

# Espoontorin KTYS

Tärinä- ja runkomeluserveys

1619676.2

18.10.2022

## TIIVISTELMÄ

Tässä selvityksessä tutkitaan raideliikenteen aiheuttamia tärinä- ja runkomelutasoja Espoon torin KTYS:n alueella. Lisäksi arvioidaan ajoneuvoliikenteen korotettujen katualueiden tärinä- ja runkomeluvaikutuksia alueen rakennuksissa. Selvitystä varten kohteessa on toteutettu värähtelymittaukset 16.09.2022.

Kohteessa sovellettavat tärinän ja runkomelun tavoitearvot on esitetty kappaleessa 3.1. Väylien liikennetiedot sekä alueen maaperä ja perustamistavat on kuvattu kappaleessa 4. Käytetty mittausten menetelmä perustuu VTT:n ohjeistuksiin ja on kuvattu tarkemmin kappaleessa 5. Mittaustulosten perusteella on suoritettu laskennallinen arvio kohteessa saavutettavista tärinä- ja runkomelutasoista kappaleessa 6 esitettyjen arviointimenetelmien mukaisesti.

Kappaleessa 7 on esitetty tulokset tärinä- ja runkomeluarvioiden osalta. Tulosten perusteella Lindholminkolmion alueella arvioidut rautatieliikenteen aiheuttamat tärinä- ja runkomelutasot ylittävät ohjearvot. Alueen jatkosuunnittelussa ja kaavoituksessa tulisi rakennusten suunnittelu edellyttää toteutettavaksi siten, että tärinän ja runkomelun ohjearvot alitetaan. Tärinän hallinta voidaan toteuttaa Lindholminkolmion alueella rakennusten välipohjien värähtelymitoituksella. Runkomeluntorjunta on mahdollista toteuttaa Lindholminkolmion alueella asentamalla rakennusten perustuksiin runkomelueristimet. Espoon torin KTYS:n ajoneuvoliikenteen väylille suunniteltujen uusien korotettujen katualueiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon ajoneuvoliikenteen aiheuttaman tärinän- ja runkomeluntorjunta. Korotettujen katualueiden tärinää voidaan hallita tiealueiden pohjanvahvistustoimilla ja runkomeluhaittoja voidaan hallita tien ja rakennusten välisten pintamaakerrosten pystysuuntaisella runkomelueristinkatkolla. Espoon keskukseen suunnitellun raitiotielinjauksen laskennallisen tärinä- ja runkomelutarkastelun perusteella raitiotiestä aiheutuu tärinärisä Lindholminkolmion alueelle suunnitelluille rakennuksille sekä Sunantien ja Siltakadun varressa sijaitseville olemassa oleville ja suunnitelluille rakennuksille. Laskennallisen tarkastelun perusteella raitiotien aiheuttamat runkomelutasot ylittävät asuintiloilta edellytetyn runkomelun ohjearvon koko suunnittelualueella. Näin ollen alueen kaavoituksessa ja jatkosuunnittelussa tulee ottaa huomioon raitiotien tärinän- ja runkomeluntorjunta. Koska suunniteltu raitiotie sijoittuu jo olemassa olevien rakennusten läheisyyteen, tärinän- ja runkomeluntorjunta on käytännössä toteuttava raitiotien ratarakenteessa. On suositeltavaa, että alueen kaavoituksessa edellytetään raitiotien ja rakennusten suunnittelu toteutettavaksi siten, että tärinän ja runkomelun tavoitearvot alitetaan rakennuksissa.

Mittaustuloksista lasketut arviot tärinä- ja runkomelutasoista perustuvat mittausajankohdan olosuhteisiin ja liikennöintiin. Mikäli esimerkiksi liikennöivässä kalustossa, teiden/radan kunnossa, tie-/ratarakenteessa, maaperässä tai rakennusten perustamistavassa tapahtuu muutoksia, niiden vaikutukset tärinä- ja runkomelutasoihin tulee tarkistaa.

Espoossa 18.10.2022

A-INSINÖÖRIT SUUNNITTELU OY



Arttu Yli-Pietilä  
projekti-insinööri



Jarno Kokkonen  
suunnittelupäällikkö



Timo Huhtala  
suunnittelujohtaja

# Espoon torin KTYS

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ .....	2
1 JOHDANTO .....	4
1.1 Tilaaja .....	4
1.2 Tekijä .....	4
1.3 Kohde ja selvityksen tarkoitus .....	4
1.4 Käytetyt merkinnät ja lyhenteet .....	4
2 TÄRINÄN JA RUNKOMELUN LEVIÄMINEN MAA- JA KALLIOPERÄSSÄ .....	5
3 TÄRINÄÄ JA RUNKOMELUA KOSKEVAT OHJEARVOT .....	6
3.1 Kohteessa sovellettavat vaatimukset .....	7
4 LÄHTÖTIEDOT .....	7
4.1 Kohde .....	7
4.2 Maaperä ja rakennusten perustamistapa .....	9
4.3 Rata ja liikennöinti .....	10
4.4 Muutokset katuliikenteessä .....	11
5 MITTAUKSET .....	12
5.1 Lindholminkolmio .....	12
5.2 Siltakadun korotettu katualue .....	14
6 ARVIOINTIMENTELMÄT .....	16
6.1 Tärinä .....	16
6.2 Runkomelu .....	16
7 TULOKSET JA PÄÄTELMÄT .....	16
7.1 Rantarata, Lindholminkolmio .....	16
7.1.1 Tärinä .....	16
7.1.2 Runkomelu .....	18
7.2 Korotettu katualue, Siltakatu .....	19
7.2.1 Tärinä .....	19
7.2.2 Runkomelu .....	21
7.3 Raitiotien laskennallinen arviointi .....	22
7.3.1 Tärinä .....	22
7.3.2 Runkomelu .....	24
LIITTEET .....	24
LÄHTEET .....	24

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Tilaaja

Espoon kaupunki  
Kaupunkitekniikan keskus  
Laura Karhumäki  
Tekniikantie 15  
02070 Espoon kaupunki

Helsingin seudun ympäristöpalvelut-kuntayhtymä  
Johannes Jumppanen  
PL 303  
00066 HSY

Kiinteistö Oy Asemakuja 2  
Eino Hankela  
Salomonkatu 17 B  
00100 Helsinki

### 1.2 Tekijä

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

DI Arttu Yli-Pietilä p. 040 575 5668  
[arttu.yli-pietila@ains.fi](mailto:arttu.yli-pietila@ains.fi)

DI Jarno Kokkonen p. 050 410 1713  
[jarno.kokkonen@ains.fi](mailto:jarno.kokkonen@ains.fi)

DI Timo Huhtala p. 040 643 3762  
[timo.huhtala@ains.fi](mailto:timo.huhtala@ains.fi)

### 1.3 Kohde ja selvityksen tarkoitus

Rakennuskohde: Espoon keskus

Tehtävä: Tärinä- ja runkomeluselvitys

Tässä selvityksessä arvioidaan Rantaradan sekä Espoon keskukseen suunnitteilla olevan raitiotien ja ajoneuvoliikenteen korotettujen katualueiden tuottamia tärinä- ja runkomelutasoja Espoon keskuksen kunnallisteknisen yleissuunnittelun alueella. Selvitys perustuu suunnittelualueella 16.9.2022 tehtyihin värähtelymittauksiin. Arviointi perustuu VTT:n ohjeessa *Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa* esitettyyn arviointitasoon 2 [1].

### 1.4 Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

Akustisista mitta- ja tunnusluvuista käytetään taulukon 1.1 mukaisia merkintöjä.

**Taulukko 1.1.** Akustiset mitta- ja tunnusluvut.

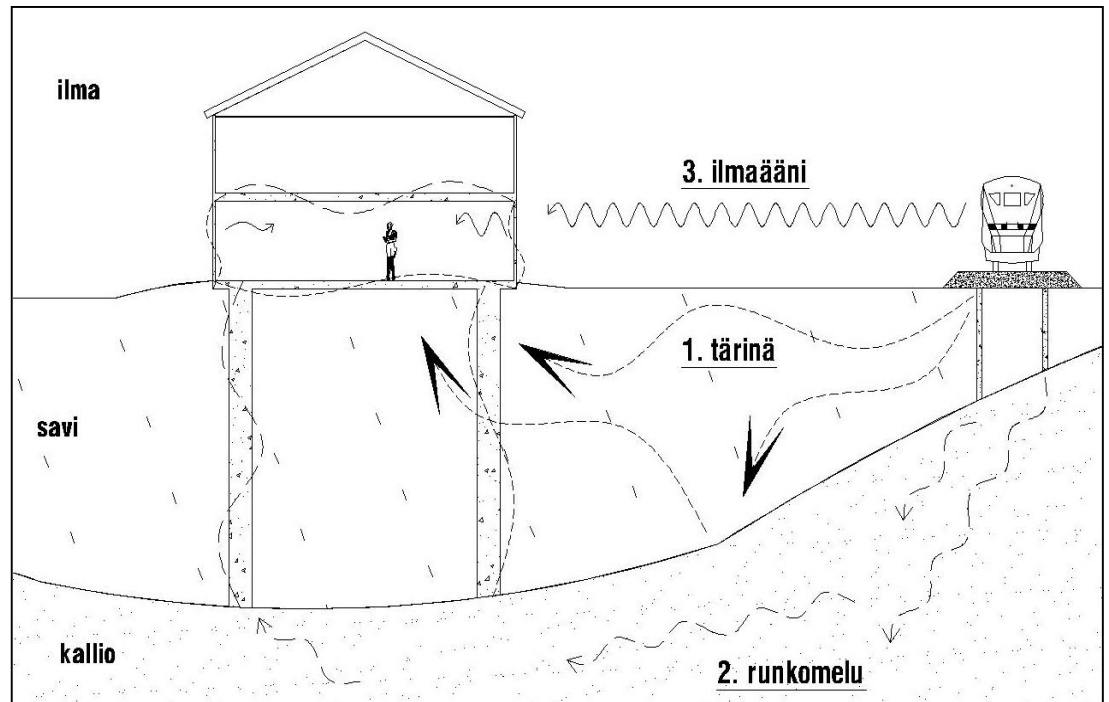
Merkintä	Selitys
$V_{w,95}$	Ohjearvoon verrannollinen värähtelyn tilastollinen enimmäisarvo [mm/s]
$V_{w,RMS, max}$	taajuuspainotetun (ISO 2631-2) värähtelysignaalin tehollisarvon enimmäisarvo [mm/s]
$L_{prm}$	Ohjearvoon verrannollinen runkomelun laskentasuure [dB]
$L_v$	Mitattu maaperän värähtelyn nopeustaso (värähtelytaso) [dB]
$L_{vASmax}$	A-painotetun värähtelyn enimmäistaso [dB]

## 2 TÄRINÄN JA RUNKOMELUN LEVIÄMINEN MAA- JA KALLIOPERÄSSÄ

Raideliikenteen maaperään aiheuttama värähtely ilmenee pehmeiden maalajien alueilla rakenteiden liikkeenä, jonka ihminen aistii tuntoaistinsa välityksellä tärinä (kuva 2.1). Tärinän kannalta ongelmallisimpia ovat yleensä raskaimmat tavarajunat. Kovilla maalajeilla maaperän värähtelysisältö on suurempitaajuisista 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 kaartet, kallistukset sekä epäjatkuvuuskohdat kuten esimerkiksi vaihteet tai tukirakenteen muutokset siltojen ja alikäytävien yhteydessä.



**Kuva 2.1.** Periaatekuva raideliikenteen aiheuttaman tärinän ja runkomelun etenemisestä eri maalajeissa.

### 3 TÄRINÄÄ JA RUNKOMELUA KOSKEVAT OHJEARVOT

Rakennusten ääniympäristöä koskevassa asetuksessa [2] todetaan, että rakennuksen suunnittelussa ja toteutuksessa on otettava huomioon rakennuspaikan melu- ja värinäolosuhteet. Rakennuksen ääniympäristöä koskeva olennainen tekninen vaatimus täyttyy, jos rakennuksen melun- ja värinäntorjunta sekä ääniolosuhteet suunnitellaan ja toteutetaan tilan käyttötarkoitus huomioon ottaen asetuksen mukaisesti.

Asetuksen sovellusohjeessa [3] on annettu asuntojen, majoitus- ja potilashuoneiden osalta värinän  $v_{w,95}$  ohjearvoksi enintään 0,30 mm/s, joka vastaa VTT:n luokituksessa [4] luokkaa C. Rakennusten värinäluokittelun raja-arvot sekä kuvaukset häiritsevyydestä on esitetty taulukossa 3.1. Tunnuksena  $v_{w,95}$  on määritelty tilastollisesti siten, että satunnaisesti ohi ajavan junan aiheuttama värähtely ei ylitä ylärajaa 95 % todennäköisyydellä.

**Taulukko 3.1.** VTT:n värinäluokitus sekä kuvaus olosuhteista [4].

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

Luokka C edustaa vähimmäistasoa, johon tulee pyrkiä uusien rakennusten ja alueiden suunnittelussa. Yksittäiset olemassa olevien väylien varrella sijaitsevat uudisrakennukset tai väylän vähäiset muutokset arvioidaan kuitenkin luokan D mukaan [4]

Runkomelun osalta ääniympäristöasetuksen sovellusohjeessa [3] annetaan ohjearvoksi  $L_{prm}$  maaperäisen runkomelutason osalta 30 dB ja avoradoilla 35 dB. VTT:n vuonna 2009 julkaisemassa esiselvityksessä *Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi* [5] on esitetty taulukon 3.2 mukaiset suositukset runkomelun ohjearvoiksi. Tunnuksena  $L_{prm}$  on määritelty tilastollisesti siten, että 95 % mittaustuloksista alittaa kyseisen arvon.

**Taulukko 3.2.** VTT:n suositukset runkomelutasojen ohjearvoiksi [5].

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"> <li>• potilashuoneet, majoitustilat</li> <li>• päiväkodit, lasten ja henkilökunnan oleskeluun tarkoitettut huoneet</li> </ul>	30/35*

Kokoontumis- ja opetustilat <ul style="list-style-type: none"> <li>• luokkahuoneet, luentosalit, kirkot ja muut huonetilat, joissa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänentoistolaitteiden käyttöä</li> <li>• muut kokoontumistilat kuten teatterit ja kirjastot</li> </ul>	35
Toimistot, kaupat, näyttelytilat, museot	40/45*
* Avoradat. Mikäli asemakaavassa on annettu määräys rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyydestä, on suositeltavaa käyttää runkomelutason vaativampaa raja-arvoa.	

### 3.1 Kohteessa sovellettavat vaatimukset

Tärinän ja runkomelun osalta sovelletaan ääniympäristöasetuksen sovellysohjeen mukaisia ohjearvoja. Tärinän tunnusluku  $V_{w,95}$  saa olla enintään

- 0,30 mm/s (luokka C) asuinhuoneistoissa
- 0,60 mm/s (luokka D) toimistoissa ja liiketiloissa sekä muissa tiloissa, joissa ihmiset ovat liikkeessä

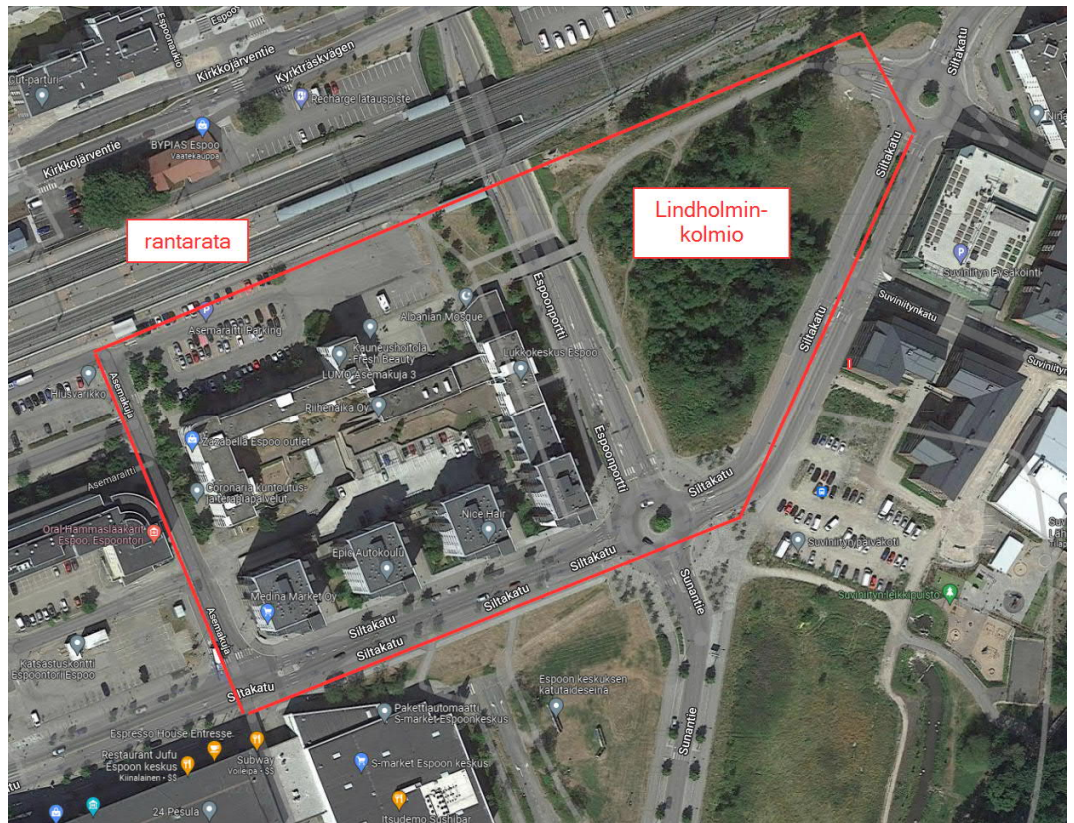
Suunnittelualueen asemakaavassa on esitetty rakennusten julkisivuille ulkovaipan ääneneristävyyksivaatimuksia. Näin ollen runkomelun osalta ohjearvona on tunnusluku  $L_{p,m}$  enintään

- 30 dB asuinhuoneistoissa
- 40 dB liiketiloissa

## 4 LÄHTÖTIEDOT

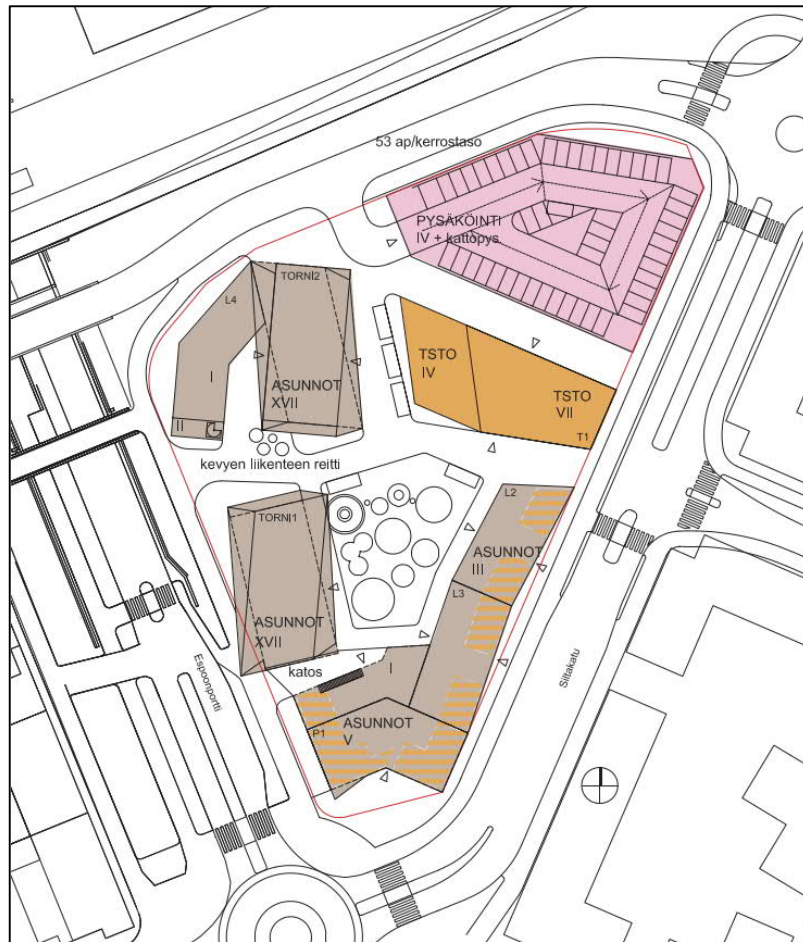
### 4.1 Kohde

Suunnittelualue sijaitsee Espoon keskuksessa rajautuen lännessä Espoontorin liikekeskuksen korttelin itäreunalla Kamreerintiehen ja idässä Lindholminkolmion kortteliin. Kuvassa 4.1 on esitetty tässä tarkastelussa arvioitavien korttelien sijainnit. Lindholminkolmion kortteliin on viimeisimmän suunnitelman (Suviniitty III – Lindholmin kolmio, Espoon keskus, 11.9.2009, Arkkitehtitoimisto Lahdelma & Mahlamäki Oy) mukaan suunnitteilla asuin- ja toimistorakennus sekä pysäköintirakennus. Lindholminkolmion kaavoitus tullaan käynnistämään uudelleen ja alueen kokonaisratkaisu tulee muuttumaan (Espoon kaupunki, sähköpostitse saatu tieto 7.9.2022). Kuvassa 4.2 on esitetty Lindholminkolmion viimeisimmän tiedon mukainen rakennusten massoittelu, jota on käytetty tämän selvityksen lähtötietona.



