

Mats Heikkinen, Perttu Laukkanen, Timo Peltonen

27.6.2019

**Hotel Grand Hansa**

Asiakas: YLVA Palvelu Oy

Yhteyshenkilö: Verner Lehtovirta

**RUNKOMELU- JA TÄRINÄSELVITYS****1 YHTEENVETO**

Helsingin keskustassa, Mannerheimintiellä ja Kaivokadulla sijaitsevat Uusi ylioppilastalo ja Hotelli Seurahuone ollaan muuttamassa yhdeksi hotelliksi. Nykytilanteessa rakennusten muutosalueella on hotelli ja toimistoja. Rakennuksissa selvitettiin raitioliikenteen aiheuttaman runkomelun vaikutuksia niiden muutosrakentamista varten.

Uuden ylioppilastalon vieressä sijaitseva Mannerheimintie ja Hotelli Seurahuoneen vieressä sijaitseva Kaivokatu ovat tiheästi liikennöityjä. Molemmilla teillä on raitioteitä, joita useat Helsingin raitiolinjat käyttävät. Raitovaunut ovat kohteen kannalta merkittävimpiä runkomelun aiheuttajia.

Kohteessa tehtyjen värähtelymittausten avulla on arvioitu raitioliikenteestä rakennuksen sisätiloihin kantautuvan tärinän ja runkomelun aiheuttamaa häiriötä majoitus-, ravintola, liike- ja hotellitoiminnan kannalta.

Kohteen rakennuksissa mitattiin raitioliikenteen ja muun raskaan liikenteen aiheuttamaa tärinää ja runkomeluberäätettä 3.–4.6.2019.

Mittaustulosten perusteella liikenteen aiheuttama tärinä ei ole ongelma kohteen rakennuksissa. Liikenteen tärinähaittojen välttämiseksi Uuden ylioppilastalon välipohjien osalta tulee kuitenkin välttää rakenteita, joiden ominaistajuus on 16 Hz tai sen lähellä. Hotelli Seurahuoneen osalta vastaava rajoitusta ei ole.

Mittaukset osoittavat, että raitioliikenteen runkomelu ei ylitä asuintilojen 35 dB suositusarvoa Uuden ylioppilastalon tiloissa. Hotelli Seurahuoneen 1.–4. kerroksen tiloissa runkomelu ylittää asuintilojen suositusarvon jopa 7 desibelillä. Ylemmissä kerroksissa suositusarvot täyttyvät.

Hotelli Seurahuoneen osalta on kuitenkin huomioitava, että Seurahuoneen käyttötarkoitus pysyy samana, jolloin ympäristöministeriön asetuksen mukaan: *”Rakennuksen ääneneristystä, melun- ja tärinätorjuntaa, ääniolosuhteita sekä virkistykseen käytettävien rakennuksen piha- ja oleskelualueiden sekä oleskeluun käytettävien parvekkeiden meluntorjuntaa ja ääniolosuhteita ei saa rakennuksen korjaus- tai muutostyössä heikentää.”* [1]

Koska rakennusten perustukset pysyvät muuttumattomina ja ikkunoita tullaan parantamaan, ei ole mitään syytä olettaa ääniolosuhteiden heikentyvän runkomelun tai tärinän osalta.

## 2 MITTAUKSET

Värähtelymittaukset suoritettiin 3.–4.6.2019. Raitiovaunujen ja muun raskaan liikenteen ohiajoja mitattiin noin kello 18.00–8.00 välisenä aikana. Vallitsevien runkomelutasojen arvioimiseksi kohteessa mitattiin myös ilmaääntä.

Mittausten tekijöinä toimivat DI Mats Heikkinen ja tekn. yo Henri Olander.

Analysoitavia raitiovaunujen sekä muun raskaan liikenteen ohiajoja oli Uuden ylioppilastalon mittauspisteiden osalta noin 530, ja Hotelli Seurahuoneen osalta noin 220. Ohiajojen otanta on riittävän suuri antaakseen edustavan kuvan kohteen rakennuksissa esiintyvistä värähtelyistä ja runkomeluberähteistä. Tarkempaan analyysiin valittiin jokaisessa tarkastelupisteessä mitatut 15 värähtelyherähteeltään merkittävintä ohiajoa.

### 2.1 Mittauspisteet

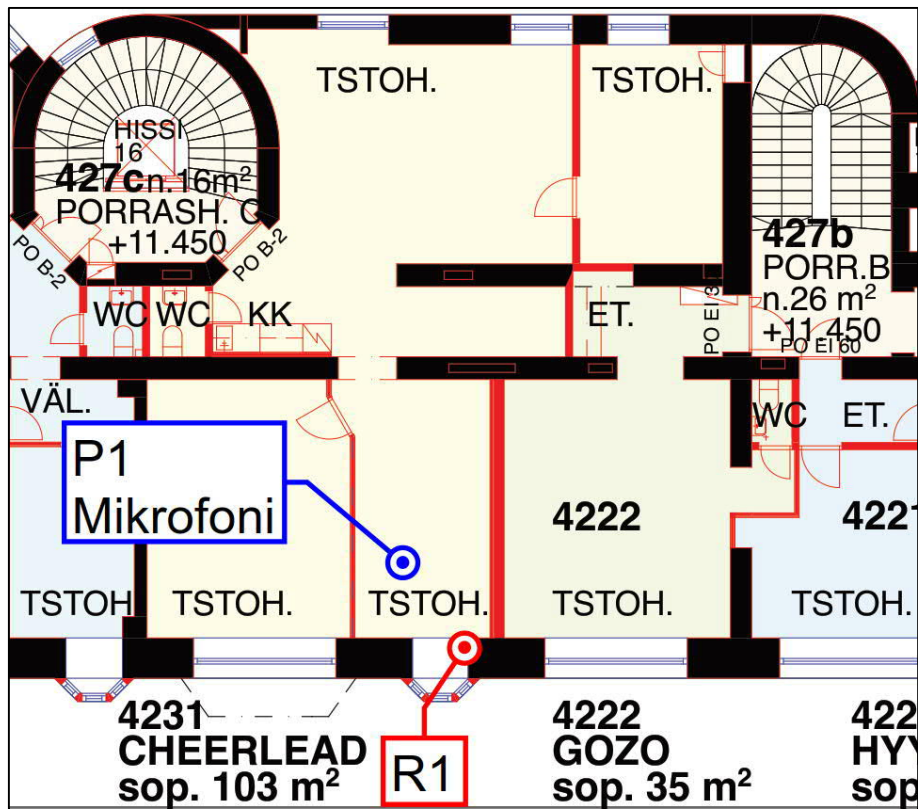
Uudessa ylioppilastalossa värähtelyä mitattiin kolmessa pisteessä (R1-R3) ja ilmaääntä kahdessa pisteessä (P1-P2). Mittauspiste R1 sijaitsi katutasoon nähden rakennuksen toisessa kerroksessa. Mittauspisteet R2 ja R3 sijaitsivat rakennuksen kolmannessa kerroksessa.

Hotelli Seurahuoneen kabinetissa 36 värähtelyä mitattiin kahdessa pisteessä (R4, R5) ja ilmaääntä yhdessä pisteessä (P3).

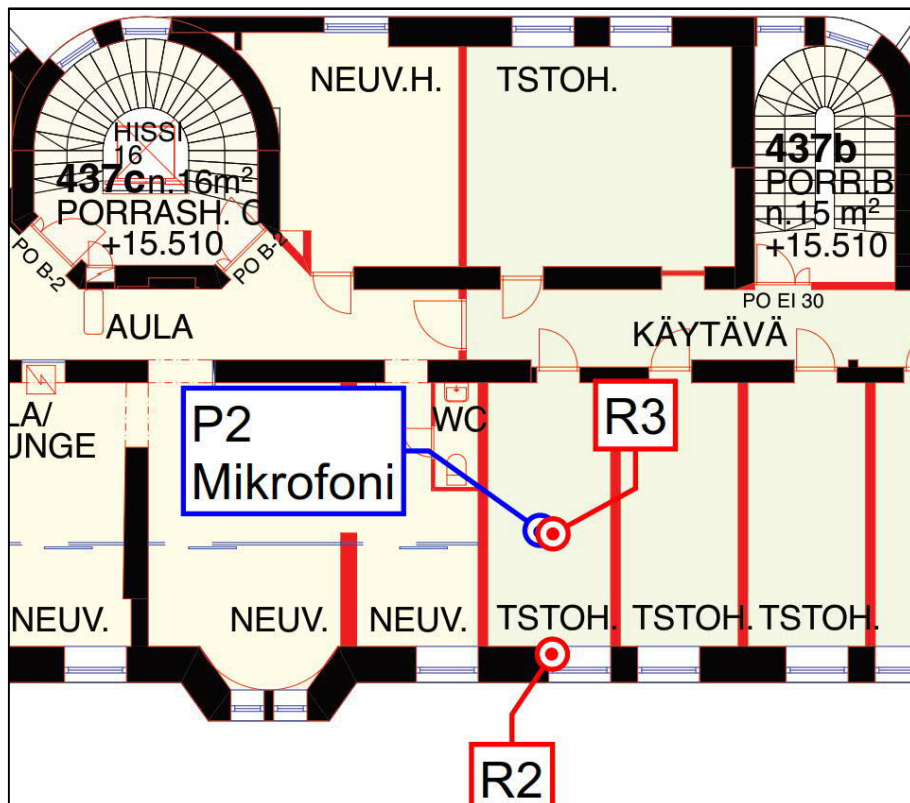
Kiihtyvyyssanturit asennettiin liimaamalla kantaviin seinärakenteisiin ja välipohjarakenteisiin. Kaikissa mittaustiloissa mitattiin pysty- ( $z$ ) ja vaakasuuntaista ( $x$ ,  $y$ ) värähtelyä. Mikrofonit olivat noin 1,6 metrin korkeudella lattiasta ja vähintään metrin päässä kovista heijastavista pinnoista. Anturien ja niiden mitaamien värähtelykomponenttien suunnat valittiin mittaustilasta olevan rakennusrungon mukaan, ja ne on merkitty seuraavasti:

- $x$  on raitiotien suuntainen vaakakomponentti
- $y$  on raitiotien suhteen poikittainen vaakakomponentti
- $z$  on pystysuuntainen komponentti

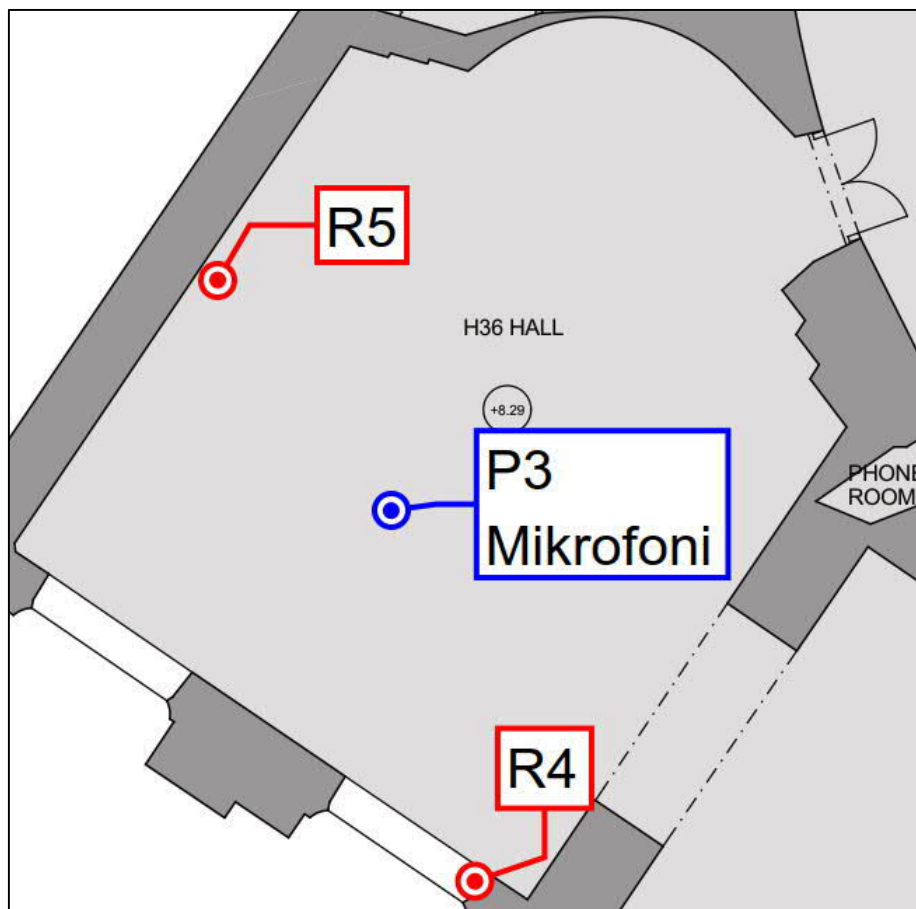
Mittauspisteet on esitetty taulukossa 1 ja kuvissa 1-3. Valokuvia mittauspisteistä on esitetty liitteessä A.



