



Karelia-ammattikorkeakoulu

Insinööri, rakennustekniikka & Insinööri, talotekniikka

Tuotannonaikainen akustinen laadunvarmennus rakennushankkeessa

Tommi Laatikainen

Oula Suvanto

Opinnäytetyö, marraskuu 2021

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2021
Rakennus- ja talotekniikan koulutus

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

Tekijä(t)
Tommi Laatikainen
Oula Suvanto

Nimeke
Tuotannonaikainen akustinen laadunvarmennus rakennushankkeessa

Toimeksiantaja
Luja Talon Oy

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin tuotannonaikeista akustista laadunvarmennusprosessia. Työ pohjautui ohjekortissa RT 103190 - Akustiikkasuunnittelun tehtäväluettelo AKU18 esitettyihin akustisen laadunvarmennukset tehtäviin ja keskittyi laatua varmentaviin akustisiin mittauksiin.

Tutkimuskohteena toimi Joensuuhun valmistuva konservatoriorakennus. Akustisia mittauksia varten konservatorioilta valittiin yksi soitonopetustila. Soitonopetustilassa tutkittiin, kuinka hyvin seinä- ja lattiarakenteet eristävät ääntä sekä mitattiin tilan jälkikaiunta-aika. Mittaustuloksia verrattiin kohteen akustisiin tavoitearvoihin sekä rakenteiden ja ilmanvaihdon perusteella laskettuihin teoreettisiin arvoihin.

Mittaustulosten perusteella todettiin, että sekä rakenteelliset että ilmavaihdon ratkaisut tuottavat pääsääntöisesti tavoitellun lopputuloksen. Ääneneristävyys viereisiin soittotiloihin sekä lattian askelääneneristävyys tuottivat tavoitteet ylittävän tuloksen. Ääneneristävyys tutkittavan tilan ja käytävän välillä jäi hieman tavoitearvoista. Tämän ajateltiin johtuvan lukkojen keskeneräisestä asennuksesta sekä mahdollisista asennusvirheistä ovissa.

Kieli
suomi

Sivuja 30
Liitteet 1
Liitesivumäärä 12

Asiasanat
akustinen laadunvarmennus, ilmaääneneristävyys, askelääneneristävyys, jälkikaiunta-aika



THESIS
November 2021
Degree Programmes in Construction Engineering
and Building Services Engineering
Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author (s)
Tommi Laatikainen
Oula Suvanto

Title
Acoustic Quality Control During Production in a Construction Project

Commissioned by
Luja Talo Oy

Abstract

In this thesis, the acoustic quality control process during production is studied. The work was based on the acoustic quality control tasks presented in instruction card RT 103190 - Acoustic design task list AKU18 and focused on quality-verifying acoustic measurements.

The subject of the research was a conservatory building to be constructed in Joensuu. For acoustic measurements, one music teaching room was selected where the sound insulation of the wall and floor structures were examined and the reverberation time of the room was measured. The measurement results were compared with the target acoustic values of the room and with the theoretical values calculated on the basis of structures and ventilation.

Based on the measurement results, it was found that both structural and ventilation solutions generally produce the desired result. The sound insulation of the adjacent music teaching rooms and the impact sound insulation of the floor produced a result that exceeded the target values. The sound insulation between the room under study and the corridor fell slightly short of the target values and this was thought to be due to the incomplete installation of the locks as well as possible installation errors in the doors.

Language
Finnish

Pages 30
Appendices 1
Pages of Appendices 12

Keywords
acoustic quality control, airborne sound insulation, impact sound insulation, reverberation time

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Akustiikkasuunnittelun tehtäväluettelo AKU18.....	6
3	Rakennusakustiikka	9
3.1	Ilmaääneneristävyys	9
3.2	Askelääneneristävyys	9
3.3	Koinsidenssi-ilmiö	10
4	Rakenteiden vaikutus akustisiin ominaisuuksiin	11
4.1	Rakennuslevyt	11
4.2	Kaksinkertaiset rakenteet	11
4.3	Ilmavälinkaiunta	12
4.4	Joustavat lattiapäällysteet.....	12
4.5	Kelluvat lattiat	13
4.6	Soitonopetustilan ääntäeristävät rakenteet.....	13
5	Ilmanvaihdon vaikutus akustisiin ominaisuuksiin	15
5.1	Ilmanvaihdon ratkaisujen vaikutus äänitekniisiin ominaisuuksiin	15
5.2	Soittuhuoneen ilmanvaihtoon liittyvät ratkaisut ja niiden arvioiminen.....	16
6	Tutkittavan tilan laskennallinen ääneneristävyys	17
7	Mittaukset	20
7.1	Kohteen esittely	20
7.2	Kohteen akustiset tavoitteet.....	20
7.3	Mittauslaitteisto	20
7.4	Mittausten toistettavuuden arviointi.....	21
7.5	Soittotilan akustiset mittaukset.....	21
7.5.1	Mittausten lähtökohdat.....	21
7.5.2	Ilmaääneneristävyys	22
7.5.3	Askelääneneristävyys	23
7.5.4	Jälkikaiunta-aika	23
8	Pohdinta.....	23
8.1	Mittausten toteutuksen pohdinta	23
8.2	Tutkimustulosten pohdinta	24
8.2.1	Rakenteiden ja ilmanvaihdon vaikutus tuloksiin.....	24
8.2.2	Lisätutkimukset	28
9	Lähteet.....	30

Liitteet

Liite 1 Ilma- ja askelääni sekä jälkikaiunta-aikamittausraportti 09/21

Käsitteet

Ääni

Ääni on väliaineessa tapahtuvaa paineen vaihtelua, jonka taajuus on ihmisen kuuloalueella. (Ympäristöministeriö 2018, 3)

Desibeli

”Äänenvoimakkuutta kuvaava suhdeluku. Desibeliasteikko on logaritminen ja se yhdistää äänenpaineen suhteelliset muutokset kuulon vasteeseen.” (Ympäristöministeriö 2018 ,2)

Ilmaääneneristys

”Rakennusosan, rakennusosien muodostaman kokonaisuuden tai materiaalin kyky eristää äänilähteestä ympäristöön ilman välityksellä leviävää ääntä.” (Ympäristöministeriö 2018, 3)

Ilmaääni

Ilmaääni tarkoittaa ääntä, joka leviää äänilähteestä ilman välityksellä. (Ympäristöministeriö 2018, 3)

Ilmaääneneristävyys R

Ilmaääneneristävyys kertoo taajuuskaista kohtaisesti siitä, että kuinka suuri ääniteho siirtyy rakennusosan kautta toiseen tilaan tai sen ulkopuolelle suhteessa siihen, että kuinka suuri ääniteho on tähän kyseiseen rakennuksenosaan kohdistunut. (Ympäristöministeriö 2018, 3)

Äänitasoeroluku D_{nT}

”Standardisoitu äänitasoero ilmaisee lähetyshuoneessa mitatun äänenpainetason ja vastaanottohuoneessa mitatun äänenpainetason eron tietyllä taajuuskaistalla, kun vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika on 0,5 s” (Ympäristöministeriö 2018, 3)

Standardisoitu äänitasoeroluku D_{nT,w}

”Taajuuskaistoittain taajuusalueella 100–3150 Hz mitatuista tai mallinnetuista äänitasoeroista D_{nT} laskettu mittasuure.” (Ympäristöministeriö 2018, 3.)

Koinsidenssin rajataajuus

”Koinsidenssitaajuudeksi (koinsidenssin rajataajuus) kutsutaan pienintä ilmaäänentaajuutta, jolla levymäisen rakenteen koinsidenssi on teoreettisesti mahdollista.” (Lahtela 2004. 9.)

Askeläänieristys

Askeläänieristys tarkoittaa sitä, että kuinka hyvin jokin materiaali, rakennuksenosa tai rakennuksenosien kokonaisuus eristää lattiarakenteeseen kohdistuvaa askelten tai esineen putoamista muistuttavan iskun äänen leviämistä. (Ympäristöministeriö 2018, 3.)

Askelääni

”Muihin tiloihin kuuluva runkoääni, jonka aiheuttaa esimerkiksi kulkeminen lattialla tai portaissa, esineiden putoaminen, huonekalujen siirtely tai tavaran kuljettaminen.” (Ympäristöministeriö 2018, 3.)

Askeläänitasoluku $L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$ (dB)

”Askeläänitasoluku, jossa on mukana spektripainotusermi.” (Ympäristöministeriö 2018, 3.)

Askelääneneristävyyden parannusluku ΔL_w

Kun välipohjalaatan askeläänitasot mitataan päällystettynä ja päällystämättömänä, mittaustulosten erotuksena saakaan askeläänitasojen alenemat ΔL . Askeläänieristävyyden parannusluku ΔL_w saadaan, kun vähennetään päällystämättömän välipohjan askeläänitasoista taajuuskaistoittain mitatut askeläänitasojen alenemat ΔL . (Kylliäinen 2006, 97.)

Spektripainotusermi $C_{I,50-2500}$

”Spektripainotusermi $C_{I,50-2500}$ laajentaa askelääneneristävyyden mitattavaa taajuusaluetta taajuuskaistoille 50, 63 ja 80 Hz sekä ottaa huomioon yksittäisillä taajuuskaistoilla koko taajuusalueella esiintyvät suuret poikkeamat vertailukäyrästä. Spektripainotusermi otetaan huomioon vain silloin, kun sen arvo on suurempi kuin nolla.” (Ympäristöministeriö 2018, 3.)

Jälkikaiunta-aika

”Aika, jonka kuluessa äänilähteen huoneeseen tuottama äänenpainetaso äänilähteen vaiettua alenee 60 dB.” Jälkikaiunta-aika esitetään oktaavikaistoittain taajuuksilla 250, 500, 1000 ja 2000 Hz. (Ympäristöministeriö 2018, 4.)

Ominaistaajuus

”Ominaistaajuudet ovat rakenteille tai värähtelyjärjestelmille ominaisia taajuuksia, joilla rakenne (värähtelyjärjestelmä) tai sen osat pyrkivät värähtelemään poikkeutettaessa niitä tasapainotilastaan tai annettaessa rakenteelle hetkellinen alkuheräte.” (Lahtela 2004, 9.)

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan akustisen laadunvarmentamisen prosessia. Työssä käydään yleisesti läpi kyseistä prosessia ohjekortti RT 103190 - Akustiikkasuunnittelun tehtäväluettelo AKU18 mukaisesti ja keskitytään tarkemmin tuotannonaikaiseen laadunvarmennukseen Joensuun Konservatorion rakentamishankkeessa.

Opinnäytetyö sai alkunsa palaverista kohteen rakennuttajan Hemsö Oy:n edustajan kanssa. Aihetta mietittyämme päädyimme tuotannonaikaiseen laadunvarmennukseen, joten lopullinen idea esiteltiin urakoitsijan edustajalla, Lujatalo Oy:n projektipäällikölle.

Työn tavoitteena on tutustua akustiseen laadunvarmennus prosessiin ja suorittaa tuotannon aikaista laadunvarmistusta erilaisten akustisten mittauksien avulla Joensuuhun valmistuvalla konservatoriolla. Lisäksi tutkitaan rakenteiden ja talotekniikan yhteisvaikutusta akustiikkaan laskennallisesti ja vertaillaan näitä tuloksia mitattuihin tuloksiin.

Mittauksissa keskitytään konservatorion toisessa kerroksessa sijaitseviin soitonopetustiloihin. Tarkoituksena on mitata soitonopetustilojen äänitasoerolukua, askeläänitasolukua ja jälkikaiunta-aikaa. Äänitasoeroluku mitataan standardin SFS-EN ISO 16283-1:2014/A1:2017 mukaan ja tulokset raportoidaan standardin SFS-EN ISO 717-1:2020 mukaan. Askeläänitasoluku mitataan käyttäen standardia SFS-EN ISO 16283-2:2020 ja tulokset raportoidaan standardin SFS-EN ISO 717-2:2020 mukaan. Jälkikaiunta-aika mittaukset suoritetaan standardin SFS-EN ISO 3382-2 mukaisesti.

2 Akustiikkasuunnittelun tehtäväluettelo AKU18

Tehtäväluettelon käyttäminen ja tarkoitus

Ohjekortti RT 103190 Akustiikkasuunnittelun tehtäväluettelo AKU18 avulla voidaan määrittää akustiikka suunnittelua koskevien tehtävien sisältö ja laatu. Luettelon avulla voidaan valita hankekohtaisesti eri akustiikkasuunnittelun suorittajat. Luettelo sopii käytettäväksi kaikenlaisissa kohteissa ja sopii sovellettavaksi kaikkien hankinta- ja palkkiomuotojen kanssa.

Luettelon avulla voidaan määrittää suunnittelijan tehtävälaajuus, hallita suunnittelukokonaisuutta ja sitä voidaan käyttää osana suunnittelun laadunvarmistusta.

”Tehtäväluettelo liitetään suunnittelusopimukseen ja sen asema sopimusasiakirjana on määritelty Konsulttitoiminnan yleisten sopimusehtojen KSE 2013 (RT 13-11143) kohdassa 9.” (RT 103190 2020, 1.)

