



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

RAKENNUSTEKNIIKAN LAITOS
TUTKIMUSSELOSTUS RTEK/2491/2017

ILMAÄNENERISTÄVYYDEN ROUND ROBIN -TESTI

12.5.2017

**Tutkimusselostus RTEK/2491/2017**

27 sivua + 2 liitesivua

Tilaaaja	Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry Gunnar Åström Lapinlahdenkatu 1 B 00180 Helsinki puh. 040 514 4823 gunnar.astrom@ril.fi
Tehtävä	Vuoden 2016 ilmastueneristävyyden round robin -testin raportointi
Selostuksen laatijat	Jesse Lietzén, dipl.ins. Mikko Kylliäinen, tekn. lis. Tampereen teknillinen yliopisto Rakennustekniikan laboratorio PL 600 33101 Tampere Puhelinvaihte: (03) 311 511
Jakelu	RIL ry:n akustiikkatoimikunta 1 kpl TTY / Rakennustekniikan laboratorion arkisto 2 kpl Tutkimusselostuksen laatijat 2 kpl Testiin osallistuneet organisaatiot 14 kpl

Tutkimustulokset pätevät **ainoastaan tutkituille rakenteille**.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

**SISÄLLYSLUETTELO**

1	JOHDANTO	3
2	MITTAUKSET	5
	2.1 Mittauskutsu ja järjestelyt	5
	2.2 Mittausmenetelmä	6
	2.3 Tulosten määrittäminen	6
3	TULOKSET	8
	3.1 Ilmaääneneristävyys R'	8
	3.2 Standardisoitu äänitasoero D_{nT}	13
4	TULOSTEN TARKASTELU	17
	4.1 Mittausmenetelmän vaikutus	17
	4.2 Tilavuuden vaikutus	18
	4.3 Muista poikkeavat tulokset	21
	4.4 Mittausten epävarmuus	21
5	YHTEENVETO	24
	LÄHTEET	26
	LIITTEET	27

Tutkimustulokset pätevät **ainoastaan tutkituille rakenteille**.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



1 JOHDANTO

Round robin -testillä tarkoitetaan laboratorioden välistä testiä, joka suoritetaan useaan otteeseen toisistaan riippumatta eri operaattoreiden toimesta. Näin testiin osallistuvat pääsevät vertaamaan mittaustuloksiaan muiden toimijoiden saamiin tuloksiin. Ilmaääneneristävyyden round robin -testien tarkoituksena on yleensä selvittää mittausten epävarmuutta. Viime aikoina testeillä on erityisesti haluttu selvittää mittausedpävarmuutta pienillä taajuuksilla (esim. [1-5]). Round robin -testejä on järjestetty sekä laboratorioden että kenttämittauksia tekevien toimijoiden välillä. Laboratorioden välisten testien avulla halutaan selvittää laboratorioden välistä epävarmuutta, kun taas kenttämittausten testeissä selvitetään toimijoiden välistä epävarmuutta. Kun kenttämittaukset tehdään samojen tilojen välillä, saadaan selville mm. kalustosta, mittaustavasta ja mittaajasta aiheutuvat mittaustulosten vaihtelut.

Round robin -testien avulla on tyypillisesti määritetty mittausten toistettavuutta ja uusittavuutta (engl. repeatability ja reproducibility). Toistettavuudella tarkoitetaan toisistaan riippumattomien testitulosten välistä erotusta, kun tulokset on saatu aikaan samoilla menetelmillä, identtisille testimateriaaleille, samassa laboratoriossa, samalla mittauskalustolla ja saman operaattorin toimesta lyhyen aikavälin sisällä. Toisin sanoen toistettavuus kuvaa laboratorion tai toimijan sisäistä mittausedpävarmuutta. Uusittavuudella tarkoitetaan toisistaan riippumattomien testitulosten välistä erotusta, kun tulokset on saatu samoilla menetelmillä, identtisille testimateriaaleille, eri laboratorioissa ja eri operaattoreiden toimesta eri mittauskalustolla. Uusittavuuden avulla siis voidaan kuvata laboratorioden tai toimijoiden välistä epävarmuutta. Testien avulla määritettyjä toistettavuuksia ja uusittavuuksia on käytetty myös standardoinnissa, kun on haluttu määrittellä sallittuja mittausedpävarmuuden rajoja. [6,7]

Tiettävästi ensimmäinen rakennusakustisten mittausten round robin -testi järjestettiin Saksassa vuonna 1951 [8], jolloin haluttiin selvittää mittauksia tekevien tutkimuslaitosten saamien mittaustulosten eroja. Tuolloin testi suoritettiin sekä ilma- että askelääneneristävyyden osalta. Tämän jälkeen round robin -testejä on järjestetty muun muassa ilma- ja askelääneneristysmittauksista ja huoneakustisista mittauksista [1-5, 9-15].

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n akustiikkatoimikunta järjesti syksyllä 2016 ilmaääneneristävyyden round robin -testin. Testin tarkoituksena oli tarjota Suomessa ääneneristävyyden kenttämittauksia tekeville toimijoille mahdollisuus vertailla mittaustuloksiaan ja varmistaa niiden oikeellisuus. Testissä kahden tilan välistä ilmaääneneristävyyttä mittasi 14 organisaatiota, joista testiin osallistui saatujen tietojen mukaan yhteensä 20 mittausryhmää. Mittaustulokset saatiin kuitenkin vain 19 mittausryhmältä. Saatujen tietojen mukaan osallistujat olivat:

Tutkimustulokset pätevät **ainoastaan tutkituille rakenteille**.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



- A-Insinöörit Suunnittelu Oy (2 ryhmää)
- Akukon Oy (1 ryhmä)
- Arkkitehtitoimisto Alpo Halme Oy (1 ryhmä)
- FCG Finnish Consulting Group Oy (1 ryhmä)
- Helimäki Akustikot Oy (5 ryhmää)
- Insinööritoimisto W. Zenner Oy (1 ryhmä)
- Karelia-ammattikorkeakoulu (1 ryhmä)
- Noiseless acoustics (1 ryhmä)
- Oulun ammattikorkeakoulu (1 ryhmä)
- Promethor Oy (1 ryhmä)
- Ramboll Finland Oy (1 ryhmä)
- Tampereen ammattikorkeakoulu (1 ryhmä)
- Turun ammattikorkeakoulu (1 ryhmä)
- VTT Oy (2 ryhmää)

Tutkimustulokset pätevät **ainoastaan tutkituille rakenteille**.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

2 MITTAUKSET

2.1 Mittauskutsu ja järjestelyt

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n akustiikkatoimikunta kutsui akustisia mittauksia tekevät toimijat osallistumaan ilmajääneristävyyden round robin -testiin 18.8.2016 (kuva 1, vas.). Kutsu lähetettiin suomalaisille ääneneristysmittauksia tekeville tutkimuslaitoksille, oppilaitoksille ja yrityksille.

Mittauskutsussa kerrottiin mittausjärjestelyistä, että mittaukset järjestetään toimistorakennuksessa, jossa mittaukset tehdään kahden päällekkäisen tilan välillä pystysuuntaan. Lisäksi kerrottiin, että tilojen tilavuudet ovat yli 25 m³ ja että tilojen välillä kantava välipohja ja seinät ovat betonirakenteiset, molemmissa tiloissa on asennuslattiat ja puoliavonaiset alaslasketut katot. Tilojen välisen ilmajääneristysluvun kerrottiin olevan arviolta yli 60 dB. Mittaukset pyydettiin suoritettavan standardien ISO 16283-1 [16] ja ISO 717-1 [17] mukaisesti. Mittauksissa tuli käyttää toimijan omia mittauslaitteita ja kunkin toimijan tuli tehdä mittaukset itsenäisesti eli määrittellä standardien mitattaviksi edellyttämät huoneiden dimensiot ja mittausolosuhteet itse.

Mittauksiin ilmoittautuneille lähetettiin 29.9.2016 infokirje, jossa kerrottiin tarkemmin mittauspaikasta ja ajanvarauksesta (kuva 1, oik.). Kirjeessä kerrottiin myös, että jokaiselle ryhmälle annetaan Excel-tiedosto, johon kirjataan saadut mittaus tulokset ja tiedosto lähetetään Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n toimistoon.



Kuva 1. Kutsu round robin -testiin ja testin infokirje.

Tutkimustulokset pätevät **ainoastaan tutkituille rakenteille**.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

2.2 Mittausmenetelmä

Testin ilmäeneristävyyksimittaukset tehtiin voimassa olevan standardin ISO 16283-1 [16] mukaan ja mittaluvut määritettiin standardin ISO 717-1 [17] mukaisesti. Seuraavassa on lyhyesti standardeissa esitetyistä menetelmistä ja rajoituksista:

Standardi ISO 16283-1

Standardissa on esitetty mittausmenetelmä kahden tilan välisen ilmäeneristävyyden määrittämiseksi. Mittaukset tehdään standardin mukaan 1/3-oktaavikaistoittain taajuusalueella 50...5000 Hz. Standardin mukaan lähetyshuoneeseen luodaan kaiuttimella äänikenttä, jonka tuottamaa äänenpainetasoa mitataan sekä lähetys- että vastaanottohuoneissa. Lisäksi tulee mitata vastaanottohuoneen taustaäänepainetaso ja jälkikaiunta-aika sekä erottavan rakenteen pinta-ala ja vastaanottohuoneen tilavuus. Näiden perusteella määritetään taajuuskaistaiset ilmäeneristävyydet R' ja standardisoidut äänitasoerot D_{nT} . Standardissa on määritetty vaatimukset mm. mittauskalustolle, kaiutin- ja mikrofonipaikkojen sijainnille ja määrille.

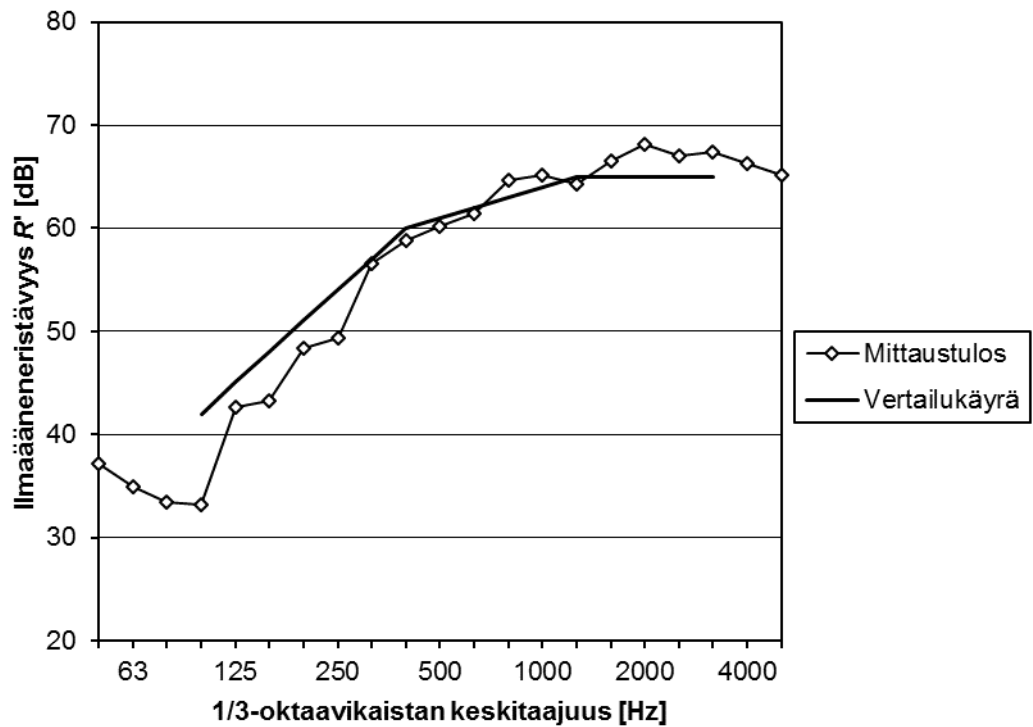
Standardi ISO 717-1

Standardissa ISO 717-1 on esitetty menetelmä, jolla mitatuista taajuuskaistaisista ilmäeneristävyyksistä määritetään yksiluarvoiset mittaluvut. Standardin mukaisesti 1/3-oktaavikaistaisista ilmäeneristävyyksistä R' ja standardisoiduista äänitasoeroista D_{nT} määritetään vertailukäyrämenettelyllä vastaavasti ilmäeneristysluku R'_w ja standardisoitu äänitasoeroluku $D_{nT,w}$. Lisäksi standardissa esitetään spektripainotusermien C , C_{tr} , $C_{50-3150}$, $C_{50-5000}$, $C_{100-5000}$, $C_{tr,50-3150}$, $C_{tr,50-5000}$ ja $C_{tr,100-5000}$ laskentamenetelmät. Mittaluvut ja spektripainotusermit voidaan esittää summana, esim. $R'_w + C$. Kuvassa 2 on esitetty esimerkki mitatusta ilmäeneristävyydestä R' ja vertailukäyrästä oikealla paikallaan (ryhmän A15 mittaustulos). Ilmäeneristysluku R'_w luetaan vertailukäyrältä 500 Hz kohdalta.