**Kuva 4.1.** Tarkasteltavan alueen korttelit rajattuna punaisella viivalla Espoonatorin itäpuolella.

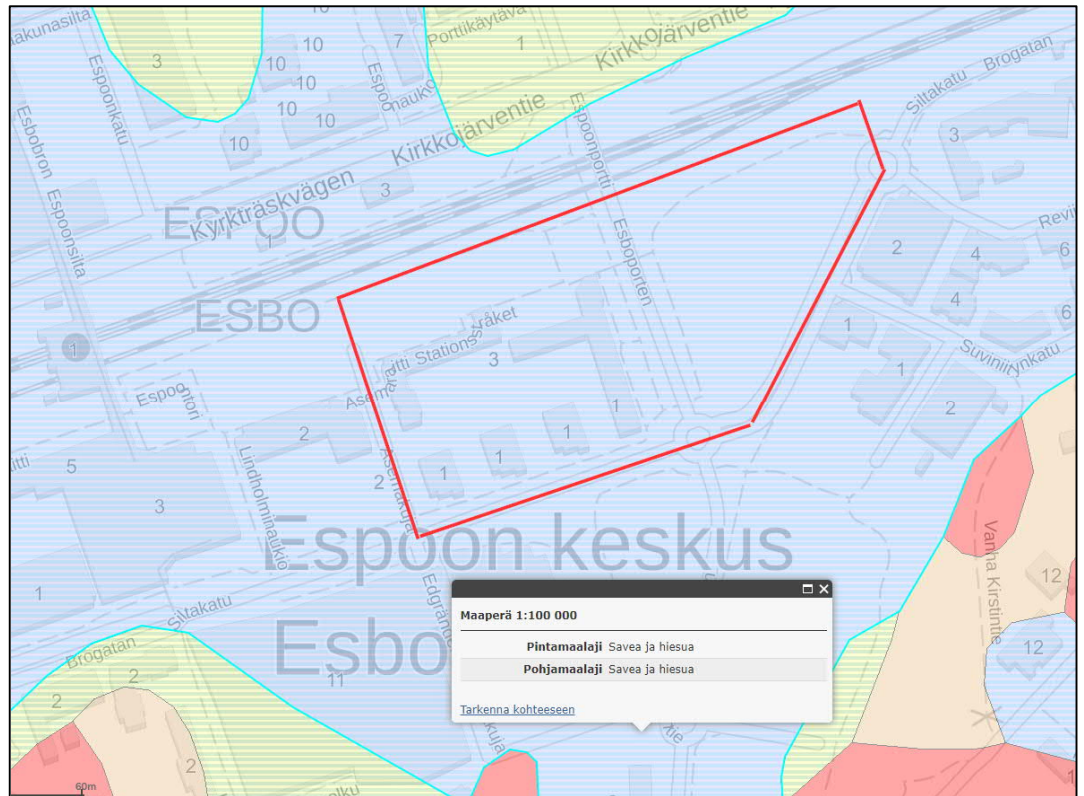




**Kuva 4.2.** Lindolholminkolmion rakennusten alustava massoittelu (Arkkitehtitoimisto Lahdelma & Mahlamäki Oy, 11.9.2009). Alueen kaavoitus on käynnistymässä uudelleen.

## 4.2 Maaperä ja rakennusten perustamistapa

Suunnittelualueen maaperä on pääosin savea ja hiesua gtk:n maankamara-karttapalvelun perusteella. Kuvassa 4.3 on esitetty ote suunnittelualueen maaperäkartasta.



**Kuva 4.3.** Suunnittelualueen maaperäkartta, sininen alue on savea ja hiesua ja vihertävä alue hienoa hiekkaa ja hietaa (<https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>). Tämän selvityksen tarkastelualue on merkitty kuvassa punaisella rajauksella.

### 4.3 Rata ja liikennöinti

Kohteen suunnittelualue sijaitsee Rantaradan eteläpuolella. Rataosuudella liikennöi henkilö- ja tavaraliikenteen sekä lähijunaliikenteen kalustoa. Lindholminkolmion itäreunan kohdalla eteläisemmällä raiteella kulkevat junat ylittävät vaihteen. Nykytilanteessa raiteiden suurin sallittu ajonopeus on 120 km/h (<https://julkisen.vayla.fi/oskari/>).

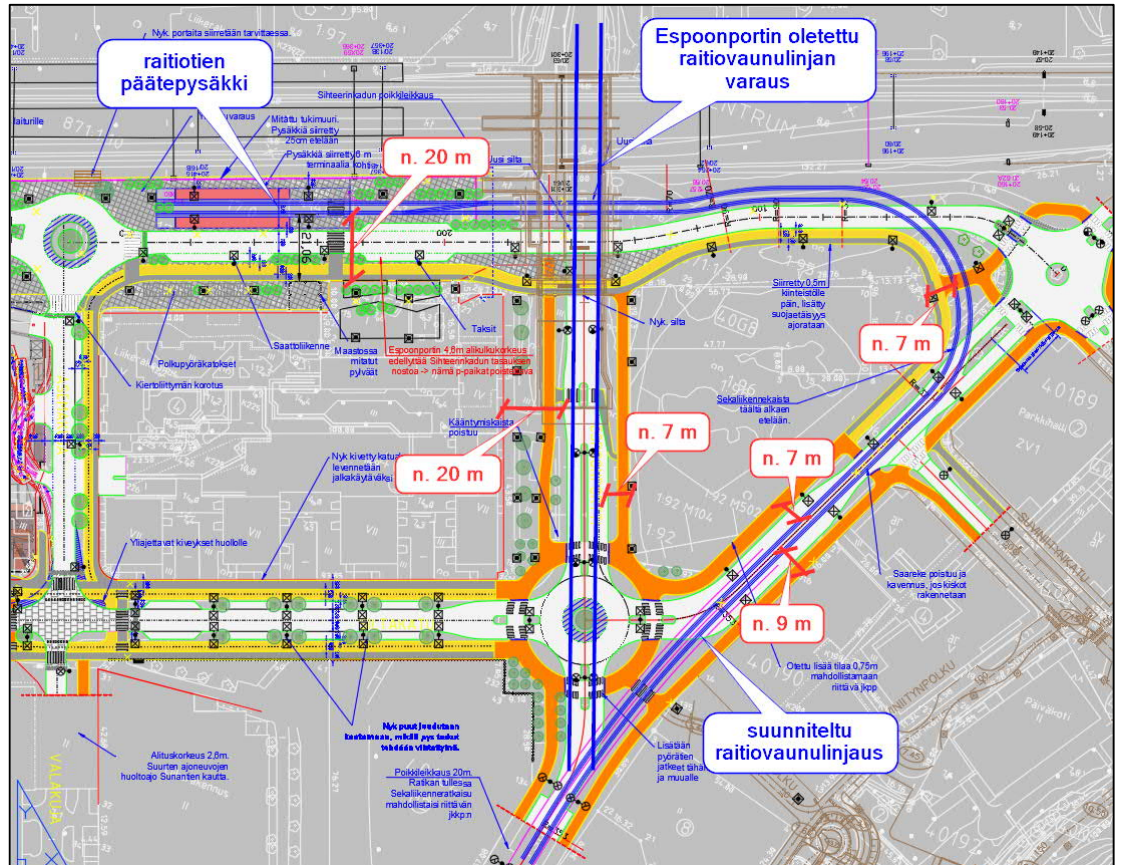
#### Espoon kaupunkiratahanke

Espoon kaupunkiratahankkeen myötä Leppävaara – Kauklahti välin rataosuus on suunniteltu täydennettäväksi 4-raiteiseksi kauttaaltaan. Espoon keskuksen Lindholminkolmion kohdalle on suunnitteilla nykyisen rautatien eteläpuolelle uudet raidelinjaukset. Espoon kaupunkiratahankkeen myötä kaksi eteläisintä raidetta tulevat olemaan tiheän lähijunaliikenteen käytössä ja kaksi pohjoisempaa raidetta tulevat olemaan kaukojunaliikenteen sekä nopeamman lähijunaliikenteen käytössä.

#### Espoon keskuksen raitiotie

Espoon keskuksen itäpuolelle on suunnitteilla raitiotielinjaus Sunantien ja Siltakadun kautta Espoon keskuksen asematoria kohti kiertäen Lindholminkolmion. Raitiotien suunniteltu pääte-pysäkki sijaitsee Asemakujan itäpuolella. Lisäksi raitiotielinjakusen on suunniteltu kulkevan Espoonportin alikulun kautta etelä-pohjoissuunnassa.

Espoon kaupungilta sähköpostitse (17.6.2022) saatujen tietojen mukaan raitiotiellä liikennöivänä kalustona käytetään 34,5 metrin pituista raitiovaunua, jonka ajonopeus on sama kuin katuverkon ajonopeus. Tässä tarkastelussa käytetyn raitiovaunun massana käytetään 80 t, joka vastaa 5-osaisen Artic XL -raitiovaunun massaa täytenä (pikaraitiotie.fi/17-kalusto). Raitiovaunun ajonopeutena on käytetty tässä tarkastelussa Espoon kaupungilta saatuja teiden ajonopeustietoja: 30 km/h Sunantie ja Siltakatu sekä 40 km/h Espoonportti. Kuvassa 4.4 on esitetty Espoon keskuksen raitiotien suunnitellun linjauksen etäisyyksiä olemassa olevista rakennuksista sekä suunnitteilla olevasta Lindholminkolmion alueesta.

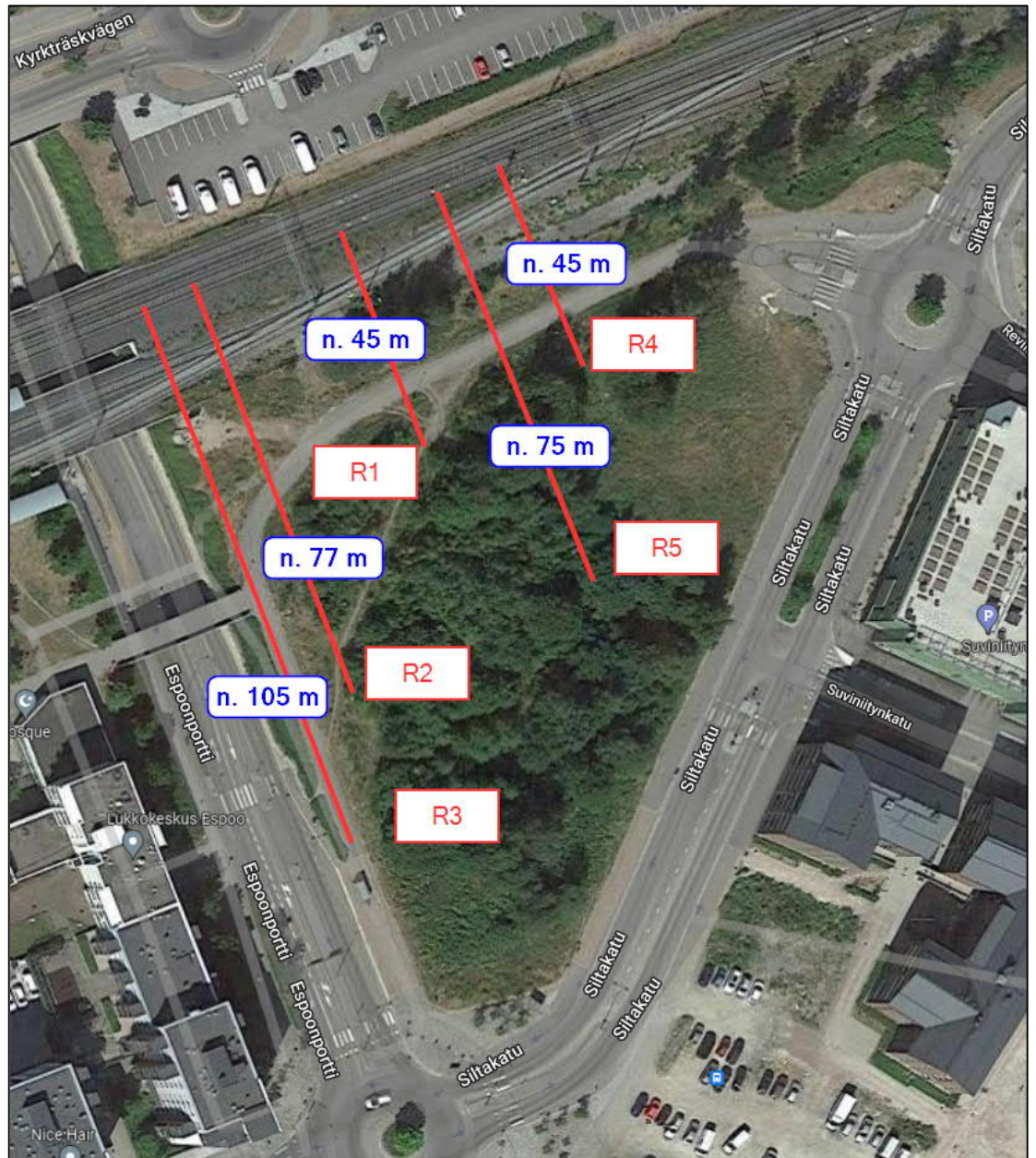


**Kuva 4.4.** Espoon keskuksen raitiotien suunnitellun linjauksen etäisyyksiä olemassa olevista rakennuksista sekä Lindholminkolmion alueesta (Espoonportin KTYS, Kunnallistekniikan yleisuunnitelma, Siltakadun ja terminaalien liikennejärjestelyt, Asemapiirustus, Luonnos 16.08.2022).

#### 4.4 Muutokset katuliikenteessä

Espoon keskukseen on suunnitteilla rantaradan eteläpuolelle linja-autoterminaali, jonka kautta kulkee rautatien suuntaisesti uusi tielinjaus Espoonportin liikekeskuksen pohjoispuolella Kamreerintieltä Lindholminkolmion itäiselle liikenneympyrälle asti. Tällä uudella tielinjauksella tulee liikennemääräennusteiden (Espoonportin KTYS, Melumallinnuksen liikennemäärät 24.8.2022, FLOU) mukaan liikennöimään raskasta liikennettä. Raskasta liikennettä tulee lisäksi liikennöimään ennusteiden mukaan suunnittelualan väylillä: Kamreerintie, Siltakatu, Asemakuja sekä Espoonportti. Asemakaavaluonnoksen perusteella alueelle on suunnitteilla korotettuja katu- ja risteysalueita kuvassa 4.5 esitetyille sijainneille. Lisäksi kuvassa 4.5 on esitetty Siltakadun nykyisen korotetun katualueen sijainti. Korotettujen katualueiden tärinä- ja runkomeluriskejä on arvioitu kappaleessa 7.





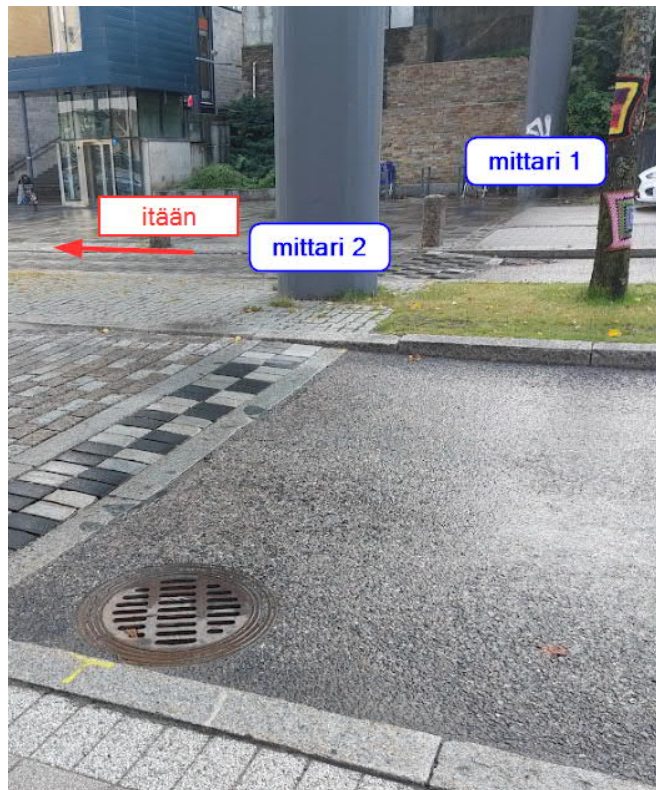
**Kuva 5.1.** Mittauspisteiden sijainnit Lindholminkolmion alueella. Kaikissa mittauspisteissä mitattiin värähtelyä kolmeen suuntaan.



**Kuva 5.2.** Värähtelymittarin asennus maaperään.

## 5.2 Siltakadun korotettu katualue

Siltakadulla mitattiin Espoonsillan alapuolisen korotetun katualueen reunaluiskan ylittävien linja-autojen ja muiden raskaiden ajoneuvojen aiheuttamaa värähtelyä. Värähtelymittarit sijoitettiin siltapilarien juureen itään kulkevan ajoväylän eteläpuolelle (kuva 5.3, mittari 1) sekä Siltakadun ajoväylien väliseen pilariin (kuva 5.3, mittari 2). Värähtelyä mitattiin molemmissa pisteissä pystysuunnassa. Kuvassa 5.3 on esitetty värähtelymittarien sijainnit siltapilarien juuressa sekä kuvassa 5.4 on esitetty kiihtyvyyssanturin asennusperiaate. Värähtelymittauksissa mitattiin 80 linja-auton sekä 15 muun raskaan ajoneuvon (kuorma-auto, jäteauto, rekka) ohiajoa.



**Kuva 5.3.** Värähtelymittarien sijainnit Siltakadun ylikulkevan sillan pilarien juuressa itään kulkevan ajoväylän kivetyn luiskan molemmiin puolin. Kuvan vasemmassa reunassa näkyy myös korotetun katualan kiveystä.



**Kuva 5.4.** Värähtelymittarien asennus pilarin juuressa.

## 6 ARVIOINTIMENNELMÄT

### 6.1 Tärinä

Mitatuille nopeussignaaleille tehtiin taajuuspainotus sekä laskettiin tehollisarvon huippuarvot VTT:n suosituksen mukaisesti [4]. Huippuarvojen osalta valittiin 15 merkitsevintä junan/ajoneuvon ohitusta, joiden perusteella määritettiin tilastolliset tärinän tunnusluvut  $v_{w,95}$ .