Tehtäväluettelon sisältö

Tehtäväluettelo selittää kaikki akustiikkasuunnittelun tehtävät, mitä tulee tehdä tavallisessa talonrakennushankkeessa ja se sisältää myös niiden tulokset. Se riippuu hankkeesta kuka suorittaa tarvittavat tehtävät ja mitä tehtäviä suoritetaan. (RT 103190 2020, 1.)

Tarveselvitys

Tarveselvityksessä esitetään alustavasti tarvittavat tilat ja niille asetettavat vaatimukset. Tarveselvityksessä määritetään ja perustellaan, onko tilanhankinta tarpeellista tai onko olemassa olevan tilan muutos tarpeellista. Tarveselvityksessä tutkitaan tilojen vaihtoehtoisia käyttömahdollisuuksia. Tarveselvityksessä arvioidaan kuinka edullisia eri ratkaisut ovat. Tämän vaiheen tuloksena syntyy hyväksytty tarveselvitys ja hankepäätös. (RT 103190 2020, 4.)

Hankesuunnittelu

Hankesuunnittelussa asetetaan rakennushankkeelle täsmälliset tavoitteet, jotka liittyvät rakennushankkeen laajuuteen, toimivuuteen, laatuun, kustannuksiin, ajoitukseen, ja ylläpitoon. Hankesuunnittelun tuloksena syntyy hankesuunnitelma. Hankesuunnitelma muodostuu projektiohjelmasta ja hankeohjelmasta. Hankesuunnittelun valmisteluun määritellään alustavasti toteutusmuoto ja teetetään tarvittavat selvitykset. Tämän vaiheen tuloksena syntyy hyväksytty hankesuunnitelma ja investointipäätös. (RT 103190 2020, 6.)

Suunnittelun valmistelu

Suunnittelun valmistelussa organisoidaan suunnittelu, pidetään mahdolliset suunnittelukilpailut, käydään tarvittavat neuvottelut, valitaan suunnittelijat ja tehdään suunnittelusopimukset. Vaiheen tuloksena syntyy suunnittelupäätös (suunnittelun käynnistäminen). (RT 103190 2020, 8.)

Ehdotussuunnittelu

“Ehdotussuunnittelussa laaditaan vaihtoehtoiset suunnitteluratkaisut asetettujen tavoitteiden täyttämiseksi. Vaiheen tuloksena syntyy ehdotuksen valintapäätös ja suunnitteluratkaisu jatkosuunnittelun pohjaksi (valittu ehdotussuunnitelma).” (RT 103190 2020, 10.)

Yleissuunnittelu

“Yleissuunnittelussa ehdotussuunnitelma kehitetään toteutuskelpoiseksi yleissuunnitelmaksi. Yleissuunnitelma kohdistuu sekä rakennuksen kiinteään perusosaan, että muuntuvien tila-alueiden suunnitteluun. Yleissuunnitelma voi sisältää erilaisia vaihtoehtoja tilaratkaisuiksi. Vaiheen tuloksena syntyy hyväksytty yleissuunnitelma ja pääpiirustukset.” (RT 103190 2020, 12.)

Rakennuslupatehtävät

”Rakennuslupatehtävissä selvitetään hankkeen edellyttämät lupamenettelyt, varmistetaan suunnittelijoiden kelpoisuus ja pääpiirustusten hyväksyttävyys sekä laaditaan lupahakemus tarvittavineen asiakirjoinne.” (RT 103190 2020, 14.)

Toteutussuunnittelu

”Toteutussuunnittelussa yleissuunnitelma kehitetään rakentamisen ja hankinnan edellyttämiksi mitoitetuiksi suunnitelmiksi ja tuotemäärittelyiksi. Toteutussuunnitteluun sisältyy järjestemäosasuunnittelu.” (RT 103190 2020, 15.)

Rakentamisen valmistelu

”Rakentamisen valmistelussa organisoidaan rakentaminen, kilpailutetaan rakentamistehtävät, käydään sopimusneuvottelut ja tehdään urakka- ja hankintasopimukset.” (RT 103190 2020, 15.)

Rakentaminen

”Rakentamisessa varmistetaan sopimuksenmukainen toteutus, tavoitteet täyttävä lopputulos sekä tarvittavat käyttö- ja ylläpitovalmiudet. Rakennuksen valmistuminen todetaan vastaanotossa.” (RT 103190 2020, 19.)

Ääneneristävyyden kannalta merkittävien rakentamisaikaisen laadunvarmennuksen keino on mallihuoneeseen suoritettavat akustiset mittaukset. Mallihuoneeseen tehtävien mittausten tarkoituksena on varmistaa, että käytetyt materiaalit ja työtavat tuottavat akustiset tavoitteet täyttävän lopputuloksen ennen, kun vastaavia tiloja rakennetaan enemmän valmiiksi. Näin vältetään mahdolliselta turhalta korjaustyöltä, mikäli mittauksissa ilmenee puutteita. Mallihuoneeseen suoritetaan mittaukset ilmaääneneristävyydestä sekä askeläänieristävyydestä. (RT 103190 2020, 19.)

Käyttöönotto

“Käyttöönotossa varmistetaan järjestelmien toiminta ja annetaan käytön opastus. Vaiheen tuloksena rakennus otetaan käyttöön.” (RT 103190 2020, 27.)

Takuuaika

“Takuuaikana seurataan rakennuksen toimivuutta, tehdään takuuajan säädöt, pidetään tarvittavat tarkastukset ja korjataan mahdolliset puutteet.” (RT 103190 2020, 27.)

3 Rakennusakustiikka

3.1 Ilmaääneneristävyys

Ilmaääneneristävyys R määritellään kahden tilan välille niin, että mitataan kuinka paljon äänitehoa siirtyy rakenteiden läpi. Yksittäisen rakenteiden ilmaääneneristävyttä kuvaa R_w . Mitä suurempi R tai R_w on, niin sitä paremmin rakenne eristää ilmaääntä. Koska tilojen koot ja kalusteet vaikuttavat tuloksien vertailukelpoisuuteen, vastaanottavan tilan jälkikaiunta-aika on standardoitu 5 sekuntiin. (Ympäristöministeriö 2018, 19.) ” Rakennusosien ilmaääneneristysluvuista R_w ja rakennusosien välisten liitosten liitoseristävyyksistä voidaan laskea tilojen välinen äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ ” (Ympäristöministeriö 2018, 19.)

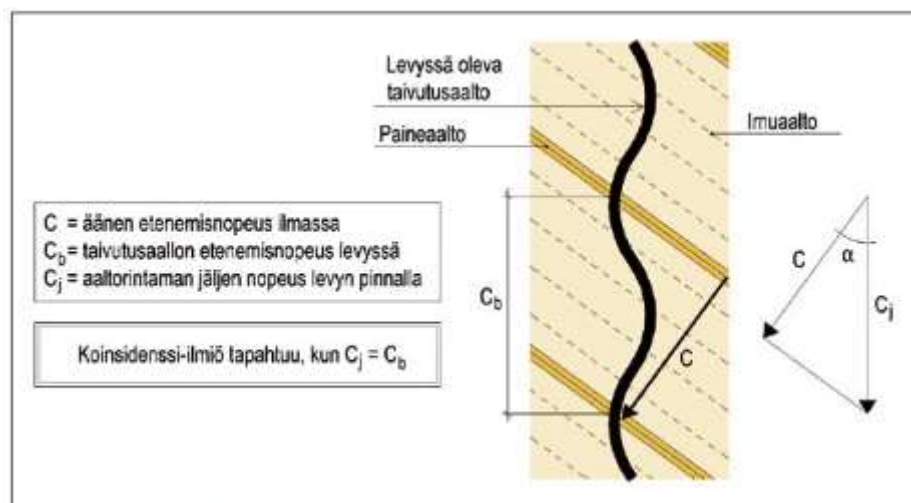
3.2 Askelääneneristävyys

Askelääneneristävyyden määrittämiseen käytetään askeläänikonetta, joka sijoitetaan lähettävään tilaan ja sen tuottama äänenpaine mitataan vastaanottavassa tilassa. Koska tilan koko ja kalustus vaikuttaa mittaustulokseen, on se standardoitu 5 sekunnin jälkikaiunta-aikaan, jotta tulos on vertailukelpoinen. (Ympäristöministeriö 2018, 19.)

Askeläänitasoluvun $L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$ spektripainotusermi $C_{I,50-2500}$ ottaa huomioon askelääneneristävyyden terssikaistojen keskitaajuuksilla 50, 63 ja 80 Hz sekä yksittäisillä taajuuskaistoilla esiintyvät suuret kapeakaistaiset askeläänitasot (Ympäristöministeriö 2018, 19.)

3.3 Koinssidenssi-ilmiö

Koinssidenssi-ilmiössä ääniaaltorintaman jälki ja levyssä oleva taivutusaalto, minkä ääni aiheuttaa, kulkevat samalla nopeudella. Otetaan esimerkki, kuinka koinssidenssi-ilmiö esiintyy rakennuslevyssä. Ääniaaltorintama osuu levyn pintaan tietyssä kulmassa ja aiheuttaa taivutusaallon levyn pinnassa. Jatkuva ääni aiheuttaa yli- ja alipainerintaman, joka osuu levyssä olevan taivutusaallon kuoppaan ja huippuun (kuva 1). (Lahtela 2004, 21.)



Kuva 1. Koinssidenssi-ilmiö (Lahtela 2004, 21.)

Kun koinssidenssi-ilmiö tapahtuu, levyn ääneneristävyys on huomattavasti heikompi, kuin mitä oletettaisiin massalain perusteella. Koinssidenssi-ilmiössä rakenteen äänieristävyys riippuu suurimmaksi osaksi levyn ja rakenteen häviömekanismeista, koska koinssidenssi-ilmiössä ääniaallot läpäisevät levyn. Jokaisella rakenteella on tietty taajuus, jonka yläpuolella koinssidenssi ilmiö tapahtuu, ja rakenteen ääneneristävyys heikkenee. Tämä koinssidenssi taajuus on f_c . Ihmisen kuulon kannalta tärkeä taajuusalue on 100 Hz–3150 Hz, joten tämän takia halutaan saada rakenteen koinssidenssirajataajuus kyseisen taajuusalueen yläpuolelle, tai mahdollisesti alapuolelle. Mitä korkeammalle

taajuudelle rakennuslevyn koinsidenssi-ilmiö saadaan, sitä vähemmän se heikentää rakenteen ääneneristävyyttä. Normaalisti rakennuslevyillä koinsidenssi taajuus on noin 2000–3000 Hz. (Lahtela 2004, 21.)

4 Rakenteiden vaikutus akustisiin ominaisuuksiin

4.1 Rakennuslevyt

Rakennuslevyjen pintamassa on noin 5-35 kg/m², joita käytetään ääntäeristävissä rakenteissa. Tällaisten levyjen koinsidenssi rajataajuus on yleensä yli 2000 Hz. Tämä taajuusalue on rakennusakustiikan kannalta tärkeä. Jos levyn jäykkyys kasvaa niin koinsidenssi rajataajuus laskee. Pääallekkäisiä levyjä ei pidä liimata toisiinsa kiinni, koska liimaaminen alentaa koinsidenssi rajataajuuden noin 1200 Hz, vaan ne pitää kiinnittää ruuveilla. Jos levyn paksuus kasvaa yli 15mm, silloin sen koinsidenssi rajataajuus heikkenee. (Kylliäinen 2006, 53.)

4.2 Kaksinkertaiset rakenteet

Mitä suurempi on rakenteiden pintamassa, sitä parempi on ilmaäänieristävyys. jos halutaan parantaa rakenteen äänieristävyyttä ja rakenteen pintamassa on jo suuri, jouduttaisiin sen pintamassaa lisäämään paljon, että saadaan edes pieni parannus ilmaäänieristävyyteen. Massan lisääminen nostaa kustannuksia. Jos halutaan parantaa äänieristävyyttä, voidaan rakenne jakaa kahteen osaan. näiden kahden rakenteen välissä on ilmapäli. (Kylliäinen 2006, 57.)

Jos kahden rakenteen välissä on ilmapäli, tai ilmapäli, joka on täytetty absorptiomateriaalilla, toimii rakenne akustisten toimintojen kannalta kaksinkertaisena rakenteena. (Kylliäinen 2006, 57.)

4.3 Ilmavälinkaiunta

Kaksinkertaisen rakenteen ilmaväli pitää täyttää kokonaan hyvällä absorboivalla materiaalilla. Jos sitä ei tehdä, rakenteen ilmaäänieristävyys heikkenee, koska rakenteen väliin syntyy kaikukenttä. Vähintään puolet ilmavälin paksuudesta on täytettävä absorptiomateriaalilla. absorptiomateriaalin absorptiosuhde α on 500Hz ja korkeimmilla taajuuksilla noin 0.9. Ilman ominaisvärähtelyiden alimmat ominaistaajuudet ovat korkeita ilmavälin suunnassa ja matalia rakenteen pituus ja leveys suunnassa ja ne vastaavat aallonpituuksia, joiden puolikas on yhtä suurin kuin seinän ilmavälin leveys l_x , korkeus l_y ja paksuus d . näiden mitoista käytetään merkintää l (m). eri suunnassa tapahtuvan ominaisvärähtelyn ominaistaajuus on $f_r=3402/l$. Esimerkiksi jos seinän leveys on 4m, korkeus on 2,5m ja ilmaväli on 150mm, silloin alimmat ominaistaajuudet ovat 43 Hz, 68 Hz ja 1130 Hz. (Kylliäinen 2006, 63-64.)