2.3 Tulosten määrittäminen

Mittaajat määrittivät mittaustuloksistaan 1/3-oktaavikaistaiset ilmäeneristävyydet R' ja standardisoidut äänitasoerot D_{nT} ja laskivat näistä vastaavasti ilmäeneristysluvun R'_w ja standardisoidun äänitasoeroluvun $D_{nT,w}$ sekä spektripainotusermit C , C_{tr} , $C_{50-3150}$, $C_{50-5000}$, $C_{100-5000}$, $C_{tr,50-3150}$, $C_{tr,50-5000}$ ja $C_{tr,100-5000}$. Mittaajat kirjasiivat saamansa tulokset ennalta määritettyyn Excel-tiedostoon, joka lähetettiin testin järjestäjälle RIL ry:n toimistoon. Kunkin toimijan lähettämät mittaustulokset anonymisoitiin siten, että mittaustulosta ei voida yhdistää mittajaan. Mittausryhmistä käytettiin merkintöjä A1...A19. Mittaustuloksia ja -tahoja yhdistävä tieto on vain RIL ry:n toimiston henkilökunnalla eikä tietoja ole luovutettu myöskään tämän raportin laatijoille. Tässä raportissa on esitetty saaduista tuloksista lasketut aritmeettiset keskiarvot, minimi- ja maksimi-arvot sekä otoskeskihajonnat.

Tutkimustulokset pätevät **ainoastaan tutkituille rakenteille**.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



Kuva 2. Esimerkki ilmasteneristävyyden mittaustuloksesta (ryhmä A15) ja vertailukäyrästä. Kuvan mittaustulokselle määritetty ilmasteneristysluku R_w on 61 dB.

3 TULOKSET

Testin mittaustulokset on esitetty kohdissa 3.1 ja 3.2 sekä liitteissä 1 ja 2. Liitteissä on esitetty 1/3-oktaavikaistaisten mittaustulosten ja näistä määritettyjen mittalukujen lisäksi kaikkien mittausryhmien määrittämät mitatun rakenteen pinta-alat S sekä vastaanottohuoneen ja lähetyshuoneen tilavuudet V_2 ja V_1 . Pinta-alat ja tilavuudet on esitetty myös taulukossa 1. Spektripainotustermejä on käsitelty niin, että on esitetty mittalukujen R'_w ja $D_{nT,w}$ ja spektripainotustermien summat.

Taulukko 1. Mittausryhmien määrittämät erottavan rakenteen pinta-alat S , vastaanottohuoneen tilavuudet V_2 ja lähetyshuoneen tilavuudet V_1 .

Mittausryhmä	Pinta-ala S [m ²]	Vastaanottohuoneen tilavuus V_2 [m ³]	Lähetyshuoneen tilavuus V_1 [m ³]
A1	19,1	60	62,3
A2	19,0	50	50
A3	19	48	48
A4	18,8	61,8	61,8
A5	18,9	50	50
A6	18,8	48	48
A7	18	58	58
A8	18,8	49,8	49,8
A9	18,6	48,4	48,4
A10	18,8	50	50
A11	18	58	58
A12	18,8	59	59,9
A13	18,9	50,2	50,2
A14	18,8	50	50
A15	18,8	50	50
A16	18,8	50	50
A17	18,8	50	50
A18	18,8	60,9	60,9
A19	18,8	50,0	50,1

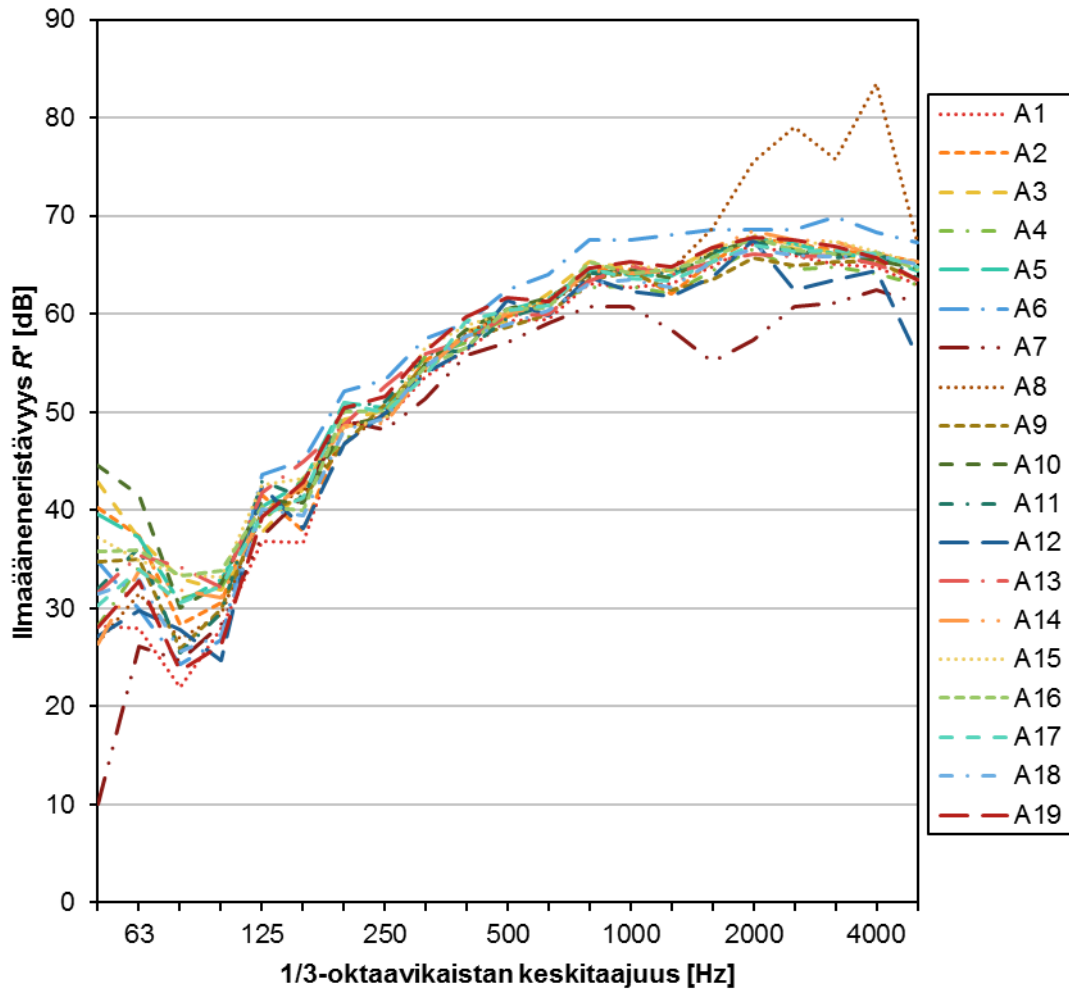
Tuloksista nähdään, että suurin osa mittausryhmistä määrittä erottavan rakenteen pinta-alaksi 18,8 m². Kaksi yksittäistä ryhmää on määrittänyt pinta-alaksi 18 m². Tilavuuksien määrittämisessä ei ole ollut yhtenäistä linjaa, vaan mittausryhmät jakautuvat kahteen osaan. Suurin osa mittausryhmistä määrittä tilavuudeksi noin 50 m³, kun kuusi mittausryhmää määrittä tilavuudeksi noin 60 m³. Toisin sanoen kuusi mittausryhmää on ottanut tilavuuteen mukaan huoneen alakaton yläpuolisen tilavuuden.

3.1 Ilmääneneristävyys R'

Kaikkien mittausryhmien A1...A19 määrittämät 1/3-oktaavikaistaiset ilmääneneristävydet R' on esitetty käyräparvena kuvassa 3. Taajuuskaistaiset mittaustulokset on esitetty tarkemmin liitteessä 1. Mittaustuloksista nähdään, että tulosten vaihtelu on

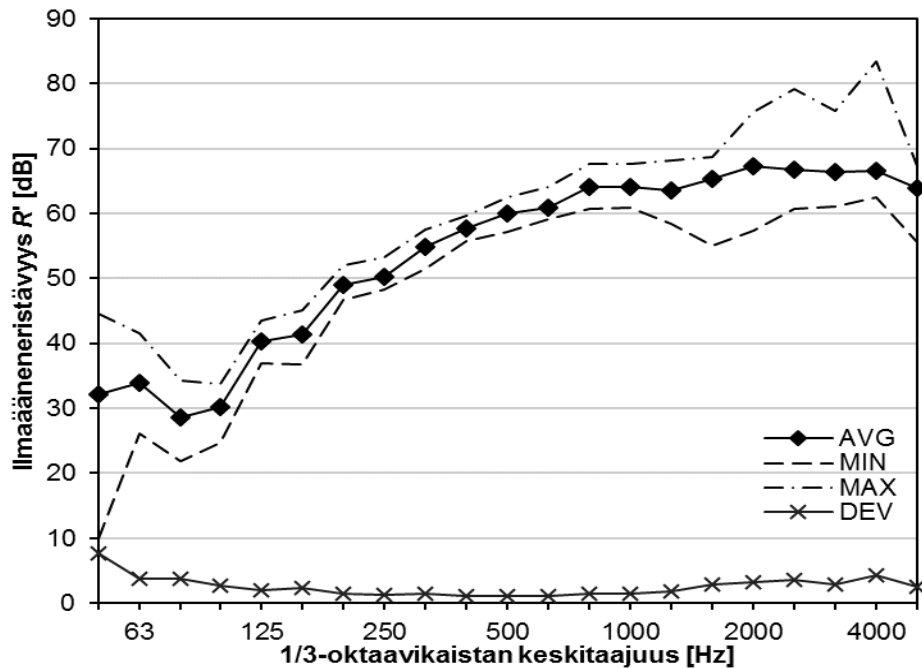
Tutkimustulokset pätevät **ainoastaan tutkituille rakenteille**.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

suurinta pienillä, alle 100 Hz taajuuksilla. Lisäksi mittausryhmien A7 ja A8 saamat tulokset ovat selvästi suurilla, yli 1250 Hz taajuuksilla muista poikkeavat.



Kuva 3. Kaikki ilmaääneneristävyyden tulokset 1/3-oktaavikaistoittain.

Mittaustuloksista määritettiin 1/3-oktaavikaistoittain aritmeettinen keskiarvo, minimi- ja maksimiarvo sekä otoskeskihajonta. Nämä on esitetty sekä kuvassa 4 että taulukossa 2. Myös näistä määritetyistä arvoista on nähtävissä, että määritetyn ilmaääneneristävyyden R' hajonta on suurinta pienillä ja suurilla taajuuksilla.



