



Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK), talotekniikka

Peruskorjauksen jälkeiset akustiset olosuhteet Wärtsilä- kampuksella

STIPA ja ilmaääneneristävyys
koulurakennuksessa

Joonas Linervo

Opinnäytetyö, toukokuu 2024

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2024
Talotekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä
Joonas Linervo

Nimeke
Peruskorjauksen jälkeiset akustiset olosuhteet Wärtsilä-kampuksella

Toimeksiantaja
Karelia AMK

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi akustisia olosuhteita Karelian Wärtsilä-kampuksella. Tutkimus suoritettiin toimeksiantona Karelia AMK:lle peruskorjauksen yhteydessä suoritettujen akustiikkaan vaikuttavien muutosten takia.

Olosuhteita selvitettiin suorittamalla ilmaääneneristävyyden ja puheen ymmärrettävyyden mittaukset peruskorjatuista C-siiven tiloista. Tuloksia vertailtiin SFS 5907 standardin vaatimukseen ja Ympäristöministeriön ohjearvoihin. Työssä käytiin läpi STIPA-menetelmällä suoritettujen STI:n, jälkikaiunta-ajan, taustamelun ja äänitasoeron mittaukset, sekä mittapisteiden valinta. Opinnäytetyössä perehdyttiin myös tarkoituksenmukaisen ääniympäristön hyötyihin, sekä käyttötarkoituksen vaikutuksiin ääniympäristön suunnittelussa. Mittaukset suoritettiin Norsonic Nor140 ja Nor150 äänianalysaattoreilla opetustilasta, käytävästä, sekä hiljaisesta tilasta.

Tilojen todettiin täyttävän standardin SFS 5907:2022 vaatimusluokat A1 äänitasoeron, taustamelun ja jälkikaiunta-ajan osalta. Puheen erottavuuden tulokset sijoittuvat luokkaan A3.

Kieli
suomi

Sivuja 28
Liitteet 1
Liitesivumäärä 6

Asiasanat
ilmaääneneristävyys, akustiikka, STIPA



THESIS
May 2024
Degree Programme in Building Services Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Joonas Linervo

Title
Acoustic Conditions of Wärtsilä Campus after Renovation

Commissioned by
Karelia UAS

This thesis examines the acoustic conditions at the Karelia Wärtsilä campus. Measurements were conducted as a commission for Karelia UAS due to changes implemented during the renovation that affect acoustics.

Acoustic conditions were investigated by measuring airborne sound insulation and sound speech intelligibility in renovated spaces of the C wing. Requirements of standard SFS 5907 and guidelines of Ministry of the Environment were used in comparing the results. The thesis covers measurements of the Speech Transmission Index (STI) using the STIPA method, reverberation time, background noise, sound level difference and selection of measurement points for measurements in question. The thesis also processes benefits of an appropriate sound environment and the impact of the intended use on sound environment design. Norsonic Nor140 and Nor150 sound analyzers were used to carry out measurements in a classroom, a corridor and quiet space.

The spaces met requirement class A1 of the SFS 5907:2022 standard for sound level difference, background noise and reverberation time. The results for speech intelligibility fullfill requirements of class A3.

Language
Finnish

Pages 28
Appendices 1
Pages of Appendices 6

Keywords
airborne sound insulation, acoustics, STIPA

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Ääniympäristö	6
2.1	Ympäristöministeriön ohje.....	6
2.2	Taustamelu	7
2.3	Jälkikaiunta-aika	8
2.4	Ilmaääneneristävyys	10
2.5	Puheen erottavuus.....	10
3	Mittausten toteutus.....	13
3.1	Taustamelu	13
3.1.1	Mittapisteiden valinta	13
3.1.2	Mittaustilanne.....	13
3.2	Jälkikaiunta-aika	14
3.2.1	Mittapisteiden valinta	14
3.2.2	Mittaustilanne.....	15
3.3	Ilmaääneneristävyys	16
3.3.1	Mittapisteiden valinta	16
3.3.2	Mittaustilanne.....	17
3.4	STIPA	19
3.4.1	Mittapisteiden valinta	19
3.4.2	Mittaustilanne.....	20
4	Tulosten yhteenveto.....	22
5	Tulosten luokitus ja pohdinta	24
5.1	Taustamelu	24
5.2	Jälkikaiunta-aika	25
5.3	Ilmaääneneristävyys	26
5.4	STIPA	26

Liitteet

Liite 1	Mittaustulokset eriteltynä
---------	----------------------------

SANASTO

Desibeli	Äänenvoimakkuuden logaritminen yksikkö.
DnT	standardisoitu lähetyshuoneessa mitatun äänenpainetason ja vastaanottohuoneessa mitatun äänenpainetason ero.
DnT,w	Taajuuskaistoittain taajuusalueella 100–3150 Hz mitatuista tai mallinnetuista äänitasoeroista DnT laskettu mittasuure.
Hertsi	Taajuuden yksikkö. Mitataan värähtelysykliä määränä sekunnissa eli hertseinä (Hz)
Ilmaääneneristys	Rakennusosan, tai rakennusosien muodostaman kokonaisuuden tai materiaalin kyky eristää äänilähteestä ympäristöön ilman välityksellä leviävää ääntä.
Jälkikaiunta-aika T (s)	Aika, jonka kuluessa äänilähteen huoneeseen tuottama äänenpainetaso äänilähteen vaiettua alenee 60 dB.
STI	Speech Transmission Index, puheensiirtoindeksi kuvaa puheen ymmärrettävyyttä.
Vaaleanpunainen kohina	Testisignaali, jonka terssikaistoja on painotettu ihmiskuulon ominaisuuksien mukaan
L _n	Laitemelun yksikkö (dB)

1 Johdanto

Tiloissa, joiden pääasiallisessa käyttötarkoituksessa korostuu puhumisen merkitys, korostuu erityisesti myös hyvien akustisten olosuhteiden merkitys. Miellyttävä ääniympäristö lisää käyttömukavuutta ja parantaa muun muassa tehokkuutta. Tarkoituksenmukainen ääniympäristö hyödyttää puhujaa, sekä kuulijaa ja lisää tilojen yleistä viihtyvyyttä. Tarkoituksenmukaisuus vaihtelee tiloittain ja se voi tarkoittaa äänen siirtymisen rajoittamista, tai sen edesauttamista.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään Wärtsilä kampuksen C-siiven peruskorjattujen tilojen akustisiin olosuhteisiin tarkastelemalla mittaustuloksia. Tuloksia verrataan standardin SFS 5907:2022 ja Ympäristöministeriön ohjeen antamiin enimmäis- tai vähimmäisarvoihin. Suoritettuja mittauksia olivat ilmaääneneristävyys, joka sisälsi taustamelun ja jälkikaiun huomioimisen, sekä STIPA menetelmällä suoritettu puheen erottavuuden mittaus. STIPA menetelmää hyödynnettiin mukailemaan tilassa olevan puhuvan henkilön äänen erottavuutta kuulutusjärjestelmien sijasta. Tiloihin oli korjauksen yhteydessä asennettu akustiikkalevyjä, sekä desibeliverhoja.

Merkittävimmät standardit työn kannalta ovat SFS-EN ISO 16032, ja SFS-EN ISO 3382, jotka käsittelevät mittausten suorittamista ja mittapisteiden valintaan liittyviä rajoitteita. Suomalaista kirjallisuutta akustisista olosuhteista tarjoavat Ympäristöministeriö ohjeessaan Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä, sekä Suomen Standardisointiliitto standardissaan Rakennusten akustinen suunnittelu ja laatuluokitus SFS 5907:2022. Standardissa luetellaan vaadittuja raja-arvoja erilaisten rakennusten, sekä tilojen mittaustuloksille.

2 Ääniympäristö

2.1 Ympäristöministeriön ohje

Melu vaikuttaa haitallisesti ihmisen terveyteen, asumisen laatuun, maankäyttöön ja rakentamiseen sekä asuinympäristön arvoon tai arvostukseen. Melun terveyshaitat ilmenevät useimmiten unihäiriöinä sekä sydämen ja verenkiertoelimistön toimintahäiriöinä. Tarkoituksenmukainen ääniympäristö mahdollistaa levon, edistää keskittymistä ja oppimista, sekä antaa mahdollisuuden luottamuksellisten keskustelujen käymiseen eikä vaaranna tietosuojaa. Lisäksi työteho, työturvallisuus sekä työhyvinvointi paranevat. (Saarinen, Ympäristöministeriö 2018)

Vuoden 2018 ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä antaa hyvän pohjatiedon sille, millaisia vaatimuksia erilaisille rakennustyypeille ja niiden tiloille on asetettu. Ohjeessa käydään läpi myös paljon terminologiaa, joka auttaa tulkitsemaan akustiikassa ilmeneviä suureita ja muita käsitteitä.

Rakennusten melun- ja tärinätorjunta, joissa on opetus-, kokous-, ruokailu-, hoito-, harrastus-, liikunta- ja toimistotiloja, suunnitellaan tapauskohtaisesti siten, että tiloissa saavutetaan riittävän hyvä ääniympäristö. Opetus- ja kokoustilojen akustiikkasuunnittelussa on keskeistä, että tila suunnitellaan puhekommunikaation kannalta toimivaksi. Ruokailutiloja käytetään ruokailun lisäksi usein myös kokous- tai kokoontumistilana. Tilan käyttötarkoituksesta riippuen pyritään joko mahdollisimman suureen puheenerotettavuuteen tai mahdollisimman pieneen puheenerotettavuuteen. Opetustiloissa, auditoriossa ja kokoushuoneissa tavoitteena on mahdollisimman suuri puheenerotettavuus. (Ympäristöministeriö 2018)

2.2 Taustamelu

Taustamelu on tilaan kantautuvaa ääntä, jonka painetaso ja taajuus pysyy pääsääntöisesti samana. Taustamelua on esimerkiksi taloteknisistä järjestelmistä aiheutuva ääni. Taustamelun mittauksella varmistetaan ilmastoineristävyyden paikkansapitävyydestä. Koska taustamelun tehotasot voivat vaihdella tiloittain, on signaalin tasoon tehtävä taustamelunkorjaus osa äänitasoeroluvun selvittämistä. Taustamelua voi muodostua myös mittauksen suorittamisesta.

