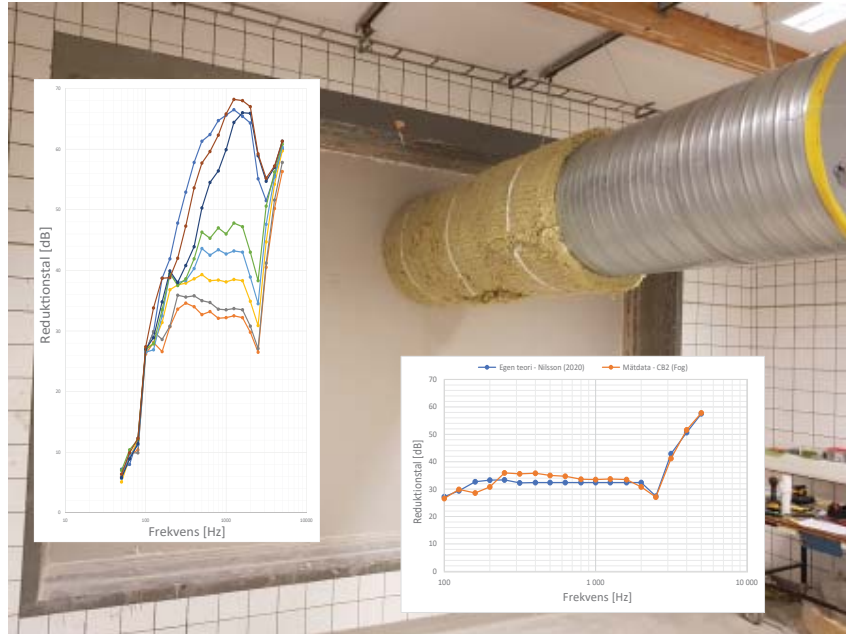




LUND
UNIVERSITY



HUR GENOMFÖRING AV VENTILATIONSKANALER PÅVERKAR LÄTTREGELVÄGGARS LJUDISOLERING

En analys av huruvida befintlig teori stämmer överens med mätdata

ERIK NILSSON

Engineering
Acoustics

Master's Dissertation

DEPARTMENT OF CONSTRUCTION SCIENCES
DIVISION OF ENGINEERING ACOUSTICS

ISRN LUTVDG/TVBA--20/5060--SE (1-179) | ISSN 0281-8477

MASTER'S DISSERTATION

HUR GENOMFÖRING AV VENTILATIONSKANALER PÅVERKAR LÄTTREGELVÄGGARS LJUDISOLERING

En analys av huruvida befintlig teori stämmer
överens med mätdata

ERIK NILSSON

Supervisors: **DELPHINE BARD**, Associate Professor, Div. of Engineering Acoustics, LTH, Lund,
together with **EVA SJÖDAHL** and **JOAKIM THILÉN**, Tyréns AB.

Assistant Supervisor: Dr **NIKOLAOS VARDAXIS**, Div. of Engineering Acoustics, LTH, Lund.

Examiner: Dr **ERLING NILSSON**, Div. of Engineering Acoustics, LTH, Lund.

Copyright © 2020 by Division of Engineering Acoustics,
Faculty of Engineering LTH, Lund University, Sweden.

Printed by V-husets tryckeri LTH, Lund, Sweden, May 2020 (*PI*).

For information, address:

Division of Engineering Acoustics,
Faculty of Engineering LTH, Lund University, Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden.

Homepage: www.akustik.lth.se

Sammanfattning

När en ventilationskanal går igenom en ljudklassad vägg kommer reduktionstalet för skiljekonstruktionen att försämrans då ljud kan överföras från det ena till det andra rummet via ventilationskanalen. För att förhindra en försämring av skiljekonstruktionens reduktionstal, vilket är syftet med den här studien, kan flertalet åtgärder tillämpas på kanalen. Tre ljudklassade väggar kombinerades med tre olika ventilationskanaler, två cirkulära och en rektangulär med olika dimensioner där mätningar i laboratorium utfördes för att bestämma vilka åtgärder som var nödvändiga för respektive kombination för att uppnå syftet.

Till mätresultatet jämfördes tre befintliga teorier för se undersöka deras giltighet. Mätningar i laboratorium visade att åtgärder som fogning och svepning med stenull uppfyller syftet. För de cirkulära kanalerna ser man att väggens förmåga att reducera ljud minskas med ökad dimension på kanalen och att större åtgärder behövs. Därtill behövdes även större åtgärder tillämpas när väggens ljudklass ökar. För kombination av den högsta ljud-klassade väggen och den största cirkulära kanalen, krävdes svepning med 100 mm tjock stenull med densitet på 100 kg/m^3 .

Den befintliga teorin är bristfällig för att beskriva hur cirkulära ventilationskanaler påverkar en väggs reduktionstal. Teorin följer delvis mätdata för den lägsta ljudklassade väggen med den minsta kanaldimensionen men blir allt sämre med ökade krav och storlek. Därtill kan inte tydliga samband ses för samtliga frekvenser. Däremot stämmer teorin som beskriver rektangulära kanaler bättre och samband kan ses för samtliga frekvenser.

Eftersom den befintliga teorin är bristfällig har försök gjorts för att ta fram en egen teori. För cirkulära kanaler har samband tagits fram utifrån mätdata med tidigare teori som guide. För rektangulära kanaler har däremot den befintliga teorin anpassats så att den bättre stämmer överens med mätdata. Tillämpning av den egna teorin vilket benämns som Nilsson (2020) visar på snarlika resultat vid jämförelse mot mätdata. Även anpassningen för den rektangulära kanalen stämmer bättre överens för samtliga kombinationer.

Med anpassning av den befintliga teorin för rektangulära kanaler samt en egen framtagen teori enligt Nilsson (2020) kan en ventilationskanals påverkan av reduktionstalet för en lättregelvägg beskrivas med konkreta samband, vilket kan användas vid projektering. Däremot ska beaktande initialt tas vid tillämpning av sambanden tills fler undersökningar görs i syfte att validera respektive parameters inverkan.

Abstract

When a ventilation duct passes through a sound-classified wall, the sound reduction index for the combined wall will deteriorate as sound can be transmitted from one room to another via the ventilation duct. In order to prevent a deterioration of the sound reduction index, which is the purpose of the report, several measures can be applied to the duct. Three sound-classified walls are combined with three different ventilation ducts, two circular and one rectangular with different dimensions, where laboratory measurements have been performed to determine what measures that are needed for each combination to achieve the purpose.

For the measurement result, three existing theories have been compared to see if they match reality. Measurements in the laboratory shows that measures such as sealant and sweeping with rock wool fulfill the purpose. For the circular ducts, the walls ability to reduce noise is reduced with increased dimension of the duct and greater measures are needed. In addition, larger measures were required when the sound class of the wall increases. For the combination of the highest sound-classified wall and the largest circular duct, sweeping with 100 mm thick rock wool with a density of 100 kg/m^3 was required.

The existing theory is inadequate to describe how circular ventilation ducts affect a wall's reduction index. The theory partly follows the measurement data for the lowest sound-classified wall with the smallest dimension of the duct, but deteriorates with increased classifications of the wall and sizes of the duct. In addition, distinct relationships cannot be seen for all frequencies. In contrast, the theory that describes rectangular ducts is more accurate and a relationship can be seen for all frequencies.

As the existing theory is flawed, attempts have been made to develop an own theory. For circular ducts, relationships have been developed based on measurement data with previous theory as a guide. For rectangular ducts, on the other hand, the existing theory has been adapted to better match the measurement data. Application of the own theory, which is referred to as Nilsson (2020), shows similar results when compared to measurement data. The adaptation for the rectangular duct is also better matched for all combinations.

By adapting the existing theory for rectangular ducts and a proprietary theory according to Nilsson (2020), a ventilation ducts influence of the sound reduction index for a composite wall can be described by a number of equations, which can be used in projecting. However, consideration should initially be taken when applying the equations until more investigations are done to validate the effect of the respective parameters.

Acknowledgements

Examensarbetet omfattar 30 högskolepoäng och är skrivet på avdelningen för Teknisk akustik, Lunds tekniska högskola samt akustikavdelningen på Tyréns AB, Malmö.

Jag vill ge ett stort tack till min handledare Delphine Bard som har gett mig feedback och hjälpt mig färdigställa mitt examensarbete, Nikolas Vardaxis som har hjälpt till vid mätningarna i laboratoriet och till Jessica Dahlström som har hjälpt mig med logistiken. Jag vill även tacka mina handledare Eva Sjö Dahl och Joakim Thilén på Tyréns AB som har gett sin support och feedback under hela arbetets gång.

Vidare vill jag rikta ett stort tack till de företag som sponsrat med material, utan er hade projektet inte varit genomförbart. Tack till Gyproc och Peter Jakobsson (Technical Specification Sales) som har sponsrat med gipsskivor, stålreglar och stålskenor. Tack till Lindab Ventilation AB i Greve och speciellt Patrik Svensson (Regional Op. Manager, Fabrikschef), Thimmie Persson (Chef kundtjänst) och Magnus Jacobsson (Marknadschef Ventilation) som har sponsrat med ventilationskanaler, kopplingar och tillbehör. Tack till Saint-Gobain Sverige och framförallt Per Ferm (Product Manager Technical Insulation Nordic & Baltikum), Daniel Odby (Regional Product Manager Building Insulation Nordic & Baltikum), Marcus Dehlin (Technical support) och Marie Jay (Quality and Acoustic Board Competence Center Manager) som har sponsrat med glasull till lättregelväggen och stenull till ventilationskanalerna.

Sist vill jag rikta ett tack till min familj och speciellt min kära flickvän för all support och uppmuntrande ord under resans gång.

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Inledning	1
1.2	Syfte och mål	2
1.3	Frågeställning	2
1.4	Disposition	2
1.5	Avgränsningar	3
1.6	Hypoteser	3
2	Teoretisk bakgrund	5
2.1	Hur ljud uppför sig i luft	5
2.2	Diffusa fält	5
2.3	Efterklangstid	6
2.3.1	Efterklangsrums	7
2.4	Luftljudsisolering	7
2.4.1	Akustiska storheter för bedömning av luftljudsisolering	7
2.4.2	Fält- och labbmätningar	9
2.4.3	Reduktionstal för sammansatta konstruktioner	9
2.4.4	Otätthets påverkan på ljudreduktionstalet	9
2.4.4.1	Ljudtransmission för en springa	10
2.5	Kanalers ljudreduktion	10
2.5.1	Break out	11
2.5.1.1	Break out för systemet	12
2.5.1.2	Överföringsförlust vid break out - Runda kanaler	12
2.5.1.3	Överföringsförlust vid break out - Rektangulära kanaler	13
2.5.1.4	Ljudeffekt till ljudtryck i mottagarrum	15
2.5.2	Break in	16
2.5.2.1	Break in för systemet	16
2.5.2.2	Överföringsförlust vid break in - Runda kanaler	17
2.5.2.3	Överföringsförlust vid break in - Rektangulära kanaler	18
2.5.2.4	Ljudeffekt till ljudtryck i sändarrum	19
2.5.3	Ljuddämpning i ventilationskanal	19
2.5.4	Omskrivning till reduktionstal - Runda kanaler	20
2.5.5	Omskrivning till reduktionstal - Rektangulära kanaler	23
2.5.6	Tillägg	24
2.6	Otätthet som ljudfälla	24
2.7	Notering	24
3	Experimentiell metod	25

3.1	Förutsättningar	25
3.2	Konstruktion	26
3.2.1	Vägg med ljudklass R'w=35 dB	27
3.2.2	Vägg med ljudklass R'w=44 dB	28
3.2.3	Vägg med ljudklass R'w=52 dB	28
3.3	Ventilationskanaler	29
3.4	Åtgärder	30
3.5	Uppställning	31
3.5.1	Mätning av efterklangstid	31
3.5.2	Mätning av luftljudsisolering	33
3.6	Mätförfarande/sekvens	35
3.6.1	Vägg med ljudklass R'w=35 dB	36
3.6.2	Vägg med ljudklass R'w=44 dB	38
3.6.3	Vägg med ljudklass R'w=52 dB	41
3.7	Utvärdering	43
4	Mätresultat	45
4.1	Mätresultat i laboratorium	45
4.1.1	Kombination 35/315	45
4.1.2	Kombination 35/630	47
4.1.3	Kombination 35/700x250	49
4.1.4	Kombination 44/315	51
4.1.5	Kombination 44/630	53
4.1.6	Kombination 44/700x250	55
4.1.7	Kombination 52/315	57
4.1.8	Kombination 52/630	59
4.1.9	Kombination 52/700x250	61
4.1.10	Validering av mätuppställning	63
4.2	Mätresultat i fält	63
5	Analys av mätresultat	65
5.1	Praktisk analys	65
5.1.1	Koppling mitt i vägg	65
5.1.2	Full svepning i endast sändar- eller mottagarrum	66
5.1.3	Påverkan av full svepning	68
5.2	Teoretisk analys	69
5.2.1	Teori för springläckage	69
5.2.2	Kanalers reduktionstal enligt befintlig teori	73
5.2.2.1	Reduktionstal för den sammansatta väggen	75
5.2.2.2	Tillämpning av befintlig teori för respektive kombination	75
6	Teori enligt Nilsson (2020)	83
6.1	Kanalers reduktionstal	83
6.1.1	Reduktionstal för cirkulära kanaler	84
6.1.2	Reduktionstal för svepta cirkulära kanaler	91
6.1.3	Reduktionstal för rektangulära kanaler	95
6.1.4	Reduktionstal för svepta rektangulära kanaler	99
7	Diskussion	103

7.1	Allmänt	103
7.2	Mätresultat	104
7.2.1	Koppling mitt i eller nära väggen	105
7.2.2	Vilket rum ger bäst effekt vid full svepning?	105
7.2.3	Springläckage	105
7.2.4	Ringfrekvensen	105
7.3	Befintlig teori	106
7.4	Teori enligt Nilsson (2020)	106
8	Slutsats	107
	Litteratur	109
A	Appendix	113
A.1	Kurvblad för mätningar i laboratorium	113
A.2	Ljudnivå i sändarrum	175
A.3	Efterklangstid i mottagarrum	176

Kapitel 1

Introduktion

1.1 Inledning

När en ventilationskanal går från ett rum till ett annat genom den innervägg som skiljer de båda rummen åt, försämras skiljekonstruktionens reduktionstal. Ljud som alstras i det ena rummet kan nu överföras till det andra rummet via ventilationskanalen vilket benämns som "break in" och "break out". Alan Cummings har spenderat en stor del av sin tid med flertalet publikationer kring detta ämne mellan 1970-2000 där han fokuserat på rektangulära kanaler och hur det lågfrekventa området påverkas. Vér (1983) har utvecklat metoder för att beräkna break in och break out för både rektangulära och cirkulära kanaler, vilket han byggt på flertalet tidigare publikationer samt beräkningar och experimentell data. Därefter har Reynolds (1990) publicerat omfattande metoder för hur break in och break out kan förutsägas vilket delvis verkar bygga på tidigare publikationer. Hans teorier är de som är enklast att applicera och utgör nästan en fullständig beskrivning av hur ljudet sprider sig mellan två rum via en ventilationskanal. Long (2006) har använt sig av teorier både från Vér (1983) och Reynolds (1990) och kombinerat dem till en sammansatt fullständig beskrivning av fenomenet.

Från 2006 har inga fler publikationer kommit kring detta ämne, därtill har endast ett fåtal mätningar på break out gjorts historiskt sett och det är fram tills nu osäkert hur kanaler ska projekteras så att de inte försämrar en väggs reduktionstal. Det finns idag främst teorier som beskriver hur mycket en kanal försämrar en väggs reduktionstal och inte vilka åtgärder som behövs för att minska ljudet från att överföras via ventiltionskanalen. Reynolds (1990) beskriver en teori om en utvändigt absorberande som kan täcka rektangulära kanaler men den är bristfällig.

Ett vanligt problem vid både projektering och byggfasen är genomföringar av olika installationer som orsakar springor eller hål i väggpartiet som inte gick att förutspå innan byggnation eller som utförts bristfälligt. Hål och framförallt springor har en betydande negativ effekt på en väggkonstruktions ljudklass (Einarsson & Svensson, 1987). Framförallt uppstår problem vid olika typer av genomföringar genom väggen som el-, VS- och ventilationskanaler. Vid mindre genomföringar som flertalet el- och VS-installationer är en vanlig åtgärd att foga kring kanalen och väggpartiet så att ljud inte kan sprida sig via luften till nästa rum. Denna åtgärd räcker normalt för mindre dimensioner. Vid större dimensioner som främst berör ventilationskanaler medför

genomföringen en försämring av väggens ljudreduktionstal om inte erforderliga åtgärder vidtas.

För att framtida projekt ska kunna projekteras säkrare kommer denna rapport byggas på omfattande mätdata där åtgärder prövas för olika kombinationer av kanaler och ljudklasser på väggar. Därtill kommer flertalet teorier jämföras med mätdata för att bedöma deras noggrannhet samt för att belysa eventuella brister.

Examensarbetet förväntas bidra till kunskapsutveckling genom att undersöka ett antal väggar med olika, vanligt förekommande, reduktionstal samt ventilationskanaler med ett antal olika dimensioner. Detta för att kunna få fram en enkel lista på väl fungerande lösningar vid installationsgenomföringar så att dessa inte försämrar skiljekonstruktionens reduktionstal. Vidare ämnar examensarbetet bidra till att fortsätta undersökningar görs på ämnet så att en fullständig åtgärdslista kan formuleras för flertalet kombinationer av väggtyper och dimensioner på ventilationskanaler eller så att tidigare teorier kan utvecklas för att bättre beskriva verkligheten.

1.2 Syfte och mål

Syftet med rapporten är att undersöka vilka åtgärder som krävs för att genomföring av ventilationskanaler inte ska försämma en väggs reduktionstal. Målet med rapporten är att analysera resultatet och dra slutsatser kring vilka åtgärder som krävs vid olika kombinationer av väggar och ventilationskanaler för att förhindra en försämring av väggens reduktionstal. Visionen med rapporten är att utveckla en beräkningsmetod för att kunna föreslå åtgärder redan vid projekteringsstadiet för varierande dimensioner på ventilationskanaler och olika ljudklasser på väggar.

1.3 Frågeställning

För att uppnå målet med rapporten måste först följande frågeställningar besvaras.

- Hur klassificeras en väggs luftljudsisolering och hur mäter man det?
- Har inverkan av springor och hål i en vägg stor betydelse för dess ljudreduktion och i så fall, hur stor är denna påverkan?
- Hur påverkar installationsgenomföringar en väggs ljudreduktionstal?
- Hur står sig den befintliga teorin mot verkligheten?
- Kan den befintliga teorin förbättras för att bättre stämma överens med verkligheten?

1.4 Disposition

Inledningsvis kommer en teoretisk studie göras för att beskriva de storheter och teoretiska metoder som övriga avsnitt kommer grunda sig i. En stor del av teorin kommer grunda sig i hur ljud överförs via ventilationkanalen som break in och break out.

Därefter beskrivs själva mätproceduren som på ett detaljerat sätt kommer gå igenom hur både själva mätprocessen har utförts och vad som förändras för varje kombination. En analys av mätvärdena presenteras och resultatet kommer tolkas mot olika teoretiska grunder. Avslutningsvis kommer en egen teoretisk analys att presenteras för att bättre koppla teorin till verkligheten.

1.5 Avgränsningar

Till en ventilationskanal tillkommer ofta olika typer av don som sprider eller suger luft från de rum de befinner sig i. En vanlig åtgärd för att minska ljud från att sprida sig mellan olika don är att placera en ljuddämpare i systemet eller att utforma kanaldragningen annorlunda. Det finns även ventilationsdon med högre egendämpning i sig vilket minskar spridningen av ljudet i ventilationskanalen. Denna undersökning kommer därav inte ta upp bidraget av ljudet som sprider sig via ventilationsdon utan endast fokusera på hur den faktiska genomföringen av en ventilationskanal genom en vägg påverkar dess ljudreduktionen.

Rapporten kommer vidare begränsa sig till att endast undersöka enklare samt ekonomiskt fördelaktiga åtgärder och därmed inte undersöka huruvida ljuddämpare dikt an vägg påverkar ljudreduktionen. Kanaldragningen ovanför ett tungt undertak med gipsskivor kommer därav inte heller undersökas.

Om en åtgärd vid mättillfället visar sig vara tillräcklig för att väggpartiet ska motsvara väggens ljudklassificering anses inte mer omfattande åtgärder vara nödvändiga för aktuell kombination av väggkonstruktion och ventilationskanal. Detta tas upp under avsnitt 3.6.

1.6 Hypoteser

Mätningar och beräkningar innehåller flertalet hypoteser och antaganden vilka beskrivs löpande i texten.

Kapitel 2

Teoretisk bakgrund

2.1 Hur ljud uppför sig i luft

Ljudvågor kan sprida sig som en longitudinell våg i luften genom att luftpartiklar rör sig fram och tillbaka i samma riktning som ljudet strålar. Resultatet av denna rörelse blir en liten temporär skillnad i lufttryck jämfört med det statiska trycket vilket människans öron kan uppfatta och som vardagligen beskrivs som ljud (Hopkins, 2007). Ljudvågor kan också utbreda sig som sfäriska eller cylindriska vågor (Wallin, Bodén, Carlsson, Åbom & Glav, 1999). Hur snabbt en våg kan utbreda sig i luften benämns som ljudets hastighet, c_0 , i m/s vilket beror på temperaturen, T , i °C enligt ekvation 2.1 (Hopkins, 2007)

$$c_0 = 331 + 0,6T. \quad (2.1)$$

Ljudets hastighet kan även skrivas som en funktion av frekvensen, f , och våglängden, λ , enligt ekvation 2.2 där våglängden är ett mått på avståndet från en topp till en annan för en sinusvåg (Hopkins, 2007)

$$c_0 = f\lambda. \quad (2.2)$$

Våglängden kan uttryckas som ett vågnummer, k , som är användbart för att analysera rumsliga variationer för ljud- och vibrationsfält enligt ekvation 2.3 (Hopkins, 2007)

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (2.3)$$

2.2 Diffusa fält

För att ett rum ska kunna betraktas som diffust, det vill säga att det förekommer ett diffust fält i rummet, ska ljudenergitätheten vara enhetlig i hela utrymmet (Hopkins, 2007). Fördelen med att ha ett rum med ett diffust fält är att ljudvågor som sänds ut i rummet kan adderas energimässigt och betraktas som okorrelerade. Om en punkt studeras i ett diffust rum där ljudvågor sänds ut från en ljudkälla kan de planvågor som

träffar punkten anses vara jämnt fördelade över alla infallsriktningar och att de infaller med samma styrka (Wallin m. fl., 1999). Däremot kommer ljudenergi att absorberas någonstans i rummet eftersom byggnadsmaterial inte har en absorptionskoefficient som är 0 vilket kommer påverka ljudenergitätheten. Det diffusa fältet är därav en teoretisk definition som inte helt uppfylls i praktiken då det kommer ske en ojämn spridning av energi i rummet vilket gör att energin inte kan flödas med samma mängd i alla riktningar. I ett laboratorium ämnat att göra ljudmätningar i, kan ett diffust fält skapas i mitten av rummet men det kan vara svårt att ha ett diffust fält för alla frekvenser (Hopkins, 2007). Vidare beskriver Hopkins (2007) att det inte alltid är lämpligt att approximera ett diffust fält i vanliga rum som inte har några diffusa element.

Om ett rum inte är diffust kan korrektion av luftljudsisoleringen med avseende på efterklangstiden, enligt avsnitt 2.4, ge ett opålitligt resultat. Anledningen är att icke-diffusa rum kan leda till att efterklangstiden inte är representativ för rummet. Efterklangstiden kan bli mer representativ för rummet om diffusorer införs men det eliminerar inte problemet (Harvie-Clark, Dobinson & Hinton, 2012).

2.3 Efterklangstid

Efterklangstiden T , är definierat som den tid det tar för hastighetsnivån i ett rum att minska med ett visst antal dB. T_{60} är tiden det tar för hastighetsnivån att minska med 60 dB. T_{20} är i stället tiden för en minskning på 20 dB multiplicerat med 3 för att kunna jämföras med T_{60} . Den som först härlett sig fram till en ekvation för efterklangstiden var W.S. Franklin. Sabine kom år 1903 fram till en ekvation som fortfarande tillämpas vid analys av ett rums efterklangstid vilket kallas för Sabines formel enligt ekvation 2.4 (Wallin m. fl., 1999)

$$T(\text{för } c = 343 \text{ m/s}) = 0,161 \cdot \frac{V}{\alpha_{abs} \cdot S}. \quad (2.4)$$

I ekvation (2.4) är c ljudets hastighet i luft vid en temperatur på 20°C , V är volymen för rummet, S är de invändiga ytornas area och α_{abs} är respektive ytas absorptionskoefficient. Vidare kan en absorptionsyta definieras som ekvation 2.5 där n och k är naturliga tal som beskriver varje delytas absorptionskoefficient och area

$$A = \sum_{n=1}^k \alpha_{abs,n} \cdot S_n. \quad (2.5)$$

I en studie gjord av Azalan, A, Ghazali och Jafferi (2013) undersöks faktorer som skapar problem vid mätning av efterklangstid. De kom fram till att de största avvikelserna sker vid låga frekvenser, vilket de ansåg beror på att brusreduceringen var instabil vid dessa frekvenser. Studien tog inte upp några konkreta förslag på lösningar för mätning av efterklangstid i tomma rum för att minska avvikelserna i de låga frekvenserna. I stället nämnde studien att de fanns och att de utgör ett problem. Vidare beskrev de att avvikelser på de högre frekvenserna antagligen berodde på bakgrundsstörningar. De mätningar av efterklangstiden som ska göras kommer därav ta detta i beaktning och försöka skapa ett mer stabilt ljudfält för både de höga och låga frekvenserna samt minimera störning av bakgrundsljud från angränsande verksamheter.

2.3.1 Efterklangsrums

Ett efterklangsrums är uppbyggt av hårt omgivna ytor för innerväggar, tak och golv så att ljudvågor som infaller i en punkt på någon av dessa ytor i största mån reflekteras utan att någon absorption sker (IAC Acoustics, 2019). I praktiken kommer en liten andel av de ljudvågor som infaller att absorberas ty hårda ytor som betong och tegel kan ha absorptionskoefficienter på $0,01 < \alpha_{abs} < 0,1$ beroende på materialets ytor samt frekvens (JCW Acoustic Supplies, 2018).

2.4 Luftljudsisolering

Luftljudsisolering beskriver hur mycket en byggnadskonstruktion hindrar ljud från att fortplanta sig mellan olika utrymmen. Detta mått beror dels på den avskiljande konstruktionens akustiska egenskaper, dels de angränsande konstruktionerna. För att mäta hur stor luftljudsisoleringen är i praktiken placeras en högtalare i ett av rummen som därmed benämns sändarrum. Ljud alstras i detta rum och en ljudnivå mäts i både sändarrummet och det rum som är angränsande, vilket benämns som mottagarrum. Luftljudsisolering beskrivs som ett reduktionstal eller som en standardiserad ljudnivåskillnad, ju högre värde desto bättre anses skiljekonstruktionen vara (Åkerlöf, 2001). Reduktionstalet varierar beroende på frekvens och för att luftljudsisoleringen ska kunna beskrivas på ett enkelt sätt används ett entalsvärde. För att bestämma detta entalsvärde av reduktionstalet på en vägg används en referenskurva. Referenskurvan flyttas i steg om 1 dB i riktning mot den uppmätta kurvan tills den ogynnsamma avvikelserna är så nära 32 dB som möjligt men inte större. En ogynnsam avvikelse för luftljudsisolering är när den uppmätta kurvans reduktionstal är mindre än referenskurvans för någon frekvens. Entalsvärdet på reduktionstalet för väggen anges sen som det värde referenskurvan har vid 500 Hz i dB och benämns med R_w (Nilsson, Johansson, Brunskog, Sjökvist & Holmberg, 2008).

2.4.1 Akustiska storheter för bedömning av luftljudsisolering

När luftljudsisoleringen ska bedömmas kan ett antal storheter användas för att klassa olika väggar. Den enklaste storheten benämns som D och beskriver hur stor skillnaden i ljudnivå är mellan sändar- och mottagarrum enligt ekvation 2.6 där L_{p1} är ljudnivån i sändarrum och L_{p2} är ljudnivån i mottagarrum (Hopkins, 2007). Denna storhet varierar med frekvensen och kan bestämmas som ett viktat värde, D_w , enligt avsnitt 2.4

$$D = L_{p1} - L_{p2}. \quad (2.6)$$

Syftet med dessa storheter är att beskriva hur bra den avskiljande konstruktionen är mellan sändar- och mottagarrum. När ljudnivån mäts i mottagarrummet kommer inverkan av absorptionsarean att påverka den uppmätta ljudnivån. För att ta hänsyn till denna påverkan kan ett antal andra storheter användas. Ljudtrycksnivån kan normaliseras genom att korrigera skillnaden i ljudtrycksnivå med en referensarea av absorptionen i mottagarrummet enligt ekvation 2.7 där A_0 är 10 m^2 (Hopkins, 2007). Denna storhet varierar med frekvensen och kan bestämmas som ett viktat värde, D_{nw} , enligt avsnitt 2.4

$$D_n = L_{p1} - L_{p2} - 10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right). \quad (2.7)$$

Skillnaden i ljudtrycksnivå kan även korrigeras med en efterklangstid som referens i mottagarrummet enligt ekvation 2.8 där T_0 är 0,5 s (Hopkins, 2007). Denna storhet varierar med frekvensen och kan bestämmas som ett viktat värde, D_{nTw} , enligt avsnitt 2.4

$$D_{nT} = L_{p1} - L_{p2} + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right). \quad (2.8)$$

Slutligen kan skillnaden i ljudtrycksnivå också beskrivas som ett reduktionstal, R , mellan två rum enligt ekvation 2.9. Denna storhet varierar med frekvensen och kan bestämmas som ett viktat värde, R_w , enligt avsnitt 2.4

$$R = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right). \quad (2.9)$$

τ är en transmissionsfaktor som i sin tur beror på förhållandet mellan den totalt transmitterade och totalt infallande effekten. Vidare kan skillnaden i ljudtrycksnivå mellan två rum beskrivas som ekvation 2.10 (Wallin m. fl., 1999)

$$L_{p1} - L_{p2} = 10 \log \left(1 + \frac{A}{S \cdot \tau} \right). \quad (2.10)$$

A är absorptionsytan i mottagarrummet enligt ekvation 2.5 och S är den avskiljande konstruktionens area. Med hjälp av ekvation 2.9 och 2.10 kan ekvation 2.11 formuleras för att uttrycka ljudreduktionen

$$R = 10 \cdot \log \left(\frac{S}{A} \right) + 10 \log \left(10^{(L_{p1} - L_{p2})/10} - 1 \right). \quad (2.11)$$

Ekvationen enligt 2.11 används i praktiken vid exempelvis kontrollmätningar av byggnader för att bestämma hur stor ljudreduktionen är mellan två utrymmen och då brukar konstanten 1 som återfinns i parentesen försummas vilket normalt motsvara ett fel mindre än 1 dB. Genom att göra detta försummande erhålls en mer visuell och enklare ekvation enligt ekvation 2.12 (Wallin m. fl., 1999)

$$R = L_{p1} - L_{p2} - 10 \log \left(\frac{A_2}{S} \right). \quad (2.12)$$

R i ekvation 2.11 och 2.12 beror på frekvensen och representerar den uppmätta kurvan som ska jämföras med referenskurvan enligt tidigare beskrivning.

2.4.2 Fält- och labbmätningar

Vid mätningar i ett laboratorium kan en skiljekonstruktion byggas upp så att nästan allt ljud transmitteras via denna. Detta erhålls genom att resterande väggar, tak och golv i sändar- och mottagarrum är uppbyggda så att dess reduktionstal är betydligt högre än skiljekonstruktionen. Vid fältmätningar däremot kan ljud transmitteras via andra konstruktionsdelar i större utsträckning. Därav har en symbol införts som skiljer fält- från laborationsmätningar. Om storheten som beskriver skiljekonstruktionen har en apostrof, ' , är mätningen gjord i fält, annars är mätningen gjord i ett laboratorium (Nilsson m. fl., 2008).

2.4.3 Reduktionstal för sammansatta konstruktioner

En skiljekonstruktion behöver inte alltid bestå av samma element. Ofta i byggnader finns en dörr eller ett glasparti på några väggar vilket förändrar skiljekonstruktionens reduktionstal jämfört med om det bara varit en homogen struktur. Ibland kan väggen även ha en del springor och öppningar i sig som kan påverka en väggs reduktionstal avsevärt. Med antagande om att rummet är diffust kan reduktionstalet för en sammansatt skiljekonstruktion med olika delement bestämmas enligt ekvation 2.13 där S_n betecknar varje delements area (Wallin m. fl., 1999).

$$R_{sammansatt} = 10 \log \left(\frac{S}{\sum_n S_n \cdot 10^{-R_n/10}} \right). \quad (2.13)$$

Vidare gäller att summan av alla delements areor ska vara lika med den totala arean, S , av skiljekonstruktionen. Delementen för denna rapport består av skiljeväggen och ventilationskanalen och den totala arean kan skriva enligt ekvation 2.14

$$S = S_{vägg} + S_{vent} \text{ (m}^2\text{)}. \quad (2.14)$$

Ekvation 2.14 insatt i ekvation 2.13 leder fram till ekvation 2.15

$$R_{sammansatt} = 10 \log \left(\frac{S_{vägg} + S_{vent}}{S_{vägg} \cdot 10^{-R_{vägg}/10} + S_{vent} \cdot 10^{-R_{vent}/10}} \right). \quad (2.15)$$

2.4.4 Otätheters påverkan på ljudreduktionstalet

Två typer av otätheter kan vanligtvis återfinnas i konstruktioner, nämligen springor och cirkulära hål. Springor kan uppstå mellan gipsskivor, men främst uppstår de vid anslutning mellan olika konstruktioner, som när en vägg ansluter mot ett tak, golv eller annan vägg, vilket har konstaterats från skribentens praktiska erfarenhet vid kontrollmätningar. Vidare kan springor och hål förekomma kring olika typer av genomföringar och ventilationskanaler. För att beräkna hur stor påverkan hål och springor har på en konstruktion kan ett antal modeller användas för att försöka beskriva hur stor ljudtransmissionen är genom väggen för otätheterna. Beräkningar redovisas under sektion 5.2.1.

2.4.4.1 Ljudtransmission för en springa

Transmissionskoefficienten för en springa kan uttryckas enligt ekvation 2.16 som beskrivs av Hopkins (2007) där Gomperts (1964) och Gomperts och Kihlman (1967) först presenterat detta

$$\tau = \frac{mK \cos^2(Ke)}{2n^2 \cdot \left\{ \frac{\sin^2(KX+2Ke)}{\cos^2(Ke)} + \frac{K^2}{2n^2} [1 + \cos(KX) \cdot \cos(KX + 2Ke)] \right\}}. \quad (2.16)$$

I ekvation 2.16 finns ett antal storheter som beskrivs i ekvationerna under 2.17 där k är vågtalet enligt ekvation 2.3, m är en konstant där $m = 8$ för ett diffust fält och $m = 4$ för en planvåg med normalt infall. n är en konstant vars värde beror på vart springan är placerad: $n = 0,5$ för en springa längs en kant och $n = 1$ för en springa i mitten av en platta. Springans bredd benämns som w och vågtalet, k , kan uttryckas som i ekvation 2.17 med hjälp av ekvation 2.2 och 2.3

$$\begin{aligned} e &= \frac{1}{\pi} \cdot \left(\ln \frac{8}{K} - 0,57722 \right) \\ X &= d/w \\ K &= k \cdot w \\ k &= \frac{2\pi f}{c_0}. \end{aligned} \quad (2.17)$$

Ekvation 2.16 beror inte på springans längd då det i praktiken visat sig att ljudtransmission via en springa kan anses vara oberoende av längden när den är större än våglängden.

Om värden stoppas in i ekvationen och reduktionstalet ritas upp som en funktion av frekvensen kommer ett antal djupa nedgångar förutspås. Detta är en teoretisk modell som inte stämmer överens med praktiken då luften kommer dämpa dessa dalar (Hopkins, 2007).

Hopkins (2007) beskriver vidare att det inte är lämpligt att applicera dessa idealiserade teorier direkt till konstruktioner som har annorlunda utformning och att laborietester bör utföras för att bestämma springor och håls inverkan på ljudreduktionstalet.

Ekvationer som beskriver ljudtransmission för cirkulära hål finns också men är inte aktuella i denna rapport och beskrivs därav inte.

2.5 Kanalers ljudreduktion

När ljudvågor sänds ut från källor i sändarrummet sprids en del av ljudvågorna till mottagarrummet via ventilationskanalen. Denna transport av ljud beskrivs som ljudöverföring in och ut från ventilationskanalen vilket benämns som break in och break out, dessa två begrepp beskrivs mer utförligt nedan. Vér (1983) har skrivit en rapport om dessa begrepp där han har sammanställt teorier från tidigare undersökningar och kommit fram till några egna samband, speciellt sambandet mellan break in och break out. Reynolds (1990) har utvecklat fler samband för dessa begrepp, vilket han delvis

har gjort med hjälp av tidigare undersökning. Long (2006) har försökt sammanställa de olika teorierna som finns och teorierna om break in och break out bygger på både VÉR (1983) och Reynolds (1990) med några egna tillägg. Alla tre teorier använder sig av enheterna, fot, tum och $lb/(ft^2)$ och är med andra ord inte baserade på SI-enheter vilket tas i beaktning vid beräkningar.

Alan Cummings har gjort omfattande skrifter där han beskriver överföringsförluster vid både break in och break out för rektangulära, cirkulära och ovala kanaler. Däremot är hans teorier inte fullt så utvecklade som teorier enligt Reynolds (1990). Dessutom har Alan Cumming fokuserat på att beskriva hur kanalerna uppför sig vid låga frekvenser, något som inte anses vara aktuellt i denna rapport. Det finns en del teorier för rektangulära kanaler som han har sammanfattat vilket hade kunnat vara applicerbara men för cirkulära kanaler verkar det krävas mätdata på specifika variabler, något som inte är genomförbart vid en projektering. Därav kommer inte hans teorier appliceras här då det finns andra som är mer utförliga och praktiskt användbara.

Genom att använda samma beteckningar kan samband enklare dras mellan de olika teorierna. Beteckningar enligt VÉR (1983) kommer användas.

Det som främst har stor påverkan på resultatet mellan de olika teorierna är en faktor som beskriver mantelarean på en cirkulär kanal jämfört med en rektangulär vilket kommer förtydligas nedan.

För att beskriva hur ljudet färdas via en ventilationskanal behövs flertalet ekvationer presenteras vilket beskrivs från tre olika teorier. Först beskrivs begreppet break out vilket beskriver hur ljudet färdas från ventilationskanalen ut till mottagarrummet. Därefter beskrivs break in som istället beskriver hur ljudet färdas från sändarrummet in i kanalen. Därtill presenteras en sektion som beskriver ljuddämpningen i kanalen. Slutligen sammanvägs dessa vägar för att med ekvationer beskriva hur ljudet färdas från sändarrum till mottagarrum, beräkningar visas under sektion 5.2.2 och speciellt 5.2.2.2.

Eftersom teorierna delvis har samma samband och är olika utvecklade, saknas ekvationer under vissa paragrafer. Det är främst teori enligt VÉR (1983) som saknar vissa samband för att kunna bygga upp ett komplett system. Teori enligt Long (2006) bygger främst på de två andra teorierna och har därför liknande samband.

2.5.1 Break out

När ljud färdas i en ventilationskanal kommer en del av ljudet att transmitta ut från kanalen till det rum eller utrymme som kanalen går igenom, vilket benämns som break out. Break out kan ske på olika sätt beroende på källan som ger upphov till ljudvågorna. En typ av break out är när ljud sprids från ett rum med en ljudkälla till ett annat. Andra typer av break out kan ske när en fläkt genererar ljud i en kanal. När det finns en fläkt kan den även skapa turbulens i kanalen vilket får den att vibrera, detta kan ge problem vid låga frekvenser (Reynolds, 1990).

Begreppet break out kan för systemet därav beskrivas som ett samband mellan ljudeffekten i ventilationskanalen, överföringsförlusten vid break out och ljudeffekten i rummet som ljudet bryter ut. Först presenteras det generella sambandet för systemet vid break out, därefter presenteras överföringsförlusten vid break out och sist omskrivning mellan

ljudeffekt till ljudnivå i mottagarrum.

2.5.1.1 Break out för systemet

Enligt Vér (1983)

Enligt Vér (1983) kan break out beskrivas enligt ekvation 2.18 där PWL_i är ljudeffekten inne i ventilationskanalen på sändarrummets sida, PWL_{io} är ljudeffekten som utstrålas från ventilationskanalen och TL_{io} är överföringsförlusten orsakat av break out. Vidare är P omkretsen på ventilaionskanalen, L är längden på kanalen i rummet där ljudet bryter ut och S är tvärsnittsarean

$$PWL_i = TL_{io} + PWL_{io} - 10 \cdot \log \left(\frac{P \cdot L}{S} \right) - C. \quad (2.18)$$

C i ekvation 2.18 är definierad enligt ekvation 2.19 och kan försummas om ventilationskanalens längd är liten eller om den inte är fodrad på insidan

$$C = 10 \cdot \log \left(\frac{1 - e^{-(\tau+\beta) \cdot L}}{(\tau + \beta) \cdot L} \right) \text{ där} \quad (2.19)$$

$$\beta = \frac{\Delta L_1}{4,34}$$

$$\tau = \frac{P}{S} \cdot 10^{-TL_{io}/10}.$$

Enligt Reynolds (1990)

Break out för systemet kan beskrivs enligt ekvation 2.20

$$PWL_i = PWL_{io} + TL_{io} - 10 \cdot \log \left(\frac{A_0}{A_i} \right). \quad (2.20)$$

Till skillnad från Vér (1983) har Reynolds (1990) inte med korrektionsfaktorn, C . Istället beskriver han att ljudeffekten i kanalen, PWL_i , är där ljudet förväntas att bryta ut jämfört med Vér (1983) vars ljudeffekt i kanalen är på sändarrummets sida.

Enligt Long (2006)

Break out för systemet beskrivs enligt ekvation 2.21 vilket är en kombination av de två tidigare nämnda teorierna

$$PWL_i = PWL_{io} + TL_{io} - 10 \cdot \log \left(\frac{A_0}{A_i} \right) - C. \quad (2.21)$$

2.5.1.2 Överföringsförlust vid break out - Runda kanaler

När ljudvågorna färdas från luften i kanalen ut till det omgivande utrymmet tas en del av ljudeffekten upp av kanalen vilket benämns som överföringsförlust vid break out (Reynolds, 1990). För cirkulära kanaler finns approximationer med linjära samband beroende på frekvens vilket redovisas nedan.

Enligt VÉR (1983)

Finns inga utvecklade teorier.

Enligt Reynolds (1990)

För runda ventilationskanaler definieras två areor enligt ekvation 2.22

$$\begin{aligned} A_i &= \frac{\pi \cdot d^2}{4} \\ A_0 &= 12 \cdot \pi \cdot d \cdot L. \end{aligned} \quad (2.22)$$

A_0 i ekvation 2.22 kan beskrivas som en mantelarea på ventilationskanalen på ena sidan av väggen med tillägg av en faktor 12. Denna faktorn finns däremot inte beskriven i teorin för VÉR (1983) vilket har visat sig ge en stor påverkan på resultatet.

Vidare kan överföringsförlusten för break out approximeras till ett linjärt samband enligt ekvation 2.23 där TL_{io} är den största av $TL_{1,2}$

$$\begin{aligned} TL_1 &= 17,6 \cdot \log(q) - 49,8 \cdot \log(f) - 55,3 \cdot \log(d) + C_0 \\ TL_2 &= 17,6 \cdot \log(q) - 6,6 \cdot \log(f) - 36,9 \cdot \log(d) + 97,4. \end{aligned} \quad (2.23)$$

C_0 är en korrektionsfaktor som tar hänsyn till hur den cirkulära ventilationskanalen är konstruerad enligt ekvation 2.24

$$\begin{aligned} C_0 &= 230,4 \text{ för långa kanaler som inte är lindade} \\ C_0 &= 232,9 \text{ för kanaler som är lindade spiralt.} \end{aligned} \quad (2.24)$$

Om diametern på ventilationskanalen är 26 tum eller mer definieras transmissionförlusten för break out som ekvation 2.25 när frekvensen är 4000 Hz

$$TL_{io,4000} = 17,6 \cdot \log(q) - 36,9 \cdot \log(d) + 90,6. \quad (2.25)$$

Detta linjära sambandet enligt ekvation 2.23 har en begränsning, det maximala värdet på överföringsförlusten är 50 dB. Om beräknade värden överstiger denna begränsning ska överföringsförlusten för den frekvensen sättas till 50 dB.

Enligt Long (2006)

Använder sig av samma teori som Reynolds (1990).

2.5.1.3 Överföringsförlust vid break out - Rektangulära kanaler

Rektangulära kanaler har studerats mer utförligt och därav finns det noggrannare teorier som beskriver överföringsförlusten enligt nedan.

Enligt VÉR (1983)

Finns inga utvecklade teorier.

Enligt Reynolds (1990)

För rektangulära ventilationskanaler definieras två areor enligt ekvation 2.26 där a definieras som den större av de två längderna av tvärsnittet så att $a > b$

$$\begin{aligned} A_i &= a \cdot b \\ A_0 &= 24 \cdot L \cdot (a + b). \end{aligned} \quad (2.26)$$

För rektangulära ventilationskanaler finns en frekvens, f_L , som uppdelar överföringsförlusten vid break out i två områden enligt ekvation 2.27

$$f_L = \frac{24134}{\sqrt{a \cdot b}}. \quad (2.27)$$

I det första området som ligger under f_L är plana vågor dominanta, över f_L är de plana vågor inte längre dominanta och området benämns istället som flermodsområdet.

Överföringsförlusten vid break out då $f \leq f_L$ kan bestämmas enligt ekvation 2.28

$$TL_{io} = 10 \cdot \log \left(\frac{f \cdot q^2}{a + b} \right) + 17. \quad (2.28)$$

Om däremot $f > f_L$ är överföringsförlusten vid break out istället enligt ekvation 2.29 där överföringsförlusten har ett maximalt värde på 45 dB för rektangulära kanaler. Om det beräknade värdet överstiger denna begränsning ska överföringsförlusten för den frekvensen sättas till 45 dB.

Det ska nämnas att i ekvation 2.29 står f och q skrivet som a och b i enligt Reynolds (1990). Dock står det annorlunda i hans beskrivande text till ekvationen och Long (2006) som baserat sin teori på Reynold har använt f och q . Därav anses ekvationen enligt Reynolds (1990) vara felskriven och storheterna f och q används här

$$TL_{io} = 20 \cdot \log(f \cdot q) - 31. \quad (2.29)$$

Det finns även ett minimumvärde som TL_{io} kan anta vilket är enligt ekvation 2.30

$$TL_{io,min} = 10 \cdot \log \left(24 \cdot L \cdot \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) \right). \quad (2.30)$$

Enligt Long (2006)

Long (2006) beskriver en teori som bygger på en handbok från ASHRAE från 1987 och är snarlik den som används av Reynolds (1990). Frekvensen, f_L , beräknas i princip på samma sätt, däremot skiljer sig teorin när $f > f_L$. Överföringsförlusten beskrivs enligt ekvation 2.31 istället för ekvation 2.29 Long (2006)

$$TL_{io} = 20 \cdot \log(f \cdot q) - 33,5. \quad (2.31)$$

2.5.1.4 Ljudeffekt till ljudtryck i mottagarrum

Tidigare beräkningar för break out beskriver ljudeffekten som bryter sig ut från ventilationskanalen men för att kunna koppla teorin till mätdata behöver ljudeffekten skrivas om till ljudtryck. Detta tillvägagångssätt beskrivs nedan.

Enligt VÉR (1983)

Ljudeffekten kan skrivas om till ljudtryck i mottagarrummet enligt ekvation 2.32

$$L_2 = PWL_i + 10 \cdot \log(n) - TL_{io} + 10 \cdot \log\left(\frac{P}{S}\right) + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{2\pi r} + \frac{4 \cdot L}{A_{fot}}\right) + 10 + C. \quad (2.32)$$

Genom att kombinera ekvation 2.32 med ekvation 2.18 kan ett samband likt de andra teorierna erhållas enligt ekvation 2.33. Denna ekvationen används främst för att jämföras med de andra teorierna. Ekvation 2.32 är däremot en vidare utveckling som används för att sammanväga sambanden till ett komplett system

$$L_2 = PWL_{io} + 10 \cdot \log(n) + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{2\pi r L} + \frac{4}{A_{fot}}\right) + 10. \quad (2.33)$$

Storheten n tar hänsyn till ventilationkanalens placering i rummet enligt ekvation 2.34. r är avståndet i enheten fot från linjeljudkällan till mottagaren och A_{fot} anses vara absorptionsarean i mottagarrummet i kvadratmeter fot

$$n = \begin{cases} 1 & \text{om kanalen inte är nära några ytor} \\ 2 & \text{om kanalen är nära en parallell yta som exempelvis taket} \\ 4 & \text{om kanalen är nära två ytor som exempelvis ett hörn.} \end{cases} \quad (2.34)$$

Enligt Reynolds (1990)

I ekvation 2.20 används variabler som är uttryckta i ljudeffekt. När mätningar genomförs mäts ljudtrycket istället. För att omvandla ljudeffekt till ljudtryck i mottagarrummet har Reynolds (1990) beskrivit ett samband mellan dessa variabler där ventilationskanalen motsvarar en linjeljudkälla enligt ekvation 2.35

$$L_2 = PWL_{io} + 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{4\pi r L} + \frac{4}{A_{fot}}\right) + 10,5. \quad (2.35)$$

Storheten Q är en konstant som beskriver förhållandet mellan ljudkällan i mottagarrummet och utrymmets egenskaper. Q är lika med 1 om det är ett helt utrymme, 2 för halvt, 4 för en fjärdedels och 8 för en åttondels utrymme. Övriga beteckningar enligt tidigare.

Enligt Long (2006)

Om ventilationskanalen är lång och inte fodrad menar Long (2006) att ljudeffekten omvandlas till ljudtryck enligt ekvation 2.36 med beteckningar enligt tidigare

$$L_2 = PWL_{io} + 10 \cdot \log \left(\frac{Q}{2\pi r L} + \frac{4}{A_{fot}} \right) + 10,5. \quad (2.36)$$

Om däremot förhållandet mellan arean på källan och väggen är snarlika, vilket mantelarean på ett 3 meter långt ventilationsrör med en diameter på 630 mm är i förhållande till en vägg på 10 m², kan ekvation 2.37 användas istället för ekvation 2.36

$$L_2 = PWL_{io} + 10 \cdot \log \left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \left(r + \sqrt{\frac{S \cdot Q}{4 \cdot \pi}} \right)^2 + \frac{4}{A_{fot}}} \right) + 10,5. \quad (2.37)$$

2.5.2 Break in

När ljudvågor sänds ut från källor i ett rum kommer en del av ljudeffekten att sprida sig till övriga anslutande konstruktionselement. Om där finns en ventilationskanal kommer en del av ljudeffekten att transmitta in i dess utrymme. Hur stor del av ljudeffekten från sändarrummet som transmitteras beror på samband enligt nedan.

Begreppet break in kan för systemet beskrivas som ett samband mellan ljudeffekten i ventilationskanalen, överföringsförlusten vid break in och ljudeffekten i rummet där ljudet bryter in i kanalen. Först presenteras det generella sambandet för systemet vid break in, därefter presenteras överföringsförlusten vid break in och sist omskrivning mellan ljudeffekt till ljudnivå i sändarrummet.

