

# TAMPEREEN KANSI JA KESKUSAREENA TÄRINÄSELVITYS ASEMAKAAVAN MUUTOSTA VARTEN



1	Toimeksianto ja tavoitteet.....	3
2	Tärinän syntyminen ja ilmeneminen .....	3
2.1	Juna liikennetärinän aiheuttajana.....	5
2.2	Muita maaperässä ilmenevän tärinän aiheuttajia.....	5
2.3	Tärinän kokeminen ja havaitseminen.....	5
2.4	Tärinän ohjeelliset raja-arvot.....	6
2.4.1	Liikennetärinän raja-arvot ihmisen kokemalle tärinälle .....	6
2.4.2	Liikennetärinän ohjeelliset raja-arvot rakennuksille.....	7
2.4.3	Liikennetärinän ohjeelliset raja-arvot tärinäherkille laitteille .....	7
2.4.4	Rakentamisaikaisen tärinähaittojen raja-arvot rakennuksille ja rakenteille sekä tärinäherkille laitteille.....	8
3	Lähtötiedot.....	8
3.1	Aluekuvaus.....	8
3.2	Maaperä .....	10
3.3	Junaliikenne .....	10
3.4	Sääolosuhteet .....	13
4	Tärinämittaukset.....	13
4.1	Mittauskalusto .....	13
4.2	Mittauspisteiden sijainnit.....	13
5	Mittaustulosten tarkastelu.....	15
6	Tulosten vaikutusarviointi .....	20
6.1	Tärinäalueiden rajausmääritelmä ja heilahdusnopeuskriteerit.....	20
6.2	Rakennusten vaurioituminen.....	22
6.3	Värähtelyluokituksen tunnusluvun laskeminen .....	23
7	Arvio rakentamisaikaisista tärinävaikutuksista.....	24
7.1	Lähiympäristön rakennukset .....	24
8	Käytönaikainen toiminta tärinän aiheuttajana.....	26
9	Yhteenveto tärinämittauksista ja -vaikutuksista.....	27
10	Tärinän vaikutus kaavamuutokseen .....	28

## 1 Toimeksianto ja tavoitteet

NCC Property Developmet Oy:n toimeksiannosta olemme laatineet tärinäselvityksen "Tampereen Kansi ja Keskusareena" -hankkeen suunnitellulla kaavamuuotosalueella. Tavoitteena on ollut mitata asemakaavamuutoksen suunnitteluun liittyen Tampereen henkilöratapiha-alueella tämänhetkisen junaliikenteen aiheuttamaa tärinää sekä arvioida junaliikenteestä aiheutuvaa tärinähäiriötä rakenteiden sekä asumisen ja ihmisen tuntemuksen kannalta. Tärinämittaukset suoritettiin 16. – 23.9.2010 välisenä aikana. Lisäksi tavoitteena on ollut esittää arvio rakentamisaikaisista tärinähaitoista lähiympäristön suhteen.

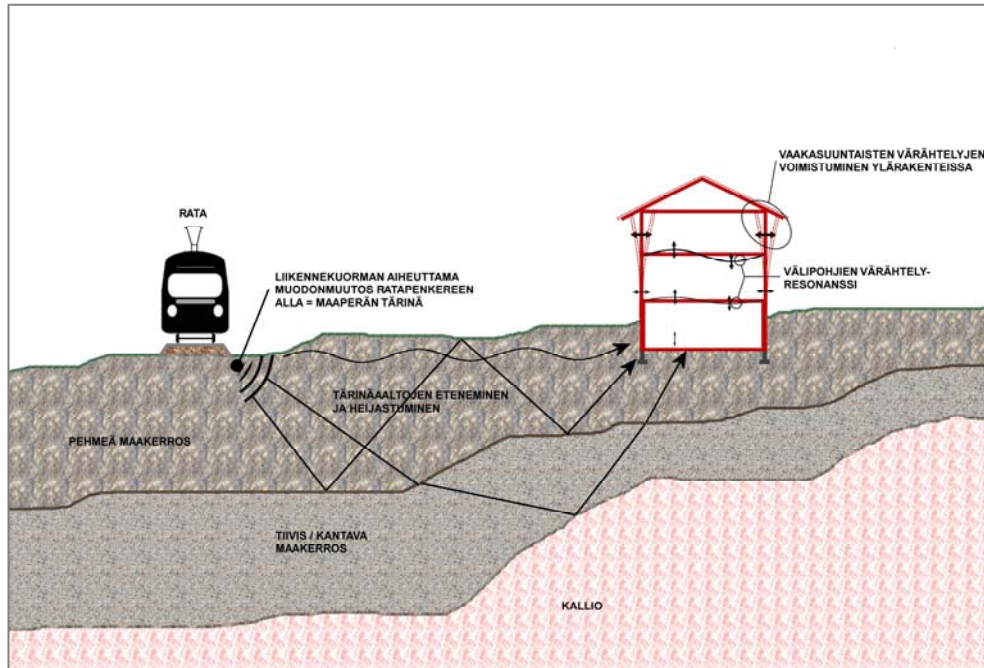
## 2 Tärinän syntyminen ja ilmeneminen

Tärinä on melun kaltainen ympäristöhaitta, joka tulee huomioida muun muassa uusien rakennusten tai asuinalueiden sijoittelussa olemassa olevien liikenneväylien läheisyyteen tai vastavuoroisesti uusien liikenneväylien sijoittelussa asuinalueiden lähelle. Myös ajallisesti lyhytkestoisten tärinähaittojen, esimerkiksi työnaikaisten lyöntipaalutuksen ja pontitustärinän vaikutuksiin on kiinnitettävä huomiota siten, ettei ympäristölle aiheuteta kohtuutonta haittaa.

Ympäristösuojelulaissa ihmisen toiminnasta johtuva tärinä rinnastetaan ympäristön pilaantumiseen, jonka seurauksena aiheutuu esimerkiksi vahinkoa tai haittaa omaisuudelle taikka sen käytölle, terveyshaittaa tai ympäristön yleisen viihtyisyyden vähentymistä. Maankäyttö- ja ympäristölaissa todetaan, että lain yleisenä tavoitteena on järjestää alueiden käyttö ja rakentaminen siten, että siinä luodaan edellytykset hyvälle elinympäristölle ja edistetään ekologisesti, taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti kestävä kehitystä.

Tärinä on mekaanista, edestakaista värähtelyä tasapainoaseman suhteen. Tärinä syntyy materiaalissa kulkevan paineaallon aiheuttamien hetkellisten muodonmuutosten seurauksena, jolloin materiaalin kuvitteellinen piste poikkeaa hetkellisesti tasapainoasemastaan palatakseen takaisin alkuperäiseen asemaansa tärinälähteen lakattua vaikuttamasta. Muodonmuutokset ilmenvät mm. materiaalin pinnan siirtyminä. Maa- ja kallioperässä värähtelyaalto menettää energiaansa etäisyyden kasvaessa ja tämä havaitaan esimerkiksi heilahdusnopeusarvon pienenemisenä. Kuvassa 1 on esitetty tärinän muodostumisen, leviämisen ja välittymisen periaate. Kohdatessaan maaperässä erilaisia rajapintoja, esimerkiksi kallionpinnassa tai erilaisten maalajien rajapintoja, värähtelyaalto tai -impulssi heijastuu ja taittuu. Tällöin varsinkin pitkäkestoisessa värähtelyssä tapahtuu ns. summautumista, jonka seurauksena värähtelyn voimakkuus kasvaa.

Meluun verrattuna tärinän suuruutta ympäristöhaittana on kuitenkin vaikeampaa arvioida, koska tärinän syntymiseen, leviämiseen ja suuruuteen vaikuttavat monet eri tekijät. Esimerkiksi rakennuksessa tärinän siirtymiseen ja haittavaikutustasoon vaikuttavat rakennuksen koko, perustamistapa, maaperäolosuhteet rakennuksen alla sekä eri rakenneosien massat ja jäykkyudet (kuva1).



Kuva 1: Tärinäaallon muodostuminen, eteneminen ja heijastuminen

Tärinän mittaamisessa ja kuvailemisessa sekä ihmisen kokemana että rakenteiden vaurioitumiskriteereiden kannalta värähtelyliikettä kuvaavana fyysikaalisena suurena käytetään useimmiten liikenopeutta (heilahdusnopeus  $v$ ), jonka yksikkö on [mm/s].

Ihmisen kannalta heilahdusnopeusarvo ilmoitetaan useimmiten taajuuspainotettuna tehollisarvona  $v_w = \text{mm/s}$ , kun taas rakenteiden suhteen ilmoitetaan useimmiten heilahdusnopeuden huippuarvo  $v_{\text{peak}} = \text{mm/s}$ . Tärinän taajuus  $f$  on aikayksikössä  $T$  tapahtuvien siirtymäjaksoiden lukumäärä eli yhden sekunnin aikana tapahtuvien jaksoiden lukumäärä. Taajuuden yksikkö on hertsi [Hz].

Heilahdusnopeuden huippuarvon suhteen on tutkimuksissa havaittu, että yleensä ihmisten jonkin asteiseksi häiriöksi kokema tärinä on suuruusluokkaa  $v \approx 1 \text{ mm/s}$ . Havaintokynnys on kuitenkin huomattavasti alhaisempi, suuruusluokkaa  $v \approx 0,2 \dots \text{mm/s}$ .

Ihmisen kokeman tärinän osalta on havaittu, että tärinän taajuuspainotettu tehollisarvo kuvaa parhaiten tärinähaittaa. Tehollisarvo RMS (Root Mean Square) lasketaan tietyltä ajanjaksolta (esim. 1 s) ja sen arvon voidaan kuvata olevan huippuarvon ja keskiarvon välissä. Taajuuspainotuksella pyritään saamaan tärinäarvo mahdollisimman yleispäteväksi taajuudesta riippumattomaksi arvoksi ihmisen kokemaa tärinää arvioitaessa. Kuva taajuuspainotuksesta, tärinän huippuarvosta sekä tehollisarvosta sekä liikennetärinään liittyviä käsitteitä on liitteessä 1.

## 2.1 Juna liikennetärinän aiheuttajana

Juna muodostaa pitkän nauhamaisen tärinälähteen, jossa akselit toimivat erillisinä pistemäisinä tärinälähteinä. Lähellä rataa yksittäiset telit ja pyörien tärinävaikutukset dominoivat tärinän siirtymä- ja taajuussisältöä, mutta etäisyyden kasvaessa tärinälähteestä eri akseleiden vaikutukset summautuvat. Tärinän syntyymiseen vaikuttavat muun muassa liikennöivän kaluston tyyppi, kunto, paino, ajonopeus, väylän tyyppi ja kunto sekä tärinälähteen ja seurattavan kohteen alapuolinen maaperän laatu, pehmeiden kerrosten paksuus ja kerroksellisuus.

Junaliikenteen aiheuttama tärinä on luonteeltaan usein toistuvaa, pitkäkestoisista ja useimmiten pehmeikköalueilla taajuuspainotukseltaan tyypillisesti noin  $f_{\text{DOM}} \approx 5 \dots 15$  Hz. Tärinähäiriön kesto on tyypillisesti matkustajajunien osalla muutamasta sekunnista kymmeneen sekunnin pituinen jakso, kun taas tavarajunien osalla tärinäjakso saattaa kestää kymmenistä sekunneista minuutteihin tavarajunan ohittaessa seurantakohteen.

Useimmiten junaliikenteestä aiheutunut tärinä vaimenee karkeissa, tiiviissä ja kantavissa maaperäolosuhteissa varsin nopeasti ja ongelmat ovat siten harvinaisempia. Liikenteen aikaansaama värähtely kovilla kitkamaa-alueilla sekä kalliossa aistitaan yleensä runkomeluna, joka rakenteissa muodostuu korkeataajuisen värähtelyn muuttuessa äänihäiriöksi.

Pehmeissä, savisissa maaperäolosuhteissa tärinä saatetaan aistia haitallisenä jopa satojen metrien päässä radasta, vaikka rakenteellisesti vaarallinen vaikutusalue on harvoin muutamia kymmeniä metrejä laajempi.

## 2.2 Muita maaperässä ilmenevän tärinän aiheuttajia

Kalliossa etenevän tärinän ainoana merkittävänä aiheuttajana Suomessa voidaan pitää räjäytyksistä aiheutuvaa tärinää. Kalliossa etenevä tärinä siirtyy maaperään ja sitä kautta esimerkiksi maanvaraisesti perustettujen rakennusten rakenteisiin.

Liikenteestä aiheutuvan tärinän lisäksi maaperässä esiintyvän ja etenevän tärinän lähteitä on useampia. Monissa tapauksissa maankaivusta, paalutuksesta, ponttauksesta, roudan rikkomisesta tai maaperän tiivistyksestä aiheutuu tärinää, joka voi vaikuttaa haitallisesti lähietäisyydellä sijaitseviin rakennuksiin.

## 2.3 Tärinän kokeminen ja havaitseminen

Yleensä tärinä saattaa aiheuttaa rakenne- ja laitevaurioiden lisäksi asumismukavuuden vähenemistä, nukkumisen ja keskittymiskyvyn häiriintymistä, pelkoa rakennevaurioista ja kiinteistön arvon alenemisestä.

Ihmiset kokevat tärinän hyvin eri tavalla ja yleensä asumismukavuuteen liittyvät tärinähaitat ilmenevät huomattavasti ennen rakenteellisia vaurioita. Varsinkin ilta- ja yöaikaan tapahtuva tärinähäiriö koetaan yleensä pahempana.

## 2.4 Tärinän ohjeelliset raja-arvot

Vaikka tärinä ympäristöhaittana veloitetaan monessa yhteydessä ottamaan huomioon rakentamisessa ja liikenneväylien suunnittelussa, Suomessa ei ole viranomaisten asettamia määräyksiä liikenteestä tai esimerkiksi rakentamistöistä aiheutuvan tärinän raja-arvoista ihmisen kokeman eikä rakennuksiin vaikuttavan tärinän suhteen, vaan suosituksia ja ohjearvoja. Liikennetärinöiden osalta tällä hetkellä noudatetaan useimmiten soveltuvin osin VTT:n laatimia suosituksia:

”Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta” VTT 2278 / Talja A. 2004 sekä

”Suositus liikennetärinän arvioinniksi maankäytön suunnittelussa” VTT Working Papers 50/ Talja A., Törnqvist J. 2006.

### 2.4.1 Liikennetärinän raja-arvot ihmisen kokemalle tärinälle

Kun kyseessä on ihmisen kokema liikenneperäinen tärinähäiriö, asuntojen värähtelyluokitus on suositeltu tehtäväksi normaalien asuinrakennusten osalla oheisessa taulukossa 1 esitettyjen raja-arvojen mukaan. Muiden tilojen osalta ihmisen kokemalle tärinähäiriölle ei ole esitetty raja-arvoja.

Värähtelyluokka	Kuvaus värähtelyolosuhteista	$v_{w,95}$	$a_{w,95}$
A	Hyvät asuinolosuhteet. Ihmiset eivät yleensä havaitse värähtelyä	$\leq 0,10$	$\leq 3,6$
B	Suhteellisen hyvät olosuhteet. Ihmiset voivat havaita värähtelyä, mutta ne eivät ole häiritseviä.	$\leq 0,15$	$\leq 5,4$
C	Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa. Keskimäärin 15 % asukkaista pitää värähtelyä häiritsevänä ja voi valittaa häiriöstä.	$\leq 0,30$	$\leq 11,0$
D	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla. Keskimäärin 25 % asukkaista pitää värähtelyä häiritsevänä ja voi valittaa häiriöstä.	$\leq 0,60$	$\leq 21,0$

Taulukko 1. Suositus asuinrakennusten värähtelyluokituksista, VTT 2278

Taulukon 1 raja-arvoja ei siis sovelleta rakennuksille, joissa ihmiset ovat pääasiassa liikkeessä tai joissa muusta kuin liikenteestä aiheutuvat häiriöt voivat olla merkittävämpiä (toimistot, kaupat, liikuntatilat yms.).

Värähtelyluokan C mukaan arvioitaviksi alueiksi katsotaan olemassa olevien väylien varsien alueet, joiden kaava laaditaan tai merkittävästi muutetaan

sekä alueet, joihin kohdistuvat ympäristövaikutukset muuttuvat uuden väylän vuoksi.

#### 2.4.2 Liikennetärinän ohjeelliset raja-arvot rakennuksille

Rakennusten vaurioitumisalttiuden arvioimiseksi liikennetärinämittausten yhteydessä Suomessa suositellaan käytettäväksi ISO 4866 standardiin (Mechanical vibration and shock – Vibration of buildings – Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings) ja standardiin ”Swiss standard for vibration damages for buildings” perustuvia raja-arvoja. Näissä standardeissa rakennusten tärinäalttiutta arvioidaan herätetärinän taajuussisällön ja rakenteen tärinäalttiusluokan mukaan.

Tärinäalttiusluokka	Dominoiva taajuus $f_{dom} = \text{Hz}$	Heilahdusnopeuden resultantin maksimi- arvo $v_{res} = \text{mm/s}$
I. Normaalikuntoiset hyvin jäykistetyt rakennukset. Teräs- ja teräsbetoniset teollisuusrakennukset, muut teräsrakenteet, sillat ja muut niihin rinnastettavat rakenteet	< 10	8
	10...30	10
	> 30	12
II. Perinteisesti rakennetut betoni- tiili- ja puurakenteiset asuin- ja liikerakennukset tai muut niihin rinnastettavat rakennukset ja rakenteet. Luokan I rakennukset, joissa on muurattuja kellariseiniä tai tiiliverhoilu.	< 10	4
	10...30	5
	> 30	6
III. Erityisen herkäät rakennukset tai rakenteet ja kulttuurihistorialliset tai yhteiskunnallisesti merkittävät rakennukset	< 10	2
	10...30	3
	> 30	4

Taulukko 2. Tärinän raja-arvoja

#### 2.4.3 Liikennetärinän ohjeelliset raja-arvot tärinäherkille laitteille

Erilaisille tärinäherkille laitteille ja koneille ei ole laadittu yhtenäistä raja-arvomäärittystä, vaan raja-arvot määräytyvät laitevalmistajien ja käyttäjien esittämien kriteerien perusteella. Useimmiten laitekohtaiset raja-arvot ilmoitetaan valmistajan toimesta joko kiihtyvyyden, heilahdusnopeuden tai siirtymän huippuarvoina taajuussidonnaisesti.

#### 2.4.4 Rakentamisaikaisten värinähaittojen raja-arvot rakennuksille ja rakenteille sekä värinäherkille laitteille

Maanrakennustöiden osalta tulee noudattaa julkaisun ”Rakentamisen aiheuttamat värinät”/ RIL 253 – 2010 mukaisia värinän raja-arvoja. Pudotustiiviykselle, lyöntipaalutukselle, maankaivulle, työmaaliikenteelle, pontitukselle yms. vastaaville värinää aiheuttaville töille raja-arvot vaihtelevat  $v = 7 \dots 12$  mm/s riippuen siitä, minkälaiselle maaperälle tarkkailtava tai varottava rakennus on perustettu. Heilahdusnopeuden perusarvot on esitetty taulukossa 3. Rakentamisaikaisen työmaaliikenteen värinävaikutusten osalta noudatetaan liikennetärinälle määritettyjä taulukon 2 raja-arvoja huomioiden työn kesto ja kohdentuminen eri vuorokauden ajoille.

Tärinäherkkien laitteiden raja-arvot määräytyvät laitevalmistajien ja käyttäjien esittämien kriteerien perusteella esitettynä useimmiten taajuussidonnaisina kiihtyvyy-, heilahdusnopeus- tai siirtymäarvoina.

1	2	3	4	5
Työmenetelmä	Pehmeä savi, leikkauslujuus < 25 kN/m <sup>2</sup>	Sitkeä savi, siltti, löyhä hiekka	Tiivis hiekka, sora, moreeni, rikkonainen tai löyhä kallio	Kiinteä kallio
Pudotustiivistys, lyöntipaalutus, maankaivu, työmaaliikenne, pontitus lyömällä tai täryttämällä, tärytivistys, porapaalutus, iskuvasaran käyttö (ei kallion rikkominen)	5 mm/s	7 mm/s	10 mm/s	12 mm/s
Kun sora tai moreeni on löyhää, arvioidaan perusarvo sarakkeen 3 mukaisesti				

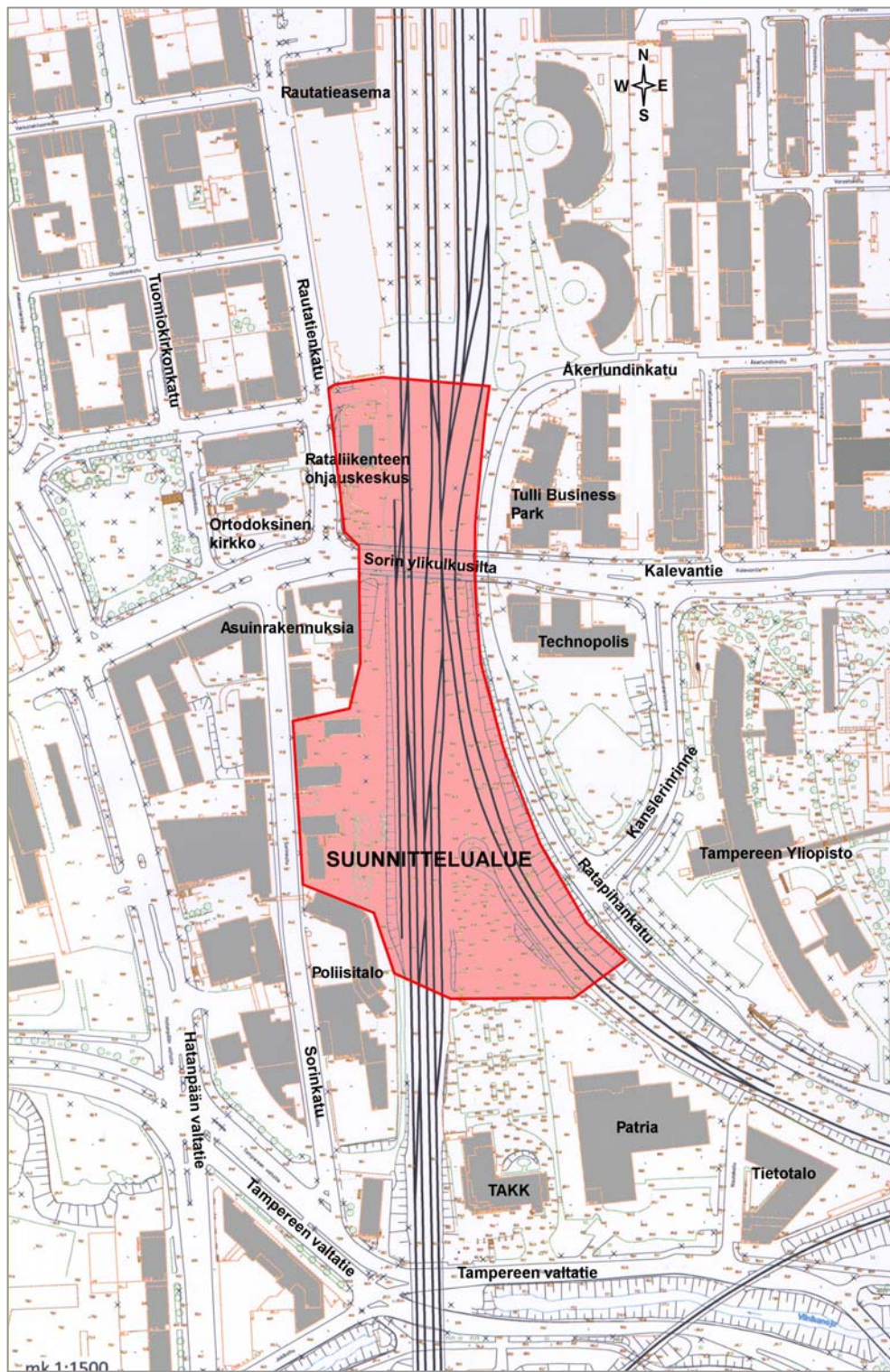
Taulukko 3: Heilahdusnopeuden perusarvo  $v_0$  (mm/s) työmenetelmittäin ja erilaisille maapohjille perustetuille rakennuksille (RIL253-2010)

### 3 Lähtötiedot

#### 3.1 Aluekuvaus

Suunnittelualue sijaitsee Tampereen rautatien liikennepaikalla (Tampereen asema 187+389) ratakilometriviälillä noin 186+720 - 187+090. Alue rajoittuu Sorin ylikulkusillan pohjoispuolella noin 115 m etäisyydelle sekä Jyväskylän radan ja Helsingin radan väliselle maa-alueelle Sorin ylikulkusillan eteläpuolella noin 255 metrin etäisyydelle sillasta. Rata-alueen itäpuolella suunnittelualue rajoittuu Ratapihankatuun ja lännessä osin Sorinkatuun sekä Rautatienkatuun sekä em. katujen varrella oleviin tontteihin. Alueen sijainti on esitetty oheisen kuvan 2 asemapiirroksessa.





Kuva 2: Suunnitellun kaavamuutosalueen sijaintikartta

### 3.2 Maaperä

Ramboll Oy:n laatiman rakennettavuusselvityksen (Rakennettavuusselvitys asemakaavan muutosta varten, 82131091/10.9.2010) mukaan alueella on aikaisemmin tehty maaperätutkimuksia mm. Tampereen kaupungin ja Liikenneviraston sekä yksityisten yritysten toimesta. Tutkimukset on tehty pääasiassa lähialueella olemassa olevien rakennusten sekä radan perustamistavan määrittämiseksi. Em. rakennettavuusselvityksen mukaan alueen keskiosan läpi kulkee länsi - itäsuunnassa soraharju. Harjumuodostelmassa on runsaasti kiviä ja lohkareita. Tutkimusten aikana suurimmat lohkareiden läpäisyt olivat noin 1,2 m. Alueen pohjois- ja eteläreunalla harjun reuna-alueella maaperä on silttiä ja silttistä hiekkaa. Hienorakeisten maakerrosten paksuus nykyisten täyttöjen alla vaihtelee 1...6 metriin. Pohjatutkimuksissa kalliopinta on varmistettu porakonekairauksella alueen keski-alueella ja se on 27 metrin syvyydessä tasolta +66,5.

Maanpinnan korkeusasema vaihtelee suunnittelualueella välillä ~ +91,5...+95,5 ja rata-alueen korkeusasema vaihtelee välillä +92,0...+94,8.

17.4. – 19.8.2010 välisenä aikana tehtyjen havaintojen mukaan pohjavesi sijaitsee noin 18 m syvyydellä maan pinnasta.

Geologisen tutkimuskeskuksen maaperäkartan tulkin mukaan Tampereen henkilöratapiha sekä Sorinahteen sillan eteläpuolinen osa suunnittelu-alueella on pääasiassa hiekkamoreenialuetta.

### 3.3 Junaliikenne

Tampereen henkilöratapiha on keskeinen junaliikenteen solmukohta. Tampereen liikennepaikan pääkulkuyhteydet ovat Helsinki – Tampere, Helsinki – Vaasa, Helsinki – Rovaniemi sekä Joensuu – Turku ratayhteys.

Suunnittelualueen eteläosassa Helsingin suunnasta raiteita on viisi (5) rinnakkain ja Jyväskylän suunnasta 2 raidetta rinnakkain. Sorinahteen ylikulkusillan kohdalla henkilöratapihalla raiteita on 6 rinnakkain.

Rataosuus on sähköistetty, jatkuvakiskoinen ja ratapölkyt ovat betonia.

Kuvassa 3 on näkymä Sorin ylikulkusillalta etelään Helsinkiin suuntaan ja kuvassa 4 näkymä pohjoiseen Seinäjoen suuntaan. Tampereen henkilöliikenteen asemarakennus on Sorin ylikulkusillan ja suunnittelualueen pohjoispuolella.

Alueen eteläosassa raiteilla no 71, 72, 52 junien nopeusrajoitukset ovat 80 km/h siten, että rajoitus laskee ennen Sorin ylikulkusiltaa 35 km/h rajoituksen. Muilla suunnittelualueen raiteilla nopeusrajoitukset ovat 35...40 km/h. Raiteiden numerointi on esitetty kuvissa 3 ja 4.

Saatujen tietojen mukaan mittausjakson aikana suunnittelualueen ohitti keskimäärin noin 70 henkilöjunaa vuorokaudessa Tampereen ja Helsingin välillä osuudella sekä Turku – Tampere – Jyväskylä osuudella 28 henkilöjunaa vuorokaudessa. Tavarajunia kulki vuorokaudessa keskimäärin 44 kpl. VR:n toimittamien junatietojen mukaan seurantajakson aikana painavin tavarajuna oli TA 5012 RAT-HL (Rautaruukki - Hämeenlinna). Junan bruttopaino oli 3530 t + veturit 172 t = 3702 t, pituus 562 m + veturit 38 m = 600 m, akseliluku 168 aks. + veturit 8 aks. ja vaunuja 42 kpl. Junan aikataulumukaiset ajat Tampereen asemalla olivat klo 2:32 / 2:38 ja sivuutuspäivä oli 17.9.2010. Muista seuranta-ajan junista on tarkempia tietoja taulukossa 4.



