

Garden Helsinki

Tärinä- ja runkomeluserivitys

1613282.2A

13.12.2017

Muutokset:

A	13.12.2017	Täydennetty puuttunut liite 4 sekä lisätty kappaleeseen 4.2 arvio raitiovaunutyypin eroista
	20.10.2017	Selvityksen alkuperäinen versio

Garden Helsinki

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	3
1.1	Tilaaja	3
1.2	Tekijä	3
1.3	Rakennuskohteen tunnistetiedot	3
1.4	Selvityksen tarkoitus	3
2	TÄRINÄN JA RUNKOMELUN LEVIÄMINEN MAA- JA KALLIOPERÄSSÄ	4
3	TÄRINÄÄ JA RUNKOMELUA KOSKEVAT OHJEARVOT	4
3.1	VTT:n suositukset liikennetärinän ohjearvoiksi	4
3.2	VTT:n suositukset runkomelun ohjearvoiksi.....	5
3.3	Tärinälle herkkien laitteiden yleiset ohjearvot	6
4	LÄHTÖTIEDOT	7
4.1	Maaperä ja rakennusten perustamistapa.....	7
4.2	Rata ja liikennöinti.....	8
5	MITTAUKSET.....	9
5.1	Mittaustapa ja mittauspisteet.....	9
5.2	Tärinätasot maaperässä	10
5.3	Tärinätasot rakennuksissa	11
5.4	Suurimmat tärinän tehollisarvojen huippuarvot.....	11
5.5	Runkomelutasot rakennuksissa	12
6	YHTEENVETO JA SUOSITUKSET JATKOTOIMENPITEIKSI.....	13
	LIITTEET.....	15
	LÄHTEET.....	15

1 JOHDANTO

1.1 Tilaaja

Projekti GH Oy
Sanomatalo
Töölönlahdenkatu 2
00100 Helsinki

Timo Everi
timo.everi@projektigh.fi

p. 040 8600 231

1.2 Tekijä

A-Insinöörit Suunnittelu Oy
Bertel Jungin aukio 9, 02600 Espoo
puh. 0207 911 888, fax. 0207 911 778

DI Mikael Ruohonen
mikael.ruohonen@ains.fi

p. 0207 917 231

DI Timo Huhtala
timo.huhtala@ains.fi

p. 0207 911 560

Tarkastaja
TkL Mikko Kylliäinen
mikko.kylliainen@ains.fi

p. 0207 911 394

1.3 Rakennuskohteen tunnistetiedot

Rakennuskohde: Garden Helsinki
Osoite: 00250
Helsinki

Tehtävä: Tärinä- ja runkomeluserveys

1.4 Selvityksen tarkoitus

Tässä selvityksessä arvioidaan raitiotieliikenteen tuottamia tärinä- ja runkomelutasoja kohteeseen Garden Helsinki. Selvitys perustuu suunnittelualueella 2.10.2017 tehtyihin maaperän värähtelymittauksiin. Arviointi perustuu VTT:n ohjeessa *Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa* esitettyyn arviointitasoon 2 [1].

2 TÄRINÄN JA RUNKOMELUN LEVIÄMINEN MAA- JA KALLIOPERÄSSÄ

Raideliikenteen maaperään aiheuttama värähtely ilmenee pehmeiden maalajien alueilla rakenteiden liikkeenä, jonka ihminen aistii tuntoaistinsa välityksellä tärinä. Tärinän kannalta ongelmallisimpia ovat yleensä raskaimmat tavarajunat. Kovilla maalajeilla maaperän värähtelysältö on suurempitaajuista ja amplitudiltaan pienempää, jolloin tärinä ei yleensä ylitä ihmisen havaintokynnystä.

Rakenteiden värähtely saattaa ilmetä rakennuksissa runkoääninä silloin, kun maalaji on kova. Runkoäänen ihminen aistii kuuloaistinsa välityksellä pienitaajuisena meluna. Runkomelu leviää tehokkaimmin ratarakenteesta ympäristöön kalliota pitkin. Mikäli ratarakenne sekä rakennukset on paalutuksin tuettu kallioperään, runkomelua voi ilmetä myös pehmeiden maalajien alueilla. Hyvin lyhyillä etäisyyksillä sekä tärinä että runkomelu voivat olla häiritseviä.

Maaperän lisäksi tärinä- ja runkomelutasoihin voivat paikallisesti vaikuttaa huomattavasti ratarakenteen mahdolliset kaarteet, kallistukset sekä epäjatkuvuuskohdat, esim. vaihteet, tukirakenteen muutokset siltojen ja alikäytävien yhteydessä.

3 TÄRINÄÄ JA RUNKOMELUA KOSKEVAT OHJEARVOT

3.1 VTT:n suositukset liikennetärinän ohjearvoiksi

VTT:n ohjeessa *Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta* on annettu norjalaiseen standardiin perustuvat suositukset liikennetärinän ohjearvoiksi [2], [3]. Taulukossa 3.1 on esitetty eri tärinäluokkien ylärajat värähtelyn nopeudelle sekä kuvaus luokkaan kuuluvan värähtelyn häiritsevyydestä.

Värähtelyn häiritsevyyden yläraja on tilastollinen tunnusluku rakennuksessa. Tunnusluku on määritelty siten, että satunnaisesti ohi ajavan raitiovaunun aiheuttama värähtely ei ylitä ylärajaa 95 % todennäköisyydellä.

Taulukko 3.1. Tärinäluokka sekä kuvaus olosuhteista. Tärinäluokkien määrittely perustuu suurimpaan sallittuun taajuuspainotetun nopeuden tilastolliseen tunnuslukuun $v_{w,95}$ [2], [3].

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

Luokka C edustaa vähimmäistasoa, johon tulee pyrkiä uusien asuinrakennusten ja -alueiden suunnittelussa. Yksittäiset olemassa olevien väylien varrella sijaitsevat uudisrakennukset tai väylän vähäiset muutokset arvioidaan kuitenkin luokan D mukaan. Luokka A on tärinäluokista paras mahdollinen.

Taulukon 3.1 värähtelyluokitus koskee normaaleja asuinrakennuksia. Häiriöttömiksi suunnitelluissa rakennuksissa, kuten esimerkiksi korkeatasoisissa asuinrakennuksissa, lepokodeissa ja sairaaloissa, tulee värähtelyluokan olla yhtä värähtelyluokkaa korkeampi. Taulukon luokitusta ei sovelleta rakennuksissa ja tiloissa, joissa ihmiset ovat pääasiassa liikkeellä tai muut häiriöt voivat olla liikenteen aiheuttamia merkittävämpiä (esim. toimistot, kaupat, kahvilat, ostoskeskukset, tavaratalot, liikuntatilat).

3.2 VTT:n suositukset runkomelun ohjearvoiksi

VTT:n vuonna 2009 julkaisemassa esiselvityksessä *Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi* on esitetty suositukset runkomelun ohjearvoiksi [4]. Ohjearvoksi on esitetty tilastollista runkomelun laskentasuuretta L_{prm} , joka tarkoittaa, että 95 % mittauksista alittaa kyseisen arvon. Taulukossa 3.2 on esitetty runkomelun ohjearvot rakennustyyppittäin.

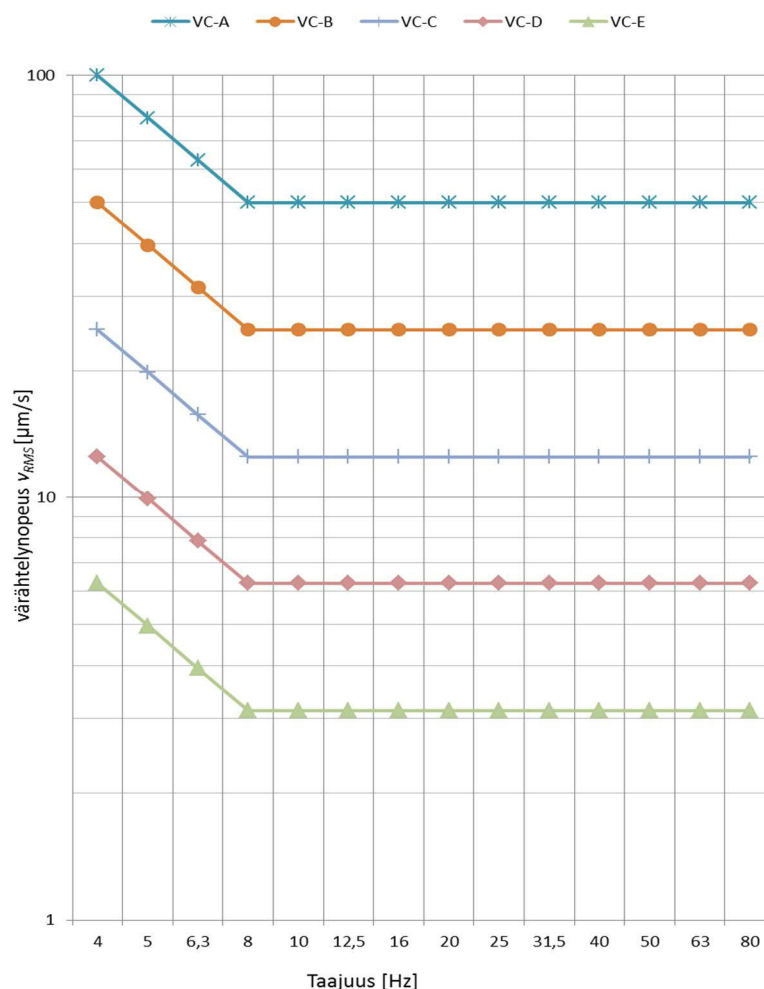
Taulukko 1.2. Suositukset runkomelutasojen ohjearvoiksi [4].

Rakennustyyppi	Runkomelutaso L_{prm} [dB]
Radio-, tv-, ja äänitysstudiot, konserttitalit	25-30
Asuinhuoneistot	30/35*
Hoito- ja sosiaalihuollon laitokset, majoitustilat <ul style="list-style-type: none"> • potilashuoneet, majoitustilat • päiväkodit, lasten ja henkilökunnan oleskeluun tarkoitetut huoneet 	30/35*
Kokoontumis- ja opetustilat <ul style="list-style-type: none"> • luokkahuoneet, luentosalit, kirkot ja muut huonetilat, joissa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänentoistolaitteiden käyttöä • muut kokoontumistilat kuten teatterit ja kirjastot 	35
Toimistot, kaupat, näyttelytilat, museot	40/45*
* Avoradat. Mikäli kaavamääräyksessä on annettu ohje julkisivun ilmaääneneristävyydestä, on suositeltavaa käyttää runkomelutason tiukempaa raja-arvoa	

Kohteen meluselvityksessä [5] on esitetty ulkovaipan äänitasoerolle vaatimuksia Nordenskiöldinkadun puoleiselle julkisivulle. Näin ollen kohteen Nordenskiöldinkadun puolelle avautuvissa asuin-, majoitus- ja vastaavissa tiloissa tulee saavuttaa tiukempi runkomelun ohjearvo $L_{prm} \leq 30$ dB ja muissa asuin-, majoitus- ja vastaavissa tiloissa runkomelun ohjearvo $L_{prm} \leq 35$ dB. Toimistoille, kauppoille ja näyttelytiloille sovelletaan vastaavasti Nordenskiöldinkadun puolelle avautuvissa tiloissa ohjearvoa $L_{prm} \leq 40$ dB ja muualla rakennuksissa ohjearvoa $L_{prm} \leq 45$ dB. Maanalaisissa hallitiloissa ei sovelleta taulukon 3.2 ohjearvoja.

3.3 Tärinälle herkkien laitteiden yleiset ohjearvot

Kohteeseen on mahdollisesti tulossa lääkärikeskus tai muita terveydenhoidon tiloja, joiden yhteyteen saatetaan sijoittaa tärinälle herkkiä kuvantamislaitteita. Julkaisussa *Generic vibration criteria for vibration-sensitive equipment* [6] Gordon esittää yleiset kriteerit tärinälle käytettäessä eri tarkkuuksien tärinälle herkkiä laitteita. Sallitut tärinätaasot riippuvat tutkimuslaitteiden tarkkuudesta. Kuvassa 3.1 esitetyt Gordonin kriteerikäyrät esittävät eri tarkkuuksilla toimivien laitteiden käytölle sallittuja rakennuksen värähtelynopeuden suurimpia tehollisarvoja terssikaistoittain. Kriteerikäyrät jakavat laitteet luokkiin A...E, joista E edustaa vaativinta luokkaa, jossa sallittu tärinätaaso on pienin. Ihminen aistii tärinän vasta kun luokan A arvot ylitetään noin 4...8-kertaisesti. Taulukossa 3.3 on esitetty kuvaukset eri luokkiin kuuluvista laitteista sekä niillä tavoiteltavista tarkkuusluokista. Kuvantamislaitteet ovat muissa sairaalakohteissa asettuneet luokkiin VC-A...VC-D. Tavoitearvot ovat laitekohtaisia ja ne selviävät vasta lopulliselta laitetoimittajalta.



Kuva 3.1. Tärinälle herkkien laitteiden yleiset raja-arvot terssikaistoittain nopeuden tehollisarvoina Gordonin [6] mukaan.

Taulukko 3.3. Kuvaus eri luokkiin kuuluvien laitteiden ominaisuuksista sekä korkeimmasta sallitusta nopeustasosta kolmannesosaoktaavikaistoilla taajuusvälillä 8...100 Hz. Luokka VC-E edustaa tarkimman luokan laitteita [6].

Criterion Curve (see Figure 1)	Max Level (1) micrometers/ sec,rms	Detail Size (2) microns	Description of Use
Workshop (ISO)	800	N/A	Distinctly feelable vibration. Appropriate to workshops and nonsensitive areas.
Office (ISO)	400	N/A	Feelable vibration. Appropriate to offices and nonsensitive areas.
Residential Day (ISO)	200	75	Barely feelable vibration. Appropriate to sleep areas in most instances. Probably adequate for computer equipment, probe test equipment and low-power (to 20X) microscopes.
Op. Theatre (ISO)	100	25	Vibration not feelable. Suitable for sensitive sleep areas. Suitable in most instances for microscopes to 100X and for other equipment of low sensitivity.
VC-A	50	8	Adequate in most instances for optical microscopes to 400X, microbalances, optical balances, proximity and projection aligners, etc.
VC-B	25	3	An appropriate standard for optical microscopes to 1000X, inspection and lithography equipment (including steppers) to 3 micron line widths.
VC-C	12.5	1	A good standard for most lithography and inspection equipment to 1 micron detail size.
VC-D	6	0.3	Suitable in most instances for the most demanding equipment including electron microscopes (TEMs and SEMs) and E-Beam systems, operating to the limits of their capability.
VC-E	3	0.1	A difficult criterion to achieve in most instances. Assumed to be adequate for the most demanding of sensitive systems including long path, laser-based, small target systems and other systems requiring extraordinary dynamic stability.

Notes:

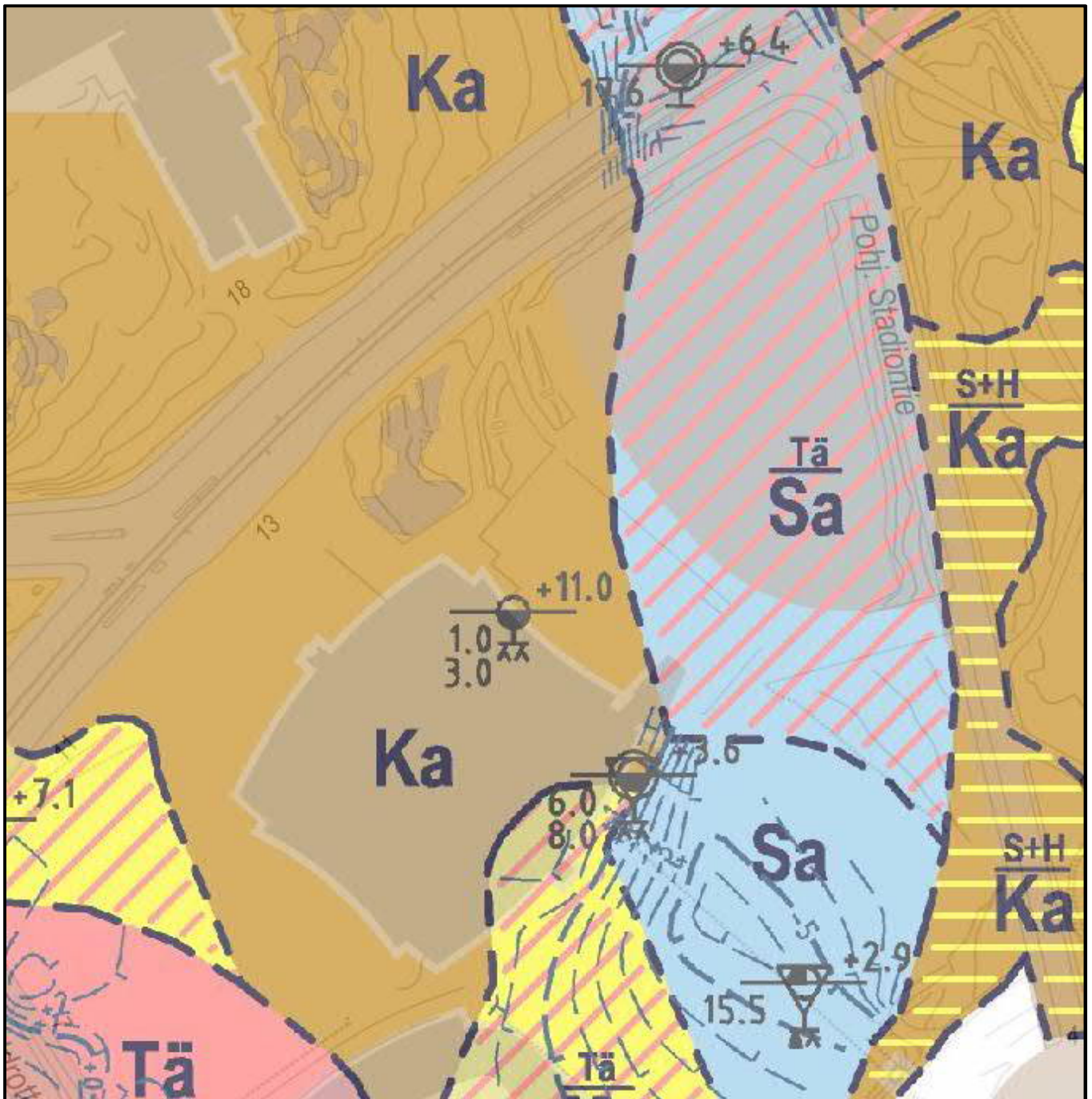
(1) As measured in one-third octave bands of frequency over the frequency range 8 to 100 Hz.

(2) The detail size refers to the line widths for microelectronics fabrication, the particle (cell) size for medical and pharmaceutical research, etc. The values given take into account the observation that the vibration requirements of many items depend upon the detail size of the process.

4 LÄHTÖTIEDOT

4.1 Maaperä ja rakennusten perustamistapa

Garden Helsingin suunnitellulla sijainnilla sijaitsee nykyisin osittain avokalliota ja osittain täytömaapintaista savimaata, jonka alla kalliopinta on alimmillaan noin korkeudessa -11 metriä eli alimmillaan noin 18 metriä nykyisen maanpinnan alapuolella. Nykyinen maaperä on esitetty kuvassa 4.1. Tulevien rakennusten alimmat kerrokset on suunniteltu nykyisen maanpinnan alapuolelle alimmillaan korkoon -21,4 metriä ja kaikki rakennukset tullaan perustamaan kallion varaan.



Kuva 4.1. Maaperä kohteen ympäristössä Helsingin kaupungin karttapalvelun mukaan. Kuvassa näkyvä tie on Nordenskiöldinkatu ja Ka-merkinnän alla on nykyisen jäähallin sijainti. Suunnitellut rakennukset sijoittuvat Sa- ja Ka-merkintöjen alueille.

4.2 Rata ja liikennöinti

Kohteen lähellä kulkee raitiotie Nordenskiöldinkadulla. Lisäksi Reijolankadulle on rakenteilla kiskot raitiotielinjaa varten, mutta niiden linjaus kulkee kauempana kohteesta kuin Nordenskiöldinkadun kiskot, joten Nordenskiöldinkatu on merkittävämpi värähtelylähte. Raitiotielinjoilla

kulkevat liikennemäärät on saatu Trafrix Oy:ltä. Raitiovaunujen tyypit, lukumäärät, keskimääräiset pituudet ja keskinopeudet tieosuudella on esitetty erikseen nyky- ja ennustetilanteen yö- ja päiväajalle taulukossa 4.1.

Taulukko 4.1. Laskennassa käytetyt raitioliikennetiedot

Vaunutyyppi / tieosuus	Raitiovaunun pituus [m]	Raitiovaunun nopeus [km/h]	Raitiovaunujen lukumäärä	
			Päivä (klo 7-22) / Yö (klo 22-7)	
			Nykytilanne v. 2025	Ennuste v. 2040
Artic				
Nordenskiöldinkatu, Reijolankadun risteyksen itäpuolella	28	15	360 / 72	540 / 108
Nordenskiöldinkatu, Reijolankadun risteyksen länsipuolella	28	15	180 / 36	180 / 36
Reijolankatu	28	15	180 / 36	360 / 72

Kohteen edustalla on kahdet liikennevalot sekä pysäkit molempiin suuntiin kulkeville raitiovaunuille. Näistä tekijöistä johtuen raitiovaunujen nopeudet kohteen edustalla vaihtelevat. Mittauksissa mittauspisteet ohittavien raitiovaunujen nopeusvaihteluksi havaittiin arviolta 20-45 km/h.

Mittausajankohtana kalusto koostui Variotram- ja NRV I/II -vaunuista, eikä uusimpia Artic-vaunuja liikennöinyt kohteen ohittavilla raiteilla. Tulevaisuudessa kaluston on odotettavaa koostuvan pääosin Artic-vaunuista, eikä tällä arvioida olevan merkittävää vaikutusta tärinän tai runkomelun kannalta.

