taajuuksilla voi porssiini alkaa kilahdella silloin, kun heilahdusnopeus on  $v=0,1\text{mm/s}$  ja huonekalut heilahdella heilahdusnopeuden ollessa  $v=6\text{mm/s}$ . (Vuolio & Halonen 2010, 316).

Värinän ollessa heilahdusnopeudeltaan edellä mainituilla tasoilla ollaan vielä kaukana rakenteiden vaurioitumisvaarasta. (Vuolio & Halonen 2010, 316.)

## 5 KATTILAHALLIN TÄRINÄMITTAUS

Seuraavaksi kerrotaan tarkemmin opinnäytetyön tutkimuskohteena olleesta Kattilahallista ja tärinämittausten suoritustavasta. Tuloksia käsitellään mittauspistekohtaisesti käytännön vertailukohtia hyväksikäyttäen.

### 5.1 Kohde

Tavoitteena oli saada mittauskohteeksi alunperin konserttikäyttöön suunnitteleman kohde, jossa järjestetään isoja konsertteja. Oletuksena oli, että uudemmissa, konserttikäyttöön suunnitelluissa tiloissa tärinän syntyminen olisi vähäisempää paremman akustisen suunnittelun johdosta.

Otettuani yhteyttä Kiinteistö Oy Kaapelitaloon asian tiimoilta, tarjoutui minulle mahdollisuus päästä mittaamaan Suvilahden Kattilahalliin äänenpaineen aiheuttamaa tärinää rakenteista Tuska-festivaalien aikana 22.–24.7.2011.

Suvilahden Kattilahalli sopi tutkimukseeni erittäin hyvin. Rakenteeltaan ja arkkitehtuuriltaan kansainvälisestikin merkittävä Suvilahden höyryvoimala valmistui 1909 Helsingin ensimmäiselle varsinaiselle energiantuotantoalueelle. Sen rakentaminen oli yksi merkittävimmistä rakennusprojekteista 1900-luvun alun Helsingissä. Konsertti- ja tapahtumakäyttöön Kattilahalli muutettiin keväällä 2007. (Suvilahti 2011.)

### 5.2 Rakenteet

Suvilahden voimalaitos oli Suomen ensimmäinen teräsbetonirakenteeseen perustuva rakennus. Kattilahallin rakenne perustuu teräsbetonipilareihin ja -palkkeihin. Myös kattojen kuorirakenteet ovat teräsbetonia. Seinärakenteet ovat pääasiassa rapattua tiiliseinää (Suvilahti-Raportti, 6). Kuvassa 13 näkyy hyvin Kattilahallin rakenteita sisältä. Kattilahallin pituus- ja poikkileikkaukset sekä pohjapiirros ovat esitettyinä liitteessä yksi.



Kuva 13. Kuva Kattilahallisista sisältä (Suvilahti 2011).

### 5.3 Tärinämittaus

Tärinämittaukset suoritettiin käyttämällä neljää Instantel minimate plus- seismografia, jotka olivat liitettyinä BlastView kaukovalvontajärjestelmään. Mittauspaikkoja mietittäessä pyrittiin ottamaan alustavasti huomioon tilassa vaikuttavien seisovien aaltojen kupu- ja solmukohtien sijainnit. Lopulta mittauspisteiden sijaantiin vaikutti suuresti paikkojen häiriöttömyys sekä mittareiden huolto- ja säätömahdollisuudet. Toisin sanoen mittarit asennettiin yleisön ulottumattomiin.

Mittaustavaksi valittiin histogram combo, jolloin mittari mittaa ja tallentaa jatkuvasti kaiken havaitsemansa tärinän, ja tulostaa sen histogrammimuodossa ja asetetun kynnsarvon ylityttyä se tekee ennalta asetetun mittausjakson keston ajan tarkemman tallenteen tärinästä. Tallennus-/histogrammipylväiden väliksi asetettiin 5 minuuttia. Tämä mittaus tapa palveli tarkoitusta hyvin, koska etukäteen oli vaikea ennakoita mitattavan tärinän suuruutta. Ensimmäisen päivän 22.7.2011 tulosten avulla säädettiin mittauspisteille omat kynnsarvot.

## 5.4 Mittauskalusto

Instantel minimate plus seismografi on analyysimittauslaite, joka käyttää anturiin kolmiakselista geofonia. Tärinämittaustuloksia voidaan tarkastella suoraan itse mittauslaitteesta, Blastware-ohjelmaa käyttäen tietokoneesta tai Internetin kautta käyttäen BlastView-kaukovalvontajärjestelmää. Tulostettavaan mittausraporttiin sisältyvät seuraavat suuret kolmelta akselilta (tran, vert ja long): heilahdusnopeus, kiihtyvyys, taajuus ja siirtymä. Lisäksi laite piirtää mitatun tärinän USBM RT 8507 raja-arvotaulukkoon. Instantel-tärinämittareilla on ISO 9001 (International Organization for Standards) laatusertifikaatti vuodesta 1996. (Kalliotekniikka 2011.)

Taulukko 2. . Instantel minimate plus, tekniset tiedot (Kalliotekniikka).

Heilahdusnopeus (velocity) [mm/s]	0,127-254
Kiihtyvyys (acceleration) [g]	mittari laskee kiihtyvyyden heilahdusnopeudesta
Taajuus (frequency) [Hz]	2-300
Siirtymä (displacement) [mm]	mittari laskee siirtymän heilahdusnopeudesta
Mittausjakson pituus (fixed record time) [s]	1-500 (voidaan asettaa 1s tarkkuudella)
Ilmanpaine (air linear) [dB] tai [Pa], edellyttää mikrofoniin kytkemistä mittariin	88-148dB/0,5-500Pa
Näytteenottotaajuus (sampling rate)	1024, 2048 tai 4096 näytettä sekunnissa
Mittausalue	normaali 254 mm/s, herkkä 31,7 mm/s
Resoluutio	0,127 mm/s
Tarkkuus	3 % 15 Hz:ssä
Muisti	300 normaalia mittaustapahtumaa (1 s, näytteenottotaajuus 1024 1/s) laajennettavissa 900 ja 1500

## 5.5 Mittauspisteet ja tulosten tarkastelu

Mittauspisteiden sijainti Kattilahallissa on merkitty liitteen 1 piirustuksiin. Tärinämittaustulokset mittauspisteittäin löytyvät liitteestä 2.

### 5.5.1 Mittauspiste 1

Mittari oli asennettuna konserttitilan yläkertaan, vanhan hiilisiilotilan kantavan pilarin yläpäähän noin 11 metrin päähän konserttitilan pohjoisseinästä. Anturi asennettiin niin, että pitkittäisakseli (long) oli samassa linjassa Kattilahallin harjalinjan kanssa. Mittauspisteestä mitattu tärinä oli erittäin alhaista, mutta kuitenkin aistittavissa. Tärinän taso ei ylittänyt kertaakaan asetettua kynnyсарvoa (1 mm/s), joten mittauspisteestä ei ole tarkkaa mittausraporttia. Tärinän alhaisesta tasosta huolimatta on histogrammikuvaajasta havaittavissa, milloin Kattilahallissa on soitettu ja milloin ei. Pilariin kohdistuvasta tärinästä oltaisiin voitu saada huomattavasti parempi kuva, jos anturi olisi kyetty asentamaan pilarin puolivälin tienoille.

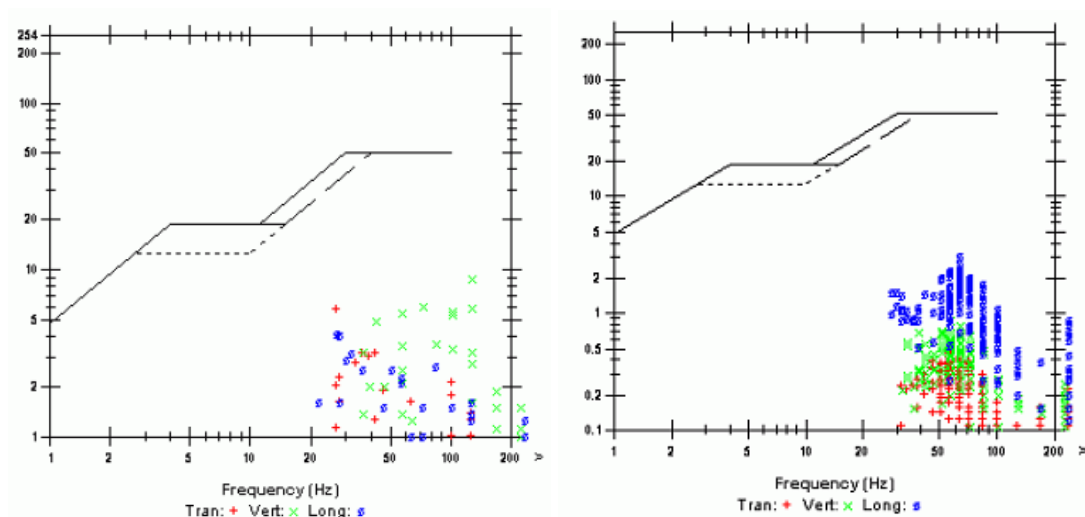
### 5.5.2 Mittauspiste 2

Mittari oli asennettuna konserttitilan takana sijaitsevan kuntosalin seinään, idästä katsottuna ensimmäisten pilareiden välillä olevan seinän keskivaiheille. Anturin pitkittäisakseli (long) asennettiin kohtisuoraan seinälinjaa vastaan, täten suurimmat tulokset mitattiin myös pitkittäisakselilta. Anturi sijaitsi alueella, jossa etenkin seisovien aaltojen aiheuttaman paineen oletettiin olevan suuri. Mittarin heilahdusnopeuden kynnyсарvoksi asetettiin 1,8 mm/s, mutta toimintahäiriön vuoksi mittari ei tehnyt mittausraporttia kynnyсарvon ylityksistä. Histogrammikuvaajasta käy ilmi jo varsin selkeästi ajat, milloin soitetaan ja milloin ei. Tarkempien mittausraporttien puuttuminen on harmillista, koska tästä mittauspisteestä mitatut tärinät olivat voimakkaimpia heti mittauspisteen kolme tulosten jälkeen.

### 5.5.3 Mittauspiste 3

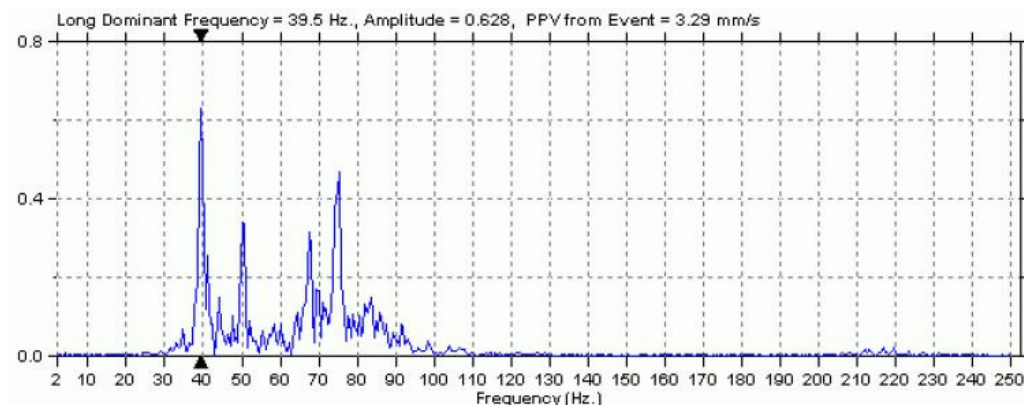
Mittari oli asennettuna keskelle konserttisalin takana sijaitsevan kuntosalin seinän alaosaan, yläkertaan (vanha hiiliilotila) johtavan oviaukon viereen. Anturin pitkittäisakseli (long) asennettiin kohtisuoraan seinälinjaa vastaan, joten suurimmat tulokset mitattiin myös pitkittäisakselilta. Tästä mittauspisteestä mitattiin suurimmat heilahdusnopeuden huippuarvot (suurin 3,29 mm/s taajuudella 57 Hz). Tärinän taso on jo selvästi havaittavaa, mutta ei rakenteille vaarallista. Tämän mittauspisteeseen histogrammikuvaajista näkyy selkeimmin äänenpaineen vaikutus rakenteen tärinään.

Mittaustuloksissa on huomion arvoista tärinän energian keskittyminen toistuvasti erittäin kapeille taajuusalueille. Fourier-analyysissä pitkittäisakselilla toistuivat hallitsevina taajuuksina 39,5 Hz, 50 Hz, 67 Hz ja 74,5 Hz. Pysty- ja poikkittaisakseleilla hallitsevana taajuutena on lähes poikkeuksetta 50 Hz. Ilmiö on selvästi havaittavissa Fourier-analyysissä näkyvinä ”piikkeinä” (ks. kuvat 15 ja 16) sekä USBM RT 8507 raja-arvotaulukossa mittausjaksolta merkittyjen heilahdusten asettumisena taajuuden suhteen tarkasti päällekkäin (ks. kuva 14).

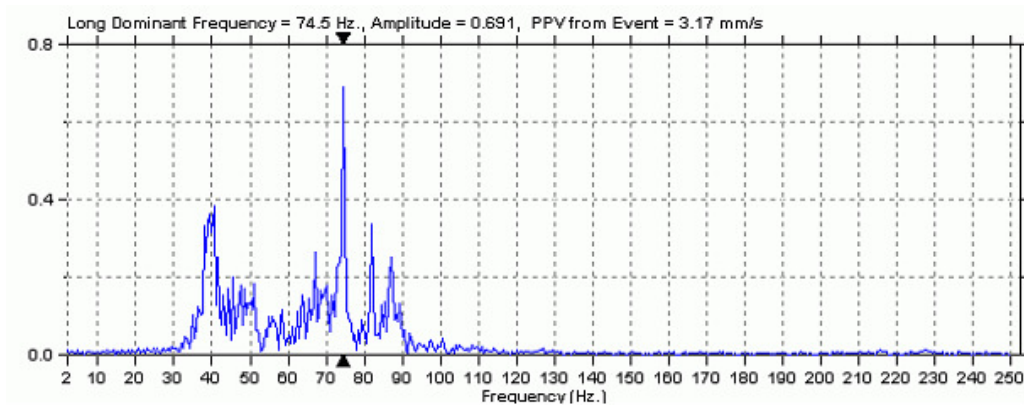


Kuva 14. Vasemmalla kuva louhintatyön aiheuttamasta tärinästä. Oikealla on tärinämittaustulos mittauspisteestä kolme.

Myös Fourier-analyysissä näkyvät selvästi kapeat taajuusalueet, joilta tärinä mitattiin.



Kuva 15. Fourier-analyysi heilahdusnopeudeltaan suurimmasta tuloksesta.

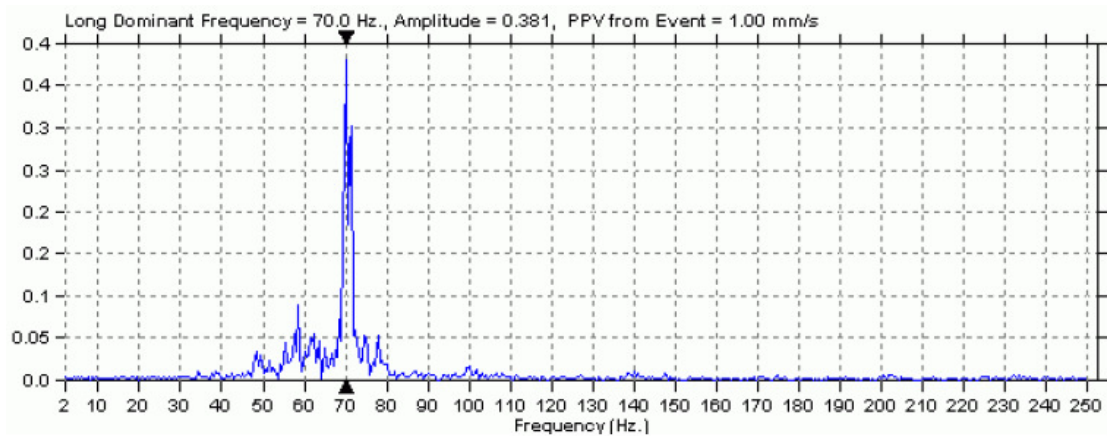


Kuva 16. Heilahdusnopeudeltaan toiseksi suurimman tuloksen Fourier-analyysi. Huomaa lähes samat taajuudet, mutta vallitsevana taajuutena 74,5 Hz.

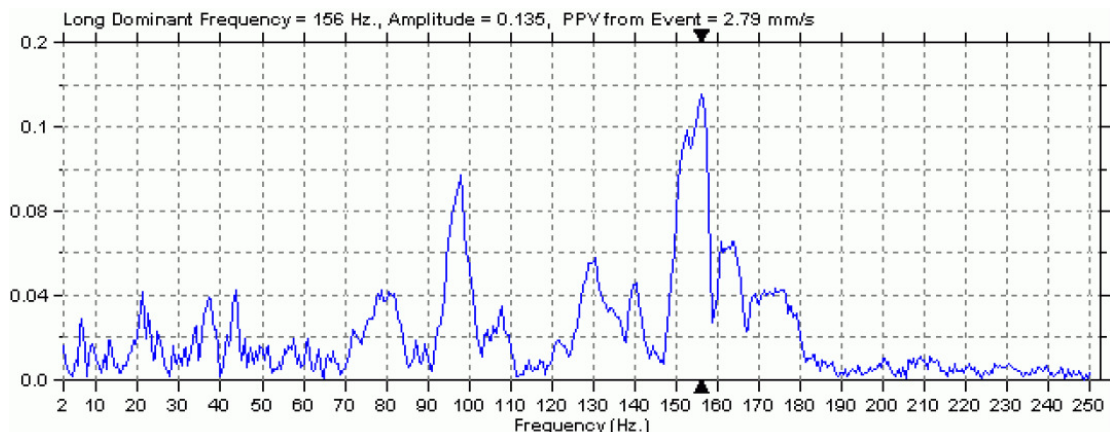
#### 5.5.4 Mittauspiste 4

Mittari oli asennettuna konserttitilan yläkerran (vanha hiilisiilotila) eteläiselle seinämälle noin 1,4 m korkeuteen lattiasta. Seinä rajoittuu Kattilahallin korkeaan sisääntuloaulaan. Anturin pitkittäisakseli oli myös kohtisuoraan seinää vasten, joten suurimmat arvot sijoittuvat pituusakselille. Tämän mittauspisteen tulokset ovat kolmanneksi suurimmat, kuitenkin hyvin lähellä mittauspisteestä kaksi mitattuja tuloksia. Heilahdusnopeuden kynnysarvoksi asetettiin 1 mm/s; suurimman mitatun heilahdusnopeuden ollessa 2,11 mm/s. Tuloksissa oli havaittavissa samankaltaista keskittymistä tietyille kapeille taajuuksille kuin mittauspistees-

sä kolme. Toistuvat hallitsevat taajuudet poikkeavat hieman verrattuna mittauspisteen kolme tuloksiin. Pitkittäisakselilla hallitsevana taajuutena vaihtelee pääasiassa ~70 Hz ja ~55 Hz välillä. Pystykomponentin hallitsevana taajutena on pääasiassa ~43 Hz. Poikittaisakselilla hallitsevina taajuuksina vaikuttavat yleisimmin ~57 Hz ja ~70 Hz. Edellä mainitut hallitsevat taajuudet eivät kuitenkaan toistu yhtä tarkasti kuin mittauspisteen kolme tuloksissa. Alla esimerkki mittauspisteen neljä Fourier-analyysistä (ks. kuva 17) sekä vertailupohjana louhintatyöstä (ks. kuva 18) mitatun tärinän Fourier-analyysi.