Kuva 3: Näkymä Sorin ylikulkusillalta etelään Helsingin suuntaan. Raitteet numeroitu raiteistokaaviosta 4021-030-516-I-3/4 saadun tiedon mukaisesti.



Kuva 4: Näkymä Sorin ylikulkusillalta pohjoiseen Seinäjoen suuntaan. Raitteet numeroitu raiteistokaaviosta 4021-030-516-I-3/4 saadun tiedon mukaisesti.

Pvm	Juna no	Veturit	Laji	Lias	Eroas	Lto	Brt t	Pituus m	Aks kpl	Vaunu lkm	Klo	Huom
100916	60	1 SM3	S	OL	ILR	O	329	159	24	6	22:02	TPE lähtö
100916	93	1 SR1	IC	TPE	JY	L	304	158	24	6	22:05	TPE lähtö
100916	3732	1 SR1	T	RMA	TPE	T	1224	623	124	41	22:15	TPET tulo
100918	3440	1 SR1	TA	JSK	RMA	O	1132	252	60	15	23:06	TPE lähtö
100918	94	1 SM3	S	TPE	ILR	L	321	159	24	6	23:34	TPE lähtö
100918	269	1 SR2	P	ILR	TPE	T	771	428	64	16	23:35	TPE tulo
100919	3167	3 DV12	TA	RI	TPET	T	344	112	16	8	0:35	TPET tulo
100919	273	1 SR2	P	ILR	TPE	T	583	317	48	12	0:42	TPE tulo
100919	273	1 SR1	P	TPE	OL	L	783	428	64	16	1:15	TPE lähtö
100920	60	1 SM3	S	OL	ILR	O	321	159	24	6	21:56./22:02	TPE ajat
100920	93	1 SR2	IC	HKI	TPE	T	302	158	24	6	21:54	TPE tulo
100920	93	1 SR1	IC	TPE	JY	L	302	158	24	6	22:05	TPE lähtö
100920	3628	2 SR1	TR	TPE	RI	L	1391	443	88	24	22:11	VKA lähtö
100920	933	1 SR1	P	TKU	TPE	T	503	296	44	11	23:03	TPE tulo
100921	273	1 SR2	P	ILR	TPE	T	565	317	48	12	0:42	TPE tulo
100921	273	1 SR1	P	TPE	OL	L	833	480	72	18	1:15	TPE lähtö
100922	273	1 SR2	P	ILR	TPE	T	573	317	48	12	0:42	TPE tulo
100922	273	1 SR1	P	TPE	OL	L	841	480	72	18	1:15	TPE lähtö
100921	4036	2 SR1	TA	KER	TPE	T	1338	251	60	19	0:46	TPET tulo
100922	3732	1 SR1	T	RMA	TPET	T	732	632	104	42	21:24	TPET tulo
100922	934	1 SR1	IC2	TPE	TKU	L	420	211	32	8	21:25	TPE lähtö
100922	3608	1 SR2	TR	TPE	RI	L	1977	581	110	29	21:29	VKA lähtö
100922	3051	1 SR2	TK	PSL	OL	O	506	191	32	8	21:32/21:32	TPE ajat
100923	273	1 SR2	P	ILR	TPE	T	565	317	48	12	0:42	TPE tulo
100923	273	1 SR1	P	TPE	OL	L	833	480	72	18	1:15	TPE lähtö
100923	424	1 DM12	H	HPK	TPE	T					13:41	TPE tulo
100923	3238	1 DV12	TL	PKO	TPET	T	926	278	50	15	13:45	TPET tulo

Taulukko 4: Seurantajakson aikana kulkeneiden junien tietoja.

Kaikki henkilöjunat pysähtyivät asemalla. Myös tavarajunat pysähtyivät Tampereen asemalla tai suunnittelualueella. Tästä johtuen nopeudet olivat varsin alhaisia. Havaintojen perusteella kaikkien junien käyttämät ohitusnopeudet suunnittelualueella olivat käytännössä < 50 km/h myös ylikulkusillan eteläpuolella. Esimerkiksi 23.9. klo Helsingistä Tampereelle klo 14:04 saapuneen S87-junan (Pendolino) nopeus oli Sorinahteen sillan eteläpuolella noin 30...35 km/h ja Helsinkiin lähtevän IC<sup>2</sup> 176 -junan nopeus korkeintaan 45...47 km/h. Tavarajunien nopeudet olivat vielä alhaisempia, usein ne pysähtyivät tai hidastivat nopeutta huomattavasti suunnittelualueella ja jatkoivat matkaa lyhyen odottelun jälkeen.

### 3.4 Sääolosuhteet

Mittausten aikana säätilalla ei ollut vaikutusta junaliikennöinnin osalta. Junien kulku oli normaalia, eikä säätila aiheuttanut tärinämittausten kannalta oleellisia epävarmuuksia muutamasta seurantajakson aikana tapahtuneesta varsin runsaasta sadekuurosta huolimatta.

## 4 Tärinämittaukset

### 4.1 Mittauskalusto

Tärinämittaukset tehtiin 16. – 23.9.2010 välisenä aikana InstanTEL MM Plus – merkkisillä, tärinän heilahdusnopeutta  $v$  [ mm/s ] ajan funktiona mittaavilla ja tallentavilla 3 - kanavaisilla seismografeilla. Kyseisen mittalaitteen mittaustaajuusalue käytössä olleilla antureilla on 2...250 Hz / 1...300 Hz ja mittaustarkkuus 0,0159 mm/s. Näytteenottotiheytenä mittauksissa käytettiin 2048 kpl/s/kanava. Mittausanturina käytettiin 3-komponenttigeofoneja. Mittausanturi (geofoni) asennettiin maaperään siten, että maahan kaivettiin matala asennuskuoppa pintamaakerroksen alapuolelle. Anturin maakontakti toteutettiin maahan lyödyllä teräksisellä maapiikillä, johon anturi kiinnitettiin jäykästi pulttiliitoksella. Tämän jälkeen anturin ympäryksessä täytettiin maaineksella ja tiivistettiin. Kaikkien antureiden pitkittäinen (Long) mittaussuunta oli ratalinjan kanssa samansuuntainen, joten poikittainen (Tran) vaakasuunta oli kohtisuoraan raiteen keskilinjan nähden.

Kaikki mittalaitteet oli kytketty GSM-verkon avulla kaukohallintaan mittaustulosten lähettämiseksi ja tulosten noutamiseksi.

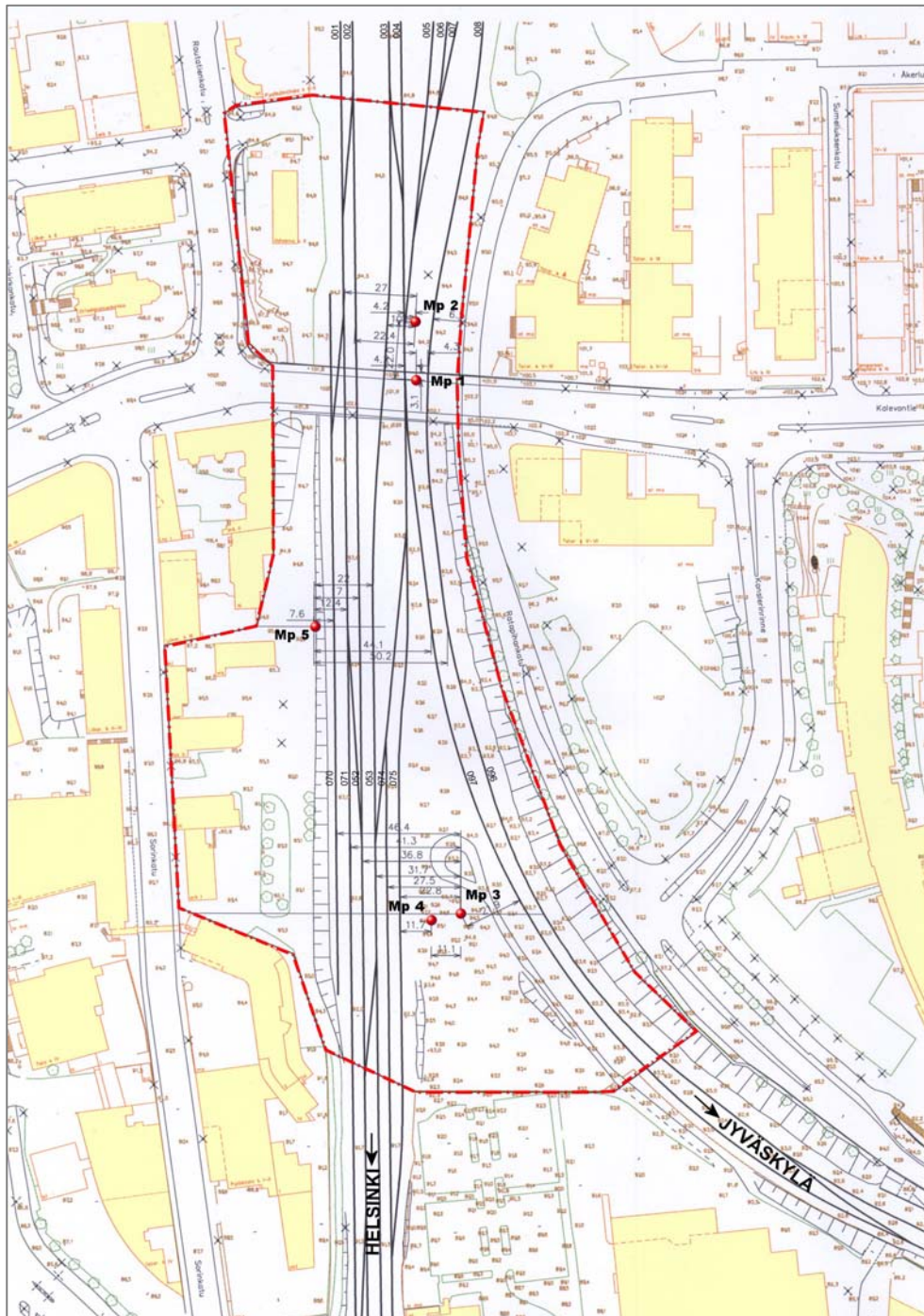
Antureiden asennusten jälkeen jokaisen laitteiston toiminta tarkastettiin mittalaitteen diagnostiikkatoiminnolla. Tämän jälkeen suoritettiin kaikkien mittauskanavien osalla virhepoikkeaman (offset) poisto. Mikäli offset-asetus "ajautui" seuranta-aikana esimerkiksi lämpötilavaihteluista johtuen pois asetuksesta, on ajautuma poistettu signaalinkäsittelyssä tulosten analysointivaiheessa.

Valvottuja mittausajankappaleita olivat 16.9. ja 23.9. päiväajat, jolloin voitiin tehdä havainnot junaliikenteestä sekä muista mahdollisesti mittaustuloksiin vaikuttavista seikoista.

### 4.2 Mittauspisteiden sijainnit

Mittauspisteitä alueella oli käytössä samanaikaisesti yhteensä viisi (5) kappaleita. Neljä mittauspistettä oli maaperässä ja yksi ylikulkusillan pilarissa. Maaperän mittauspisteen asennus- ja sijoituspaikkaan vaikuttivat muun muassa pintamateriaali mahdollisessa asennuskohdassa sekä alueella tapahtuvan muun kuin junaliikenteen aiheuttaman tärinähäiriön poissuodattaminen. Asennuskohtien valintaa rajoittivat tiettyjen alueiden asfaltointi tai kova tiepohja sekä liikennöintialueet. Lisäksi ennustetut, ajoittaiset sadekuurot vaikuttivat mittauspisteiden sijoituspaikkojen valintaan siten, että alaviin maastokohtiin, joihin sadevesi suurella todennäköisyydellä kerääntyisi, ei mittauspisteitä voitu asentaa. Tämä rajoitti toisaalta selvästi rata-alueen länsipuolen mittaustaikojen valintaa.

Mittauspisteiden sijainnit on esitetty kuvan 5 asemapiirroksessa.



Kuva 5: Tärinämittauspisteiden sijaintipiirros suunnittelualueella

- Mittauspiste Mp 1 oli Sorin ylikulkusillan pilarissa noin 4 metrin etäisyydellä ratapihan lähimmän raiteen keskilinjasta
- Mittauspiste Mp 2 oli maassa noin 4 metrin etäisyydellä ratapihan lähimmän raiteen keskilinjasta
- Mittauspiste Mp 3 oli maassa noin 23 metrin etäisyydellä pääradan lähimmän raiteen keskilinjasta ja noin 22 metrin etäisyydellä lähimmästä Jyväskylän suunnan raiteen keskilinjasta.
- Mittauspiste Mp 4 oli maassa noin 11 metrin etäisyydellä pääradan lähimmän raiteen keskilinjasta ja noin 33 metrin etäisyydellä lähimmästä Jyväskylän suunnan raiteen keskilinjasta.

- Mittauspiste Mp 5 oli maassa noin 7,5 metrin etäisyydellä pääradan lähimmän raiteen keskilinjasta

## 5 Mittaustulosten tarkastelu

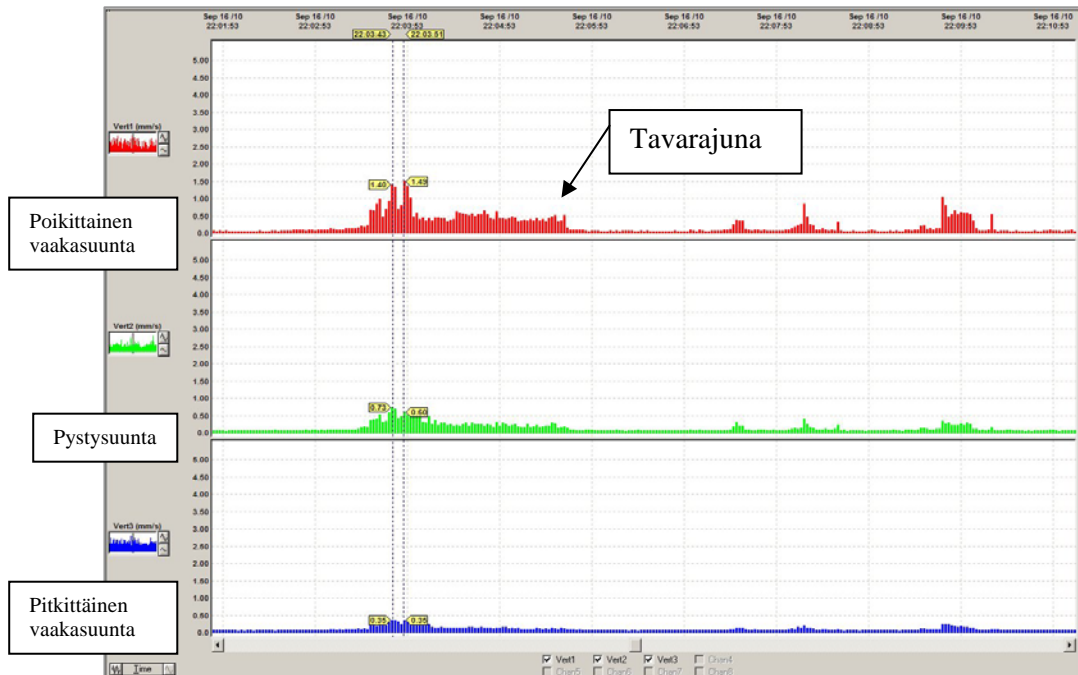
Tärinää mitattiin yhtäjaksoisesti viikon ajan 16. – 23.9.2010. Kaikissa mittauspisteissä saatiin taltioitua riittävä määrä junaohitusten aiheuttamia tärinätapauhtumia.

Arviointia varten mittaustuloksista on valittu mittauspistekohtaisesti 25...30 itseisarvoltaan suurinta junaohituksen aiheuttamaa heilahdusnopeusarvoa. Tulokset on koottu taulukoihin, jotka ovat liitteenä 2. Tyypilliset esimerkit heilahdusnopeuskuvaajista ovat liitteenä 3.

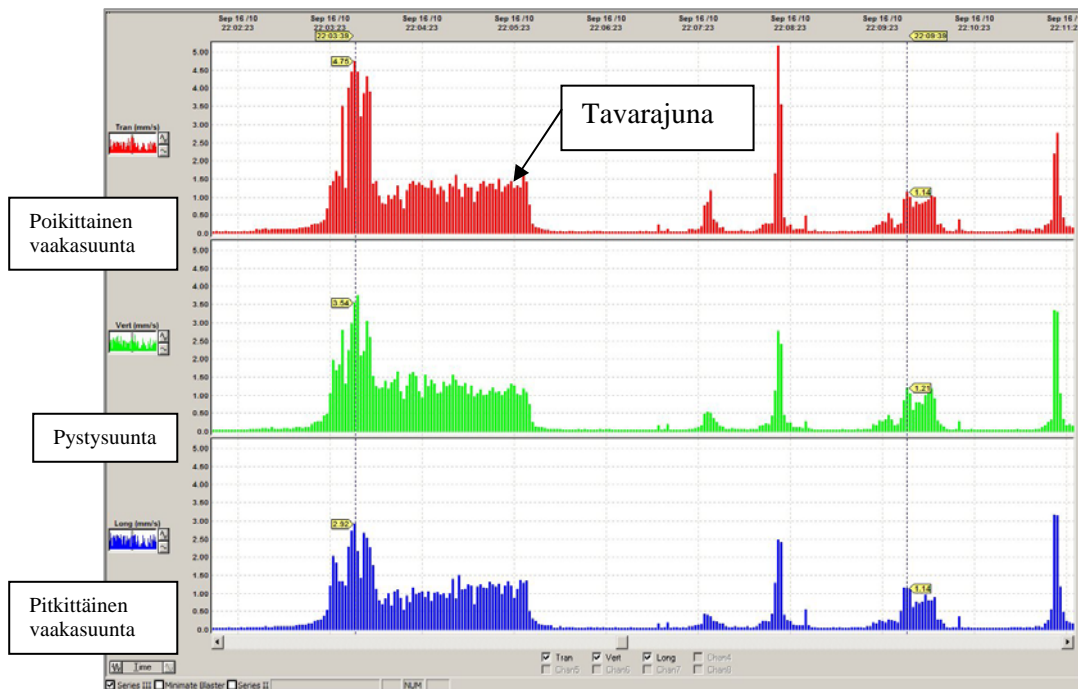
Junaliikenteen aiheuttamat tärinän heilahdusnopeuden huippuarvot ( $v_{\text{peak}}$  = mm/s) eri mittauspisteissä olivat:

- siilipilarin mittauspisteessä mp 1 heilahdusnopeuden huippuarvot vaihtelivat merkittävimmän poikittaisen vaakakomponentin (Tran) osalla välillä  $v_{\text{peak}} \approx 1,1 \dots 2,0$  mm/s taajuusvaihteluvälillä  $f_{\text{zc}} \approx 18 \dots 28$  Hz. Pystysuuntaisen komponentin (Vert) heilahdusnopeuden huippuarvot vaihtelivat välillä  $v_{\text{peak}} \approx 0,2 \dots 0,6$  mm/s taajuusvaihteluvälillä  $f_{\text{zc}} \approx 8 \dots 54$  Hz. Pitkittäisen vaakasuunnan (Long) vastaavat huippuarvot olivat välillä  $v_{\text{peak}} \approx 0,1 \dots 0,3$  mm/s taajuusvaihteluvälillä  $f_{\text{zc}} \approx 9 \dots 73$  Hz. (ZC = zero crossing = taajuus huippuarvon kohdalla).
- maaperän mittauspisteessä mp 2 heilahdusnopeuden huippuarvot vaihtelivat merkittävimmän poikittaisen vaakakomponentin (Tran) osalla välillä  $v_{\text{peak}} \approx 2,2 \dots 6,4$  mm/s taajuusvaihteluvälillä  $f_{\text{zc}} \approx 25 \dots 45$  Hz. Pystysuuntaisen komponentin (Vert) heilahdusnopeuden huippuarvot vaihtelivat välillä  $v_{\text{peak}} \approx 1,9 \dots 5,2$  mm/s taajuusvaihteluvälillä  $f_{\text{zc}} \approx 27 \dots 57$  Hz. Pitkittäisen vaakasuunnan (Long) vastaavat huippuarvot olivat välillä  $v_{\text{peak}} \approx 1,3 \dots 4,9$  mm/s taajuusvaihteluvälillä  $f_{\text{zc}} \approx 4 \dots 8$  Hz.
- maaperän mittauspisteessä mp 3 heilahdusnopeuden huippuarvot eri komponenttien osalla olivat keskenään samaa suuruusluokkaa. Poikittaisen vaakakomponentin (Tran) osalla huippuarvot vaihtelivat välillä  $v_{\text{peak}} \approx 0,3 \dots 1,0$  mm/s taajuusvaihteluvälillä  $f_{\text{zc}} \approx 22 \dots 73$  Hz, pystysuunnan osalla välillä  $v_{\text{peak}} \approx 0,4 \dots 0,9$  mm/s taajuusvaihteluvälillä  $f_{\text{zc}} \approx 23 \dots 93$  Hz ja pitkittäisen vaakasuunnan (Long) osalla välillä  $v_{\text{peak}} \approx 0,3 \dots 1,0$  mm/s taajuusvaihteluvälillä  $f_{\text{zc}} \approx 22 \dots 93$  Hz.
- maaperän mittauspisteessä mp 4 heilahdusnopeuden huippuarvot pysty- ja pitkittäisen (Long) komponenttien osalla olivat keskenään samaa suuruusluokkaa, poikittainen (Tran) vaakakomponentti oli määräävä. Poikittaisen vaakakomponentin (Tran) osalla huippuarvot vaihtelivat välillä  $v_{\text{peak}} \approx 0,4 \dots 1,2$  mm/s taajuusvaihteluvälillä  $f_{\text{zc}} \approx 21 \dots 54$  Hz, pystysuunnan osalla välillä  $v_{\text{peak}} \approx 0,2 \dots 0,9$  mm/s taajuusvaihteluvälillä  $f_{\text{zc}} \approx 19 \dots 79$  Hz ja pitkittäisen vaakasuunnan (Long) osalla välillä  $v_{\text{peak}} \approx 0,3 \dots 0,6$  mm/s taajuusvaihteluvälillä  $f_{\text{zc}} \approx 19 \dots 57$  Hz.
- maaperän mittauspisteessä mp 5 heilahdusnopeuden huippuarvot määräävän poikittaisen (Tran) vaakakomponentin osalla huippuarvot vaihtelivat välillä  $v_{\text{peak}} \approx 0,6 \dots 1,9$  mm/s taajuusvaihteluvälillä  $f_{\text{zc}} \approx 22 \dots 60$  Hz, pystysuunnan osalla välillä  $v_{\text{peak}} \approx 0,5 \dots 1,4$  mm/s taajuusvaihteluvälillä  $f_{\text{zc}} \approx 45 \dots 68$  Hz ja pitkittäisen vaakasuunnan (Long) osalla välillä  $v_{\text{peak}} \approx 0,5 \dots 1,3$  mm/s taajuusvaihteluvälillä  $f_{\text{zc}} \approx 18 \dots 68$  Hz.

Kuvissa 6 - 10 on esitetty tyypilliset esimerkit tärinätason noususta eri mittauspisteissä, kun sama tavarajuna ohittaa ao. mittauspisteen.

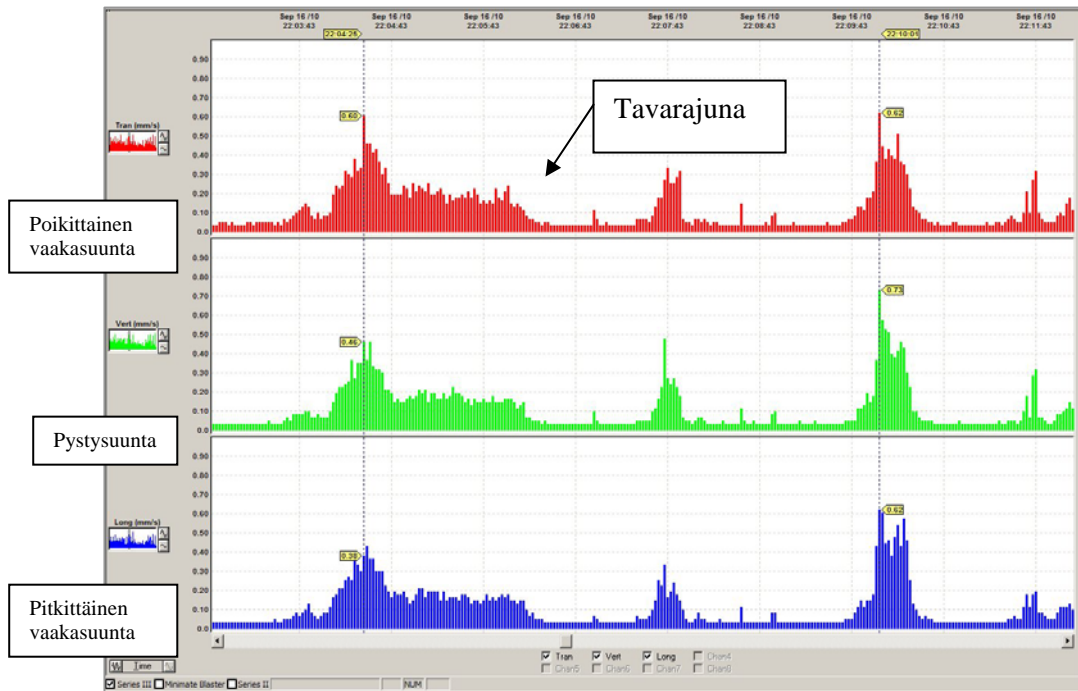


Kuva 6: Tavarajunan ohituksen aiheuttama tärinä mittauspisteessä 1. Ylin heilahdusnopeuskuvaaja (punainen) on ratalinjaan nähden kohtisuora vaakakomponentti Tran, keskimäinen (vihreä) pystysuuntainen komponentti Vert sekä alin (sininen) ratalinjaan nähden samansuuntainen vaakakomponentti Long. Heilahdusnopeuden pysty akselin skaalaus kaikilla kanavilla 0 – 5,5 mm/s ja vaak-akselin aikaikkuna noin 10 min.

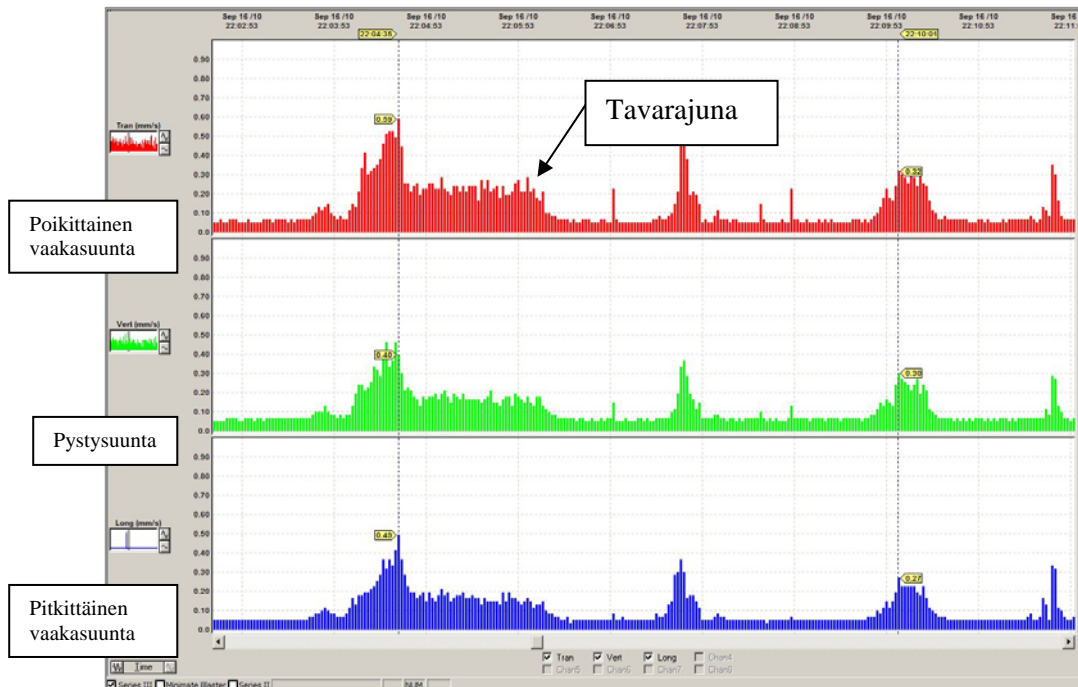


Kuva 7: Tavarajunan ohituksen aiheuttama tärinä mittauspisteessä 2. Ylin heilahdusnopeuskuvaaja (punainen) on ratalinjaan nähden kohtisuora vaakakomponentti Tran, keskimäinen (vihreä) pystysuuntainen komponentti Vert sekä alin (sininen) ratalinjaan nähden samansuuntainen vaakakomponentti Long. Heilahdusnopeuden pysty akselin skaalaus kaikilla kanavilla 0 – 5,5 mm/s ja vaak-akselin aikaikkuna noin 10 min.