4.4 Joustavat lattiapäällysteet

Mitä suurempi massa lattiarakenteissa on, sitä parempi on niiden askeläänieristys. mutta massan kasvattaminen on mahdollista vain tiettyyn pisteeseen, johtuen käytännön syistä ja taloudellisista syistä. Mitä suurempi massa välipohjarakenteessa on, sitä enemmän se vaikuttaa kantavien seinien ja pilareiden paksuuksiin ja raudoituksiin ja tästä syystä ei ole taloudellisesti kannattavaa. Tehokas keino vaimentaa lattiaan kohdistuvia iskuja on asentaa lattiaan pehmeä lattiapäällyste. Runkoääniä lattiarakenteeseen syntyy askelista ja muista rakenteeseen kohdistuvista iskuista. Esimerkkejä pehmeistä lattiapäällysteistä ovat pehmeät muovimatot ja lautaparketit joustavien alusmateriaalien kanssa. Pehmeät lattianpäällysteet toimivat akustisesti hieman eri tavalla kuin tavallinen lautaparketti ja muovimatto. Kuitenkin lautaparketti ja muovimatto, joiden askelääneneristävyysparannusluku ΔL_w on yhtä suuri, johtavat lähes samanlaiseen askeläänitasolukuun ja äänispektriin. Normaalisti pehmeiden muovimattojen askelääneneristävyysparannusluvut ovat noin 17-20 dB. Normaalisti lautaparkettien, (joiden kanssa käytetään joustavia alusmateriaaleja) askelääneneristävyysparannusluvut ovat 17-18 dB. Kun suunnitellaan välipohjaratkaisuja, joissa käytetään pehmeitä lattiapäällysteitä,

on käytettävä materiaaleja, joiden askeläänieristävyyden parannusluvut tunnetaan. Materiaalien valmistajat ilmoittavat tuotteittensa askelääneneristävyyden parannusluvun. (Kylliäinen 2006, 99-100.)

4.5 Kelluvat lattiat

Kelluvia lattioita käytetään riittävän askeläänieristävyyden saamiseksi musiikkiluokissa. Kelluvassa lattiassa on eristekerros, mikä voi olla esimerkiksi mineraalivilla tai elastisoitu polystyreeni. eristekerroksen päälle tulee rakenne, joka voi olla rakennuslevy, paikalla valettu laatta tai pumpattava tasoite. Akustisen toiminnan kannalta kelluvan lattian tärkein ominaisuus on sen ominaistaajuus. Rakenteen ominaistaajuus riippuu rakenteen pintamassasta m' [kg/m²] ja eristekerroksen dynaamisesta jäykkyydestä f_0 [Hz]. Myös kantavan rakenteen massalla ja jäykkyydellä on vaikutusta kelluvan lattian ominaistaajuuteen. Kelluvaa rakennetta voi yleensä tarkastella yksinkertaisena rakenteena. Jos eristekerros koostuu useasta ainekerroksesta, jäykkyys lasketaan yksittäisten kerrosten dynaamisista jäykkyydestä s'_i . Mitä alempi on ominaistaajuus, sitä paremmin kelluva lattia toimii akustisilta ominaisuuksiltaan. Ominaistaajuutta voidaan pienentää lisäämällä massaa tai pienentämällä eristekerroksen jäykkyyttä. (Kylliäinen 2006, 100-101.)

4.6 Soitonopetustilan ääntäeristävät rakenteet

Tässä lista soitonopetustilan ääntäeristävistä rakenteista.

-väliseinä (kuva 2)

-3 x kipsilevy Rigidur tai Widiwall 13mm

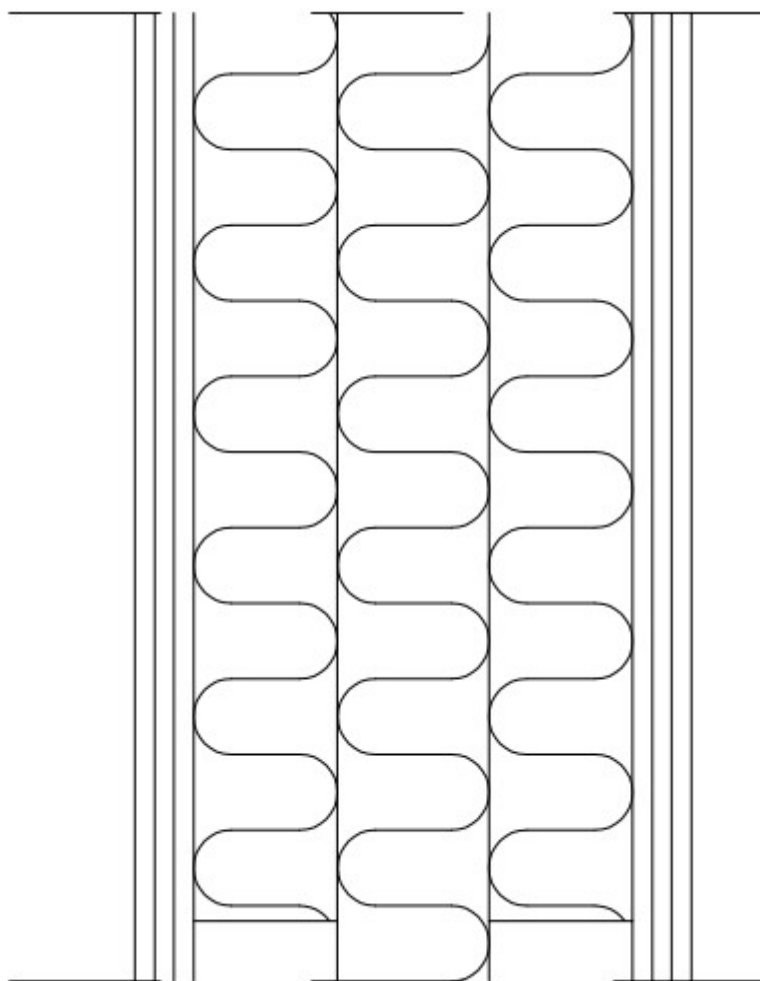
-peltiranka 95 mm k600, välissä mineraalivilla (rakennesuunnittelija tarkistaa rankojen kerävyyden.)

-ilmaväli 100mm, jossa mineraalivilla.

-peltiranka 95mm k600, välissä mineraalivilla (rakennesuunnittelija tarkistaa rankojen kestävyden.)

-3 x kipsilevy Rigidur tai Widiwall 13mm

(A-Insinöörit Suunnittelu Oy. 2018. 8.)



Kuva 2. Hahmotelma opetustilojen välisestä seinärakenteesta.

Rakenne on jaettu kahdeksi osaksi. välissä on ilmaväli, joka on täytetty mineraalivillalla. Tämä tehdään siksi, että rakenteen väliin ei synny kaikukenttää. Jos rakenteen väliin syntyy kaikukenttä, rakenteen ilmaäänieristävyys heikkenee. Kipsilevyt on ruuvattu toisiinsa kiinni, eikä liimattu. Jos ne liimataan toisiinsa kiinni, niin sen jäykkyys kasvaa ja alentaa koinsidenssi rajataajuutta. (Kylliäinen 2006, 63-64.)

Tässä lista lattiarakenteista.

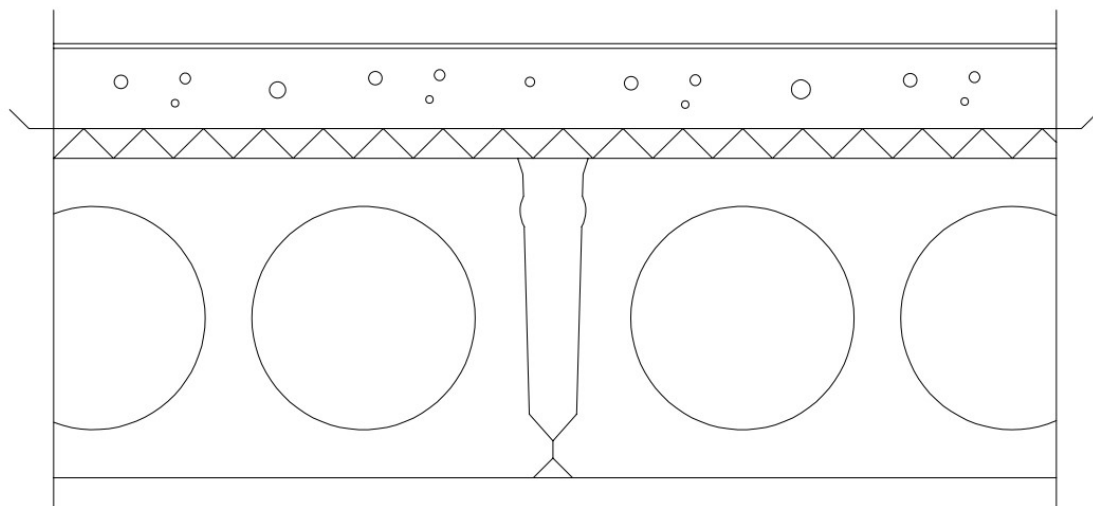
- Lattia (kuva 3)
- Lattianpäällyste vapaasti valittavissa
- Betoniattia 80mm

-Suodatinkangas

-Eristekerros 30mm, dynaaminen jäykkyys $s' \leq 20 \text{ MN/m}^3$ (esim, Paroc SSB 1)

-Kantava betonirakenne.

(A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2018, 8)



Kuva 3. Hahmotelma käytetystä lattiarakenteesta.

Lattiassa on askelääntä vaimentava joustava lattiapäällyste, mikä parantaa askeläänieristävyttä. 80mm betonilattia ja 30mm eristekerros parantaa hyvin askeläänieristävyttä, koska betonilattian massa on suuri ja eristekerrokseen dynaaminen jäykkyys on 20 MN/m^3 , nämä arvot vaikuttavat rakenteen ominaistajuuteen, mikä vaikuttaa askeläänieristävyteen.

5 Ilmanvaihdon vaikutus akustisiin ominaisuuksiin

5.1 Ilmanvaihdon ratkaisujen vaikutus äänitekniisiin ominaisuuksiin

Eniten ääntä ilmanvaihtojärjestelmässä luo puhaltimet ja sellaiset kanaviston osat, jotka rajoittavat ilman virtaamista. Toinen merkittävä haitallisen äänen aiheuttaja on kanavistoa pitkin huoneesta toiseen kulkeutuvat äänet. (RT 56-10815.2004, 2). Varsinkin järjestelmissä, joissa tiloilla on yhteinen tulo- ja

poistoilmanvaihtojärjestelmä, päätelaitteita ja kanavistoa pitkin kulkeutuva ääni on suurin ongelmakohta. (RT 56-10815 2004, 2)

Ilman virtauksista johtuvia ja rakennuksen muista tiloista kantautuvia ääniä pyritään rajoittamaan äänenvaimentimilla.