2.5.2.1 Break in för systemet**Enligt Vér (1983)**

Ljudöverföringsförlusten vid break in, TL_{oi} definieras enligt ekvation 2.38 och beror på faktorn PWL_{inc} som är ljudeffekten på utsidan av ventilationskanalen där ljudet bryter in och faktorn PWL_{oi} som är ljudeffekten i ventilationskanalen där kanalen lämnar rummet samt korrektionsfaktorn C och en konstant

$$PWL_{oi} = PWL_{inc} - TL_{oi} - 3 + C. \quad (2.38)$$

Anledningen till att ekvation 2.38 har den negativ konstant, -3 , är för att ljudet som bryts in i ventilationen kan sprida sig åt båda hållen i de fall där en ventilationskanal går igenom hela rummet. För att koppla teorin till det fall som ska provas kan det argumenteras för att denna faktor ska tas bort eller reduceras.

Enligt Reynolds (1990)

Break in beskrivs som ekvation 2.39 där korrektionsfaktorn C inte finns med. Däremot definieras PWL_{oi} som ljudeffekten i ventilationskanalen där ljudet bryter sig igenom

vilket skiljer sig från VÉR (1983), därav kan det argumenteras för att korrektionsfaktorn ska läggas till för att koppla ihop systemet

$$PWL_{oi} = PWL_{inc} - TL_{oi} - 3. \quad (2.39)$$

Enligt Long (2006)

Använder sig av samma teori som VÉR (1983).

2.5.2.2 Överföringsförlust vid break in - Runda kanaler

Överföringsförlusten vid break in kan beskrivas som ventilationskanalens förmåga att begränsa ljudvågor från att transmittas in i kanalen genom att reflektera eller absorbera dem. Överföringsförlusten när ljudet bryter sig in i runda ventilationskanaler beror på brytfrekvensen, f_1 , och beräknas enligt ekvation 2.40 (Long, 2006). Brytfrekvensen kan också beskrivas som den frekvens då den lägsta akustiska svängningsmoden i tvärled inträffar för en ventilationskanal vilket beror på dess form och storlek (Reynolds, 1990).

$$f_1 = \frac{0,586 \cdot c_0}{d}. \quad (2.40)$$

Enligt VÉR (1983)

Om $f \leq f_1$ gäller ekvation 2.41 enligt nedan

$$TL_{oi} = \text{den största av} \begin{cases} TL_{io} - 4 + 20 \cdot \log\left(\frac{f}{f_1}\right) \\ 10 \cdot \log\left(\frac{P \cdot L}{2 \cdot S}\right). \end{cases} \quad (2.41)$$

Om däremot $f > f_1$ gäller ekvation 2.42 enligt nedan som VÉR (1983) har byggt på principen av det engelska ordet reciprocity

$$TL_{oi} = TL_{io} - 3. \quad (2.42)$$

Enligt Reynolds (1990)

Om $f \leq f_1$ gäller ekvation 2.43 enligt nedan

$$TL_{oi} = \text{den största av} \begin{cases} TL_{io} - 4 + 20 \cdot \log\left(\frac{f}{f_1}\right) \\ 10 \cdot \log\left(\frac{2 \cdot L}{d}\right). \end{cases} \quad (2.43)$$

Om däremot $f > f_1$ gäller ekvation 2.44 enligt nedan

$$TL_{oi} = TL_{io} - 3. \quad (2.44)$$

Enligt Long (2006)

Om $f \leq f_1$ gäller ekvation 2.45 enligt nedan

$$TL_{oi} = \text{den största av} \begin{cases} TL_{io} - 4 + 20 \cdot \log\left(\frac{f}{f_1}\right) \\ 10 \cdot \log\left(\frac{A_0}{2 \cdot A_i}\right). \end{cases} \quad (2.45)$$

Om däremot $f > f_1$ gäller ekvation 2.46

$$TL_{oi} = TL_{io} - 3. \quad (2.46)$$

2.5.2.3 Överföringsförlust vid break in - Rektangulära kanaler

Brytfrekvensen, f_1 , för rektangulära kanaler beräknas enligt ekvation 2.47 (Long, 2006)

$$f_1 = \frac{0,5 \cdot c_0}{a}. \quad (2.47)$$

Enligt Vér (1983)

Överföringsförlusten vid break in för rektangulära kanaler är i princip samma som för runda kanaler förutom när $f \leq f_1$, här tillkommer en term som tar hänsyn till förhållandet mellan tvärsnittets sidor enligt ekvation 2.48

$$TL_{oi} = \text{den största av} \begin{cases} TL_{io} - 4 - 10 \cdot \log\left(\frac{a}{b}\right) + 20 \cdot \log\left(\frac{f}{f_1}\right) \\ 10 \cdot \log\left(\frac{P \cdot L}{2 \cdot S}\right). \end{cases} \quad (2.48)$$

Om däremot $f > f_1$ gäller ekvation 2.49

$$TL_{oi} = TL_{io} - 3. \quad (2.49)$$

Enligt Reynolds (1990)

Överföringsförlusten vid break in är enligt Reynolds (1990) annorlunda mellan cirkulära och rektangulära då frekvensen $f \leq f_1$ enligt ekvation 2.50

$$TL_{oi} = \text{den största av} \begin{cases} TL_{io} - 4 - 10 \cdot \log\left(\frac{a}{b}\right) + 20 \cdot \log\left(\frac{f}{f_1}\right) \\ 10 \cdot \log\left(12 \cdot L \cdot \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right)\right). \end{cases} \quad (2.50)$$

Om däremot $f > f_1$ gäller ekvation 2.51 vilket är samma som sambandet för cirkulära kanaler

$$TL_{oi} = TL_{io} - 3. \quad (2.51)$$

Enligt Long (2006)

Använder samma teori som Vér (1983).

2.5.2.4 Ljudeffekt till ljudtryck i sändarrum

Tidigare beräkningar för break in beskriver ljudeffekten som bryter sig in i ventilationskanalen men för att kunna koppla teorin till uppmätta värden behöver ljudeffekten skrivas om till ljudtryck som för break out. Detta tillvägagångssätt beskrivs nedan.

Den enda som tar upp omskrivning från ljudeffekt till ljudtryck i sändarrummet är Long (2006).

Enligt Long (2006)

Ljudeffekten i sändarrummet kan skrivas om till ljudtryck enligt ekvation 2.52

$$L_1 = PWL_{inc} - 10 \cdot \log(P \cdot L) + 14,5. \quad (2.52)$$

Long (2006) har däremot beskrivit denna ekvation bristfälligt eftersom det är oklart vilken indatan som ska användas. Vid tillämpning av ekvation 2.52 för cirkulära kanaler har Reynolds (1990) definierat $P \cdot L$ som $12 \cdot \pi \cdot d \cdot L = 12 \cdot P \cdot L$ vilket överensstämmer med definitionen A_0 enligt Reynolds (1990). Därav anses $P \cdot L$ i ekvation 2.52 kunna skrivas som A_0 istället och samma tillämpning görs för rektangulära kanaler. Fortsättningsvis kommer ekvation 2.53 användas för att skriva om ljudeffekten till ljudtryck i sändarrummet

$$L_1 = PWL_{inc} - 10 \cdot \log(A_0) + 14,5. \quad (2.53)$$

2.5.3 Ljuddämpning i ventilationskanal

Ljuddämpningen i en ventilationskanal betecknas som ΔL_1 och beräkningsmetodiken kommer baseras enligt Reynolds (1990) i Long (2006). Ljuddämpningen skiljer sig mellan rektangulära och cirkulära kanaler samt om de är fodrad på insidan eller inte. Eftersom fodrade kanaler inte är en del av undersökningen kommer två beräkningsätt för ljuddämpningen att presenteras.

Ljuddämpning i cirkulära kanaler

Förlusten i cirkulära kanaler är mycket mindre än förlusten i rektangulära, ungefär en tiondel (Long, 2006). Eftersom att förlusterna är små kommer approximerade värden att användas vilket beskrivs i tabell 2.1

Tabell 2.1: Approximerade värden på ljuddämpning i cirkulära, ofodrade ventilationskanaler enligt Long (2006).

Frekvens [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000
Ljuddämpning [dB/ft]	0,03	0,03	0,03	0,05	0,07	0,07	0,07

Förlusterna är endast angivna i oktavband och för att kunna använda dessa värden i tredjedels oktavband görs en enkel linjär interpolation. Däremot får de tredjedels frekvenser som är mellan två oktavband samma värde. Utifrån tabell 2.1 kommer både frekvensen 630 och 800 Hz att ha en ljuddämpning på 0,06 dB/ft

Ljuddämpning i rektangulära kanaler

För rektangulära kanaler kan ljuddämpningen beskrivas som ett förhållande mellan kanalens omkrets och tvärsnittsarea enligt ekvationer 2.54 och 2.55 när frekvensen ligger mellan 63 till 250 Hz och ekvation 2.56 när frekvensen är över 250 Hz. (Long, 2006)

Då $\frac{P}{S} \geq 3$ gäller ekvation 2.54

$$\Delta L_{rek} = 17,0 \cdot \left(\frac{P}{S}\right)^{-0,25} f^{-0,85} L. \quad (2.54)$$

Då $\frac{P}{S} < 3$ gäller ekvation 2.55

$$\Delta L_{rek} = 1,64 \cdot \left(\frac{P}{S}\right)^{0,73} f^{-0,58} L. \quad (2.55)$$

När frekvensen är över 250 Hz gäller ekvation 2.56 oavsett förhållande mellan P och S

$$\Delta L_{rek} = 0,02 \cdot \left(\frac{P}{S}\right)^{0,8} L. \quad (2.56)$$

2.5.4 Omskrivning till reduktionstal - Runda kanaler

För att de teoretiska beräkningarna ska kunna jämföras med mätvärden behöver en omskrivning göras. Med teorin beskriven enligt tidigare sektioner kan teoretiska reduktionstal beräknas för de olika teorierna med vissa tillägg. Teorin enligt VÉR (1983) behöver kompletteras med flertalet tillägg medan Reynolds (1990) endast behöver kompletteras med omskrivningen av ljudeffekt till ljudtryck i sändarrummet enligt Long (2006). Resterande teori som saknas från VÉR (1983) hämtas från Reynolds (1990) i största mån då teorin enligt Long (2006) snarare sammanfattar de båda.

Innan omskrivningen till reduktionstal kan göras behövs ett samband mellan ljudnivån i ventilationskanalen i de båda rummen. För teorierna enligt VÉR (1983) och Long (2006) är det möjligt att direkt göra kopplingen eftersom ljudeffekten inne i ventilationskanalen, PWL_i , är ljudeffekten på sändarsidan vilket är samma som PWL_{oi} . Däremot är detta inte fallet för teorin enligt Reynolds (1990) vilket beror på att han inte har med korrektionstermen C som tar hänsyn till ljuddämpningen inne i kanalen. För att ett samband ska kunna dras mellan ljudeffekten i de båda utrymmena enligt Reynolds (1990) måste därför korrektionstermen, C, läggas till så som den är tillagd för de två andra teorierna.

Enligt Vér (1983)

Om $PWL_i = PWL_{oi}$ kan samband enligt ekvation 2.57 bildas

$$PWL_{io} + TL_{io} - 10 \cdot \log\left(\frac{P \cdot L}{S}\right) - C = PWL_{inc} - TL_{oi} - 3 + C. \quad (2.57)$$

Vidare kan PWL_{io} och PWL_{inc} skrivas om till ljudtrycksnivåer enligt ekvation 2.33 samt 2.53 och bilda ekvation 2.58

$$\begin{aligned} L_2 - 10 \cdot \log(n) - 10 \cdot \log\left(\frac{1}{2\pi r L} + \frac{4}{A_{fot}}\right) + TL_{io} - 10 \cdot \log\left(\frac{PL}{S}\right) - 10 - C = \\ = L_1 + 10 \cdot \log(A_0) - 14,5 - TL_{oi} - 3 + C. \end{aligned} \quad (2.58)$$

Ekvation 2.58 kastas om och ekvation 2.59 erhålls

$$\begin{aligned} L_1 - L_2 = TL_{io} + TL_{oi} - 10 \cdot \log(n) - 10 \cdot \log\left(\frac{1}{2\pi r L} + \frac{4}{A_{fot}}\right) \\ - 10 \cdot \log\left(\frac{P \cdot L}{S}\right) - 10 \cdot \log(A_0) + 7,5 - 2 \cdot C. \end{aligned} \quad (2.59)$$

Denna ekvation kan nu användas i ekvation 2.12 och omskrivning till reduktionstal är nu färdigställt enligt ekvation 2.60

$$\begin{aligned} R_{vent,cir,Istan} = TL_{io} + TL_{oi} - 10 \cdot \log(n) - 10 \cdot \log\left(\frac{1}{2\pi r L} + \frac{4}{A_{fot}}\right) \\ - 10 \cdot \log\left(\frac{PL}{S}\right) - 10 \cdot \log(A_0) + 7,5 - 2 \cdot C - 10 \cdot \log\left(\frac{A_{abs}}{S_{kanal}}\right). \end{aligned} \quad (2.60)$$

Enligt Reynolds (1990)

Enligt ekvation 2.12 kan samband dras mellan ljudtrycket i respektive rum, absorptionsarean och reduktionstalet. För att kunna dra detta sambandet antas först att ljudeffekten inne i ventilationskanalen på mottagarsidan, PWL_i , är lika med ljudeffekten i ventilationskanalen på sändarsidan PWL_{oi} . På grund av definitioner som Reynold gör med ljudeffekten i kanalen kan inte en direkt modell appliceras. Om korrektionsfaktorn C däremot appliceras på samma sätt som övriga teorier kan ett samband dras mellan ljudspridningen i kanalen. Detta innebär att beräkningar kan göras så att $PWL_i - C = PWL_{oi} + C$ enligt ekvation 2.61

$$PWL_{io} + TL_{io} - 10 \cdot \log\left(\frac{A_0}{A_i}\right) - C = PWL_{inc} - TL_{oi} - 3 + C. \quad (2.61)$$

Vidare kan PWL_{io} och PWL_{inc} skrivas om till ljudtrycksnivåer enligt ekvationer 2.35 och 2.53 och bilda ekvation 2.62

$$\begin{aligned}
L_2 - 10 \cdot \log \left(\frac{Q}{4\pi r L} + \frac{4}{A_{fot}} \right) + TL_{io} - 10 \cdot \log \left(\frac{A_0}{A_i} \right) - 10,5 - C = \\
= L_1 + 10 \cdot \log(A_0) - 14,5 - TL_{oi} - 3 + C.
\end{aligned} \tag{2.62}$$

Ekvation 2.62 kastas om och ekvation 2.63 erhålls

$$L_1 - L_2 = TL_{io} + TL_{oi} - 10 \cdot \log \left(\frac{Q}{4\pi r L} + \frac{4}{A_{fot}} \right) - 10 \cdot \log \left(\frac{A_0}{A_i} \right) - 10 \cdot \log(A_0) + 7 - 2C. \tag{2.63}$$

Ekvation 2.63 kan användas i ekvation 2.12 och skrivas om till ett teoretiskt reduktionstal enligt 2.64

$$\begin{aligned}
R_{vent,cir,Reynold} = TL_{io} + TL_{oi} - 10 \cdot \log \left(\frac{Q}{4\pi r L} + \frac{4}{A_{fot}} \right) - 10 \cdot \log \left(\frac{A_0}{A_i} \right) \\
- 10 \cdot \log(A_0) + 7 - 2C - 10 \cdot \log \left(\frac{A_{abs}}{S_{kanal}} \right).
\end{aligned} \tag{2.64}$$

Enligt Long (2006)

Omskrivning till reduktionstal enligt Long (2006) påminner om teorierna framtagna av Reynolds (1990) men det finns två variabler som skiljer sig. Den första variabeln är TL_{oi} enligt ekvation 2.45. Den andra variabeln som skiljer sig åt från teorin enligt Reynolds (1990) är omskrivning från ljudeffekt till ljudnivå i mottagarområdet där även Long (2006) tar upp en variant när ventilationskanalens mantelarea är i storleksordning med väggens area enligt ekvation 2.36 och 2.37. Med dessa noteringar kan reduktionstalet enligt ekvation 2.64 användas och korrigeras för att få fram reduktionstalet för Long (2006) vilket redovisas i ekvation 2.65

$$\begin{aligned}
R_{vent,cir,Long} = TL_{io} + TL_{oi} - 10 \cdot \log \left(\frac{Q}{2\pi r L} + \frac{4}{A_{fot}} \right) - 10 \cdot \log \left(\frac{A_0}{A_i} \right) \\
- 10 \cdot \log(A_0) + 7 - 10 \cdot \log \left(\frac{A_{abs}}{S_{kanal}} \right) - 2 \cdot C.
\end{aligned} \tag{2.65}$$

Om mantelarean på ventilationskanalen är i samma storleksordning som väggens area kan ekvation 2.66 användas för att beskriva reduktionstalet

$$\begin{aligned}
R_{vent,cir,Long,S} = TL_{io} + TL_{oi} - 10 \cdot \log \left(\frac{Q}{4\pi \cdot \left(r + \sqrt{\frac{SQ}{4\pi}} \right)^2 + \frac{4}{A_{fot}}} \right) \\
- 10 \cdot \log \left(\frac{A_0}{A_i} \right) - 10 \cdot \log(A_0) + 7 - 10 \cdot \log \left(\frac{A_{abs}}{S_{kanal}} \right) - 2 \cdot C.
\end{aligned} \tag{2.66}$$

2.5.5 Omskrivning till reduktionstal - Rektangulära kanaler

Det som främst skiljer sig mellan rektangulära och cirkulära kanaler är beräkning av överföringsförlusten. De andra omskrivningarna har samma tillvägagångssätt vilket gör att ekvationerna till detta stycke kan hämtas från reduktionstal för cirkulära kanaler.

Enligt Vér (1983)

Enligt argument enligt ovanstående stycke kan ekvation 2.60 användas som får en ny beteckning enligt ekvation 2.67

$$R_{vent,rek,Istan} = TL_{io} + TL_{oi} - 10 \cdot \log(n) - 10 \cdot \log\left(\frac{1}{2\pi rL} + \frac{4}{A_{fot}}\right) - 10 \cdot \log\left(\frac{PL}{S}\right) - 10 \cdot \log(A_0) + 7,5 - 2 \cdot C - 10 \cdot \log\left(\frac{A_{abs}}{S_{kanal}}\right). \quad (2.67)$$

Enligt Reynolds (1990)

Enligt argument i stycket ovan kan ekvation 2.64 användas som får en ny beteckning enligt ekvation 2.68

$$R_{vent,rek,Reynold} = TL_{io} + TL_{oi} - 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{4\pi rL} + \frac{4}{A_{fot}}\right) - 10 \cdot \log\left(\frac{A_0}{A_i}\right) - 10 \cdot \log(A_0) + 7 - 2C - 10 \cdot \log\left(\frac{A_{abs}}{S_{kanal}}\right). \quad (2.68)$$

Enligt Long (2006)

Enligt argument i stycke ovan kan ekvation 2.65 användas som får en ny beteckning enligt ekvation 2.69

$$R_{vent,rek,Long} = TL_{io} + TL_{oi} - 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{2\pi rL} + \frac{4}{A_{fot}}\right) - 10 \cdot \log\left(\frac{A_0}{A_i}\right) - 10 \cdot \log(A_0) + 7 - 10 \cdot \log\left(\frac{A_{abs}}{S_{kanal}}\right) - 2 \cdot C. \quad (2.69)$$

Om mantelarean på ventilationskanalen är i storleksordning med väggens area kan ekvation 2.66 användas för att beskriva reduktionstalet som för rektangulära kanaler skrivs om till ekvation 2.70

$$R_{vent,rek,Long,S} = TL_{io} + TL_{oi} - 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{4\pi \cdot \left(r + \sqrt{\frac{SQ}{4\pi}}\right)^2 + \frac{4}{A_{fot}}}\right) - 10 \cdot \log\left(\frac{A_0}{A_i}\right) - 10 \cdot \log(A_0) + 7 - 10 \cdot \log\left(\frac{A_{abs}}{S_{kanal}}\right) - 2 \cdot C. \quad (2.70)$$

2.5.6 Tillägg

Enligt Vigran (2008) kommer hög strålning att ske kring den så kallade ringfrekvensen, f_R , där omkretsen på ventilationskanalen och den longitudinella våglängden på materialet för ventilationskanalen är lika. Ringfrekvensen tas också upp av VÉR (1983) och enligt honom kan det vid denna frekvensen enklast ske en periodisk volymförskjutning som skapas av de interna plana ljudvågorna. Volymförskjutningen för en rund kanal kan ses som att kanalens väggar töjs ut. Fenomenet kan vidare förklaras som att de longitudinella ljudvågor som ger upphov till den periodiska volymförändringen anländer precis i fas efter att de har cirkulerat ett helt varv längs med kanalens inre omkrets vilket ger upphov till resonanseffekter. Dessa resonanseffekter är anledningen till att en periodisk volymförskjutning inträffar. Ringfrekvensen kan bestämmas till ekvation 2.71

$$f_R = \frac{c_L}{P}. \quad (2.71)$$

Den longitudinella våghastigheten, c_L är enligt ekvation 2.72, E är elasticitetsmodulen och ρ är densiteten på materialet för ventilationskanalen. Poissons tal tas inte med då det representerar en kvasilongitudinell våg

$$c_L = \sqrt{E/\rho}. \quad (2.72)$$

2.6 Otäthet som ljudfälla

Om en innervägg är uppbyggd som en regelstomme med skivor och ett mellanliggande hålrum kan det utrymmet mellan skivorna användas för att dämpa ljudspridningen från sändarrummet till mottagarrummet. Genom att utrymmet fylls med ljudabsorberande material skulle otätheten i teorin kunna användas som en ljudfälla enligt Einarsson och Svensson (1987). Däremot argumenteras det vidare för att denna ljuddämpning som det ljudabsorberande materialet bidrar till är försumbar i jämförelse med otäthetens påverkan. Denna teori kommer prövas som en av åtgärderna.

2.7 Notering

Samtliga beräkningar använder sig av basen 10 vid logaritmisk beräkning.

mätning med mikrofon men diffusorer kommer inte att sättas upp. Kontrollen kommer dokumenteras och diskuteras men inte tas i beaktning vid själva mätutförandet.

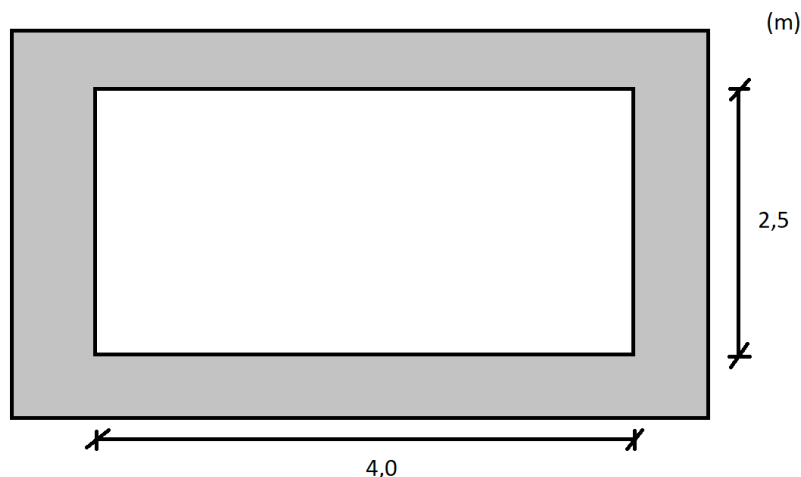
En annan faktor som ställer krav på de båda rummen är efterklangstiden. Enligt Swedish Standards Institute (2010c) borde inte efterklangstiden vara för lång eller kort. Enligt standarden bör efterklangstiden för frekvenser över 100 Hz ligga mellan 1-2 sekunder, om inte så borde rummen modifieras enligt ekvation 3.1

$$1 \leq T \leq 2 \cdot (V/50)^{2/3}. \quad (3.1)$$

På grund av detta arbetes omfattning kommer endast en kontroll göras om efterklangstiden ligger mellan 1-2 sekunder. En omarbetning av rummets volym kommer inte genomföras.

Den avskiljande väggen mellan de två rummen är 4 meter lång och 2,5 meter hög enligt figur 3.2, den byggbara tjockleken är 350 mm och den totala tjockleken på väggen är 600 mm.

I den byggbara delen kommer tre olika väggar byggas upp som har olika ljudklassificeringar enligt avsnitt 3.2. Vidare kommer tre olika dimensioner på ventilationskanaler användas som genomföringar i väggen var för sig och med åtgärder. Åtgärder, enligt avsnitt 3.4, kommer tillämpas tills syftet är uppnått. Den minsta kanaldimensionen i kombination med den lägst ljudklassade väggen provas först vilket beskrivs mer utförligt i avsnitt 3.6.






Figur 3.2: Illustrerande bild på den avskiljande väggen.

3.2 Konstruktion

Väggkonstruktionen väljs utifrån Gyprocs handbok där fokus läggs på 3 ljudklassade väggar, nämligen $R'w = 35,44$ samt 52 dB enligt figur 3.3 (Gyproc, 2019d). Dessa ljudklasser är de vanligaste förekommande för väggkonstruktioner i såväl skolor, kontor som sjukhus där genomföring av ventilationskanaler ofta förekommer (Eva Sjödahl, personlig kommunikation, 2019). Konstruktionen väljs att utformas med 95 mm XR-reglar för att endast behöva variera antal gipsskivor och isolering i väggen. Detta leder

till mindre materialåtgång och ger ett mer tidseffektivt mätförfarande. I branschen används centrumavstånd på 450 mm och därav kommer väggarna byggas med detta centrumavstånd.

Beteckning ↕	Ljudklassificering ↕		Max ↕ vägghöjd
▶ Gyproc XR 95/95 (450) N-N M0	35		6000
▶ Gyproc XR 95/95 (450) NN-NN M0	44		6800
▶ Gyproc XR 95/95 (450) NN-NN M95	52		6800

Figur 3.3: Typ av väggkonstruktioner med olika ljudklassificeringar från Gyprocs handbok (Gyproc, 2019d).

För att minimera risken av att ljud sprider sig via anslutning mellan den avskiljande byggda väggen och omgivande ytor appliceras en elastisk fogmassa längs med kanterna på båda sidorna enligt figur 3.4. Fog appliceras även varje gång en gipsskiva monteras ner och upp igen. Visuella kontroller genomförs innan varje mätprocedur påbörjas för att garantera att anslutning mellan innerväggen och de omgivande ytorna är tät.

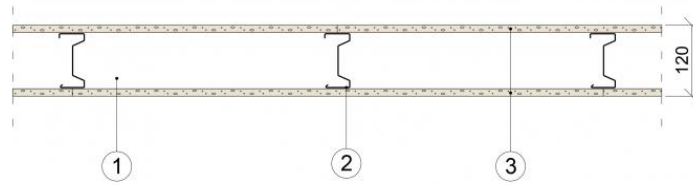


Figur 3.4: Applicerad fogmassa längd med kanterna.

3.2.1 Vägg med ljudklass $R'w=35$ dB

Den första väggen som ska byggas har ett fältreduktionstal på 35 dB och är enligt figur 3.5 uppbyggd av 95 mm XR-reglar, ett lager gipsskiva på vardera sida med en tjocklek på 12,5 mm och en stålskena längs golv, vägg och tak. En faktor som frångår väggkonstruktionen är val av skena. I figur 3.5 står det att stålskenan ska vara Gyproc SKP 952 men för att samma material ska kunna användas har en mer ljudisolerande skena valts som heter Gyproc AC 95/40 ACOUnomic. Denna skena gör det enklare för väggkonstruktionen att sluta tätt till de angränsande ytorna och anses kunna minska

spridning av ljudet. Eftersom en försämring ska mätas och åtgärdas anses inte denna förändring av konstruktionen ha stor påverkan på resultatet.

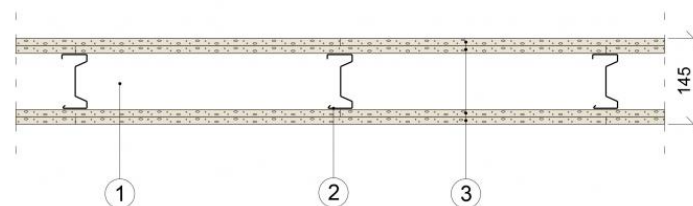


1. Skena Gyproc SKP 952) som kantprofil (i golv, vägg och tak)
2. Regel Gyproc XR 95, c 450 mm
3. 12,5 mm Gyproc Gipskivor¹⁾

Figur 3.5: Vägg med ljudklass $R'w=35$ dB från Gyprocs handbok (Gyproc, 2019a).

3.2.2 V ägg med ljudklass $R'w=44$ dB

Den andra väggen som ska byggas har ett fältreduktionstal på 44 dB och är enligt figur 3.6 uppbyggd av 95 mm XR-reglar, två lager gipsskivor på vardera sida med en tjocklek på 12,5 mm och en stålskena längs golv, vägg och tak med beteckning Gyproc AC 95/40 ACOUnomic.

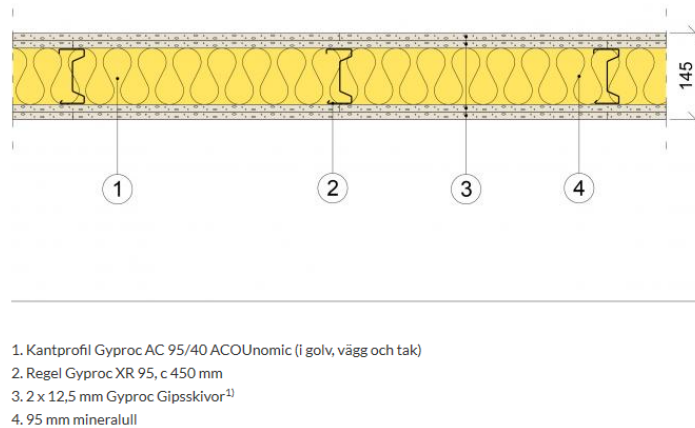


1. Kantprofil Gyproc AC 95/40 ACOUnomic (i vägg, tak och golv)
2. Regel Gyproc XR 95, c 450 mm
3. 2 x 12,5 mm Gyproc Gipskivor¹⁾

Figur 3.6: V ägg med ljudklass $R'w=44$ dB från Gyprocs handbok (Gyproc, 2019b).

3.2.3 V ägg med ljudklass $R'w=52$ dB

Den tredje och sista väggen som ska byggas har ett fältreduktionstal på 52 dB och är enligt figur 3.7 uppbyggd på liknande sätt som den i figur 3.6, nämligen av 95 mm XR-reglar, två lager gipsskivor på vardera sida med en tjocklek på 12,5 mm och en stålskena längs golv, vägg och tak med beteckning Gyproc AC 95/40 ACOUnomic. Det som skiljer är att väggen fylls med isolering från ISOVER med beteckning ISOVER Piano[®] Ljudskiva Stål c450 med en tjocklek på 95 mm som är slitsad.



Figur 3.7: Väggen med ljudklass $R'w=52$ dB från Gyprocs handbok (Gyproc, 2019c).

3.3 Ventilationskanaler

Ventilationskanalerna ska, förutom att gå genom väggen, även ledas ut i båda rummen på en sträcka av 3 meter för att efterlikna de scenarion som återfinns i byggnader. Ventilationskanalerna levererades i längder om 3 meter för de cirkulära och 1 meter för det rektangulära från Lindab. Kanalsystemet är av materialen aluminium och zink. Koppling med beteckning NPU har använts för att föra samman de cirkulära kanalerna enligt figur 3.8 (Lindab, 2020). Den koppling som använts har en viss vibrationsdämpande förmåga vilket anses kunna minska ljudspridningen. Därav har kopplingar främst valts att användas mitt i rummet istället för att en koppling skulle inträffa mitt i väggen. Däremot kommer mätförfarande med koppling mitt i vägg testas för den minsta kanaldimensionen i vardera vägg i syfte att undersöka hur stor vibrationsdämpande förmåga kopplingen har.

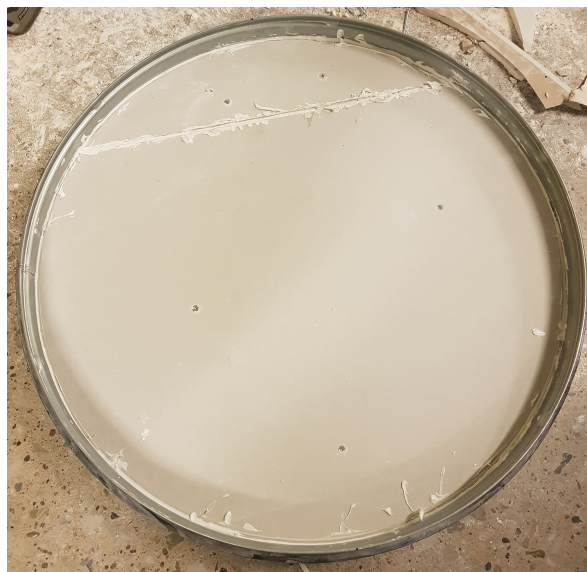


Figur 3.8: Koppling med beteckning NPU (Lindab, 2020).

För att minimera missvisande ljudspridning i kanalen kommer ventilationskanalernas ändar att slutas med ett täcklock med beteckning ESU. Täcklocket kompletteras med 2 lager gips på insidan för att säkerställa att ljudspridning via änden blir minimal enligt figur 3.9. Anledningen till att ljudspridning via änden vill minskas är för att en ventilationskanal antingen ansluter till ett don, som kan ha dämpande egenskaper,

eller leds vidare ut från rummet. Därmed kan resultatet bli missvisande om täcklocket inte kompletteras med andra ljuddämpande material. De ventilationskanaler som ska testas är två cirkulära med två vanligt förekommande dimensioner på 315 och 630 mm. Eftersom rektangulära kanaler även förekommer i praktiken kommer en rektangulära kanal med dimension 700 x 250 mm testas också. De cirkulära kanalerna har beteckning SRL och det rektangulära har beteckning LKR enligt Lindab.

Ventilationskanalerna från Lindab ska testas i 3 vanligt förekommande storlekar, 2 cirkulära med beteckning SRL och ett rektangulärt med beteckning LKR. Ventilationskanalerna ska beprövas med dimensionerna 315, 630 och 700x250 mm.



Figur 3.9: Täcklock med beteckning ESU monterat med 2 lager gips samt fog invändigt.

3.4 Åtgärder

Vid genomföring av ventilationskanal i en vägg mellan två rum kan ljudet sprida sig mellan rummen på flera sätt. Ljudet kan sprida sig via kanalens ytor som vibrationer eller via luften i kanalen genom break in och break out. Ljudet kan även sprida sig genom väggen eller via eventuella springor kring genomföringen som inte fogas.

Ljudlabbet är utformat så att flanktransmissioner via de omgivande väggarna ska vara minimala och därav tas de inte i beaktning vid analys av resultatet. För att målsättningen av uppsatsen ska uppnås kan inte åtgärder göras på den avskiljande väggen, ty det påverkar väggens ursprungliga ljudreduktionsstal; istället ska åtgärder göras på övriga faktorer. Åtgärder kan göras på kanalen som reducerar den ljudöverföring som går via kanalen genom att svepa ventilationskanalen med isolering. I detta försök används stenull från ISOVER med beteckning TECH Wired Mat MT 5.1 med tjocklekar på 50 och 100 mm. Enklare åtgärder kan även göras kring det luftområde som finns mellan väggen och ventilationskanalen. Övriga åtgärder kommer inte undersökas i denna uppsats enligt avsnitt 1.5. Följande åtgärder förekommer i branschen och väljs därav att undersökas vidare. För varje kombination kan sveplängden varieras samt placering av koppling och därför ska nedanstående lista endast ses som övergripande åtgärder. Detaljerad beskrivning av varje mätning tas upp under stycke 3.6.

1. Ingen åtgärd.
2. Elastisk fogmassa från Bostik med beteckning Fire Bond Silmax Pro har använts mellan ventilationskanal och vägg på båda sidorna om väggen för att ta bort det som benämns som luftområde i detta avsnitt.
3. Som åtgärd 2 samt isolering i väggen runt ventilationskanalen (Endast för kanal-dimension 315 mm då de andra kanalerna var svåra att hantera).
4. Åtgärd 2 samt svepning av ventilationskanalen med 50 mm stenull som har en densitet på 100 kg/m^3 på olika sträckor ut i vardera rum.
5. Åtgärd 4 fast med en tjocklek på 100 mm istället.

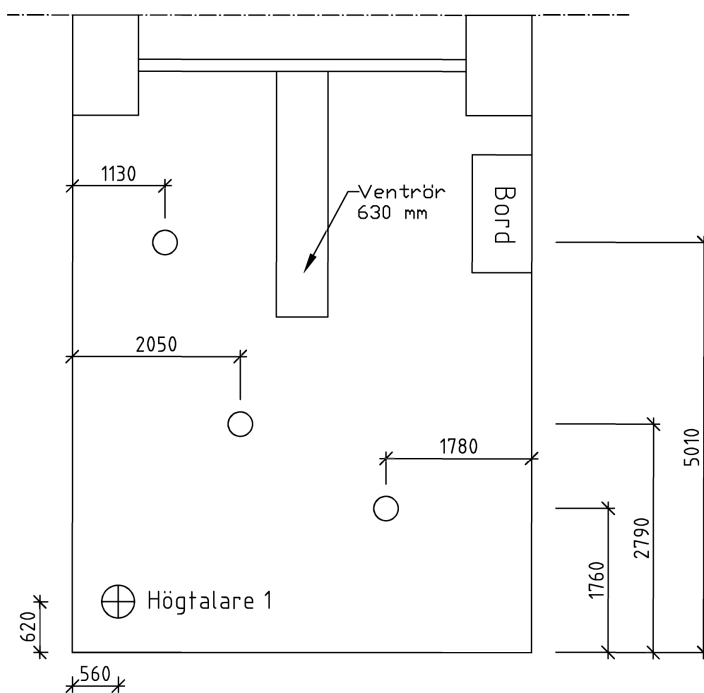
3.5 Uppställning

3.5.1 Mätning av efterklangstid

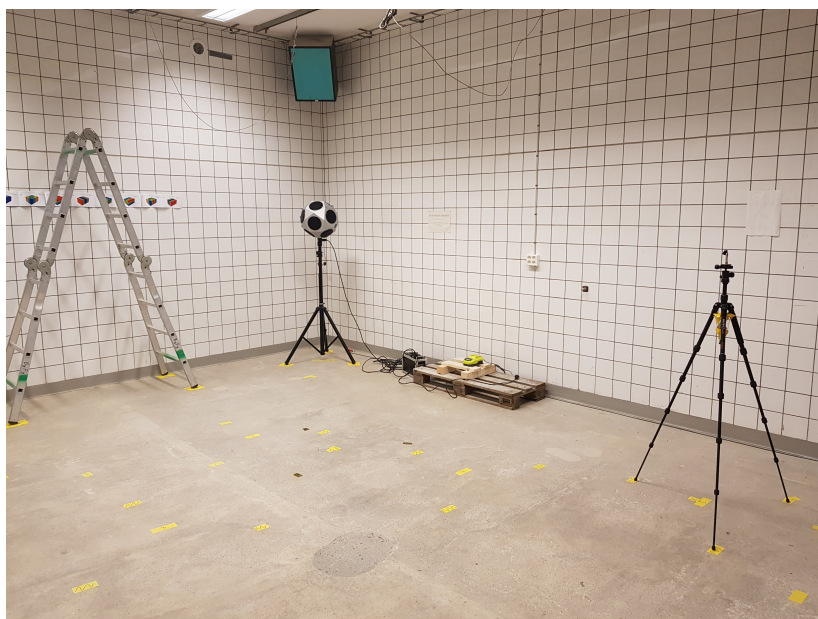
Efterklangstiden kommer inledningsvis att mätas med oisolerad kanal. Därefter mäts en ny efterklangstid för varje sekvens som innebär en svepning av ventilationskanalen. Anledningen är att svepning av ventilationskanalen med stenull bidrar till en annan absorptionsarea i rummet vilket beskrivs mer detaljerat i avsnitt 3.6. Mätning av efterklangstid utförs och utvärderas enligt SS-EN ISO 3382-2:2008.

Mätning av efterklangstiden kommer göras enligt den tekniska metoden som är mest lämplig enligt Swedish Standards Institute (2010b). Efterklangstiden kommer mätas enligt den avbrutna brusmetoden och fixerade mikrofonpositioner. Enligt den tekniska metoden kommer en position för ljudkällan användas och 3 mikrofonpositioner med två avklingningar på vardera position eftersom efterklangstiden främst kommer användas för korrigering i samband med mätning av luftljudsisolering. Excitering av ljudkällan ska pågå längre än rummets halva efterklangstid, därav kommer en excitering på 4 sekunder väljas och mätning kommer pågå under 5 sekunder. Vid mätning av efterklangstiden ska en del avstånd uppfyllas enligt punktlistan nedan och symmetriska positioner ska undvikas (Swedish Standards Institute, 2008). Utifrån nedanstående punkter har mikrofonpositioner enligt figur 3.10. Därtill visas en bild från mättillfället enligt figur 3.11 där stativet är placerat på punkten närmst den avskiljande väggen.

- Mikrofonpositionerna ska helst vara cirka 2 meter ifrån varandra.
- Avstånd mellan mikrofon och reflekterande ytor ska helst vara minst 1 meter.



Figur 3.10: Placering av mikrofon- och högtalarpositioner vid mätning av efterklangstid.



Figur 3.11: Mätning av efterklangstid, stativ vid position närmst den avskiljande väggen.

3.5.2 Mätning av luftljudsisolering

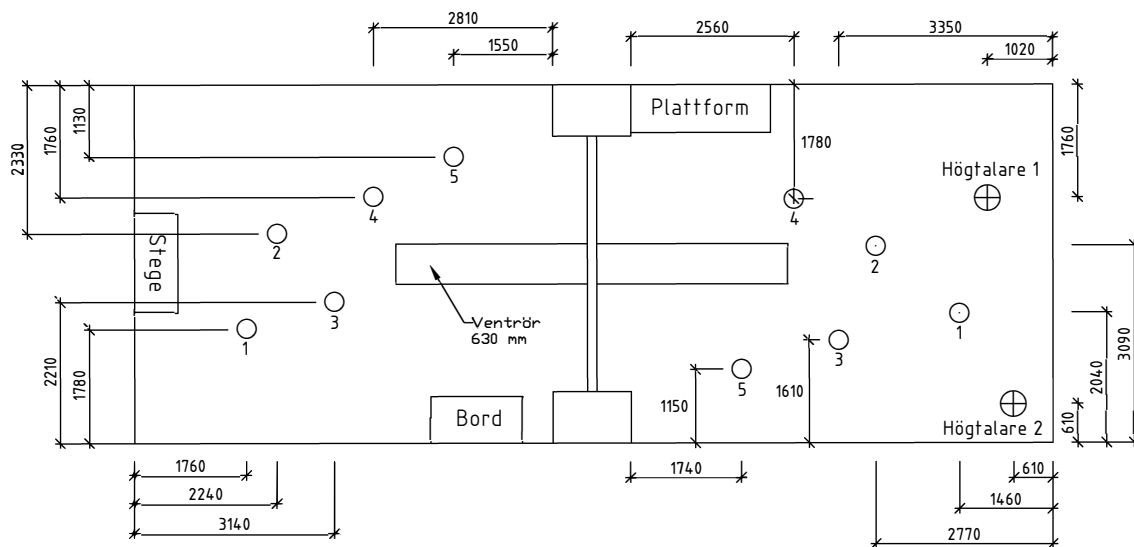
När ljudnivån ska mätas i laboratorium ska det göras antingen med en mikrofon som placeras i ett antal fixerade positioner eller genom att kontinuerligt föra en mikrofon i ett visst mönster (Swedish Standards Institute, 2010b). Det som skiljer sig mellan laboratorium- och fältmätningar när det kommer till mätning av ljudnivå är att rörelse med mikrofonen manuellt på något av fyra olika mönster, cirkel, helix, cylindrisk eller tre semicirklar är accepterat vid fältmätningar (Swedish Standards Institute, 2010b, 2014). Denna metod används i praktiken då det är en metod som är enklare att tillämpa och som vanligtvis ger resultat med tillräcklig noggrannhet (Personlig kommunikation, Akustikavdelningen på Tyrens AB). Eftersom syftet är att hitta åtgärder som, vid mätning, inte ger en försämring av väggens ljudreduktionstal kan det anses vara relevant att utföra mätning i laboratorium på samma sätt som det görs i fält. Dock skiljer sig mätningar som görs i fält markant från det som görs i laboratorium. Därtill utförs mätningar i laboratorium för att genomföra noggranna mätningar där en skillnad kan påvisas som inte beror på övriga faktorer som exempelvis flanktransmissioner. I en fallstudie gjord av Simmons (2012) har sex olika metoder analyserats för att mäta den genomsnittliga ljudnivån där de fyra mönsterna med en manuellt rörlig mikrofon är med. De två andra är olika uppställningar på fixerade mikrofoner. Fallstudien leder fram till att fixerade mikrofonpositioner är mer fördelaktig än de manuellt rörliga fallen. De fall med rörliga mikrofoner avviker även mer från medelvärdet för vissa frekvenser i jämförelse med fixerade mikrofoner. Därav, enligt både Simmons (2012) och Swedish Standards Institute (2010b), kommer fixerade positioner att användas vid mätning av ljudnivån för de olika mätsekvenserna.

Högtalar- och mikrofonpositioner kommer att väljas så att de följer Swedish Standards Institute (2010b), däremot står det inte specificerat i standarden var alla positioner ska vara placerade i rummet. Minst 2 högtalarpositioner ska användas och till varje högtalarposition ska minst 5 fixerade mikrofonpositioner användas i vardera rum. Vid varje mikrofonposition ska en mätning av ljudnivån utföras i minst 6 sekunder. För att öka noggrannheten på mätningarna kommer ljudnivån vid varje mikrofonposition att mätas i 8 sekunder.

Då placering av källa och mikrofon inte står specificerat i standarden enligt Swedish Standards Institute (2010b) kommer dessa att väljas i samråd med avdelningen för Teknisk akustik på Lunds tekniska högskola. Enligt Swedish Standards Institute (2010c) kan två högtalare vara igång samtidigt förutsatt att de är av liknande karaktär och att de är okorrelerade. Detta medför att ljudnivån endast behöver mätas en gång per mikrofonposition vilket halverar antalet mätningar. Därav kommer denna procedur att tillämpas, högtalarna är båda omnidirektionella och de kopplas in till varsin förstärkare av samma modell med fabrikat Brüel & Kjær med beteckning Power Amplifier Type 2734 som båda ställdes in med samma inställningar. En kontroll utförs så att val av högtalarpositioner ger liknande resultat. En högtalarposition placeras i ett av de bakre hörnen i sändarrummet och den andra positionen placeras närmre mitten och på motsatt sida om den första enligt figur 3.12 och figur 3.13 (Personlig kommunikation, Avdelning för Tekniska Akustik på LTH, 2019). Därefter kommer mikrofonpositioner att spridas runt i rummet så att de uppfyller rekommendationer enligt Swedish Standards Institute (2010b) angående minsta avstånd mellan källa, ytor och mikrofonpositioner. Dessa avstånd beskrivs i nedanstående lista och ska uppfyllas i största möjliga mån, utifrån nedanstående punkter har mikrofonpositioner enligt figur 3.12 valts. Därtill visas en bild

från mättillfället enligt figur 3.14 där stativet är placerat på punkt 1 i mottagarummet.

- 0,7 m mellan olika mikrofonpositioner.
- 0,7 m mellan mikrofonpositioner och rummets ytor.
- 1 m mellan mikrofonposition och testelementet.
- 1 m mellan mikrofonposition och ljudkälla.



Figur 3.12: Placering av mikrofon- och högtalarpositioner vid mätning av ljudnivå för luftljudsisoleringen.



Figur 3.13: Placering av högtalarpositioner i sändarrummet.



Figur 3.14: Stativ på position 1 i mottagarrummet vid sekvens AC1.

Mätresultatet kommer främst granskas i frekvensspannet 100–3150 Hz ty detta krav återfinns på skolor, kontor och sjukhus (Swedish Standards Institute, 2017) där genomföringar av större ventilationskanaler främst förekommer jämfört med bostadshus.

3.6 Mätförfarande/sekvens

För att mätningarna ska kunna genomföras på ett effektivt sätt ägnas detta avsnitt till att detaljerat beskriva den planering som ligger till grund för mätförfarandet. Detta avsnitt kommer bland annat användas som en mall vid själva utförandet och avses kunna användas som mall om liknande försök vill genomföras i framtiden. Genomföring av ventilationskanalen kommer att ske i den övre delen av väggens horisontella mittlinje och längs med den vertikala centrumlinjen. Eftersom väggens regler har ett centrumavstånd på 450 mm bör detta beaktas vid val av placering av ventilationskanalen så att endast en regel påverkas. Mätuppställningar sker enligt avsnitt 3.5. Temperatur, relativ fuktighet och statiskt tryck ska redovisas enligt Swedish Standards Institute (2010a) men anses inte ha stor påverkan på resultatet och därav läggs ingen stor vikt på dessa variabler.

Mätsekvenserna delas upp med numrering enligt nedan där X definieras som ett naturligt tal. Den första bokstaven representerar vilken vägg som används och den andra bokstaven representerar vilken storlek på ventilationskanalen som går genom väggen.

AAX - Vägg med ljudklass $R'w=35$ dB och ventilationskanal, \varnothing 630 mm.

ABX - Vägg med ljudklass $R'w=35$ dB och ventilationskanal, \varnothing 315 mm.

ACX - Vägg med ljudklass $R'w=35$ dB och ventilationskanal med dimension 700x250 mm.

BAX - Vägg med ljudklass $R'w=44$ dB och ventilationskanal, \varnothing 315 mm.

BBX - Vägg med ljudklass $R'w=44$ dB och ventilationskanal, \varnothing 630 mm.

BCX - Vägg med ljudklass $R'w=44$ dB och ventilationskanal med dimension 700x250 mm.

CAX - V ägg med ljudklass $R'w=52$ dB och ventilationskanal, \varnothing 315 mm.

CBX - V ägg med ljudklass $R'w=52$ dB och ventilationskanal, \varnothing 630 mm.

CCX - V ägg med ljudklass $R'w=52$ dB och ventilationskanal med dimension 700x250 mm.

3.6.1 V ägg med ljudklass $R'w=35$ dB

Det första som gjordes var att bygga upp själva stommen för de tre innerv äggarna. Skenor monterade fast i v äggar, tak och golv. Därefter monterades reglar fast i skenorna med ett centrumavstånd på 450 mm. Sist monterades 1 lager gipsskivor på vardera sida v äggen. Detta motsvarar uppbyggnaden för den första v äggen med ljudklass 35 dB, härnäst påbörjas de olika mätsekvenserna.

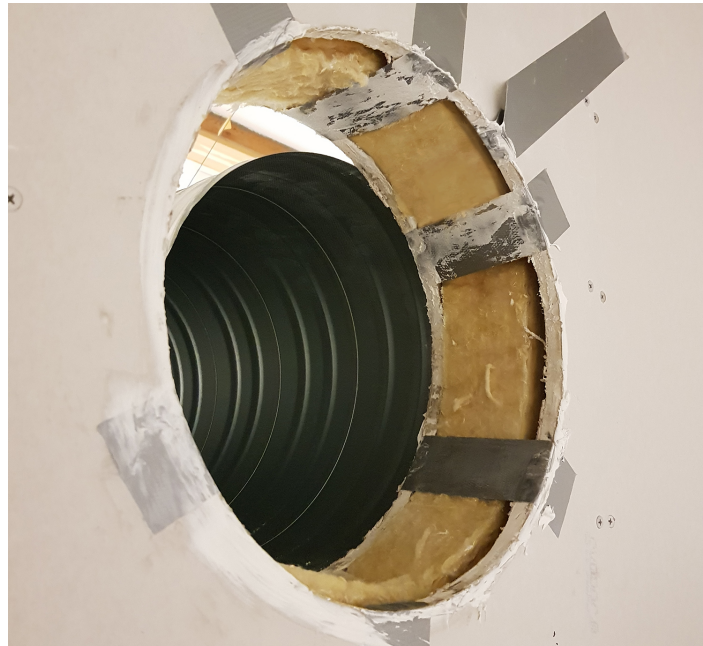
Ventilationskanal \varnothing 315 mm

AA1 Efterklangstid i mottagarrummet mättes och därefter genomfördes en luftljudsisoleringmätning på den färdiga v äggen för att få ett referensvärde. Detta värde användes som referens för samtliga mätsekvenser med index som börjar på A.