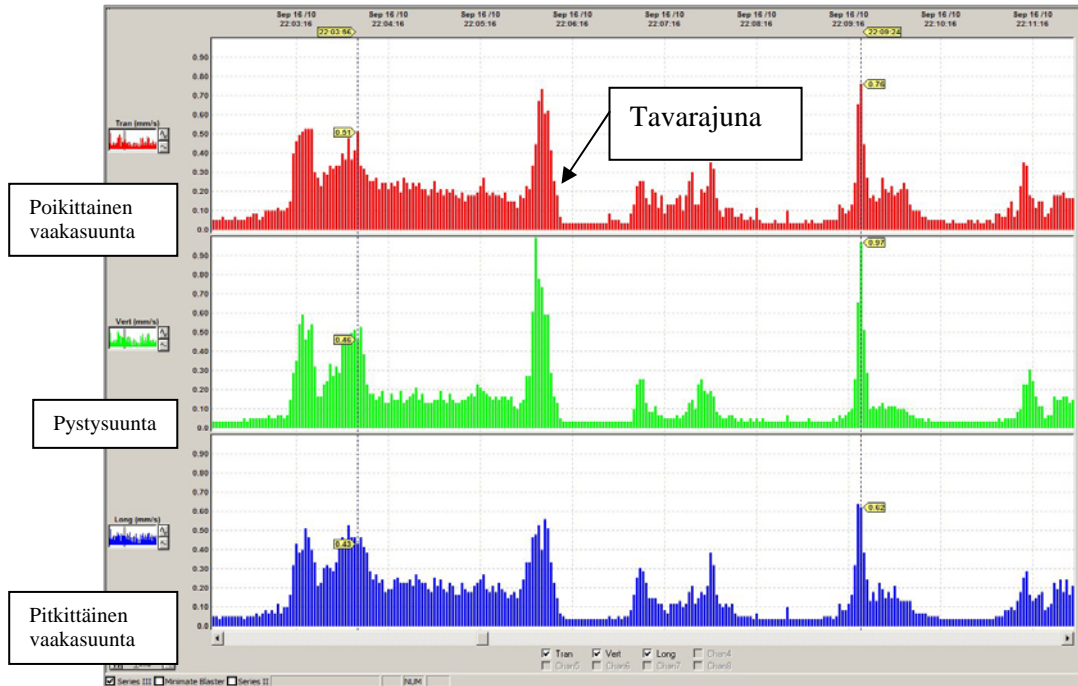




Kuva 8: Tavarajunan ohituksen aiheuttama värinä mittauspisteessä 3. Ylin heilahdusnopeuskuvaaja (punainen) on ratalinjaan nähden kohtisuora vaakakomponentti Tran, keskimääräinen (vihreä) pystysuuntainen komponentti Vert sekä alin (sininen) ratalinjaan nähden samansuuntainen vaakakomponentti Long. Heilahdusnopeuden pysty akselin skaalaus kaikilla kanavilla 0 – 1,0 mm/s ja vaak akselin aikaikkuna noin 10 min.



Kuva 9: Tavarajunan ohituksen aiheuttama värinä mittauspisteessä 4. Ylin heilahdusnopeuskuvaaja (punainen) on ratalinjaan nähden kohtisuora vaakakomponentti Tran, keskimääräinen (vihreä) pystysuuntainen komponentti Vert sekä alin (sininen) ratalinjaan nähden samansuuntainen vaakakomponentti Long. Heilahdusnopeuden pysty akselin skaalaus kaikilla kanavilla 0 – 1,0 mm/s ja vaak akselin aikaikkuna noin 10 min.



Kuva 10: Tavarajunan ohituksen aiheuttama tärinä mittauspisteessä 5. Ylin heilahdusnopeuskuvaaja (punainen) on ratalinjaan nähden kohtisuora vaakakomponentti Tran, keskimäinen (vihreä) pystysuuntainen komponentti Vert sekä alin (sininen) ratalinjaan nähden samansuuntainen vaakakomponentti Long. Heilahdusnopeuden pystyakselin skaalaus kaikilla kanavilla 0 – 1,0 mm/s ja vaaka-akselin aikaikkuna noin 10 min.

Junaliikenteen aiheuttamat itseisarvoltaan suurimmat heilahdusnopeusarvot eri mittauspisteissä on esitetty taulukossa 5. On huomattava, että itseisarvoltaan suurin heilahdusnopeusarvo eri mittaussuunnissa tai eri mittauspisteissä ei välttämättä ollut saman junan aiheuttama.

Mittaus- piste	Tran	Vert	Long	PVS	Huomautukset
	Peak	Peak	Peak	Max	
	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	
<b>Mp 1</b>	1,97	0,64	0,32	1,99	Tran ja PVS sama juna, muut erillisiä
<b>Mp 2</b>	6,40	5,19	4,89	7,52	Tran, Long ja PVS sama juna, Vert eri junasta
<b>Mp 3</b>	0,95	0,89	0,98	1,09	Long ja PVS sama juna, muut erillisiä
<b>Mp 4</b>	1,17	0,94	0,59	1,37	Kaikissa sama juna
<b>Mp 5</b>	1,92	1,37	1,37	2,03	Tran ja PVS sama juna, muut erillisiä

Taulukko 5: Itseisarvoltaan suurimmat heilahdusnopeusarvot.

Seurantajakson painavin juna ohitti alueen 17.9.2010 klo 2:38 yöllä. Junan pituus oli 600 m ja koko junan paino vetureineen 3702 tonnia. Juna tuli Rautaruukista, seiso hetken asemalla ja jatkoi kohti Hämeenlinnaa. Junan nopeus suunnittelualueella oli ilmeisesti niin alhainen, että myös tärinäarvot eri mittauspisteissä jäivät huomattavan alhaisiksi. Painavimman tavarajunan aiheuttamat heilahdusnopeuden huippuarvot eri mittauspisteissä ja eri mitaussuunnissa on esitetty oheisessa taulukossa 6.

Mittauspiste	Pvm	Klo	Tran	Vert	Long	Huomautukset
			Peak mm/s	Peak mm/s	Peak mm/s	
<b>Mp 1</b>	17.9.	02:38	<b>0,22</b>	<b>0,16</b>	<b>0,14</b>	Tavarajuna 5012, jakson painavin
<b>Mp 2</b>	17.9.	02:38	<b>0,46</b>	<b>0,41</b>	<b>0,38</b>	Tavarajuna 5012, jakson painavin
<b>Mp 3</b>	17.9.	02:38	<b>0,24</b>	<b>0,19</b>	<b>0,16</b>	Tavarajuna 5012, jakson painavin
<b>Mp 4</b>	17.9.	02:38	<b>0,35</b>	<b>0,25</b>	<b>0,19</b>	Tavarajuna 5012, jakson painavin
<b>Mp 5</b>	17.9.	02:38	<b>0,49</b>	<b>0,32</b>	<b>0,44</b>	Tavarajuna 5012, jakson painavin

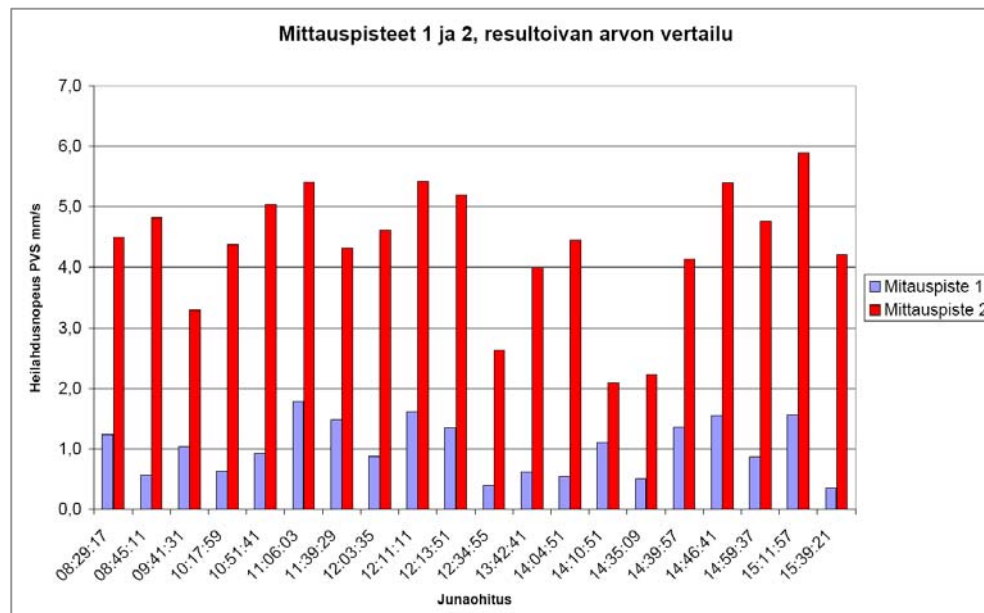
Taulukko 6: Seuranta-ajan painavimman junan aiheuttama heilahdusnopeuden huippuarvo (mm/s) eri mittauspisteissä.

Taajuusanalyysien FFT perusteella viidentoista (15) merkittävimmän tärinä tapahtuman taajuuspainotus eri mittauspisteissä on esitetty taulukossa 7. Eri tapahtumien painotusjakaumasta on laadittu kuvat, jotka ovat liitteenä 4.

	MP 1			MP 2			MP 3		
	Tran Hz	Vert Hz	Long Hz	Tran Hz	Vert Hz	Long Hz	Tran Hz	Vert Hz	Long Hz
<b>Min</b>	12,0	6,8	6,8	11,9	14,5	16,0	12,5	12,7	13,1
<b>Max</b>	42,0	18,0	18,8	44,0	41,0	41,5	78,8	58,9	62,3
<b>Average</b>	23,3	12,1	13,6	28,7	21,0	27,8	48,6	47,6	49,8
	MP 4			MP 5			Tran Hz	Vert Hz	Long Hz
	Tran Hz	Vert Hz	Long Hz	Tran Hz	Vert Hz	Long Hz			
<b>Min</b>	20,0	13,0	18,5	11,9	14,5	16,0	-	-	-
<b>Max</b>	37,0	39,0	48,0	44,0	40,9	41,5	-	-	-
<b>Average</b>	28,7	25,1	24,6	28,6	21,0	27,8	-	-	-

Taulukko 7: FFT –analyysin taajuuspainotus mittauspisteittäin

Tärinän siirtymistä rata-alueella rakenteeseen on pyritty selvittämään vertaamalla heilahdusnopeusarvoja Sorin ylikulkusillan siltipilarin mittauspisteen Mp 1 ja maaperän mittauspisteen Mp 2 välillä. Mittauspisteen 2 sijainti oli vain noin 20 metrin etäisyydellä siltipilarin mittauspisteestä ja lähes samalla etäisyydellä viereisten raiteiden keskilinjaan mp 1 kanssa. Kun verrataan 20 eri junan samanaikaista em. mittauspisteisiin aiheuttamaa tärinää resultoivan arvon osalta, huomataan, että maanvaraisesti perustetussa siltipilarissa huippuarvo on keskimäärin vain noin 24 % maaperän huippuarvosta. Tässä otannassa prosentuaalinen vaihteluväli oli kuitenkin varsin laaja ~ 8...53 % (keskihajonta 10,5). Kuvassa 11 on esitetty samanaikaisen tärinän resultoivan arvon suhdetta rakenteessa ja maassa.



Kuva 11: Tärinätasovertilu mittauspisteissä 1 ja 2, samanaikainen resultoiva maksimiarvo mm/s. Mittauspiste 1 on sillan rakenteessa ja mittauspiste 2 on maassa.

## 6 Tulosten vaikutusarviointi

### 6.1 Tärinäalueiden rajausermittelmä ja heilahdusnopeuskriteerit

Alerajaus perustuu mitoittavan junan laskennallisen tärinän suuruuteen rakennuksen perusrakenteessa kohdassa, joka tärisee maaperän kanssa samassa vaiheessa. Tässä tarkastelussa rajaaminen perustuu alueella suoritettuihin tärinämittauksiin ja mittaustulosten perusteella suoritettuihin laskentoihin ja käytössä olleiden maaperäolosuhdetietojen tulkintaan sekä kokemusperäiseen arvioon. Tässä tarkastelussa ei ole otettu huomioon junapainojen mahdollista kasvua eikä tämänhetkisten nopeusrajoitusten nostoa. Lähtökohdaksi on tämänhetkinen junaliikenteen tilanne sekä toteutunut liikenne suhteessa saatuihin mittaustuloksiin.

Tärinän heilahdusnopeus voi kasvaa ylärakenteessa, esimerkiksi välipohjissa, väliseinissä tai erilaisissa rakennusosissa, kuten esimerkiksi levyrakenteissa. Alerajauksissa ei kuitenkaan tarkastella tällaisten kohteiden tärinää, koska riittäviä lähtötietoja tärinöiden arvioimiseen ei ole saatavilla. Lisäksi

tärinätasot eri rakennusten ja eri kohteiden välillä muodostuisivat erittäin vaikeasti vertailtaviksi.

Mittausohjeen ”Rautatieliikenteen tärinän vaikutus rakenteisiin. Vaurioalttiuden kartoittaminen ja mittaaminen” (VTT Espoo 2002) mukaan tärinän suhteen rajattavat alueet määritellään seuraavasti:

### V-alue

Kohonneen tärinäalttiuden alueeksi rajataan sellaiset alueet, joilla tärinän heilahdusnopeuden resultantti voi rakennuksen perustuksessa ylittää  $v_{res} \geq 3$  mm/s. Kohonneen tärinäalttiuden aluetta kutsutaan V-alueeksi (vauriot mahdollisia).

V-alueella rautatieliikenteen aiheuttama tärinä on niin suurta, että siitä voi aiheutua tai se voi myötävaikuttaa rakenteellisten vaurioiden syntymiseen.

### H-alue

Vähäisen tärinäalttiuden alue on alue, jolla vastaava heilahdusnopeuden resultantti on välillä  $v_{res} = 1...3$  mm/s. Tätä aluetta kutsutaan H-alueeksi (haitat mahdollisia).

H-alueella esiintyy selvästi havaittavaa tärinää, joka voi olla häiritsevääkin, mutta ei todennäköisesti aiheuta vaurioita rakennuksille.

### E-alue

Aluetta, jolla heilahdusnopeuden resultantti jää rakennuksen perustuksessa pienemmäksi kuin  $v_{res} < 1$  mm/s, kutsutaan E-alueeksi (haitat epätodennäköisiä).

E-alueella osa ihmisistä voi edelleen havaita tärinän, mutta se ei yleensä ole häiritsevää ja rakenteiden vaurioriski on merkityksetön.

Tärinäalueiden rajauksessa käytettävät aluekohtaiset heilahdusnopeuskriteerit on esitetty kootusti oheisessa taulukossa 8.

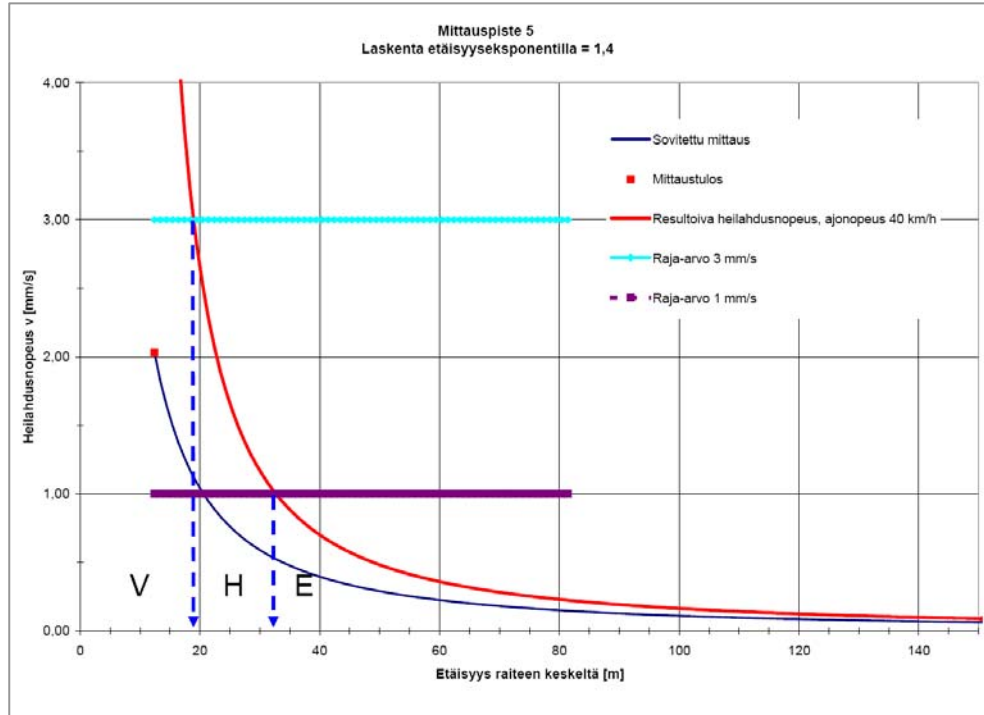
Värähtelyluokka	Kuvaus värähtelyolosuhteista	Heilahdusnopeuden resultantin huippuarvo mm/s
<b>V</b>	Kohonneen tärinäalttiuden alue, vauriot mahdollisia	$\geq 3,0$
<b>H</b>	Vähäisen tärinäalttiuden alue, haitat mahdollisia	<b>1,0...3,0</b>
<b>E</b>	Haitat epätodennäköisiä	$\leq 1,0$

Taulukko 8: Tärinäalueiden rajauskriteerit (VTT Tiedotteita 2002)

Rata-alueita tulee pääsääntöisesti pitää maaperässä esiintyvän tärinän suhteen V-alueena, jossa heilahdusnopeuden resultantti saattaa ylittää arvon  $v_{res} \geq 3$  mm/s. Ennustelaskelmien perusteella V -alue ulottuisi rata-alueen ulkopuolella alueen läntisellä keskialueella noin 20 m etäisyydelle lähimmästä raiteesta. Tämän jälkeen tärinä kuitenkin vaimentuisi melko nopeasti etäisyyden kasvaessa. Aluerajauksen H -alue alkaisi noin 20 metrin etäisyydeltä ja ulottuisi noin 30...35 metrin etäisyydelle lähimmästä raiteesta. Tällä H -alueella tärinähaitat ovat mahdollisia. Tämän jälkeen suunnittelualue kuuluisi E -alueeseen, jolla tärinähaitat ovat epätodennäköisiä. Tämä ennuste aluerajauksesta koskee vain kyseistä aluetta, jolla Sorin-

kadun varteen voidaan rakentaa maanvaraisesti perustettu kerrostalo. Alue-  
rajaus on esitetty liitteessä 6.

Kuvassa 12 on esimerkkinä ennustekuvaaja, joka on laskettu tärinä- ja no-  
peusmittauksen perusteella.



Kuva 12: Ennustetärinä maaperässä, kun junanopeutta nostetaan toteutuneesta 25 %.

Epävarmuustekijänä laskennoissa on se, että usean junaohituksen aikana tärinäarvo jäi huomattavan alhaiseksi eikä samanaikaista mittausarvoa saatu läheskään aina kaikissa mittauspisteissä. Toisaalta satunnaisesti kevyen junan ajaessa vaihteeseen, saattoi mittauspisteisiin välittyä huomattavan korkeita tärinäarvoja, varsinkin tärinän poikittaisessa vaakasuunnassa.

Tärinän siirtymävertailun ja kokemuksen perusteella voidaan kuitenkin arvioida, että tässä tapauksessa raskaisiin rakenteisiin siirtyvän tärinän resultoiva arvo ei todennäköisesti ylitä ohjearvoa 3 mm/s kuin satunnaisesti vaihteiden kohdilla.

Rakennettavuusselvityksessä (Ramboll Oy/82131091/10.9.2010) on esitetty, että rata-alueella tulee käyttää porapaaluja. Porapaalut asennetaan kallioon, jolloin junaliikenteen aiheuttamaa pystysuuntaista tärinää ei välity maaperästä kallioon ja sitä kautta porapaaluperustuksiin ja yläpuolisiin rakenteisiin haitallisessa määrin.

Tärinäselvityksen liitteen 7 ”Rakenneluonnoksen dynamiikkatarkastelu” – raportissa (WSP Finland Oy/302598/R. Kiviluoma 26.10.2010) on tarkemmin arvioitu tämänhetkistä pysty- että vaakasuuntaisen tärinän vaikutusta.

## 6.2 Rakennusten vaurioituminen

Rakennusten ja rakenteiden vaurioitumisalttiuden arvioimiseksi saatuja mitaustuloksia on verrattu taulukon 2 ohjeellisiin raja-arvoihin. Tämänhetkisten lähtötietojen perusteella nyt mitatun suuruinen tärinä ei aiheuta rakenteiden vaurioitumisriskiä massiivisille kansirakenteille, kannen yläpuolisille raken-

teille tai rakennuksille olettaen, että junaliikenteen ja liikennejärjestelyiden osalta järjestelyt pysyvät tämänhetkisellä tasolla.

### 6.3 Värähtelyluokituksen tunnusluvun laskeminen

Värähtelyluokituksen tunnusluku on määritelty yhden viikon seuranta-ajan viidentoista (15) itseisarvoltaan suurimman tärinäarvon perusteella. Jokaisen valitun tärinätapahtuman värähtelysignaalista on määritetty ISO 2631-2 (2003) mukaisesti yhden (1) sekunnin pituiset ajanjaksot, jolloin heilahdusnopeuden taajuuspainotettu tehollisarvo  $\bar{v}_w$  on suurin. Tämän jälkeen on suoritettu tilastollinen tarkastelu laskemalla painotetuista suureista keskiarvo  $v_w$  sekä keskihajonta  $\sigma$ . Värähtelyn tunnusluvun ominaisarvot määritellään lausekkeesta:

$$v_{w,95} = \bar{v}_w + 1,8 \cdot \sigma$$

Tällöin tunnusluvun  $v_{w,95}$  katsotaan edustavan mittausohjeiden mukaisesti 95 % todennäköisyydellä kaikkia ohittaneita junia (VTT, julkaisu 2278, Espoo 2004 / VTT WP50, Espoo 2006).

Taulukossa 9 on esitetty eri mittauspisteiden tunnusluku sekä värähtelyluokka eri komponenttien suhteen.

	Poikittainen		Pystysuunta		Pitkittäinen	
Mittauspiste	Tran	Luokka	Vert	Luokka	Long	Luokka
	$v_{w,95}$ [mm/s]		$v_{w,95}$ [mm/s]		$v_{w,95}$ [mm/s]	
<b>Mp 1</b>	0,35	D	0,13	<b>B</b>	0,07	A
<b>Mp 2</b>	1,19	>D	0,89	<b>&gt;D</b>	1,01	>D
<b>Mp 3</b>	0,28	C	0,29	<b>C</b>	0,32	D
<b>Mp 4</b>	0,26	C	0,18	<b>C</b>	0,16	C
<b>Mp 5</b>	0,44	D	0,40	<b>D</b>	0,24	C

Taulukko 9: Värähtelyn tunnusluvut eri mittauspisteissä

Mittaustulosten ja tehtyjen laskelmien perusteella on perusteltua olettaa, että suunnittelualueen rata-alueella sijaitsevat osat sijoittuvat maaperän pystysuuntaisen tärinän osalta värähtelyluokkaan D tai > D. Maaperässä tapahtuvan tärinän vaimenemisen johdosta Sorinkadun reuna-alueet suunnittelualueen länsiosassa sijoittuvat C-värähtelyluokkaan.

Kansirakenteen ja sen varaan rakennettavien rakennusten osalta värähtelyluokituksen lopullinen arvio voidaan esittää vasta, kun yksityiskohtaiset perustamistavat ja rakenteelliset ratkaisut sekä suunnitelmat ovat saatavilla. Tämänhetkisten perustamistaparatkaisun ja rakennetietojen ja alustavan värähtelyn dynamiikkatarkastelun (liite 7) perusteella voidaan kuitenkin olettaa, että rakenteiden tärinä pysyy alhaisena ( $v_{w,95} < 0,1$  mm/s).

## 7 Arvio rakentamisaikaisista tärinävaikutuksista

Rakentamisaikaisia ympäristöön leviävän häiriötärinän aiheuttajia ovat lyöntipaalutus, pontin asennus lyömällä, maan tiivistystyöt, maankaivu, mahdollisen roudan rikkominen kaivutöiden yhteydessä sekä mahdollisesti nykyisten alueella sijaitsevien rakenteiden ja rakennusten purkutyöt.

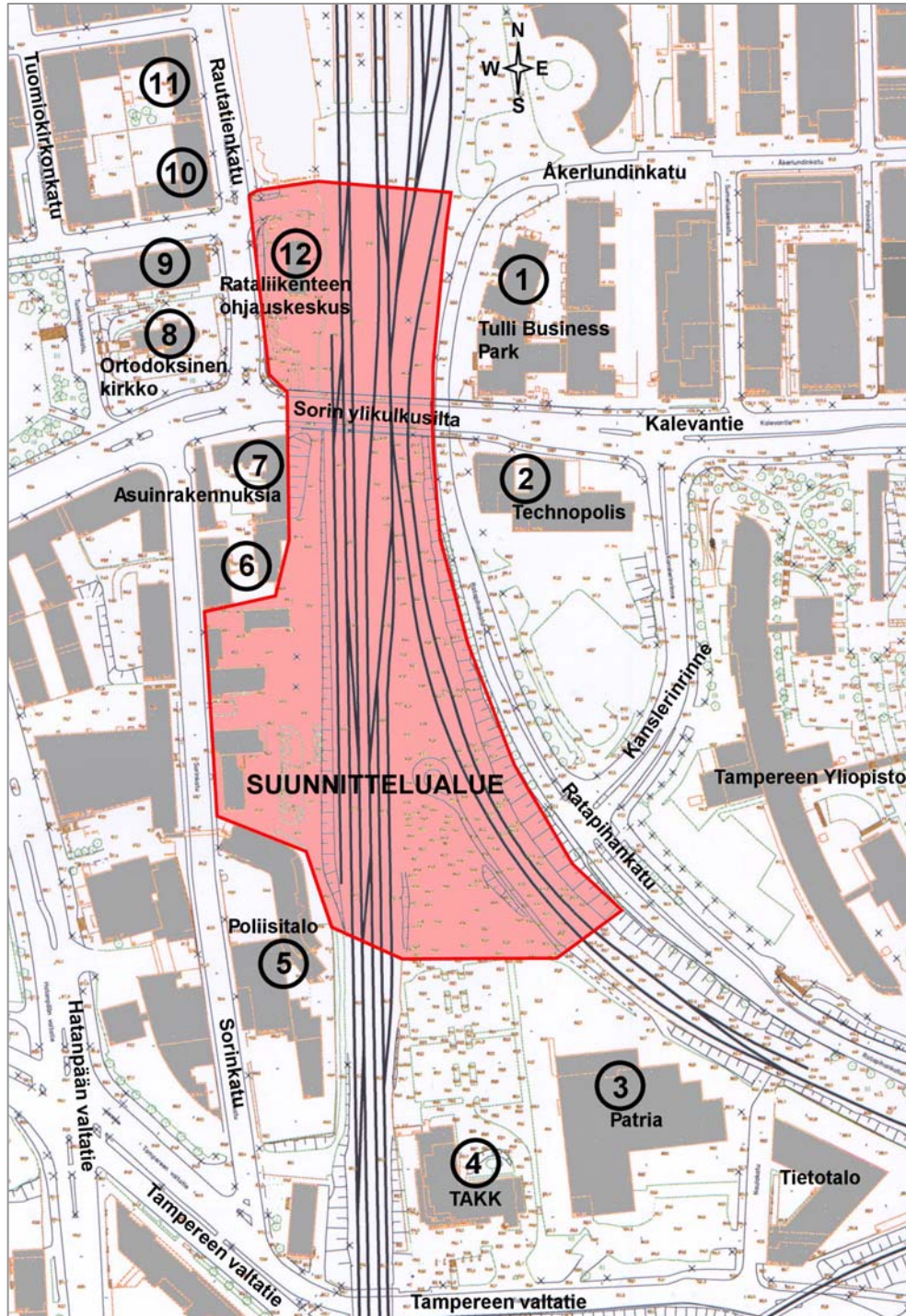
Näiden edellä mainittujen töiden osalta noudatetaan aiemmin esitettyjä raja-arvoja. Tärinää voidaan hallita sopivilla työmenetelmillä niin, ettei aiheuteta kohtuutonta häiriötä ympäristön asukkaille ja muille alueella oleskeleville ihmisille tai rakenteellisia vaurioita ympäristön rakennuksissa.