Kuva 17. Osa mittauspisteen neljä tuloksista oli keskittynyt erittäin tarkasti 70 Hz taajuudelle



Kuva 18. Esimerkki louhintatyön aiheuttaman tärinän Fourier-analyysistä



## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä kappaleessa analysoidaan mitattujen tuloksien vaikutuksia niin rakenteiden kuin akustiikan kannalta. Samalla selvitetään äänenpaineen aiheuttaman värinän vaikutuksia rakenteisiin ja pohditaan värinän syntyyn vaikuttavia tekijöitä.

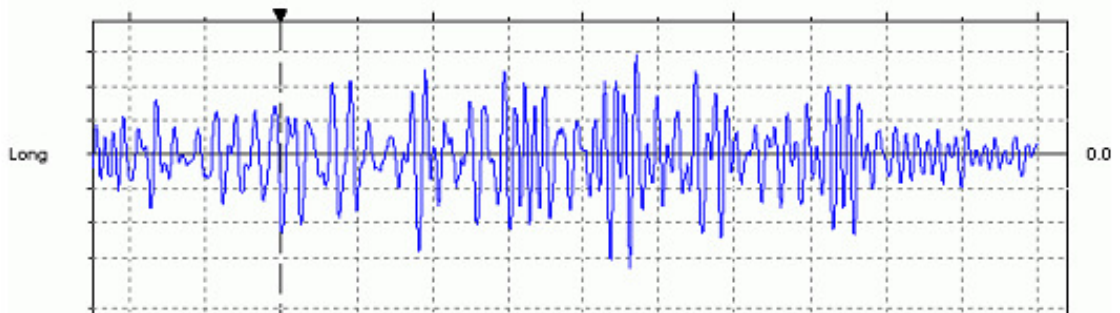
### 6.1 Värinän vaarallisuudesta

Mittauspisteistä saatujen tulosten perusteella äänenpaineen aiheuttamat värinät Tuska-festivaalien aikana olivat selvästi havaittavia, mutta eivät kyllin voimakkaita aiheuttaakseen vaurioita rakenteissa.

Parhaan kuvan värinän vaarallisuudesta rakenteille antaa Instantel minimate plus -seismografin mittausraportissa oikealla ylhäällä näkyvä taajuussidonnainen USBM RT 8507 raja-arvotaulukko. Suomalaisten raja-arvojen soveltaminen äänenpaineen aiheuttamien värinöiden vaarallisuuden arviointiin ei olisi tarkoituksenmukaista, koska arvot käsittelevät pääasiassa seismisten aaltojen vaikutuksia rakenteisiin ja ottavat huomioon taajuuden epäsuorasti värinälähteen ja maaperän ominaisuuksien avulla. USBM RT 8507 käsittelee mittauspisteessä tapahtunutta värinää ottaen suoraan huomioon taajuuden ja heilahdusnopeuden yhteisvaikutuksen.

Otetaan esimerkiksi heilahdusnopeudeltaan suurin tulos, joka mitattiin mittauspisteestä kolme: (heilahdusnopeus 3,29 mm/s, taajuus 57 Hz, siirtymä 0,0085 mm, kiihtyvyys 0,131 g). Tämän tuloksen vaarattomuus perustuu alhaisen heilahdusnopeuden ja korkean taajuuden aikaansaamaan pienehköön siirtymään. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että siirtymän ollessa 0,2 mm tai yli vaurio on todennäköinen. Ollakseen vaaraksi rakenteille, olisi taajuuden oltava huomattavasti alhaisempi (alle 10 Hz) tai heilahdusnopeuden huomattavasti suurempi.

On kuitenkin huomattava, että vaikka heilahdusnopeuden huippuarvon taajuus on 57 Hz, on koko mittausjakson (1 s) hallitseva taajuus 40 Hz. Värinämittausraportista voi huomata myös, että mittausjakson aikana on ilmennyt amplitudiltaan suurempaa värinää, kuin mitä suurimman heilahdusnopeuden arvoista voi päätellä (ks. kuva 19).



Kuva 19. Mittauspisteestä kolme mitatun suurimman heilahdusnopeuden tulos pitkittäisakselilta.

Toisin sanoen suurin amplitudi ei välttämättä ole yhteydessä suurimpaan heilahdusnopeuteen. Instantel MiniMate plus -tärinämittari käyttää heilahdusnopeutta mittausraportin kriteerinä, koska tämä on kehitetty lähinnä louhinta- yms. tärinöiden mittaamiseen rakenteista. Kaikki mittausjakson aikana tapahtuvat heilahdusliikkeet tulostuvat akseleittain (tran, vert ja long) pisteinä USBM RT 8507 raja-arvotaulukkoon.

## 6.2 Tärinän luonne

Vaikka tärinän voimakkuus vaihteli eri mittauspisteiden välillä, kaikkien mittauspisteiden histogrammikuvaajista oli selvästi nähtävissä ajankohdat, jolloin Kattilahallissa soitettiin.

Merkittävintä mittaustuloksissa oli tärinän energian keskittyminen erittäin tarkasti muutamalle kapealle taajuusalueelle. Esimerkiksi mittauspisteen kolme tulosten Fourier-analysissä toistuvat hallitsevina taajuuksina 39,5 Hz, 50 Hz, 67 Hz ja 74,5 Hz. Myös MP4:n tuloksissa oli havaittavissa vastaavanlaisia toistuvia hallitsevia taajuuksia, mutta nämä taajuudet eivät toistuneet yhtä kurinalaisesti. Mittauspisteiden kolme ja neljä anturit olivat kiinnitettyinä eri vahvuisiin seiniin, jotka rajoituivat erilaisiin tiloihin.

## 6.3 Tärinämittauksen mahdollisuudet

Mittaustulosten taajuuskeskittymien perusteella tulisi tutkia lisää etenkin seisovien aaltojen osuutta rakenteiden tärinään. Rakenteiden ominaistaajuuksien

osuessa tilassa vaikuttavien seisovien aaltojen kanssa samoille taajuuksille voidaan olettaa rakenteen tärinän voimistuvan huomattavasti.

Vaimentamalla tärinämittausten avulla saatuja hallitsevia taajuuksia voitaisiin mahdollisesti vähentää rakenteiden tärinää ja konserttitilasta ulos vuotavaa ääntä sekä pienentää seisovien aaltojen tuomia akustisia ongelmia itse konserttitilassa.

Tärinämittauksista olisi mahdollisesti eniten apua konserttikäyttöön suunnittelemissa tiloissa, jotka ovat akustisesti haastavia tai rajoittuvat tiloihin, joissa konsertin aiheuttamasta melusta on suurta haittaa. Hauraisiin rakenteisiin, kuten kevytbetoni- ja kalkkihiekkatiilirakenteisiin, kohdistuvan tärinän vähentäminen voidaan myös katsoa eduksi.

Tätä mahdollisuutta tulisi tutkia mm. tekemällä lisää tärinämittauksia erilaisissa tiloissa konserttien yhteydessä. Tulosten kannalta tehokkainta olisi kuitenkin toteuttaa tärinämittauksia äänimiehen avustuksella. Tällöin voitaisiin koeluontoisesti ajaa tilaan matalia taajuuksia kovilla äänenpaineilla, jolloin tärinämittausten avulla voitaisiin määrittää taajuudet, joilla rakenteet värähtelevät. Alentamalla tai leikkaamalla näitä taajuuksia ja tekemällä uusintamittaus voitaisiin arvioida toimenpiteen vaikutusta akustiikkaan ja rakenteiden tärinään. Näin tärinämittauksia apuna käyttäen voitaisiin tehdä kertaluontoisia ja tilakohtaisia selvityksiä tilan ja rakenteiden kannalta hankalista taajuuksista.

## LÄHTEET

Halme, A. 1976. Rakennus- ja huoneakustiikka. Meluntorjunta. Espoo: Otapaino.

Hifizine 2011. Illustration of room modes. Viitattu 1.11.2011  
<http://www.hifizine.com/2011/09/prototyping-dipole-bass-system/>.

Hongisto, V. 2010. Luento moniste TKK S-89.3471.Meluntorjunta.

Kalliotekniikka Consulting Engineers Oy. Helsinki. Instantel MiniMate Plus käyttöohje.

Kalliotekniikka Consulting Engineers Oy .Viitattu 1.11.2011 <http://www.kalliotekniikka.com>.

Karjalainen, M. 2002. Hieman Akustiikkaa. Helsinki: Teknillinen korkeakoulu.

RIL 2010. RIL25-2010 Rakentamiset aiheuttamat tärinät. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööri-  
en liitto Ry

Suvilahti raportti. 2007. Helsingin kaupungin talous ja suunnittelu keskus. Helsinki

Suvilahti 2011. Viitattu 27.10.2011 <http://www.suvilahti.fi>

Teittinen. M. 2006 Fysiikka 2 luentomateriaali. Turku. Turun AMK.

Teknillinen korkeakoulu. 2006. Huoneakustiikka .Viitattu 23.9.2011  
<http://www.tkk.fi/Yksikot/Talo/opetus/rtrp/2006/luennot/luentomateriaali/AKUSTIIKKA.pdf>

Teknillinen korkeakoulu 2011. S-89.2300 Ääniteknologian perusteet. Viitattu 25.9.2011  
<https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/s-89.2300/luennot>

The University at Buffalo / School of Architecture and Planning. Viitattu 25.9.2011  
[http://cast.ap.buffalo.edu/courses/s08/arc640/HanFarner/Morpho\\_log1.htm](http://cast.ap.buffalo.edu/courses/s08/arc640/HanFarner/Morpho_log1.htm)

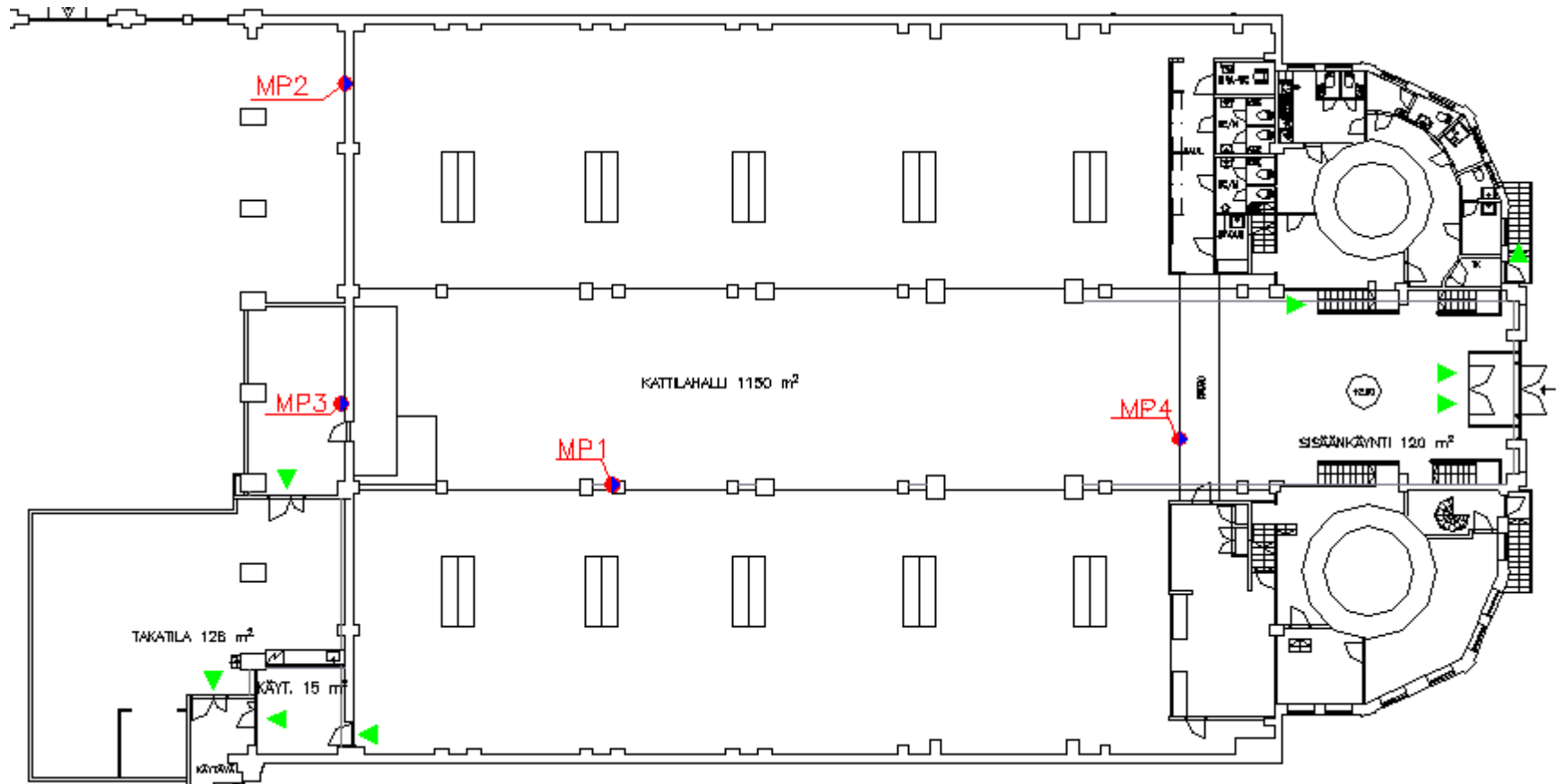
Vuolio, R & Halonen, T.2010. Räjätystyöt 2010. Helsinki. Suomen Rakennusmedia Oy

Wood Focus Oy. 2004. Äänieristys puutalossa.

Äänipää 2005. Äänen voimakkuus. Viitattu 28.9.2011 [http://www.aanipaa.tamk.fi/voima\\_1.htm](http://www.aanipaa.tamk.fi/voima_1.htm)

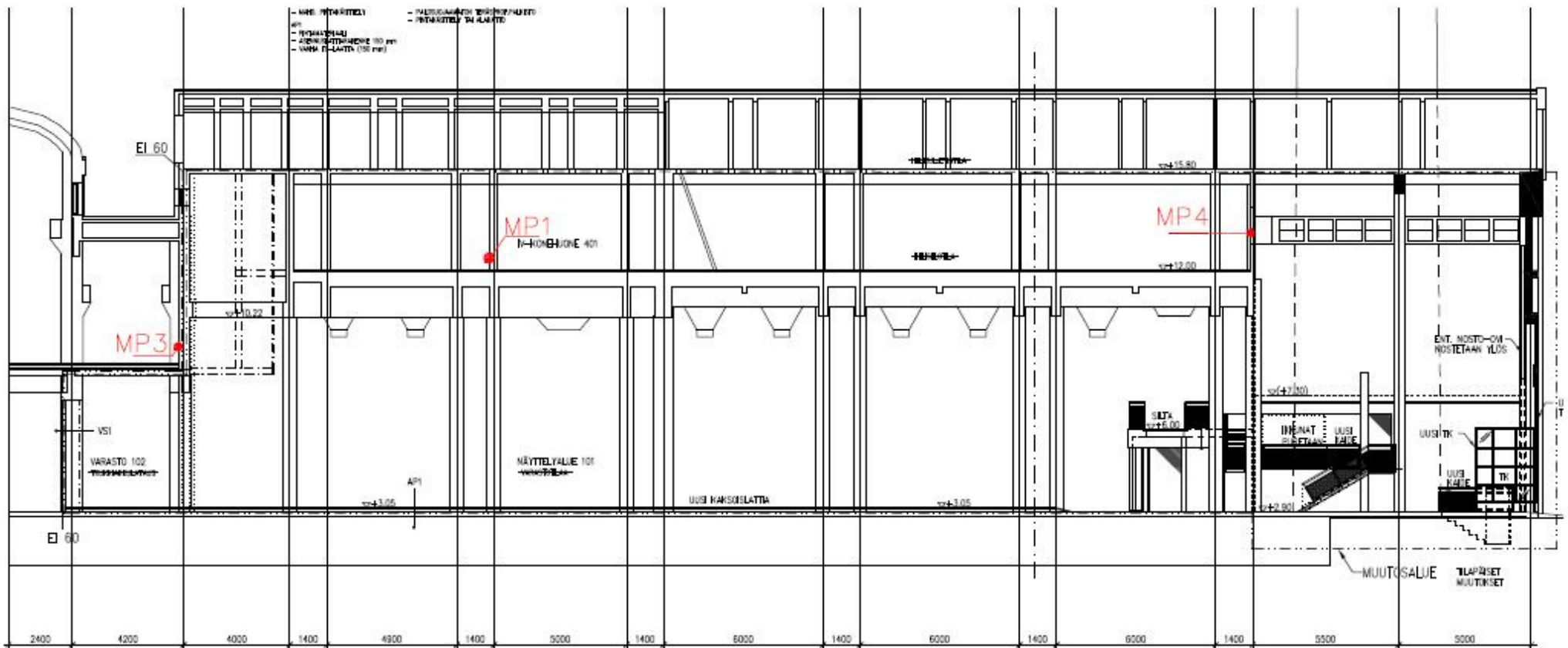
## Mittauspisteiden sijainti

Kuvanto mittauspisteiden sijainnista ylhäältä katsottuna (ei mittakaavassa).



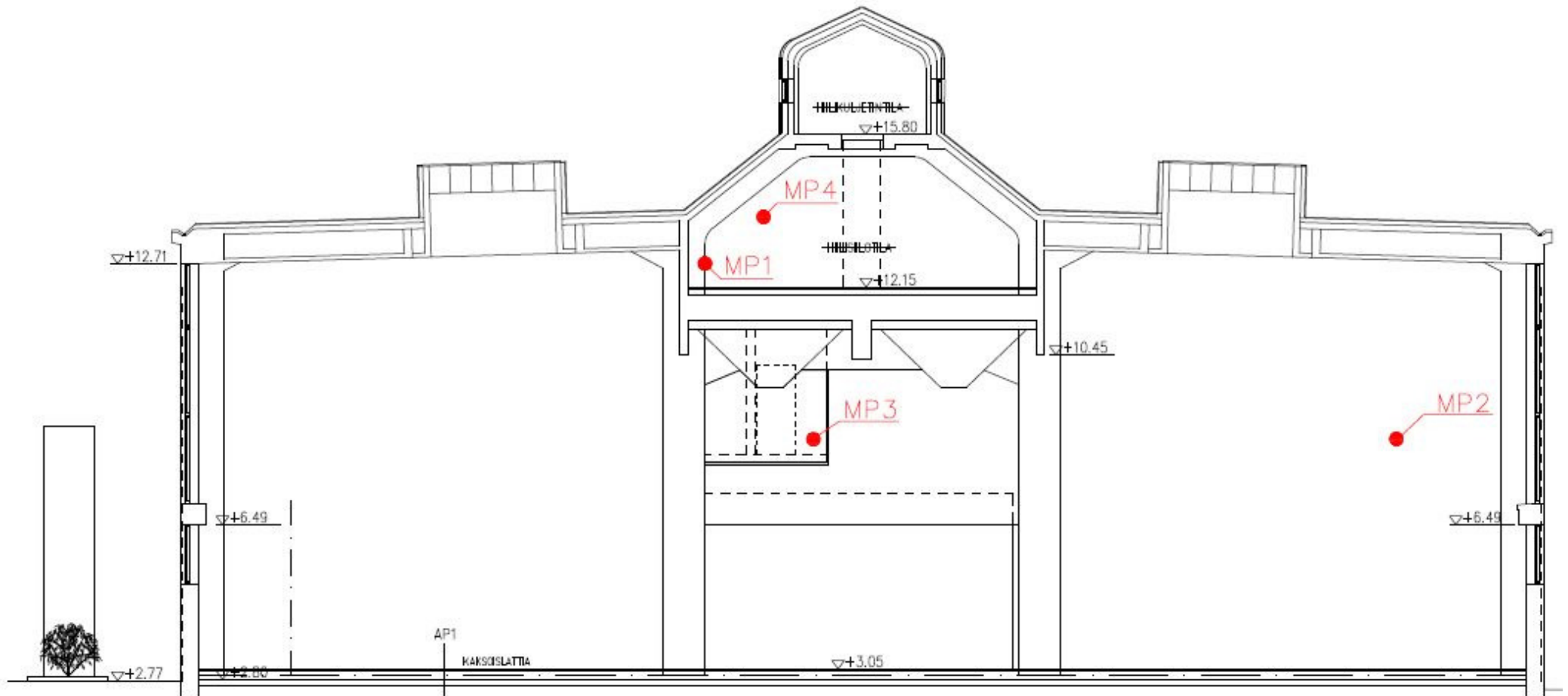
## Mittauspisteiden sijainti

Kuvanto mittauspisteiden sijainnista, Kattilahallin pituusleikkaus (ei mittakaavassa).



