

ÄÄNENERISTÄVYYSMITTAUSTEN MITTALUKUJEN EROT KENTTÄMITTAUSAINESTON PERUSTEELLA

Olli Santala¹ ja Erno Huttunen²

¹ Helimäki Akustikot Oy
Temppelikatu 6 B
00100 Helsinki
olli.santala@helimaki.fi

² Helimäki Akustikot Oy
Asemakatu 22-24
70100 Kuopio
erno.huttunen@helimaki.fi

Tiivistelmä

Ääneneristävyysmääräykset muuttuivat Suomessa vuonna 2018, ja tällöin siirryttiin käyttämään ilma- ja askelääneneristysmittauksissa uusia mittalukuja. Varsinaiset mittausten menetelmät ovat samoja sekä vanhoilla että uusilla mittaluvuilla, mutta niiden laskennassa on eroavaisuuksia. Tässä artikkelissa tarkastellaan laajan kenttämittausaineiston avulla, miten mittaustulokset käyttäytyvät eri mittaluvuilla ja kuinka tyypillistä on, että ääneneristävyysmääräykset täyttyvät vain jommalla kummalla mittaluvulla. Lisäksi analysoidaan mittalukujen tulosten eroja suhteessa Rakennusteollisuusyhdistyksen tilavuusrajoitukseen, joka oli käytössä vanhojen mittalukujen tapauksessa asuinrakennuksissa. Askelääneneristävyys osalta käsitellään myös spektripainotustermin $C_{1,50-2500}$ vaikutusta.

1 JOHDANTO

Suomessa käytettiin vuosikymmenien ajan ilmaääneneristävyys laskennassa mittalukua R'_w ja askelääneneristävyysmittauksissa mittalukua $L'_{n,w}$. Eri mittalukuvaihtoehtojen ja subjektiivisen kokemuksen välisen yhteyden kehittämistä tutkittiin laajalti [1], ja vuonna 2018 astui voimaan uusi Ympäristöministeriön asetus (YMa 796/2017) [2], jossa mittaluvuksi vaihtui äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ sekä askeläänitasoluku $L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$. Muutoksen myötä itse mittausten menetelmät eivät muuttuneet, vain laskentatapa vaihtui. Määräystason lukuarvo, ilmaääneneristävyysmittauksissa vähintään 55 dB ja askelääneneristävyysmittauksissa enintään 53 dB, pysyi samana verrattuna aiempaan määräykseen, joka asetettiin Suomen rakennusmääräyskokoelmassa (SRakMk C1-1998) [3]. Mittalukujen laskentatavan muutos kuitenkin johtaa siihen, että mittaustuloksen määräyksen täyttyminen voi muuttua tapauskohtaisesti. Tässä tutkimuksessa käsiteltiin laajaa kenttämittausaineistoa erityisesti määräystasojen täyttyminen kannalta.



© 2019 Olli Santala ja Erno Huttunen. 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.

Mittalukujen eroja on tutkittu eri näkökulmista. Askelääneneristävyyden spektripainotustermin $C_{1,50-2500}$ on todettu aiheuttavan välipohjatyyppien välillä muutoksia niiden paremmuusjärjestyksessä, mutta määräystason täyttymiseen sillä oli vaikutusta vain harvoin [4]. Askelääneneristävyyden tarkastelun laajentamisen alaspäin 50 Hz taajuusalueelle tai jopa 20-25 Hz asti on havaittu johtavan parempaan vastaavuuteen koetun askelääneneristävyyden kanssa [5]. Koettu askelääneneristävyys korreloi paremmin mittaluvun kanssa myös silloin, kun käytetään standardisointia jälkikaiunta-aikaan (kuten mittaluvussa $L'_{nT,w}$) absorptiopinta-alaan normalisoinnin sijasta ($L'_{n,w}$) [1, 6].