Mittaajat ovat taustamelun mahdollinen lähde käytettäessä

(a) kiinteitä mikrofoni-pisteitä, kun mittaja jää vastaanottohuoneeseen, (b) käsin pidettäviä mikrofoneja tai (c) käsivaralta tehtyjä mikrofoni-pyyhkäisyjä. Mittajan itsensä tuottama melu voi olla peräisin esimerkiksi vaatteista, kengistä tai käsien/polvien nivelistä. Kohtien (a), (b) ja (c) osalta mittajan on käytettävä vähintään yhtä seuraavista menetelmistä itse tuottamansa melun tunnistamiseksi:

(1) A-painotetun äänenpainetason aikahistoria (nopea aikapainotus), josta etsitään epätavallisia transientteja, (2) Fast-aikapainotetun enimmäisäänitason ja keskiäänitason välisen erotuksen tarkastelu taajuuskaistoittain epätavallisten transienttien tunnistamiseksi ja (3) mittajan oma kuulo, mutta vain, kun kuulonsuojaimia ei vaadita ja mittaja ei käytä niitä. (ISO 16283–1:2014)

Tilan taustamelu lasketaan normalisoidun äänenpainetason keskiarvon kaavalla

$$L_n = L - \log_{10}\left(\frac{A_0 T}{0,16V}\right) dB \text{ (kaava 1)}$$

jossa

A_0 on referenssi äänen absorptioala neliömetreinä; $A_0 = 10m^2$

T on mitattu jälkikaiunta-aika sekunteina

V on huoneen tilavuus kuutiometreinä

0,16 on vakio, yksikössä s/m

L on äänenpainetason keskiarvo

2.3 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-aika kuvastaa sitä, kuinka pitkään äänilähteen vaiettua tilassa olevalla äänenpainetasolla kestää alentua 60 desibeliä. Erilaisten tilojen jälkikaiunnalle esitetään joko suurin sallittu aika tai vaihteluväli. Tiloissa, joissa ääneen halutaan kuuluvuutta, on jälkikaiunta-ajan suotavaa olla riittävän pitkä. Tällaisia tiloja voivat olla esimerkiksi luokkahuoneet, kokoushuoneet ja akustiseen musiikkiin liittyvät tilat. Tiloja, joissa äänen liikkumista pyritään rajoittamaan, kuten ruokaloita tai avoimia oppimisympäristöjä koskee suurimmat sallitut arvot.

Jälkikaiunta-ajan mittaukset tulisi suorittaa huoneessa, jossa ei ole ihmisiä. Kuitenkin käyttämätöntä tilaa mitatessa voidaan sallia kaksi henkilöä, ellei toisin ole tarkennettu. Jos mittaustuloksia käytetään korjauksena äänenpainetason mittauksissa, tulee huoneessa olla sama määrä henkilöitä molemmissa tilanteissa.

Suurissa huoneissa (yli 300m³) ilman vaikutus äänen vaimentumiseen voi olla merkittävä korkeilla taajuuksilla. Tästä syystä precision-tason mukaisissa mittauksissa tilan lämpötila ja suhteellinen kosteus tulee mitata. (ISO 3382-2:2008)

Mittapisteiden vähimmäismäärä riittävän kattavuuden saavuttamiseksi on osoitettu taulukossa 1. Huoneissa, joissa on monimutkaista geometriaa, tulisi mittauspisteitä olla enemmän. Mikrofonipisteet tulee sijoitella siten, että niiden hajonta kattaa tilan eriäviä tuloksia antavat kohdat.

	Survey	Engineering ^a	Precision
Source-microphone combinations	2	6	12
Source-positions ^b	≥ 1	≥ 2	≥ 2
Microphone-positions ^c	≥ 2	≥ 2	≥ 3
No. decays in each position (interrupted noise method)	1	2	3
^a When the result is used for a correction term to other engineering-level measurements, only one source-position and three microphone-positions are required. ^b For the interrupted noise method uncorrelated sources may be used simultaneously. ^c For the interrupted noise method and when the result is used for a correction term a rotating microphone boom may be used instead of multiple microphone-positions.			

Taulukko 1 ISO 3382-2 mittapisteiden määrä

Katkaistun äänen menetelmässä mittaukset suoritetaan useasti samoissa pisteissä toistuvilla mittauksilla (taulukko 1 No. decays in each position). On kuitenkin sallittua suorittaa jokainen mittaus uudesta pisteestä, kuitenkin siten, että kokonaismäärä täyttää taulukon muut vaatimukset.

Lähdepaikat valitaan tilan normaalia käyttöä mukailevista sijainneista. Pienissä tiloissa, tai kun normaaliin käyttöön liittyviä pisteitä ei voida määrittää, yhden lähdepaikoista tulisi olla huoneen nurkassa. Mikrofonipaikkojen tulisi olla vähintään puolen aallonpituuden päässä toisistaan, noin 2 metriä tavallisella taajuusalueella. Etäisyys minkä tahansa mikrofonipaikan ja lähimmän heijastavan pinnan, mukaan lukien lattia, tulisi olla mieluiten vähintään neljäsosa aallonpituudesta, eli yleensä noin 1 metri.

Välttääkseen suoran äänen liian voimakkaan vaikutuksen, mikrofonipisteet eivät saa sijaita liian lähellä lähdepistettä. Vähimmäispituus d_{min} voidaan laskea yhtälöllä

$$d_{min} = 2\sqrt{\frac{V}{c\hat{T}}}$$

jossa

V on tilavuus kuutiometreinä

c on äänen nopeus metreinä sekunnissa

\hat{T} on arvio jälkikaiunta ajasta sekunteina

(ISO 3382-2:2009)

Mittatulokset eri lähde- ja mikrofonipaikoista voidaan yhdistää joko erillisiin tilan alueisiin, tai koko huoneen kattavaksi tilalliseksi keskiarvoksi. Tilallinen keskiarvo saavutetaan jälkikaiunta-aikojen aritmeettisen keskiarvon laskennalla. Tilallinen keskiarvo saadaan ottamalla yksittäisten jälkikaiunta-aikojen keskiarvo jokaisesta itsenäisestä lähde- ja mikrofonipisteestä. Keskihajonta voidaan määrittää mittaustarkkuuden selvittämiseksi ja jälkikaiunta-ajan tilallisen vaihtelun arvioimiseksi. (ISO 3382-1:2009)

2.4 Ilmaääneneristävyys

Rakennuksissa esiintyviä ilmaäänen lähteitä ovat esimerkiksi puhe, musiikki, äänentoistojärjestelmät ja erilaiset tekniset järjestelmät. Ilmaäännet saavat tilan pinnat, kuten seinärakenteet sekä ylä- ja alapohjan, värähtelemään.

Rakenteiden värähtely saa aikaan ilman värähtelyä rakenteiden toisella puolella, ja ääni siirtyy rakenteiden kautta tilasta toiseen. Ilmaääneneristyksen tehtävänä on vähentää äänen siirtymistä tilasta toiseen. Mitä suurempi tilojen välinen ilmaääneneristys on, sitä pienempi äänitaso syntyy tilaan, johon ääni siirtyy. (Ympäristöministeriö 2018)

Ilmaääneneristävyys kuvaa rakennusosien muodostaman kokonaisuuden kykyä eristää äänilähteestä ilman välityksellä leviävää ääntä. Ilmaääneneristävyttä voidaan tarkastella myös tietyn rakennusosan materiaalin tarkkuudella.

Tietoturvan, sekä yleisen viihtyvyyden takia ilmaääneneristävyiden olisi syytä olla mahdollisimman suuri. Mitä suurempi ilmaääneneristävyys on, sitä vähemmän tilaan kantautuu epätoivottuja ääniä, toisessa tilassa tapahtuvaa puhetta.

Vaatimuksia opetustilojen ilmaääneneristävyydelle, joita tässä opinnäytetyössä hyödynnetään, luetellaan Standardissa SFS 5907:2022. Standardin mukaisten tulosten todentaminen edellyttää, että mittaus on suoritettu standardin mukaan. Ilmaääneneristävyys koostuu lähettävän ja vastaanottavan huoneen välisistä äänenpaine-eroista, taustamelusta, sekä jälkikaiunta-ajasta. Mittaustuloksista muodostetaan äänitasoeroluku $D_{nT,W}$, joka voidaan laskea standardin ISO 717-1:2020 määrittelemillä kaavoilla, tai hankkia mittalaittevalmistajien omilla taulukointityökaluilla.