Tärinä voi voimistua rakennuksen rungossa ja lattioissa resonanssin seurauksena. Resonanssin toteutuminen edellyttää, että herätetaajuus osuu rakenteen ominaistajuudelle, jolloin rakenne värähtelee voimakkaasti. Edellä kuvattu ilmiö on voimakkaasti taajuudesta riippuvainen. Mitatuista tärinätasosta laskettiin rakennuksissa saavutettavat tärinätasot ottaen huomioon tärinän voimistuminen edettäessä rakennuksen runkoon ja lattioihin. Arviointi tehtiin VTT:n ohjeen *Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi* mukaisesti [7].

Tärinän voimistumista rakennuksen rungossa ja lattioissa arviointiin ns. yleisen voimistumisen sekä resonanssitarkastelun mukaisesti. Resonanssitarkastelu perustuu pahimpaan mahdolliseen tilanteeseen, jolloin rungon tai lattioiden ominaistajuus voimistaa tärinää.

### 6.2 Runkomelu

Mitatuista nopeustasoista laskettiin A-painotetut runkomelutasot VTT:n ohjeen *Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi* mukaisesti [5]. Laskennassa otettiin huomioon resonanssin vaikutus sekä turvamarginaali. Rakennukset oletettiin arvioinnissa kallonvaraisesti perustetuiksi. Turvamarginaalina käytettiin ehdotetun 6 dB sijaan 3 dB, koska mittaustulokseen sisältyy jo suuri osa laskentamenetelmän muuttujista. 15 merkitsevimmän junan/ajoneuvon ohituksen osalta laskettiin runkomelun tilastollinen tunnusluku  $L_{prm}$ .

## 7 TULOKSET JA PÄÄTELMÄT

### 7.1 Rantarata, Lindholminkolmio

#### 7.1.1 Tärinä

##### Tulokset

Mittaustulosten perusteella määritetyt tärinän tunnusluvut  $v_{w,95}$  maaperässä on esitetty taulukossa 7.1. Liitteessä 1 on esitetty 15 merkitsevimmän junan ohiajon mitatut tärinätasot vaakasuunnissa (x ja y) sekä pystysuunnassa (z) terssikaistoittain maaperässä ( $v_{w,95}$ ) sekä arvioiduna rakennuksen perustuksessa ( $v_{w,95}^{per}$ ). Lisäksi liitteessä 1 on esitetty rakennuksen rungossa arvioidut tärinätasot yleisen voimistumisen ( $v_{w1}$ ) ja resonanssitarkastelun ( $v_{w2}$ ) perusteella.



**Taulukko 7.1.** Tärinän tunnusluvut maaperässä mittauspisteittäin.

Mittauspiste	Tärinän tunnusluku maaperässä $v_{w,95}$ [mm/s]		
	Radansuuntaisesti	Rataa vasten kohtisuoraan	Pystysuuntaan
R1	0,03	0,02	0,03
R2	0,02	0,02	0,03
R3	0,01	0,01	0,02
R4	0,10	0,12	0,14
R5	0,08	0,05	0,08

Rakennuksessa yleisen voimistumisen perusteella arvioidut tärinätunnusluvut on esitetty taulukossa 7.2.

**Taulukko 7.2.** Tärinän tunnusluvut rakennuksessa mittauspisteittäin ottaen huomioon värähtelyn yleinen voimistuminen rungossa.

Mittauspiste	Tärinän tunnusluku rakennuksessa, yleinen voimistuminen		
	$v_{w,runko}$ [mm/s]		$v_{w,lattia}$ [mm/s]
	Radansuuntaisesti	Rataa vasten kohtisuoraan	Pystysuuntaan
R1	0,04	0,03	0,05
R2	0,02	0,03	0,05
R3	0,02	0,02	0,02
R4	0,12	0,15	0,19
R5	0,12	0,06	0,12

Rakennuksessa rungon resonanssitarkastelun perusteella arvioidut tärinän tunnusluvut on esitetty taulukossa 7.3.

**Taulukko 7.3.** Tärinän tunnusluvut rakennuksessa mittauspisteittäin ottaen huomioon värähtelyn voimistuminen rungon resonanssin seurauksena.

Mittauspiste	Tärinän tunnusluku rakennuksessa, rungon resonanssi		
	$v_{w,runko}$ [mm/s]		$v_{w,lattia}$ [mm/s]
	Radansuuntaisesti	Rataa vasten kohtisuoraan	Pystysuuntaan
R1	0,10	0,06	0,15
R2	0,05	0,06	0,15
R3	0,03	0,03	0,06
R4	0,16	0,22	0,55 (8 Hz)
R5	0,23	0,12	0,34 (6,3 Hz)

Mittauspisteissä R1, R2 ja R3 tärinätasot täyttävät luvussa 3.1 esitetyn asuinhuoneistojen tärinän tunnusluvun ohjearvon  $v_{w,95} \leq 0,30$  mm/s (luokka C). Mittauspisteissä R4 ja R5 rakennusrungon resonanssitarkastelun mukaan arvioidut pystysuuntaiset tärinätasot ylittävät asuintilojen vaatimusarvon. Mittauspisteissä R4 ja R5 mitatut suuremmat tärinätasot ovat todennäköisesti seurausta niiden itäpuolella sijaitsevasta eteläisemmän raiteen vaihteesta.

Viidentoista tärinätasojen suhteen merkitsevimmän junan ohiajonopeudet vaihtelivat mittauspisteissä R4 ja R5 välillä 56... 85 km/h. Nykytilanteessa raiteiden suurin ajonopeus on 120 km/h (<https://julkinen.vayla.fi/oskari/>), joten mikäli junat liikennöisivät suurimmalla sallitulla nopeudella, olisivat tärinätasot todennäköisesti vielä tässä tarkastelussa arvioituja suurempia.

Espon kaupunkiratahankkeen suunnitelmien myötä raideliikenne tulisi sijoittumaan lähemmäs Lidholminkolmion aluetta tulevaisuudessa. Myös raideliikenteen suurimmat sallitut ajonopeudet kasvavat kaupunkiratahankkeen ennustetilanteessa. Lisäksi Espon kaupunkiratahankkeen suunnitelmien mukaan Lindholminkolmion kohdalle on raiteille suunniteltu uusia vaihteita, jotka sijoittuisivat lähemmäs tarkasteltavaa aluetta. Näin ollen Espon kaupunkiratahankkeen seurauksena tärinätaidot tulisivat todennäköisesti olemaan suurempia tarkasteltavalla alueella.

### Suosituksat kaavavaatimukseksi

Koska mitattujen tärinätaidotjen perusteella rakennuksissa arvioidut tärinätaidot ylittävät asuintilojen tärinän tunnusluvun ohjearvon, on kohteen kaavoituksessa ja jatkosuunnittelussa otettava huomioon tärinätorjunta. Rakennuksissa tärinän hallinta voidaan toteuttaa esimerkiksi mitoittamalla välipohjien alin ominaistajuus siten, ettei se osu merkittävälle taajuusalueelle (taulukko 7.3). On suositeltavaa, että alueen kaavoituksessa edellytetään, että rakennusten jatkosuunnittelussa ja toteutuksessa tulee ottaa huomioon, että luvussa 3.1 esitetyt tärinän ohjearvot alitetaan.

## 7.1.2 Runkomelu

Taulukossa 7.4 on esitetty mitattu värähtelytaidot sekä tulosten perusteella arvioitu runkomelun tilastollinen tunnusluku rakennuksen alimmissa kerroksissa. Liitteessä 1 on esitetty 15 merkittävimmän junan ohituksen ajalta mitattut värähtelytaidot.

**Taulukko 7.4.** Mitattut värähtelytaidot  $L_{v,rm}$  sekä arvioidut runkomelun tunnusluvut  $L_{prm}$  mittauspisteittäin rakennuksen alimmissa kerroksissa.

Mittauspiste	Mittaussuunta	Mitattu värähtelytaidot $L_{v,rm}$ [dB(A)]	Runkomelun tilastollinen tunnusluku $L_{prm}$ [dB(A)] Alin kerros
R1	radansuuntaisesti	21	36
	rataa vasten kohtisuoraan	21	36
	pystysuuntaan	29	44
R2	radansuuntaisesti	18	33
	rataa vasten kohtisuoraan	17	32
	pystysuuntaan	20	35
R3	radansuuntaisesti	17	32
	rataa vasten kohtisuoraan	16	31
	pystysuuntaan	21	36
R4	radansuuntaisesti	28	43
	rataa vasten kohtisuoraan	29	44
	pystysuuntaan	30	45
R5	radansuuntaisesti	21	36
	rataa vasten kohtisuoraan	18	33
	pystysuuntaan	26	41

Mittaustulosten perusteella arvioidut runkomelutasot ylittävät kaikissa mittauspisteissä luvussa 3.1 esitetyn asuintilojen runkomelun tunnusluvun ohjearvon  $L_{pm} \leq 30$  dB. Runkomelun osalta merkitsevimpien junien ohiajonopeedet vaihtelivat välillä 63...85 km/h. Nykytilanteessa raiteiden suurin ajonopeus on 120 km/h (<https://julkinen.vayla.fi/oskari/>), joten mikäli junat liikennöisivät suurimmalla sallitulla nopeudella, olisivat runkomelutasot todennäköisesti vielä tässä tarkastelussa arvioituja suurempia.

Espoon kaupunkiratahankkeen suunnitelmien myötä raideliikenne tulisi sijoittumaan lähemmäs Lidholminkolmion aluetta tulevaisuudessa. Myös raideliikenteen suurimmat sallitut ajonopeudet kasvavat kaupunkiratahankkeen ennustetilanteessa. Lisäksi Espoon kaupunkiratahankkeen suunnitelmien mukaan Lindholminkolmion kohdalle on raiteille suunniteltu uusia vaihteita, jotka sijoittuvat lähemmäs tarkasteltavaa aluetta. Näin ollen Espoon kaupunkiratahankkeen seurauksena runkomelutasot tulisivat todennäköisesti olemaan suurempia tarkasteltavalla alueella.

### Suosituksset kaavavaatimukseksi

Koska mittaustulosten perusteella arvioidut runkomelutasot ylittivät runkomelun ohjearvon, tulee kohteen kaavoituksessa ja jatkosuunnittelussa ottaa huomioon runkomeluntorjunta. Rakennusten runkomeluntorjunta on mahdollista toteuttaa esimerkiksi perustusrakenteeseen suunnitelluilla eristinmatoilla. On suositeltavaa, että alueen kaavoituksessa edellytetään, että rakennusten jatkosuunnittelussa ja toteutuksessa tulee ottaa huomioon, että luvussa 3.1 esitetty runkomelun ohjearvot alitetaan.

## 7.2 Korotettu katualue, Siltakatu

### 7.2.1 Tärinä

Taulukossa 7.5 on esitetty mittaustulosten perusteella määritetyt tärinän tunnusluvut siltapilareissa. Rakennuksessa yleisen voimistumisen perusteella arvioidut tärinän tunnusluvut on esitetty taulukossa 7.6. Rakennusrungon resonanssitarkastelun perusteella määritetyt tärinän tunnusluvut on esitetty taulukossa 7.7. Liitteessä 2 on esitetty 15 merkitsevimmän ajoneuvon ohiajon aiheuttamat tärinätasot taajuuskaistoittain.

**Taulukko 7.5.** Tärinän tunnusluvut siltapilareiden juuressa mittauspisteittäin.

Mittauspiste	Tärinän tunnusluku $v_{w,95}$ [mm/s] pystysuunta
reunapilari (etelä)	0,01
keskipilari (ajoväylien keskellä)	0,12

**Taulukko 7.6.** Tärinän tunnusluvut rakennuksessa mittauspisteittäin ottaen huomioon värähtelyn yleinen voimistuminen rungossa.

Mittauspiste	Tärinän tunnusluku $v_{w,lattia}$ [mm/s] pystysuunta
reunapilari (etelä)	0,02
keskipilari (ajoväylien keskellä)	0,19

**Taulukko 7.7.** Tärinän tunnusluvut rakennuksessa mittauspisteittäin ottaen huomioon värähtelyn voimistuminen rungon resonanssin seurauksena.

Mittauspiste	Tärinän tunnusluku $v_{w,lattia}$ [mm/s] pystysuunta
reunapilari (etelä)	0,07
keskipilari (ajoväylien keskellä)	0,59 (10 Hz)

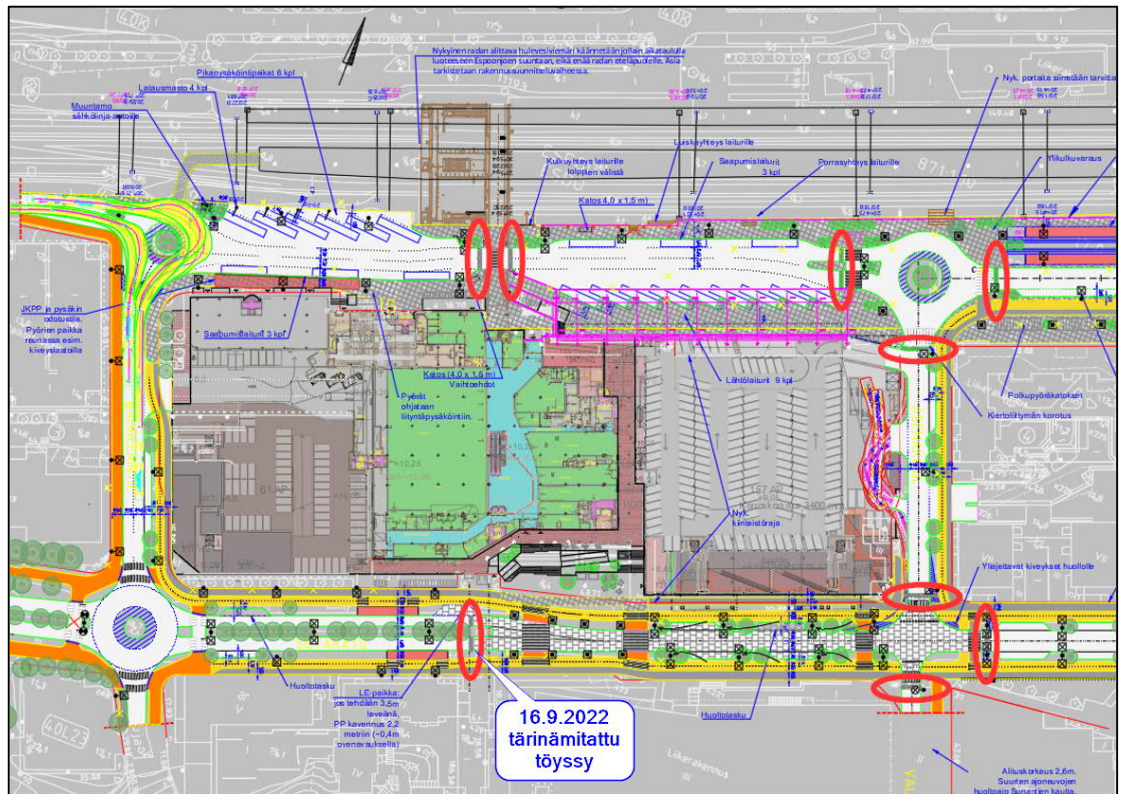
Mittaustulosten perusteella siltapilareissa arvioidut korotetun katualueen reunaluiskan ylittävien linja-autojen sekä muun raskaan liikenteen aiheuttamat tärinätasot täyttävät asuintiloilta vaaditun tärinän ohjearvon ( $v_{w,95} \leq 0,30$  mm/s, luokka C). Rakennusrungon tärinää voimistavan resonanssin tapauksessa asuintiloilta vaadittu tärinäluokka ylitetään ajoväylien keskellä olevassa pilarissa (etäisyys ajoväylän reunasta n. 1,5 m). Ajoväylän eteläpuoleisessa siltapilarissa (etäisyys ajoväylän reunasta n. 11 m) arvioidut tärinätasot alittavat asuintilojen vaatimusarvon myös rakennusrungon resonanssitarkastelussa. Siltakadulla mitatun korotetulle katualueen johtavan luiskan itäpuolella liikenneväylä on pintamateriaaliltaan kiveystä. Mitatut värähtelytasot pitävät sisällään sekä korotetun katualueen reunaluiskan ylittävien ajoneuvojen aiheuttaman värähtelyn, että luiskan jälkeisellä kivettyllä kadulla ajavan liikenteen aiheuttaman värähtelyn.

Asemapiirrosluonnoksen mukaan suunnitelluista korotetuista risteysalueista lähin sijaitsee n. 5 metrin etäisyydellä asuinrakennuksesta Asemakujan ja Siltakadun risteyksessä. Tieliikenteen tärinän laskentamallin [1] mukaan laskennallisesti mittaustuloksia korjaamalla 5 m etäisyydelle saadaan tärinätasoksi korotettua katualuetta lähimmässä suunnitellussa rakennuksessa n. 0,17 mm/s, joka alittaa asuintilojen tärinäluokan C ohjearvon ( $v_{w,95} \leq 0,30$  mm/s). Mitattujen ajoneuvojen ajonopeudet olivat hitaita erityisesti itään päin suuntautuvan linja-autoliikenteen osalta, koska linja-autot pysähtyivät itään päin kuljettaessa pysäkillä juuri ennen korotetun katualueen luiskaa. Näin ollen suunniteltujen uusien korotettujen risteysalueiden liikennöinnin tärinätasot voivat olla mitattuja tasoja suurempia, mikäli ajonopeus on niiden liikennöinnissä suurempi. Mitatun korotetun risteysalueen luiskan kohdalta ei ollut käytettävissä tarkkaa pohjatutkimustietoa tätä selvitystä laadittaessa. Mitattu Siltakadun korotetun katualueen reunaluiska sijaitsee GTK:n maankamara palvelun perusteella maalajien muutoskohdassa. Asemapiirrosluonnoksen mukaiset suunnitellut korotetut katualueet sijaitsevat mahdollisesti pehmeämpien maalajien alueella, jolloin tärinätasot voivat olla niissä suurempia kuin tässä selvityksessä mittaustulosten perusteella arvioidut.

**Suosituksat jatkosuunnitteluun**

Alueen jatkosuunnittelussa tulee ottaa huomioon korotettujen katualueiden liikenteen tärinävaikutukset ja alueen kaavoituksessa tulee edellyttää katualueet suunniteltaviksi siten, että tärinän vaatimukset alitetaan rakennuksissa. Teiden pohjanvahvistustoimilla voidaan esimerkiksi hallita muodostuvia liikennetärinätasoja. Teiden pintarakenteena nupukivi on havaittu tärinävaikutusten suhteen haastavaksi, joten niiden käyttöä tulisi välttää. Lisäksi suunnittelualueen liikenneväylillä tulisi välttää kaivon kansien sijoittamista rengasväylien kohdalle. Myös muiden mahdollisten väylärakenteiden epäjatkuvuuskohtien aiheuttama tärinä tulisi hallita siirtymärakenteilla.

Kuvassa 7.1 on esitetty asemapiirrosluonnoksen mukaiset korotettujen katualueiden sijainnit sekä 16.9.2022 tärinämitatun luiskan sijainti Siltakadulla.



**Kuva 7.1.** Suunniteltujen hidasteluiskien sijainnit (Espoontorin KTYS, Kunnalistekniikan yleisuunnitelma, Siltakadun ja terminaalien liikennejärjestelyt, Asemapiirustus, Luonnos 16.08.2022).

**7.2.2 Runkomelu**

Taulukossa 7.8 on esitetty mitattu värähtelytaso sekä tulosten perusteella arvioitu runkomelun tilastollinen tunnusluku rakennuksen alimmassa kerroksessa. Liitteessä 2 on esitetty 15 merkittävimmän ajoneuvon ohituksen ajalta mitatut värähtelytasot.