Kuten kappaleessa 2 tullaan osoittamaan, mittalukujen R'_w ja $D_{nT,w}$ sekä $L'_{n,w}$ ja $L'_{nT,w}$ riippuvuus toisistaan noudattaa suoraan laskennallista teoriaa, joten siltä osin tarkastelu on suoraviivaista. Kenttämittausaineistoa tarkastelemalla haluttiin selvittää, miten käytännön asiat vaikuttavat mittalukujen riippuvuuteen ja millaisia eroavaisuuksia tämä aiheuttaa teoriaan verrattuna. Tämän tutkimuksen ensimmäisenä painopisteenä on se, että käytännön toiminnassa mittauksen tilaajaa ja valvovaa tahoja kiinnostaa erityisesti määräysten täyttyminen. Laajan kenttämittausaineiston avulla pystytään tarkastelemaan, miten ja kuinka yleisesti mittalukujen vaihtaminen vaikuttaa määräystasojen täyttymiseen. Lisäksi keskitytään spektripainotustermiin askeläänitasoluvun osalta sekä tilavuusrajoituksen vaikutukseen. Kyseinen tilavuusrajoitus oli käytössä Rakennusteollisuus RT:n suosituksesta vanhojen mittalukujen laskennassa vuosien 2009 ja 2017 välillä ja koski mittauksia, joissa vastaanottohuoneen tilavuus oli yli 60 m^3 [7].

Tutkimuksen aineisto on kerätty kenttämittauksista, jotka on tehty 2010-luvulla normaalin mittaustoimintana (Helimäki Akustikot Oy). Tarkasteltavat mittauskohteet on rajattu asuntoihin. Otokoko on askelääneneristävyyden osalta lähes tuhat mittauksia ja ilmaääneneristävyydessä hieman yli tuhat.

2 TAUSTA

Sekä askel- että ilmaääneneristävyyden osalta mittalukujen välinen riippuvuussuhde on johdettavissa standardeissa esitetystä kaavoista. Varsinaisissa mittauksissa ei ole eroja, eli samasta mittausaineistosta voidaan laskea sekä normalisoitu että standardisoitu mittaluku.

Askelääneneristävyyden osalta standardi ISO 16283-2:2018 [8] määrittelee normalisoidun ja standardisoidun askeläänitason kaavoilla

$$L'_n = L_i + 10 \lg \frac{A}{A_0} \quad (1)$$

$$L'_{nT} = L_i - 10 \lg \frac{T}{T_0} \quad (2)$$

missä L_i on energiakeskiarvoistettu askeläänitaso kussakin mittauspisteessä, A on absorptioala vastaanottohuoneessa, A_0 on referenssiabsorptioala (10 m^2), T on jälkikaiunta-aika ja T_0 referenssijälkikaiunta-aika (0,5 s). Sabine kaavan

$$A = \frac{0,161V}{T} \quad (3)$$

avulla saadaan johdettua normalisoidun ja standardisoidun askeläänitason erotus:

$$L'_{n} - L'_{nT} = 10\lg(V) + 10\lg \frac{0,161}{A_0 T_0} . \quad (4)$$

Jälkimmäinen osa on vakio, joten erotus on riippuvainen vain vastaanottohuoneen tilavuudesta V .

Ilmaääneneristävyyden osalta puolestaan standardi ISO 16283-1:2014 [9] määrittelee ilmaääneneristävyyden R' ja standardisoidun äänitasoeroluvun D_{nT} kaavoilla

$$R' = D + 10 \lg \frac{S}{A} \quad (5)$$

$$D_{nT} = D + 10 \lg \frac{T}{T_0} \quad (6)$$

missä D on lähetys- ja vastaanottohuoneiden energiakeskiarvoistettujen äänenpainetasojen erotus ja S on lähetys- ja vastaanottohuoneen välinen pinta-ala. Jälleen Sabine kaavaa (3) käyttäen voidaan johtaa mittalukujen erotus:

$$R' - D_{nT} = 10 \lg \frac{S}{V} + 10 \lg \frac{T_0}{0,161} \quad (7)$$

Kaavasta nähdään, että erotus on riippuvainen vain mittaushuoneiden välisen pinta-alan ja vastaanottohuoneen tilavuuden suhteesta – eli vastaanottohuoneen syvyydestä.

