

PIENTAAJUUSMENETTELY ASKELÄÄNENERISTÄVYYDEN KENTTÄMITTAUKSISSA

Mikko Kylliäinen, Lauri Talus, Jesse Lietzén, Pekka Latvanne, Ville Kovalainen

A-Insinöörit
Akustiikkasuunnittelu
Puutarhakatu 10
33210 Tampere
etunimi.sukunimi@ains.fi

Tiivistelmä

Askelääneneristävyyden kenttämittausmenetelmän määrittelevä standardi ISO 16283-2 julkaistiin ensimmäisen kerran vuonna 2015. Standardissa esitettiin pientaajuusmenettely askeläänitasojen mittaamiseksi kolmannesoktaavikaistoilla 50, 63 ja 80 Hz, kun huoneen tilavuus on alle 25 m³. Menettelyn tavoitteena on ollut mittausepävarmuuden pienentäminen pientaajuusalueella. Alkujaan menettely on kehitetty ilmaääneneristävyyden kenttämittauksia varten eikä sen käyttökelpoisuutta askelääneneristävyyden mittauksiin ole tutkittu. Tämän artikkelin tarkoituksena on selvittää pientaajuusmenettelyn vaikutuksia sekä mittausepävarmuuteen että taajuuskaistaisiin standardisoi-tuihin askeläänitasoihin L'_{nT} ja askeläänitasolukuihin $L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$. Tulosten perusteella pientaajuusmenettely todellakin pienentää mittausepävarmuutta. Samalla kuitenkin menettelyyn sisältyvät äänenpainetasojen mittaukset huoneen nurkissa johtavat siihen, että askeläänitasot L'_{nT} kasvavat useimmissa tapauksissa 2–7 dB ja enimmillään jopa 20 dB. Samoin askeläänitasolukujen arvot kasvavat tyypillisesti 2–7 dB. Tämä on paljon verrattuna tutkimuskirjallisuudessa esitettyihin ilmaääneneristävyyden mittalukujen ± 1 dB muutokseen. Pientaajuusmenettely johtaa suunnittelu- ja rakennuskustannusten nousuun eikä sen yhteyttä koettuun askelääneneristävyyteen ole tutkittu. Siten sen käytöstä tulisi luopua askelääneneristävyyden mittauksissa.

1 JOHDANTO

Menetelmä askelääneneristävyyden kenttämittauksiin sekä vertailukäyrä yksilukuarvoisten mittalukujen laskemiseksi esitettiin ensimmäisenä saksalaisessa DIN-standardissa 52211 [1]. Äänilähteenä käytettävä askeläänikoje standardoitiin vuonna 1960 [2] ja vertailukäyrämenettely vuonna 1968 [3]. Tällöin mitattavan taajuusalueen alaraja vakiintui 100 Hz kolmannesoktaavikaistalle. 1960-luvulta lähtien taajuusalueen alaraja ja askelääneneristävyyden kokeminen pienillä taajuuksilla on kuitenkin ollut keskustelun aiheena [4–7], ja vuonna 1996 uudistetussa ISO-standardissa 717-2 [8] esiteltiin spektripainotusermi $C_{1,50-2500}$, jolla voidaan ottaa huomioon askelääneneristävyys taajuuskaistoilla 50, 63 ja 80 Hz.



© 2021 Mikko Kylliäinen, Lauri Talus, Jesse Lietzén, Pekka Latvanne, Ville Kovalainen. Tämä on avoimesti julkaistu teos, joka noudattaa Creative Commons NIMEÄ 4.0 Kansainvälinen –lisenssiä (CC BY 4.0). Teosta saa kopioida, levittää, näyttää ja esittää julkisesti ja siitä saa luoda johdannaisteoksia, kunhan tekijän nimi ja lähde mainitaan asianmukaisesti.

Ääneneristävyyden mittaukset perustuvat oletukseen diffuusista äänikentästä. Pientaajuisten askeläänten kokemisen lisäksi keskustelun aiheena on 1960-luvulta saakka ollut niiden mittausepävarmuus [9–11]. Tyhjässä asuinhuoneessa, jonka tilavuus on 30 m^3 , äänikentän voidaan odottaa olevan diffuusi yli 400 Hz taajuusalueella [12]. Oletetun mittausepävarmuuden vuoksi useimmat Euroopan maat eivät ole ottaneet spektripainotus-termiä $C_{1,50-2500}$ käyttöön kansallisissa määräyksissään [13].