AA2 Den mittersta skivan på båda sidorna monterades ner och ett hål skars med en gippskniv för den minsta kanaldimensionen, 315 mm, med en marginal på max 1 cm. Gipsskivorna sattes tillbaks och ventilationskanalen monterades på plats. Ett rör på 3 meter stack ut 1,4-1,5 meter i vardera rum, därefter kopplades ett rör på 1,5 meter på vardera sida med tillhörande täcklock. Därefter mättes efterklangstiden på nytt och en ny luftljudsisoleringmätning genomfördes vilket motsvarar åtgärd 1.

AA3 Fogmassa applicerades vid anslutningen och en ny mätning gjordes på luftljudsisoleringen vilket motsvarar åtgärd 2.

AA4 Fogremsan togs bort och ventilationsrören plockades ner. En glasullsremsa med densitet på 20 kg/m^3 samt tjocklek på 20 mm fästes i de två gipsskivorna med silvertejp enligt figur 3.15 och ventilationskanalen monterades på plats igen. Sist applicerades ny fogmassa och en ny luftljudsisoleringmätning genomfördes vilket motsvarar åtgärd 3.



Figur 3.15: Åtgärd enligt AA4.

- AA5 Glasullsremsan plockades ner och ventilationskanalen sveptes med 50 mm stenull med en sträcka på 600 mm ut i vardera rum i anslutning till väggen. En ny efterklangstid samt luftljudsisoleringsmätning genomfördes.
- AA6 En ny mätningen genomfördes där kopplingen placerades mitt i väggen, här applicerades endast en fogmassa och en ny luftljudsisoleringsmätning genomfördes med efterklangstid enligt AA3.

Ventilationskanal Ø 630 mm

- AB1 Den mittersta skivan på båda sidorna monterades ner och ett hål skars med en gipskniv för en kanaldimensionen på 630 mm, med en marginal på max 1 cm. Gipsskivorna sattes tillbaks och ventilationskanalen monterades på plats enligt samma metod som i AA2. Efterklangstid och luftljudsisolering mättes på nytt vilket motsvarar åtgärd 1.
- AB2 Fogmassa applicerades vid anslutningen och en ny mätning gjordes på luftljudsisoleringen vilket motsvarar åtgärd 2.
- AB3 Ventilationskanalen sveptes med 50 mm stenull med en sträcka på 600 mm ut i vardera rum i anslutning till väggen. En ny efterklangstid samt luftljudsisoleringsmätning genomfördes.
- AB4 Samma som AB3 fast med en sveplängd på 1200 mm istället i vardera rum.

Ventilationskanal 700x250 mm

- AC1 Den mittersta skivan på båda sidorna monterades ner och ett hål skars med en gipskniv för en kanaldimensionen på 700x250 mm, med en marginal på max 1 cm. Gipsskivorna sattes tillbaks och ventilationskanalen monterades på plats. De rektangulära kanalerna som användes kom i längder om 1 meter vars koppling är

enligt figur 3.16. För att samma längd skulle sträckas ut i vardera rum placerades kopplingen först i anslutning till väggen. Därefter mättes efterklangstiden på nytt och en ny luftljudsisolering mätning genomfördes vilket motsvarar åtgärd 1.



Figur 3.16: Koppling för det rektangulära kanalsystemet.

AC2 Fogmassa applicerades vid anslutningen och en ny mätning gjordes på luftljudsisoleringen vilket motsvarar åtgärd 2.

AC3 Samma som AC2 fast här placerades kopplingen så långt ifrån väggen som möjligt vilket resulterade till att kanalen stack ut mer i mottagarrummet (3,45 m) än sändarrummet (2,55 m). En ny luftljudsisolering mätning genomfördes.

3.6.2 Vägg med ljudklass $R'w=44$ dB

Ett lager gipsskivor behövdes monteras på vardera sida för att nästa väggkombination skulle prövas. Här monterades gipsskivorna med överlapp vilket även görs i praktiken för att minimera att ljud sprider sig mellan springorna. Härnäst påbörjas de olika mätsekvenserna.

Ventilationskanal \varnothing 315 mm

BA1 Efterklangstid mättes i mottagarrummet och en mätning på luftljudsisoleringen genomfördes på den färdiga väggen för att få ett referensvärde. Detta värde användes som referens för samtliga mätsekvenser med index som börjar på B.

BA2 Tre gipsskivor, 2 på främre raden och 1 på bakre, på vardera sida monterades ner och ett hål skars med gipskniv för den minsta kanaldimensionen, 315 mm, med en marginal på max 1 cm. Gipsskivorna sattes tillbaks och ventilationskanalen monterades på plats enligt samma metod som i AA2. Efterklangstiden och luftljudsisoleringen mättes på nytt vilket motsvarar åtgärd 1.

BA3 Fogmassa applicerades vid anslutningen och en ny mätning gjordes på luftljudsisoleringen vilket motsvarar åtgärd 2.

- BA4 Fogmassan skrapades av och ventilationskanal samt gipsskivor monterades ner så att den övre delen kunde fyllas med en glasullsskiva enligt figur 3.17. Då det inte visade sig ge stor skillnad med endast en mineralullsremsa i AA4 valdes en större åtgärd att prövas vilket anses vara ett gränsfall till att förbättra själva väggen. Ett hål skars i isoleringen med minimal marginal och gipsskivor samt ventilationskanal monterades på plats. En ny luftljudsisoleringmätning genomfördes.
- BA5 Glasullsskivan plockades ner och ventilationskanalen sveptes med 50 mm stenull med en sträcka på 600 mm ut i vardera rum i anslutning till väggen. En ny efterklangstid samt luftljudsisoleringmätning genomfördes.
- BA6 Samma som BA5 fast med en sveplängd på 1200 mm i vardera rum.
- BA7 Samma som BA5 fast en sveplängd på 1800 mm i sändarrum och 1200 mm i mottagarrum.
- BA8 En ny mätningen genomfördes där kopplingen placerades mitt i väggen, här applicerades endast en fogmassa och en ny luftljudsisoleringmätning genomfördes med efterklangstid enligt BA3.



Figur 3.17: Placering av glasullsskiva för mätsekvens BA4.

Ventilationskanal Ø 630 mm

- BB1 Tre gipsskivor, 2 på främre raden och 1 på bakre, på vardera sida monterades ner och ett hål skars med gipskniv för en kanaldimensionen på 630 mm, med en marginal på max 1 cm. Gipsskivorna sattes tillbaks och ventilationskanalen monterades på plats enligt samma metod som i AA2. Efterklangstiden och luftljudsisoleringen mättes på nytt vilket motsvarar åtgärd 1.
- BB2 Fogmassa applicerades vid anslutningen och en ny mätning gjordes på luftljudsisoleringen vilket motsvarar åtgärd 2.
- BB3 Ventilationskanalen sveptes med 50 mm stenull med en sträcka på 600 mm ut i vardera rum i anslutning till väggen. En ny efterklangstid samt luftljudsisoleringmätning genomfördes.

- BB4 Samma som BB3 fast med en sveplängd på 1200 mm i vardera rum närmst väggen.
- BB5 Samma som BB3 fast med en sveplängd på 1800 mm i vardera rum närmst väggen.
- BB6 Samma som BB3 fast med full svepning i vardera rum enligt figur 3.18.
- BB7 Som sista åtgärd för denna kombination prövades även full svepning i endast mottagarrummet och ingen svepning i sändarrummet. Efterklangstid användes från BB6 och en ny luftljudsisoleringsmätning genomfördes.



Figur 3.18: Full svepning i sändarrum enligt mätsekvens BB6.

Ventilationskanal 700x250 mm

- BC1 Tre gipsskivor, 2 på främre raden och 1 på bakre, på vardera sida monterades ner och ett hål skars med gippskniv för en kanaldimensionen på 700x250 mm, med en marginal på max 1 cm. Gipsskivorna sattes tillbaks och ventilationskanalen monterades upp. Efterklangstiden och luftljudsisoleringen mättes på nytt vilket motsvarar åtgärd 1.
- BC2 Fogmassa applicerades vid anslutningen och en ny mätning gjordes på luftljudsisoleringen vilket motsvarar åtgärd 2.
- BC3 Ventilationskanalen sveptes med 50 mm stenull med en sträcka på 600 mm ut i vardera rum i anslutning till väggen. En ny efterklangstid samt luftljudsisoleringsmätning genomfördes.
- BC4 Samma som BC3 fast med en sveplängd på 1200 mm i vardera rum.
- BC5 Samma som BC3 fast med en sveplängd på 1800 mm i mottagarrum och 1200 i sändarrum.
- BC6 Samma som BC3 fast med en sveplängd på 1800 mm i vardera rum.
- BC7 Samma som BC3 fast med en sveplängd på 2400 mm i mottagarrum och 1800 i sändarrum.
- BC8 Samma som BC3 fast med en sveplängd på 3000 mm i mottagarrum och 2400 i sändarrum.

3.6.3 Vägg med ljudklass $R'w=52$ dB

För att den sista väggkombinationen monterades två lager gipsskivor ner på ena sidan och väggen fylldes med 95 mm glasull överallt enligt figur 3.19. Därefter monterades gipsskivorna på plats igen och de olika mätsekvenserna påbörjades enligt nedan.



Figur 3.19: Montering av glasull för vägg med ljudklass $R'w=52$ dB.

Ventilationskanal \varnothing 315 mm

- CA1 Efterklangstid mättes i mottagarrummet och en mätning på luftljudsisoleringen genomfördes på den färdiga väggen för att få ett referensvärde. Detta värde användes som referens för samtliga mätsekvenser med index som börjar på C.
- CA2 Tre gipsskivor, 2 på främre raden och 1 på bakre, på vardera sida monterades ner och ett hål skars med gipskniv för en kanaldimensionen på 315 mm, med en marginal på max 1 cm. Gipsskivorna sattes tillbaks och ventilationskanalen monterades på plats enligt samma metod som i AA2. Efterklangstiden och luftljudsisoleringen mättes på nytt vilket motsvarar åtgärd 1.
- CA3 Fogmassa applicerades vid anslutningen och en ny mätning gjordes på luftljudsisoleringen vilket motsvarar åtgärd 2.
- CA4 Här finns redan glasull i väggen vilket innebär att en åtgärd 3 inte utförs. Istället sveps ventilationskanalen med 50 mm stenull med en sträcka på 600 mm ut i vardera rum i anslutning till väggen. En ny efterklangstid samt luftljudsisoleringsmätning genomfördes.
- CA5 Samma som CA4 fast med en sveplängd på 1200 mm i vardera rum.
- CA6 Samma som CA4 fast med en sveplängd på 1800 mm i vardera rum.
- CA7 Samma som CA4 fast med en full svepning i vardera rum.
- CA8 Här prövades det motsatta från sekvens BB7, nämligen full svepning i endast sändarrum och ingen svepning i mottagarrum. Efterklangstid användes från CA2 och en ny luftljudsisoleringsmätning genomfördes.
- CA9 Som sista åtgärd prövades koppling mitt i vägg med efterklangstid från CA2 och endast en fogmassa kring anslutningen. En ny luftljudsisoleringsmätning genomfördes.

Ventilationskanal Ø 630 mm

- CB1 Tre gipsskivor, 2 på främre raden och 1 på bakre, på vardera sida monterades ner och ett hål skars med gipskniv för en kanaldimensionen på 630 mm, med en marginal på max 1 cm. Gipsskivorna sattes tillbaks och ventilationskanalen monterades på plats enligt samma metod som i AA2. Efterklangstiden och luftljudsisoleringen mättes på nytt vilket motsvarar åtgärd 1.
- CB2 Fogmassa applicerades vid anslutningen och en ny mätning gjordes på luftljudsisoleringen vilket motsvarar åtgärd 2.
- CB3 Ventilationskanalen sveptes med 50 mm stenull med en sträcka på 600 mm ut i vardera rum i anslutning till väggen. En ny efterklangstid samt luftljudsisoleringsmätning genomfördes.
- CB4 Samma som CB3 fast med en sveplängd på 1200 mm i vardera rum.
- CB5 Samma som CB3 fast med en sveplängd på 1800 mm i vardera rum.
- CB6 Samma som CB3 fast med full sveplängd i vardera rum.
- CB7 Ventilationskanalen sveptes med 100 mm stenull med en sträcka på 1800 mm ut i vardera rum i anslutning till väggen. Resterande sträckor sveptes med 50 mm stenull i vardera rum enligt figur 3.20. En ny efterklangstid samt luftljudsisoleringsmätning genomfördes.



Figur 3.20: Full svepning i mottagarrum enligt mätsekvens CB7.

Ventilationskanal 700x250 mm

- CC1 Tre gipsskivor, 2 på främre raden och 1 på bakre, på vardera sida monterades ner och ett hål skars med gipskniv för en kanaldimensionen på 700x250 mm, med en marginal på max 1 cm. Gipsskivorna sattes tillbaks och ventilationskanalen monterades på plats med kopplingen nära vägg då det inte tidigare har varit stor skillnad i mätresultat med placering av koppling. Efterklangstiden och luftljudsisoleringen mättes på nytt vilket motsvarar åtgärd 1.
- CC2 Fogmassa applicerades vid anslutningen och en ny mätning gjordes på luftljudsisoleringen vilket motsvarar åtgärd 2.

- CC3 Ventilationskanalen sveptes med 50 mm stenull med en sträcka på 600 mm ut i vardera rum i anslutning till väggen. En ny efterklangstid samt luftljudsisoleringsmätning genomfördes.
- CC4 Samma som CC3 fast med en sveplängd på 1200 mm i vardera rum.
- CC5 Samma som CC3 fast med en sveplängd på 1800 mm i vardera rum.
- CC6 Samma som CC3 fast med full sveplängd i vardera rum.
- CC7 Ventilationskanalen sveptes med 100 mm stenull med en sträcka på 600 mm ut i vardera rum i anslutning till väggen. Resterande sträckor sveptes med 50 mm stenull i vardera rum. En ny efterklangstid samt luftljudsisoleringsmätning genomfördes.
- CC8 Samma som CC7 fast med en sveplängd på 1200 mm för stenullen med en tjocklek på 100 mm.
- CC9 Samma som CC7 fast med en sveplängd på 1800 mm för stenullen med en tjocklek på 100 mm.

För samtliga kombinationer där vägg med ljudklass $R'w=52$ dB användes behövde hål tas i isoleringen vilket gjordes så att hålet i glasullen var större än hålet i gipsskivorna enligt figur 3.21.



Figur 3.21: Glasull i vägg för kombination 52/700x250.

3.7 Utvärdering

Vid utvärdering av resultatet kan flertalet storheter användas för att bedöma om en åtgärd varit tillräcklig för att genomföringen inte ska reducera väggens vägda reduktionstal enligt avsnitt 2.4.1. Två av dessa storheter tas upp i Swedish Standards Institute (2010a) vilka är D_n , vilket skrivs som $D_{n,e}$ i standarden då det beskriver ett element, och R . Vid utförandet kommer dessa storheter ge samma resultat då referensarean, A_0 , i D_n är 10 m^2 vilket är samma som arean för provkroppen, S , i R .

Kapitel 4

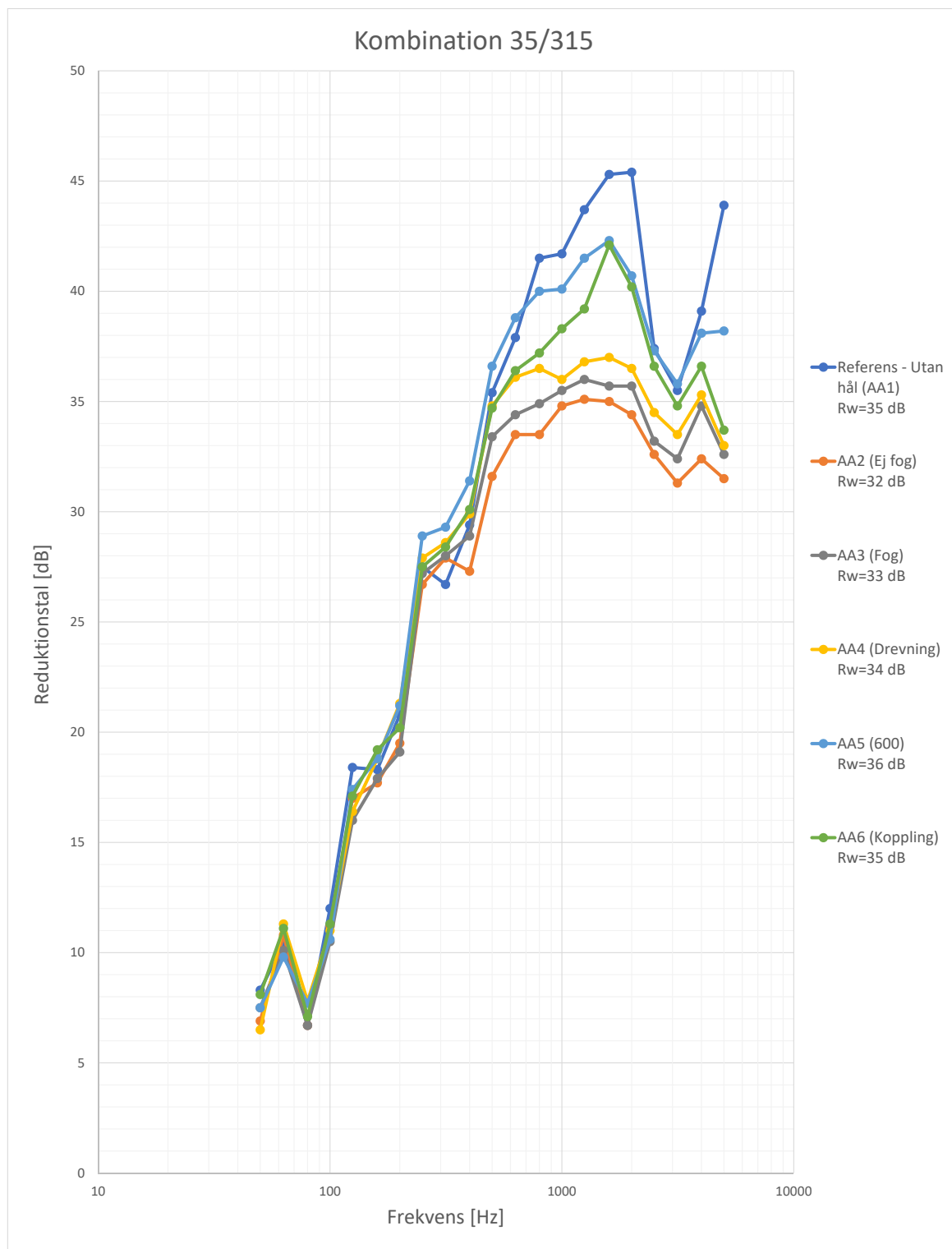
Mätresultat

4.1 Mätresultat i laboratorium

Generellt i alla åtgärder kan det urskiljas skillnader mellan de olika åtgärderna och att ingen åtgärd har försämrat ursprungsfallet när det bara finns en ventilationskanal utan åtgärder som går igenom väggen.

4.1.1 Kombination 35/315

För ventilationskanalen med en dimension på 315 mm i diameter i vägg med ljudklass $R'w = 35$ dB kan en tydlig nedsänkning av reduktionstalet ses för sekvens AA2 med start kring 400 Hz i jämförelse med referensväggen. Frekvenser över 400 Hz kommer under denna sektion benämnas som högre frekvenser.



Figur 4.1: Åtgärdsdiagram för kanal med 315 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'w = 35$ dB.

När en fog appliceras, som motsvarar sekvens AA3, ökar reduktionstalet vid de högre frekvenserna marginellt och det vägda reduktionstalet höjs från 32 till 33 dB.

En glasullsremsa med tjocklek 20 mm med en densitet på 20 kg/m^3 gav en marginell skillnad och var inte tillräcklig för att nå upp till syftet enligt sekvens AA4. Denna sekvens kan ge en indikation på att större delen av ljudöverföringen inte sker kring utrymmet mellan kanal och vägg utan snarare via ventilationskanalen.

Den sekvens som hade stor påverkan på reduktionstalet för aktuell kombinationen var sekvens AA5 där kanalen sveptes med 50 mm stenull på 100 kg/m^3 med en sträcka av 600 mm på vardera sida. Denna sekvens bidrog men en ökning av reduktionstalet på den avskiljande konstruktionen med 1 dB jämfört med den homogena referensväggen utan hål. En av de större avvikelserna mellan sekvens AA5 (600) och AA1 (Referens) anses vara kring frekvensen 315 Hz där reduktionstalet för AA5 vid den frekvensen är avsevärt högre än referensväggen.

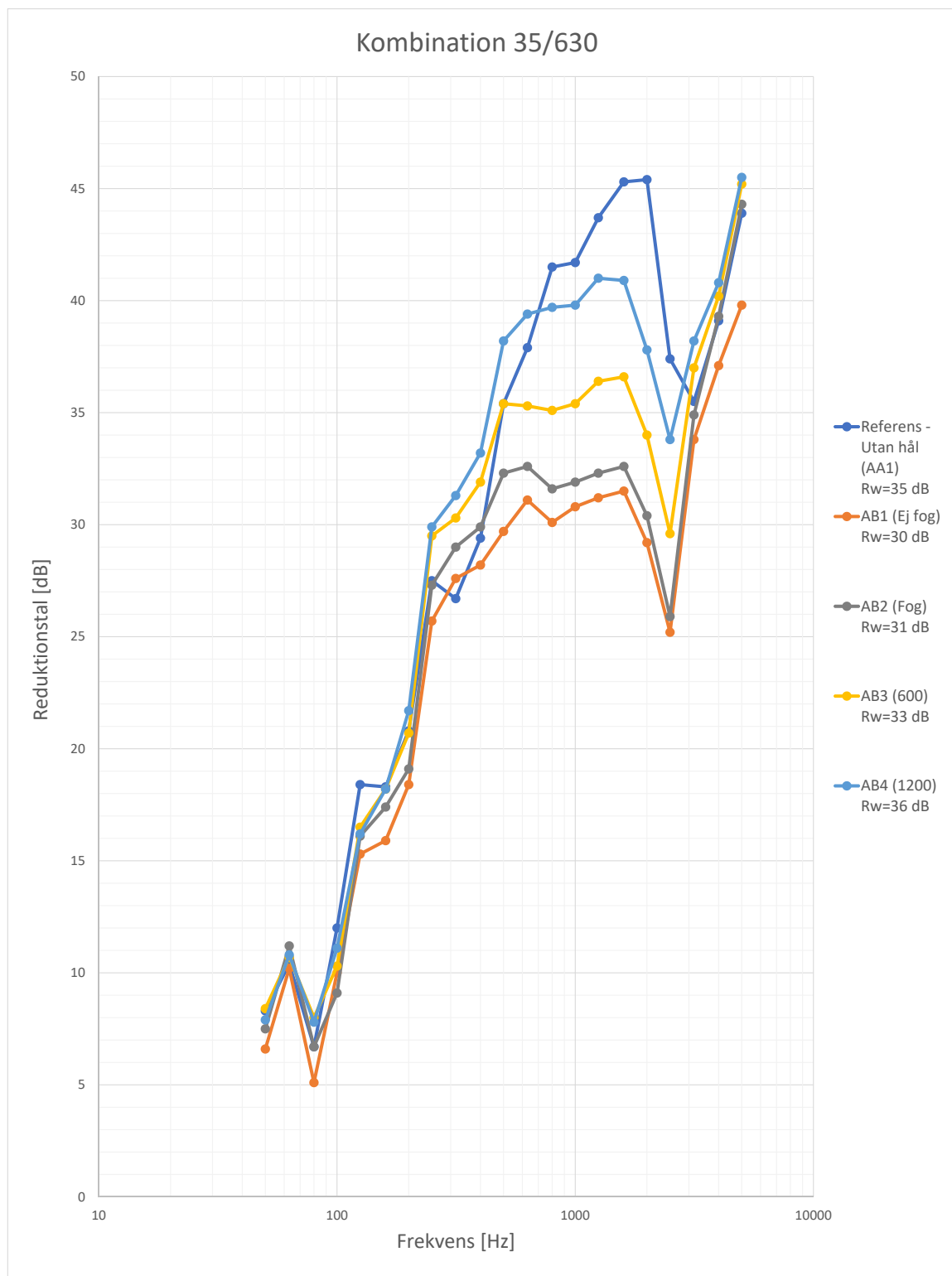
Vidare gav sekvens AA6 samma vägda reduktionstal som för referensväggen vilket diskuteras vidare under sektion 5.1.1.

Genomgående för alla åtgärder vid denna kombination är att de lägre frekvenserna, under 250 Hz, är relativt opåverkade.

En sak som bör noteras för denna kombination är den avvikelse som sker vid frekvensen 5000 Hz mellan sekvens AA5 och övriga då ventilationskanalen går genom väggen. För de fall då kanalen inte är svept sjunker reduktionstalet, denna nedsänkning kan vara kopplad till en benämnd frekvens i teorin enligt ekvation 2.71. Denna avvikelse kommer studeras ytterligare under sektion 6.1.

4.1.2 Kombination 35/630

För ventilationskanalen med en dimension på 630 mm i diameter i vägg med ljudklass $R'w = 35 \text{ dB}$ kan en tydlig nedsänkning av reduktionstalet ses för sekvens AB1 med start kring 200 Hz i jämförelse med referensväggen. Frekvenser över 200 Hz kommer under denna sektion benämnas som högre frekvenser.



Figur 4.2: Åtgärdsdiagram för kanal med 630 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'w = 35$ dB.

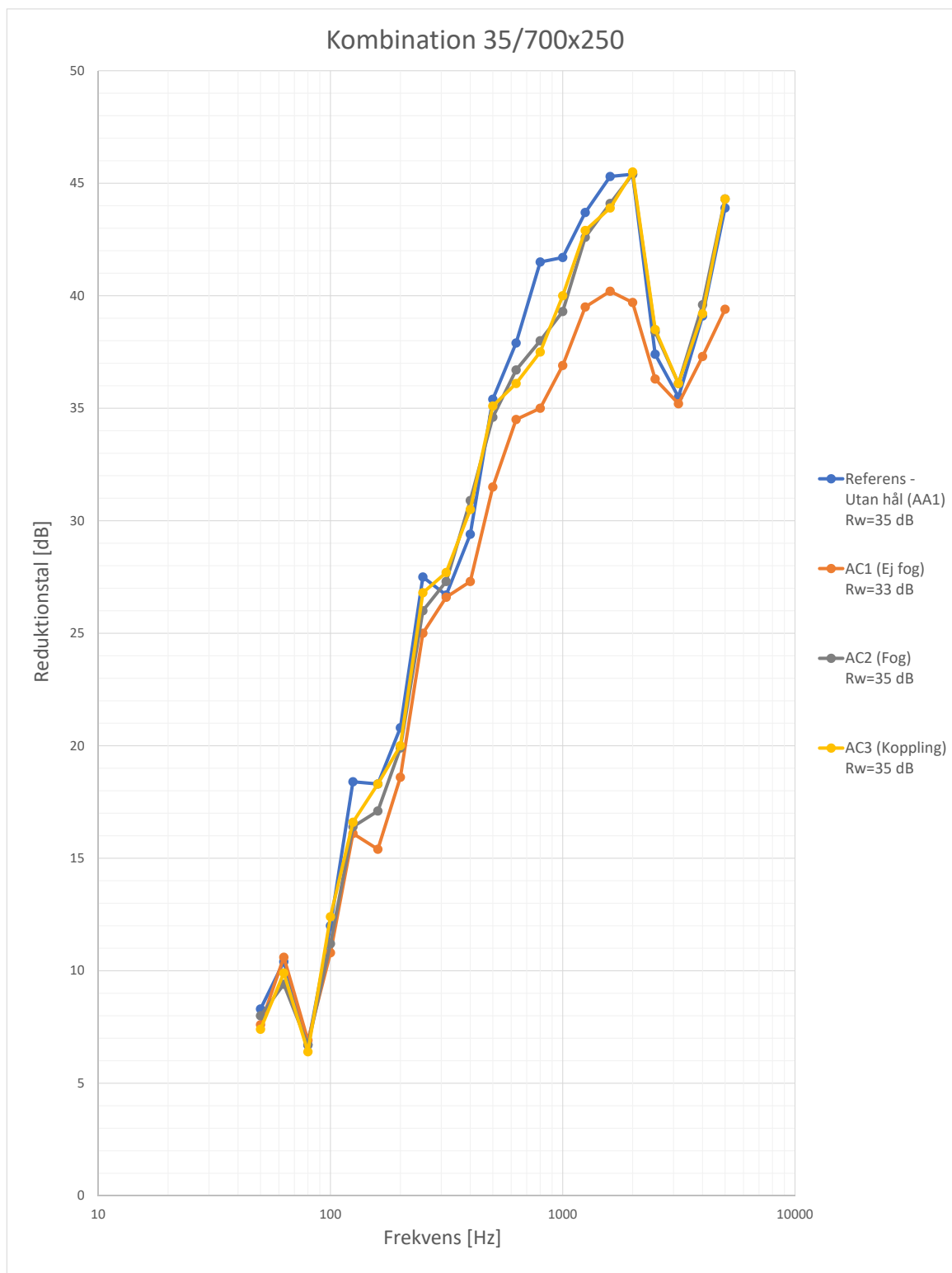
Det som skiljer sig markant mellan de cirkulära kanalerna i 35-väggen är den nedsänkning av reduktionstalet som sker vid frekvensen 2500 Hz för kanalen med 630 mm i diameter. Denna försämring förekommer inte för den mindre kanaldimensionen vid denna frekvens, däremot har en liknande nedsänkning indikerats vid en annan frekvens. Denna avvikelse kommer studeras ytterligare under sektion 6.1.

När en fog appliceras, som motsvarar sekvens AB2, höjs reduktionstalet vid de högre frekvenserna marginellt och det vägda reduktionstalet höjs från 30 till 31 dB.

Även vid den större cirkulära ventiationskanalen erhålls en tydlig ökning av reduktionstalet när kanalen sveptes med 50 mm stenull. Däremot var det för denna kombination inte tillräckligt med en sveplängd på 600 mm utan dubbla längden behövdes. Åtgärder för den sista sekvensen, AB4, gjorde så att reduktionstalet höjdes över reduktionstalet för väggen mellan frekvenserna 250 till 630 Hz. Däremot är referensväggen fortfarande bättre än sekvens AB4 vid de högre frekvenserna vilket kan ge en indikation på att högfrekvent ljud färdas mellan de båda rummen via ventilationskanalens resterande sträcka som inte är isolerad.

4.1.3 Kombination 35/700x250

För ventilationskanalen med en dimension på 700x250 mm i vägg med ljudklass $R'w = 35$ dB kan en tydlig nedsänkning av reduktionstalet ses för sekvens AC1 med start från 125 Hz i jämförelse med referensväggen. Frekvenser över 125 Hz kommer under denna sektion benämnas som högre frekvenser.



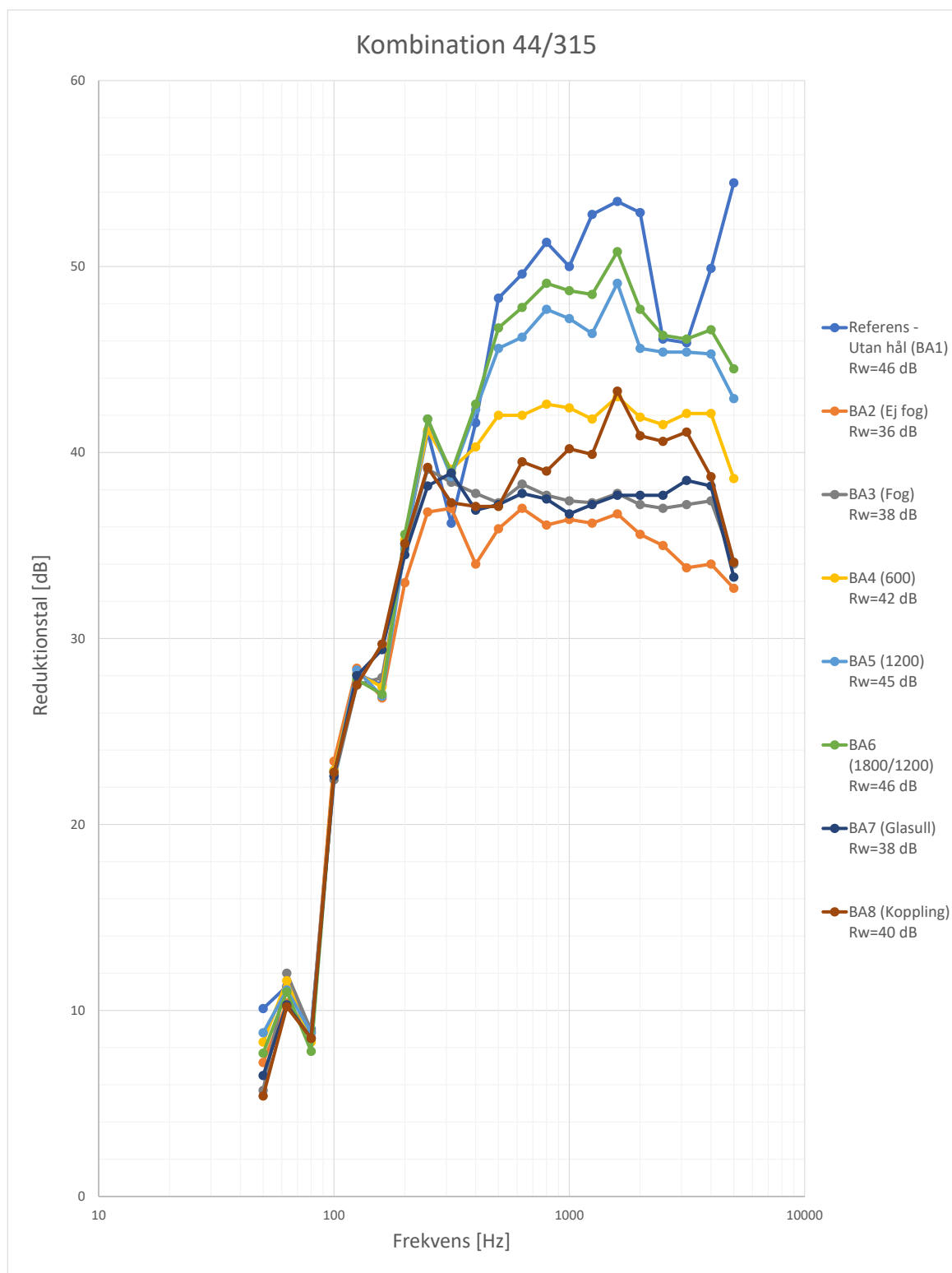
Figur 4.3: Åtgärdsdiagram för kanal med dimension 700x250 mm genom vägg med ljudklass $R'w = 35$ dB.

Till skillnad från de cirkulära kanalerna kan en stor skillnad ses mellan sekvens AC1 (Ej fog) och AC2 (Fog). Att det blir större skillnad kan delvis bero på att det för denna kombination var en större springa mellan kanal och vägg vilket studeras under sektion 5.2.1. Det som även skiljer sig är att sekvens AC2 räcker för att det vägda reduktionstalet ska bli samma som referensväggen vilket kan kopplas till det rektangulära kanalsystemets uppbyggnad. Eftersom systemet består av sektioner med längder om 1 meter behöver de kopplas samman fler gånger vilket leder till att ljudvågorna i materialet dämpas vid fler sektioner då denna koppling också har ett avdämpande material i sig. Denna uppbyggnad skulle kunna jämföras med sekvens AA6 där kopplingen istället sker i väggen.

Ytterligare en mätning utfördes där kopplingen placerades dikt an väggen, AC3, som inte gav någon avsevärd skillnad jämfört med sekvens AC2 vilket ger en indikation på att placering av koppling inte har så stor betydelse när flera kopplingar sker med korta intervall.

4.1.4 Kombination 44/315

För ventilationskanalen med en dimension på 315 mm i diameter i vägg med ljudklass $R'w = 44$ dB kan en tydlig nedsänkning av reduktionstalet ses för sekvens BA2 med start från 400 Hz i jämförelse med referensväggen. Frekvenser över 400 Hz kommer under denna sektion benämnas som högre frekvenser.



Figur 4.4: Åtgärdsdiagram för kanal med 315 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'_w = 44$ dB.

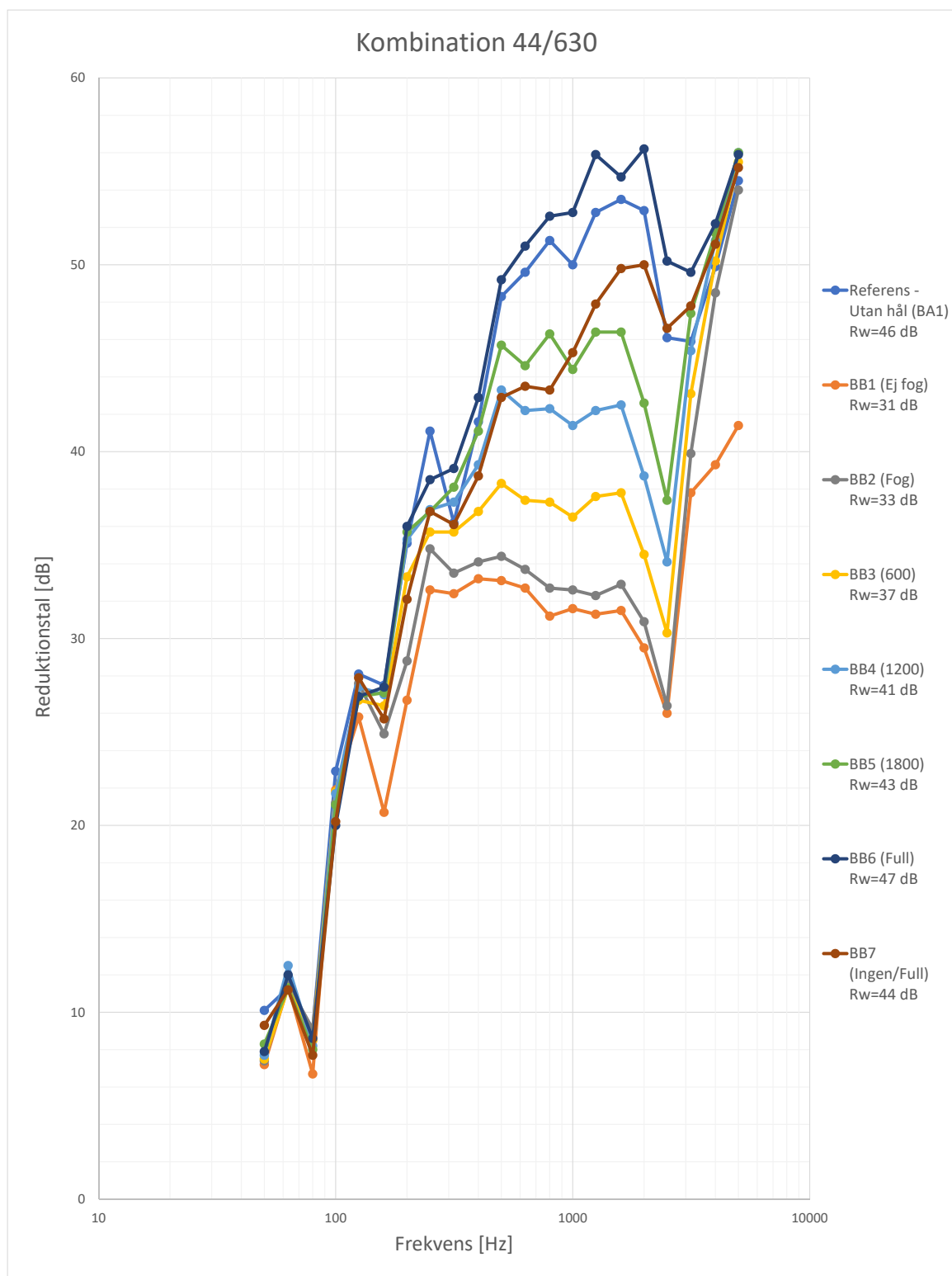
Eftersom en glasullsremsa för kombination 35/315 inte gav stor skillnad jämfört med fog monterades istället en glasullsskiva i väggen kring genomföringen för denna kombination för att se om det kunde ge någon skillnad i mätresultat. Som mätsekvens BA7 visar, tillför inte denna åtgärd någon större positiv påverkan på den sammansatta väggen jämfört med mätsekvens BA3 där det endast fogats vilket stärker argumentet, enligt kombination 35/315, att större delen av ljudet sprider sig i kanalen och inte via området kring kanalen och väggen. Detta argument kan vidare styrkas med sekvens BA8 där kopplingen placeras mitt i väggen vilket ger en tydlig förbättring av den avskiljande konstruktionens sammansatta reduktionstal.

För denna kombination räcker inte svepning med 50 mm stenull på en sträcka av 600 mm i vardera rum, enligt sekvens BA4, för att erhålla samma reduktionstal som referensväggen. Dubbla sveplängden är inte heller tillräckligt i vardera rum, enligt sekvens BA5, utan kanalen i sändarrummet behöver svepas med ytterligare 600 mm enligt sekvens BA6.

Som nämnt för kombination 35/315 sker en avvikelse vid frekvensen 5000 Hz som för denna kombination blir något tydligare. Längre sveplängd ger en ökning av reduktionstalet från frekvensen 4 till 5 kHz men reduktionstalet minskar fortfarande mellan dessa frekvenserna i jämförelse mot referensväggen där det motsatta sker. Denna avvikelse kommer studeras ytterligare under sektion 6.1.

4.1.5 Kombination 44/630

För ventilationskanalen med en dimension på 630 mm i diameter i vägg med ljudklass $R'w = 44$ dB kan en tydlig nedsänkning av reduktionstalet ses för sekvens BB1 med start från 160 Hz i jämförelse med referensväggen. Frekvenser över 160 Hz kommer under denna sektion benämnas som högre frekvenser.



Figur 4.5: Åtgärdsdiagram för kanal med 630 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'w = 44$ dB.

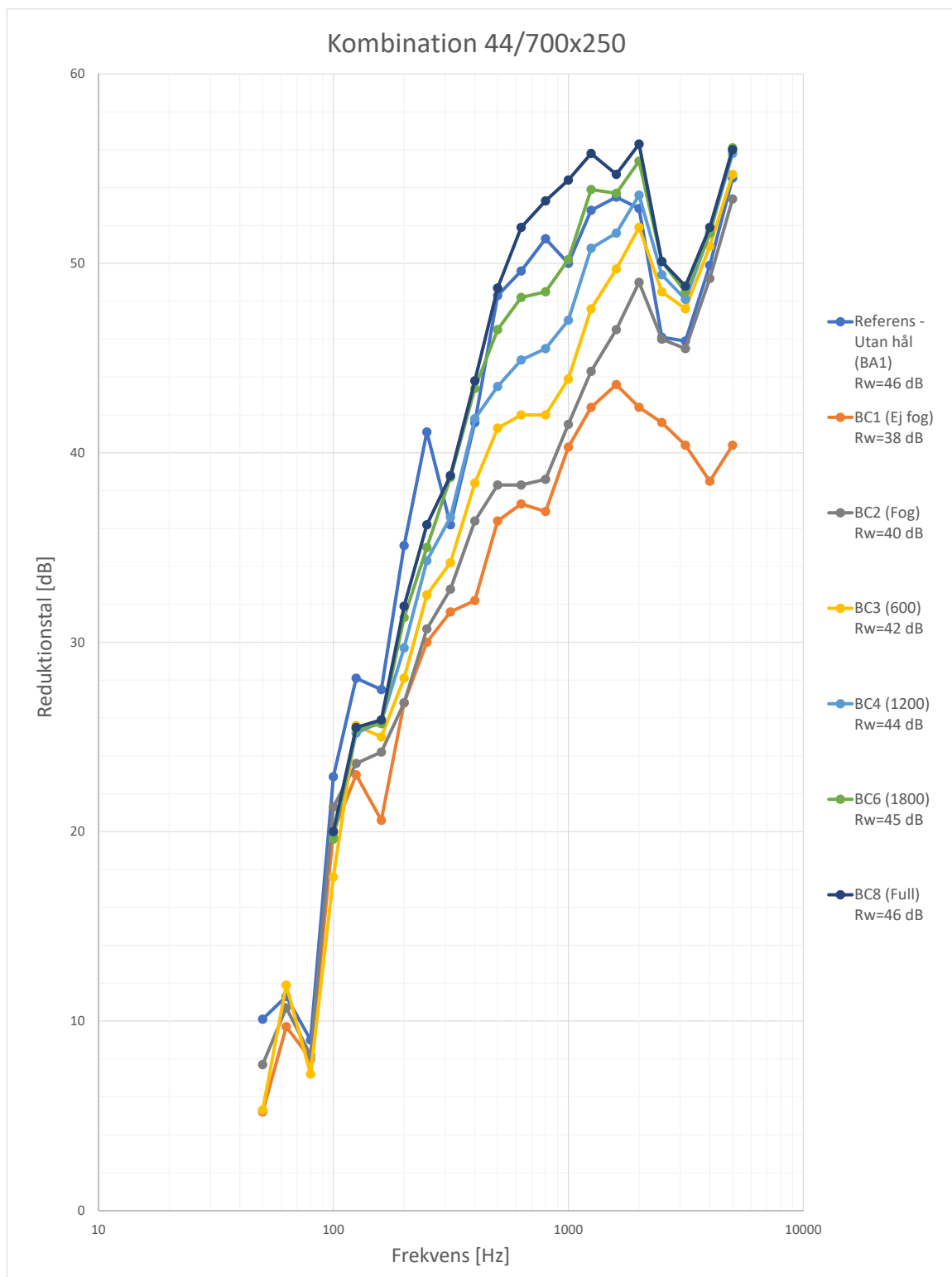
När en fog appliceras, sekvens BB2, höjs reduktionstalet vid de högre frekvenserna marginellt och det vägda reduktionstalet höjs från 31 till 33 dB.

Som med kombination 35/630 kan en tydlig nedsänkning av reduktionstalet ses vid frekvensen 2500 Hz. Denna avvikelse försvinner först när hela ventilationskanalen sveps med stenull vilket styrker argumentet för att denna avvikelse är kopplad till ventilationskanalens egenskaper. Denna avvikelse kommer studeras ytterligare under sektion 6.1.

Svepning med 50 mm stenull ger som tidigare en markant ökning av reduktionstalet, speciellt för de högre frekvenserna. Däremot behöver hela kanalen svepas med stenull på båda sidorna enligt sekvens BB6 för att reduktionstalet för den avskiljande konstruktionen minst kommer upp i referensväggens reduktionstal.

4.1.6 Kombination 44/700x250

För ventilationskanalen med en dimension på 700x250 mm i vägg med ljudklass $R'w = 44$ dB kan en tydlig nedsänkning av reduktionstalet ses för sekvens BC1 med start från 100 Hz i jämförelse med referensväggen. Frekvenser över 100 Hz kommer under denna sektion benämnas som högre frekvenser.



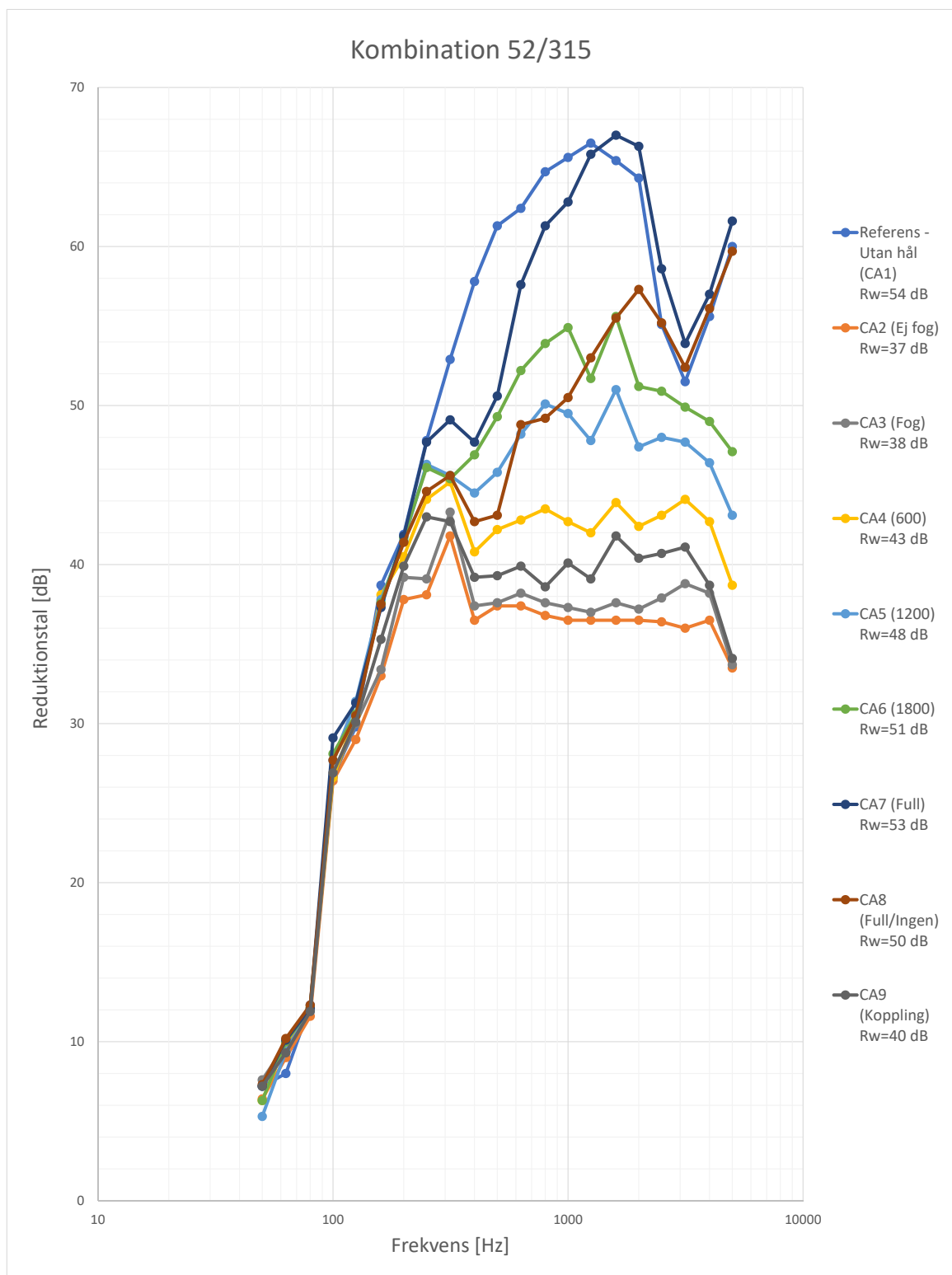
Figur 4.6: Åtgärdsdiagram för kanal med dimension 700x250 mm genom vägg med ljudklass $R'w = 44$ dB.

För aktuell kombination var inte applicering av fog, sekvens BC2, tillräckligt men det vägda reduktionstalet förbättrades från 38 till 40 dB där störst skillnad kan ses från 1500 Hz och uppåt.