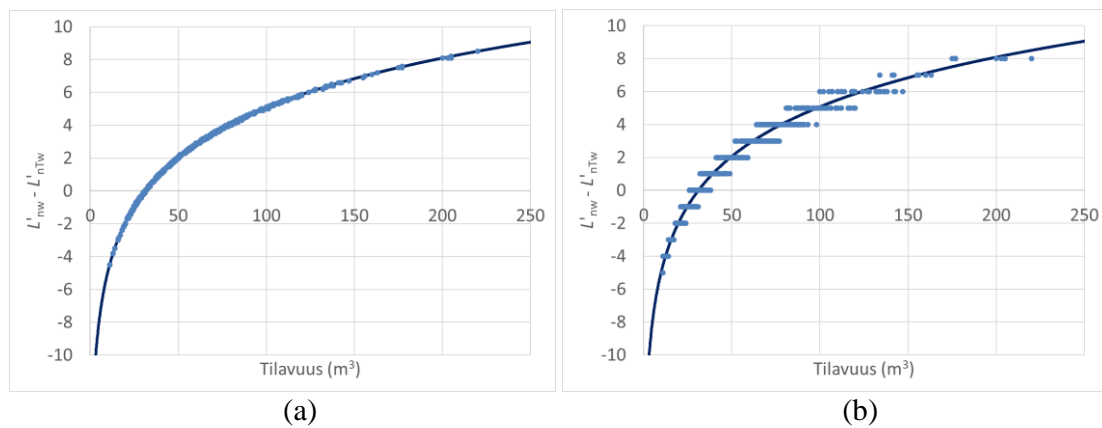
Kaavojen (4) ja (7) avulla voidaan esittää kuvaajat mittalukujen erotuksen riippuvuudesta. Nämä on esitetty kaikkien tuloskuvien yhteydessä yhtenäisellä viivalla. Askelääneneristävyyden tapauksessa vaaka-akselilla on vastaanottohuoneen tilavuus ja ilmaääneneristävyydessä puolestaan vastaanottohuoneen syvyys.

Askelääneneristävyyden osalta mittalukujen erotus kaavassa (4) saa arvon nolla tilavuuden 31 m^3 kohdalla. Tätä pienemmissä huoneissa standardisoitu askeläänitasoluku $L'_{nT,w}$ eli YMa 796/2017 mukainen uusi mittaluku antaa siis huonomman tuloksen eli suuremman askeläänitason kuin vanha mittaluku. Ilmaääneneristävyyden osalta puolestaan kaava (7) saa arvon nolla, kun vastaanottohuoneen syvyys on 3,1 m. Tätä pienemmissä huoneissa standardisoitu äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ antaa huonomman tuloksen eli pienemmän ilmaääneneristävyyden kuin vanha mittaluku.