Kuva 1. Kiihtyvyyssanturin (R1) ja mikrofonin (P1) sijainnit Uuden ylioppilastalon 2. kerroksessa.



Kuva 2. Kiihtyvyyssantureiden (R2, R3) ja mikrofonin (P2) sijainnit Uuden ylioppilastalon 3. kerroksessa.



Kuva 3. Kiihtyvyyssantureiden (R4, R5) ja mikrofonin (P3) sijainnit hotelli Seurahuoneen kabinetissa.

Taulukko 1. Mittauspisteet

mittauspiste	tila	suunta	mitattu suure
R1	Uusi yo-talo 2.krs	x, y, z	värähtely
P1	Uusi yo-talo 2.krs	p	ilmäääni
R2	Uusi yo-talo 3.krs	x, y, z	värähtely
R3	Uusi yo-talo 3.krs	z	värähtely
P2	Uusi yo-talo 3.krs	p	ilmäääni
R4	Seurahuone, kabinetti 36	x, y, z	värähtely
R5	Seurahuone, kabinetti 36	z	värähtely
P3	Seurahuone, kabinetti 36	p	ilmäääni

## 2.2 Mittauslaitteet

Ohiajojen aiheuttaman anturikohtaiset kiihtyvyyssignaalit tallennettiin digitaalisesti myöhempää analyysia varten. Mittauslaitteet on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Mittauksissa käytetyt mittalaitteet.

laite	valmistaja	malli
kiihtyvyyssanturi	MMF	KS48C
mikrofoni	NTi	MC230
digitaalitalennin	Rion	DA-21
äänitasomittari	NTi	XL2
analyysiohjelmisto	Mathworks	MATLAB R2018a

### 3 RAITIOLIIKENTEEEN AIHEUTTAMA RUNKOMELU

#### 3.1 Yleistä

Raitioliikenteen aiheuttama värähtelyheräte kytkeytyy radan perustusten kautta kadun pintarakenteisiin sekä alla olevaan maaperään, ja näiden välityksellä edelleen rakennusten perustuksiin ja rakennusrunkoihin. Ihmisen havaitsemasta maaperän kautta siirtyvästä värähtelystä käytetään kahta eri termiä. Maaperän kautta siirtyvän värähtelyn ollessa kuultavissa, se luokitellaan runkomeluksi, muussa tapauksessa se luokitellaan tärinäksi.

Useasti liikenteen tärinä ilmenee pienillä taajuuksilla, jotka eivät ole kuultavissa. Tärinälle tyypillinen pienitaajuinen värähtely etenee pehmeässä maaperässä tehokkaasti, mutta vaimenee kitkamailla melko nopeasti.

Runkomelulle ominaiset suuremmat taajuudet etenevät kalliossa ja kitkamaalajeissa tehokkaasti. Katujen varsilla runkomeluheräte kytkeytyy radasta rakennuksiin myös sivusuunnassa jäykän katurakenteen ja tiiviiden pintakerrosten välityksellä. Runkomelun kytkeytyminen rakennusrunkoon tapahtuu sekä rakennuksen perustusten että kadun puoleisten sokkelirakenteiden välityksellä.

#### 3.2 Runkomelun tavoitetasot

Runkomelun tavoitetasojen osalta kohteen sisätiloihin käytetään rakennuksen ääniympäristöasetuksen soveltamisohjetta [1] sekä VTT:n julkaisemia suositusarvoja [2]. Suositusten mukaan avoradalta kantautuvan raitioliikenteen runkomelun hetkellisten enimmäistasojen  $L_{pm}$  ei tule ylittää 35 dB asunnoissa tai majoitushuoneissa. Liiketiloihin tai niitä vastaaville huonetiloille ohjearvo on 45 dB. Runkomelun ohjearvon voidaan katsoa täyttyvän, kun vähintään 95 %:ssa ohiajoista esiintyvä runkomelun Slow-painotettu enimmäistaso  $L_{ASmax}$  jää ohjearvon alapuolelle.

Runkomelu on suurinta rakennuksen alimmassa kerroksessa, ja vaimenee kohti ylempiä kerroksia. Tiloihin aiheutuvia runkomelutasoja voidaan arvioida rakenteista mitattujen värähtelynopeussignaalien avulla. Tarkastelussa käytetään runkomeluherätettä kuvaavia A-painotettuja nopeustasoja (dB re 50 nm/s), jotka ovat verrannollisia värähtelystä sisätilaan aiheutuvan runkomelun äänitasoon.

Värähtelynä esiintyvän runkomeluherätteen ja huonetilaan syntyvän runkomelutason välinen suhde riippuu mm. maaperästä, rakennustyyppistä, rakennuksen perustustavasta ja siitä, mistä värähtely on mitattu. Kantavista runkorakenteista tai kallioperästä mitatut runkomeluherätteen tasot ovat noin 15...20 dB pienempiä kuin kyseiseen huonetilaan aiheutuvan runkomelun äänitasot. Runkomeluherätteen ja runkomelun välinen suhde vaihtelee myös riippuen huonetilan ja sen pintojen koosta ja mittasuhteista, rakenteista ja akustisesta vaimennuksesta.

#### 3.3 Tärinän tavoitearvot

Tärinän arviointi on tehty perustuen Ympäristöministeriön esittämiin liikennetärinän ohjearvoihin [1] ja VTT:n julkaisemaan ohjeistukseen [3-5]. Tärinän ohjearvot ilmoitetaan  $W_m$ -painotetun värähtelynopeuden enimmäisarvoina  $v_{w,95}$ , joita rakennuksen rakenteissa esiintyvä liikenteen ohiajoista aiheutuva värähtelynopeus ei saa säännöllisesti ylittää [3].

Uusien asuinrakennusten ja väylien ohjearvona on, että asuintiloissa esiintyvä tärinä jää alle 0,3 mm/s, jolloin keskimäärin vain 15 % asukkaista pitää sitä häiritsevänä. Hyvät asuinolosuhteet saavutetaan tärinän jäädessä alle 0,1 mm/s, jolloin ihmiset eivät yleensä havaitse värähtelyjä. Vanhojen asuinalueiden osalta ohjearvo on 0,6 mm/s, jolloin keskimäärin 25 % asukkaista pitää värähtelyä häiritsevänä. Tätä arvoa voidaan pitää soveltuvana myös liiketiloihin.

## 4 MITTAUSTULOKSET JA HAVAINNOT

Runkomelun ja tärinän analyysimenetelmät on kuvattu *liitteessä C*.

### 4.1 Ilmäänen mittaustulokset ja havainnot

Uuden ylioppilastalon puolella raitioliikenteen ohiajojen aikaiset mikrofoniilla mitatut kokonaisäänitasot ovat toisen kerroksen huonetilassa noin 39 dB ja kolmannen kerroksen huonetilassa noin 40 dB. Hotelli Seurahuoneen kabinetissa vastaavat kokonaisäänitasot ovat 44 dB.

Raitioliikenteen ohiajojen aiheuttamat kokonaisäänitasot koostuvat rakennuksen perustusten ja rakennusrungon välityksellä kytkeytyvän runkomelusta, julkisivun läpi kantautuvasta ilmäänenästä sekä huoneilojen ilmanvaihdon melusta.

### 4.2 Runkomelun arviointi mittaustulosten perusteella

Koska runkomelutasot ovat vain yksi osa huoneiloihin muodostuvasta kokonaismelutasosta, ne voivat olla enintään yhtä suuria kuin tiloissa mitatut ilmäänenäsitot.

Värähtelynä huoneilojen rakenteista mitatun runkomeluhäätteen ja ilmäänenä mitattujen kokonaismelutasojen perusteella voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset. Runkomeluhäätteestä aiheutuvan runkomelutason arvioidaan olevan 5...8 dB mitattua kokonaismelutasoa alempia Uuden ylioppilastalon toisen kerroksen huonetilassa. Kolmannessa kerroksessa runkomeluhäätteen runkomelutaso arvioidaan olevan 8...11 dB mitattua kokonaismelutasoa alempi. Hotelli Seurahuoneen puolella runkomelutason taas arvioidaan olevan 2...5 dB kokonaismelutasoa alempi.

Näiden korjaustermien jälkeen arvioiduiksi runkomelutasoiksi  $L_{prm}$  saadaan:

- 31...34 dB Uuden ylioppilastalon 2. kerroksessa. (+11.5 m)
- 29...32 dB Uuden ylioppilastalon 3. kerroksessa. (+15.5 m)
- 39...42 dB Uuden ylioppilastalon 1. kerroksessa (+8.3 m).

Mittaustuloksiin perustuva runkomelun kerrosvaimeneminen on 1...2 dB per kerros. Tämän perusteella ylempiä kerroksia koskevat runkomelutasot ovat mitattuja arvoja 1...2 dB alempia per ylempi kerros. Rakennusten sisäpihojen puoleisiin huoneiloihin arvioitu runkomelun etäisyysvaimenema on myöskin 1...2 dB verrattuna kadunpuoleisissa tiloissa esiintyviin melutasoihin.

Mittauspiste- ja kanavakohtaiset runkomeluhäätteen kokonaistason jakaumat ja terssispektrit on esitetty *liitteessä B*.

### 4.3 Kohteessa esiintyvät arvioidut runkomelutasot

Kohteessa tehtyjen mittausten perusteella asuin- ja majoitustilojen runkomelun 35 dB ohjearvo ei ylity Uuden ylioppilastalon 2.-7. kerrosten huoneiloissa. Hotelli Seurahuoneessa runkomelun tavoitearvo ylittyy rakennuksen 1-4 kerroksessa. Molempien rakennusten kerroksissa kadun- ja pihanpuoleisissa huoneiloissa esiintyviä raitioliikenteen runkomelutasoja on arvioitu *taulukossa 2 ja 3*. Arvioiduissa runkomelutasoissa on käytetty mittaustuloksiin perustuvaa kerrosvaimenemaa 2 dB ja laskennallista etäisyysvaimenemaa 1 dB.