Pyöreissä kanavissa käytettävät äänenvaimentimet ovat sylinterivaimentimia. Sylinterivaimennin on muodoltaan pyöreä ja sen vaippa koostuu absorboivasta materiaalista. Lisäksi sylinterivaimentimeen voidaan laittaa keskelle lieriö, joka absorboi erityisesti korkeita taajuuksia. (Kylliäinen 2006, 150)

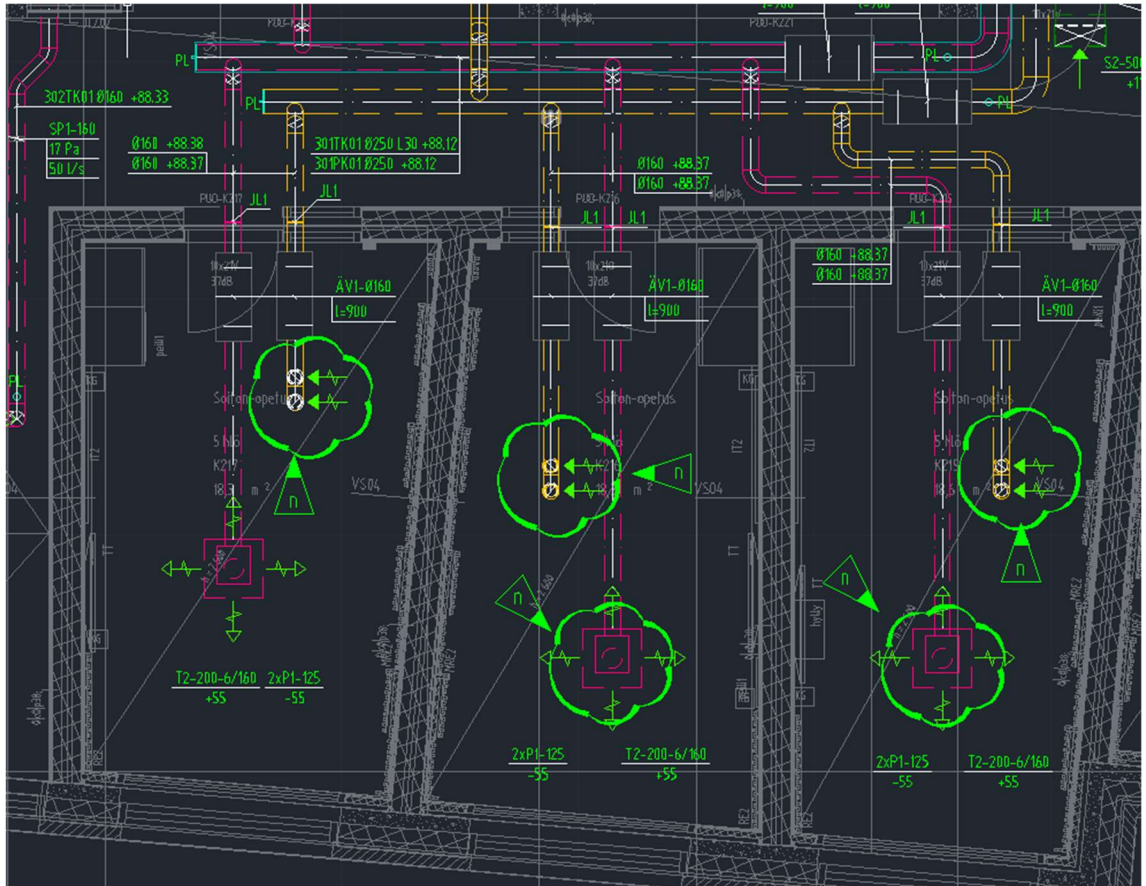
Ilmanvaihtokanavia joudutaan viemään sellaisten rakenteiden läpi, joiden on tarkoitus eristää ääntä. Läpiviennit tulee tehdä niin tiiviiksi etteivät ne heikenne kyseisen rakenteen kykyä eristää ilma- ja askelääntä. (Kylliäinen 2006, 143.)

Ilmanvaihdon ääneneristävyyttä ei voida suunnitella ilman äänenvaimentimia silloin, kun tilojen välisen ääneneristävyyksluvun tulee olla enemmän kuin 40 dB. Vaatimukset ilmanvaihdon ääneneristävyydelle ovat suurimmillaan silloin, kun suunnitellaan erityisvaativia tiloja. (Kylliäinen 2006, 163.)

5.2 Soittuhuoneen ilmanvaihtoon liittyvät ratkaisut ja niiden arvioiminen

Kuvasta 4 nähdään, että äänenvaimentimet on asetettu soittotilan puolelle ja lisäksi runkolinjaan mutkien jälkeen. Runkolinjoissa olevat vaimentimet rajoittavat muualta rakennuksesta kantautuvia ääniä ja soittotiloissa olevat vaimentimet rajoittavat käytävältä ja viereisistä tiloista kantautuvia ääniä.

Kuvassa 4 näkyvien ilmanvaihtokanavien läpivientien eristykseen käytetään elastista tiivistysmassaa sekä mineraalivillaa.



Kuva 4. Ote tutkittavan tilan ilmanvaihtosuunnitelmasta

6 Tutkittavan tilan laskennallinen ääneneristävyys

Tutkimme seinärakenteiden ja ilmanvaihdon yhdistettyä ilmaääneneristävyyttä laskennallisesti. Ilmanvaihtokanavissa ja laitteissa tapahtuva vaimeneminen laskettiin käsin ja seinärakenteiden laskennallinen eristävyys selvitettiin käyttämällä INSUL-ohjelmaa. Tämän jälkeen tulokset yhdistettiin niin ikään INSUL-ohjelmaa käyttäen.

INSUL-ohjelmalla rakennettiin tutkittavassa tilassa käytettyä seinärakennetta vastaava rakenne. Kuvassa 5 on esitetty INSUL-ohjelman antama laskennallinen ilmaääneneristävyys seinärakenteelle.

63	125	250	500	1k	2k	4k	Rw 81 dB	C-3 Ctr -10 Rw+Ctr 71 dB 100-3150 Hz
38	56	71	83	92	91	83		

Kuva 5. Kuvankaappaus INSUL-ohjelman tuloksista.

Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty ilmanvaihtolaitteiden tuottama vaimennus. Dpääte 216 ja 217 ilmaisee tulo- ja poistoilmaventtiilien vaimennuksia, jotka laitteiden valmistaja on ilmoittanut. (FläktGroup 2021, 11 & FläktGroup 2021, 5.)

Däv ilmaisee äänenvaimentimien vaimennuksia, jotka niin ikään on valmistaja ilmoittanut. (Lindab 2021, 7.) Dq ilmaisee kanaviston haarautuessa tapahtuvaa vaimenemista, joka on laskettu kaavan 1 mukaan, jossa S on kanavan pinta-ala ja S' on haaran pinta-ala.

$$D_q = 10 \lg \left(\frac{S + S'}{S'} \right)$$

Kaava 1. Ilmanvaihtokanaviston haarojen vaimennus. (Kylliäinen 2006, 149).

Kanava+ÄV vaimennus							
Taajuus Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000
Dpääte 216	20	8	5	12	9	7	14
T-haara	3	3	3	3	3	3	3
T-haara	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
Dpääte 217	20	8	5	12	9	7	14
Däv	3	7	10	14	27	22	16
Däv	3	7	10	14	27	22	16
Yhteensä	54,4	38,4	38,4	60,4	80,4	66,4	68,4

Taulukko 1. Tuloilmalaitteiden vaimennus

Kanava+ÄV vaimennus							
Taajuus Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000
Dpääte 216	18	13	9	8	8	10	3
T-haara	3	3	3	3	3	3	3
T-haara	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
Dpääte 217	18	13	9	8	8	10	3
Däv	3	7	10	14	27	22	16
Däv	3	7	10	14	27	22	16
Yhteensä	50,4	48,4	46,4	52,4	78,4	72,4	46,4

Taulukko 2. Poistoilmalaitteiden vaimennus

Kuvassa 6 nähdään INSUL-ohjelmalla laskettu lopputulos tutkittavien tilojen 216 ja 217 väliselle teoreettiselle ääneneristävyydelle. Kaavaa 2 käyttäen on laskettu käytävän vaikutus tilojen K216 ja K217 väliseen ääneneristävyyteen ja tästä saatua tulosta käytettiin INSUL-ohjelmassa.

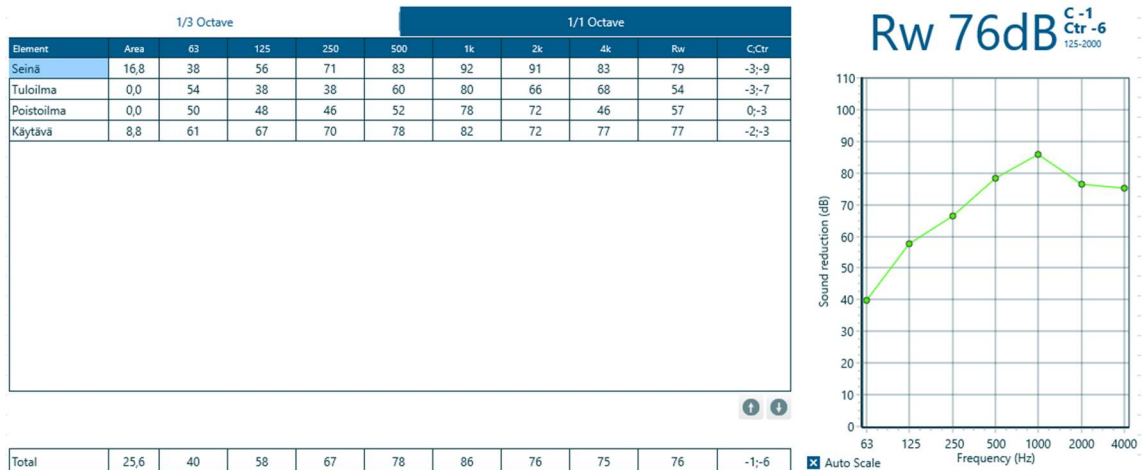
$$D_{n,s} = D_{n,h} = R_{hs} + R_{hr} + \left(10 \lg \frac{A_h A_o}{S_{hs} S_{hr}} + C_{doorposition} \right) \text{ dB} \quad (\text{H.1})$$

where

- R_{hs} is the sound reduction index of the wall between the hall and the source room, in decibels;
 R_{hr} is the sound reduction index of the wall between the hall and the receiving room, in decibels;
 S_{hs} is the area of the wall between the hall and the source room, in square metres;
 S_{hr} is the area of the wall between the hall and the receiving room, in square metres;
 A_h is the equivalent sound absorption area of the hall, in square metres;
 $C_{doorposition}$ is a correction term to take into account the effect of the orientation of the doors to each other.

NOTE The value for this correction term can be estimated to be between -2 dB for doors at 90° to each other and less than 1 m apart to 0 dB for greater distances and/or parallel positions.

Kaava 2. Käytävän vaimentava vaikutus kokonaisääneneristävyyteen. (SFS-EN ISO 12354-1:2017, 66.)



Kuva 6. Tilojen K216 ja K217 välinen laskennallinen ääneneristävyys.

7 Mittaukset

7.1 Kohteen esittely

Kohde on Joensuun konservatorio, joka sijaitsee osoitteessa Yliopistokatu 2 80100 Joensuu. Kohde rakennetaan Carelia-rakennuksen yhteyteen ja sisältää erilaisia opetustiloja, toimistoja sekä kaksi konserttisalia. Kohteen rakennuttajana toimii Hemsö Oy ja sitä urakoi Lujatalo Oy.

7.2 Kohteen akustiset tavoitteet

Tutkittavalle kohteelle on asetettu yleisiä määräyksiä tiukemmat akustiset kriteerit. Taulukossa 3 on esitetty tutkittavalle tilalle määritetyt kriteerit.

äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ muihin tiloihin käytävälle	≥ 65 dB ≥ 39 dB
askeläänitasoluku $L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$	≤ 43 dB
Jälkikaiunta-aika T	0.3...0.7 sekuntia

Taulukko 3. Akustiset tavoitearvot (Hankeselvityksen akustiikkaselostus, 2018.)

7.3 Mittauslaitteisto

Standardin mukaiset mittaukset vaativat, että kaikki käytetyt laitteet ovat luokkaa 1. (ISO 3382-1 2009, 4.) Mittauslaitteena toimii NorSonicin Nor140, vahvistimena Nor276 ja äänilähteenä Nor280 6 elementtinen puolipallokaiutin. Mittaustulokset analysoidaan Norbuild –ohjelmalla. Kaikki käytetyt laitteet ovat luokan 1 laitteita.

7.4 Mittausten toistettavuuden arviointi

Syksyllä 2016 järjestettiin ilmastimittauksen round robin -testi, johon osallistui 19 eri mittausryhmää. Testin järjesti Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ja testin tarkoituksena oli vertailla tuloksia ja varmistaa tulosten oikeellisuus. Testissä mitattiin kahden toimistotilan välistä ilmastieristävyyttä. Äänitasoeroluvun $D_{nT,w}$ keskihajonta oli 1,2 dB. Tämän testin perusteella oletetaan, että Joensuun konservatoriossa suoritettujen mittausten äänitasoeroluvun $D_{nT,w}$ keskihajonta on 1,2 dB. (Lietzén & Kylliäinen 2016, 93.)

Syksyllä 2018 järjestettiin askeläänimittauksen round robin -testi, johon osallistui 20 eri mittaajaa. Testin järjesti Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ja testin tarkoituksena oli vertailla tuloksia ja varmistaa tulosten oikeellisuus. Testissä mitattiin kahden tilan välistä askeläänieristävyyttä. Askeläänitasoluvun $L'_{nT,w}$ mittaustuosten keskihajonta oli 1,7 dB. Yksi tulos erosi muista tuloksista huomattavasti. Ilman muista poikkeavaa mittaustulosta keskihajonta oli 1,4 dB. (Lietzén & Kylliäinen 2016, 14.) Kyseisen testin perusteella oletetaan, että Joensuun konservatoriossa suoritettujen mittausten askeläänitasoluvun $L'_{nT,w}$ keskihajonta on 1,4 dB.

7.5 Soittotilan akustiset mittaukset

7.5.1 Mittausten lähtökohdat

Mittausten alkuperäisenä tarkoituksena oli se, että ne suoritetaan täysin valmiiseen mallihuoneeseen. Kyseisessä hankkeessa mallihuonetta ei rakennettu, joten mittauksiin valittiin satunnaisesti yksi soitonopetus tila. Kuvasta 7 nähdään, että tutkittavan tilan oven lukosta puuttuu helat. Tämä voi vaikuttaa heikentävästi mittaustulokseen.