3 TULOKSET

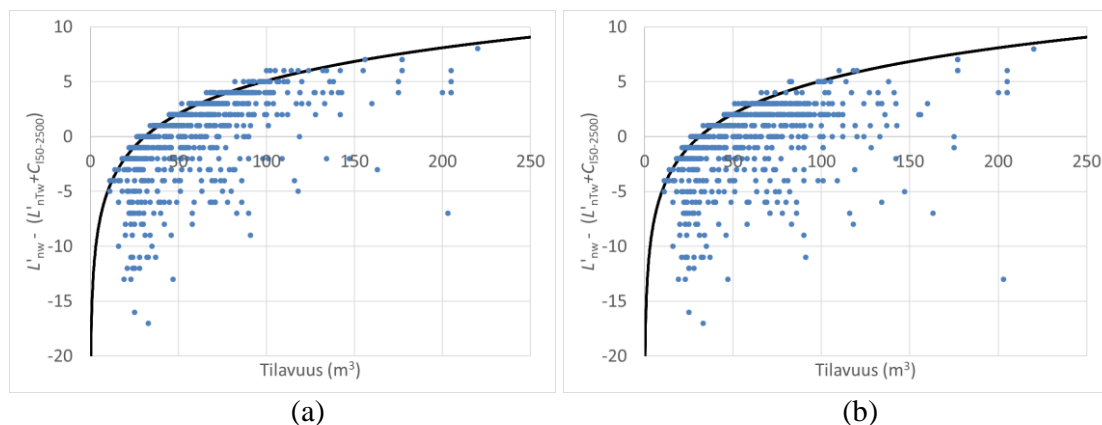
3.1 Askelääneneristävyys

Aineistoa tarkasteltiin siten, että jokaisen mittauksen osalta laskettiin mittalukujen väliset erotukset useammalla eri tavalla. Kuvassa 1 on esitetty askelääneneristävyden mittalukujen erotus, $L'_{n,w} - L'_{nT,w}$. Tässä tapauksessa kuva 1a seuraa suoraan teoriaa, sillä mukana on vain kaavojen mukaisia elementtejä. Kuvassa 1b puolestaan nähdään, miten erotus käytäytyy, kun tehdään pyöritys kokonaislukuun. Ääneneristävyys esitetään määräykseen verrattaessa kokonaislukuina, joten tämä tarkastelu esittää todellisessa tilanteessa esiintyvät epävarmuudet.



Kuva 1. Askelääneneristävyden mittalukujen erotus vastaanottohuoneen tilavuuden funktiona tarkkuudella 0,1 dB (a) sekä kokonaislukuihin pyöristettynä (b).

Kuvassa 2a on otettu mukaan spektripainotustermi $C_{L,50-2500}$ Ympäristöministeriön ohjeen [10] mukaisesti vain, kun termi on positiivinen eli kun se vaikuttaa heikentävästi askelääneneristävyden tulokseen uudella mittaluvulla. Kuvassa 2b on otettu mukaan tilavuusrajoituksen vaikutus. Molemmissa kuvissa on käytetty pyöristämistä kokonaislukuun.



Kuva 2. Askelääneneristävyden mittalukujen erotus spektripainotustermi huomioiden vain, kun termi on positiivinen (a). Tämän lisäksi tilavuusrajoitus huomioitu (b).

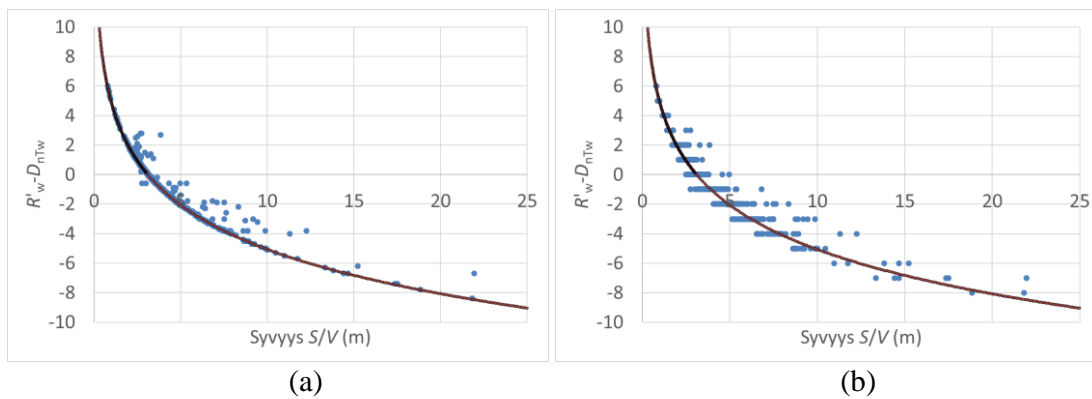
Taulukossa 1 on esitetty ne prosenttiosuudet mittausdatasta, joilla YMa 796/2017 [2] tai RakMK C1-1998 [3] mukainen määräystaso 53 dB askelääneneristävydelle ei täyty.