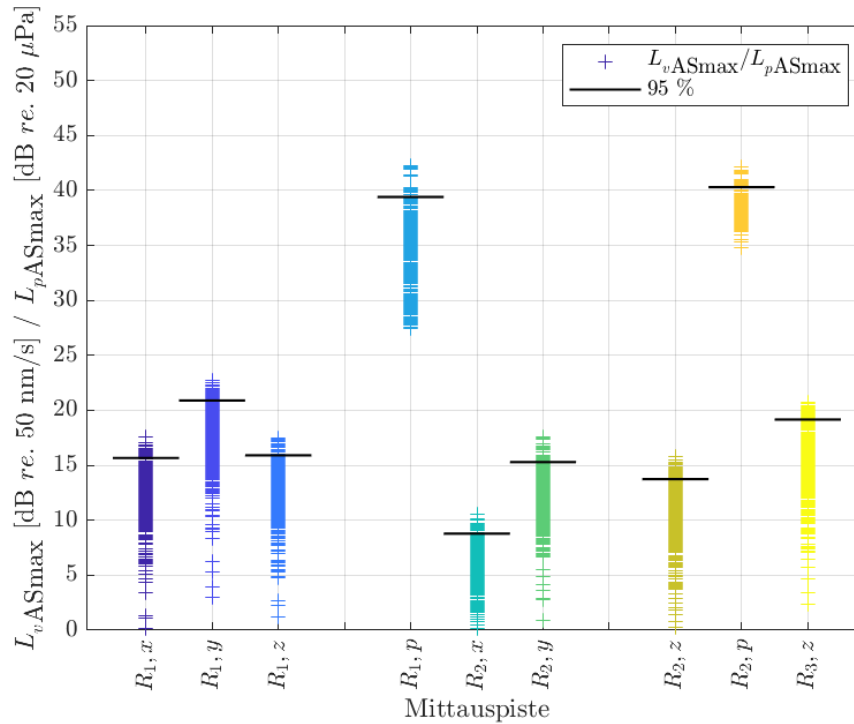
Taulukko 3. Mittaustuloksiin perustuva kerroskohtainen arvio runkomelutasoista Uuden ylioppilastalon sisätiloissa (\*laskennallinen runkomelutaso). Vihreällä merkityt tilat täyttävät majoitustilojen 35 dB suositusarvon.

kerros	Mannerheimintien puoleiset huonetilat	pihanpuoleiset huonetilat
katutaso/1 (+6.8m)	33...36 dB*	32...35 dB*
2 (+11.5 m)	31...34 dB	30...33 dB*
3 (+15.5 m)	29...32 dB	28...31 dB*
4...7 (+19.7...30 m)	< 30 dB*	< 30 dB*

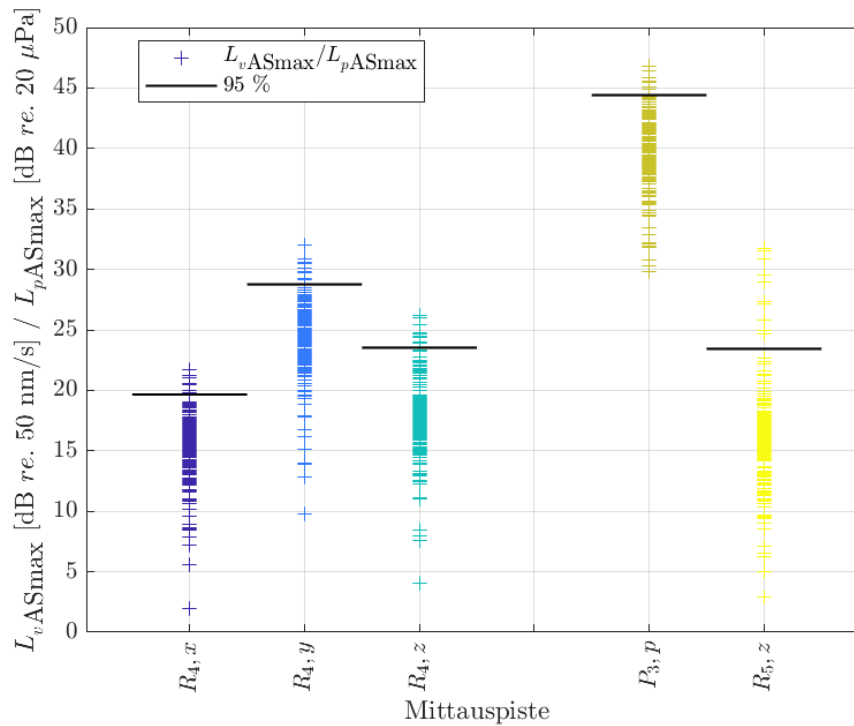
Taulukko 4. Mittaustuloksiin perustuva kerroskohtainen arvio runkomelutasoista Hotelli Seurahuoneen sisätiloissa (\*laskennallinen runkomelutaso). Vihreällä merkityt tilat täyttävät majoitustilojen 35 dB suositusarvon.

kerros	Kaivokadun puoleiset huonetilat	pihanpuoleiset huonetilat
katutaso (+4.5 m)	41...44 dB*	40...43 dB*
1 (+8.3 m)	39...42 dB	38...41 dB*
2 (+12.2 m)	37...40 dB*	36...39 dB*
3 (+16.3 m)	35...38 dB*	34...37 dB*
4 (+20.3 m)	33...36 dB*	< 35 dB*
5...6 (+22.91...25.86 m)	< 35 dB*	< 35 dB*





Kuva 4. Huonetilojen rakenteista mitatun runkomelua aiheuttavan värähtelyherätteen ohiajokohtaiset kokonaistasot sekä otoksen mittauspistekohtaiset 95% fraktiilit (poikkiviivat) Uuden ylioppilastalon mittauspisteissä R1-R3.



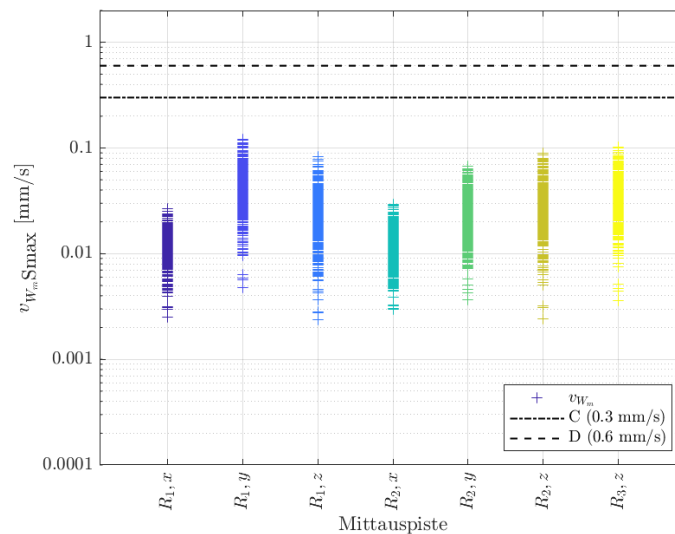
Kuva 5. Runkomelun värähtelyherätteen ohiajokohtaiset kokonaistasot sekä otoksen mittauspistekohtaiset 95% fraktiilit (poikkiviivat) Seurahuoneen kabinetin mittauspisteissä R4-R5.



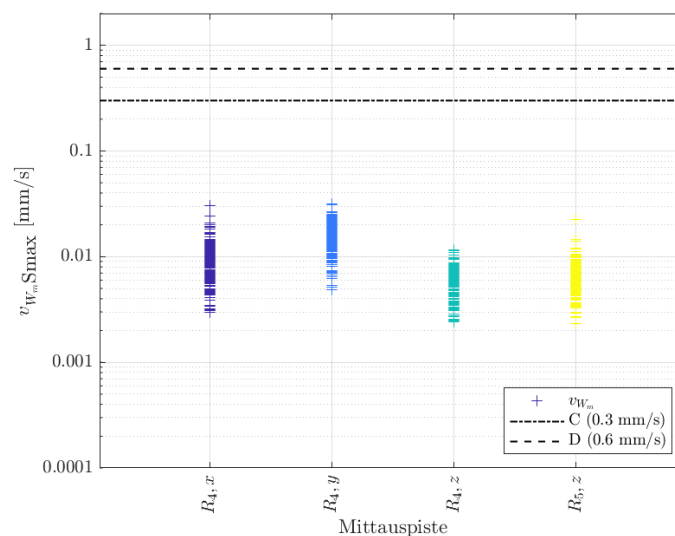
#### 4.4 Tärinän mittaustulokset

Tärinän mittaustulokset on esitetty *kuussa 6-7*. Raitioliikenteen ohiajojen aiheuttamat  $W_m$ -taajuuspainotetut Slow-aikapainotetut tärinän enimmäisarvot alittavat asuntojen 0,3 mm/s sekä liiketilojen 0,6 mm/s tavoitearvot. Myös hyvien asuinolosuhteiden tavoitearvo 0,1 mm/s täyttyy myös lähes kaikissa mittauspisteissä.

Mittauspiste- ja kanavakohtaiset tärinän kokonaisarvojen jakaumat ja terssispektrit on esitetty *liitteessä B*. Uuden ylioppilastalon mittauspisteiden R1 ja R2 spektreissä nähdään 16 Hz taajuudella esiintyvä maaperän resonanssi. Tärinähaittoja ei esiinny nyt mitatuissa tiloissa, mutta korjausrakentamisen kannalta on aiheellista välttää sellaisia uusia välipohjarakenteita, joiden ominaistaajuus osuu 16 Hz lähistölle.



Kuva 6. Ohiajoista aiheutuvan tärinän  $W_m$ -painotetut enimmäisarvot Uuden ylioppilastalon mittauspisteille R1-R3 sekä asuin- ja liiketilojen tärinän ohjearvot 0,3 mm/s ja 0,6 mm/s.



Kuva 7. Ohiajoista aiheutuvan tärinän  $W_m$ -painotetut enimmäisarvot Seurahuoneen kabinetin mittauspisteille R4-R5 sekä asuin- ja liiketilojen tärinän ohjearvot 0,3 mm/s ja 0,6 mm/s.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET

### 5.1 Tärinän vaikutukset

Mittaustulosten perusteella liikenteen aiheuttama tärinä ei ole ongelma kohteen rakennuksissa. Liikenteen tärinähaittojen välttämiseksi Uuden ylioppilastalon välipohjien osalta tulee kuitenkin välttää rakenteita, joiden ominaistajuus on 16 Hz tai sen lähellä. Hotelli Seurahuoneen osalta vastaava rajoitusta ei ole.

### 5.2 Runkomelun vaikutukset

Mittaukset osoittavat, että Uuden ylioppilastalon puolella raitiliikenteen runkomelutasot täyttävät asuintilojen 35 dB ohjearvon, mutta **Hotelli Seurahuoneen 1.-4. kerroksessa runkomelun ohjearvo ylittyy**. Hotelli Seurahuoneen puolella liikennemelua kantautui sisätiloihin myös ikkunoiden kautta. Sisätiloissa esiintyneet korkeat kokonaisäänitasot voivat osaltaan vaikuttaa myös huonetilojen sisäpintojen värähtelyyn, jolloin tiloihin perustusten ja rakennusrungon kautta kantautuvat runkomelutasot saattavat todellisuudessa olla jonkin verran nyt mitattua pienempiä.

Hotelli Seurahuoneen osalta on huomioitava, että Seurahuoneen käyttötarkoitus pysyy samana, jolloin ympäristöministeriön asetuksen mukaan: *”Rakennuksen ääneneristystä, melun- ja tärinätorjuntaa, ääniolosuhteita sekä virkistykseen käytettävien rakennuksen piha- ja oleskelualueiden sekä oleskeluun käytettävien parvekkeiden meluntorjuntaa ja ääniolosuhteita ei saa rakennuksen korjaus- tai muutostyössä heikentää.”*

### 5.3 Runkomelun torjuntamahdollisuudet

Mittaustulosten perusteella vaikuttaa siltä, että Hotelli Seurahuoneen kohdalla kalliopinta on lähellä sekä raitiotien että rakennuksen perustuksia. Runkomelu kytkeytyy raitiotien perustuksista kallioperän välityksellä Hotelli Seurahuoneen rakennuksen perustuksiin. Lisäksi värähtelyherätettä kytkeytyy katualueen koviin pintarakenteiden välityksellä suoraan rakennusrungon kylkeen.

Vanhan ja suojellun rakennuksen perustusten kautta rakennusrunkoon kytkeytyvää runkomeluerätettä ei käytännössä ole mahdollista torjua rakennuksen ulkopuolella, koska rakennuksen perustusten ja maa/kallioperän väliin ei pystytä sijoittamaan värähtelyn etenemisreitit katkaisevaa joustavaa eristystä.

Kohteen kannalta suositeltavin runkomelun torjuntaratkaisut on seuraava:

- 1) Haetaan rakennusvalvontaviranomaiselta lupaa ylittää runkomelun suositusarvot Hotelli Seurahuoneen majoitustiloissa. Perusteluna on, että uudisrakentamiseen tarkoitettuja ohjearvoja ei ole mahdollista saavuttaa vanhassa suojellussa rakennuksessa. Myöskään rakennuksen käyttötarkoitus ei muutu, eikä ääniolosuhteita heikennetä aiempaan nähden. Rakennuksen ääniympäristöasetuksen soveltamisohjeen vaatimuksia ja ohjearvoja sovelletaan lähtökohtaisesti uudisrakentamiseen. Vaatimuksia ei sovelleta suojeltaviin rakennuksiin, jos vaatimusten noudattaminen aiheuttaisi sellaisia muutoksia, joita ei voida pitää hyväksyttävänä. Vanhan rakennuksen perustuksiin tai sisätiloihin kohdistuva laaja eristysvaatimus voisi olla luonteeltaan tätä vastaava muutostoimenpide, jota ei käytännössä voida toteuttaa.