Kuva 4. Ilmaääneneristävyyksien R' keskiarvot (AVG), minimit (MIN), maksimit (MAX) ja keskihajonta (DEV) 1/3-oktaavikaistoittain. Kaikki tulokset mukana.

Taulukko 2. Ilmaääneneristävyyksien R' keskiarvot, minimit, maksimit ja keskihajonta 1/3-oktaavikaistoittain. Kaikki tulokset mukana.

Taajuus f [Hz]	Keskiarvo [dB]	Minimi [dB]	Maksimi [dB]	Keskihajonta [dB]
50	32,1	10,0	44,6	7,7
63	33,9	26,1	41,6	3,7
80	28,5	21,9	34,2	3,8
100	30,1	24,7	33,8	2,6
125	40,3	36,9	43,6	1,9
160	41,4	36,7	45,1	2,2
200	49,0	46,7	52,1	1,5
250	50,2	48,2	53,3	1,3
315	54,8	51,4	57,5	1,3
400	57,7	55,8	59,7	1,1
500	60,0	57,1	62,5	1,2
630	60,9	59,1	64,0	1,1
800	64,1	60,7	67,6	1,4
1000	64,1	60,8	67,6	1,4
1250	63,5	58,4	68,1	1,9
1600	65,3	55,1	68,7	2,8
2000	67,3	57,3	75,5	3,1
2500	66,7	60,7	79,1	3,5
3150	66,4	61,1	75,8	2,9
4000	66,5	62,4	83,4	4,3
5000	63,9	55,6	67,3	2,5

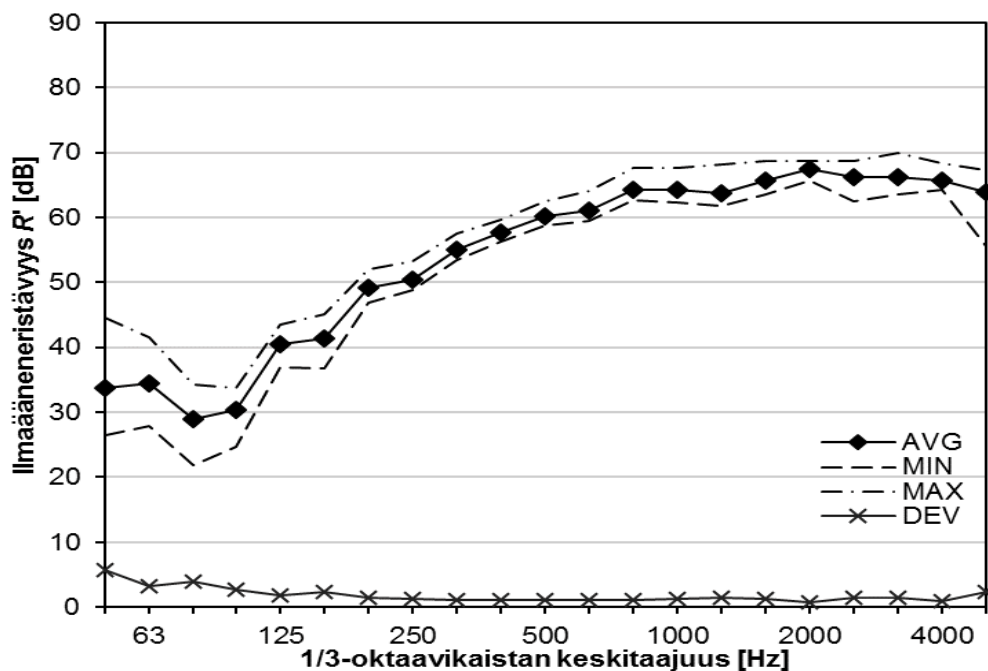
Tutkimustulokset pätevät **ainoastaan tutkituille rakenteille**.
 Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

Ilmaääneneristävyyksien R' perusteella määritettyjen ilmaääneneristyslukujen R'_w sekä ilmaääneneristyslukujen ja spektripainotustermien aritmeettiset keskiarvot, minimi- ja maksimiarvot sekä otoskeskihajonnat on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Mittalukujen R'_w ja spektripainotustermien keskiarvot, minimi, maksimit ja keskihajonta. Kaikki tulokset mukana.

Mittaluku	Keskiarvo [dB]	Minimi [dB]	Maksimi [dB]	Keskihajonta [dB]
R'_w	59,9	57	62	1,2
$R'_w + C$	55,9	52	58	1,8
$R'_w + C_{tr}$	48,8	44	51	2,1
$R'_w + C_{50-3150}$	53,4	44	58	3,8
$R'_w + C_{50-5000}$	54,5	44	58	3,6
$R'_w + C_{100-5000}$	56,1	49	59	2,5
$R'_w + C_{tr,50-3150}$	46,1	34	54	4,6
$R'_w + C_{tr,50-5000}$	45,6	34	55	4,4
$R'_w + C_{tr,100-5000}$	49,0	43	56	3,0

Mittausryhmien A7 ja A8 määrittämät ilmaääneneristävyydet poikkeavat muiden ryhmien määrittämistä tuloksista (kuva 3). Kuvassa 5 ja taulukoissa 4 ja 5 on esitetty vastaavat tulokset kuin edellä, mutta ilman näiden mittausryhmien tuloksia.



Kuva 5. Ilmaääneneristävyyksien R' keskiarvot (AVG), minimi (MIN), maksimit (MAX) ja keskihajonta (DEV) 1/3-oktaavikaistoittain. Mittausryhmät A7 ja A8 poistettu.

Taulukko 4. Ilmaääneneristävyyksien R' keskiarvot, minimi, maksimit ja keskihajonta 1/3-oktaavikaistoittain. Mittausryhmät A7 ja A8 poistettu.

Taajuus f [Hz]	Keskiarvo [dB]	Minimi [dB]	Maksimi [dB]	Keskihajonta [dB]
50	33,7	26,4	44,6	5,7
63	34,5	27,9	41,6	3,3
80	28,9	21,9	34,2	3,8
100	30,3	24,7	33,8	2,8
125	40,5	36,9	43,6	1,8
160	41,4	36,7	45,1	2,4
200	49,1	46,8	52,1	1,5
250	50,3	48,8	53,3	1,2
315	55,0	53,5	57,5	1,1
400	57,8	56,3	59,7	1,1
500	60,2	58,7	62,5	1,0
630	61,0	59,5	64,0	1,1
800	64,3	62,7	67,6	1,1
1000	64,3	62,3	67,6	1,2
1250	63,7	61,8	68,1	1,5
1600	65,7	63,5	68,6	1,2
2000	67,4	65,7	68,6	0,8
2500	66,3	62,5	68,6	1,4
3150	66,2	63,5	69,9	1,3
4000	65,7	64,2	68,4	0,9
5000	63,9	55,6	67,3	2,4

Taulukko 5. Mittalukujen R'_w ja spektripainotustermien keskiarvot, minimi, maksimit ja keskihajonta. Mittausryhmät A7 ja A8 poistettu.

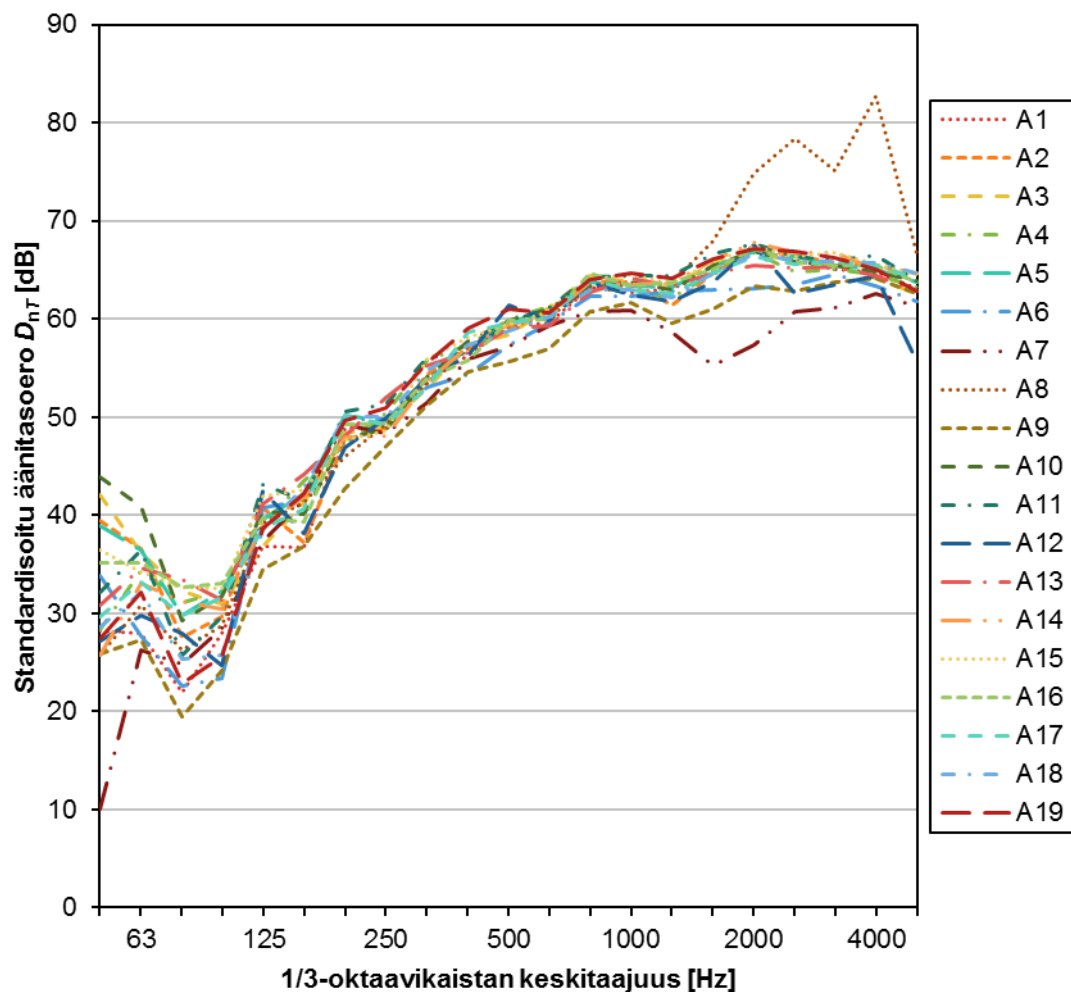
Mittaluku	Keskiarvo [dB]	Minimi [dB]	Maksimi [dB]	Keskihajonta [dB]
R'_w	60,0	58	62	1,1
$R'_w + C$	56,0	52	58	1,7
$R'_w + C_{tr}$	48,9	44	51	2,2
$R'_w + C_{50-3150}$	53,5	44	58	3,9
$R'_w + C_{50-5000}$	54,8	44	58	3,5
$R'_w + C_{100-5000}$	56,2	49	59	2,5
$R'_w + C_{tr,50-3150}$	47,0	41	54	3,6
$R'_w + C_{tr,50-5000}$	46,4	41	55	3,5
$R'_w + C_{tr,100-5000}$	49,1	43	56	3,1

Kun mittausryhmien A7 ja A8 tulokset poistetaan, nähdään, että ilmaääneneristävyyden R' keskihajonta pienenee pienellä alle 80 Hz taajuuksilla 0,4-2,0 dB ja suurilla yli 630 Hz taajuuksilla 0,1-3,4 dB verrattuna tilanteeseen, jossa kaikkien mittausryhmien tulokset ovat mukana (vrt. esim. kuvat 4 ja 5). Myös mittalukujen R'_w , $R'_w + C$, $R'_w + C_{50-5000}$ keskihajonta on 0,1 dB pienempi ja mittalukujen $R'_w + C_{tr,50-3150}$ ja $R'_w + C_{tr,50-5000}$ keskihajonta noin 1 dB pienempi, kun mittausryhmien A7 ja A8 tulokset on poistettu (vrt. taulukot 3 ja 5).