Svepning med 50 mm stenull gav successivt högre reduktionstal för de högre frekvenserna men skillnaden mellan de olika sekvenserna var inte lika tydlig som för de andra kombinationerna. Hela ventilationskanalen behövdes svepas på båda sidorna för att uppnå syftet.

4.1.7 Kombination 52/315

För ventilationskanalen med en dimension på 315 mm i diameter i vägg med ljudklass $R'w = 52$ dB kan en tydlig nedsänkning av reduktionstalet ses för sekvens CA2 med start från 160 Hz i jämförelse med referensväggen. Frekvenser över 160 Hz kommer under denna sektion benämnas som högre frekvenser.



Figur 4.7: Åtgärdsdiagram för kanal med 315 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'w = 52$ dB.

Fog ger som tidigare nämnt en marginell skillnad, för denna kombination finns även glasull i väggen som i sig har en viss isolerande förmåga för springan då hålet i isoleringen var mindre än ventilationskanalen.

Med koppling mitt i vägg, enligt sekvens CA9, ökar återigen reduktionstalet, däremot har svepning enligt sekvens CA4 en större påverkan.

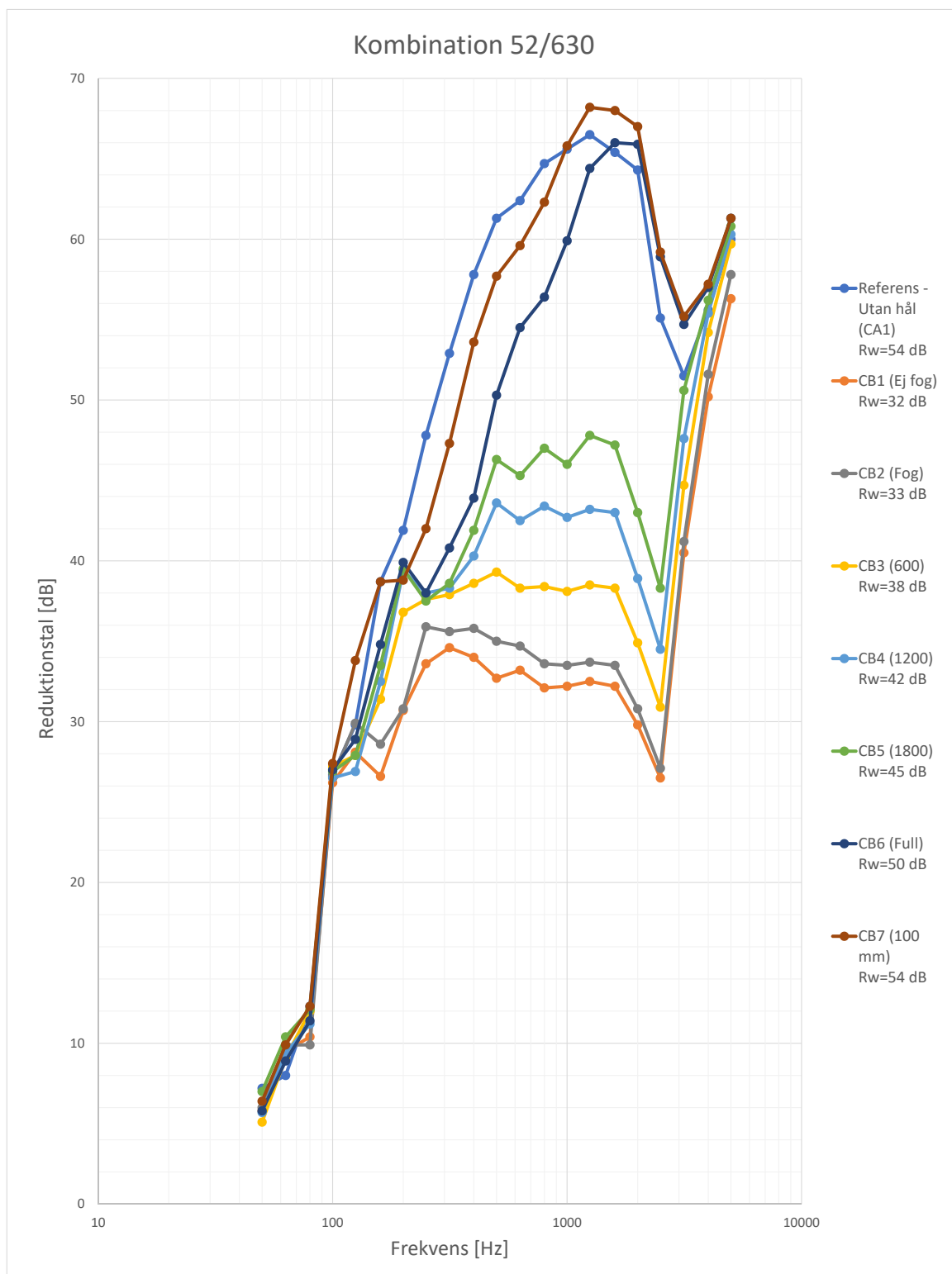
När sekvens CA7 genomfördes, full svepning med 50 mm stenull på båda sidorna, gavs ett vägt reduktionstal på 54 dB i mätaren. Däremot, när mätresultatet analyserades i datorn visades värdet 53 dB. Anledningen till detta beror på hur mätinstrumentet gentemot datorn avrundar. Eftersom de avvikande värdena ska vara lika med eller under 32 dB, enligt sektion 2.4, ses 32,1 dB i avvikelse som för högt. Då flyttas referenskurvan ner ett steg vilket var fallet vid denna sekvens då ljudnivåerna avrundades annorlunda. Däremot anses inte denna avvikelse ha stor betydelse för syftet då reduktionstalet för den avskiljande konstruktionen endast ligger 1 dB under reduktionstalet för referensväggen.

I figur 4.7 har full svepning, sekvens CA7, stor betydelse i jämförelse med sekvens CA6 där sveplängden är på 1800 mm.

Som för tidigare kombinationer där diametern på kanalen är 315 mm kan en tydlig avvikelse ses vid frekvensen 5000 Hz. Från 4 till 5 kHz har reduktionstalet vid tidigare kombinationer sjunkit vilket kan ses för sekvenser CA2-CA6. Däremot uppstår inte denna avvikelse då hela ventilationskanalen sveps vilket inte tidigare indikerats på denna kanaldimension. Detta kommer studeras ytterligare under sektion 6.1.

4.1.8 Kombination 52/630

För ventilationskanalen med en dimension på 630 mm i diameter i vägg med ljudklass $R'w = 52$ dB kan en tydlig nedsänkning av reduktionstalet ses för sekvens CB1 med start från 160 Hz i jämförelse med referensväggen. Frekvenser över 160 Hz kommer under denna sektion benämnas som högre frekvenser.



Figur 4.8: Åtgärdsdiagram för kanal med 630 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'_w = 52$ dB.

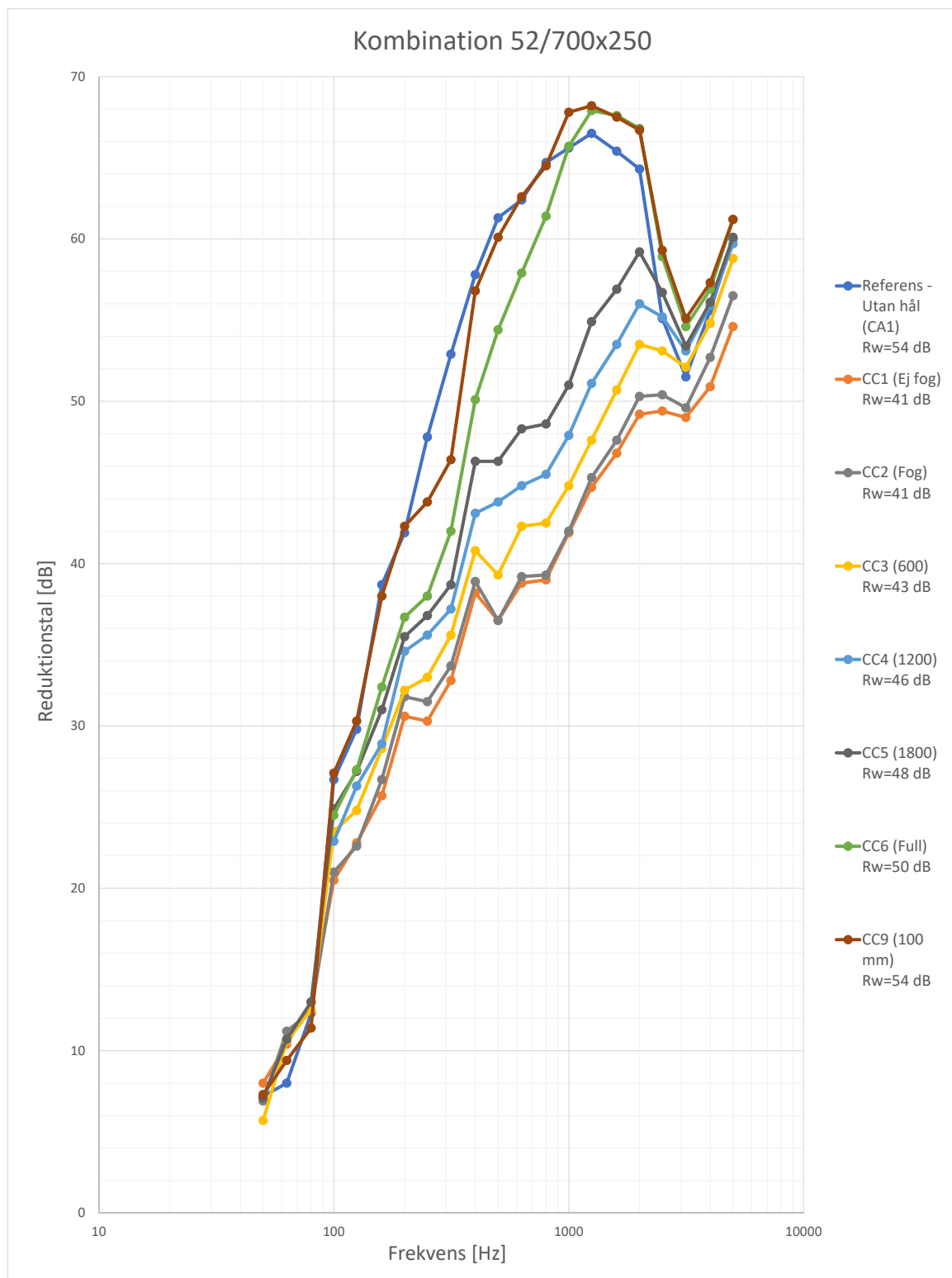
Liknande egenskaper kan ses för aktuell kombination som för tidigare. Applicering av fog ger marginell skillnad då glasull i väggen bidrar med tätning av springan. Det är tydligt i figur 4.8 att reduktionstalet ökar kraftigt mellan sekvens CB5 och CB6 när ventilationskanalens hela längd sveps.

Nedsänkningen vid frekvensen 2500 Hz ses återigen för de första sekvenserna och upphör då hela ventilationskanalen är täckt med stenull vilket kommer studeras ytterligare under sektion 6.1.

Svepning med 100 mm stenull ger en jämn ökning av reduktionstalet vid frekvenser mellan 100-2000 Hz från sekvens CB6 till CB7 och når upp till syftet. För sekvens CB7 sveptes 1800 mm närmst väggen på båda sidorna med 100 mm stenull och resterande längd med 50 mm stenull på vardera sida.

4.1.9 Kombination 52/700x250

För ventilationskanalen med en dimension på 700x250 mm i vägg med ljudklass $R'w = 52$ dB kan en tydlig nedsänkning av reduktionstalet ses för sekvens CC1 med start från 100 Hz i jämförelse med referensväggen. Frekvenser över 100 Hz kommer under denna sektion benämnas som högre frekvenser.



Figur 4.9: Åtgärdsdiagram för kanal med dimension 700x250 mm genom vägg med ljudklass $R'_w = 52$ dB.

Applicering av fog har som tidigare nämnts för denna vägg inte stor påverkan då det redan finns glasull i väggen som isolerar springan.

Som för övriga kombinationer för väggen med ljudklass $R'w = 52$ dB kan en stor ökning av reduktionstalet ses vid de högre frekvenserna mellan sveplängden 1800 mm, sekvens CC5, och CC6 med full sveplängd.

För att nå upp till syftet krävdes en sveplängd på 1800 mm närmst väggen med 100 mm stenull på båda sidorna och resterande sträcka med 50 mm stenull på vardera sida enligt sekvens CC9.

4.1.10 Validering av mätuppställning

För att validera mätsekvenserna och därmed mätuppställningen kan varje individuell mätning granskas och jämföras med mätningar där liknande förhållanden råder. Efterklangstiden när inga åtgärder är gjorda på kanalen kan jämföras mot varandra för varje väggtyp där det inte borde vara stora variationer, ty ventilationskanalen är av metall vars absorptionskoefficient är låg. Däremot, eftersom att absorptionskoefficienten är låg kommer en större del att reflekteras eller transmittas. Därav kan formen på ventilationskanalen ge skillnader i efterklangstid.

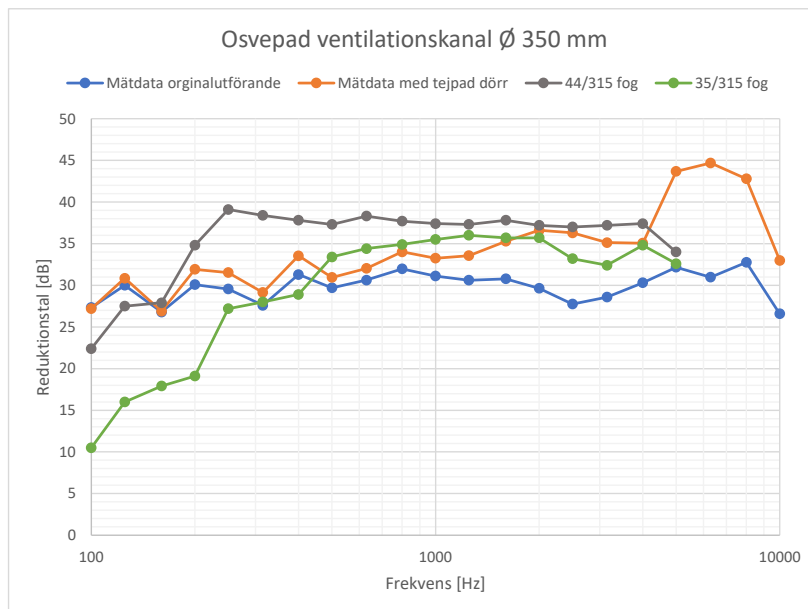
De individuella ljudnivåerna i sändarrummet för varje mätsekvens kan jämföras med varandra för att se så att det inte sker några större avvikelser vid vissa frekvenser. Om stora avvikelser finns kan det ge indikationer på att rummet inte är diffust. Däremot ska försiktighet tillämpas vid de åtgärder där större delen av ventilationskanalen är svept med stenull då det kan ge större variationer av ljudnivåer i rummet beroende på mätposition. Ljudnivån i mottagarrummet från en mätsekvens är svår att jämföra med andra sekvenser då den är starkt beroende av skiljekonstruktionens reduktionstal som varierar vid varje sekvens. Figurer på dessa visas i sektion A.2 och A.3.

4.2 Mätresultat i fält

Eftersom mätningar i laboratorium endast gjordes för frekvenserna 63-5000 Hz, och för att intressanta aspekter upptäcktes vid den övre gränshänsynen för den mindre cirkulära kanaldimensionen, kan fler mätningar vara fördelaktigt. Därmed genomfördes en mätning i fält mellan två rum där en ventilationskanal gick genom väggen enligt figur 4.10. Då mätningarna gjordes i fält blir inte förhållandena jämförbara med de värden som uppmätts i labb. För denna fältmätning gick istället två ventilationskanaler igenom väggen där båda hade en diameter på 350 mm. Därtill fanns tilluftsdon från kanalen i båda rummen som inte hade någon egendämpning samt dörrparti utan någon ljudklass. I fältmätningar tillkommer även inverkan av flanktransmissioner och det kan vara svårt att jämföra med en referensvägg utan genomföringar. Bortsett från dessa undantag kan fortfarande en tendens till ökning ske från frekvensen 4 kHz till 5 kHz enligt figur 4.11.



Figur 4.10: Mätning gjord i fält, bild från sändarrum.



Figur 4.11: Mätning gjord i fält. Mätdata visas för originalutförande samt när dörrpartiet har tejpats där läckage förekommer så att andra egenskaper för den sammansatta vägen kan identifieras. Till mätdata för fältmätningen redovisas mätdata i laboratorium för kombination 35/315 samt 44/315 när endast fog är applicerad.

Beräkningar av ringfrekvensen för en kanal med denna dimension, förutsatt att den består av samma material, ger att ringfrekvensen ligger mellan 4-5 kHz. Därmed kan det som indikerats i laboratoriet styrkas med denna mätning för andra kanaldimensioner också.

Kapitel 5

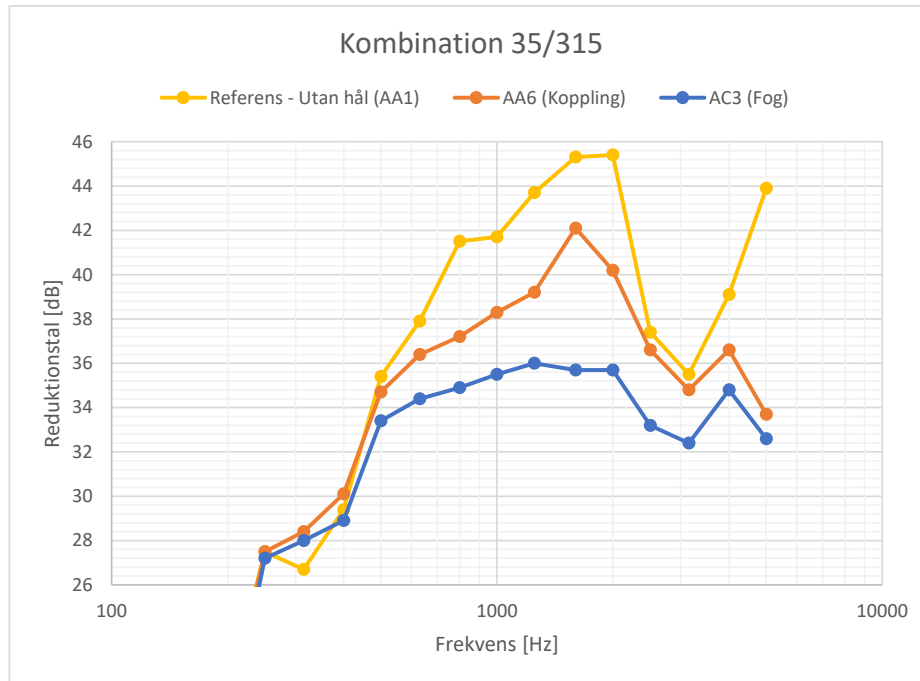
Analys av mätresultat

5.1 Praktisk analys

Figurer under sektion 4.1 innehåller många mätsekvenser vilket försvårar möjligheten att diskutera skillnader mellan respektive åtgärd. Därav används denna sektion för att extrahera vissa mätsekvenser för vidare analys enligt nedan.

5.1.1 Koppling mitt i vägg

För att tydligare klargöra hur stor inverkan kopplingens placering har på väggens sammansatta reduktionstal, studeras 3 sekvenser från figur 4.1. Kopplingens inverkan om den placeras i väggen istället för mitt i rummet framhävs som skillnaden mellan AA6 och AC3 i figur 5.1. Till dessa mätsekvenser kan även mätdatan för referensväggen ses. Y-axeln som beskriver reduktionstalet har valts att starta från 26 dB då det inte sker någon stor skillnad mellan de olika mätsekvenserna vid låga frekvenser.

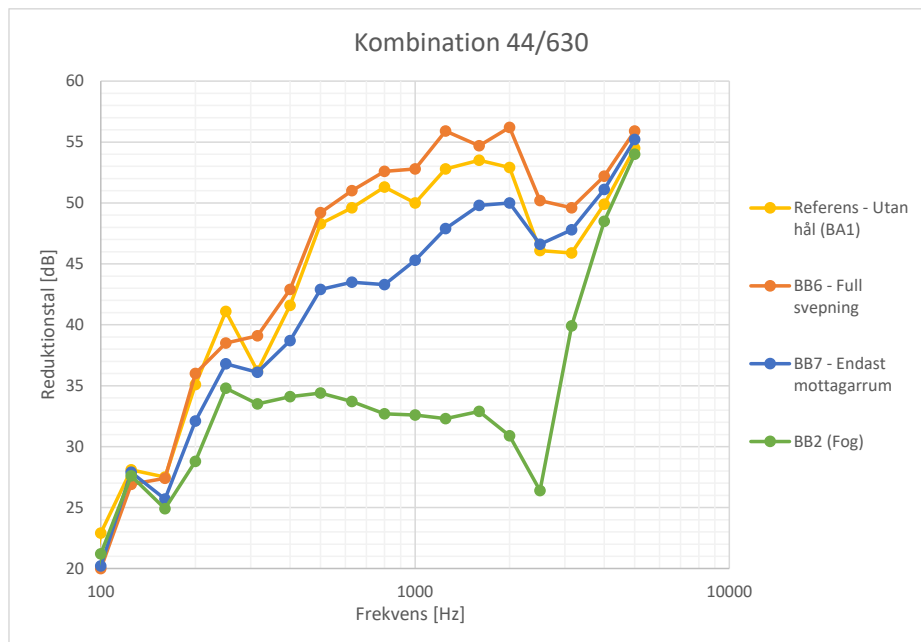


Figur 5.1: Analys av koppling mitt i vägg kontra mitt i rummet för ventilationskanal med 315 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'w = 35$ dB.

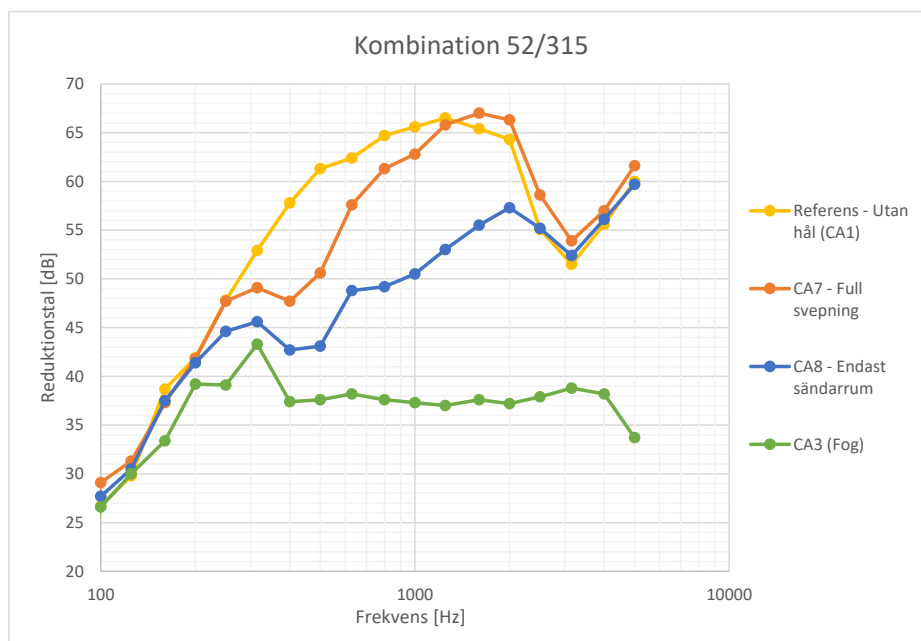
Det visar sig att kopplingen som sammanför de två kanallängderna har dämpande egenskaper så att en del av de ljudvågor som går via materialet inte överförs mellan de två utrymmena då den placeras mitt i väggen. Kopplingen är uppbyggd av två gummiremsor på vardera sida som kopplar samman kanalerna med varandra så att anslutningen blir tät vilket anses vara den bidragande faktorn till den dämpande effekten.

5.1.2 Full svepning i endast sändar- eller mottagarrum

Två mätsekvenser har genomförts för att undersöka om det räcker med att svepa ventilationskanalen på endast ena sidan om väggen. För kombination 44/630 prövades svepning i endast mottagarrum enligt figur 5.2 och för kombination 52/315 prövades svepning i endast sändarrum enligt figur 5.3. Till respektive mätsekvens finns även mätdata för tre andra åtgärder per kombination för att tydligare kunna se mätsekvensens inverkan.



Figur 5.2: Jämförelse mellan full svepning i vardera rum kontra full svepning i endast mottagarrom för ventilationskanal med 630 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'w = 44$ dB.

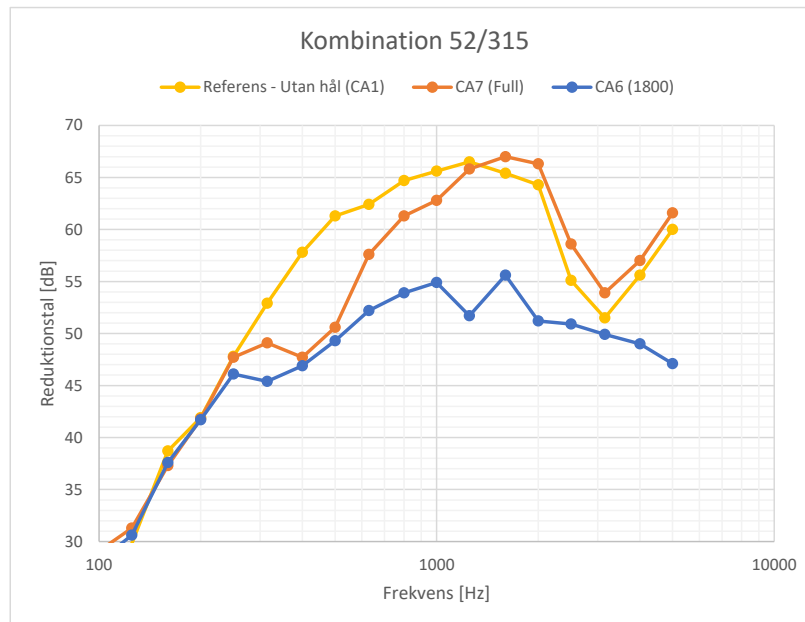


Figur 5.3: Jämförelse mellan full svepning i vardera rum kontra full svepning i endast sändarrum för ventilationskanal med 315 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'w = 52$ dB.

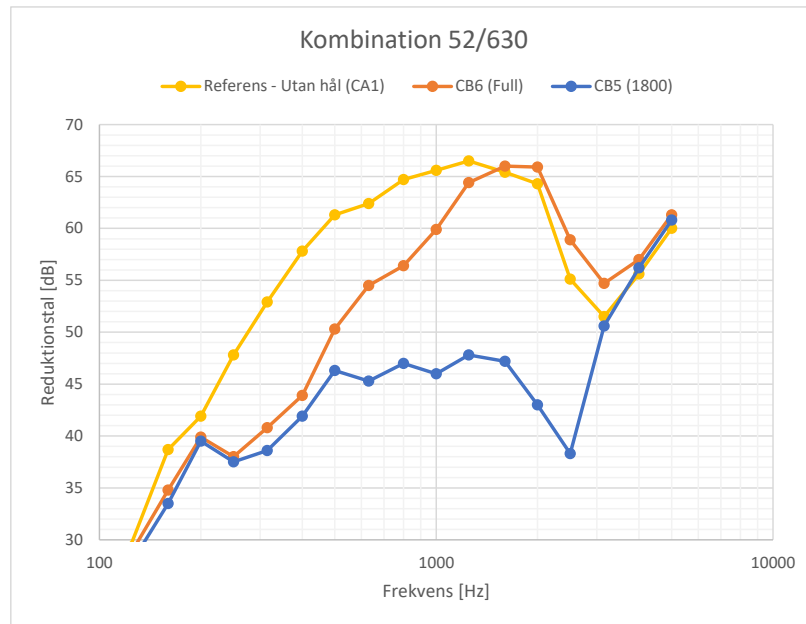
Ingen av de två mätsekvenserna är tillräckliga för att uppnå syftet. Därmed räcker inte svepning i endast ett av rummen med 50 mm stenull för dessa sekvenser; båda rummen behöver vid dessa kombinationer svepas.

5.1.3 Påverkan av full svepning

Vid de högre ljudklassade väggarna krävs större åtgärder som att hela ventilationskanalen behöver svepas med stenull. I de fall då en vägg utformas med en ljudklass som är högre än kravet mellan de två rummen de avskiljer kan det diskuteras om en enklare åtgärd istället kan väljas. Genom att studera de fall då ventilationskanalen sveps med 50 mm stenull på en sträcka om 1800 mm jämfört med full svepning kan det utifrån den datan diskuteras huruvida en enklare åtgärd är acceptabel eller inte. För att studera detta väljs två kombinationer, båda cirkulära kanaler genom den vägg med högst ljudklass enligt figur 5.4 och 5.5.



Figur 5.4: Jämförelse mellan full svepning i vardera rum kontra sveplängd på 1800 mm för ventilationskanal med 315 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'w = 52$ dB.



Figur 5.5: Jämförelse mellan full svepning i vardera rum kontra sveplängd på 1800 mm för ventilationskanal med 630 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'w = 52$ dB.

Vid de högre ljudklassade väggarna tenderar full svepning att ha avsevärd påverkan på reduktionstalet vid de högre frekvenserna. För väggar med högre ljudklass borde därav hela kanalens längd svepas där stora skillnader kan ses vid frekvenser med start från 500 Hz. För lägre ljudklassade väggar beror åtgärden däremot på typ av kanal igenom väggen. För kombination 44/630 borde hela kanalen svepas då stora skillnader kan ses mellan sekvens BB5 och BB6. Däremot, för kombination 44/700x250, är inte skillnaden mellan svepning på 1800 mm och full längd lika stor, sekvens BC6 och BC8.

5.2 Teoretisk analys

5.2.1 Teori för springläckage

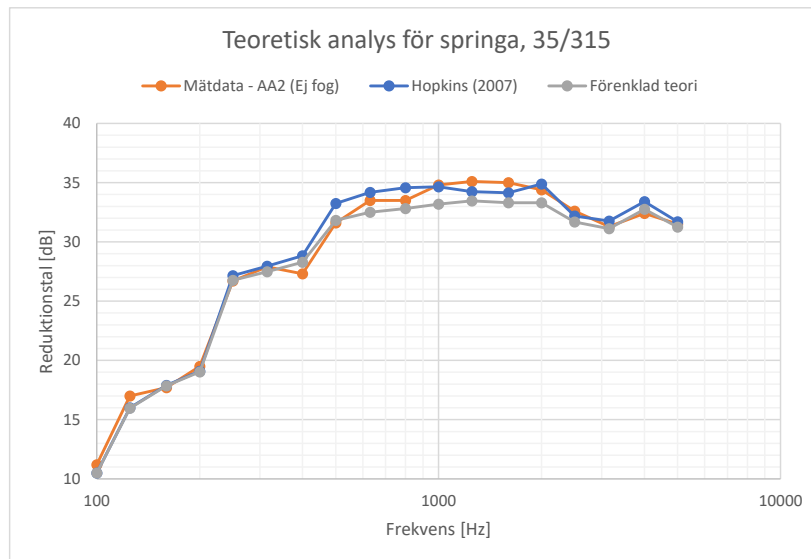
Genom att tillämpa ekvation 2.16 kan reduktionstalet därefter beräknas för springan enligt ekvation 2.9. Detta reduktionstal vägs samman med reduktionstalet för skiljekonstruktionen när fog är applicerad mellan kanal och vägg enligt ekvation 2.13. Beräknat slutvärde jämförs med mätsekvenser där fogning inte är gjord.

För att beräkna transmissionskoefficienten enligt ekvation 2.16 behövs en del indata. Med antagande om att rummet är diffust används konstanten $m = 8$. Springan som är kring kanalen är inte längs en kant och därav väljs $n = 1$. Djupet på springan, d , varierar beroende på väggkonstruktion. För vägg med ljudklass $R'w = 35$ dB är $d = 0,121$ m och för de övriga väggtyperna är $d = 0,147$ m. Vågastigheten, c_0 , beräknas enligt ekvation 2.1 till 343 m/s för en temperatur på 20 °C. Springans bredd, w , varierar beroende på kombination och redovisas i respektive figur.

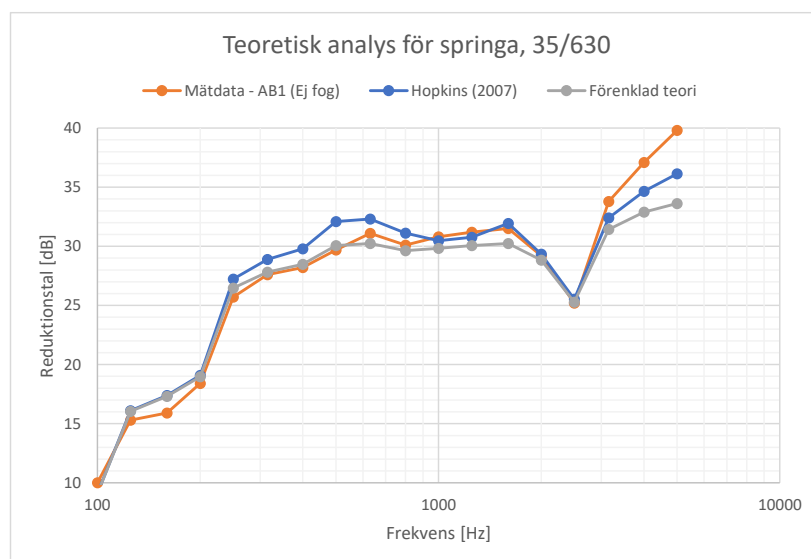
Beräkningar med indata enligt ovan är utförda för frekvenser med 1/3 oktavband där förekommande dalar i beräkningen ersätts av ett minimumvärde enligt teorin. Minimumvärdet sätts till 2 dB för samtliga kombinationer då det visat sig att reduktionstalet

för de högre frekvenserna ligger kring det värdet. Tillsammans med springteorin enligt Hopkins (2007) redovisas en förenklad teori där reduktionstalet för springan är 0 dB för samtliga frekvenser. Beräkningar för springa i vägg med ljudklass $R'w = 52$ dB redovisas inte då glasullen har en viss isolerande förmåga. Springan kring ventilationskanalen följer inte en rak linje men teorin enligt Hopkins (2007) används ändå för att se hur teorin står sig mot denna typ av mätdata.

I figur 5.6-5.11 redovisas samtliga beräkningar för springteori enligt Hopkins (2007) sammanvägt med mätdata där fog är applicerad, den förenklade teorin samt mätdata när fog inte är applicerad.



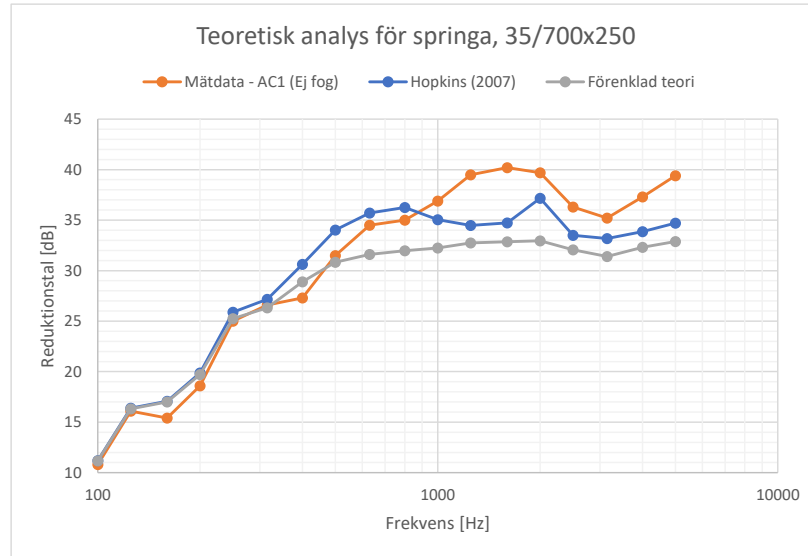
Figur 5.6: Springa kring ventilationskanal med 315 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'w = 35$ dB. w är för denna kombination 2 mm.



Figur 5.7: Springa kring ventilationskanal med 630 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'w = 35$ dB. w är för denna kombination 2 mm.

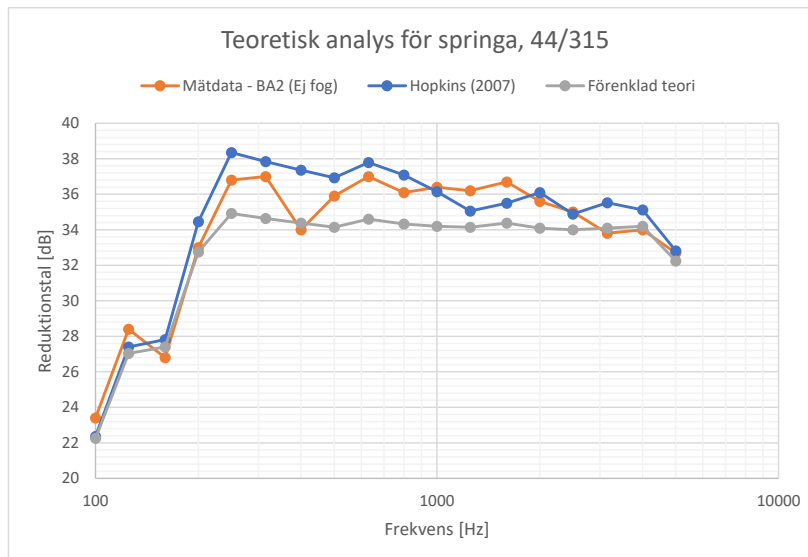
För de cirkulära kanalerna genom väggen med ljudklass $R'w = 35$ dB är skillnaden

mellan den förenklade teorin och Hopkins (2007) inte stor och båda teorierna följer de uppmätta värdena med vissa mindre avvikelser.

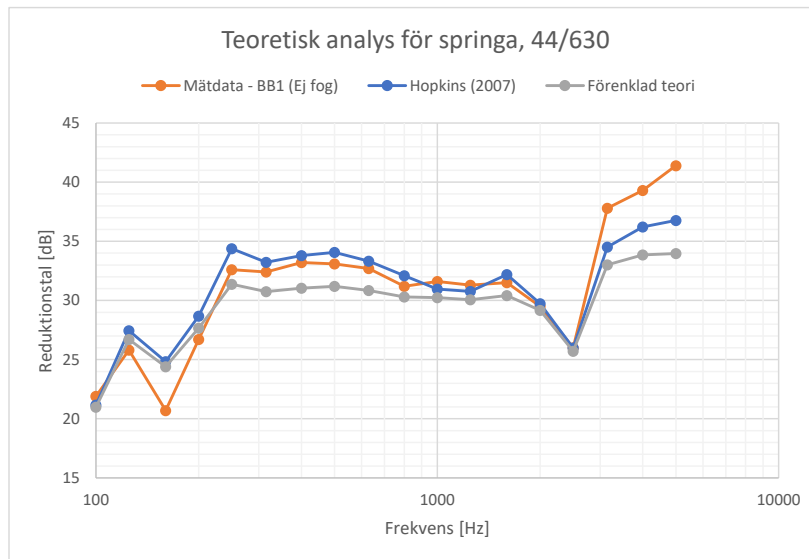


Figur 5.8: Springa kring ventilationskanal med dimension 700x250 mm genom vägg med ljudklass $R'w = 35$ dB. w är för denna kombination 2,5 mm.

För den rektangulära kanalen genom väggen med ljudklass $R'w = 35$ dB är skillnaden mellan den förenklade teorin och Hopkins (2007) större än för tidigare fall, teorin enligt den senare avviker mindre från mätdata.

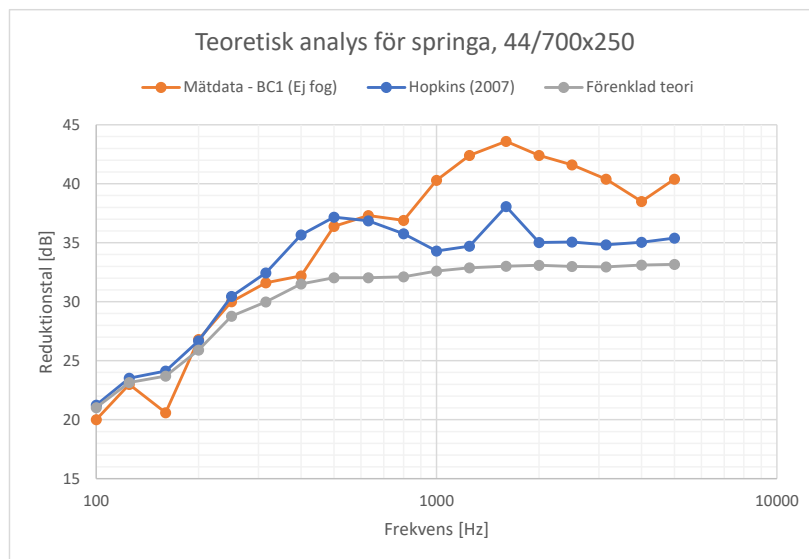


Figur 5.9: Springa kring ventilationskanal med 315 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'w = 44$ dB. w är för denna kombination 2 mm.



Figur 5.10: Springa kring ventilationskanal med 630 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'w = 44$ dB. w är för denna kombination 2 mm.

För de cirkulära kanalerna genom väggen med ljudklass $R'w = 44$ dB kan en tydligare skillnad ses mellan den förenklade teorin och Hopkins (2007) där den senare teorin avviker mindre från mätdata.



Figur 5.11: Springa kring ventilationskanal med dimension 700x250 mm genom vägg med ljudklass $R'w = 44$ dB. w är för denna kombination 2,5 mm.

Som för väggen med lägre ljudklass är det för den rektangulära kanalen genom väggen med ljudklass $R'w = 44$ dB återigen skillnad mellan den förenklade teorin och Hopkins (2007). Teorin enligt den senare avviker mindre från mätdata men vid frekvenser över 800 Hz är avvikelserna avsevärt större i jämförelse med de cirkulära kanalerna.

Konstanterna, m och n , har för varje fall varierats för att se vilken kombination som ger ett noggrannare resultat. Det har visat sig att om $m = 4$ istället väljs blir teorin enligt Hopkins (2007) noggrannare för kombinationer där ventilationskanal med dimension på

630 mm i diameter används. För ventilationkanal med dimension på 315 mm i diameter avviker resultatet mindre om $n = 0,5$ istället används, här blir inte resultatet närmre mätdata med $m = 4$.

För de rektangulära kanalen avviker resultatet mindre från mätdata om $m = 4$ och att de dalar som uppstår vid beräkningen istället överskrivs till ett minimumvärde för reduktionstalet på 4 dB.

5.2.2 Kanalers reduktionstal enligt befintlig teori

Den befintliga teorin som beskriver break in och break out tas främst upp av VÉR (1983) och Reynolds (1990). Long (2006) sammanfattar båda till en gemensam teori och Cummings har som tidigare nämnt omfattande teorier kring detta ämne men det berör främst det lågfrekventa området och är inte fullständiga för att kunna dra kopplingen till ett reduktionstal.

Beräkningsgången är beskriven under sektion 2.5 och nedan presenteras indata för respektive teori samt diagram för respektive kombination där teorierna jämförs med varandra. Tabellerade värden på respektive beräkning väljs att inte presenteras utan hänvisas till respektive diagram.

Den större delen av indata presenteras under teorin enligt VÉR (1983) nedan och endast skillnader tas upp i de andra teorierna.

Indata till VÉR (1983)

Omkretsen för de tre kanalerna har beräknats enligt ekvation 5.1. Omskrivning från meter till tum görs med en faktor på 39,37

$$\begin{aligned} P_{315} &= 0,315 \cdot 39,37 \cdot \pi = 38,96 \text{ tum} \\ P_{630} &= 0,63 \cdot 39,37 \cdot \pi = 77,92 \text{ tum} \\ P_{700 \times 250} &= 2(0,7 + 0,25) \cdot 39,37 = 74,80 \text{ tum.} \end{aligned} \quad (5.1)$$

Diametern för de cirkulära kanalerna i tum blir därmed enligt ekvation 5.2

$$\begin{aligned} d_{315} &= 0,315 \cdot 39,37 = 12,4 \text{ tum} \\ d_{630} &= 0,63 \cdot 39,37 = 24,8 \text{ tum.} \end{aligned} \quad (5.2)$$

För det rektangulära kanalsystemet definieras två längder vilket omskrivet i tum blir enligt ekvation 5.3

$$\begin{aligned} a &= 0,7 \cdot 39,37 = 27,56 \text{ tum} \\ b &= 0,25 \cdot 39,37 = 9,84 \text{ tum.} \end{aligned} \quad (5.3)$$

Arean för de tre kanalerna har beräknats enligt ekvation 5.4 med samma omskrivning från meter till tum som för omkretsen

$$\begin{aligned}
S_{315} &= \frac{(0,315 \cdot 39,37)^2 \cdot \pi}{4} = 120,79 \text{ tum} \\
S_{630} &= \frac{(0,63 \cdot 39,37)^2 \cdot \pi}{4} = 483,17 \text{ tum} \\
S_{700 \times 250} &= 0,7 \cdot 0,25 \cdot 39,37^2 = 271,25 \text{ tum.}
\end{aligned} \tag{5.4}$$

Längden, L , har valts till 3 meter för varje kanal men däremot ska enheten fot användas vilket gör att längden i beräkningen blir $L = 3 \cdot 3,28 = 9,84$ fot

För att beräkna massan per ytenhet, vilket också kan benämnas som areadensitet, används tabellvärden på ytvikten för respektive kanal vilket anges i tabell 5.1. Genom att dividera ytvikten med omkretsen kan massan per ytenhet erhållas enligt ekvation 5.5. Då enheten för ytvikt anges i kg/m^2 används faktorn 0,2048 för omskrivning till lb/ft^2 . Massan per ytenhet är inte samma för de olika kanalerna eftersom att tjockleken på vardera kanal är olika samt att den rektangulära är av annan utformning

Tabell 5.1: Ytvikt för ventilationskanaler från datablad enligt Lindab (2018b) och Lindab (2018a).

	315 mm	630 mm	700x250 mm
q_y (kg/m)	4,41	12	14

$$\begin{aligned}
q_{315} &= \frac{4,41}{0,315 \cdot \pi} \cdot 0,2048 = 0,91 \text{ lb/ft}^2 \\
q_{630} &= \frac{12}{0,63 \cdot \pi} \cdot 0,2048 = 1,24 \text{ lb/ft}^2 \\
q_{700 \times 250} &= \frac{14}{2 \cdot (0,7 + 0,25)} \cdot 0,2048 = 1,51 \text{ lb/ft}^2.
\end{aligned} \tag{5.5}$$

Ljudets hastighet, c_0 , beräknas till 343 m/s enligt ekvation 2.1 där en temperatur på 20°C används.

Avståndet mellan källan och mätpunkten i mottagarrummet har valts till 3 meter då det anses vara ett medelavstånd till mätpunkterna och då denna storhet inte har stor betydelse på resultatet, detta har verifierats genom att variera värdet på storheten. Storheten n har valts till 1 då ventilationskanalen inte är nära några ytor.

A_{fot} beskriver absorptionsmängden i rummet med enheten ft^2 vilket ges från de olika mätningarna. A_{abs} är också absorptionsmängden i rummet fast i enheten m^2 där S_{kanal} också har enheten m^2 . Efterklangstiden i beräkningarna har använts från respektive mätsekvens.

Indata till Reynolds (1990)

A_i för cirkulära kanaler kan definieras som S enligt indatan skriven ovan. A_0 för cirkulära kanaler kan definieras som att $A_0 = 12 \cdot P \cdot L$ vilket även gör att definitioner enligt ovan kan användas.

Q är vald till 1 vilket motsvarar ett helt utrymme. Det finns argument för att förhållandet mellan ljudkälla och mottagarrum ska ses som ett halvt utrymme på grund av kanalens dragning och spridning av ljudet. Däremot har denna storhet inte någon större påverkan på resultatet vilket har verifierats genom att variera värdet på storheten och därav används definitionen för ett helt utrymme.

Indata till Long (2006)

Som de två övriga teorierna.

5.2.2.1 Reduktionstal för den sammansatta väggen

För att kunna jämföra teorin med de uppmätta värdena kan ekvation 2.15 användas där reduktionstalet för ventilationskanalen kombineras med reduktionstalen för den homogena väggen. Det som behöver definieras till beräkningen är vilken area $S_{vägg}$ och S_{vent} som ska användas för respektive element. För väggen väljs en area enligt ekvation 5.6

$$S_{vägg} = 10 - S_{ventilationskanal} \text{ (m}^2\text{)}. \quad (5.6)$$

För ventilationskanalen väljs däremot inte tvärsnittsarean för respektive dimension, istället kommer mantelarean att representera arean i ekvation 2.13 enligt ekvation 5.7

$$S_{vent} = P_{ventilationskanal} \cdot L \text{ (m}^2\text{)}. \quad (5.7)$$

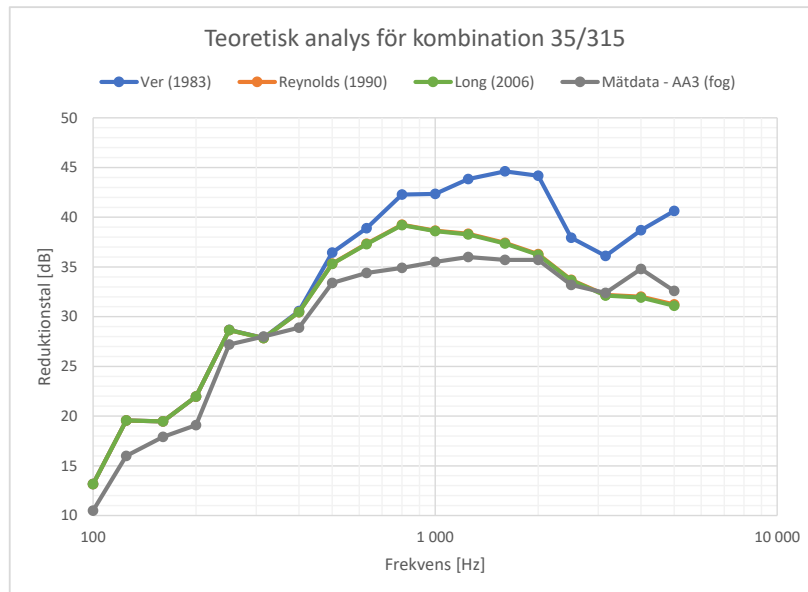
Vid projekteringsstadiet kan därav en väggs uppmätta värden från leverantör användas med teorin om ventilationskanalens reduktionstal för att förutsäga vilken sammansatt ljudreduktion väggen får.

5.2.2.2 Tillämpning av befintlig teori för respektive kombination

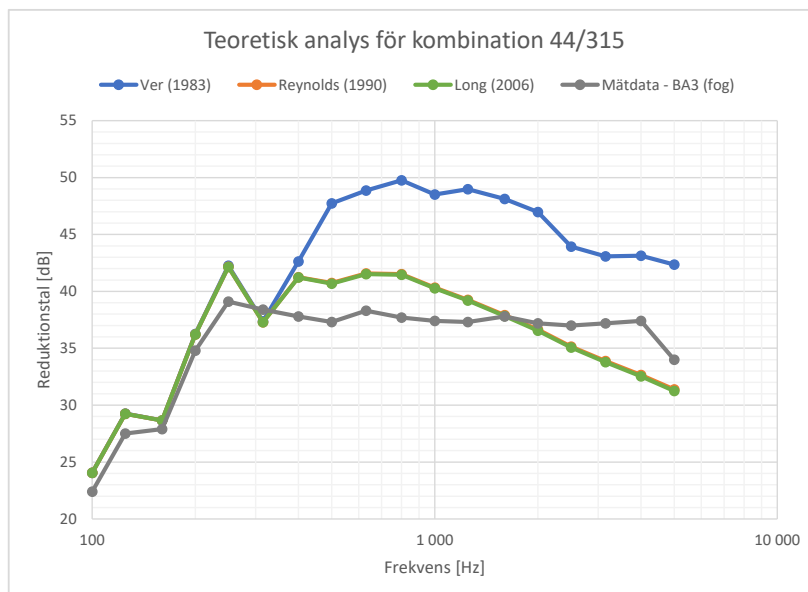
De tre teorierna har använts för att beräkna det sammansatta reduktionstalet enligt ekvation 2.15 och därefter jämförts med fallet där ventilationskanalen går igenom väggen. Specifikt jämförs mätsekvensen med fog som åtgärd då det anses beskriva den teori som studerats.

