

ÄÄNITASON MITTALAITTEIDEN MÄÄRÄAIKAISKALIBROINTI

Sakari Tervo, Timo Peltonen ja Henri Penttinen

Akukon Oy
Hiomotie 19, 00380 Helsinki
etunimi.sukunimi@akukon.fi

Tiivistelmä

Äänitasomittareiden ja -kalibraattoreiden määräaikaskalibrointiin on viime vuosina kiinnitetty yhä enemmän huomiota monilla tahoilla. Uudemmissa akustiikan alan mittaustandardeissa samoin kuin lainsäädännössä, direktiiveissä ja viranomaismääräyksissä on viittauksia, joissa edellytetään, että äänitason mittalaitteiden standardinmukainen toiminta ja tarkkuus tarkistetaan määräväleihin. Yleisin suositus kalibrointiväliksi on 2 vuotta äänitasomittareille ja 1 vuosi äänitasokalibraattorille. Toistaiseksi nämä vaatimukset ovat sitovia lähinnä vain akkreditoituille toimijoille. Määräaikaskalibroinneilla varmistetaan, että mittalaitteiden näyttämä ja mittaus-tarkkuus täyttävät standardin vaatimukset laitteiden koko käyttöajan ajan. Tässä artikkelissa esitellään äänitasomittarien ja äänitasokalibraattorien standardinmukaisten määräaikaskalibrointien sisältöä, sekä tarkastellaan kalibrointien teknistä toteutusta esimerkkien valossa.

1 JOHDANTO

Erilaisten äänimittausten ja niihin käytettävien mittalaitteiden määrä on jo pitkään ollut kasvussa, samoin kuin koko akustiikan ala Suomessa. Meluisten ja meluherkkien toimintojen sijoittaminen yhä lähemmäs toisiaan on kasvattanut melun selvitysten ja torjunnan tarvetta ympäristöluvitukseen, maankäyttöön ja kaavoitukseen sekä rakentamiseen liittyen. Myös rakennusten sisätilojen akustisiin olosuhteisiin liittyvät tarpeet ja odotukset ovat kasvaneet ja monipuolistuneet. Monilta rakennusosilta edellytetään niiden akustisten ominaisuuksien tyyppimittauksia. Melun ja rakennusakustiikan raja-arvoihin liittyvää lainsäädäntöä ja määräyksiä on niitäkin osaltaan kehitetty viime vuosina.

Määräysten ja vaatimusten toteutuminen osoitetaan tyypillisesti erilaisilla äänitason mittauksilla tai niiden johdannaisilla. Mittauksiin liittyy aina joukko virhelähteitä, mutta luotettavien mittaustulosten perusedellytyksenä on, että mittauslaitteisto on tarkkuudeltaan ja toiminnaltaan käyttötarkoitukseen soveltuva ja laitteiston kalibroinnit ovat kohdallaan.

Sekä julkishallinnolla että varsin monen alan toimijoilla on käytössään äänitasomittareita, joiden käyttötarkoitukset, käyttötiheys, ikä ja ominaisuudet ovat suuresti vaihtelevia. Monia näistä laitteista käytetään erilaisten viranomaismääräysten tai ohjeiden täyttämiseen. Monesti mittarin mukana on hankittu myös äänitasokalibraattori, jolla mittarin näyttämän voi helposti tarkistaa aina mittausten yhteydessä. Kalibraattorin avulla mittarin herkkyyks voidaan kuitenkin tyypillisesti tarkistaa vain yhdellä taajuudella

ja äänenpainetasolla (1 kHz, 94 dB). Tyypillisen äänitasomittarin dynaaminen alue kattaa kuitenkin toista sataa desibeliä, ja taajuusalue on vähintään kolme dekadia (20 Hz - 20 kHz). Tavallisella kalibraattorilla ei näin ollen saada tietoa mittarin taajuusvasteesta, tasolineaarisuudesta, dynaamikan ylä- ja alarajasta eikä taajuus- ja aikatazon suodattimien oikeasta toiminnasta. Tätä varten mittari tulee määräaikaikalibroida.

Standardinmukaisesti tehtyjen määräaikaikalibrointien avulla voidaan varmistaa, että mittari tai kalibraattori täyttää edelleen sille annetut keskeiset toiminta- ja tarkkuusvaatimukset, ja että laitteen näyttämä tai taso on kohdallaan. Tällä varmistetaan, että laite pysyy spesifikaatioidensa mukaisena koko käyttöikänsä ajan, eivätkä mittaustulokset riipu mittauslaitteen iästä, kunnosta tai käyttömäärästä, vaan ovat jatkuvasti luotettavia ja käyttökelpoisia. Määräaikaikalibrointien tarve ja niiden tuomat hyödyt ovat näin ollen hyvin verrattavissa ajoneuvojen määräaikaikatsastukseen.

Tässä artikkelissa esitellään lyhyesti äänitasomittarien ja kalibraattorien standardinmukaisten määräaikaikalibrointien sisältöä. Kalibrointien teknistä toteutusta tarkastellaan esimerkkien valossa.

1.1 Äänitasomittarien ja kalibraattorien standardit

Äänitasomittarien tekniset vaatimukset ja tarkkuusluokat on esitetty standardin IEC 61672 osassa 1 [1]. Laitevalmistajat ilmoittavat mittareilleen niiden tarkkuusluokan (esim. Class 1) ja standardinmukaisuuden (*Certificate of conformance*). Jotta laitteen standardinmukaisuus ei jää pelkän valmistajan ilmoituksen varaan, valmistaja voi myös teettää laitteelle standardin osan 2 [2] mukaisen tyyppihyväksynnän (*type approval*), jossa kattavilla mittauksilla varmistetaan, että laite todella täyttää standardin ykkösosan jokaisen kohdan vaatimukset. IEC 61672 kolmannessa osassa [3] on esitetty äänitasomittarien määräaikaikalibroinnin sisältö ja vaatimukset. Näillä varmistetaan, että mittari täyttää keskeiset toiminta- ja tarkkuusvaatimukset myös myöhemmin käyttöikänsä aikana.

Äänitasokalibraattorien tekniset vaatimukset ja tarkkuusluokat, tyyppihyväksynnän vaatimukset sekä määräaikaikalibrointien sisältö ja vaatimukset on esitetty standardissa IEC 60942 [4]. Määräaikaikalibroinnit eivät sisällä laitteen säätöä, viritystä tai korjaustoimenpiteitä, vaan niillä tarkistetaan laitteen vaatimustenmukaisuus. Mahdolliset korjaus- ja viritystoimenpiteet on yleensä tehtävä valmistajan tai maahantuojan huollossa.

1.2 Suositukset

Määräaikaikalibrointiin liittyvät suositukset ja vaatimukset ovat viime vuosina lisääntyneet akustisten mittausmenetelmien standardeissa ja viranomaismääräyksissä. Aikaisemmin mittalaitteiden tekniset vaatimukset esitettiin usein vain laitteiden spesifikaatiostandardiin ja tarkkuusluokkiin perustuen, mutta ilman mainintaa laitteiden määräaikaikalibroinneista. Uudemmissa standardeissa ja menetelmäohjeissa määräaikaikalibroinnit on mainittu, ja ne kehoitetaan tekemään sopivin määrävälein: esimerkiksi työntekijän suojelua koskeva direktiivissä [5] sekä rakennusakustiikan laboratoriomittausstandardissa [6] kehoitetaan määräaikaikalibroimaan laitteet sopivin aikavälein. Autojen renkaiden tyyppihyväksynnässä käytettyjen äänitasomittareiden tulisi olla kahden vuoden välein ja

äänitasokalibraattoreiden yhden vuoden välein kalibroitu [7]. EU:n direktiivi 2014/45 autojen katsastuksesta toteaa, että mikäli katsastaja kokee auton meluemission olevan suuri, hän voi mitata melutasoa tarkkuusluokan 2 mittarilla, joka on kalibroitu vähintään 24 kuukauden sisällä [8]. Uusimmissa standardeissa äänitason mittalaitteiden määräaikaikalibrointien vaatimuksista ja aikamääreistä on kuitenkin tehty ehdottomia; esimerkkinä tästä on ympäristömelumittausten perusstandardi ISO 1996-2:2017 [9], jossa määräaikaikalibrointi edellytetään äänitasomittarien osalta tehtävän enintään kahden vuoden välein ja äänitasokalibraattorien osalta yhden vuoden välein.

2 MENETELMÄT

2.1 Äänitasomittarien määräaikaikalibrointi

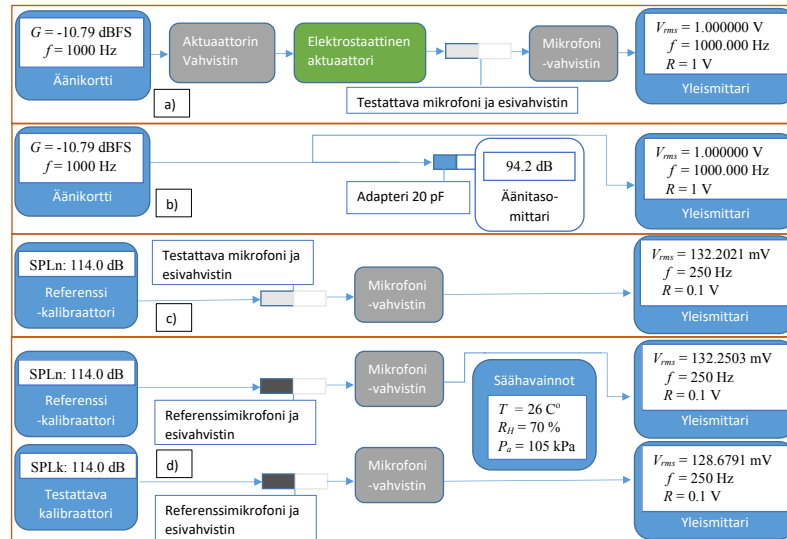
Äänitasomittarin standardinmukainen määräaikaikalibrointi koostuu useasta erillisestä testistä ja kalibroinnista. Koska käytössä on monen ikäisiä äänitasomittareita, määräaikaikalibrointivaatimukset valitaan mittarin valmistajan alun perin ilmoittaman laitestandardiversion ja mittarin tarkkuusluokan mukaan. Määräaikaikalibroinnilla ei sinänsä ole mahdollista korvata laitteen alkuperäistä sertifiointia tai tyyppihyväksyntää: standardi edellyttää että kalibrointi voidaan tehdä vain sellaisille laitteille, jotka valmistaja on alun perin sertifioinut standardinmukaisiksi. Menettelyssä on yhteneväisyyksiä ajoneuvojen tyyppikatsastuksen ja määräaikaikatsastuksen kanssa.

Äänitasomittarin kalibrointiin liittyy myös joukko tarkistuksia sekä muodollinen viritystoimenpide. Ensin tarkastetaan, että mittari on päällisin puolin kunnossa, ja mikrofonin suojaverkko ja kalvo ovat ehjiä. Virransyötön riittävyys tarkistetaan paristojoännitteen näyttämästä, ja äänitasomittarin näyttämä säädetään kohdalleen käyttäen äänitasokalibraattoria [3].

Mittarin sähköinen ja akustinen taustakohinataso tarkistetaan mittauksilla [3]. Sähköinen taustakohinataso mitataan korvaamalla mikrofonikapseli sitä vastaavalla sähköisellä kapasitanssilla. Akustinen kohina mitataan hiljaisessa tilassa, jonka taustamelu on riittävästi alle mittarille ilmoitetun akustisen taustamelutason. Näillä mittauksilla varmistetaan, että mittarin käyttökelpoisen dynamiikka-alueen alaraja on edelleen valmistajan ilmoittaman spesifikaation mukainen.

Mikrofonin ja mittarin yhdessä tuottama taajuusvaste ja taajuuspainotukset mitataan käyttäen akustisia herätesignaaleja. Standardi tarjoaa näihin testeihin käytettäväksi neljä eri menetelmää [3]: akustinen monipistekalibraattori, herätteenä toimivan referenssimikrofonin ja erityisen coupler-sovittimen käyttö, elektrostaattinen aktuaattori sekä vertailumittaus vapaakenttäolosuhteissa. Jokaisella menetelmällä on omat etunsa ja haasteensa: Monipistekalibraattori on epätarkka suurilla taajuuksilla; elektrostaattinen aktuaattori sekä coupler-menetelmä vaativat erikoislaitteistoa ja osaamista, ja vapaakenttämittauksen haasteina ovat tilantarve sekä toteutuskustannukset. Omassa toteutuksessaamme olemme päätyneet käyttämään elektrostaattista aktuaattoria, jolla akustista herätettä vastaava sähköinen herätesignaali kytketään mikrofonin kalvolle kapasitiivisesti.

Valtaosa määräaikaikalibroinnin tarkistuksista tehdään syöttämällä äänitasomittarin esivahvistimeen sähköisiä herätesignaaleja. Sähköinen kalibrointi käsittää mm. mittarin



Kuva 1: Toteutetun järjestelmän signaalitie eri kalibrointivaiheissa. a) Elektrostaattisella aktuaattorilla mikrofonille tehtävät akustiset testit. b) Sähköistä signaalia käyttävät testit äänitasomittarille. c) Äänenpainetaso kalibrointi referenssipistonfonilla. d) Äänitasokalibraattorin kalibrointi vertailumenetelmällä.

taajuuspainotukset, aikapainotukset, tasolineaarisuuden, purskevasteen, C-painotetun enimmäisäänitason, ylioijautumisen indikoimien sekä pitkän ajan ja korkean äänenpainetaso stabiiliuden testaukset.

2.2 Äänitasokalibraattorien määräaikaikalibrointi

Äänitasokalibraattorin määräaikaikalibrointi käsittää kalibraattorin tuottaman äänipainetaso, taajuuden sekä särön mittaukset. Äänipainetaso kalibrointi voidaan tehdä joko vertailumenetelmällä tai mikrofonimenetelmällä [3]. Vertailumenetelmässä käytetään standardinmukaista ja hyvin tunnettua mikrofoniesivahvistinjärjestelmää (WS2p working standard microphone) ja tarkkuusjännitemittaria, joilla verrataan tutkittavan äänitasokalibraattorin ja äänitasoltaan tunnetun referenssikalibraattorin mikrofonin tuottamaa jännitettä. Mikrofonimenetelmässä käytetään samoja laitteita sillä edellytyksellä, että mikrofonin ja esivahvistimen herkkyys (mV/Pa) tunnetaan tarkasti, jolloin tutkittavan kalibraattorin äänipaine voidaan laskea suoraan laboratoriomikrofonin tuottamasta jännitteestä.

2.3 Toteutettu järjestelmä

Akukon Oy:n kalibrointilaboratoriossa käytämme äänitason ja taajuuden referenssinä tarkkuusluokan pistonfonia GRAS 42AP. Laitteen tuottama referenssiäänitaso tunnetaan jäljitettävästi 0.03 dB tarkkuudella, ja se on erittäin stabiili. Muut akustiset herätesignaalit tuotetaan käyttäen elektrostaattista aktuaattoria GRAS RA0014. Laboratoriossa on käytössä kaksi referenssimikrofonia: käyttönormaalina toimiva GRAS 40AG (*WS2p working standard microphone*) [10] sekä "kultaisena" referenssinä toimiva GRAS 40AU (*LS2p laboratory standard microphone*) [11]. Sähköiset herätesignaalit tuotetaan tietokoneella ja käyttötarkoitukseen soveltuvalla 24-bittisellä äänikortilla. Sähköisten signaalien jännitteet ja taajuudet mitataan jäljitettävästi kalibroidulla digitaalisella tarkkuusyleismitarilla. Koko järjestelmää ohjataan tietokoneella ja Matlab-toteutuksella, jota käytetään myös mittaustulosten rekisteröintiin, mittaasepävarmuuden laskentaan sekä kalibrointi-pöytäkirjojen laadintaan.

Kuva 1 esittää toteutettua järjestelmää. Elektrostaattisen aktuaattorin tapauksessa, joka on esitetty kuvassa 1a), herätesignaali johdetaan äänikortilta vahvistimen kautta elektrostaattiseen aktuaattoriin, josta se kytketään edelleen äänitasomittarin mikrofoniin, esivahvistimeen ja tarkkuusyleismittarin sisäänmenoon. Sähköisen signaalin testeissä, signaali kytketään äänikortista rinnan äänitasomittariin ja yleismittariin kuten kuvassa 1b) on esitetty. Äänenpainetaso mikrofoniin kalibroidaan referenssi pistonfonilla kuvan 1c) osoittamalla tavalla ja äänitasokalibraattorin vertailumenetelmän kaavio on esitetty kuvassa 1d).

2.4 Kalibroinnin epävarmuus

Kuten kaikkiin mittauksiin, myös kalibrointeihin liittyy mittaasepävarmuuksia. Näiden epävarmuuksien ymmärtäminen ja niiden kokoluokan tunteminen on olennainen osa kalibroinnin uskottavuutta, ja yksi akkreditoitun toiminnan perusedellytyksistä.

Tarkastelemme esimerkkinä laboratorioreferenssinä käytettävän pistonfonin tuottaman äänipainetaso epävarmuutta. Vaikka laite on toiminnaltaan erittäin stabiili, sen tuottama äänipainetaso riippuu laitteen rakenteellisten ominaisuuksien ohella myös vallitsevista ympäristöolosuhteista: ilmanpaineesta, lämpötilasta ja ilmankosteudesta. Laitteen kalibrointiteloon muodostuvaan äänitasoon vaikuttavat myös kalibroinnin kohteena olevan mikrofoniin etupuolelle muodostuva ilmatilavuus sekä ympäristön taustamelu. Lisäksi sähköinen signaalitie ja jännitteen mittaaminen mikrofoniin esivahvistimen jälkeen sisältävät omat korjaus- ja epävarmuustermineinsä. Laboratoriotarkkuuteen pyrittäessä kaikkien näiden osatekijöiden vaikutukset tulee huomioida ja korjata kalibrointien yhteydessä. Jokaiseen korjaustermiin liittyy myös omia epävarmuuksia, jotka on sisällytetty kokonaisuuden epävarmuuden laskentaan.

Kalibrointityössä ja siihen liittyvien mittaasepävarmuuksien tarkasteluissa käytännön perusyksikkönä ovat desibelin sadasosat eli millibelit. Osa epävarmuustekijöistä on selvästi tätäkin pienempiä, ulottuen desibelin kymmenestuhannesosiin. Kokonaisuudessaan laboratorioskalaalibroinneilla on mahdollista päästä desibelin sadasosien tarkkuuteen.

Taulukko 1: *Esimerkki vertailumenetelmällä tehdyn äänitasokalibraattorin kalibroinnin epävarmuusbudjetista ja kokonaisepävarmuuden laskemisesta. Mikrofonin tuottama vaihtojännite on keskiarvoitettu $N = 100$ sadasta mittauksesta. Parametrit ovat ekvivalenttitilavuuskorjaus $\Delta V = 0 \text{ mm}^3$, yleismittarin toiminta-alue $R = 0.1 \text{ V}$, lämpötila $T = 26 \text{ }^\circ\text{C}$, staattinen ilmanpaine $P_a = 105 \text{ kPa}$, ja suhteellinen ilmankosteus $R_H = 70 \text{ } \%$.*

Referenssi kalibraattori AP42, epävarmuudet ja korjaustermit						
Suure	Korjaus- termi	Arvo	Keski- hajonta	Jak.	min [dB]	max [dB]
$L_{p,n}$	-	114.00 dB*	-	\mathcal{U}	-0.03*	0.03*
ΔV	ΔL_V	0	$7/\sqrt{3} \text{ mm}^3$	\mathcal{U}	-0.0039	0.0039
P_a	ΔL_B	0.3116 dB	$.05/\sqrt{3} \text{ kPa}$	\mathcal{U}	-0.0041	0.0041
R_H^{**}	ΔL_H	-0.0027 dB	$\sqrt{3} \text{ } \%$ -u	\mathcal{U}	-0.0004	0.0004
P_a^{**}	ΔL_H	-	$.05/\sqrt{3} \text{ kPa}$	\mathcal{U}	-0.0000	0.0000
T^{**}	ΔL_H	-	$1/\sqrt{3} \text{ }^\circ\text{C}$	\mathcal{U}	-0.0005	0.0005
K^{**}	ΔL_H	-	-	\mathcal{U}	-0.0012	0.0012
$L_{p,r}$		114.3089 dB			-0.0402	0.0401
\bar{U}_{rms}	0	132.2503 mV	$d_U/\sqrt{3} \text{ V}$	\mathcal{U}	-0.0065	0.0065
$\hat{\sigma}(\bar{U}_{\text{rms}})$	0	0.005 mV	$\hat{\sigma}/\sqrt{N} \text{ V}$	\mathcal{N}	-0.0000	0.0000
$L_{p,U}$	0	114.1754 dB			-0.0065	0.0065
G		-0.1335 dB			-0.0467	0.0466
Testattava kalibraattori (adaptiivinen)						
\bar{U}_{rms}	0	128.6791 mV	$d_U/\sqrt{3} \text{ V}$	\mathcal{U}	-0.0066	0.0066
$\hat{\sigma}(\bar{U}_{\text{rms}})$	0	0.005 mV	$\hat{\sigma}/\sqrt{N} \text{ V}$	\mathcal{N}	-0.0000	0.0000
$L_{p,U}$	0	113.9376			-0.0066	0.0066
Vertailutulos						
$L_{p,U}$	$-G$	114.0711 dB			-0.0533	0.0532

\mathcal{U} : tasajakauma, \mathcal{N} : normaalijakauma, Jak.: jakauma, $\hat{\sigma}$ merkitsee N :n mittauksen keskihajontaa, \bar{U}_{rms} on N :n mittauksen keskiarvo, $L_{p,U}$ on jännitettä U vastaava äänenpaine, * Ulkopuolisen akkreditoitun kalibroinnin tulos, ** Ilmankosteudesta johtuva korjaustermi, K: Käyttäjän silmämääräisen virheen vaikutus kun C - termiä luetaan ohjekirjasta

Pistonfonin normaaliolosuhteissa tuottama nimellinen äänenpainetaso $L_{p,n}$ on 114.00 dB. Akkreditoitu riippumaton laboratorio on ilmoittanut nimellistason epävarmuudeksi $\pm 0.03 \text{ dB}$. Todennäköisyysjakauman muotoa ei ole ilmoitettu, joten se täytyy olettaa tasajakautuneeksi [12]. Sama pätee muillekin laitevalmistajien ilmoittamille arvoille.

Valmistaja antaa äänenpainetaso korjaustermit staattisen ilmanpaineen, suhteellisen ilmankosteuden sekä kalibrointiontelon sisätilavuuden suhteen. Tilavuuden korjaustermi on [13]

$$\Delta L_V(\Delta V) = 20 \log_{10} \left(\frac{V}{V + \Delta V} \right), \quad (1)$$

jossa $V = 15540 \text{ mm}^3$ on kalibrointiontelon nimellistilavuus, ja ΔV on kalibroinnin kohteena olevan mikrofonikapselin ekvivalenttitilavuuskorjaus.

Ilmanpaineesta johtuva korjaus on [13]:

$$\Delta L_B(P_a) = 20 \log_{10} \left(\frac{P_a}{P_r} \right), \quad (2)$$

jossa P_a vallitseva ilmanpaine ja $P_r = 101.3 \text{ kPa}$ on referenssi-ilmanpaine.

Lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta johtuva korjaustermi on [13]:

$$\Delta L_H(P_a, T, R_H) = \frac{P_r}{P_a} C(T, R_H) + 0.0064, \quad (3)$$

missä $C(T, R_H)$ on lämpötilasta T ja suhteellisesta kosteudesta R_H riippuva korjaustermi. Pistonfonin valmistaja on ilmoittanut C -termille korjauskertoimet laitteen käyttöohjeessa [13].

Pistonfonin tuottama äänitaso lasketaan lisäämällä yllä olevat korjaustermit laitteen nimelliseen äänipainetasoon:

$$L_{p,r} = L_{p,n} + \Delta L_V(\Delta V) + \Delta L_B(P_a) + \Delta L_H(P_a, T, R_H). \quad (4)$$

Oletamme, että C -termin lukemisessa viitteen kuvaajasta [13] tapahtuu hieman virhettä, ja että mikrofonin asettamiseen liittyvä tilavuuden vaihtelun maksimivirhe on $d_V = 7 \text{ mm}^3$.

Ympäristöolosuhteet mitataan pistonfonin sisäänrakennetuilla ilmanpaine- ja lämpötilantureilla sekä laboratorioissa olevalla Vaisala WXT520 -sääasemalla. Valmistajan ilmoittama ilmanpaineen epävarmuus on $d_P = \pm 0.05 \text{ kPa}$, lämpötilan $d_T = \pm 1 \text{ C}^\circ$ ja suhteellisen kosteuden $d_R = 3\%$ -yksikköä. Mikrofonin tuottaman vaihtojännitteen mittaukseen käytetyn tarkkuusyleismittarin epävarmuus on valmistajan mukaan $d_U = (0.06/100 \times U_{\text{rms}} + 0.02/100 \times R)$, missä R on toiminta-alue ja U_{rms} on mitattu jännite. Kaikki edellä mainitut epävarmuudet oletetaan tasajakautuneiksi. Tällöin niiden keskihajonta on $d/\sqrt{3}$, missä d on nollakeskiarvoisen määrittelyjoukon yläraja. Näistä epävarmuustekijöistä voidaan laskea kokonaisepävarmuus mitatulle äänenpaineelle kertomalle keskihajonta kattavuustermillä $k = 2$, josta saadaan noin 95 % luottamusväli [12].

Taulukossa 1 on esitetty kuvan 1d) mukaisessa äänitasokalibraattorin kalibroinnissa käytettävät epävarmuustekijät ja korjaustermit. Mittaus tehdään käyttäen viitteessä [10] määriteltyä *WS2p working reference microphone* -mikrofonikapselia GRAS 40AG ja esivahvistinta GRAS 26AK. Mikrofonikapselin akkreditoidusti kalibroitu nimellinen herkkyys on 12.93 mV/Pa . Valmistaja ei kuitenkaan ole täsmällisesti ilmoittanut esivahvistimen sähköistä vaimennusta G kyseisen mikrofonikapselin kanssa, vaan se on mitattava erikseen.

Taulukossa 1 esitetyn kalibrointiesimerkin tulos on, että testattavan äänitasokalibraattorin referenssipainemikrofoniin tuottama äänenpaine on $114.0711 \pm 0.0533 \text{ dB}$. Käytännössä kalibrointitulokset esitetään kahden desimaalin tarkkuudella: $114.07 \pm 0.06 \text{ dB}$.

Tuloksia verrataan edelleen äänitasokalibraattoristandardissa IEC 60942 [4] esitettyihin tarkkuusluokan 1 vaatimuksiin. Tällä perusteella nähdään, että mitattu kalibraattori täyttää edelleen standardin vaatimukset. Muille kalibroinneille lasketaan vastaavalla tavalla epävarmuudet, jotka raportoidaan kalibrointipöytäkirjoissa.

3 YHTEENVETO

Tässä artikkelissa esiteltiin äänitasomittareiden ja äänitasokalibraattoreiden standardin mukaista kalibrointia. Lisäksi esiteltiin toteutus kalibrointijärjestelmästä ja esimerkki kalibrointiin liittyvien epävarmuuksien laskennasta.

VIITTEET

- [1] IEC 61672-1:2013 (ed. 2.0). Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications. Standard, International Electrotechnical Commission, Geneva, CH, Switzerland, September 2013.
- [2] IEC 61672-2:2013 (ed. 2.0). Electroacoustics – Sound level meters – Part 2: Pattern evaluation tests. Standard, International Electrotechnical Commission, Geneva, CH, Switzerland, December 2013.
- [3] IEC 61672-3:2013 (ed. 2.0). Electroacoustics – Sound level meters – Part 3: Periodic tests. Standard, International Electrotechnical Commission, Geneva, CH, Switzerland, September 2013.
- [4] IEC 60942:2003 (3rd ed.). Electroacoustics – Sound calibrators. Standard, International Electrotechnical Commission, Geneva, CH, Switzerland, January 2003.
- [5] 86/188/EEC. On the protection of workers from the risks related to exposure to noise at work. Directive, The Council of the European Communities, OJ L 137, p. 28–34, Brussels, Belgium, May 1986.
- [6] EN ISO 10140-5:2010. Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 5: Requirements for test facilities and equipment. Standard, International Standards Organisation, Geneva, CH, Switzerland, September 2010.
- [7] 2001/43/EU. Amending Council Directive 92/23/EEC relating to tyres for motor vehicles and their trailers and to their fitting. Directive, European Parliament and the Council of the European Union, OJ L 211, p. 25–46, Brussels, Belgium, June 2001.
- [8] 2014/45/EU. On periodic roadworthiness tests for motor vehicles and their trailers and repealing Directive 2009/40/EC. Directive, European Parliament and the Council of the European Union, OJ L 127, 51–128, Brussels, Belgium, April 2014.
- [9] EN ISO 1996-2:2017. Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 2: Determination of sound pressure levels. Standard, International Standards Organisation, Geneva, CH, Switzerland, June 2017.
- [10] EN ISO 61094-4:1995. Measurement microphones — Specifications for working standard microphones. Standard, International Electrotechnical Commission, Geneva, CH, Switzerland, November 1995.
- [11] EN ISO 61094-1:2000. Measurement microphones — Specifications for laboratory standard microphones. Standard, International Electrotechnical Commission, Geneva, CH, Switzerland, July 2000.
- [12] JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. Guide, Joint Committee for Guides in Metrology, September 2008.
- [13] G.R.A.S Sound & Vibration. Instruction manual, pistonphone type 42AP. http://www.gras.dk/media/docs/files/items/m/a/man_42AP.pdf. Accessed: 2017-06-01.