Kuva 7. Ovien lukoista puuttuu helat.

7.5.2 Ilmaääneneristävyys

Vertaamalla taulukkoja 3 ja 4 havaitaan, että ilmanääneneristävyydelle asetetut tavoitteet saavutetaan vierekkäisten soittotilojen osalta. Tutkittavan tilan ja käytävän välinen tavoitearvo 39 dB ei täyty. Tämän voidaan ajatella johtuvan osittain siitä, että lukosta puuttui helat. Lisäksi, kun ovea painettiin käsin tiukemmin kiinni, niin kuultiin, että vaimennus paranee huomattavasti. Tämä vaikuttaa siltä, että oven asennuksessa voi olla puutteita.

Vastaanottavatila	Lähettävä tila	Mitattu äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ (dB)
K216	Käytävä	36
K216	K215	67
K216	K217	70

Taulukko 4. Mitatut äänitasoeroluvut.

7.5.3 Askelääneneristävyys

Taulukosta 3 nähdään, että tavoitelluksi askeläänitasoeroluvoiksi on määritelty korkeintaan 43 dB. Taulukosta 5 havaitaan, että mitattu arvo on 24 dB, mikä tarkoittaa, että tavoite täyttyy.

Vastaanottava tila	Lähettävä tila	Mitattu askeläänitasoluku L'nT,w (dB)
K124	K216	24

Taulukko 5. Mitattu askeläänitasoluku

7.5.4 Jälkikaiunta-aika

Taulukosta 3 nähdään, että jälkikaiunta-ajan tavoitearvoiksi on määritelty 0,3 - 0,7 sekuntia. Taulukkoa 6 tarkastellessa havaitaan, että tavoitteet täyttyvät pois lukien taajuusalue 250 hertsiä, jolla tavoitearvo ylittyy hieman.

Taajuus (hertsiä)	Mitattu jälkikaiunta-aika (sekuntia)
250	0,76
500	0,32
1000	0,34
2000	0,42

Taulukko 6. Mitatut jälkikaiunta-ajat taulukoituna

8 Pohdinta

8.1 Mittauksien toteutuksen pohdinta

Akustisen laadunvarmennus prosessin kannalta olisi ollut toivottavaa, että akustiset mittaukset olisi suoritettu mallihuoneeseen, mutta tämä ei valitettavasti

ollut kohteessa mahdollista. Soittotilojen väliset akustiset tavoitearvot kuitenkin täyttyivät melko reilusti, joten tästä ei muodostunut ongelmaa.

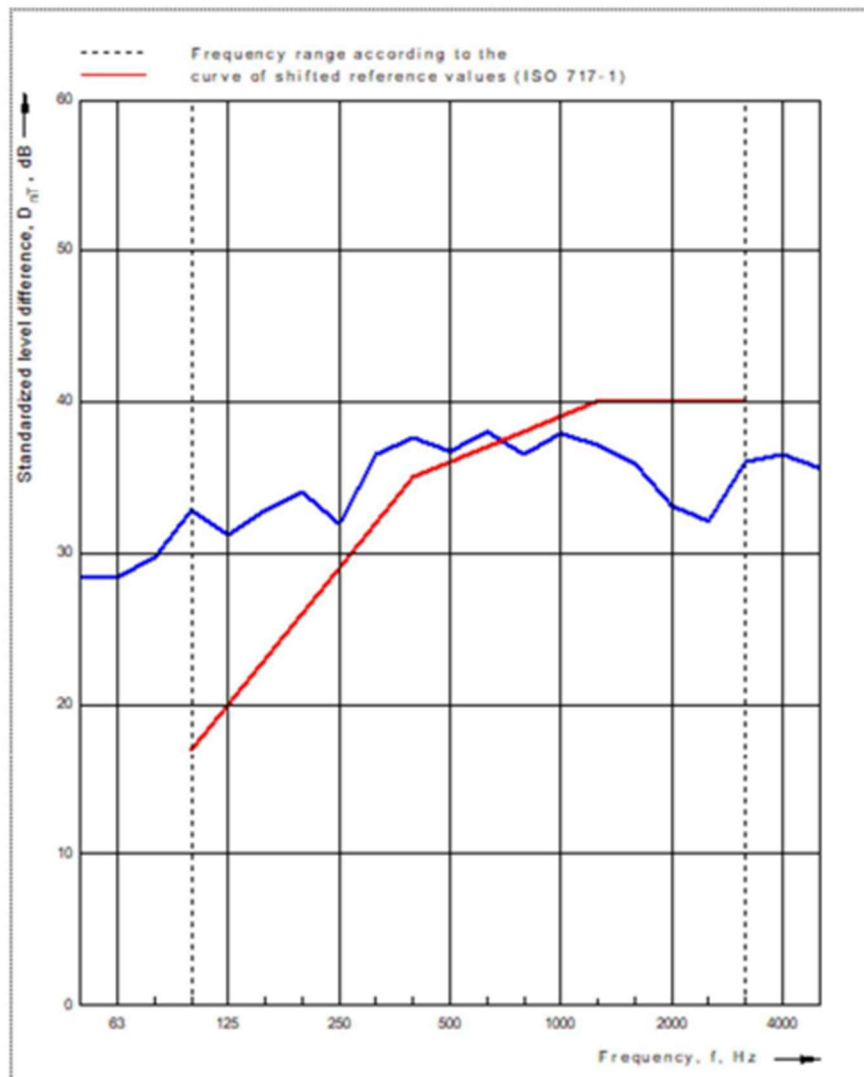
Mittaukset suoritettiin siitäkin huolimatta, ettei tutkittavat tilat olleet täysin valmiita. Ovien lukkojen asennukset olivat puutteelliset ja ovienkin asennuksessa havaittiin mahdollisia puutteita.

8.2 Tutkimustulosten pohdinta

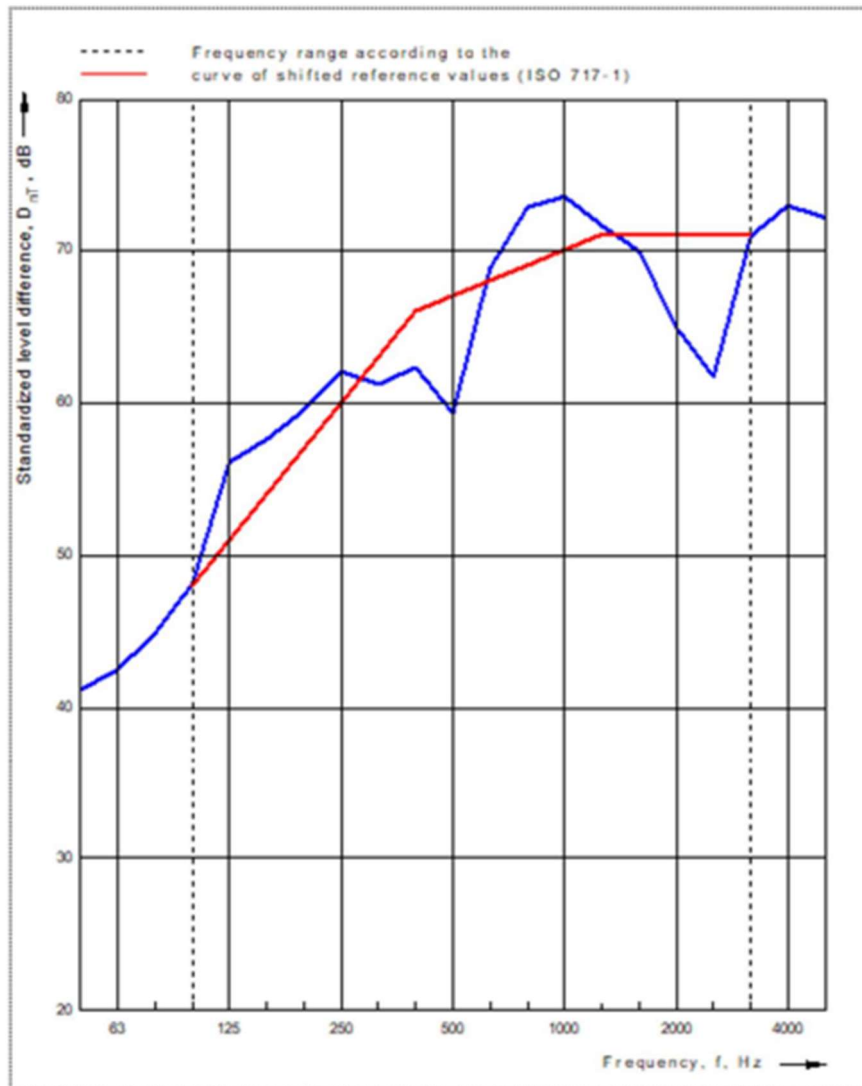
8.2.1 Rakenteiden ja ilmanvaihdon vaikutus tuloksiin

Kohteessa oli korkeat äänieristysvaatimukset. Soitonopetustilojen väliset ääneneristysvaatimukset ja askeläänieristys vaatimukset täyttyivät pääsääntöisesti. Soitonopetustilan ja käytävän välinen ääneneristävyysvaatimus ei täyttynyt ja tämän voidaan ajatella johtuneen siitä, että ovesta puuttui lukkohelat ja ovien tiivistys oli puutteellinen. Ovien tiivistyksen puutteellisuus havaittiin mittaustilanteessa, kun ovea painettiin kiinni.

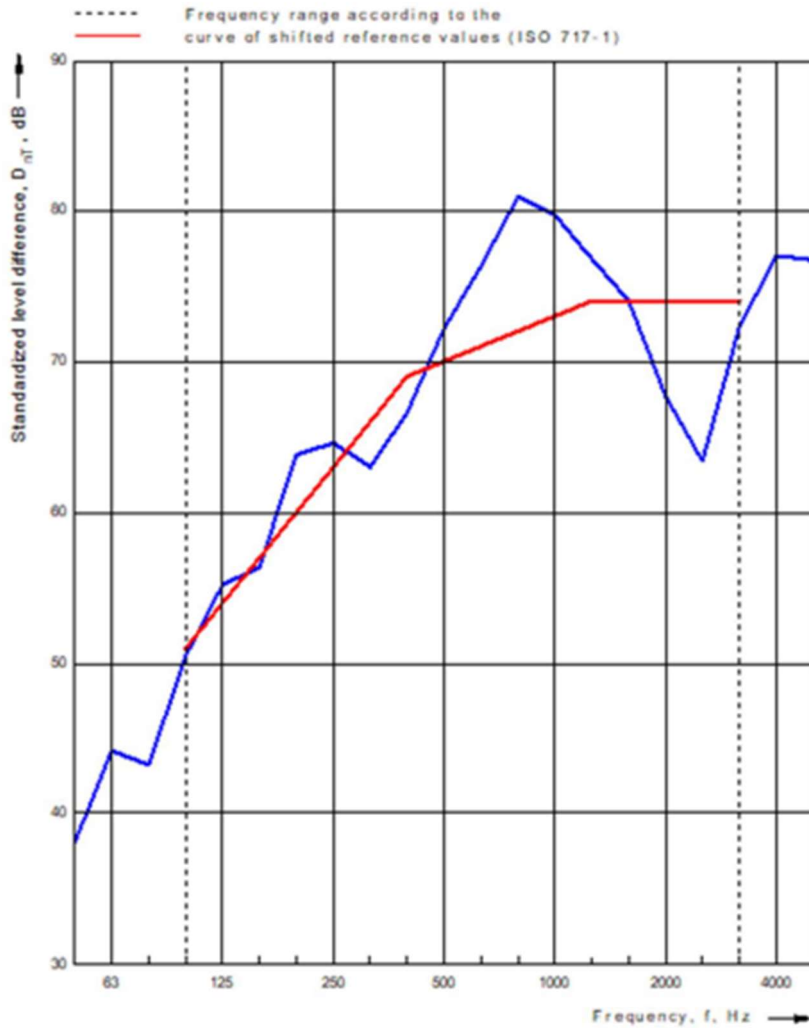
Kohteessa on kelluva lattia, (kantava betonirakenne, eristekerros, valettu betonikerros) jonka päällä pehmeä lattiapäällyste. Tällainen rakenne eristää hyvin askelääniä, tästä syystä askelääneneristävyysvaatimukset täyttyivät helposti. Vaadittuihin huoneidenvälisiin ääneneristävyksiin päästiin hyvien rakenteellisten ratkaisujen ansiota. Soitonopetustilan välinen seinä on kaksinkertainen rakenne, jonka välissä on ilmaväli. Kaksinkertainen rakenne eristää ääntä tehokkaasti. Ilmaväli on täytetty mineraalivillalla, jotta siihen ei syntyisi kaikukenttää. Tämä kaikukenttä heikentäisi rakenteen ääneneristävyttä. Seinärakenteen molemmin puolin on asennettu kolmikerroksinen kipsilevykerros. Näiden kipsilevyjen koinsidenssi raja-arvo on noin 2500 Hz. Kuvaajista 1, 2 ja 3 havaitaan, että ääneneristävydessä on selkeä vaimentuma juurikin tällä taajuusalueella ja tämän vaimentuman voidaan ajatella johtuvan koinsidenssi-ilmiöstä.