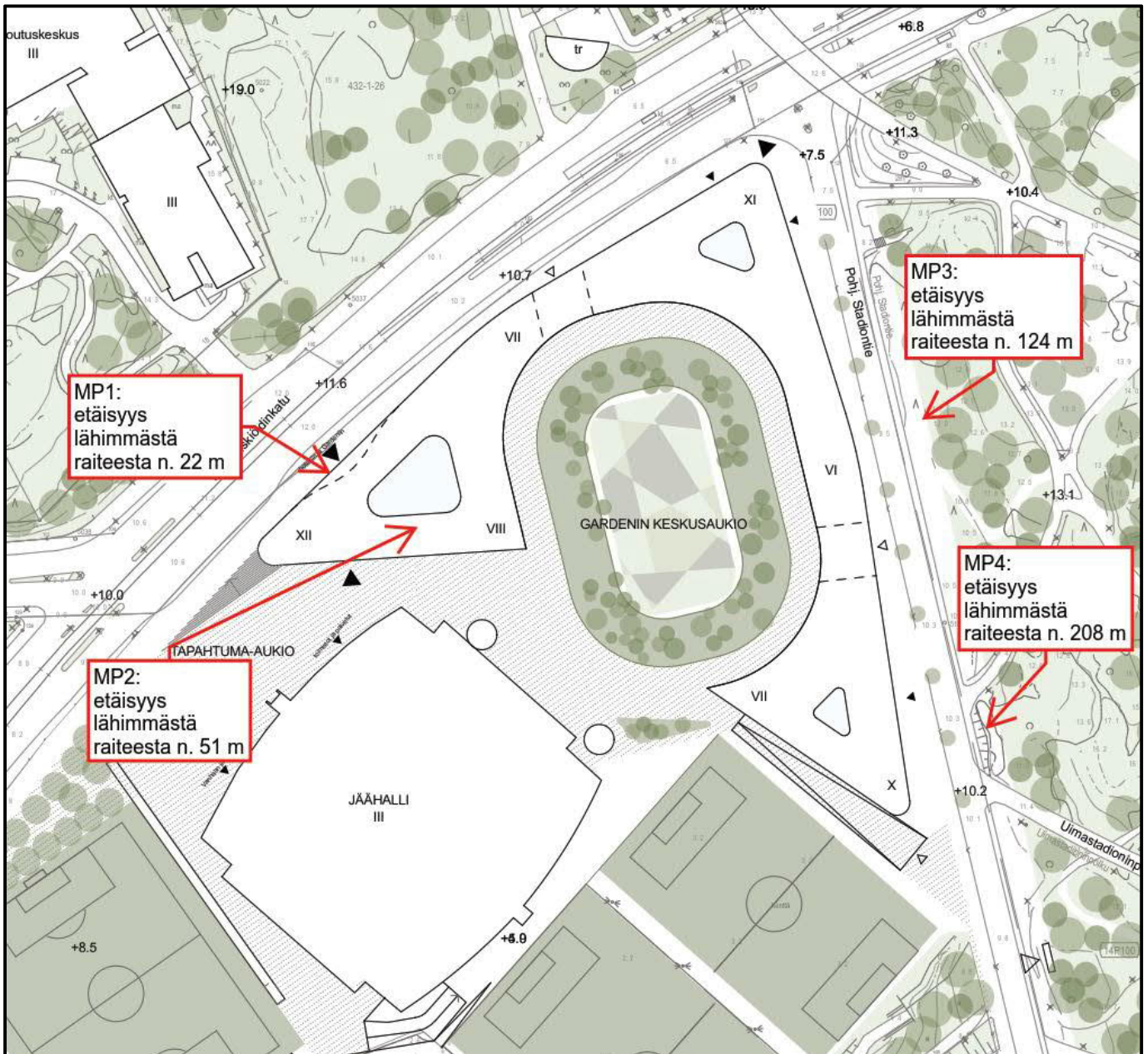
5 MITTAUKSET

5.1 Mittaustapa ja mittauspisteet

Mittaukset suoritettiin VTT:n suosituksen mukaisesti sillä erotuksella, että mittausjaksona käytettiin yhtä arkipäivää [2], [4]. Tutkimusten perusteella lyhyemmältä mittausjaksolta saatavat tulokset ovat luotettavia, jos liikennöinti toistuu samanlaisena päivittäin ja mittausjakson ajan kohta ja pituus valitaan huolellisesti suhteessa rataosalla liikennöivään kalustoon [7].

Mittaukset suoritettiin Syscom:in itsenäisillä mittausyksiköillä, jotka mittaavat värähtelyä pystysuuntaan sekä molempiin vaakasuuntiin joista toinen sijoitettiin arviolta radan suuntaisesti ja toinen arviolta rataa vasten kohtisuoraan. Mittaukset suoritettiin miehitettynä, jolloin mittausluosten voitiin varmistua aiheutuvan raideliikenteestä.

Kuvassa 5.1 on esitetty 2.10.2017 suoritettujen mittausten mittauspisteiden sijainnit. Mittauspiste 1 sijoitettiin suunniteltujen rakennusten kiskoja lähimmälle julkisivulinjalle noin 22 metriä lähimmän raiteen keskilinjasta. Mittauspiste 2 sijoitettiin saman rataa lähellä sijainneen avokallion rataa kauemmalle reunalle noin 51 metriä radasta. Mittauspisteet 3 ja 4 sijoitettiin kauempiin pisteisiin Pohjoisen Stadionintien itäpuolelle noin 124 ja 208 metrin etäisyydelle radasta. Kaikki mittarit asennettiin avokallioon.



Kuva 5.1. Mittauspisteet asemapiirrokseen merkittynä.

5.2 Tärinätasot maaperässä

Mitatuille nopeussignaaleille tehtiin taajuuspainotus sekä laskettiin tehollisarvon huippuarvot VTT:n suosituksen mukaisesti [2]. Huippuarvojen osalta valittiin 15 merkittävintä raitiovaunun ohitusta, joiden perusteella määritettiin maaperän tilastolliset tärinän tunnusluvut $V_{w,95,maa}$. Tältä osin tunnusluvut on esitetty mittauspisteittäin taulukossa 5.1 sekä 15 merkitsevimmän osalta liitteessä 1. Liitteessä 1 esitettyjen keskiarvospektrien määrittely on tehty VTT:n ohjeen *Ohjeita liikennetärinän arviointiin* mukaisesti [8].

Taulukko 5.1. Tärinän tunnusluvut maaperässä mittauspisteittäin.

Mittauspiste	Tärinän tunnusluku maaperässä $v_{w,95,maa}$ [mm/s]		
	Radansuuntaisesti	Rataa vasten kohtisuoraan	Pystysuuntaan
MP1	0,0021 (luokka A)	0,0021 (luokka A)	0,0036 (luokka A)
MP2	0,0019 (luokka A)	0,0029 (luokka A)	0,0035 (luokka A)
MP3	0,0005 (luokka A)	0,0005 (luokka A)	0,0012 (luokka A)
MP4	0,0003 (luokka A)	0,0003 (luokka A)	0,0003 (luokka A)

Maaperässä tärinän tunnusluvut olivat kaikissa mittauspisteissä kaikkiin mittaussuuntiin tärinäluokassa A.

5.3 Tärinätasot rakennuksissa

Maaperässä mitatut tärinätasot eivät edusta rakennuksessa saavutettavia tärinätasoja. Tärinä vaimenee jonkin verran perustuksiin siirryttäessä mutta voi toisaalta voimistua rakennuksen rungossa ja lattioissa resonanssin seurauksena. Edellä kuvatut ilmiöt ovat voimakkaasti taajuudesta riippuvaisia. Maaperästä mitatuista tärinätasosta laskettiin rakennuksissa saavutettavat tärinätasot taajuuskaistoittain huomioiden tärinän vaimentumien perustuksiin siirryttäessä sekä voimistuminen edettäessä perustuksista rakennuksen runkoon ja lattioihin. Arviointi tehtiin VTT:n ohjeen *Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi* mukaisesti taajuuskaistoittain [9].

Tärinän voimistumista rakennuksen rungossa ja lattioissa arviointiin ns. yleisen voimistumisen sekä resonanssitarkastelun mukaisesti. Resonanssitarkastelu perustuu pahimpaan mahdolliseen tilanteeseen, jolloin rungon tai lattioiden ominaistaajuus voimistaa tärinää. Rakennuksessa arvioidut tärinätunnusluvut on esitetty taulukossa 5.2. Lisäksi liitteessä 1 on esitetty 15 merkitsevimmän ohiajon perusteella lasketut tärinän keskiarvospektrit tärinän rakennuksen rungossa sekä lattioissa. Keskiarvospektrien määrittely on tehty VTT:n ohjeen *Ohjeita liikennetärinän arviointiin mukaisesti* [8].

Taulukko 5.2. Mittauspisteissä saaduista mittaustuloksista lasketut tärinän tunnusluvut rakennuksessa mittauspisteittäin.

Mittauspiste	Tärinän tunnusluku rakennuksessa		
	$v_{w,95,runko}$ [mm/s]		$v_{w,95,lattia}$ [mm/s]
	Radansuuntaisesti	Rataa vasten kohtisuoraan	Pystysuuntaan
MP1	0,0012 (luokka A)	0,0011 (luokka A)	0,0034 (luokka A)
MP2	0,0014 (luokka A)	0,0020 (luokka A)	0,0035 (luokka A)
MP3	0,0002 (luokka A)	0,0004 (luokka A)	0,0013 (luokka A)
MP4	0,0002 (luokka A)	0,0003 (luokka A)	0,0006 (luokka A)

Pahimmassakin tapauksessa eli resonanssin voimistaessa tärinätasoja saavutetaan rungon ja lattian osalta tärinäluokka A.

5.4 Suurimmat tärinän tehollisarvojen huippuarvot

Tärinälle herkkien laitteiden ohjearvoihin vertailua varten kaikissa mittauspisteissä kolmeen suuntaan mitatut vaunukohtaiset nopeussignaalit suodatettiin terssikaistoille 4-100 Hz. Terssikaistakohtaisista nopeussignaaleista laskettiin tehollisarvot ja etsittiin tehollisarvojen huippuarvot.

voit raitiovaunujen ohitusten ajalta. Lopuksi kussakin mittauspisteessä näistä eri ohitusten aikaisista tehollisarvojen terssikaistakohtaisista huipuista haettiin suurimmat arvot eri ohitusten väliltä.

Liitteessä 2 on esitetty mittauspisteittäin terssikaistakohtaiset tehollisarvojen huippuarvot. Eri terssikaistojen arvot voivat siis olla eri raitiovaunujen ohituksilta ja eri vaiheista ohitusta. Ne kuvaavat suurimpia mittaussajanjaksona toteutuneita värähtelynopeuden tasoja. Liitteen 2 kuvaajiin on myös merkitty tehollisarvojen huippuarvojen keskiarvot, joissa on huomioitu kaikki raitiovaunujen ohiajot. Liitteen 2 kuvaajissa on myös esitetty kuvan 3.1 vertailutasot. Mitatut värähtelytasot alittavat kaikissa mittauspisteissä kaikkiin mittaussuuntiin tiukimman ohjearvotason VC-E lukuun ottamatta mittauspisteen MP2 pystysuuntaan, jossa VC-E-käyrä ylittyy lievästi. Ohjearvotaso VC-D alittuu kaikissa mittauspisteissä kaikkiin mittaussuuntiin.

5.5 Runkomelutasot rakennuksissa

Maaperästä mitatuista nopeustasoista laskettiin A-painotetut runkomelutasot VTT:n ohjeen *Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi* mukaisesti [4]. Laskennassa huomioitiin rakennustyyppi, rakennusten perustamistapa, resonanssin vaikutus sekä turvamarginaali. Turvamarginaalina käytettiin ehdotetun 6 dB sijaan 3 dB, koska maaperän mittaustulokseen sisältyy jo suuri osa laskentamenetelmän muuttujista. 15 merkittävimmän raitiovaunun ohituksen osalta laskettiin runkomelun tilastollinen tunnusluku L_{prm} , jonka määritelmä on, että satunnaisesti mitattu raitiovaunun ohitus ei 95 % todennäköisyydellä ylitä kyseistä arvoa.

Taulukossa 5.3 on esitetty arvioidut runkomelutasot mittauspisteittäin eri kerroksissa. Runkomelu vaimenee rakennuksessa kerros kerrokselta ylöspäin 2 dB kerrosta kohden neljän alinta kerrosta seuraavan kerroksen osalta sekä 1 dB kerrosta kohden tästä ylöspäin. Liitteessä 3 on esitetty lisäksi 15 merkittävimmän raitiovaunun ohituksen ajalta arvioidut runkomelun enimmäistasot alimmassa kerroksessa sekä runkomelun keskiarvospektrit.

Taulukko 5.3. Runkomelun tilastolliset tunnusluvut L_{prm} mittauspisteittäin eri kerroksissa.

Mittauspiste	Mittaussuunta	Runkomelun tilastollinen tunnusluku L_{prm} [dB(A)]				
		Alin krs	+1 krs	+2 krs	+3 krs	+4 krs
MP1	Radansuuntaisesti	46	44	42	40	38
	Rataa vasten kohtisuoraan	44	42	40	38	36
	Pystysuuntaan	47	45	43	41	39
MP2	Radansuuntaisesti	34	32	30	<30	<30
	Rataa vasten kohtisuoraan	36	34	32	30	<30
	Pystysuuntaan	34	32	<30	<30	<30
MP3	Radansuuntaisesti	<30	<30	<30	<30	<30
	Rataa vasten kohtisuoraan	<30	<30	<30	<30	<30
	Pystysuuntaan	<30	<30	<30	<30	<30
MP4	Radansuuntaisesti	<30	<30	<30	<30	<30
	Rataa vasten kohtisuoraan	<30	<30	<30	<30	<30
	Pystysuuntaan	<30	<30	<30	<30	<30

Mittaustulosten perusteella runkomelutasot ylittivät tavoitetason $L_{prm}=30/35$ dB mittauspisteessä MP1 asuin-, majoitus- ja vastaavien tilojen osalta. Mittauspisteessä MP1 runkomelun ohjearvo $L_{prm}=30$ dB ylitetään vielä 12 kerrosta pohjakerroksen yläpuolellakin. Mittauspisteessä MP2 eli noin 51 metriä radasta ohjearvo $L_{prm}=35$ dB (ei ulkovaipan ääneneristysvaatimusta) alitetaan jo toiseksi alimmassa maanlaisessa kerroksessa sekä sitä ylempissä kerroksissa. Mittauspisteissä MP3 ja MP4 alittuu runkomelutaso $L_{prm}=30$ dB kaikissa kerroksissa.

6 YHTEENVETO JA SUOSITUKSET JATKOTOIMENPITEIKSI

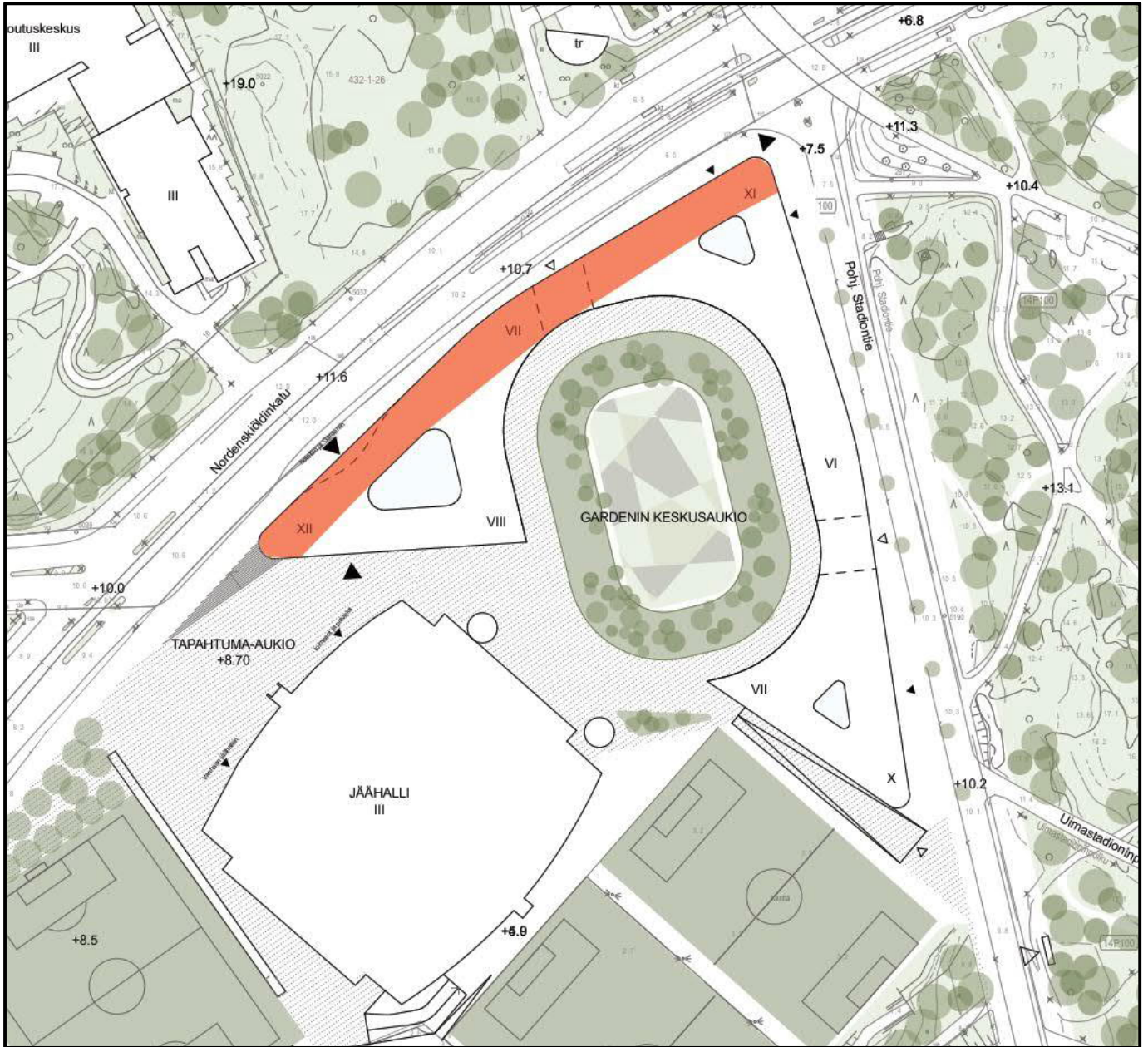
Maaperästä rakennusten radan puoleisilta julkisivuilta mitattujen tärinätasojen perusteella arvioitiin rakennuksessa saavutettavat tärinätasot VTT:n ohjeen *Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi* mukaisesti [9]. Arvioinnissa huomioitiin terssikaistoittain tärinän siirtyminen perustuksiin sekä voimistuminen rakennuksen rungossa ja latioissa. Arviointi perustui pahimpaan mahdolliseen tilanteeseen, jolloin rakenteiden resonanssi voimistaa tärinätasoa. Tulosten perusteella rakennuksissa tullaan saavuttamaan hyviä asuinolosuhteita kuvaava tärinäluokka A. Näin ollen tärinää ei tältä osin tarvitse huomioida kohteen jatkosuunnittelussa tai kaavamääräyksissä.

Mitatuista nopeussignaaleista määritettiin myös tehollisarvojen huippuarvot terssikaistoittain. Kaikissa mittauspisteissä ja kaikkiin mittaussuuntiin alitettiin tärinälle herkille laitteille asetetuista yleisistä ohjearvoista taso VC-D. Yhden mittauspisteen yhtä suuntaa (MP2, pystysuuntaan) lukuun ottamatta alitettiin myös alhaisin ohjearvotaso VC-E.

Maaperästä mitattujen nopeustasojen perusteella arvioitiin rakennuksissa saavutettavat runkomelutasot VTT:n ohjeen *Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi* mukaisesti [4]. Korkein runkomelun tilastollinen tunnusluku $L_{prm} = 47$ dB saavutettiin rataa lähimmässä mittauspisteessä MP1 pystysuuntaan alimmassa kerroksessa. Mittauspisteessä MP2 suurin runkomelun tilastollinen tunnusluku oli $L_{prm} = 36$ dB alimmassa kerroksessa. Mittauspisteissä MP3 ja MP4 runkomelutasot alittivat tason $L_{prm} = 30$ dB.

Runkomelu vaimenee rakennuksessa kerros kerrokselta ylöspäin 2 dB kerrosta kohden neljän alinta kerrosta seuraavan kerroksen osalta sekä 1 dB kerrosta kohden tästä ylöspäin. Nordenskiöldinkadun puoleisen julkisivun asuin-, majoitus- ja vastaavissa tiloissa runkomelun ohjearvo on $L_{prm}=30$ dB. Muille julkisivuille avautuvissa vastaavissa tiloissa ohjearvo on $L_{prm}=35$ dB. Näin ollen runkomelun ohjearvo ylittyy Nordenskiöldinkadun puoleisen julkisivun rakennusosan tiloissa vielä 12 kerrosta pohjakerroksen yläpuolellakin. Mittauspisteen MP2 etäisyydellä noin 53 metriä radasta kaikki sovellettavat ohjearvot alittuvat.

Runkomelueristys tarvitaan Nordenskiöldinkatua lähinnä olevissa rakennusmassoissa. Eristettävä alue on merkitty karkeasti kuvaan 6.1. Kaikki merkitylle alueelle ulottuvat rakennusmassat tulee eristää runkomelua vastaan. Lopullinen eristettävä rakennusmassa määräytyy myöhemmässä suunnitteluvaiheessa ja se riippuu mm. liikuntasaumojen sijainneista sekä valittavasta vaimennusratkaisusta. Runkomelueristys voidaan toteuttaa joko perustuksissa liitteen 4 periaatteiden mukaan tai vaihtoehtoisesti rakennuksen rungossa runkomelulle herkkien (asuin-, majoitus-, hoitotilat tms.) kerrosten ja näitä alempien kerrosten välillä. Rungossa toteutettavassa eristysvaihtoehdossa eristys sijoittuu esimerkiksi kantaviin pilareihin kerrosten väliin. Rungossa toteutettava eristys estää myös alemmista kerroksista aiheutuvien runkoäänten etenemistä melulle herkkiin ylempiin kerroksiin.



Kuva 6.1. Viitteellinen rajaus runkomelueristystä vaativista rakennuksen osista. Kaikki asunto-, majoitus- ja hoitotilojen rakennukset, jotka ulottuvat merkitylle alueelle, tulee eristää runkomelua vastaan.

Espoossa 13.12.2017

A-INSINÖÖRIT SUUNNITTELU OY

Mikael Ruohonen, projekti-insinööri

Timo Huhtala, suunnittelupäällikkö

Mikko Kylliäinen, yksikönjohtaja

LIITTEET

1. Tärinän mittaustulokset mittauspisteittäin (8 s.)
2. Tärinän enimmäistasojen mittaustulokset mittauspisteittäin (12 s.)
3. Runkomelun mittaustulokset mittauspisteittäin (8 s.)
4. Runkomeluerityksen periaatekuvat (2 s.)

