

SISÄTILAN PIENTAAJUISEN MELUN UUSI MITTAUSMENETELMÄ

David Oliva, Valtteri Hongisto, Jukka Keränen, Vesa Koskinen

Työterveyslaitos, Sisäympäristölaboratorio
Lemminkäisenkatu 14-18 B, 20520 TURKU
david.oliva@ttl.fi

1 JOHDANTO

Äänenpainetasot riippuvat erityisesti pienillä taajuuksilla (20-200 Hz) voimakkaasti mittauspisteestä normaalikokoisissa huoneissa. Terssikaistan äänenpainetasojen vaihtelut voivat olla yli 20 dB huoneen eri pisteissä huoneeseen muodostuvien seisovien aaltojen vuoksi. Rakennusakustiikan standardeissa melua mitataan yleensä keskeltä huonetta yli 75 cm päässä huonepinnoilta. Tämä antaa melko hyvän kuvan äänenpainetason käyttäytymisestä koko huoneessa kun puhutaan taajuuksista yli 200 Hz, jolloin voimakkaita seisovia aaltoja muodostuu korkeintaan hyvin pienissä huoneissa. Melumittauksissa tulisi huomioida kuitenkin myös se, missä ihmiset oleskelevat, jos huoneeseen pääsee esimerkiksi julkisivun läpi pientaajuisia ympäristömelua. Oleskelupaikat voivat sijaita missä tahansa huoneen pisteessä, tyypillisesti yli 30 cm päässä huonepinnoilta. Tämän kaltaista melumittausmenetelmää ei liene standardoitu eikä niitä ole käytössä kansallisissa mittausohjeissa. Suomessa pientaajuisen melun mittaamiseksi huonetiloissa ei ole mittausohjetta. Tavoitteena oli kehittää uusi yksinkertainen ja luotettava melutason mittausmenetelmä, joka sopisi kaikenlaisiin huoneisiin kuten asuntoihin, potilashuoneisiin tai teollisuusvalvomoihin. Mittausmenetelmä on kehitetty pientaajuuksille (alle 200 Hz) mutta se soveltuu samalla koko kuuloalueelle 20-20000 Hz.

2 KIRJALLISUUSTUTKIMUKSEN TULOKSET

Kirjallisuustutkimuksessa lähdettiin liikkeelle pientaajuisen melun mittausmenetelmien kartoittamisesta, koska pientaajuusalue (alle 200 Hz) on melun mittaamisen kannalta hankalinta. Taulukossa 1 esitetään yhteenveto kansallisista mittausmenetelmistä pientaajuiselle melulle. Yksinkertaisin menetelmä määrittää vain yhden mittauspisteen ja yhden tunnin pituisen mittauksen. Tämä lähestymistapa ei huomioi lainkaan huonemoodeja ja tuloksista voidaan vetää vääriä johtopäätöksiä. Kehittyneemmät menetelmät korostavat mittaamista nurkissa, joissa äänenpainetaso on korkein. Tämä puolestaan johtaa äänenpainetason yliarviointiin käyttäjän kokemukseen nähden. Kirjallisuudesta puuttuu yksinkertainen, käyttäjän kokemusta kuvaava mittausmenetelmä.

Huone- ja rakennusakustiikkaa koskevat mittausmenetelmät, mm. ISO 10052, ISO 140 sarja, ISO 354, ja ISO 374x sarja, lähtevät oletuksesta, että huone on diffuusi ja että mittauksella pyritään saamaan selville tämän diffuusin äänikentän sisältämä äänienergia. Diffuusi kenttä edellyttää, että intensiteetti kaikissa pisteissä on nolla ja äänenpainetaso kaikissa pisteissä sama. Mittaukset suoritetaan normaalisti 3-5 satunnaisessa pisteessä 75 cm huonepinnoista (111 Hz:n aallonpituuden neljäs osa) ja lasketaan keskiarvo.

Käyttäjän kannalta melua tulisi kuitenkin mitata siellä, missä melulle altistutaan pitkiä aikoja tai siitä koetaan haittaa eikä siellä, missä diffuusio kentän teoria pitää paikkaansa. Tällaisia paikkoja ovat esimerkiksi teollisuusvalvomon käyttäjän piste tai nukkujan sijainti makuuhuoneessa. Nämä sijainnit ovat kiinteitä ja ratkaisevan herkkiä melukokemuksen kannalta. Meluntorjuntasuunnittelu ei tällöin voi lähteä siitä, että mitoitukset tehdään huoneen keskelle.