Kanal med diameter 315 mm

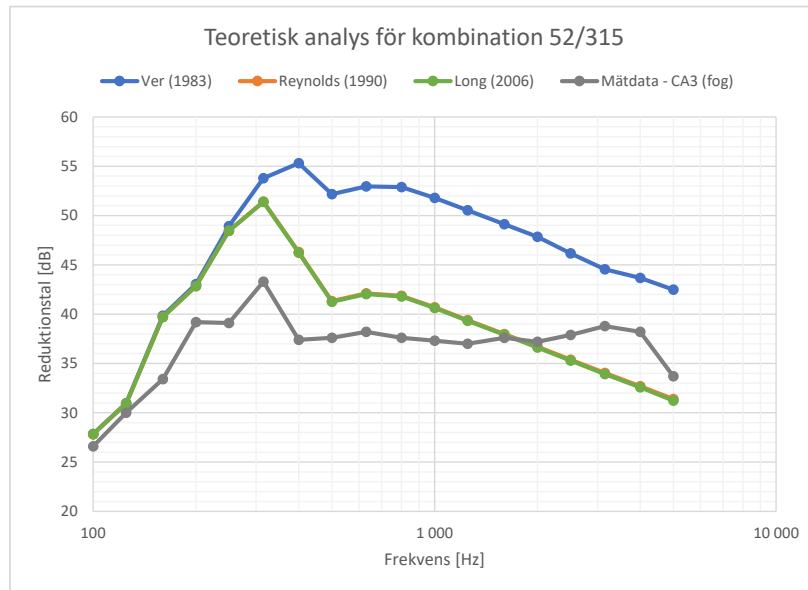
Först studeras ventilationskanal med dimension på 315 mm i diameter för de tre väggtyperna enligt figurer 5.12, 5.13 och 5.14.



Figur 5.12: Analys av de tre studerade teorierna och sekvens AA3 för ventilationskanal med 315 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'w = 35$ dB.

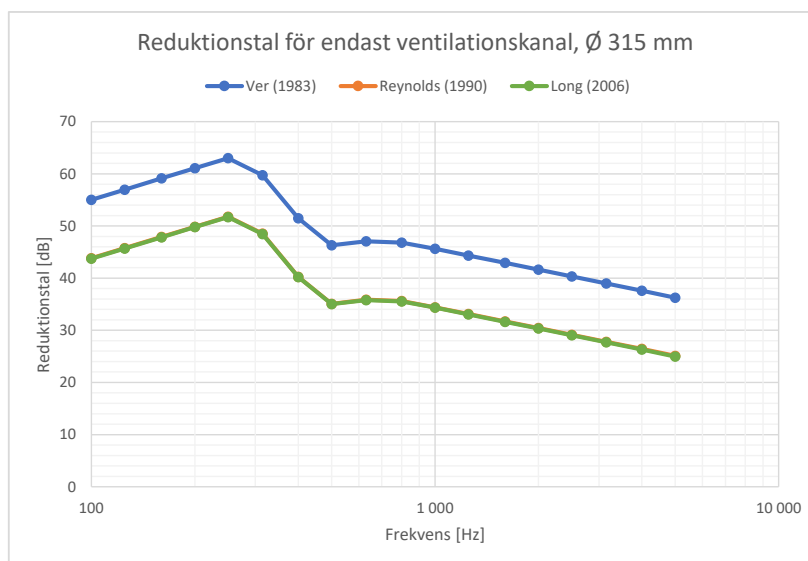


Figur 5.13: Analys av de tre studerade teorierna och sekvens BA3 för ventilationskanal med 315 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'w = 44$ dB.



Figur 5.14: Analys av de tre studerade teorierna och sekvens CA3 för ventilationskanal med 315 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'w = 52$ dB.

Vid låga frekvenser kan ett samband ses mellan teorin och de uppmätta värdena för kombinationer enligt figur 5.12 och 5.13. När nästa kombination studeras enligt figur 5.14 är inte sambandet längre bra och teorierna överskattar reduktionstalet. Teorin enligt VÉR (1983) verkar inte beskriva cirkulära kanaler för denna dimension med bra noggrannhet utan de två andra teorierna har ett tydligare samband. Däremot avviker kurvorna, enligt teorin ska reduktionstalet minska med frekvensen från f_1 vilket inte stämmer med de uppmätta värdena. Istället tenderar reduktionstalet att vara konstant vid ökad frekvens från f_1 . För att förtydliga denna minskning av reduktionstalet vid ökad frekvens visas figur 5.15 som endast visar reduktionstalet för ventilationskanalen.



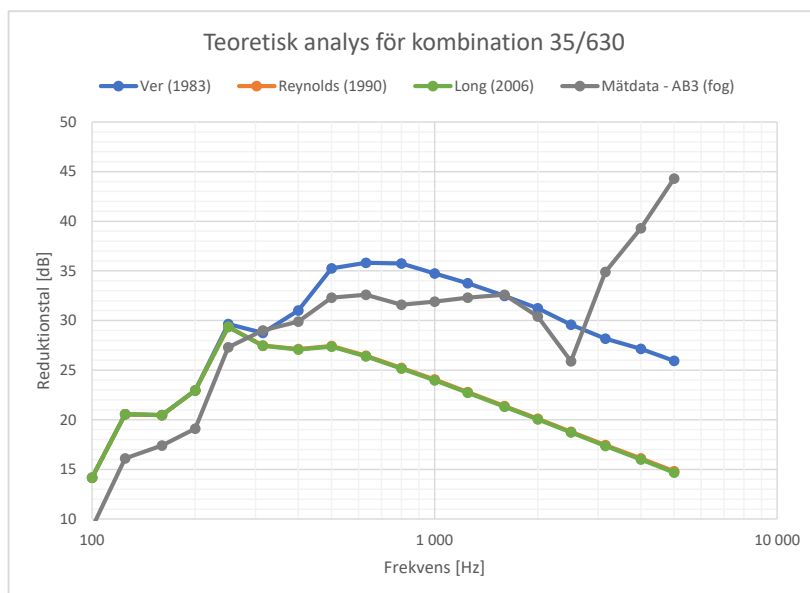
Figur 5.15: Reduktionstal för endast ventilationskanal med dimension 315 mm i diameter.

Det är i figur 5.15 tydligt att det inte är stora skillnader mellan teorin enligt Reynolds (1990) och Long (2006) vilket beror på att Long (2006) har byggt sin teori främst på

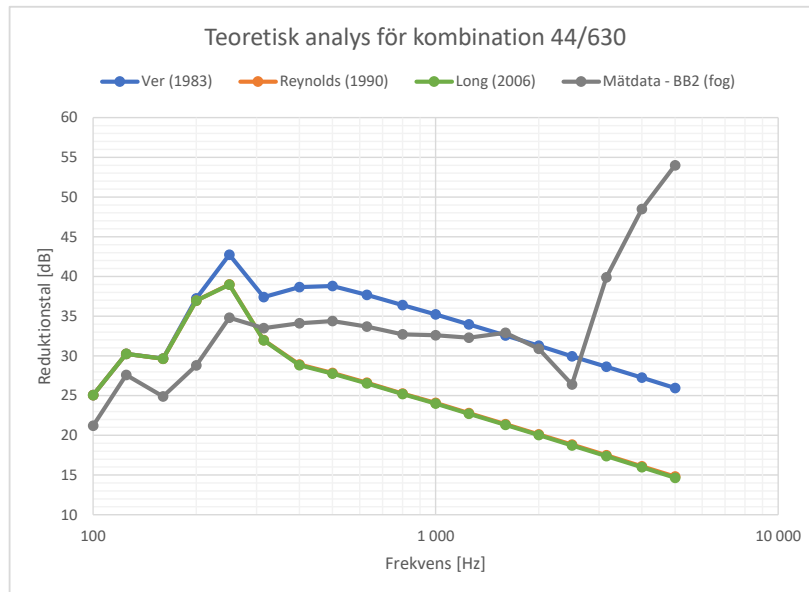
Reynolds (1990) samt att överföringsförlusten vid break in blir samma.

Kanal med diameter 630 mm

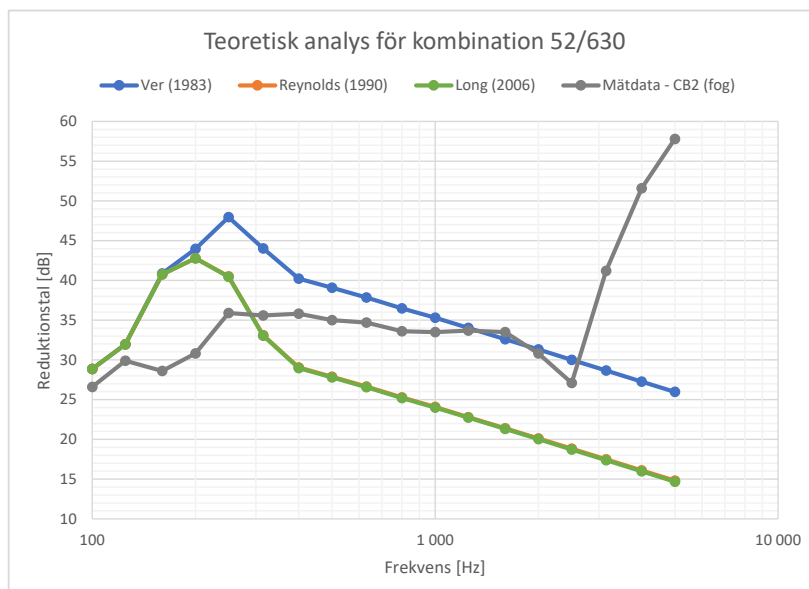
För att med större säkerhet kunna dra slutsatser om teorierna behövs fler dimensioner studeras. Därav presenteras i figur 5.16, 5.17 och 5.18 hur de tre teorierna står sig mot uppmätta värden för en ventilationskanal med dimension 630 mm genom de tre studerade väggtyperna.



Figur 5.16: Analys av de tre studerade teorierna och sekvens AB2 för ventilationskanal med 630 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'w = 35$ dB.

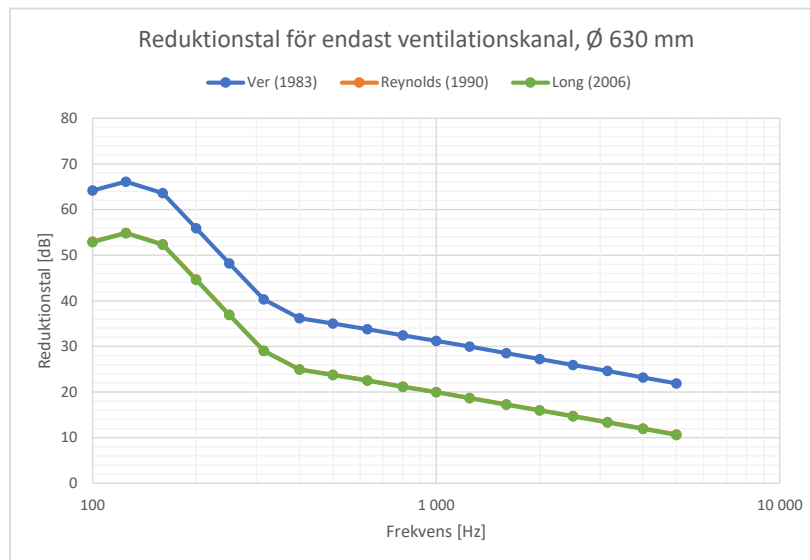


Figur 5.17: Analys av de tre studerade teorierna och sekvens BB2 för ventilationskanal med 630 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'w = 44$ dB.



Figur 5.18: Analys av de tre studerade teorierna och sekvens CB2 för ventilationskanal med 630 mm i diameter genom vägg med ljudklass $R'w = 52$ dB.

Återigen kan ett samband ses vid de lägre frekvenserna för de två väggar med lägst ljudklass med dimension på 630 mm i diameter som sedan avviker för den vägg med högst ljudklass. Det som ingen av teorierna verkar ta hänsyn till är den nedsänkning som följs av en kraftig ökning av reduktionstalet vid frekvensen 2500 Hz vilket återkommer i mätdata för alla tre kombinationer. Till skillnad från den förra kombinationen med kanaldimension på 315 mm, ligger teorierna enligt Reynolds (1990) och Long (2006) under de uppmätta värdena vid frekvenser över f_1 . Som tidigare nämnt anses reduktionstalet även här vara konstant med ökad frekvens, över f_1 , för de uppmätta värdena vilket inte teorierna beskriver. För att återigen förtydliga denna minskning av reduktionstalet vid ökad frekvens visas figur 5.19 som beskriver reduktionstalet för endast ventilationskanalen.



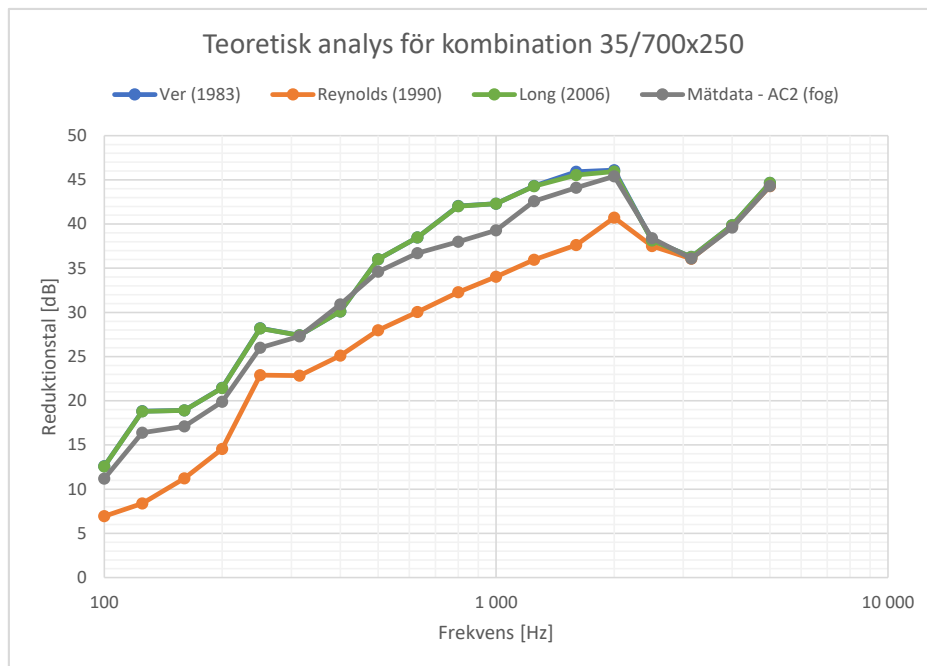
Figur 5.19: Reduktionstal för endast ventilationskanal med dimension 630 mm i diameter.

Då de uppmätta värdena stämmer bättre mot teorin för den mindre ventilationskanalen kan det finnas en begränsning till vilken kanaldimension som teorin klarar av. Sambanden mellan teori och uppmätta värden verkar nämligen bli sämre med ökad dimension. För att bekräfta denna teori hade fler mätningar behövts för kanaldimensioner över, under och mellan de valda cirkulära dimensionerna.

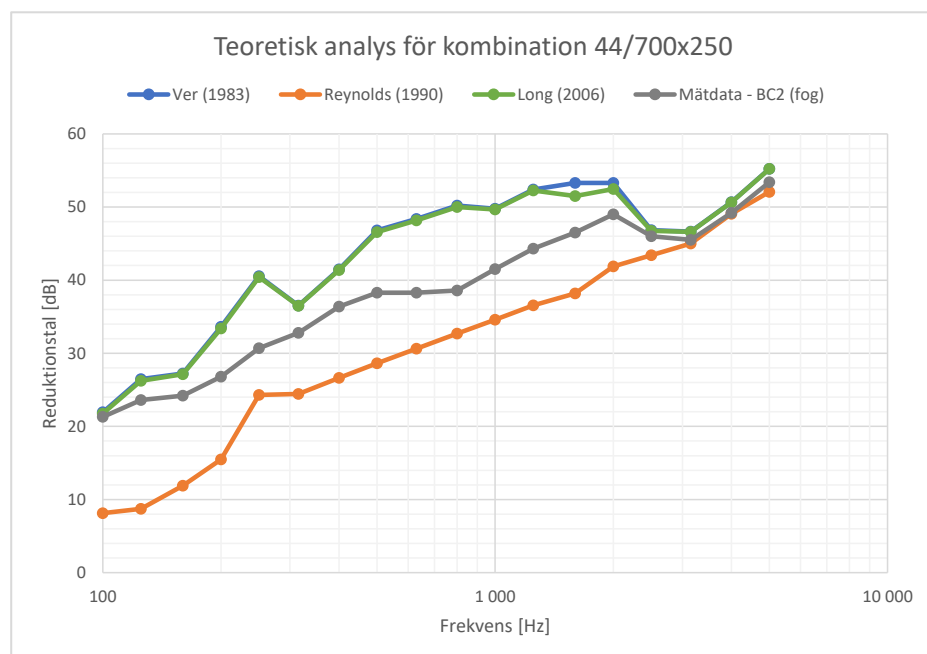
Kanaldimension 700x250 mm

I teorierna står det skrivet att cirkulära kanaler inte är långt utvecklade och att teorier för rektangulära kanaler är mer anpassade. I figurer 5.20, 5.21 och 5.22 kopplas därav dessa teorier till uppmätta värden för den tredje kanaldimensionen igenom respektive väggklass för att se om sambanden är tydligare jämfört med cirkulära kanaler.

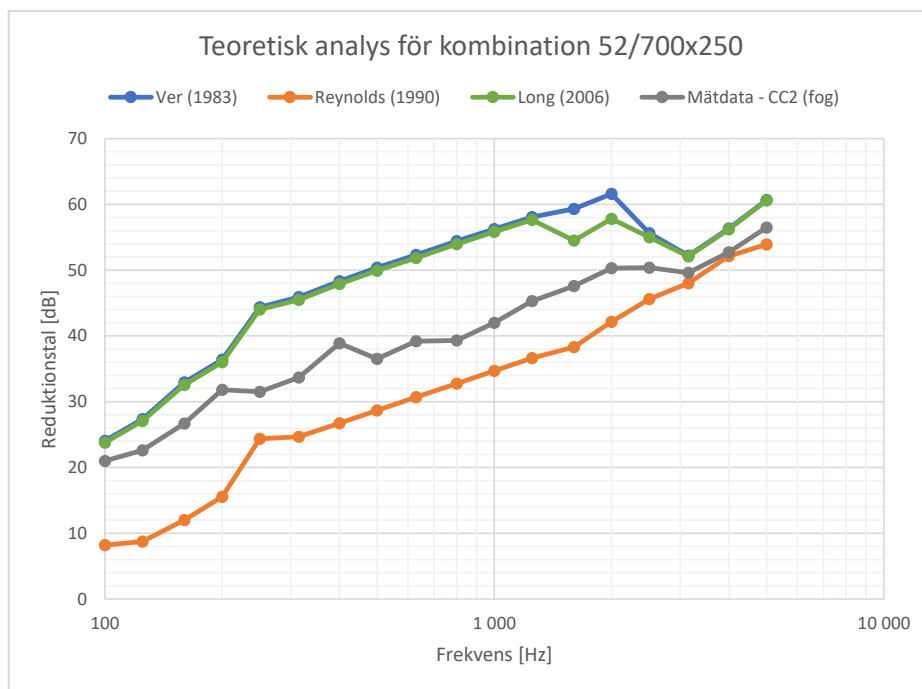
För den rektangulära kanalen kan ett tydligare samband ses över alla frekvenser med samtliga teorier jämfört med de cirkulära kanalerna. Den teori vars samband är tydligast gentemot de uppmätta värdena är Long (2006) som byggt mycket av sin teori på Vér (1983). Därav ligger dessa teorier nära varandra. I figur 5.23 kan skillnader mellan de tre teorierna enklare framhävas, enligt teorin från Reynolds (1990) skulle de låga frekvenserna snarare betrakta ventilationskanalen som ett hål då reduktionstalet ligger kring 0 dB.



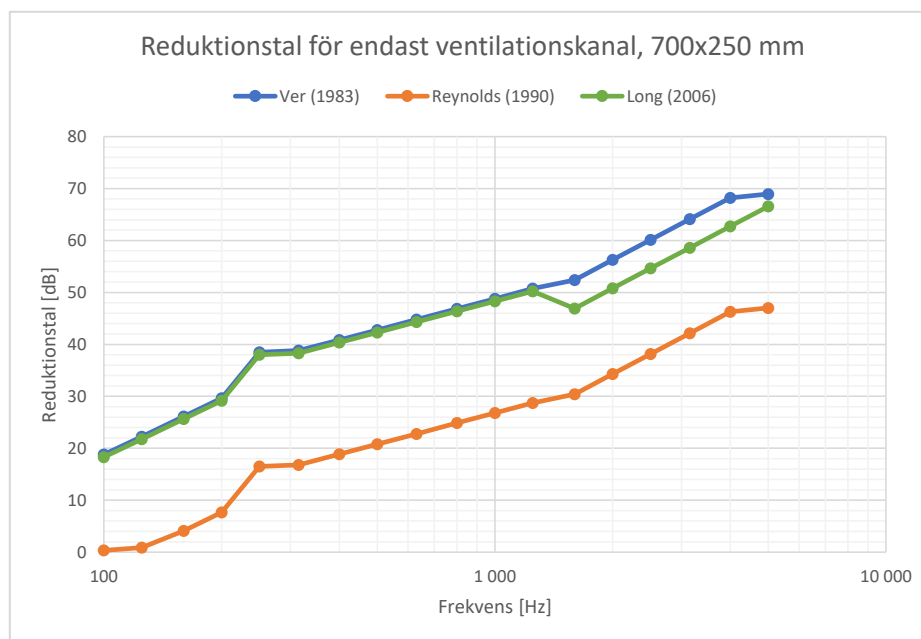
Figur 5.20: Analys av de tre studerade teorierna och sekvens AC2 för ventilationskanal med dimension 700x250 mm genom vägg med ljudklass $R'w = 35$ dB.



Figur 5.21: Analys av de tre studerade teorierna och sekvens BC2 för ventilationskanal med dimension 700x250 mm genom vägg med ljudklass $R'w = 44$ dB.



Figur 5.22: Analys av de tre studerade teorierna och sekvens CC2 för ventilationskanal med dimension 700x250 mm genom vägg med ljudklass $R'w = 52$ dB.



Figur 5.23: Reduktionstal för endast ventilationskanal med dimension 700x250 mm.

Kapitel 6

Teori enligt Nilsson (2020)

Praktisk utvärdering av ljudtransmission mellan rum och ventilationskanal

6.1 Kanalers reduktionstal

Det är tydligt, under sektion 5.2.2, att de befintliga teorierna är bristfälliga när de jämförs med uppmätta värden och att de behöver utvecklas, främst för de cirkulära kanalerna. Genom att studera samtliga kombinationer har slutsatser dragits kring hur formen på kurvan för reduktionstalet ska vara för kanaltyperna.

För de cirkulära kanalerna tenderar reduktionstalet först att öka med frekvensen fram till brytfrekvensen, f_1 , för att sedan vara konstant med ökad frekvens. Därmot sjunker reduktionstalet vid en viss frekvens för att sedan öka upp till referensväggs reduktionstal. Tidigare indikationer har kopplats till ringfrekvensen vilket beskrivs nedan. Uppmätta värden för rektangulär kanal följer samband enligt den befintliga teorierna där vissa anpassningar behövs.

Ringfrekvensen beräknas enligt ekvation 2.71 vilket beror på materialets elasticitetsmodul och densitet som kanalen består av samt kanalens omkrets.

De cirkulära kanalerna är av stål med en beklädnad av aluminium och zink (Lindab, 2012), elasticitetsmodul och densitet kan därav väljas för stål enligt tabell 6.1.

Tabell 6.1: Egenskaper för stål (Vigran, 2008).

Densitet	7700 kg/m ³
Elasticitetsmodul	200 GPa

Den longitudinella våghastigheten enligt ekvation 2.72 kan för de cirkulära kanalernas material beräknas enligt ekvation 6.1 med indata enligt tabell 6.1

$$c_{L, \text{stål}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\frac{200 \cdot 10^9}{7700}} = 5096 \text{ m/s.} \quad (6.1)$$

Ringfrekvensen kan därav beräknas enligt ekvation 6.2 för de båda cirkulära kanaldimensionerna

$$\begin{aligned} f_{R,315} &= \frac{5096}{\pi \cdot 0,315} = 5150 \text{ Hz} \\ f_{R,630} &= \frac{5096}{\pi \cdot 0,63} = 2575 \text{ Hz.} \end{aligned} \quad (6.2)$$

I sektion 4.1 har flera avvikelser identifierats för de cirkulära kanalerna. För den mindre kanaldimensionen skedde avvikelser vid frekvensen 5 kHz och för den större vid 2,5 kHz. Dessa frekvenser stämmer väl överens med ringfrekvensen beräknat enligt ekvation 6.2. Reduktionstalet tenderar att minska när frekvensen närmar sig ringfrekvensen för att sedan stiga kraftigt. Den sammansatta väggens reduktionstal ökar för frekvenser över ringfrekvensen upp till reduktionstalet som referensväggen har.

6.1.1 Reduktionstal för cirkulära kanaler

Utifrån tidigare observationer har därav följande empiriska samband tagits fram för att beskriva reduktionstalet för en cirkulär kanal genom en vägg. I dessa samband ska **SI-enheter** användas till skillnad från de tre andra teorierna. Storheterna enligt nedan har beskrivits tidigare, q_0 representerar massan per ytenhet för kanalen som tidigare benämnts som q . Beräkningarna är främst anpassad för frekvenser mellan 100-5000 Hz och därmed inte det lågfrekventa området. Mätningar enligt sektion 4.1 visar även att det lågfrekventa området inte påverkas avsevärt vid de olika mätsekvenserna, skillnader kan främst ses för frekvenser över 100 Hz.

Då $f \leq f_1$ gäller ekvation 6.3

$$R_{vent,1} = 10 \cdot \log \left(\frac{P \cdot L \cdot q_0^2 \cdot f \cdot \left(0,3 + \frac{f_1 - f}{f_1}\right) \cdot \pi}{c_0 \cdot S} \right). \quad (6.3)$$

Då $f_1 < f < f_R$ gäller ekvation 6.4

$$R_{vent,2} = 10 \cdot \log \left(\frac{P \cdot L \cdot q_0^2 \cdot f_1}{c_0 \cdot S} \right). \quad (6.4)$$

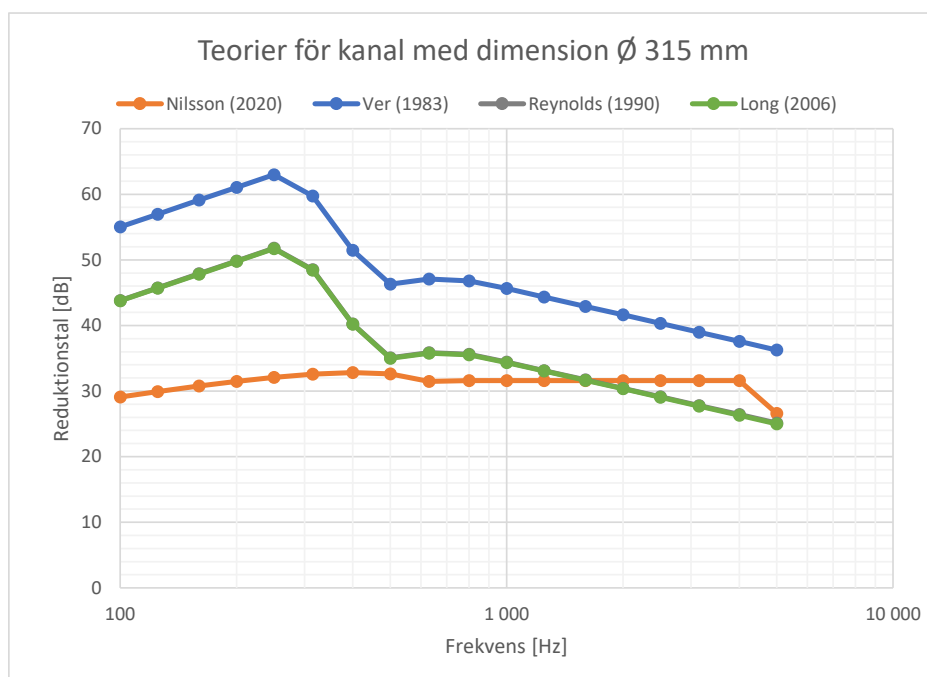
Då $f \sim f_R$ gäller ekvation 6.5

$$R_{vent,3} = R_{vent,2} - 5. \quad (6.5)$$

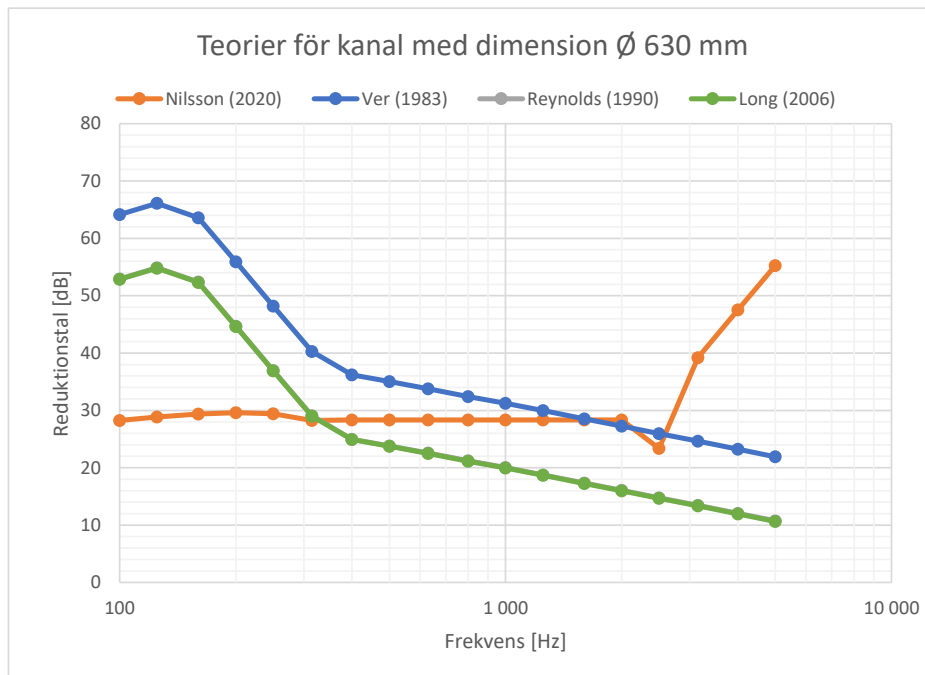
Då $f > f_R$ gäller ekvation 6.6

$$R_{vent,4} = \text{den största av} \begin{cases} R_{vent,2} \\ 40 \cdot \log \left(2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{f}{f_R}\right)^2 \right) \end{cases}. \quad (6.6)$$

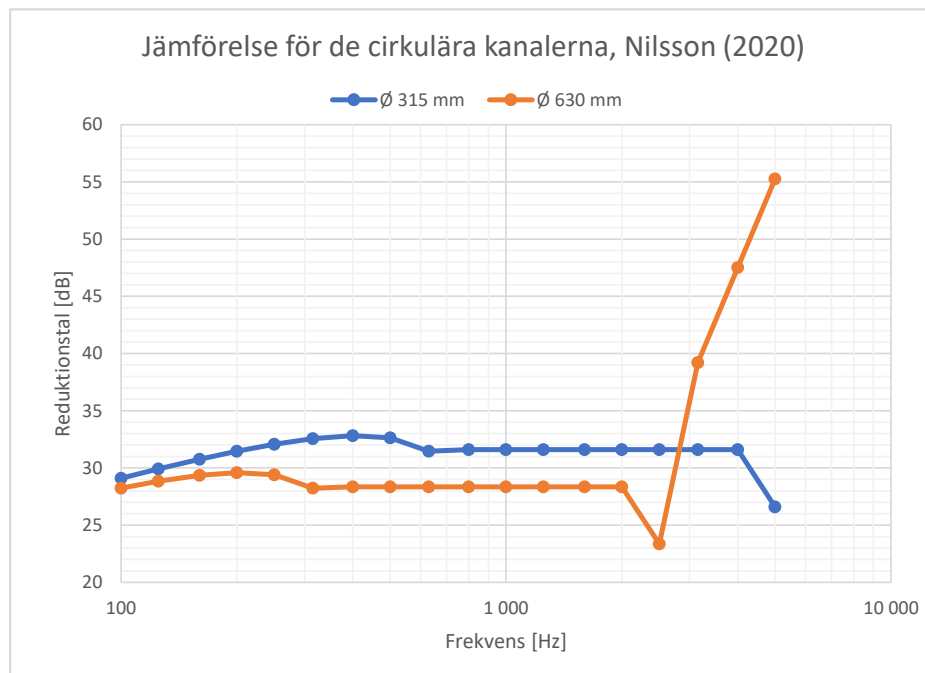
Genom att lägga till teorin enligt ovan i figur 5.15 samt 5.19 kan skillnader mellan teorierna enklare visualiseras vilket visas i figur 6.1 och 6.2. Vidare visar figur 6.3 skillnaden mellan de olika cirkulära dimensionerna för teorin enligt Nilsson (2020).



Figur 6.1: Reduktionstal för endast ventilationskanal med diameter 315 mm. Kurvan för Reynolds (1990) döljer sig under kurvan för Long (2006).

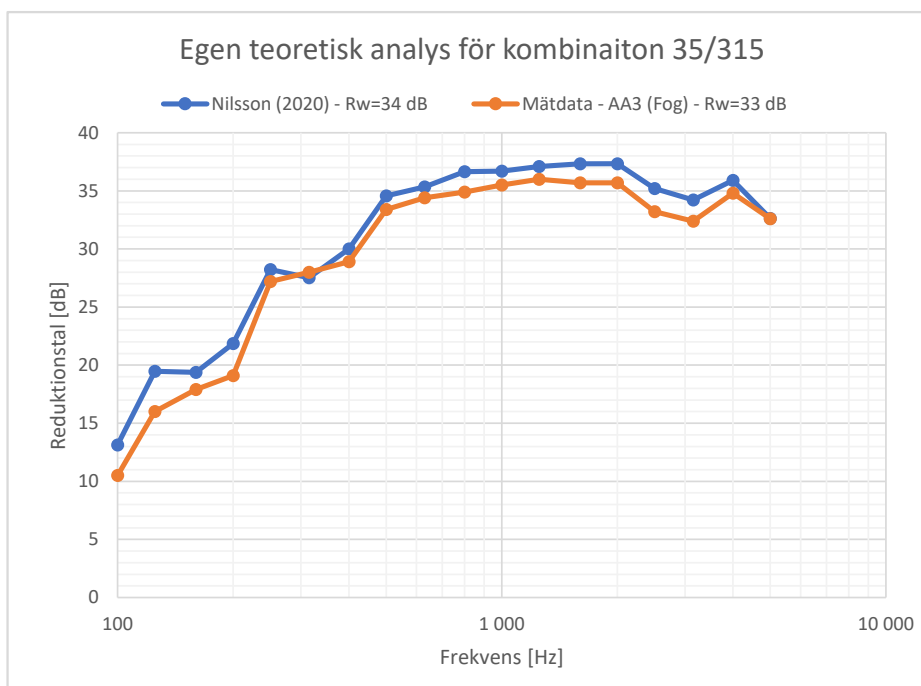


Figur 6.2: Reduktionstal för endast ventilationskanal med diameter 630 mm. Kurvan för Reynolds (1990) döljer sig under kurvan för Long (2006).

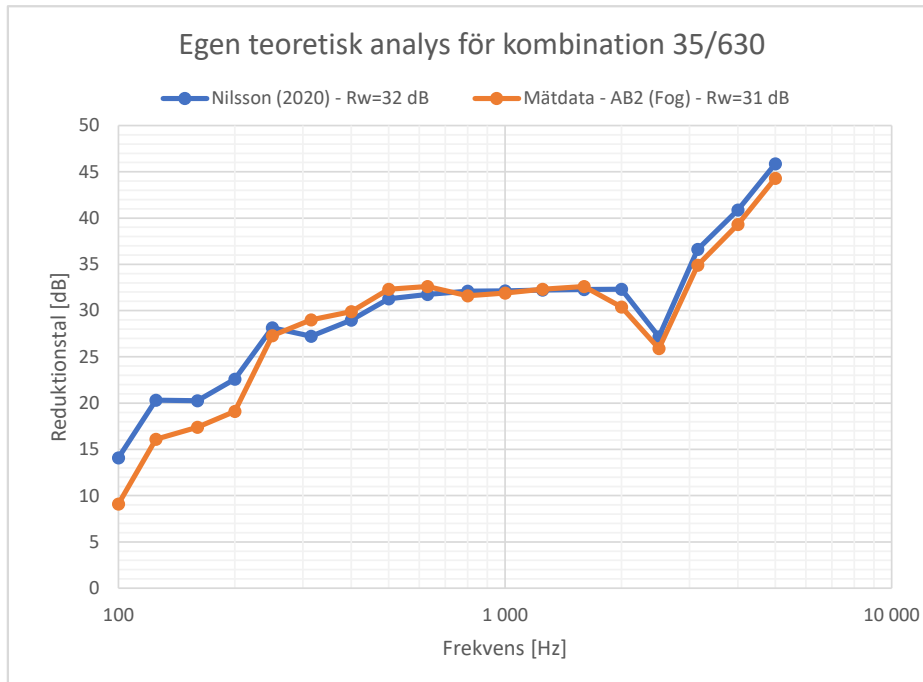


Figur 6.3: Reduktionstal för cirkulära ventilationskanaler med olika storlekar.

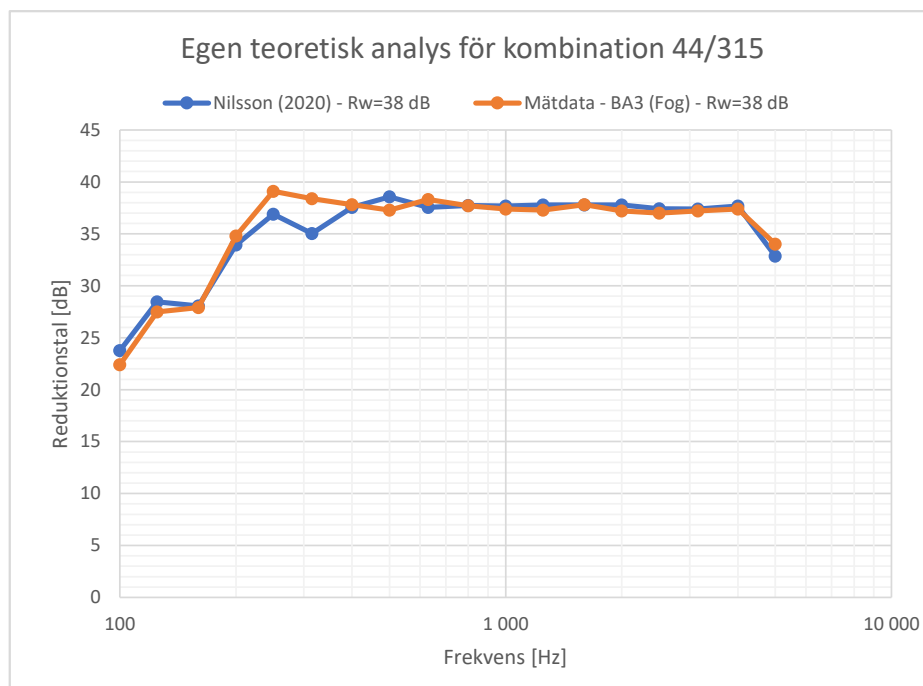
Teorin enligt Nilsson (2020) kan tillämpas som de övriga tre teorier och därefter jämföras med uppmätt data vilket görs enligt figur 6.4-6.9.



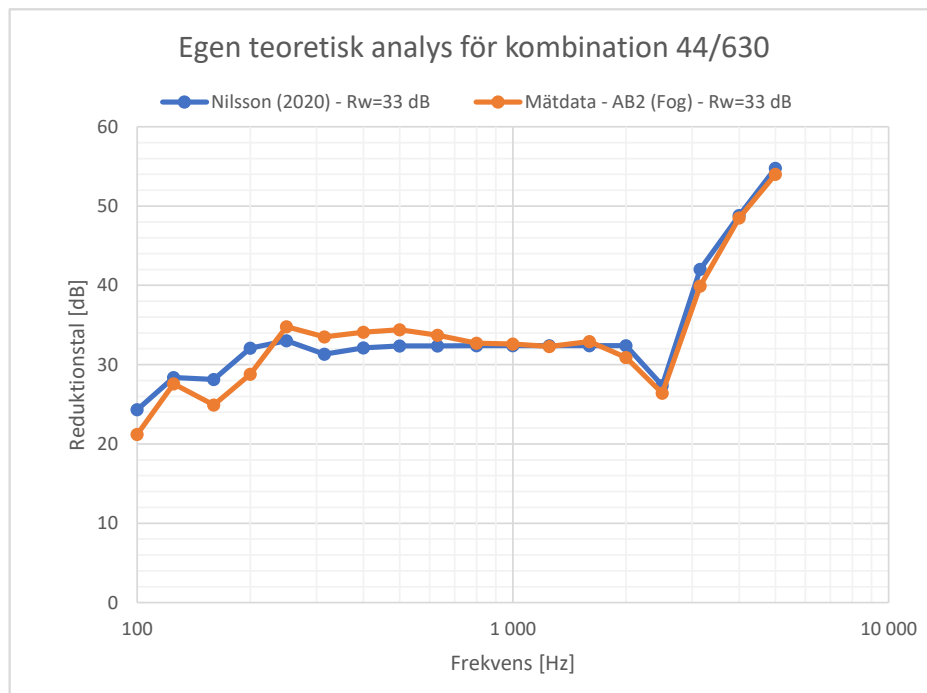
Figur 6.4: Reduktionstal för teori enligt Nilsson (2020) på kombination 35/315.



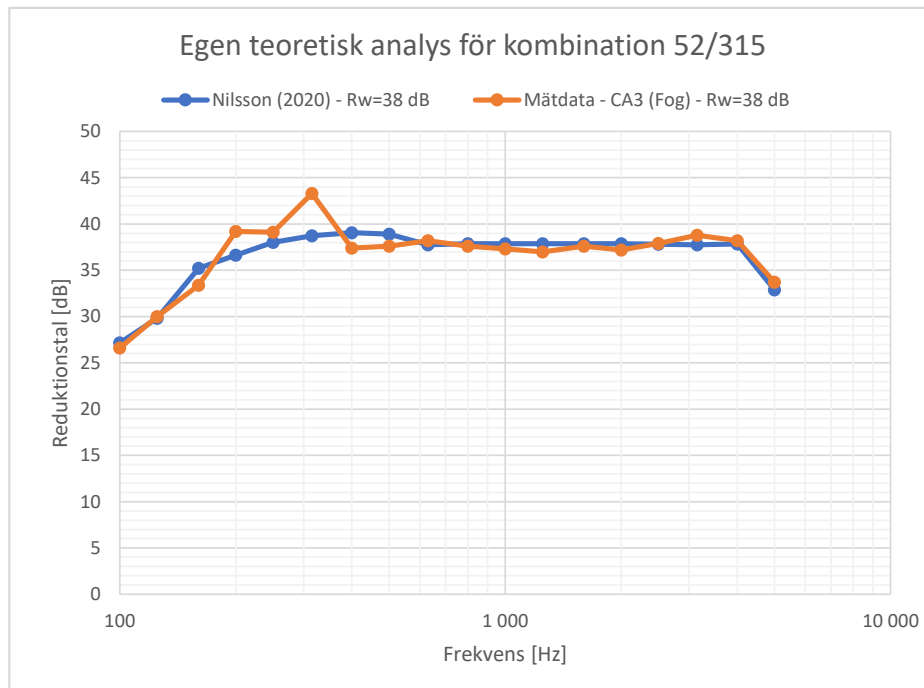
Figur 6.5: Reduktionstal för teori enligt Nilsson (2020) på kombination 35/630.



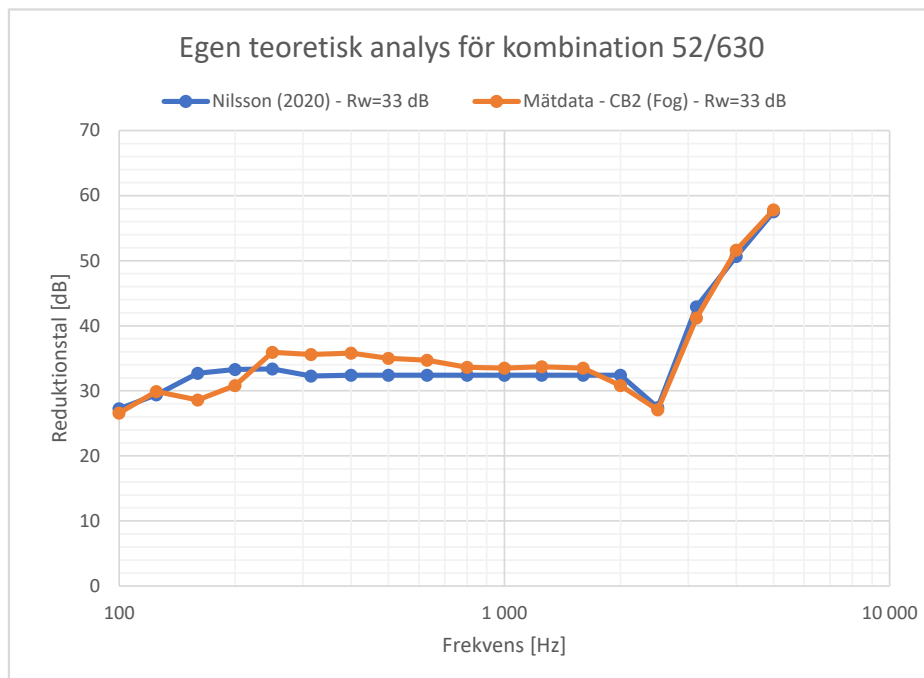
Figur 6.6: Reduktionstal för teori enligt Nilsson (2020) på kombination 44/315.



Figur 6.7: Reduktionstal för teori enligt Nilsson (2020) på kombination 44/630.



Figur 6.8: Reduktionstal för teori enligt Nilsson (2020) på kombination 52/315.



Figur 6.9: Reduktionstal för teori enligt Nilsson (2020) på kombination 52/630.

Figur 6.4-6.9 visar att teorin enligt Nilsson (2020) har ett bättre samband gentemot uppmätta värden och att det vägda reduktionstalet för teorin överensstämmer relativt bra mot mätvärdena.

6.1.2 Reduktionstal för svepta cirkulära kanaler

När hela ventilationskanalen sveps med stenull kan andra egenskaper identifieras för mätdatan enligt sektion 4.1. Genom att utgå från teorin enligt sektion 6.1.1 kan tillägg göras när hela kanalen sveps med stenull beroende på den massa per ytenhet som läggs till vilket definieras som $q_{stenull}$.

Då $f \leq f_1$ gäller ekvation 6.7

$$R_{vent,stenull,1} = R_{vent,1} + 10 \cdot \log \left(\frac{q_{stenull}}{2 \cdot S \cdot \pi \cdot \left(S + \frac{f_1 - f}{f_1} \right)} \right). \quad (6.7)$$

Då $f_1 < f < f_R$ gäller ekvation 6.8

$$R_{vent,stenull,2} = R_{vent,2} + 10 \cdot \log \left(\frac{(f - f_1)^2 \cdot q_{stenull}^2}{d \cdot \pi^3 \cdot f_1} \right) \quad (6.8)$$

Med tillägg att $f - f_1$ definieras som den största av $f - f_1$ och 40.