2.5 Puheen erottavuus

Puheen erottavuus kuvastaa sitä, kuinka muuttumattomana ääni liikkuu kuuntelukohdalle. Puheen erottavuuden tarkoituksenmukaisuuteen vaikuttaa tilan tyyppi. Avoimissa oppimisympäristöissä viereisen seurueen selkeästi erotettavissa oleva puhe voi esiintyä häiritsevänä, jolloin heikko

puheensiirtoindeksi on toivottua. Vastaavasti opetustilassa, jossa äänen on tarkoitus muodostua yhdestä puhujasta tai tilan eri suunnista tapahtuvasta vuoropuhelusta kaikkien tilan käyttäjien kuultavaksi, on korkea puheen erottavuus toivottua. Puheen erottavuutta ilmaistaan puheensiirtoindeksillä STI.



Kuva 1 STI tulokinta (NTi audio)

STI tuloksella 1.0 voidaan todeta, että sattumanvaraisista puhutuista tavuista saadaan kaikista selvää. STI 0 tarkoittaa, ettei puhutuista tavuista saa ollenkaan selvää.

Speech Transmission Index for Public Address Systems, eli STIPA on kuulutuslaitteille tarkoitettu STI mittaamenetelmä. STI:n suurin heikkous on mittausten lukumäärä. Täysimittaisen STI:n tulos perustuu 98 tulokseen, kun taas STIPA karsii mitattavia oktaavikaistojen ja modulaatiotaajuuksien yhdistelmiä.

		Modulation Frequencies													
		0.63 Hz	0.8 Hz	1 Hz	1.25 Hz	1.6 Hz	2 Hz	2.5 Hz	3.15 Hz	4 Hz	5 Hz	6,3 Hz	8 Hz	10 Hz	12.5 Hz
Octave Bands	125 Hz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	250 Hz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	500 Hz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	1 kHz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	2 kHz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	4 kHz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	8 kHz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Taulukko 2 STI mittaustaulukko (NTi audio)

		Modulation Frequencies													
		0.63 Hz	0.8 Hz	1 Hz	1.25 Hz	1.6 Hz	2 Hz	2.5 Hz	3.15 Hz	4 Hz	5 Hz	6,3 Hz	8 Hz	10 Hz	12.5 Hz
Octave Bands	125 Hz					✓							✓		
	250 Hz			✓							✓				
	500 Hz	✓							✓						
	1 kHz						✓							✓	
	2 kHz				✓							✓			
	4 kHz		✓							✓					
	8 kHz							✓							✓

Taulukko 3 STIPA mittaustaulukko (NTi audio)

Täysimittaisen STI:n vaatima mittauskesto vähentää sen käytännöllisyyttä, kun vaihtoehtoisilla menetelmillä päästään useissa tilanteissa lähes samaan lopputulokseen. STIPA mittauksen tulokset ja täyden STI:n tulokset korreloivat noin 99 % tarkkuudella tavallisissa kuulutuslaitteissa (NTi audio).

Täysimittaista STI:ä voidaan hyödyntää esimerkiksi silloin, kun halutaan varmistua puheensiirtoindeksin olevan riittävän pieni. STIPA-menetelmän mittaamat modulaatio-oktaavi yhdistelmät riittävät todentamaan puheen erottavuutta, mutta täydellä STI:llä pystytään osoittamaan tarkemmin, ettei mikään modulaatio-oktaavi yhdistelmä välity muuttumattomana.

STIPA menetelmässä mitataan kahta suuretta. L_s (dB) on äänitasomittarilla mitattu puhetaso kuuntelukohdalla ja L_n (dB) tilan taustamelu mitatussa kohdassa.

STIPA mittauksessa mittapisteiden väli ei saa ylittää 12 metriä. Mittapisteet ovat jaoteltava tasaisesti tilassa, siten että enintään 1/3 osa pisteistä on suorassa linjassa äänilähteen kanssa. Mikrofonin korkeus tilassa, jossa pääsääntöisesti oleskellaan seisoen, kuuluu olla noin 1,6 metriä. Tilassa, jossa kuuntelija oleskelee pääsääntöisesti istuen, käytetään mikrofonia korkeudessa 1,2 metriä (ISO 7240-19:2007).

Mittapisteiden määrä STIPA menetelmässä muodostuu tilan pinta-alan mukaan.

Area [m ²]	Minimum number of measurement points
< 25	1
25-100	3
100-500	6
500-1500	10
1500-2500	15
> 2500	15 per / 2500 m ²

Taulukko 4: Mittapisteiden vähimmäismäärä (ISO 7240-19:2007)

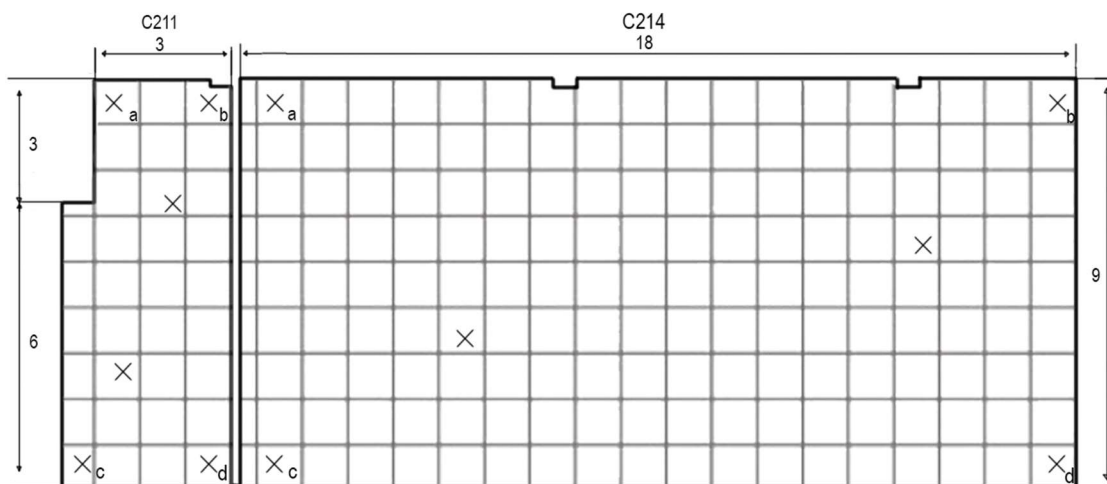
3 Mittausten toteutus

3.1 Taustamelu

3.1.1 Mittapisteiden valinta

Taustamelumittauksia varten määritettiin yksi nurkkapistettä ja kaksi kaikukentässä sijaitsevaa pistettä. Nurkkapisteen etäisyydet standardin 16032:2024 mukaan on 0.5 metriä seinistä ja 0.5–1.5 metriä lattiasta, niin matalalle, kuin se esteettömästi onnistuu. Nurkkapisteen sijainti valikoitui mittausten ohella. Sijainti valikoitiin siitä nurkasta, missä C-painotettu jatkuva äänenpainetaso oli korkeimmillaan.

Kahdelle kaikukentän mittapisteelle suositeltiin standardissa vähintään 1.5 metrin etäisyyttä nurkkapisteseen, 1.5 metriä mahdollisiin äänilähteisiin, 0.5 metriä kiinteisiin pintoihin ja 0.5–2.0 metriä lattian pinnasta. Mittapisteiden täytyi sijaita eri korkeuksilla.



Kuva 2 Taustamelumittauksen pisteet

3.1.2 Mittaustilanne

Ennen varsinaista mittausta selvitettiin sopiva nurkkapiste. Nurkkapisteeeksi valittiin korkeimman C-painotetun äänenpainetason antanut nurkka.

Äänenpainetaso mitattiin molempien huoneiden kulmista a-d. Huoneesta C214 korkein äänenpainetaso saavutettiin nurkasta d. Huoneen C211 nurkaksi valikoitui c.

Tämän jälkeen mittari asetettiin taustamelun mittaustoiminnolle (BGN) ja asetettiin tilan C214 nurkkapisteen d kohdalle 0,5 metrin korkeuteen telineen avulla. Seuraavaksi mitattiin kaikukentän pisteet korkeuksilla 1,0 metriä ja 1,5 metriä. Samat mittaukset toteutettiin samoilla korkeuksilla tilassa C211, jonka nurkkapisteenä oli c.

Mittaukset suoritettiin kahteen kertaan. Ensinnäkin, että ilmanvaihto oli säädetty pienimmälle tehostukselle ja toisen kerran, kun ilmanvaihto säädettiin täydelle tehostukselle. Tämän avulla saatiin eroteltua laitemelun osuus muusta taustamelusta.

3.2 Jälkikaiunta-aika

3.2.1 Mittapisteen valinta

Mittaukset suoritettiin vastaanottavista tiloista. Yhdessä tilassa suoritettiin kuusi mittausta kaiutinpaikkaa kohden, kahdella eri kaiuttimen paikalla. Tällä tavalla lähde - mikrofoni yhdistelmiä muodostui precision-tason vaatimat 12 kappaletta. C211 tilassa käytettiin pienen pinta-alan takia standardin ISO 3382-2 sallimana kolmea mikrofoni sijaintia, joista jokaisesta suoritettiin kaksi mittausta kaiutinpaikkaa kohden. Samoja mittapisteitä käytettiin uudestaan molemmilla kaiuttimen paikoilla. Kyseinen mittauspaikkojen määrä riitti täyttämään standardin taulukon Precision vaatimukset (Taulukko 1).