Simmons [1] vertaili 24 olemassa olevaa mittaussuunnitelmaa, jotka oli tarkoitettu pientaajuiselle melulle. Vertailu tehtiin soveltamalla mittaussuunnitelmaa kymmenessä huoneessa 5 eri mittausajan voimin. Menetelmien väliset erot olivat kestävämmän suuria. Lisäksi yksittäisten menetelmien uusittavuusvirhe (sama huone, eri mittausaja) oli noin 15 dB pientaajuisella alueella. Tämä johtui siitä, että mittauspisteiden valinnalle ei ollut riittävän selkeitä ohjeita.

Taulukko 1. Mittausmenetelmät pientaajuiselle melulle [2,3].

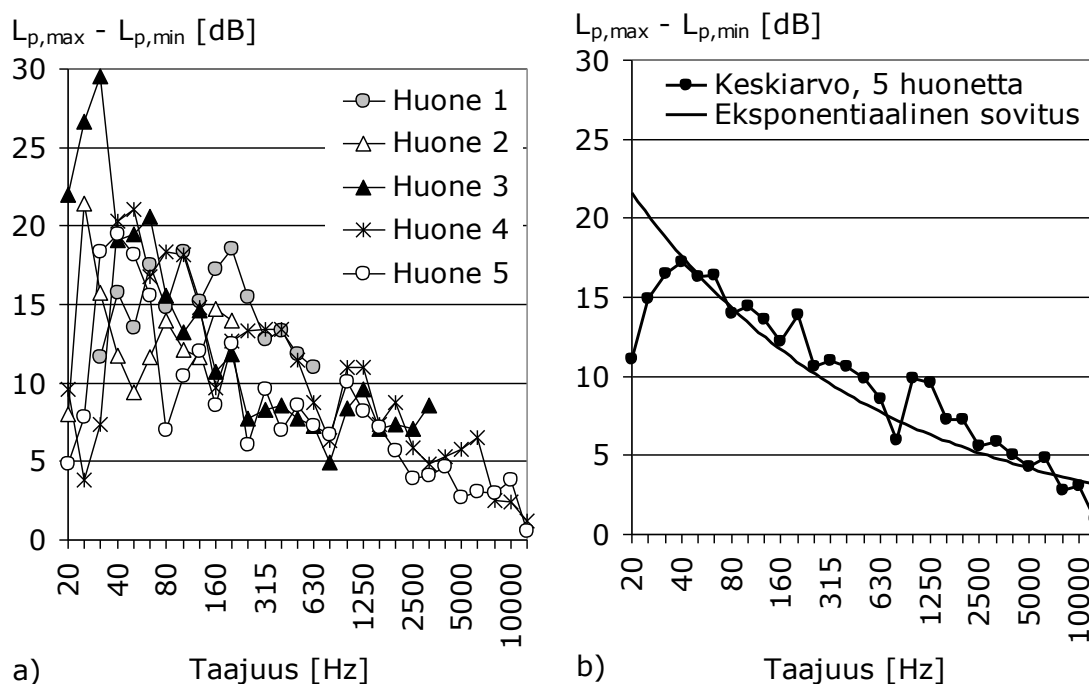
	Maa / Tekijä	Pisteiden määrä yhteensä	Käyttäjän paikka	Nurkka-pisteet	Taajuusalue [Hz]	Taajuus-resoluutio	Minimi-etäisyys seinään [m]	Pisteen korkeus lattiasta [m]
1	Ruotsi	3	x	x	31.5 - 200	1/3-oktaavi	0.5	0.6, 1.2, 1.6
2	Tanska	3	x	x	5 - 160	1/3-oktaavi	0.5	-
3	ISO 16032	3	x	x	31.5 - 8000	1/1-oktaavi	-	0.5, 1.2, 1.6
4	Saksa	1	x	-	10 - 80	1/3-oktaavi	-	-
5	Itävalta	1	x	-	10 - 80	1/3-oktaavi	-	-
6	Alankomaat	1	x	x	20 - 100	1/3-oktaavi	0.2 - 0.5	-
7	Japani	1	x	-	10 - 80	1/3-oktaavi	-	-
8	USA	monta	-	x	-	-	-	-
9	Suomi	monta	x	-	20 - 200	1/3-oktaavi	1	-
10	Pedersen et al.	4	-	x	-	1/3-oktaavi	0.1	0.1
11	Oliva et al.	monta	x	x	20 - 10000	1/3-oktaavi	0.3	0.6, 1.2, 1.55