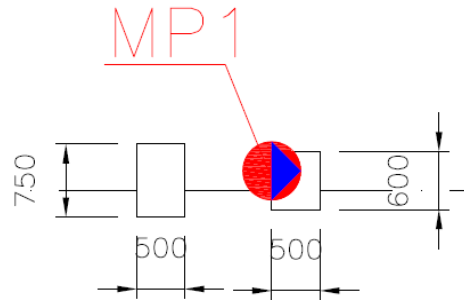
## Mittauspisteiden sijainti

Kuvanto mittauspisteiden sijainnista, Kattilahallin poikkileikkaus (ei mittakaavassa).



## Mittaustulokset MP 1

Mittari oli asennettuna konserttitilan yläkertaan, kantavan pilarin yläpäähen noin 11 metrin päähän konserttitilan pohjois-seinästä.



Kuva mittauspisteestä sekä mittauspisteen sijainnin kuvanto ylhäältä päin. Sininen nuoli osoittaa pitkittäisakselin (long) suunnan.

Sisältää:

- Tuloslistan
- Histogrammin suurimman tuloksen ajalta





Start 18:31:19 July 22, 2011 Serial Number BE9409 V 8.01-8.0 MiniMate Plus  
 Finish 20:29:00 July 22, 2011 Battery Level 6.8 Volts  
 Intervals 8 At 15 minutes Calibration May 14, 2004 by InstanTel Inc.  
 Range Geo 31.7 mm/s File Name K409DUW/O.S70  
 Sample Rate 1024 Sps  
 Job Number 2675

Notes

Location: Suvilahdi Helsinki, pilari 10 m lavalta  
 Client: V&S Kalliotekniikka Oy  
 User Name: V&S Kalliotekniikka Oy  
 General: MP1

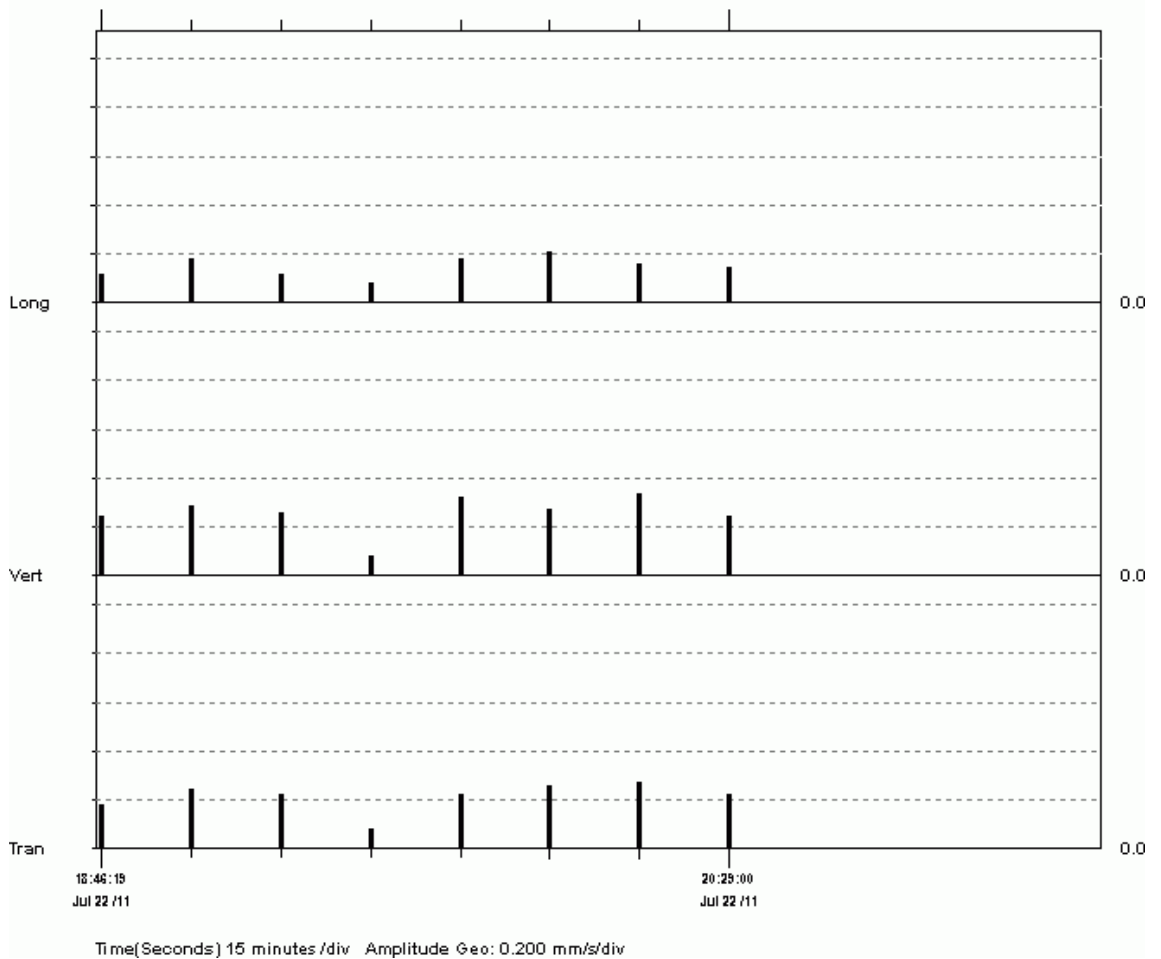
Extended Notes

Asennettu 21.7.2011 PM

Post Event Notes

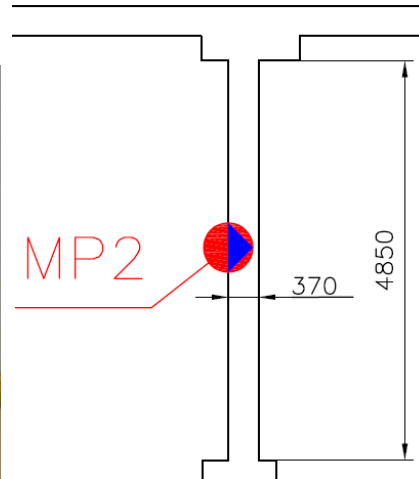
	Tran	Vert	Long	
PPV	0.270	0.333	0.206	mm/s
ZC Freq	57	47	57	Hz
Date	Jul 22 /11	Jul 22 /11	Jul 22 /11	
Time	20:16:19	20:16:19	20:01:19	
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 0.343 mm/s On July 22, 2011 At 20:16:19



## Mittaustulokset MP2

Mittari oli asennettuna konserttitilan takana sijaitsevan kuntosalin seinään, idästä katsottuna ensimmäisten pilareiden välillä olevan seinän keskivaiheille.



Kuva mittauspisteestä sekä mittauspisteen sijainnin kuvanto ylhäältä päin. Sininen nuoli osoittaa pitkittäisakselin (long) suunnan.

Sisältää:

- Tuloslistan
- Histogrammin suurimman tuloksen ajalta

Toimintavirheen vuoksi MP2 ei tallentanut tarkempia mittaustuloksia kynnysarvon ylityttyä.



Start 18:31:22 July 22, 2011 Serial Number BE9700 V 8.11-8.0 MiniMate Plus  
 Finish 20:29:00 July 22, 2011 Battery Level 6.7 Volts  
 Intervals 8 At 15 minutes Calibration August 13, 2004 by Instante! Inc.  
 Range Geo 31.7 mm/s File Name K700DUW/O.SAD  
 Sample Rate 1024 Sps  
 Job Number 2675

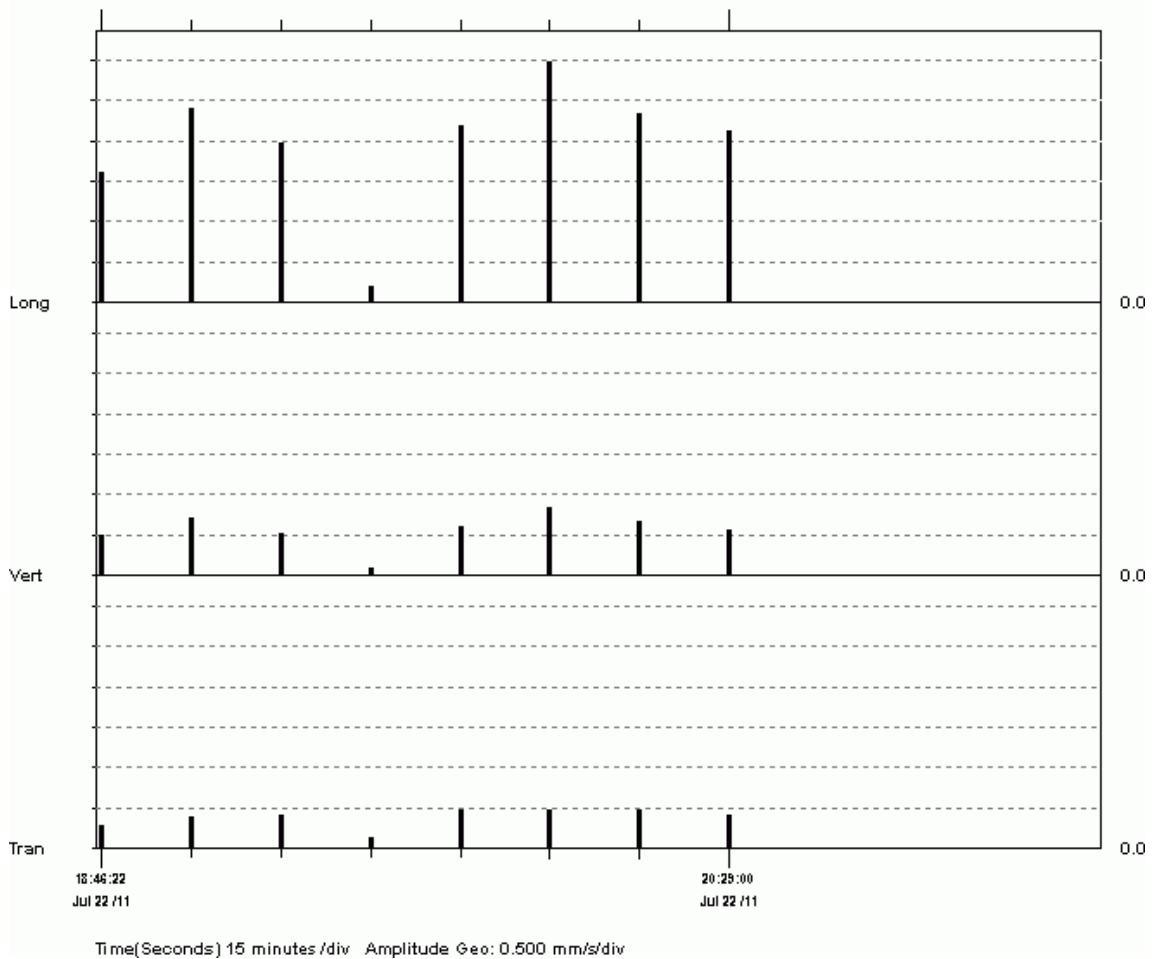
Notes  
 Location: Suvilahti Helsinki, takaseina itanurkka  
 Client: V-S Kalliotekniikka Oy  
 User Name: V-S Kalliotekniikka Oy  
 General: MP2

Extended Notes  
 Asennettu 21.7.2011 PM

Post Event Notes

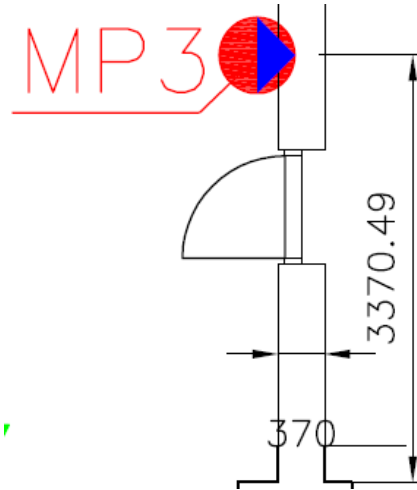
	Tran	Vert	Long	
PPV	0.476	0.841	2.97	mm/s
ZC Freq	51	57	57	Hz
Date	Jul 22 /11	Jul 22 /11	Jul 22 /11	
Time	19:46:22	20:01:22	20:01:22	
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 3.01 mm/s On July 22, 2011 At 20:01:22



## Mittaustulokset MP3

Mittari oli asennettuna keskelle konserttitalin takana sijaitsevan kuntosalin seinän alaosaan, yläkertaan (vanha hiilisiilotila) johtavan oviaukon viereen



Kuva mittauspisteestä sekä mittauspisteen sijainnin kuvanto ylhäältä päin. Sininen nuoli osoittaa pitkittäisakselin (long) suunnan.

Sisältää:

- Tuloslistan
- Histogrammi taulukot (3 Suurinta tulosta)
- Mittaustulosteet ja Fourier-analyysit (3 suurinta tulosta)

## 2675 - Suvilahti - Tulokset - MP3

Työnnumero 2675  
 Asiakas Varsinais-Suomen Kaliteknikka Oy  
 Yhteyshenkilö Havermen Kimmo  
 Puhelin 0207 437 421  
 Sähköposti kimmo.havermen@kaliteknikka.fi  
 Tulostettu Sat Oct 22 16:30:37 EEST 2011.

Pvm	Aika	Nro	Elastyys (mm)	Heilahusnopeus (m/s)						Käynnäys (s)						Säilymä (mm)						Taajous (Hz)						
				PYS	reija	%	Tran	Ve t	Long	reija	%	Tran	Ve rt	Long	reija	%	Tran	Ve rt	Long	reija	%	Tran	Ve rt	Long	reija	%		
24.07.2011	15:48:20			2.85			0.476	0.778	2.76					0.0497	0.0263	0.0923				0.00062	0.00260	0.0114				100	39	34
24.07.2011	14:32:29			2.85			0.571	1.17	2.76					0	0	0				0	0	0				100	100	34
24.07.2011	12:00:14			0.722			0.302	0.619	0.460					0	0	0				0	0	0				100	100	73
24.07.2011	18:38:39			2.06			0.381	0.889	1.86					0.0232	0.0447	0.0729				0.00092	0.00247	0.00484				64	51	57
24.07.2011	18:38:22			1.93			0.365	0.603	1.87					0.0265	0.0298	0.0729				0.00095	0.00161	0.00419				64	57	64
24.07.2011	18:37:56			2.05			0.365	0.873	1.87					0.0232	0.0348	0.0696				0.00096	0.00223	0.00488				51	57	57
24.07.2011	18:37:53			1.96			0.302	0.794	1.79					0.0199	0.0348	0.0729				0.00079	0.00193	0.00398				64	64	73
24.07.2011	18:37:47			2.14			0.333	0.937	1.92					0.0199	0.0381	0.0845				0.00091	0.00243	0.00476				57	57	64
24.07.2011	18:37:34			2.14			0.317	0.841	1.95					0.0199	0.0348	0.0779				0.00101	0.00210	0.00475				57	64	57
24.07.2011	18:37:24			1.97			0.317	0.746	1.83					0.0215	0.0298	0.0713				0.00083	0.00212	0.00464				51	51	64
24.07.2011	18:37:20			2.04			0.365	0.619	1.94					0.0199	0.0331	0.0779				0.00095	0.00171	0.00427				64	73	64
24.07.2011	18:37:16			1.92			0.349	0.635	1.83					0.0199	0.0298	0.0812				0.00088	0.00158	0.00410				57	64	73
24.07.2011	18:37:05			1.95			0.381	0.635	1.84					0.0182	0.0331	0.0862				0.00102	0.00168	0.00436				57	64	64
24.07.2011	18:36:59			2.30			0.413	0.937	2.14					0.0215	0.0381	0.0928				0.00092	0.00236	0.00516				73	64	64
24.07.2011	18:36:51			2.18			0.429	0.687	2.06					0.0215	0.0315	0.0878				0.00106	0.00169	0.00453				57	64	73
24.07.2011	18:36:13			2.89			0.460	1.11	2.70					0	0	0				0	0	0				100	57	57