Muita periaatteellisia ratkaisumalleja ovat seuraavat:

- 2) Neuvottelu HKL:n kanssa raitioteiden ratarakenteiden avaamisesta ja runkomelueristämisestä rakennuksen kohdalla. Eristettävän rataosuuden tulisi ulottua noin 20-30 m sivuetäisyydelle rakennuksen molemmin puolin.

Ratkaisu olisi teknisesti tehokas, mutta sen toteuttaminen on logistisesti haastavaa, koska tarvittavat ratatyöt aiheuttaisivat merkittävää haittaa raitioliikenteelle. Ratkaisun perusedellytyksenä olisi myös, että HKL saadaan sitoutumaan mukaan hankkeeseen.

- 3) Kadun pintarakenteen välityksellä rakennusrunkoon kytkeytyvän runkomelun eristäminen, käyttäen jäykän katurakenteen ja rakennuksen kadunpuoleisen sokkelin väliin asennettavaa joustavaa pystysuuntaista eristekaistaa.

Tämä ratkaisu ei hyvin todennäköisesti ole yksinään teknisesti riittävä tuottamaan tarvittavaa vaimennusta, koska kadun pintarakenteen eristäminen rakennusrungosta ei vaikuta rakennuksen perustusten välityksellä rakennusrunkoon kytkeytyvään runkomeluherätteeseen.

- 4) Huone-huoneessa -rakenneratkaisut rakennuksen sisätiloihin.

Ratkaisu olisi teknisesti mahdollinen, mutta toteutuskustannuksiltaan kallis ja detaljitason toteutukseltaan vaativa ja monimutkainen. Huone-huoneessa-ratkaisu ei ole toteutuskelpoinen suojeltujen sisätilojen osalta. Rakenteiden suunnitteluun ja toteutukseen liittyy haasteita myös runkomelun torjunnan kannalta riittävän pienitaajuisen äänieristävyuden saavuttamisessa.

- 5) Majoituskäyttöön tarkoitettujen tilojen sekä muiden toimintojen järjestely siten että runkomelutasot kussakin sijainnissa alittavat toimintoa koskevat ohjearvot.

Mikäli kohteen osalta päädytään runkomelun rakenteellisiin torjuntatoimiin, tarvittavien eristysratkaisuiden suunnittelu ja mitoitus tulee tehdä tiiviissä yhteistyössä akustiikkasuunnittelijan ja rakennesuunnittelijan välillä.

Timo Peltonen  
DI, FISE PV (akustiikka)

Mats Heikkinen  
DI, akustikko

## LIITTEET

Liite A. Valokuvia mittauspisteistä

Liite B. Runkomelun ja tärinän kokonaistasot ja terssispektrit mittauspisteittäin

Liite C. Runkomelun ja tärinän analyysimenetelmät

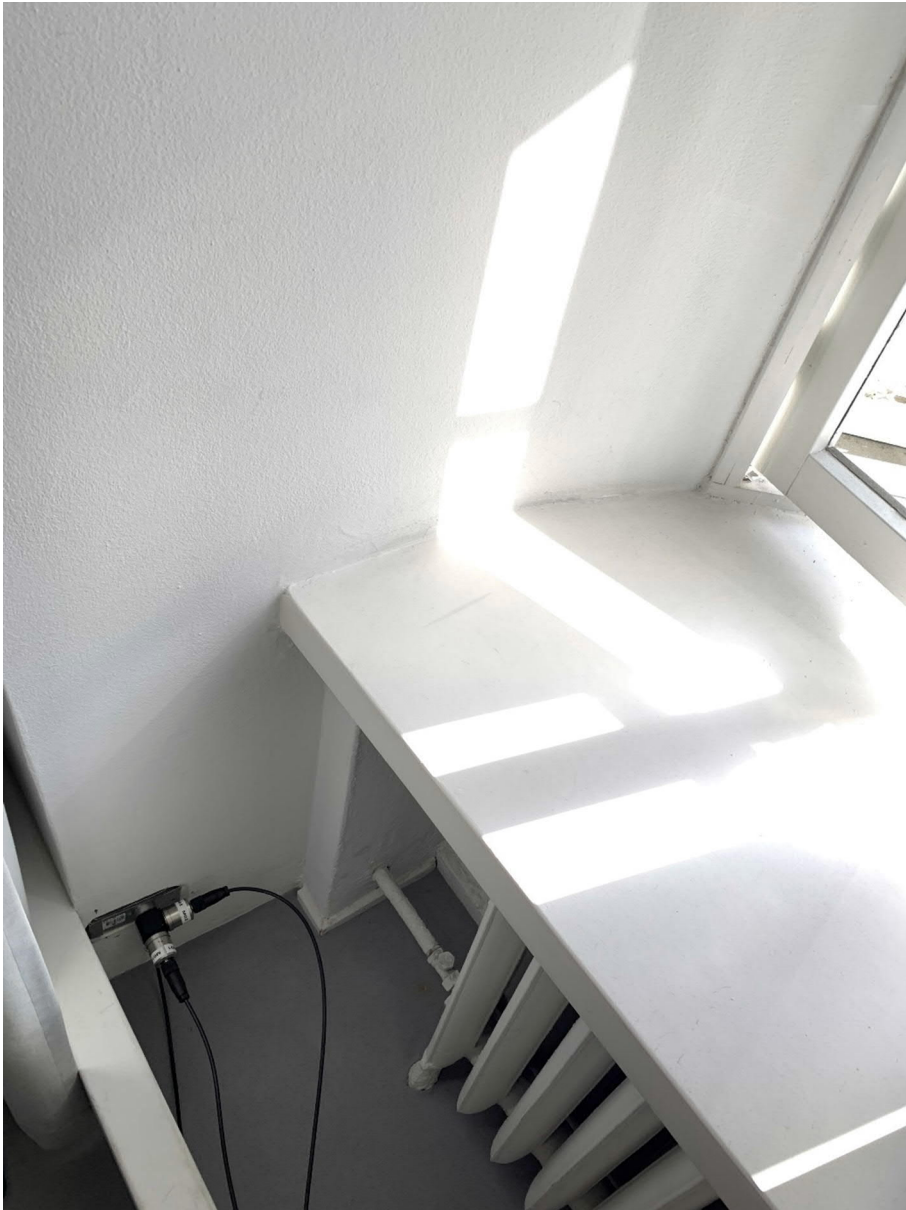
## VIITTEET

1. Ympäristöministeriö. Ääniympäristö – Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017. 2018.
2. Talja A. Ohjeita liikennetärinän arviointiin. VTT Tiedotteita 2569. Espoo, 2011.
3. Talja A. Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta. VTT Tiedotteita 2278. Espoo, 2004.
4. Talja A., ym. Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi. VTT Tiedotteita 2425. Espoo, 2008.
5. Talja A. Ohjeita liikennetärinän arviointiin. VTT Tiedotteita 2569. Espoo, 2011.

## LIITE A. VALOKUVIA MITTAUSPISTEISTÄ

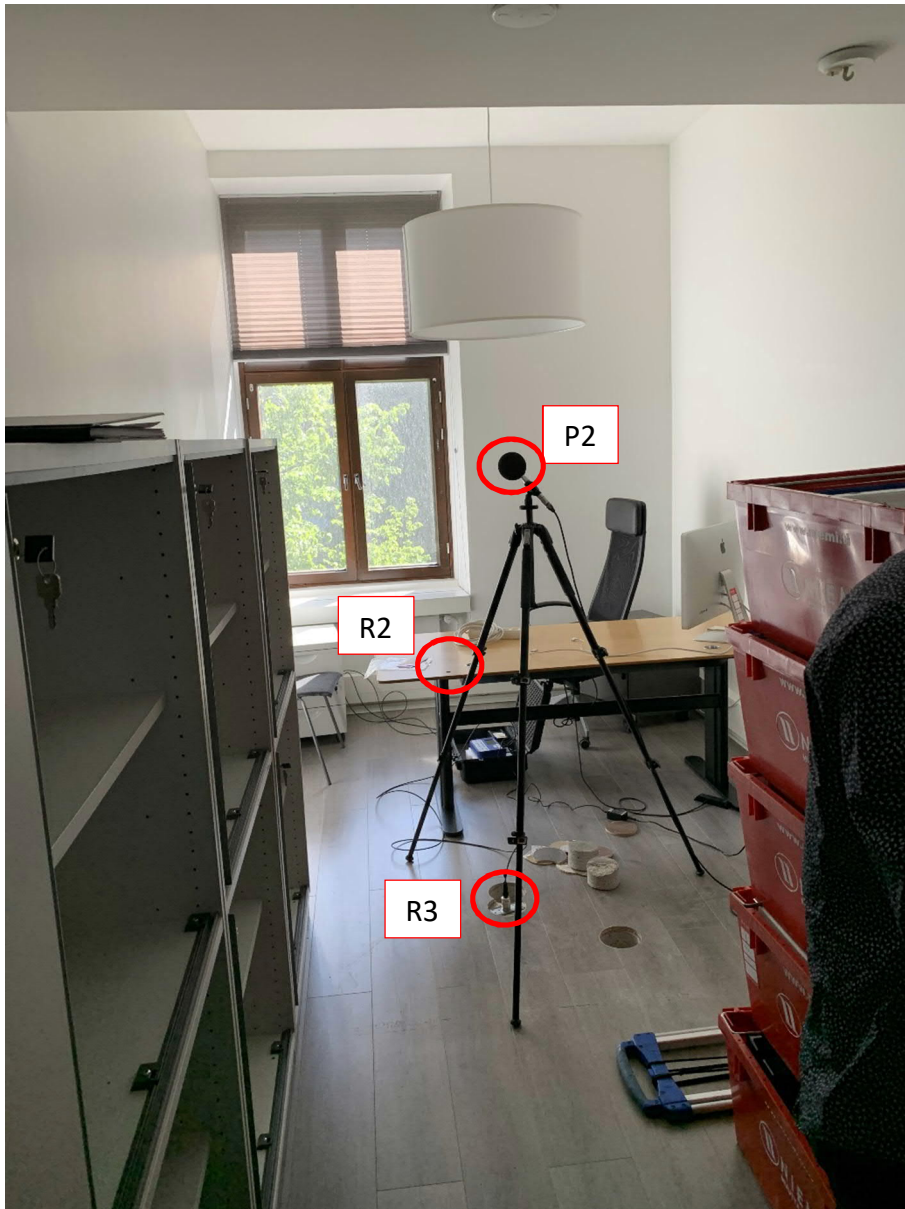


Kuva A1. Mittauspisteet R1 ja P1 Uuden ylioppilastalon toisessa kerroksessa.



*Kuva A2. Lähikuva mittauspisteestä R1 Uuden ylioppilastalon toisessa kerroksessa.*





Kuva A3. Mittauspisteet R2-R3 ja P2 Uuden ylioppilastalon kolmannessa kerroksessa.