3 KOKEELLISET TUTKIMUSTULOKSET

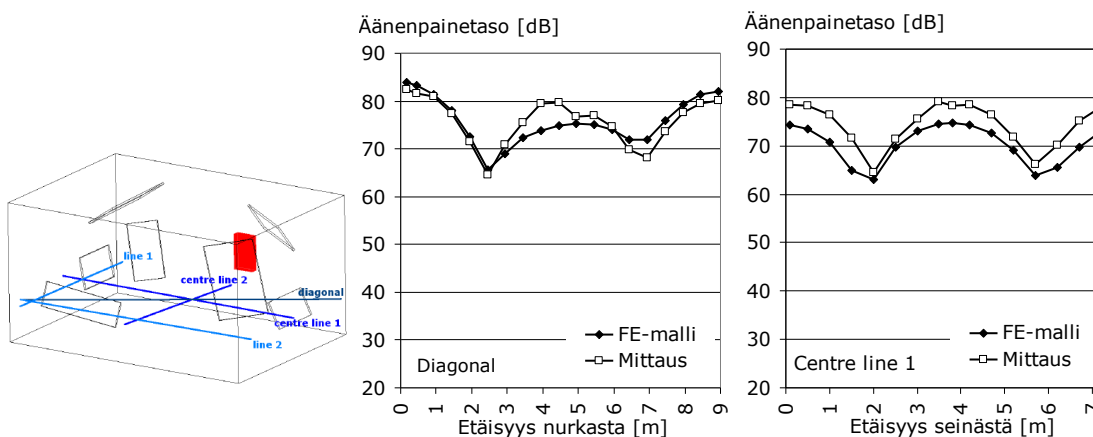
Kokeellisen tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten pientaajuisen melu jakautuu sisätiloissa. Tavoitteena oli selvittää, mikä on äänenpainetaso maksimin ja minimin erot eri taajuuksilla, maksimien ja minimien tyypilliset sijainnit, ja miten huoneparametrit, kuten huoneen koko, kalustus ja absorptio määrä, vaikuttavat äänenpainetaso vaihteluun. Tutkimus tapahtui 5 erilaisessa huoneessa (3 asuinhuonetta, toimisto, kaiuntahuone). Yksityiskohtaiset tiedot on raportoitu tarkemmin viitteessä [1]. Mittauksen ja FEM mallinnuksen vertailu tehtiin yhdessä huoneessa. Tuloksien yhteenvedon saatiin:

- Terssiäänepainetasojen vaihtelut huoneen eri pisteissä kasvavat taajuuden pienentyessä. Keskitäajuuksilla (yli 200 Hz) vaihtelut ovat keskimäärin alle 10 dB. Tätä pienemmällä taajuuksilla vaihtelut yltyvät aina 20 dB asti. Mittaukset koskevat pisteitä, jotka sijaitsevat yli 30 cm päässä huonepinoista (Kuva 1)
- Alimman huonemoodin (xyz: 100, 010, tai 001) alapuolella äänenpainetaso vaihtelu putoaa alle 10 dB:iin
- Huonemoodit ovat selvimpiä tyhjissä huoneissa.
- Äänenpainetaso maksimikohtat ovat laakeita ja ne on helppo löytää. Minimikohtat ovat sen sijaan hyvin lokaaleja.

Kuvassa 2 on esitetty tyypillinen esimerkki äänenpainetason vaihtelusta tutkimushuoneessa 3. Kuvassa esitetään sekä FE-menetelmällä mallinnettu (Comsol 3.5a) että mitattu äänenpainetaso. Mittauspisteet sijaitsivat 10-50 cm välein.



Kuva 1. a) Äänenpainetason vaihtelu viidessä huoneessa. b) Vaihtelun keskiarvo.



Kuva 2. Äänenpainetason vaihtelu terssikaistalla 50 Hz kahdella mittauslinjalla.