Pvm	Aika	Nro	Heilahdusnopeus (mm/s)							Kiihtyvyys (g)							Siirtymä (mm)							Taajuus (Hz)								
			PVS	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%	Tran	Vert
24.07.2011	17.04.22		1.96			0.270	0.524	1.89				0.0199	0.0282	0.0646				0.00079	0.00154	0.00492				0.00079	0.00154	0.00492				57	64	57
24.07.2011	17.04.16		2.17			0.333	0.556	2.13				0.0199	0.0365	0.0895				0.00080	0.00127	0.00492				0.00080	0.00127	0.00492				51	73	64
24.07.2011	17.04.14		2.02			0.302	0.762	1.86				0.0265	0.0348	0.0729				0.00076	0.00209	0.00497				0.00076	0.00209	0.00497				64	57	57
24.07.2011	17.03.55		1.92			0.317	0.667	1.79				0.0182	0.0298	0.0696				0.00098	0.00162	0.00496				0.00098	0.00162	0.00496				57	57	51
24.07.2011	16.55.19		2.10			0.254	0.619	2.02				0.00964	0.0249	0.0746				0.00089	0.00211	0.00639				0.00089	0.00211	0.00639				47	43	47
24.07.2011	16.54.53		2.09			0.349	0.889	1.87				0.0199	0.0381	0.0713				0.00091	0.00268	0.00519				0.00091	0.00268	0.00519				57	51	57
24.07.2011	16.54.51		1.93			0.397	0.667	1.89				0.0199	0.0285	0.0762				0.00109	0.00168	0.00437				0.00109	0.00168	0.00437				57	64	64
24.07.2011	16.54.46		2.21			0.333	0.794	2.11				0.0215	0.0331	0.0812				0.00095	0.00229	0.00541				0.00095	0.00229	0.00541				51	51	64
24.07.2011	16.54.40		1.95			0.365	0.696	1.81				0.0182	0.0331	0.0663				0.00105	0.00187	0.00481				0.00105	0.00187	0.00481				57	51	57
24.07.2011	16.54.38		1.85			0.381	0.698	1.81				0.0199	0.0331	0.0746				0.00102	0.00187	0.00450				0.00102	0.00187	0.00450				64	57	64
24.07.2011	16.54.05		1.99			0.302	0.556	1.90				0.0133	0.0215	0.0663				0.00095	0.00162	0.00508				0.00095	0.00162	0.00508				57	57	57
24.07.2011	16.54.01		2.28			0.302	0.651	2.21				0.0182	0.0249	0.0878				0.00089	0.00181	0.00563				0.00089	0.00181	0.00563				57	51	57
24.07.2011	16.36.09		2.33			0.508	1.10	2.21				0	0	0				0	0	0				0	0	0				57	57	57
24.07.2011	15.04.12		2.02			0.365	0.571	1.94				0.0232	0.0282	0.0878				0.00089	0.00126	0.00434				0.00089	0.00126	0.00434				64	73	73
24.07.2011	15.04.08		1.84			0.333	0.508	1.79				0.0166	0.0232	0.0779				0.00084	0.00126	0.00404				0.00084	0.00126	0.00404				57	64	73
24.07.2011	15.03.22		1.98			0.317	0.746	1.83				0.0199	0.0331	0.0713				0.00087	0.00204	0.00467				0.00087	0.00204	0.00467				64	51	57
24.07.2011	15.03.03		2.14			0.333	0.651	2.03				0.0149	0.0249	0.0779				0.00091	0.00184	0.00540				0.00091	0.00184	0.00540				51	57	57
24.07.2011	15.02.42		1.92			0.460	0.778	1.81				0.0215	0.0331	0.0795				0.00126	0.00193	0.00472				0.00126	0.00193	0.00472				57	64	57
24.07.2011	15.02.17		2.02			0.413	0.651	1.90				0.0199	0.0298	0.0779				0.00100	0.00171	0.00436				0.00100	0.00171	0.00436				57	51	64
24.07.2011	14.47.39		2.13			0.365	0.635	2.06				0.0149	0.0315	0.0895				0.00091	0.00148	0.00452				0.00091	0.00148	0.00452				47	64	73
24.07.2011	14.47.34		1.94			0.266	0.696	1.84				0.0149	0.0298	0.0746				0.00081	0.00184	0.00476				0.00081	0.00184	0.00476				64	57	57
24.07.2011	14.47.26		1.85			0.302	0.476	1.81				0.0149	0.0215	0.0746				0.00077	0.00119	0.00442				0.00077	0.00119	0.00442				64	57	64
24.07.2011	14.44.30		1.97			0.254	0.857	1.83				0.0133	0.0315	0.0713				0.00078	0.00252	0.00522				0.00078	0.00252	0.00522				51	51	57
24.07.2011	14.44.21		2.20			0.286	0.778	2.10				0.0182	0.0331	0.0812				0.00081	0.00228	0.00526				0.00081	0.00228	0.00526				51	51	64
24.07.2011	14.36.16		2.93			0.651	1.33	2.75				0	0	0				0	0	0				0	0	0				100	51	57
24.07.2011	12.35.29		3.43			0.476	1.06	3.29				0.0249	0.0431	0.131				0.00121	0.00382	0.00849				0.00121	0.00382	0.00849				57	64	57
24.07.2011	12.35.27		2.11			0.349	0.778	1.95				0.0232	0.0331	0.0762				0.00106	0.00220	0.00543				0.00106	0.00220	0.00543				73	51	57
24.07.2011	12.35.25		2.16			0.429	0.857	2.11				0.0199	0.0365	0.0762				0.00129	0.00251	0.00597				0.00129	0.00251	0.00597				51	51	51
24.07.2011	12.35.23		3.28			0.476	0.873	3.17				0.0298	0.0464	0.134				0.00127	0.00226	0.00737				0.00127	0.00226	0.00737				57	57	64
24.07.2011	12.35.22		2.75			0.413	0.984	2.65				0.0199	0.0398	0.109				0.00102	0.00239	0.00691				0.00102	0.00239	0.00691				57	64	57
24.07.2011	12.35.20		1.95			0.286	0.667	1.84				0.0166	0.0315	0.0795				0.00089	0.00187	0.00464				0.00089	0.00187	0.00464				51	57	64





Pvm	Aika	Nro	Etäisyys (m)	Heilahdusnopeus (mm/s)							Kiihtyvyys (g)							Siirtymä (mm)							Taajuus (Hz)						
				PVS	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	Tran	Vert	Long	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%	
23.07.2011	15.04.21			1.99			0.381	0.825	1.81			0.0232	0.0348	0.0812			0.00102	0.00235	0.00491			0.00102	0.00235	0.00491			57	57	57		
23.07.2011	15.03.49			2.14			0.381	0.730	2.02			0.0232	0.0381	0.0762			0.00107	0.00187	0.00485			0.00107	0.00187	0.00485			57	64	64		
23.07.2011	15.03.46			2.18			0.429	0.841	1.97			0.0348	0.0514	0.0895			0.00120	0.00230	0.00502			0.00120	0.00230	0.00502			73	51	57		
23.07.2011	15.03.40			1.97			0.349	0.667	1.84			0.0215	0.0365	0.0645			0.00111	0.00171	0.00431			0.00111	0.00171	0.00431			57	73	64		
23.07.2011	15.03.31			1.96			0.317	0.746	1.81			0.0182	0.0348	0.0729			0.00115	0.00203	0.00446			0.00115	0.00203	0.00446			57	57	64		
23.07.2011	15.03.06			1.98			0.429	0.635	1.94			0.0232	0.0331	0.0878			0.00103	0.00154	0.00436			0.00103	0.00154	0.00436			73	73	73		
23.07.2011	15.02.42			2.04			0.381	0.696	1.94			0.0265	0.0381	0.0845			0.00112	0.00161	0.00474			0.00112	0.00161	0.00474			47	64	57		
23.07.2011	15.02.40			2.30			0.429	0.889	2.17			0.0348	0.0398	0.0795			0.00112	0.00235	0.00577			0.00112	0.00235	0.00577			47	57	57		
23.07.2011	15.02.36			2.11			0.413	0.667	2.03			0.0249	0.0447	0.0696			0.00112	0.00199	0.00527			0.00112	0.00199	0.00527			47	51	57		
23.07.2011	15.02.14			1.99			0.397	0.810	1.92			0.0232	0.0381	0.0729			0.00122	0.00208	0.00505			0.00122	0.00208	0.00505			43	64	57		
23.07.2011	14.51.25			2.76			0.557	1.03	2.62			0	0	0			0	0	0			0	0	0			51	51	64		
23.07.2011	14.47.16			2.17			0.302	0.492	2.13			0.0481	0.0381	0.0646			0.00075	0.00164	0.00710			0.00075	0.00164	0.00710			100	39	43		
23.07.2011	14.36.05			0.399			0.222	0.222	0.317			0	0	0			0	0	0			0	0	0			47	57	57		
23.07.2011	14.14.38			2.04			0.349	0.667	1.97			0.0182	0.0265	0.0812			0.00086	0.00187	0.00504			0.00086	0.00187	0.00504			57	64	64		
23.07.2011	14.11.31			3.53			0.365	0.825	3.44			0.0514	0.0597	0.111			0.00070	0.00244	0.0115			0.00070	0.00244	0.0115			100	47	43		
23.07.2011	14.10.11			1.91			0.302	0.619	1.81			0.0182	0.0249	0.0646			0.00077	0.00171	0.00498			0.00077	0.00171	0.00498			57	57	57		

Start 12:00:14 July 24, 2011 Serial Number BE9406 V 7.1-4.35 MiniMate Plus  
 Finish 14:30:00 July 24, 2011 Battery Level 6.7 Volts  
 Intervals 29 At 5 minutes Calibration May 14, 2004 by InstanTel Inc.  
 Range Geo 31.7 mm/s File Name K406DUZW.0E0  
 Sample Rate 1024 Sps  
 Job Number 2675

Notes

Location: Suvilahdi Helsinki, lavan takasein  
 Client: V-S Kalliotekniikka Oy  
 User Name: V-S Kalliotekniikka Oy  
 General: MP3

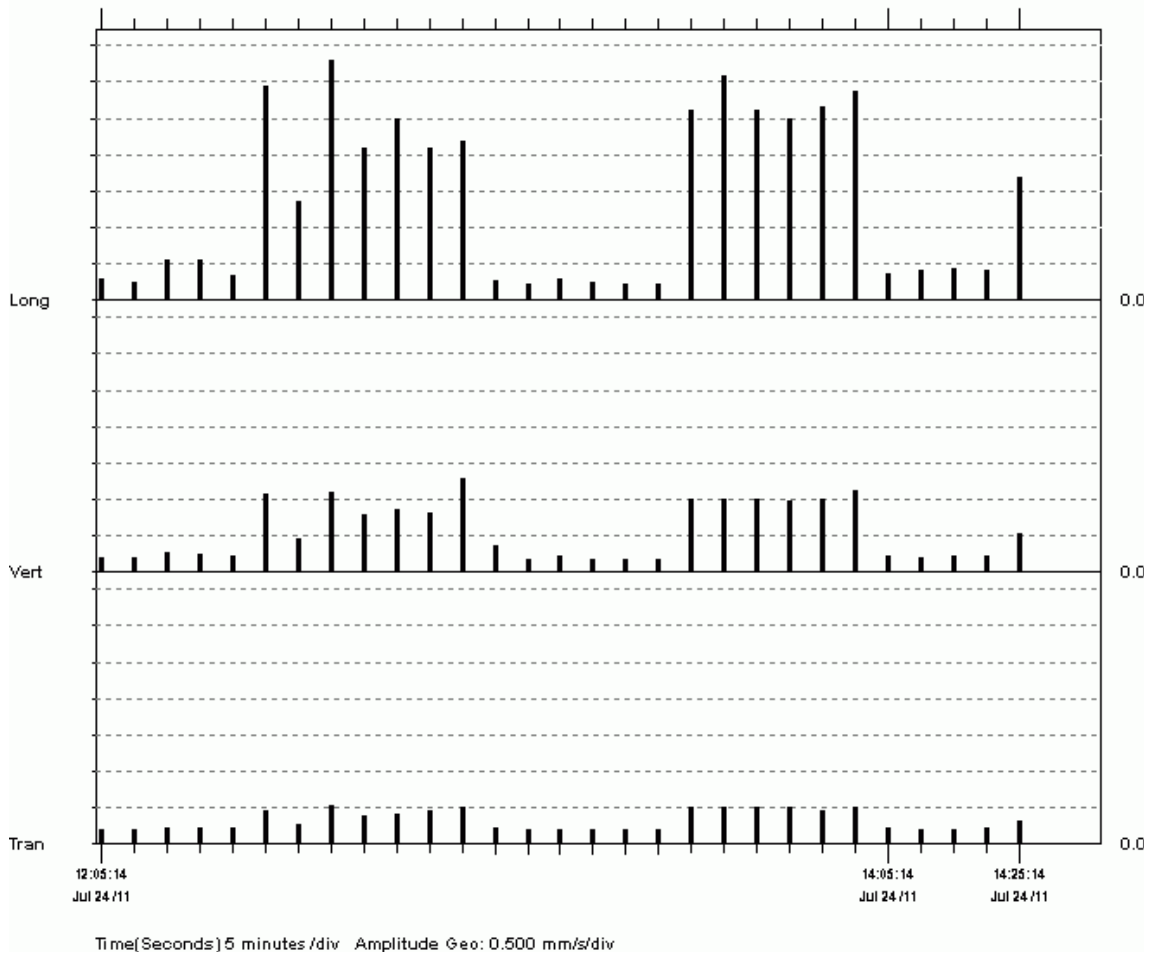
Extended Notes

Asennettu 21.7.2011 PM

Post Event Notes

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.524	1.27	3.29	mm/s
ZC Freq	73	51	57	Hz
Date	Jul 24 /11	Jul 24 /11	Jul 24 /11	
Time	12:40:14	13:00:14	12:40:14	
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 3.43 mm/s On July 24, 2011 At 12:40:14



# Liite 2

Start 18:36:10 July 23, 2011 Serial Number BE9406 V 7.1-4.35 MiniMate Plus  
Finish 20:29:00 July 23, 2011 Battery Level 6.7 Volts  
Intervals 22 At 5 minutes Calibration May 14, 2004 by InstanTel Inc.  
Range Geo 31.7 mm/s File Name K406DUYJ.OAD  
Sample Rate 1024 Sps  
Job Number 2675

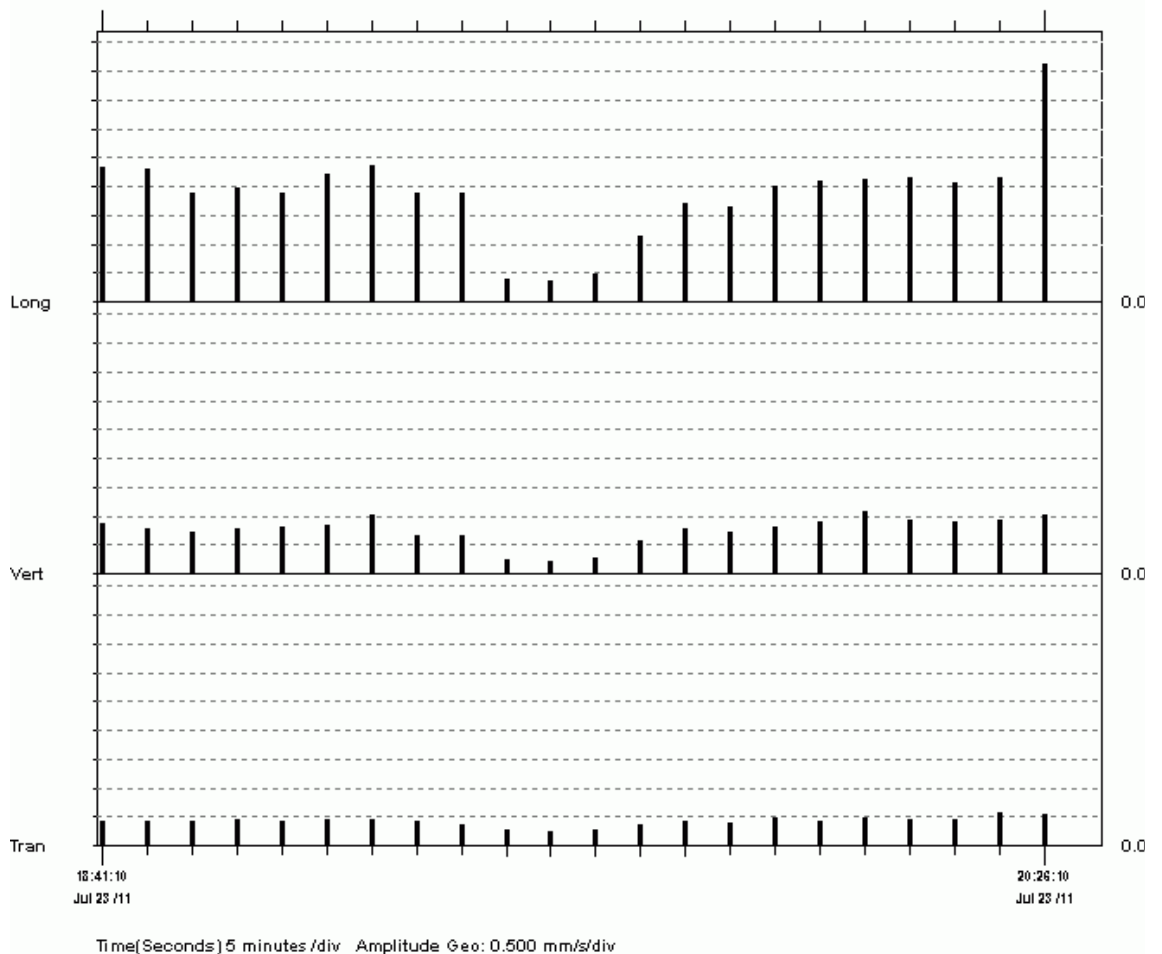
Notes  
Location: Suvilahdi Helsinki, lavan takasein  
Client: V-S Kalliotekniikka Oy  
User Name: V-S Kalliotekniikka Oy  
General: MP3

Extended Notes  
Asennettu 21.7.2011 PM

Post Event Notes

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.556	1.06	4.13	mm/s
ZC Freq	51	57	39	Hz
Date	Jul 23 /11	Jul 23 /11	Jul 23 /11	
Time	20:21:10	20:06:10	20:26:10	
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 4.23 mm/s On July 23, 2011 At 20:26:10



Start 16:36:03 July 23, 2011 Serial Number BE9406 V 7.1-4.35 MiniMate Plus  
 Finish 18:30:00 July 23, 2011 Battery Level 6.7 Volts  
 Intervals 22 At 5 minutes Calibration May 14, 2004 by Instatel Inc.  
 Range Geo 31.7 mm/s File Name K406DUYE.430  
 Sample Rate 1024 Sps  
 Job Number 2675

Notes

Location: Suvilahdi Helsinki, lavan takasein  
 Client: V-S Kalliotekniikka Oy  
 User Name: V-S Kalliotekniikka Oy  
 General: MP3

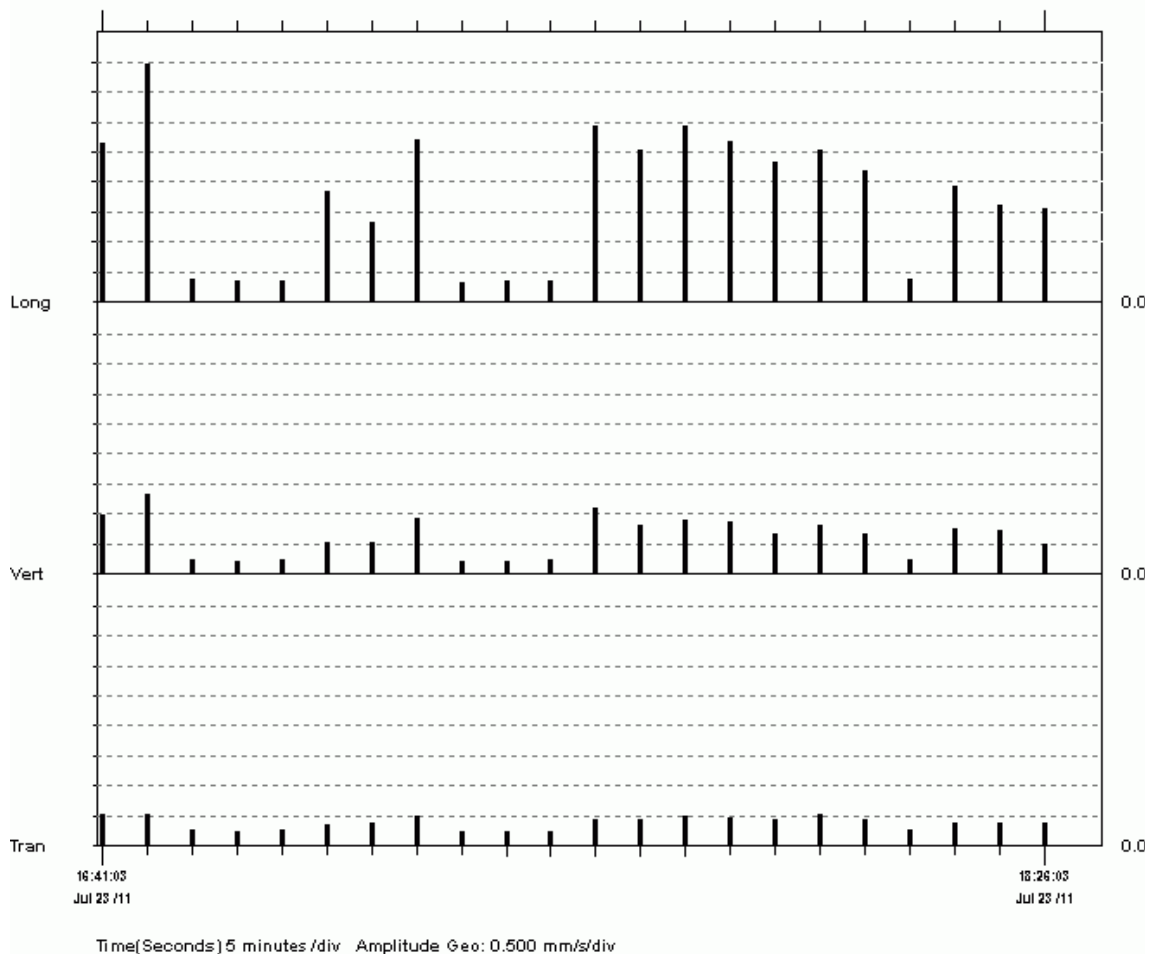
Extended Notes

Asennettu 21.7.2011 PM

Post Event Notes

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.524	1.33	3.97	mm/s
ZC Freq	64	64	64	Hz
Date	Jul 23 /11	Jul 23 /11	Jul 23 /11	
Time	16:41:03	16:46:03	16:46:03	
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 4.11 mm/s On July 23, 2011 At 16:46:03