### 7.1 Lähiympäristön rakennukset

Suunnittelukohteen välittömässä läheisyydessä sekä rakentamisaikaisen tärinähäiriön arvioidulla vaikutusalueella ovat seuraavat rakennukset:

1. Åkerlundinkatu 11, Tulli Business Park
  - toimistorakennus, perustettu maanvaraisesti
2. Kalevantie 2, Technopolis Yliopistonrinne
  - toimistorakennus, perustettu maanvaraisesti
3. Naulakatu 3, KOy Naulakatu 3/Patria
  - teollisuus- ja varastorakennus, perustettu tb-paaluilla
4. Tampereen Valtatie 15, Tampereen Aikuiskoulutuskeskus TAKK
  - toimistorakennus, perustettu tb-paaluilla
5. Sorinkatu 12, Poliisitalo
  - ei tietoja perustamistavasta
6. Sorinkatu 4, Oy Tampereen Sorinkatu
  - liike- ja asuinrakennus, perustettu maanvaraisesti
7. Sorinkatu 2, AsOy Sorinahde
  - asuinrakennus, perustettu todennäköisesti maanvaraisesti
8. Ortodoksinen kirkko
  - ei perustamistap tietoa, todennäköisesti maanvaraisesti
9. Suvantokatu 10, KOy Nikolaintalo
  - liike- ja toimistorakennus, perustettu todennäköisesti maanvaraisesti
10. Rautatienkatu 26, AsOy Sorinhovi
  - asuinrakennus, perustettu maanvaraisesti
11. Rautatienkatu 24, AsOy Rautatienkatu 24
  - asuinrakennus, perustettu maanvaraisesti
12. Rautatienkatu 29, VR-Rata ohjauskeskusrakennus
  - perustettu maanvaraisesti





Kuva 13: Lähiympäristön kiinteistöt

Useat ympäristön rakennukset on perustettu maanvaraisesti ja osa paaluille. Liikenteestä aiheutuvan tärinän suhteen maanvaraisesti tai paaluille perustetut rakennukset ovat riskialttiimpia vaurioitumisen suhteen verrattuna kalliolle perustettuihin rakennuksiin. Joillain katuosuuksilla liikennemäärät tulevat nousemaan työmaaliikenteen johdosta todennäköisesti paljon ja tällöin on mahdollista, että myös tärinähäiriöt saattavat lisääntyä esimerkiksi raskaiden maansiirtoajoneuvojen ajaessa ohi. Katu- ja liikennöintialueiden kunnossapidolla ja tilanteeseen sopivilla nopeusrajoituksilla sekä vuorokautisen työmaaliikennöinnin säätämällä voidaan kuitenkin vähentää tai estää haittavaikutuksia ja valituksia. Voidaan arvioida, että rakennustyöt voi-

daan suorittaa tavanomaisin, olosuhteisiin sopivilla työmenetelmillä noudattaen hyvää rakentamistapaa.

Ympäristön rakennuksissa sijaitsevat värinäherkät laitteet voidaan värinävaimentaa ennen värinää aiheuttavien töiden aloitusta vaurioitumisriskin poistamiseksi. Lisäksi suunnittelun myöhäisemmässä vaiheessa toteutettavan värinää aiheuttavien töiden ympäristöselvityksessä tulee kartoittaa lähirakennuksissa mahdollisesti oleva sellainen toiminta, joka tulisi häiriintymään rakentamisen aikana. Työn aikataulutamisella ja hyvällä tiedottamisella voidaan kokemuksen mukaan selvästi vähentää ja ehkäistä haittavaikutuksia sekä valituksia. Rakentamisaikaisen värinähaittojen suhteen tämänhetkisen tiedon mukaan lähialueen rakennuksissa ei ole poikkeuksellisen värinähäiriötöntä olosuhdetta edellyttävää tilaa tai toimintaa.

## **8 Käytönaikainen toiminta värinän aiheuttajana**

Tämänhetkisen tiedon mukaan voidaan arvioida, että kaavamuutosalueelle suunniteltujen rakennusten osalta vain Keskusareena -rakennuksessa tapahtuva toiminta voisi aiheuttaa ympäristöön tai muihin kansirakenteen päällä sijaitseviin rakennuksiin leviävää värinää. Tyypillisinä värinää aiheuttavina tapahtumina voidaan mainita esimerkiksi yleisömäärältään suuret konsertit, joissa kuulijat hyppivät musiikin tahdissa aiheuttaen rakenteellisia värähtelyjä. Toisena esimerkkinä voidaan mainita kuntosalitoiminta, jossa painojen pudottelun tai rytmikkään ”jumppan” on tietyissä tapauksissa todettu aiheuttavan varsin voimakasta ja selvästi häiritsevää värinää ainakin rakennuksen omiin rakenteisiin.

Tässä tapauksessa on kuitenkin todennäköistä, että porapaaluilla kallioon perustettu massiivinen kansirakenne estää ja vaimentaa ympäristöön leviävän värinän. Värinää aiheuttavien toimintojen osalta rakennuksen omat rakenteet on suunniteltava siten, että estetään värinähäiriöiden synty ja leviäminen tiloista, joissa mahdollinen aiheuttaja sijaitsee.

## 9 Yhteenveto tärinämittauksista ja -vaikutuksista

Suomessa ei ole ympäristötärinöiden suhteen virallisia, viranomaisten määrittämiä tärinävaikutuksen laskentamenetelmiä tai normeja raja-arvoista. Ainoastaan louhintatärinöihin liittyen on Sosiaali- ja Terveysministeriön turvallisuusmääräyksissä 16:0 esitetty räjäytystärinöiden ohjeraja-arvoja sekä niiden laskentamenetelmä. Louhintatärinän raja-arvoja tai laskentamenetelmiä ei kuitenkaan voida käyttää liikennetärinöiden vaikutusarvioinnissa, koska liikennetärinä on mm. taajuussisällöltään erilaista ja kestoaltaan pitempiä-kaista.

Liikenneperäisten tärinäarviointien yhteydessä yleensä Suomessa käytetään eri tahojen laatimia ohjeistuksia, ohjeellisia tärinän raja-arvoja sekä kokemukseen, mittauksiin ja muiden maiden normeihin perustuvia menetelmiä.

Tämä tarkastelu on suoritettu soveltaen VTT:n laatimia ohjeita ”Rautatieliikenteen tärinän vaikutus rakenteisiin. Vaurioalttiuden kartoittaminen ja mittaaminen” (VTT, tiedote 2278, Espoo 2002), ”Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksista” (VTT, Espoo 2004) sekä ”Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa” (VTT Working Papers 50, Espoo 2006). Rakentamisesta aiheutuvaa tärinähäiriötä on arvioitu julkaisussa ”Rakentamisen aiheuttamat tärinät” (RIL 253-2010) esitettyjen ohjeiden perusteella.

Ratapiha-alueella olevien useiden vaihteiden vuoksi tärinän ennustettavuus on vaikeaa ja tämä seikka aiheuttaa selvästi riskin ja tuo laskentoihin epävarmuustekijöitä.

Maaperästä mitatut itseisarvoltaan suurimmat heilahdusnopeuden huippuarvot raiteen läheisyydessä (etäisyys ~ 4 m) olivat pystysuunnassa suuruusluokkaa  $\leq 5,2$  mm/s ja merkitsevän vaakasuunnan osalla  $\leq 6,4$  mm/s. Maaperän tunnusluku on mittausten ja laskelmien mukaan pystysuunnassa  $v_{w,95} \leq 0,89$  mm/s ja merkitsevässä vaakasuunnassa  $v_{w,95} \leq 1,19$  mm/s. Tämä alue sijoittuu pystysuunnan osalta värähtelyluokan D huonommalle puolelle.

Hieman etäämmällä raiteista (etäisyys ~12 m) heilahdusnopeuden huippuarvot olivat pystysuunnassa korkeimmillaan luokkaa  $\leq 1,4$  mm/s ja merkitsevän vaakasuunnan osalla  $\leq 1,9$  mm/s. Värähtelyn tunnusluku on pystysuunnassa  $v_{w,95} \leq 0,40$  mm/s ja merkitsevässä vaakasuunnassa  $v_{w,95} \leq 0,44$  mm/s. Tämä alue sijoittuu värähtelyluokkaan D.

Noin 22 metrin etäisyydellä raiteista heilahdusnopeuden huippuarvot olivat pystysuunnassa korkeimmillaan luokkaa  $\leq 0,9$  mm/s ja merkitsevän vaakasuunnan osalla  $\leq 1,0$  mm/s. Värähtelyn tunnusluku on pystysuunnassa  $v_{w,95} \leq 0,29$  mm/s ja merkitsevässä vaakasuunnassa  $v_{w,95} \leq 0,32$  mm/s. Tämä alue sijoittuu pystysuunnan osalta värähtelyluokkaan C.

Junaliikenteestä aiheutuneen tärinän hallitseva taajuus on mittausten mukaan varsin laajakaistaista ja se on pääosin samalla taajuusalueella tavanomaisten rakenteiden, esim. lattioiden alimpien ominaistajuuksien kanssa. Tällaisissa tapauksissa tärinä vahvistuu rakenteiden ominaistajuuksia vastaavilla taajuuksilla. Rakennesuunnittelussa on kiinnitettävä huomiota esim. välipohjien ja muiden rakenteiden ominaistajuuksiin. Välipohjat, joissa on pitkät jännevälit, ovat yleisesti herkempiä tärinän aistittavissa oleville vaikutuksille. Tärinän tarkastelussa ja rakenteissa on otettava huomioon erityisesti rata-alueelta perustuksiin leviävä vaakasuuntainen tärinä.

## 10 Tärinän vaikutus kaavamuutokseen

Asemakaavan muutosalueella rakennusten perustus- ja kantavien rakenteiden ratkaisulla tulee huolehtia junaliikenteen aiheuttaman tärinän vaimentamisesta siten, että asuntorakentamiseen osoitetuilla korttelialueilla ei ylity värähtelyluokan C raja-arvoa  $v_{w,95} \leq 0,30$  eikä keskusareenan korttelialueella värähtelyluokan D raja-arvoa  $v_{w,95} \leq 0,60$ . Selvitys värähtelyluokkien vaatimusten täyttymisestä tulee esittää rakennusluvan yhteydessä. Tämä toteamus koskee sekä pysty- että vaakasuuntaisia tärinöitä.

Kohteessa havaitun laajakaistaisen taajuussisällön vuoksi runkomelun vaimentamiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Kohteesta on laadittu erillinen runkomeluselitys: "Runkomeluselitys kaavoitusta varten" (WSP Finland Oy/302592/26.10.2010).

Johtopäätökset perustuvat olettamukseen, että rataosan paino- ja nopeusrajoitukset säilyvät tulevaisuudessa ennallaan. Junien liikennöinnin vuorokautinen tai viikoittainen lisääntyminen ei sinänsä tule nostamaan ympäristöön leviävän tärinän tasoa, kun taas junien nopeudennosto tai junapainojen lisäys tulisivat aiheuttamaan lisääntyvää tärinähäiriötä suunnittelualueella.

Rakentamisesta ja työmaaliikenteestä aiheutuvan tärinähäiriön ei oleteta aiheuttavan oleellista haittaa alueen ympäristölle. Tärinän haittavaikutuksia voidaan hallita ja vähentää sopivilla työmenetelmillä, liikennöintialueiden kunnossapidolla sekä ennen tärinää aiheuttavien töiden aloitusta tehtävillä tärinävaimennuksilla. Myöhemmässä suunnitteluvaiheessa ympäristön rakennuksille määritetään kohde- ja työkohtaiset tärinärajat, joita valvotaan työnaikaisilla tärinämittauksilla.

Alueelle suunnitelluissa rakennuksissa tapahtuvan toiminnan ei arvioida aiheuttavan ympäristölleen tärinähaittaa. Tärinää aiheuttavien toimintojen osalta rakennuksen omat rakenteet on suunniteltava siten, että estetään tärinähäiriöiden synty ja leviäminen tiloista, joissa mahdollinen aiheuttaja sijaitsee.

Helsinki 26.10.2010

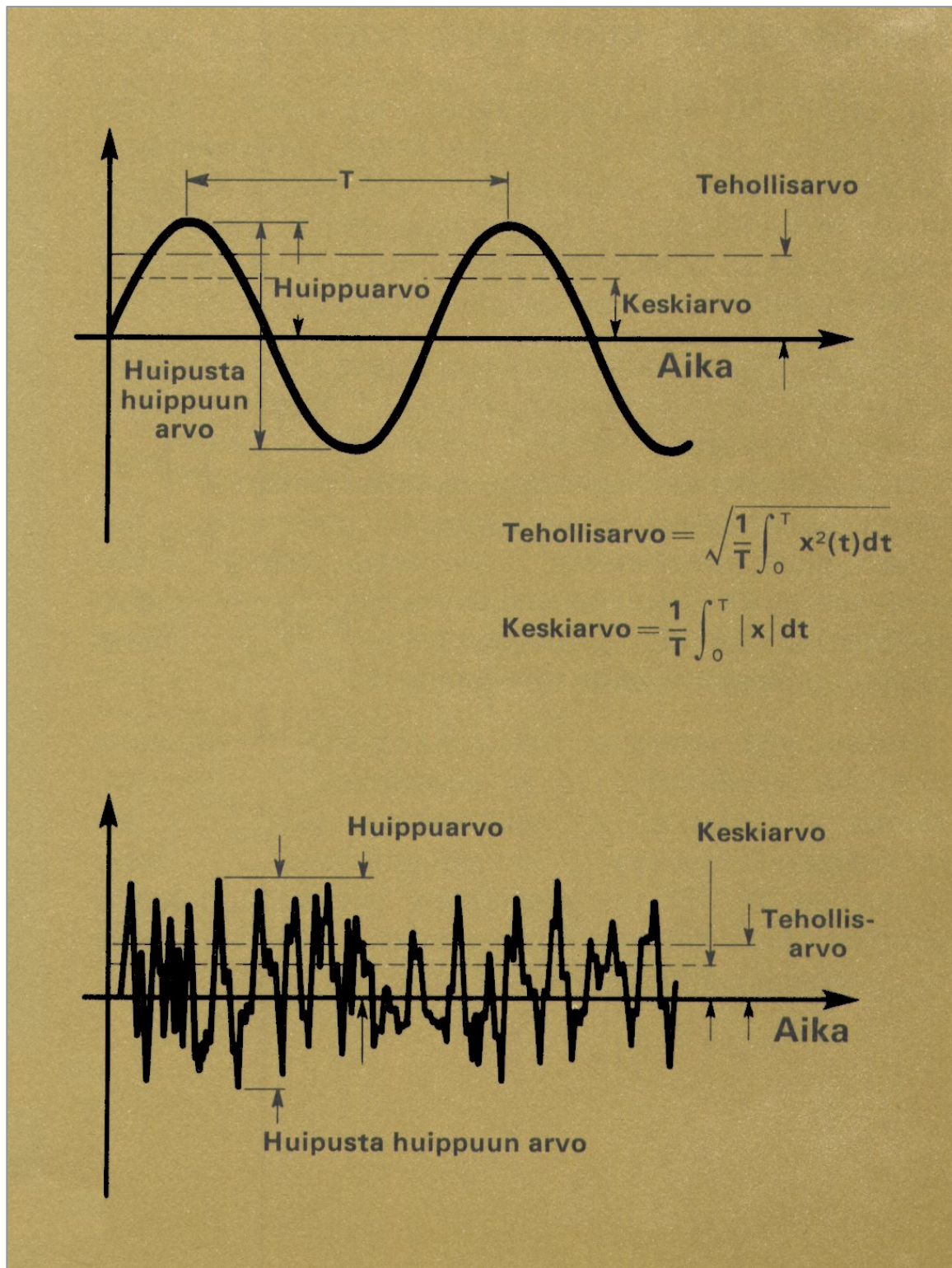
**WSP Finland Oy**

Pentti Ervo

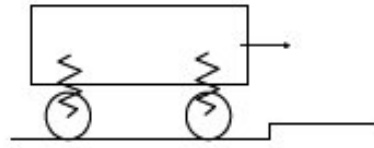
Kai Gulin

### Liitteet

1. Tärinään ja liikennetärinään liittyviä käsitteitä
2. Mittauspistekohtaiset tulostaulukot 5 sivua
3. Tyypilliset esimerkit junaohituksen aiheuttamasta värähtelystä, 5 sivua
4. FFT -taajuusanalyysit, taajuuspainotus mittauspisteittäin
5. Tärinän eri komponenttien huippuarvojen keskinäinen vertailu mittauspisteittäin, kuvat.
6. Tärinäalttius, kartta aluerajauksesta
7. Rakenneluonnosten dynamiikkatarkastelu 26.10.2010

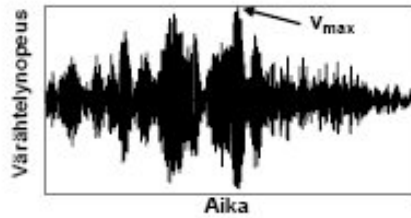


Tärinän huippuarvo, keskiarvo ja tehollisarvo. Lähde Brüel & Kjær: Tärinän mittaus



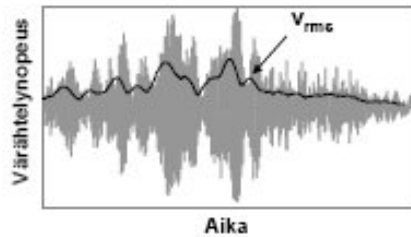
### Heräte

Värähtelyn aiheuttava tekijä. Liikenteessä heräte aiheutuu kulkuvälineestä ja väylän epätasaisuuksista.



### Värähtelyn huippuarvo $v_{max}$ [mm/s]

Mitatun värähtelysignaalin itseisarvoltaan suurin arvo. Vakioamplitudisella värähtelyllä huippuarvo on sama kuin värähtelyn amplitudi.

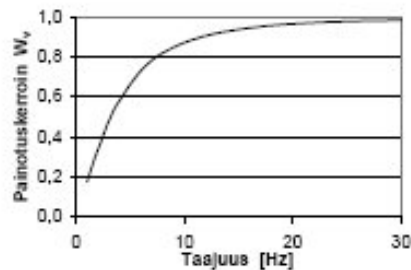


### Värähtelyn tehollisarvo $v_{rms}$ [mm/s]

Mitatun värähtelysignaalin  $v(t)$  tehollisarvo ajanhetkellä  $t_0$  on

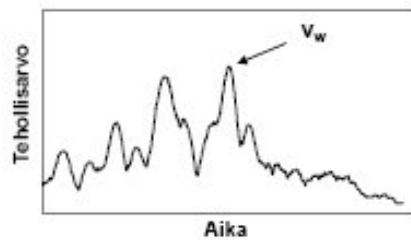
$$v_{rms}(t_0) = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{t_0-\tau}^{t_0} [v(t)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}},$$

jossa aikaikkunan pituus  $\tau$  on 1 sekunti. Vakioamplitudisella värähtelyllä, kun  $T \ll \tau$   $v_{rms} = v_{max} / \sqrt{2}$ .



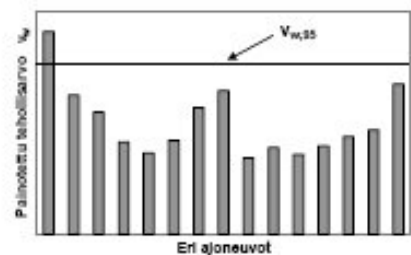
### Värähtelyn taajuuspainotus $W_v(f)$ [-]

Mitatun signaalin eri värähtelykomponentit tehdään ihmisen herkkyden suhteen samanarvoiseksi painottamalla värähtelykomponentteja taajuudesta riippuvalla painotuskertoimella.



### Painotettu värähtelyn tehollisarvo $v_w$ [mm/s]

Taajuuspainotetusta värähtelysignaalista  $v_w(t)$  määritetty suurin tehollisarvo.



### Värähtelyn tunnusluku $v_{w,95}$ [mm/s]

Painotetun värähtelyn  $v_w$  tilastollinen maksimi. Arvo perustuu yhden viikon ajalta 15 merkittävimmistä ajoneuvosta mitattuun värähtelyyn.

Liikennetärinään liittyviä käsitteitä. Lähde: Talja A. Suositus liikennetärinä mittaamisesta ja luokituksista. VTT Tiedotteita 2278, Espoo 2004

## Mittauspiste 1/siltapilari. Itseisarvoltaan merkitsevimmät heilahdusnopeuden huippuarvot

Date/Time	Time	Tran Peak mm/s	Tran Freq Hz	Vert Peak mm/s	Vert Freq Hz	Long Peak mm/s	Long Freq Hz	PVS1 mm/s	Descript.
17.9	15:07:21	1,06	35,3	0,64	10,30	0,24	8,8	1,12	Mp 1
17.9	21:38:28	1,38	22,3	0,40	27,70	0,25	25,6	1,39	Mp 1
18.9	00:55:26	1,54	22,3	0,37	10,70	0,32	24,4	1,56	Mp 1
18.9	23:37:00	1,48	23,8	0,33	14,40	0,21	41,0	1,48	Mp 1
18.9	23:40:47	1,49	22,3	0,38	37,90	0,18	27,7	1,49	Mp 1
19.9	00:55:49	1,65	18,0	0,40	20,10	0,18	14,4	1,66	Mp 1
19.9	21:36:02	1,38	30,1	0,33	27,70	0,24	29,3	1,39	Mp 1
19.9	22:00:17	1,54	26,9	0,24	7,94	0,14	35,3	1,54	Mp 1
20.9	00:44:50	1,41	24,4	0,43	26,30	0,25	30,1	1,43	Mp 1
20.9	00:57:11	1,35	22,8	0,41	16,80	0,25	20,1	1,36	Mp 1
20.9	05:59:45	1,48	29,3	0,40	29,30	0,22	35,3	1,48	Mp 1
20.9	21:03:43	1,44	23,3	0,46	20,10	0,19	23,3	1,48	Mp 1
20.9	23:04:11	1,97	37,9	0,49	35,30	0,29	37,9	1,98	Mp 1
20.9	23:25:49	1,59	24,4	0,35	16,30	0,25	20,5	1,62	Mp 1
21.9	00:40:14	1,54	28,4	0,38	14,60	0,24	26,3	1,55	Mp 1
21.9	00:46:42	1,30	27,7	0,43	24,40	0,27	29,3	1,38	Mp 1
21.9	02:24:55	1,30	46,5	0,48	9,57	0,22	10,3	1,31	Mp 1
21.9	04:20:00	1,48	30,1	0,25	10,90	0,19	73,1	1,48	Mp 1
21.9	04:26:34	1,41	34,1	0,54	42,70	0,21	37,9	1,47	Mp 1
21.9	23:34:53	1,22	28,4	0,44	20,90	0,30	26,3	1,28	Mp 1
22.9	00:42:17	1,73	24,4	0,33	30,10	0,22	27,7	1,74	Mp 1
22.9	04:10:13	1,22	56,9	0,33	53,90	0,24	42,7	1,23	Mp 1
22.9	21:28:23	1,52	21,8	0,33	11,80	0,18	17,7	1,53	Mp 1
22.9	23:34:31	1,37	23,3	0,44	17,40	0,22	25,6	1,37	Mp 1
22.9	23:39:48	1,44	21,8	0,33	34,10	0,18	31,0	1,46	Mp 1
23.9	00:43:18	1,51	22,8	0,43	16,30	0,25	33,0	1,51	Mp 1
23.9	00:49:19	1,33	26,3	0,40	26,30	0,27	23,3	1,41	Mp 1
23.9	00:56:27	1,37	22,8	0,35	16,50	0,24	30,1	1,38	Mp 1

Mittauspiste 2, maaperä. Itseisarvoltaan merkitsevimmät heilahdusnopeuden huippuarvot

Date/Time	Time	Tran Peak mm/s	Tran Freq Hz	Vert Peak mm/s	Vert Freq Hz	Long Peak mm/s	Long Freq Hz	PVS1 mm/s	Descript.
17.9	15:08:43	2,52	44,5	3,84	44,5	3,30	36,6	4,21	Mp 2
17.9	15:11:12	4,08	39,4	3,87	42,7	3,60	33,0	5,19	Mp 2
17.9	22:53:28	2,48	33,0	3,76	42,7	3,40	41,0	4,30	Mp 2
18.9	21:05:00	2,98	33,0	4,38	42,7	3,11	36,6	4,60	Mp 2
18.9	21:49:14	4,19	36,6	3,71	41,0	3,44	41,0	4,95	Mp 2
18.9	22:07:53	2,81	41,0	4,08	42,7	3,08	39,4	4,29	Mp 2
18.9	23:36:57	3,51	36,6	4,13	37,9	2,70	34,1	4,75	Mp 2
18.9	23:37:46	6,40	36,6	2,89	42,7	4,89	34,1	7,52	Mp 2
19.9	00:51:03	6,40	33,0	3,11	44,5	4,43	36,6	7,22	Mp 2
19.9	00:55:47	3,87	35,3	3,65	36,6	3,11	26,3	4,78	Mp 2
19.9	21:36:06	3,05	36,6	4,73	44,5	3,33	37,9	4,92	Mp 2
19.9	22:01:33	3,16	36,6	4,43	44,5	2,94	37,9	4,62	Mp 2
20.9	00:44:48	3,84	33,0	3,54	32,0	3,02	34,1	4,28	Mp 2
20.9	05:59:43	3,33	36,6	4,38	44,5	3,48	37,9	4,63	Mp 2
20.9	21:57:33	4,60	32,0	2,75	53,9	2,73	28,4	5,44	Mp 2
20.9	22:12:14	2,65	34,1	3,49	44,5	3,70	41,0	4,41	Mp 2
20.9	23:04:13	4,64	34,1	3,16	32,0	2,48	42,7	5,15	Mp 2
20.9	23:11:37	6,14	32,0	3,46	51,2	3,54	31,0	7,00	Mp 2
21.9	00:40:12	2,73	32,0	5,19	41,0	3,97	39,4	5,68	Mp 2
21.9	00:41:15	4,40	36,6	3,75	37,9	3,37	28,4	5,90	Mp 2
21.9	00:56:31	3,78	29,3	4,14	42,7	3,89	33,0	5,05	Mp 2
21.9	03:31:39	3,37	30,1	2,76	53,9	3,64	36,6	4,22	Mp 2
21.9	05:52:53	3,03	36,6	4,30	42,7	3,54	39,4	4,46	Mp 2
21.9	21:04:23	3,00	35,3	4,54	41,0	3,54	39,4	4,69	Mp 2
21.9	23:37:22	3,76	25,0	1,94	26,9	2,60	27,7	4,59	Mp 2
22.9	00:42:15	3,67	36,6	4,29	39,4	3,02	27,7	5,17	Mp 2
22.9	02:00:41	5,13	35,3	2,59	28,4	2,91	39,4	5,83	Mp 2
22.9	21:28:26	3,73	31,0	4,05	34,1	3,22	30,1	5,01	Mp 2
22.9	22:00:46	5,30	33,0	2,73	56,9	3,59	30,1	5,84	Mp 2
22.9	22:08:23	2,17	41,0	4,22	44,5	2,81	39,4	4,66	Mp 2
22.9	23:12:52	3,79	44,5	3,08	56,9	1,30	19,7	4,11	Mp 2
22.9	23:15:23	4,30	31,0	2,57	48,8	2,25	25,0	4,81	Mp 2
22.9	23:56:20	5,18	33,0	3,06	53,9	2,94	36,6	5,74	Mp 2
23.9	00:43:16	3,25	33,0	3,95	35,3	3,51	31,0	5,00	Mp 2



Mittauspiste 3, maaperä. Itseisarvoltaan merkitsevimmät heilahdusnopeuden huippuarvot

Date/Time	Time	Tran Peak mm/s	Tran Freq Hz	Vert Peak mm/s	Vert Freq Hz	Long Peak mm/s	Long Freq Hz	PVS1 mm/s	Descript.
17.9	15:07:42	0,48	35,3	0,76	28,4	0,52	78,8	0,78	Mp 3
17.9	16:01:26	0,73	56,9	0,84	60,2	0,59	73,1	0,87	Mp 3
18.9	00:14:06	0,48	48,8	0,65	51,2	0,62	56,9	0,79	Mp 3
19.9	21:36:22	0,73	56,9	0,59	51,2	0,78	53,9	0,83	Mp 3
19.9	22:07:00	0,48	73,1	0,67	30,1	0,52	68,3	0,70	Mp 3
19.9	22:16:16	0,73	56,9	0,89	48,8	0,98	51,2	1,06	Mp 3
19.9	22:16:37	0,76	60,2	0,71	56,9	0,92	56,9	1,09	Mp 3
20.9	00:57:36	0,65	46,5	0,62	51,2	0,65	44,5	0,95	Mp 3
20.9	00:58:00	0,67	21,8	0,52	23,3	0,25	22,3	0,69	Mp 3
20.9	22:25:50	0,62	60,2	0,89	73,1	0,65	64,0	0,92	Mp 3
20.9	22:25:55	0,62	73,1	0,84	93,1	0,86	93,1	0,98	Mp 3
20.9	23:03:46	0,87	34,1	0,68	46,5	0,44	46,5	0,94	Mp 3
21.9	00:15:11	0,48	73,1	0,68	78,8	0,49	78,8	0,74	Mp 3
21.9	00:15:12	0,67	51,2	0,60	68,3	0,73	68,3	0,84	Mp 3
21.9	00:54:47	0,70	44,5	0,68	48,8	0,68	53,9	0,94	Mp 3
21.9	00:57:26	0,38	44,5	0,54	48,8	0,62	48,8	0,76	Mp 3
21.9	21:12:43	0,35	26,3	0,44	73,1	0,62	85,3	0,62	Mp 3
21.9	23:09:48	0,79	51,2	0,65	48,8	0,83	56,9	0,91	Mp 3
22.9	00:07:33	0,78	56,9	0,67	48,8	0,81	56,9	0,82	Mp 3
22.9	00:08:04	0,62	51,2	0,73	60,2	0,75	56,9	0,88	Mp 3
22.9	00:57:37	0,71	46,5	0,79	48,8	0,79	51,2	0,99	Mp 3
22.9	23:34:57	0,62	37,9	0,78	51,2	0,64	51,2	0,89	Mp 3
22.9	23:35:38	0,41	51,2	0,52	53,9	0,70	46,5	0,85	Mp 3
23.9	00:16:32	0,75	51,2	0,75	51,2	0,95	51,2	1,00	Mp 3
23.9	00:56:51	0,95	51,2	0,76	51,2	0,83	64,0	1,02	Mp 3