Vähimmäisetäisyys mikrofonin ja kaiutinpisteen välillä saatiin kaavalla 2

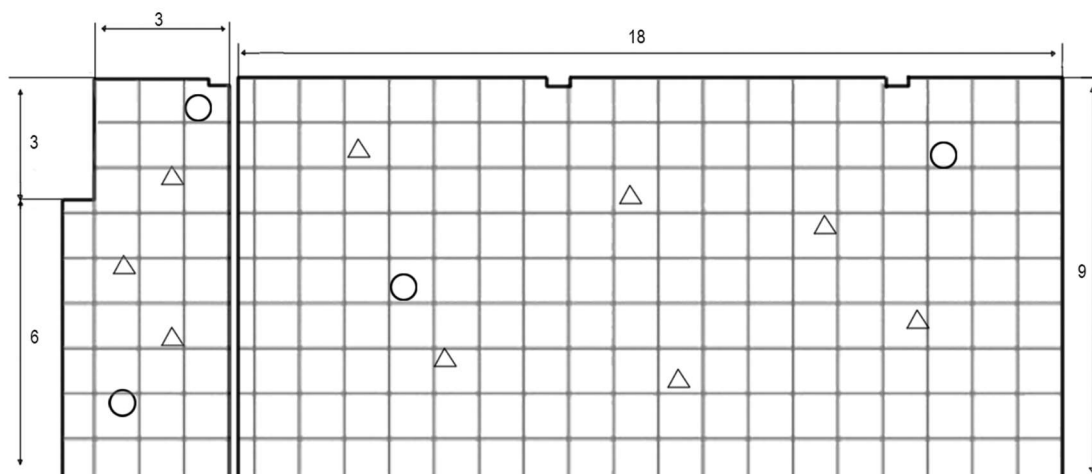
$$d_{min} = 2\sqrt{\frac{V}{x \times x}} \text{ (kaava 2)}$$

$$C211 d_{min} = 2\sqrt{\frac{57m^3}{343\frac{m}{s} \times 0.6s}}$$

$$C211 d_{min} \approx 1.05 m$$

$$C214 d_{min} = 2\sqrt{\frac{311^3}{343\frac{m}{s} \times 0.6s}}$$

$$C214 d_{min} \approx 2.46 m$$



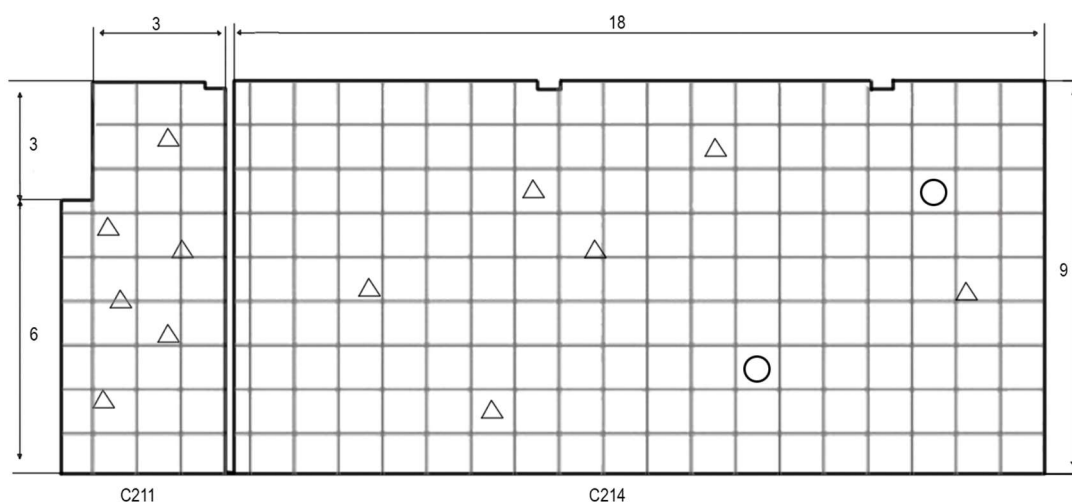
Kuva 3 jälkikaiunta-aika mittauksen pisteet

3.2.2 Mittaustilanne

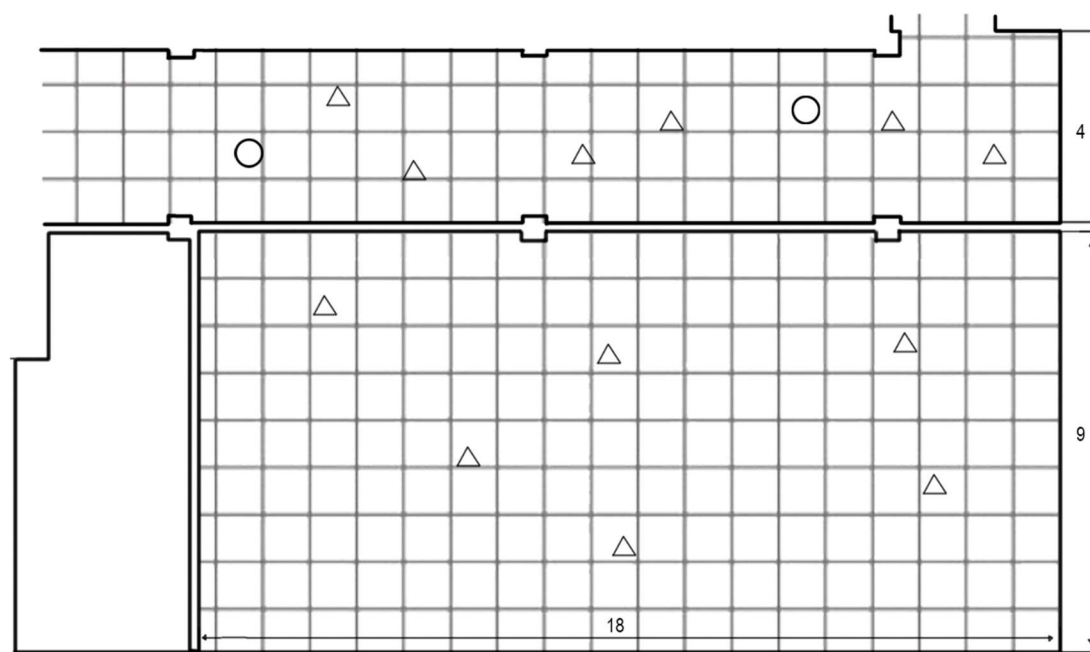
Jälkikaiunta-ajan mittauksessa käytettiin mittalaitetta Nor150 yhdessä kaiuttimen Nor276 kanssa. Tehovahvistimesta yhdistettiin kaapeli mittalaitteen RS232 I/O porttiin. Kaiutin kytkettiin Nor280 tehovahvistimeen ja vahvistimen äänenvoimakkuuden säätimellä valittiin 0 dB. Vahvistimen äänenvoimakkuutta säädettiin vaimentamalla, jolloin suurin, täysin vaimentamaton tehotaso saatiin 0 desibelin asetuksella. Mittalaitteesta valittiin jälkikaiunta-ajan mittaus (RT) FUNC näppäimellä.



Kuva 4 Nor276 ja Nor280 (MIP electronics, 2016)



KUVA 6 ilmaääneneristävyys C211 ja C214

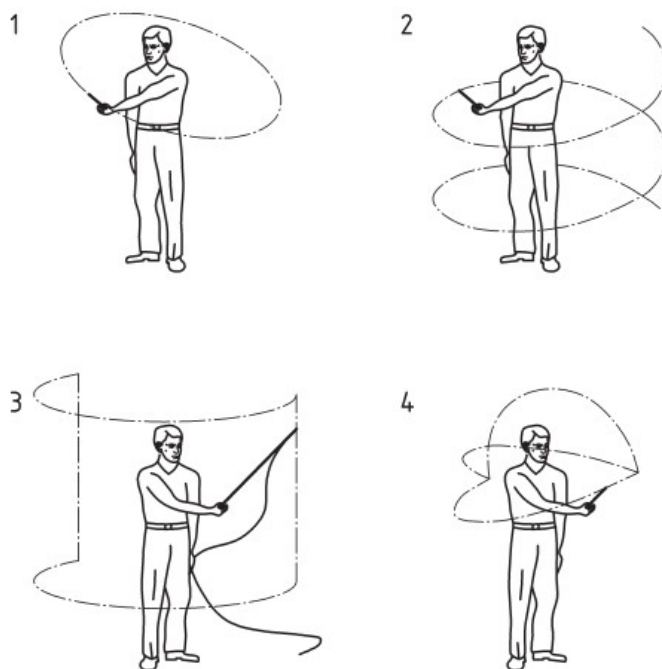


KUVA 7 ilmaääneneristävyys C214 ja C208

3.3.2 Mittaustilanne

Ilmaääneneristävydessä mittaukset suoritettiin lähettävästä ja vastaanottavasta tilasta. Käytävän C208 ja opetustilan C214 mittauksissa käytävä toimi lähettävänä ja opetustila vastaanottavana tilana. Hiljaisen tilan C211 ja opetustilan välisissä mittauksissa pienempi tila C211 toimi vastaanottavana ja opetustila lähettävänä.

Lähtävään tilaan asetettu kaiutin laitettiin toistamaan jatkuvaa vaaleanpunaista kohinaa 120 dB voimakkuudella. Nor150 mittalaitteesta valittiin FUNC näppäimellä äänitasoeron mittaus (Level) tunnuksella S (Source), tarkoittaen lähettävän tilan osuutta äänitasoeron mittauksessa ja kosketusnäytön painikkeella # ylätunnisteeksi #A. Mittaus toistettiin jokaisesta lähettävän mittapisteestä standardin ISO 16283-1 kuvan 5 vaihtoehto 4 mukaisesti puoliympyrässä käsivarren mitan päässä.