LÄHTEET

1. Törnqvist, J. ja Talja, A. 2006. Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa. VTT Working papers 50. Espoo: VTT. 46 + 33 s.
2. Talja, A. 2004. Suositus liikennetärinän mittaamista ja luokituksesta. VTT Tiedotteita 2278. Espoo: VTT. 50 + 15 s.
3. NS 8176E. 1999. Vibration and shock. Measurement of vibration in buildings from land-based transport guidance to evaluation of its effects on human beings. Oslo: Norges Standardiseringsförbund (NSF). 27 s.
4. Talja, A. ja Saarinen, A. 2009. Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi. Esiselvitys. VTT Tiedotteita 2468. Espoo: VTT. 56 + 11 s.
5. Niemi, H., Huhtala, T. ja Kylliäinen, M. 2017. AINS 1613282.1 Garden Helsingin, liikennemeluselvitys.
6. Gordon, C. G. Generic vibration criteria for vibration-sensitive equipment. *Proc. SPIE 3786, Optomechanical Engineering and Vibration Control*. 1999.
7. Huhtala, T. 2006. Mittausjakson pituuden vaikutus maaperästä mitatun maaperästä mitatun raideliikenteen värähtelyn asuntoihin aiheuttaman haitan arvioinnissa. 105-29 s.
8. Talja, A. 2011. Ohjeita liikennetärinän arviointiin. VTT Tiedotteita 2569. Espoo: VTT. 35 + 9 s.
9. Talja, A., Vepsä, A., Kurkela, J. ja Halonen, M. 2008. Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi, VTT tiedotteita 2425. 95+69 s.

Mittaustulokset, tärinä MP1

Etäisyys lähimmän raiteen keskiliinjasta n. 22 m

15 merkitsevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta x (radansuuntaisesti).

aika	$V_{w,rms,max}$	vaunutyyppi	suunta
18:47:08	0,0024	Variotram	I
19:24:28	0,0019	Variotram	I
17:39:01	0,0017	Variotram	I
17:37:33	0,0017	Variotram	L
18:16:58	0,0017	Variotram/NRV	I
17:07:20	0,0016	Variotram	I
17:28:39	0,0016	Variotram	I
17:23:52	0,0015	Variotram	L
18:08:09	0,0014	Variotram	I
17:04:34	0,0013	Variotram	L
17:19:46	0,0013	Variotram	I
18:45:58	0,0013	Variotram	I
18:33:39	0,0013	Variotram	I
18:05:01	0,0013	Variotram	L
18:57:48	0,0013	Variotram	I

 tärinän tunnusluku $w_{v,95,ma}$: 0,0021 mm/s
 tärinäluokka A

15 merkitsevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta y (rataa vasten kohtisuoraan).

aika	$V_{w,rms,max}$	vaunutyyppi	suunta
18:47:08	0,0024	Variotram	I
17:04:34	0,0019	Variotram	L
17:28:39	0,0019	Variotram	I
18:23:28	0,0018	Variotram	L
18:08:09	0,0017	Variotram	I
17:23:52	0,0017	Variotram	L
17:39:01	0,0016	Variotram	I
18:27:41	0,0016	Variotram	L
18:45:58	0,0016	Variotram	I
17:37:33	0,0016	Variotram	L
19:24:28	0,0015	Variotram	I
19:19:22	0,0015	Variotram	L
18:05:01	0,0015	Variotram	L
17:48:29	0,0015	Variotram	I
18:16:58	0,0015	Variotram/NRV	I

 tärinän tunnusluku $w_{v,95,ma}$: 0,0021 mm/s
 tärinäluokka A

15 merkitsevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta z (pystysuunta).

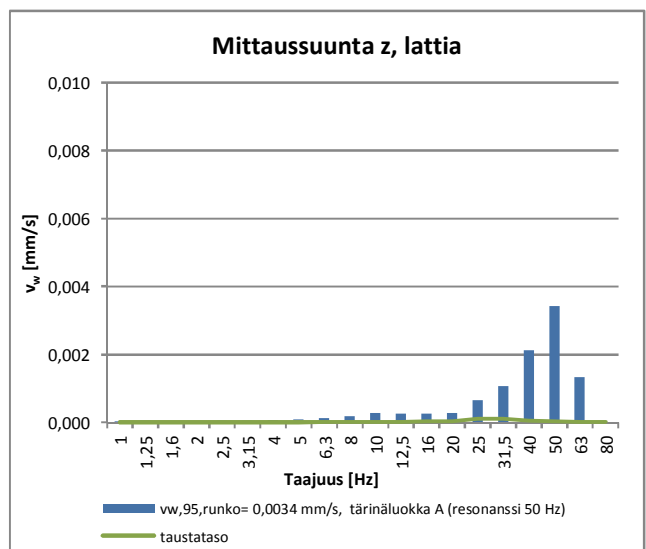
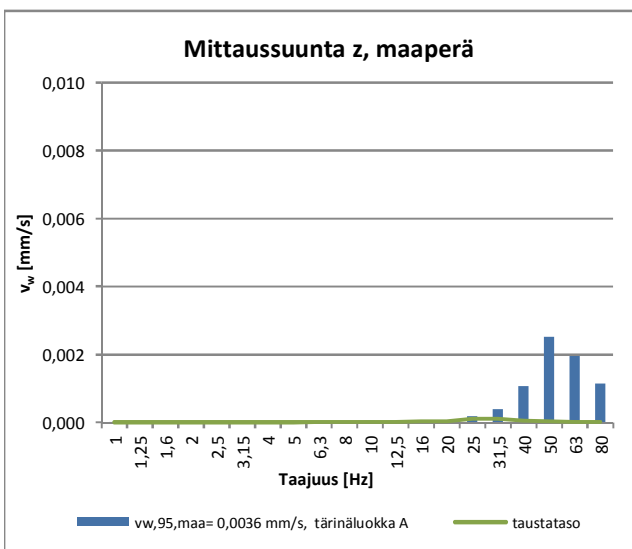
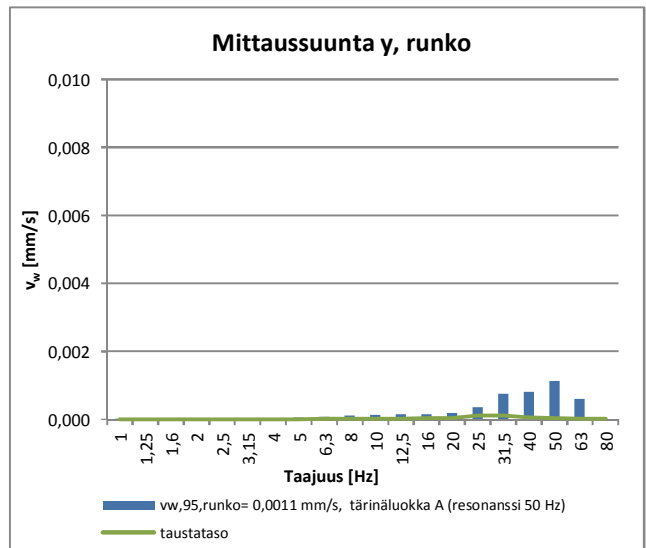
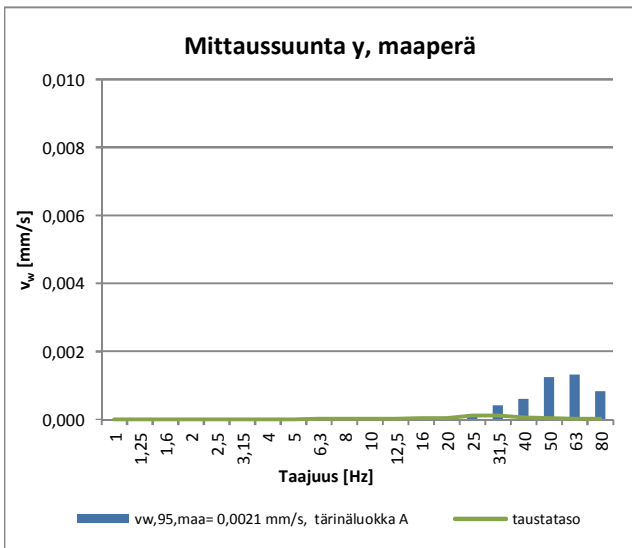
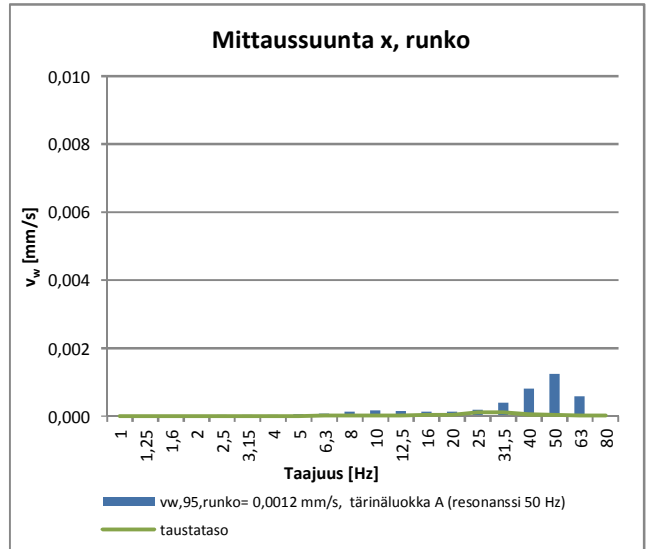
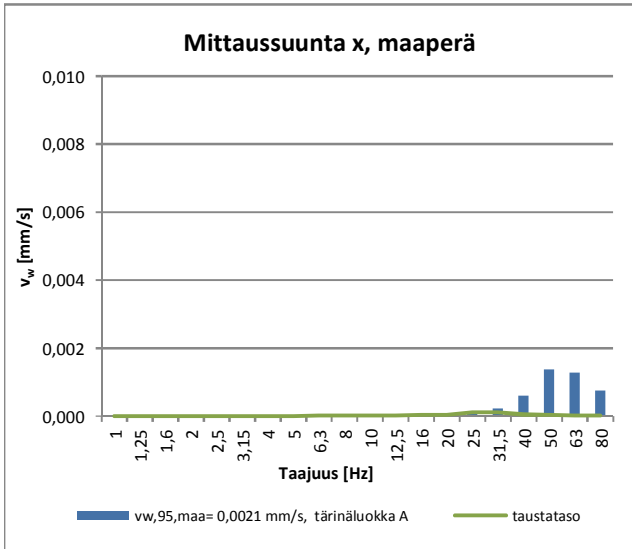
aika	$V_{w,rms,max}$	vaunutyyppi	suunta
18:47:08	0,0040	Variotram	I
18:27:41	0,0032	Variotram	L
17:04:34	0,0029	Variotram	L
17:28:39	0,0029	Variotram	I
18:23:28	0,0028	Variotram	L
17:39:01	0,0027	Variotram	I
18:05:01	0,0027	Variotram	L
19:19:22	0,0027	Variotram	L
19:24:28	0,0026	Variotram	I
17:37:33	0,0024	Variotram	L
18:16:58	0,0023	Variotram/NRV	I
18:33:39	0,0023	Variotram	I
17:14:07	0,0023	Variotram	L
17:23:52	0,0022	Variotram	L
17:19:46	0,0021	Variotram	I

 tärinän tunnusluku $w_{v,95,ma}$: 0,0036 mm/s
 tärinäluokka A

Mittaustulokset, värinä MP1

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 22 m

Tärinäluokkien rajat: luokka A ≤ 0,1mm/s, luokka B ≤ 0,15mm/s, luokka C ≤ 0,3mm/s ja luokka D ≤ 0,6mm/s



Mittaustulokset, tärinä MP2

Etäisyys lähimmän raiteen keskiliinjasta n. 51 m

15 merkitsevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta x (radansuuntaisesti).

aika	$V_{w,rms,max}$	vaunutyyppi	suunta
18:47:08	0,0020	Variotram	I
17:39:01	0,0018	Variotram	I
19:24:28	0,0016	Variotram	I
18:16:58	0,0016	Variotram/NRV	I
18:45:58	0,0015	Variotram	I
17:23:52	0,0014	Variotram	L
17:28:39	0,0014	Variotram	I
16:47:54	0,0013	Variotram	I
18:27:41	0,0013	Variotram	L
17:04:34	0,0012	Variotram	L
19:19:22	0,0012	Variotram	L
18:08:09	0,0012	Variotram	I
18:05:01	0,0011	Variotram	L
18:33:39	0,0011	Variotram	I
17:19:46	0,0010	Variotram	I

 tärinän tunnusluku $w_{v,95,ma}$: 0,0019 mm/s

tärinäluokka A

15 merkitsevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta y (rataa vasten kohtisuoraan).

aika	$V_{w,rms,max}$	vaunutyyppi	suunta
18:47:08	0,0032	Variotram	I
16:47:54	0,0026	Variotram	I
18:27:41	0,0024	Variotram	L
18:16:58	0,0022	Variotram/NRV	I
18:23:28	0,0022	Variotram	L
17:28:39	0,0022	Variotram	I
17:19:46	0,0022	Variotram	I
17:04:34	0,0021	Variotram	L
19:24:28	0,0020	Variotram	I
18:33:39	0,0020	Variotram	I
18:05:01	0,0019	Variotram	L
19:19:22	0,0018	Variotram	L
18:45:58	0,0018	Variotram	I
17:23:52	0,0017	Variotram	L
18:08:09	0,0015	Variotram	I

 tärinän tunnusluku $w_{v,95,ma}$: 0,0029 mm/s

tärinäluokka A

15 merkitsevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta z (pystysuunta).

aika	$V_{w,rms,max}$	vaunutyyppi	suunta
18:47:08	0,0037	Variotram	I
18:27:41	0,0032	Variotram	L
18:05:01	0,0031	Variotram	L
18:23:28	0,0029	Variotram	L
17:04:34	0,0028	Variotram	L
19:19:22	0,0025	Variotram	L
16:47:54	0,0025	Variotram	I
17:28:39	0,0023	Variotram	I
18:45:58	0,0023	Variotram	I
18:16:58	0,0023	Variotram/NRV	I
19:24:28	0,0021	Variotram	I
17:23:52	0,0020	Variotram	L
17:14:07	0,0019	Variotram	L
17:19:46	0,0019	Variotram	I
17:37:33	0,0019	Variotram	L

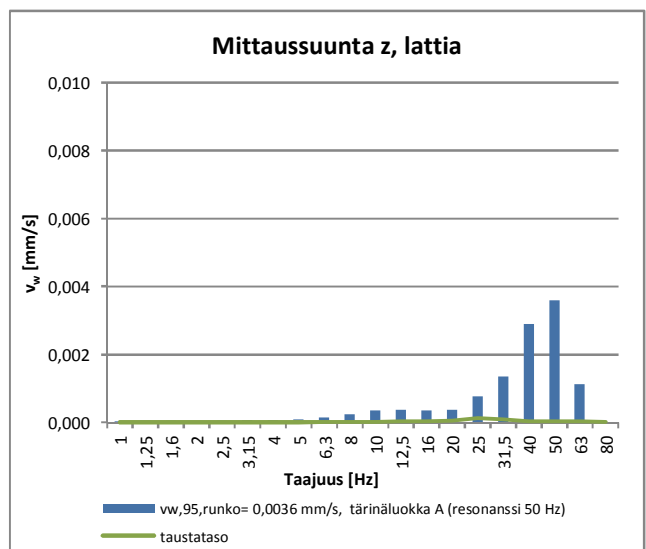
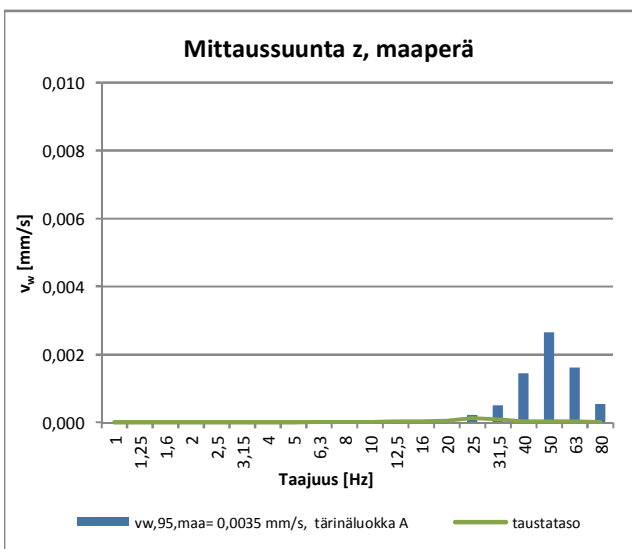
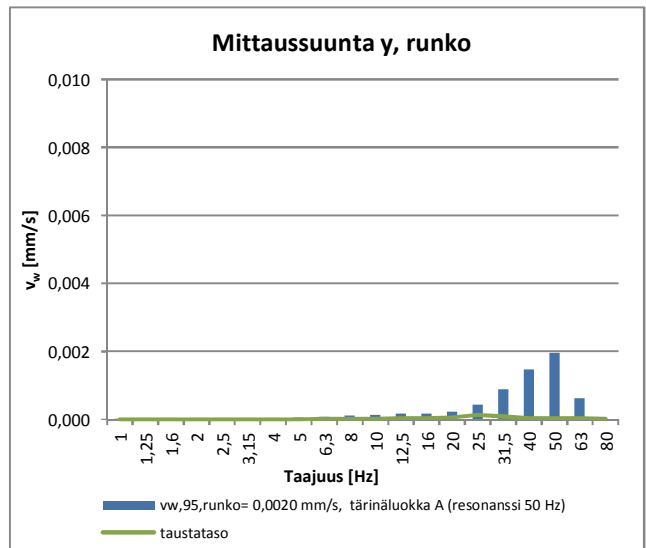
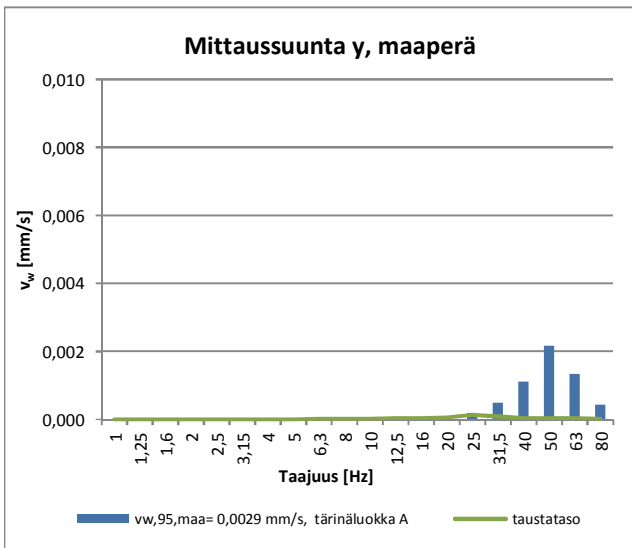
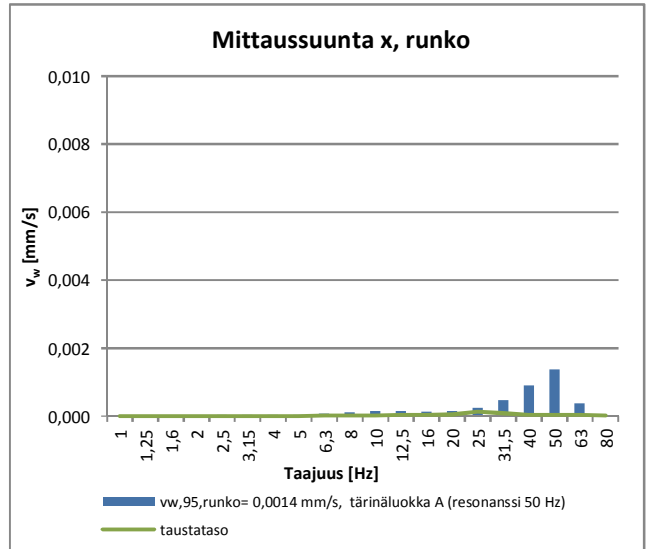
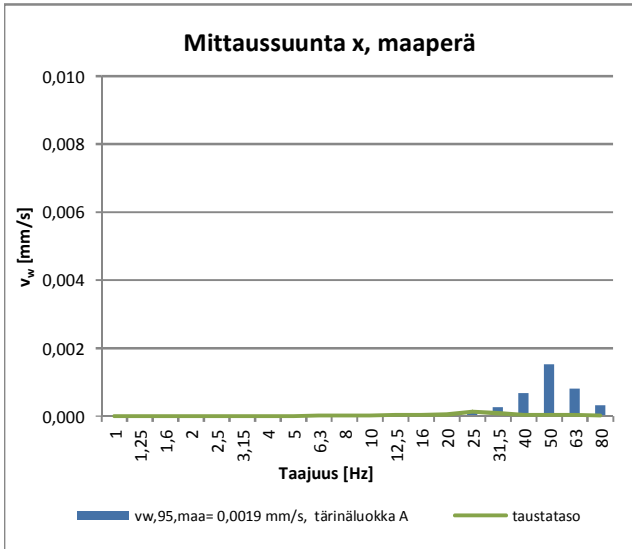
 tärinän tunnusluku $w_{v,95,ma}$: 0,0035 mm/s

tärinäluokka A

Mittaustulokset, värinä MP2

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 51 m

Tärinäluokkien rajat: luokka A ≤ 0,1mm/s, luokka B ≤ 0,15mm/s, luokka C ≤ 0,3mm/s ja luokka D ≤ 0,6mm/s



Mittaustulokset, tärinä MP3

Etäisyys lähimmän raiteen keskiliinjasta n. 124 m

15 merkitsevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta x (radansuuntaisesti).

aika	$V_{w,rms,max}$	vaunutyyppi	suunta
18:47:08	0,0005	Variotram	I
17:39:01	0,0004	Variotram	I
17:28:39	0,0004	Variotram	I
17:23:52	0,0003	Variotram	L
18:27:00	0,0003	Variotram	L
18:45:58	0,0003	Variotram	I
18:33:39	0,0003	Variotram	I
17:37:33	0,0003	Variotram	L
18:23:28	0,0003	Variotram	L
17:07:20	0,0003	Variotram	I
16:59:00	0,0003	Variotram	I
19:21:44	0,0003	Variotram	I
19:19:22	0,0003	Variotram	L
18:04:08	0,0003	Variotram	L
18:57:48	0,0003	Variotram	I

 tärinän tunnusluku $w_{v,95,ma}$: 0,0005 mm/s

tärinäluokka A

15 merkitsevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta y (rataa vasten kohtisuoraan).

aika	$V_{w,rms,max}$	vaunutyyppi	suunta
18:47:08	0,0006	Variotram	I
18:27:00	0,0005	Variotram	L
17:28:39	0,0005	Variotram	I
19:24:28	0,0004	Variotram	I
18:45:58	0,0004	Variotram	I
18:33:39	0,0004	Variotram	I
17:23:52	0,0004	Variotram	L
16:59:00	0,0003	Variotram	I
18:04:08	0,0003	Variotram	L
17:37:33	0,0003	Variotram	L
18:23:28	0,0003	Variotram	L
17:04:06	0,0003	Variotram	L
19:21:44	0,0003	Variotram	I
17:39:01	0,0003	Variotram	I
17:20:06	0,0003	Variotram	I

 tärinän tunnusluku $w_{v,95,ma}$: 0,0005 mm/s

tärinäluokka A

15 merkitsevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta z (pystysuunta).