*Kuva A4. Lähikuva mittauspisteestä R2 Uuden ylioppilastalon kolmannessa kerroksessa.*





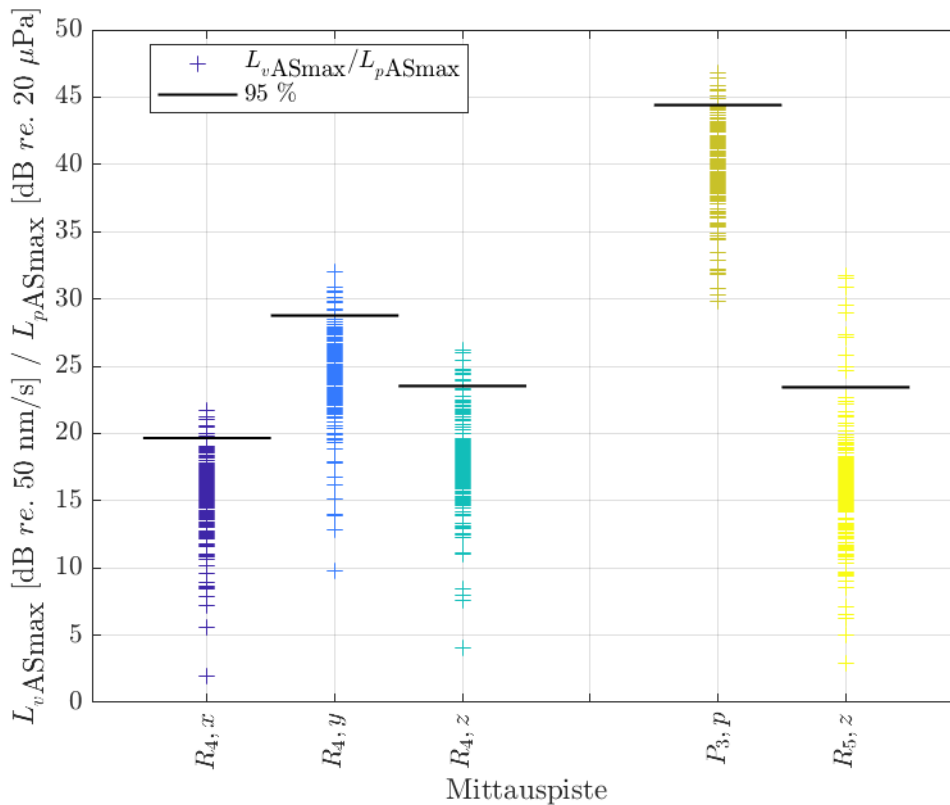
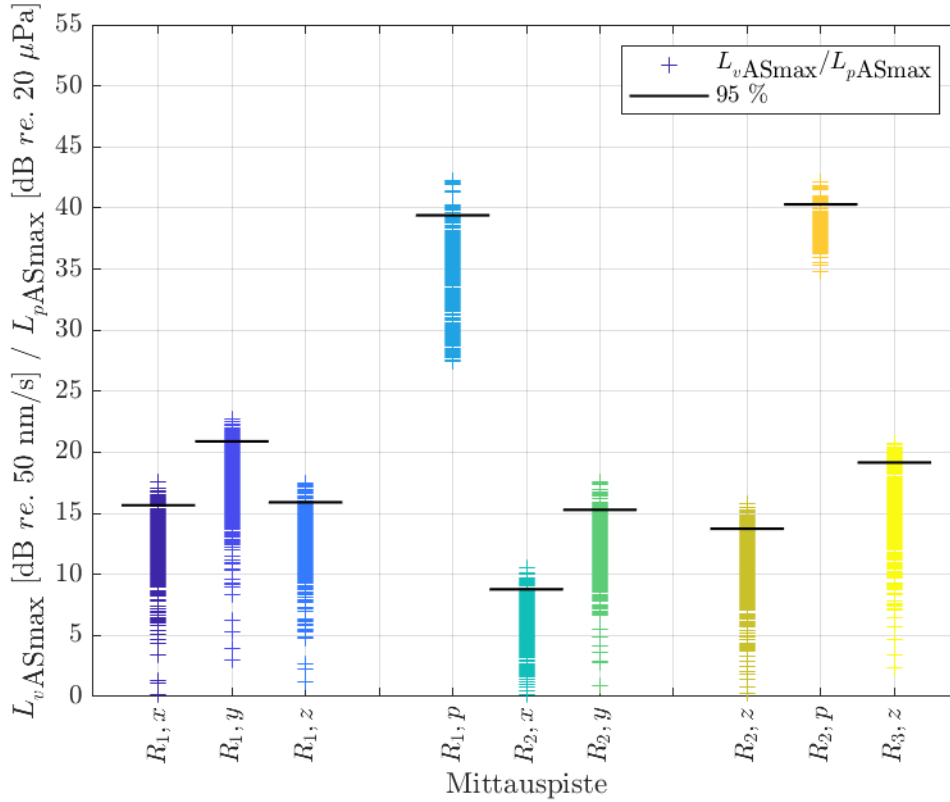
Kuva A3. Mittauspisteet R4-R5 ja P3 Hotelli Seurahuoneen kabinetista.



Kuva A6 ja A7. Lähikuvat mittauspisteistä R4 (vasemmalla) ja R5 (oikealla) Hotelli Seurahuoneen kabinetista.

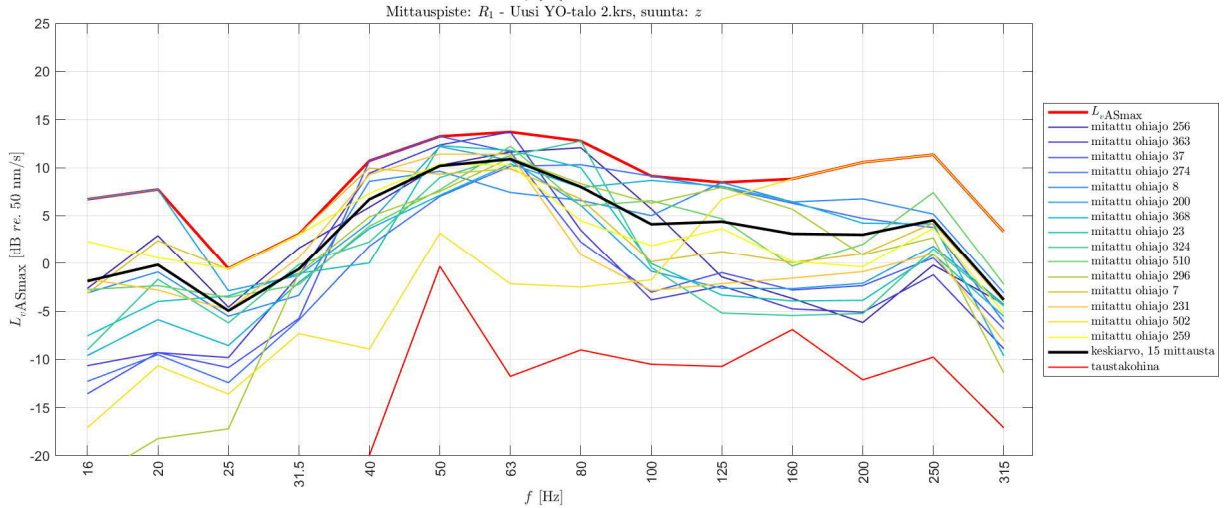
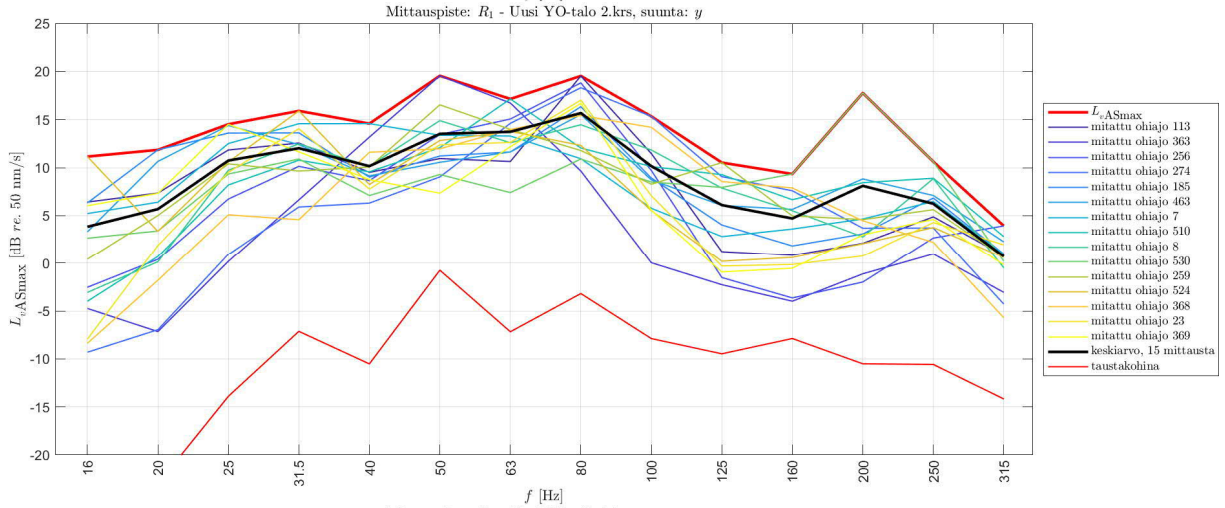
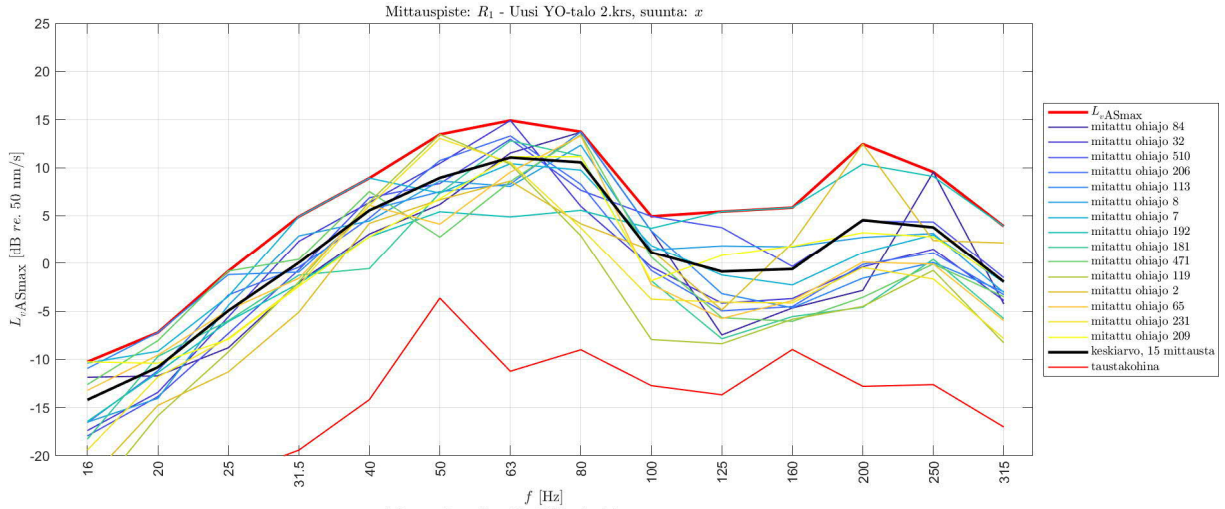
**LIITE B. MITTAUSTULOKSET**