Date/Time Long At 12:35:29 July 24, 2011  
 Trigger Source Geo: 1.80 mm/s  
 Range Geo: 31.7 mm/s  
 Sample Rate 1.0 sec. At 1024 Sps  
 Job Number 2675

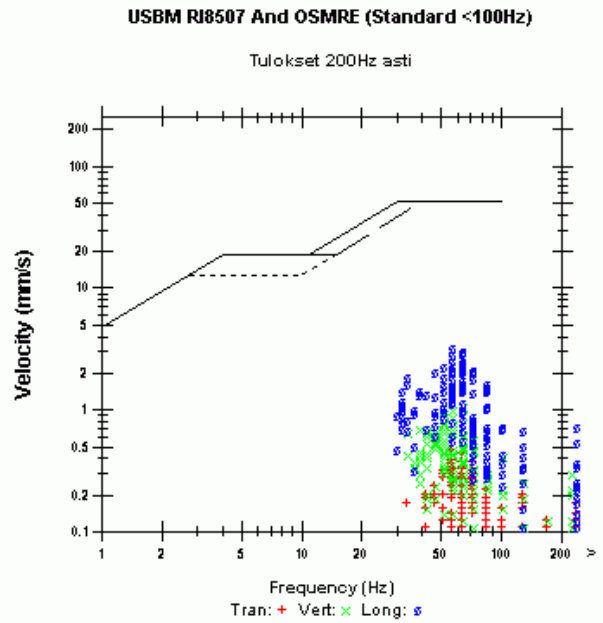
Serial Number BE9406 V 7.1-4.35 MiniMate Plus  
 Battery Level 6.7 Volts  
 Calibration May 14, 2004 by InstanTel Inc.  
 File Name K406DUZX.N50

Notes  
 Location: Suvilahti Helsinki, lavan takasein  
 Client: V-S Kalliotekniikka Oy  
 User Name: V-S Kalliotekniikka Oy  
 General: MP3

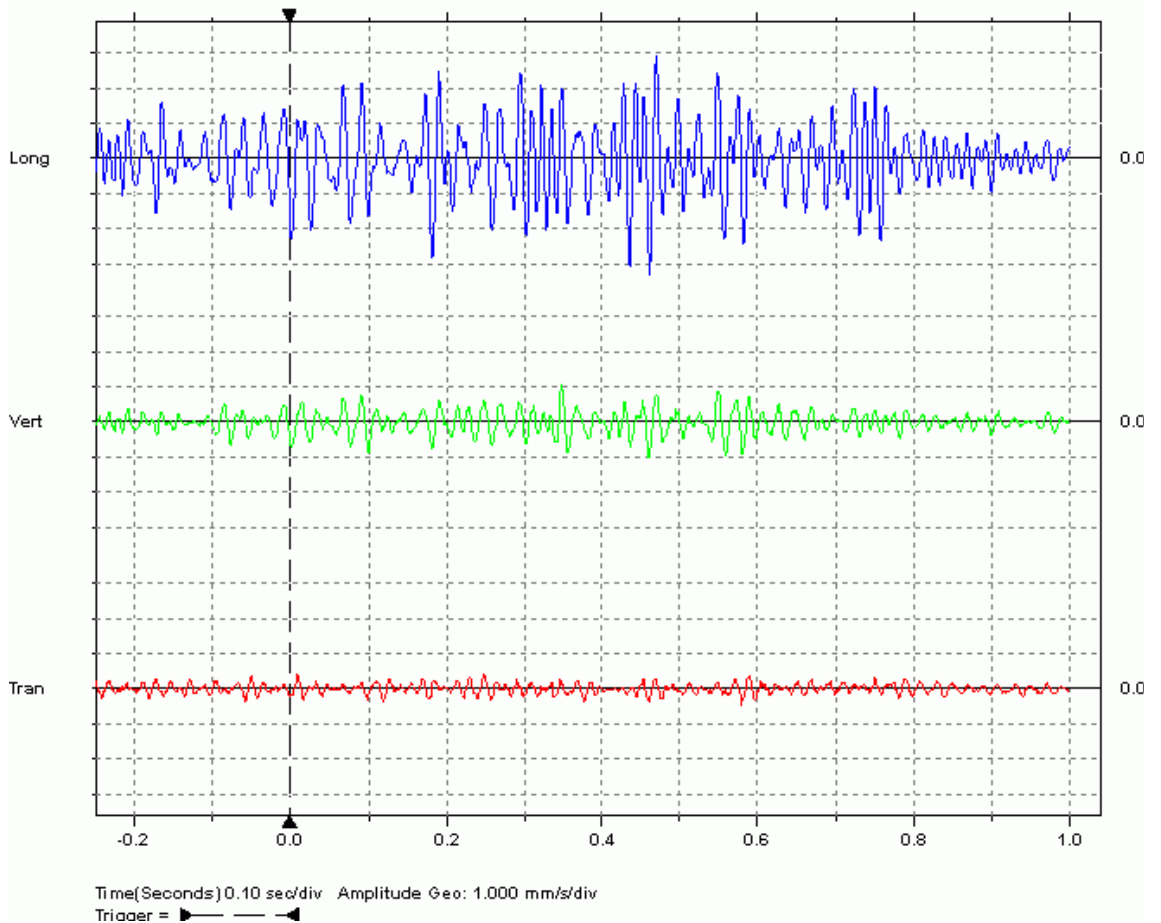
Extended Notes  
 Combo Mode July 24, 2011 12:00:14  
 Asennettu 21.7.2011 PM

Post Event Notes

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.476	1.08	3.29	mm/s
ZC Freq	57	64	57	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.248	0.349	0.462	sec
Peak Acceleration	0.0249	0.0431	0.131	g
Peak Displacement	0.00121	0.00282	0.00849	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	



Peak Vector Sum 3.43 mm/s At 0.462 sec.

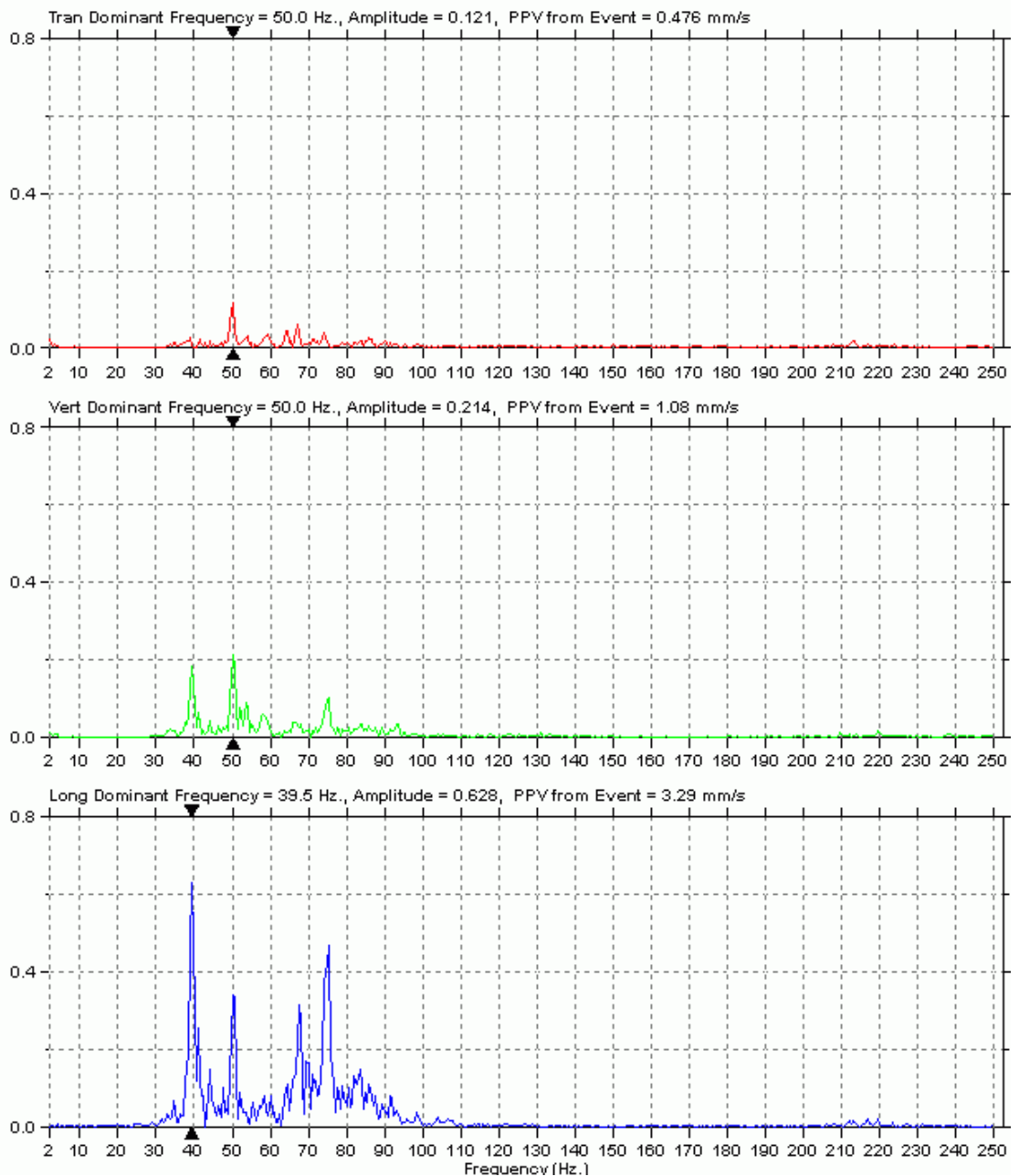


Date/Time	Long At 12:35:29 July 24, 2011	Serial Number	BE9406 V 7.1-4.35 MiniMate Plus
Trigger Source	Geo: 1.80 mm/s	Battery Level	6.7 Volts
Range	Geo: 31.7 mm/s	Calibration	May 14, 2004 by InstanTel Inc.
Sample Rate	1.0 sec. At 1024 Sps	File Name	K406DUZX.N50
Job Number	2675		

Notes  
 Location: Suvilahti Helsinki, lavan takasein  
 Client: V-S Kalliotekniikka Oy  
 User Name: V-S Kalliotekniikka Oy  
 General: MP3

Extended Notes  
 Combo Mode July 24, 2011 12:00:14  
 Asennettu 21.7.2011 PM

Post Event Notes



Date/Time Long At 12:35:23 July 24, 2011  
 Trigger Source Geo: 1.80 mm/s  
 Range Geo: 31.7 mm/s  
 Sample Rate 1.0 sec. At 1024 Sps  
 Job Number 2675

Serial Number BE9406 V 7.1-4.35 MiniMate Plus  
 Battery Level 6.7 Volts  
 Calibration May 14, 2004 by InstanTel Inc.  
 File Name K406DUZX.M20

Notes  
 Location: Suvilahti Helsinki, lavan takasein  
 Client: V/S Kalliotekniikka Oy  
 User Name: V/S Kalliotekniikka Oy  
 General: MP3

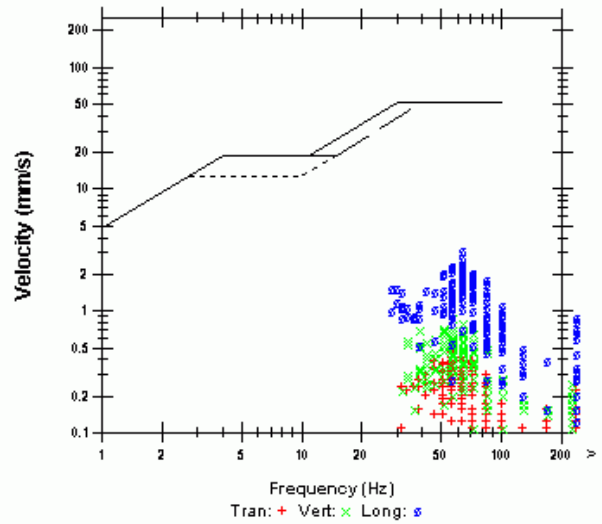
Extended Notes  
 Combo Mode July 24, 2011 12:00:14  
 Asennettu 21.7.2011 PM

Post Event Notes

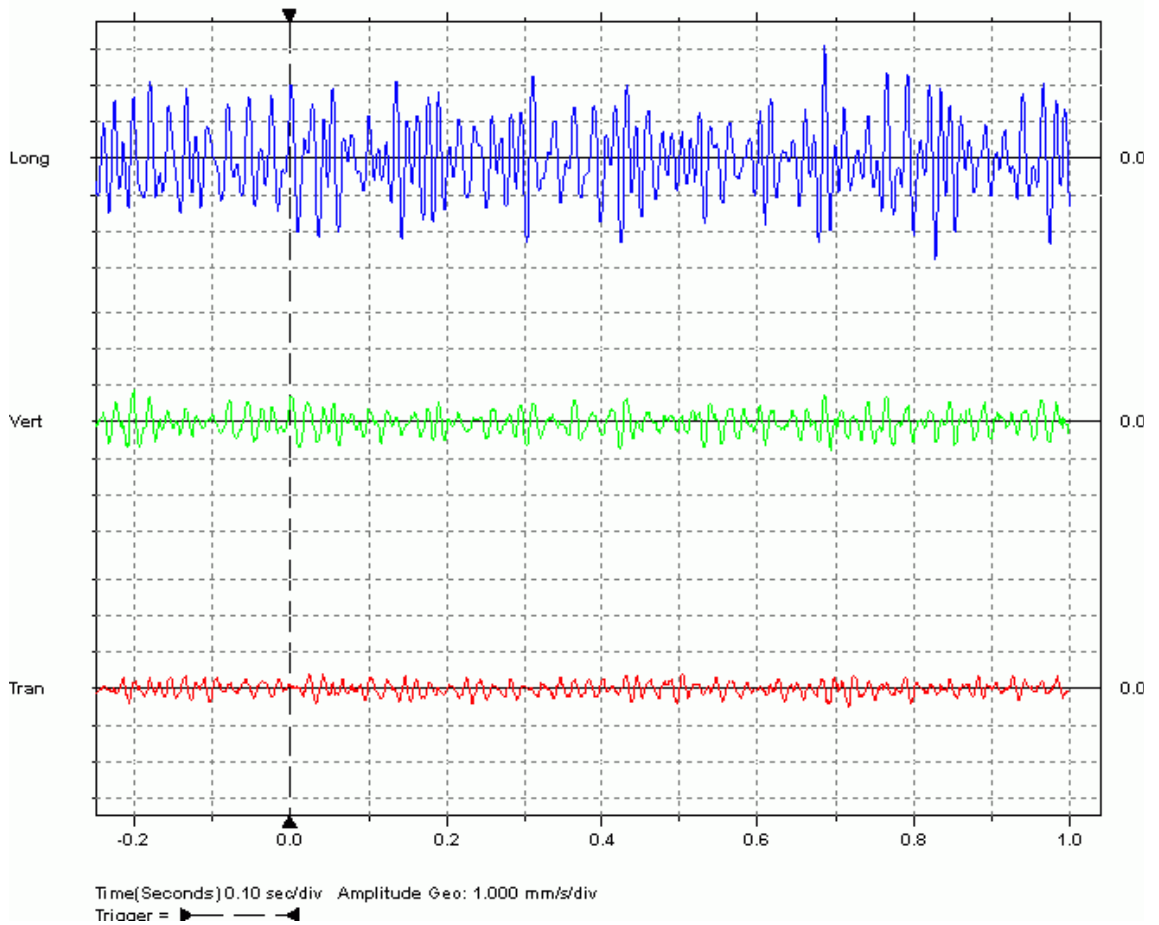
	Tran	Vert	Long	
PPV	0.476	0.873	3.17	mm/s
ZC Freq	57	57	64	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.717	-0.201	0.686	sec
Peak Acceleration	0.0298	0.0464	0.134	g
Peak Displacement	0.00127	0.00226	0.00737	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	

USBM R18507 And OSMRE (Standard <100Hz)

Tulokset 200Hz asti



Peak Vector Sum 3.28 mm/s At 0.686 sec.



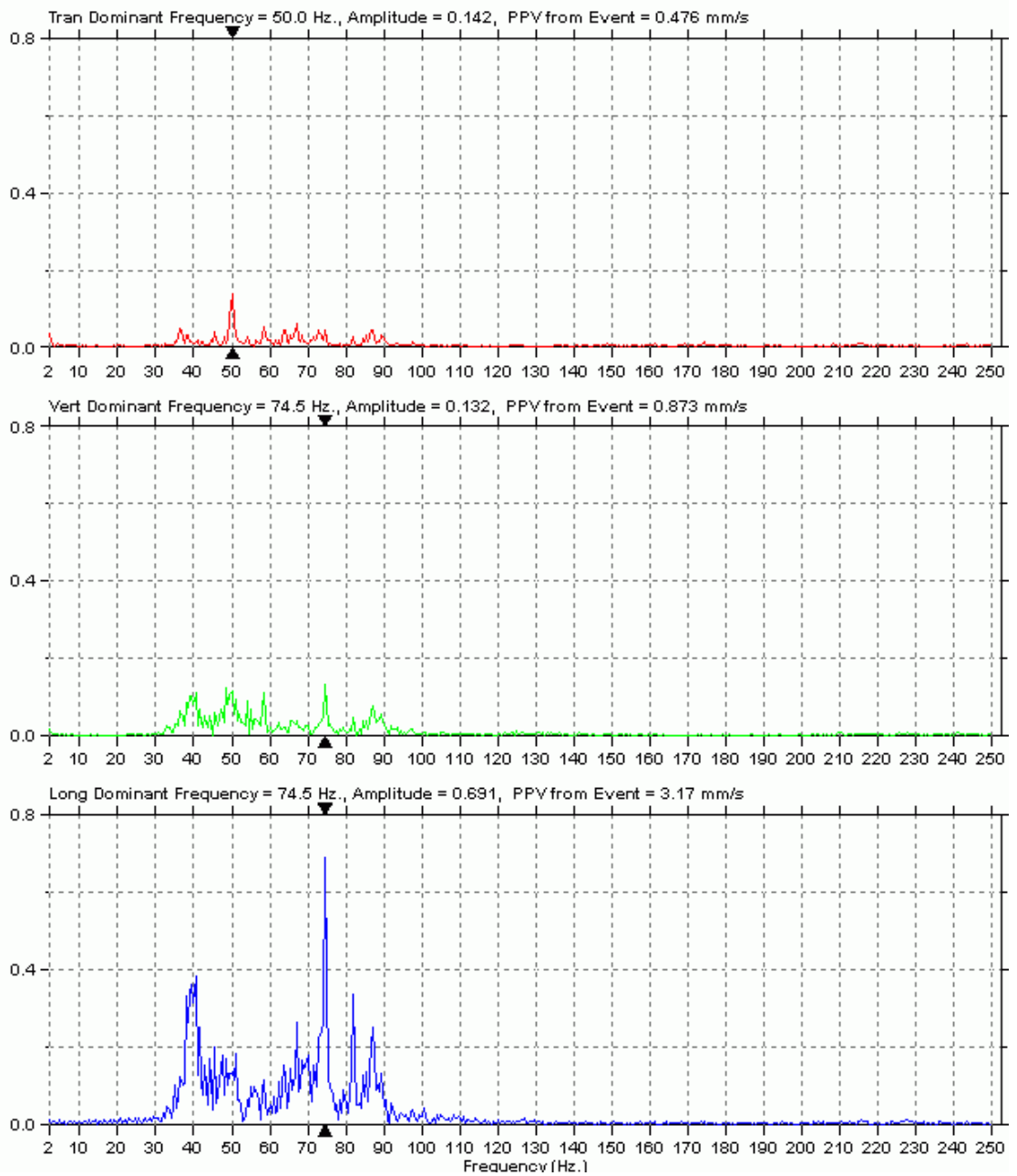


Date/Time	Long At 12:35:23 July 24, 2011	Serial Number	BE9406 V 7.1-4.35 MiniMate Plus
Trigger Source	Geo: 1.80 mm/s	Battery Level	6.7 Volts
Range	Geo: 31.7 mm/s	Calibration	May 14, 2004 by InstanTel Inc.
Sample Rate	1.0 sec. At 1024 Sps	File Name	K406DUZX.MZD
Job Number	2675		