**Taulukko 7.8.** Mitatut värähtelytasot  $L_{v,rm}$  sekä arvioidut runkomelun tunnusluvut  $L_{prm}$  mittauspisteittäin rakennuksen alimmassa kerroksessa.

Mittauspiste	Mittaussuunta	Mitattu värähtelytaso $L_{v,rm}$ [dB(A)]	Runkomelun tilastollinen tunnusluku $L_{prm}$ [dB(A)] Alin kerros
reunapilari (etelä)	pystysuuntaan	25	40
keskipilari (ajoväyliä keskellä)	pystysuuntaan	38	53

Mittaustulosten perusteella runkomelutasot ylittävät kummassakin mittauspisteessä luvussa 3.1 esitetyn asuintilojen runkomelun ohjearvon  $L_{prm} \leq 30$  dB. Ajoväylästä kauempana mitatussa siltapilarissa (mittauspiste 1) värähtelyn hallitseva taajuusisältö painottuu poikkeuksellisen suurille runkomelun taajuuksille (yli 300 Hz). Mitattu suuri taajuusisältö on tyypillisesti seurausta maanpintakerrosten kytkeytymisestä tien ja rakennuksen välillä. Värähtelyn siirtyessä maasta rakennukseen sekä rakennuksen kerroksissa ylöspäin runkomelun suuret taajuudet vaimenevat tavallisesti enemmän.

### Suosituksat jatkosuunnitteluun ja kaavavaatimuksiin

Alueen jatkosuunnittelussa tulee ottaa huomioon korotettujen katualueiden aikaansaamat runkomeluriskit. Ajoneuvoliikenteen aiheuttamaa runkomeluriskiä voidaan hallita maanpintakerrosten pystysuuntaisella katkaisulla tarkoitukseen soveltuvalla eristyskerroksella korotettujen katualueiden ja rakennusten välillä. Myös korotettujen katualueiden läheisyyteen sijoittuvien rakennusten maanalaisille osille voidaan asentaa runkomelun pystyeristimet. Katualueiden pohjanvahvistuksien suunnittelussa suositellaan pyrkiä minimoimaan tärinähaitat.

## 7.3 Raitiotien laskennallinen arviointi

Espoon keskukseen suunnitteilla olevan raitiotien aikaansaamia tärinä- ja runkomelutasoja arvioitiin VTT suositusten [1, 5] laskentamallien mukaisesti.

### 7.3.1 Tärinä

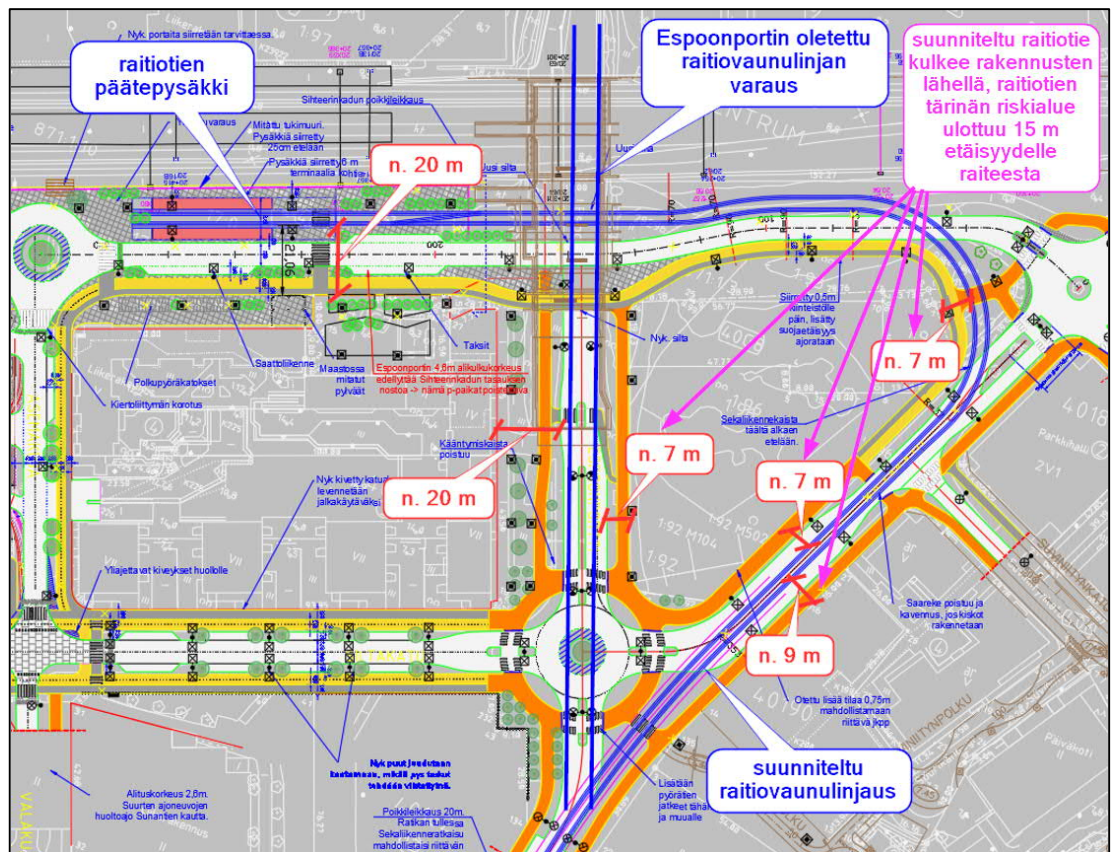
#### Tulokset

Espoonportin länsipuolella olemassa olevat rakennukset sijaitsevat n. 20 metrin etäisyydellä asemapiirrosluonnoksen mukaisen ajoväylän reunasta (kuva 4.4). Tärinän laskentamallin mukaan 80 tonnin painoinen raitiovaunu aiheuttaa 20 metrin etäisyydelle 40 km/h ajonopeudella n.  $v_w = 0,03$  mm/s tärinätason maaperässä tärinäherkkien maalajien tapauksessa. Näin ollen laskennallinen tärinätaso jää Espoonportin itäpuolen rakennuksissa niin alhaiseksi, että myös mahdollisen rakennusrungon tärinää voimistavan resonanssin tapauksessa tärinäluokan C ohjearvo ( $v_w \leq 0,30$  mm/s) alitetaan. Vastaavasti rantaradan eteläpuolelle ja Asemakujan itäpuolelle sijoittuva raitiotien päätepysäkki sijaitsee n. 20 m etäisyydellä olemassa olevista rakennuksista asemapiirrosluonnoksen perusteella. Näin ollen raitiotiestä ei laskennallisesti arvioiduna aiheudu tärinän suhteen riskiä raitiotien päätepysäkin eteläpuolen rakennuksille.

Asemapiirrosluonnoksen mukaan raitiotie sijaitsee n. 9 metrin etäisyydellä Siltakadun itäpuolisista olemassa olevista rakennuksista (kuva 4.4). Lindholminkolmion suunnitellusta rakennusalueesta raitiotie sijaitsee n. 7 metrin etäisyydellä. Tärinän laskentamallia ei ole määritely alle 15 metrin etäisyyksillä, joten tärinätasojen laskennallinen arviointi on epätarkkaa lyhyillä etäisyyksillä. Näin ollen suunnitteilla olevan raitiotien Sunantien ja Siltakadun kautta kulkevan ja Lindholminkolmion kiertävän osuuden sekä Espoonportin kautta kulkevan Lindholminkolmion itäreunaan sivuavan rataosuuden (kuva 7.4) aiheuttamia tärinävaikutuksia tulee selvittää alueen jatkosuunnittelussa tarkemmin. Raitiotien aiheuttamaa tärinää voidaan hallita mm. radan pohjanvahvistustoimilla kuten paalulaattaperustuksella.

**Suosituksat kaavavaatimukseksi**

Mahdollisesti tarvittava tärinätorjunta on kustannustehokasta hoitaa radanrakentamisen yhteydessä. Onkin suositeltavaa, että kohteen tulevassa kaavassa edellytetään raitiotiesuunniteltavaksi siten, että raideliikenteen aiheuttamat tärinätasot alittavat tärinän ohjearvon ( $v_w \leq 0,30$  mm/s).



**Kuva 7.2.** Raitiotien tärinän riskialueet.

### 7.3.2 Runkomelu

#### Tulokset

Runkomelun laskentamallin mukaan 40 km/h ajonopeudella liikennöivän raitiovaunun aiheuttama runkomelutaso täyttää rakennuksen alimmassa kerroksessa asuintilojen runkomelun ohjearvon ( $L_{p_{rm}} \leq 30$  dB) n. 155 metrin etäisyydellä raitiotiestä, kun tarkastellun raitiotien ja rakennuksen oletetaan kytkeytyvän jäykästi kallioon. Jäykkä kalliokytkös muodostuu esimerkiksi tilanteessa, jossa raitiotie on perustettu paalulaatan varaan ja lisäksi tarkasteltava rakennus on perustettu paaluille. Kokemuseräisesti runkomelun laskentamallin tulos on jäykän kalliokytköksen tapauksessa yliarvio todellisista runkomelutasoista. Kuitenkin Espoon keskuksen raitiotien sijoituksessa lähelle (kuva 7.2) nykyistä sekä suunnitteilla olevaa rakennuskantaa, on todennäköistä, että ilman runkomeluneristystä runkomelun vaatimuserot ylittyvät rakennuksessa.

#### Suositukset kaavavaatimukseksi

Alueen kaavoituksessa sekä jatkosuunnittelussa raitiotien runkomeluntorjunta tulee ottaa huomioon. Koska suunniteltu raitiotie sijoittuu jo olemassa olevien rakennusten läheisyyteen, tulee runkomeluntorjunta toteuttaa raitiotien ratarakenteessa. Alueen kaavoituksessa tulisi edellyttää raitiotien ja rakennusten suunnittelua toteutettavaksi siten, että runkomelun tavoitearvot alitetaan olemassa olevien ja tulevien rakennuksien osalta.

## LIITTEET

1. Lindholminkolmio, Mittaustulokset (15 s.)
2. Siitakadun korotetun katualueen luiska, Mittaustulokset (2 s.)

## LÄHTEET

1. Törnqvist, J. ja Talja, A. 2006. Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa. Espoo, VTT Working papers 50.
2. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen äänympäristöstä, nro 796/2017.
3. Ympäristöministeriön ohje rakennuksen äänympäristöstä. 2018. Helsinki, ympäristöministeriö.
4. Talja, A. 2004. Suositus liikennetärinän mittaamista ja luokituksesta. Espoo, VTT Tiedotteita 2278.
5. Talja, A. ja Saarinen, A. 2009. Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi. Esiselvitys. Espoo, VTT Tiedotteita 2468.
6. Huhtala, T. 2006. Mittausjakson pituuden vaikutus maaperästä mitatun raideliikenteen värähtelyn asuntoihin aiheuttaman haitan arvioinnissa. Teknillinen korkeakoulu, Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto.
7. Talja, A., Vepsä, A., Kurkela, J. ja Halonen, M. 2008. Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi. Espoo, VTT tiedotteita 2425.



**Liite 1: Lindholminkolmio, Mittaustulokset**

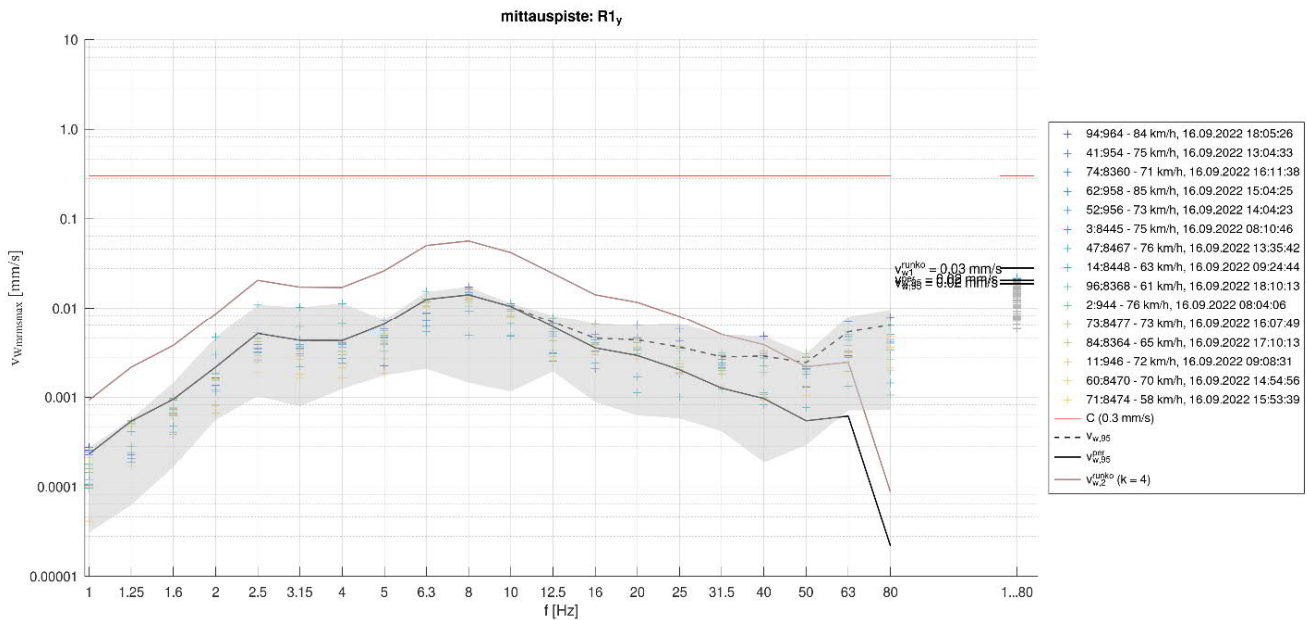
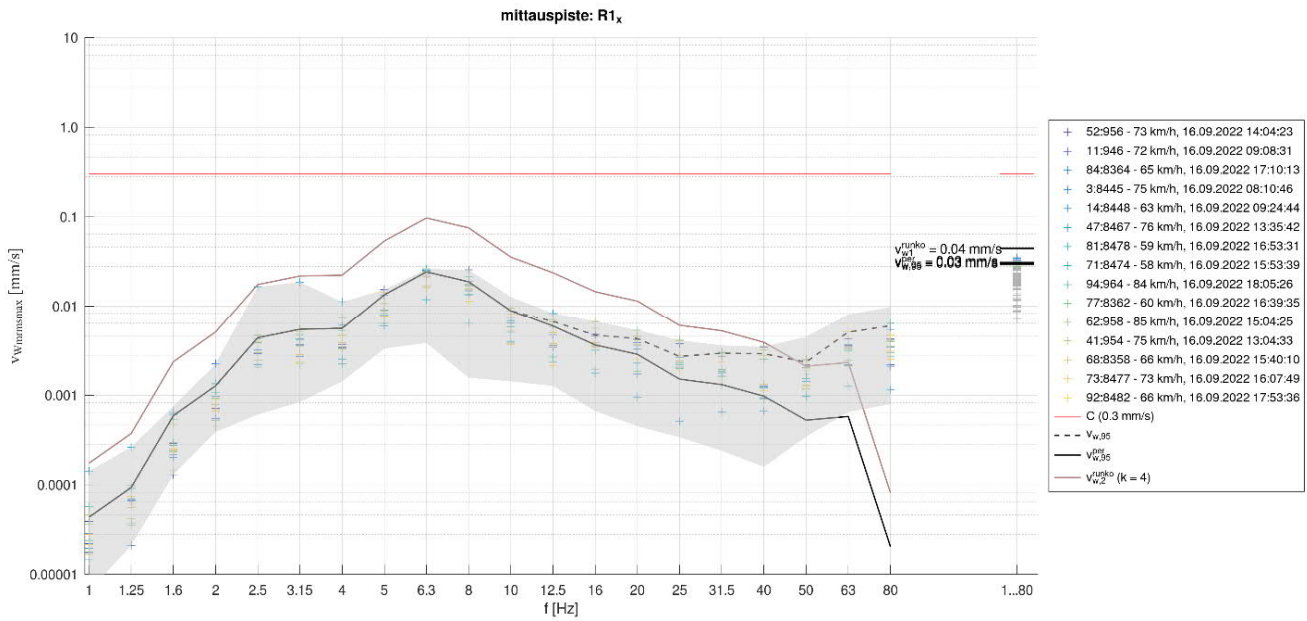
x = radansuuntaisesti