ISO-standardissa 16283-2 [14] esiteltiin vuonna 2015 askelääneneristävyyden kenttämittauksia varten pientaajuusmenettely (LF-menettely), jota käytetään kolmannesoktaavikaistoilla 50, 63 ja 80 Hz vastaanottohuoneen tilavuuden alittaessa 25 m^3 . LF-menettelyyn sisältyvät äänenpainetasojen lisämittaukset vähintään neljässä huoneen nurkassa ja näiden mittaustulosten yhdistäminen erityisellä menettelyllä normaalien mittausten tuloksiin. Lisäksi jälkikaiunta-ajan mittaustuloksena käytetään 63 Hz oktaavikaistalla mitattua jälkikaiunta-aikaa kolmannesoktaavikaistoittain mitattujen lisäksi.

Pientaajuusmenettely perustuu Hopkinsin ja Turnerin [15] tutkimukseen, jonka tavoitteena oli vähentää mittausepävarmuutta pientaajuusalueella. Tutkimuksessa käsiteltiin vain ilmaääneneristävyyttä, mutta menetelmä on vastaanottohuoneessa tehtäviä äänenpainetasojen mittauksia ja jälkikaiunta-aikaa koskien sellaisenaan sisällytetty askelääneneristävyyden kenttämittausstandardiin [16]. Tietävästi pientaajuusmenettelyn soveltuvuutta askelääneneristävyyden mittauksiin ei ole tutkittu lainkaan. Tämän artikkelin tarkoituksena on selvittää, kuinka pientaajuusmenettely vaikuttaa askeläänitasojen mittausepävarmuuteen. Lisäksi tutkitaan, millä tavoin taajuuskaistaisten standardisoitujen askeläänitasojen L'_{nT} sekä askeläänitasoluvun $L'_{nT} + C_{1,50-2500}$ arvot muuttuvat pientaajuusmenettelyn seurauksena. Tämä artikkeli on tiivistetty versio perusteellisemmasta esityksestä [17].

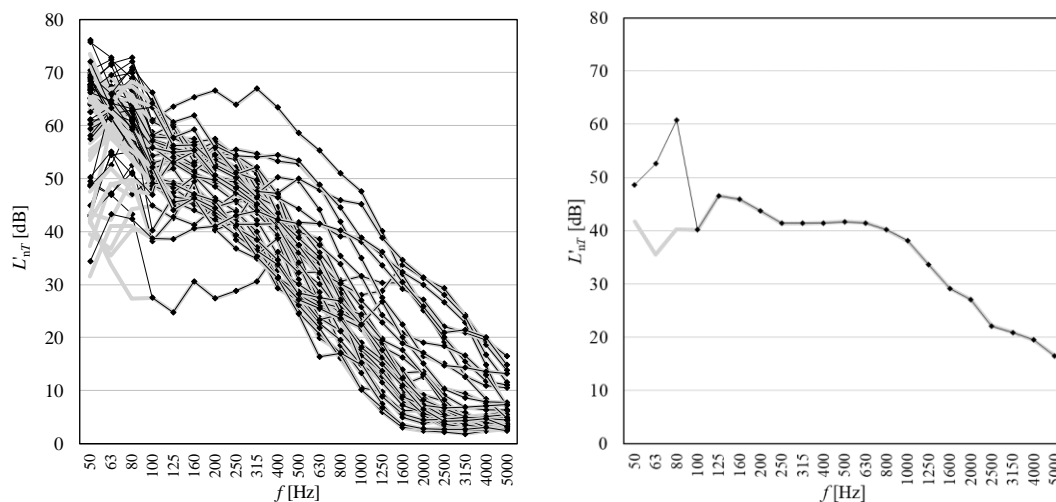
2 AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimuksessa käytetty mittausaineisto on peräisin A-Insinöörien akustiikkasuunnittelu-yksikön tekemistä kenttämittauksista, joihin yksiköllä on standardin ISO 17025 [18] vaatimuksia vastaava FINASin myöntämä [akkreditointi](#). Aineistoon sisältyy mittaustuloksia vuodesta 2018 lähtien eli kenttämittausstandardin nykyisen [16] ja edellisen version [19] voimassaoloajalta. Kaikki mittaukset on tehty uudisrakennuksissa tyhjässä huoneissa. Aineistossa on 40 kenttämittaustulosta, jotka kuutta tulosta lukuun ottamatta ovat pystysuuntaisista mittauksista ylhäältä alas. Vastaanottohuoneiden tilavuudet ovat olleet 16 ja 24 m^3 välillä. Mittauksista 35 on tehty puurakennuksissa ja muut betonirakennuksissa.

