

MODULAARISTEN VALMISTILOJEN ÄÄNENERISTÄVYYDEN MITTAUS LABORATORIOSSA JA KENTÄLLÄ

Olli Santala¹ ja Matias Remes¹

¹ Sitowise Oy / Helimäki Akustikot
Linnoitustie 6 D
02600 Espoo
etunimi.sukunimi@sitowise.com

Tiivistelmä

Toimistokalusteiden ja modulaaristen valmistilojen ääneneristyksen mittaamiseen tarkoitettu standardi ISO 23351-1 julkaistiin vuonna 2020. Standardi määrittelee puheäänen vaimenemiseen perustuvan mittaluvun. Menetelmä on tarkoitettu laboratoriomittauksiin, mutta sitä voi periaatteessa soveltaa myös kenttäolosuhteissa. Tässä tutkimuksessa selvitettiin kolmen valmistilan ääneneristyskykyä laboratoriossa ja kentällä käyttäen standardin mukaista mittausmenetelmää. Erityisesti tutkimuksessa keskityttiin mittauspaikkojen tulosten eroihin ja kenttämittausten käytännön haasteisiin. Valmistilat olivat pieniä suljettuja tiloja, joita käytetään esimerkiksi hiljaiseen työskentelyyn ja puhelinkeskusteluihin ja jotka koostuvat paikan päällä koottavista esivalmistetuista osista. Mitatut valmistilat olivat samoja yksilöitä, mutta laboratoriossa ja kentällä niissä on voinut olla pieniä eroavaisuuksia esimerkiksi tiiveydessä, koska tilat kootaan aina paikan päällä. Tulokset olivat kahden tuotteen osalta parempia kentällä kuin laboratoriossa, kun taas yhdellä tuotteella tulokset olivat samankaltaiset. Eri mittauspisteiden väliset erot olivat suuremmat kentällä johtuen ensisijaisesti tuotteiden eri sivujen ääneneristävyden vaihtelusta. Kenttämittauksissa mittaustilana on tyypillisesti monitilatoimisto, mikä asettaa käytännön haasteita mittausten suorittamiselle standardin edellyttämällä tavalla. Esimerkiksi mittauspisteiden sijoitus standardin mukaisesti voi olla hankalaa. Mittaukset tulee myös suorittaa tilassa sekä ilman tuotetta että sen kanssa, joten tuotetta täytyy joko pystyä liikuttamaan tai mittauksia tulee tehdä eri käyntikerroilla. Kentällä suoritettavat mittaukset ovat kiinnostavia erityisesti loppukäyttäjän kannalta, sillä siten saadaan tietoa tuotteen toimivuudesta tuotteen varsinaisessa käyttökohteessa. Standardissa esitettyä menetelmää tulisikin kehittää niin, että kenttämittauksiin saataisiin oma mittausmenetelmänsä.

1 JOHDANTO

Monitilatoimistojen ideana on tarjota työntekijöille erilaisia tiloja työskentelyä varten. Muuntojoustavuuden kannalta käteviä ratkaisuja ovat elementeistä koottavat pienet veätytymistilat, niin kutsutut modulaariset valmistilat, joiden suosio on kasvanut viime vuosina selvästi. Ne mahdollistavat avotoimisto-olosuhteiden rinnalle paikan, johon voi mennä puhumaan puheluita tai tekemään keskittymistä vaativaa työtä. Siksi hyvä ääneneristys on niissä tärkeä ominaisuus.

Tällaisten valmistilojen ja muidenkin toimistokalusteiden mittaamiseen on kehitetty standardi, ISO 23351-1:2020 [1]. Siinä periaatteena on mitata äänilähteen, esimerkiksi palkkaiuttimen, äänitehotaso kahdella tavalla: vapaasti tilassa ja niin, että äänilähde sijaitsee



© 2021 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.

tarkasteltavan tuotteen sisällä. Puheen spektriä hyödyntäen näiden tulosten erotusta tarkastellaan niin, että saadaan selville tuotteen *puheäänenvaimennus* ja sen yksilukuarvo $D_{S,A}$. Menetelmän aiempi versio on esitelty ennen standardin julkaisua viitteissä [2] ja [3].