Då $f \sim f_R$ gäller ekvation 6.9, när kanalens hela längd är svept har inte ringfrekvensen någon negativ påverkan på mätvärdet

$$R_{vent,stenull,3} = R_{vent,stenull,2}. \quad (6.9)$$

Då $f > f_R$ gäller ekvation 6.10

$$R_{vent,stenull,4} = R_{vent,4} + 10 \cdot \log(f \cdot q_{stenull}). \quad (6.10)$$

För att beräkna $q_{stenull}$ används här istället densiteten, ρ , enligt ekvation 6.11 där tjockleken definieras som t

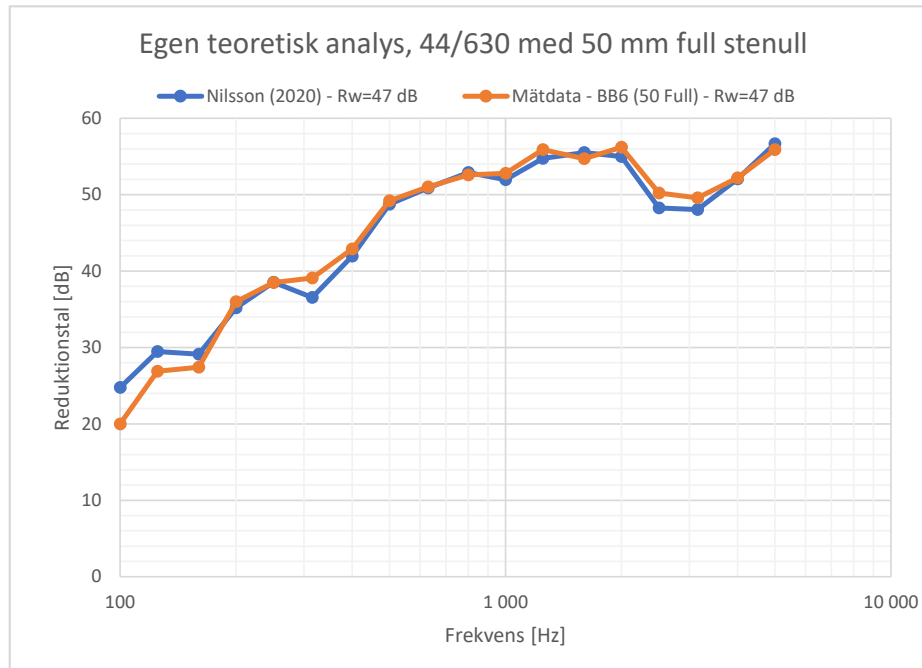
$$q_{stenull} = \rho \cdot t. \quad (6.11)$$

Stenullen som används som åtgärd har haft två tjocklekar, 50 respektive 100 mm, med en densitet på 100 kg/m^3 vilket ger värden på $q_{stenull}$ enligt ekvation 6.12

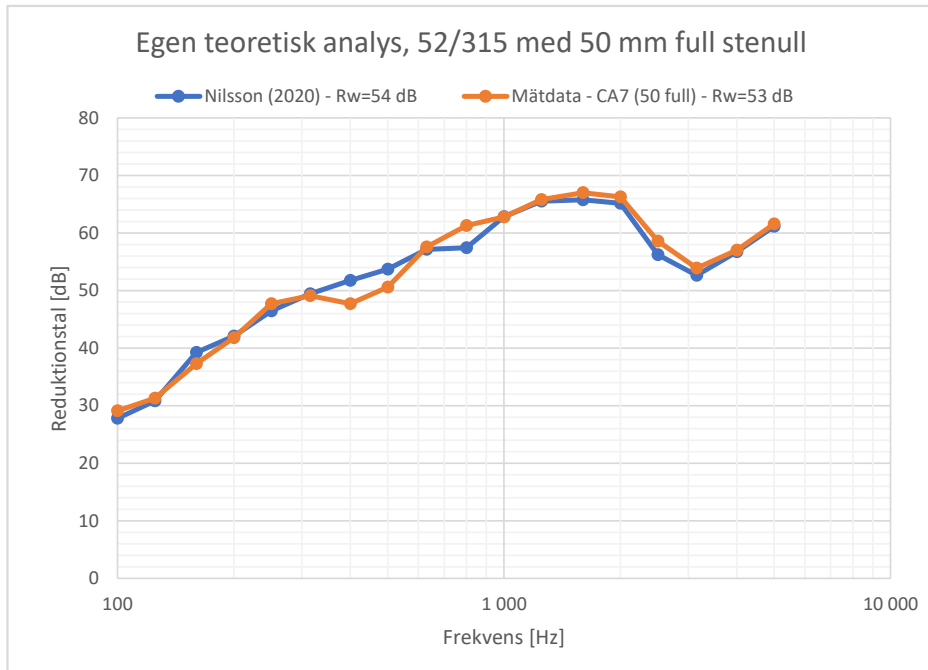
$$\begin{aligned} q_{stenull,50} &= 100 \cdot 0,05 = 5 \text{ kg/m}^2 \\ q_{stenull,100} &= 100 \cdot 0,1 = 10 \text{ kg/m}^2. \end{aligned} \quad (6.12)$$

Eftersom teorin enligt ovan är tillägg ska reduktionstalet först beräknas för den cirkulära kanalen utan svepning enligt sektion 6.1.1 och därefter ska tillägg göras på reduktionstalet enligt denna sektion. Genom att tillämpa denna teori enligt Nilsson (2020) kan empiriska

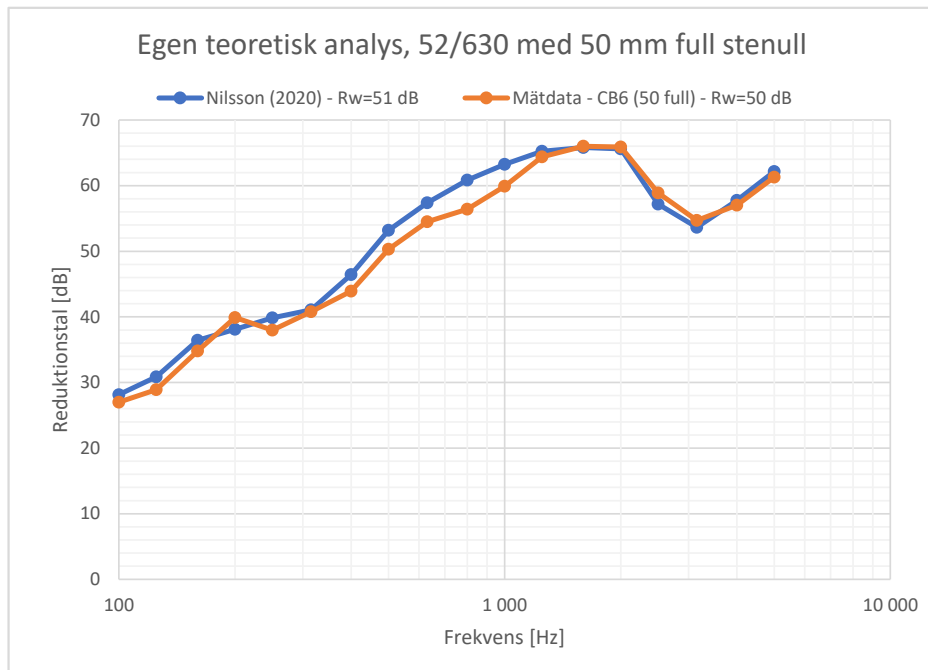
beräkningar jämföras med uppmätta värden där kanalernas hela längd har svepts vilket visas i figur 6.10-6.13.



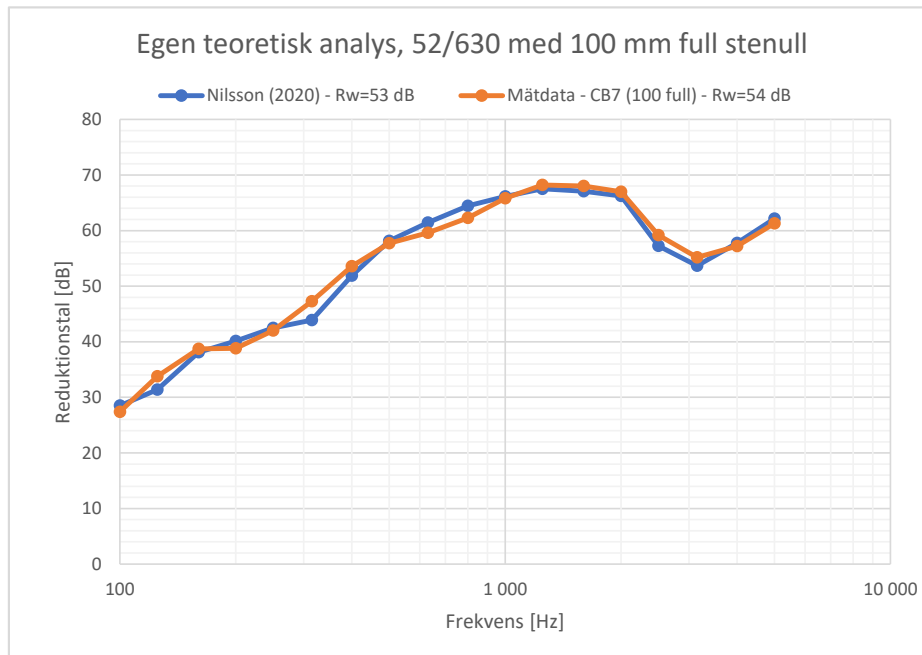
Figur 6.10: Reduktionstal för teori enligt Nilsson (2020) på kombination 44/630 med svepning av kanalens hela längd med 50 mm stenull.



Figur 6.11: Reduktionstal för teori enligt Nilsson (2020) på kombination 52/315 med svepning av kanalens hela längd med 50 mm stenull.

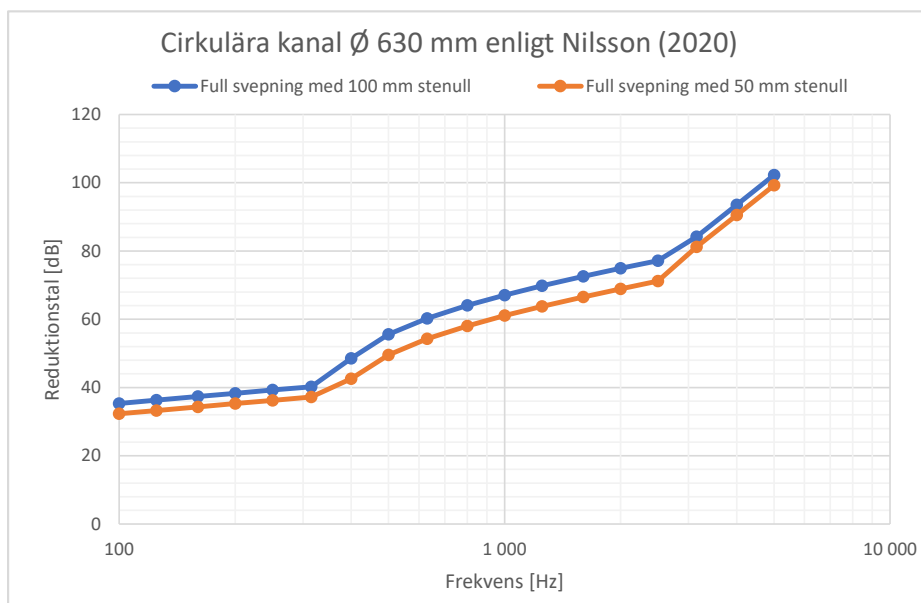


Figur 6.12: Reduktionstal för teori enligt Nilsson (2020) på kombination 52/630 med svepning av kanalens hela längd med 50 mm stenull.



Figur 6.13: Reduktionstal för teori enligt Nilsson (2020) på kombination 52/630 med svepning av kanalens hela längd med 100 mm stenull.

Det kan i första hand vara svårt att visuellt se en skillnad mellan figur 6.12 och 6.13. För att visa vad skillnad i massa har för betydelse visas figur 6.14 som endast beskriver reduktionstalet för ventilationskanalen med svepning av 50 respektive 100 mm stenull.



Figur 6.14: Reduktionstal för teori enligt Nilsson (2020) på kanal med diameter 630 mm med svepning av kanalens hela längd med 50 respektive 100 mm stenull.

I första hand kan figur 6.14 tolkas som att skillnad i massa inte har så stor påverkan på reduktionstalet. Däremot är intervallet på y-axeln större och en ökning på minst 5 dB sker för flertalet frekvenser. Genom analys av mätvärden för varierad tjocklek på stenullen bedöms däremot massan ha större betydelse än vad som visas i figur 6.14 och därmed ska särskilda reservationer tas i beaktelse vid användning av dessa ekvationer.

6.1.3 Reduktionstal för rektangulära kanaler

Eftersom teorin för den rektangulära kanalen överensstämmer bättre med uppmätta värden ägnas inte tid åt att utveckla nya samband som för de cirkulära kanalerna. Istället anpassas den befintliga teorin så att den stämmer bättre överens med mätdata.

Teorin enligt Long (2006) har valt att anpassas då den som tidigare nämnt anses bäst beskriva de uppmätta värdena. Den första anpassningen är en blandning av teorin enligt Long (2006) och Reynolds (1990) där begreppet, A_0 , införs. Däremot används faktorn 8 istället för 24 som i teorin enligt Reynolds (1990). Denna skillnad bidrar till den största anpassningen till de befintliga teorierna

$$\begin{aligned} A_i &= a \cdot b \\ A_0 &= 8 \cdot L \cdot (a + b). \end{aligned} \tag{6.13}$$

Break in

Överföringsförlusten vid break in ändras så att tecknet framför konstanten med värde 4 blir positiv enligt 6.14 vilket gäller för frekvenser under f_1 .

Om $f \leq f_1$ gäller ekvation 6.14 enligt nedan

$$TL_{oi,rev} = \text{den största av } \begin{cases} TL_{io} + 4 - 10 \cdot \log\left(\frac{a}{b}\right) + 20 \cdot \log\left(\frac{f}{f_1}\right) \\ 10 \cdot \log\left(\frac{P \cdot L}{2 \cdot S}\right). \end{cases} \quad (6.14)$$

Om $f > f_1$ gäller fortfarande ekvation 2.49 vilket skrivs upp igen enligt ekvation 6.15

$$TL_{oi} = TL_{io} - 3. \quad (6.15)$$

Break out

Konstanten som används i ekvationen för break out enligt Reynolds (1990), över frekvensen f_L , används istället för konstanten som Long (2006) använder. Med andra ord så byter konstanten värde från 33,5 till 31 enligt ekvation 6.16

$$TL_{io,rev} = 20 \cdot \log(f \cdot q) - 31. \quad (6.16)$$

Om däremot $f \leq f_L$ gäller fortfarande ekvation 2.28 som skrivs igen enligt ekvation 6.17. Därtill gäller fortfarande minimumvärdet enligt ekvation 2.30

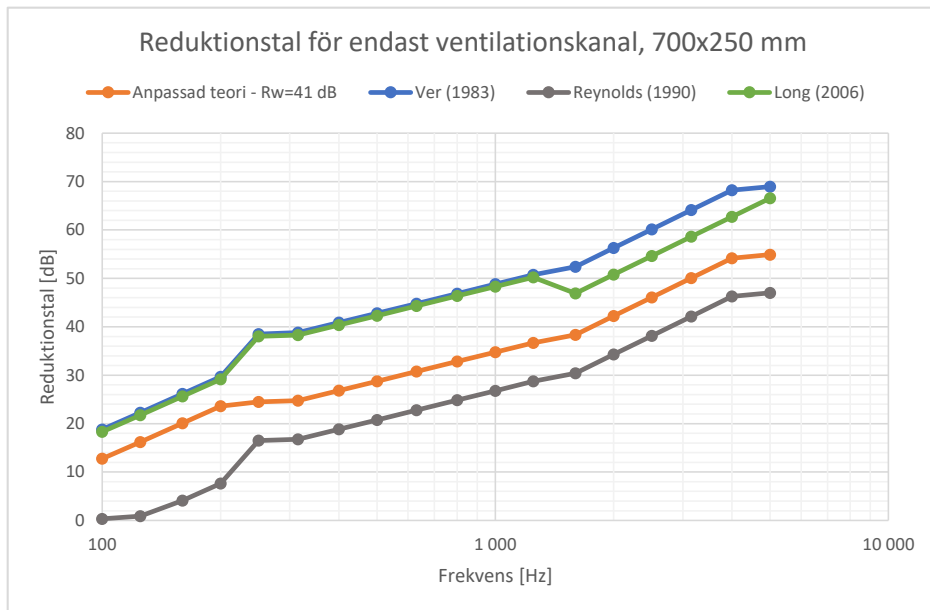
$$TL_{io} = 10 \cdot \log\left(\frac{f \cdot q^2}{a + b}\right) + 17. \quad (6.17)$$

Omskrivning till reduktionstal

Den sista anpassningen sker vid omskrivning till reduktionstal där konstanten minskas med 1,5, från 7 till 5,5, enligt ekvation 6.18

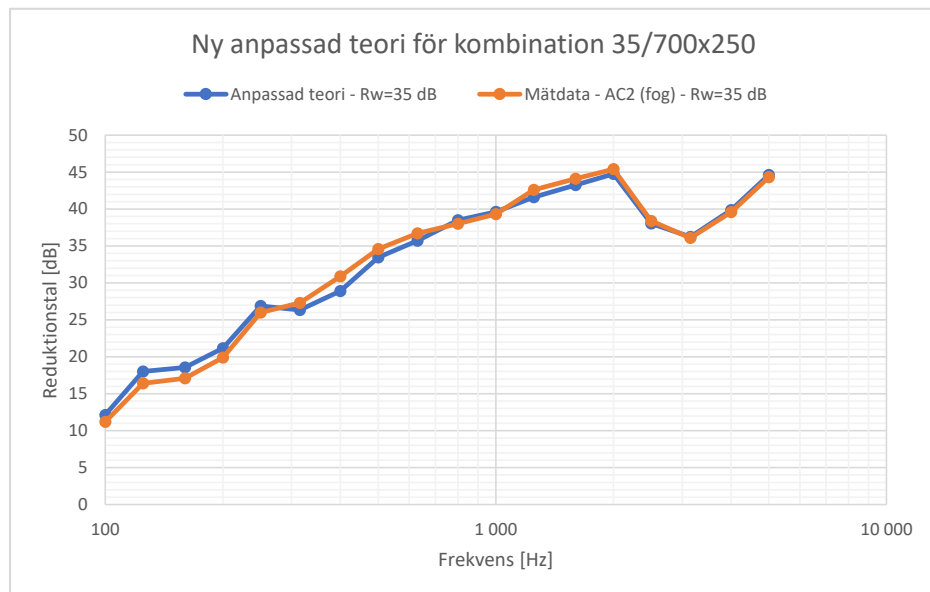
$$R_{vent,rek,Long,S} = TL_{io} + TL_{oi} - 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{4\pi \cdot \left(r + \sqrt{\frac{SQ}{4\pi}}\right)^2 + \frac{4}{A_{fot}}}\right) - 10 \cdot \log\left(\frac{A_0}{A_i}\right) - 10 \cdot \log(A_0) + 5,5 - 10 \cdot \log\left(\frac{A_{abs}}{S_{kanal}}\right) - 2 \cdot C. \quad (6.18)$$

Genom att lägga till anpassningen enligt ovan i figur 6.15 kan skillnader mellan teorierna enklare visualiseras.

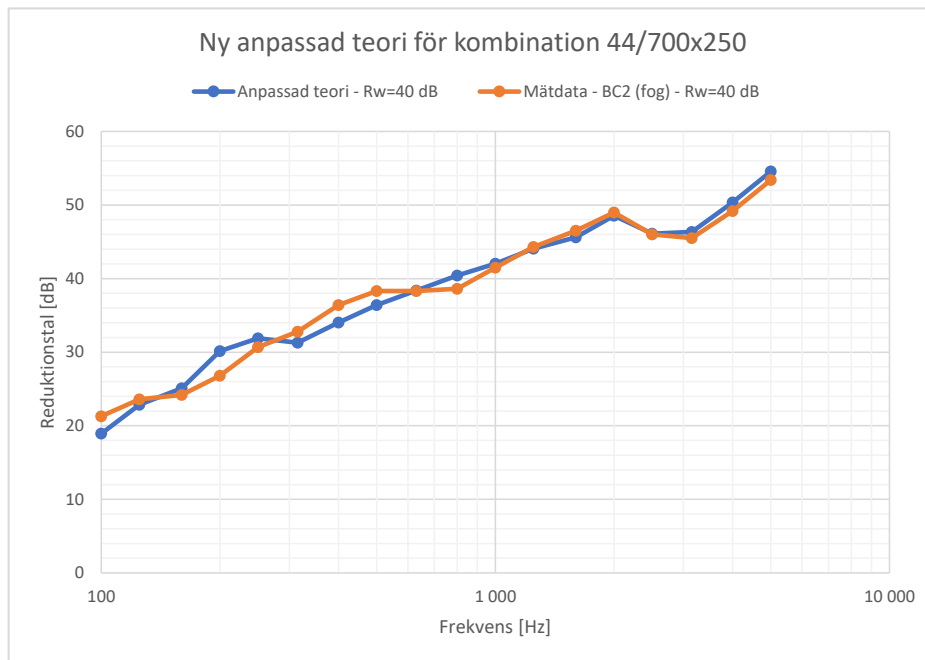


Figur 6.15: Reduktionstal för endast ventilationskanal med dimension 700x250 mm.

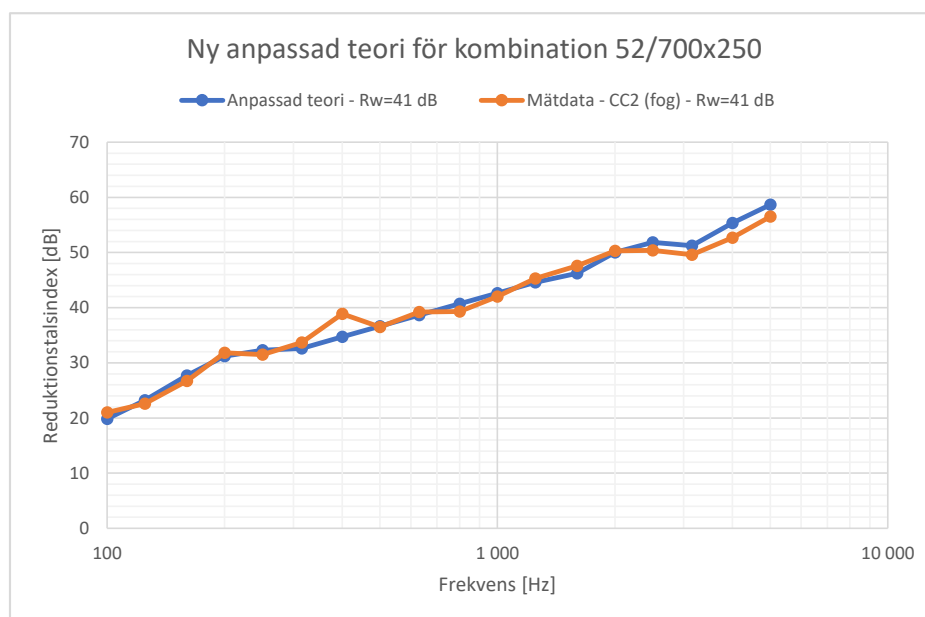
Anpassningen kan tillämpas som de övriga teorierna tidigare gjort och därefter jämföras med uppmätt data vilket görs enligt figur 6.16-6.18.



Figur 6.16: Reduktionstal för anpassning av befintlig teori för kombination 35/700x250.



Figur 6.17: Reduktionstal för anpassning av befintlig teori för kombination 44/700x250.



Figur 6.18: Reduktionstal för anpassning av befintlig teori för kombination 52/700x250.

6.1.4 Reduktionstal för svepta rektangulära kanaler

Reynolds (1990) beskriver en teori om en utvändigt absorberande som kan täcka rektangulära kanaler där en överföringsförlust kan beräknas beroende på kanalens dimensioner samt massan på absorberanden men den är bristfällig. Därav har försök likt den teorin som framtagits för de cirkulära kanalerna gjorts för de rektangulära. Med utgångspunkt från tilläggsmetoden för de cirkulära har empiriska samband tagits fram för rektangulära kanaler som sveps med stenull enligt nedan.

Då $f \leq f_1$ gäller ekvation 6.19

$$R_{vent,stenull,1} = R_{rek} + 10 \cdot \log \left(\frac{q_{stenull}^2}{10 \cdot S \cdot \pi} \right). \quad (6.19)$$

Då $f_1 < f < f_L$ gäller ekvation 6.20

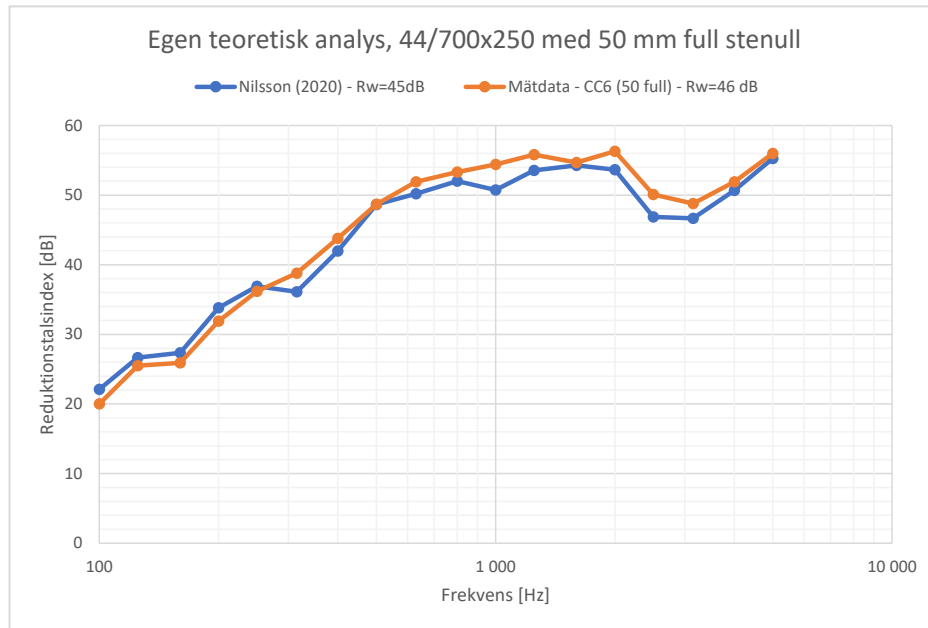
$$R_{vent,stenull,2} = R_{rek} + 10 \cdot \log \left(\frac{(f - f_1)^2 \cdot q_{stenull}^3}{a \cdot \pi^3 \cdot f_1^{1,4}} \right) \quad (6.20)$$

Med tillägg att $f - f_1$ definieras som den största av $f - f_1$ och 40.

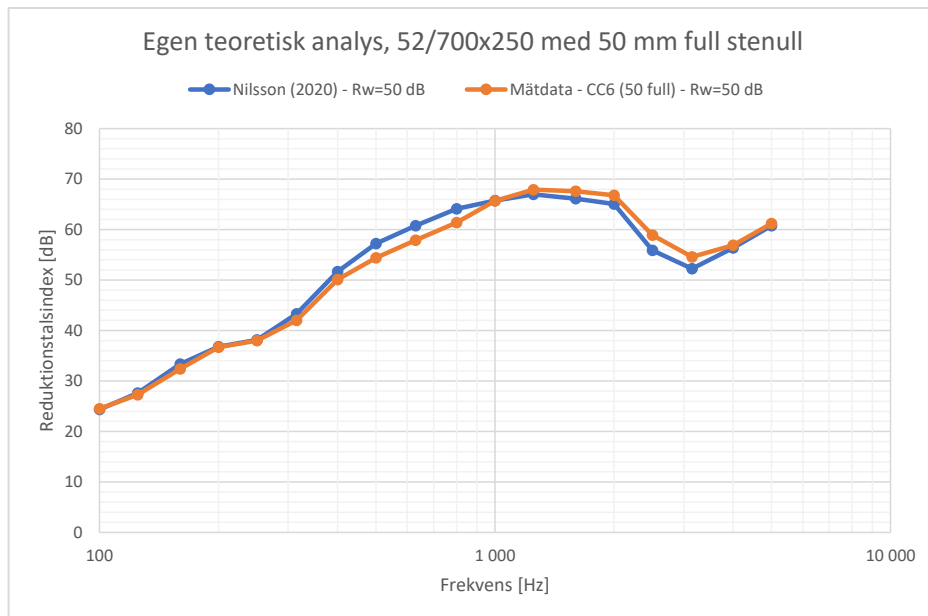
Då $f > f_L$ gäller ekvation 6.21

$$R_{vent,stenull,3} = R_{rek} + 10 \cdot \log(f \cdot q_{stenull}). \quad (6.21)$$

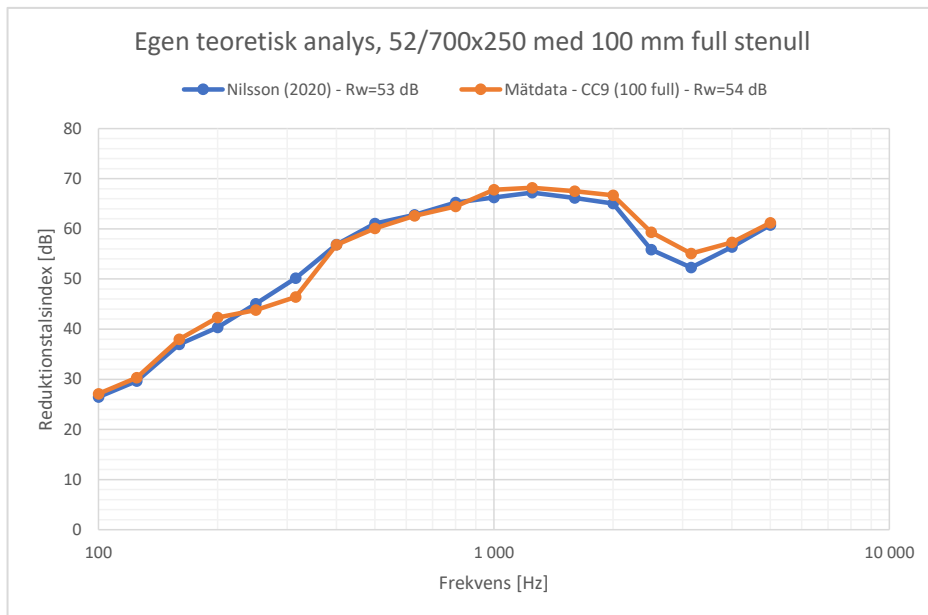
Eftersom teorin enligt ovan är tillägg ska reduktionstalet först beräknas för den rektangulära kanalen utan svepning enligt sektion 6.1.3 och därefter ska tillägg göras på reduktionstalet enligt denna sektion. Genom att tillämpa denna teori enligt Nilsson (2020) kan empiriska beräkningar jämföras med uppmätta värden där kanalernas hela längd har svepts vilket visas i figur 6.19-6.21.



Figur 6.19: Reduktionstal för teori enligt Nilsson (2020) för kombination 44/700x250 med svepning av kanalens hela längd med 50 mm stenull.

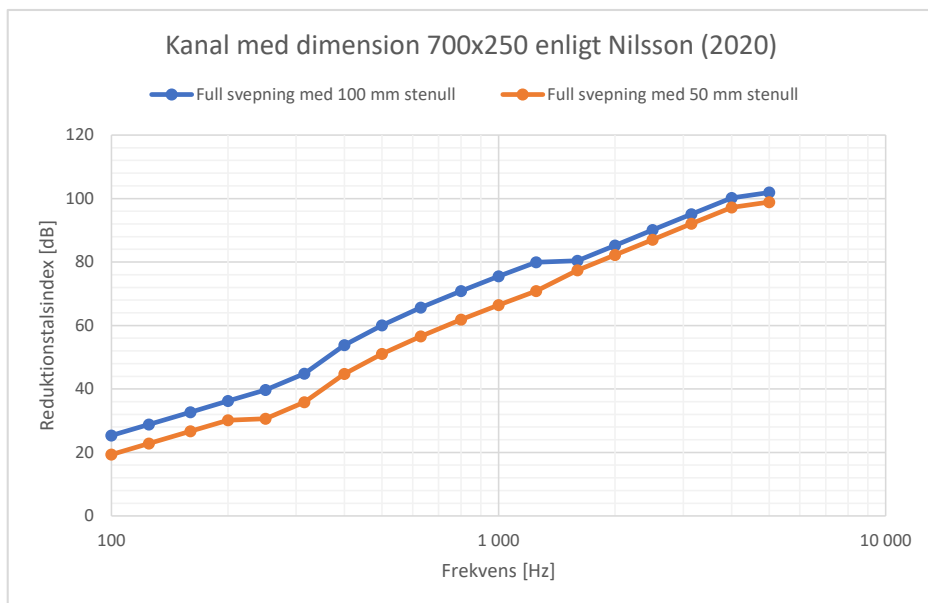


Figur 6.20: Reduktionstal för teori enligt Nilsson (2020) för kombination 52/700x250 med svepning av kanalens hela längd med 50 mm stenull.



Figur 6.21: Reduktionstal för teori enligt Nilsson (2020) för kombination 44/700x250 med svepning av kanalens hela längd med 100 mm stenull.

För att återigen visa massans skillnad som tidigare sektion visas figur 6.22.



Figur 6.22: Reduktionstal för teori enligt Nilsson (2020) på kanal med dimension 700x250 med svepning av kanalens hela längd med 50 kontra 100 mm stenull.

Kapitel 7

Diskussion

7.1 Allmänt

Vid en jämförelse mellan mätresultat i laboratorium kontra praktik måste läsaren beakta att detta resultat inte direkt kan tillämpas i praktiken. När en vägg i praktiken byggs upp med liknande egenskaper som någon av de väggtyper som använts i laboratoriet kommer flera faktorer påverka konstruktionsdelen mer än själva genomföringen av ventilationskanalen. I praktiken kommer även inverkan av flanktransmission, bristfälligt utförande och flertalet andra genomföringar att bidra till ett reducerat reduktionstal för skiljekonstruktionen. Dessa mätresultat har främst påvisat vilka åtgärder som ska göras när endast en genomföring finns och när det inte förekommer någon flanktransmission via de andra skiljekonstruktionerna. När denna genomföring åtgärdas för liknande scenario i verkligheten kan inte ett godkänt resultat garanteras ty reduktionstalet är beräknat som ett entalsvärde som i sig beror på en referenskurva vilket är frekvensberoende. För mätningarna som är genomförda kan en åtgärd precis förbättra ljudreduktionen så att de ogynnsamma skillnaderna underskrider 32 dB men i verkligheten, där fler faktorer påverkar, kan inverkan av flanktransmissioner påverka någon enstaka frekvens så att entalsvärdet blir lägre.

Å andra sidan uppnås ett högre reduktionstal på referensväggen än vad som kan förväntas i praktiken vilket innebär att de åtgärder som görs på kanalen motsvarar ett högre reduktionstal än vad som behöver uppnås vid fält. Därav finns även argument för att de åtgärder som uppnått syftet vid mätningar i laboratoriet är mer än tillräckliga vid användning i fält. För att bekräfta validiteten av resultatet hade flertalet liknande kombinationer behövt provas i fält och jämföras med mätresultat från denna rapport.

Vid tillämpning av åtgärder ska längden på kanalen tas i beaktande. Ventilationskanalerna sticker ut från väggen med en distans på cirka 3 meter i vardera rum vilket nästan motsvarar halva rummens längder. För åtgärder där endast svepning med stenull täcker en mindre sträcka av kanalen, 600-1200 mm, kan direkt tillämpning ske. Därav, när sveplängden samt ljudklassen på väggen ökar, borde sveplängden på 1800 mm och uppåt istället motsvara full svepning av kanalen i hela rummet. Dock beror denna faktor även på storlek på rummet. Om rummens dimensioner är stora kommer en del av ljudet att successivt dämpas med kanalens längd. Därtill beror även tillämpning av åtgärder på var ljudkällan förväntas inträffa. Vidare beror tillämpning av åtgärder på sändarummets

funktion samt de rum som angränsar. De avskiljande väggarna kan nämligen ha olika ljudklasser beroende på vilka mottagarrummen är och då kan olika typer av åtgärder krävas på samma ventilationskanal i sändarrummet.

7.2 Mätresultat

Genom att först studera den vägg med lägst ljudklass kan analyser dras kring betydelsen av formen på ventilationskanalerna. För de cirkulära kanalerna var inte applicering av fog tillräckligt, däremot uppnåddes syftet med denna åtgärd för den rektangulära kanalen. Initialt kan därav överföringsförlusten anses vara högre för rektangulära kanaler jämfört med cirkulära. När de andra väggtyperna därefter analyseras krävs samma åtgärder för den rektangulära och den större cirkulära kanalen och den antydning som först gjordes är inte längre lika självklar. Anledningen till att endast applicering av fog var tillräcklig för den rektangulära kanalen jämfört med de cirkulära i första väggen anses istället bero på formen på kurvorna. Kurvan för den rektangulära kanalen har en relativt linjär ökning oavsett om kanalen är svept eller inte. För de cirkulära kanalerna är reduktionstalet relativt konstant vid högre frekvenser. Om en linje dras mellan frekvensen 63 och 2000 Hz är de avvikande värdena för de tre referensväggarna minst för den lägre ljudklassade väggen vilket anses vara anledningen till att applicering av fog är tillräcklig för kombination 35/700x250. Om det finns ett linjärt samband mellan låga och höga frekvenser för referensväggen krävs inte lika många åtgärder på en rektangulär jämfört med en cirkulär kanal.

Däremot finns det som tidigare indikerats en skillnad mellan överföringsförlusten mellan olika kanaltyper. Den rektangulära kanalen är bättre på att reducera överföring av ljud vid höga frekvenser till skillnad från den cirkulära vilket kan bero på uppbyggnaden av systemet. Det rektangulära kanalsystemet är uppbyggt av fler kopplingar med dämpande egenskaper än det cirkulära. Vid mätningar med koppling mitt i väggen för den cirkulära kanalen med en diameter på 315 mm, ökar reduktionstalet för skiljekonstruktionen vid de högre frekvenserna. Uppbyggnaden kan därav vara en av anledningarna till att överföringsförlusten är högre för det rektangulära systemet och att inte formen på kanalen har lika stor påverkan. För att kunna utveckla denna teori behövs fler mätningar göras på rektangulära kanaler med olika antal kopplingar.

Genom att fortsätta studera skillnader mellan rektangulär och cirkulär form på kanalen kan mantelarean anses ha störst betydelse på reduktionstalet för skiljekonstruktionen. Mantelarean för det större cirkulära röret är snarlikt det rektangulära och vid de högre ljudklassade väggarna krävs samma åtgärder för båda kanalerna. Tvärsnittsarean anses därav ha mindre betydelse på den sammansatta väggens reduktionstal.

För kombination 52/315 kan det argumenteras för att ytterligare åtgärder borde implementerats för att en sekvens med mer svepning skulle stämma bättre överens med referensväggen. Däremot, som nämnts tidigare, gavs samma reduktionstal i mätaren för sekvens CA7 och CA1 och mätningarna skulle därav upphöra enligt avgränsningarna i stycke 1.5. Med bakgrund till de andra mätningarna borde svepning med 100 mm stenull på en sträcka om 600 mm närmst väggen vara tillräcklig om samma reduktionstal ska uppnås då summan av de ogynnsamma avvikelserna var nära 32 dB om referenskurvan hade förflyttats upp 1 dB för mätsekvens CA7.

7.2.1 Koppling mitt i eller nära väggen

Koppling mitt i vägg har prövats för kombinationer med den mindre cirkulära kanalen. Samtliga kombinationer ger en positiv påverkan på mätresultatet. Vid projektering kan det därav argumenteras för att ventilationskanaler som går genom ljudklassade väggar ska strävas efter att dras så att kopplingar med gummibeklädnad sker mitt i eller nära anslutning till väggen.

7.2.2 Vilket rum ger bäst effekt vid full svepning?

I praktiken kan platsbrist uppstå ovanför undertak och därav kan det vara intressant att veta vilket rum som ger bäst effekt vid svepning av ventilationskanalen. Denna fråga anses dock vara svår att besvara med den mätdata som är gjord då två olika kombinationer har testats med olika egenskaper. Skillnaden i decibel mellan mätsekvensen fog och full svepning i ett av rummen är relativt lika för båda kombinationerna vilket skulle indikera på att båda metoderna är likvärdiga. Däremot är mätsekvens BB7 närmre referensväggen än mätsekvens CA8 vilket kan indikera att svepning i mottagarrum är mest effektiv. För att dra slutsatser kring vilket rum som ger störst effekt för svepning av ventilationskanal behövs fler mätningar genomföras i framtiden.

7.2.3 Springläckage

Teorin om ljudtransmission för en springa är främst applicerbar för en platta och inte en regelvägg med olika anslutningar. Därav är inte teorin direkt applicerbar till mätdata och beaktande ska tas vid jämförelse. Därtill är springans bredd uppskattad och ett medelvärde av dess bredd är använd ty hål skars med en gipskniv. Springan är dessutom inte som en rak linje utan följer ventilationskanalen vilket delvis också frångår teorin.

7.2.4 Ringfrekvensen

Mätresultaten har påvisat en tendens till nedsänkning vid en viss frekvens beroende på storlek av kanalen vilket med beräkningar anses infalla kring ringfrekvensen f_R för båda de cirkulära kanalerna. Därefter stiger reduktionstalet för frekvenser över ringfrekvensen så att reduktionstalet närmar sig värdet på referensväggen utan några genomföringar. När kanalens hela längd sveps sker inte längre en nedsänkning vilket styrker argumentet för att denna tendens är kopplad till ventilationskanalen och inte mätförfarandet. Eftersom endast frekvenser mellan 63-5000 Hz har mätts upp kan däremot denna tendens främst styrkas för den större cirkulära kanalen då ringfrekvensen minskar med ökad storlek. För den mindre cirkulära kanaldimensionen sker ringfrekvensen precis vid 5000 Hz och frekvenser över denna har inte mätts upp.

I efterhand hade det varit bättre att mäta frekvenser upp till 10 000 Hz för att styrka argumentet för ringfrekvensen. Ventilationskanaler med liknande egenskaper som inte är svepta med stenull erhöles vid en fältmätning och mätning av ljudisolering på skiljekonstruktionen gjordes. Däremot var uppställningen i fält annorlunda då det var två kanaler med dimension på 350 mm genom väggen som dessutom hade tilluftsdon i sig utan någon egendämpning. Därtill hade fler faktorer inverkan på reduktionstalet som flanktransmissioner samt transmission via en dörr med låg ljudklass. Även fast uppställningen skiljde sig kunde en tendens till ökning ses från frekvensen 4 kHz till 5

kHz. Vid beräkningar ligger ringfrekvensen mellan dessa frekvenser. Denna mätning styrker därmed argumentet för att reduktionstalet stiger för frekvenser över f_R upp till väggens reduktionstal över ringfrekvensen.

7.3 Befintlig teori

De tre teorierna som använts har modifierats så att de kan skrivas om till reduktionstal och den proceduren kan anses felaktig då vissa antaganden har gjorts. Speciellt eftersom teorin stämmer dåligt mot de uppmätta värdena för de cirkulära dimensionerna. Däremot stämmer teorin för rektangulära kanaler väl överens med mätdatan för samtliga frekvenser om formen på kurvan studeras. Vid omskrivning till reduktionstal har formen på kanalen ingen betydelse utan den har endast betydelse för ekvationer som beskriver överföringsförlusten. Eftersom omskrivning till reduktionstal för de tre teorierna är oberoende av form på kanalen kan det därav argumenteras för att omskrivningen är acceptabel och att det snarare är teorin som beskriver överföringsförlusten för de cirkulära kanalerna som är bristfällig.

7.4 Teori enligt Nilsson (2020)

Eftersom den befintliga teorin var bristfällig behövdes anpassningar och nya samband tas fram så att beräkningar kan göras vid projekteringsstadiet. Teorin för ventilationskanal med rektangulär form var relativt bra och ett fåtal anpassningar gjordes vilket gav acceptabla resultat för samtliga kombinationer.

För de cirkulära kanalerna försökte nya samband för break in och break out formuleras men det visade sig vara svårt. Därav försöktes reduktionstalet istället beskrivas som en gemensam term vilket resulterade i en egen teori med beteckning Nilsson (2020). Denna egna teori visar på bra resultat för samtliga kombinationer som berör de cirkulära kanalerna vilket kan vara en bra utgångspunkt för framtida beräkningar eller för att få fram samband som beskriver break in och break out för cirkulära kanaler.

Eftersom det inte finns någon utförlig teori för svepning av ventilationskanaler försöktes även samband tas fram för denna åtgärd som bland annat beror på form av kanal, storlek och massan på stenullen. Teorin är endast applicerbar i de fall då hela ventilationskanalen sveps och betecknas även med Nilsson (2020). Teorin har visat sig stämma bra överens för flertalet kombinationer med olika former, storlekar samt massa på stenullen.

Då beräkningen är empirisk och kopplad till denna mätuppställning är den tills vidare endast giltig för fall som liknar mätuppställning som gjorts i denna rapport. Fältundersökningar samt fler laborationstester med annan mätuppställning behövs för att verifiera storheternas betydelse i ekvationerna.

För att utveckla teorin vidare behövs flertalet mätningar göras på kanaler som är under 315 mm och över 630 mm. Speciellt intressant hade varit mätningar på kanaler från 800 mm och uppåt för att bekräfta sambandet med ringfrekvensen f_R . För kanaler med rektangulär form är endast en dimension beprövad, anpassningen fungerar bra för de tre väggyperna men fler dimensioner måste testas för att bekräfta teorin.

Kapitel 8

Slutsats

Mätdata visar för varje kombination vilka åtgärder som krävs för att genomföring av ventilationskanal inte ska påverka en lättregelväggs reduktionstal och därmed uppfylls syftet. Därtill kan olika åtgärder tillämpas för andra kombinationer med stöd från mätdata enligt denna rapport. Eftersom mätningar är gjorda i laboratorium där högre reduktionstal uppnås gentemot fält, anses tillämpning av åtgärder ge större effekt i fält.

De befintliga teorierna som behandlar transmissionsförluster ut och in från kanalen anses bristfälliga för cirkulära kanaler. Emellertid stämmer teorin bättre för kanaler med rektangulära form, dock kan förbättringar tillämpas enligt mätdata som genomförts till denna rapport.

Med anpassning av den befintliga teorin för rektangulära kanaler samt en egen framtagna teori enligt Nilsson (2020) kan en ventilationskanals påverkan av reduktionstalet för en lättregelvägg beskrivas med konkreta samband, vilket kan användas vid projektering. Däremot ska beaktande initialt tas vid tillämpning av sambanden tills fler undersökningar görs i syfte att validera respektive parameters inverkan.

Litteratur

- Azalan, A, Ghazali, M. I. & Jafferi, N. (2013). An Investigation on Factors That Cause Error in Reverberation Time Measurement (ISO 3382) in UTHM Lecturer Room. Hämtad från http://eprints.uthm.edu.my/id/eprint/4370/1/Paper_30119_-_Camera_ready.pdf
- Einarsson, S. & Svensson, J. (1987). *Ljudläckage vid installationsgenomföringar*. Spångbergs Tryckerier AB.
- Gomperts, M. C. (1964). The sound insulation of circular and slit shaped apertures. *Acustica*, 14(1), 1-16.
- Gomperts, M. C. & Kihlman, T. (1967). The Sound Transmission Loss of Circular and Slit-Shaped Apertures in Walls. *Acta Acustica united with Acustica*, Volume 18, Number 3, 1967, pp. 144-150(7).
- Gyproc. (2019a). Gyproc XR 95/95 (450) N-N MR. Hämtad från <https://www.gyproc.se/konstruktioner/innerv%C3%A4ggar/innerv%C3%A4ggar-med-h%C3%B6g-ljudreduktion/gyproc-xr-c-450-med-gyproc-normal/xr7>
- Gyproc. (2019b). Gyproc XR 95/95 (450) NN-NN M0. Hämtad från <https://www.gyproc.se/konstruktioner/innerv%C3%A4ggar/innerv%C3%A4ggar-med-h%C3%B6g-ljudreduktion/gyproc-xr-c-450-med-gyproc-normal/xr12>
- Gyproc. (2019c). Gyproc XR 95/95 (450) NN-NN M95. Hämtad från <https://www.gyproc.se/konstruktioner/innerv%C3%A4ggar/innerv%C3%A4ggar-med-h%C3%B6g-ljudreduktion/gyproc-xr-c-450-med-gyproc-normal/xr19>
- Gyproc. (2019d). Gyproc XR c 450 med Gyproc Normal. Hämtad från <https://www.gyproc.se/konstruktioner/innerv%C3%A4ggar/innerv%C3%A4ggar-med-h%C3%B6g-ljudreduktion/gyproc-xr-c-450-med-gyproc-normal>
- Harvie-Clark, J., Dobinson, N. & Hinton, R. (2012). Acoustic response in non-diffuse rooms. Hämtad från <https://apexacoustics.co.uk/wp-content/uploads/2015/07/Apex-Acoustics-non-diffuse-rooms-EuroNoise-2012.pdf>
- Hopkins, C. (2007). *Sound Insulation*. Elsevier/Butterworth-Heinemann.

- IAC Acoustics. (2019). Efterklangsrums. Hämtad från <https://www.iac-nordic.se/produkter/akustikavdelning/rum-med-speciella-akustiska-krav/efterklangsrums>
- JCW Acoustic Supplies. (2018). Absorption Coefficient Chart. Hämtad från <https://www.acoustic-supplies.com/absorption-coefficient-chart/>
- Lindab. (2012). Kanalsystem av aluminiumzink AZ 185. Hämtad från https://itsolution.lindab.com/LindabWebProductsDoc/pDF/Documentation/ADS/SE/Technical/kanalsystem_aluzink_se-121004.pdf
- Lindab. (2018a). Lindab - Rekt. Hämtad från <https://itsolution.lindab.com/LindabWebProductsDoc/PDF/Documentation/ADS/se/Technical/11-Rectangular-ads.pdf>
- Lindab. (2018b). Lindab Aluminium-zink kanalsystem. Hämtad från <https://itsolution.lindab.com/LindabWebProductsDoc/PDF/Documentation/ADS/se/Technical/Aluminium-zinc-Technical-SE.pdf>
- Lindab. (2020). NPU. Hämtad från <http://www.lindab.com/se/pro/products/pages/npu.aspx>
- Long, M. (2006). *Architectural Acoustics*. Elsevier Academic Press.
- Nilsson, E., Johansson, A.-C., Brunskog, J., Sjökvist, L.-G. & Holmberg, D. (2008). *Grundläggande akustik*. KFS i Lund AB.
- Reynolds, D. D. (1990). *HVAC SYSTEMS DUCT DESIGN*. SMACNA.
- Simmons, C. (2012). Uncertainties of room average sound pressure levels measured in the field according to the draft standard ISO 16283-1. Hämtad från <https://www.traguiden.se/globalassets/forskning/akustik/akulite/akulite-rapport-3.pdf>
- Swedish Standards Institute. (2008). Byggakustik – Mätning av akustiska parametrar i rum – Del 2: Efterklangstid i vanliga rum. (ISO 3382-2:2008).
- Swedish Standards Institute. (2010a). Byggakustik – Mätning av ljudisolering hos byggnadselement i laboratorium – Del 2: Mätning av luftljudsisolering. (SS-EN ISO 10140-2:2010).
- Swedish Standards Institute. (2010b). Byggakustik – Mätning av ljudisolering hos byggnadselement i laboratorium – Del 4: Mätprocedurer och krav. (SS-EN ISO 10140-4:2010).
- Swedish Standards Institute. (2010c). Byggakustik – Mätning av ljudisolering hos byggnadselement i laboratorium – Del 5: Krav på provrum och utrustning. (SS-EN ISO 10140-5:2010).

- Swedish Standards Institute. (2014). Byggakustik - Fältmätning av ljudisolering i byggnader och hos byggnadselement - Del 1: Luftljudsisolering. (ISO 16283-1:2014).
- Swedish Standards Institute. (2017). Byggakustik – Ljudklassning av utrymmen i byggnader – Vårdlokaler, undervisningslokaler, dag- och fritidshem, kontor och hotell. (SS 25268:2007+T1:2017).
- Wallin, H., Bodén, H., Carlsson, U., Åbom, M. & Glav, R. (1999). *Ljud och Vibrationer*. Norstedts Tryckeri AB.
- Vér, I. (1983). *Prediction of Sound Transmission through Duct Walls; Breakout and Pickup*. ASHRAE RP-319.
- Vigran, T. E. (2008). *Building Acoustics*. Taylor & Francis.
- Åkerlöf, L. (2001). *Byggnadsakustik - En praktisk handbok*. Elanders Svenskt Tryck AB.

Bilaga A

Appendix

A.1 Kurvblad för mätningar i laboratorium

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

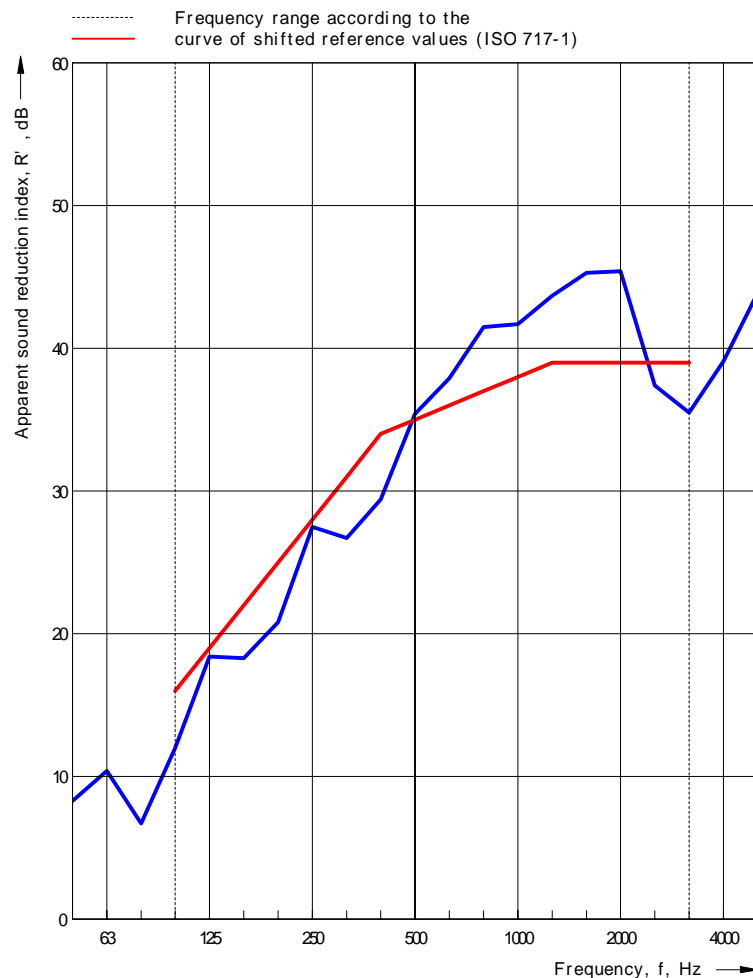
Date of test: 2019-11-25

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 35 dB.