Kuvaaja 1. Tutkittavan tilan ja käytävän välinen mittaustulos kuvaajassa



Kuvaaja 2. Tutkittavan tilan ja K215 välinen mittaustulos kuvaajassa.



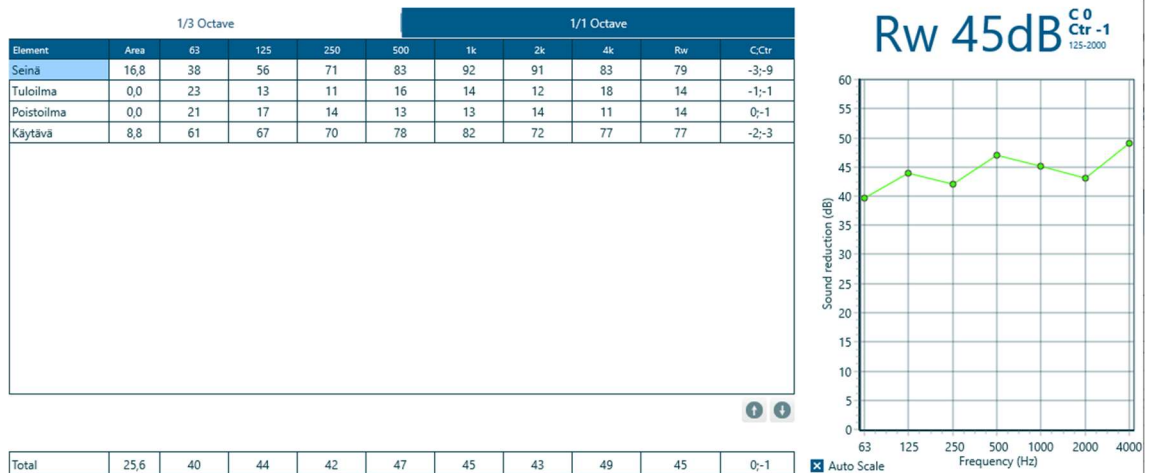
Kuvaaja 3. Tutkittavan tilan ja K217 välinen mittaustulos kuvaajassa.

Soittotilojen seinissä on käytetty muunneltavia akustisia rimaelementtejä. Näiden elementtien taustalevynä käytetyissä kipsilevyissä on taulukon 5 mukaisesti heikompi absorptiosuhde taajuudella 250 Hz. Tämä osittain selittää sen, ettei jälkikaiunta-aikatavoite täyttynyt kyseisellä taajuudella.

	t mm	o.d.s. mm	α_p , Todellinen äänenvaimennuskerroin						α_w	Absorptioluokka
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		
Akutex FT	40	43	0.20	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	A
Texona	40	43	0.15	0.65	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	A
Super G	40	43	0.15	0.65	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	A

Taulukko 5. Texona kipsilevyn äänenvaimennuskerroin/absorptiosuhde. Saint-Gobain Finland Oy 2021)

Ilmanvaihdon osalta voidaan todeta, että käytetyt äänenvaimentimet ovat riittävät. Vertaamalla kuvia 6 ja 8 voidaan todeta, että laskennalliset tulokset äänenvaimentimilla ja ilman eroavat suuresti toisistaan.



Kuva 8. Tilojen K216 ja K217 välinen laskennallinen ääneneristävyys ilman äänenvaimentimia.

8.2.2 Lisätutkimukset

Kohteeseen suoritettiin lisätutkimuksia sillä laskennallisten ja mitattujen tulosten sekä tutkittavan soittuhuoneen ja sen viereisten tilojen välillä oli eroavaisuuksia. Tutkimme mahdollisia ilmavuotoja rakenteissa, koska näiden ajattelimme selittävän sitä, että mitatut tulokset olivat laskennallisia tuloksia heikompia ja, että tilojen K215 ja K217 välillä oli 3 dB ero.

Tutkimuksessa havaittiin, että kuvassa 9 esitetyissä pistorasioissa on jonkin verran äänivuotoa. Tämä osaksi selittää sen, että laskennallisten ja mitattujen tulosten välillä oli eroavaisuutta.

Lisäksi, kuten taulukosta 4 nähdään tutkittavan tilan ja tilojen K215 ja K217 välillä on 3 dB ero, vaikka tilat ja niiden väliset rakenteet sekä ilmanvaihto ovat lähes identtisen. Lisätutkimuksissa huomattiin, että pistorasioiden lisäksi tilojen K216 ja K215 välillä on ATK-pistoke, jossa havaittiin myös äänivuotoa. Tämä voi selittää mitattujen tulosten eroavaisuutta.



Kuva 9. Valokuvat pistokkeista, joissa havaittiin äänivuotoja.

9 Lähteet

- A-Insinöörit Suunnittelu Oy. 2018. Carelia-talon laajennus. Hankeselvityksen akustiikkaselostus.
- FläktGroup. 2021. Suutinhajotin DYKH/DYCH + Tasauslaatikko ATTS - Tekninen esite. FläktGroup Oy.
<https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/09594afa-965d-49ee-a94d-3e6a581f396c?search=0>. 15.10.2021.
- FläktGroup. 2021. Poistoilmaventtiilit KSO, KSOV ja KSOS – Tekninen esite. FläktGroup Oy.
<https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/13b00a3e-e236-4447-a043-0a5921698924?search=0>. 15.10.2021.
- Kylliäinen, Mikko. 2006. Talonrakentamisen akustiikka. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennetekniikan laitos.
- Lahtela, Tero. 2004. Ääneneristys puutalossa. Puurakenteisen asuinrakennuksen ääneneristävyden suunnitteluohje. Wood focus OY.
- Lietzén, J. & Kylliäinen, M. 2018. Askeläänieristävyden Round Robin -testi 2018.
- Lietzén, J. & Kylliäinen, M. 2016. Ilmääneneristävyden Round Robin -testi 2016.
- Lindab. 2021. Pyöreät äänenvaimentimet – Tekninen esite. Oy Lindab Ab.
[ESITE_PVA \(lindab.com\)](https://www.lindab.com/ESITE_PVA). 15.10.2021.
- RT 103190. Akustiikkasuunnittelun tehtäväluettelo AKU18. Helsinki. RAKLI ry ja Rakennustietosäätiö RTS. 2020.SFS-EN ISO 3382-2. Akustiikka.
- RT 56-10815. 2004. Ilmanvaihtolaitteet asuinrakennuksessa äänitekniinen suunnittelu. Rakennustietosäätiö.
- Saint-Gobain Finland Oy. 2021. Ecophon Akusto™ Wall A – Tekninen esite. Saint-Gobain Finland Oy.
<https://www.ecophon.com/fi/ecophon/wall-applications/akusto/akusto-wall-a2/>. 15.10.2021.
- SFS-EN ISO 16283-2:2020. Acoustics. Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation.
- SFS-EN ISO 16283-1:2014/A1:2017. Acoustics. Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation. Amendment 1.
- SFS-EN ISO 3382-1 Acoustic. Measurement of room acoustic parameters. Part 1: performance spaces (ISO 3382-1:2009).
- SFS-EN ISO 717-1:2020:en. Acoustics. Rating of soundinsulation in buildings and ofbuilding elements. Part 1: Airbornesound insulation.
- SFS-EN ISO 717-2:2020:en. coustics. Rating of sound insulation inbuildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation.
- SFS-EN ISO 12354-1:2017 Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 1: Airborne sound insulation between rooms.
- Ympäristöministeriö. 2018. Ääniympäristö. Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. Helsinki: Ympäristöministeriö.



Ilma- ja askelääni sekä jälkikaiunta-aikamittausraportti

Joensuun konservatorio

2. kerros

mittaukset 11.9.2021

Ilmäänimittaukset

Kohteen tiedot

Osoite

Yliopistokatu 2, 80100, Joensuu

Tilaaaja

Lujatalo Oy, projektipäällikkö Erno Olkkonen

Tavoitteet

Mittausten tavoitteena on varmentaa akustiikkaselostuksessa määritettyjen akustisten raja-arvojen toteutuminen.

Tekijät

Tommi Laatikainen ja Oula Suvanto, opiskelija Karelia AMK

Mittaus päivämäärä

11.9.2021

Kuvaus kohteesta

Kohde on Carelia-rakennuksen yhteyteen rakennettu konservatoriorakennus, joka sisältää soitonopetukseen tarkoitettuja tiloja, toimistotiloja sekä kaksi konserttisalia.

Kohde on akustisesti haastava ja akustisille ominaisuuksille määritetyt raja-arvot ylittävät normaalit suositukset.

Mittauksessa tutkittiin vierekkäin sijoitettuja soitonopetustiloja, joille on määritetty seuraavat akustiset tavoitteet:

Äänitasoeroluku $D_{nT,w}$

muihin tiloihin ≥ 65 dB

käytävälle ≥ 39 dB

Askeläänitasoluku $L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$

≤ 43 dB

Jälkikaiunta-aika

0,3...0,7 s

Menetelmät

Väliseinien äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ mitattiin standardin SFS-EN ISO 16283-1:2014/A1:2017 mukaisesti ja tulokset esitettiin standardin SFS-EN ISO 16283-2:2020 mukaisesti.

Opetustilan lattian askeläänitasoluku $L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$ mitattiin standardin SFS-EN ISO 16283-2:2020 mukaisesti ja tulokset esitettiin standardin SFS-EN ISO 717-2:2020 mukaisesti.

Jälkikaiunta-aika mitattiin ja tulokset esitettiin standardin SFS-EN ISO 3382-2 mukaisesti.

Äänitasoerolukua $D_{nT,w}$ mitattaessa soitonopetustilasta mitattiin ensiksi jälkikaiunta-aika sekä taustamelu. Tämän jälkeen äänilähde vietiin lähettäviin tiloihin, joissa sillä soitettiin pink noicea ja tilan äänenpainetaso mitattiin. Tämän jälkeen siirryttiin soitonopetustilaan ja mitattiin rakenteiden läpi tuleva äänenpainetaso käyttäen samaa äänenpainetasoa kun lähettävässä tilassa mitattaessa. Kaiutin sijoituksia lähettävässä tilassa oli kaksi ja vastaanottavassa tilassa liikkuvia mikrofoni sijoituksia yksi.

Askeläänimittauksissa mittauskohteena oleva soitonopetustila toimi lähettävänä huoneena, joten myös sen alla olevasta tilasta mitattiin jälkikaiu sekä taustamelu. Tämän jälkeen askeläänikone sijoitettiin lähettävässä tilassa 4 eri paikkaan ja lattiarakenteen läpi tuleva melu mitattiin vastaanottavassa tilassa yhdellä eri mikrofonisijoituksella.

Jälkikaiunta-aika mitattiin myös erikseen käyttäen 2 eri kaiutin sijoitusta ja 6 eri mikrofonin paikkaa ja näin ollen tilasta otettiin yhteensä 12 näytettä. Jälkikaiunta-ajan tulokset esitetään mittauksien keskiarvojen mukaan oktaavikaistoilla 250, 500, 1000 ja 2000 hertsiä.

Mittaukset suoritettiin NorSonicin Nor140 mittauslaitteella. Äänilähteenä toimi Nor276 6 elementtinen puolipallokaiutin ja vahvistimena Nor280.

Huomautukset:

Mitattavien tilojen ovien lukoissa ei ollut helat paikallaan ja tämä voi vaikuttaa tuloksiin heikentävästi.

Mittausten toistettavuus on +/- 1,5 dB luokkaa. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka mittaus itsessään on tarkka niin huonekalujen paikat, mittaajien sijoittuminen, irtotavarat ja vastaavat seikat voivat vaikuttaa siihen, ettei mittausta toistettaessa välttämättä päästä täysin samaan lopputulokseen. Tätä mittausta toistettaessa oletettu ero mittausten välillä on +/-1,5 dB.

Tiloja erottavien rakenteiden pinta-alat ja tilojen tilavuudet on tarkastettu sekä pohjakuvista, että mitattu paikan päällä.