Notes  
 Location: Suvilahti Helsinki, lavan takasein  
 Client: V-S Kalliotekniikka Oy  
 User Name: V-S Kalliotekniikka Oy  
 General: MP3

Extended Notes  
 Combo Mode July 24, 2011 12:00:14  
 Asennettu 21.7.2011 PM

Post Event Notes



Date/Time Long At 12:35:22 July 24, 2011  
 Trigger Source Geo: 1.80 mm/s  
 Range Geo: 31.7 mm/s  
 Sample Rate 1.0 sec. At 1024 Sps  
 Job Number 2675

Serial Number BE9406 V 7.1-4.35 MiniMate Plus  
 Battery Level 6.7 Volts  
 Calibration May 14, 2004 by InstanTel Inc.  
 File Name K406DUZX.MYO

Notes  
 Location: Suvilahti Helsinki, lavan takasein  
 Client: V-S Kalliotekniikka Oy  
 User Name: V-S Kalliotekniikka Oy  
 General: MP3

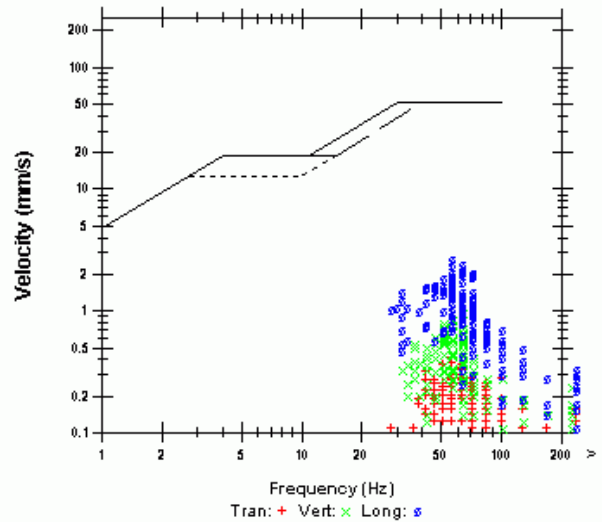
Extended Notes  
 Combo Mode July 24, 2011 12:00:14  
 Asennettu 21.7.2011 PM

Post Event Notes

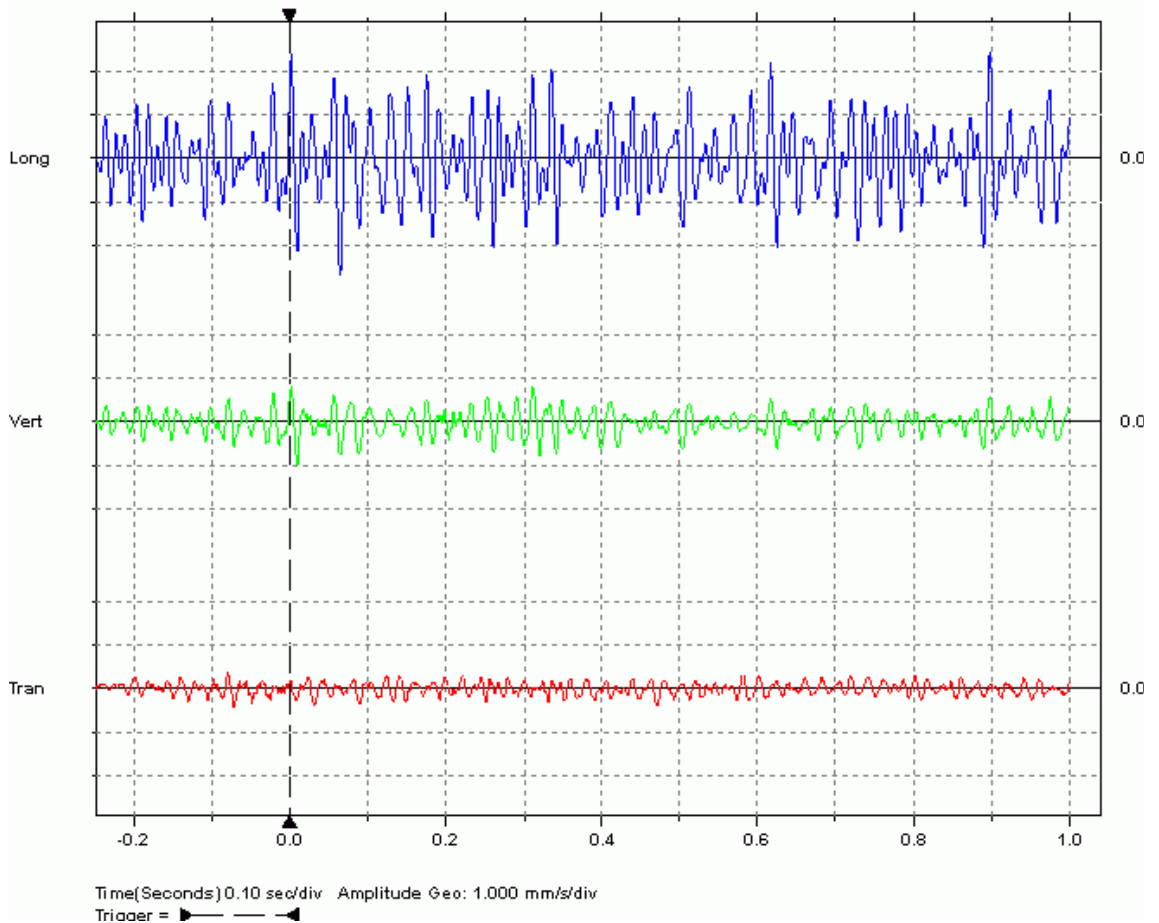
	Tran	Vert	Long	
PPV	0.413	0.984	2.65	mm/s
ZC Freq	57	64	57	Hz
Time (Rel. to Trig)	-0.071	0.010	0.064	sec
Peak Acceleration	0.0199	0.0398	0.109	g
Peak Displacement	0.00102	0.00239	0.00691	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	

USBM R18507 And OSMRE (Standard <100Hz)

Tulokset 200Hz asti



Peak Vector Sum 2.75 mm/s At 0.064 sec.

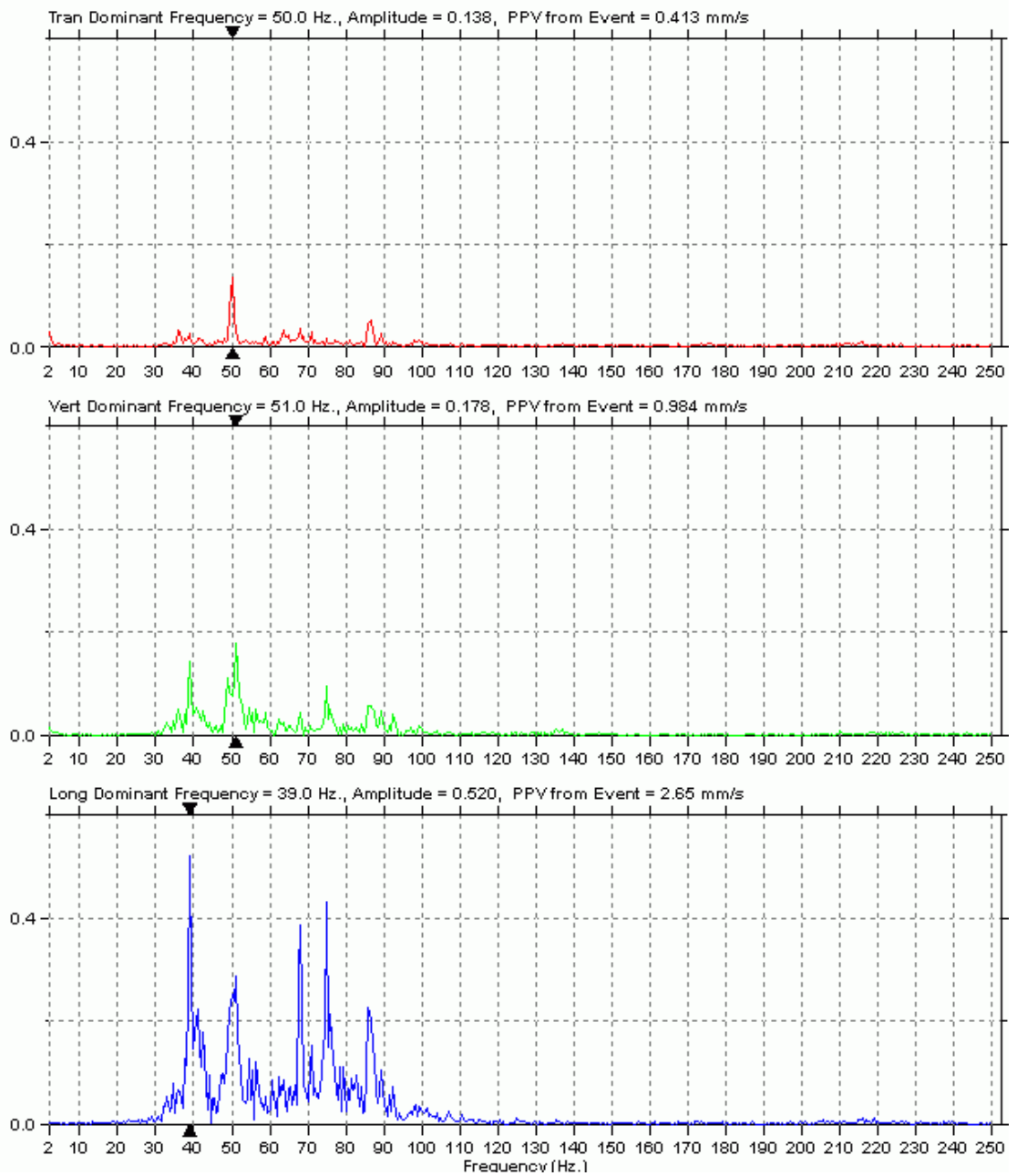


Date/Time	Long At 12:35:22 July 24, 2011	Serial Number	BE9406 V 7.1-4.35 MiniMate Plus
Trigger Source	Geo: 1.80 mm/s	Battery Level	6.7 Volts
Range	Geo: 31.7 mm/s	Calibration	May 14, 2004 by InstanTel Inc.
Sample Rate	1.0 sec. At 1024 Sps	File Name	K406DUZX.MY0
Job Number	2675		

Notes  
 Location: Suvilahti Helsinki, lavan takasein  
 Client: V-S Kalliotekniikka Oy  
 User Name: V-S Kalliotekniikka Oy  
 General: MP3

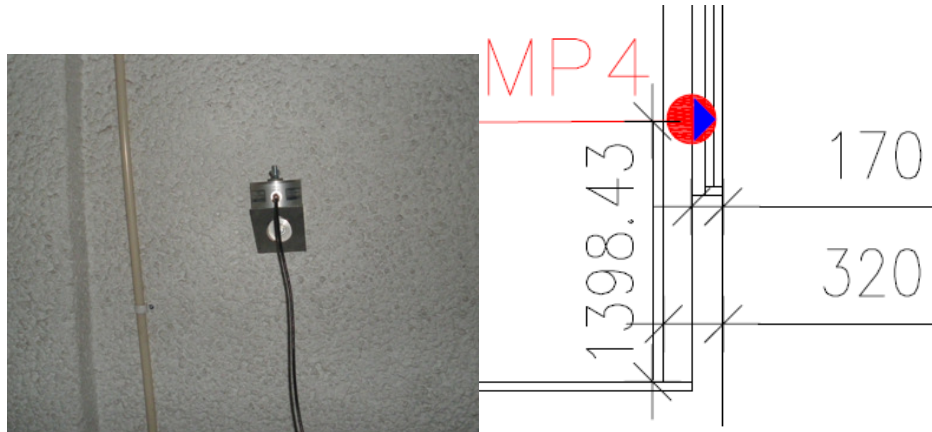
Extended Notes  
 Combo Mode July 24, 2011 12:00:14  
 Asennettu 21.7.2011 PM

Post Event Notes



## Mittauspiste 4

Mittari oli asennettuna konserttitilan yläkerran (vanha hiilisiilotila) eteläiselle seinämälle noin 1,4m korkeuteen.



Kuva mittauspisteestä sekä kuvanto mittauspisteen sijainnista sivulta katsottuna. Sininen nuoli osoittaa pitkittäisakselin (long) suunnan.

Sisältää:

- Tuloslistan
- Histogrammi taulukot (3 suurinta tulosta)
- Mittaustulosteet ja Fourier-analyysit (3 suurinta tulosta)



Pvm	Aika	Nro	Etäisyys (m)	Heilahdusnopeus (mm/s)							Kiihtyvyyys (g)							Siirtymä (mm)							Taajuus (Hz)						
				PVS	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%
24.07.2011	15.08.41			1.12			0.206	0.333	1.08				0.0166	0.0199	0.0447				0.00063	0.00096	0.00298				57	51	57				
24.07.2011	15.08.26			1.02			0.254	0.254	1.02				0.0133	0.0149	0.0365				0.00052	0.00087	0.00265				57	57	57				
24.07.2011	15.08.10			1.07			0.159	0.254	1.06				0.0116	0.0116	0.0414				0.00034	0.00079	0.00283				73	51	57				
24.07.2011	15.08.08			1.08			0.175	0.254	1.08				0.00984	0.00984	0.0431				0.00039	0.00083	0.00291				57	51	64				
24.07.2011	15.08.05			1.10			0.190	0.349	1.10				0.0116	0.0149	0.0414				0.00053	0.00107	0.00301				73	47	57				
24.07.2011	15.07.29			1.02			0.190	0.302	1.02				0.0166	0.0133	0.0414				0.00043	0.00101	0.00272				100	51	57				
24.07.2011	15.07.23			1.04			0.238	0.317	1.03				0.0166	0.0149	0.0398				0.00063	0.00098	0.00268				57	51	57				
24.07.2011	15.06.54			1.00			0.175	0.254	1.00				0.0116	0.0116	0.0381				0.00040	0.00079	0.00281				64	57	57				
24.07.2011	15.06.30			1.05			0.206	0.270	1.03				0.00984	0.0116	0.0447				0.00049	0.00083	0.00268				57	51	64				
24.07.2011	15.06.28			1.17			0.222	0.286	1.16				0.0133	0.0166	0.0431				0.00053	0.00084	0.00295				64	57	57				
24.07.2011	15.06.23			1.15			0.222	0.302	1.13				0.0116	0.0116	0.0431				0.00050	0.00102	0.00314				64	43	57				
24.07.2011	15.06.21			1.24			0.254	0.365	1.24				0.0149	0.0149	0.0481				0.00066	0.00104	0.00346				51	51	57				
24.07.2011	14.37.41			1.03			0.159	0.206	1.02				0.0116	0.0116	0.0381				0.00036	0.00061	0.00278				73	57	57				
24.07.2011	14.37.34			1.32			0.222	0.190	1.32				0.0182	0.00984	0.0547				0.00048	0.00057	0.00340				73	57	57				
24.07.2011	14.36.25			1.42			0.349	0.444	1.41				0	0	0				0	0	0				100	57	57				
24.07.2011	12.35.42			1.67			0.365	0.413	1.65				0.0166	0.0166	0.0630				0.00078	0.00123	0.00398				64	51	64				
24.07.2011	12.35.41			1.55			0.317	0.508	1.52				0.0215	0.0182	0.0663				0.00072	0.00134	0.00364				64	51	73				
24.07.2011	12.35.39			1.25			0.317	0.413	1.22				0.0249	0.0166	0.0547				0.00071	0.00100	0.00290				73	57	64				
24.07.2011	12.35.38			1.57			0.270	0.476	1.56				0.0166	0.0182	0.0646				0.00066	0.00136	0.00369				73	64	64				
24.07.2011	12.35.36			2.11			0.254	0.476	2.11				0.0149	0.0182	0.0779				0.00060	0.00150	0.00529				64	51	64				
24.07.2011	12.35.34			1.38			0.286	0.540	1.35				0.0199	0.0199	0.0597				0.00060	0.00168	0.00326				64	51	64				
24.07.2011	12.35.32			1.15			0.270	0.444	1.13				0.0215	0.0166	0.0547				0.00052	0.00129	0.00278				73	47	64				
24.07.2011	12.35.30			1.08			0.266	0.429	1.06				0.0199	0.0199	0.0464				0.00070	0.00151	0.00267				64	51	64				
24.07.2011	12.35.25			1.07			0.254	0.349	1.06				0.0215	0.0199	0.0365				0.00060	0.00115	0.00271				100	51	57				
24.07.2011	12.35.24			1.39			0.302	0.476	1.38				0.0199	0.0215	0.0563				0.00065	0.00173	0.00329				73	43	64				
24.07.2011	12.35.17			1.01			0.254	0.317	1.00				0.0182	0.0133	0.0414				0.00051	0.00091	0.00239				64	51	64				
24.07.2011	12.29.41			1.05			0.270	0.444	1.03				0.00984	0.0182	0.0365				0.00074	0.00160	0.00299				51	47	51				
24.07.2011	12.00.14			2.11			0.365	0.619	2.11				0	0	0				0	0	0				64	47	64				
23.07.2011	20.01.44			1.01			0.222	0.254	1.00				0.0149	0.0166	0.0414				0.00038	0.00081	0.00265				100	43	57				
23.07.2011	20.01.32			1.23			0.254	0.270	1.22				0.0199	0.0149	0.0464				0.00053	0.00068	0.00305				51	51	64				
23.07.2011	19.11.29			1.11			0.254	0.111	1.10				0.0182	0.0116	0.0563				0.00052	0.00019	0.00240				73	100	73				