Tutkimustulokset pätevät **ainoastaan tutkituille rakenteille**.
 Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

3.2 Standardisoitu äänitasoero D_{nT}

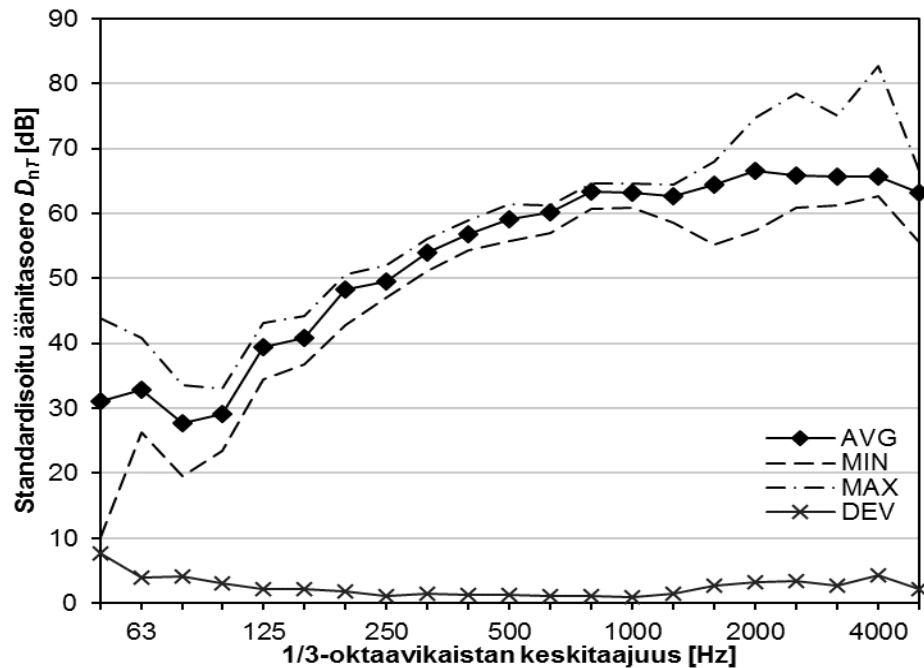
Kaikkien mittausryhmien A1...A19 määrittämät 1/3-oktaavikaistaiset standardisoidut äänitasoerot D_{nT} on esitetty käyräparvena kuvassa 6. Taajuuskaistaiset mittaustulokset on esitetty tarkemmin liitteessä 2. Mittaustuloksista nähdään, että, kuten myös ilmaääneneristävyyksien R' osalla, mittaustulosten vaihtelu on suurinta pienillä, alle 100 Hz taajuuksilla. Mittausryhmien A7 ja A8 määrittämät standardisoidut äänitasoerot ovat selvästi suurilla, yli 1250 Hz taajuuksilla muista poikkeavat. Mittausryhmän A7 tulos on selvästi muita pienempi myös 50 Hz taajuuskaistalla.



Kuva 6. Kaikki standardisoidun äänitasoeron tulokset 1/3-oktaavikaistoittain.

Standardisoiduista äänitasoeroista määritettiin 1/3-oktaavikaistoittain aritmeettinen keskiarvo, minimi-, ja maksimiarvo sekä otoskeskihajonta. Nämä on esitetty sekä kuvassa 7 että taulukossa 6. Myös näistä määritetyistä arvoista on nähtävissä, että määritetyn standardisoidun äänitasoeron D_{nT} hajonta on suurinta pienillä ja suurilla taajuuksilla.

Tutkimustulokset pätevät **ainoastaan tutkituille rakenteille**.
 Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



Kuva 7. Standardisoitujen äänitasoerojen D_{nT} keskiarvot (AVG), minimit (MIN), maksimit (MAX) ja keskihajonta (DEV) 1/3-oktaavikaistoittain. Kaikki tulokset mukana.

Taulukko 6. Standardisoitujen äänitasoerojen D_{nT} keskiarvot, minimit, maksimit ja keskihajonta 1/3-oktaavikaistoittain. Kaikki tulokset mukana.

Taajuus f [Hz]	Keskiarvo [dB]	Minimi [dB]	Maksimi [dB]	Keskihajonta [dB]
50	31,0	10,1	43,9	7,6
63	32,9	26,2	40,9	3,9
80	27,7	19,5	33,5	4,1
100	29,2	23,4	33,1	3,1
125	39,4	34,5	43,2	2,1
160	40,8	36,7	44,2	2,2
200	48,3	42,7	50,6	1,9
250	49,5	47,0	51,9	1,2
315	54,0	51,2	56,0	1,4
400	56,9	54,4	59,0	1,2
500	59,2	55,7	61,4	1,3
630	60,1	57,0	61,3	1,0
800	63,3	60,7	64,6	1,1
1000	63,2	60,9	64,6	1,0
1250	62,7	58,6	64,3	1,5
1600	64,5	55,2	68,0	2,7
2000	66,5	57,4	74,8	3,2
2500	65,9	60,8	78,4	3,4
3150	65,7	61,2	75,1	2,6
4000	65,7	62,6	82,7	4,2
5000	63,2	55,6	66,6	2,2

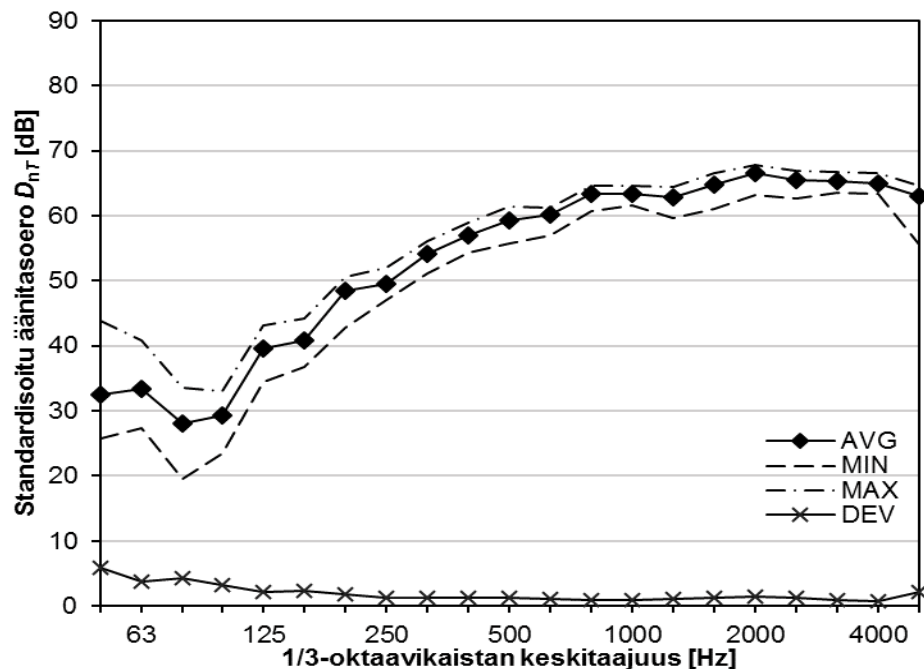
Tutkimustulokset pätevät **ainoastaan tutkituille rakenteille**.
 Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

Standardisoitujen äänitasoerojen D_{nT} perusteella määritettyjen standardisoitujen äänitasoerolukujen $D_{nT,w}$ sekä äänitasoerolukujen ja spektripainotusermien aritmeettiset keskiarvot, minimi- ja maksimiarvot sekä otoskeskihajonnat on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Mittalukujen $D_{nT,w}$ ja spektripainotusermien keskiarvot, minimi, maksimit ja keskihajonta. Kaikki tulokset mukana.

Mittaluku	Keskiarvo [dB]	Minimi [dB]	Maksimi [dB]	Keskihajonta [dB]
$D_{nT,w}$	59,0	56	61	1,2
$D_{nT,w} + C$	54,9	51	57	1,9
$D_{nT,w} + C_{tr}$	47,9	43	51	2,5
$D_{nT,w} + C_{50-3150}$	53,1	45	57	3,4
$D_{nT,w} + C_{50-5000}$	54,3	49	57	2,8
$D_{nT,w} + C_{100-5000}$	55,0	42	58	3,8
$D_{nT,w} + C_{tr,50-3150}$	44,6	34	53	4,5
$D_{nT,w} + C_{tr,50-5000}$	44,0	34	48	4,0
$D_{nT,w} + C_{tr,100-5000}$	48,4	43	54	2,8

Mittausryhmien A7 ja A8 määrittämät standardisoidut äänitasoerot poikkeavat muiden ryhmien määrittämistä tuloksista (ks. kuva 6). Kuvassa 8 ja taulukoissa 8 ja 9 on esitetty vastaavat tulokset kuin edellä, mutta ilman näiden mittausryhmien tuloksia.



Kuva 8. Standardisoitujen äänitasoerojen D_{nT} keskiarvot (AVG), minimi (MIN), maksimit (MAX) ja keskihajonta (DEV) 1/3-oktaavikaistoittain. Mittausryhmät A7 ja A8 poistettu.

Taulukko 8. Standardisoitujen äänitasoerojen D_{nT} keskiarvot, minimi, maksimit ja keskihajonta 1/3-oktaavikaistoittain. Mittausryhmät A7 ja A8 poistettu.

Taajuus f [Hz]	Keskiarvo [dB]	Minimi [dB]	Maksimi [dB]	Keskihajonta [dB]
50	32,6	25,7	43,9	5,8
63	33,4	27,3	40,9	3,7
80	28,0	19,5	33,5	4,3
100	29,2	23,4	33,1	3,3
125	39,5	34,5	43,2	2,2
160	40,7	36,7	44,2	2,3
200	48,4	42,7	50,6	1,9
250	49,5	47,0	51,9	1,2
315	54,2	51,2	56,0	1,3
400	56,9	54,4	59,0	1,2
500	59,3	55,7	61,4	1,3
630	60,2	57,0	61,3	1,0
800	63,4	60,7	64,6	0,9
1000	63,4	61,6	64,6	0,8
1250	62,8	59,6	64,3	1,2
1600	64,8	61,0	66,6	1,3
2000	66,5	63,1	67,8	1,4
2500	65,5	62,6	66,9	1,3
3150	65,4	63,5	66,7	0,9
4000	64,9	63,3	66,5	0,8
5000	63,1	55,6	64,7	2,1

Taulukko 9. Mittalukujen $D_{nT,w}$ ja spektripainotusermien keskiarvot, minimi, maksimit ja keskihajonta. Mittausryhmät A7 ja A8 poistettu.

Mittaluku	Keskiarvo [dB]	Minimi [dB]	Maksimi [dB]	Keskihajonta [dB]
$D_{nT,w}$	59,2	56	61	1,2
$D_{nT,w} + C$	55,1	51	57	2,0
$D_{nT,w} + C_{tr}$	48,0	43	51	2,6
$D_{nT,w} + C_{50-3150}$	53,4	45	57	3,5
$D_{nT,w} + C_{50-5000}$	54,7	49	57	2,6
$D_{nT,w} + C_{100-5000}$	55,1	42	58	4,1
$D_{nT,w} + C_{tr,50-3150}$	45,5	38	53	3,7
$D_{nT,w} + C_{tr,50-5000}$	44,8	38	48	3,2
$D_{nT,w} + C_{tr,100-5000}$	48,6	43	54	2,9

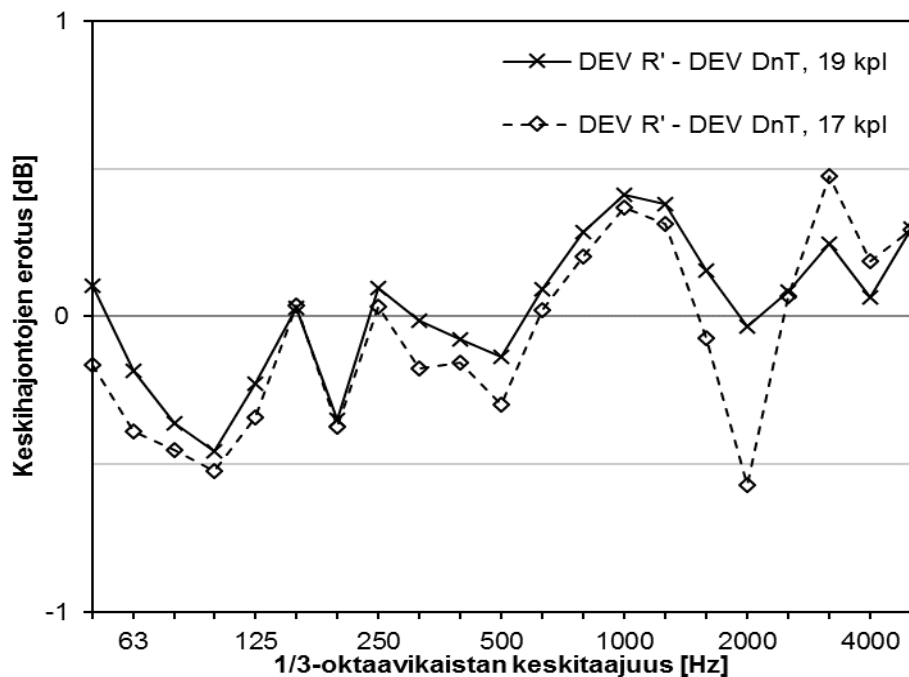
Kun mittausryhmien A7 ja A8 tulokset poistetaan, nähdään, että standardisoidun äänitasoeron D_{nT} keskihajonta pienenee pienillä alle 80 Hz taajuuksilla 0,2-1,8 dB ja suurilla yli 630 Hz taajuuksilla 0,1-3,4 dB verrattuna tilanteeseen, jossa kaikkien mittausryhmien tulokset ovat mukana (vrt. esim. kuvat 7 ja 8). Mittaluvun $D_{nT,w} + C_{50-5000}$ keskihajonta on 0,2 dB pienempi ja mittalukujen $D_{nT,w} + C_{tr,50-3150}$ ja $D_{nT,w} + C_{tr,50-5000}$ keskihajonta 0,8 dB pienempi, kun mittausryhmien A7 ja A8 tulokset on poistettu (vrt. taulukot 7 ja 9).

Tutkimustulokset pätevät **ainoastaan tutkituille rakenteille**.
 Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

4 TULOSTEN TARKASTELU

4.1 Mittausmenetelmän vaikutus

Kuvassa 9 on esitetty keskihajontojen erotukset kaikkien tulosten osalta (19 kpl) ja kun mittausryhmien A7 ja A8 tulokset on poistettu (17 kpl). Tulosten perusteella ilmääneneristävyyden R' keskihajonnat ovat alle 500 Hz taajuusalueella pääsääntöisesti pienemmät kuin standardisoidun äänitasoeron D_{nT} keskihajonnat ja yli 500 Hz taajuusalueella, pl. 2000 Hz taajuuskaistalla, suuremmat kuin äänitasoerojen keskihajonnat. Kuvasta voidaan nähdä myös se, että keskihajontojen erotus pienenee kaikilla alle 3150 Hz taajuuksilla, kun muista poikkeavat mittausryhmien A7 ja A8 tulokset on poistettu. Mittalukujen osalta voidaan todeta, että standardoidun äänitasoeroluvun $D_{nT,w}$ ja spektripainotustermien $C_{50-3150}$, $C_{50-5000}$, $C_{tr,50-3150}$, $C_{tr,50-5000}$ ja $C_{tr,100-5000}$ summan keskihajonta on pienempi kuin vastaavien ilmääneneristyslukujen R'_w ja spektripainotustermien summan hajonta. Mittalukujen R'_w ja $D_{nT,w}$ keskihajonta on suunnilleen sama, noin 1 dB.



Kuva 9. Ilmääneneristävyyden R' ja standardoidun äänitasoeron D_{nT} keskihajonnan erotus 1/3-oktaavikaistoittain kaikkien tulosten osalta (19 kpl) ja kun mittausryhmien A7 ja A8 tulokset on poistettu (17 kpl).

Tulosten perusteella mittalukujen keskihajonta kasvaa noin 1-2 dB, kun otetaan huomioon 50-100 Hz taajuusalue. Tämä voidaan nähdä sekä ilmääneneristyslukujen että standardoitujen äänitasoerolukujen osalta (ks. esim. taulukot 3, 5, 7 ja 9).

Syy tälle on todennäköisesti äänikentän epädiffuusisuus ja tästä aiheutuva hajonta pienillä taajuuksilla. Kun spektripainotustermien avulla otetaan huomioon 100-5000 Hz taajuusalue kasvaa keskiahajonta myös noin 1-2 dB mittaluvusta riippuen, verrattuna mittalukuihin, jotka määritetään tavanomaisen taajuusalueen 100-3150 Hz perusteella. Tuoreiden tutkimusten mukaan taajuusalueen laajentamisesta 3150-5000 Hz taajuusalueelle ei ole havaittu olevan hyötyä, koska mittalukujen arvo ei merkittävästi muutu taajuusaluetta laajennettaessa eikä taajuusalueen laajentaminen suuremmille taajuuksille paranna rakennuksessa huoneesta toiseen välittyvän asumismelun äänitason ja mittalukujen välistä korrelaatiota [18, 19].

4.2 Tilavuuden vaikutus

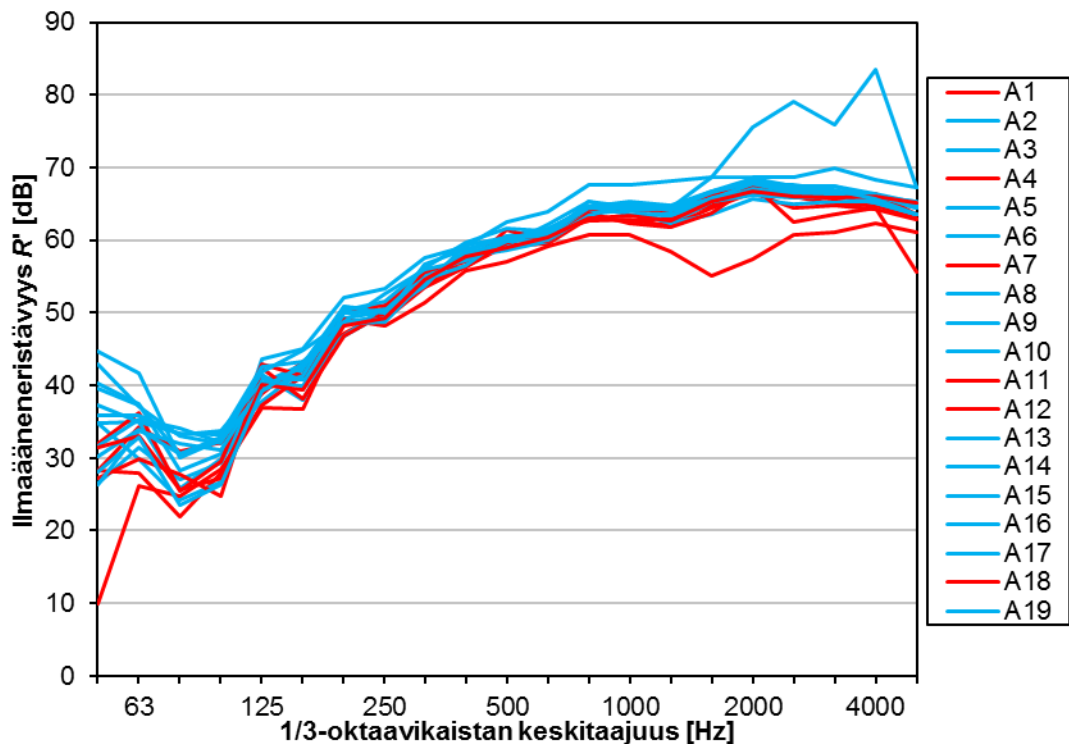
Mittausryhmät voidaan jakaa määrittämiensä vastaanottohuoneen tilavuuksien perusteella kahteen ryhmään: mittaajiin, jotka määrittivät tilavuudeksi noin 50 m³ ja ryhmään, joka määritti tilavuudeksi noin 60 m³ (ks. taulukko 1). Näin ollen vastaanotto- ja lähetyshuoneen tilavuuden määrittämiseksi ei ole ollut yhtenäistä mittaustapaa. Jälkimmäisen ryhmän osuus kaikista mittaajista oli noin kolmasosa (6 kpl).

Mittausstandardin ISO 16283-1 liitteen C ohjeessa on esitetty, että huoneen tilavuuden määrittämisessä tulee vähentää ääntä heijastavien kiintokalusteiden, kuten vaa-tekaappien tms., tilavuus koko huoneen tilavuudesta [16]. Mitattavissa tiloissa oli ääntä absorboiva alakatto, ja suurin osa mittausryhmistä oli tulkinnut standardia siten, että alakaton yläpuolinen osuutta huoneen tilavuudesta ei sisällytetä tilavuuteen mittalukujen laskennassa. Tätä puoltaisi se, että alakaton yläpuolella tilan äänikenttä on erilainen kuin sen alapuolella mm. siitä syystä, että alakatto eristää ääntä (ks. esim. [20]). Alakaton yläpuolella ei myöskään voida mitata äänenpainetasoja niiden mittaamista koskevien sääntöjen johdosta eikä alakaton päälle yleensä edes ole mahdollista mennä mittaamaan. Standardin mukainen mittausmenetelmä perustuu oletukseen tilaan syntyvästä diffuusista äänikentästä eikä äänikenttää alakaton päällä voi pitää diffuusina tai ainakaan samanlaisena kuin äänikenttää huoneessa muualla. Täysin yksikäsitteisesti ei kuitenkaan standardin määräysten pohjalta voida todeta, kumpi tapa tilavuuden laskemiseksi on oikein. Käytännössä toisaalta ei ole useinkaan mahdollista mitata alakaton yläpuolista tilavuutta, esimerkiksi silloin, kun huone on hyvin korkea. Standardisoituja äänitasoerolukuja käytettäessä vastaavaa tilavuuden määrittämistä koskevaa ongelmaa ei ole, koska äänitasoeroluvut määritetään pelkästään jälkikäsiunta-ajan avulla eikä tilavuutta tarvita laskennassa. Tämä puoltaisi osaltaan siirtymistä standardisoitujen mittalukujen käyttöön.

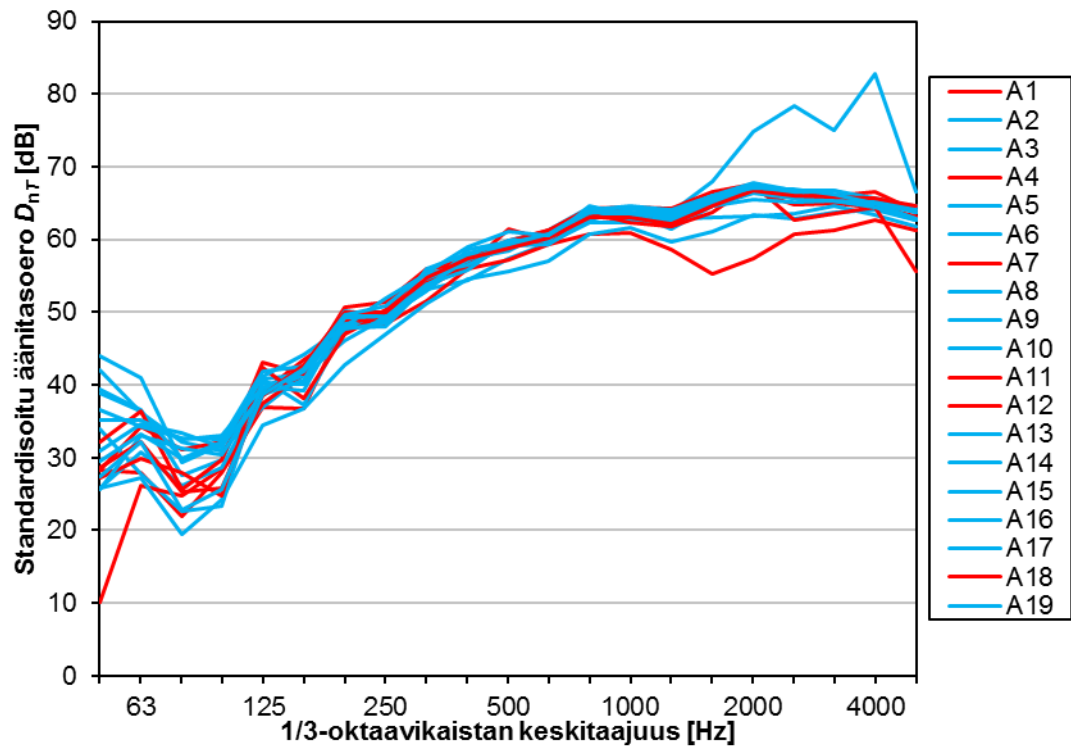
Kuvissa 10 ja 11 on esitetty ilmaääneneristävyyden R' ja standardisoidun äänitasoeron D_{nT} tulokset sinisellä tai punaisella sen mukaan, onko mittaaja määrittänyt vastaanottohuoneen tilavuudeksi noin 50 vai noin 60 m³. Lisäksi taulukossa 10 on

esitetty keskiarvot näiden kahden eri ryhmän määrittämille mittaluvuille sekä mittalukujen keskiarvojen erotukset.

Kun mittausryhmien määrittämät mittaluvut on jaoteltu tilavuuden perusteella kahteen ryhmään em. tapaan, tuloksista nähdään, että n. 60 m³ tilavuuden perusteella määritetyt mittaluvut ovat poikkeuksetta pienempiä kuin 50 m³ tilavuuden perusteella määritetyt. Ero mittalukujen välillä on suurempi ilmaääneneristysluvun R_w kohdalla kuin standardisoidun äänitasoeroluvun $D_{nT,w}$ kohdalla. Mittaluvun R_w tilavuusryhmien keskiarvojen erotus on 1,7 dB ja spektripainotusermien summana enimmillään 5,9 dB. Mittaluvun $D_{nT,w}$ tilavuusryhmien keskiarvojen erotus on 0,9 dB. $D_{nT,w}$:n ja spektripainotusermien summan keskiarvojen tilavuusryhmien välinen erotus on välillä 0,3-4,0 dB.



Kuva 10. Kaikki ilmaääneneristävyyden tulokset 1/3-oktaavikaistoittain. Tulokset punaisella, kun tilavuus on n. 60 m³ ja sinisellä, kun tilavuus n. 50 m³.



Kuva 11. Kaikki standardisoidun äänitasoeron tulokset 1/3-oktaavikaistoittain. Tulokset punaisella, kun tilavuus on n. 60 m³ ja sinisellä, kun tilavuus n. 50 m³.

Taulukko 10. Mittalukujen keskiarvot ja keskiarvojen erotukset, kun mittausryhmät on jaettu tilavuuden perusteella kahteen ryhmään.

Mittaluku	Tilavuus V ₂ n. 50 m ³ Keskiarvo [dB]	Tilavuus V ₂ n. 60 m ³ Keskiarvo [dB]	Keskiarvojen erotus X _{50m3} - X _{60m3} [dB]
R _w	60,4	58,7	1,7
R _w + C	56,6	54,3	2,3
R _w + C _{tr}	49,6	47,0	2,6
R _w + C ₅₀₋₃₁₅₀	54,6	51,0	3,6
R _w + C ₅₀₋₅₀₀₀	55,3	52,8	2,5
R _w + C ₁₀₀₋₅₀₀₀	56,7	55,0	1,7
R _w + C _{tr,50-3150}	47,4	43,3	4,1
R _w + C _{tr,50-5000}	47,5	41,7	5,9
R _w + C _{tr,100-5000}	50,2	46,4	3,8
D _{nT,w}	59,3	58,4	0,9
D _{nT,w} + C	55,3	54,0	1,3
D _{nT,w} + C _{tr}	48,5	46,4	2,1
D _{nT,w} + C ₅₀₋₃₁₅₀	54,3	50,4	3,9
D _{nT,w} + C ₅₀₋₅₀₀₀	55,1	52,4	2,7
D _{nT,w} + C ₁₀₀₋₅₀₀₀	56,2	52,2	4,0
D _{nT,w} + C _{tr,50-3150}	45,1	43,4	1,7
D _{nT,w} + C _{tr,50-5000}	45,1	41,2	3,9
D _{nT,w} + C _{tr,100-5000}	48,5	48,2	0,3

Tutkimustulokset pätevät **ainoastaan tutkituille rakenteille**.
 Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



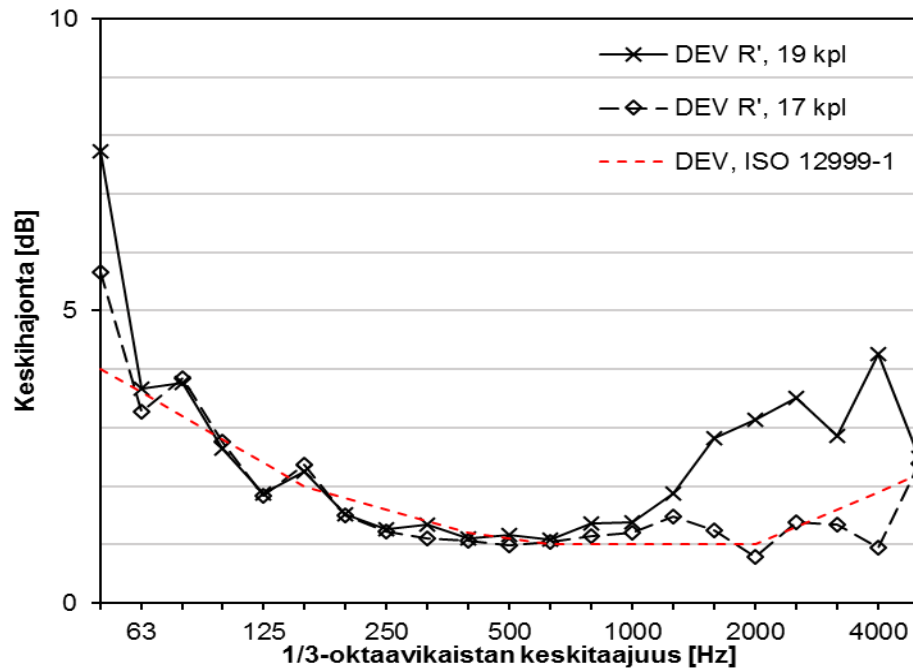
4.3 Muista poikkeavat tulokset

Mittausryhmien A7 ja A8 tulokset poikkesivat muista tuloksista etenkin suurilla, yli 1250 Hz taajuuksilla. Lisäksi mittausryhmän A7 tulokset olivat muita pienemmät erityisesti 50 Hz taajuuskaistalla. Mittausryhmän A7 ilmaääneneristävyyden R' ja standardisoidun äänitasoeron D_{nT} tulokset suurilla taajuuksilla olivat pienet verrattuna muihin mittausryhmiin. Tämä johtuu mahdollisesti siitä, ettei ryhmän A7 mittauksissa käyttämän kaiuttimen ääniteho riitä, kun tilojen välinen ääneneristävyys kasvaa suureksi. Pienillä taajuuksilla erot voivat johtua äänikentän epädiffuusisuuden [21] lisäksi mahdollisesti myös kaiuttimen äänitehon puutteesta.

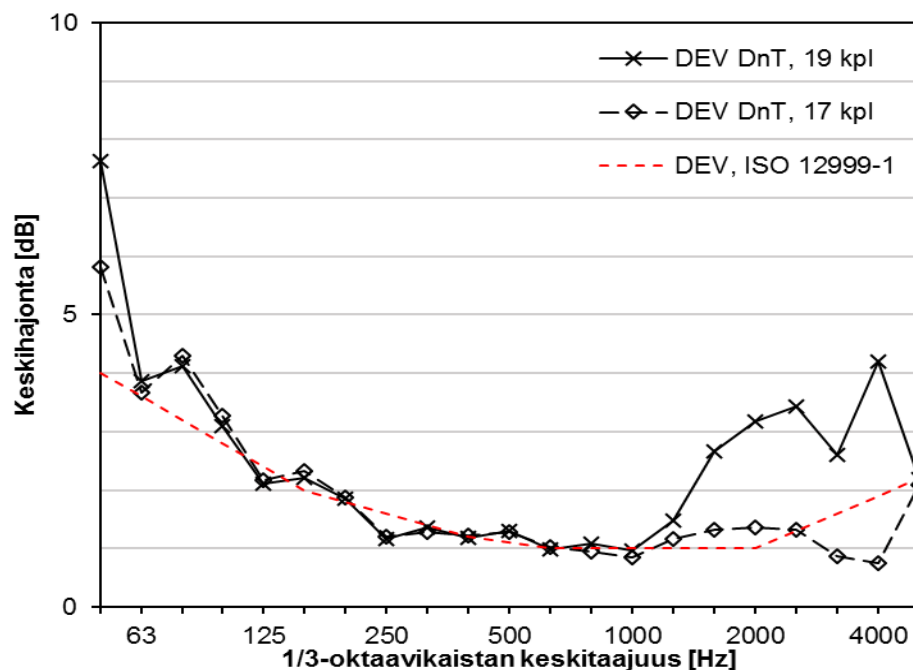
Mittausryhmän A8 tulokset suurilla taajuuksilla olivat taas suuremmat kuin muilla mittausryhmillä. Tämä voi viitata mittauksen aikana tapahtuneeseen ongelmaan, mutta sen selvittäminen käytettävissä olevien tulosten perusteella ei ole mahdollista.

4.4 Mittausten epävarmuus

Mittaustulosten keskinäisen epävarmuuden arviointiin voidaan käyttää standardin ISO 12999-1 [7] mukaan mittausten keskihajontaa. Koska kaikki mittausryhmät tekivät mittauksensa samassa sijainnissa omilla laitteillaan, tämän round robin -testin mittaustulokset vastaavat standardin tilannetta B (situation B). Kuvissa 12 ja 13 on esitetty ilmaääneneristävyyden R' ja standardisoidun äänitasoeron D_{nT} keskihajonnat kaikkien mittausten osalta ja kun mittausryhmien A7 ja A8 tulokset on poistettu. Standardissa ISO 12999-1 esitetty tyypillinen keskihajonta kyseisessä tilanteessa on esitetty kuvissa punaisella katkoviivalla. Taulukossa 11 on esitetty mittalukujen keskihajonnat molemmissa tilanteissa ja standardissa mittaluvuille esitetyt keskihajonnat tilanteessa B.



Kuva 12. Ilmaääneneristävyyden R' keskihajonnat (DEV) kaikkien tulosten osalta (19 kpl) ja kun mittausryhmät A7 ja A8 on poistettu (17 kpl). Standardissa ISO 12999-1 esitetty keskihajonta punaisella katkoviivalla.



Kuva 13. Standardisoidun äänitasoeron D_{nT} keskihajonnat (DEV) kaikkien tulosten osalta (19 kpl) ja kun mittausryhmät A7 ja A8 on poistettu (17 kpl). Standardissa ISO 12999-1 esitetty keskihajonta punaisella katkoviivalla.

Tutkimustulokset pätevät **ainoastaan tutkituille rakenteille**.
 Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

Taulukko 11. Mittalukujen keskihajonnat kaikkien mittausryhmien tulosten perusteella ja kun mittausryhmien A7 ja A8 tulokset on poistettu sekä standardissa ISO 12999-1 esitetyt mittalukujen epävarmuudet.