aika	$V_{w,rms,max}$	vaunutyyppi	suunta
18:47:08	0,0015	Variotram	I
17:28:39	0,0009	Variotram	I
18:45:58	0,0009	Variotram	I
18:33:39	0,0008	Variotram	I
19:24:28	0,0008	Variotram	I
18:27:00	0,0008	Variotram	L
17:23:52	0,0007	Variotram	L
16:59:00	0,0007	Variotram	I
17:39:01	0,0007	Variotram	I
17:20:06	0,0006	Variotram	I
17:37:33	0,0006	Variotram	L
17:59:41	0,0006	Variotram	I
16:48:23	0,0006	Variotram	I
18:04:08	0,0006	Variotram	L
19:21:44	0,0006	Variotram	I

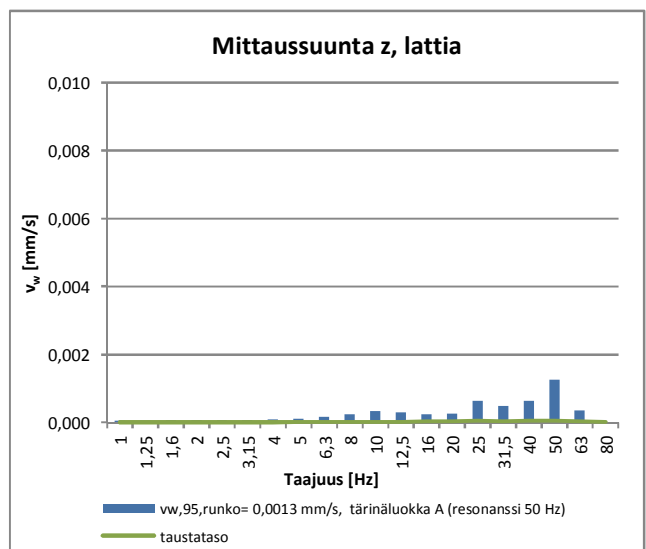
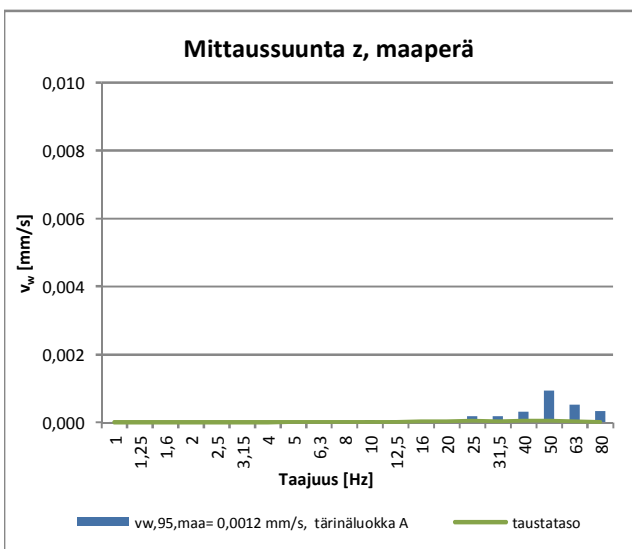
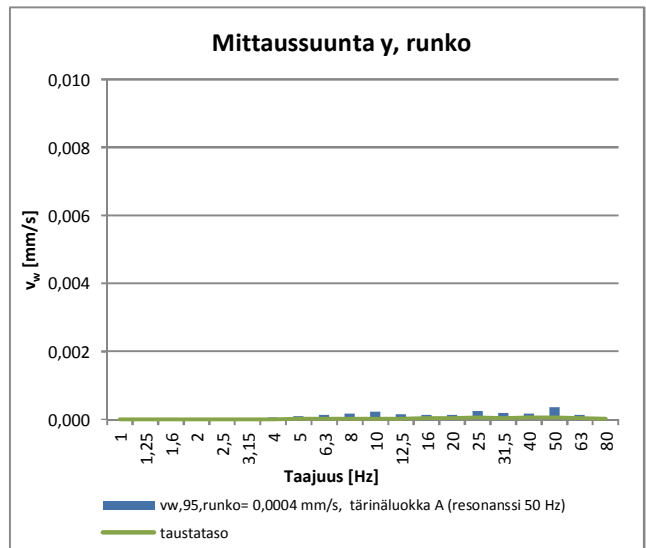
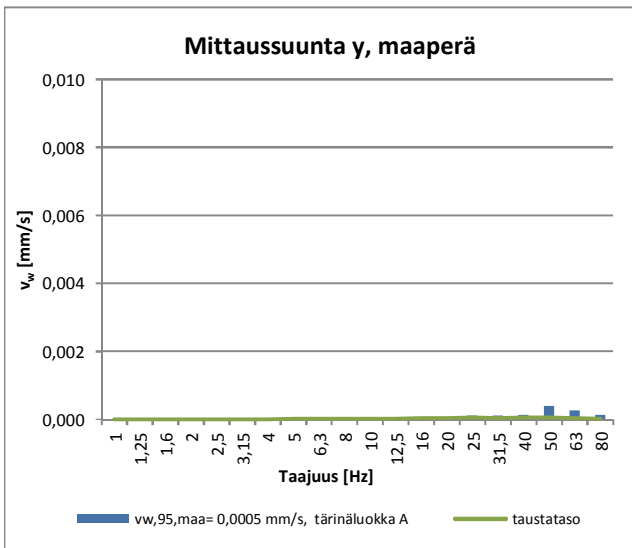
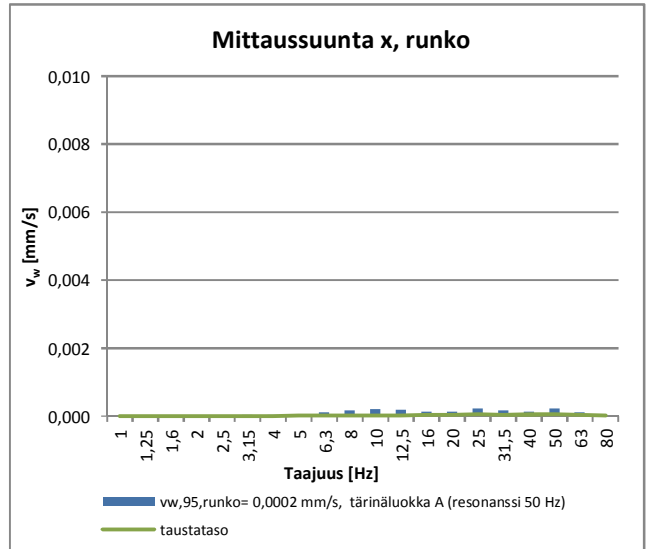
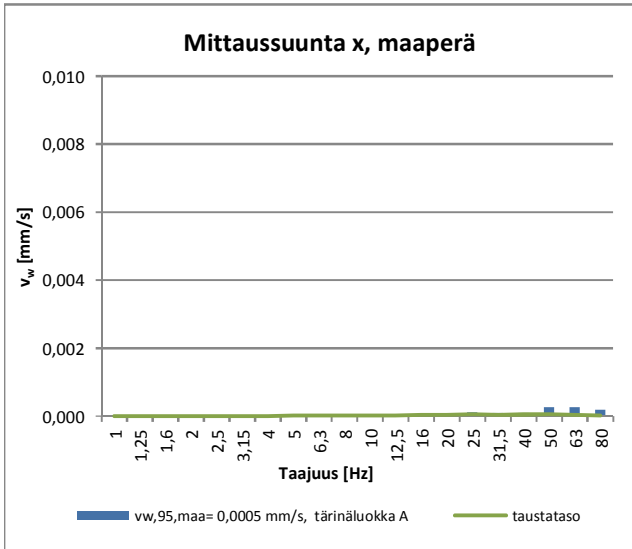
 tärinän tunnusluku $w_{v,95,ma}$: 0,0012 mm/s

tärinäluokka A

Mittaustulokset, värinä MP3

Etäisyys lähimmän raiteen keskiliinjasta n. 124 m

Tärinäluokkien rajat: luokka A ≤ 0,1mm/s, luokka B ≤ 0,15mm/s, luokka C ≤ 0,3mm/s ja luokka D ≤ 0,6mm/s



Mittaustulokset, tärinä MP4

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 208 m

15 merkitsevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta x (radansuuntaisesti).

aika	$V_{w,rms,max}$	vaunutyyppi	suunta
17:23:52	0,0003	Variotram	I
18:47:08	0,0003	Variotram	I
18:23:28	0,0003	Variotram	L
17:13:30	0,0003	Variotram	L
16:45:38	0,0002	Variotram/NRV	L
17:04:06	0,0002	Variotram	L
18:27:00	0,0002	Variotram	L
17:28:39	0,0002	Variotram	L
18:29:30	0,0002	Variotram	I
16:47:54	0,0002	Variotram	I
16:44:38	0,0002	Variotram	L
19:24:28	0,0002	Variotram	I
18:41:32	0,0002	Variotram	L
17:44:59	0,0002	Variotram	L
17:37:33	0,0002	Variotram	L

 tärinän tunnusluku $w_{v,95,ma}$: 0,0003 mm/s
 tärinäluokka A

15 merkitsevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta y (rataa vasten kohtisuoraan).

aika	$V_{w,rms,max}$	vaunutyyppi	suunta
16:45:38	0,0003	Variotram/NRV	L
18:47:08	0,0003	Variotram	I
19:21:44	0,0003	Variotram	I
17:37:33	0,0003	Variotram	L
18:23:28	0,0003	Variotram	L
18:57:48	0,0003	Variotram	I
17:23:52	0,0003	Variotram	I
17:28:39	0,0002	Variotram	L
16:59:00	0,0002	Variotram	I
17:04:34	0,0002	Variotram	L
17:13:30	0,0002	Variotram	L
18:27:41	0,0002	Variotram	L
16:47:54	0,0002	Variotram	I
18:33:39	0,0002	Variotram	I
16:44:38	0,0002	Variotram	L

 tärinän tunnusluku $w_{v,95,ma}$: 0,0003 mm/s
 tärinäluokka A

15 merkitsevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta z (pystysuunta).

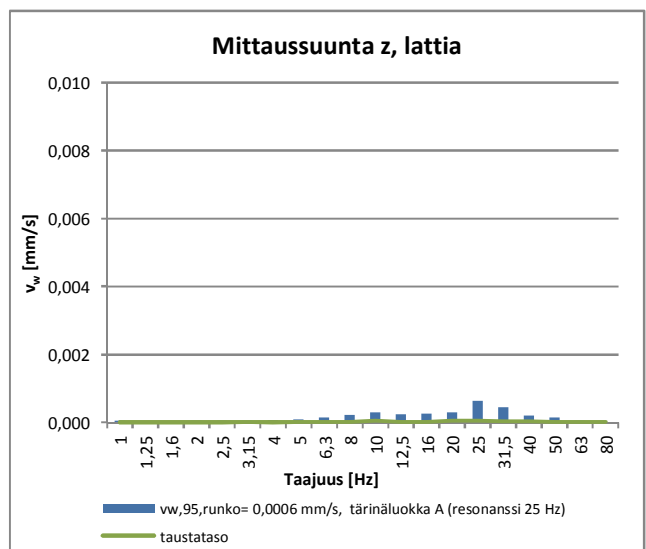
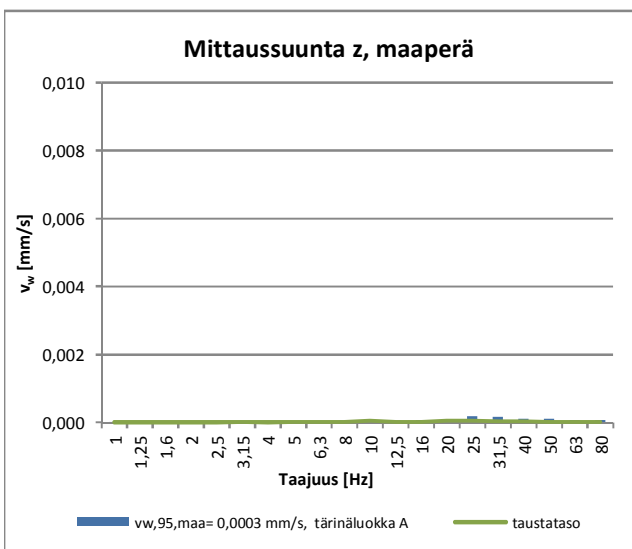
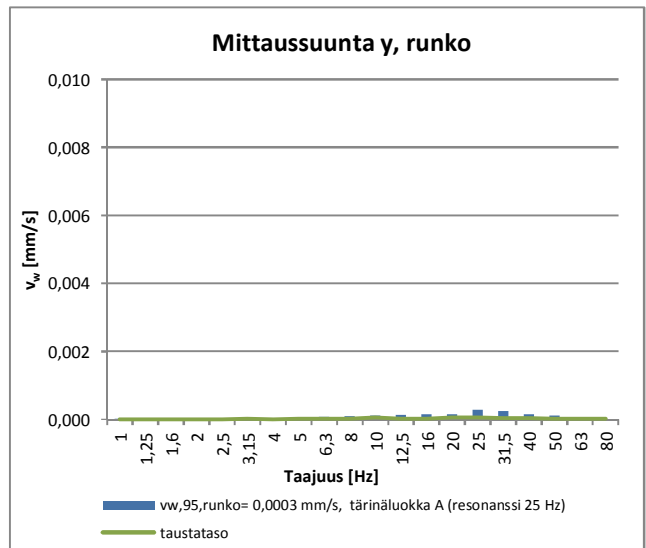
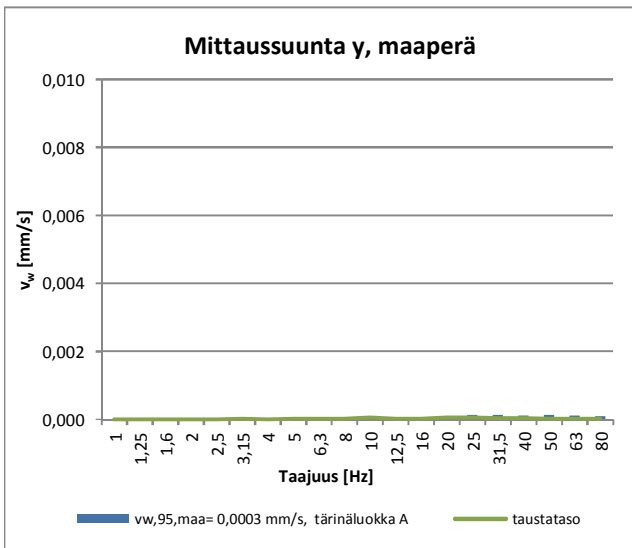
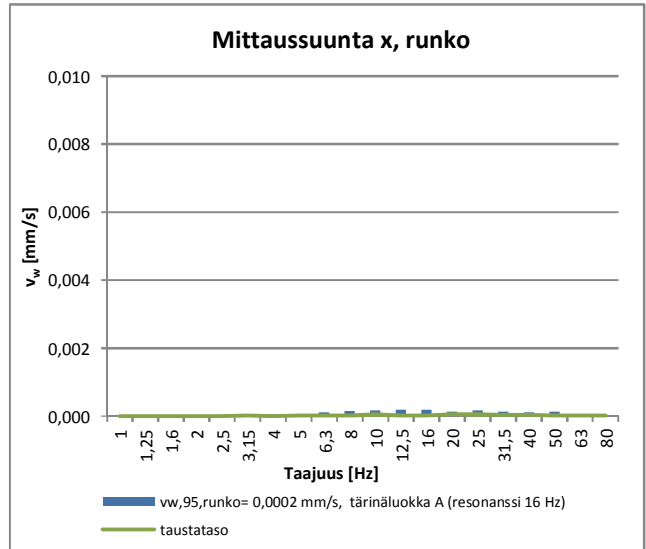
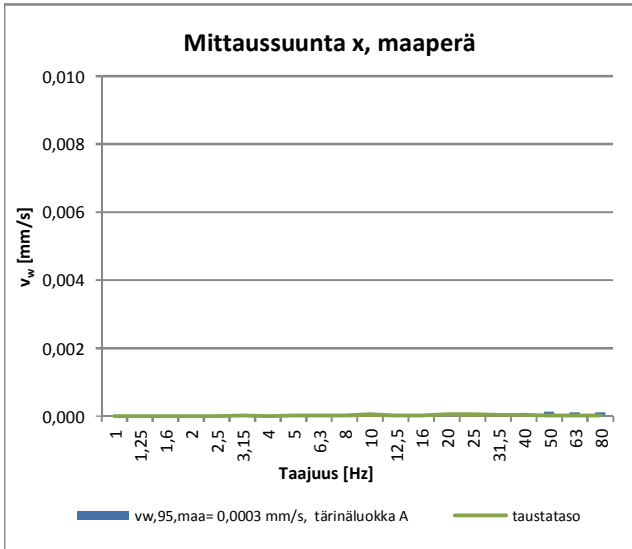
aika	$V_{w,rms,max}$	vaunutyyppi	suunta
18:47:08	0,0004	Variotram	I
19:21:44	0,0003	Variotram	I
18:57:48	0,0003	Variotram	I
17:37:33	0,0003	Variotram	L
18:33:39	0,0003	Variotram	I
17:23:52	0,0003	Variotram	I
17:28:39	0,0003	Variotram	L
16:45:38	0,0003	Variotram/NRV	L
16:47:54	0,0003	Variotram	I
18:13:41	0,0003	Variotram	L
17:39:01	0,0003	Variotram	I
16:59:00	0,0003	Variotram	I
17:04:34	0,0003	Variotram	L
18:29:30	0,0003	Variotram	I
17:14:38	0,0002	NRV I/II	L

 tärinän tunnusluku $w_{v,95,ma}$: 0,0003 mm/s
 tärinäluokka A

Mittaustulokset, tärinä MP4

Etäisyys lähimmän raiteen keskiliinjasta n. 208 m

Tärinäluokkien rajat: luokka A $\leq 0,1\text{mm/s}$, luokka B $\leq 0,15\text{mm/s}$, luokka C $\leq 0,3\text{mm/s}$ ja luokka D $\leq 0,6\text{mm/s}$



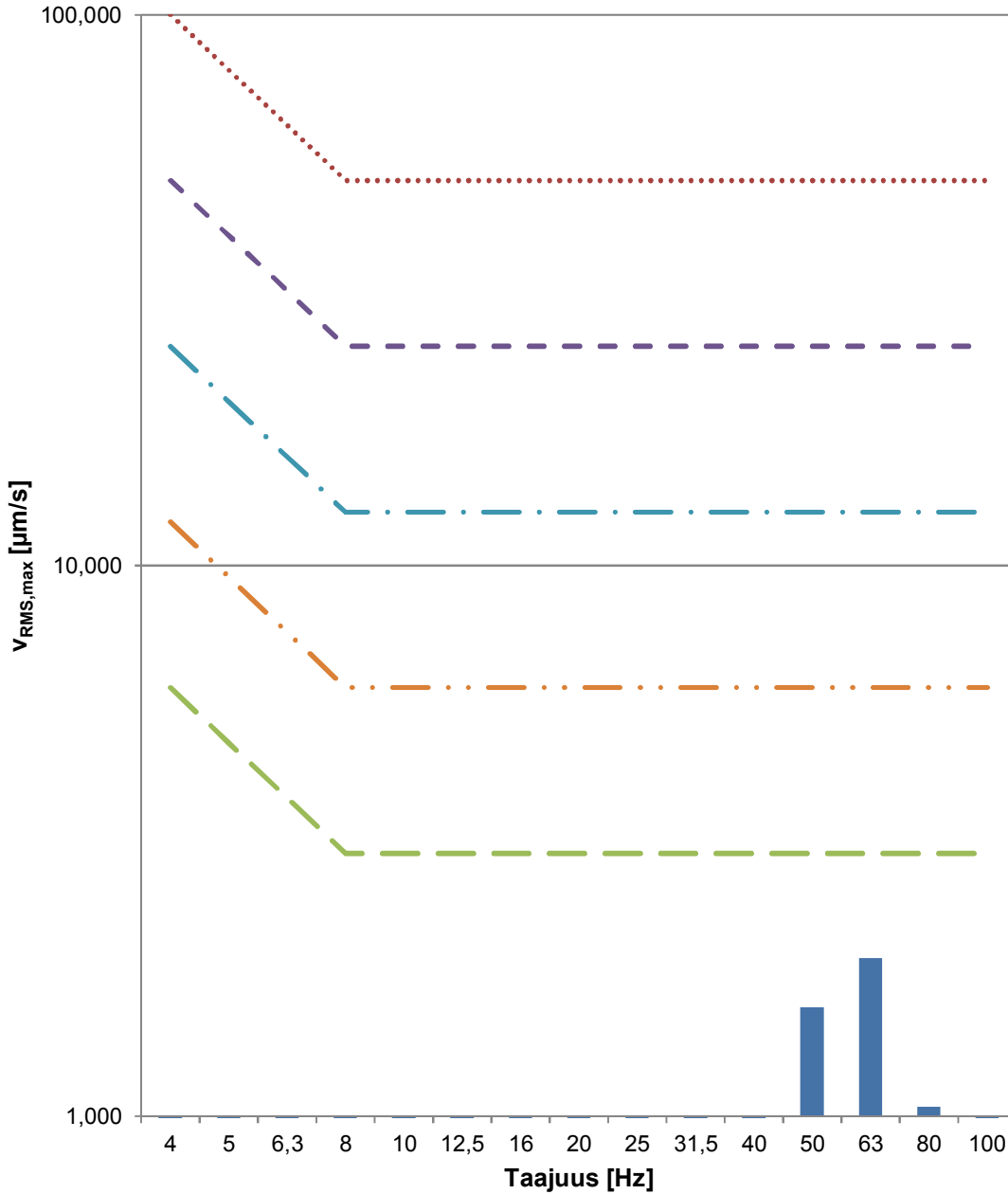
Mittaustulokset, värinän enimmäistasot MP1

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 22 m

Mittaus kalliosta.