KUVA 8 käsiskannauksen liikeradat (ISO 16283-1:2014)

Käsiskannauksen tarkoituksena oli saada käsitys tilan ilmaääneneristävyydestä mahdollisimman laajalta alueelta. Yksittäinen mittaus kesti 60 sekuntia ja välttääkseen liian nopeasta liikuttelusta aiheutuvia ääniä, puoliympyrän kesto oli n. 9 sekuntia. Puoliympyröitä suoritettiin n. 6 kappaletta yksittäistä mittausta kohti. Mittauksen aikana mittaja sijaitsi kaiuttimen ja mikrofonin välisen akselin mukaan mikrofonin takana vähentääkseen tulosten väärentymiä.

Kun lähettävän tilan mittaukset olivat suoritettu ennalta määritetyistä mittapisteistä, siirryttiin mittaamaan vastaanottavan tilan ääntä. Vastaanottavan tilan mittaus suoritettiin valitsemalla mittalaitteella äänitasoeron mittaus vastaanottavasta tilasta tunnuksella R (Receiving). Kun molempien tilojen mittaus oli suoritettu, vaihdettiin kaiuttimen paikkaa ja mittaukset toteutettiin

uudestaan. Toisen kaiutinpaikan mittauksissa ylätunnisteeseen valittiin #B, jonka avulla laitevalmistajan oma sovellus ryhmittelee tulokset erillisiksi mittauksiksi.

Kun ensimmäisten tilojen välinen mittaus oli suoritettu, tehtiin laitteen muistikortille uusi mittauskansio. Mittaukset suoritettiin samalla tavalla tilojen C208 ja C214 välillä, siten että C214 oli vastaanottavana.

3.4 STIPA

3.4.1 Mittapisteiden valinta

Puheen selvyyttä tutkittiin opetustilassa C214. Koska tilassa kuuntelijat pääsääntöisesti istuvat, valittiin mittapisteiden korkeus 1,2 metriin mukailemaan istuvaa kuuntelijaa standardin IEC 60268-16:2020 ohjeistamana. Äänilähteenä toiminut kaiutin (kuva 6) asetettiin tilan etuosaan 1,6 metrin korkeudelle mukailemaan seisovaa luennoitsijaa. Kaiutin kohdistettiin osoittamaan tilan takaseinän keskikohtaa.



Kuva 9 Tivoli Audio iPAL kaiutin



Kuva 11 mittalaite Nor140

Mittaukset suoritettiin istuvan kuuntelijan korkeudella n. 1,2 metriä lattiatasosta. Kun testiäntä toistettiin ja mittalaite oli asetettu mittapisteen kohdalle, painettiin laitteesta START-painiketta. Mittalaite nauhoitti testisignaalia 15 sekuntia, jonka jälkeen näytölle muodostui tuloksena kaikkien taajuuskaistojen STI ja CIS keskiarvot. Näytölle muodostuneet tulokset taulukoitiin ja tallennettiin laitteeseen. Mittauksia suoritettiin kuusi kappaletta yhdellä kaiutinpaikalla ennalta määritetyistä mikrofoni-pisteistä standardin mukaisesti. Mittausten aikana mikrofoni pidettiin paikallaan ja mittauksen suorittaja sijaitsi kaiutinmittapiste linjan mukaan mikrofoniin takana käsivarren mitan päässä mittalaitteesta. Tilassa ei ollut mitaajan lisäksi muita henkilöitä mitausten aikana.

4 Tulosten yhteenveto

Mittaustulosten pohjalta laadittiin yhteenveto. Taulukon 5 sarakkeessa ”Tulos” on nähtävillä standardissa vertailtavan yksikön lukuarvo ja vaakarivissä mitatun suureen erittely terssikaistoittain.

Mittaus					Tunnus					Tila					Tulos				Yksikkö							
Taustamelu					Ln					211					20				dB							
Hz	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000					
Leq (dB)	38,9	39,7	37,0	34,9	28,0	23,4	20,5	19,7	19,3	19,0	16,0	20,0	20,7	22,8	19,5	18,1	17,2	13,0	9,8	10,0	9,2					
Mittaus					Tunnus					Tila					Tulos				Yksikkö							
Taustamelu					Ln					214					25				dB							
Hz	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000					
Leq (dB)	43,5	41,8	42,9	37,0	31,9	26,3	24,6	24,2	24,0	27,3	23,1	22,8	21,9	23,2	20,0	20,5	20,2	15,8	14,7	14,5						
Mittaus					Tunnus					Tila					Tulos				Yksikkö							
Jälkikaunta-aika					T					211					<0,5				s							
Hz	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000					
T (s)	1,52	0,87	0,66	0,62	0,4	0,38	0,39	0,31	0,39	0,39	0,44	0,43	0,44	0,45	0,49	0,5	0,51	0,49	0,47	0,45	0,41					
Mittaus					Tunnus					Tila					Tulos				Yksikkö							
Jälkikaunta-aika					T					214					0,5...0,7				s							
Hz	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000					
T (s)	2,1	1,14	0,79	0,59	0,52	0,52	0,55	0,72	0,71	0,72	0,62	0,59	0,62	0,59	0,62	0,68	0,7	0,7	0,75	0,7	0,59					
Mittaus					Tunnus					Tila					Tulos				Yksikkö							
Äänitasoero					DnT,w					211-214					50				dB							
Hz	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000					
DnT (dB)	26,8	35,8	37,3	34,2	35,3	36,1	38	37,1	38,9	42,5	45,1	49,2	51,2	53,6	54	54,3	56,4	59,3	58,5	61,8	62,8					
Mittaus					Tunnus					Tila					Tulos				Yksikkö							
Äänitasoero					DnT,w					214-208					40				dB							
Hz	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000					
DnT (dB)	34,4	35	36,6	27,8	30,5	30,7	32,1	35,6	35,8	37,6	38	39,3	40,5	40,2	39,5	38,2	38,7	40,1	41,2	44,4	46,9					
Mittaus					Tunnus					Tila					Tulos				Yksikkö							
Puheen ymmärettävyys					STI					214					0,65											
Hz	125				250				500				1000				2000				4000				8000	
Is (dB)	68,9				68,9				65,2				59,2				53,2				47,2				41,2	

Taulukko 5 tulosten yhteenveto

Taulukon 5 taustamelu osiosta on havaittavissa useita suuria äänenpaineita terssikaistoittain tarkasteltuna. Suurimmat äänenpaineet sijoittuvat matalien taajuuksien alueelle. Tilan C211 normalisoitu äänenpainetaso oli 20 dB ja tilan C214 25 dB, Ln tulokset saatiin kaavan 1 avulla.

$$L_n C211 = 21,74 - \log_{10} \left(\frac{10m^2 * 60s}{0,16 \frac{s}{m} * 57m^3} \right) dB$$

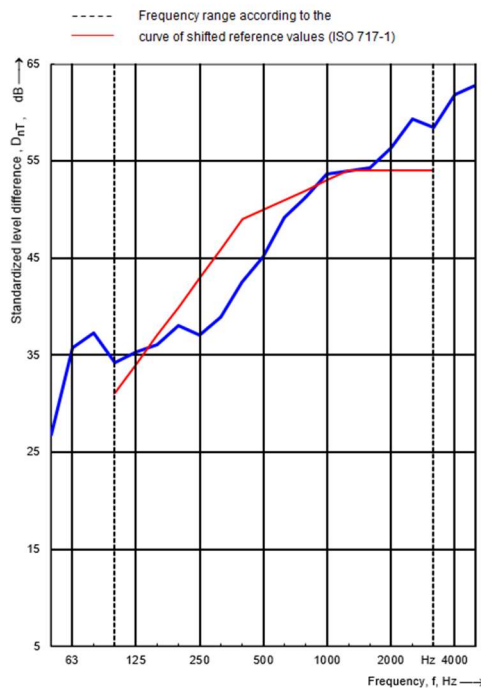
$$= 20 dB$$

$$L_n C214 = 25,88 - \log_{10} \left(\frac{10m^2 * 60s}{0,16 \frac{s}{m} * 311m^3} \right) dB$$

$$= 25 dB$$

Jälkikaiunta-ajan tuloksissa pisimmät ajat sijoittuvat matalille taajuuksille. Tilavuudeltaan pienemmässä tilassa C211 ajat pysyivät lyhyempinä kaikilla terssikaistoilla. Ajat lyhenevät huomattavasti, kun tarkastellaan 50 hertsiä korkeampia kaistoja. Kun vaihteluväliin otetaan kaistat 125,250,500,1000 ja 2000 Hz on tulos tilassa C211 0,3...0,5 sekuntia ja tilassa C214 0,5...0,7 sekuntia.

Standardisoitu äänitasoero D_{nT} tilojen C211 ja C214 vaihtelee välillä 63 dB ja 27 dB. Käytävän C208 ja opetustilan C214 välillä pienin tulos on 28 dB ja suurin 47 dB. Taulukosta on nähtävissä, kuinka suurin äänitasoero muodostuu korkeilla taajuuksilla ja matalammat taajuudet läpäisevät tilojen rakenteet helpommin.



Kuvaaja 1, C211 ja C214 äänitasoero (Taulukko 16, Liite 1)

Kuvaajasta on nähtävillä, kuinka standardin ISO 717-1 asettamaan referenssikäyrään verrattuna merkittävimmät alitukset tapahtuvat 250 Hz ja 500 Hz välillä. Käyrä on mukautettu matalilla taajuuksilla pienempään äänenpainetasoon, sillä kuuloaisti ei havaitse yhtä selvästi matalia taajuuksia verrattuna samalla äänenpainetasolla toistettaviin korkeisiin taajuuksiin. Puheäänien perustaajuus on miehillä 100–200 hertsiä ja naisilla noin kaksinkertainen (Terveyskylä, 2021). Tilasta siirtyvä ääni siis asettuu puheäänien taajuuden vaihteluvälille merkittävästi.

Puheen ymmärrettävyyden osiossa puhetason paine vaihtelee välillä 69 dB ja 41 dB. Puheensirtoindeksin STI arvoksi tuli 0,65.

5 Tulosten luokitus ja pohdinta

5.1 Taustamelu

Molempien tilojen taustamelun äänenpainetasot riittivät täyttämään luokan A1 vaatimuksen (Taulukko 6). On kuitenkin huomattavaa, ettei ilmanvaihto ollut välttämättä käytönaikaisella tehostuksella.

Tila	Luokka A1 $L_{Aeq,T}$	Luokka A2 $L_{Aeq,T}$	Luokka A3 $L_{Aeq,T}$
Opetustilat yleensä	28	33	35
Avoimet oppimisympäristöt ¹	33	33	35
Musiikin opetustilat ²	28	28	35
Teknisen työn tilaryhmä	33	33	35
Opettajainhuone	33	33	35
Oppilashuollon tilat	28	33	35

Taulukko 6 taloteknisten laitteiden aiheuttaman äänitason vaatimukset (SFS 5907:2022)

Tilasta yritettiin erotella ilmanvaihdon laitemelu suorittamalla mittaukset kahdella eri ilmanvaihdon ohjaustoiminnolla. Mittaustilanteessa ei ilmanvaihdon aikaohjaus kuitenkaan ollut onnistunut ja ilmanvaihdon äänitehotaso pysyi koko ajan samana. Laitemelun osuuden selvitystä hankaloitti se, ettei laitetta pystynyt ohjaamaan tilasta käsin. Ilmanvaihdon aikaohjaus tapahtui laitteista vastaavan yrityksen toimesta etänä. Lisäksi tilassa esiintyi erittäin voimakasta melua patteriverkostosta, joka liittyi todennäköisesti rakennuksen kellarikerroksessa meneillä olleeseen remontointiin. Laitemelun selvitys olisi tapahtunut mittaamalla suurin ilmanvaihdosta muodostuva ääni ja vähentämällä siitä tilan äänenpainetaso, kun ilmanvaihto ei tuota ääntä.

Mittajaajan itsetuotettua melua tarkasteltiin jo mittaushetkellä. Mittalaitteen näyttöön piirtyi äänenpainetason käyrä reaaliajassa ja aina kun epätavallisia

transientteja havaittiin, aloitettiin mittaus alusta. Ympäristöministeriön ohjearvo opetustilojen keskiäänitasolle on 33 dB.

5.2 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-aikaan huomioidaan standardissa SFS 5907 terssikaistat 250, 500, 1000 ja 2000 Hz. Luokkaa A1 (Taulukko 7) varten on tuloksessa otettava huomioon myös terssikaista 125 Hz.

Tila	Luokka A1 <i>T</i>	Luokka A2 <i>T</i>	Luokka A3 <i>T</i>
Opetustilat yleensä	0,5...0,7	0,5...0,7	0,6...0,9
Avoimet oppimisympäristöt	0,5	0,5	-
Aulat ¹	0,7...0,9	0,9...1,1	1,1...1,3
Ruokalat ¹	1,0	1,2	1,5
Teknisen työn tilaryhmä	0,5...0,7	0,5...0,7	0,6...0,9
Musiikin opetustila ²			
- akustinen musiikki	0,8...1,1	0,8...1,1	0,8...1,1
- sähköinen vahvistus	0,4	0,6	0,8
Opettajainhuone	0,6	0,6	0,9
Oppilashuollon tilat	0,6	0,8	0,9
Käytävätilat, porrashuoneet	0,9	1,0	1,3
¹ Arvot tarkoitettu enintään 5 m korkeisiin ruokaloihin tai tiloihin, joissa voi olla sähköisesti toistettuja esityksiä. Korkeammat tilat suunnitellaan tapauskohtaisesti, samoin tilat, joissa oppimisalueita, esiintymistä ym. ² Tilaan suunnitellaan tarvittaessa muunneltava huoneakustiikka, jotta jälkikaiunta-aikaa voidaan muuttaa käyttötilanteen mukaan.			

Taulukko 7 SFS 5907:2022 oppilaitosten suurimmat sallitut jälkikaiunta-ajat

Tila C211 ei varsinaisesti ole opetustila, eikä tilassa muutenkaan ole merkittävää melun lähdettä. Tämän takia ei kaiunta tule tuottamaan varsinaisia ongelmia tilan nykyisellä käyttötarkoituksella ja tuloksia voidaan sen osalta pitää erittäin hyvänä. Tilan käyttötarkoituksen mukaisesti ääneen ei toivota lisää kuuluvuutta, joten jälkikaiunnan vähimmäismäärää ei kyseiselle tilalle tarvita. Koska C214 on opetustila, jossa äänen ei toivota vaimenevan liian nopeasti, on standardissa määritetty vaihteluväli. Tila täyttää jälkikaiunnan vähimmäiskeston 0,5 sekuntia jokaisella taajuuskaistalla. 250 Hz taajuuskaista ylittää pyöristämättömänä kahden desimaalin tarkkuudella viitearvon. Koska ylitys tapahtui taajuudessa 250 Hz, eikä 125 Hz, ja koska opetustilojen kohdalla sallittu vaihteluväli on sama luokissa A1 ja A2 kohdalla, tulisi luokitukseksi mitatulla tarkkuudella A3. Viitearvo on kuitenkin vain annettu yhden desimaalin

tarkkuudella, joten tulos pyöristyy sallittuun rajaan 0,7 s, joka riittää täyttämään standardin luokituksen A1. Ympäristöministeriön ohjeessa on annettu standardia vastaava vaihteluväli opetustilalle.

5.3 Ilmaääneneristävyys

Suomen Standardisoimisliitto antaa rakennusten akustinen suunnittelu ja laatuluokitus standardissaan seuraavat raja-arvot oppilaitoksien äänitasoeroluville.

Tila	Luokka A1 $D_{nT,w}$	Luokka A2 $D_{nT,w}$	Luokka A3 $D_{nT,w}$
Opetustilasta			
- ympäröiviin tiloihin yleensä	48	44	44
- kerrosten välillä yleensä ¹	52	52	48
- toiseen opetustilaan, kun välissä on ovi	44	42	39
- monikäyttöiseen opetusaulaan, kun välissä on ovi	44	39	34
- käytävään tai aulaan, kun välissä on ovi	39	34	34
- avoimeen oppimisympäristöön, kun välissä on ovi	42	39	34

Taulukko 8 pienimmät sallitut $D_{nT,w}$ arvot eri luokissa (SFS 5907:2022)

Käytävän C208 ja opetustilan C214 välinen äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ oli 40. Opetustilan C214 ja hiljaisen tilan C211 välinen $D_{nT,w}$ oli 50. Tilan C211 tulos siis riittää täyttämään luokan A1 vaatimukset ympäröiviin tiloihin. Tilojen yhdistävä rakenne oli umpinainen seinä ilman ovea. Käytävän ja opetustilan välinen lukuarvo riittää myös täyttämään luokan A1, sillä tiloja yhdistävällä seinällä oli kaksi ovea. Ympäristöministeriön ohjeessa opetustilojen ohjearvoiksi on annettu ympäröiviin tiloihin $D_{nT,w}$ 44 ja käytävään $D_{nT,w}$ 34. Ohjearvot ovat siis standardin arvojen luokan A2 tasoisia.

5.4 STIPA

STIPA-menetelmällä kuuden mittauksen keskiarvoksi tuli STI 0,65 ja yleisen ymmärrettävyyssasteikon CIS keskiarvoksi 0,82. Tulokset riittävät laitevalmistajan antamiin suosituksiin opetustilojen puheen erottavuudesta, mutta standardin ISO 5907:2022 vaatimuksista ne jäävät kauas. Standardi mahdollistaa kuitenkin STI arvon huomioimatta jättämisen luokan A3 kohdalla.

Tila	Luokka A1	Luokka A2	Luokka A3
	STI	STI	STI
Opetustilat yleensä	≥ 0,80	≥ 0,70	-
Huonokuuloisille ja kielihäiriöisille soveltuva opetustila	≥ 0,85	≥ 0,75	-
Avoin oppimisympäristö	≥ 0,70 etäisyydellä ≤ 3 m ≤ 0,50 etäisyydellä ≥ 8 m	≥ 0,70 etäisyydellä ≤ 3 m ≤ 0,50 etäisyydellä ≥ 8 m	-

Taulukko 9 SFS 5907:2022 oppilaitosten STI arvot

Ympäristöministeriön ohjearvo STI:lle on 0,70. Ohjearvo siis vastaa standardin luokan A2 arvoa, johon tulos ei myöskään riittänyt.

STIPA Mittauksissa on huomioitava, etteivät ne sisällä käytönaikaiseen meluun perustuvaa korjausta. Toinen huomioitava asia on, ettei puheen erottavuus muodostu pelkästään tiettyjen kaistojen muuttumattomana pysymisestä.

Puheen erottavuus voi olla tuloksista huolimatta riittävä käyttötarkoitusta ajatellen, sillä tunnistettavia sanoja kuunneltaessa sanan voi ymmärtää, vaikka tietty taajuus ei välittyisi täydellisenä kuulijalle asti.