4 UUSI MITTAUSMENETELMÄ

Seuraavassa esitetään tutkimuksen pohjalta ehdotettavan uuden mittausmenetelmän kuvaus. Menetelmä soveltuu sekä reklamaatiotilanteisiin että tilan vastaanottomittauksiin työpaikoilla, asunnoissa tai muissa vastaavissa tiloissa, joissa melutasolle on ohjearvoja tai tavoitearvoja. Mittaukset suoritetaan

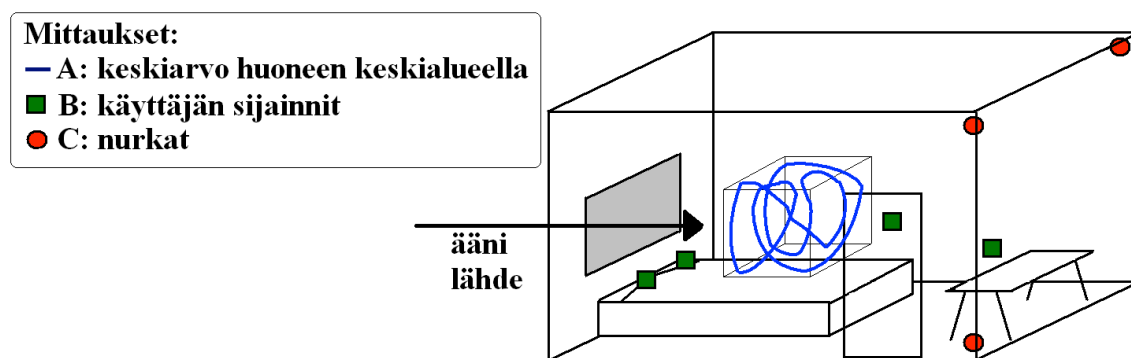
kolmasosaoktaaveittain 20 - 20000 Hz lineaarisena. Menetelmä 1 on tarkoitettu tasaiselle melulle ja menetelmä 2 ajallisesti vaihtelevalle melulle.

4.1 Menetelmä 1. Pikamittaus tasaiselle melulle

Menetelmä on kehitetty tilanteisiin, joissa melutaso pysyy ajallisesti vakiona. Mittaukset tapahtuvat ensisijaisesti pisteissä A ja B ja tarvittaessa pisteissä C (Kuva 3).

A. Keskialue. Mittaus suoritetaan pyyhintämenetelmällä huoneen keskialueella huoneen vähintään yhden kuutiometrin suuruisella alueella. Mittaus vastaa rakennusakustisten standardien mukaista äänitason mittausta. (ISO 10052, ISO 140 jne.) Mittauksen kesto on 30 sekuntia ($L_{eq,30s}$). Mikrofonin tulee sijaita vähintään 75 cm etäisyydellä huonepinoista tai kalusteista.

B. Käyttäjän paikat. Huoneen käyttäjä (tai oletettu käyttäjä) kuvaa 1-5 oleskelupaikkaa. Toissijaisena vaihtoehtona mittauksen tekijä olettaa käyttäjän paikat joko kalustuksen tai kalustesuunnitelman mukaan. Mittauksen kesto on 30 sekuntia. Mittapisteen korkeuden tulisi mielellään olla jokin vaihtoehdoista 0.60 m, 1.20 m tai 1.55 m. Mittausetäisyyden huonepinoista pitäisi olla vähintään 30 cm. Kiinteän mittapisteen sijaan tulisi käyttää pyyhintämenetelmää, jossa mikrofonia liikutellaan esimerkiksi 0.3x0.3x0.3 m kokoisella alueella, jotta tavanomaiset pään liikkeet tulisivat huomioiduksi. Kiinteää mittapistettä tulisi välttää erityisesti siksi, että piste ei sijaitse äänenpaineen minimikohdassa, jotka ovat yleensä erittäin lokaaleja. Mittapisteen kirjataan xyz-koordinaatistoon, jotta mittaus voidaan toistaa.



Kuva 3. Mittauspaikkojen luonnehdinta.

C. Nurkkapisteeet. (optio) Nämä mittaukset ovat vapaaehtoisia, eikä näistä saatavia tuloksia tule koskaan verrata ohjearvoihin. Mittapisteeet ovat perusteltuja, kun halutaan varmistua, millä taajuuksilla voimakkaimmat äänenpainetasot ovat ja sijaitseeko huonemoodi samalla taajuudella kuin heräteääni. Mittaukset suoritetaan kiinteissä pisteissä 10 cm nurkista. Nurkkapisteeitä riittää yleensä mitata 3 kpl. Mittausaika on 30 sekuntia. Jos ääni säteilee julkisivurakenteesta, tulisi pisteiden sijaita vastakkaisella seinältä. Mittapisteeet kirjataan xyz-koordinaatistoon, jotta mittaus voidaan toistaa.