Askeläänitasot L'_{nT} ja askeläänitasoluvut $L'_{nT} + C_{1,50-2500}$ on määritetty sekä pientaajuusmenettelyn mukaisesti että ilman sitä. Askeläänikojeella ja mikrofoniolla on kummallakin ollut neljä kiinteää paikkaa. Pientaajuusmenettely on tehty joko käyttäen kahta tai neljää askeläänikojeen paikkaa. Standardisoidut askeläänitasot kaikissa aineiston kenttämittauksissa laskettuina pientaajuusmenettelyn mukaisesti ja ilman sitä on esitetty kuvassa 1. Lisäksi kuvassa on esitetty esimerkki yhdestä mittaustuloksesta pientaajuusmenettelyn mukaisesti ja ilman sitä.

Pientaajuusmenettelyn soveltuvuutta askelääneneristävyyden mittauksiin on selvitetty samalla tavalla kuin Hopkins ja Turner [15] arvioivat menetelmän soveltuvuutta ilmaääneneristävyyden mittauksiin. Erot pientaajuusmenettelyllä ja vakiomenettelyllä määritettyjen standardisoitujen askeläänitasojen välillä on laskettu erotuksena:

$$D_{nT,LF,k} = L'_{nT,LF,k} - L'_{nT,k} \quad (1)$$



Kuva 1. Standardisoidut askeläänitasot L'_{nr} mitattuina vakiomenettelyllä (—) ja LF-menettelyllä (—•). Vasemmalla kaikki mittaustulokset ja oikealla esimerkki yksittäisestä mittaustuloksesta.

Kaavassa 1 alaindeksi LF viittaa pientaajuusmenettelyyn ja k kolmannesoktaavikaistoihin 50, 63 ja 80 Hz. Koko mittausaineiston perusteella on määritelty erotusten (kaava 1) keskiarvot ja keskihajonnat.

Mittausepävarmuuden pienentäminen on ollut pientaajuusmenettelyn tavoitteena, joten sen arvioimiseksi on laskettu ennen äänenpainetasojen standardisointia määritettyjen askeläänitasojen L'_i keskihajonnat. Mittausstandardi ISO 16283-2 [16] edellyttää, että mitattujen askeläänitasojen energiakeskiarvo lasketaan taustäänikorjatuista mittaustuloksista yhtä askeläänikojeen paikkaa kohti. Siten energiakeskiarvot yhtä askeläänikojeen paikkaa kohti muodostuvat neljässä mikrofoniasteessa mitatuista äänenpainetasoista. Koska askeläänikojeen paikkoja on ollut neljä, keskihajonnat voidaan laskea näiden neljän paikan mittaustulosten perusteella. Lasketuista keskihajonnoista käytetään merkintöjä s_i (vakiomenettely) ja $s_{i,LF}$ (LF-menettely).