y = rataa vasten kohtisuoraan

z = pystysuuntaan

# 1 Mittauspiste R1

## 1.1 Tärinä

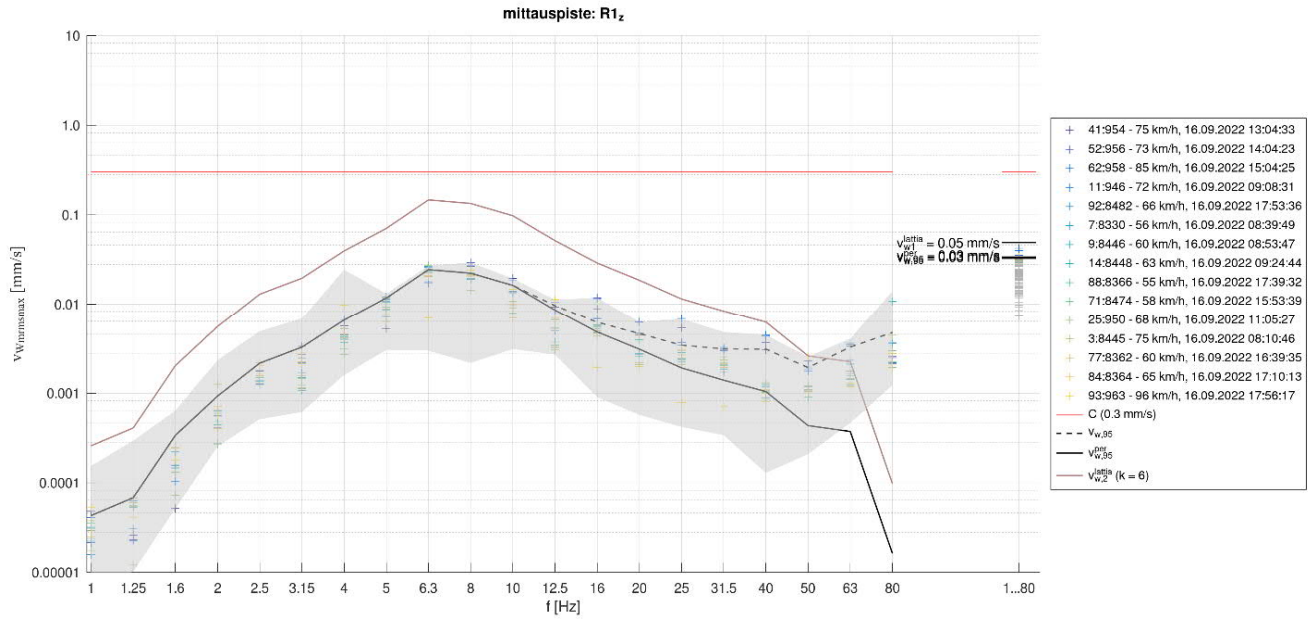


**Liite 1:** Lindholminkolmio, Mittaustulokset

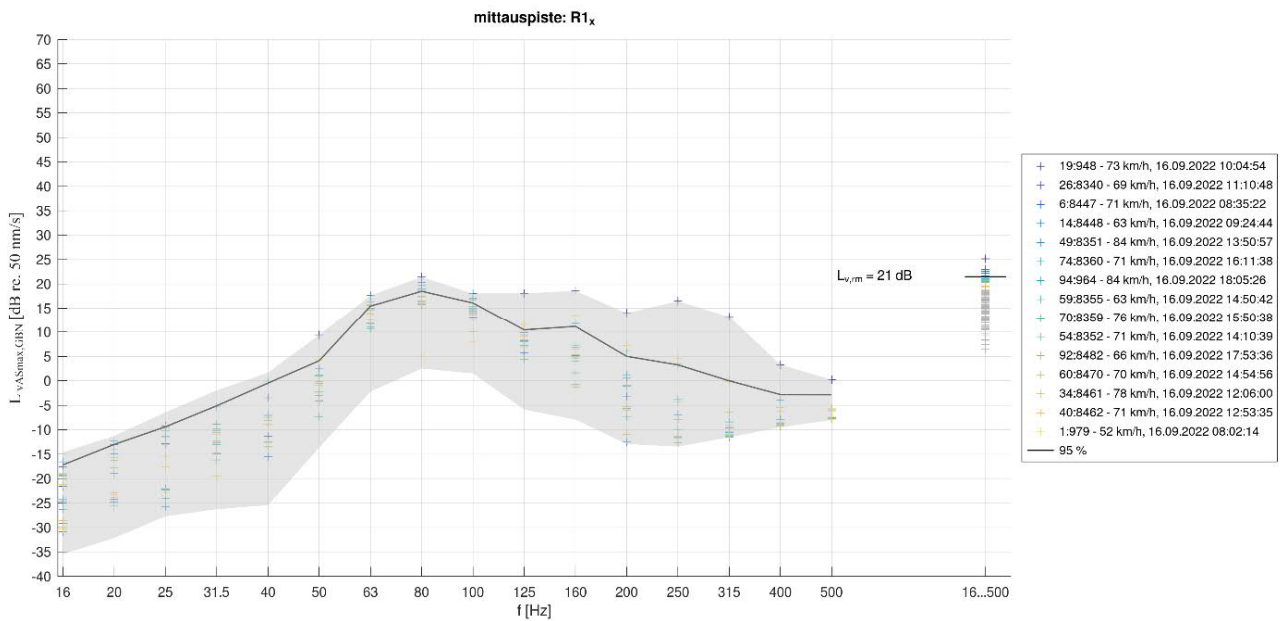
x = radansuuntaisesti

y = rataa vasten kohtisuoraan

z = pystysuuntaan



**1.2 Runkomelu**

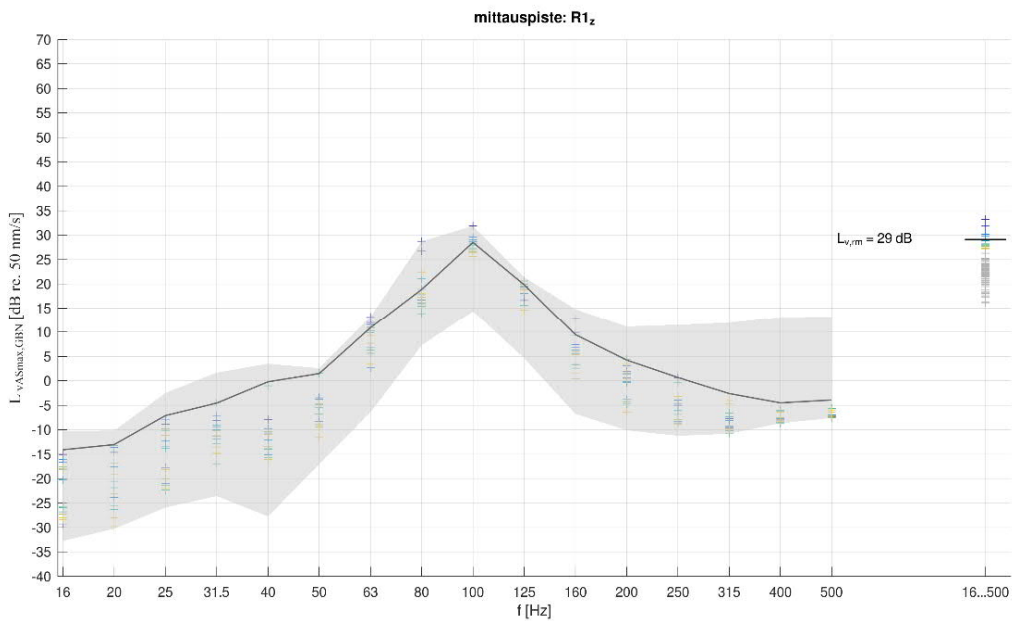
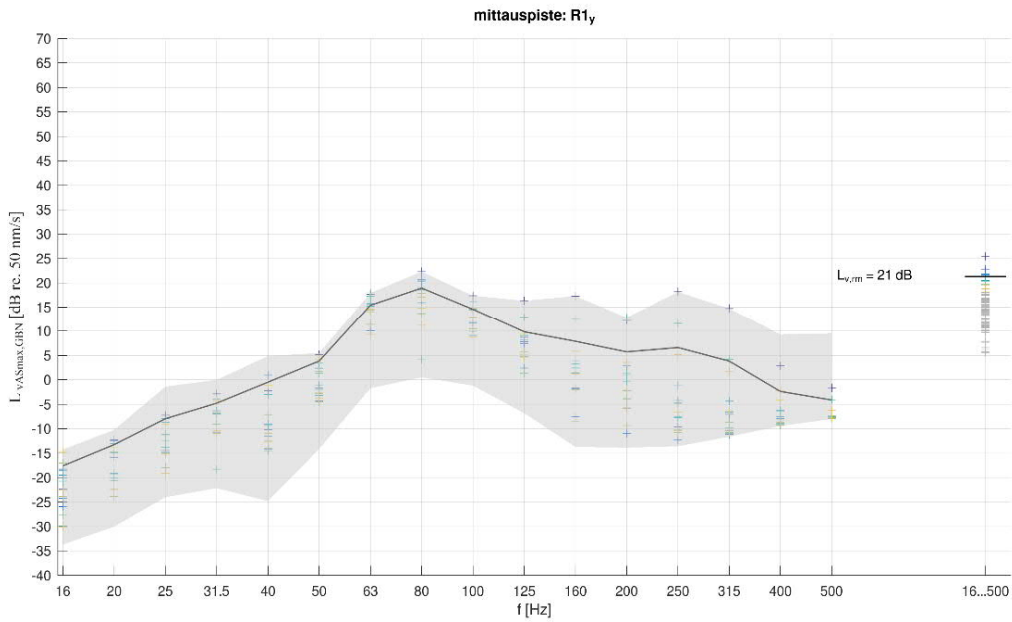


**Liite 1: Lindholminkolmio, Mittaustulokset**

x = radansuuntaisesti

y = rataa vasten kohtisuoraan

z = pystysuuntaan



**Liite 1:** Lindholminkolmio, Mittaustulokset

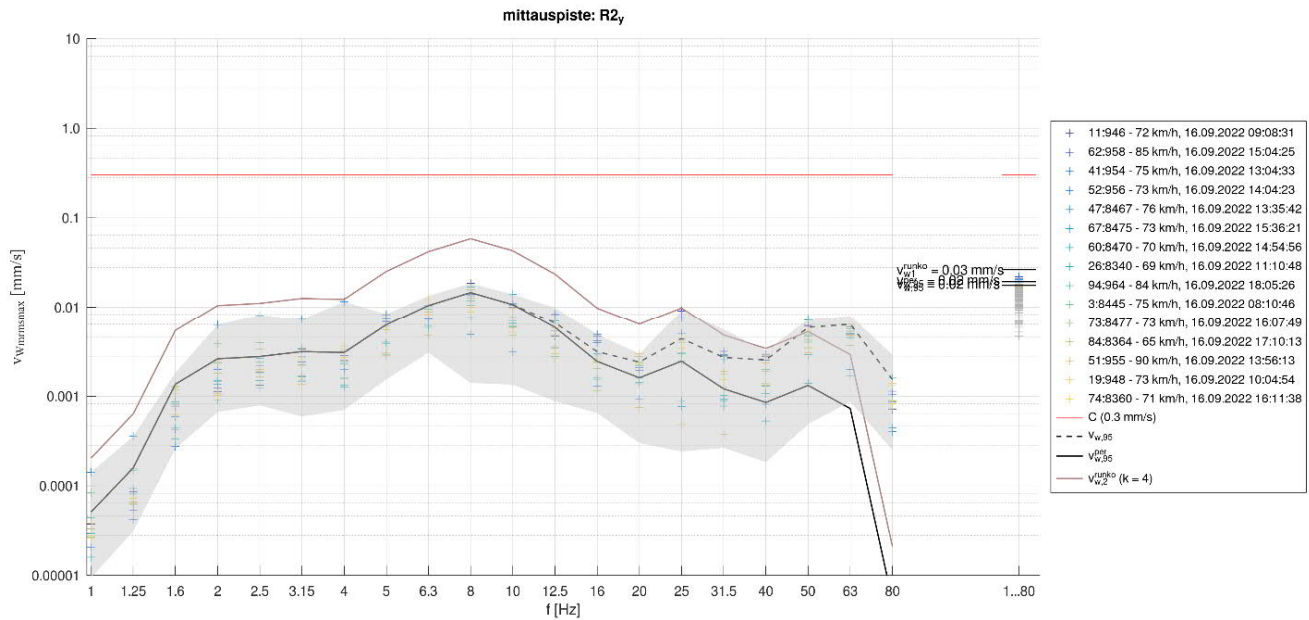
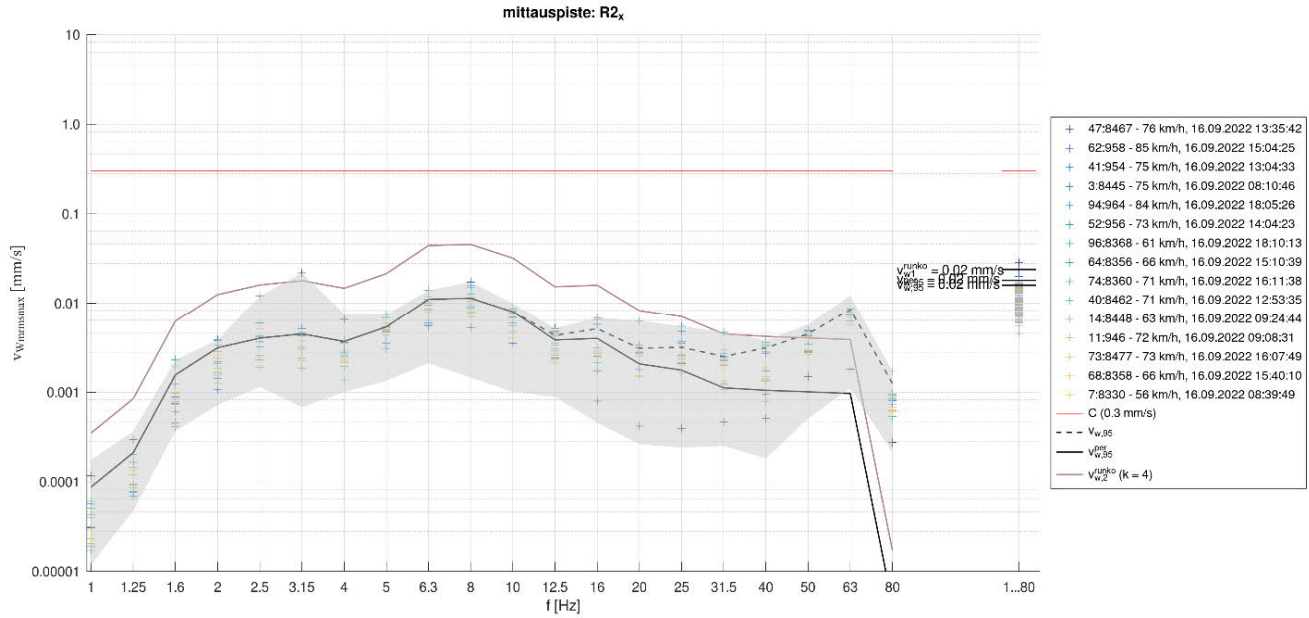
x = radansuuntaisesti

y = rataa vasten kohtisuoraan

z = pystysuuntaan

**2 Mittauspiste R2**

**2.1 Tärinä**

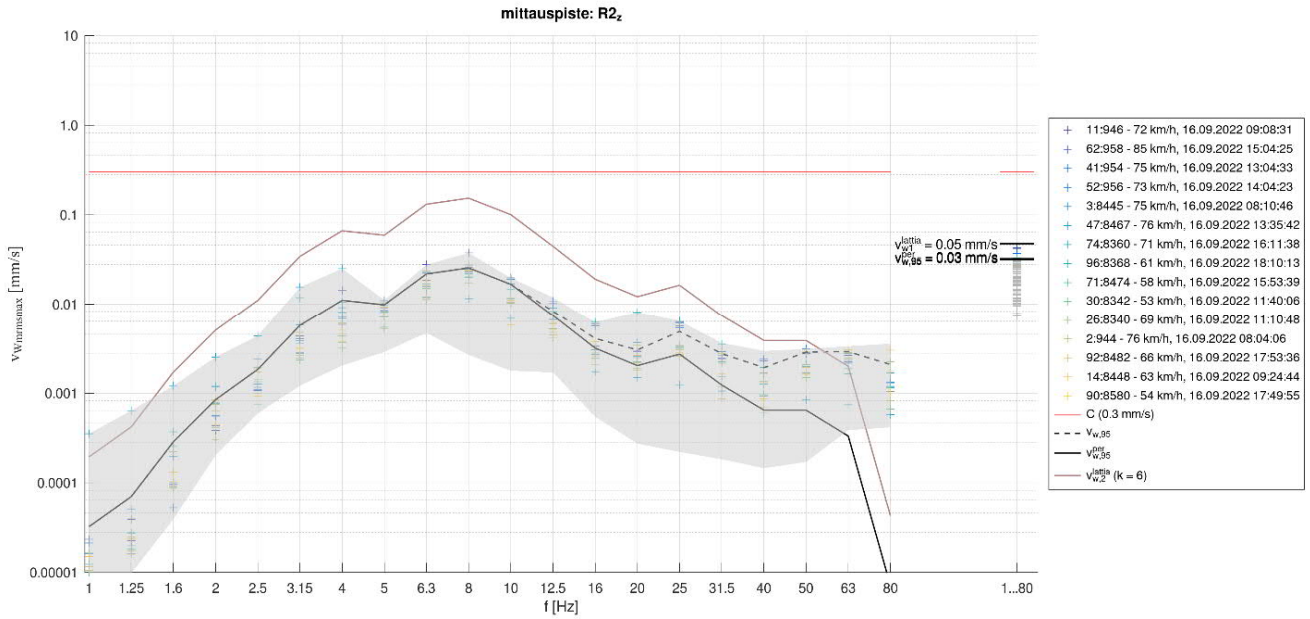


**Liite 1:** Lindholminkolmio, Mittaustulokset

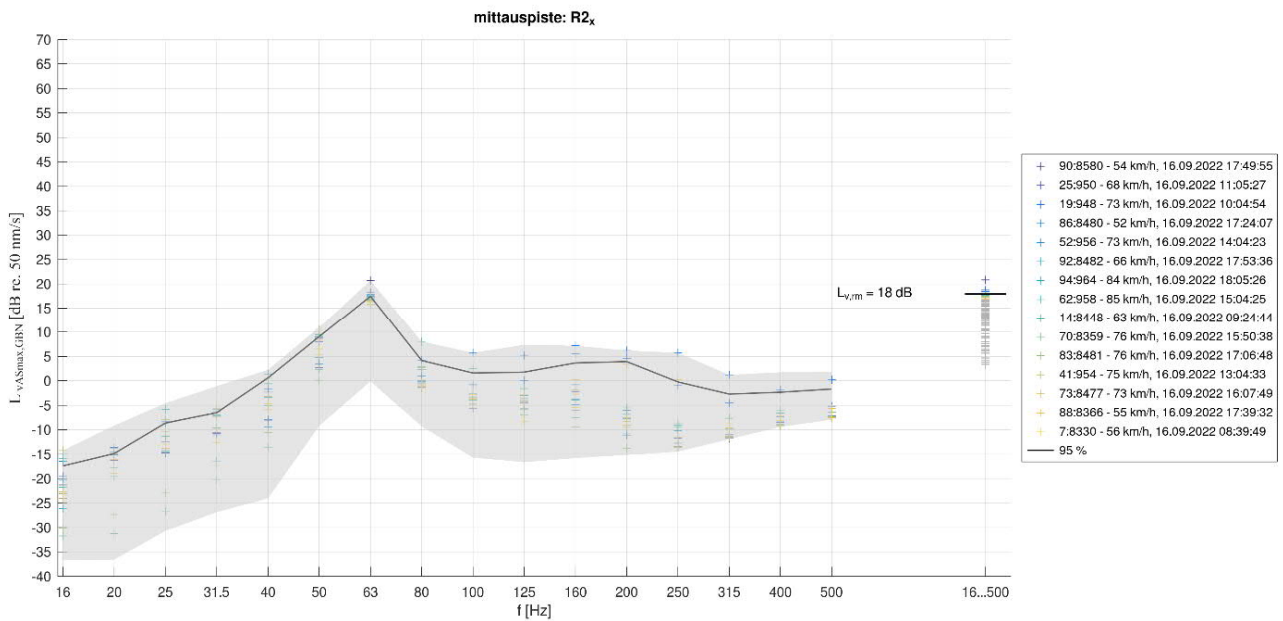
x = radansuuntaisesti

y = rataa vasten kohtisuoraan

z = pystysuuntaan



**2.2 Runkomelu**

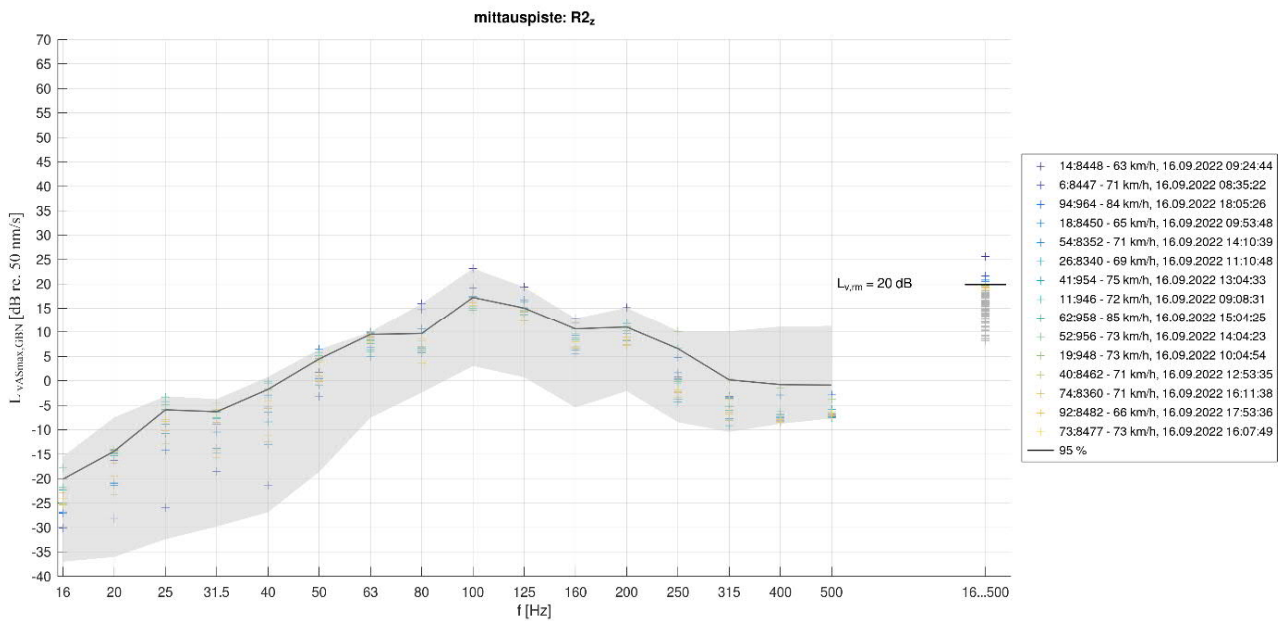
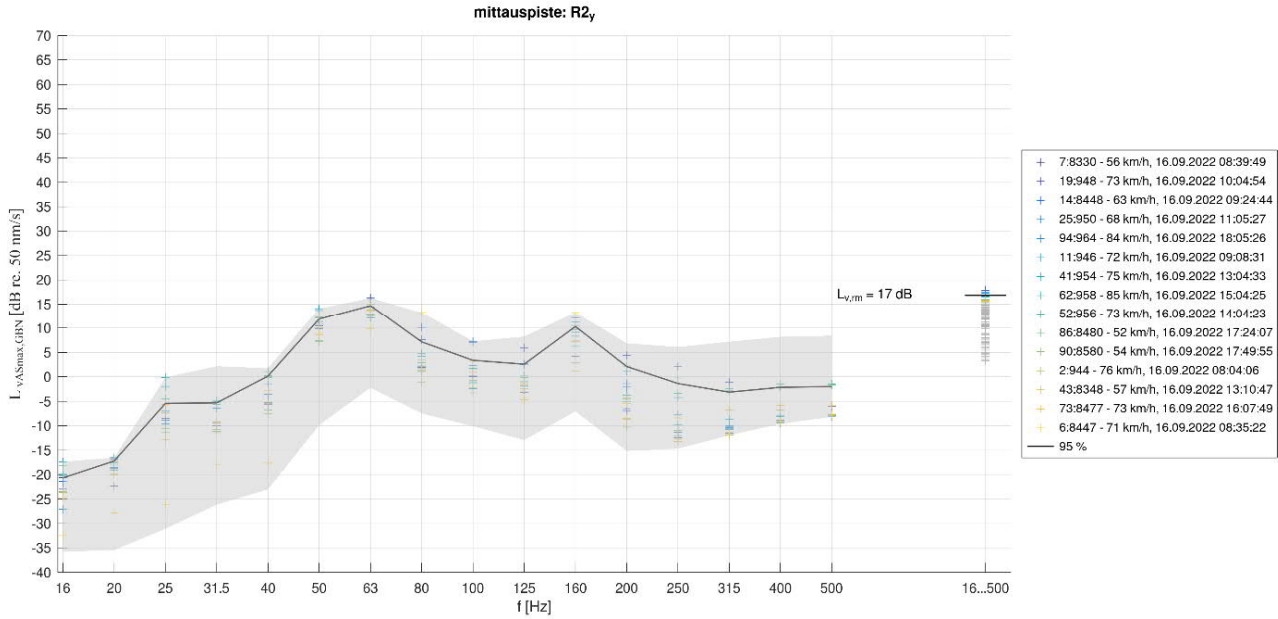