Mittaussuunta x, radansuuntaisesti

Mittaussuunta x

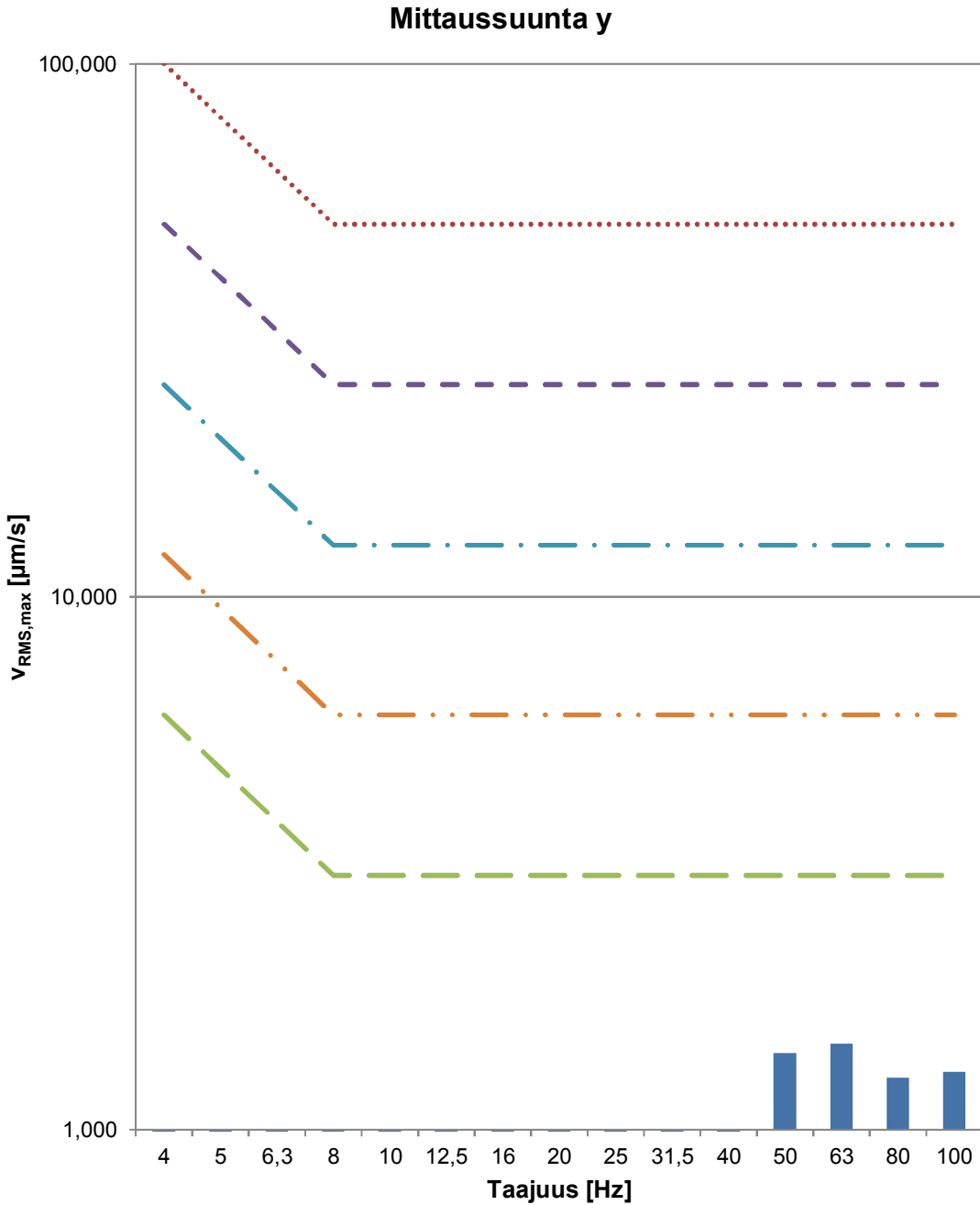


- suurimmat nopeuden tehollisarvojen hetkelliset enimmäisarvot
- ◇ nopeuden tehollisarvojen hetkellisten enimmäisarvojen keskiarvo
- VC-A
- - - VC-B
- · - VC-C
- · - VC-D
- - - VC-E

Mittaustulokset, värinän enimmäistasot MP1

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 22 m
Mittaus kalliosta.
Mittaussuunta y, rataa vasten kohtisuoraan

Liite 2.1 s.2



- suurimmat nopeuden tehollisarvojen hetkelliset enimmäisarvot
- ◇ nopeuden tehollisarvojen hetkellisten enimmäisarvojen keskiarvo
- VC-A
- - - VC-B
- · - VC-C
- · - VC-D
- - - VC-E

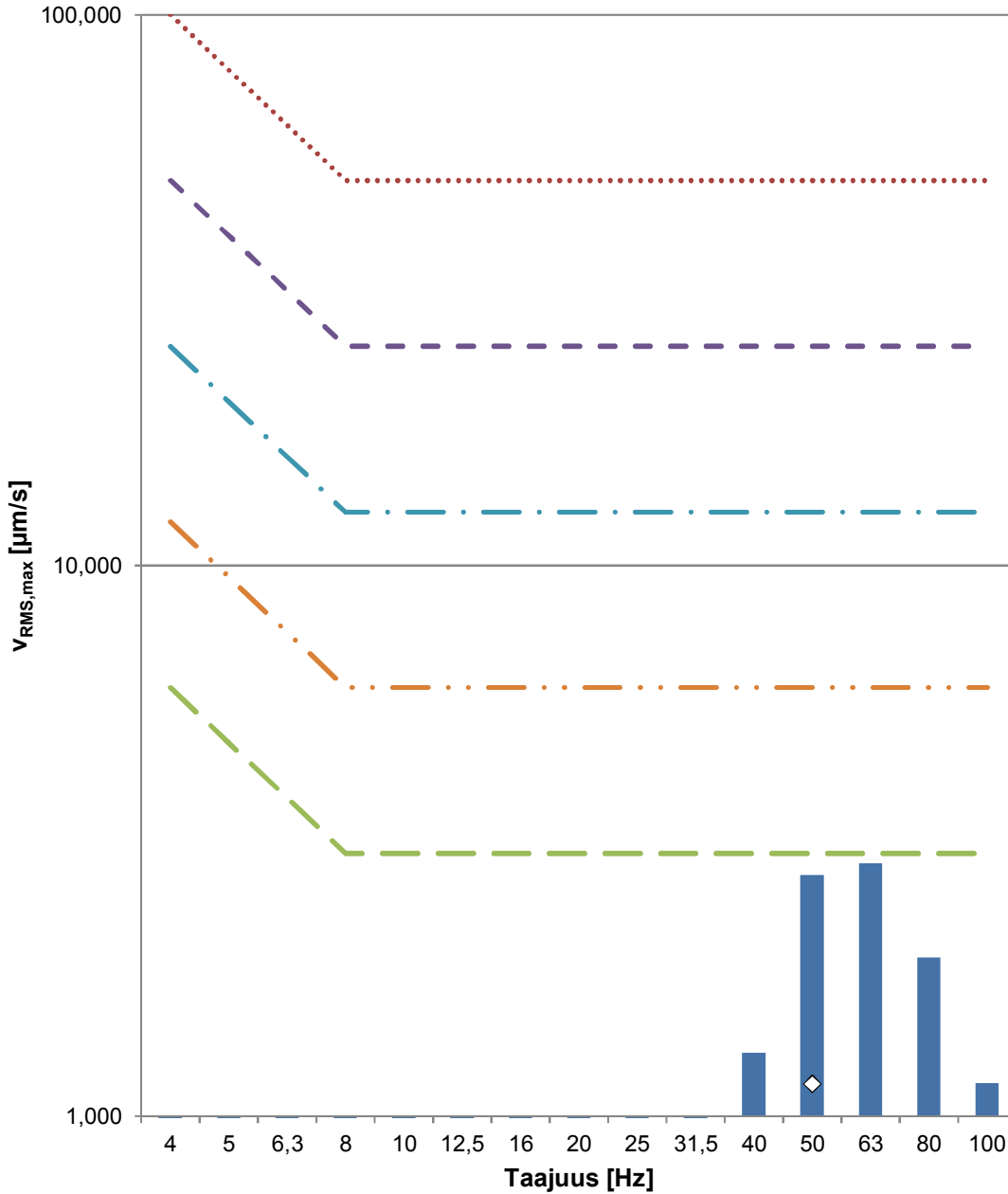
Mittaustulokset, värinän enimmäistasot MP1

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 22 m

Mittaus kalliosta.

Mittaussuunta z, pystysuuntaan

Mittaussuunta z



- suurimmat nopeuden tehollisarvojen hetkelliset enimmäisarvot
- ◇ nopeuden tehollisarvojen hetkellisten enimmäisarvojen keskiarvo
- VC-A
- - - VC-B
- · - VC-C
- · - VC-D
- - - VC-E

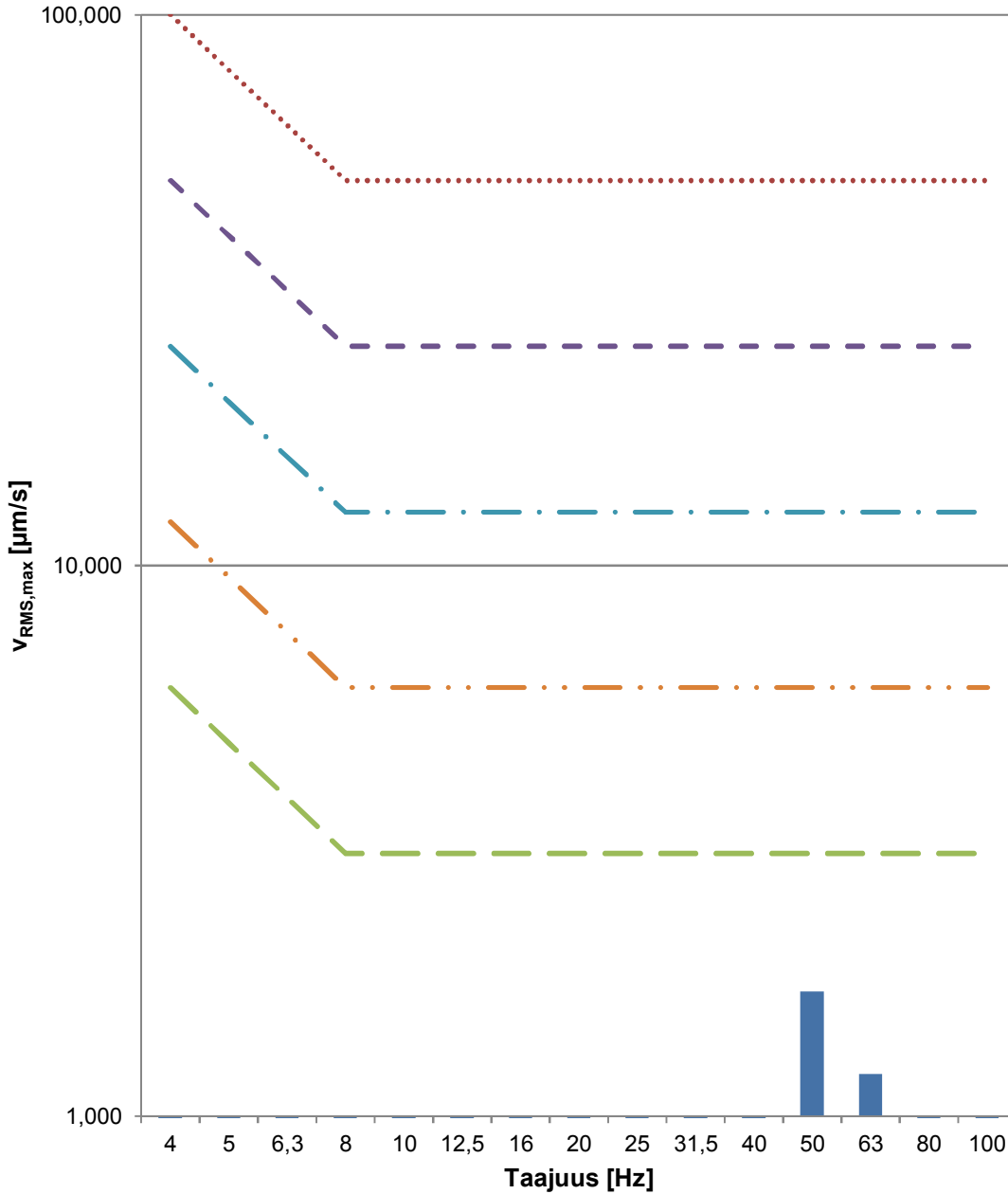
Mittaustulokset, värinän enimmäistasot MP2

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 51 m

Mittaus kalliosta.

Mittaussuunta x, radansuuntaisesti

Mittaussuunta x



- suurimmat nopeuden tehollisarvojen hetkelliset enimmäisarvot
- ◇ nopeuden tehollisarvojen hetkellisten enimmäisarvojen keskiarvo
- VC-A
- - - VC-B
- · - VC-C
- · - VC-D
- - - VC-E

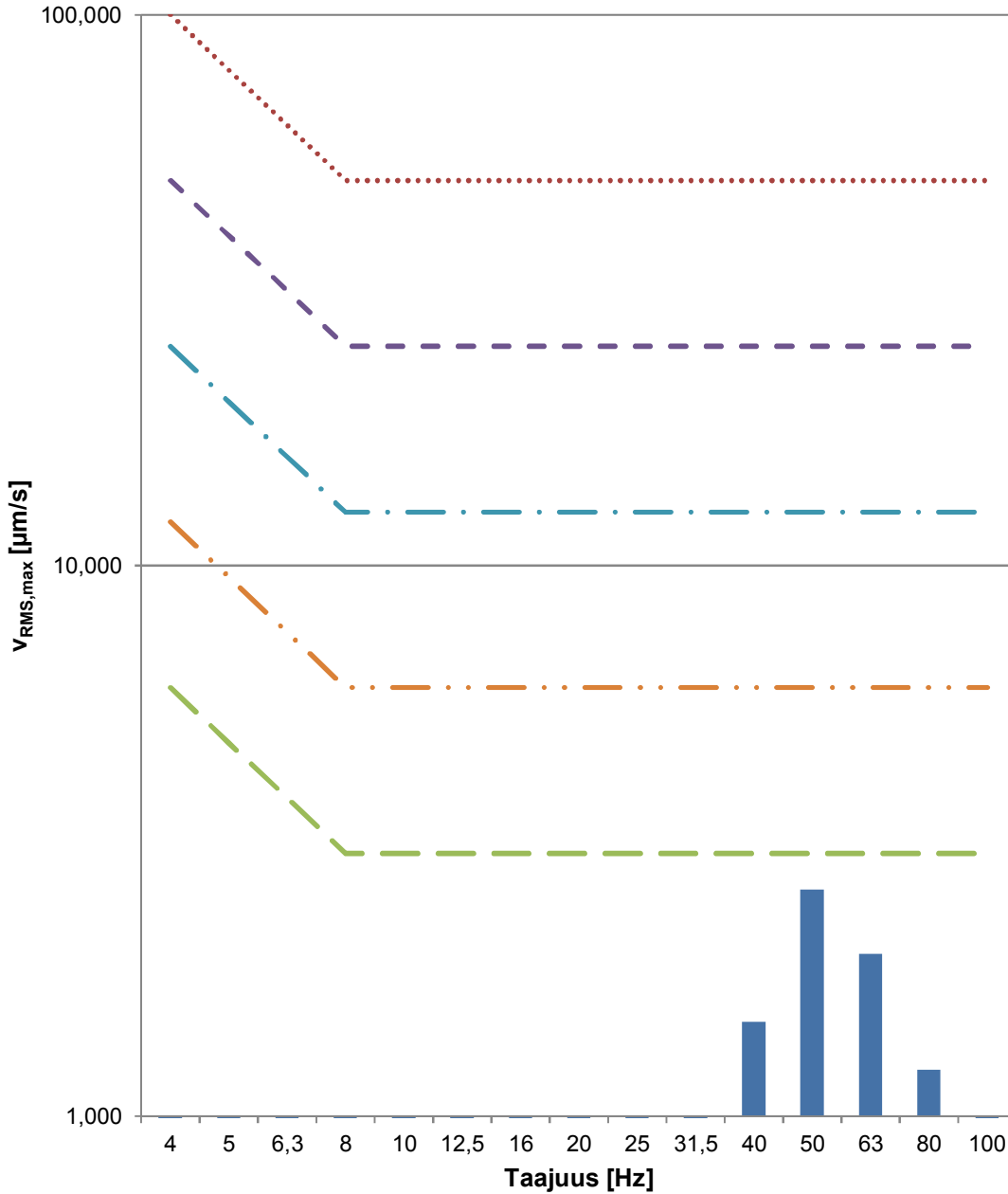
Mittaustulokset, värinän enimmäistasot MP2

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 51 m

Mittaus kalliosta.

Mittaussuunta y, rataa vasten kohtisuoraan

Mittaussuunta y



- suurimmat nopeuden tehollisarvojen hetkelliset enimmäisarvot
- ◇ nopeuden tehollisarvojen hetkellisten enimmäisarvojen keskiarvo
- VC-A
- - - VC-B
- · - VC-C
- · - VC-D
- - - VC-E

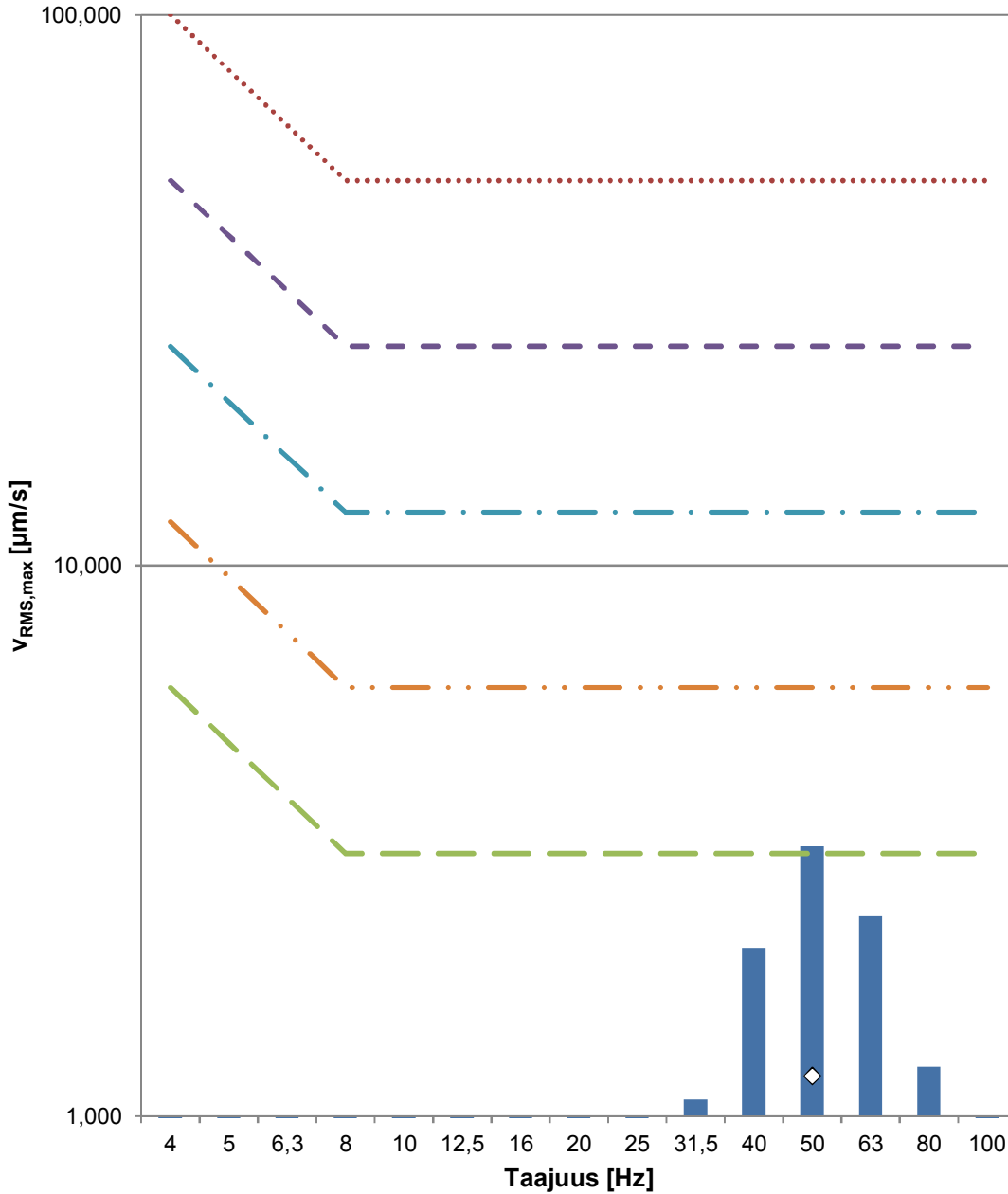
Mittaustulokset, värinän enimmäistasot MP2

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 51 m

Mittaus kalliosta.

Mittaussuunta z, pystysuuntaan

Mittaussuunta z



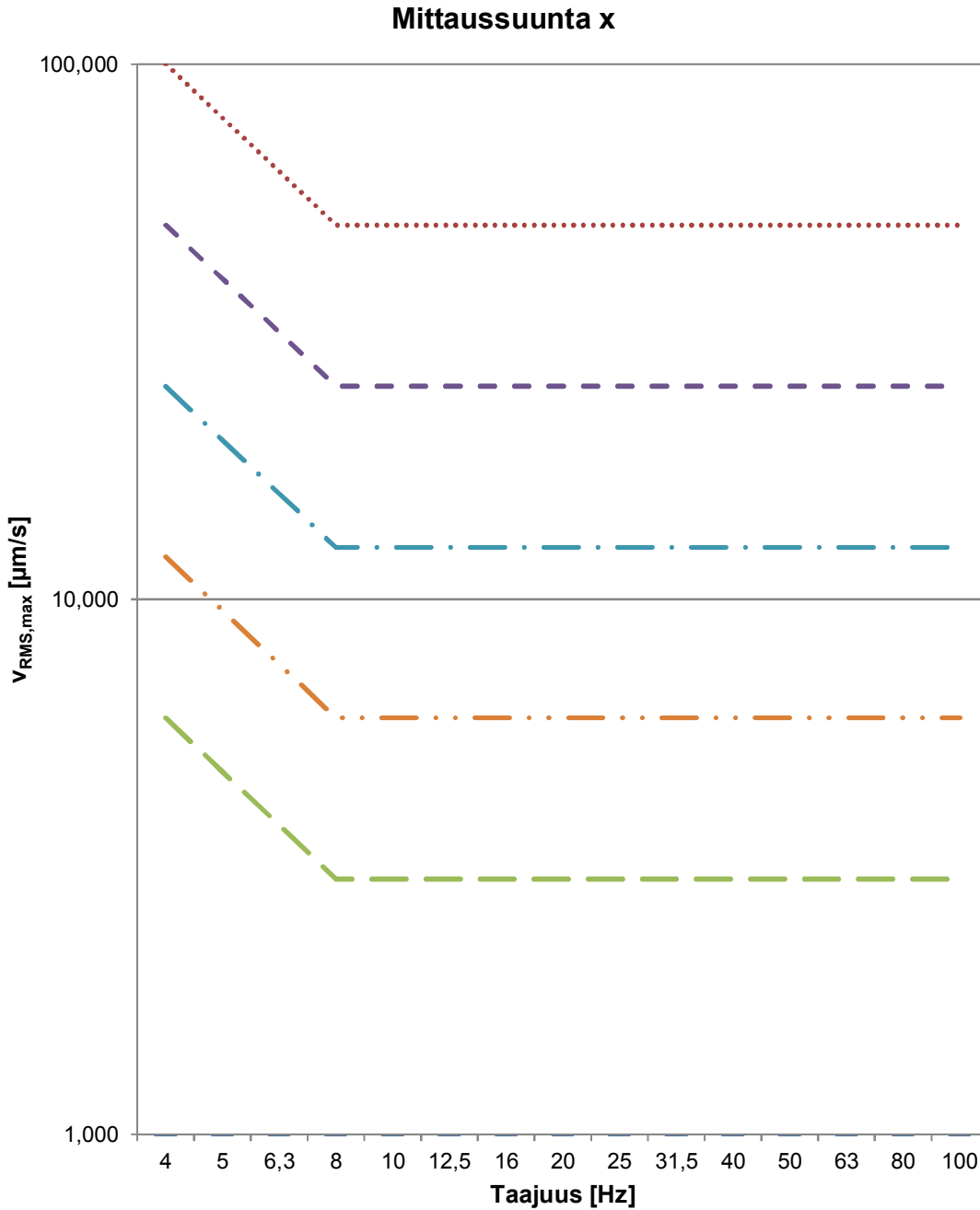
- suurimmat nopeuden tehollisarvojen hetkelliset enimmäisarvot
- ◇ nopeuden tehollisarvojen hetkellisten enimmäisarvojen keskiarvo
- VC-A
- - - VC-B
- · - VC-C
- · - VC-D
- - - VC-E

Mittaustulokset, värinän enimmäistasot MP3

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 124 m

Mittaus kalliosta.