Mittauspiste 4, maaperä. Itseisarvoltaan merkitsevimmät heilahdusnopeuden huippuarvot

Date/Time	Time	Tran Peak mm/s	Tran Freq Hz	Vert Peak mm/s	Vert Freq Hz	Long Peak mm/s	Long Freq Hz	PVS1 mm/s	Descript.
17.9	15:14:41	0,556	31,00	0,349	37,90	0,381	35,30	0,58	Mp 4
17.9	15:38:12	0,619	33,00	0,381	35,30	0,333	35,30	0,67	Mp 4
17.9	16:01:28	0,365	53,90	0,444	78,80	0,349	18,60	0,49	Mp 4
17.9	21:57:32	0,683	31,00	0,349	32,00	0,429	32,00	0,76	Mp 4
17.9	22:02:02	0,714	26,30	0,270	33,00	0,349	23,80	0,79	Mp 4
17.9	22:05:03	0,651	22,80	0,381	26,30	0,333	25,00	0,68	Mp 4
17.9	23:08:14	0,651	23,80	0,429	23,30	0,444	27,70	0,71	Mp 4
18.9	00:04:38	0,778	25,00	0,397	23,80	0,270	24,40	0,78	Mp 4
18.9	21:48:42	0,730	31,00	0,333	41,00	0,460	32,00	0,81	Mp 4
18.9	21:54:01	0,603	25,60	0,381	23,80	0,333	20,50	0,63	Mp 4
19.9	00:47:12	0,683	26,90	0,302	22,80	0,349	25,00	0,71	Mp 4
19.9	04:12:04	0,603	26,90	0,302	34,10	0,365	26,90	0,67	Mp 4
19.9	23:04:31	0,651	25,00	0,302	26,30	0,333	24,40	0,72	Mp 4
20.9	00:38:30	0,635	21,30	0,460	19,30	0,381	22,80	0,65	Mp 4
20.9	21:16:59	0,698	32,00	0,349	46,50	0,254	46,50	0,71	Mp 4
20.9	21:52:54	0,635	26,90	0,254	41,00	0,413	22,30	0,66	Mp 4
20.9	21:57:05	0,683	22,30	0,286	26,30	0,381	20,90	0,73	Mp 4
20.9	23:03:45	1,170	44,50	0,937	56,90	0,587	29,30	1,37	Mp 4
20.9	23:31:11	0,603	26,90	0,206	46,50	0,397	29,30	0,67	Mp 4
20.9	23:52:00	0,635	25,60	0,349	36,60	0,381	31,00	0,72	Mp 4
21.9	00:38:05	0,635	24,40	0,381	20,90	0,492	27,70	0,64	Mp 4
21.9	00:38:24	0,635	32,00	0,381	25,00	0,349	22,30	0,68	Mp 4
21.9	01:19:01	0,635	24,40	0,302	28,40	0,524	32,00	0,71	Mp 4
21.9	01:19:06	0,619	29,30	0,460	25,00	0,349	23,80	0,64	Mp 4
21.9	01:19:14	0,730	24,40	0,365	19,30	0,317	30,10	0,74	Mp 4
21.9	02:25:36	0,683	24,40	0,254	34,10	0,444	25,00	0,76	Mp 4
21.9	23:03:10	0,651	24,40	0,492	46,50	0,476	27,70	0,71	Mp 4
22.9	00:07:33	0,460	53,90	0,635	60,20	0,333	56,90	0,65	Mp 4
22.9	02:39:01	0,778	27,70	0,349	31,00	0,381	31,00	0,79	Mp 4
22.9	02:39:04	0,667	29,30	0,349	37,90	0,413	22,80	0,71	Mp 4
22.9	02:39:08	0,698	30,10	0,508	27,70	0,397	33,00	0,73	Mp 4
22.9	21:52:36	0,698	26,90	0,365	27,70	0,333	23,30	0,78	Mp 4
22.9	23:12:44	0,603	33,00	0,524	44,50	0,349	30,10	0,61	Mp 4

Mittauspiste 5, maaperä. Itseisarvoltaan merkitsevimmät heilahdusnopeuden huippuarvot

Date/Time	Time	Tran Peak mm/s	Tran Freq Hz	Vert Peak mm/s	Vert Freq Hz	Long Peak mm/s	Long Freq Hz	PVS1 mm/s	Descript.
17.9	22:11:54	0,84	51,2	1,19	60,2	0,59	53,9	1,25	Mp 5
17.9	22:47:00	1,33	60,2	1,17	64,0	0,97	41,0	1,52	Mp 5
17.9	23:41:41	0,84	26,3	1,06	53,9	0,78	22,8	1,12	Mp 5
17.9	23:49:52	1,70	51,2	0,97	44,5	0,64	60,2	1,79	Mp 5
18.9	00:16:31	1,08	56,9	0,94	56,9	0,68	44,5	1,13	Mp 5
18.9	00:58:17	1,11	48,8	0,94	53,9	0,70	53,9	1,13	Mp 5
18.9	01:18:52	0,75	53,9	1,16	60,2	0,81	48,8	1,17	Mp 5
18.9	01:21:17	1,56	53,9	1,19	48,8	0,62	51,2	1,64	Mp 5
18.9	02:08:39	1,44	56,9	1,33	53,9	0,75	48,8	1,66	Mp 5
18.9	03:01:52	1,62	46,5	1,25	46,5	0,79	48,8	1,84	Mp 5
18.9	04:33:23	1,62	53,9	1,19	56,9	0,64	64,0	1,68	Mp 5
18.9	05:56:34	0,60	53,9	0,70	53,9	0,71	51,2	0,89	Mp 5
18.9	06:00:08	1,43	48,8	1,37	56,9	0,79	68,3	1,58	Mp 5
19.9	21:26:29	1,08	48,8	1,37	60,2	0,65	53,9	1,61	Mp 5
19.9	21:41:30	1,46	53,9	0,86	53,9	0,51	60,2	1,60	Mp 5
20.9	01:15:03	1,44	48,8	1,37	56,9	0,65	64,0	1,75	Mp 5
20.9	04:11:12	1,92	48,8	1,44	48,8	0,52	46,5	2,03	Mp 5
21.9	04:40:34	1,87	48,8	1,17	53,9	0,81	48,8	1,93	Mp 5
21.9	05:43:00	1,64	46,5	1,27	51,2	0,75	48,8	1,98	Mp 5
21.9	21:45:50	0,83	48,8	1,19	60,2	0,70	37,9	1,36	Mp 5
21.9	22:25:52	1,00	42,7	1,17	51,2	0,75	53,9	1,52	Mp 5
22.9	01:39:56	1,37	46,5	0,92	68,3	0,56	36,6	1,48	Mp 5
22.9	05:45:23	1,40	48,8	1,22	68,3	0,59	60,2	1,42	Mp 5
22.9	05:45:24	1,62	42,7	1,03	60,2	0,51	56,9	1,87	Mp 5
22.9	21:31:16	0,87	21,8	0,51	44,5	1,27	17,7	1,38	Mp 5
22.9	22:22:00	1,35	46,5	0,98	46,5	0,67	56,9	1,47	Mp 5
22.9	23:28:22	1,32	60,2	1,21	56,9	0,56	53,9	1,50	Mp 5
23.9	00:13:00	0,76	51,2	1,22	56,9	0,76	41,0	1,27	Mp 5
23.9	06:15:38	1,51	48,8	1,25	56,9	0,73	48,8	1,56	Mp 5



Tampere, mp 1



Date/Time Vert at 15:07:21 September 17, 2010  
 Trigger Source Geo: 0.400 mm/s  
 Range Geo: 31.7 mm/s  
 Record Time 4.0 sec (Auto=1Sec) at 2048 sps  
 Job Number: 2598

Serial Number BE6512 V 10.06-8.17 MiniMate Plus  
 Battery Level 6.8 Volts  
 Unit Calibration April 19, 1999 by InstanTEL Inc.  
 File Name H512DF22.090

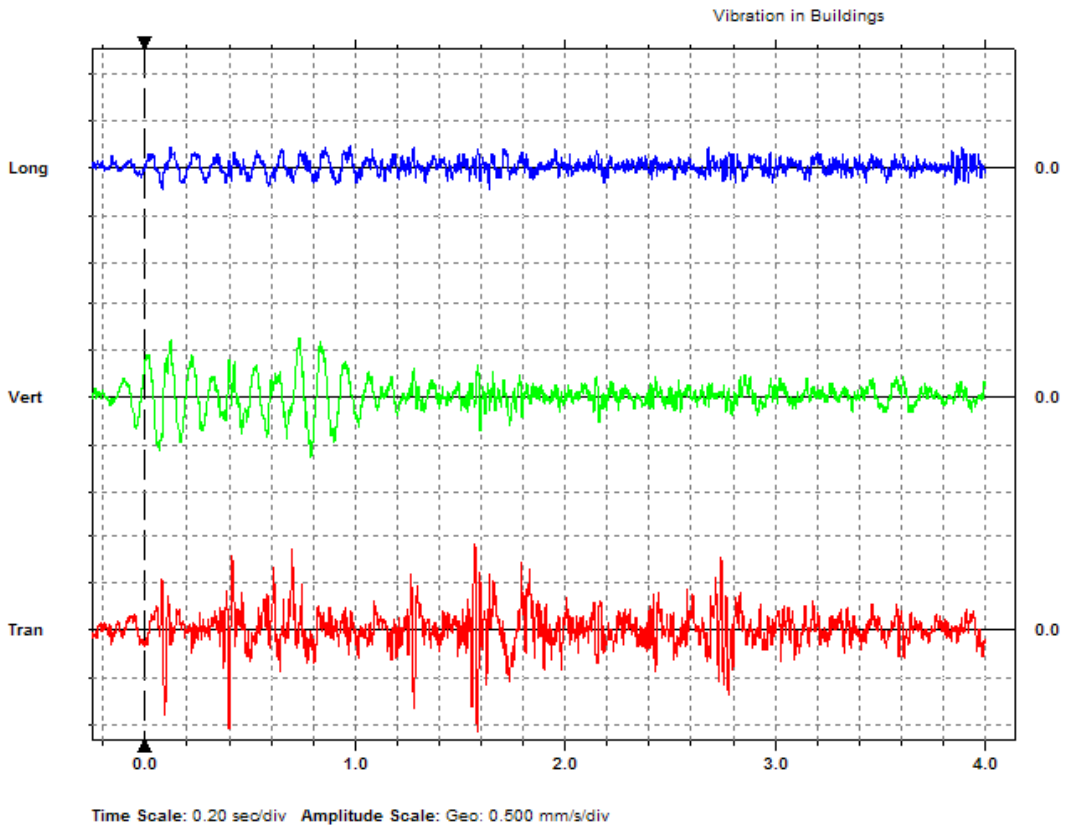
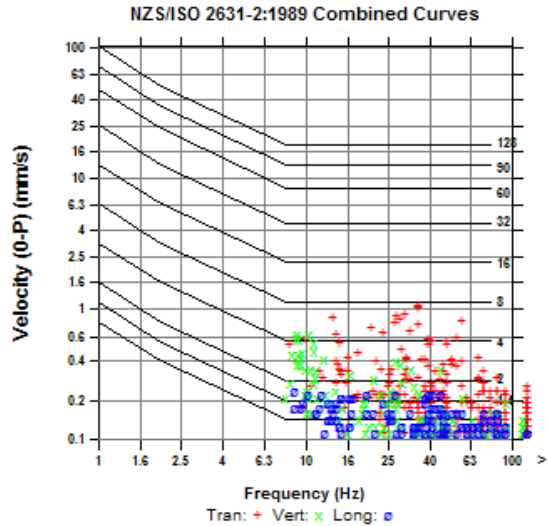
**Notes**

Location: Mp 1  
 Client: NCC  
 User Name: Pentti Ervo/WSP Finland Oy  
 General: Tampereen Kansli ja Areena

**Extended Notes**

3-komponentti

	Tran	Vert	Long	
PPV	1.06	0.635	0.238	mm/s
PPV	51.5	47.1	38.5	dB
ZC Freq	35	10.3	8.8	Hz
Time (Rel. to Trig)	1.581	0.732	0.977	sec
Peak Acceleration	0.0365	0.0133	0.0133	g
Peak Displacement	0.00802	0.0100	0.00398	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Peak Vector Sum	1.12 mm/s at 1.581 sec			





Tampere, mp 2



Date/Time Tran at 00:51:03 September 19, 2010  
 Trigger Source Geo: 2.20 mm/s  
 Range Geo: 31.7 mm/s  
 Record Time 5.75 sec (Auto=2Sec) at 2048 sps  
 Job Number: 2598

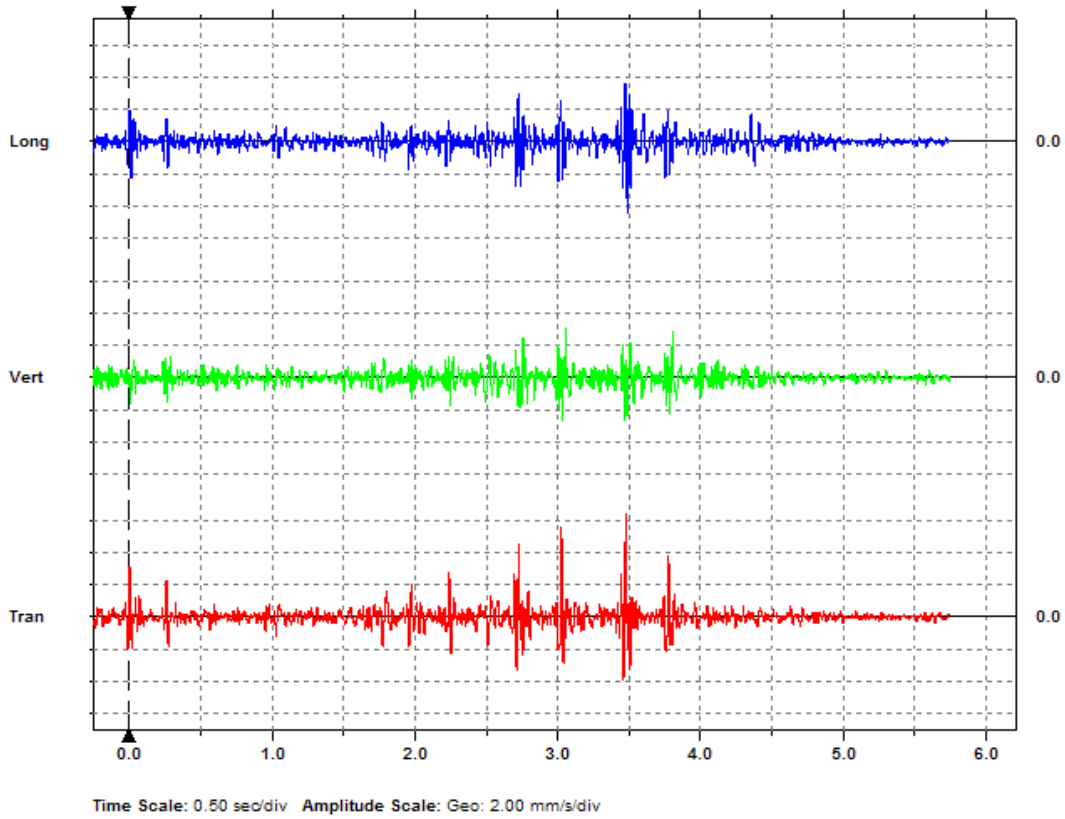
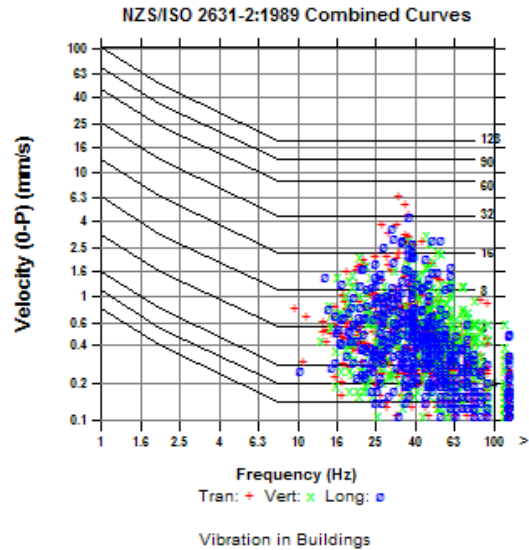
Serial Number BE6808 V 10.06-8.17 MiniMate Plus  
 Battery Level 6.9 Volts  
 Unit Calibration October 6, 1999 by InstanTEL Inc.  
 File Name H808DF4N.F30

Notes  
 Location: Mp 2  
 Client: NCC  
 User Name: Pentti Ervo / WSP Finland Oy  
 General: Tampereen Kansijä Areena

Extended Notes  
 3-komponentti

	Tran	Vert	Long	
PPV	6.40	3.11	4.43	mm/s
PPV	67.1	60.9	63.9	dB
ZC Freq	33	45	37	Hz
Time (Rel. to Trig)	3.476	3.055	3.488	sec
Peak Acceleration	0.139	0.0862	0.109	g
Peak Displacement	0.0281	0.0117	0.0190	mm
Sensor Check	Disabled	Disabled	Disabled	

Peak Vector Sum 7.22 mm/s at 3.476 sec





Tampere, mp 3



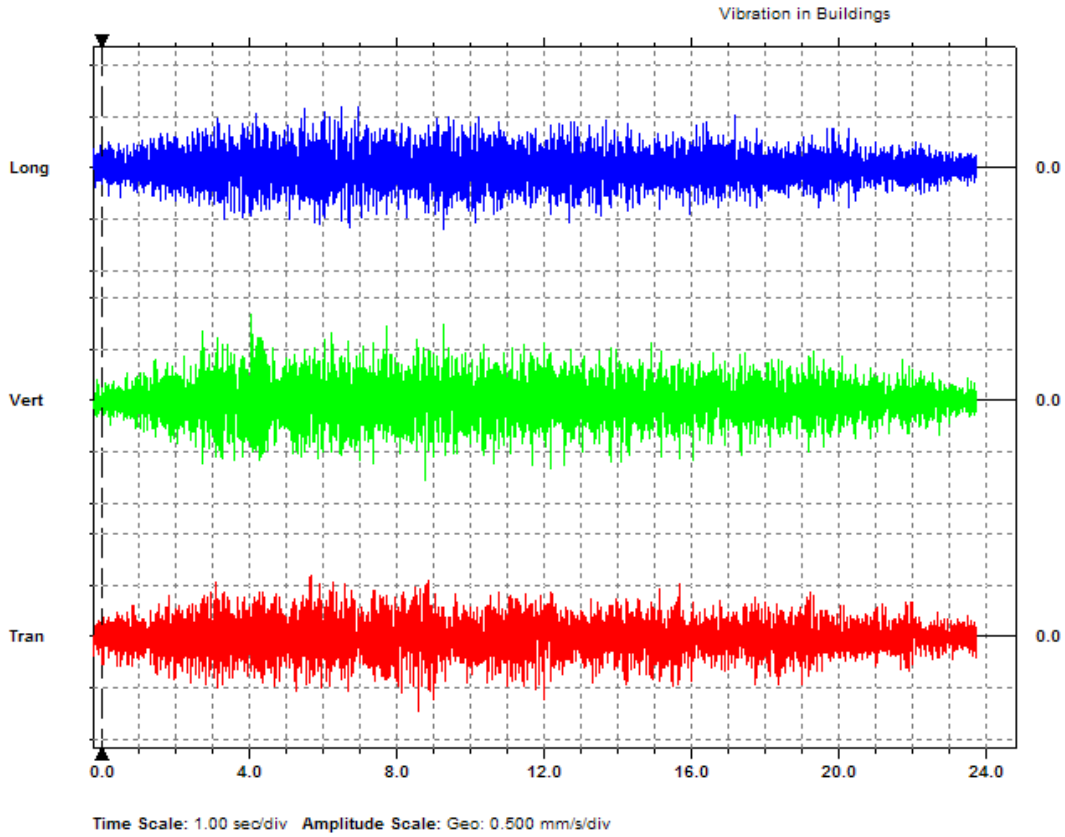
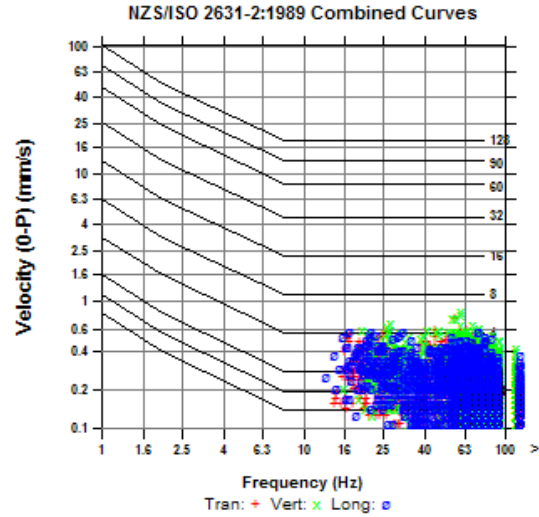
Date/Time Tran at 16:01:26 September 17, 2010  
 Trigger Source Geo: 0.250 mm/s  
 Range Geo: 31.7 mm/s  
 Record Time 23.75 sec (Auto=1Sec) at 2048 sps  
 Job Number: 2598

Serial Number BE8809 V 10.06-8.17 MiniMate Plus  
 Battery Level 8.8 Volts  
 Unit Calibration October 6, 1999 by Instantel Inc.  
 File Name H809DF24.IE0

Notes  
 Location: Mp 3  
 Client: NCC  
 User Name: Pentti Ervo / WSP Finland Oy  
 General: Tampereen Kansli ja Areena

Extended Notes  
 3-komponentti

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.730	0.841	0.587	mm/s
PPV	48.3	49.5	46.4	dB
ZC Freq	57	60	73	Hz
Time (Rel. to Trig)	8.585	4.026	6.478	sec
Peak Acceleration	0.0265	0.0331	0.0365	g
Peak Displacement	0.00456	0.00395	0.00352	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Peak Vector Sum	0.867 mm/s at 4.026 sec			





Tampere, mp 4



Date/Time Vert at 16:01:28 September 17, 2010  
 Trigger Source Geo: 0.250 mm/s  
 Range Geo: 31.7 mm/s  
 Record Time 20.25 sec (Auto=1Sec) at 2048 sps  
 Job Number: 2598

Serial Number BE8668 V 10.06-8.17 MiniMate Plus  
 Battery Level 6.8 Volts  
 Unit Calibration January 22, 2003 by Instantel Inc.  
 File Name J668DF24.IG0

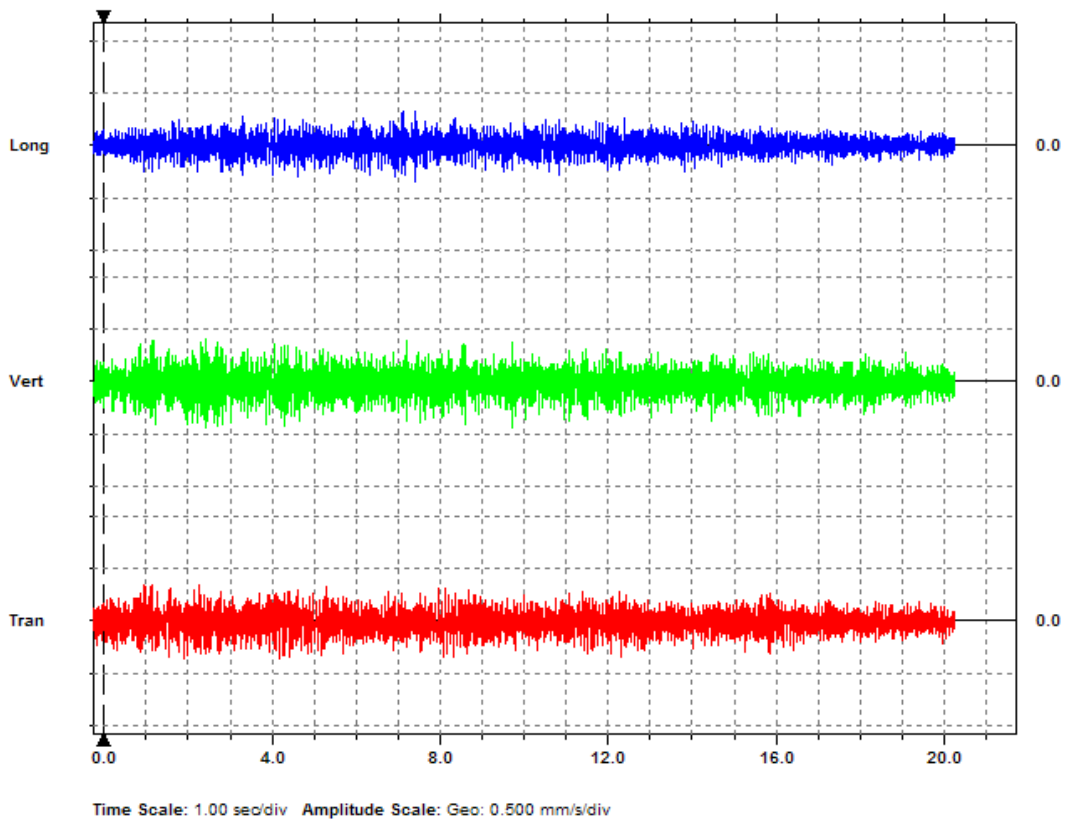
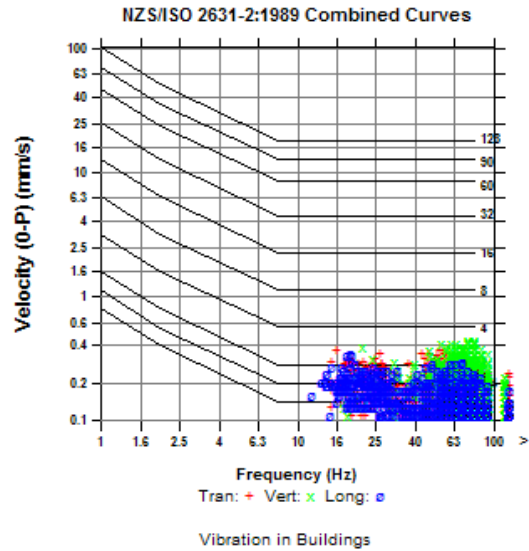
Notes

Location: Mp 4  
 Client: NCC  
 User Name: PER / WSP Finland Oy  
 General: Tampereen Kansijä Arena

Extended Notes

3-komponentti.