Erot vakiomenettelyllä ja LF-menettelyllä mitattujen askeläänitasojen perusteella lasketujen askelääneneristävyyden yksilukuarvoisten mittalukujen välillä on määritetty erotuksena seuraavasti:

$$D_{nT,SNQ} = (L'_{nT,w} + C_{1,50-2500,LF}) - (L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}) \quad (2)$$

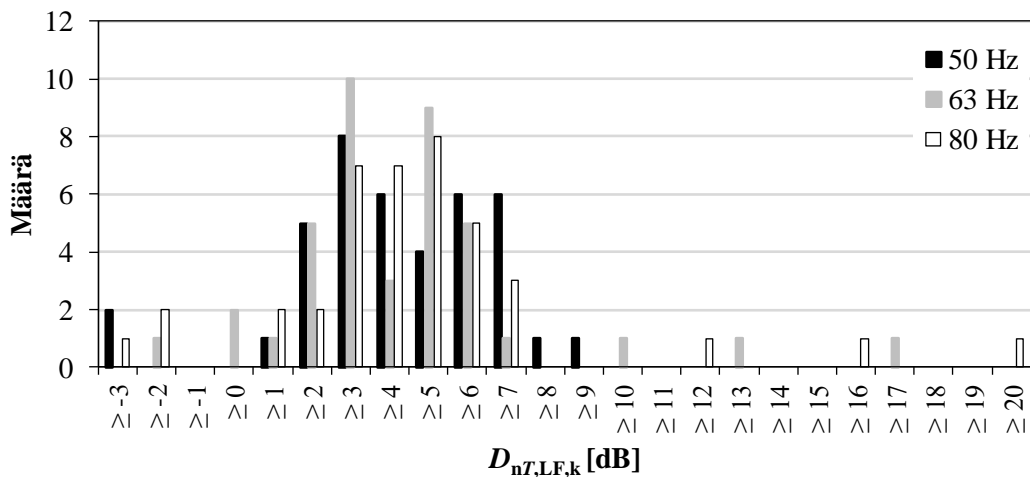
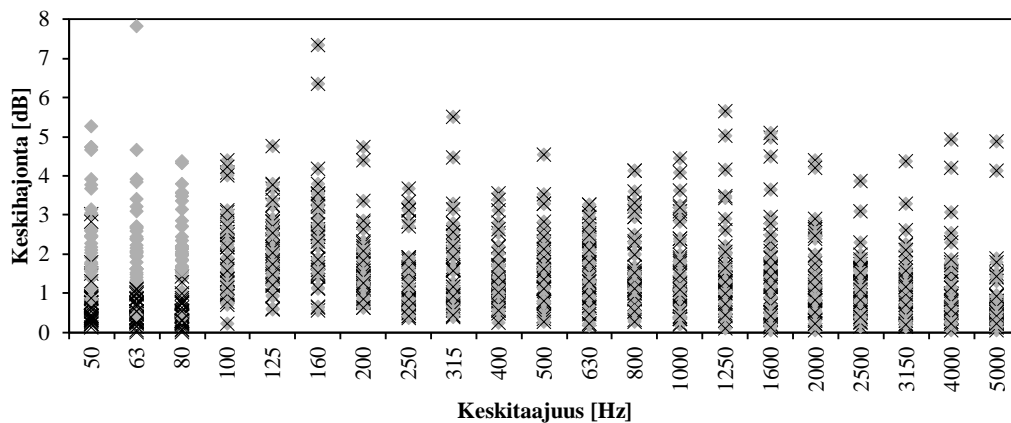
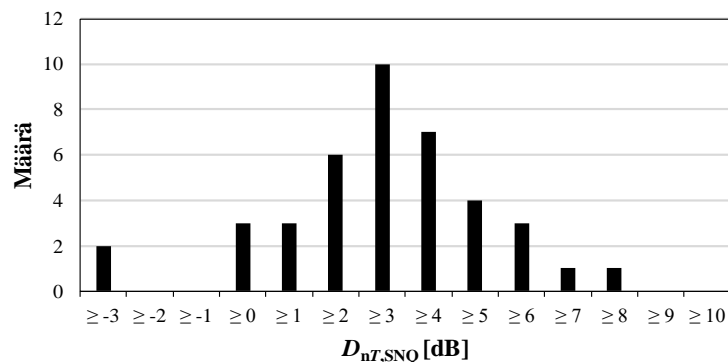
Yksittäisten mittaustulosten kaavan 2 mukaan lasketuista erotuksista on laskettu myös erotusten keskiarvot ja keskihajonnat.