Mittaussuunta x, radansuuntaisesti



- suurimmat nopeuden tehollisarvojen hetkelliset enimmäisarvot
- ◇ nopeuden tehollisarvojen hetkellisten enimmäisarvojen keskiarvo
- VC-A
- - - VC-B
- · - VC-C
- · - VC-D
- - - VC-E

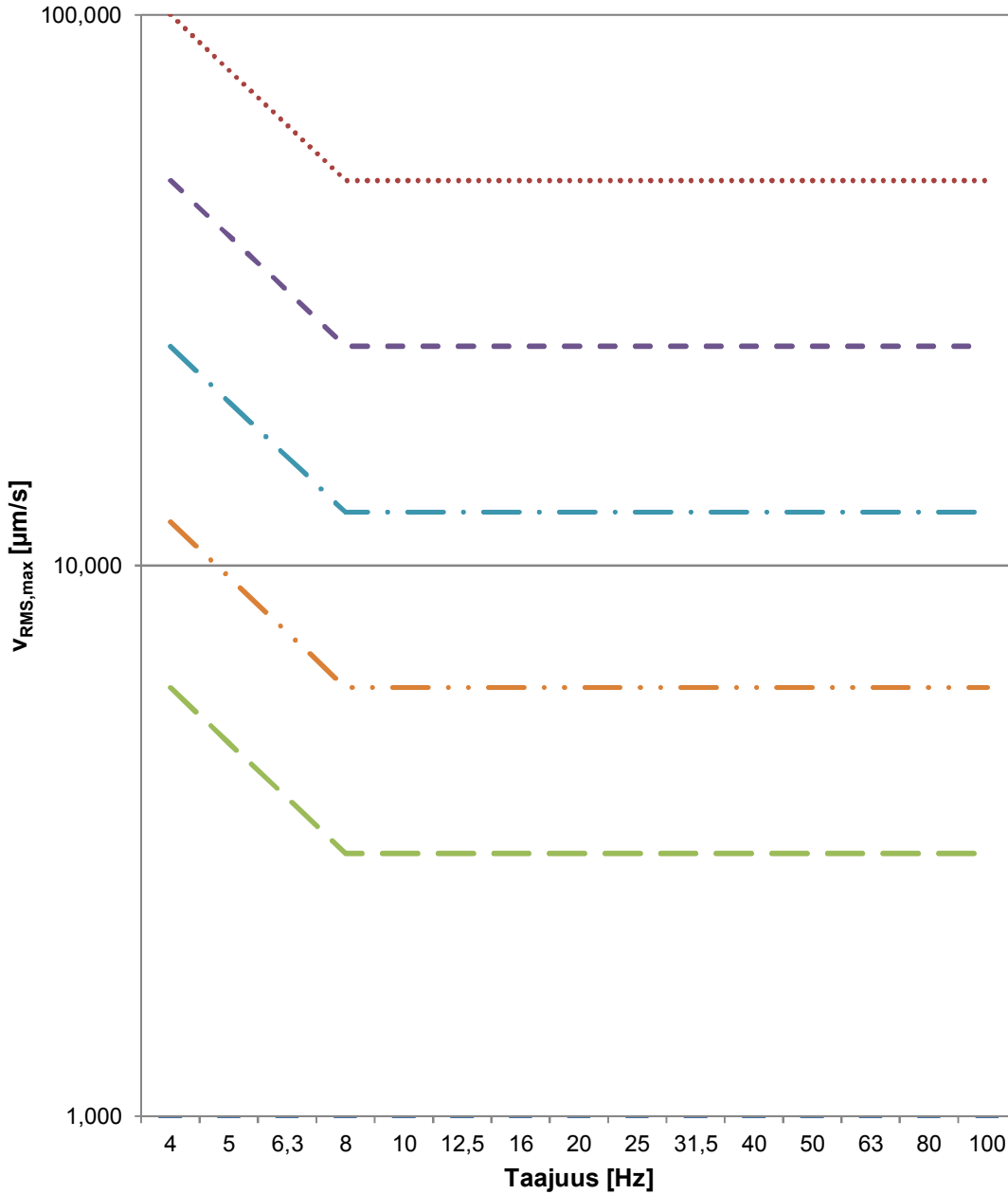
Mittaustulokset, värinän enimmäistasot MP3

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 124 m

Mittaus kalliosta.

Mittaussuunta y, rataa vasten kohtisuoraan

Mittaussuunta y



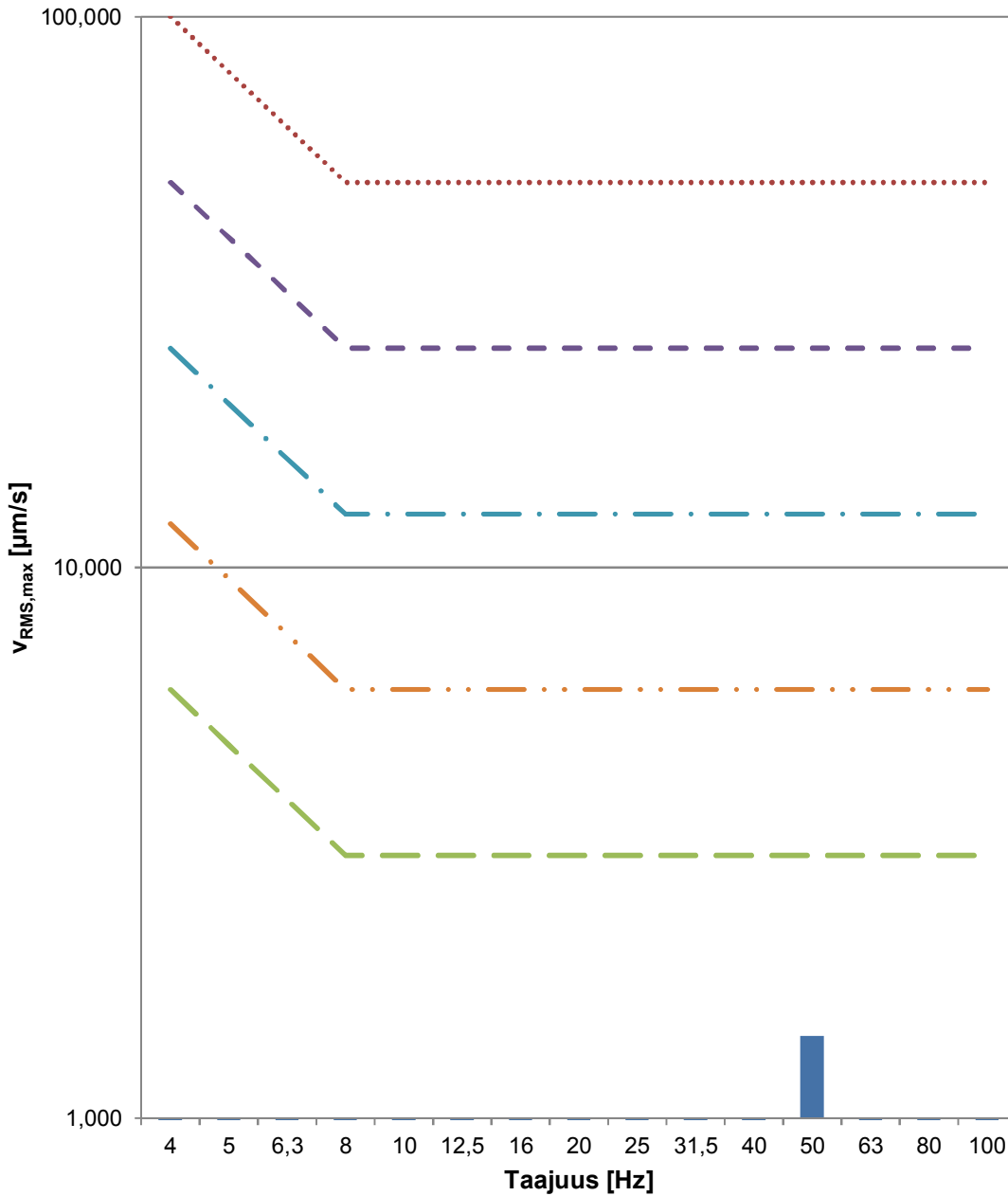
- suurimmat nopeuden tehollisarvojen hetkelliset enimmäisarvot
- ◇ nopeuden tehollisarvojen hetkellisten enimmäisarvojen keskiarvo
- VC-A
- - - VC-B
- · - VC-C
- · - VC-D
- - - VC-E

Mittaustulokset, värinän enimmäistaset MP3

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 124 m
Mittaus kalliosta.
Mittaussuunta z, pystysuuntaan

Liite 2.3 s.3

Mittaussuunta z



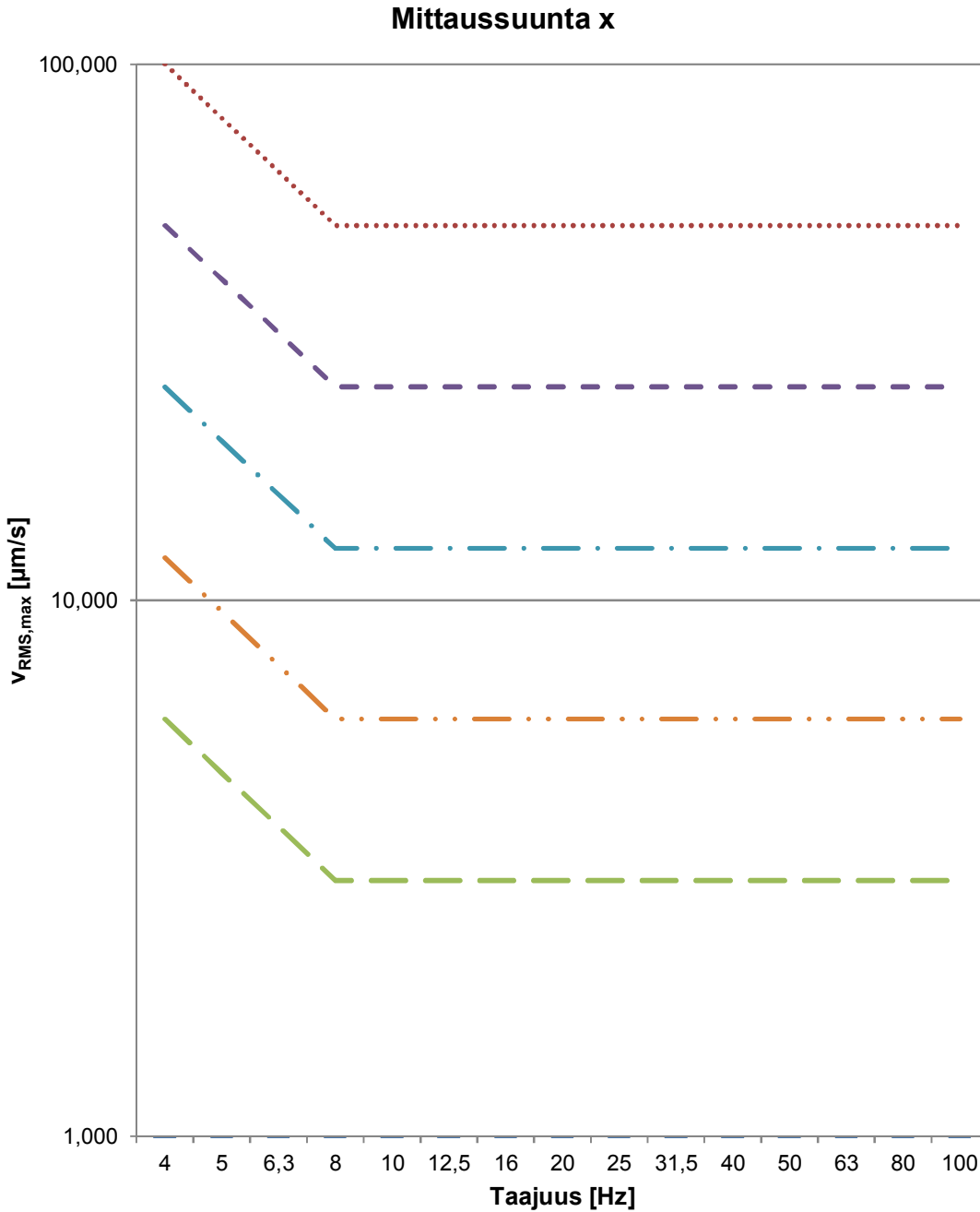
- suurimmat nopeuden tehollisarvojen hetkelliset enimmäisarvot
- ◇ nopeuden tehollisarvojen hetkellisten enimmäisarvojen keskiarvo
- VC-A
- - - VC-B
- · - VC-C
- · - VC-D
- - - VC-E

Mittaustulokset, värinän enimmäistasot MP4

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 208 m

Mittaus kalliosta.

Mittaussuunta x, radansuuntaisesti



- suurimmat nopeuden tehollisarvojen hetkelliset enimmäisarvot
- ◇ nopeuden tehollisarvojen hetkellisten enimmäisarvojen keskiarvo
- VC-A
- - - VC-B
- · - VC-C
- · - VC-D
- - - VC-E

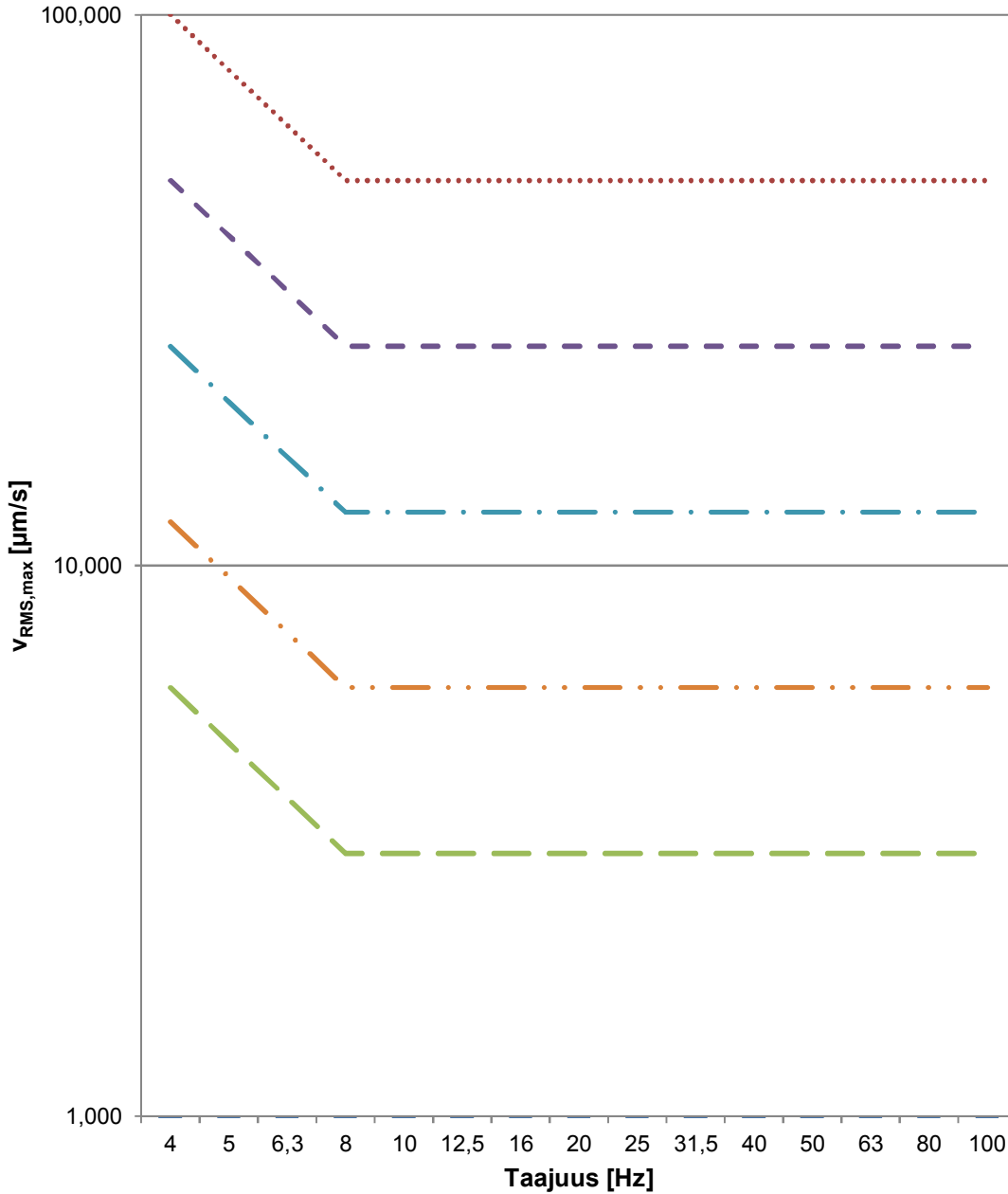
Mittaustulokset, värinän enimmäistasot MP4

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 208 m

Mittaus kalliosta.

Mittaussuunta y, rataa vasten kohtisuoraan

Mittaussuunta y



- suurimmat nopeuden tehollisarvojen hetkelliset enimmäisarvot
- ◇ nopeuden tehollisarvojen hetkellisten enimmäisarvojen keskiarvo
- VC-A
- - - VC-B
- · - VC-C
- · - VC-D
- - - VC-E

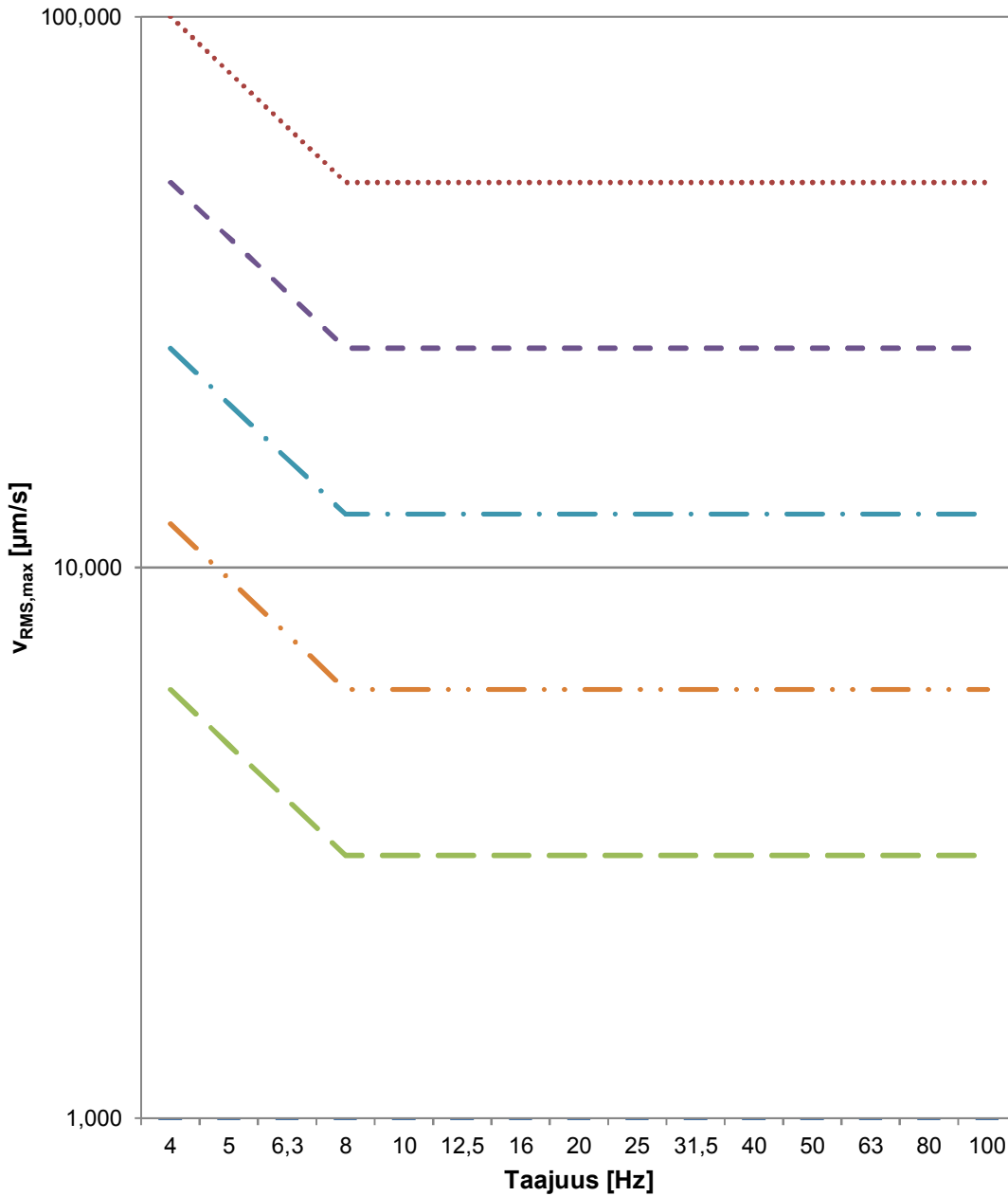
Mittaustulokset, värinän enimmäistasot MP4

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 208 m

Mittaus kalliosta.