**B1.1 RUNKOMELUN HERÄTETASOT**

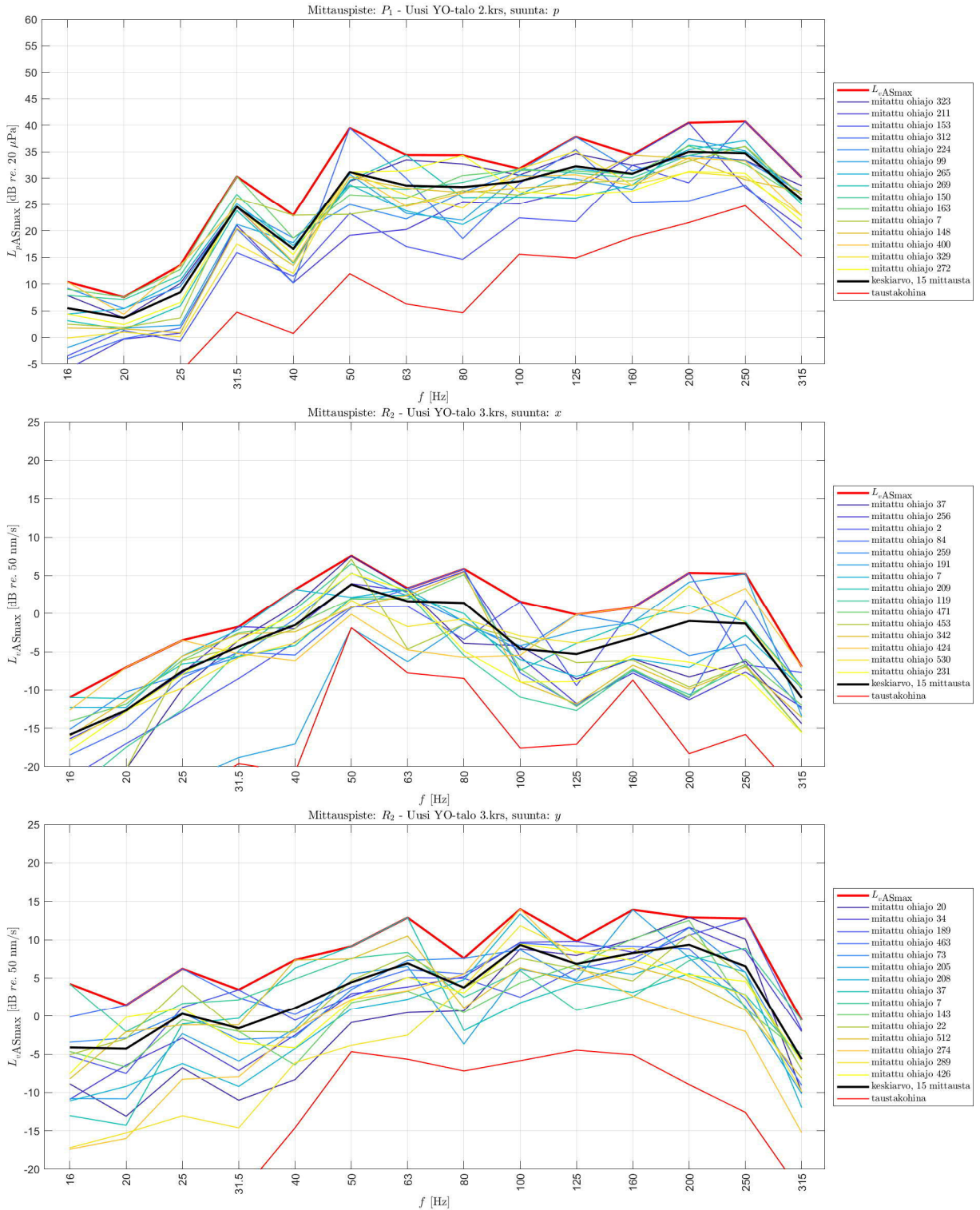


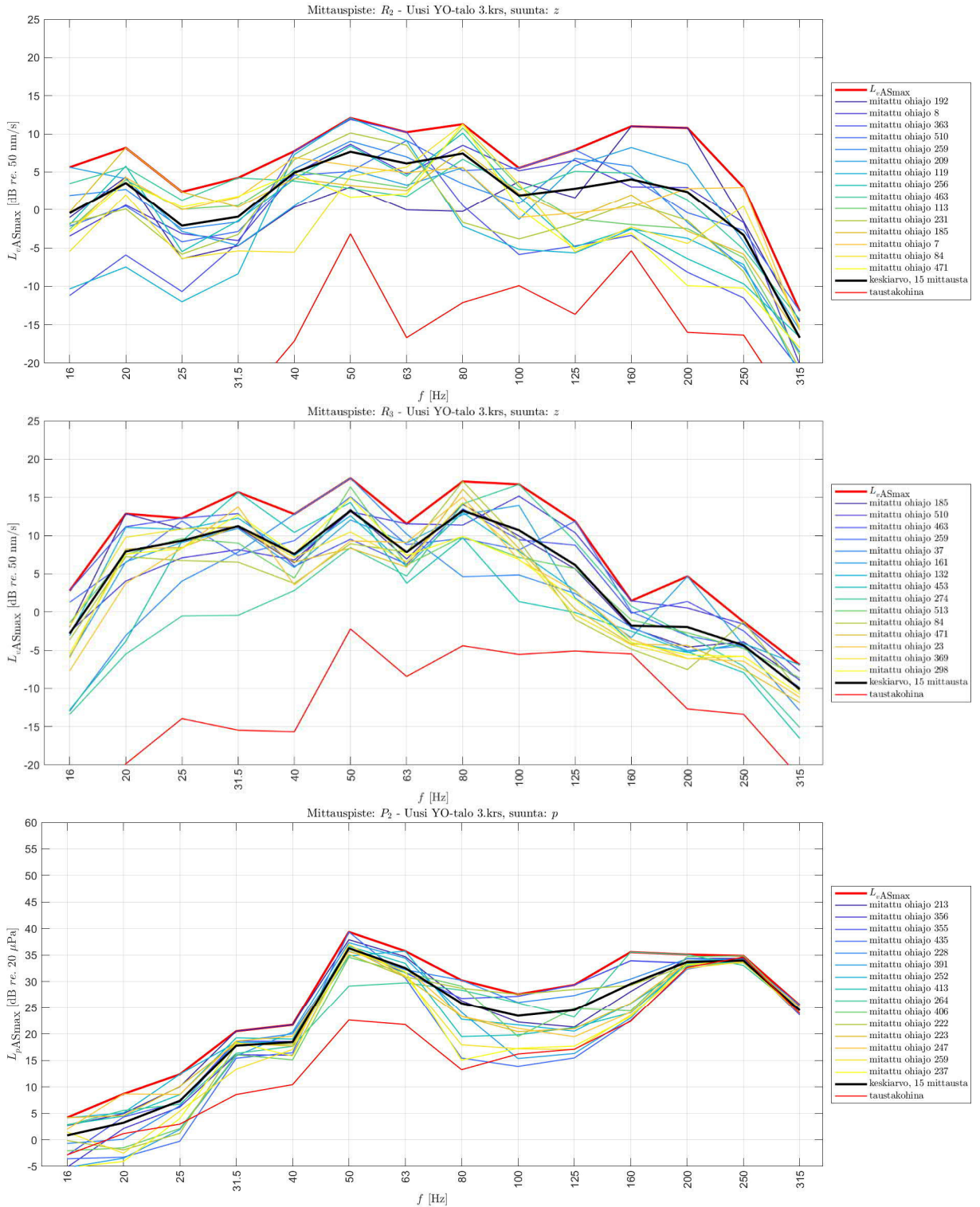
**B1.2**

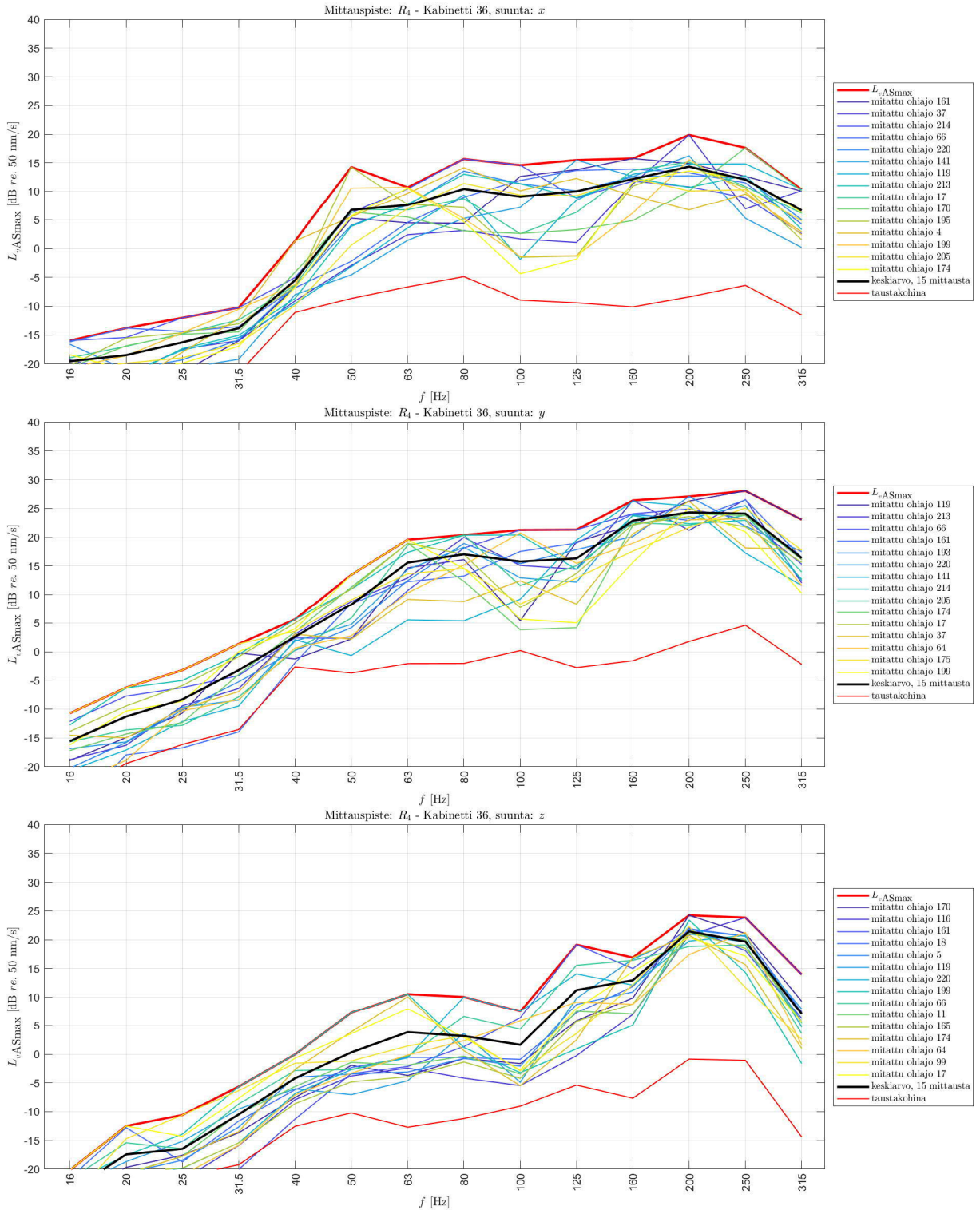
**RUNKOMELUN HERÄTETASOJEN TERSSISPEKTRIT**