3 TULOKSET

Keskiarvot ja keskihajonnat pientaajuus- ja vakiomenettelyllä määritettyjen askeläänitasojen erotuksista $D_{nT,LF,k}$ on esitetty taulukossa 1. Erotusten jakaumat kolmannesoktaavikaistoilla 50, 63 ja 80 Hz on esitetty kuvassa 2. Askeläänitasojen energiakeskiarvojen keskihajonnat kaikissa 40 mittauksessa sekä LF-menettelyllä että vakiomenettelyllä määritettyinä on esitetty kuvassa 3. Askelääneneristävyyden yksilukuarvoisten mittalukujen erot $D_{nT,SNQ}$ on esitetty kuvassa 4. Erojen $D_{nT,SNQ}$ keskiarvo on 3,0 dB ja keskihajonta 2,3 dB.

Taulukko 1. Keskiarvot ja keskihajonnat pientaajuus- ja vakiomenettelyllä mitattujen askeläänitasojen eroista $D_{nT,LF,k}$.

Difference	Average	Standard deviation
$D_{nT,LF, 50 \text{ Hz}}$	4,2 dB	2,5 dB
$D_{nT,LF, 63 \text{ Hz}}$	4,2 dB	3,3 dB
$D_{nT,LF, 80 \text{ Hz}}$	4,7 dB	4,1 dB

**Kuva 2. Pientaajuus- ja vakiomenettelyllä määritettyjen askeläänitasojen erojen $D_{nT,LF,k}$ ja-kaumat kolmannesoktaavikaistoilla 50, 63 ja 80 Hz.****Kuva 3. Mitattujen askeläänitasojen keskihajonnat s_i (vakiomenettely, \diamond) ja $s_{i,LF}$ (LF-menettely, \times).****Kuva 4. Askelääneneristävyyden yksilukuarvoisten mittalukujen erot $D_{nT,SNQ}$.**

4 TULOSTEN TARKASTELU

Pientaajuusmenettelyn tavoitteena on ollut parantaa mittausepävarmuutta [15] mitattaessa pientaajuusalueella (50, 63 ja 80 Hz). Tässä artikkelissa esitetyt tulokset mitattujen askeläänitasojen energiakeskiarvojen keskihajonnoista osoittavat, että mittausepävarmuus todellakin pienenee verrattuna vakiomenettelyyn. Kuva 3 kuitenkin osoittaa myös, että vakiomenettelyllä mitattujen energiakeskiarvojen keskihajonnat pientaajuusalueella eivät merkittävästi poikkea keskihajonnoista taajuusalueella 100–200 Hz. Vastaavia tuloksia on esitetty tutkimuskirjallisuudessa aiemminkin [11]. Tämä herättää kysymyksen siitä, onko pientaajuusmenettely tarpeellinen lainkaan.

Toisaalta pientaajuusmenettelyllä mitatut askeläänitasot ovat keskimäärin yli 4 dB suurempia kuin vakiomenettelyllä mitatut (taulukko 1), mutta yksittäisissä mittauksissa pientaajuusmenettely voi tuottaa jopa 20 dB suuremman tuloksen (kuva 2). Tämä johtaa siihen, että yksilukuarvot $L'_{nT,w} + C_{L,50-2500}$ ovat 95 % tapauksista (kuva 4) suuremmat kuin vakiomenettelyn mukaisista tuloksista määritetyt. Ero on 77,5 % tapauksista 2...7 dB, ja suurimmillaan 9 dB. Ilmaääneneristävyuden mittauksissa vastaava muutos on ± 1 dB [15].

Pientaajuusmenettely johtaa kenttämittauksissa erikoisiin tilanteisiin: täysin samanlaiset rakenteet toteutettuina yhdenmukaisesti tuottavat 24 m^3 ja 26 m^3 kokoisissa huoneissa eri tuloksen. Näyttöä siitä, että kahta kuutiota pienemmässä huoneessa askelääneneristävyuden kokeminen muuttuisi vastaavasti, ei kuitenkaan ole olemassa. Toisaalta pientaajuusmenettelyn käyttö voi myös hämärtää käsitystä välipohjien akustisesta toiminnasta. Esimerkiksi kuvassa 1 oikealla puolella esitetyn mittaustuloksen voisi pientaajuusmenettelyn perusteella tulkita niin, että rakenne tuottaa 80 Hz kohdalla voimakkaan resonanssin 80 Hz, joka voisi johtua kelluvasta lattiasta. Vakiomenettelyllä saaduista tuloksista nähdään, että tällaista kelluvan lattian resonanssia ei kuitenkaan ole.