Uudelle menetelmälle nähtiin tarve siksi, että aiemmissä menetelmissä on ollut puutteita tai rajoituksia. Ilmaääneneristävyyden mittaustandardi [4] on tarkoitettu tilavuudeltaan vähintään 10 m³:n kokoisille huoneille. Viitteessä [2] todetaan lisäksi, että ilmaääneneristävyyttä mitattaessa tulos riippuu huoneesta, johon mitattava valmistila on asennettu. Muilla menetelmillä ei ole voinut mitata vertailukelpoisesti sekä avoimia toimistokalusteita että suljettuja valmistiloja [1].

Uuden menetelmän tarkkuutta ja toistettavuutta on tutkittu mittaamalla kahta eri tuotetta useissa eri laboratorioissa [5]. Lisäksi yhdessä laboratorioissa mitattiin useita eri valmistilatuotteita [6]. Kyseisessä tutkimuksessa mukana olleiden valmistilojen puheäänenvaimennus $D_{S,A}$ oli pienimmillään 15,0 dB ja parhaimmillaan 30,3 dB.

Mittaustandardi ISO 23351-1 [1] on tarkoitettu käytettäväksi laboratorioissa. Sen taustana olevassa äänitehotason mittaustandardissa ISO 3741 [7] esitetään huonetilalle mm. sellaisia diffuusisuusvaatimuksia, jotka eivät täyty tyypillisissä kenttäolosuhteissa. Lopputyön kannalta on kuitenkin kiinnostavinta, miten tuote toimii asennettuna kentällä. Usein rakennusprojekteissa halutaan todentaa suunnitteluvaiheessa asetetut ääneneristysvaatimukset valmiissa kohteessa. Siksi valmistilojen puheäänenvaimennusta olisi tärkeää pystyä mittaamaan myös kenttämittaolosuhteissa. Mittaustandardissa ISO 23351-1 todetaan, että laboratorioissa saavutettava arvo $D_{S,A}$ on vähimmäisarvo, eli kentällä lukuarvo olisi siis parempi [1]. Tiedossa ei kuitenkaan ole julkaistua tutkimusta kenttämittauksista tai laboratorion ja kentän eroista.

Tässä tutkimuksessa keskityttiin tutkimaan uuden standardin käyttöä modulaaristen valmistilojen puheäänenvaimennuksen mittaamisessa. Näillä tarkoitetaan suljettuja, ääneneristettyjä tiloja, jotka kootaan erikseen paikan päällä. Puheäänenvaimennuksen mitaukset tehtiin kolmelle valmistilalle sekä laboratorioissa että kentällä. Mittaustulosten erojen lisäksi erityisenä kiinnostuksen kohteena oli kenttämittausten käytännön haasteiden sekä rajoitusten tarkastelu.

2 MENETELMÄT

Tutkimuksessa oli mukana kolme valmistilaa samalta valmistajalta. Kaikissa tuotteissa kaksi seinää olivat lasia ja kaksi umpinaisia. Ilmanvaihdon toteutus oli kaikissa samankaltainen, ympäröivän huonetilan ilmaa kierrättävä. Tuote 1 oli yhden hengen puhelin-koppityyppinen tila (ulkomitat 1,1 x 1,2 x 2,3 m), jossa työskennellään seisten. Tuotteet 2 ja 3 olivat hieman isompia tiloja, jotka soveltuvat pidempään istumatyöskentelyyn tai esim. kahden hengen palaverin pitämiseen (ulkomitat 2,0 x 2,0 x 2,3 m). Tuotteissa 1 ja 2 oli toisiaan vastaavat rakenteet, kun taas tuote 3 oli tehty paremmin ääntä eristävillä rakenteilla. Kaikissa oli kääntöovi – tuotteissa 1 ja 2 se oli lasia ja tuotteessa 3 umpiovi.