Mittaukset A-C toistetaan kerran, jotta voidaan varmistua, että ajallinen vaihtelu on pieni, jolloin menetelmän 1 tulokset ovat luotettavia. Jos A-äänitaso ($L_{A,eq,30s}$) muuttuu

yli 3 dB, pitkäaikamittausta (menetelmä 2) tulisi harkita. Mittaustuloksia pisteissä A ja B verrataan tavoite- tai ohjearvoihin.

4.2 Menetelmä 2. Pitkäaikaismittaus ajallisesti vaihtelevalle melulle

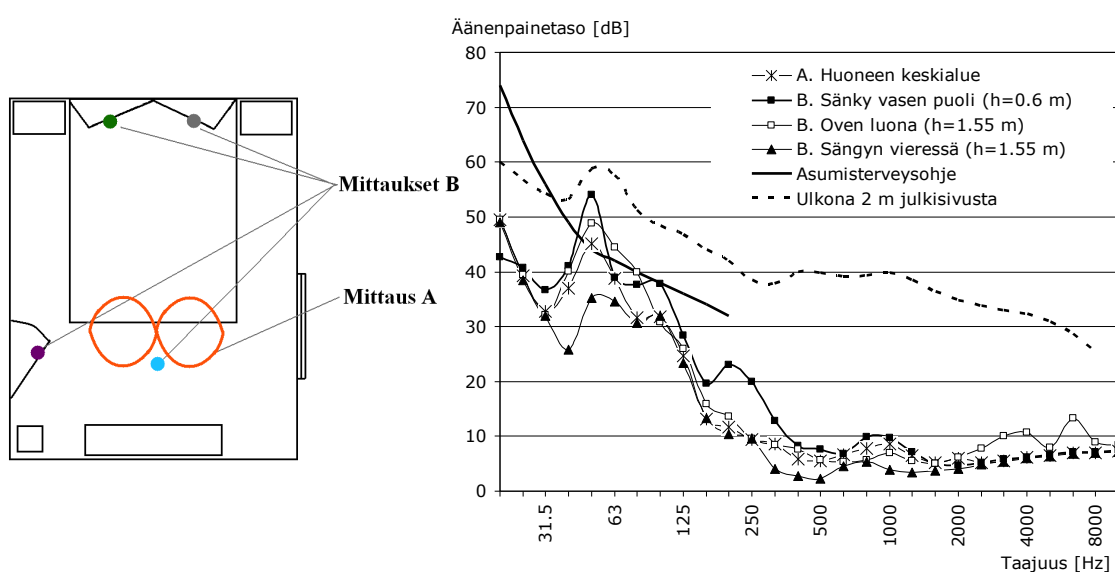
Menetelmä 2 soveltuu tilanteisiin, joissa äänilähteen teho vaihtelee ajallisesti tai kun ei ole varmuutta mistä ja koska ääni tulee. Menetelmä soveltuu esimerkiksi reklamaatiotilanteisiin, jossa meluhaitta on käyttäjän tiedossa. Menetelmää ei ole tässä tutkimuksessa testattu. Menetelmää 2 tulee edeltää mittaukset menetelmällä 1.

Tutkimus aloitetaan käyttäjäkyselyllä, joka voi olla laajamuotoinen [2] tai kyselyä soveltava vapaamuotoinen selvitys melun luonteesta. Mittaus tehdään käyttäjän tarkoin osoittamassa paikassa, jossa meluhaittaa on koettu. Tallentava ääninauhuri sijoitetaan tähän pisteeseen vähintään 24 tunniksi. Huoneen tulee olla tyhjä ja oven suljettuna koko mittauksen ajan. Nauhoituksesta selvitetään mittasuureet ohjearvoihin vertaamiseksi.