Taulukko 1. Askelääneneristävyyden määrätason 53 dB täytyminen eri mittaluvuilla.

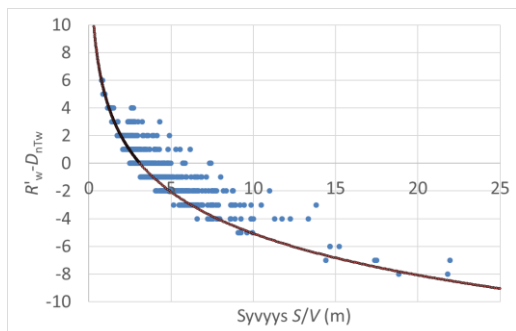
	Tilavuusrajoitus	Ei tilavuusrajoitusta
$L'_{n,w}$ ei täytä määräystä	26,2 %	27,3 %
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$ ei täytä määräystä	25,2 %	25,2 %
Kumpikaan ei täytä määräystä	21,3 %	21,4 %
Vain $L'_{n,w}$ ei täytä määräystä	5,1 %	6,0 %
Vain $L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$ ei täytä määräystä	4,1 %	3,9 %

3.2 Ilmääneneristävyys

Kuvassa 3a on esitetty ilmääneneristävyyden mittalukujen erotus, $R'_w - D_{nT,w}$. Erotus ei suoraan seuraa teoriaa, mikä johtuu pinta-alan laskennasta. Standardi ISO 140-4 [11] ja standardin ISO 16283-1 lisäys 1:2017 [12] määrittävät, että kun huoneiden erottava pinta-ala on alle 10 m^2 , pinta-ala tulee laskea kaavalla $S = \max(S, V/7,5)$ [11, 12]. Kuvassa näkyvät poikkeamat kaavojen mukaisesta käyrästä ovat tapauksia, joissa pinta-ala on laskettu tilavuuden kautta. Kuvassa 3b on tehty pyöristys kokonaislukuun, ja kuvassa 4 on huomioitu tilavuusrajoitus mittaluvun R'_w laskennassa. Tilavuusrajoituksen vaikutuksen tarkastelu on erilaista ilmääneneristävyydessä kuin askelääneneristävyydessä, koska mittalukujen erotus on kaavan (7) mukaisesti riippuvainen pinta-alan ja tilavuuden suhteesta eikä pelkästään tilavuudesta.



Kuva 3. Ilmääneneristävyyden mittalukujen erotus huoneen syvyyden funktiona tarkkuudella 0,1 dB (a) sekä kokonaislukuihin pyöristettynä (b).



Kuva 4. Ilmääneneristävyyden mittalukujen erotus tilavuusrajoitus huomioiden.

Taulukossa 2 on esitetty ne prosenttiosuudet mittausdatasta, joilla YMa 796/2017 [2] tai RakMK C1-1998 [3] mukainen määräystaso 55 dB ilmaääneneristävyydelle ei täyty.

Taulukko 2. Ilmaääneneristävyyden määräystason 55 dB täytyminen eri mittaluvuilla.

	Tilavuusrajoitus	Ei tilavuusrajoitusta
R'_w ei täytä määräystä	30,0 %	31,5 %
$D_{nT,w}$ ei täytä määräystä	30,7 %	30,7 %
Kumpikaan ei täytä määräystä	26,7 %	26,8 %
Vain R'_w ei täytä määräystä	3,3 %	4,7 %
Vain $D_{nT,w}$ ei täytä määräystä	4,0 %	3,9 %

4 ANALYYSI

Kuvista 1a ja 3a on nähtävissä, että mittalukujen erotuksen ja tilavuuden tai syvyyden suhde noudattaa periaatteessa kaavoista johdettua riippuvuutta. Määräystasoon verrattaessa mittaluvuille tehdään kuitenkin kolme asiaa, jotka aiheuttavat sen, että mittalukujen eroja ei voi käsitellä pelkästään teorian kautta:

- 1. pyöristys kokonaislukuun,
- 2. rajoitus 60 m^3 tilavuuteen verrattaessa tuloksia RakMK C1-1998:aan sekä
- 3. spektripainotustermin $C_{1,50-2500}$ huomiointi (askelääneneristävyyden tapauksessa)

4.1 Pyöristäminen

Pyöristämisen vuoksi yhdellä tilavuuden tai syvyyden arvolla tulos voi poiketa 1 dB kaavan mukaan oletetusta arvosta. Ilmaääneneristävyyden tapauksessa kuvasta 3b nähdään, että yhdellä syvyyden arvolla voidaan itse asiassa saada jopa 5 dB toisistaan poikkeavia tuloksia. Tämä johtuu jo kuvassa 3a mukana olleesta pinta-alan laskentatavasta alle 10 m^2 :n tapauksissa.

4.2 Tilavuusrajoitus

Vanhojen mittalukujen ja RakMK C1-1998:n tapauksessa käytetty laskennallinen 60 m^3 :n tilavuusrajoitus rajoittaa merkittävän määrän mittaustuloksista tiettyyn arvoon. Tilavuusrajoitusta on käytetty askelääneneristävyyden mittausaineistosta noin 34%:ssa. Askelääneneristävyyden osalta sijoittamalla 60 m^3 kaavaan (4) saadaan arvo 2,9 dB. Tämä tarkoittaisi, että uusi mittaluku $L'_{nT,w}$ olisi aina tällaisissa tapauksissa 2,9 dB parempi kuin vanha. Kuvia 2a ja 2b vertailemalla nähdään, että tilavuusrajoituksen myötä huomattava määrä mittalukujen erotuksia asettuu kuvassa 2b arvoon 2 tai 3 dB. Noihin kahteen arvoon sijoituvissa tapauksissa spektripainotustermi ei vaikuta tulokseen eli on nolla tai negatiivinen. Spektripainotustermin positiivisilla arvoilla puolestaan mittalukujen erotuksen vaihteluväli on pääsääntöisesti 2,9...-8 dB. Ilman tilavuusrajoitusta uuden ja vanhan mittaluvun erot olisivat vielä suurempia. Taulukon 1 perusteella tilavuusrajoitus vaikuttaa kuitenkin määräystasojen täyttymiseen vain harvoin.

Ilmaääneneristävyyden tapauksessa tilavuusrajoituksen vaikutus käyttäytyy eri tavalla, sillä mittalukujen erotusta tarkastellaan suhteessa syvyyteen eikä tilavuuteen.

Tilavuusrajoitus ei vaikuta ilmaääneneristävyydessäkään määräystasojen täyttymiseen usein: ilman tilavuusrajoitusta 1,5 prosenttiyksikköä suurempi osuus R'_w -tuloksista ei olisi täyttänyt määräystasoa.

4.3 Spektripainotusermi

Suurin vaihtelu mittalukujen välille aiheutuu askelääneneristävyyden spektripainotusermin $C_{1,50-2500}$ huomioimisesta. Se voi olla jopa yli +10 dB, jolloin mittalukujen suhde on varsin kaukana kaavojen mukaisesta käyrästä. Määräysten täytyminen ja mittalukujen suhde riippuu esimerkiksi välipohjarakenteesta, jonka vaikutusta ei tarkasteltu tässä artikkelissa. Askelääneneristävyyden spektripainotusermi antaa kuitenkin osaltaan viitteitä tästä: spektripainotusermi saa suuria arvoja erityisesti kelluvilla rakenteilla, joiden ominaistajuus asettuu taajuusalueelle 50 - 100Hz. Erityisesti tällaisissa tapauksissa voi tulla tilanne, että uusi mittaluku ei täytä määräystä, vaikka vanha mittaluku täyttääkin.

4.4 Määräysten täytyminen

Sellaiset tapaukset ovat harvinaisia, joissa uusi mittaluku ei täytä määräystasoa, vaikka vanha mittaluku määräyksen täyttikin. Askelääneneristävyyden tapauksessa näin voi tapahtua muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta pelkästään pienissä alle 31 m³ huoneissa. Tämän artikkelin askelääneneristysaineistossa noin 4 % tuloksista oli sellaisia, että vain uusi mittaluku ei täyttänyt määräystä. 5 % tuloksista oli päinvastainen tilanne eli se, että uusi mittaluku täytti määräyksen, vaikka vanha ei täyttänyt. Tämä puolestaan tapahtuu pääsääntöisesti 31 m³ suuremmissa tiloissa.

Myös ilmaääneneristävyydessä yhtä suurella osuudella eli n. 4 %:ssa tuloksista vain uusi mittaluku ei täyttänyt määräystä. Kuvasta 4 nähdään, että tämä voi tapahtua lähinnä tapauksissa, joissa vastaanottohuoneen syvyys on enintään 5 m². Päinvastainen tilanne oli hieman harvinaisempaa, noin 3 % tuloksista.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ääneneristävyyden uusien ja vanhojen mittalukujen ero perustuu suoraan niiden laskenta-kaavoista johdettavaan teoriaan. Tämä pätee kuitenkin vain niin kauan, kun mennään teorian ehdoilla.

Kenttämittausaineiston tarkastelu osoittaa, että RTY:n mukaisen 60 m³:n tilavuusrajoituksen johdosta uuden ja vanhan mittaluvun erot ovat pienempiä kuin ilman rajoitusta. Voidaan ajatella, että tilavuusrajoitus oli aikanaan askel kohti uuden mittaluvun mukaisia tuloksia.

Jos vanhalla mittaluvulla määräystason täyttäneitä rakennetta tarkastellaan uudella mittaluvulla, on mahdollista mutta harvinaista, että törmätään tapaukseen, jossa uusi mittaluku ei täytäkään määräystä. Tällaisten tapausten riippuvuutta rakenteiden ominaisuuksista on mahdollista tarkastella tulevaisuudessa tutkimuksissa. Merkittävää on, että käytännössä yli 95 % tapauksista on sellaisia, että myös uusi mittaluku täyttää määräystason, mikäli vanha mittaluku on sen täyttänyt.

VIITTEET

- [1] Hongisto, V. ja Kylliäinen, M. ÄKK loppuraportti, rakennusten ääniolosuhteiden käyttäjälähtöinen kehittäminen. Turku, Työterveyslaitos, 2015.
- [2] Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä. Suomen säädöskokoelma 796/2017. Helsinki, Ympäristöministeriö, 2017.
- [3] Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1. Helsinki, Ympäristöministeriö, 1998.
- [4] Kemppainen, J. ja Kylliäinen, M. Spektripainotustermin $C_{1,50-2500}$ vaikutus askelääneneneristävyyden arviointiin. Akustiikkapäivät 2017, Espoo, 24.-25.8.2017.
- [5] Ljunggren, F., Simmons, C. ja Öqvist, R. Correlation between sound insulation and occupants' perception – Proposal of alternative single number rating of impact sound, part II. Applied Acoustics 123, s. 143-151, 2017.
- [6] Hagberg, K. G. Evaluating field measurements of impact sound. Journal of Building Acoustics, vol. 17, num. 2, s. 105-128, 2010.
- [7] Rakennuksen ääneneristävyys, RakMk C1:n tulkinnat ja asuinrakennusten rakennesuosituksset. Rakennusteollisuus RT, tiedote 29.9.2009.
- [8] ISO 16283-2: Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation. International organization for standardization, 2018.
- [9] ISO 16283-1: Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation. International organization for standardization, 2014.
- [10] Ääniympäristö, Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. Helsinki, Ympäristöministeriö, 2018.
- [11] ISO 140-4: Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms. International organization for standardization, 1998.
- [12] ISO 16283-1:2014 / Amd.1:2017. Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation. Amendment 1. International organization for standardization, 2017.