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.365	0.444	0.349	mm/s
PPV	42.2	44.0	41.9	dB
ZC Freq	54	79	18.6	Hz
Time (Rel. to Trig)	1.917	2.429	7.390	sec
Peak Acceleration	0.0199	0.0265	0.0199	g
Peak Displacement	0.00287	0.00207	0.00229	mm
Sensor Check	Disabled	Disabled	Disabled	
Peak Vector Sum	0.493 mm/s at 1.128 sec			





Tampere, mp 5



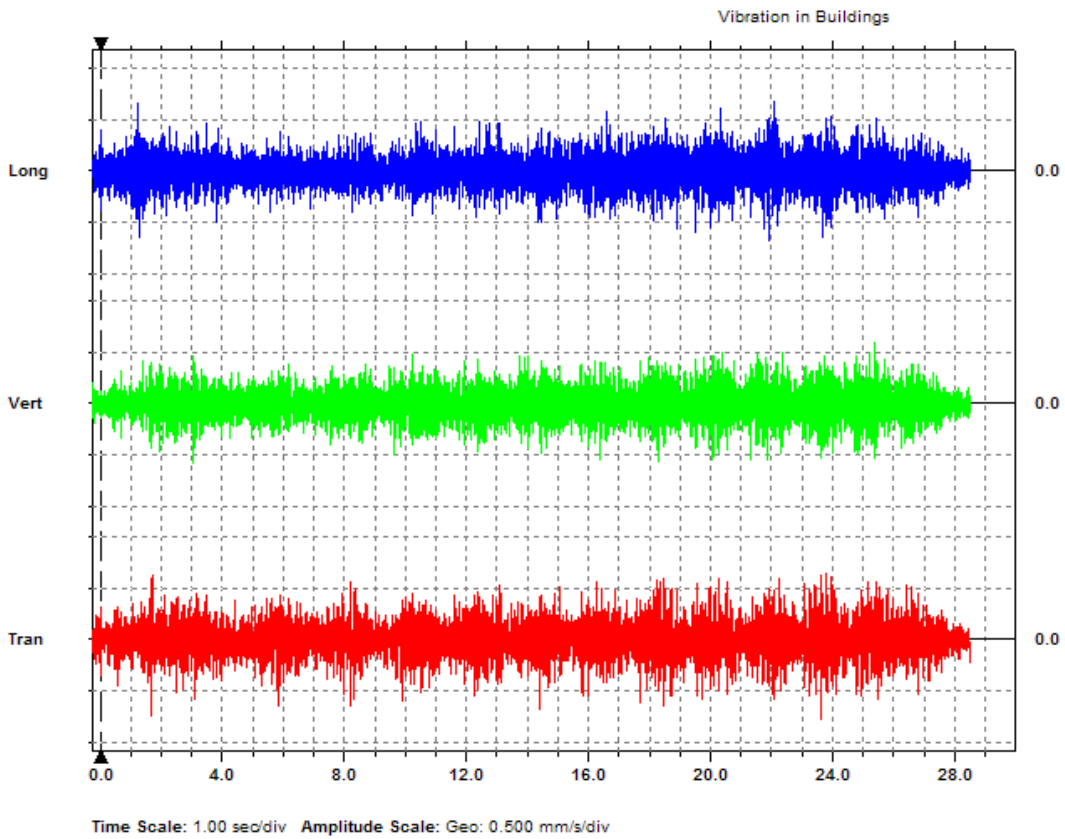
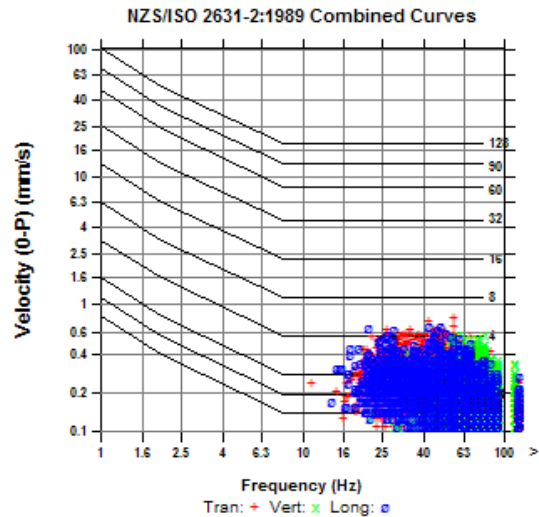
Date/Time Tran at 15:14:50 September 17, 2010  
 Trigger Source Geo: 0.300 mm/s  
 Range Geo: 31.7 mm/s  
 Record Time 28.5 sec (Auto=1Sec) at 2048 sps  
 Job Number: 2598

Serial Number BE8889 V 10.06-8.17 MiniMate Plus  
 Battery Level 6.8 Volts  
 Unit Calibration January 22, 2003 by Instantel Inc.  
 File Name J669DF22.CQ0

Notes  
 Location: Mp 5  
 Client: NCC  
 User Name: PEr/WSP Finland Oy  
 General: Tampereen Kansijä Arena

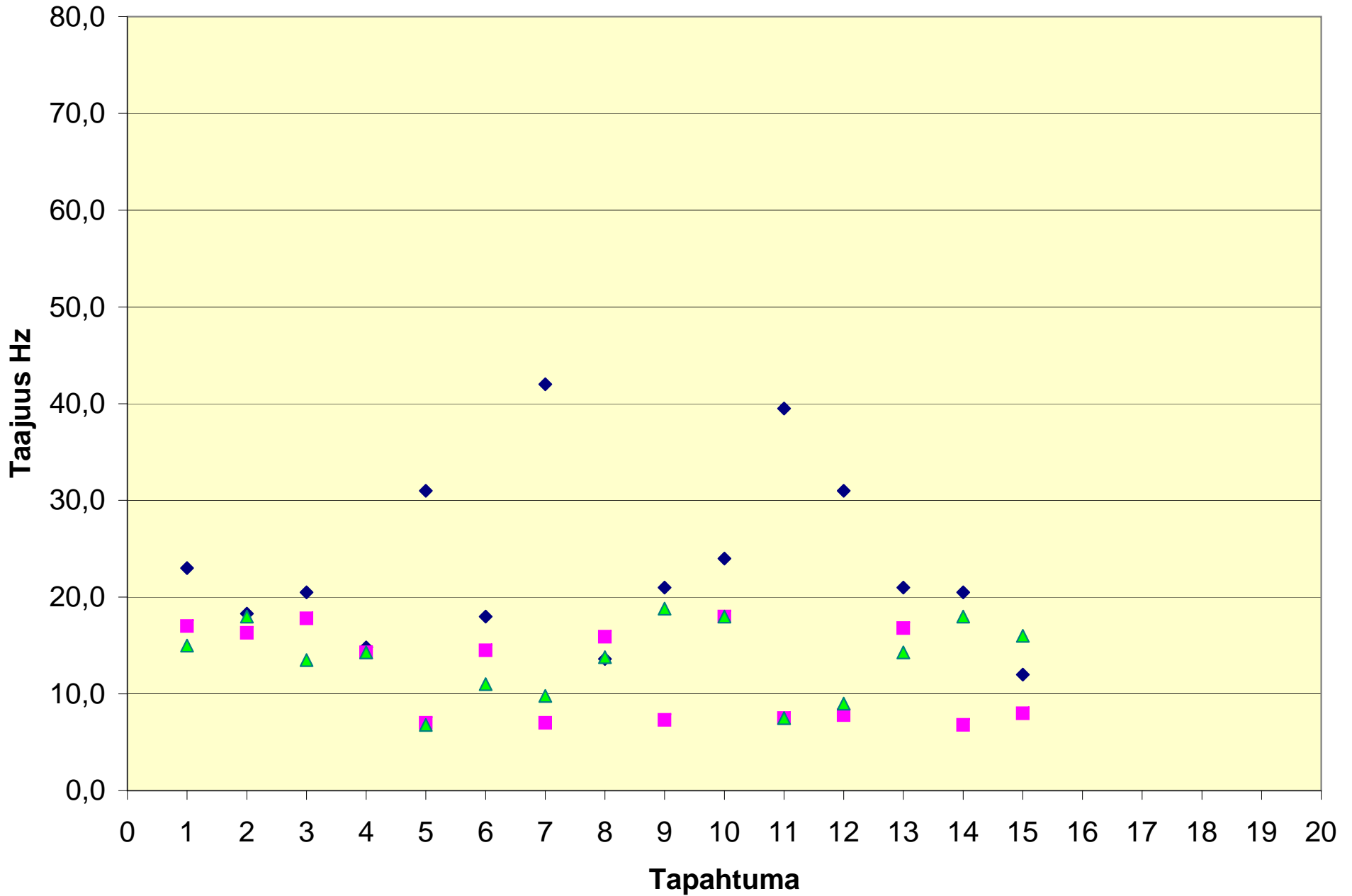
Extended Notes  
 3-komponentti

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.778	0.587	0.667	mm/s
PPV	48.8	46.4	47.5	dB
ZC Freq	57	60	43	Hz
Time (Rel. to Trig)	23.611	25.394	21.944	sec
Peak Acceleration	0.0298	0.0265	0.0265	g
Peak Displacement	0.00321	0.00162	0.00433	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Peak Vector Sum	0.786 mm/s at 23.612 sec			