Mittaluku	Keskihajonta [dB] kaikki tulokset	Keskihajonta [dB] A7 ja A8 poistettu	Keskihajonta standar- din ISO 12999-1 mukaan [dB]
R_w	1,2	1,1	0,9
$R_w + C$	1,8	1,7	0,9
$R_w + C_{tr}$	2,1	2,2	1,1
$R_w + C_{50-3150}$	3,8	3,9	1,0
$R_w + C_{50-5000}$	3,6	3,5	1,1
$R_w + C_{100-5000}$	2,5	2,5	1,1
$R_w + C_{tr,50-3150}$	4,6	3,6	1,3
$R_w + C_{tr,50-5000}$	4,4	3,5	1,0
$R_w + C_{tr,100-5000}$	3,0	3,1	1,1
$D_{nT,w}$	1,2	1,2	0,9
$D_{nT,w} + C$	1,9	2,0	0,9
$D_{nT,w} + C_{tr}$	2,5	2,6	1,1
$D_{nT,w} + C_{50-3150}$	3,4	3,5	1,0
$D_{nT,w} + C_{50-5000}$	2,8	2,6	1,1
$D_{nT,w} + C_{100-5000}$	3,8	4,1	1,1
$D_{nT,w} + C_{tr,50-3150}$	4,5	3,7	1,3
$D_{nT,w} + C_{tr,50-5000}$	4,0	3,2	1,0
$D_{nT,w} + C_{tr,100-5000}$	2,8	2,9	1,1

Kuvista 12 ja 13 nähdään, että mittausten keskihajonta ylittää standardissa ISO 12999-1 esitetyn keskihajonnan kaikkien mittausten keskihajonnan osalta, myös kun ryhmien A7 ja A8 tulokset on poistettu. Kun kaikki mittaustulokset ovat mukana tarkastelussa, ylitys on suurimmillaan pienillä ja suurilla taajuuksilla. Kun mittausryhmät A7 ja A8 on poistettu, ylitykset ovat suurimmillaan pienillä taajuuksilla erityisesti 50 ja 80 Hz taajuuskaistoilla. Vastaavanlaisia tuloksia on saatu myös ulkovaipan äänen-eristysmittausten round robin -testeissä [4]. Tutkimuksissa [10, 13] tulosten uusittavuudet taas alittivat vanhan standardin ISO 140-2 [6] esittämät uusittavuudet.

Taulukon 11 tuloksista nähdään, että kaikkien mittalukujen keskihajonta on suurempi kuin standardissa ISO 12999-1 esitetyt mittalukujen keskihajonnat. Erityisesti tuloksista voidaan nähdä, että taajuusaluetta laajennettaessa tavanomaisesta taajuusalueesta 100-3150 Hz mittaluvun hajonta kasvaa kaikissa tapauksissa. Tulosten perusteella mitattavaa taajuusaluetta ei välttämättä kannata laajentaa pienille taajuuksille ilman vankkaa perustetta laajennuksen tarpeellisuudesta. Vastaava tulos on saatu myös muiden round robin -testien perusteella [4, 22].

Tutkimustulokset pätevät **ainoastaan tutkituille rakenteille**.
 Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

5 YHTEENVETO

Round robin -testissä määritettyjen ilmasteneristyslukujen R'_w keskiarvo oli 59,9 dB ja keskihajonta 1,2 dB kaikkien mittaustulosten osalta, ja 60,0 dB ja 1,1 dB, kun muista poikkeavia tuloksia ei otettu huomioon. Standardisoitujen äänitasoerolukujen $D_{nT,w}$ keskiarvo oli 59,0 dB kaikki mittaustulokset huomioon otettuna ja 59,2 dB ilman muista poikkeavia tuloksia. Keskihajonta molemmissa tapauksissa oli 1,2 dB. Ilmasteneristävyyden R' taajuuskaistainen keskihajonta oli 1,1–7,7 dB kaikkien tulosten osalta ja 0,8–5,7 dB kun muista poikkeavat tulokset oli poistettu. Standardisoidun äänitasoeron D_{nT} keskihajonta oli 1,0–7,6 dB taajuuskaistoittain kaikkien tulosten osalta ja 0,8–5,8 dB, kun muista poikkeavia tuloksia ei otettu huomioon.

Standardissa ISO 12999-1 esitettyihin keskihajontoihin verrattuna round robin -testin perusteella määritettyjen taajuuskaistaisen tulosten hajonnat olivat pääosin suuremmat, erityisesti pienillä alle 100 Hz ja suurilla yli 1000 Hz taajuuksilla. Alle 100 Hz taajuusalueella keskihajonta oli suurinta. Mittalukujen keskihajonnat olivat kaikilta osin standardissa esitettyjä hajontoja suuremmat. Pienimmät keskihajonnat oli mittaluvuilla R'_w ja $D_{nT,w}$. Lisäksi tulosten perusteella mittaustulosten hajonta kasvaa, kun taajuusaluetta laajennetaan tavanomaisesta taajuusalueesta 100-3150 Hz. Tämä on nähtävissä sekä taajuuskaistaisista mittaustuloksista, että mittaluvuista. Tulos ei puolla mitattavan taajuusalueen kasvattamista tavanomaisesta taajuusalueesta.

Round robin -testin perusteella syyt mittauserävarmuudelle olivat pienten taajuuksien tulokset, erot tilavuuksissa ja muista poikkeavat mittaustulokset. Koska pienillä alle 100 Hz:n taajuuksilla äänikenttä on epädiffuusi, hajonta pienillä taajuuksilla on suurinta, mikä aiheuttaa hajontaa myös tämän taajuusalueen huomioon otaville mittaluvuille.

Testin perusteella tilavuuden määrittämiseksi ei ole käytössä yhtenäistä menetelmää, vaan osa mittaajista tulkitsee huoneen tilavuuteen myös alakaton yläpuolisen tilavuuden. Tämä johtunee mittausstandardissa esitetyn ohjeen tulkintaeroista, mutta johtaa siihen, että suuremman tilavuuden määrittäneet mittaajat saavat pienempiä tuloksia kuin muut. Standardisoituja äänitasoerolukuja käytettäessä vastaavaa ongelmaa ei ole, koska äänitasoeroluvut määritetään pelkästään jälkikäyntä-ajan avulla eikä tilavuutta tarvita laskennassa. Tämä puoltaisi osaltaan siirtymistä standardisoitujen mittalukujen käyttöön. Ilmasteneristysluvun R'_w mittauksissa perustellumpi tapa tilavuuden määrittämiseksi on alakaton yläpuolisen tilavuuden vähentäminen huoneen tilavuudesta.

Kahden mittausryhmän testitulokset olivat muista poikkeavat erityisesti suurilla taajuuksilla. Tämä johtuu luultavasti ainakin osittain eroista mittauksissa käytettävien kaiuttimien äänitehotasoissa suurilla taajuuksilla. Tulosten perusteella näistä toisen

Tutkimustulokset pätevät **ainoastaan tutkituille rakenteille**.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



ryhmän kaiuttimen ääniteho suurilla taajuuksilla ei riitä mittaukseen, kun ilmaääneneristävyys oli yli 60 dB. Toisessa tapauksessa mittauksen aikana on voinut tapahtua jokin virhe.

Tampereella 12.5.2017

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Rakennustekniikan laboratorio
Rakennetekniikka

Jesse Lietzén
dipl.ins.

Mikko Kylliäinen
tekn. lis.



LÄHTEET

1. Machimbarrena, M., Monteiro, C. R. A., Pedersoli, S., Johansson, R. & Smith, S. 2015. Uncertainty of in situ airborne sound insulation measurements. *Applied Acoustics*, Vol. 89, s. 199-210.
2. Scorsati, C. et al. 2015 Uncertainty of façade sound insulation measurements obtained by a Round Robin Test: The Influence of the Low Frequencies Extension. *Proceedings of the 22nd International Congress on Sound and Vibration 2015, Florence, Italy, 12-16th July.*
3. Scorsati, C. & Scamoni, F. 2015. Managing Measurement Uncertainty in Building Acoustics. *Buildings*, Vol. 5, s. 1389-1413.
4. Scorsati, C., Scamoni, F & Zambon, G. 2015. Uncertainty of façade sound insulation in buildings by a Round Robin Test. *Applied Acoustics*, Vol. 96, s. 27-38.
5. Wittstock, V. 2015. Determination of Measurement Uncertainties in Building Acoustics by Interlaboratory Tests. Part 1: Airborne Sound Insulation. *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 101, s. 88-98.
6. ISO 140-2. 1991. Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Determination, verification and application of precision data. Genève, International Organization for Standardization.
7. SFS-EN ISO 12999-1. 2014. Acoustics – Determination and application of measurement uncertainties in building acoustics – Part 1: Sound insulation. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
8. Becker, G., Bobbert, G. & Brandt, H. 1952. Bauakustische Vergleichsmessungen. *Akustische Beihefte* 3, s. 176-180.
9. Halliwell, R. E. 1983. Inter-laboratory variability of sound absorption measurement. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 73, s. 880-886.
10. Lang, J. 1997. A Round Robin on Sound Insulation in Buildings. *Applied Acoustics*, Vol. 52, s. 225-238.
11. Fausti, P., Pompoli, R. & Smith, S. 1999. An Intercomparison of Laboratory Measurements of Airborne Sound Insulation of Lightweight Plasterboard Walls. *Building Acoustics*, Vol. 6, s. 127-140.
12. Olesen, H. S. 2002 Laboratory measurement of sound insulation in the frequency range 50 Hz to 160 Hz – A Nordic intercomparison. Nordtest, research report TR 489.
13. Simmons, C. 2005. Uncertainty of Measured and Calculated Sound Insulation in Buildings – Results of a Round Robin Test. *Proceedings of the Forum Acusticum 2005, Budapest*, s. 2341-2346.

Tutkimustulokset pätevät **ainoastaan tutkituille rakenteille**.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



14. Demanet, C., De Rozas, M. J., Chene, J. B. & Foret, R. 2011. European Round Robin Test for sound insulation Measurements of lightweight partition. Proceedings of the In-ternoise 2011, Osaka, Japan, 4-7th September.1.
15. Dijckmans, A. & Vermeir, G. 2013. Numerical Investigation of the Repeatability and Reproducibility of Laboratory Sound Insulation Measurements. Acta Acustica united with Acustica, Vol. 99, s. 421-432.
16. SFS-EN ISO 16283-1. 2014. Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
17. SFS-EN ISO 717-1. 2013. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
18. Kylliäinen, M., Takala, J., Oliva, D. & Hongisto, V. 2016. Justification of standardized level differences in rating of airborne sound insulation between dwellings. Applied Acoustics, Vol. 102, s. 12-18.
19. Takala, J. 2013. Suomalaisten asuinhuoneistojen ääniolosuhteet ja ääneneristävyyden mittaustapa. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, diplomityö.
20. Hongisto, V. 2003. Monikerroksisen seinärakenteen ilmaääneneristävyyden en-nustemalli. Helsinki, Työterveyslaitos, Työympäristötutkimuksen raporttisarja 2.
21. Kylliäinen, M. 2014. The Measurement Uncertainty of Single-Number Quantities for Rating the Impact Sound Insulation of Concrete Floors. Acta Acustica united with Acustica, Vol. 100, s. 640-648.
22. Hongisto, V., Keränen, J., Kylliäinen, M. & Mahn, J. 2012. Reproducibility of the Present and the Proposed Single-Number Quantities of Airborne Sound Insulation. Acta Acustica united with Acustica, Vol. 98, s. 811-819.

LIITTEET

- Liite 1** Mittaustulokset, ilmaääneneristävyys R' ja mittaluvut (1 s.)
Liite 2 Mittaustulokset, standardisoitu äänitasoero D_{nT} ja mittaluvut (1 s.)