Tulokset

K216 ja käytävän väliseksi äänitasoeroluvuksi mitattiin:

$$D_{nT,w}(C;Ctr) = 36 (-1; 0) \text{ dB}$$

K216 ja K215 väliseksi äänitasoeroluvuksi mitattiin:

$$D_{nT,w}(C;Ctr) = 67 (-2; -4) \text{ dB}$$

K216 ja K217 väliseksi äänitasoeroluvuksi mitattiin:

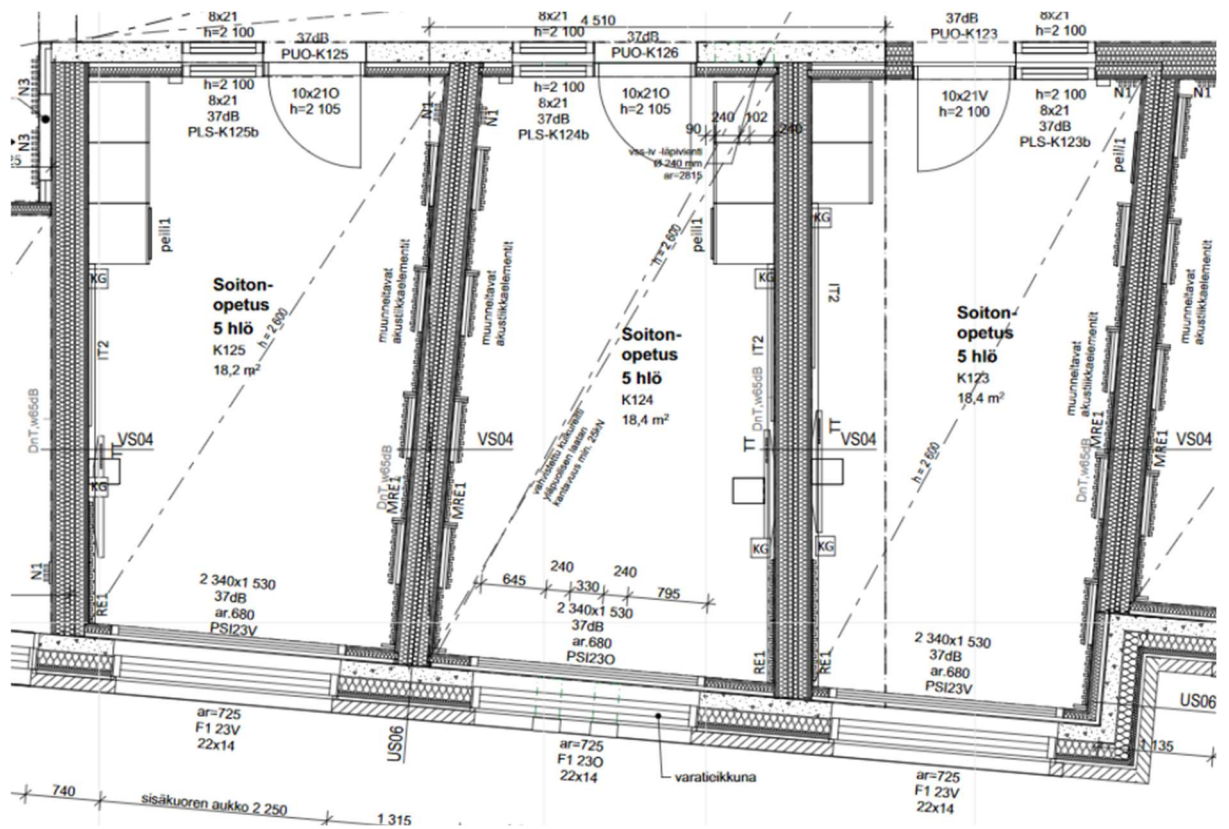
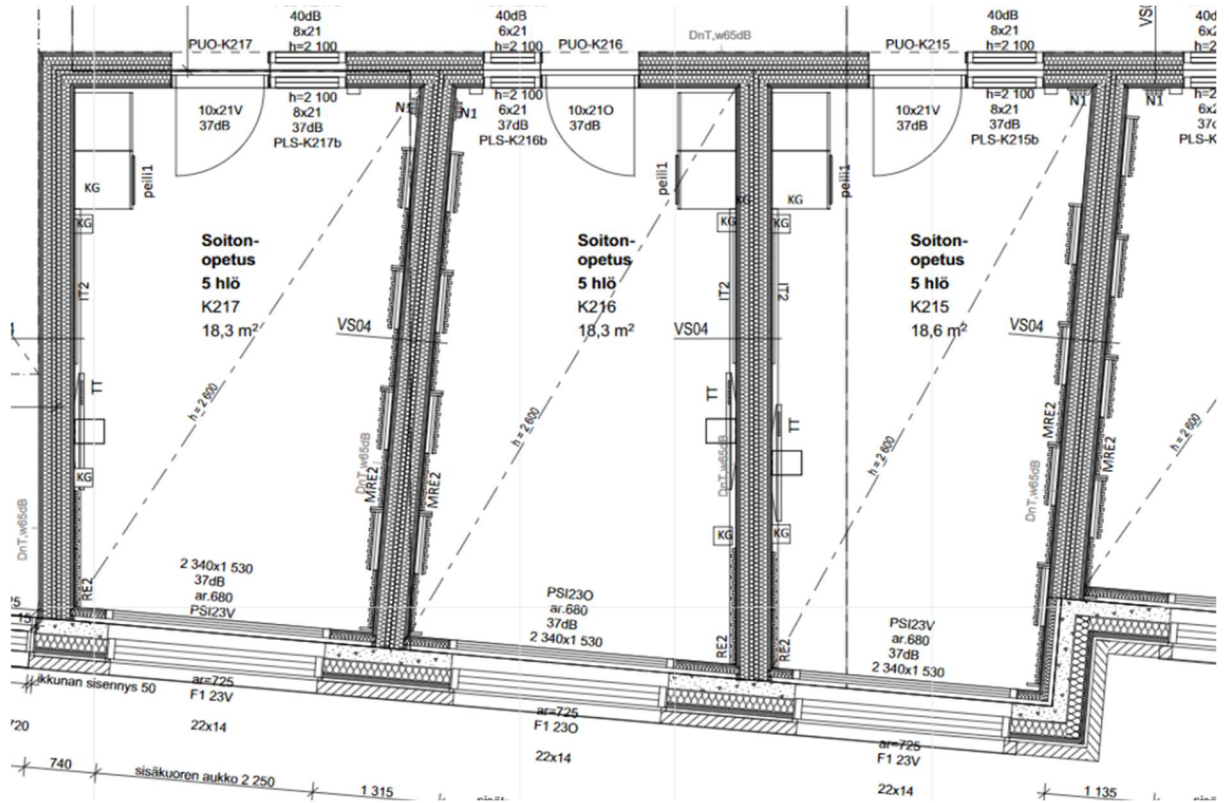
$$D_{nT,w}(C;Ctr) = 70 (-2; -4) \text{ dB}$$

K216 ja K124 väliseksi askeläänitasoluvuksi mitattiin:

$$L'_{nT,w}(CI) = 24 (-8) \text{ dB}$$

K216 jälkikaiunta-ajaksi mitattiin:

Taajuus (hertsiä)	Jälkikaiunta-aika (sekuntia)
250	0,76
500	0,32
1000	0,34
2000	0,42



Ilmaäänimittausten tulokset kuvaajassa ja taulukoissa

Standardized level difference according to ISO 16283-1

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client: Lujatalo Oy

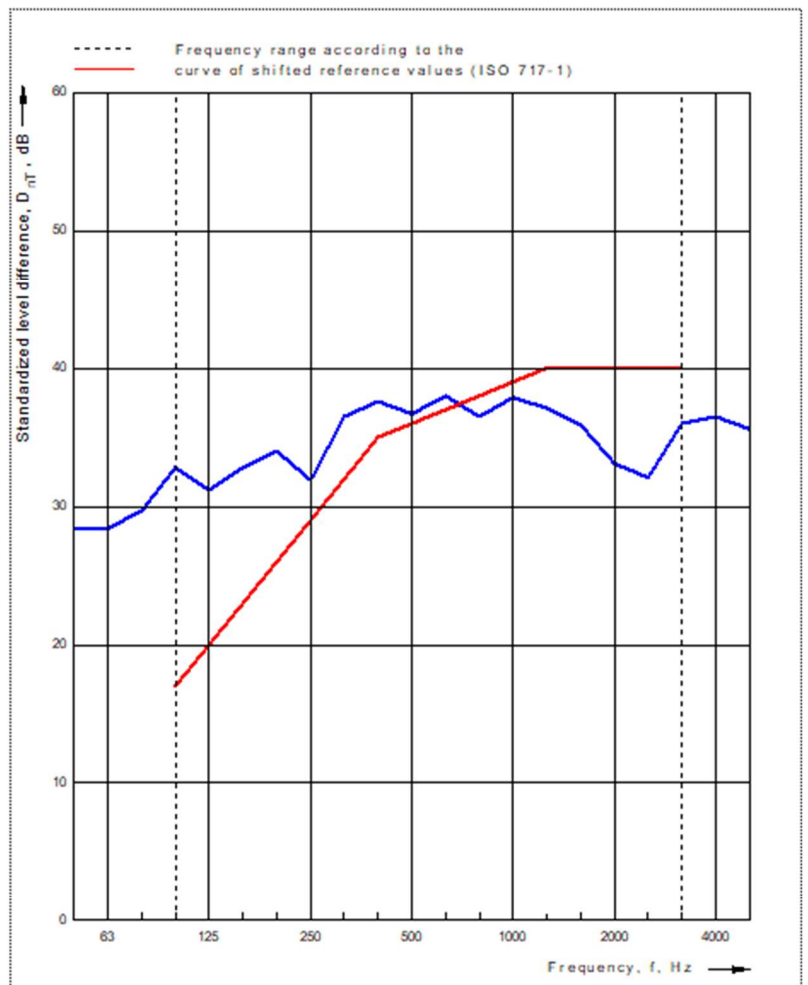
Date of test: 11.9.2021

Description: Ilmaääneneristävyyssmittaukset konservatoriorakennuksen 2-kerroksessa.

Object: K216 - Käytävä

Area of common partition: 8,80 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 52,2 m³

Frequency f [Hz]	D _{nT} 1/3 octave [dB]
50	28,4
63	28,4
80	29,7
100	32,8
125	31,2
160	32,8
200	34,0
250	31,9
315	36,5
400	37,6
500	36,7
630	38,0
800	36,5
1 000	37,9
1 250	37,1
1 600	35,9
2 000	33,1
2 500	32,1
3 150	36,0
4 000	36,5
5 000	35,6



Rating according to ISO 717-1

$D_{nT,w}(C;C_{tr}) = 36 (-1; 0) \text{ dB}$

Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

$C_{50-3150} = -1 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -1 \text{ dB}$

$C_{50-5000} = -1 \text{ dB}$

$C_{tr,50-5000} = -1 \text{ dB}$

$C_{100-5000} = -1 \text{ dB}$

$C_{tr,100-5000} = -1 \text{ dB}$

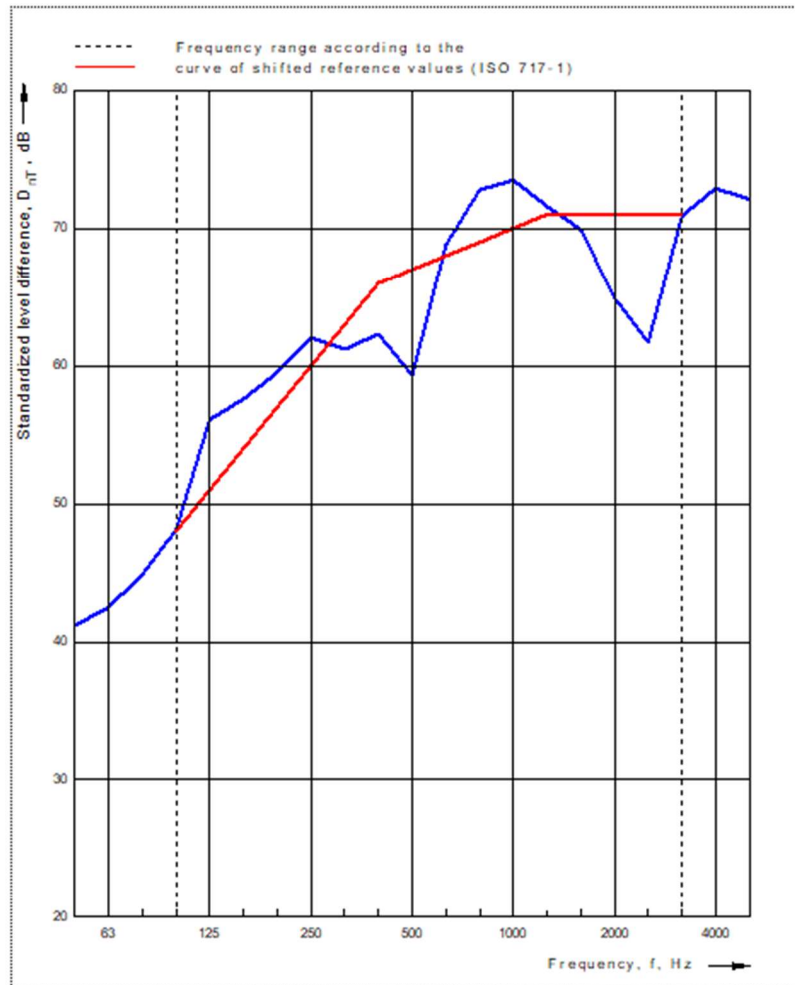
Standardized level difference according to ISO 16283-1

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:	Lujatalo Oy	Date of test:	11.9.2021
Description:	Ilmaääneneristävyyssmittaukset konservatorion 2-kerroksessa.		
Object:	K216 - K215		