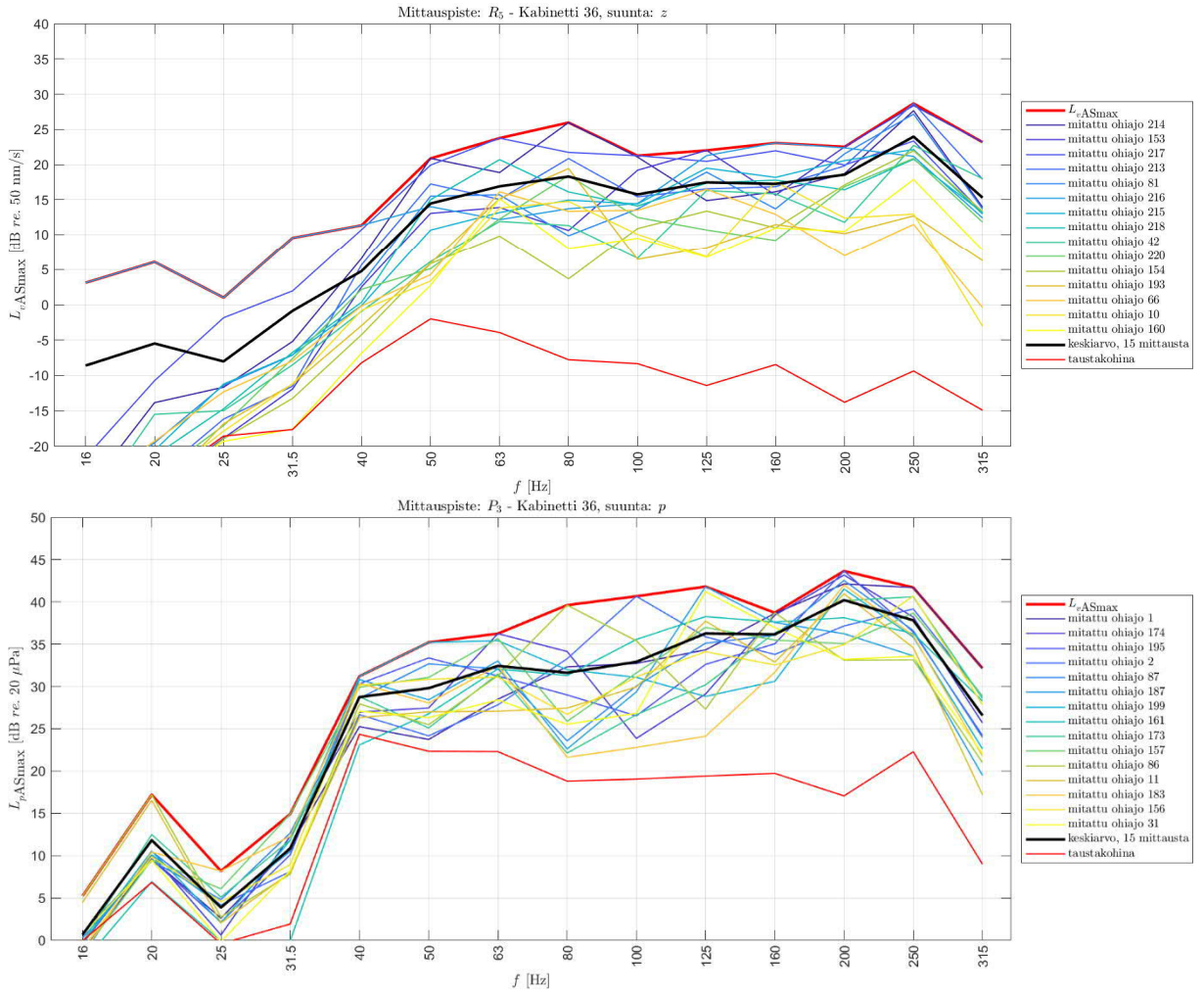








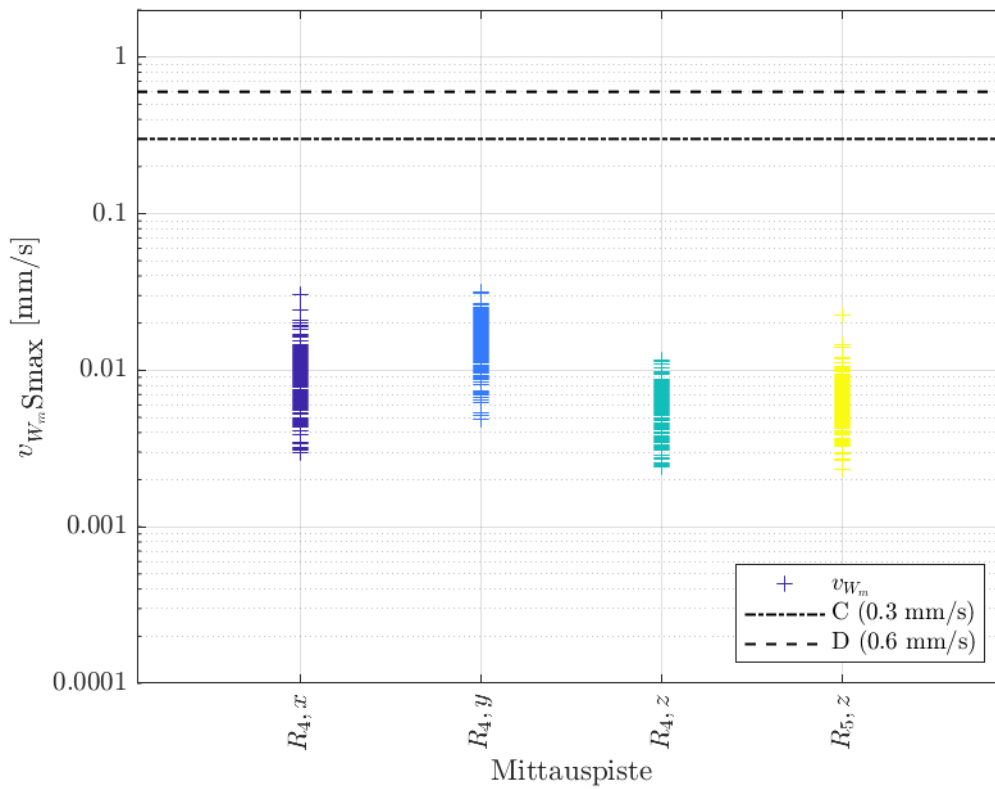
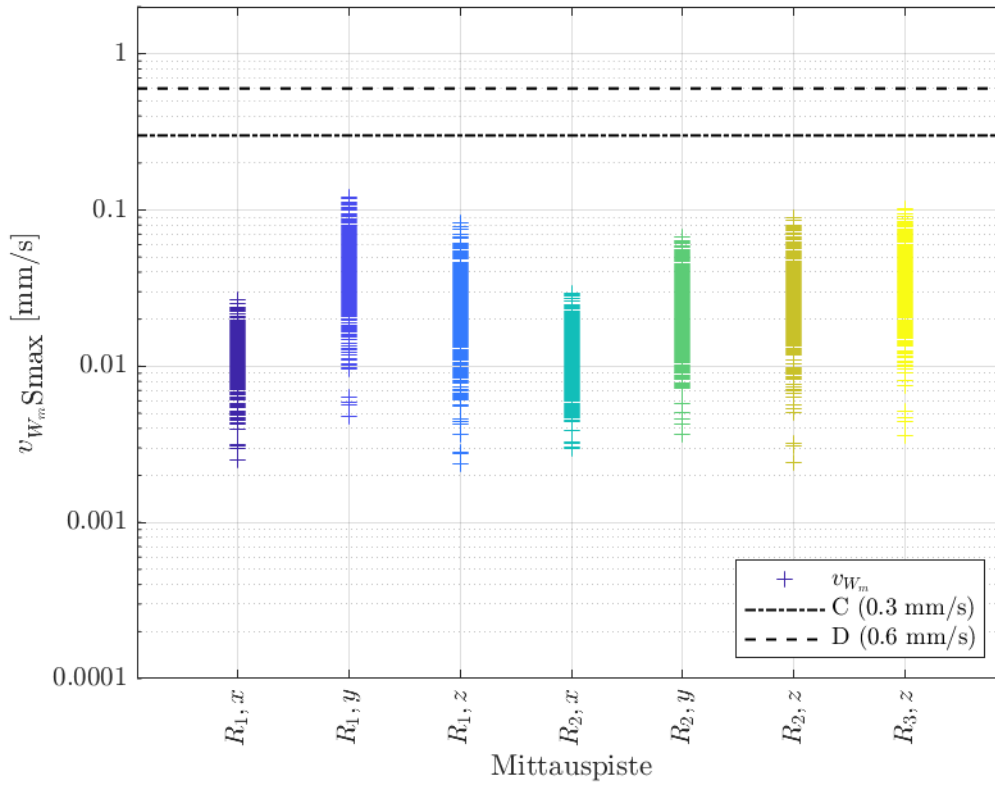