Object: Mätsekvens AA1: Referensvägg.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	8,3
63	10,4
80	6,7
100	12,0
125	18,4
160	18,3
200	20,8
250	27,5
315	26,7
400	29,4
500	35,4
630	37,9
800	41,5
1 000	41,7
1 250	43,7
1 600	45,3
2 000	45,4
2 500	37,4
3 150	35,5
4 000	39,1
5 000	43,9



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C; C_{tr}) = 35 (-2; -7)$ dB

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

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

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

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

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

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

$C_{tr,100-5000} = -7$ dB

No. of test report: AA1

Date: 2019-11-25

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

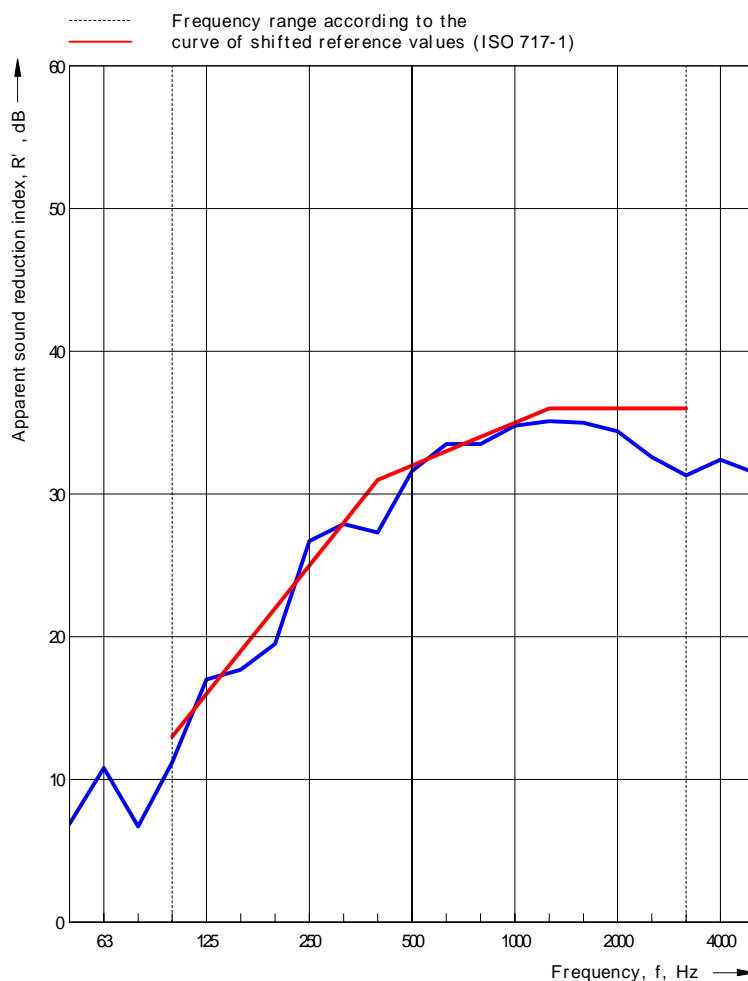
Date of test: 2019-11-25

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 35 dB.

Object: Mätsekvens AA2: Genomföring av kanal med dimension Ø 315 mm, ingen fogning.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	6,9
63	10,8
80	6,7
100	11,2
125	17,0
160	17,7
200	19,5
250	26,7
315	27,9
400	27,3
500	31,6
630	33,5
800	33,5
1 000	34,8
1 250	35,1
1 600	35,0
2 000	34,4
2 500	32,6
3 150	31,3
4 000	32,4
5 000	31,5



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C; C_{tr}) = 32 (-1; -5)$ dB

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

$C_{50-3150} = -2$ dB

$C_{tr,50-3150} = -9$ dB

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

$C_{tr,50-5000} = -9$ dB

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

$C_{tr,100-5000} = -5$ dB

No. of test report: AA2

Date: 2019-11-25

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

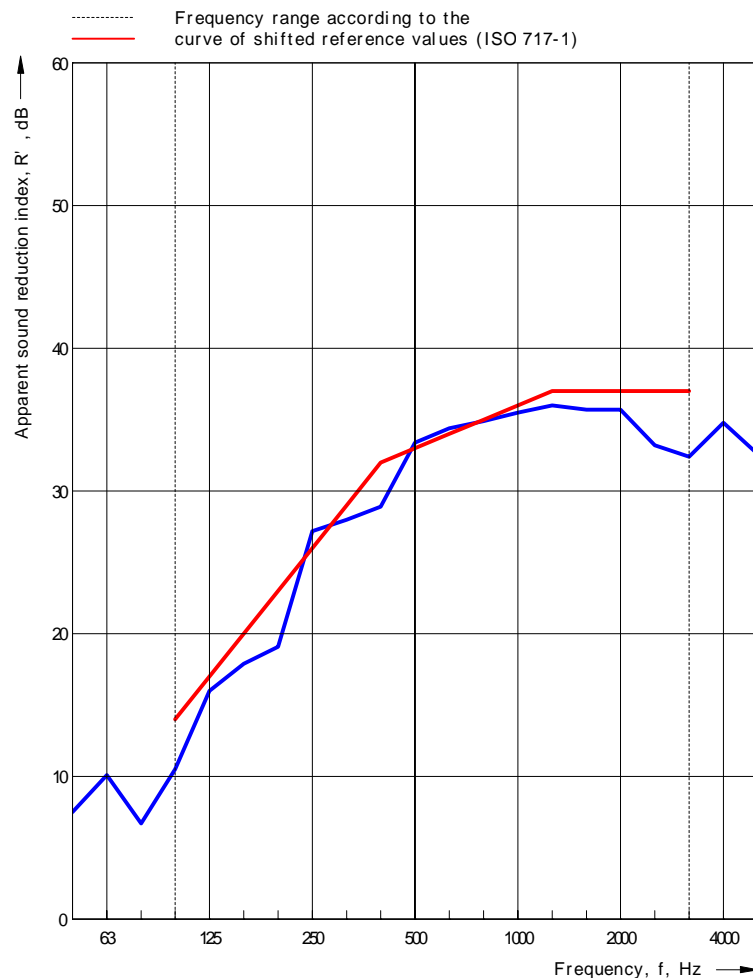
Date of test: 2019-11-25

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 35 dB.

Object: Mätsekvens AA3: Genomföring av kanal med dimension Ø 315 mm, fog på båda sidor.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,5
63	10,1
80	6,7
100	10,5
125	16,0
160	17,9
200	19,1
250	27,2
315	28,0
400	28,9
500	33,4
630	34,4
800	34,9
1 000	35,5
1 250	36,0
1 600	35,7
2 000	35,7
2 500	33,2
3 150	32,4
4 000	34,8
5 000	32,6



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 33 (-2; -6)$ dB

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

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

$C_{tr,50-3150} = -10$ dB

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

$C_{tr,50-5000} = -10$ dB

$C_{100-5000} = -2$ dB

$C_{tr,100-5000} = -6$ dB

No. of test report: AA3

Date: 2019-11-25

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

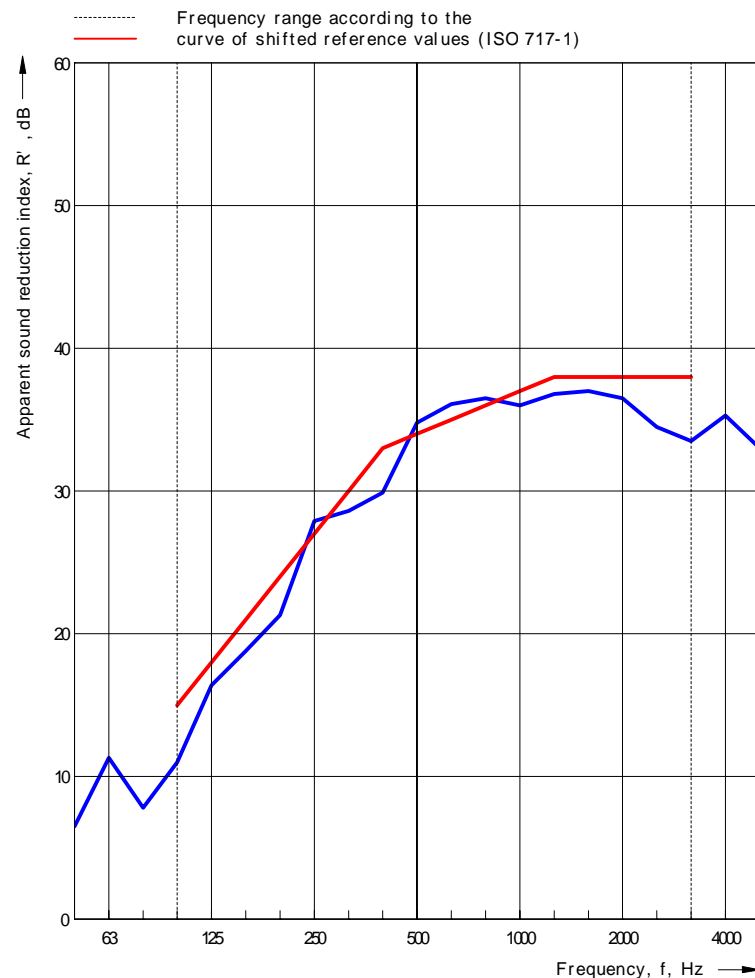
Date of test: 2019-11-25

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 35 dB.

Object: Mätsekvens AA4: Genomföring av kanal med dimension Ø 315 mm, 20 mm tjock remsa av glasull i vägg kring kanalen, densitet: 20 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	6,5
63	11,3
80	7,8
100	11,0
125	16,4
160	18,8
200	21,3
250	27,9
315	28,6
400	29,9
500	34,8
630	36,1
800	36,5
1 000	36,0
1 250	36,8
1 600	37,0
2 000	36,5
2 500	34,5
3 150	33,5
4 000	35,3
5 000	33,0



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C; C_{tr}) = 34 (-2; -7) \text{ dB}$

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

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

$C_{tr,50-3150} = -10 \text{ dB}$

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

$C_{tr,50-5000} = -10 \text{ dB}$

$C_{100-5000} = -2 \text{ dB}$

$C_{tr,100-5000} = -7 \text{ dB}$

No. of test report: AA4

Date: 2019-11-25

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

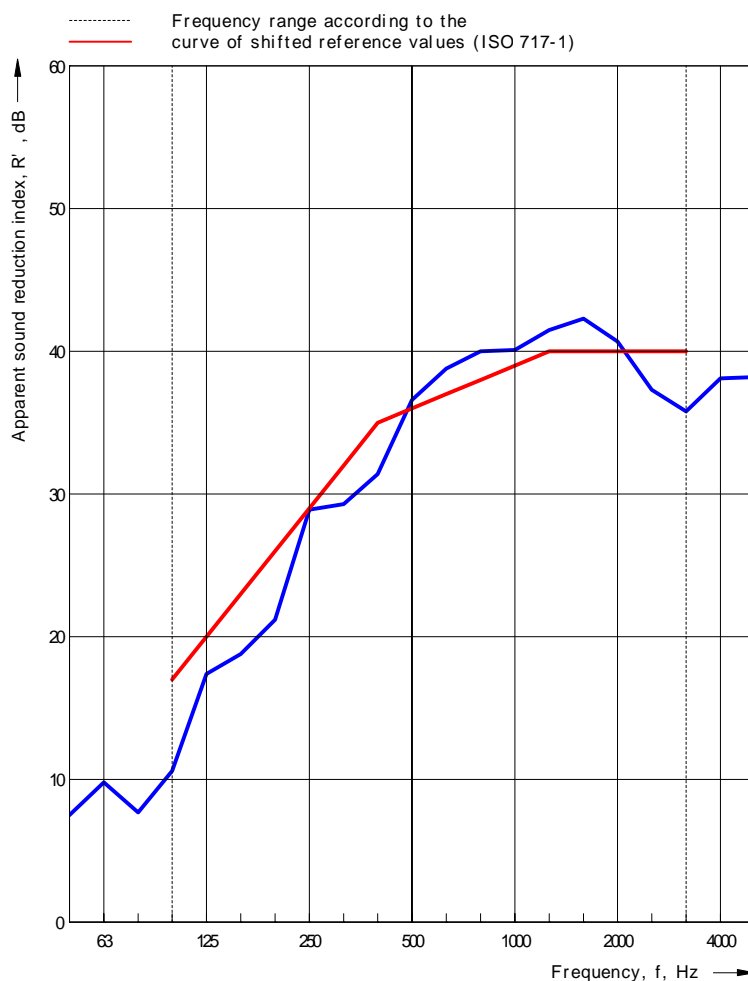
Date of test: 2019-11-25

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'_w: 35 dB.

Object: Mätsekvens AA5: Genomföring av kanal med dimension Ø 315 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 600 mm på båda sidorna närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,5
63	9,8
80	7,7
100	10,6
125	17,4
160	18,8
200	21,2
250	28,9
315	29,3
400	31,4
500	36,6
630	38,8
800	40,0
1 000	40,1
1 250	41,5
1 600	42,3
2 000	40,7
2 500	37,3
3 150	35,8
4 000	38,1
5 000	38,2



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C; C_{tr}) = 36 (-3; -8)$ dB

$C_{50-3150} = -4$ dB

$C_{50-5000} = -3$ dB

$C_{100-5000} = -2$ dB

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

$C_{tr,50-3150} = -12$ dB

$C_{tr,50-5000} = -12$ dB

$C_{tr,100-5000} = -8$ dB

No. of test report: AA5

Date: 2019-11-25

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

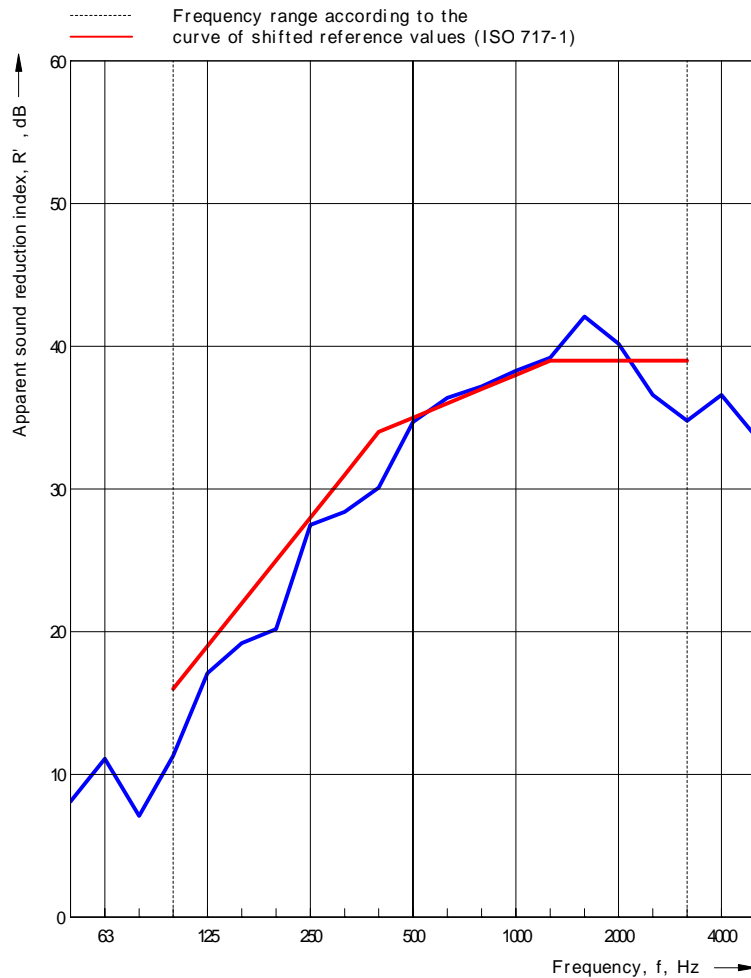
Date of test: 2019-11-25

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 35 dB.

Object: Mätsekvens AA6: Genomföring av kanal med dimension Ø 315 mm, koppling mitt i vägg samt fog på båda sidor.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	8,1
63	11,1
80	7,1
100	11,3
125	17,1
160	19,2
200	20,2
250	27,5
315	28,4
400	30,1
500	34,7
630	36,4
800	37,2
1 000	38,3
1 250	39,2
1 600	42,1
2 000	40,2
2 500	36,6
3 150	34,8
4 000	36,6
5 000	33,7



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C; C_{tr}) = 35 (-2; -7)$ dB

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

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

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

$C_{50-5000} = -3$ dB

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

$C_{100-5000} = -2$ dB

$C_{tr,100-5000} = -7$ dB

No. of test report: AA6

Date: 2019-11-25

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

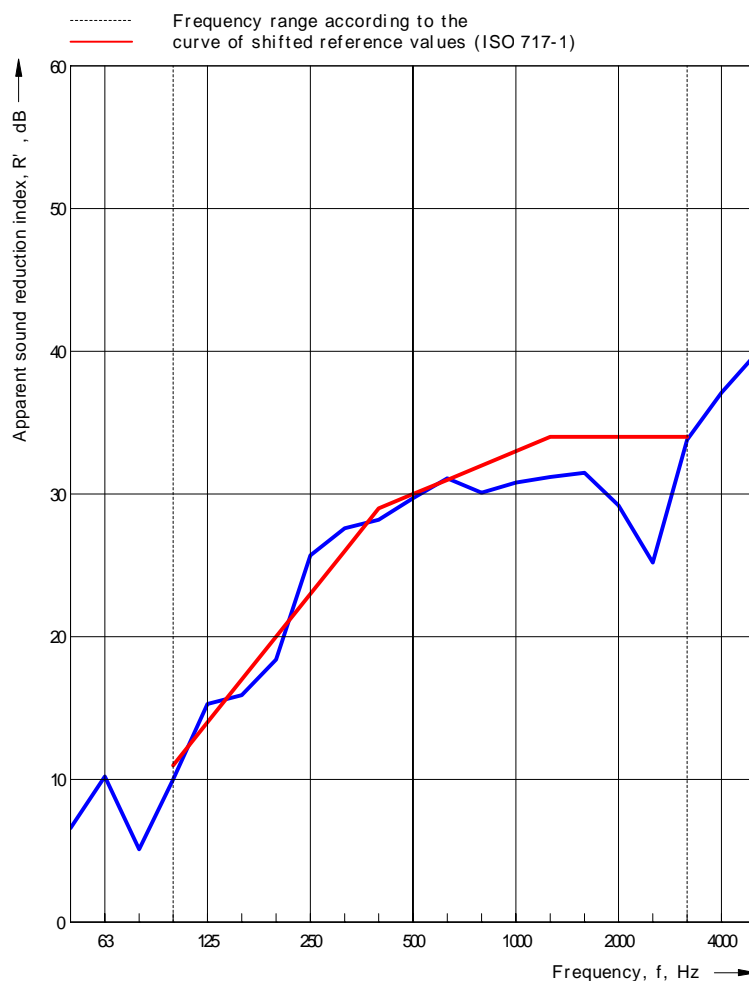
Date of test: 2019-11-26

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 35 dB.

Object: Mätsekvens AB1: Genomföring av kanal med dimension Ø 630 mm, ingen fogning.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	6,6
63	10,2
80	5,1
100	10,0
125	15,3
160	15,9
200	18,4
250	25,7
315	27,6
400	28,2
500	29,7
630	31,1
800	30,1
1 000	30,8
1 250	31,2
1 600	31,5
2 000	29,2
2 500	25,2
3 150	33,8
4 000	37,1
5 000	39,8



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 30 (-2; -5) \text{ dB}$

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

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

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

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

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

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

$C_{tr,100-5000} = -5 \text{ dB}$

No. of test report: AB1

Date: 2019-11-26

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

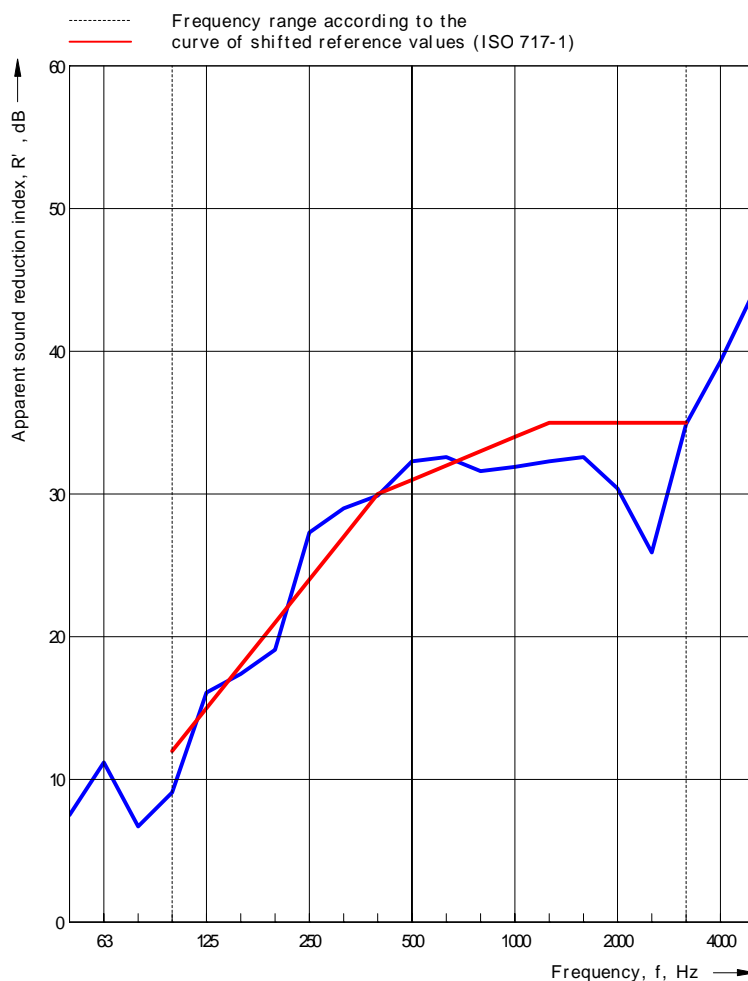
Date of test: 2019-11-26

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 35 dB.

Object: Mätsekvens AB2: Genomföring av kanal med dimension Ø 630 mm, fog på båda sidor.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,5
63	11,2
80	6,7
100	9,1
125	16,1
160	17,4
200	19,1
250	27,3
315	29,0
400	29,9
500	32,3
630	32,6
800	31,6
1 000	31,9
1 250	32,3
1 600	32,6
2 000	30,4
2 500	25,9
3 150	34,9
4 000	39,3
5 000	44,3



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 31 (-2; -6)$ 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

$C_{tr,100-5000} = -6$ dB

No. of test report: AB2

Date: 2019-11-26

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

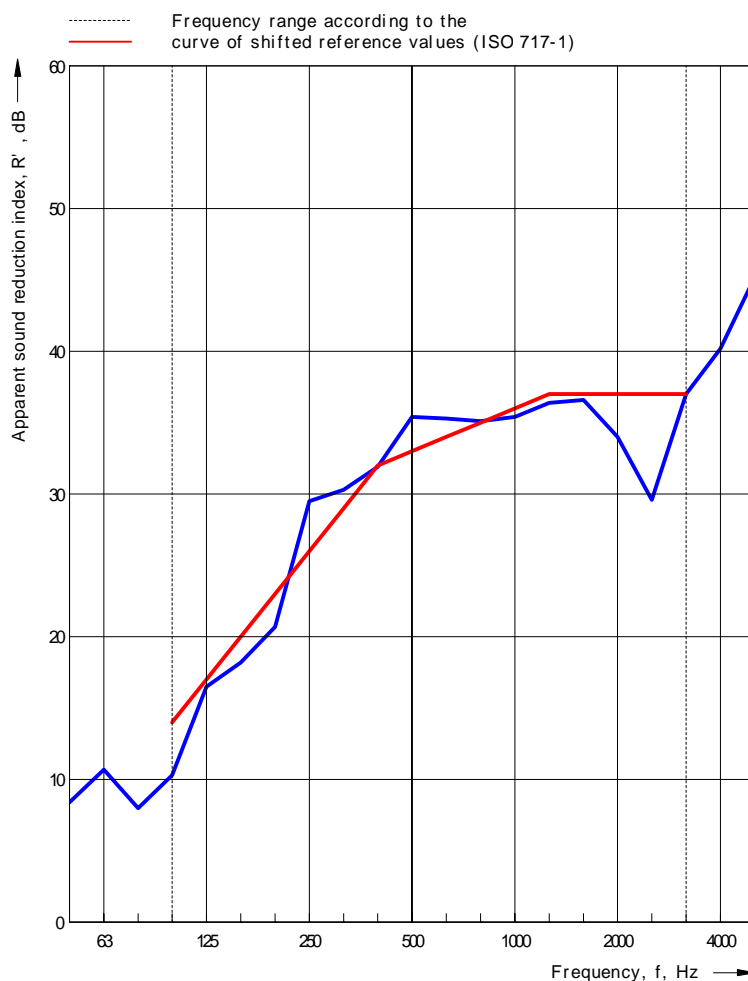
Date of test: 2019-11-26

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 35 dB.

Object: Mätsekvens AB3: Genomföring av kanal med dimension \varnothing 630 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 600 mm på båda sidorna närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	8,4
63	10,7
80	8,0
100	10,3
125	16,5
160	18,2
200	20,7
250	29,5
315	30,3
400	31,9
500	35,4
630	35,3
800	35,1
1 000	35,4
1 250	36,4
1 600	36,6
2 000	34,0
2 500	29,6
3 150	37,0
4 000	40,2
5 000	45,2



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C; C_{tr}) = 33 (-2; -6)$ dB

$C_{50-3150} = -2$ dB

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

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

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

$C_{tr,50-3150} = -9$ dB

$C_{tr,50-5000} = -9$ dB

$C_{tr,100-5000} = -6$ dB

No. of test report: AB3

Date: 2019-11-26

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

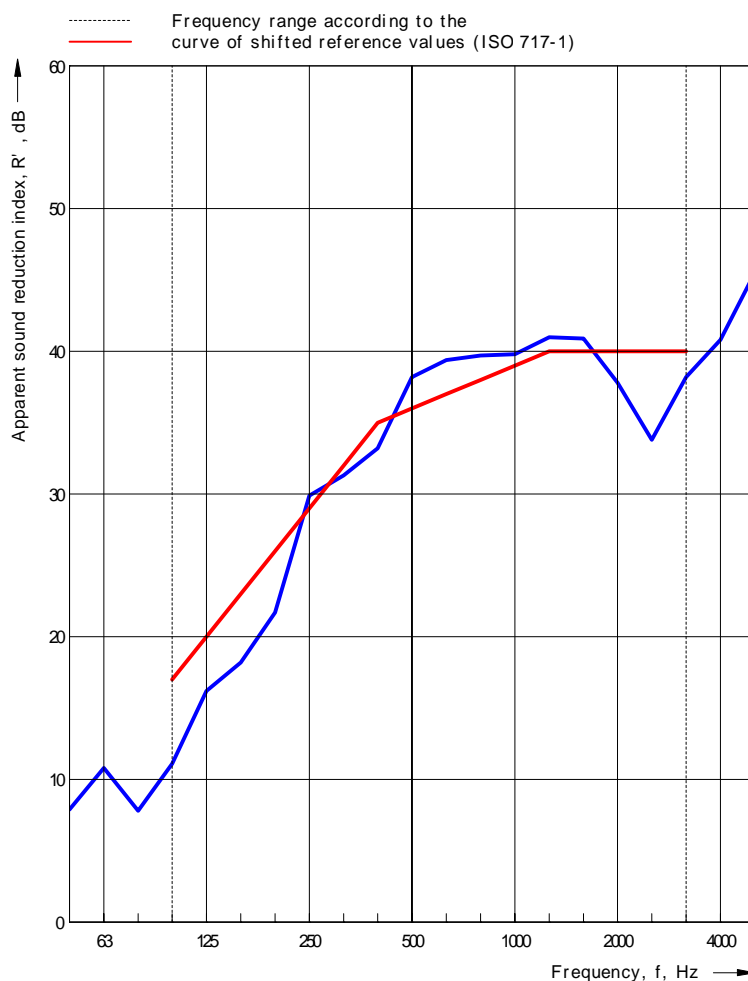
Date of test: 2019-11-27

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 35 dB.

Object: Mätsekvens AB4: Genomföring av kanal med dimension \varnothing 630 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 1200 mm på båda sidorna närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,9
63	10,8
80	7,8
100	11,1
125	16,2
160	18,2
200	21,7
250	29,9
315	31,3
400	33,2
500	38,2
630	39,4
800	39,7
1 000	39,8
1 250	41,0
1 600	40,9
2 000	37,8
2 500	33,8
3 150	38,2
4 000	40,8
5 000	45,5



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 36 (-3; -8)$ dB

$C_{50-3150} = -4$ dB

$C_{50-5000} = -3$ dB

$C_{100-5000} = -2$ dB

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

$C_{tr,50-3150} = -12$ dB

$C_{tr,50-5000} = -12$ dB

$C_{tr,100-5000} = -8$ dB

No. of test report: AB4

Date: 2019-11-27

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

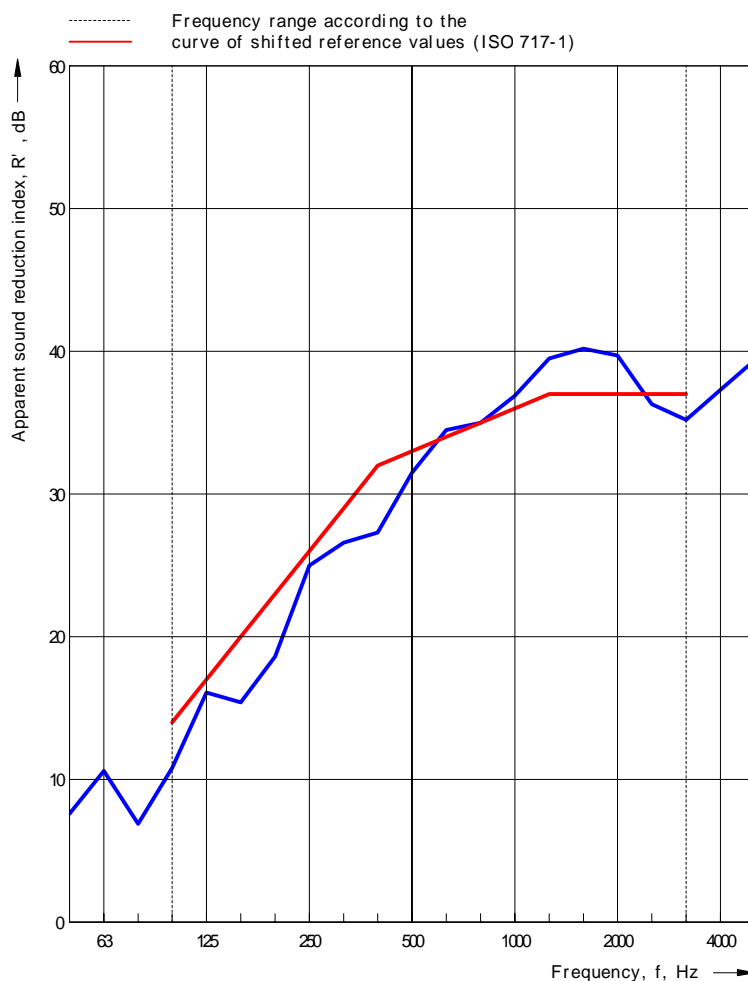
Date of test: 2019-11-28

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 35 dB.

Object: Mätsekvens AC1: Genomföring av kanal med dimension 700x250 mm, ingen fogning.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,6
63	10,6
80	6,9
100	10,8
125	16,1
160	15,4
200	18,6
250	25,0
315	26,6
400	27,3
500	31,5
630	34,5
800	35,0
1 000	36,9
1 250	39,5
1 600	40,2
2 000	39,7
2 500	36,3
3 150	35,2
4 000	37,3
5 000	39,4



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 33 (-2; -7)$ dB

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

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

$C_{tr,50-3150} = -10$ dB

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

$C_{tr,50-5000} = -10$ dB

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

$C_{tr,100-5000} = -7$ dB

No. of test report: AC1

Date: 2019-11-28

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

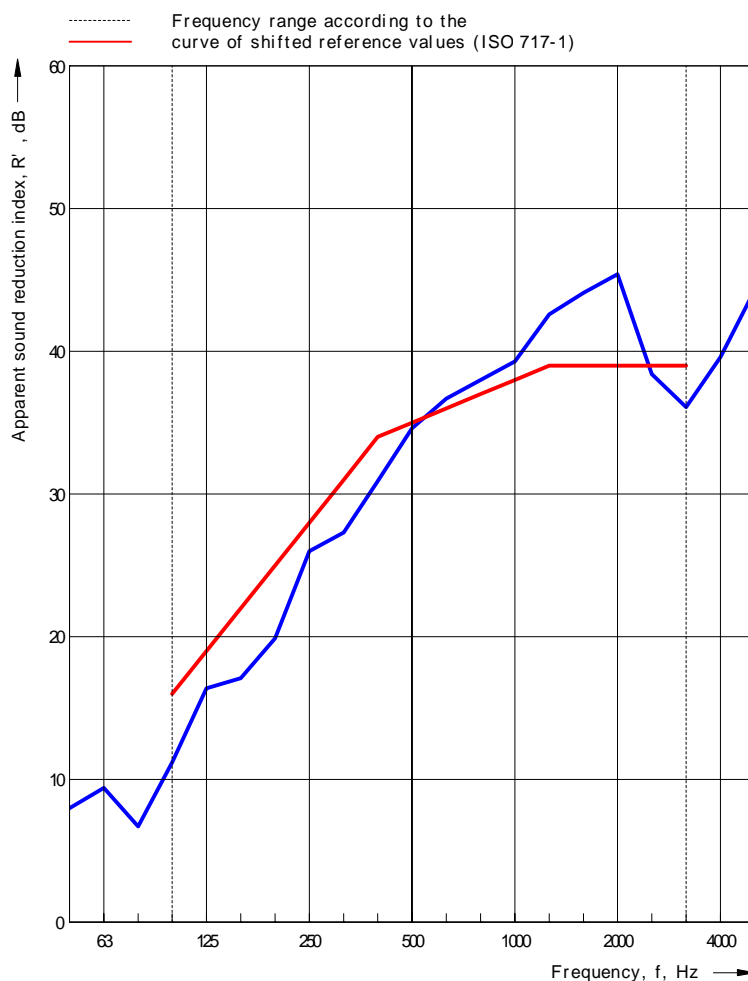
Date of test: 2019-11-28

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 35 dB.

Object: Mätsekvens AC2: Genomföring av kanal med dimension 700x250 mm, fog på båda sidor.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	8,0
63	9,4
80	6,7
100	11,2
125	16,4
160	17,1
200	19,9
250	26,0
315	27,3
400	30,9
500	34,6
630	36,7
800	38,0
1 000	39,3
1 250	42,6
1 600	44,1
2 000	45,4
2 500	38,4
3 150	36,1
4 000	39,6
5 000	44,3



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 35 (-2; -8)$ dB

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

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

$C_{50-5000} = -3$ dB

$C_{100-5000} = -2$ dB

$C_{tr,50-3150} = -12$ dB

$C_{tr,50-5000} = -12$ dB

$C_{tr,100-5000} = -8$ dB

No. of test report: AC2

Date: 2019-11-28

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

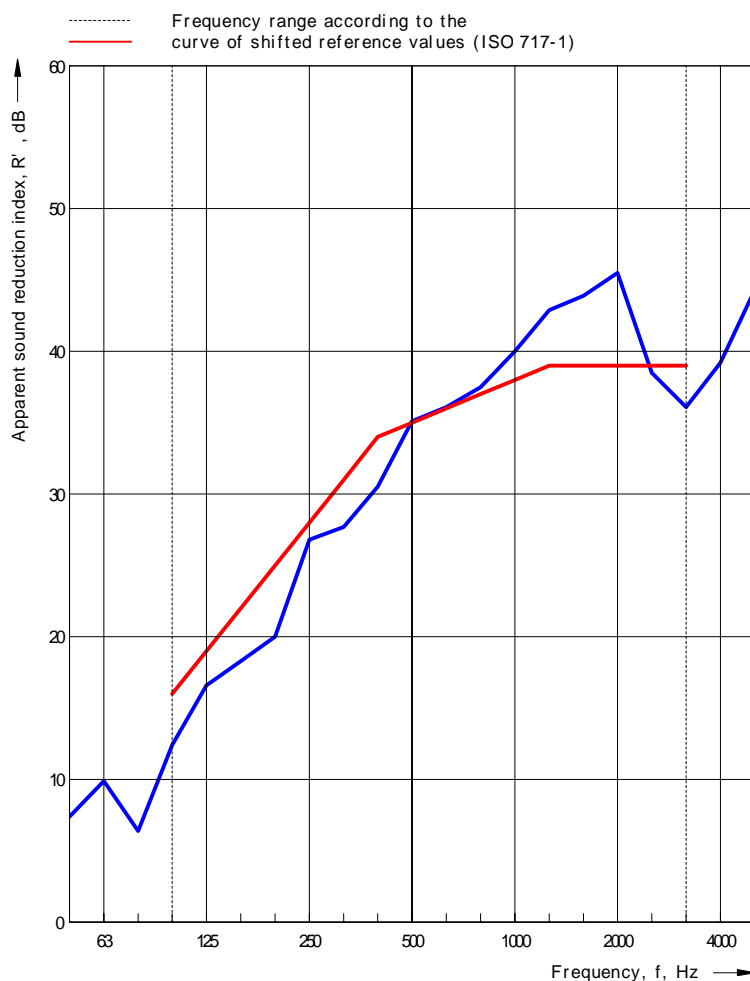
Date of test: 2019-11-28

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 35 dB.

Object: Mätsekvens AC3: Genomföring av kanal med dimension 700x250 mm, koppling så långt ifrån vägg som möjligt vilket resulterar i olika längder i sändar- och mottagarum.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,4
63	9,9
80	6,4
100	12,4
125	16,6
160	18,3
200	20,0
250	26,8
315	27,7
400	30,5
500	35,1
630	36,1
800	37,5
1 000	40,0
1 250	42,9
1 600	43,9
2 000	45,5
2 500	38,5
3 150	36,1
4 000	39,2
5 000	44,3



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C; C_{tr}) = 35 (-2; -7) \text{ dB}$

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

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

$C_{tr,50-3150} = -12 \text{ dB}$

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

$C_{tr,50-5000} = -12 \text{ dB}$

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

$C_{tr,100-5000} = -7 \text{ dB}$

No. of test report: AC3

Date: 2019-11-28

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

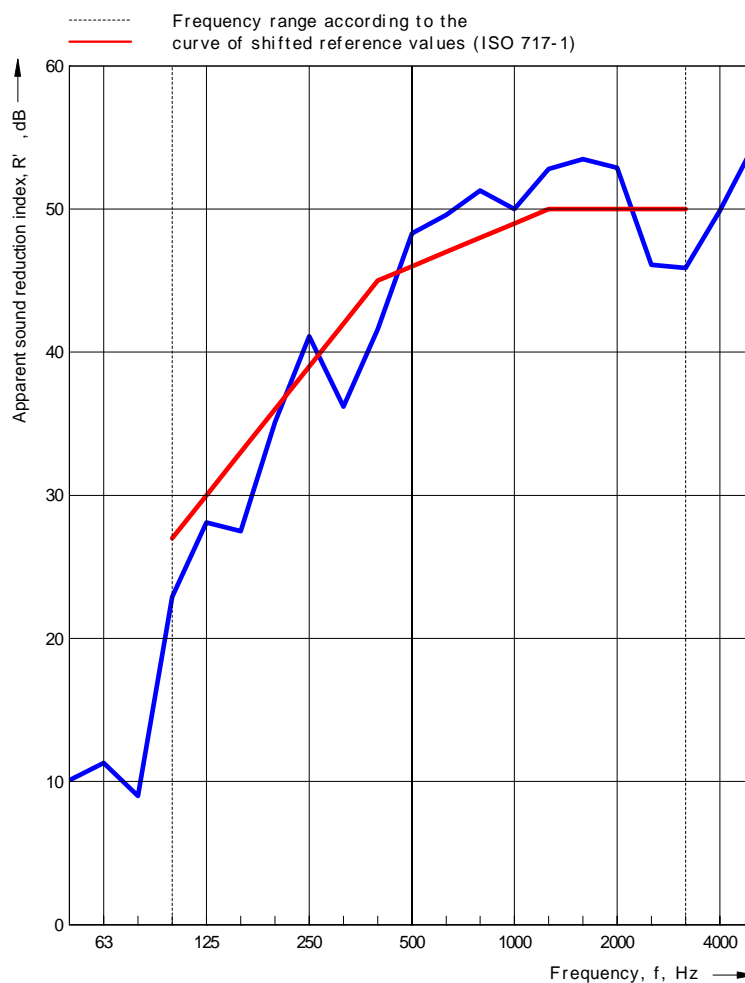
Date of test: 2019-11-29

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BA1: Referensvägg.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	10,1
63	11,3
80	9,0
100	22,9
125	28,1
160	27,5
200	35,1
250	41,1
315	36,2
400	41,6
500	48,3
630	49,6
800	51,3
1 000	50,0
1 250	52,8
1 600	53,5
2 000	52,9
2 500	46,1
3 150	45,9
4 000	49,9
5 000	54,5



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C; C_{tr}) = 46 (-2; -7) \text{ dB}$

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

$C_{50-3150} = -7 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -19 \text{ dB}$

$C_{50-5000} = -6 \text{ dB}$

$C_{tr,50-5000} = -19 \text{ dB}$

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

$C_{tr,100-5000} = -7 \text{ dB}$

No. of test report: BA1

Date: 2019-11-29

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

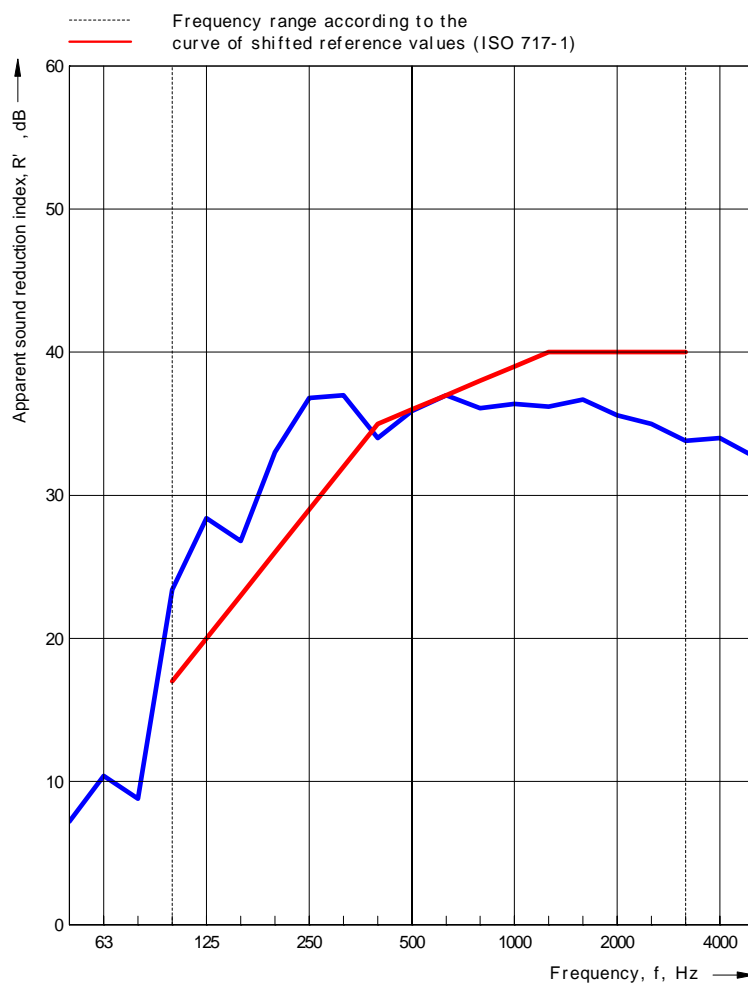
Date of test: 2019-11-29

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BA2: Genomföring av kanal med dimension Ø 315 mm, ingen fogning.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,2
63	10,4
80	8,8
100	23,4
125	28,4
160	26,8
200	33,0
250	36,8
315	37,0
400	34,0
500	35,9
630	37,0
800	36,1
1 000	36,4
1 250	36,2
1 600	36,7
2 000	35,6
2 500	35,0
3 150	33,8
4 000	34,0
5 000	32,7



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 36 (-1; -1)$ dB

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

$C_{50-3150} = -2$ dB

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

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

$C_{tr,50-3150} = -10$ dB

$C_{tr,50-5000} = -10$ dB

$C_{tr,100-5000} = -2$ dB

No. of test report: BA2

Date: 2019-11-29

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

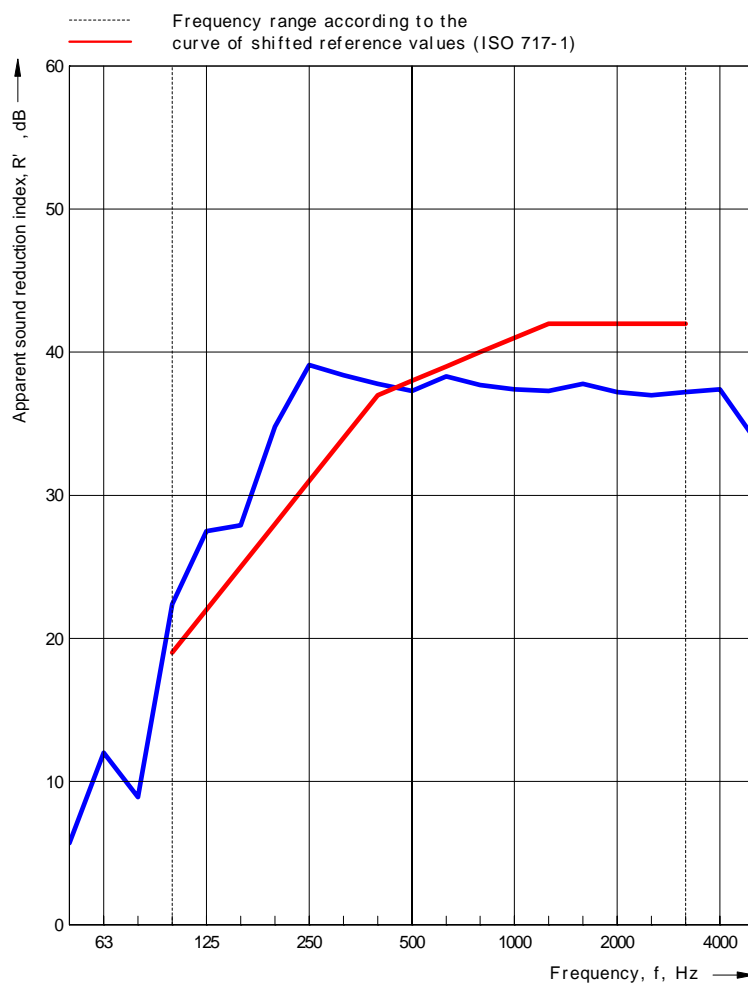
Date of test: 2019-11-29

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BA3: Genomföring av kanal med dimension Ø 315 mm, fog på båda sidor.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	5,7
63	12,0
80	8,9
100	22,4
125	27,5
160	27,9
200	34,8
250	39,1
315	38,4
400	37,8
500	37,3
630	38,3
800	37,7
1 000	37,4
1 250	37,3
1 600	37,8
2 000	37,2
2 500	37,0
3 150	37,2
4 000	37,4
5 000	34,0



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 38 (-1; -2)$ dB

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

$C_{50-5000} = -3$ dB

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

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

$C_{tr,50-3150} = -12$ dB

$C_{tr,50-5000} = -12$ dB

$C_{tr,100-5000} = -3$ dB

No. of test report: BA3

Date: 2019-11-29

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

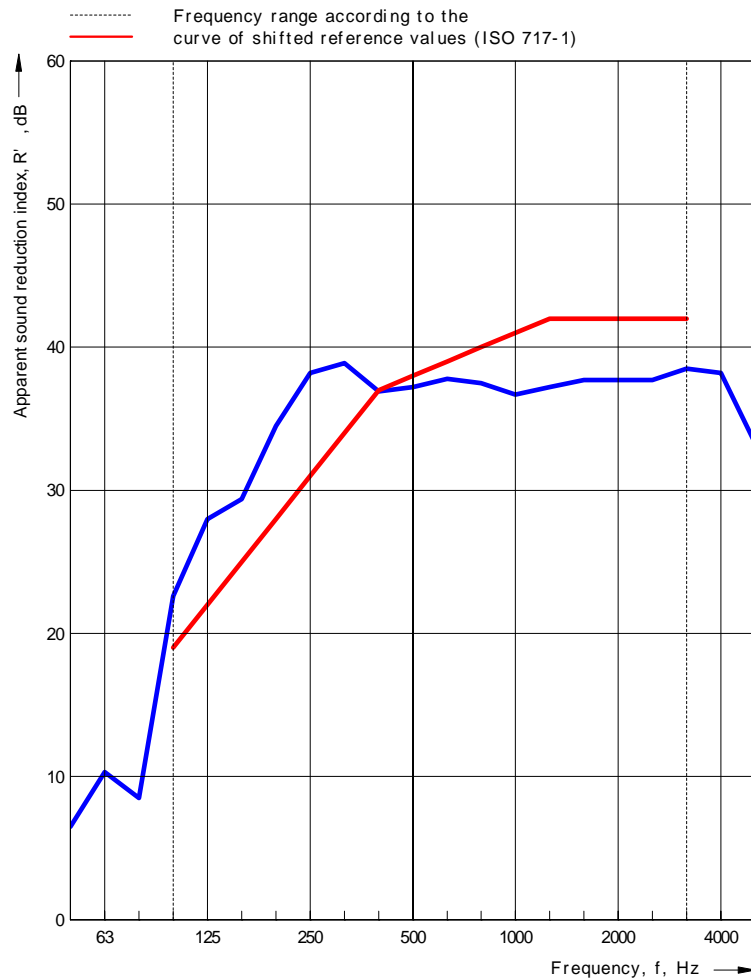
Date of test: 2019-12-04

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'_w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BA4: Genomföring av kanal med dimension Ø 315 mm, glasullsskiva med storlek 1250x450 mm i vägg kring genomföringen samt fog på båda sidorna.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	6,5
63	10,3
80	8,5
100	22,6
125	28,0
160	29,4
200	34,5
250	38,2
315	38,9
400	36,9
500	37,2
630	37,8
800	37,5
1 000	36,7
1 250	37,2
1 600	37,7
2 000	37,7
2 500	37,7
3 150	38,5
4 000	38,2
5 000	33,3



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C; C_{tr}) = 38 (-1; -2)$ dB