Tutkimustulokset pätevät **ainoastaan tutkituille rakenteille**.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

LIITE 1

Mittaustulokset, ilmäääneneristävyys R' ja mittaluvut

ID Hz	S	V_2	V_1	R'																	R_w	$R'_w + C$	$R'_w + C_{tr}$	$R'_w + C_{50-3150}$	$R'_w + C_{50-5000}$	$R'_w + C_{100-5000}$	$R'_w + C_{tr,50-3150}$	$R'_w + C_{tr,50-5000}$	$R'_w + C_{tr,100-5000}$	HUOM!				
				50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000											2500	3150	4000	5000
A1	19,1	60	62,3	28,2	27,9	21,9	28,0	36,9	36,7	48,8	49,1	53,5	56,3	59,3	59,5	63,1	62,7	63,1	64,8	67,1	66,0	65,0	64,8	63,0	58	54	46	51	52	54	41	41	46	
A2	19,0	50	50	40,2	37,4	28,3	30,5	41,5	37,9	48,5	49,6	55,2	57,6	59,7	61,4	64,7	64,5	62,1	65,3	67,8	67,2	66,5	66,1	65,3	60	55	49	54	55	56	46	46	49	
A3	19	48	48	42,9	37,1	33,1	31,9	37,8	42,2	49,2	50,1	53,9	58,3	59,3	62,1	65,3	64,7	64,4	66,6	67,8	66,6	66,3	65,1	63,6	60	57	50	56	57	57	48	48	50	
A4	18,8	61,8	61,8	28,2	34,2	30,9	32,1	38,8	43,3	47,2	50,2	55,6	57,1	59,7	61,0	62,7	62,8	62,0	64,4	66,6	64,5	64,8	64,2	62,9	60	57	50	55	56	57	46	46	50	
A5	18,9	50	50	39,6	37,2	30,5	32,9	40,3	42,9	50,9	50,4	54,6	57,6	60,4	61,5	64,4	64,0	63,9	66,1	67,7	67,1	66,1	65,9	64,4	61	58	51	56	57	58	48	48	51	1)
A6	18,8	48	48	35	30	24	27	44	45	52	53	58	59	62	64	68	68	68	69	69	69	70	68	67	62								2)	
A7	18	58	58	10	26,1	24,7	28,4	37,3	41,4	49,1	48,2	51,4	55,8	57,1	59,1	60,7	60,8	58,4	55,1	57,3	60,7	61,1	62,4	61,1	57	53	47	49	49	54	34	34	47	
A8	18,8	49,8	49,8	26,5	31,5	27,0	29,4	39,8	42,0	46,7	50,0	54,2	57,9	60,0	61,0	63,8	64,2	64,5	68,7	75,5	79,1	75,8	83,4	67,3	60	56	48	55	55	57	44	44	48	
A9	18,6	48,4	48,4	34,8	35,0	25,9	29,9	39,8	41,3	46,8	50,8	54,7	57,7	58,7	59,9	63,5	64,3	62,4	63,5	65,7	64,9	65,3	65,3	63,5	59	56	49	44	44	49	54	55	56	
A10	18,8	50	50	44,6	41,6	30,0	32,5	41,0	40,8	48,7	49,4	54,8	58,4	60,5	61,7	64,0	64,5	63,6	66,2	67,6	66,5	66,1	65,5	64,6	60	57	50	56	57	58	48	48	50	
A11	18	58	58	32,0	36,2	25,5	29,5	43,0	41,3	50,4	51,1	55,9	56,3	59,6	61,0	64,2	64,3	64,1	66,3	67,4	66,2	65,7	66,3	63,6	60	56	49	54	55	57	44	44	49	
A12	18,8	59	59,9	27,2	29,8	27,8	24,7	42,4	38,2	46,8	49,9	54,0	56,3	61,4	59,8	63,8	62,3	61,8	63,8	67,6	62,5	63,5	64,4	55,6	58	52	44	51	52	53	42	42	44	
A13	18,9	50,2	50,2	31,6	35,3	34,2	32,1	41,8	44,9	48,8	52,6	55,9	57,3	59,8	60,0	63,3	64,9	64,1	65,3	66,2	65,9	66,0	65,1	63,5	61,4	57,6	50,8	57,8	57,6	58,3	48,2	48,2	50,7	3)
A14	18,8	50	50	26,4	33,8	31,9	31,1	39,7	42,5	48,6	48,8	54,3	57,9	60,1	60,9	64,4	64,2	64,4	66,7	68,5	67,5	67,4	65,8	65,3	60	57	50	55	56	57	46	46	50	
A15	18,8	50	50	37,2	34,9	33,4	33,2	42,6	43,3	48,4	49,3	56,6	58,8	60,2	61,4	64,7	65,2	64,3	66,5	68,1	67,0	67,4	66,3	65,2	61	58	51	57	58	59	49	49	51	1)
A16	18,8	50	50	35,8	35,9	33,3	33,8	40,4	40,0	50,0	50,1	54,6	56,5	60,5	60,6	65,3	64,1	64,5	65,7	67,8	66,5	66,1	66,2	64,5	60	57	51	56	57	58	49	49	51	
A17	18,8	50	50	30,3	33,9	30,5	32,3	39,4	41,3	50,9	49,9	53,7	59,3	60,3	60,9	64,7	63,6	63,3	65,3	67,0	66,3	66,5	66,1	64,8	60	57	50	56	57	58	47	47	50	
A18	18,8	60,9	60,9	31,5	33,0	25,6	27,2	40,2	39,4	48,2	49,3	54,6	57,7	58,9	60,4	63,0	63,5	62,8	65,3	66,6	66,0	65,8	66,0	65,1	59	54	46	46	53	55	53	43	43	
A19	18,8	50,0	50,1	28,1	32,8	23,6	26,3	39,3	42,9	50,4	51,6	56,2	59,7	61,7	61,3	64,7	65,3	64,8	66,8	67,8	67,6	66,9	65,7	63,5	61	54	46	52	53	55	42	42	46	

1) Mittaaja on esittänyt suoraan $R'_w + C$ -termit

2) Mittaaja ei ole määrittänyt C-termejä

3) Mittaaja on esittänyt R'_w - ja C-mittaluvut 0,1 dB tarkkuudella

LIITE 2

Mittaustulokset, standardisoitu äänitasoero D_{nT} ja mittaluvut

ID	S	V_2	V_1	D_{nT}																	$D_{nT,w}$	$D_{nT,w} + C$	$D_{nT,w} + C_{fr}$	$D_{nT,w} + C_{50-3150}$	$D_{nT,w} + C_{50-5000}$	$D_{nT,w} + C_{100-5000}$	$D_{nT,w} + C_{fr,50-3150}$	$D_{nT,w} + C_{fr,50-5000}$	$D_{nT,w} + C_{fr,100-5000}$	HUOM!				
				50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000											2500	3150	4000	5000
A1	19,1	60	62,3	28,2	27,9	22,0	28,0	36,9	36,7	48,8	49,1	53,5	56,3	59,3	59,6	63,2	62,7	63,1	64,8	67,1	66,0	65,1	64,8	63,1	58	54	46	51	52	54	41	41	46	
A2	19,0	50	50	39,4	36,6	27,6	29,7	40,8	37,2	47,7	48,8	54,4	56,9	59,0	60,7	63,9	63,8	61,4	64,6	67,0	66,5	65,7	65,4	64,6	59	55	48	54	55	56	45	45	48	
A3	19	48	48	42,0	36,2	32,2	31,0	36,9	41,3	48,3	49,2	52,9	57,4	58,4	61,2	64,4	63,8	63,5	65,6	66,9	65,7	65,4	64,2	62,6	59	56	49	55	56	56	47	47	49	
A4	18,8	61,8	61,8	28,3	34,3	31,1	32,2	39,1	43,5	47,3	50,4	55,8	57,4	59,9	61,3	63,0	63,0	62,2	64,6	66,7	64,8	65,0	64,5	63,2	60	57	50	56	57	58	47	47	50	
A5	18,9	50	50	38,9	36,4	29,8	32,2	39,6	42,2	50,1	49,7	53,9	56,9	59,7	60,8	63,7	63,3	63,2	65,3	66,9	66,3	65,4	65,1	63,7	60	57	50	56	57	58	47	47	50	1)
A6	18,8	48	48	34	28	23	23	41	42	50	50	53	54	57	60	62	62	63	63	63	63	65	63	62	58								2)	
A7	18	58	58	10,1	26,2	24,8	28,5	37,4	41,5	49,3	48,3	51,5	55,9	57,2	59,3	60,8	60,9	58,6	55,2	57,4	60,8	61,2	62,6	61,3	57	54	47	49	49	54	34	34	47	
A8	18,8	49,8	49,8	25,8	30,8	26,2	28,7	39,1	41,3	46,0	49,3	53,4	57,2	59,3	60,2	63,0	63,5	63,8	68,0	74,8	78,4	75,1	82,7	66,6	59	54	47	53	53	55	42	42	47	
A9	18,6	48,4	48,4	25,8	27,3	19,5	24,2	34,5	36,8	42,7	47,0	51,2	54,6	55,7	57,0	60,7	61,6	59,6	61,0	63,3	62,8	63,7	64,1	62,6	56	51	43	48	49	52	38	38	43	
A10	18,8	50	50	43,9	40,9	29,3	31,8	40,3	40,1	48,0	48,7	54,1	57,7	59,8	61,0	63,3	63,8	62,9	65,5	66,9	65,8	65,4	64,8	63,9	60	56	50	55	56	57	47	47	50	
A11	18	58	58	32,1	36,4	25,7	29,7	43,2	41,5	50,6	51,3	56,0	56,5	59,7	61,2	64,3	64,5	64,3	66,6	67,7	66,4	66,0	66,5	63,8									2)	
A12	18,8	59	59,9	27,2	29,8	27,9	24,7	42,4	38,2	46,9	49,9	54	56,3	61,4	59,8	63,8	62,4	61,8	63,8	67,6	62,6	63,5	64,4	55,6	58	52	44	51	52	53	42	42	44	
A13	18,9	50,2	50,2	30,9	34,6	33,5	31,4	41,1	44,2	48,1	51,9	55,2	56,6	59,1	59,3	62,6	64,2	63,4	64,6	65,5	65,2	65,3	64,4	62,8	60,7	56,9	50,0	57,1	56,9	57,6	47,5	47,5	50,0	3)
A14	18,8	50	50	25,7	33,1	31,2	30,4	39,0	41,8	47,9	48,1	53,6	57,2	59,4	60,2	63,7	63,5	63,7	66,0	67,8	66,8	66,7	65,1	64,6	59	56	49	55	56	57	45	45	49	
A15	18,8	50	50	36,5	34,2	32,7	32,5	41,9	42,6	47,7	48,6	55,9	58,1	59,5	60,7	64,0	64,5	63,6	65,8	67,4	66,3	66,7	65,6	64,5	60	57	51	56	57	58	48	48	51	1)
A16	18,8	50	50	35,1	35,2	32,6	33,1	39,7	39,3	49,3	49,4	53,9	55,8	59,8	59,9	64,6	63,4	63,8	65,0	67,1	65,8	65,4	65,5	63,8	60	56	50	56	57	57	48	48	50	
A17	18,8	50	50	29,6	33,2	29,8	31,6	38,7	40,6	50,2	49,2	53,0	58,6	59,6	60,2	64,0	62,9	62,6	64,6	66,3	65,6	65,8	65,4	64,1	60	56	50	55	56	57	46	46	50	
A18	18,8	60,9	60,9	28,7	32,1	25,3	25,7	38,6	42,8	50,1	50,0	54,7	57,4	58,7	60,2	63,0	63,0	62,1	64,7	66,7	65,9	65,8	65,8	64,7	59	53	45	45	52	42	53	42	54	
A19	18,8	50,0	50,1	27,4	32,1	22,9	25,6	38,6	42,2	49,7	50,9	55,5	59,0	61,0	60,6	64,0	64,6	64,1	66,1	67,1	66,9	66,2	65,0	62,8	60	53	45	51	52	54	41	41	45	

1) Mittaaja on esittänyt suoraan $D_{nT,w} + C$ -termit

2) Mittaaja ei ole määrittänyt C-termejä

3) Mittaaja on esittänyt $D_{nT,w}$ - ja C-mittaluvut 0,1 dB tarkkuudella