Laboratoriomittaukset tehtiin Helimäki Akustikkojen ääneneristyslaboratorion kaiunta-huoneessa. Tilassa on mahdollista täyttää äänitehotason standardin ISO 3741 edellytykset, mutta mittaushetkellä mm. diffuusisuus oli osalla taajuuskaistoista hieman liian pieni. Kenttämittaukset tehtiin tyypillisessä monitilatoimistossa, jossa oli paljon huonevaimennusta eri pinnoilla ja kalustusta myös valmistilojen läheisyydessä. Toimistotila ei täytä

standardissa ISO 23351-1 mittaustilalle asetettuja vaatimuksia, jotka käytännössä koskevat laboratorio-olosuhteita.

Valmistilojen asennuksesta vastasi tuotteiden valmistaja. Laboratoriossa ja kentällä mitattiin samat yksilöt niin, että ne rakennettiin ensin laboratorioon ja sen jälkeen kentälle toimistotilaan. On mahdollista, että toimistossa ovien asennus ja tiivistysten säätö toteutettiin huolellisemmin, koska tuotteet tulivat lopulliseen käyttöpaikkaansa ja asennusta oli aikaa hioa enemmän.

Mittaukset tehtiin standardin mukaisesti muutamien poikkeuksin. Mikrofonipisteiden määrä rajoitettiin kaikissa mittauksissa kuuteen. Laboratoriossa isompien tuotteiden (2 ja 3) sisällä äänilähde sijoitettiin neljään eri pisteeseen, mutta kentällä vain kahteen. Tämä johtui siitä, että kenttämittauksissa tuotteiden sisällä oli lähes puolet lattiapinta-alasta täyttävä työpöytä. Tuotteen 3 osalta kenttämittauksissa mikrofonipisteet jouduttiin sijoittamaan toimistotilan käytännön rajoitteiden vuoksi lähemmäs kuin standardin laskenta edellytti. Sekä laboratoriossa että kentällä käytettiin vain yhtä tuotteen sijaintia mittaustilassa standardin edellyttämän kahden sijaan, koska tuotteita ei ollut mahdollista liikuttaa tai purkaa ja rakentaa uudestaan toiseen paikkaan.

Äänilähteenä jokaisessa mittauksessa oli sama ympärisäteilevä pallokaiutin. Äänitasomittarina oli luokan 1 laite, joka kalibroitiin aina ennen mittauksia ja niiden jälkeen.

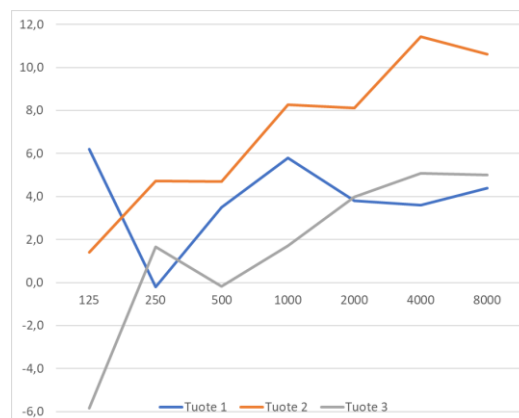
3 TULOKSET

Mittaustuloksista laskettu puheäänenvaimennus D oktaavikaistoittain sekä yksilukuarvona $D_{S,A}$ on esitetty taulukossa 1 kaikille kolmelle tuotteelle laboratoriossa ja kentällä. Taulukossa 2 ja kuvassa 1 on esitetty kenttä- ja laboratoriomittausten erotukset taajuuskaistoittain. Positiivinen arvo tarkoittaa, että kenttämittauksessa on saatu parempi tulos, ja negatiivinen puolestaan tarkoittaa laboratoriomittaustuloksen olleen parempi kyseisellä taajuuskaistalla.

Taulukko 1. Oktaavikaistainen puheäänenvaimennus D ja yksilukuarvo $D_{S,A}$ kolmelle tuotteelle laboratoriossa ja kentällä.

f [Hz]	Tuote 1, laboratorio	Tuote 2, laboratorio	Tuote 3, laboratorio	Tuote 1, kenttä	Tuote 2, kenttä	Tuote 3, kenttä
125	17,6	16,6	20,7	23,8	18,0	14,8
250	26,7	23,2	29,3	26,5	28,0	31,0
500	25,9	24,1	32,2	29,4	28,8	32,0
1000	28,1	26,2	36,1	33,9	34,5	37,8
2000	24,4	23,9	32,5	28,2	32,1	36,5
4000	25,3	23,2	37,7	28,9	34,6	42,8
8000	26,8	25,0	38,9	31,2	35,7	43,9
$D_{S,A}$	26,2	24,4	32,4	29,8	29,7	32,0

f [Hz]	Tuote 1	Tuote 2	Tuote 3
125	6,2	1,4	-5,8
250	-0,2	4,7	1,7
500	3,5	4,7	-0,2
1000	5,8	8,3	1,7
2000	3,8	8,1	4,0
4000	3,6	11,4	5,1
8000	4,4	10,6	5,0



Taulukko 2 ja kuva 1. Kenttä- ja laboratoriomittausten erotus tuotekohtaisesti.

4 ANALYYSI

Tulosten perusteella laboratorio- ja kenttämittausten välillä on eroja, jotka ovat tutkittujen kolmen tuotteen välillä enimmäkseen samankaltaisia. Tuloksista ei tule tehdä liian yleistäviä päätelmiä, koska tutkimus oli verrattain suppea – testattuja tuotteita oli vain kolme, tuotteet olivat rakenteiltaan samantyyppisiä ja samalta valmistajalta. Erityisesti mittausten käytännön toteutuksesta ja haasteista sekä laboratorio- ja kenttäolosuhteiden eroista voidaan kuitenkin esittää havaintoja.

Kaikki puheäänenvaimennuksen $D_{S,A}$ laboratorioarvot olivat verrattain hyviä. Aiemmassa yhdentoista eri tuotteen vertailumittauksessa tulokset vaihtelivat välillä 15,0...30,3 dB [6] – nyt tulokset olivat 26,2, 24,4 ja 32,4 dB. Tuotteen 3 tulos oli siis parempi kuin yhdenkään ko. tutkimuksessa [6] olleen tuotteen. Selkeimpänä erona kyseisessä tutkimuksessa oli mukana vain yhden hengen puhelinkoppityyppisiä valmistiloja, kun tuote 3 on lattiapinta-alaltaan lähes nelinkertainen.

4.1 Laboratorio- ja kenttämittausten vertailu

Kenttämittaustuloksia ei tule suoraan verrata muiden aiempien tutkimusten tuloksiin, sillä standardin menetelmää ei ole tarkoitettu kenttämittauksiin. Standardissa todetaan, että kentällä tulosten tulisi olla parempia kuin laboratoriossa [1]. Tuotteiden 1 ja 2 osalta puheäänenvaimennuksen $D_{S,A}$ kenttämittaustulokset ovatkin parempia, mutta tuotteen 3 osalta tulos on käytännössä sama molemmissa mittauspaikoissa.

Tuotteiden säädöissä ja siten erityisesti tiiveydessä on voinut olla jonkin verran eroa laboratorion ja kentän välillä. Laboratoriossa tuotteet rakennettiin kerralla paikalleen eikä siellä ollut loppukäyttäjää tutkimassa ja kommentoimassa mahdollisia vuotokohtia. Tämän vuoksi käytännön havaintoihin perustuvat säädöt jäivät laboratoriossa tekemättä. Kentällä tällainen tarkastelu oli tehty, ja siellä on siten voitu saavuttaa huolellisempi tiivistys.

Kenttämittausten aikana oli havaittavissa selkeää äänen suuntautuvuutta. Esimerkiksi tuotteessa 2 se sivu, jolla ovi sijaitti, oli ääneneristävyydeltään heikompi kuin muut kolme sivua. Koska kentällä mittaustila oli varsin vaimennettu ja äänikenttä ei ollut diffuusi, suuntaavuus oli selvästi havaittavissa ja eri mikrofoniasteiden välillä oli suuria eroja äänepainetasossa. Laboratoriossa ei ollut havaittavissa samaa ilmiötä.

Tuotteen 3 laboratorio- ja kenttämittaustulosten samankaltaisuus on mielenkiintoista. Yksi mahdollinen syy on, että koska tuote oli jo lähtökohtaisesti puheäänenvaimennukseltaan paras, sen eri sivut eivät poikkea toisistaan yhtä paljon ja näin suuntaavuudesta ei tule yhtä selkeää eroa kentän ja laboratorion välille kuin muissa tuotteissa. Toisaalta käytännön rajoituksista johtuva mikrofonipisteiden standardia pienempi etäisyys tuotteesta voi myös vaikuttaa tulokseen. Taulukosta 2 ja kuvasta 1 nähdään, että tuotteen 3 tulokset olivat kuitenkin lähes kaikilla taajuuskaistoilla parempia kentällä. Vain oktaavikaistalla 125 Hz saatiin huonompi tulos, mikä laski yksilukuarvon samalle tasolle laboratoriotuloksen kanssa.

Yksi standardin edellyttämä mittaustekninen yksityiskohta on, että valmistilan sisällä äänilähde tulisi sijoittaa vuorollaan jokaiseen käyttäjän sijaintiin. Esimerkiksi kahden hengen valmistilassa mittaukset näin ollen toistettaisiin kahdesti. Tämän tutkimuksen yhteydessä ei havaittu merkittäviä eroja mittaustuloksissa kaiutinpaikkojen välillä. Onkin mahdollista, että valmistilojen tapauksessa useammista mittauksista ei ole juurikaan hyötyä.

4.2 Kenttämittauksen käytännön haasteet

Käytännössä sellaisissa kenttämittauksissa, joissa mitattava tuote sijaitsee lopullisessa käyttöpaikassaan, ei ole mahdollista saavuttaa laboratoriota vastaavia olosuhteita. Haasteita aiheuttavat toimistotilan vaimennusmateriaalit, kalusteet, tilan ahtaus ja mittausten suorittaminen sekä ilman tuotetta että sen kanssa.

Tämän tutkimuksen monitilatoimistossa oli paljon vaimennusta vaaka- ja pystypinnoilla (kattopinnoilla luokan A...C vaimennuslevytys kauttaaltaan, seinillä vaimennuslevyjä ja vaimentavia verhoja, vaimentavat työpöytäsermit, kokolattiamatto), ja tilan jälkikaiunta-aika oli lyhyt, mikä on tyypillistä monitilatoimistoille. Mikrofonipisteiden etäisyys mitattavasta tuotteesta määritellään äänitehotason standardissa ISO 3741 jälkikaiunta-ajan kautta [7]. Vaadituksi minimietäisyydeksi tuli tässä tapauksessa lähes viisi metriä, minkä toteuttaminen oli toimiston seinien, tilanjakajien ja työpisteiden vuoksi hankalaa. Tuotteen 3 tapauksessa mikrofonipisteitä ei pystytty sijoittamaan riittävän kauas. Osassa mikrofonipisteistä valmistilan ja mittauspisteen välillä oli matalia kalusteita, jotka eivät kuitenkaan estäneet suoran äänen kulkuyhteyttä. Ilman tuotetta tehdyissä mittauksissa toimistotila oli vielä osin kesken (muutama kaluste puuttui), mikä myös saattaa aiheuttaa eroavaisuuksia lopputilanteen mittaustuloksiin.

Mittaukset ennen tuotteen paikalleen asentamista vaativat vähintäänkin suunnitelmallisuutta, ja joskus niiden järjestäminen on suorastaan mahdotonta; näin on esimerkiksi tilanteessa, jossa on mitattava jo pitkään paikallaan ja käytössä ollut valmistila, jossa on havaittu ongelmia. Tässä tutkimuksessa valmistilojen tuleva sijainti oli tiedossa hyvissä ajoin, joten mittaukset toimistotilassa ennen tuotteiden asentamista pystyttiin suorittamaan asianmukaisesti.