Area of common partition: 17,70 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 52,2 m³

Frequency f [Hz]	D _{nT} 1/3 octave [dB]
50	41,2
63	42,5
80	44,9
100	48,1
125	56,1
160	57,6
200	59,5
250	62,0
315	61,2
400	62,3
500	59,3
630	68,8
800	72,8
1 000	73,5
1 250	71,6
1 600	69,9
2 000	64,9
2 500	61,7
3 150	70,9
4 000	72,9
5 000	72,1



Rating according to ISO 717-1

$D_{nT,w}(C;C_{tr}) = 67$ (-2; -4) dB

Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

$C_{50-3150} = -3$ dB

$C_{tr,50-3150} = -8$ dB

$C_{50-5000} = -2$ dB

$C_{tr,50-5000} = -8$ dB

$C_{100-5000} = -1$ dB

$C_{tr,100-5000} = -4$ dB

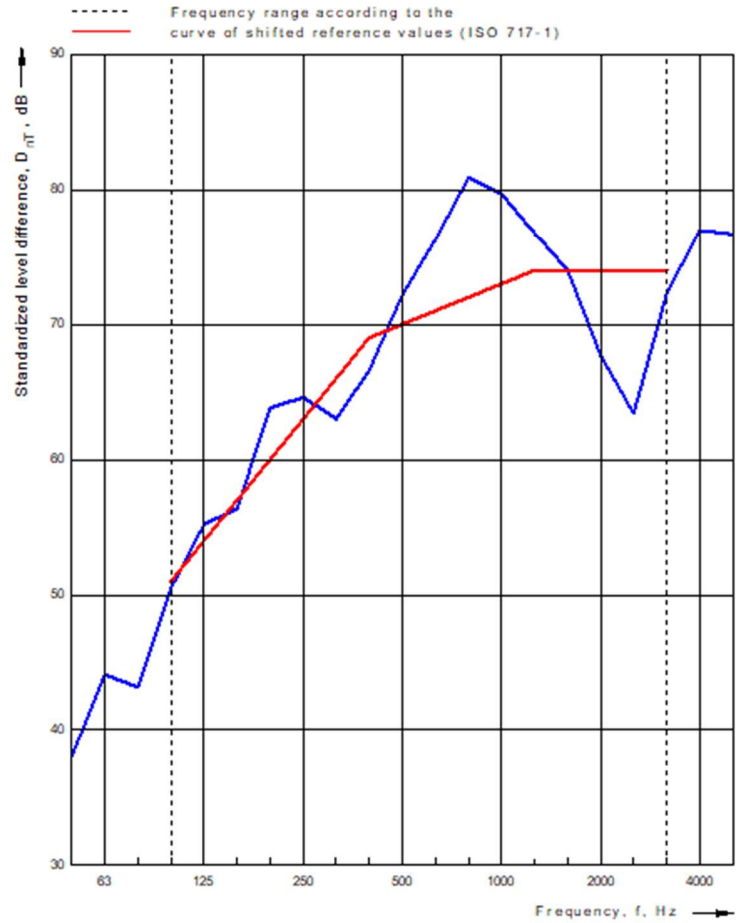
Standardized level difference according to ISO 16283-1

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client: Lujatalo Oy Date of test: 11.9.2021
 Description: Ilmaääneneristävyyssmittaukset konservatorion 2-kerroksessa.
 Object: K216 - K17

Area of common partition: 16,80 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 52,2 m³

Frequency f [Hz]	D _{nT} 1/3 octave [dB]
50	38,1
63	44,1
80	43,2
100	50,5
125	55,2
160	56,4
200	63,8
250	64,6
315	63,0
400	66,6
500	72,2
630	76,3
800	80,9
1 000	79,7
1 250	76,8
1 600	74,0
2 000	67,7
2 500	63,4
3 150	72,3
4 000	77,0
5 000	76,7



Rating according to ISO 717-1

$D_{nT,W}(C;C_{tr}) = 70 (-2; -4)$ dB

Evaluation based on field measurement results obtained
 in one-third-octave bands by an engineering method.

$C_{50-3150} = -3$ dB

$C_{50-5000} = -2$ dB

$C_{100-5000} = -1$ dB

$C_{tr,50-3150} = -11$ dB

$C_{tr,50-5000} = -11$ dB

$C_{tr,100-5000} = -4$ dB

Standardized impact sound pressure levels according to ISO 16283-2

Field measurements of impact sound insulation of floors

Client: Lujatalo Oy

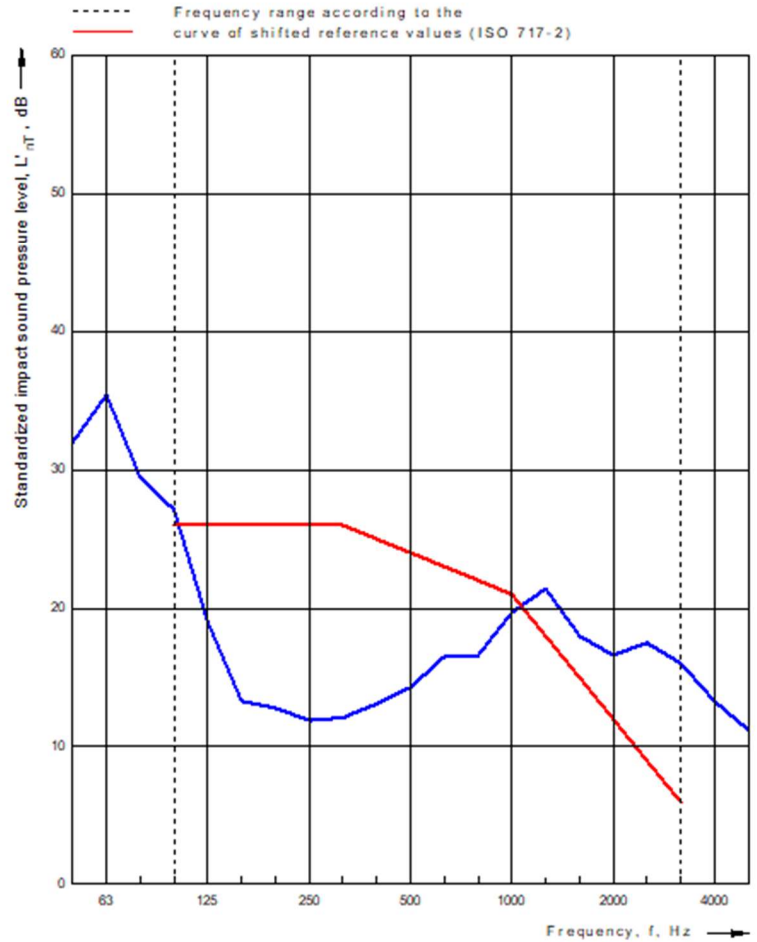
Date of test: 11.9.2021

Description: Askelääneneristävyyssmittaukset konservatorion 1. ja 2. kerroksen välillä

Object: K216 - K124

Source room volume: m³
 Receiving room volume: m³

Frequency f [Hz]	L' _{nT} 1/3 octave [dB]
50	32,0
63	35,4
80	29,4
100	27,1
125	19,0
160	13,3
200	12,8
250	11,9
315	12,1
400	13,1
500	14,3
630	16,5
800	16,6
1 000	19,7
1 250	21,4
1 600	18,0
2 000	16,6
2 500	17,5
3 150	16,0
4 000	13,3
5 000	11,2



Rating according to ISO 717-2

L'_{nT,w}(C_f) = 24 (-8) dB

Evaluation based on field measurement results obtained
 in one-third-octave bands by an engineering method.

C_{1,50-2500} = 0 dB

Jälkikaiunta-aika taulukossa taajuuskaistoittain

Frequency [Hz]	Average			NOR140_8165			NOR140_8165			NOR140_8165			NOR140_8165			NOR140_8165			NOR140_8165			NOR140_8165			NOR140_8165			NOR140_8165		
	T avg	SD	N	T	S	N	T	S	N	T	S	N	T	S	N	T	S	N	T	S	N	T	S	N	T	S	N	T	S	N
50	0,72	0,20	12	0,80	1	0,46	?	1	0,63	1	0,81	1	1,12	1	0,63	1	0,51	?	1	0,78	1	0,44	?	1	0,84	1	0,87	1	0,80	1
63	0,71	0,21	12	0,91	1	0,60	1	0,74	1	0,62	1	1,03	1	0,67	1	1,01	1	0,62	1	0,49	1	0,44	?	1	0,94	1	0,50	1	0,50	1
80	0,94	0,17	12	1,21	1	1,18	1	1,05	1	0,94	1	0,95	1	0,81	1	0,88	1	0,88	1	0,99	1	0,55	1	1,01	1	0,85	1	0,85	1	
100	0,83	0,15	12	0,99	1	0,73	1	0,75	1	0,80	1	0,70	1	0,84	1	0,60	1	0,93	1	1,16	1	0,81	1	0,74	1	0,96	1	0,96	1	
125	0,75	0,25	12	0,77	1	0,52	1	0,93	1	0,51	1	0,57	1	1,01	1	1,17	1	0,69	1	0,73	1	0,74	1	0,33	1	1,02	1	1,02	1	
160	0,76	0,23	12	0,74	1	0,38	1	0,75	1	1,31	1	0,67	1	0,76	1	0,76	1	0,94	1	0,47	1	0,79	1	0,78	1	0,80	1	0,80	1	
200	0,74	0,17	12	0,83	1	0,88	1	0,74	1	1,00	1	0,52	1	0,61	1	0,59	1	0,74	1	0,69	1	0,52	1	0,72	1	1,06	1	1,06	1	
250	0,76	0,14	12	0,89	1	0,68	1	0,59	1	0,73	1	0,71	1	0,63	1	0,77	1	0,71	1	0,69	1	0,73	1	0,88	1	1,11	1	1,11	1	
315	0,60	0,13	12	0,42	1	0,70	1	0,46	1	0,73	1	0,59	1	0,47	1	0,78	1	0,61	1	0,79	1	0,53	1	0,60	1	0,53	1	0,53	1	
400	0,48	0,09	12	0,60	1	0,52	1	0,50	1	0,37	1	0,46	1	0,62	1	0,35	1	0,42	1	0,43	1	0,41	1	0,55	1	0,49	1	0,49	1	
500	0,32	0,09	12	0,23	1	0,28	1	0,51	1	0,23	1	0,24	1	0,31	1	0,29	1	0,43	1	0,35	1	0,24	1	0,36	1	0,34	1	0,34	1	
630	0,24	0,03	12	0,25	1	0,26	1	0,24	1	0,21	1	0,27	1	0,24	1	0,21	1	0,24	1	0,24	1	0,19	1	0,27	1	0,21	1	0,21	1	
800	0,29	0,04	12	0,31	1	0,21	1	0,24	1	0,30	1	0,32	1	0,26	1	0,32	1	0,32	1	0,27	1	0,33	1	0,27	1	0,32	1	0,32	1	
1 000	0,34	0,04	12	0,34	1	0,30	1	0,34	1	0,33	1	0,39	1	0,35	1	0,33	1	0,40	1	0,35	1	0,39	1	0,28	1	0,32	1	0,32	1	
1 250	0,37	0,07	12	0,34	1	0,32	1	0,44	1	0,32	1	0,52	1	0,39	1	0,31	1	0,31	1	0,37	1	0,42	1	0,40	1	0,32	1	0,32	1	
1 600	0,35	0,06	12	0,36	1	0,28	1	0,37	1	0,26	1	0,29	1	0,41	1	0,38	1	0,33	1	0,40	1	0,39	1	0,44	1	0,29	1	0,29	1	
2 000	0,42	0,06	12	0,37	1	0,38	1	0,42	1	0,43	1	0,44	1	0,50	1	0,36	1	0,40	1	0,42	1	0,56	1	0,38	1	0,39	1	0,39	1	
2 500	0,47	0,05	12	0,37	1	0,51	1	0,55	1	0,45	1	0,52	1	0,54	1	0,48	1	0,47	1	0,47	1	0,43	1	0,41	1	0,43	1	0,43	1	
3 150	0,50	0,06	12	0,49	1	0,45	1	0,62	1	0,45	1	0,50	1	0,57	1	0,44	1	0,48	1	0,55	1	0,48	1	0,48	1	0,44	1	0,44	1	
4 000	0,50	0,03	12	0,43	1	0,50	1	0,48	1	0,52	1	0,57	1	0,54	1	0,48	1	0,49	1	0,51	1	0,48	1	0,51	1	0,50	1	0,50	1	
5 000	0,49	0,05	12	0,45	1	0,46	1	0,48	1	0,50	1	0,61	1	0,53	1	0,44	1	0,50	1	0,49	1	0,45	1	0,48	1	0,52	1	0,52	1	

Legend:

T avg: Average reverberation time [s]
SD: Standard deviation
N: Number of averages

T: Reverberation time [s]
S: Status character

Possible status characters:

H: Manual Input
*: Overload
?: Suspicious value