Pvm	Aika	Nro	Etiäisyys (m)	Heilahdusnopeus (mm/s)							Kiihtyvyys (g)							Siirtymä (mm)							Taajuus (Hz)			
				PVS	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	Tran	Vert	Long
23.07.2011	19.11.28			1.11			0.270	0.143	1.10			0.0166	0.0166	0.0563			0.00047	0.00021	0.00246			64	100	64				
23.07.2011	19.11.26			1.16			0.286	0.127	1.13			0.0182	0.0133	0.0530			0.00049	0.00027	0.00250			73	100	73				
23.07.2011	19.10.14			1.12			0.222	0.266	1.11			0.0116	0.0133	0.0464			0.00042	0.00074	0.00287			85	51	64				
23.07.2011	19.10.12			1.19			0.238	0.238	1.17			0.0133	0.0149	0.0481			0.00048	0.00055	0.00304			64	64	64				
23.07.2011	19.05.54			1.02			0.190	0.175	1.02			0.00994	0.0116	0.0398			0.00041	0.00046	0.00279			73	57	57				
23.07.2011	19.04.56			1.28			0.175	0.190	1.27			0.0116	0.00994	0.0514			0.00043	0.00050	0.00336			57	73	57				
23.07.2011	19.04.26			1.30			0.206	0.222	1.29			0.0116	0.0133	0.0514			0.00053	0.00054	0.00346			57	73	57				
23.07.2011	19.04.24			1.13			0.175	0.222	1.11			0.0116	0.0116	0.0481			0.00044	0.00047	0.00290			57	57	64				
23.07.2011	19.04.23			1.05			0.159	0.143	1.05			0.00994	0.00994	0.0414			0.00038	0.00036	0.00269			73	73	57				
23.07.2011	18.43.18			1.11			0.175	0.222	1.10			0.0133	0.0116	0.0431			0.00037	0.00070	0.00275			73	47	64				
23.07.2011	18.36.26			1.30			0.317	0.365	1.29			0	0	0			0	0	0			100	47	57				
23.07.2011	16.45.27			1.07			0.206	0.429	1.05			0.0133	0.0166	0.0414			0.00045	0.00150	0.00283			64	47	51				
23.07.2011	16.45.23			1.04			0.206	0.413	1.03			0.0166	0.0166	0.0414			0.00055	0.00147	0.00261			85	47	64				
23.07.2011	16.45.21			1.38			0.302	0.413	1.35			0.0199	0.0162	0.0530			0.00060	0.00140	0.00317			73	51	64				
23.07.2011	16.45.19			1.17			0.222	0.333	1.16			0.0116	0.0182	0.0431			0.00056	0.00101	0.00322			64	57	57				
23.07.2011	16.45.15			1.09			0.190	0.397	1.06			0.0116	0.0166	0.0414			0.00043	0.00122	0.00283			64	47	57				
23.07.2011	16.45.11			1.15			0.238	0.492	1.13			0.0133	0.0182	0.0414			0.00062	0.00141	0.00334			57	51	51				
23.07.2011	16.45.10			1.24			0.270	0.254	1.22			0.0199	0.0133	0.0514			0.00050	0.00074	0.00326			64	64	57				
23.07.2011	16.44.41			1.01			0.190	0.524	1.00			0.0116	0.0199	0.0431			0.00042	0.00184	0.00256			64	47	64				
23.07.2011	16.44.22			1.07			0.206	0.556	1.06			0.0133	0.0199	0.0497			0.00041	0.00168	0.00284			85	51	57				
23.07.2011	16.43.52			1.13			0.238	0.460	1.13			0.0116	0.0182	0.0398			0.00046	0.00121	0.00322			73	51	57				
23.07.2011	16.43.47			1.29			0.190	0.365	1.29			0.0133	0.0166	0.0481			0.00044	0.00105	0.00345			100	51	57				
23.07.2011	16.43.40			1.06			0.238	0.444	1.05			0.0182	0.0166	0.0431			0.00051	0.00150	0.00272			85	43	57				
23.07.2011	16.36.32			1.38			0.302	0.619	1.37			0	0	0			0	0	0			73	47	64				
23.07.2011	16.27.12			1.05			0.175	0.254	1.05			0.0149	0.0133	0.0431			0.00033	0.00060	0.00274			100	64	64				
23.07.2011	16.27.10			1.01			0.206	0.302	1.00			0.0166	0.0166	0.0381			0.00033	0.00074	0.00240			100	57	64				
23.07.2011	16.18.02			1.02			0.206	0.254	1.00			0.0199	0.0199	0.0414			0.00034	0.00060	0.00233			100	64	57				
23.07.2011	15.33.19			1.01			0.175	0.238	1.00			0.0133	0.00994	0.0414			0.00047	0.00081	0.00238			57	47	64				
23.07.2011	15.32.08			1.03			0.222	0.238	1.02			0.0133	0.0133	0.0431			0.00059	0.00060	0.00256			64	57	64				
23.07.2011	15.27.45			1.23			0.159	0.159	1.22			0.0116	0.0116	0.0447			0.00036	0.00044	0.00321			64	57	57				
23.07.2011	15.27.13			1.03			0.190	0.190	1.02			0.0133	0.00994	0.0381			0.00038	0.00057	0.00250			85	57	64				

Start 12:00:14 July 24, 2011 Serial Number BE9152 V 4.37-4.35 MiniMate Plus  
 Finish 14:30:00 July 24, 2011 Battery Level 6.7 Volts  
 Intervals 29 At 5 minutes Calibration December 22, 2003 by Instantel Inc.  
 Range Geo 31.7 mm/s File Name K152DUZW.0E0  
 Sample Rate 1024 Sps  
 Job Number 2675

Notes

Location: Suvilahti Helsinki, ylakerta etel sein  
 Client: V-S Kalliotekniikka Oy  
 User Name: V-S Kalliotekniikka Oy  
 General: MP4

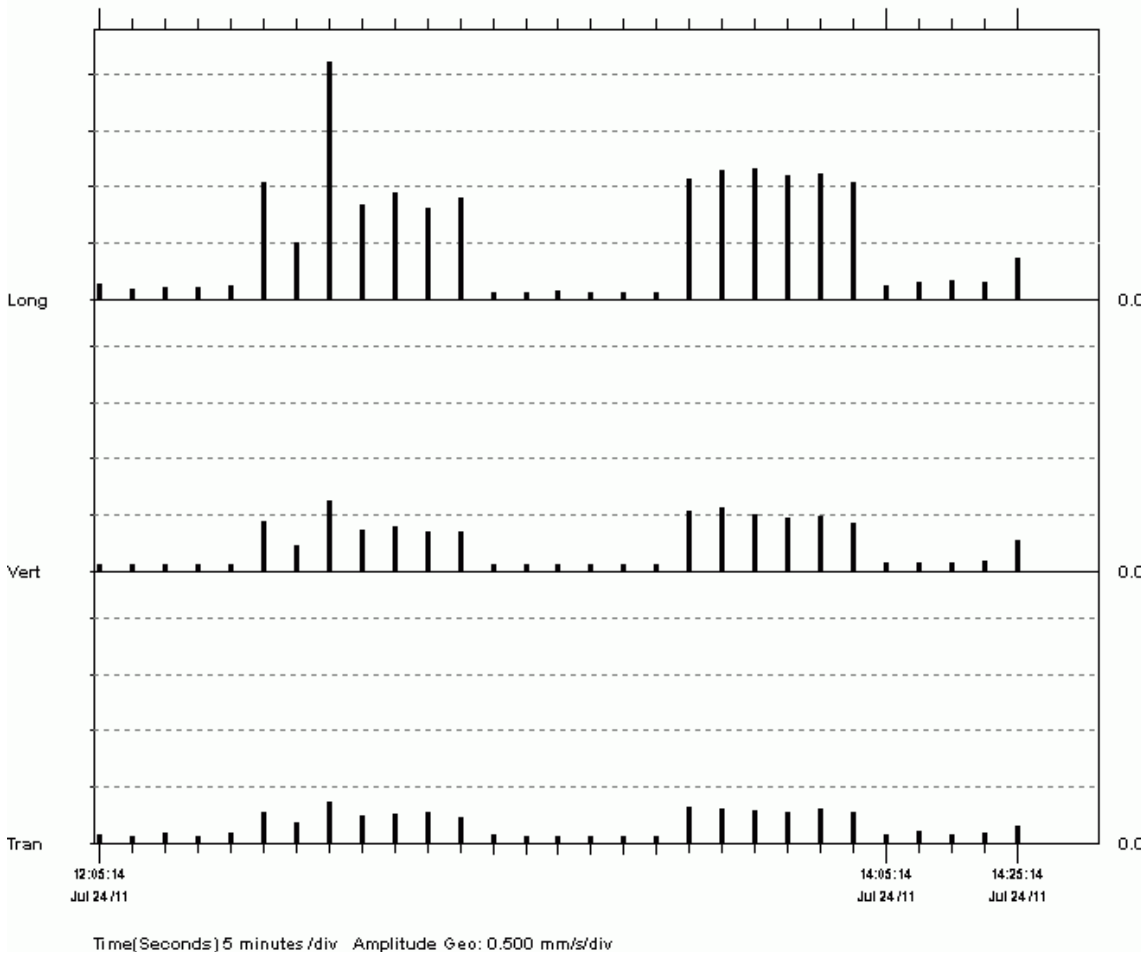
Extended Notes

Asennettu 21.7.2011 PM

Post Event Notes

PPV mm/s  
 ZC Freq Hz  
 Date  
 Time  
 Sensorcheck

Peak Vector Sum 2.11 mm/s On July 24, 2011 At 12:40:14





Start 14:36:25 July 24, 2011 Serial Number BE9152 V 4.37-4.35 MiniMate Plus  
 Finish 16:30:00 July 24, 2011 Battery Level 6.7 Volts  
 Intervals 22 At 5 minutes Calibration December 22, 2003 by Instantel Inc.  
 Range Geo 31.7 mm/s File Name K152DV03.8P0  
 Sample Rate 1024 Sps  
 Job Number 2675

Notes

Location: Suvilahti Helsinki, ylakerta etel sein  
 Client: V-S Kalliotekniikka Oy  
 User Name: V-S Kalliotekniikka Oy  
 General: MP4

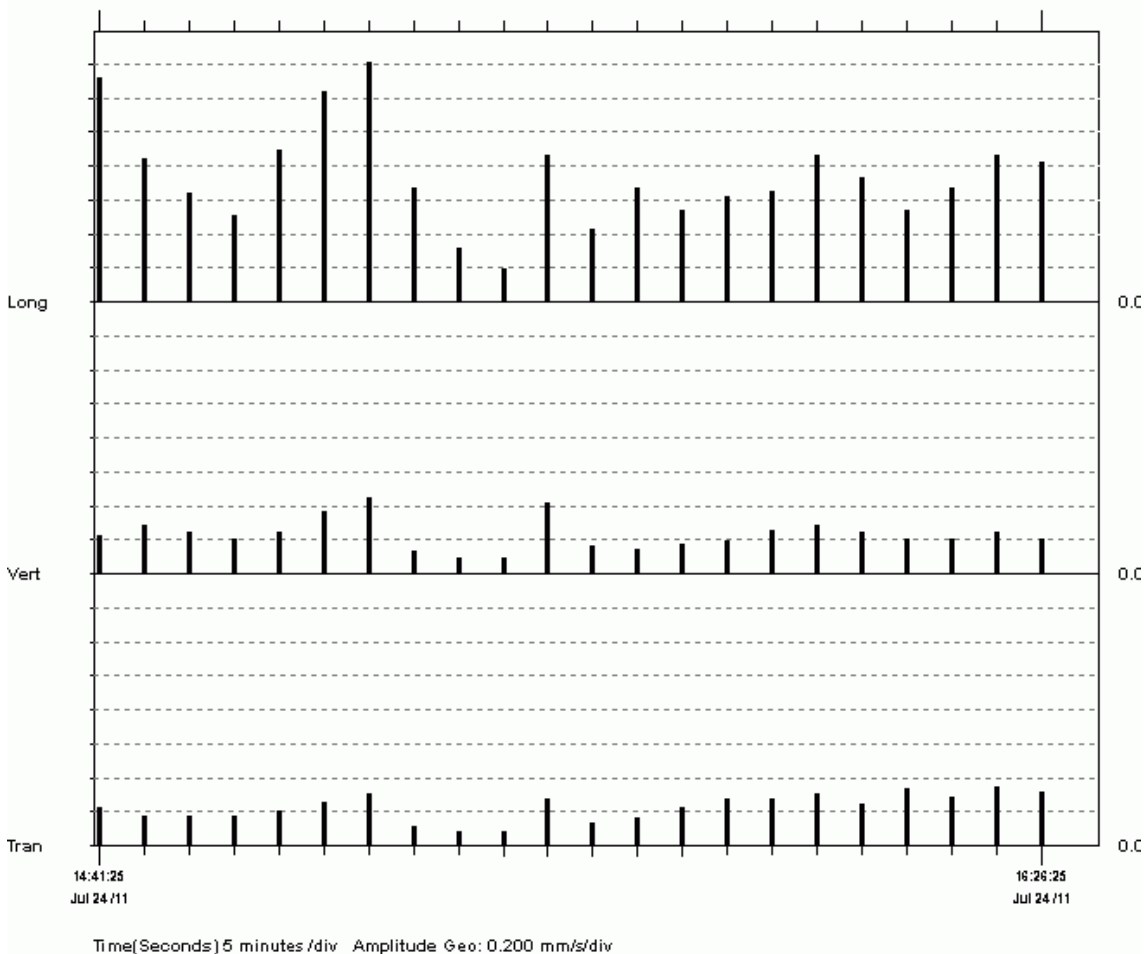
Extended Notes

Asennettu 21.7.2011 PM

Post Event Notes

	Vert	Long	
PPV	0.444	1.41	mm/s
ZC Freq	57	57	Hz
Date	Jul 24 /11	Jul 24 /11	
Time	15:11:25	15:11:25	
Sensorcheck	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 1.42 mm/s On July 24, 2011 At 15:11:25



Start 16:36:33 July 24, 2011 Serial Number BE9152 V 4.37-4.35 MiniMate Plus  
 Finish 18:30:00 July 24, 2011 Battery Level 6.7 Volts  
 Intervals 22 At 5 minutes Calibration December 22, 2003 by Instantel Inc.  
 Range Geo 31.7 mm/s File Name K152DV08.SXD  
 Sample Rate 1024 Sps  
 Job Number 2675

Notes

Location: Suvilahti Helsinki, ylakerta etel sein  
 Client: V-S Kalliotekniikka Oy  
 User Name: V-S Kalliotekniikka Oy  
 General: MP4

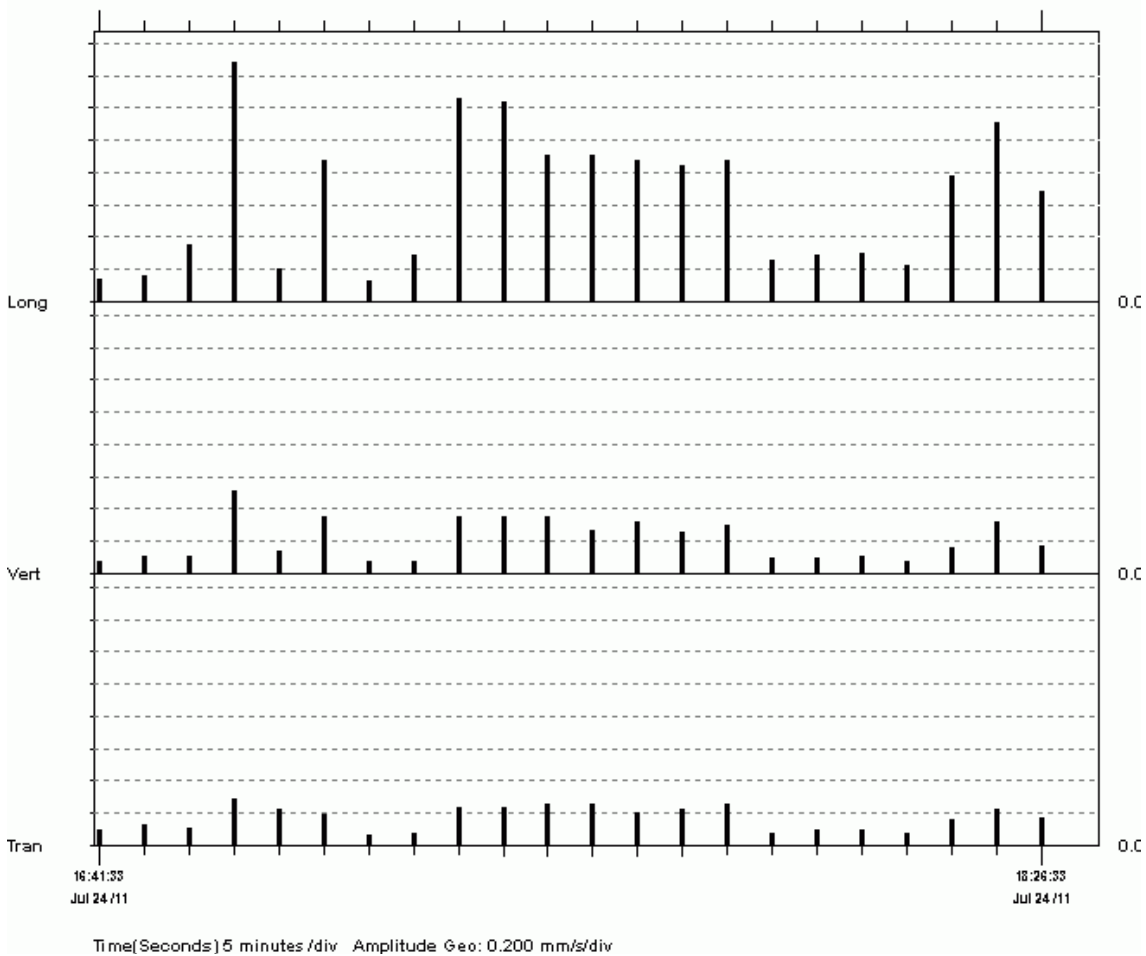
Extended Notes

Asennettu 21.7.2011 PM

Post Event Notes

	Vert	Long	
PPV	0.508	1.48	mm/s
ZC Freq	51	57	Hz
Date	Jul 24 /11	Jul 24 /11	
Time	16:56:33	16:56:33	
Sensorcheck	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 1.50 mm/s On July 24, 2011 At 16:56:33



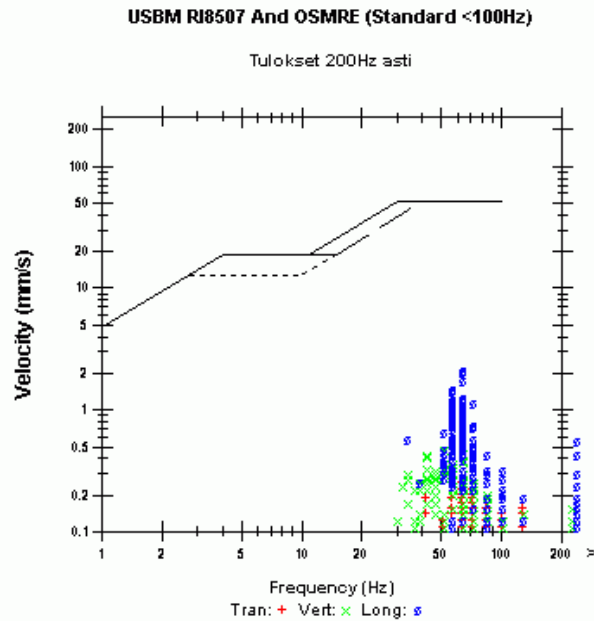
Date/Time Long At 12:35:36 July 24, 2011 Serial Number BE9152 V 4.37-4.35 MiniMate Plus  
 Trigger Source Geo: 1.00 mm/s Battery Level 6.7 Volts  
 Range Geo: 31.7 mm/s Calibration December 22, 2003 by Instatel Inc.  
 Sample Rate 1.0 sec. At 1024 Sps File Name K152DUZX.NCO  
 Job Number 2675

Notes  
 Location: Suvilahti Helsinki, ylakerta etel sein  
 Client: V-S Kalliotekniikka Oy  
 User Name: V-S Kalliotekniikka Oy  
 General: MP4