Standardin ISO 23351-1 vaatimus mittaamisesta kahdessa eri valmistilan sijainnissa on kenttämittausten kannalta hankala, koska tuotetta on harvoin mahdollista liikuttaa. Purkamisen ja rakentamisen toiseen sijaintiin ei puolestaan olisi tarkoituksenmukaista, jos mittauksilla halutaan selvittää senhetkisen toteutuksen ääneneristyskykyä. Tässäkin tutkimuksessa mittaukset suoritettiin käytännön rajoitteiden vuoksi vain yhdessä tuotteen sijainnissa.

Laskentaa varten tarvitaan mm. mittaustilan tilavuus ja kaikkien huonepintojen yhteispinta-ala. Monitilatoimistossa on runsaasti erilaisia pintoja ja avoin tila saattaa olla hyvinkin laaja. Tilavuuden rajaaminen mittauksen kannalta oleelliselle alueelle ja pinta-alojen huomiointi ovat asioita, joihin laboratoriostandardissa ei luonnollisesti ole otettu kantaa. Niiden määrittelyn ohjeistusta tulisikin pohtia mahdollisen kenttämittausstandardin valmistelussa.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Toimistokalusteiden ja valmistilojen kenttämittausstandardille on ilmiselvää tarve, sillä rakentamisen laadunvarmistus on tärkeää näillekin tuotteille. Esimerkiksi toimistoon asennetun valmistilan puheäänenvaimennus suhteessa suunnitelmissa määriteltyyn vaatimustasoon tulisi pystyä todentamaan mittauksin. Kenttämittausmenetelmän suunnittelussa tulee ottaa huomioon kenttäolosuhteiden asettamat käytännön rajoitukset. Laboratoriomenetelmässä esimerkiksi vaatimus tuotteen kahdesta eri sijainnista mittaustilassa ei ole realistinen kentällä. Jälkikäiunta-ajan kautta määritettävä mikrofonipisteiden etäisyys voi olla mahdotonta saavuttaa laboratoriomenetelmää vastaavasti.

Nykyisellään laboratoriomenetelmän mittaukset ovat sinänsä toteutettavissa kentällä tietyn rajauksin. Tällöin on kuitenkin muistettava, että kenttätulokset eivät ole suoraan verrannollisia laboratoriotuloksiin. Todennäköisesti kentällä puheäänenvaimennuksen mitaustulokset ovat hieman suurempia, eli parempia, kuin laboratoriossa. Laboratoriotuloksen voidaan siis ajatella olevan ns. vähimmäisarvo siitä, mitä kentällä on saavutettavissa. Suunnitelmissa tavoiteltu puheäänenvaimennuksen arvo voidaan todennäköisesti saavuttaa kentällä valitsemalla sellainen valmistila, jonka laboratoriotulos vastaa suunniteltua arvoa.

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] Hongisto, V., Keränen, J., Virjonen, P. ja Hakala, J. Test method for determining sound reduction of furniture ensembles. *Acta Acust. Acust.* 102, s. 67-79, 2016.
- [3] Hakala, J., Keränen, J., Virjonen, P. ja Hongisto, V. Työpistekokonaisuuksien ja puhelinkoppien äänenvaimennuksen uusi mittausten menetelmä. *Akustiikkapäivät 2017*, s. 260-265, Espoo 24.-25.8.2017.
- [4] SFS-EN 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.
- [5] 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, s. 1-6, 2020.
- [6] Hongisto, V. ja Keränen, J. Acoustic performance of eleven commercial phone booths according to ISO 23351-1. *Research reports from Turku University of Applied Sciences* 51, 2020.
- [7] SFS-EN ISO 3741: Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure. Precision methods for reverberation test rooms. International organization for standardization, 2010.