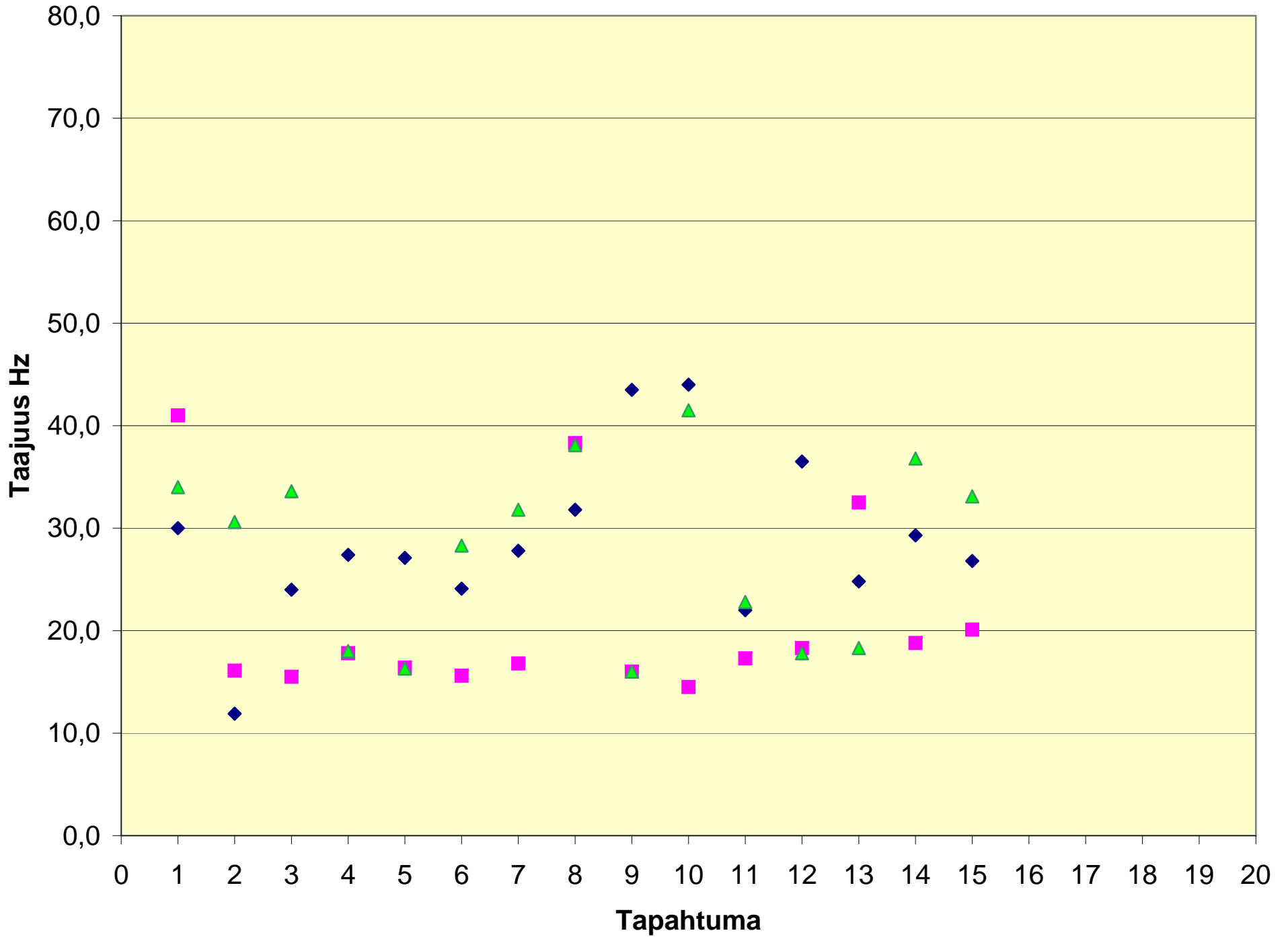




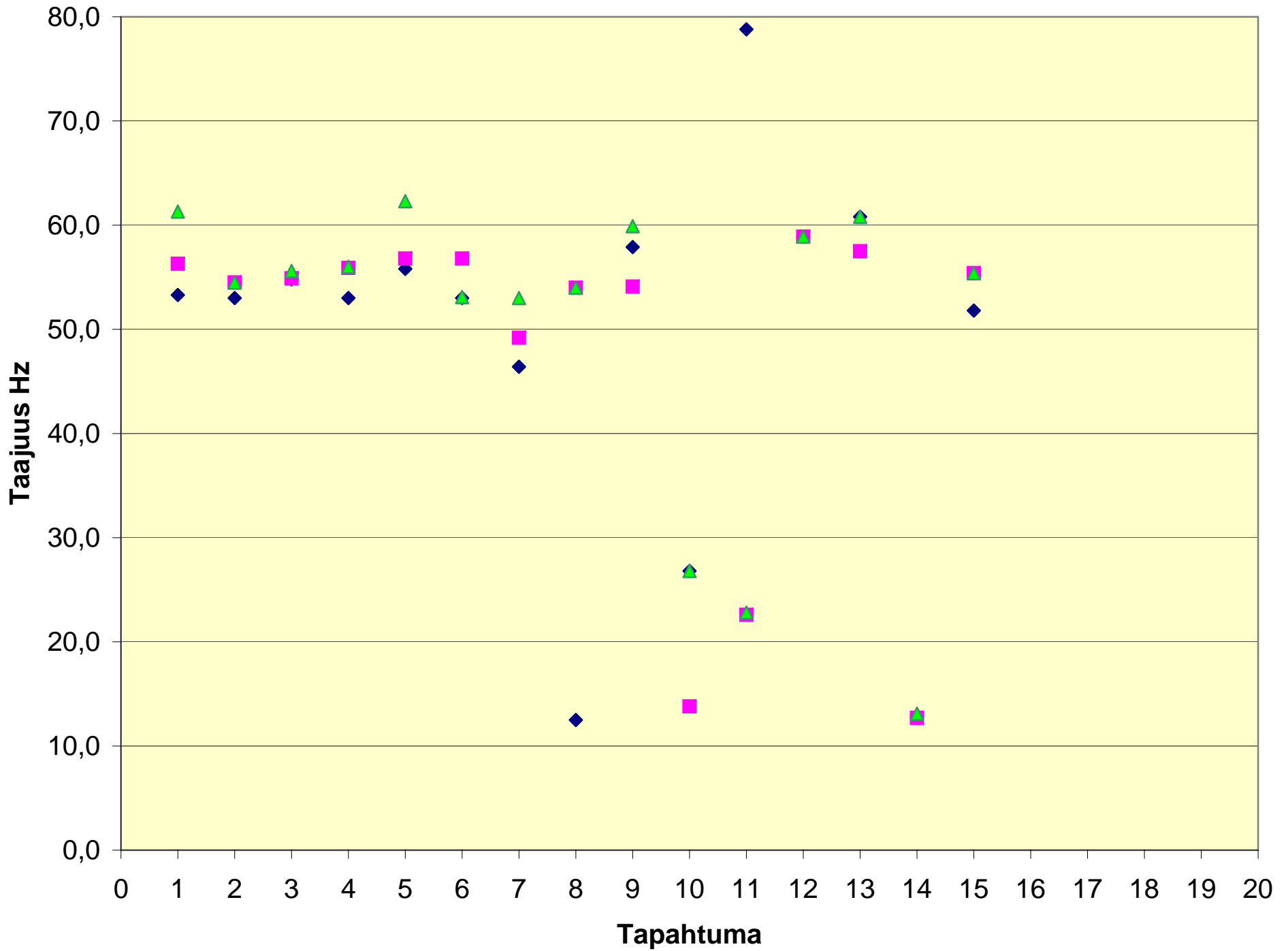
## MP 1 - FFT



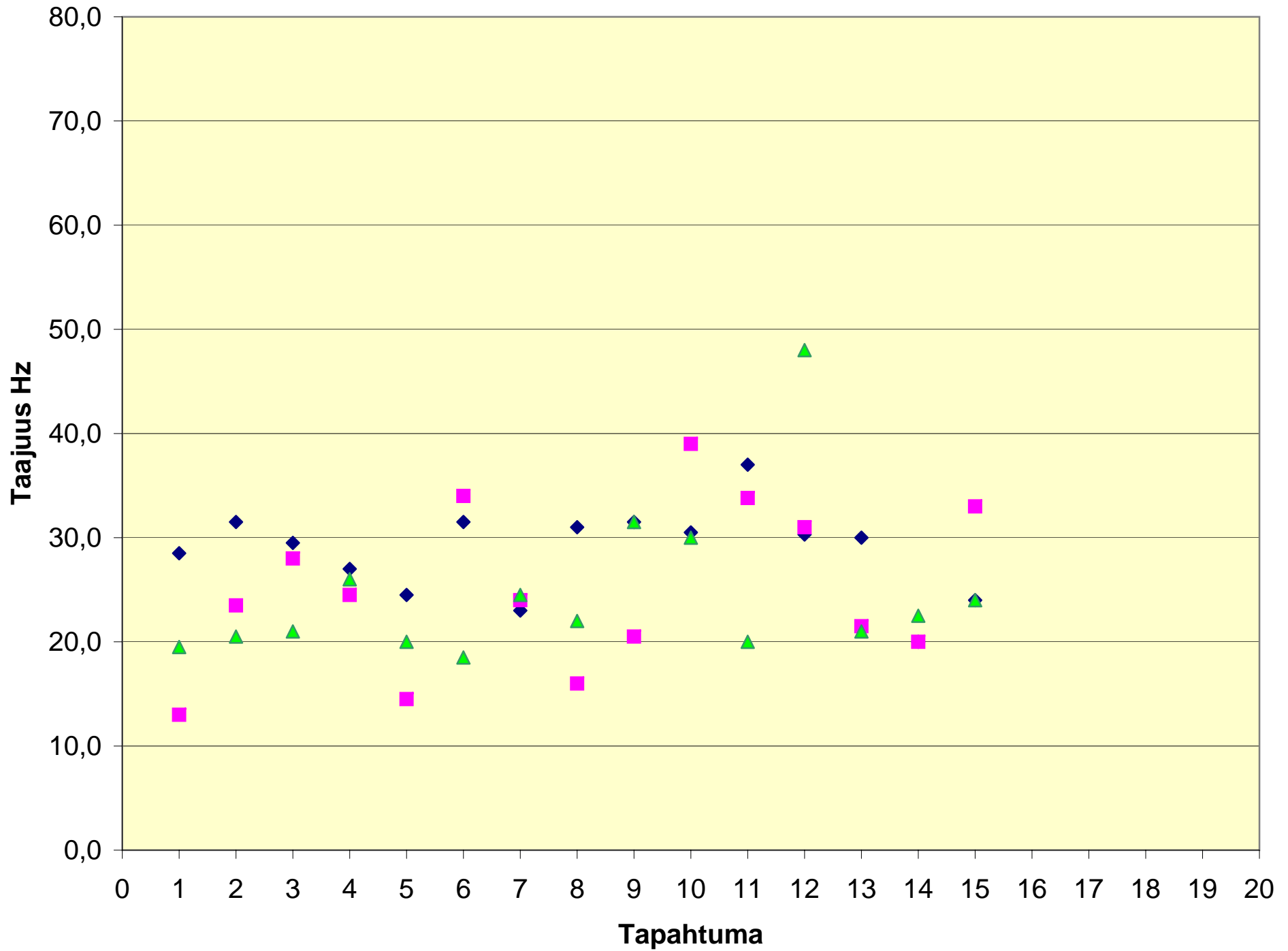
# MP 2 - FFT



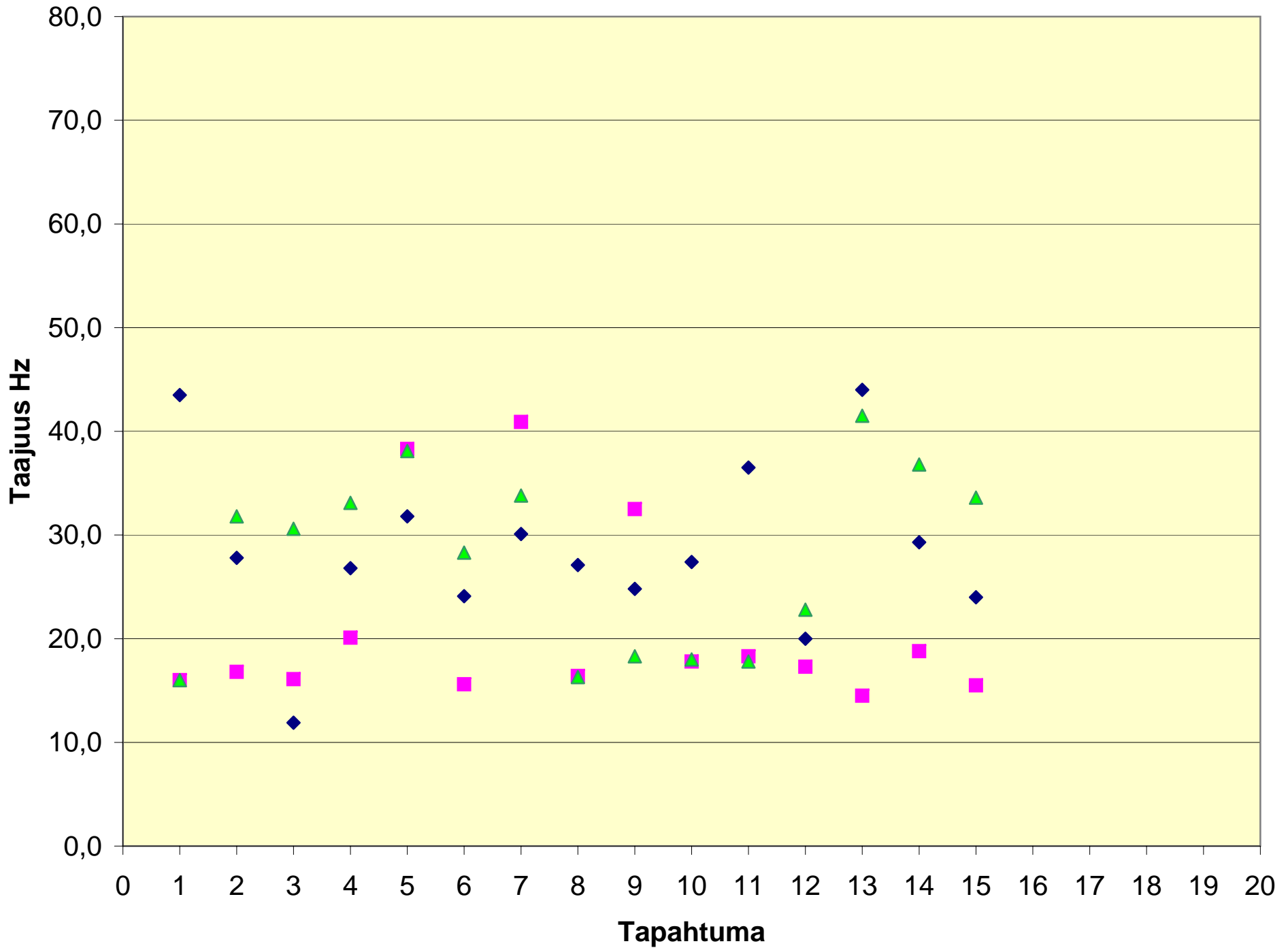
# MP 3 - FFT



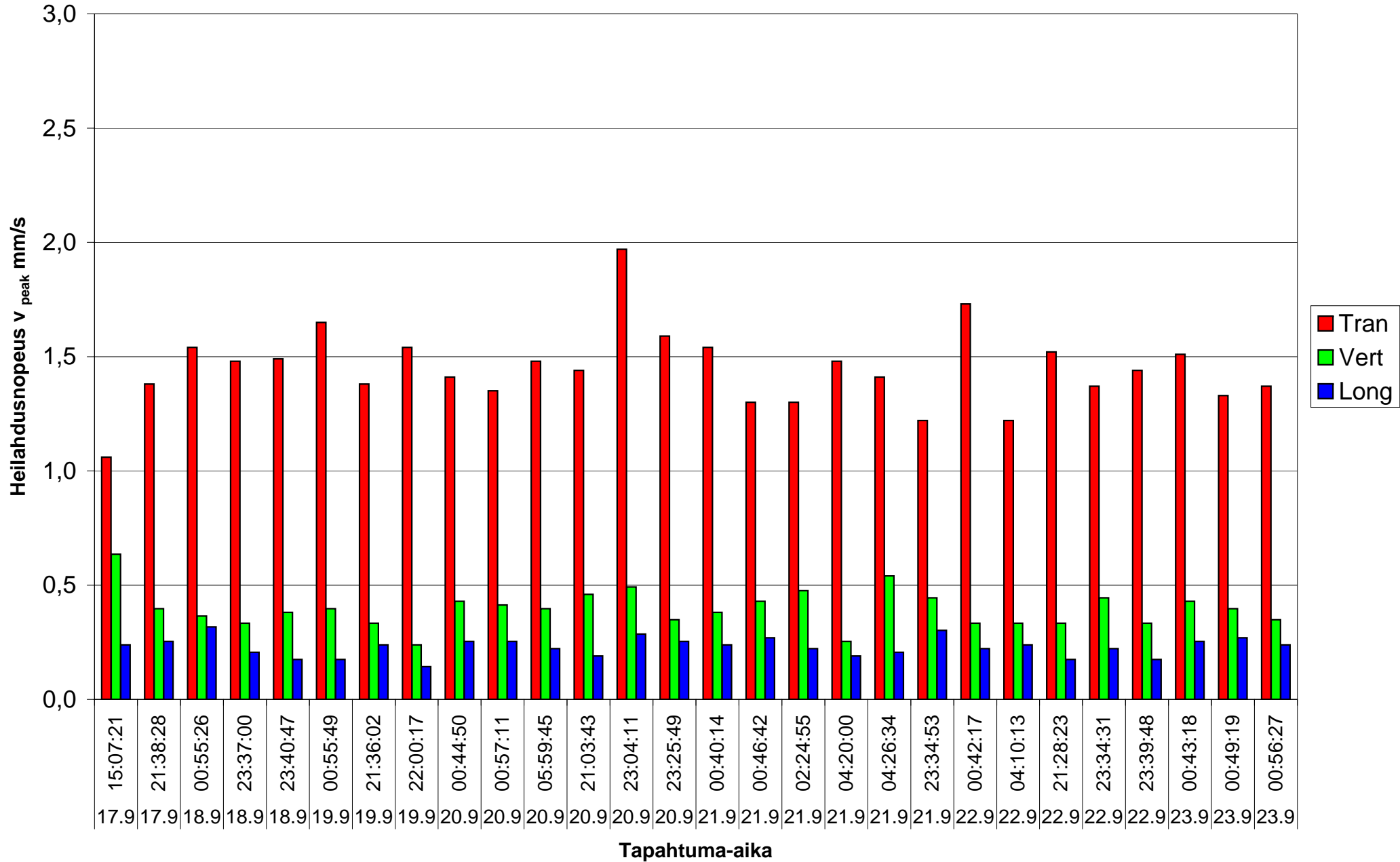
# MP 4 - FFT



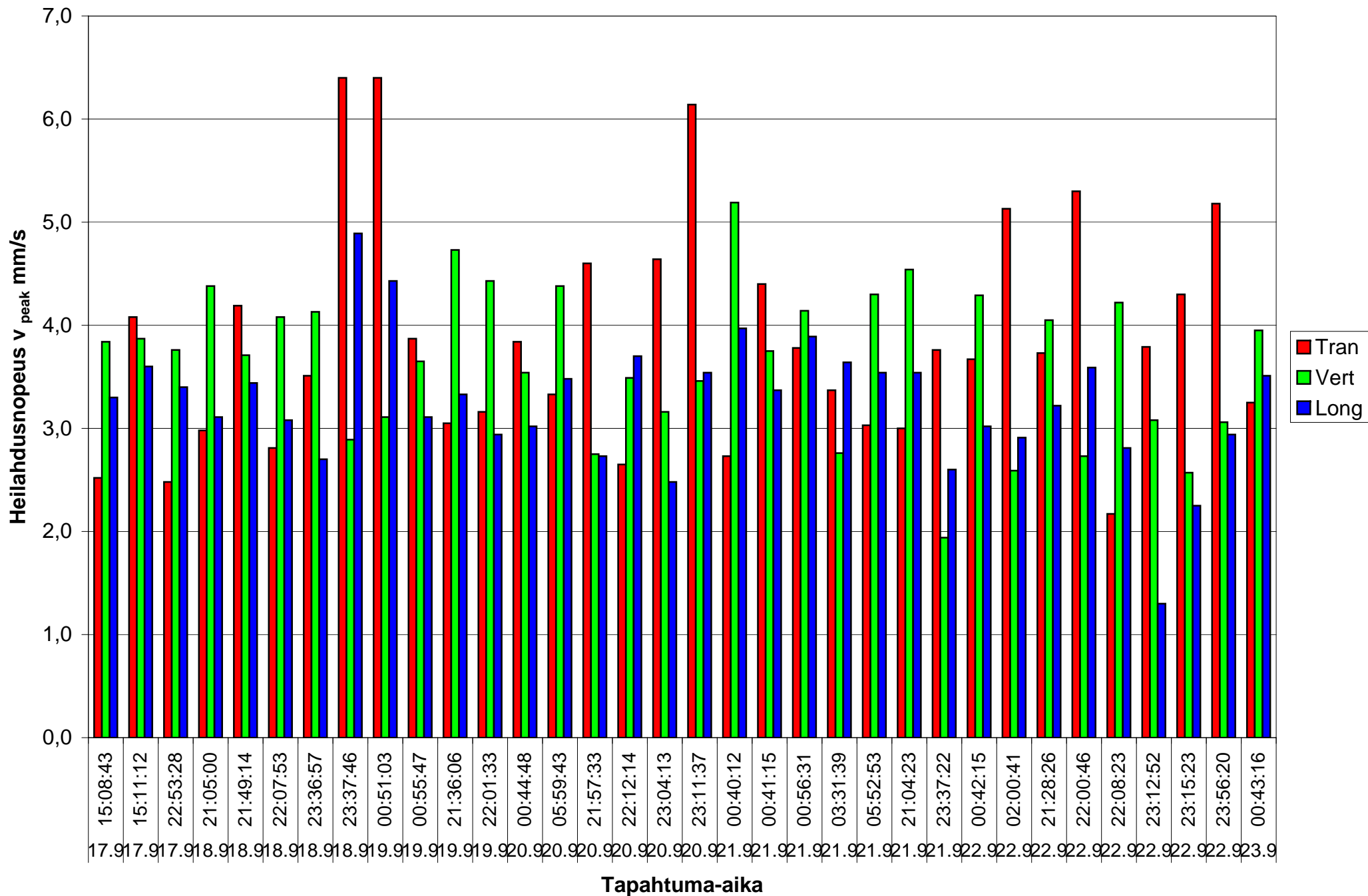
# MP 5 - FFT



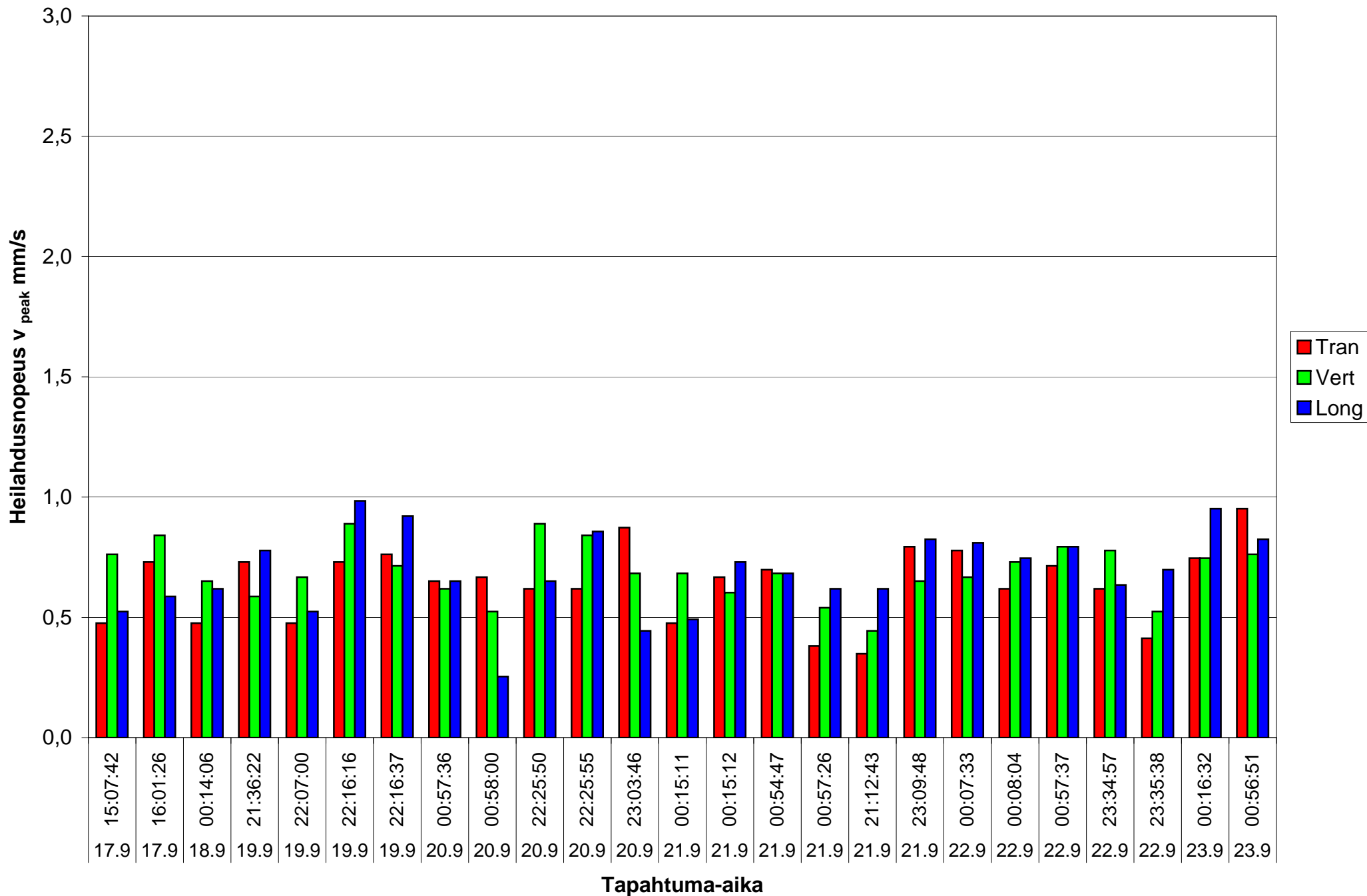
## Mp 1, eri komponenttien osuus tapahtumassa



## Mp 2, eri komponenttien osuus tapahtumassa

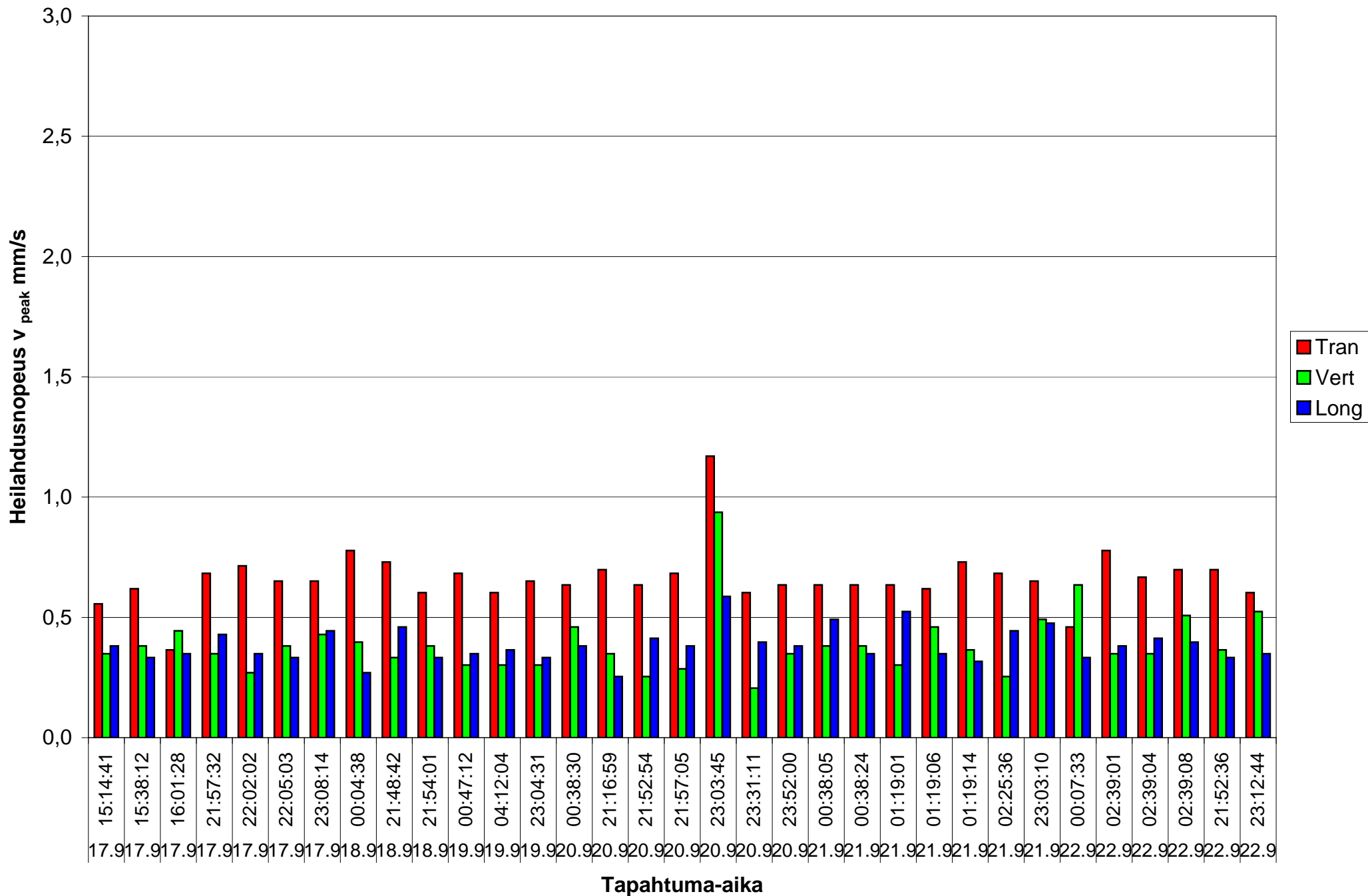


## Mp 3, eri komponenttien osuus tapahtumassa

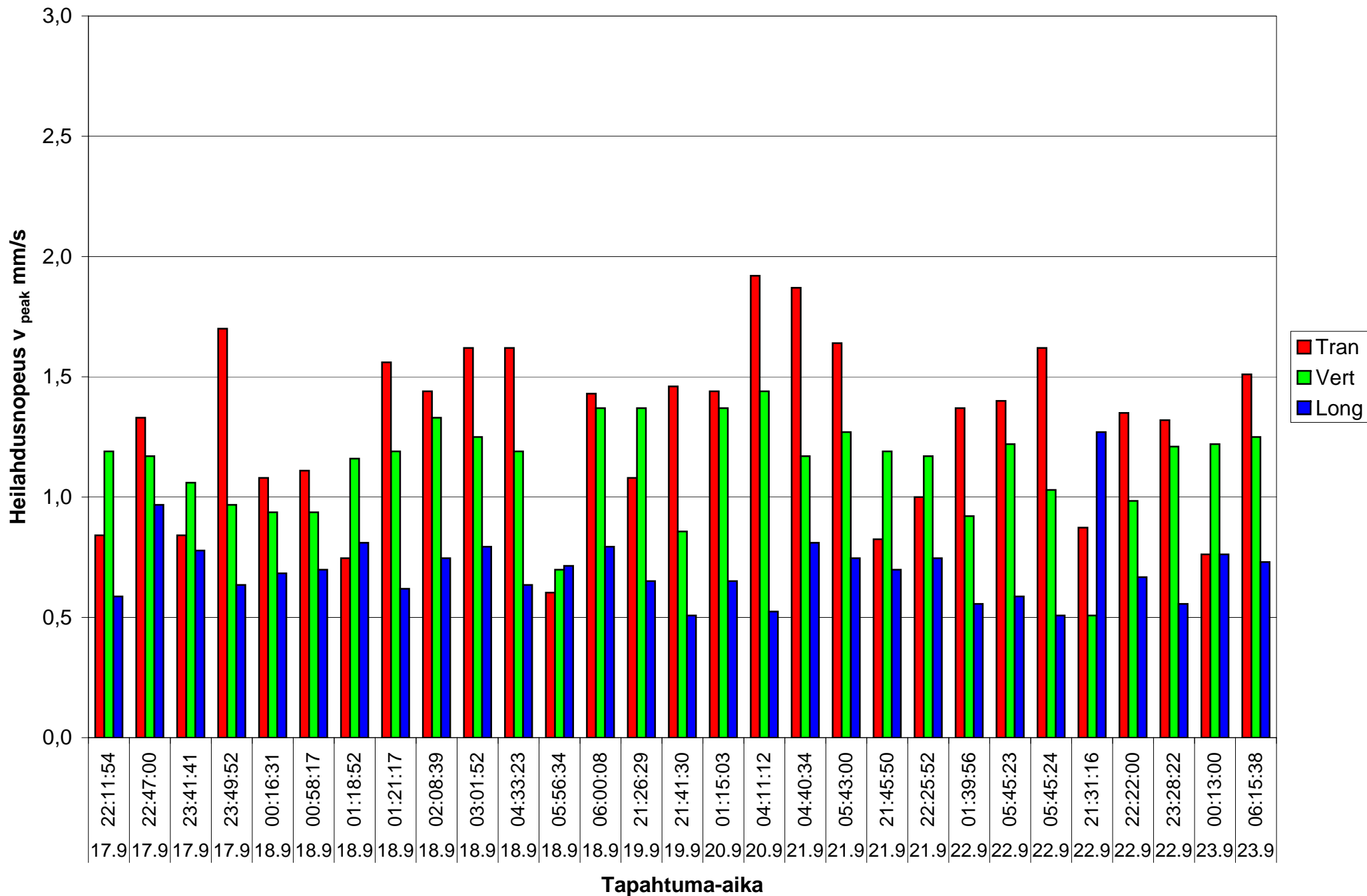


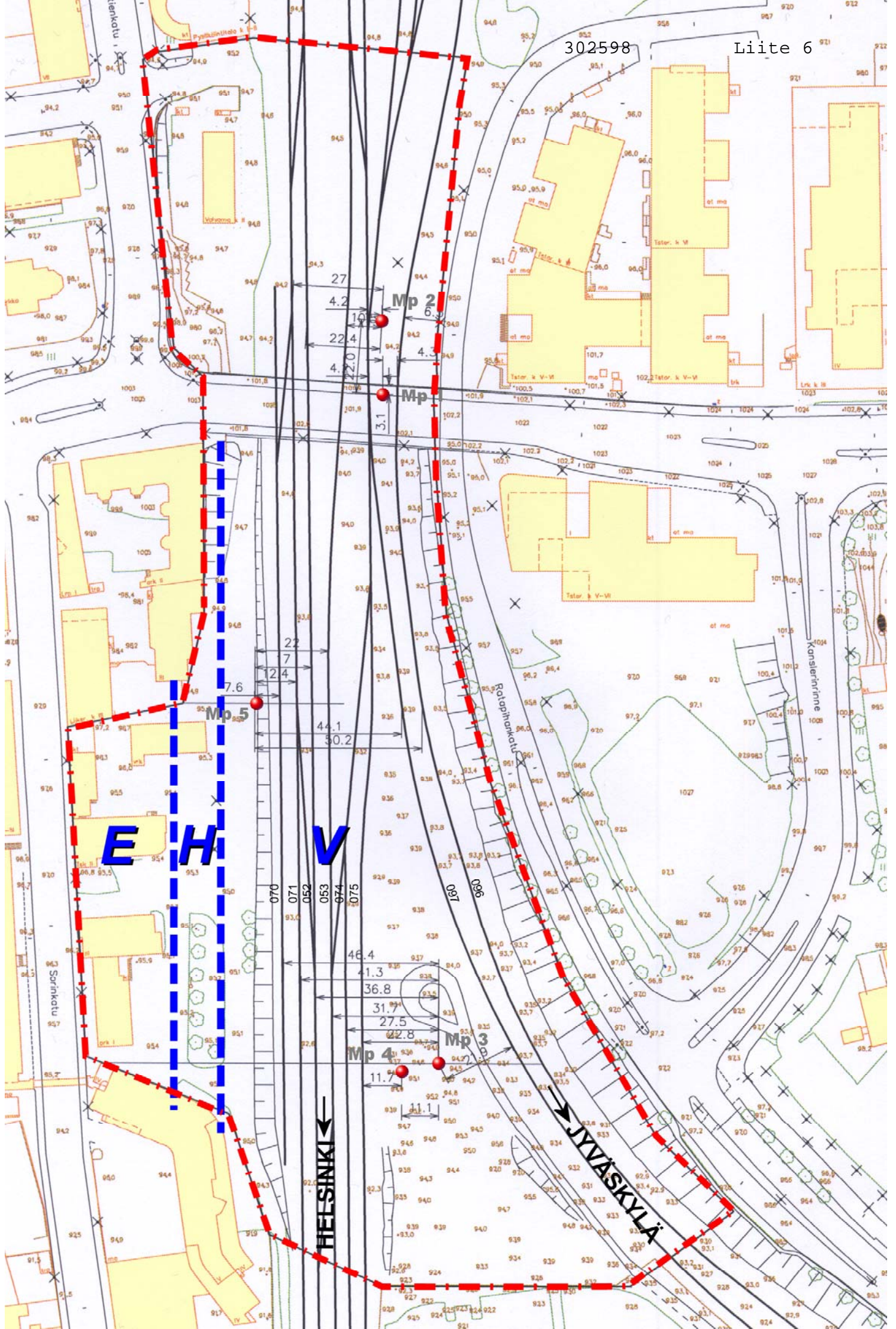


## Mp 4, eri komponenttien osuus tapahtumassa



## Mp 5, eri komponenttien osuus tapahtumassa







UNITED  
BY OUR  
DIFFERENCE



TAMPEREEN KANSI JA KESKUSAREENA

Kaavamuutos

Rakenneluonnosten dynamiikkatarkastelu

26.10.2010

## Laadunhallinta

Versio/muutokset	Versio 1	Muutos 1	Muutos 2	Muutos 3
Huomautukset				
Päiväys	26.10.2010			
Laatija	Risto Kiviluoma			
Allekirjoitus				
Tarkastanut				
Allekirjoitus				
Hyväksynyt				
Allekirjoitus				
Projektinumero	302598			
Tiedosto				

### KONSULTTI

WSP Finland Oy  
Heikkiläntie 7D  
00210 HELSINKI  
Puh. +358 207 864 11  
Faksi +358 207 864 800  
www.wspgroup.fi

Yhdyshenkilö  
Risto Kiviluoma

# Sisällys

<b>Tiivistelmä</b>	<b>4</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>5</b>
<b>2 Lähtötiedot</b>	<b>6</b>
<b>3 Värähtelyparametrit</b>	<b>8</b>
<b>4 Junaliikenteen aiheuttama värinä</b>	<b>12</b>
4.1 Laskentamenetelmä	12
4.2 Tulokset	14
<b>5 Tulosten tulkinta ja johtopäätökset</b>	<b>18</b>
<b>Lähdeluettelo</b>	<b>20</b>
<b>Liite 1 Värähtelyn ominaisuudet</b>	<b>21</b>

## Tiivistelmä

Tampereen kansi ja keskusareena on junaratojen päälle suunnitella oleva rakennuskompleksi. Tämä raportti liittyy kaavoitusvaiheessa tehtävään juna-liikenteen aiheuttaman värinän arviointiin. Raportissa esitetään simuloinnin tulokset, joilla on laskettu konseptiluonnosta vastaavien rakenteiden värinätasot. Tarkastelu on keskitetty asuin-, liike- ja toimistorakennuksiin sekä radan päälle suunniteltuun kanteen.

Simulointi on tehty numeerisesti elementtimenetelmällä käyttäen tarkoitusta varten laadittua 3-dimensioista rakennemallia. Rakennemalli on luotu hankkeen konseptiluonnosten pohjalta. Tarkasteltu rakenne on porapaaluille perustettu massiivinen kansi, jonka päälle rakennusmassat sijoittuvat. Radat kulkevat kannen alle, ja maaperän värinä välittyy rakenteisiin paalujen kautta. Kuormamalli on muodostettu maaperästä paikan päällä mitatuista värinöistä.

Tulosten mukaan, vaikka maaperän värinä on suurta (mitattu värinän pysyvuuntaisen vertailuarvo  $v_{w,95} = 0,9$  mm/s), itse rakenteiden värinä pysyy pienenä  $v_{w,95} < 0,1$  mm/s). Maaperän värinä ”jää” paaluihin kannen suurten rakennusmassojen estäessä värinän siirtymistä rakenteisiin. Tulosta ei voida suoraan yleistää koskemaan lopullista rakennetta, koska mm. liikuntasaumojen paikkoja, laakerointeja, perustusratkaisuja, rakenneratkaisuja ym. optimoidaan hankkeen edetessä.

Suoritettujen laskennan johtopäätöksenä kaavoitusta varten on, että:

- konseptiluonnosten mukainen hanke on värinäkysymysten suhteen toteutuskelpoinen
- värinä on otettava huomioon rakenneratkaisuja valittaessa ja rakennesuunnittelussa
- maaperän suuren värinätason ja rakenteiden epätavallisen tyyppin johdosta rakennuskompleksin lattioiden värinätasot on suositeltavaa edellyttää tarkastettavaksi laskennallisesti.

# 1 Johdanto

Tampereen kansi ja keskusareena on junaraitojen päälle suunnitteilla oleva rakennuskompleksi. Kohde sijaitsee Tampereen rautatieaseman kohdalla ja peittää radat kansimaisella rakenteella (kuva 1).

Tämä raportti liittyy kaavoitusvaiheen tarkasteluun ja erityisesti junaliikenteen aiheuttaman tärinän arviointiin. Tarkastelu on keskitetty asuin-, liike- ja toimistorakennuksiin sekä radan päälle suunniteltuun kanteen.

Yleisesti maaperän tärinä välittyy rakenteisiin ja voi siten vaikuttaa mm. asumismukavuuteen. Rakenteen sijainnista, perusratkaisuista ja rakeneratkaisuista riippuen tärinän ”yleistaso” vaimenee, mutta rakenteiden ominaisvärähtelymuotojen osalta tärinä voi resonanssien johdosta vahvistua. Konseptiluonnoksen rakenteet ovat tavanomaisesta talorakenteista poikkeavia ja yleiset liikikaavat resonanssivahvistuksesta (esim. VTT 2008) eivät oletettavasti päde. Tässä raportissa on käsitelty laskennallisesti (simuloimalla) tärinän esiintymistä ko. hankkeen rakenteissa mukaan lukien em. resonanssivahvistus. Simulointi on tehty dynaamisella analyysillä käyttäen elementtimenetelmää (FEM) ja transienttilaskentaa.

Koska hankkeen rakenteet ovat toistaiseksi alustavia luonnoksia, raportin tulokset sopivat ainoastaan kaavoitusvaiheen tarkasteluihin.

Kaavoitusvaihetta varten alueella on tehty maaperän tärinämittauksia junaliikenteelle (WSP 2010). Näitä tuloksia on käytetty tässä raportissa lähtötietoina kuormamallin laadinnassa.



*Kuva 1: Eräs konseptiluonnos hankkeesta.*



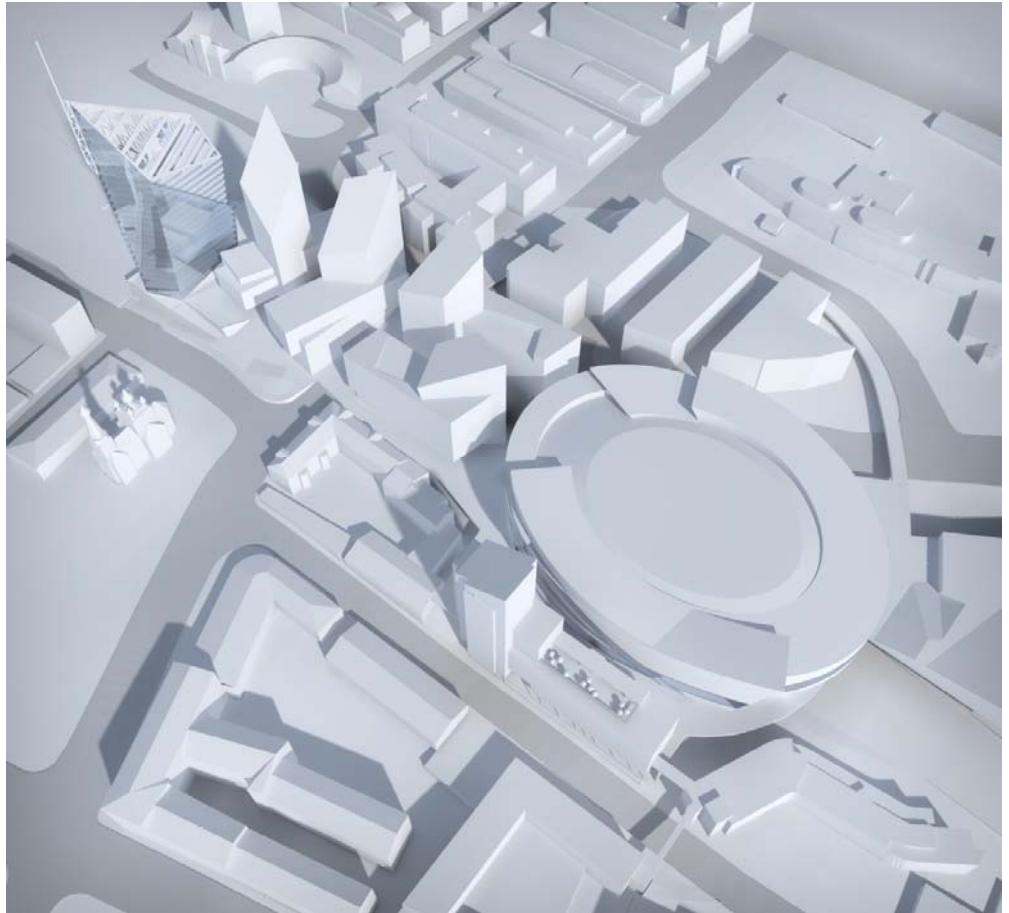
## 2 Lähtötiedot

Tarkastelun lähtökohdaksi on otettu *kuvan 2* mukaiset konseptiluonnokset. Konseptissa ratapihan peittää massiivinen kansimainen rakenne, jonka päällä rakennusmassat sijaitsevat.

Aikaisempien selvitysten mukaisesti kansi on oletettu perustettavaksi pora-paaluilla, jotka portaan kallioon asti. Kallio sijaitsee n. 27 m syvyydessä maanpinnasta.

Kansi on oletettu muodostettavaksi esivalmistetuista betonisista palkki ja laattaelementeistä. Laattaelementtien päälle voidaan tehdä paikallavaluja.

Koska elementtien kutistumamuodonmuutokset ja mahdolliset jännittämismuodonmuutokset ovat pääosin tapahtuneet ennen asennusvaihetta, on oletettu että liikuntasauvojen väli kannessa voi olla kohtuullisen suuri.



*Kuva 2: Tarkastelussa käytetty konseptiluonnos hankkeesta.*

### 3 Värähtelyparametrit

Tämän raportin tarpeisiin tehty FEM-malli on esitetty *kuvassa 3*.

Mallissa on mallinnettu kansi 33 x 64 m<sup>2</sup> alueelta, kannen paaluperustukset sekä kannen päällä sijaitsevia rakennuksia. Rakennusten jäykistysratkaisut ja rakenteelliset dimensiot on valittu kuvaaviksi tämän tyyppisille rakenteille.

Kannen paalujen/pilareiden halkaisijaksi on oletettu 600 mm. Taivutusjäykkyys on laskettu 600 mm betonipoikkileikkauksen mukaan.

Mallinnettujen rakennusten korkeudet ja rakennusrungon jäykistystyypit ovat:

- A: 16 kerrosta, sydänjäykistetty
- B: 8 kerrosta, seinä & pilarijäykistys
- C: 5 kerrosta, seinäjäykistys

Rakennukset ovat epäsymmetrisiä vääntövärähtelyjen huomioon ottamiseksi.

Rakennusten lattiat on mallinnettu massiivisiksi betonilattioiksi, joidenka rakennekorkeus on 250 mm.

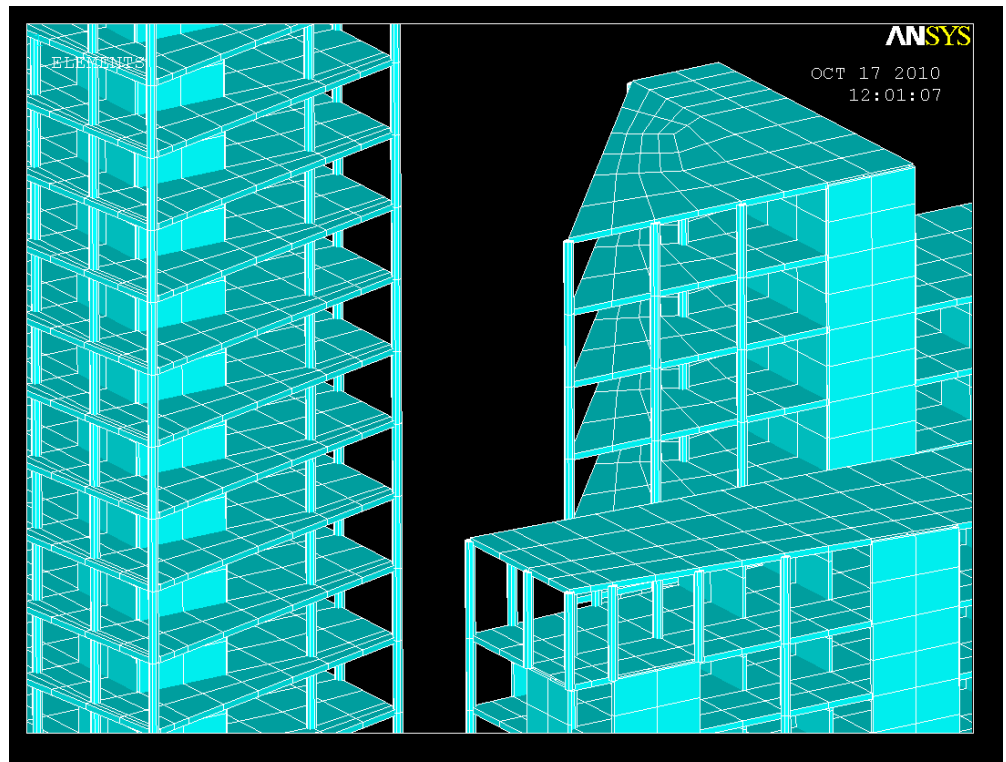
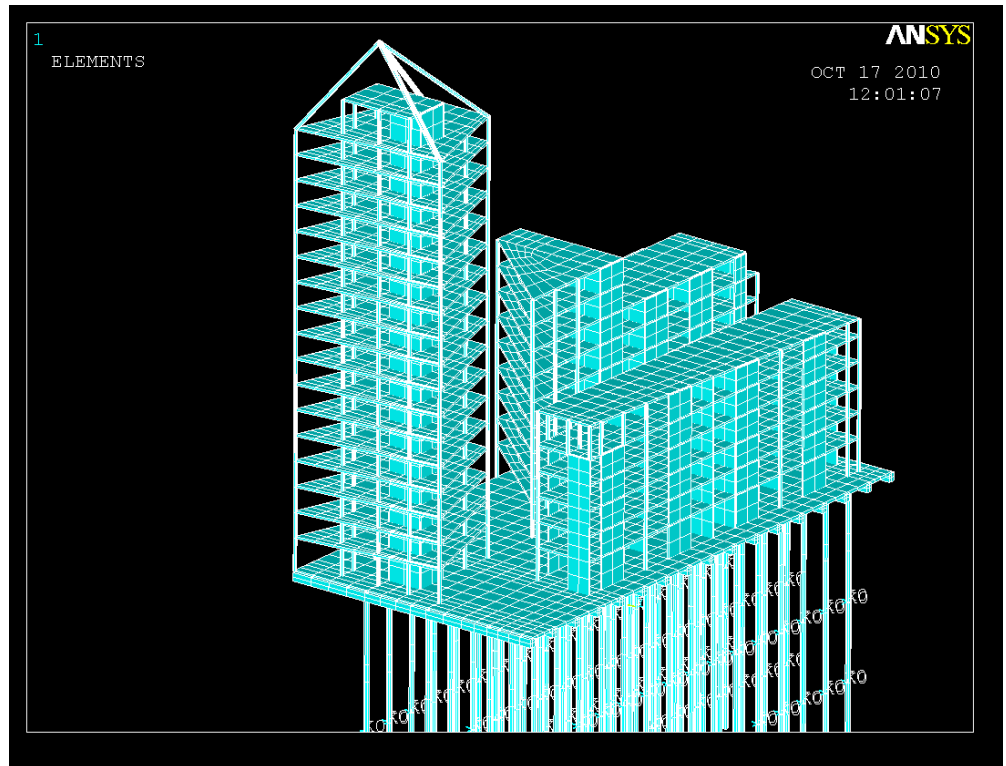
Betonirakenteiden mahdollinen halkeilu sekä elementtien liitosvalut on otettu huomioon käyttämällä

- seinille 50% täydestä jäykkyydestä
- laatoille 70% täydestä jäykkyydestä
- pilareille 100% täydestä jäykkyydestä.