**Liite 1: Lindholminkolmio, Mittaustulokset**

x = radansuuntaisesti

y = rataa vasten kohtisuoraan

z = pystysuuntaan



**Liite 1:** Lindholminkolmio, Mittaustulokset

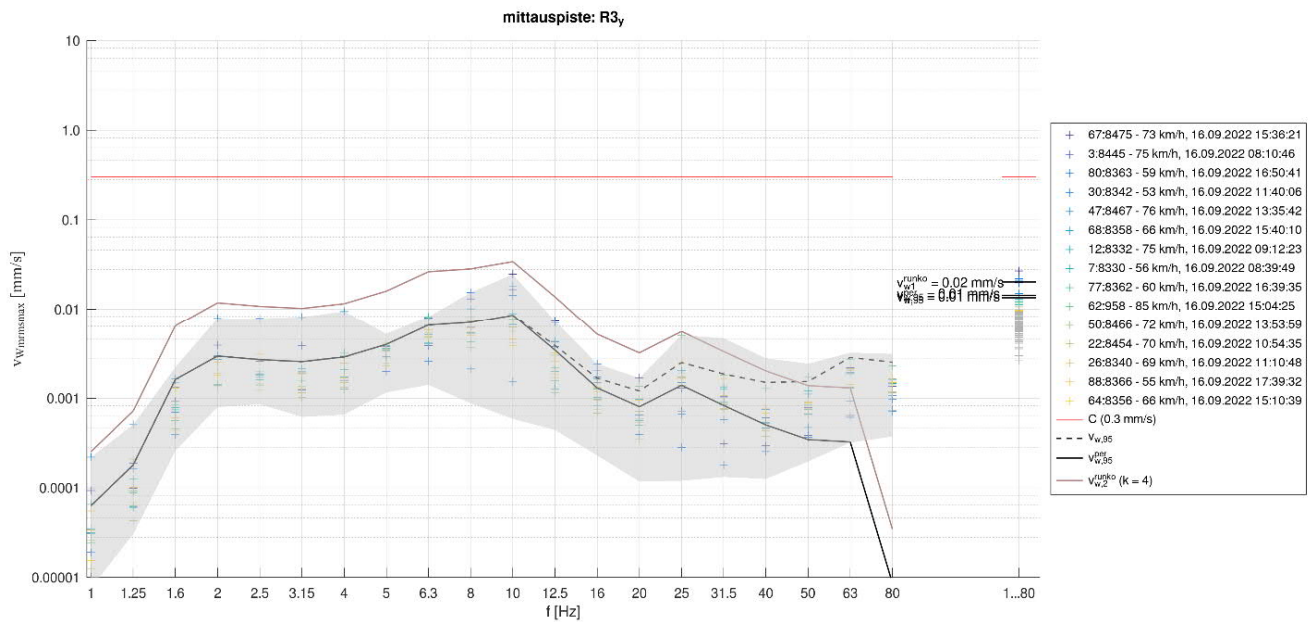
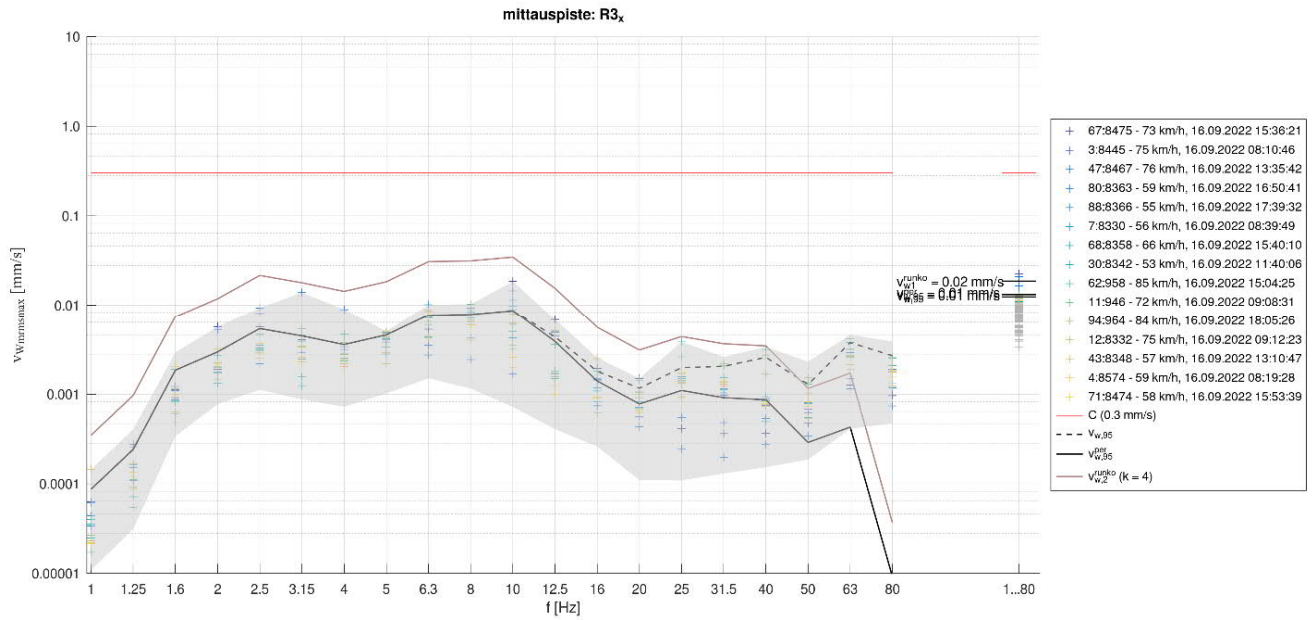
x = radansuuntaisesti

y = rataa vasten kohtisuoraan

z = pystysuuntaan

**3 Mittauspiste R3**

**3.1 Tärinä**

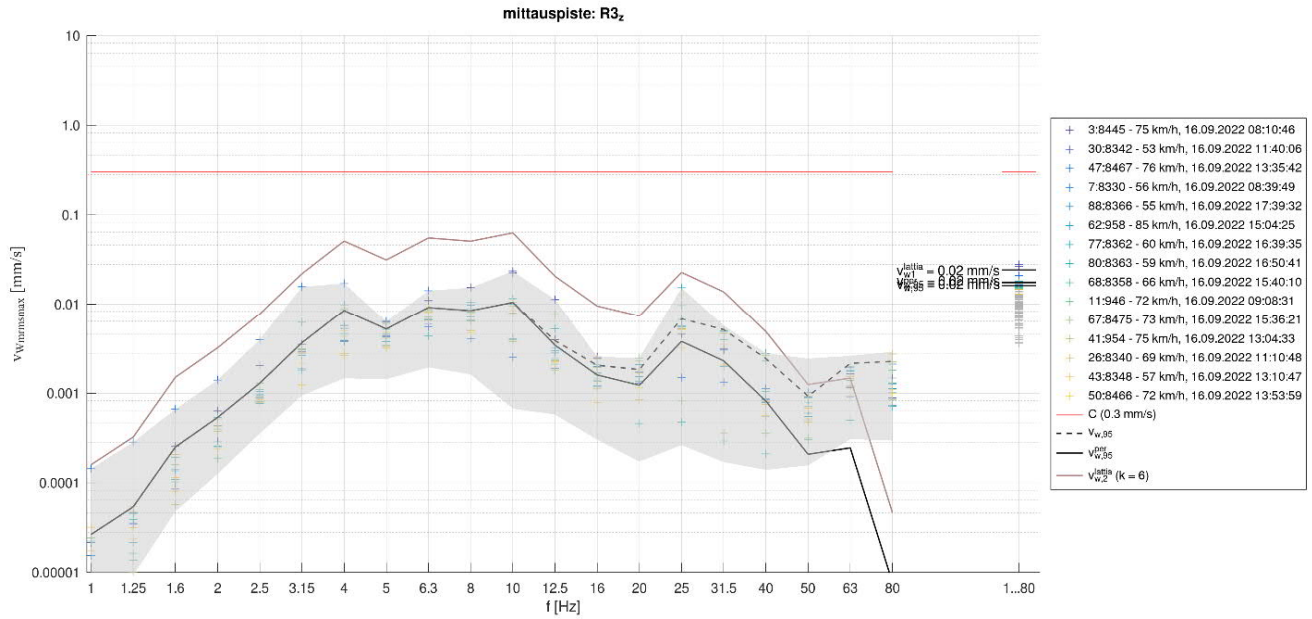


**Liite 1: Lindholminkolmio, Mittaustulokset**

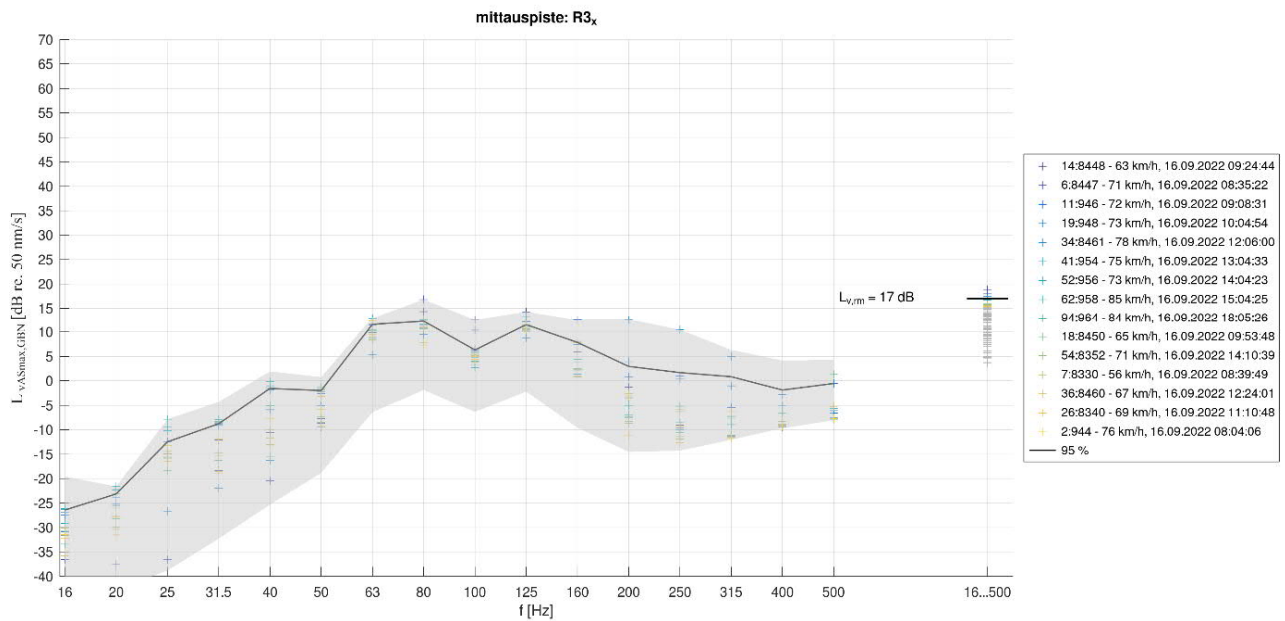
x = radansuuntaisesti

y = rataa vasten kohtisuoraan

z = pystysuuntaan



### 3.2 Runkomelu



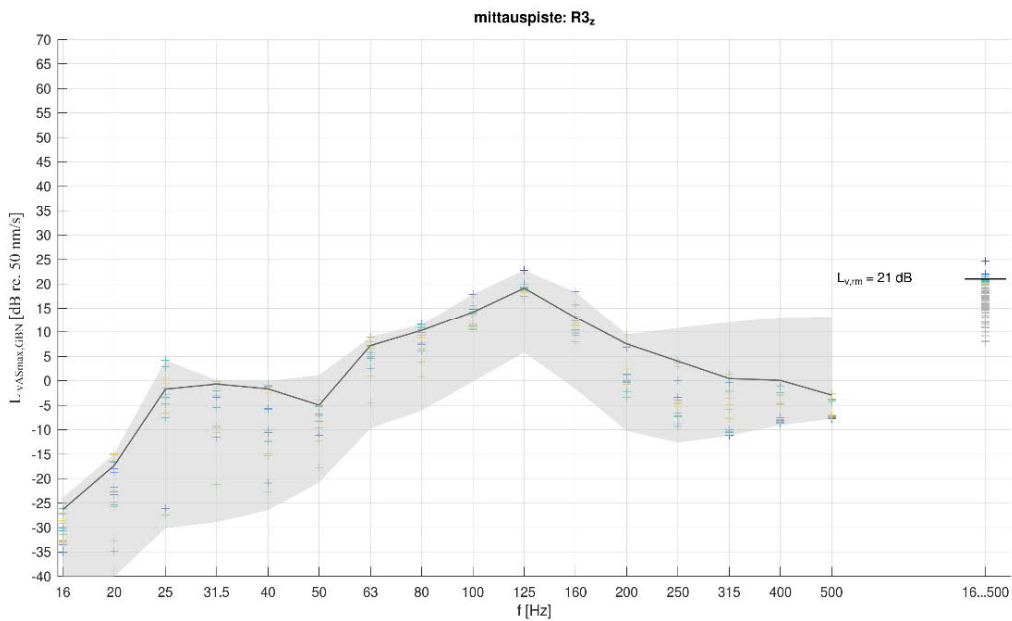
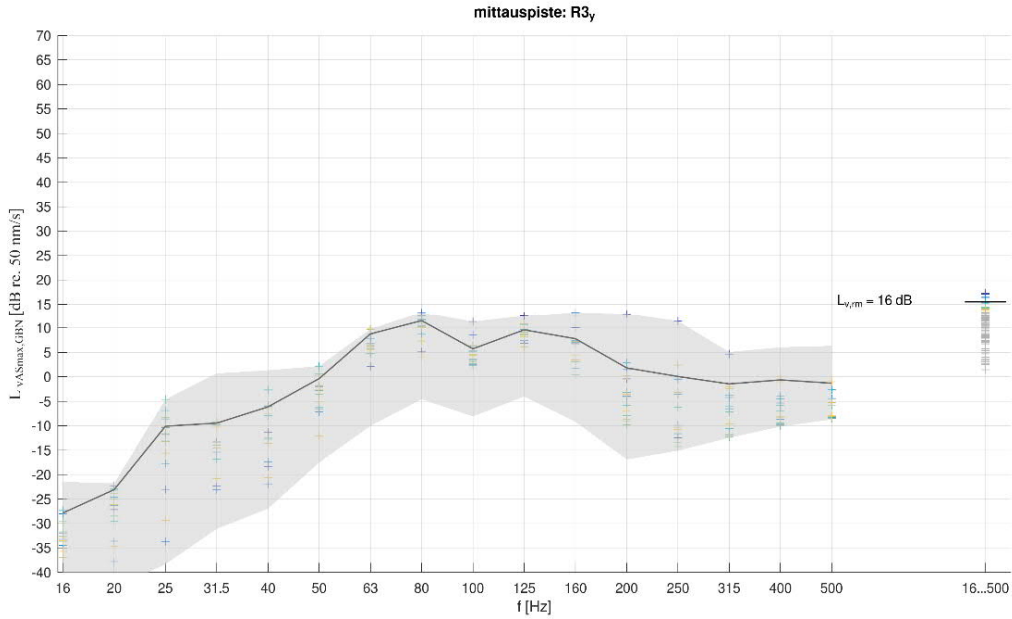