Laatuluokat		Laitteisto	Nor150
Laatija	Joonas Linervo		Nor140
Kohde	Wärtsilä kampus C-siipi		Nor276
Päivämäärä	21.5.2024		Nor280
Standardi	SFS 5907:2022		iPal
Mittaus		Tila	Luokka
Taustamelu		211	A1
Huomioita	Ilmanvaihdon tehostus ei välttämättä ollut käytön aikaisella tehostuksella, IV-laitemelon osuutta ei pystytty mittaamaan		
Taustamelu		214	A1
Huomioita	Ilmanvaihdon tehostus ei välttämättä ollut käytön aikaisella tehostuksella, IV-laitemelon osuutta ei pystytty mittaamaan		
Jälkikaiunta-aika		211	-
Huomioita	Tilan tyyppi ei ole annettu vaatimuksia. Tulokset vastaavat käyttötarkoitusta.		
Jälkikaiunta-aika		214	A1
Huomioita			
Äänitasoero		211-214	A1
Huomioita	Käytön aikainen taustamelun vaikutus äänitasoeroon voi muuttaa tuloksia		
Äänitasoero		214-208	A1
Huomioita	Käytön aikainen taustamelun vaikutus äänitasoeroon voi muuttaa tuloksia		
Puheen erottavuus		214	A3
Huomioita	Tuloksissa ei tehty todellisen käytönaikaisen taustamelun korjausta		

Taulukko 10 Tilojen luokitukset mittaustyypeittäin

SFS 5907:2022 vertailtuna tulokset täyttävät tarkoituksenmukaisen ääniympäristön piirteet sillä tulkintatarkkuudella, mikä mittausten ongelmien vuoksi oli mahdollista. Tulokset tukevat pääsääntöisesti henkilökohtaista aistinvaraista havainnointia tutkimuksen kohteena olleista tiloista.

Lähteet

- SFS-5907. Rakennusten akustinen luokitus. Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN ISO 717-2:2020. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation
- Ympäristöministeriö, 2018. Ääniympäristö, Ympäristöministeriön ohje rakennusten ääniympäristöstä. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- Nti AUDIO. MEASUREMENT WITH THE XL2 ANALYZER Speech Intelligibility - Esite <https://www.nti-audio.com/Portals/0/data/en/NTi-Audio-AppNote-STIPA-Measurement.pdf> 1.12.2020
- Terveyskylä, Ihmisen kuuloalue 14.5.2021
- SFS-EN ISO 3382-1. Acoustic measurement of room acoustic parameter part 1 performance spaces.
- SFS-EN ISO 3382-2. Directions for operation - measurement of reverberation time. Suomen Standardisoimisliitto ry.
- SFS-EN ISO 16283-1. Acoustics. Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation. Suomen Rakentamistandardointiliitto SFS ry
- SFS-EN IEC 60268-16:2020:en Sound system equipment - Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index
- SFS-EN ISO 16032:2024:en Acoustics. Measurement of sound pressure level from service equipment or activities in buildings. Engineering method
- ISO 7240-19 Fire detection and alarm systems — Part 19: Design, installation, commissioning and service of sound systems for emergency purposes
- MIP electronics, Äänitasomittarit
<https://www.mip.fi/fi/tuotteet/melu-ja-aani/aanitasomittarit>

Reverberation time according to ISO 3382-2																																																	
Ordinary rooms - Precision method																																																	
Client: Karelia AMK	Date of test: 18.3.2024																																																
Room identification: Seinätyyppi muuttumaton, lisätty Aalokko akustiikkalevy 1000x1600																																																	
Remarks regarding the room situation: Hiljaisen tilan jälkikaiunta-aika peruskorjauksen jälkeen. Tila kalustettu.																																																	
Decay curves: Least-squares fit																																																	
Noise type: Pink																																																	
Averaging: Arithmetic																																																	
Relative humidity: 13,1 %																																																	
Temperature: 21,4 °C																																																	
Barometric pressure:																																																	
Room volume: 57,0 m ³																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequency f [Hz]</th> <th>T20 1/3 octave [s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>50</td><td>1,52</td></tr> <tr><td>63</td><td>0,87</td></tr> <tr><td>80</td><td>0,66</td></tr> <tr><td>100</td><td>0,62</td></tr> <tr><td>125</td><td>0,40</td></tr> <tr><td>160</td><td>0,38</td></tr> <tr><td>200</td><td>0,39</td></tr> <tr><td>250</td><td>0,31</td></tr> <tr><td>315</td><td>0,39</td></tr> <tr><td>400</td><td>0,39</td></tr> <tr><td>500</td><td>0,44</td></tr> <tr><td>630</td><td>0,43</td></tr> <tr><td>800</td><td>0,44</td></tr> <tr><td>1000</td><td>0,45</td></tr> <tr><td>1250</td><td>0,49</td></tr> <tr><td>1600</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>2000</td><td>0,51</td></tr> <tr><td>2500</td><td>0,49</td></tr> <tr><td>3150</td><td>0,47</td></tr> <tr><td>4000</td><td>0,45</td></tr> <tr><td>5000</td><td>0,41</td></tr> <tr><td>6300</td><td></td></tr> <tr><td>8000</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Frequency f [Hz]	T20 1/3 octave [s]	50	1,52	63	0,87	80	0,66	100	0,62	125	0,40	160	0,38	200	0,39	250	0,31	315	0,39	400	0,39	500	0,44	630	0,43	800	0,44	1000	0,45	1250	0,49	1600	0,50	2000	0,51	2500	0,49	3150	0,47	4000	0,45	5000	0,41	6300		8000		
Frequency f [Hz]	T20 1/3 octave [s]																																																
50	1,52																																																
63	0,87																																																
80	0,66																																																
100	0,62																																																
125	0,40																																																
160	0,38																																																
200	0,39																																																
250	0,31																																																
315	0,39																																																
400	0,39																																																
500	0,44																																																
630	0,43																																																
800	0,44																																																
1000	0,45																																																
1250	0,49																																																
1600	0,50																																																
2000	0,51																																																
2500	0,49																																																
3150	0,47																																																
4000	0,45																																																
5000	0,41																																																
6300																																																	
8000																																																	
Single figure calculated by averaging T (400 Hz to 1250 Hz) according to ISO 3382-1																																																	
$T_{mid} = 0,44 \text{ s}$																																																	
Name of test institute: Karelia AMK Talotekniikka																																																	
No. of test report: 2																																																	
Date: 18.3.2024	Signature: Joonas Linervo																																																

Taulukko 11 jälkikaiunta-aika raportti huone C211

Hz	125	250	500	1000	2000
C211	0,4	0,31	0,44	0,45	0,51

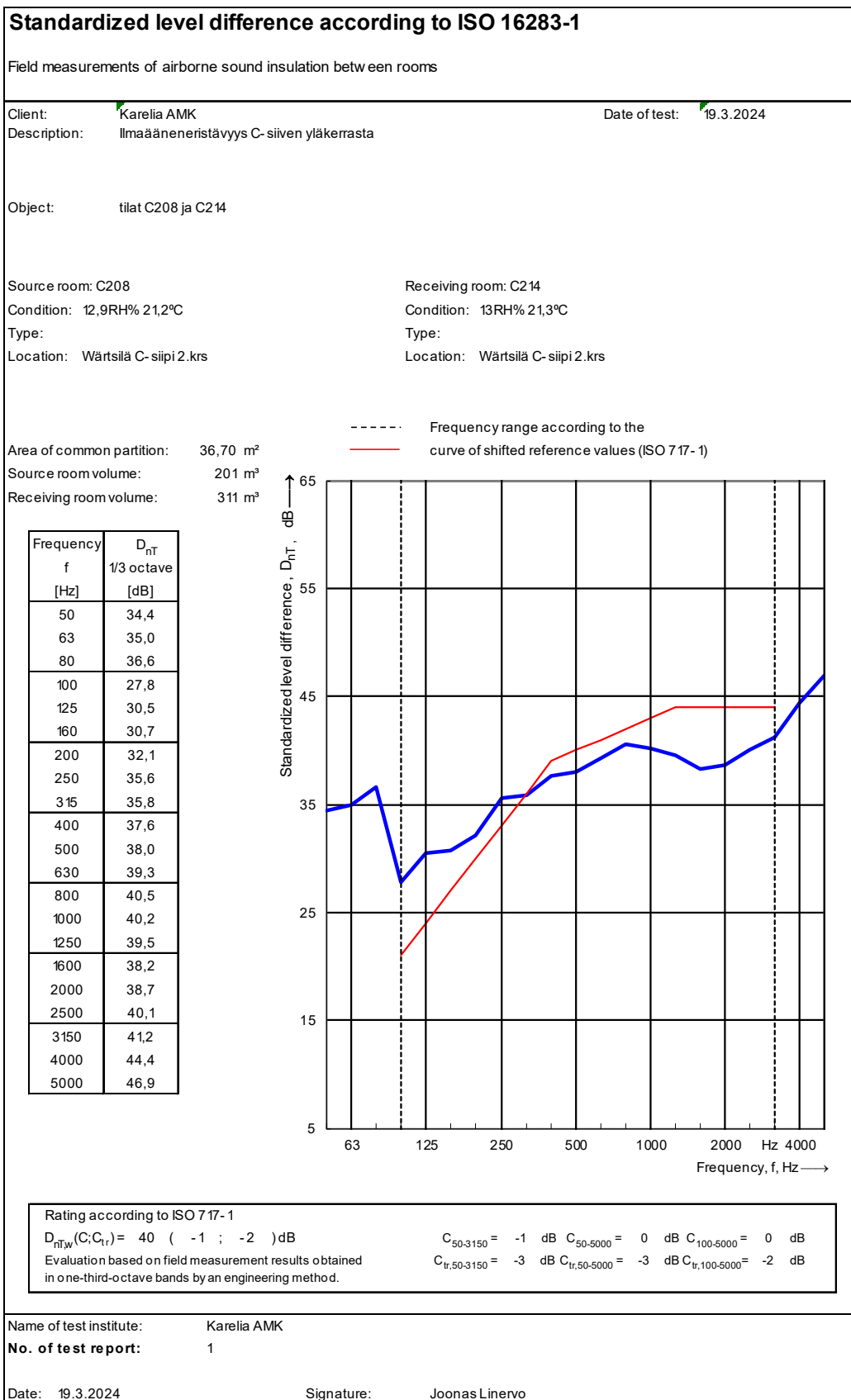
Taulukko 12 jälkikaiunta-ajat SFS 5907:2022 mukaisilla taajuuskaistoilla