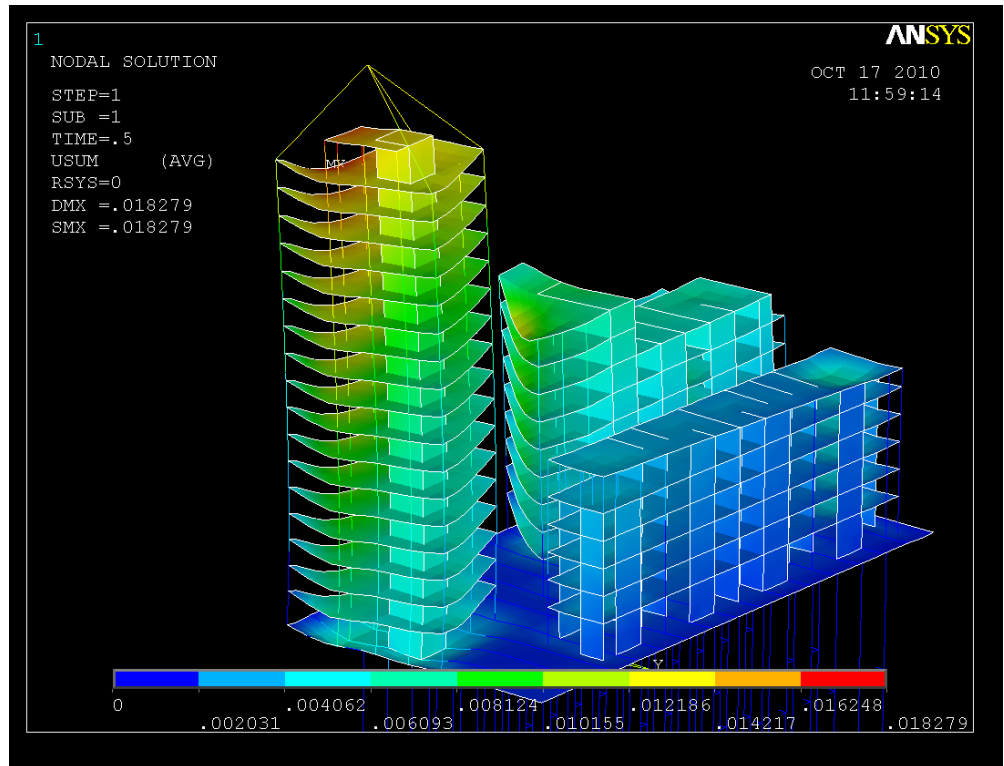
Malli koostuu palkki-, kuori- ja jousielementeistä.

*Kuvassa 4* on havainnollistettu siirtymätilaa pysyvistä kuormista.

Mallia vastaavat pysyvät kuormat aiheuttavat paaluihin 1,0...3,5 MN paalukuorman.



*Kuva 3: Rakennuksen FEM-malli viiva- ja pintaelementtien poikkileikkaus näytettynä.*



Kuva 4: Siirtymätila pysyvistä kuormista.

Rakennuksen alimmat ominaistajuuudet ja -värähtelymuodot on esitetty liitteessä 1. Rakennusten alimmat ominaistajuuudet ovat:

A: (16 kerrosta); 0,4 Hz

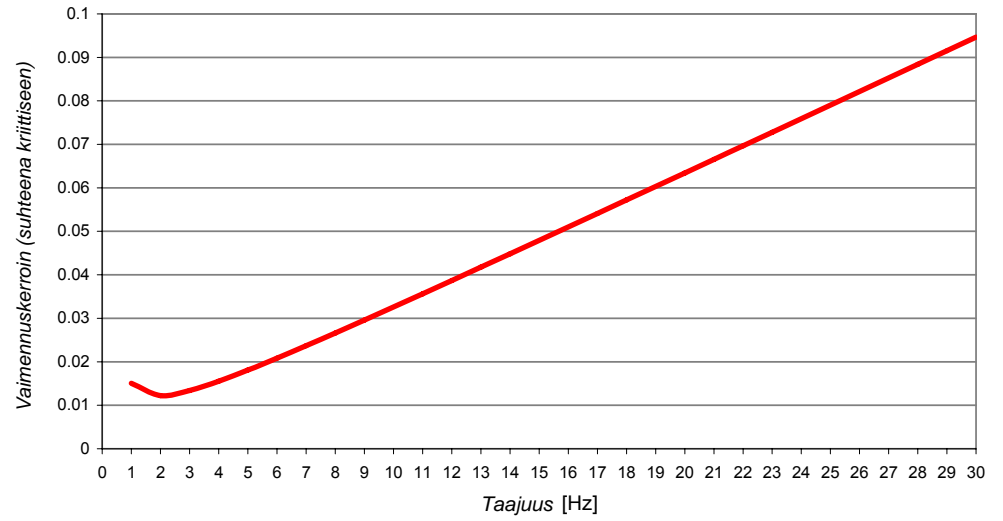
B: (9 kerrosta); 1,4 Hz

C: (5 kerrosta); 1,9 Hz

Lattioiden ominaistajuuudet ovat 6,5 Hz ylöspäin riippuen lattian jännemitoista.

Transienttilaskentamenetelmän johdosta vaimennus on mallinnettu suhteellisenä (Rayleighin) vaimennuksena. Vaimennusta vastaava vaimennuskertoimen on esitetty kuvassa 5. Vaimennus on valittu kuvaamaan tyypillisiä rakennusrungon ja lattioiden vaimennuskertoimia.

Laskennassa käytetty vaimennuskerroin taajuuden funktiona



Kuva 5: Laskennassa käytetty oletus vaimennukselle.

## 4 Junaliikenteen aiheuttama tärinä

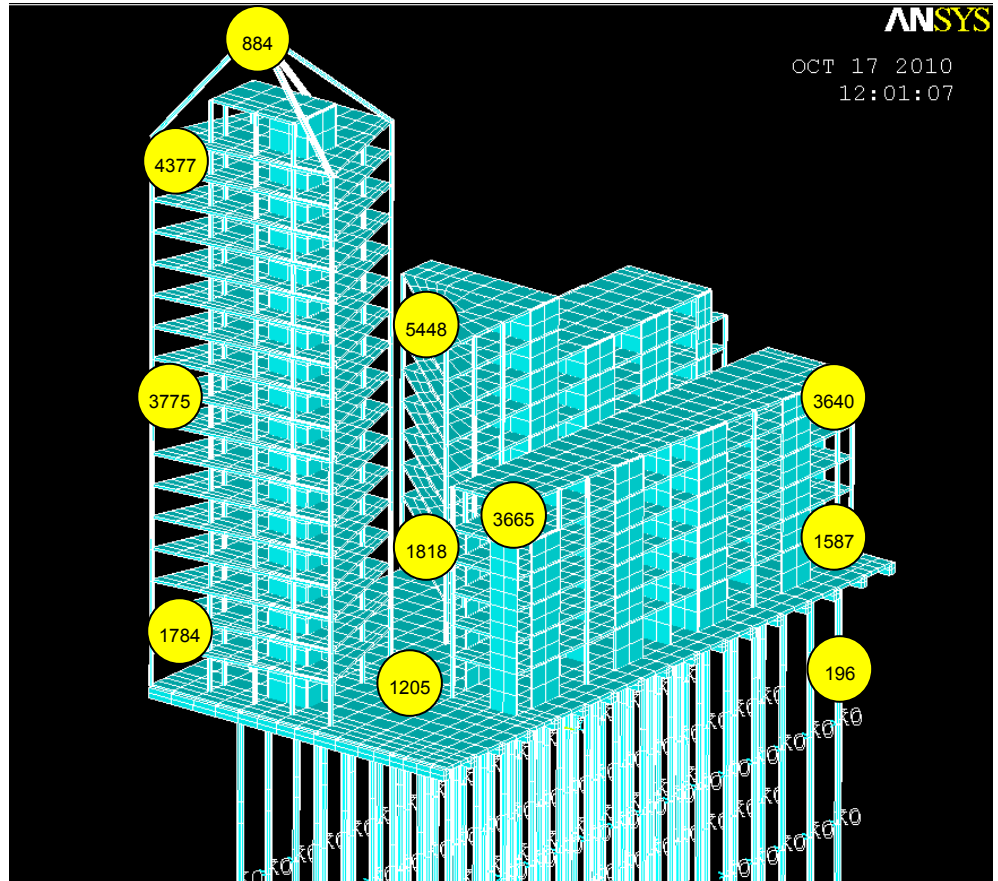
### 4.1 Laskentamenetelmä

Herätteeksi on laskennassa asetettu rakennuspaikalta mitatut, nykyistä junaliikennettä kuvaavat, maan tärinän aikahistoriat. Tarkastelu on kohdistettu mitattuihin maksimivasteisiin, ja yhden aikahistorian kesto on n. 1 s.

Laskennassa käytetty aika-askel = 0,002 s, josta seuraa että laskennalliset vasteet ovat vaimentuneita taajuusalueella n. 25 Hz ylöspäin.

Herätteet vaikuttavat maan tasossa ja aiheuttavat ajasta riippuvia pakkosiirtymiä kansilaatan paaluihin vaakatasossa ( $X$  = radan suunta ja  $Y$  = poikkisuunta). Maan pystysuuntainen ( $Z$ ) tärinä on jätetty ottamatta huomioon oletetun perustusratkaisun johdosta. Erityisesti on oletettu että peruskallio ei tärise junaliikenteen johdosta, eivätkä paalut saa myöskään kitkan johdosta pystysuuntaisia pakkosiirtymiä.

Vasteen aikahistoriat on määritetty *kuvan 6* mukaisissa pisteissä.



Numero	Kuvaus
884	A-rakennus, huippu
5448	B-rakennus, 8 krs lattia
1818	B-rakennus, 1 krs lattia
1784	A-rakennus, 1 krs lattia
3775	A-rakennus, 9 krs lattia
4377	A-rakennus, 16 krs lattia
3665	C-rakennus, 5 krs lattia, lyhyt jänne
1587	C-rakennus, 1 krs lattia, pitkä jänne
3640	C-rakennus, 5 krs lattia, pitkä jänne
1205	Kansi
196	Maa

Kuva 6: Tulosten esityspisteet.



## 4.2 Tulokset

Tulokset on esitetty *taulukossa 1*. Esimerkkejä määritetyistä aikahistorioista on esitetty *kuvissa 7 ja 8*.

*Taulukossa 2* on esitetty suositus raideliikenteen aiheuttaman tärinän maksimitasosta. Taulukossa 2 käytetty värähtelyn tunnuskulu  $v_{w,95}$  (VTT 2008) vastaa lukua joka saataisiin taulukon 1 rms arvoista taajuuspainotuksilla ja kasvattamalla tilastollista otosta (= kasvattamalla simulointiajojen ajojen määrää eri junaherätteitä vastaten). Tulosten mukaan kaikissa lattioissa ja kannessa  $v_{w,95} < 0,10$ .

*Taulukko 1: Simulointiajojen tulokset*

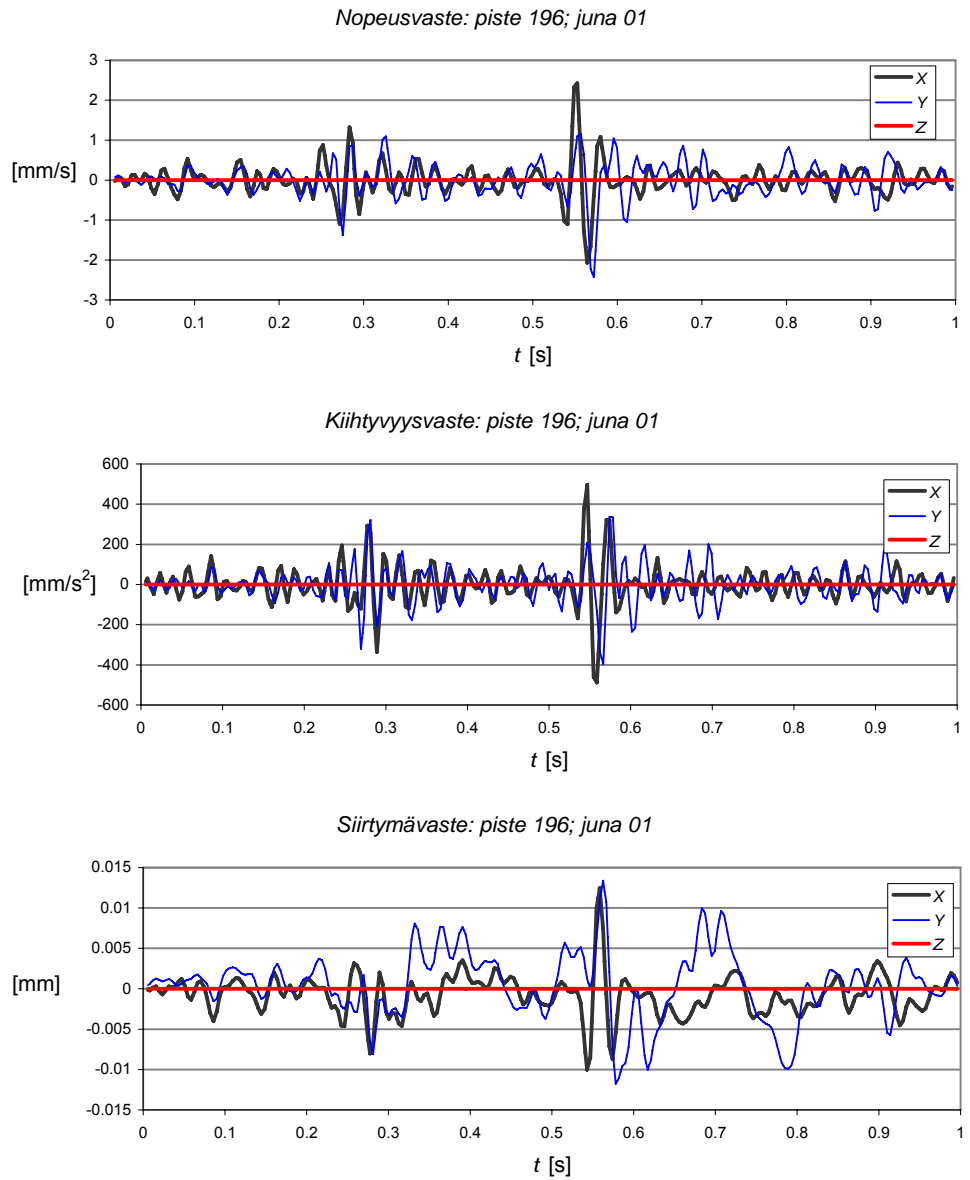
Heilahtelunopeuksien rms arvot [mm/s] ilman taajuuspainotuksia <sup>1</sup> Maksimikihtyvyydet mm/s<sup>2</sup>

Piste / tärinän suunta	juna 01 <sup>2</sup>	juna 02 <sup>3</sup>	Maks	juna 01 <sup>2</sup>	juna 02 <sup>3</sup>	Maks
884 UX	0.01	0.01	0.01	1.2	1.10	1.2
884 UY	0.01	0.01	0.01	1.4	0.94	1.4
884 UZ	0.00	0.00	0.00	0.9	0.55	0.9
5448 UX	0.01	0.01	0.01	1.0	0.93	1.0
5448 UY	0.02	0.01	0.02	1.9	0.67	1.9
5448 UZ	0.03	0.01	0.03	3.4	1.44	3.4
1818 UX	0.01	0.01	0.01	3.2	1.44	3.2
1818 UY	0.02	0.01	0.02	3.4	4.06	4.1
1818 UZ	0.03	0.01	0.03	4.0	1.74	4.0
1784 UX	0.01	0.01	0.01	2.5	1.33	2.5
1784 UY	0.02	0.01	0.02	5.3	4.77	5.3
1784 UZ	0.01	0.01	0.01	6.1	4.67	6.1
3775 UX	0.01	0.00	0.01	1.1	0.58	1.1
3775 UY	0.01	0.00	0.01	1.3	0.78	1.3
3775 UZ	0.01	0.01	0.01	1.6	1.40	1.6
4377 UX	0.01	0.01	0.01	0.6	0.44	0.6
4377 UY	0.01	0.01	0.01	0.6	0.50	0.6
4377 UZ	0.01	0.01	0.01	1.5	1.26	1.5
3665 UX	0.01	0.01	0.01	1.8	1.28	1.8
3665 UY	0.01	0.01	0.01	1.6	1.70	1.7
3665 UZ	0.01	0.01	0.01	2.8	2.27	2.8
1587 UX	0.01	0.01	0.01	5.1	2.40	5.1
1587 UY	0.02	0.01	0.02	6.6	6.83	6.8
1587 UZ	0.01	0.01	0.01	4.9	4.29	4.9
3640 UX	0.01	0.01	0.01	2.3	1.26	2.3
3640 UY	0.03	0.01	0.03	2.2	1.38	2.2
3640 UZ	0.01	0.01	0.01	3.7	2.29	3.7
1205 UX	0.01	0.01	0.01	15.1	9.77	15.1
1205 UY	0.02	0.01	0.02	7.5	8.35	8.3
1205 UZ	0.00	0.00	0.00	2.8	2.00	2.8
196 UX	0.39	0.28	0.39	493	277	493
196 UY	0.42	0.40	0.42	367	492	492
196 UZ	-	-	-	-	-	-

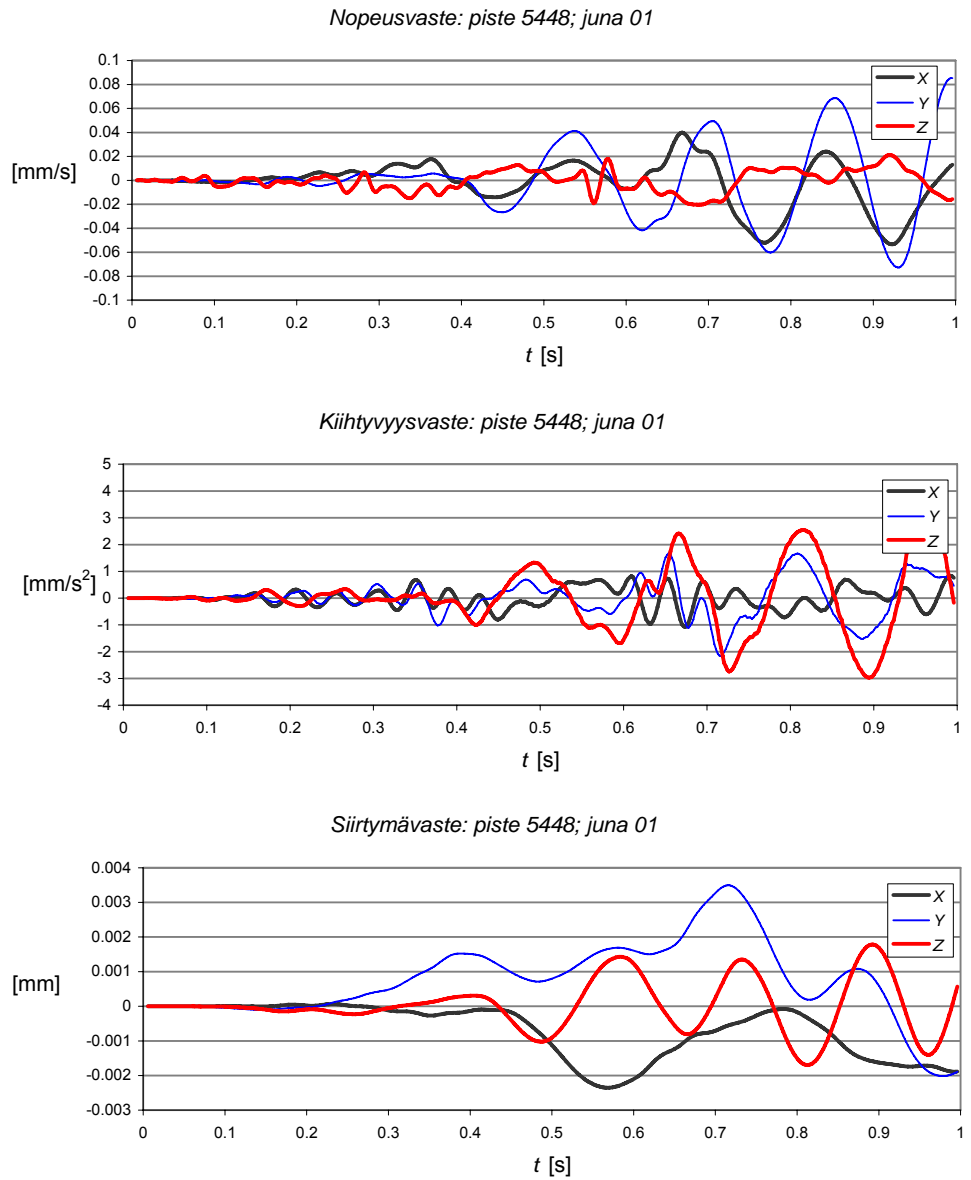
<sup>1</sup> rms arvon määrittäisaika 1 s.

<sup>2</sup> herätetärinän mittauspäivämäärä 20.9.2010 klo 5:17-5:57

<sup>3</sup> herätetärinän mittauspäivämäärä 20.9.2010 klo 22:38-23:04



*Kuva 7: Vasteen aikahistoria kannen paalussa maan tasolla (= maan tärinä & herätteen aikahistoria).*



*Kuva 8: Vasteen aikahistoria B-rakennuksen ylimmän kerroksen lattiassa.*

Taulukko 2: Tärinän luokitusohje (VTT 2008)

Värähtely-luokka	Kuvaus olosuhteista	$V_{w,95}$ [mm/s]
A	Hyvät asuinolosuhteet. <i>Ihmiset eivät yleensä havaitse tärinää.</i>	$\leq 0,10$
B	Suhteellisen hyvät olosuhteet. <i>Ihmiset voivat havaita tärinän, mutta se ei ole yleensä häiritsevää.</i>	$\leq 0,15$
C	Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa. <i>Keskimäärin 15 % asukkaista pitää tärinää häiritsevänä ja voi valittaa häiriöstä.</i>	$\leq 0,30$
D	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla Keskimäärin 25 % asukkaista pitää tärinää häiritsevänä ja voi valittaa häiriöstä.	$\leq 0,60$

## 5 Tulosten tulkinta ja johtopäätökset

- Tulosten mukaan oletettu porapaalutettu perustusratkaisu sekä massiivinen kansi estää tehokkaasti tärinäin siirtymistä rakennuksiin ja kannelle. Kannen kokonaismassa, joka muodostuu kannen ja sen päällisten rakennusten massasta, estää maaperän tärinän leviämistä yläpuolisiin rakenteisiin. Muodonmuutoksen tapahtuvat kannen paaluissa ja ne eivät pysty tärisyttämään merkittävästi itse kantta
- em. tulos koskee ainoastaan tarkasteltua konseptiluonnoksiin perustuvaa rakennemallia. Rakennemallissa ei ole rakenneratkaisuja, josta maaperän pystysuuntainen tärinä voisi merkittävästi levitä rakennuksiin. Periaatteessa yksikin maanvarainen (= ei paalutettu) perustus voi levittää pystysuuntaista tärinää
- käytettyjä laskentaotaksumia voidaan verrata tärinämittaustuloksiin (WSP 20.9.2010) nykyisen olemassa olevan sillan pilarista. Näiden tulosten mukaan maanvaraiselle laatalle perustettu siltapilarin pystysuuntainen tärinä on vain n. 10 % maanperän vastaavasta tärinäarvosta. Vaakasuunnassa vastaavasti noin puolet. Tässä mielessä käytettyjä laskentaotaksumia voidaan pitää realistisina
- mitattu maaperän pystysuuntainen tärinän vertailuarvo (ratojen välissä)  $v_{w,95} = 0,9$  mm/s tarkoittaa että ilman tärinäkysymyksen suhteen rakenneteknisesti toimivia rakenteita tärinä tulisi ongelmalliseksi. Maaperän tärinän arvoon vaikuttaa oletettavasti se, että radassa on vaihteita ja kaarevia osuuksia jotka aiheuttavat vaunujen pyöristä peräisin olevia sysäyksiä
- porapaalutettu rakenne vaikuttaa toteutuskelpoiselta paalukuormien suhteen, eli realistisin välein sijoitettu paalut pystyvät kantamaan suuria rakennusmassoja
- tulosten mukaan jännemitoiltaan pisimmät (ja ominaistaajuuksiltaan alhaisimmat) lattiat tärisevät eniten. Tärinätaaso on suunnilleen sama sekä vaaka- ja pystysuunnassa. Odotetusti lattiat saavat resonssiherätteitä siitä huolimatta, että itse maasta ei ole oletettu leviäväksi pystysuuntaista tärinää
- tulosten mukaan korkean rakennuksen perustamien laatan ja suurpaalujen päälle alentaa rakennuksen ominaistaajuutta verrattuna jäykkään perustukseen. Vastaavasti esim. korkeaan rakennukseen tuulen aiheuttama värähtely voi heijastua kannen tärinä. Asiaa ei ole tutkittu tarkemmin tässä raportissa, mutta tämä asia tulee ottaa huomioon myöhemmissä suunnitteluvaiheissa, jos kannen päälle suunnitellaan korkea rakennus
- tässä raportissa ei ole tarkasteltu rakennuskompleksin areenaosuutta. Areenan osalta on myöhemmissä suunnitteluvaiheissa tarkasteltava paitsi junaliikenteen aiheuttamaa tärinää, myös areenalla tapahtuvien aktiviteettien aiheuttamaa tärinää. Tärinäkriteeri voidaan areenan osalta harkita erikseen
- tarkastelussa rakennemallissa on suuri massiivinen laatta (33 x 64 m<sup>2</sup>) jonka päällä rakennusmassat sijaitsevat. Lopullinen rakennesuunnittelu tulee optimoimaan rakenteita, liikuntasauvoja, laakerointeja jne. Tämän

raportin tuloksia ei voida suoraan yleistää koskemaan lopullisia rakenteita

- suoritettun laskennan johtopäätöksenä kaavoitusta varten on, että:
  1. konseptiluonnosten mukainen hanke on tärinäkysymysten suhteen toteutuskelpoinen
  2. tärinä on otettava huomioon rakenneratkaisuja valittaessa ja rakennesuunnittelussa
  3. maaperän suuren tärinätason ja rakenteiden epätavallisen tyypin johdosta rakennuskompleksin lattioiden tärinätasot on suositeltavaa edellyttää tarkastettavaksi laskennallisesti.

## **Lähdeluettelo**

ISO 2631-1:1997. Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: general requirements, International Standard; 31 s.

VTT 2008. Rakennukseen siirtyvän tärinän arviointi. VTT Tiedotteita 2425; 176 s.

## Liite 1 Värähtelyn ominaismuodot