**Liite 1: Lindholminkolmio, Mittaustulokset**

x = radansuuntaisesti

y = rataa vasten kohtisuoraan

z = pystysuuntaan



**Liite 1:** Lindholminkolmio, Mittaustulokset

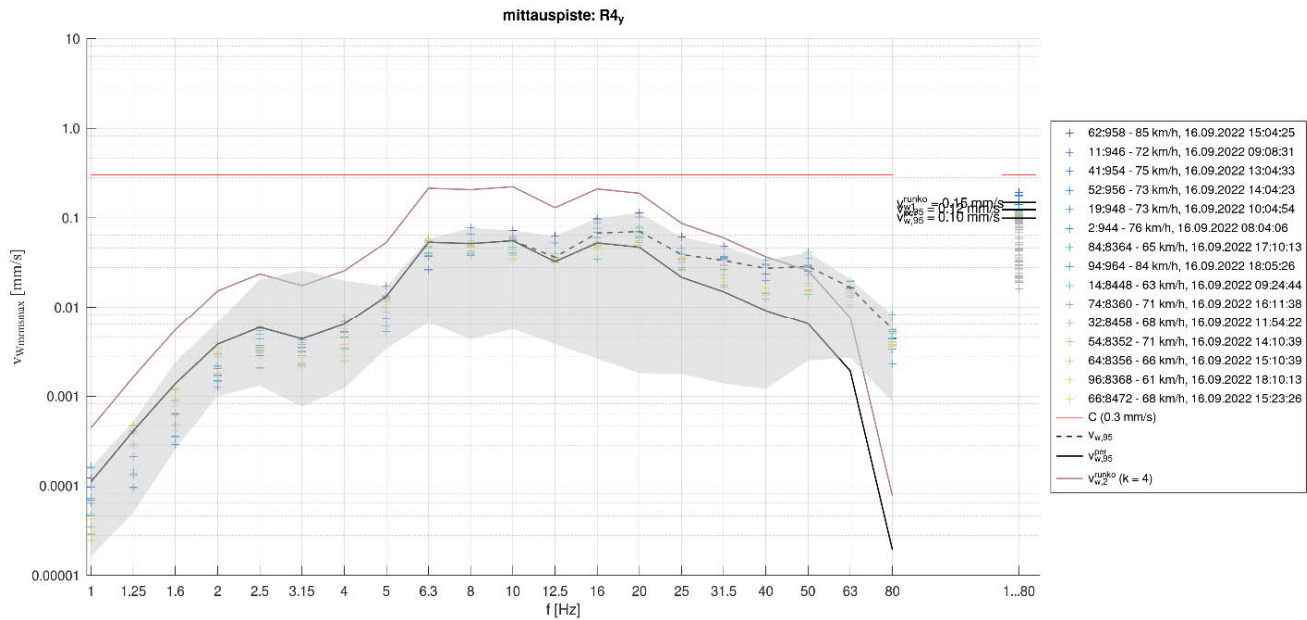
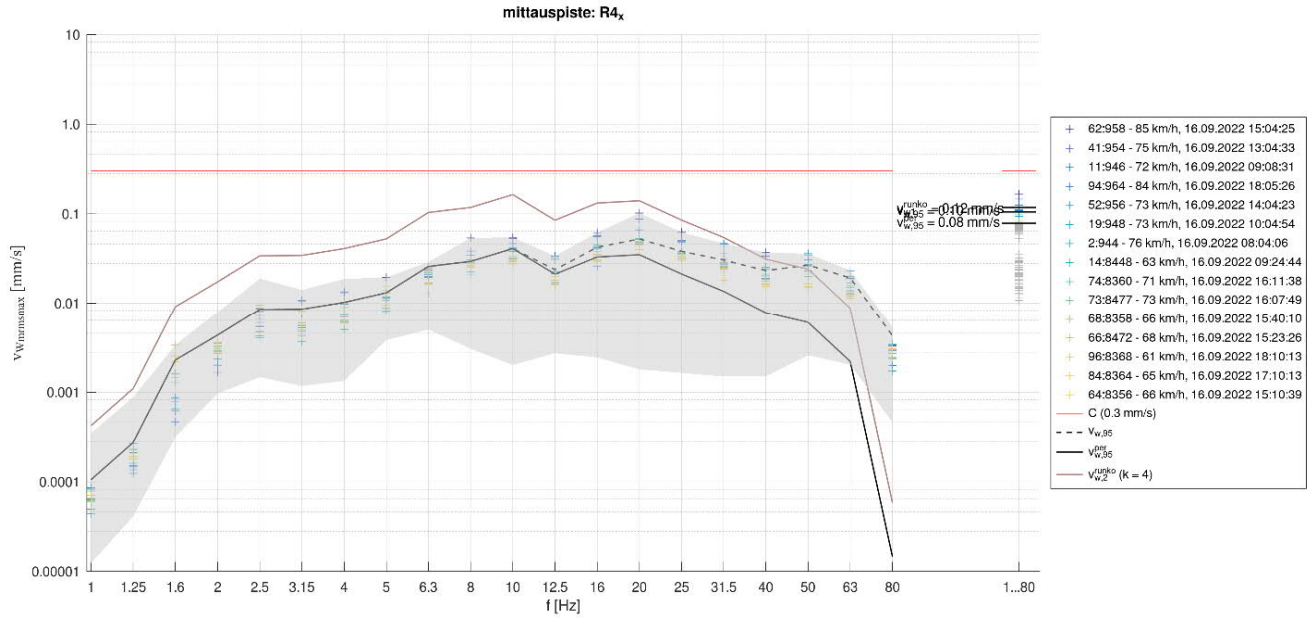
x = radansuuntaisesti

y = rataa vasten kohtisuoraan

z = pystysuuntaan

**4 Mittauspiste R4**

**4.1 Tärinä**

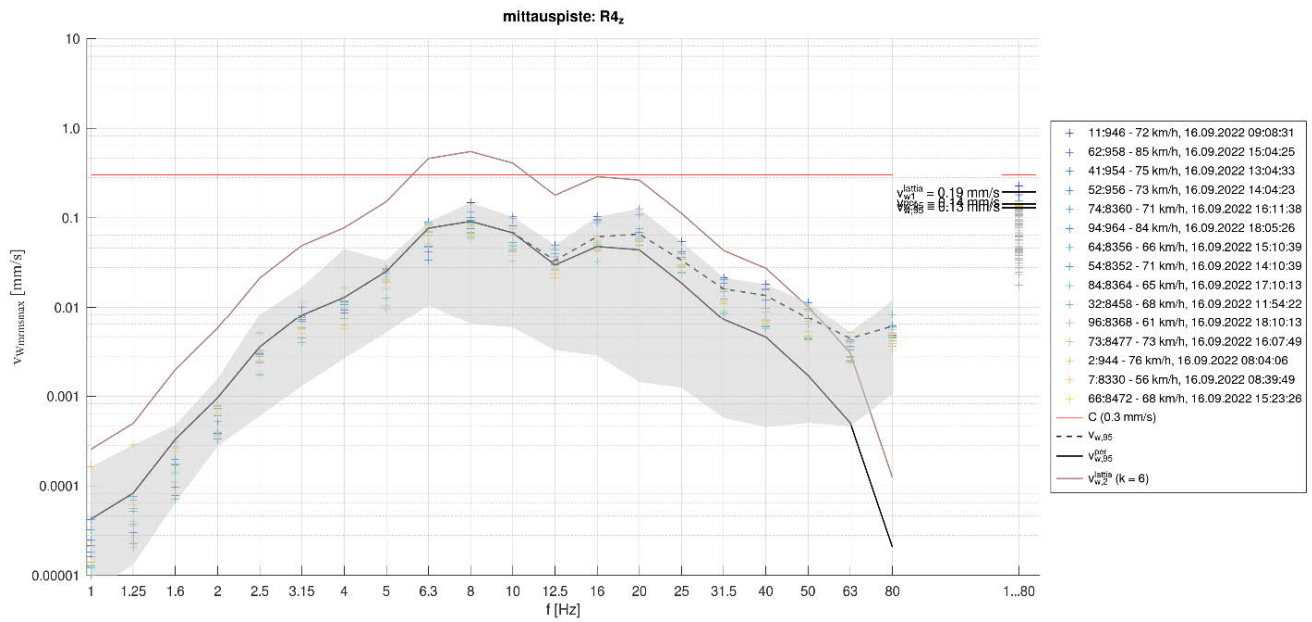


**Liite 1: Lindholminkolmio, Mittaustulokset**

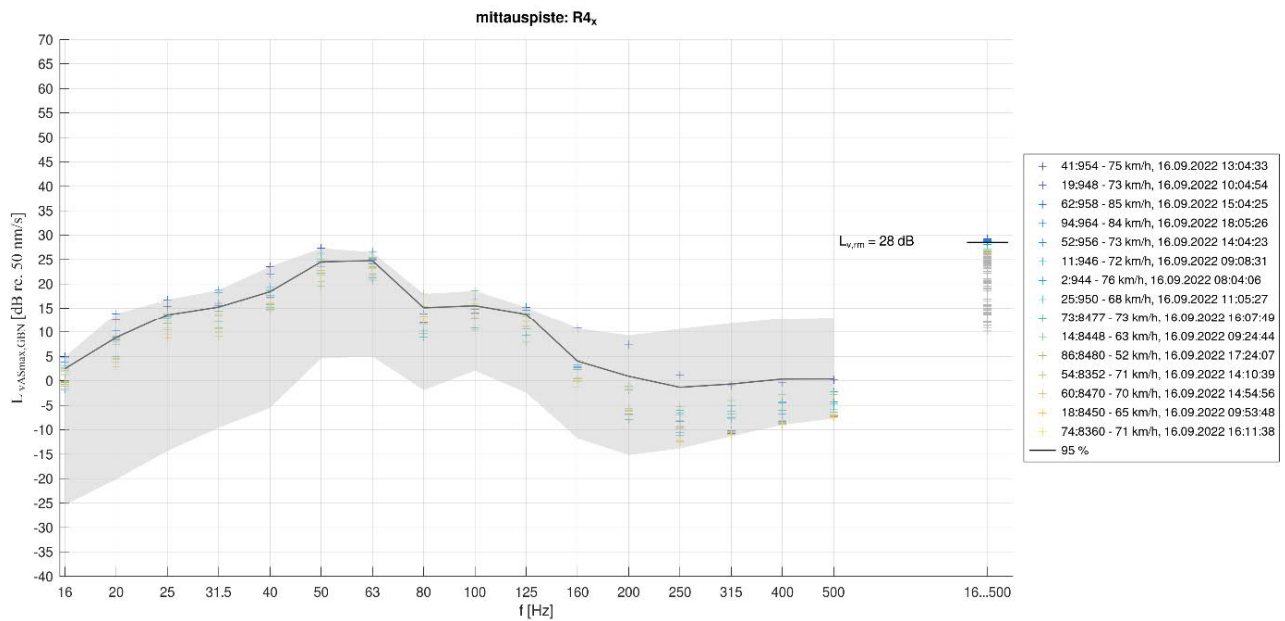
x = radansuuntaisesti

y = rataa vasten kohtisuoraan

z = pystysuuntaan



## 4.2 Runkomelu

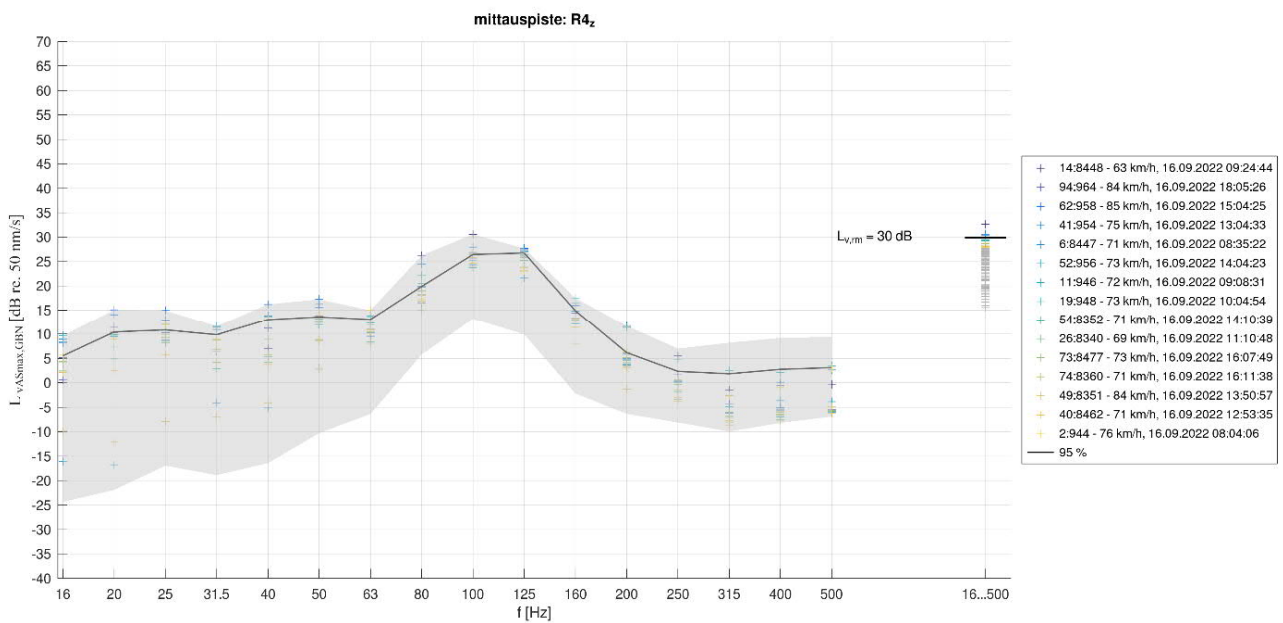
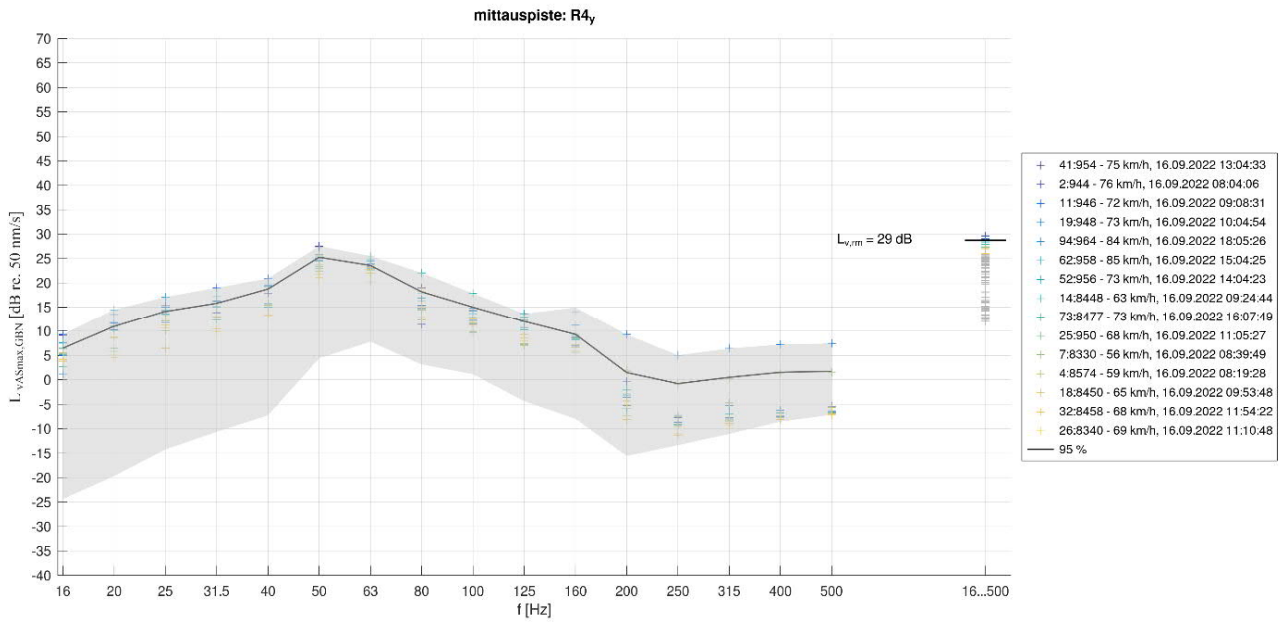


**Liite 1: Lindholminkolmio, Mittaustulokset**

x = radansuuntaisesti

y = rataa vasten kohtisuoraan

z = pystysuuntaan



**Liite 1: Lindholminkolmio, Mittaustulokset**

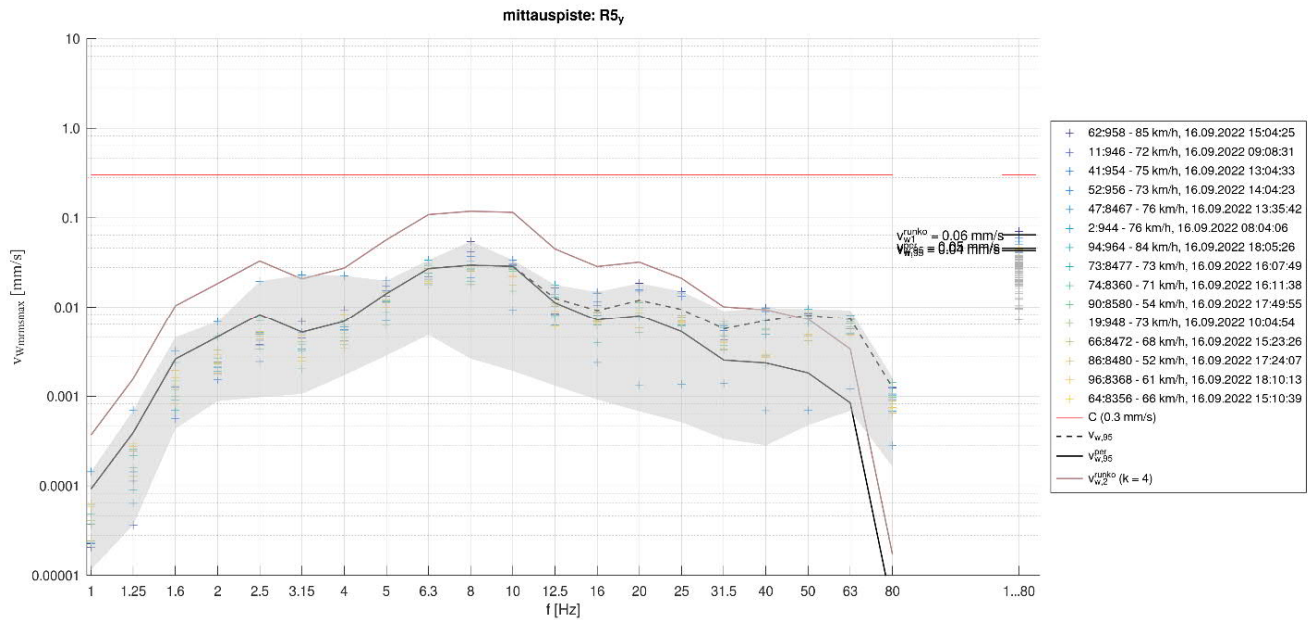
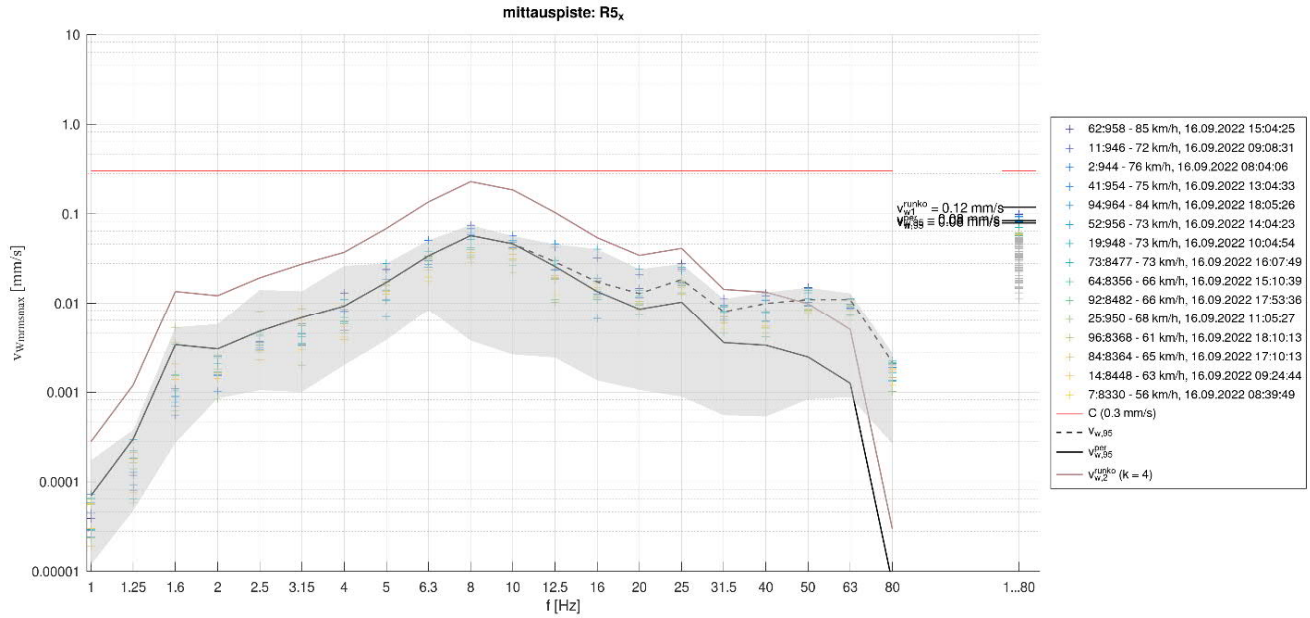
x = radansuuntaisesti