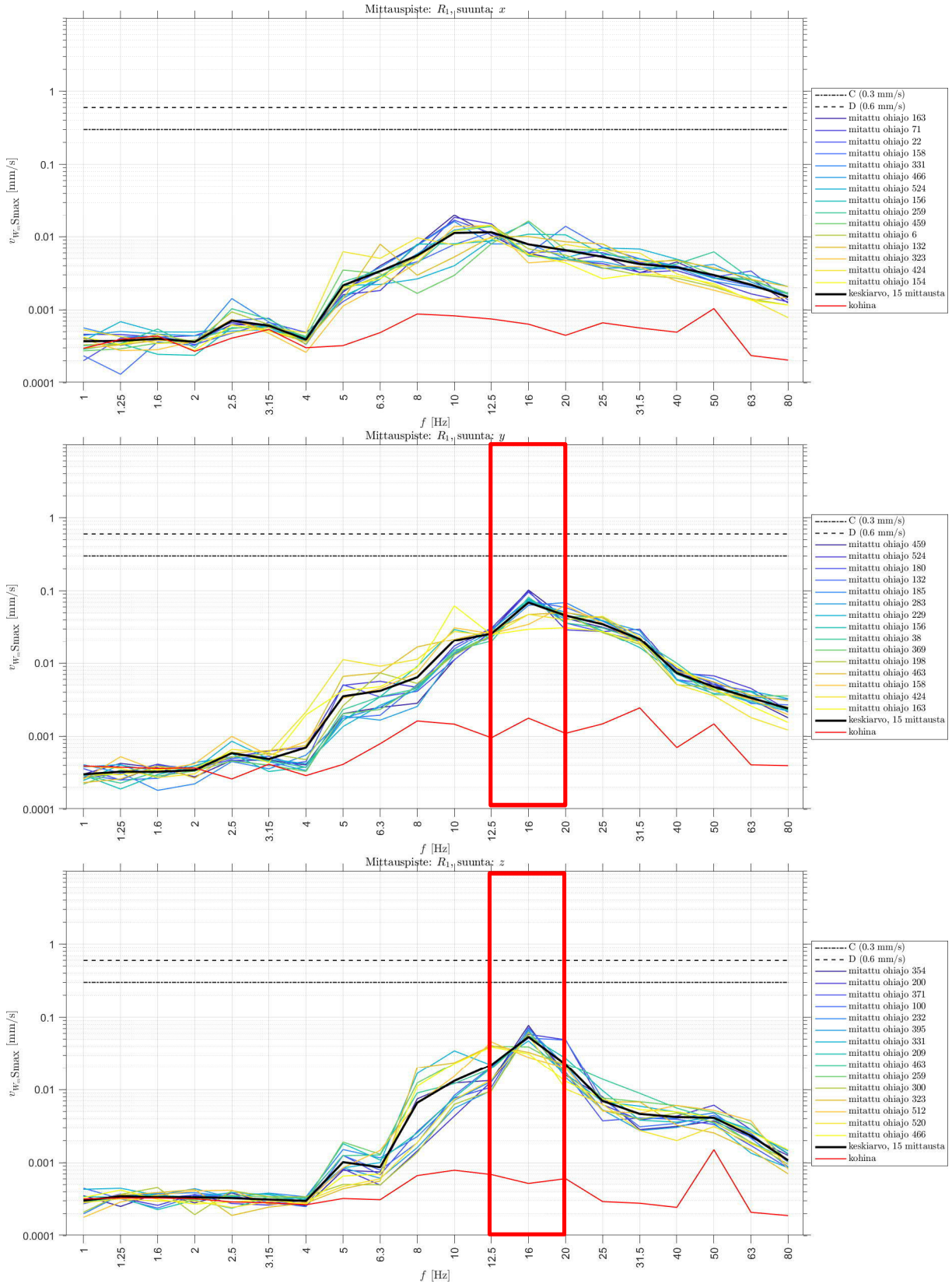
A1.3

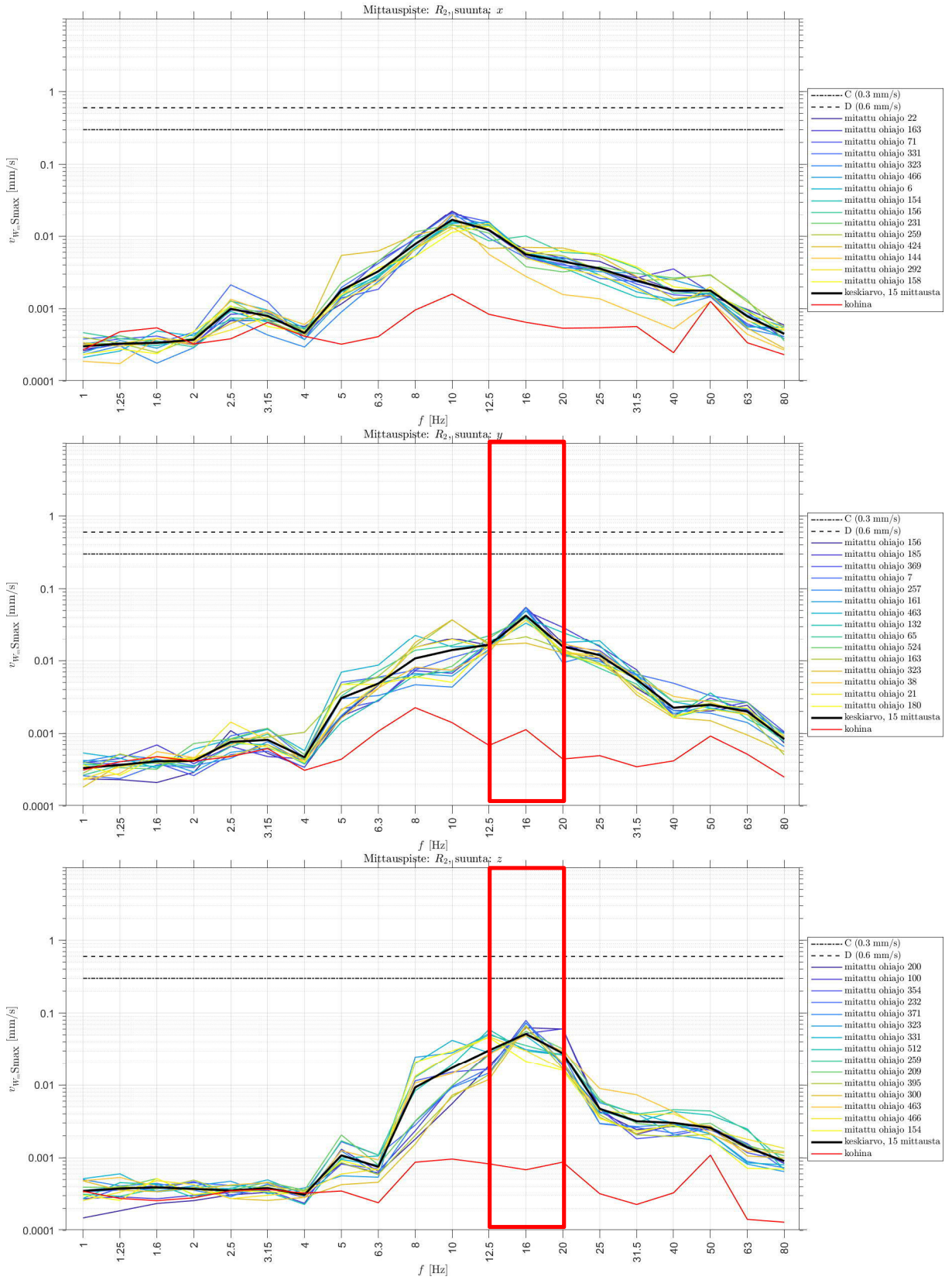
TÄRINÄN MITATUT KOKONAISARVOT

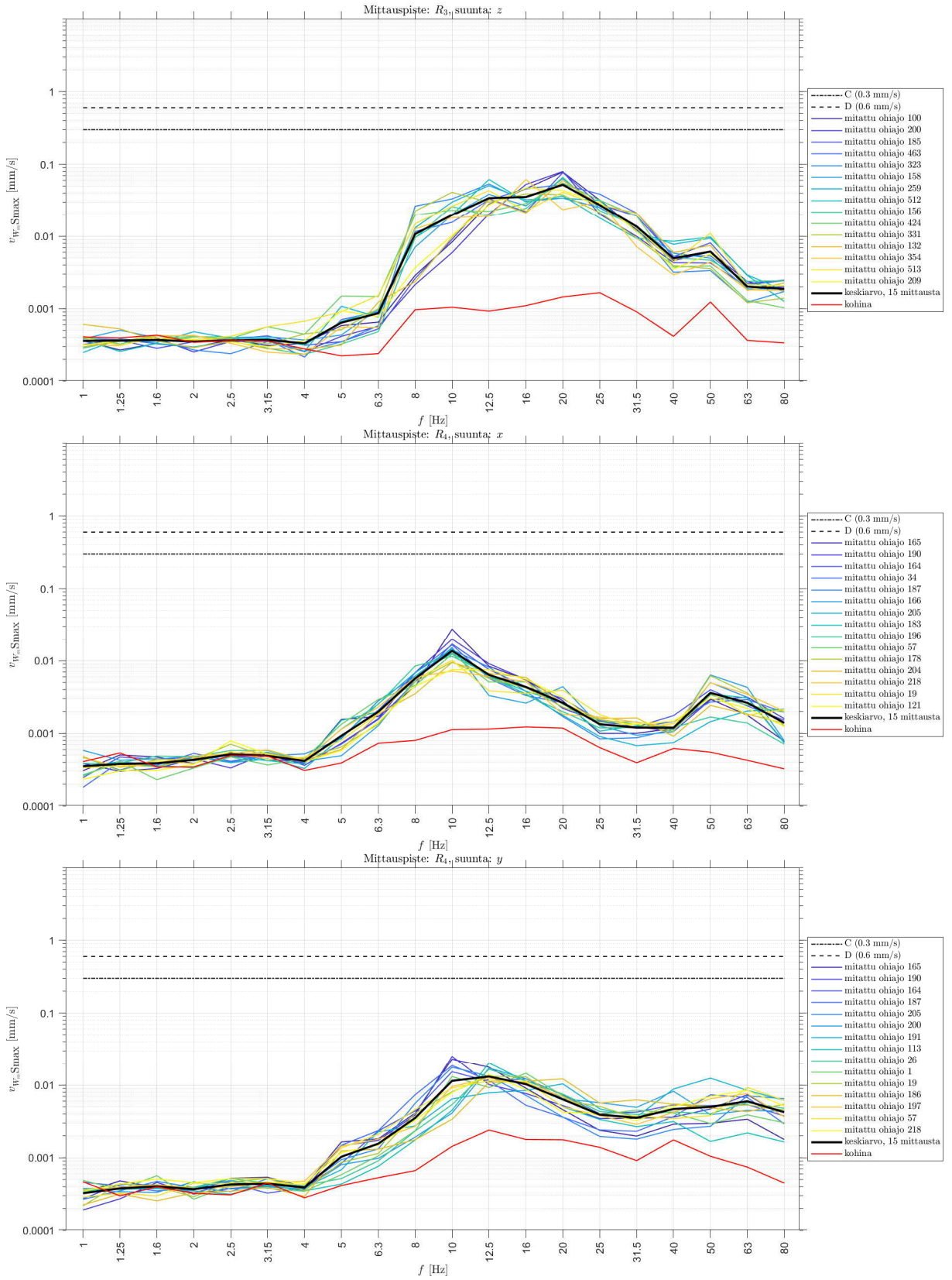


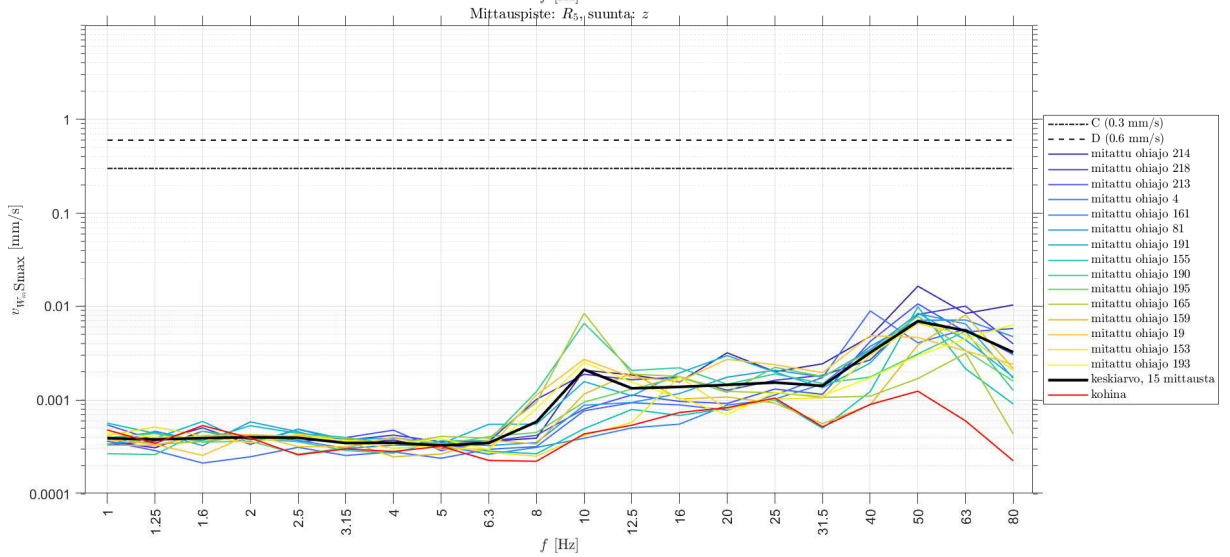
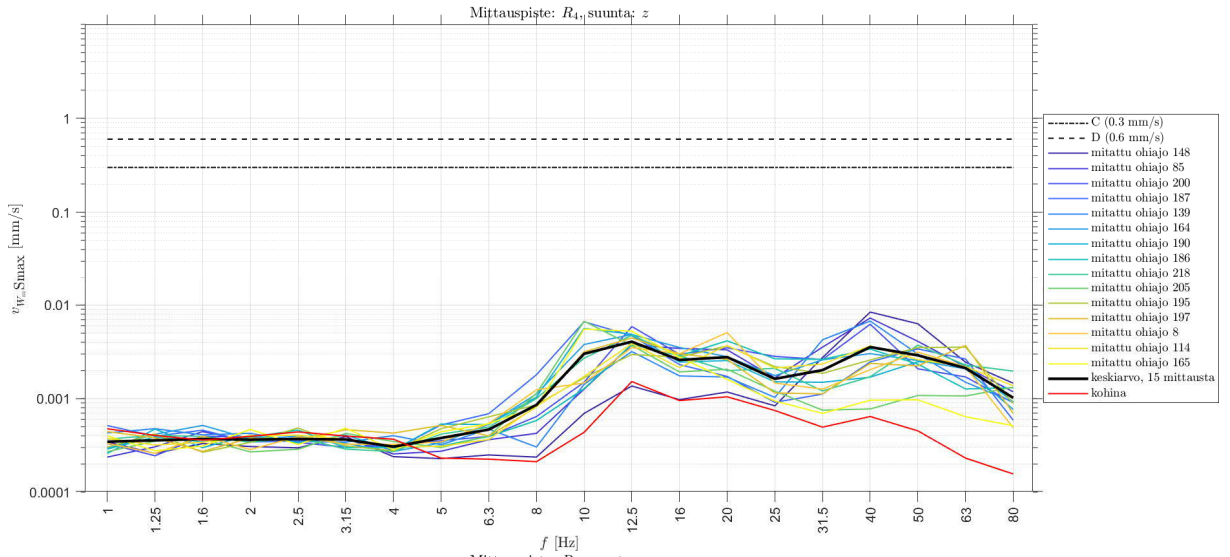
**A1.4**

**TÄRINÄN TERSSISPEKTRIT**











## LIITE C. RUNKOMELUN JA TÄRINÄN ANALYYSIMENETELMÄT

### Runkomelun analyysimenetelmät ja tunnusluvut

Mitatuista kiihtyvyyssanturien värähtelysignaaleista sekä mikrofonien äänipainesignaaleista analysoitiin raitiovaunujen ohiajojen aikaisista aikaikkunoista runkomeluberätteen tasot sekä terssikaistaiset spektrit. Runkomelutasojen ja herätetasojen arviointiin käytettiin A-taajuuspainotusta ja Slow-aikapainotusta, ja jokaiselle ohiajolle laskettiin ohituksen aikainen enimmäisarvo  $L_{vASmax}$  (dB re 50 nm, runkomeluberätteelle) ja  $L_{pASmax}$  (dB re 20  $\mu$ Pa, runkomelutasolle).

Ohiajojen aiheuttaman runkomelun taajuussisältöä tarkasteltiin A-painotettujen terssispektrien avulla.

### Tärinän analyysimenetelmät ja tunnusluvut

Mitatuista värähtelysignaaleista analysoitiin mittauspisteissä esiintyvät värähtelynopeudet, jotka  $W_m$ -taajuuspainotettiin standardin ISO 2631-2 [4] mukaan. Painotus on linjassa VTT:n ohjeiden kanssa. [1,2,3]

### Laajakaistainen tarkastelu

Suodatetusta laajakaistaisesta värähtelystä analysoitiin kunkin mitatun ohiajon aikana esiintyvä Slow-aikapainotettu maksimiarvo mittauspisteittäin ja suunnittain. Jokaisen maksimin kohdalta analysoitiin myös värähtelyn  $W_m$ -painotettu terssispektri.

Mitatuista painotetuista värähtelynopeuksista laskettiin edelleen joukko tunnuslukuja, jotka kuvaavat rakennusrunkoon mahdollisesti kytkeytyvän värähtelyn suuruutta. Näitä verrataan edelleen värähtelyn suositusarvoon 0,6 mm/s, jolloin nähdään missä mittauspisteissä ja suunnissa alueella esiintyvä värähtely voi muodostaa värähtelyhaittojen riskin kohteen käyttäjien kannalta.

VTT:n ohjeistuksen mukaisesti tarkasteluun valittiin kussakin mittauspisteessä ja mittaussuunnassa 15 kokonaistasoltaan suurinta ohiajoa. Näistä laskettiin värähtelyn tilastollinen tunnusluku  $w_{w,95}$  [1-3].

### Rakennusten resonanssitarkastelu

Rakennusten resonanssitarkastelussa arvioitiin mitatun rakennusrungosta ja välipohjista mitatun värähtelyn vaaka- ja pystykomponenttien terssispektrejä. VTT:n menetelmän mukaisesti jokaisen mittauskanavan 15 suurimman ohiajon spektreistä muodostettiin painotettu keskiarvospektri. Spektrien huiput osoittavat resonanssitaajuuksia, joilla liikenteen värähtelyheräte sisältää eniten energiaa kyseisessä mittauspisteessä.