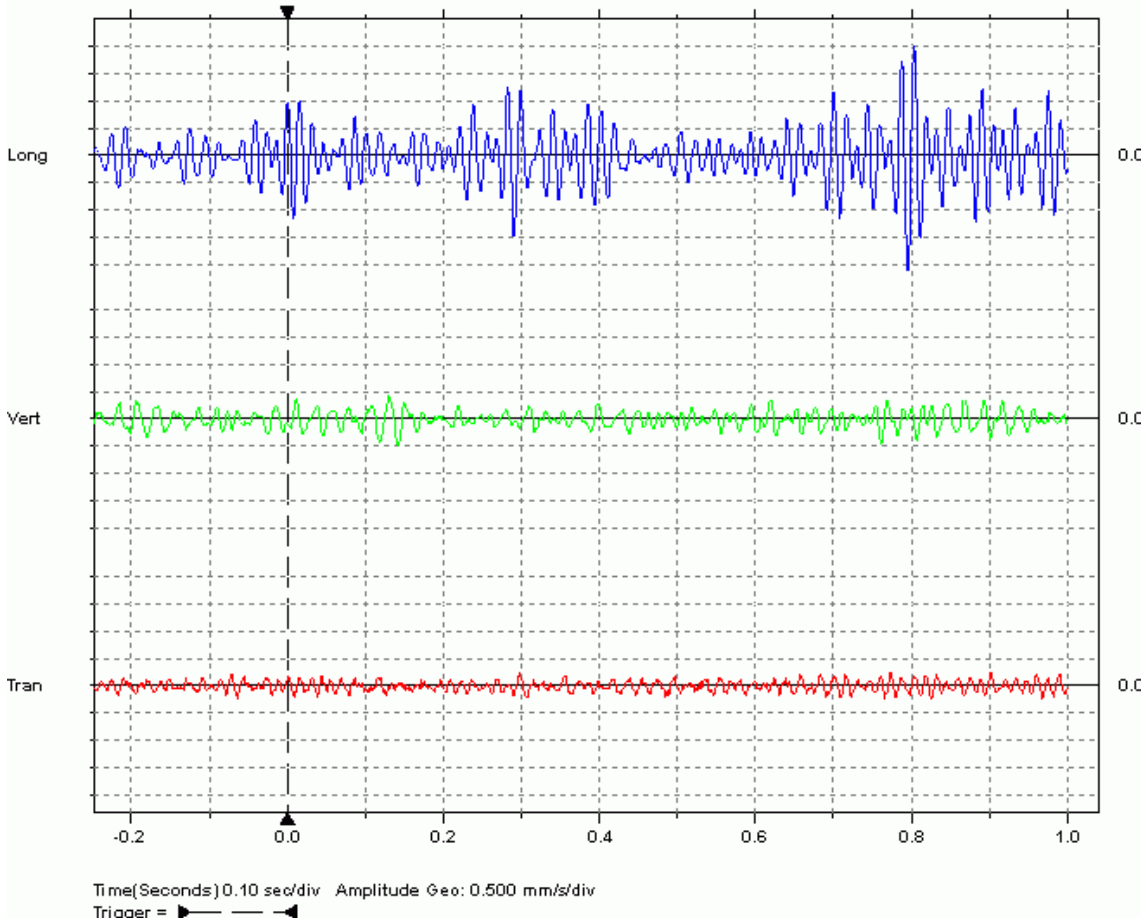
Extended Notes  
 Combo Mode July 24, 2011 12:00:14  
 Asennettu 21.7.2011 PM

Post Event Notes

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.254	0.476	2.11	mm/s
ZC Freq	64	51	64	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.297	0.143	0.796	sec
Peak Acceleration	0.0149	0.0182	0.0779	g
Peak Displacement	0.00060	0.00150	0.00529	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	



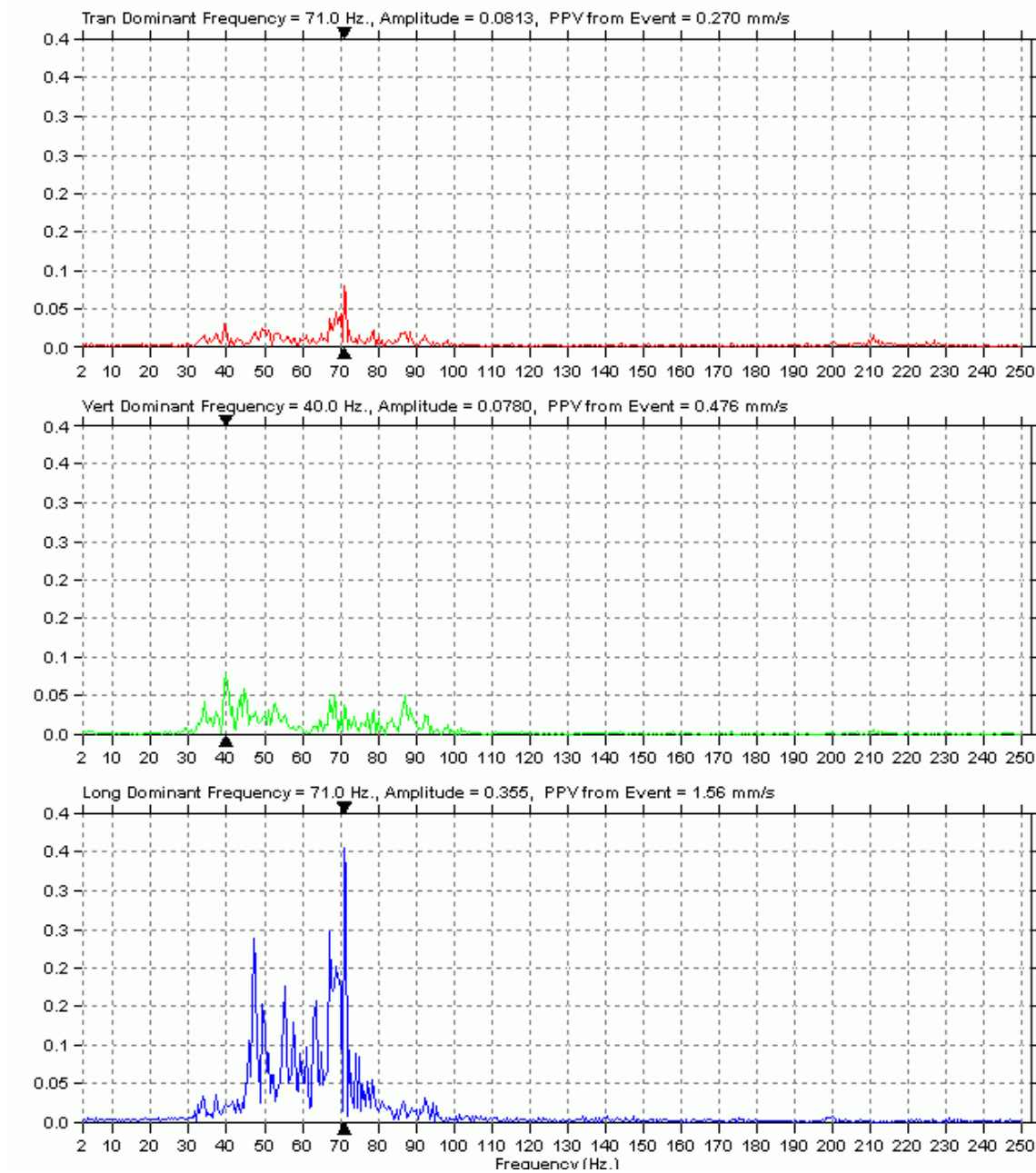
Peak Vector Sum 2.11 mm/s At 0.796 sec.



Date/Time	Long At 12:35:38 July 24, 2011	Serial Number	BE9152 V 4.37-4.35 MiniMate Plus
Trigger Source	Geo: 1.00 mm/s	Battery Level	6.7 Volts
Range	Geo: 31.7 mm/s	Calibration	December 22, 2003 by InstanTel Inc.
Sample Rate	1.0 sec. At 1024 Sps	File Name	K152DUZX.NEO
Job Number	2675		

Notes	Extended Notes
Location: SuviLahti Helsinki, ylakerta etel sein	Combo Mode July 24, 2011 12:00:14
Client: V-S Kalliotekniikka Oy	Asennettu 21.7.2011 PM
User Name: V-S Kalliotekniikka Oy	
General: MP4	

Post Event Notes



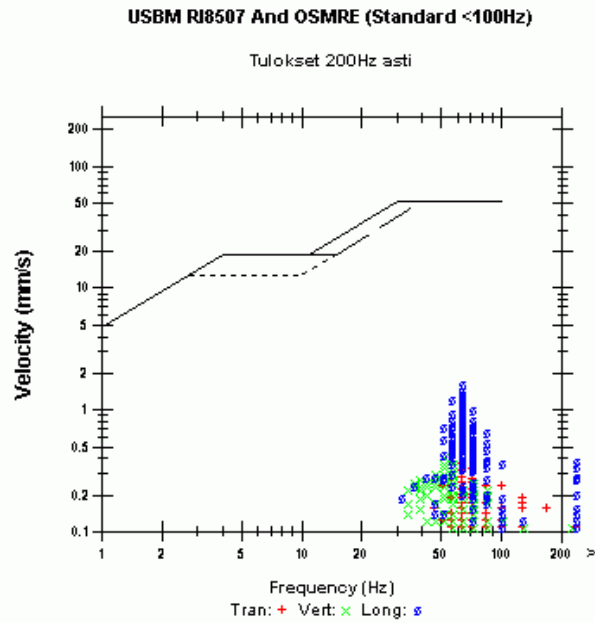
Date/Time Long At 12:35:42 July 24, 2011 Serial Number BE9152 V 4.37-4.35 MiniMate Plus  
 Trigger Source Geo: 1.00 mm/s Battery Level 6.7 Volts  
 Range Geo: 31.7 mm/s Calibration December 22, 2003 by Instatel Inc.  
 Sample Rate 1.0 sec. At 1024 Sps File Name K152DUZX.NID  
 Job Number 2675

Notes  
 Location: Suvilahti Helsinki, ylakerta etel sein  
 Client: V-S Kalliotekniikka Oy  
 User Name: V-S Kalliotekniikka Oy  
 General: MP4

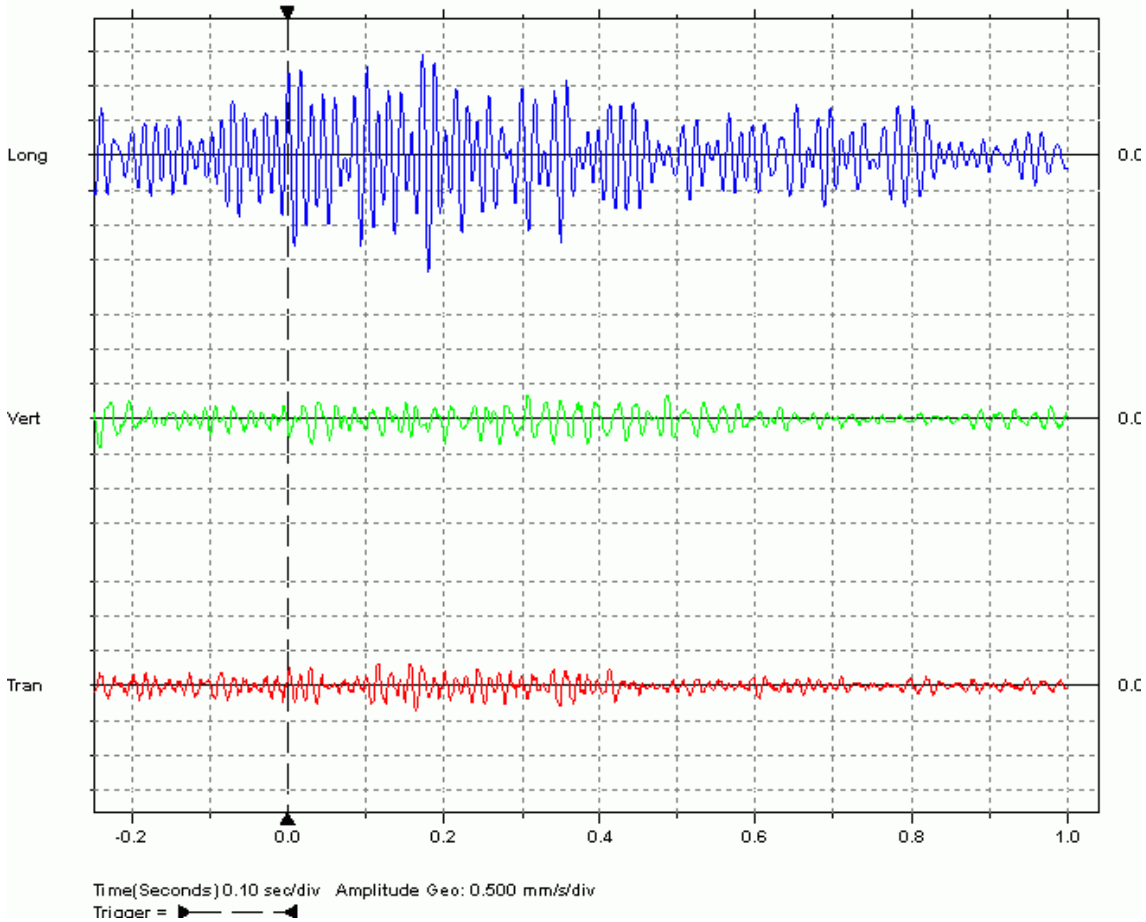
Extended Notes  
 Combo Mode July 24, 2011 12:00:14  
 Asennettu 21.7.2011 PM

Post Event Notes

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.365	0.413	1.65	mm/s
ZC Freq	64	51	64	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.164	-0.241	0.180	sec
Peak Acceleration	0.0166	0.0166	0.0630	g
Peak Displacement	0.00078	0.00123	0.00398	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	



Peak Vector Sum 1.67 mm/s At 0.180 sec.



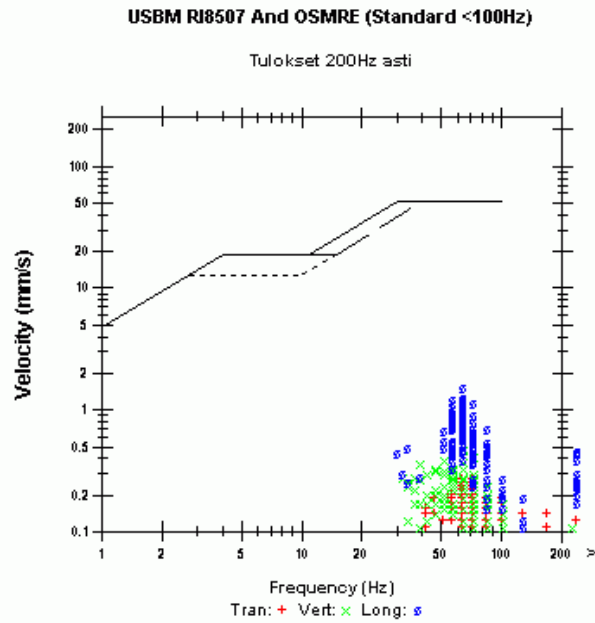
Date/Time Long At 12:35:38 July 24, 2011 Serial Number BE9152 V 4.37-4.35 MiniMate Plus  
 Trigger Source Geo: 1.00 mm/s Battery Level 6.7 Volts  
 Range Geo: 31.7 mm/s Calibration December 22, 2003 by Instatel Inc.  
 Sample Rate 1.0 sec. At 1024 Sps File Name K152DUZX.NEO  
 Job Number 2675

Notes  
 Location: Suvilahti Helsinki, ylakerta etel sein  
 Client: V-S Kalliotekniikka Oy  
 User Name: V-S Kalliotekniikka Oy  
 General: MP4

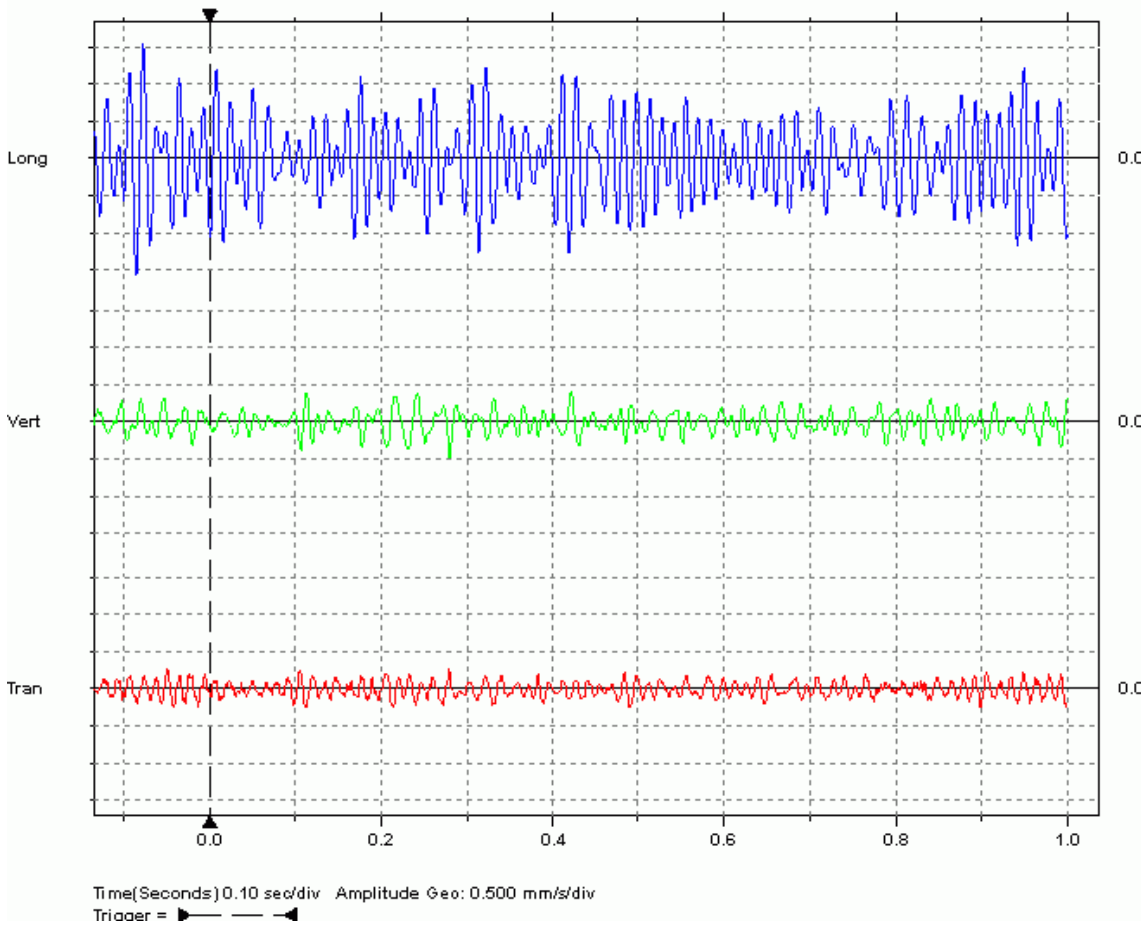
Extended Notes  
 Combo Mode July 24, 2011 12:00:14  
 Asennettu 21.7.2011 PM

Post Event Notes

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.270	0.476	1.56	mm/s
ZC Freq	73	64	64	Hz
Time (Rel. to Trig)	-0.049	0.280	-0.085	sec
Peak Acceleration	0.0166	0.0182	0.0646	g
Peak Displacement	0.00066	0.00136	0.00369	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	



Peak Vector Sum 1.57 mm/s At -0.077 sec.



Date/Time	Long At 12:35:36 July 24, 2011	Serial Number	BE9152 V 4.37-4.35 MiniMate Plus
Trigger Source	Geo: 1.00 mm/s	Battery Level	6.7 Volts
Range	Geo: 31.7 mm/s	Calibration	December 22, 2003 by InstanTel Inc.
Sample Rate	1.0 sec. At 1024 Sps	File Name	K152DUZX.NCO
Job Number	2675		

Notes	Extended Notes
Location: SuviLahti Helsinki, ylakerta etel sein	Combo Mode July 24, 2011 12:00:14
Client: V-S Kalliotekniikka Oy	Asennettu 21.7.2011 PM
User Name: V-S Kalliotekniikka Oy	
General: MP4	

Post Event Notes