y = rataa vasten kohtisuoraan

z = pystysuuntaan

## 5 Mittauspiste R5

### 5.1 Tärinä

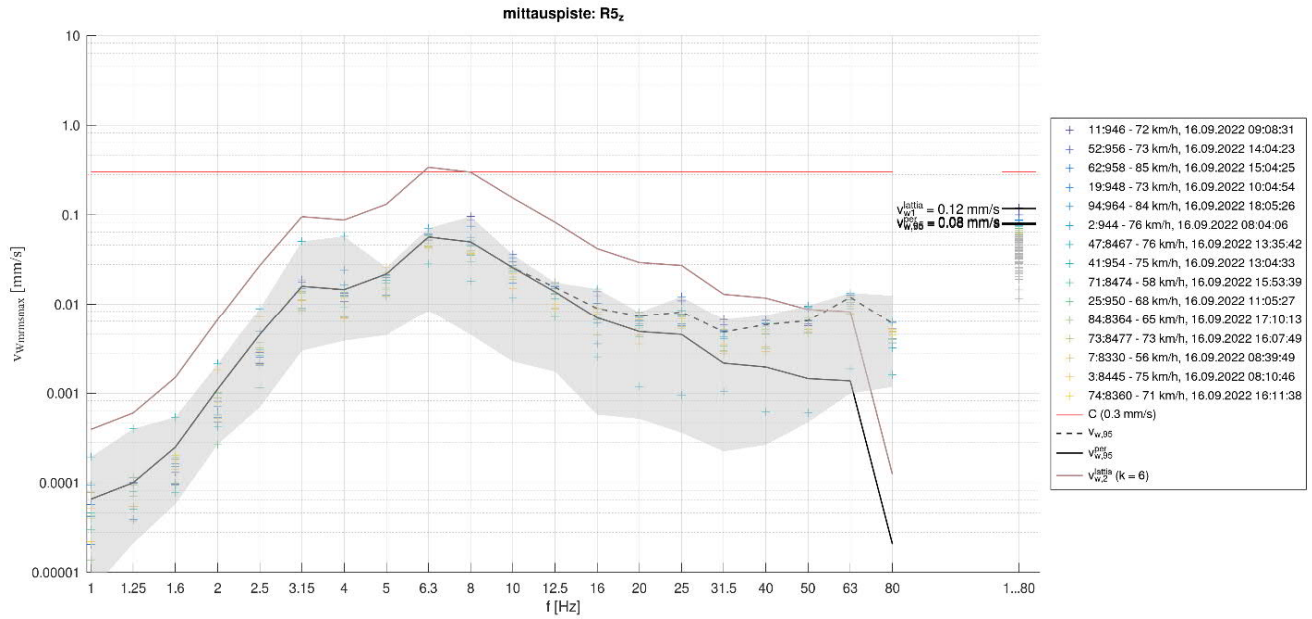


**Liite 1: Lindholminkolmio, Mittaustulokset**

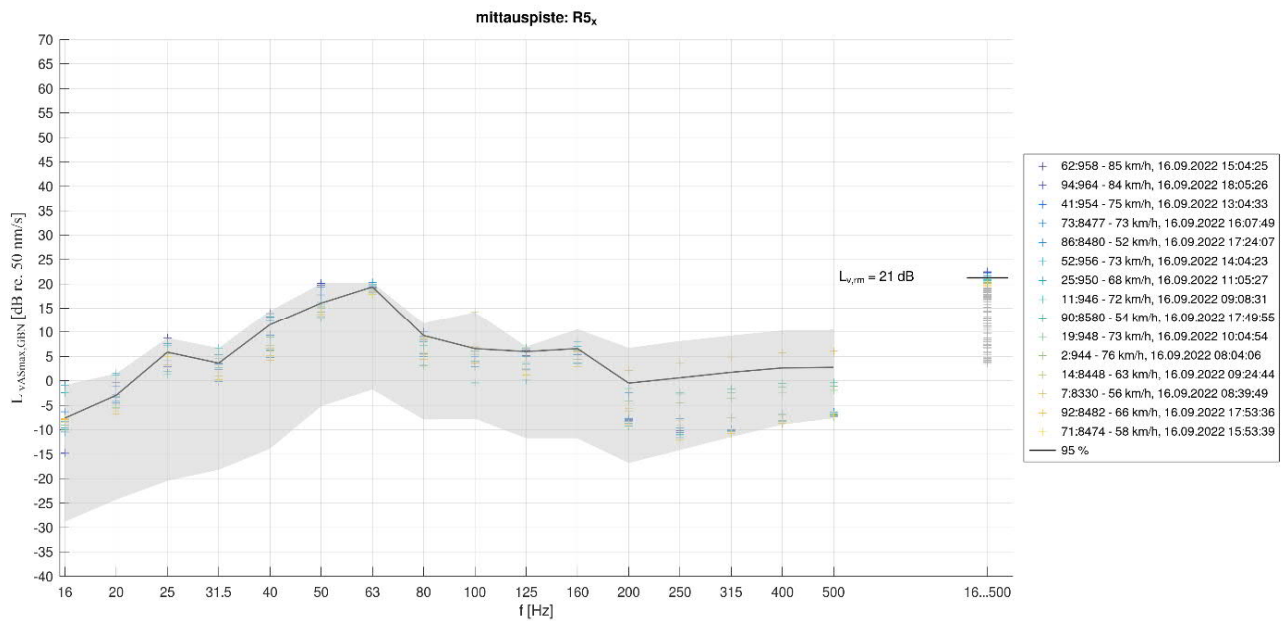
x = radansuuntaisesti

y = rataa vasten kohtisuoraan

z = pystysuuntaan



## 5.2 Runkomelu

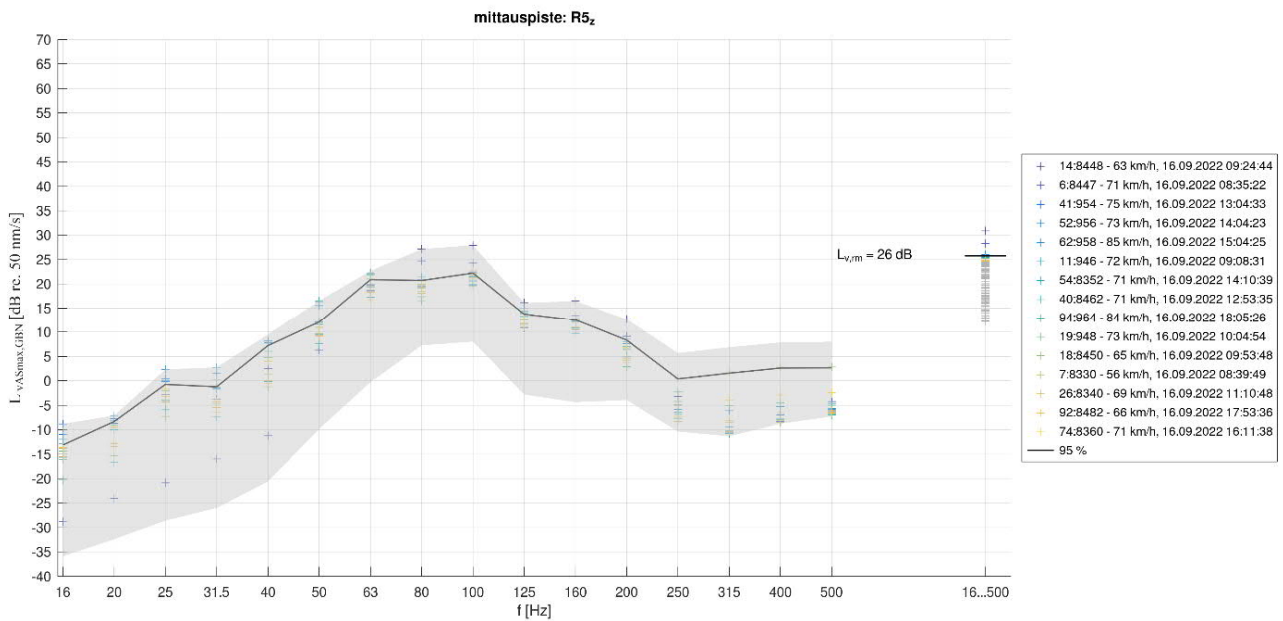
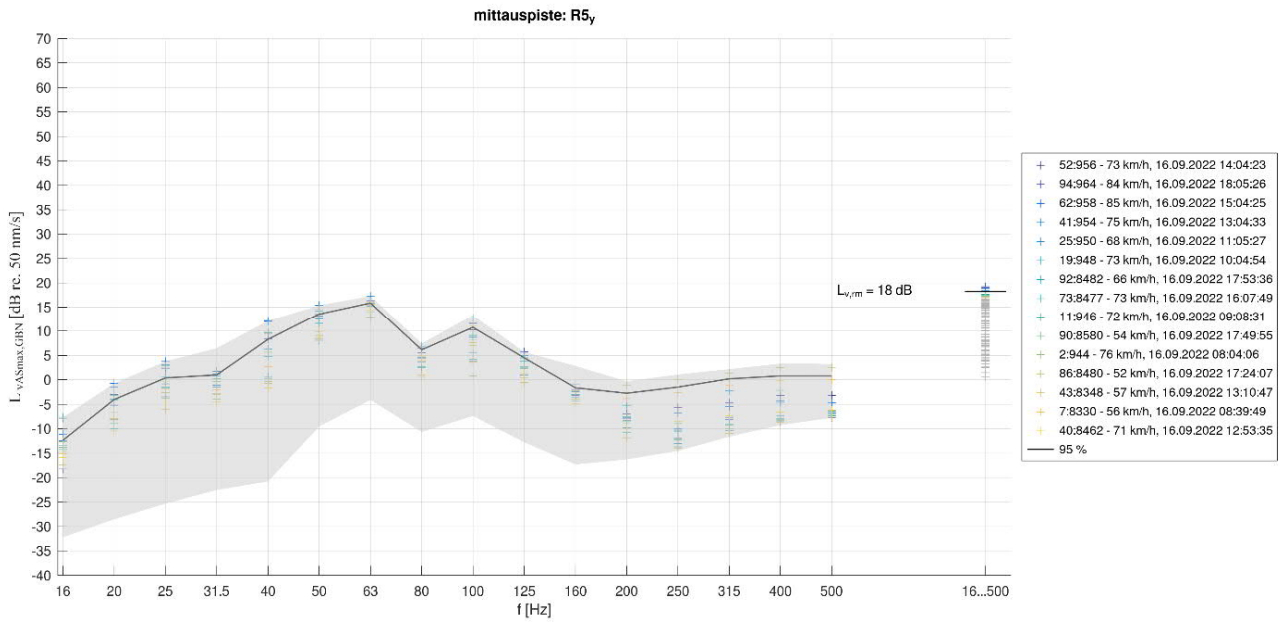


**Liite 1: Lindholminkolmio, Mittaustulokset**

x = radansuuntaisesti

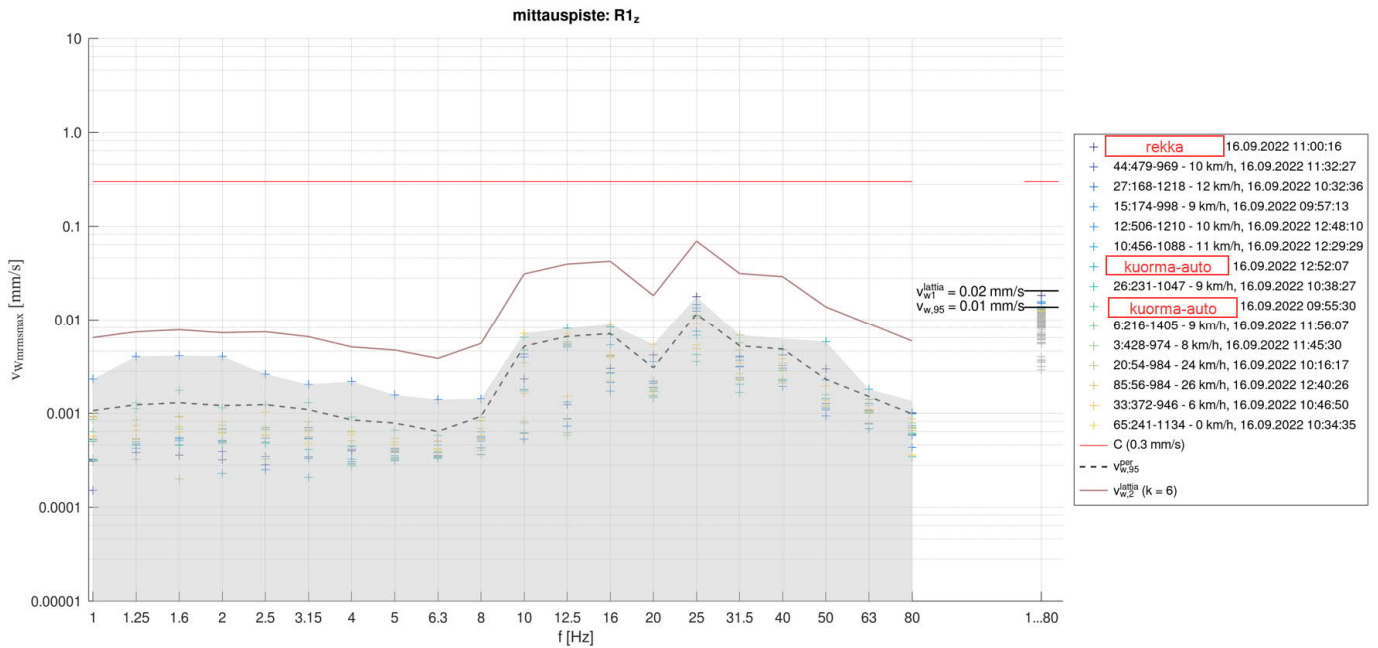
y = rataa vasten kohtisuoraan

z = pystysuuntaan

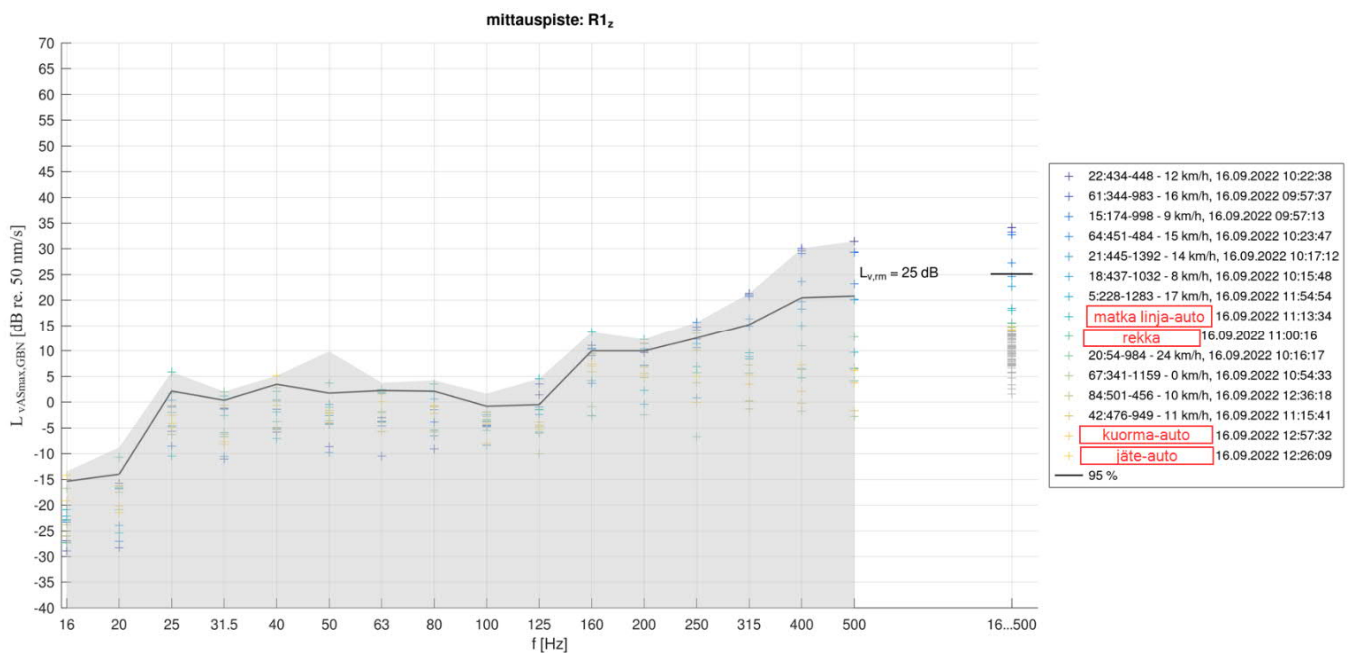


## 1 Mittauspiste 1, reunapilari (etelä)

### 1.1 Tärinä



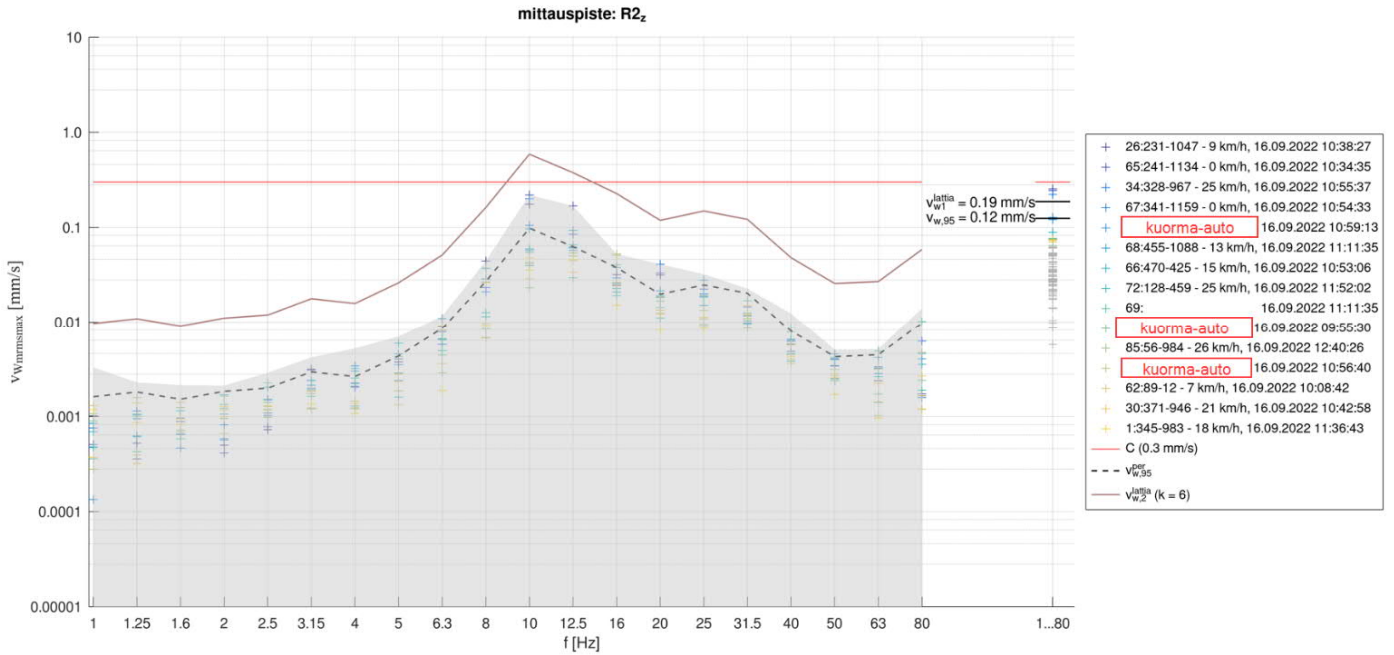
### 1.2 Runkomelu





## 2 Mittauspiste 2, keskipilari (ajoväylien keskellä)

### 2.1 Tärinä



### 2.2 Runkomelu