Mittaussuunta z, pystysuuntaan

Mittaussuunta z



- suurimmat nopeuden tehollisarvojen hetkelliset enimmäisarvot
- ◇ nopeuden tehollisarvojen hetkellisten enimmäisarvojen keskiarvo
- VC-A
- - - VC-B
- · - VC-C
- · - VC-D
- - - VC-E

Mittaustulokset, runkomelu MP1

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 22 m

15 merkitsevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta x (radansuuntaisesti).

aika	$L_{pAS,max}$ [dB(A)]	vaunutyyppi	suunta
17:50:26	44	Variotram/NRV	L/I
17:09:10	43	Variotram/NRV	L/I
18:39:48	42	NRV I/II	I
18:16:58	42	Variotram/NRV	I
16:38:57	41	NRV I/II	I
19:11:26	40	NRV I/II	I
16:46:07	37	Variotram/NRV	L
18:19:47	37	NRV I/II	L
17:37:33	36	Variotram	L
18:53:50	36	NRV I/II	L
17:15:00	36	NRV I/II	L
17:54:02	35	NRV/Variotram	L/I
18:47:08	35	Variotram	I
18:29:30	34	Variotram	I
17:39:01	33	Variotram	I

 Ohjearvoon verrannollinen runkomelutaso L_{prm}

kerros	L_{prm} [dB(A)]
alin kerros	46
+ 1 krs	44
+ 2 krs	42
+ 3 krs	40
+ 4 krs	38
+ 5 krs	37
+ 6 krs	36
+ 7 krs	35
+ 8 krs	34
+ 9 krs	33
+ 10 krs	32

15 merkitsevintä raitiovaunun ohitusta. Mittausuunta y (rataa vasten kohtisuoraan).

aika	$L_{pAS,max}$ [dB(A)]	vaunutyyppi	suunta
17:09:10	43	Variotram/NRV	L/I
17:50:26	43	Variotram/NRV	L/I
18:39:48	42	NRV I/II	I
18:16:58	41	Variotram/NRV	I
16:38:57	41	NRV I/II	I
19:11:26	40	NRV I/II	I
17:37:33	37	Variotram	L
16:46:07	37	Variotram/NRV	L
18:19:47	37	NRV I/II	L
18:47:08	36	Variotram	I
17:54:02	36	NRV/Variotram	L/I
17:04:34	36	Variotram	L
17:15:00	36	NRV I/II	L
18:29:30	36	Variotram	I
18:53:50	35	NRV I/II	L

 Ohjearvoon verrannollinen runkomelutaso L_{prm}

kerros	L_{prm} [dB(A)]
alin kerros	44
+ 1 krs	42
+ 2 krs	40
+ 3 krs	38
+ 4 krs	36
+ 5 krs	35
+ 6 krs	34
+ 7 krs	33
+ 8 krs	32
+ 9 krs	31
+ 10 krs	<30

15 merkitsevintä raitiovaunun ohitusta. Mittausuunta z (pystysuunta).

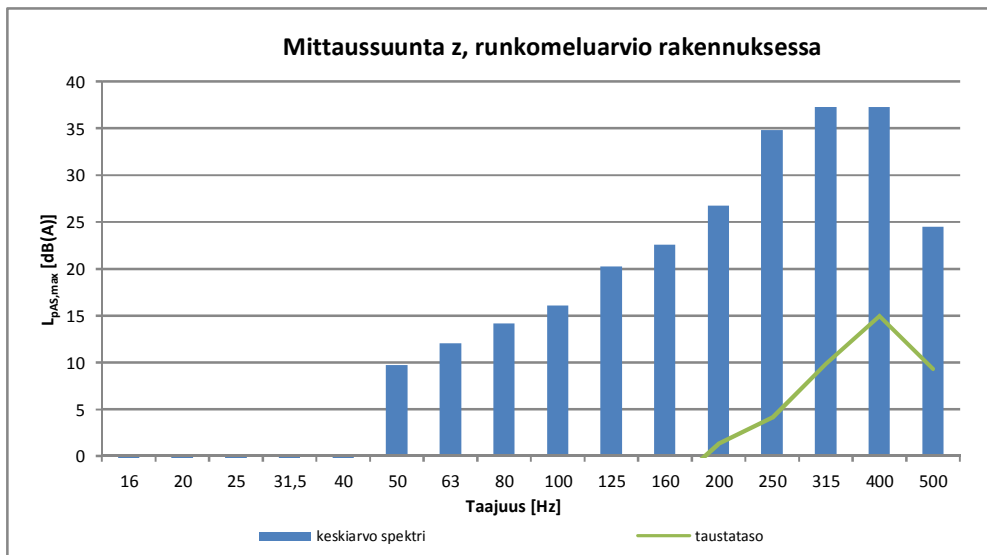
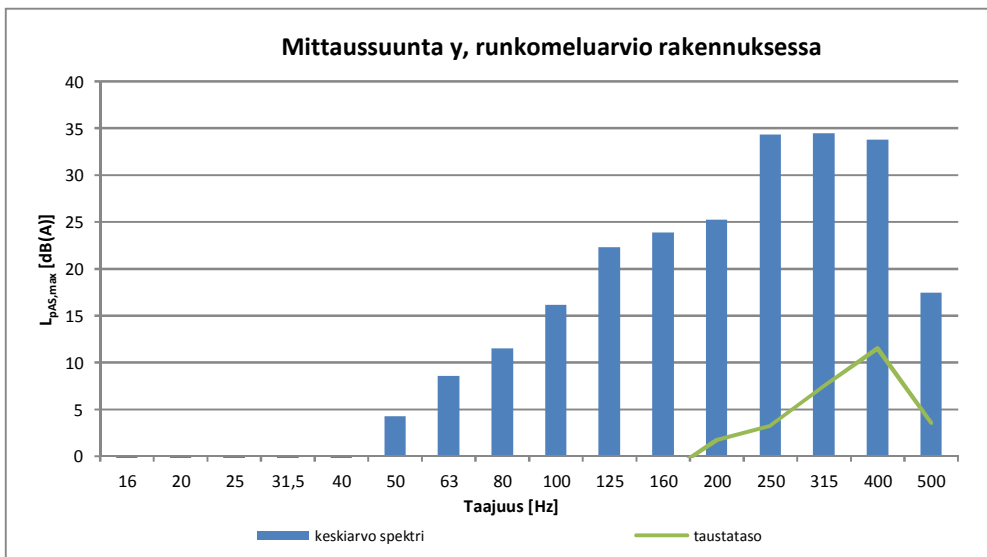
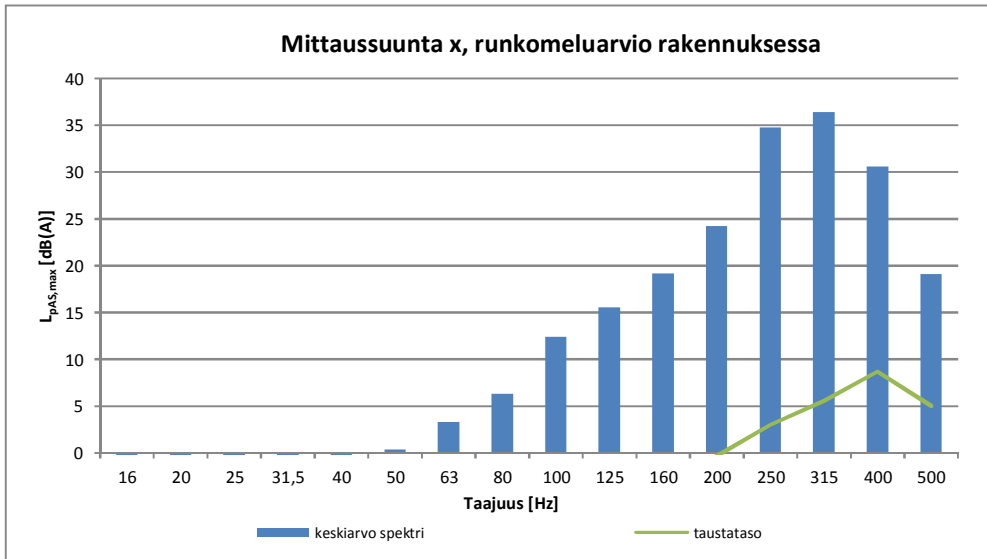
aika	$L_{pAS,max}$ [dB(A)]	vaunutyyppi	suunta
17:09:10	46	Variotram/NRV	L/I
17:50:26	45	Variotram/NRV	L/I
18:39:48	44	NRV I/II	I
18:16:58	44	Variotram/NRV	I
16:38:57	43	NRV I/II	I
19:11:26	43	NRV I/II	I
17:37:33	39	Variotram	L
16:46:07	39	Variotram/NRV	L
18:19:47	38	NRV I/II	L
17:15:00	38	NRV I/II	L
18:53:50	38	NRV I/II	L
17:54:02	37	NRV/Variotram	L/I
18:29:30	37	Variotram	I
18:47:08	37	Variotram	I
17:04:34	37	Variotram	L

 Ohjearvoon verrannollinen runkomelutaso L_{prm}

kerros	L_{prm} [dB(A)]
alin kerros	47
+ 1 krs	45
+ 2 krs	43
+ 3 krs	41
+ 4 krs	39
+ 5 krs	38
+ 6 krs	37
+ 7 krs	36
+ 8 krs	35
+ 9 krs	34
+ 10 krs	33

Mittaustulokset, runkomelu MP1

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 22 m



Mittaustulokset, runkomelu MP2

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 51 m

15 merkitevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta x (radansuuntaisesti).

aika	$L_{pAS,max}$ [dB(A)]	vaunutyyppi	suunta
17:50:07	33	Variotram/NRV	L/I
17:09:10	33	Variotram/NRV	L/I
18:39:48	32	NRV I/II	I
16:38:57	32	NRV I/II	I
18:16:58	31	Variotram/NRV	I
19:11:26	29	NRV I/II	I
17:37:33	28	Variotram	L
16:46:07	28	Variotram/NRV	L
18:19:47	28	NRV I/II	L
18:47:08	27	Variotram	I
18:53:50	26	NRV I/II	L
17:04:34	26	Variotram	L
17:15:00	26	NRV I/II	L
18:29:30	26	Variotram	I
17:39:01	26	Variotram	I

 Ohjearvoon verrannollinen runkomelutaso L_{prm}

kerros	L_{prm} [dB(A)]
alin kerros	34
+ 1 krs	32
+ 2 krs	30
+ 3 krs	<30
+ 4 krs	<30
+ 5 krs	<30
+ 6 krs	<30
+ 7 krs	<30
+ 8 krs	<30
+ 9 krs	<30
+ 10 krs	<30

15 merkitevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta y (rataa vasten kohtisuoraan).

aika	$L_{pAS,max}$ [dB(A)]	vaunutyyppi	suunta
18:39:48	36	NRV I/II	I
17:50:07	35	Variotram/NRV	L/I
17:09:10	34	Variotram/NRV	L/I
18:23:28	32	Variotram	L
17:37:33	32	Variotram	L
16:38:57	32	NRV I/II	I
17:04:34	32	Variotram	L
18:47:08	31	Variotram	I
18:16:58	31	Variotram/NRV	I
18:29:30	30	Variotram	I
18:53:50	30	NRV I/II	L
18:19:47	30	NRV I/II	L
17:39:01	30	Variotram	I
16:46:07	30	Variotram/NRV	L
17:14:07	29	Variotram	L

 Ohjearvoon verrannollinen runkomelutaso L_{prm}

kerros	L_{prm} [dB(A)]
alin kerros	36
+ 1 krs	34
+ 2 krs	32
+ 3 krs	<30
+ 4 krs	<30
+ 5 krs	<30
+ 6 krs	<30
+ 7 krs	<30
+ 8 krs	<30
+ 9 krs	<30
+ 10 krs	<30

15 merkitevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta z (pystysuunta).

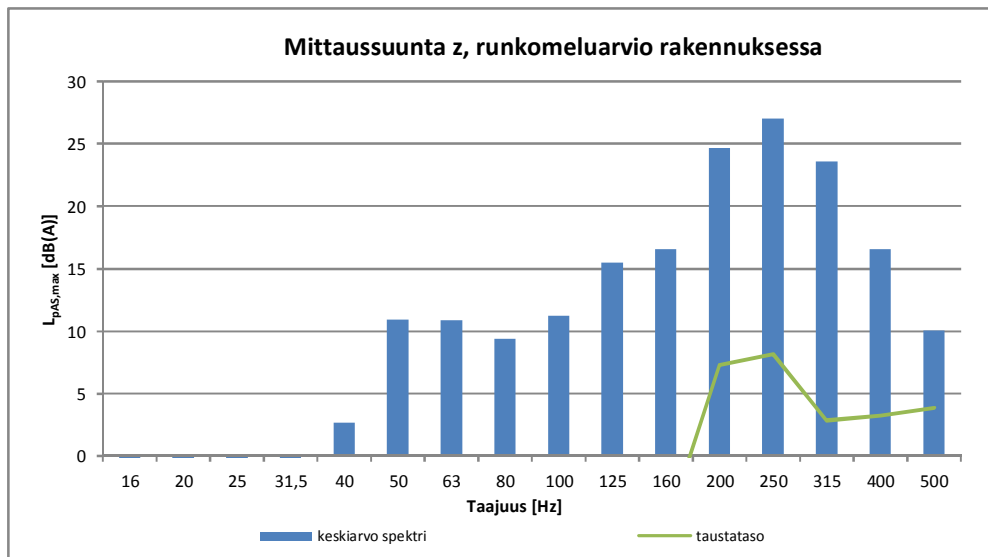
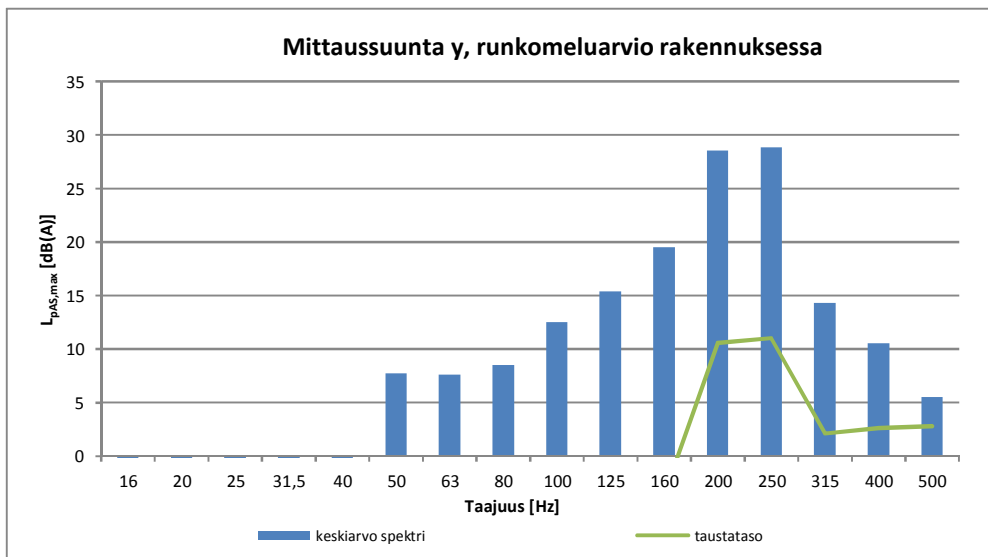
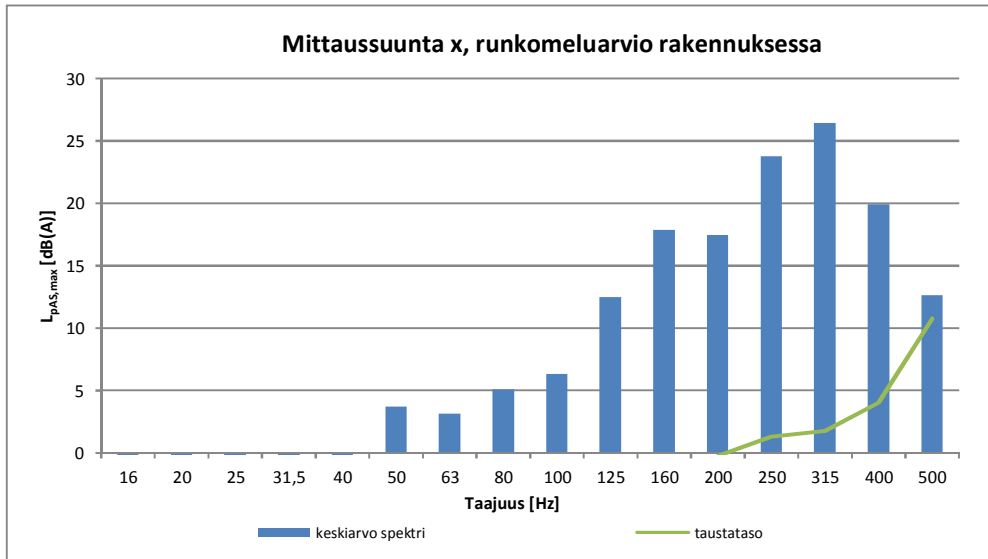
aika	$L_{pAS,max}$ [dB(A)]	vaunutyyppi	suunta
18:39:48	34	NRV I/II	I
17:50:07	34	Variotram/NRV	L/I
17:09:10	33	Variotram/NRV	L/I
16:38:57	31	NRV I/II	I
18:16:58	31	Variotram/NRV	I
17:37:33	30	Variotram	L
18:47:08	30	Variotram	I
17:04:34	30	Variotram	L
18:23:28	30	Variotram	L
19:11:26	29	NRV I/II	I
18:19:47	29	NRV I/II	L
18:53:50	29	NRV I/II	L
16:46:07	29	Variotram/NRV	L
18:29:30	28	Variotram	I
17:39:01	28	Variotram	I

 Ohjearvoon verrannollinen runkomelutaso L_{prm}

kerros	L_{prm} [dB(A)]
alin kerros	34
+ 1 krs	32
+ 2 krs	<30
+ 3 krs	<30
+ 4 krs	<30
+ 5 krs	<30
+ 6 krs	<30
+ 7 krs	<30
+ 8 krs	<30
+ 9 krs	<30
+ 10 krs	<30

Mittaustulokset, runkomelu MP2

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 51 m



Mittaustulokset, runkomelu MP3

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 124 m

15 merkitsevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta x (radansuuntaisesti).

aika	$L_{pAS,max}$ [dB(A)]	vaunutyyppi	suunta
18:47:08	20	Variotram	I
18:13:41	20	Variotram	L
19:19:22	20	Variotram	L
17:37:33	19	Variotram	L
17:23:52	19	Variotram	L
17:20:06	19	Variotram	I
18:04:08	18	Variotram	L
19:21:44	18	Variotram	I
18:57:48	18	Variotram	I
18:27:00	17	Variotram	L
17:49:23	17	Variotram	L
19:24:28	17	Variotram	I
17:04:06	17	Variotram	L
16:59:00	17	Variotram	I
18:34:19	16	Variotram	L

 Ohjearvoon verrannollinen
runkomelutaso L_{prm}

kerros	L_{prm} [dB(A)]
alin kerros	<30
+ 1 krs	<30
+ 2 krs	<30
+ 3 krs	<30
+ 4 krs	<30
+ 5 krs	<30
+ 6 krs	<30
+ 7 krs	<30
+ 8 krs	<30
+ 9 krs	<30
+ 10 krs	<30

15 merkitsevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta y (rataa vasten kohtisuoraan).

aika	$L_{pAS,max}$ [dB(A)]	vaunutyyppi	suunta
18:47:08	17	Variotram	I
18:27:00	17	Variotram	L
18:13:41	17	Variotram	L
19:19:22	17	Variotram	L
17:37:08	17	Variotram	L
17:04:06	17	Variotram	L
17:23:52	17	Variotram	L
18:23:28	16	Variotram	L
18:04:08	16	Variotram	L
17:37:33	16	Variotram	L
19:24:28	15	Variotram	I
19:11:10	15	Variotram/NRV	I
16:38:57	15	NRV I/II	I
19:21:44	15	Variotram	I
18:34:19	15	Variotram	L

 Ohjearvoon verrannollinen
runkomelutaso L_{prm}

kerros	L_{prm} [dB(A)]
alin kerros	<30
+ 1 krs	<30
+ 2 krs	<30
+ 3 krs	<30
+ 4 krs	<30
+ 5 krs	<30
+ 6 krs	<30
+ 7 krs	<30
+ 8 krs	<30
+ 9 krs	<30
+ 10 krs	<30

15 merkitsevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta z (pystysuunta).