Tutkitussa aineistossa on 11 mittaustulosta, jotka ilman pientaajuusmenettelyä täyttävät ääniympäristöasetuksen vaatimukset, mutta eivät täytä, kun pientaajuusmenettely otetaan käyttöön. Rakennusliikkeiden on noudatettava voimassa olevia määräyksiä, joten pientaajuusmenettely johtaa käytännössä muista huoneistoista poikkeavien rakenneratkaisujen käyttöön tilavuudeltaan pienemmissä huoneissa ja edelleen rakennus- ja suunnittelukustannusten nousuun.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Pientaajuusmenettely on otettu askelääneneristävyuden mittausstandardiin tutkimatta menettelyn soveltuvuutta askelääneneristävyuden mittauksiin ja selvittämättä menetelmän vaikutuksia rakenneratkaisuihin tai rakennuskustannuksiin. Tieteellistä tietoa ei ole siitäkään, vastaavatko menetelmällä saatavat tulokset ihmisen subjektiivista kokemusta, eikä menetelmän kehittäjien tarkoitukseen ole ollut johtaa ihmisen kokemusta paremmin vastaavia mittalukuja, vaan parantaa mittausepävarmuutta pienillä taajuuksilla. Edellä olevan perusteella pientaajuusmenettelyn tieteellinen pohja askelääneneristävyuden mittauksiin on jokseenkin ohut tai jopa olematon. Siten on suositeltavaa, että sitä ei käytettäisi askelääneneristävyuden mittauksissa.

VIITTEET

1. DIN 52211:1953. Schalldämmzahl und Norm-Trittschallpegel.

2. ISO-R 140:1960: Field and laboratory measurements of airborne and impact sound transmission.
3. ISO-R 717:1968: Rating of sound insulation in dwellings.
4. Mariner T. Technical problems in impact noise testing. *Building Research* 1964; 1; 53–60.
5. Gerretsen E. A new system for rating impact sound insulation. *Applied Acoustics* 1976; 9; 247–263.
6. Bodlund K. Alternative reference curves for evaluation of the impact sound insulation between dwellings. *Journal of Sound and Vibration* 1985; 102; 381–402.
7. Kylliäinen M, Hongisto V, Oliva D, Rekola L. Subjective and objective rating of impact sound insulation of a concrete floor with various coverings. *Acta Acustica united with Acustica* 2017; 103; 236–251.
8. ISO 717-2:1996: Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation.
9. Cremer L. Der Sinn der Sollkurven. In: *Schallschutz von Bauteilen*. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn; 1960.
10. Fasold W. Untersuchungen über den Verlauf der Sollkurve für den Trittschallschutz im Wohnungsbau. *Acustica* 1965; 15; 271–284.
11. Kylliäinen M. The measurement uncertainty of single-number quantities for rating the impact sound insulation of concrete floors. *Acta Acustica united with Acustica* 2014; 100; 640–648.
12. Schroeder M, Kuttruff H. On frequency response curves in room. *The Journal of the Acoustical Society of America* 1962; 34; 76–80.
13. Rasmussen B. Sound insulation between dwellings – Comparison of national requirements in Europe and interaction with acoustic classification scheme. *Proceedings of the 23rd International Congress on Acoustics*. Aachen: 9–13 September 2019, 5102–5109.
14. ISO 16283-2:2015: Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation.
15. Hopkins C, Turner, P. Field measurement of airborne sound insulation between rooms with non-diffuse sound fields at low frequencies. *Applied Acoustics* 2005; 100: 1339–1382.
16. ISO 16283-2:2020: Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation.
17. Kylliäinen M, Talus L, Lietzén J, Latvanne P & Kovalainen V. Assessment of the low-frequency procedure in the field measurements of impact sound insulation between dwellings. Hyväksytty julkaistavaksi *Applied Acoustics* -lehdessä 30.8.2021.
18. ISO 17025:2017: General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
19. ISO 16283-2:2018: Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation.