

KOKEMUKSIA PUHEÄÄNENVAIMENNUKSEN KENTTÄMITTAUSMENETelmäSTÄ

Olli Santala¹ ja Matias Remes¹

¹ Sitowise Oy, akustiikka
Linnoitustie 6 D
02600 Espoo
etunimi.sukunimi@sitowise.com

Tiivistelmä

Modulaaristen valmistilojen puheäänenvaimennuksen mittaukseen on ollut joitakin vuosia käytössä laboratoriostandardi. Kenttäolosuhteisiin – eli esimerkiksi monitiloimistoon – soveltuvalla mittausmenetelmälle on ilmennyt selkeää tarvetta: tuotteen akustinen suorituskyky rakennukseen asennettuna on voitava todentaa mittauksin, ja toisaalta suuria tuotteita ei pystytä mittaamaan laboratoriotilassa. Kehitteillä onkin kenttämittausstandardi, joka on edennyt luonnosvaiheeseen. Tässä tutkimuksessa mitattiin standardiluonnoksen mukaisella menetelmällä modulaarisia valmistiloja, joiden puheäänenvaimennus $D_{S,A}$ on mitattu aiemmin myös laboratoriossa. Menetelmän todettiin soveltuvan kätevästi kenttäolosuhteisiin, mutta myös rajoittavia tekijöitä havaittiin. Erityisesti mitattavan tuotteen sijainti tilassa ja tilan korkeus voivat olla ristiriidassa standardin edellytysten kanssa. Yleisesti ottaen mittauksen toteutus on kuitenkin joustavampaa ja nopeampaa kuin laboratoriossa. Menetelmällä on mittaustulosten lisäksi mahdollista selvittää valmistilan yksityiskohtaisempia ääneneristysominaisuuksia ja mahdollisia heikkouksia ääneneristyksessä.

1 JOHDANTO

Erilaiset rauhalliseen työskentelyyn tarkoitetut vetäytymistilat ja puhelinkopit ovat nykyään jo tavanomainen näky toimistoympäristössä. Yksi niiden tärkeimpiä ominaisuuksia on äänenvaimennuskyky. Jotta käyttäjät pystyvät valitsemaan sopivan tuotteen ja tietävät sen ominaisuudet etukäteen, puheäänenvaimennus $D_{S,A}$ voidaan mitata laboratoriossa käyttäen standardia ISO 23351-1 [1]. Ominaisuudet tulee kuitenkin pystyä todentamaan myös käyttäjän hankkimasta tuotteesta käyttäjän tiloissa. Siksi parhaillaan on kehitteillä kenttämittausstandardi ISO DIS 23351-2 [2], jonka avulla saadaan selville puheäänenvaimennuksen mittaluvun kenttäversio $D'_{S,A}$.

Laboratoriomittausmenetelmällä saatavien tulosten keskihajonta oli laboratoriodenvälisessä vertailutestissä 1,1 dB [3]. Menetelmän selkeänä rajoituksena on mitattavien tuotteiden koko ja laboratoriotilan koon rajallisuus. Standardinmukaiset mittaukset ovat mahdollisia tuotteille, joiden tilavuus on enintään 5 % laboratoriotilasta. Markkinoilla on erityisesti muunneltavista rakenteista koostettavia tuotteita, joiden tilavuus ylittää tyyppillisen laboratoriotilan rajat.



© 2025 Olli Santala ja Matias Remes. 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.

Kenttämittauksiin soveltuvan mittausmenetelmän valinnan pohjaksi on tehty tutkimus [4]. Tutkimuksessa testattiin kolmea eri äänitehotason mittausmenetelmää, joista yhdessä testattiin myös kahta eri mittausetäisyyttä. Tulosten perusteella päädyttiin esittämään kenttämittausten pohjaksi äänitehotason mittausstandardia SFS-EN ISO 3744 [5].

Standardin ISO DIS 23351-2 ensimmäisessä luonnosvaiheessa tehtiin laboratoriodenvälinen vertailumittaus [6] avoimen ja suljetun tuotteen puheäänenvaimennuksesta $D'_{S,A}$. Tutkimuksessa kaikki mittausryhmät mittasivat saman tuotteen samassa tilassa. Osa tutkimukseen osallistuneista ryhmistä sai toisista tilastollisesti merkittävästi poikkeavia tuloksia, minkä arveltiin johtuvan ainakin osittain siitä, että menetelmä oli kaikille uusi ja mittauskokemusta ei ollut kertynyt. Kun poikkeavat tulokset jätettiin analyysin ulkopuolelle, puheäänenvaimennuksen $D'_{S,A}$ keskihajonta oli tuotteesta riippuen 0,8 dB ja 0,7 dB. Samoista tuotteista saatuihin laboratoriomittaus tuloksiin ($D_{S,A}$) verrattuna kaikkien mittaajien kenttämittaustulosten keskiarvo oli 1,5 dB suurempi avoimen tuotteen ja 0,7 dB suurempi suljetun tuotteen osalta.

Tässä tutkimuksessa kerätään kokemuksia kenttämittausstandardin käytännön toimivuudesta. Tarkasteltavana on kolme ominaisuuksiltaan erilaista yhden hengen koppituotetta, jotka ovat olleet käytössä toimistoympäristössä useamman vuoden. Samojen tuotteiden puheäänenvaimennus $D_{S,A}$ on mitattu laboratoriossa, kun tuotteet olivat uusia. Laboratoriomittausten jälkeen tuotteet purettiin ja asennettiin nykyisille paikoilleen monitilatoimistoon. Tutkimuksessa tarkastellaan laboratorio- ja kenttämittaustulosten eroja sekä pohditaan esimerkiksi käytön ja kulumisen vaikutuksesta syntyneitä muutoksia.

2 MITTAUKSET

2.1 Menetelmä

Mittausmenetelmä on esitetty tarkasti standardiluonnoksessa ISO DIS 23351-2 [2], jossa viitataan muihin tarpeellisiin standardeihin, erityisesti äänitehotason mittausstandardiin SFS-EN ISO 3744 [5]. Tässä esitetään menetelmän toteutus vain lyhyesti ja kerrotaan huoneen ominaisuudet, standardin vaihtoehtoista tehdyt valinnat sekä rajoitukset.

Toteutus perustuu äänitehotason mittaukseen: äänilähteen – esim. pallokaiuttimen – äänitehotaso mitataan avoimessa mittaustilassa ilman koppituotetta sekä sijoitettuna tarkasteltavan koppituotteen sisälle. Lisäksi mitataan taustäänitaso sekä tilan jälkikaiunta-aika. Äänitehotasojen erojen ja puheäänien yleisen spektrin avulla lasketaan koppituotteen puheäänenvaimennus.

2.2 Mittaustila ja mitattavat tuotteet

Mittaukset suoritettiin monitilatoimistossa, jonka tilavuus on n. 450 m³. Kaikki kolme tarkasteltavaa tuotetta sijaitsivat samassa tilassa, ja lisäksi äänilähteenä käytetty ympärisäteilevä pallokaiutin mitattiin tilan vapaalla alueella.

Tuotteet ovat olleet tavallisessa toimistokäytössä joitakin vuosia. Tutkimuksen yhteydessä havaittiin, että koppien ovien tiiveys ja sulkeutuminen on muuttunut asennushetkeen nähden, ja ovien säätäminen olisi tarpeen. Koppituote 1 on yhden hengen ”puhelinkoppi”, jonka mitat ovat 1,1x1,2x2,3 m. Tuotteet 2 ja 3 ovat suurempia koppeja, joissa on pöytä ja tuoli yhdelle hengelle, ja mitat 2,0x2,0x2,3 m. Tuotteissa 1 ja 2 on pääosin samat rakenteet,

kun taas tuote 3 on tehty erikseen erityisesti hyvää ääneneristystä tavoitellen. Kaikkien ovet ovat kääntöovia: tuotteissa 1 ja 2 lasiaukollinen ovi ja tuotteessa 3 umpiovi.

Tuotteista on aiemmin tehty laboratoriomittaukset käyttäen puheäänenvaimennuksen laboratoriostandardia ISO 23351-1 [1]. Nämä mittaukset ja niiden tulokset on esitelty tarkemmin viitteessä [7].

2.3 Käytännön rajoitukset

Tutkimuksessa mukana olleita koppituotteita ei ollut mahdollista liikuttaa mittaustilassa. Tuotteiden sijainneissa oli standardin vaatimukseen nähden muutamia poikkeamia. Koppituotteen 1 yläpinnasta oli alle 0,5 metriä vaimennusmateriaalia täynnä olevaan alakattoon, ja yksi kopin sivuista oli alle 1,5 metrin päässä tilan seinästä. Koppituotteiden 2 ja 3 yläpinnasta mittaustilan kattoon oli etäisyyttä juuri yli vaadittava 1,5 metriä. Kummankin vieressä oli yhdellä umpiseinäisivulla kaksi toimistopöytää ja sermi, jolloin sivun mittauspisteet sijaitsivat standardin vaatimukseen nähden liian lähellä kalusteita.

Koska koppituotteen 1 yläpuolella mittaustilan katto oli hyvin lähellä, mittauksissa sovellettiin standardin ISO DIS 23351-2 optiota A, jossa ei mitata tuotteen katon päällä. Tällöin mittauksia oli neljällä seinällä kullakin 4 kpl, eli 16 mittausta. Koppituotteiden 2 ja 3 tapauksessa käytettiin optiota B eli mitattiin myös katon päällä (20 mittausta).

2.4 Tulokset

Kenttämittausten tulokset kaikille kolmelle tuotteelle on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Mitattu oktaavikaistainen puheäänenvaimennus D ja yksilukuarvo $D'_{S,A}$ kolmelle tarkastellulle tuotteelle.

f [Hz]	Puheäänenvaimennus D [dB]		
	Tuote 1	Tuote 2	Tuote 3
125	16,3	22,5	22,1
250	22,2	24,0	27,0
500	25,5	29,7	37,4
1000	30,7	32,6	42,7
2000	27,4	26,0	43,3
4000	24,9	27,4	44,9
8000	25,4	28,0	46,5
$D'_{S,A}$	26,0	29,0	35,5

3 ANALYYSI

3.1 Kenttä- ja laboratoriotulosten vertailu

Taannoisissa laboratoriomittauksissa [7] ja nyt suoritetuissa kenttämittauksissa on mitattu täsmälleen samat tuotteet, mutta mittausten välillä on noin neljä vuotta. Laboratoriotulokset puheäänenvaimennukselle $D_{S,A}$ on esitetty yhdessä kenttämittaustulosten kanssa taulukossa 2.

Taulukko 2. Kenttätulokset $D'_{S,A}$ sekä aikaisemmin mitatut laboratoriotulokset $D_{S,A}$ koltelle tarkastellulle koppituotteelle.

Mittaluku	Tuote 1	Tuote 2	Tuote 3
$D'_{S,A}$ (kenttä)	26,0	29,0	35,5
$D_{S,A}$ (laboratorio)	26,2	24,4	32,4
Erotus	-0,2	4,6	3,1

Koppituotteiden 2 ja 3 kenttämittaustulokset ovat selvästi suurempia kuin laboratoriotulokset, ja tuotteen 1 tulokset ovat lähes samat. Useiden eri toimijoiden kesken suoritetuissa mittauksissa kenttämenetelmällä saadut tulokset olivat keskiarvoltaan 0,5 - 2,1 dB suurempia kuin laboratoriomenetelmällä [6]. Nyt saadut erot tuotteille 2 ja 3 ovat suurempia, mutta kuitenkin samansuuntaisia.

3.2 Rakennneosien kulumisen vaikutus

Mittausten yhteydessä havaittiin, että tuotteiden 1 ja 2 ovet eivät tiivistyneet kunnolla, ja äänivuoto oli selvästi kuultavissa. Tuotteelle 2 tehtiin lisämittaus, jossa ovea painettiin niin, että kuultava vuoto poistui. Äänitehotason mittaukset toistettiin, jolloin saatiin tulos $D'_{S,A}$ 31,0 dB eli 2,0 dB parempi kuin vuotavalla ovella. Ovien äänitiiveydellä on siis merkittävä vaikutus kentällä saavutettavaan yksilokuarvoon.

Tuotteen 3 umpiovi on yksilöllisesti suunniteltu juuri tähän tuotteeseen. Oven säätöjä tarkasteltiin myös aikanaan laboratoriomittauksissa. Käytön myötä on havaittu oven muuttuneen jäykemmin sulkeutuvaksi. Kuulohavainnot ja kenttämittaustulos viittaavat siihen, että ovi sulkeutuu todella tiiviisti ja on mahdollisesti parempi kuin aiemmin laboratoriomittauksissa. Oven tiiveys voi osaltaan selittää sitä, miksi nyt saatu kenttämittaustulos on niin paljon parempi kuin laboratoriotulos.

Koppituotteiden käyttämisestä aiheutuneet muutokset ovien tiiveydessä korostavat sitä, että asennuksella ja rakennneosien säätämisellä on selkeä vaikutus mittaustuloksiin. On oleellista huomioda, että samakaan tuote ei välttämättä ole kentälle asennettuna puheäänenvaimennukseltaan tarkalleen samanlainen kuin mitä tuotteen laboratorioarvo esittää.

4 KENTTÄMITTAUKSEN HYÖTYJÄ JA RAJOITUKSIA

Kenttämittausten menetelmässä mittauspisteet sijaitsevat puolen metrin päässä mitattavasta tuotteesta, minkä ansiosta mittauksissa pääsee tarkastelemaan varsin tarkasti tuotteen eri sivujen ja alueiden eroja. Tällöin äänitasoja tarkastelemalla on mahdollista löytää tuotteesta heikkoja kohtia. Näin voidaan valita esimerkiksi tuotteen oven sauma tarkempaan tarkasteluun ja havaita, että asennuksessa oven tiivisteisiin on jäänyt puutteita. Menetelmällä voi siis pelkän mittaustuloksen lisäksi edesauttaa asennetun tuotteen parasta mahdollista toimivuutta.

Tärkeä kenttämittausten menetelmän etu on se, että mittaus pystytään suorittamaan käyttäjän tiloihin asennetusta tuotteesta juuri siinä paikalla, jossa sitä käytetään. Tällöin mittauksia rajoittavaksi tekijäksi voi kuitenkin muodostua ympäröivän tilan koko tai pinnat. Koppituote saatetaan esimerkiksi asentaa nurkkaan, lähelle seinää, tai tuotteita voidaan sijoittaa useampia vierekkäin. Standardin mukaan on kuitenkin tarkoitus päästä mittaamaan jokaiselta neljältä sivulta sekä katon päältä, ja etäisyyden tilan pintoihin tulee olla 1,5 metriä. Standardissa olisi hyödyllistä huomioda tilan käytännön rajoitteet ja esittää

poikkeusmenettely tällaisiin tapauksiin. Toistaiseksi standardissa ohjeistetaan yksinkertaisesti raportoimaan mahdolliset poikkeamat etäisyyksistä ja arvioimaan tämän vaikutusta mittausepävarmuuteen. Koppituotteen käyttäjän kannalta seinää vasten asennettujen sivujen mahdolliset heikkoudet eivät ole oleellisia, joten sikäli sellaisessa tapauksessa mittaukset vain näkyviltä sivuilta voitaisiin tulkita riittäviksi. Tällaisten poikkeuksellisten mittausten tuloksia ei luonnollisesti tule yleistää muihin tilanteisiin. Kenttämittauksen tarkoitus on toki muutenkin kertoa tulos juuri kyseiselle asennetulle tuotteelle.

Standardin ehto 1,5 m vapaasta tilasta koppituotteen päällä muodostaa merkittävän käytännön rajoitteen. Ehto tarkoittaisi, että tilan vapaan korkeuden tulisi tyypillisen koppituotteen tapauksessa olla lähes 4 m - tämä on kuitenkin suomalaisissa toimistorakennuksissa epätyypillistä, vaikka kyseessä olisi uudisrakennus, puhumattakaan vanhoista rakennuksista, joissa huonekorkeudet ovat tavallisesti huomattavasti matalammat. Mikäli 1,5 m ehto ei täyty, tulisi tilan katon lisäksi olla standardin mukaan ääntä heijastava - kuitenkin monitilatoimistoissa kattopinta on lähes aina vaimentava. Tässä tutkimuksessa tuotteen 1 yläpuolella katto oli liian lähellä ja vaimentava. Katon läheisyyden vaikutusta mittaustulokseen ei tämän tutkimuksen puitteissa pystytty arvioimaan.

Mikäli mittaustilana on käytössä oleva toimistotila, siellä on myös muita kalusteita kuin mitattava tuote. Koppituotteen lähellä sijaitsevat pienemmät huonekalut voi siirtää pois mittausten ajaksi, mutta isommat toimistopöydät, kaapit ja tilanjakajat saattaa joutua jättämään paikalleen. Tällöin joillain kopin sivuilla on mitta-alueella ylimääräisiä heijastavia tai vaimentavia pintoja. Yleisesti ottaen mitattavan tuotteen yhdellä tai useammalla sivulla olevien mittausta rajoittavien tekijöiden vaikutuksen arviointi on kenttäolosuhteissa hankalaa. Koppituotetta mitattaessa äänenpainetaso 0,5 metrin etäisyydellä seinäpinnasta riippuu ensisijaisesti siitä, onko kyseessä ovi-, ikkuna- tai umpiseinä. Jos koppituotteen yhden umpiseinän vieressä on vaikkapa ääntä heijastava pöytäpinta tai vaimentava sermi, sellaisen vaikutusta ei voi tarkastella vertaamalla mittaustuloksia tuotteen ikkunaseinältä otettuihin mittauksiin. Standardin ohjeistuksen puitteissa voi olla vaikeaa huomioida tällaisia tapauksia, mutta kenttäolosuhteissa niitä kuitenkin tulee vastaan. Tulkinta standardin tämänhetkisestä tekstimuotoilusta on se, että mittaukset suoritetaan jokaiselta neljältä sivulta ja käytetään kaikkia tuloksia laskennassa ja raportoinnissa. Poikkeamat standardin etäisyysvaatimuksista eivät siis estäisi mittaamista, kunhan poikkeamista vain mainitaan raportissa.

Koska menetelmä perustuu äänitehotason osalta suoraan standardiin SFS-EN ISO 3744, mukana on mittauksia, jotka eivät ole välttämättömiä lopputuloksen kannalta. Taustäänitason mittausta tehdään kaikissa samoissa pisteissä kuin varsinainen äänitehotason mittausta. Tämä tarkoittaa perustilanteessa 20 kappaletta taustäänitasomittauksia. Kun mitataan äänitehotasoa äännekkäässä ympäristössä, jossa on useita eri melulähteitä, tarkempi taustäänitason mittausta on perusteltua. Koppituotteet puolestaan asennetaan tyypillisesti monitilatoimistoon, jossa taustäänitaso on varsin tasaista. Esimerkiksi pienen yhden hengen toimistokopin tapauksessa yhdellä sivulla sijaitsevat mittauspisteet ovat noin metrin päässä toisistaan. Toimistoympäristössä on hyvin epätodennäköistä, että taustäänitaso poikkeaisi merkittävästi näin lyhyellä matkalla. Tässä tutkimuksessa suoritetuissa mittauksissa taustäänitaso vaihteli jonkin verran tuotteiden eri sivuilla ja toimiston eri alueilla johtuen ilmanvaihdon päätte-elimistä. Yksittäisellä sivulla taustäänitaso ei merkittävästi vaihdellut. Käytännössä taustäänitasolla ei ole lainkaan merkitystä puheäänenvaimennuksen taajuuskaistaisiin tuloksiin D silloin, kun taustäänitaso on huomattavasti hiljaisempi kuin tarkasteltavan koppituotteen läpi kantautuva äänilähteen äänenpainetaso. Taustäänitason mittausta yhdessä pisteessä olisi näin ollen ainakin toimistoympäristössä riittävä ratkaisu.

Äänekkäämmissäkin ympäristöissä lähtökohtaisesti riittäisi yksi taustäänitason mittausmittauspintaa kohden, eli yhteensä viisi mittausta. Vaihtoehtoisena mittaustapana äänitehotasolle on standardissa esitetty skannausmenetelmä, jolloin taustäänitason mittauksia-kin tarvitaan vain yksi per sivu. Tällöinkin taustäänitason mittauksen kesto ja mittausten toistojen määrä on suurempi kuin hiljaisessa toimistoympäristössä olisi tarpeen.

Laboratoriostandardin [1] liitteessä on esitetty tuotteiden luokitus $D_{S,A}$ -luvun mukaan asteikolla A+...D. Luokitus on valmistajilta saatujen tietojen mukaan otettu melko laajasti käyttöön käyttäjäpuolella. Kenttämittausstandardissa ei luonnosversiossa vielä ole vastaavaa luokitusta. Standardin kehityksessä on syytä pohtia, tehdäänkö luokitustaulukko ja ovatko lukuarvot laboratoriostandardia vastaavia vai siitä poikkeavia.

4 POHDINTA

Toimistokalusteiden puheäänenvaimennuksen kenttämittausmenetelmälle on selkeää tarvetta, ja luonnosvaiheessa oleva standardi vastaa siihen hyvin. Teollisuus ja tuotteiden käyttäjät hyötyvät todellisten käytössä olevien tuotteiden puheäänenvaimennuskyvyn todentamisesta. Kenttämittausmenetelmän selkeä etu on myös se, että sen avulla voidaan löytää esimerkiksi asennuksessa tapahtuneita virheitä ja parantaa tuotteen toimivuutta. Standardissa olisi toisaalta hyödyllistä käsitellä kenttäolosuhteiden käytännön rajoitteita esimerkiksi esittämällä poikkeusmenettely, jolla tilan mittojen ja kalusteiden aiheuttamat rajoitteet saataisiin paremmin huomioitua. Tässä tutkimuksessa sekä muussa kirjallisuudessa on hieman käsitelty laboratoriostandardin mukaisten tulosten ja kenttämittaustulosten eroja. Mittalukujen eroista tarvitaan lisää aineistoa, jotta eri tahot saavat vankempaa tietoa siitä, millaisia kenttämittaustuloksia on lupa odottaa tietyn laboratorioarvon saaneelta tuotteelta. Mahdollisen kenttämittaustulosten luokittelun (esim. asteikolla A+...D) pohjaksi olisi hyödyllistä tehdä tutkimusta siitä, miten puheäänenvaimennuksen $D'_{S,A}$ arvot korreloivat koetun puheäänenvaimennuksen kanssa.

VIITTEET

- [1] ISO 23351-1: Acoustics – Measurement of speech level reduction of furniture ensembles and enclosures – Part 1: Laboratory method. International organization for standardization, 2020.
- [2] ISO 23351-2: Acoustics – Measurement of speech level reduction of furniture ensembles and enclosures – Part 2: Field method. International organization for standardization, 2025.
- [3] Hongisto V., Keränen J. ja Hakala J. Accuracy experiment of ISO DIS 23351-1 - Speech level reduction of furniture ensembles and enclosures. Applied Acoustics 164, 107249, 2020.
- [4] Keränen, J., Laukka, J., Hakala, J. ja Hongisto, V. Toimistokoppien puheäänenvaimennuksen kenttämittausmenetelmä. Akustiikkapäivät 2023, s. 316-321, Tampere 15.-16.11.2023.
- [5] SFS-EN ISO 3744: Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane. International organization for standardization, 2010.
- [6] Hongisto, V., Caradonna, R., Keränen, J., Hakala, J., Alakoivu, R. ja Astolfi, A. Measurement uncertainty of ISO CD 23351-2: acoustic performance of furniture ensembles and enclosures in situ. Applied Acoustics 238, 110773, 2025.
- [7] Santala, O. ja Remes, M. Modulaaristen valmistilojen ääneneristävyyden mittaus laboratoriossa ja kentällä. Akustiikkapäivät 2021, s. 78-83, Turku 24.-25.11.2021.