5 MITTAUSMENETELMÄN SOVELLUSESIMERKKI

Mittausmenetelmää sovellettiin huoneeseen 4. Kyseessä oli reklamaatiokohde, jossa äänilähteeksi epäiltiin läheisen voimalaitoksen savukaasun poistoilmapuhaltimen melua. Huone oli pieni makuuhuone, jossa oli sänky ja muutamia kalusteita. Ääni säteili huoneeseen julkisivuseinän läpi. Talosta ei ollut suoraa näkyvyyttä savupiippuun. Mittaukset suoritettiin menetelmällä 1. Huoneen käyttäjän pisteet valittiin Kuvan 4 mukaan. Etäisyydet seinästä olivat tässä kohteessa yli 0.5 m.

Mitatut äänenpainetasot ja vertailu Asumisterveysohjeeseen esitetään Kuvassa 4. Tulosten perusteella keskellä huonetta tehty mittaus on juuri ja juuri ohjearvon rajoissa. Kun siirrytään käyttäjän pisteisiin, niistä kahdessa äänenpainetaso ylittää ohjearvon. Ohjearvo ylittyi, koska rakennuksen julkisivulle saapui verrattain voimakasta ääntä 50 Hz taajuudella, jolla sattui olemaan myös huoneen alin pitkittäinen huonemoodi (100).



Kuva 4. Mittauspaikat, äänenpainetasot ja vertailu ohjearvoihin.

6 KANSAINVÄLINEN ASiantuntijakysely

Kyselyn tarkoituksena oli kerätä viranomaisten, tutkijoiden ja konsulttien mielipiteitä pientaaajuisen melun mittaussuomenetelmän sisällöstä. Kysymykset koskivat mm. mittauspisteiden sijaintia, kestoa, taajuusaluetta, taajuusresoluutiota, tuloksien analysointitapaa ja ohjearvojen vertailukäytäntöä. Kyselytulosten raportointi on vielä työn alla mutta tässä kuvataan joitakin päätuloksia. Kysely lähetettiin internetissä kansainvälisesti 30 asiantuntijalle 10 eri maahan. Asiantuntijat olivat kirjallisuustutkimuksen [2] perusteella julkaisseet artikkeleita tai ovat osallistuneet pientaaajuisen melun mittausta koskeviin tutkimuksiin. Kyselyyn saatiin 23 vastausta (vastausprosentti 76). Vastaajista 70 % oli sitä mieltä, että mittaukset tulisi tehdä käyttäjien pisteissä. Osa heistä suositteli täydentäviä mittauksia muissa paikoissa. Vain yksi vastanneista halusi, että mittaus tehdään pelkästään nurkissa. Yli puolet vastaajista näki, että mittapisteitä tulisi olla vähintään 3 kpl. Mittausajan tulisi olla niin pitkä, että se edustaa melutilannetta. Vastaajista 87 % suorittaisi mittaukset 1/3-oktaavikaistoittain. Puolet vastaajista käyttäisi taajuusriippuvaa ohjearvoa (vrt. Asumisterveysohje), kuin loput käyttäisivät yksilukuista ohjearvoa kuten $L_{A,eq}$. Vastaajista 95 % oli sitä mieltä, että pientaaajuisen melun mittaamiseksi tarvittaisiin eurooppalainen standardi. Menetelmän tulisi soveltua sekä asuntoihin että työpaikoille. Kyselyn tulokset olivat hyvin linjassa niiden valintojen kanssa, mitä luvun 4 mittaussuomenetelmässä ehdotettiin.

8 KIITOKSET

Tutkimus toteutettiin tutkimushankkeessa "Rakennuksen meluntorjunta pientaaajuuksilla - LFN" vuosina 2008-2010. Tutkimuksen rahoittivat Tekes ja neljä yritystä.

VIITTEET

1. SIMMONS C, *Measurements of sound pressure levels at low frequencies in rooms. Comparison of available methods and standards with respect to microphone positions. Proposal for new procedures.* NORDTEST Project No. 1347-97. Sweden. 1997.
2. OLIVA D, HONGISTO V, KERÄNEN J, KOSKINEN V, *Measurement of low frequency noise in rooms*, Finnish Institute of Occupational Health, Indoor environment laboratory, December 2010, Turku, Finland. (unpublished)
3. OLIVA D, KOSKINEN V, KERÄNEN J, HONGISTO V, *New measurement method of low frequency noise in rooms*, *Proceedings from 14th International Conference on Low Frequency Noise and Vibration and its Control*, 9 – 11 June 2010, Aalborg, Denmark, 307-319.
4. Asumisterveysohje 2003:1. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita, s 40, Helsinki.