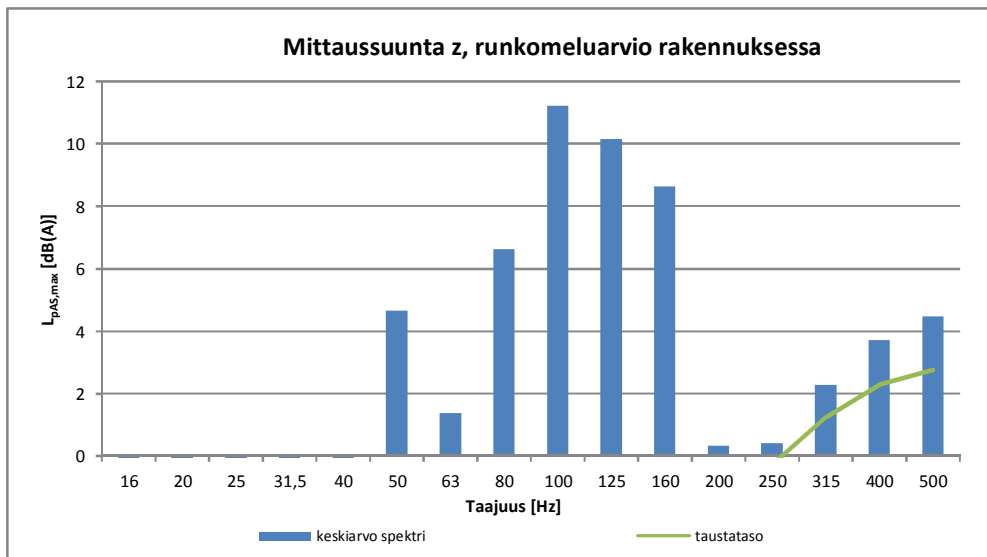
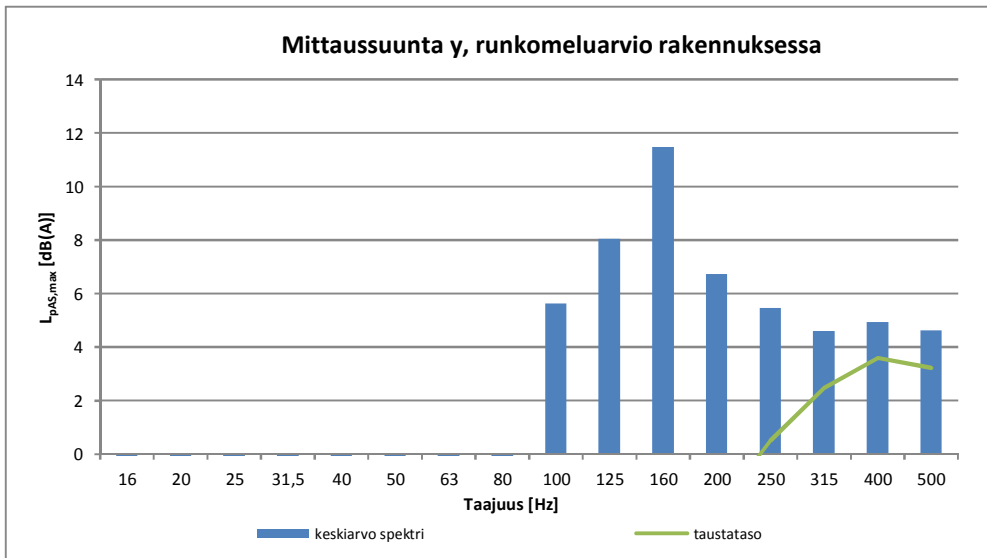
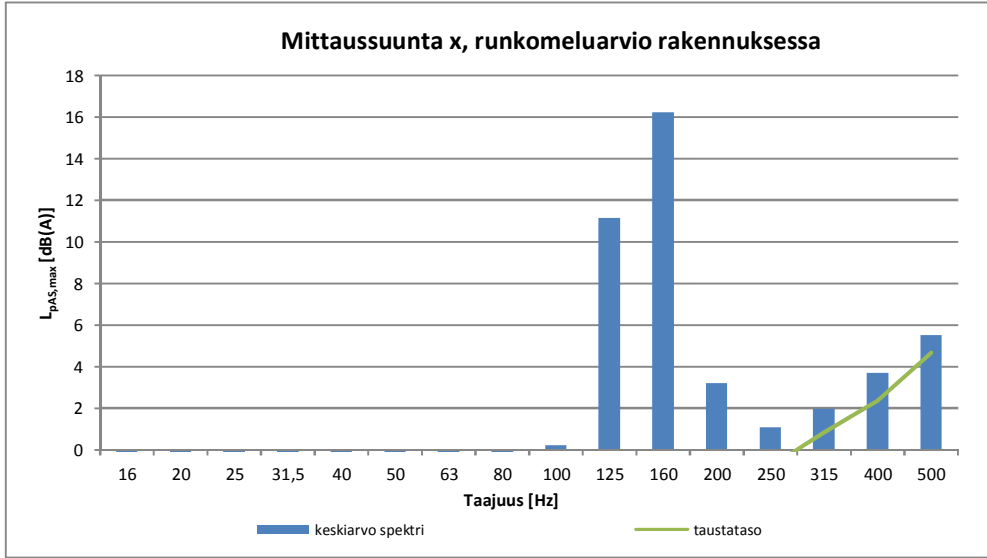
aika	$L_{pAS,max}$ [dB(A)]	vaunutyyppi	suunta
18:47:08	19	Variotram	I
18:04:08	18	Variotram	L
17:23:52	18	Variotram	L
19:21:44	17	Variotram	I
18:27:00	17	Variotram	L
17:04:06	17	Variotram	L
17:37:33	17	Variotram	L
18:13:41	17	Variotram	L
18:03:41	16	Variotram	L
19:24:28	16	Variotram	I
16:53:20	16	Variotram	L
17:28:39	16	Variotram	I
18:45:58	16	Variotram	I
18:23:28	16	Variotram	L
18:57:48	16	Variotram	I

 Ohjearvoon verrannollinen
runkomelutaso L_{prm}

kerros	L_{prm} [dB(A)]
alin kerros	<30
+ 1 krs	<30
+ 2 krs	<30
+ 3 krs	<30
+ 4 krs	<30
+ 5 krs	<30
+ 6 krs	<30
+ 7 krs	<30
+ 8 krs	<30
+ 9 krs	<30
+ 10 krs	<30

Mittaustulokset, runkomelu MP3

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 124 m



Mittaustulokset, runkomelu MP4

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 208 m

15 merkitevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta x (radansuuntaisesti).

aika	$L_{pAS,max}$ [dB(A)]	vaunutyyppi	suunta
16:45:38	15	Variotram/NRV	L
18:27:00	14	Variotram	L
17:23:52	14	Variotram	I
18:47:08	14	Variotram	I
17:04:06	14	Variotram	L
19:24:28	14	Variotram	I
17:37:08	14	Variotram	L
18:23:28	13	Variotram	L
18:13:41	13	Variotram	L
19:21:44	13	Variotram	I
18:29:30	13	Variotram	I
19:19:22	13	Variotram	L
17:37:33	13	Variotram	L
18:57:48	13	Variotram	I
19:11:10	13	Variotram/NRV	I

 Ohjearvoon verrannollinen
runkomelutaso L_{prm}

kerros	L_{prm} [dB(A)]
alin kerros	<30
+ 1 krs	<30
+ 2 krs	<30
+ 3 krs	<30
+ 4 krs	<30
+ 5 krs	<30
+ 6 krs	<30
+ 7 krs	<30
+ 8 krs	<30
+ 9 krs	<30
+ 10 krs	<30

15 merkitevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta y (rataa vasten kohtisuoraan).

aika	$L_{pAS,max}$ [dB(A)]	vaunutyyppi	suunta
16:45:38	17	Variotram/NRV	L
17:23:52	17	Variotram	I
19:24:28	16	Variotram	I
18:39:48	15	NRV I/II	I
18:47:08	14	Variotram	I
18:57:48	14	Variotram	I
17:04:06	14	Variotram	L
18:27:00	14	Variotram	L
17:37:08	13	Variotram	L
18:13:41	13	Variotram	L
16:48:23	13	Variotram	I
17:37:33	13	Variotram	L
18:45:58	13	Variotram	I
17:13:30	13	Variotram	L
16:44:38	13	Variotram	L

 Ohjearvoon verrannollinen
runkomelutaso L_{prm}

kerros	L_{prm} [dB(A)]
alin kerros	<30
+ 1 krs	<30
+ 2 krs	<30
+ 3 krs	<30
+ 4 krs	<30
+ 5 krs	<30
+ 6 krs	<30
+ 7 krs	<30
+ 8 krs	<30
+ 9 krs	<30
+ 10 krs	<30

15 merkitevintä raitiovaunun ohitusta. Mittaussuunta z (pystysuunta).

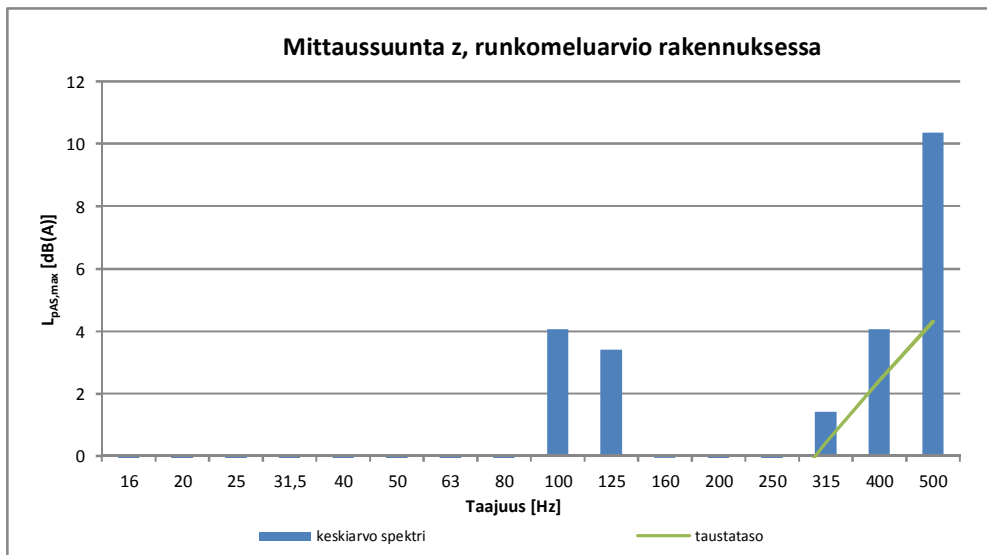
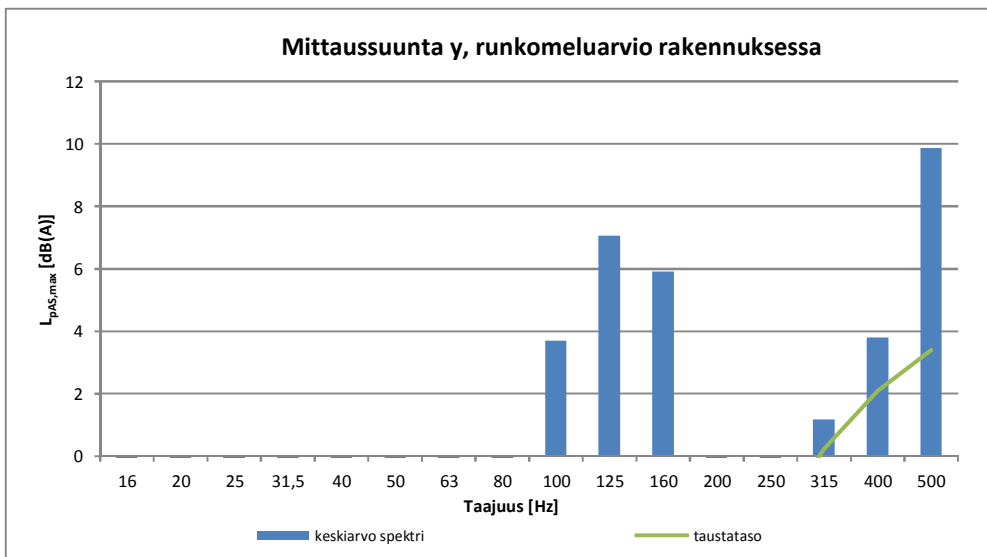
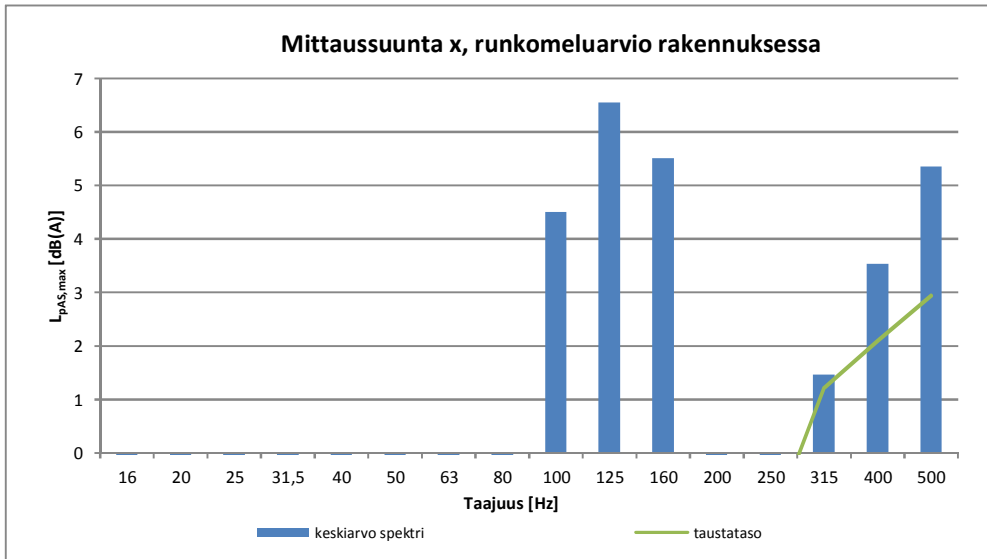
aika	$L_{pAS,max}$ [dB(A)]	vaunutyyppi	suunta
16:45:38	17	Variotram/NRV	L
19:24:28	17	Variotram	I
17:23:52	17	Variotram	I
18:39:48	14	NRV I/II	I
18:47:08	13	Variotram	I
16:55:07	13	Variotram	L
17:04:06	13	Variotram	L
16:48:23	13	Variotram	I
19:11:10	13	Variotram/NRV	I
16:44:38	13	Variotram	L
18:13:41	13	Variotram	L
17:37:33	13	Variotram	L
19:21:44	13	Variotram	I
16:53:20	13	Variotram	L
18:57:48	13	Variotram	I

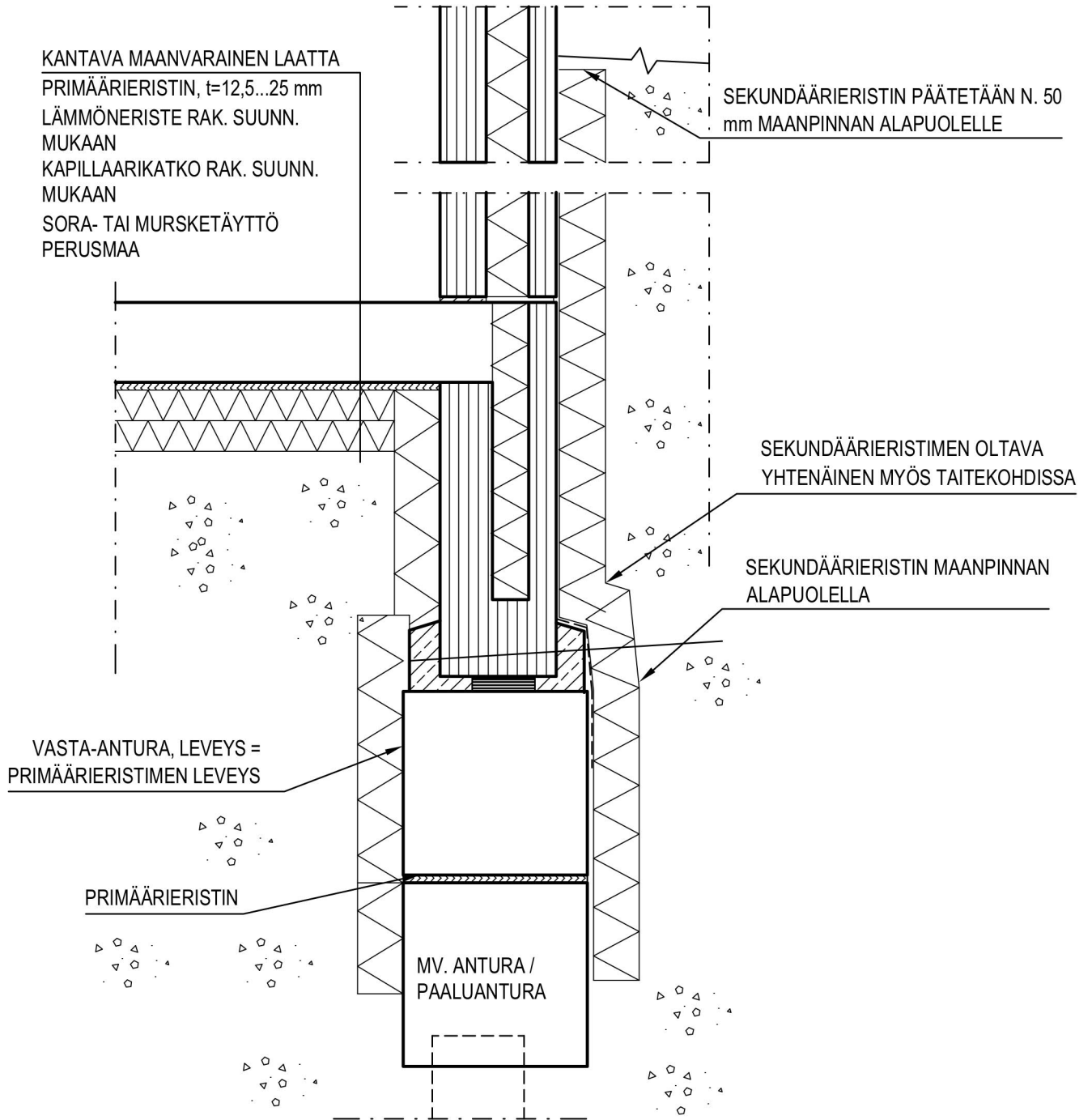
 Ohjearvoon verrannollinen
runkomelutaso L_{prm}

kerros	L_{prm} [dB(A)]
alin kerros	<30
+ 1 krs	<30
+ 2 krs	<30
+ 3 krs	<30
+ 4 krs	<30
+ 5 krs	<30
+ 6 krs	<30
+ 7 krs	<30
+ 8 krs	<30
+ 9 krs	<30
+ 10 krs	<30

Mittaustulokset, runkomelu MP4

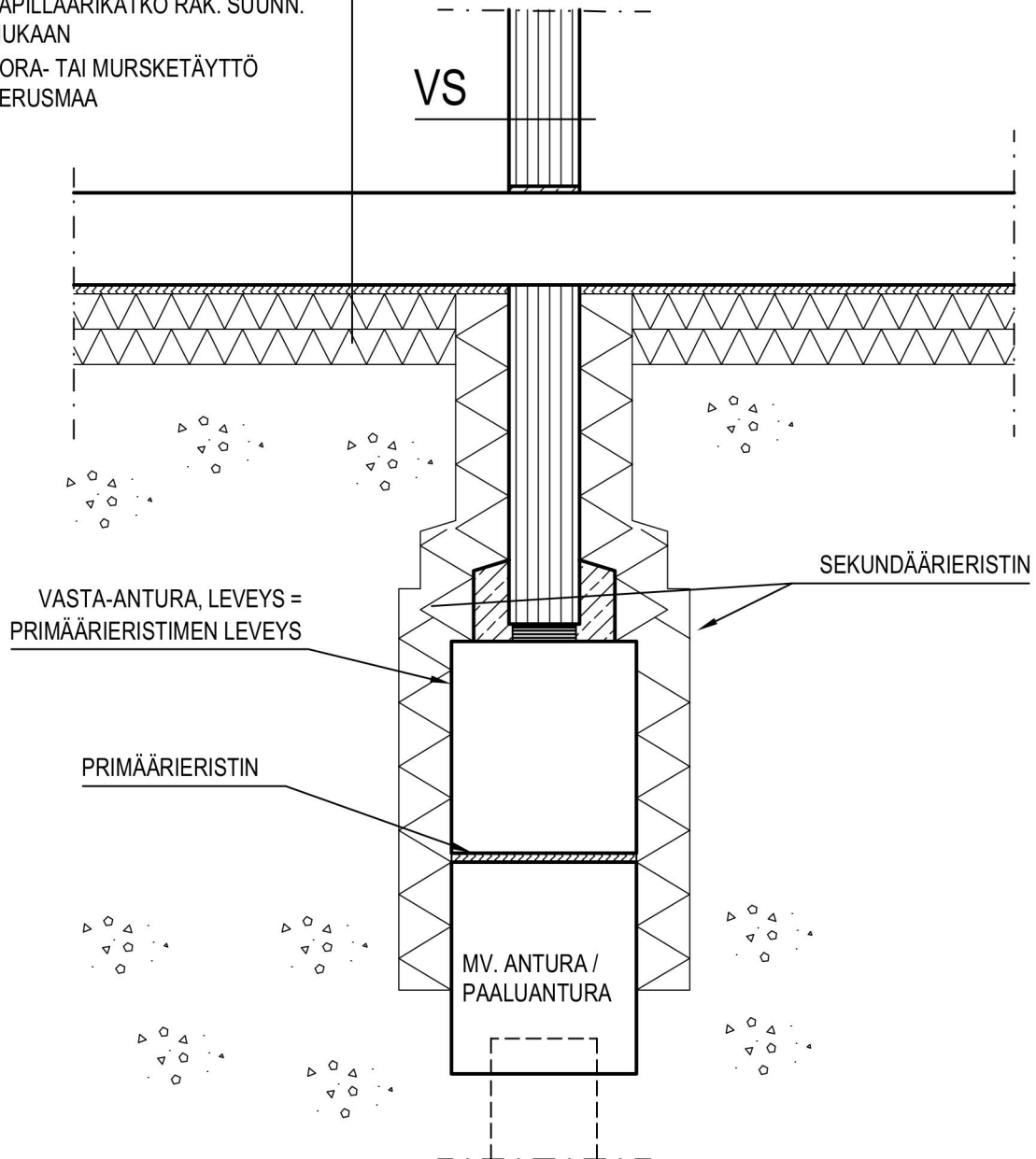
Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 208 m





- PRIMÄÄRI- JA SEKUNDÄÄRIERISTIMET MITOITETAAN TAPAUSKOHTAISESTI KUORMITUKSEN MUKAAN
- MATERIAALIEN TAAJUUSKAISTAISET VAIMENNUSOMINAISUUDET TARKASTETAAN TAPAUSKOHTAISESTI
- PRIMÄÄRIERISTIMET KIINNITETÄÄN ALUSTAAN LIIMALLA, SEKUNDÄÄRIERISTIMET LIIMALLA TAI POLYURETAANIVAHDOLLA. MEKAANISTEN KIINNITTEIDEN KÄYTTÖ ERISTIMIEN KIINNITYKSEEN ON KIELLETTY.
- ARKKITEHTI, RAKENNESUUNNITTELIJA JA AKUSTIIKKASUUNNITTELIJA YHTENSOVITTAVAT RUNKOMELUN ERISTYKSEN, RAKENNETYYPIJÄ JA RAKENNESUUNNITELMAT SUUNNITTELUN EDESSÄ.

KANTAVA MAANVARAINEN LAATTA
PRIMÄÄRIERISTIN, $t=12,5...25$ mm
LÄMMÖNERISTE RAK. SUUNN.
MUKAAN
KAPILLAARIKATKO RAK. SUUNN.
MUKAAN
SORA- TAI MURSKETÄYTTÖ
PERUSMAA



- PRIMÄÄRI- JA SEKUNDÄÄRIERISTIMET MITOITETAAN TAPAUSKOHTAISESTI KUORMITUKSEN MUKAAN
- MATERIAALIEN TAAJUUSKAISTAISET VAIMENNUSOMINAISUUDET TARKASTETAAN TAPAUSKOHTAISESTI
- PRIMÄÄRIERISTIMET KIINNITETÄÄN ALUSTAAN LIIMALLA, SEKUNDÄÄRIERISTIMET LIIMALLA TAI POLYURETAANIVAHDOLLA. MEKAANISTEN KIINNITTEIDEN KÄYTTÖ ERISTIMIEN KIINNITYKSEEN ON KIELLETTY.
- ARKKITEHTI, RAKENNESUUNNITTELIJA JA AKUSTIIKKASUUNNITTELIJA YHTENSOVITTAVAT RUNKOMELUN ERISTYKSEN, RAKENNETYYPIJÄ JA RAKENNESUUNNITELMAT SUUNNITTELUN EDESSÄ.