Reverberation time according to ISO 3382-2																																																	
Ordinary rooms - Precision method																																																	
Client: Karelia AMK	Date of test: 18.3.2024																																																
Room identification: Seinätyyppi muuttumaton, lisätty akustiikkaverhot jotka mittaushetkellä eivät olleet levitettyinä																																																	
Remarks regarding the room situation: C214 jälkikaiunta-aika peruskorjauksen jälkeen. Tila kalustettu.																																																	
Decay curves:	Least-squares fit																																																
Noise type:	Pink																																																
Averaging:	Arithmetic																																																
Relative humidity:	13,0 %																																																
Temperature:	21,4 °C																																																
Barometric pressure:																																																	
Room volume:	311,0 m ³																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequency f [Hz]</th> <th>T20 1/3 octave [s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>50</td><td>2,10</td></tr> <tr><td>63</td><td>1,14</td></tr> <tr><td>80</td><td>0,79</td></tr> <tr><td>100</td><td>0,59</td></tr> <tr><td>125</td><td>0,52</td></tr> <tr><td>160</td><td>0,52</td></tr> <tr><td>200</td><td>0,55</td></tr> <tr><td>250</td><td>0,72</td></tr> <tr><td>315</td><td>0,71</td></tr> <tr><td>400</td><td>0,72</td></tr> <tr><td>500</td><td>0,62</td></tr> <tr><td>630</td><td>0,59</td></tr> <tr><td>800</td><td>0,62</td></tr> <tr><td>1000</td><td>0,59</td></tr> <tr><td>1250</td><td>0,62</td></tr> <tr><td>1600</td><td>0,68</td></tr> <tr><td>2000</td><td>0,70</td></tr> <tr><td>2500</td><td>0,70</td></tr> <tr><td>3150</td><td>0,75</td></tr> <tr><td>4000</td><td>0,70</td></tr> <tr><td>5000</td><td>0,59</td></tr> <tr><td>6300</td><td></td></tr> <tr><td>8000</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Frequency f [Hz]	T20 1/3 octave [s]	50	2,10	63	1,14	80	0,79	100	0,59	125	0,52	160	0,52	200	0,55	250	0,72	315	0,71	400	0,72	500	0,62	630	0,59	800	0,62	1000	0,59	1250	0,62	1600	0,68	2000	0,70	2500	0,70	3150	0,75	4000	0,70	5000	0,59	6300		8000		
Frequency f [Hz]	T20 1/3 octave [s]																																																
50	2,10																																																
63	1,14																																																
80	0,79																																																
100	0,59																																																
125	0,52																																																
160	0,52																																																
200	0,55																																																
250	0,72																																																
315	0,71																																																
400	0,72																																																
500	0,62																																																
630	0,59																																																
800	0,62																																																
1000	0,59																																																
1250	0,62																																																
1600	0,68																																																
2000	0,70																																																
2500	0,70																																																
3150	0,75																																																
4000	0,70																																																
5000	0,59																																																
6300																																																	
8000																																																	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Single figure calculated by averaging T (400 Hz to 1250 Hz) according to ISO 3382-1</p> <p>$T_{mid} = 0,63 \text{ s}$</p> </div>																																																	
Name of test institute:	Karelia AMK Talotekniikka																																																
No. of test report:	4																																																
Date: 18.3.2024	Signature: Joonas Linervo																																																

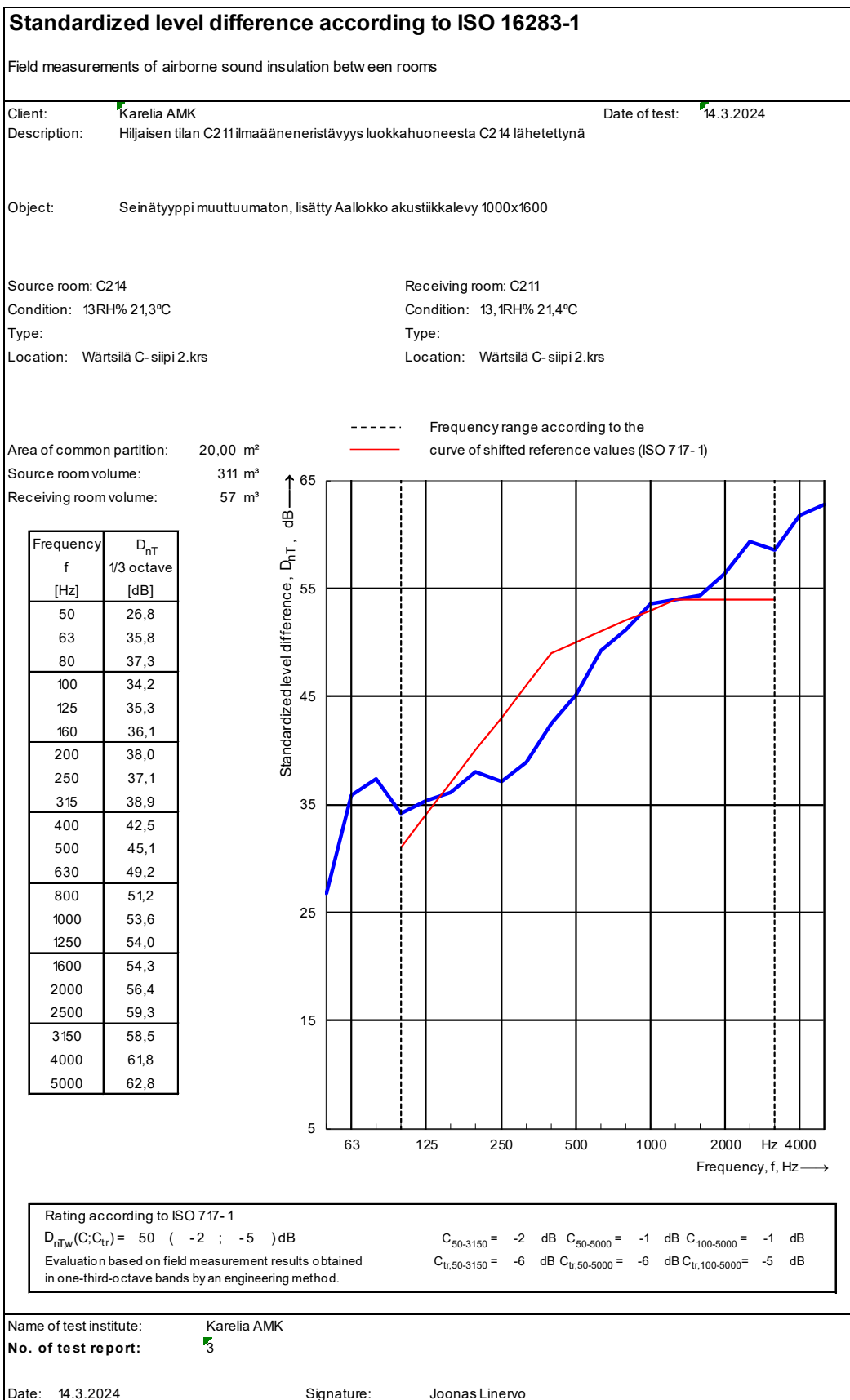
Taulukko 13 jälkikaiunta-aika huone C214

Hz	125	250	500	1000	2000
C214	0,52	0,72	0,62	0,59	0,7

Taulukko 14 jälkikaiunta-ajat SFS 5907:2022 mukaisilla taajuuskaistoilla



Taulukko 15 ilmanääneneristävyyks vastaanottavana huoneena C214



Taulukko 16 ilmanääneneristävyys vastaanottavana huoneena C211

Terssikaistat	Viitearvo	C214	C211
Hz	dB	dB	dB
50	28	43,5	38,9
63	28	41,8	39,7
80	28	42,9	37,0
100	28	37,0	34,9
125	28	31,9	28,0
160	28	26,3	23,4
200	28	24,6	20,5
250	28	24,2	19,7
315	28	24,0	19,3
400	28	27,3	19,0
500	28	23,1	16,0
630	28	22,8	20,0
800	28	21,9	20,7
1000	28	23,2	22,8
1250	28	23,2	19,5
1600	28	20,0	18,1
2000	28	20,5	17,2
2500	28	20,2	13,0
3150	28	15,8	9,8
4000	28	14,7	10,0
5000	28	14,5	9,2
Ln		25	20

Taulukko 17 Tilojen taustamelut ja SFS 5907:2022 viitearvot

Mittaus #	STI	CIS	La
1	0,68	0,83	44,9
2	0,63	0,80	42,3
3	0,64	0,80	46,5
4	0,63	0,80	45,0
5	0,65	0,82	45,2
6	0,69	0,84	47,7
Keskiarvo	0,65	0,82	45,3

Taulukko 18 STI tilasta C214