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

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

$C_{tr,50-3150} = -12$ dB

$C_{50-5000} = -3$ dB

$C_{tr,50-5000} = -12$ dB

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

$C_{tr,100-5000} = -2$ dB

No. of test report: BA4

Date: 2019-12-05

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

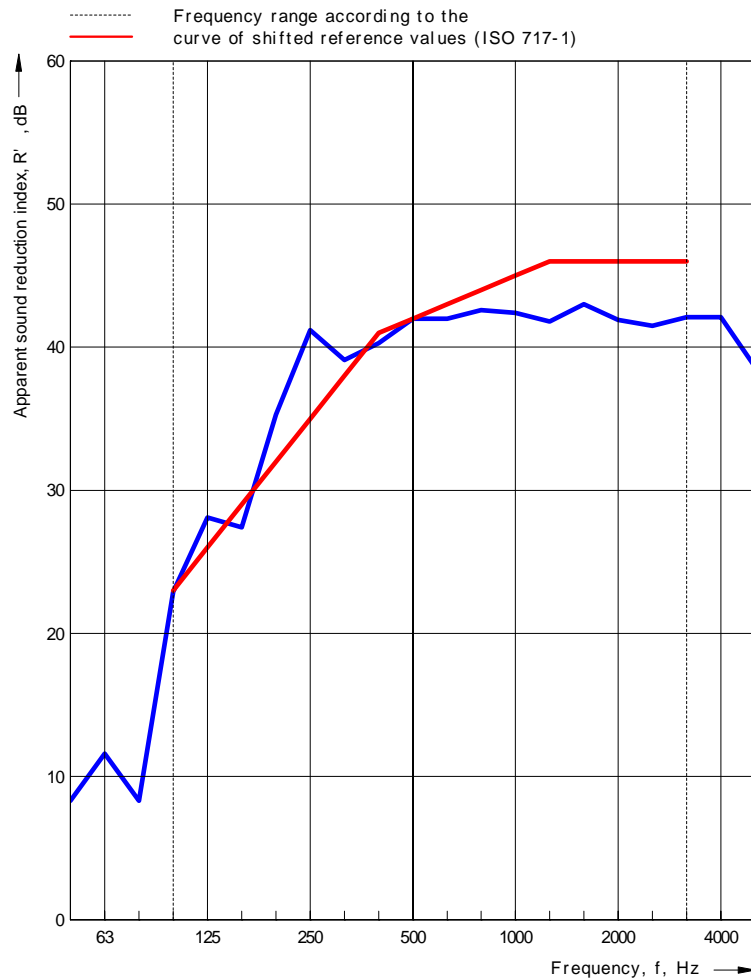
Date of test: 2019-11-29

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BA5: Genomföring av kanal med dimension Ø 315 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 600 mm på båda sidorna närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	8,3
63	11,6
80	8,3
100	22,9
125	28,1
160	27,4
200	35,3
250	41,2
315	39,1
400	40,3
500	42,0
630	42,0
800	42,6
1 000	42,4
1 250	41,8
1 600	43,0
2 000	41,9
2 500	41,5
3 150	42,1
4 000	42,1
5 000	38,6



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 42 (-1; -4)$ dB

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

$C_{50-3150} = -5$ dB

$C_{50-5000} = -4$ dB

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

$C_{tr,50-3150} = -15$ dB

$C_{tr,50-5000} = -15$ dB

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

No. of test report: BA5

Date: 2019-11-29

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

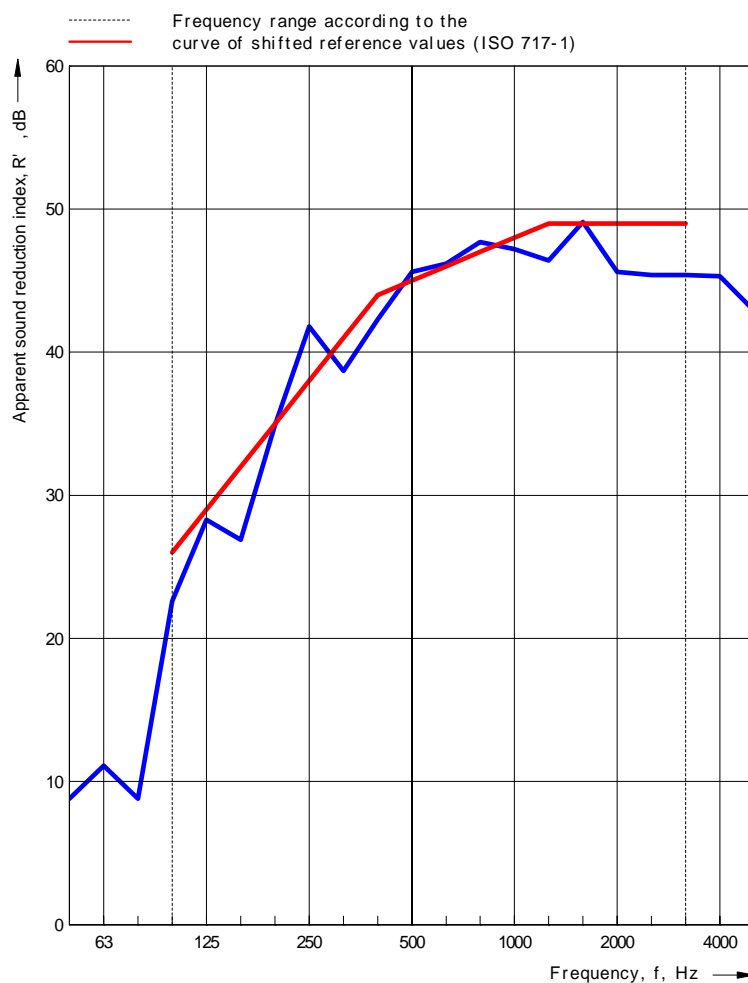
Date of test: 2019-11-29

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BA6: Genomföring av kanal med dimension \varnothing 315 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 1200 mm på båda sidorna närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	8,8
63	11,1
80	8,8
100	22,6
125	28,3
160	26,9
200	34,9
250	41,8
315	38,7
400	42,3
500	45,6
630	46,2
800	47,7
1 000	47,2
1 250	46,4
1 600	49,1
2 000	45,6
2 500	45,4
3 150	45,4
4 000	45,3
5 000	42,9



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 45 (-2; -6)$ dB

$C_{50-3150} = -7$ dB

$C_{50-5000} = -6$ dB

$C_{100-5000} = -2$ dB

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

$C_{tr,50-3150} = -18$ dB

$C_{tr,50-5000} = -18$ dB

$C_{tr,100-5000} = -6$ dB

No. of test report: BA6

Date: 2019-11-29

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

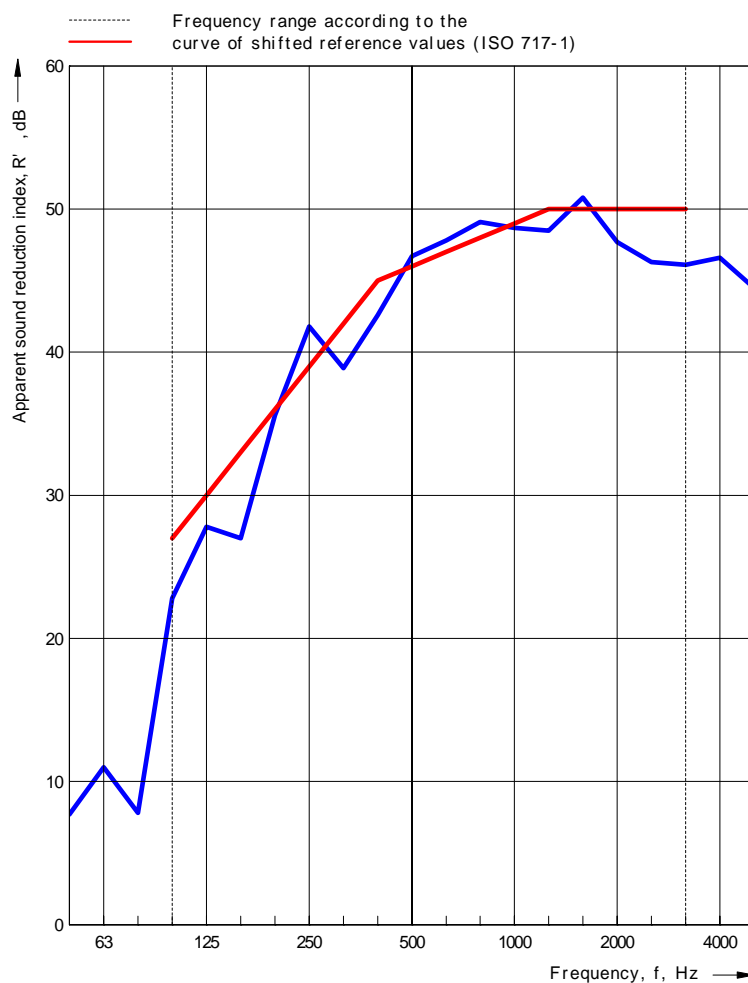
Date of test: 2019-11-29

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BA7: Genomföring av kanal med dimension \varnothing 315 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 1800 mm i sändarrum och 1200 mm i mottagarum närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,7
63	11,0
80	7,8
100	22,8
125	27,8
160	27,0
200	35,6
250	41,8
315	38,9
400	42,6
500	46,7
630	47,8
800	49,1
1 000	48,7
1 250	48,5
1 600	50,8
2 000	47,7
2 500	46,3
3 150	46,1
4 000	46,6
5 000	44,5



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 46 (-2; -7)$ dB

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

$C_{50-5000} = -7$ dB

$C_{100-5000} = -2$ dB

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

$C_{tr,50-3150} = -20$ dB

$C_{tr,50-5000} = -20$ dB

$C_{tr,100-5000} = -7$ dB

No. of test report: BA7

Date: 2019-11-29

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

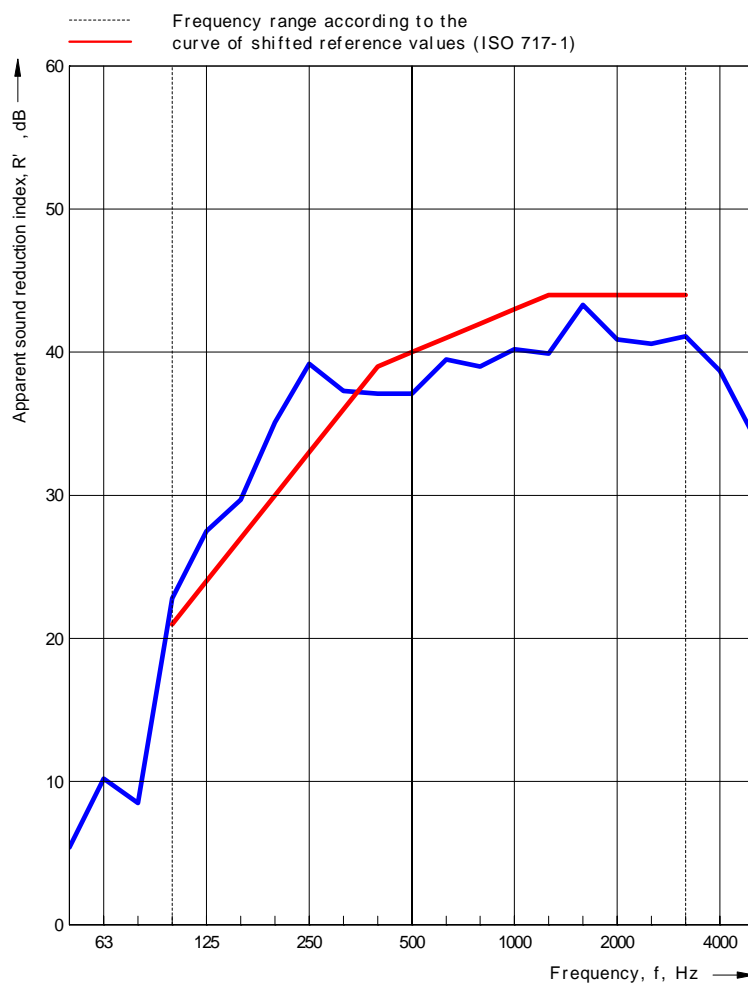
Date of test: 2019-12-04

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BA8: Genomföring av kanal med dimension Ø 315 mm, koppling mitt i vägg, fog på båda sidor samt glasullsskiva med storlek 1250x450 mm i vägg enligt sekvens BA4.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	5,4
63	10,2
80	8,5
100	22,8
125	27,5
160	29,7
200	35,1
250	39,2
315	37,3
400	37,1
500	37,1
630	39,5
800	39,0
1 000	40,2
1 250	39,9
1 600	43,3
2 000	40,9
2 500	40,6
3 150	41,1
4 000	38,7
5 000	34,1



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C; C_{tr}) = 40 (-1; -3)$ dB

$C_{50-3150} = -4$ dB

$C_{50-5000} = -4$ dB

$C_{100-5000} = -2$ dB

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

$C_{tr,50-3150} = -14$ dB

$C_{tr,50-5000} = -14$ dB

$C_{tr,100-5000} = -3$ dB

No. of test report: BA8

Date: 2019-12-05

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

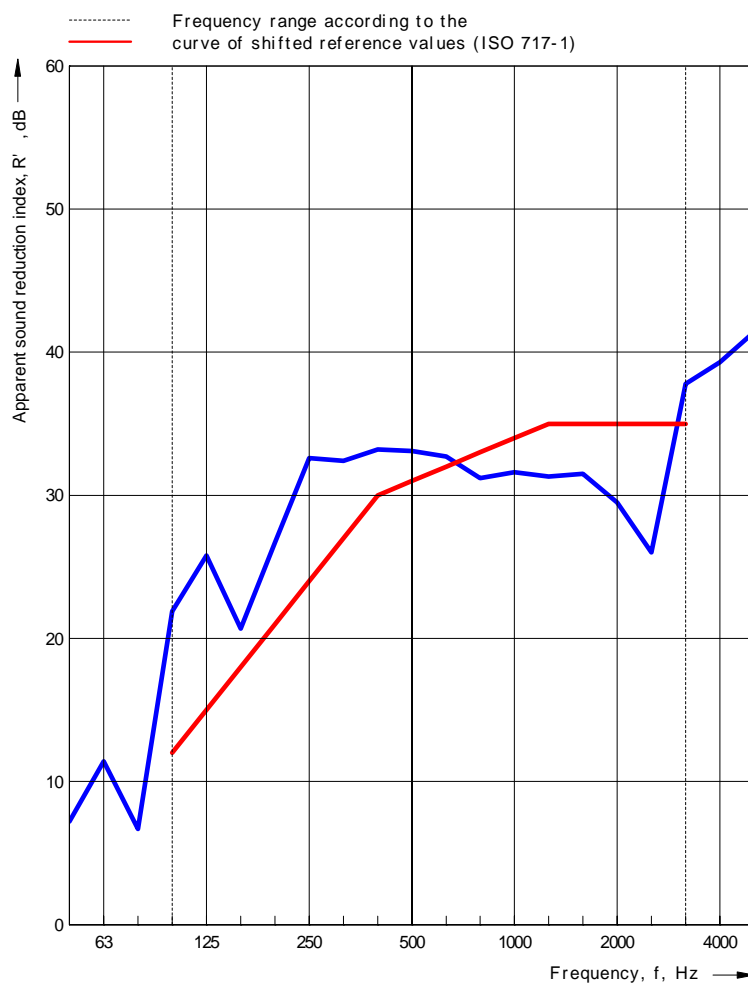
Date of test: 2019-11-30

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BB1: Genomföring av kanal med dimension Ø 630 mm, ingen fogning.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,2
63	11,4
80	6,7
100	21,9
125	25,8
160	20,7
200	26,7
250	32,6
315	32,4
400	33,2
500	33,1
630	32,7
800	31,2
1 000	31,6
1 250	31,3
1 600	31,5
2 000	29,5
2 500	26,0
3 150	37,8
4 000	39,3
5 000	41,4



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 31 (-1; -1)$ dB

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

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

$C_{tr,50-3150} = -7$ dB

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

$C_{tr,50-5000} = -7$ dB

$C_{100-5000} = 0$ dB

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

No. of test report: BB1

Date: 2019-11-30

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

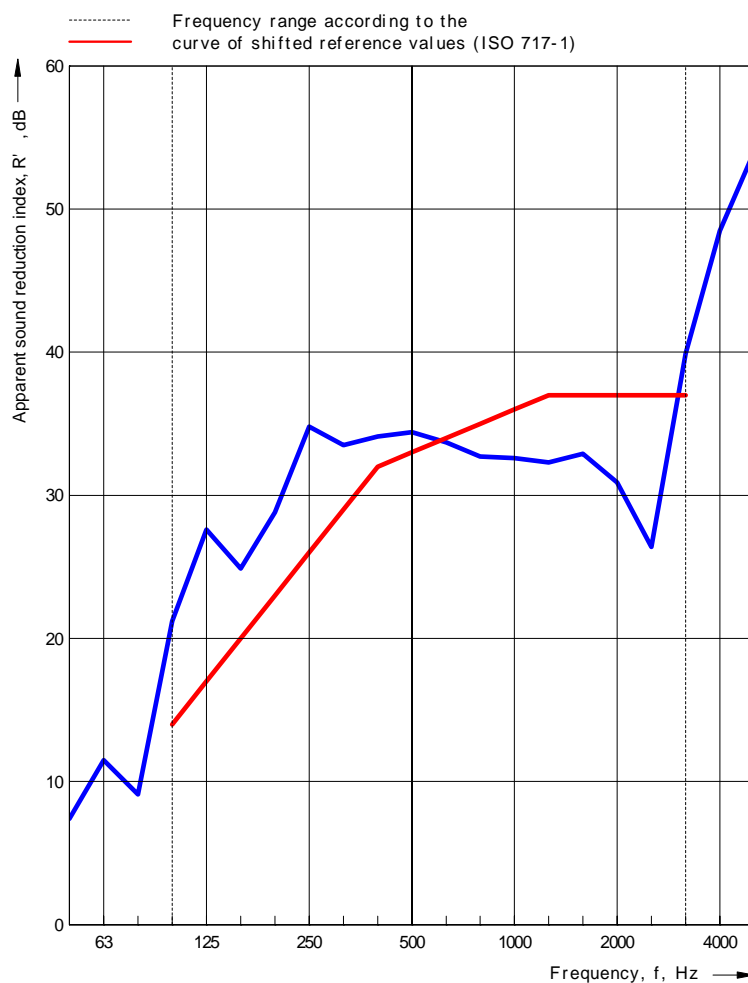
Date of test: 2019-11-30

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BB2: Genomföring av kanal med dimension Ø 630 mm, fog på båda sidor.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,4
63	11,5
80	9,1
100	21,2
125	27,6
160	24,9
200	28,8
250	34,8
315	33,5
400	34,1
500	34,4
630	33,7
800	32,7
1 000	32,6
1 250	32,3
1 600	32,9
2 000	30,9
2 500	26,4
3 150	39,9
4 000	48,5
5 000	54,0



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 33 (-2; -2)$ dB

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

$C_{50-3150} = -2$ dB

$C_{tr,50-3150} = -7$ dB

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

$C_{tr,50-5000} = -7$ dB

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

$C_{tr,100-5000} = -2$ dB

No. of test report: BB2

Date: 2019-11-30

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

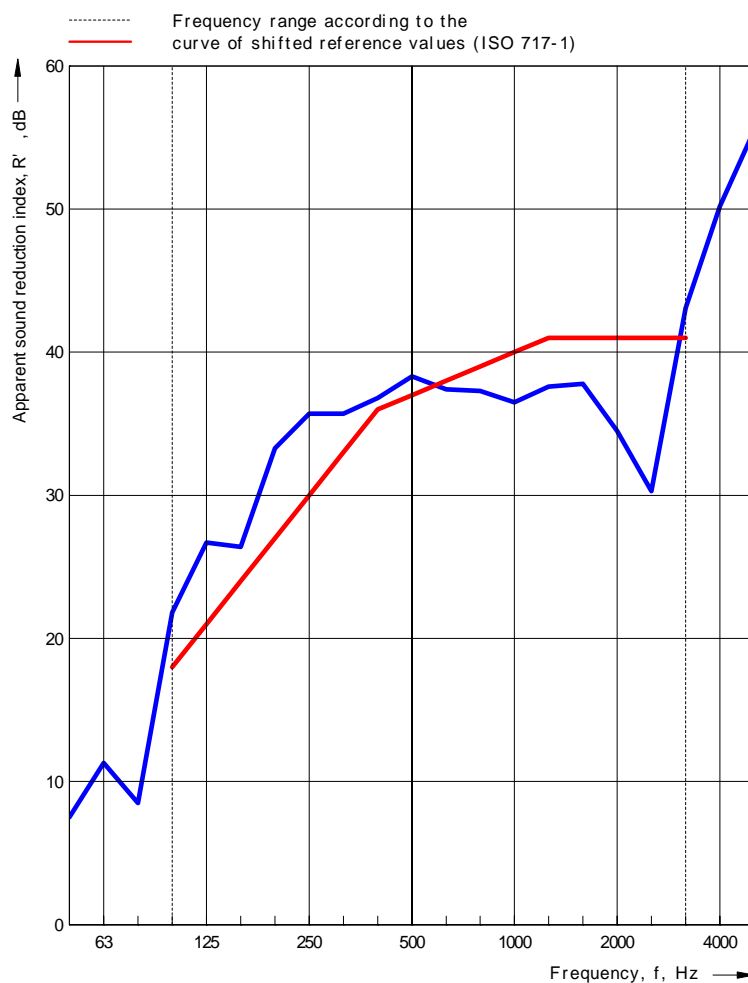
Date of test: 2019-11-30

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BB3: Genomföring av kanal med dimension Ø 630 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 600 mm på båda sidorna närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,5
63	11,3
80	8,5
100	21,8
125	26,7
160	26,4
200	33,3
250	35,7
315	35,7
400	36,8
500	38,3
630	37,4
800	37,3
1 000	36,5
1 250	37,6
1 600	37,8
2 000	34,5
2 500	30,3
3 150	43,1
4 000	50,2
5 000	55,5



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 37 (-2; -3)$ dB

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

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

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

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

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

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

$C_{tr,100-5000} = -3$ dB

No. of test report: BB3

Date: 2019-11-30

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

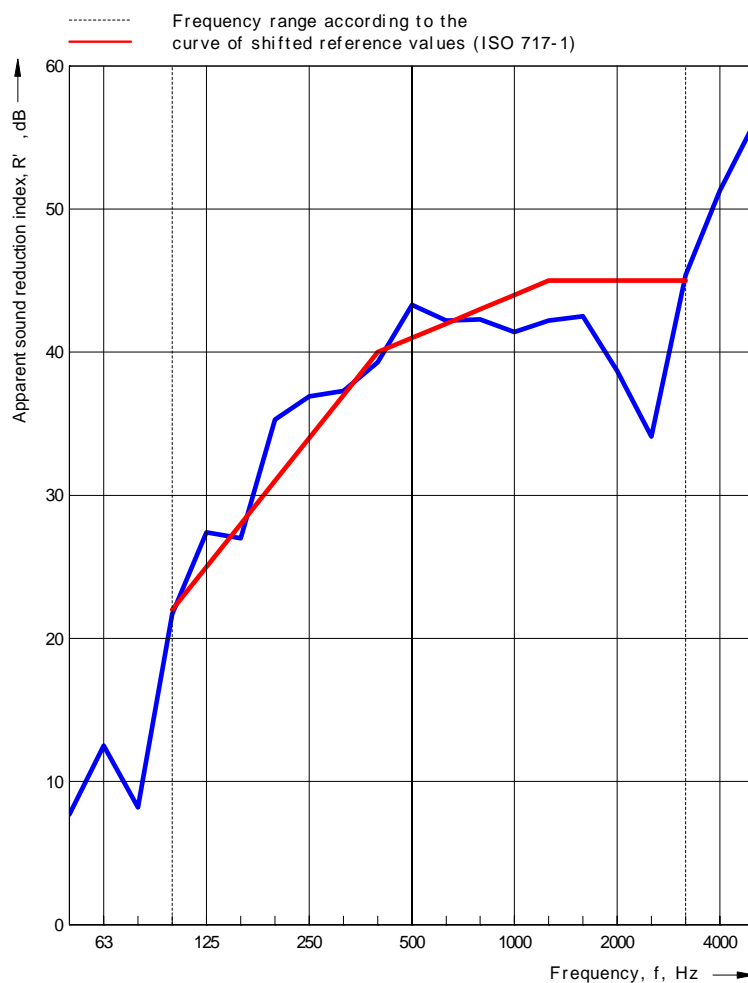
Date of test: 2019-11-30

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BB4: Genomföring av kanal med dimension \varnothing 630 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 1200 mm på båda sidorna närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,7
63	12,5
80	8,2
100	21,7
125	27,4
160	27,0
200	35,3
250	36,9
315	37,3
400	39,3
500	43,3
630	42,2
800	42,3
1 000	41,4
1 250	42,2
1 600	42,5
2 000	38,7
2 500	34,1
3 150	45,4
4 000	51,3
5 000	56,0



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 41 (-2; -4)$ dB

$C_{50-3150} = -5$ dB

$C_{50-5000} = -4$ dB

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

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

$C_{tr,50-3150} = -14$ dB

$C_{tr,50-5000} = -14$ dB

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

No. of test report: BB4

Date: 2019-11-30

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

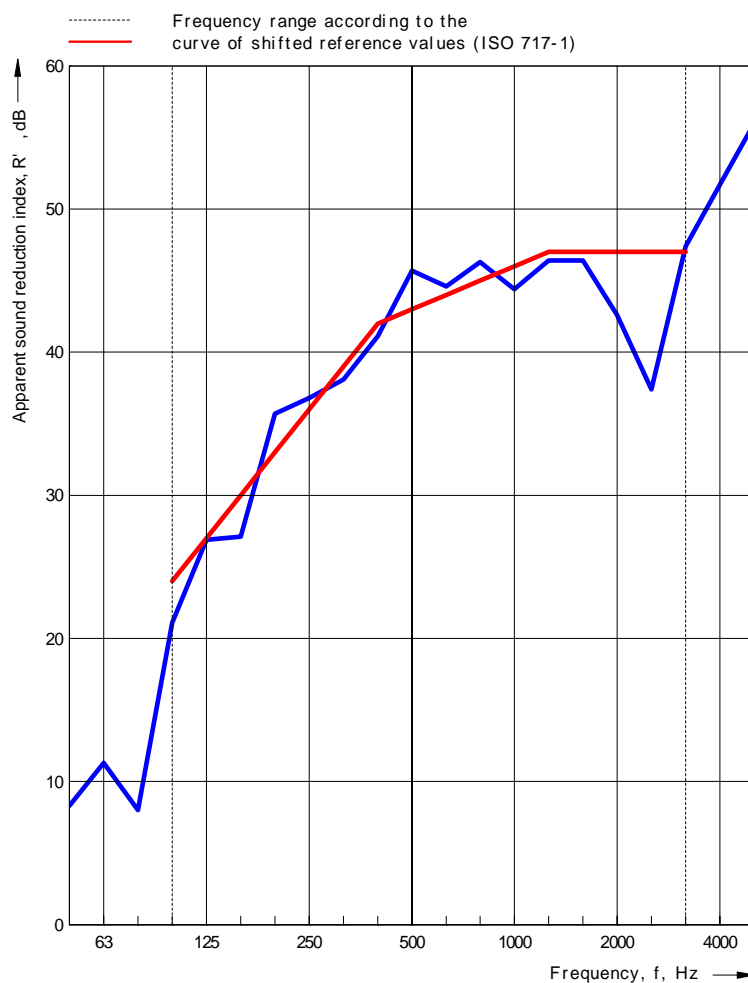
Date of test: 2019-11-30

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BB5: Genomföring av kanal med dimension \varnothing 630 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 1800 mm på båda sidorna närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	8,3
63	11,3
80	8,0
100	21,1
125	26,9
160	27,1
200	35,7
250	36,8
315	38,1
400	41,1
500	45,7
630	44,6
800	46,3
1 000	44,4
1 250	46,4
1 600	46,4
2 000	42,6
2 500	37,4
3 150	47,4
4 000	51,7
5 000	56,0



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 43 (-2; -6)$ dB

$C_{50-3150} = -6$ dB

$C_{50-5000} = -5$ dB

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

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

$C_{tr,50-3150} = -17$ dB

$C_{tr,50-5000} = -17$ dB

$C_{tr,100-5000} = -6$ dB

No. of test report: BB5

Date: 2019-11-30

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

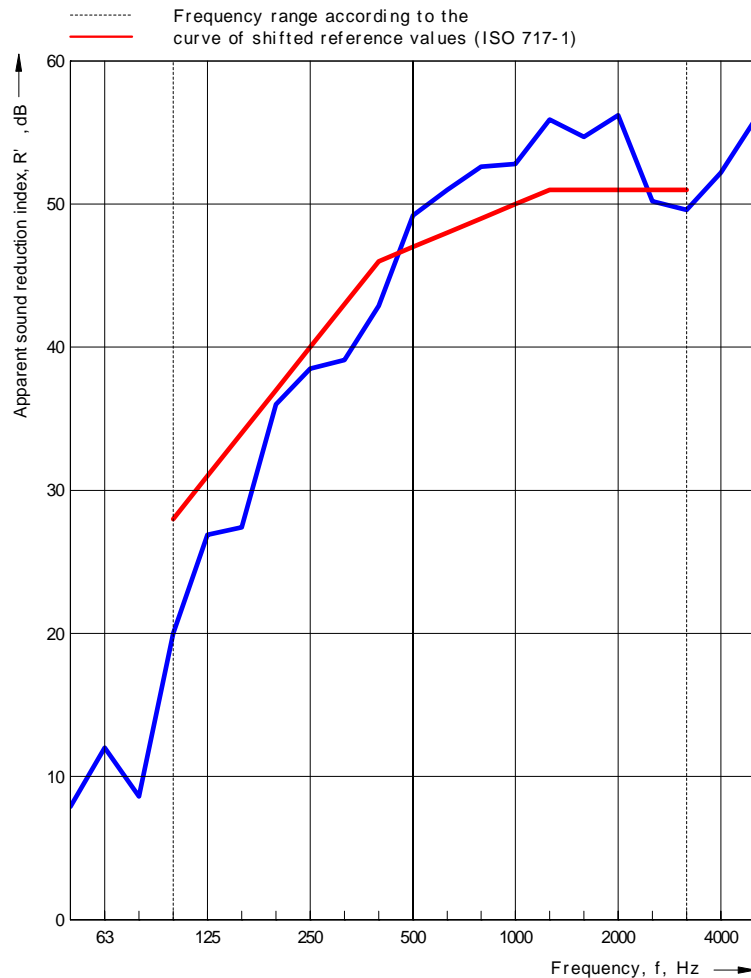
Date of test: 2019-11-30

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BB6: Genomföring av kanal med dimension \varnothing 630 mm, svepning med 50 mm stenull på hela ventilationskanalens sträcka på båda sidorna om väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,9
63	12,0
80	8,6
100	20,0
125	26,9
160	27,4
200	36,0
250	38,5
315	39,1
400	42,9
500	49,2
630	51,0
800	52,6
1 000	52,8
1 250	55,9
1 600	54,7
2 000	56,2
2 500	50,2
3 150	49,6
4 000	52,2
5 000	55,9



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 47 (-3; -9)$ dB

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

$C_{50-3150} = -9$ dB

$C_{tr,50-3150} = -20$ dB

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

$C_{tr,50-5000} = -20$ dB

$C_{100-5000} = -2$ dB

$C_{tr,100-5000} = -9$ dB

No. of test report: BB6

Date: 2019-11-30

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

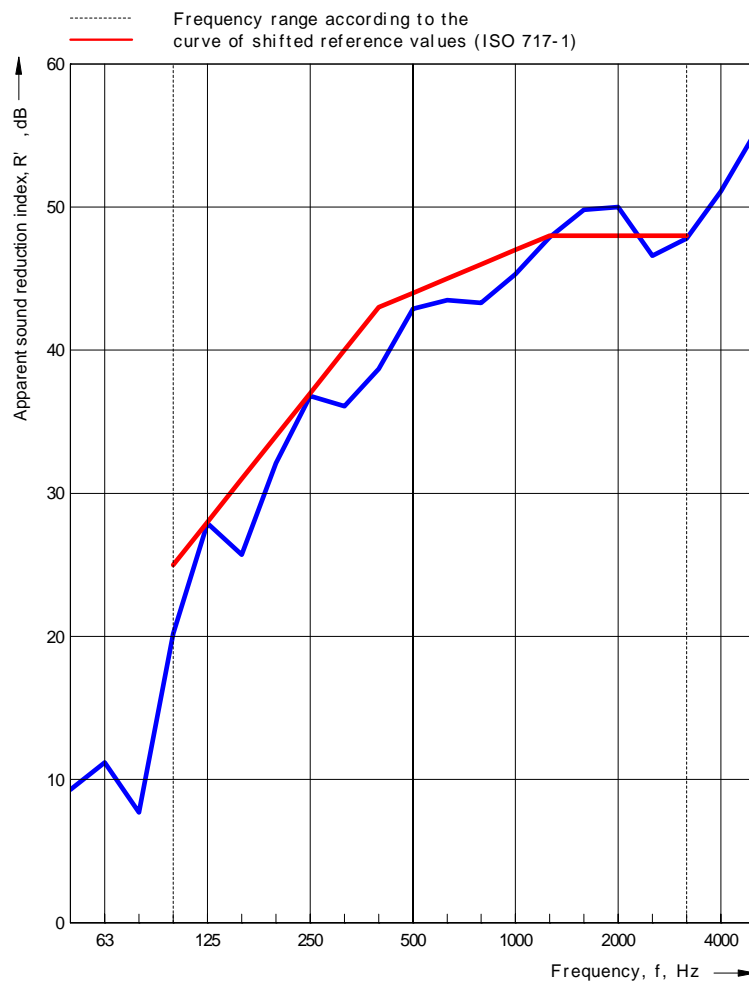
Date of test: 2019-11-30

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BB7: Genomföring av kanal med dimension \varnothing 630 mm, svepning med 50 mm stenull på hela ventilationskanalens sträcka i mottagarummet och ingen svepning i sändarrummet, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	9,3
63	11,2
80	7,7
100	20,2
125	27,9
160	25,7
200	32,1
250	36,8
315	36,1
400	38,7
500	42,9
630	43,5
800	43,3
1 000	45,3
1 250	47,9
1 600	49,8
2 000	50,0
2 500	46,6
3 150	47,8
4 000	51,1
5 000	55,2



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 44 (-2; -7)$ dB

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

$C_{50-3150} = -7$ dB

$C_{tr,50-3150} = -18$ dB

$C_{50-5000} = -6$ dB

$C_{tr,50-5000} = -18$ dB

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

$C_{tr,100-5000} = -7$ dB

No. of test report: BB7

Date: 2019-11-30

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

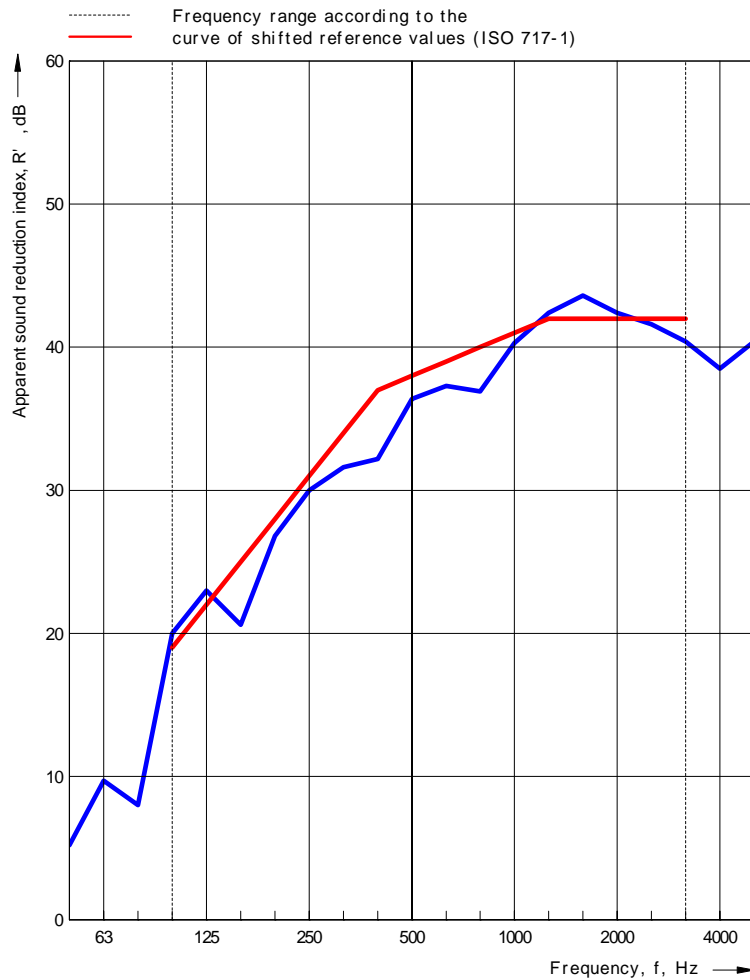
Date of test: 2019-12-02

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BC1: Genomföring av kanal med dimension 700x250 mm, ingen fogning.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	5,2
63	9,7
80	8,0
100	20,0
125	23,0
160	20,6
200	26,8
250	30,0
315	31,6
400	32,2
500	36,4
630	37,3
800	36,9
1 000	40,3
1 250	42,4
1 600	43,6
2 000	42,4
2 500	41,6
3 150	40,4
4 000	38,5
5 000	40,4



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 38 (-1; -5) \text{ dB}$

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

$C_{50-3150} = -4 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -13 \text{ dB}$

$C_{50-5000} = -3 \text{ dB}$

$C_{tr,50-5000} = -13 \text{ dB}$

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

$C_{tr,100-5000} = -5 \text{ dB}$

No. of test report: BC1

Date: 2019-12-02

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

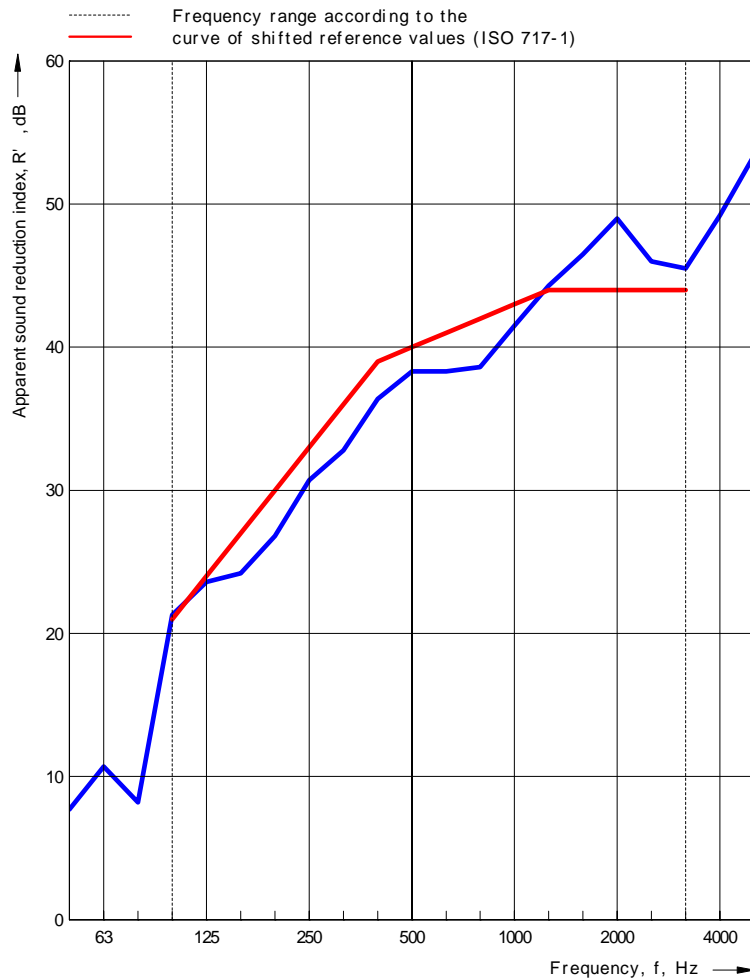
Date of test: 2019-12-02

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BC2: Genomföring av kanal med dimension 700x250 mm, fog på båda sidor.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,7
63	10,7
80	8,2
100	21,3
125	23,6
160	24,2
200	26,8
250	30,7
315	32,8
400	36,4
500	38,3
630	38,3
800	38,6
1 000	41,5
1 250	44,3
1 600	46,5
2 000	49,0
2 500	46,0
3 150	45,5
4 000	49,2
5 000	53,4



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 40 (-1; -5) \text{ dB}$

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

$C_{50-3150} = -4 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -14 \text{ dB}$

$C_{50-5000} = -3 \text{ dB}$

$C_{tr,50-5000} = -14 \text{ dB}$

$C_{100-5000} = 0 \text{ dB}$

$C_{tr,100-5000} = -5 \text{ dB}$

No. of test report: BC2

Date: 2019-12-02

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

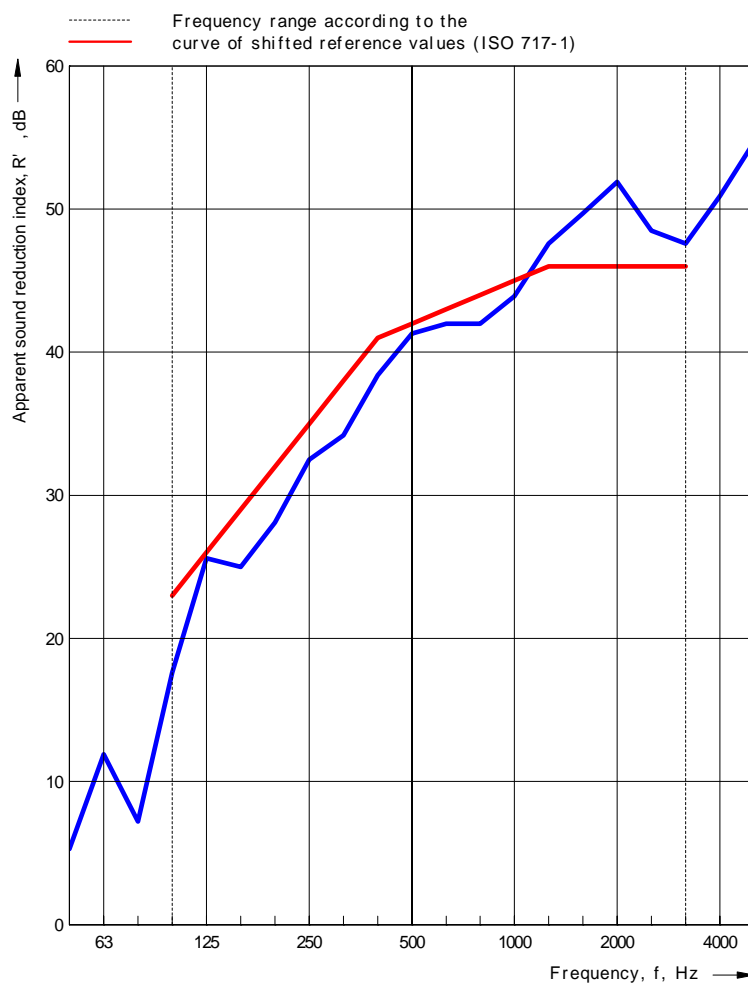
Date of test: 2019-12-02

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BC3: Genomföring av kanal med dimension 700x250 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 600 mm på båda sidorna närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	5,3
63	11,9
80	7,2
100	17,6
125	25,6
160	25,0
200	28,1
250	32,5
315	34,2
400	38,4
500	41,3
630	42,0
800	42,0
1 000	43,9
1 250	47,6
1 600	49,7
2 000	51,9
2 500	48,5
3 150	47,6
4 000	50,9
5 000	54,7



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 42 (-2; -8)$ dB

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

$C_{50-3150} = -6$ dB

$C_{tr,50-3150} = -17$ dB

$C_{50-5000} = -5$ dB

$C_{tr,50-5000} = -17$ dB

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

$C_{tr,100-5000} = -8$ dB

No. of test report: BC3

Date: 2019-12-02

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

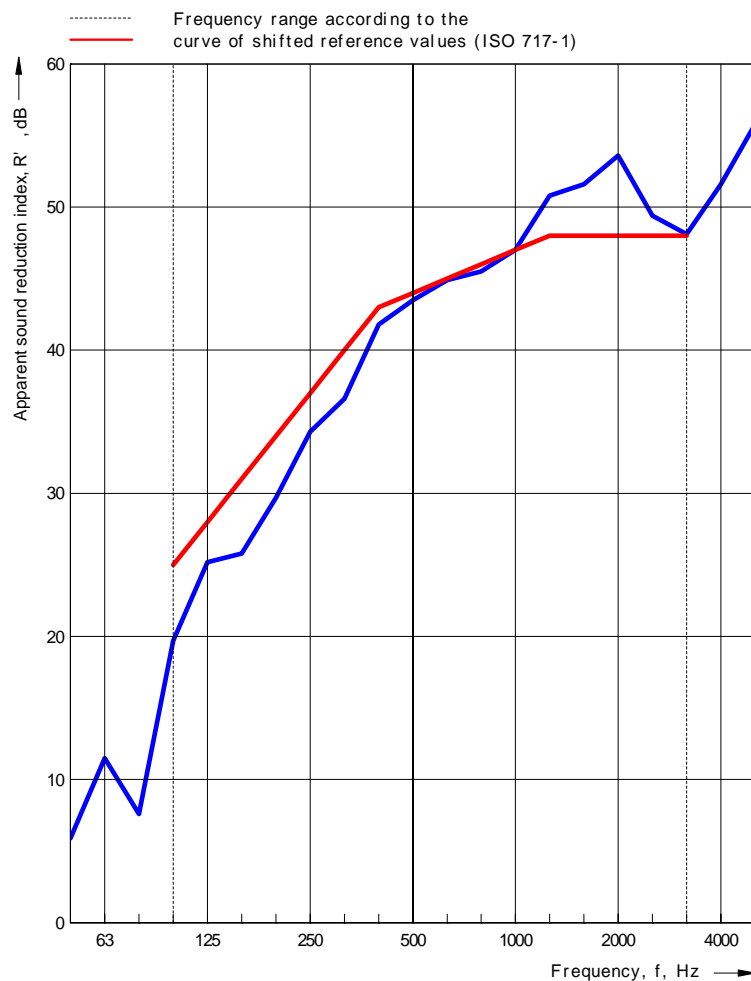
Date of test: 2019-12-02

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'_w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BC4: Genomföring av kanal med dimension 700x250 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 1200 mm på båda sidorna närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	5,9
63	11,5
80	7,6
100	19,7
125	25,2
160	25,8
200	29,7
250	34,3
315	36,6
400	41,8
500	43,5
630	44,9
800	45,5
1 000	47,0
1 250	50,8
1 600	51,6
2 000	53,6
2 500	49,4
3 150	48,1
4 000	51,6
5 000	55,8



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 44 (-2; -8)$ dB

$C_{50-3150} = -7$ dB

$C_{50-5000} = -6$ dB

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

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

$C_{tr,50-3150} = -18$ dB

$C_{tr,50-5000} = -18$ dB

$C_{tr,100-5000} = -8$ dB

No. of test report: BC4

Date: 2019-12-02

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

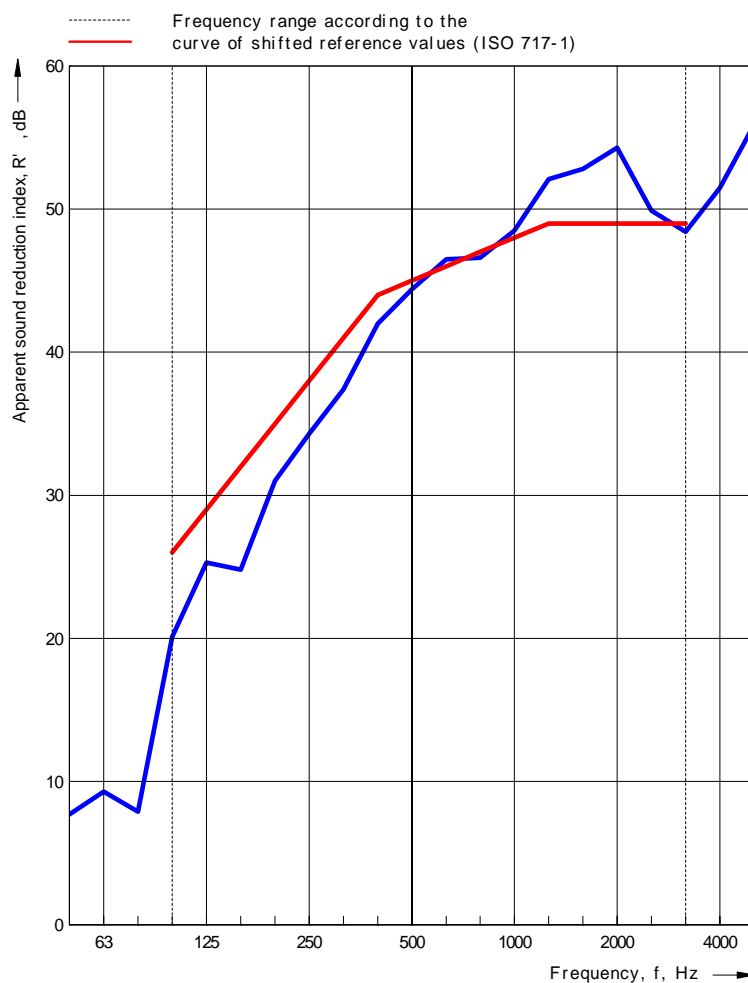
Date of test: 2019-12-02

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BC5: Genomföring av kanal med dimension 700x250 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 1800 mm i mottagarum och 1200 mm i sändarum närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,7
63	9,3
80	7,9
100	20,1
125	25,3
160	24,8
200	31,0
250	34,3
315	37,4
400	42,0
500	44,4
630	46,5
800	46,6
1 000	48,5
1 250	52,1
1 600	52,8
2 000	54,3
2 500	49,9
3 150	48,4
4 000	51,5
5 000	55,9



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 45 (-3; -9)$ dB

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

$C_{50-5000} = -7$ dB

$C_{100-5000} = -2$ dB

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

$C_{tr,50-3150} = -19$ dB

$C_{tr,50-5000} = -19$ dB

$C_{tr,100-5000} = -9$ dB

No. of test report: BC5

Date: 2019-12-02

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

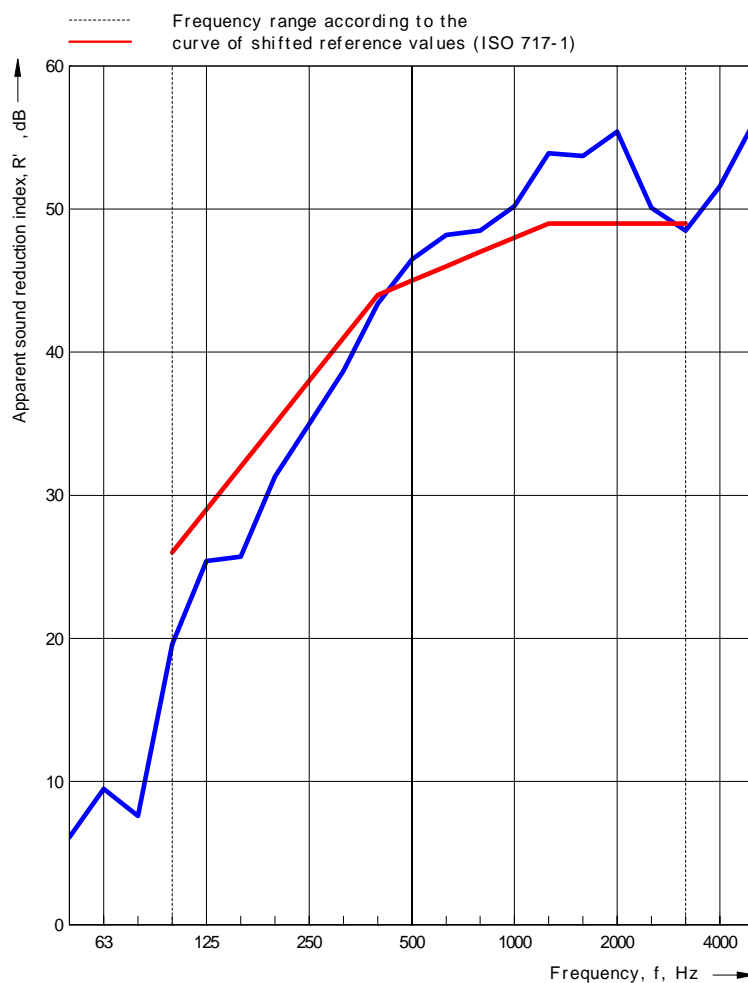
Date of test: 2019-12-02

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BC6: Genomföring av kanal med dimension 700x250 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 1800 mm på båda sidorna närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	6,1
63	9,5
80	7,6
100	19,6
125	25,4
160	25,7
200	31,3
250	35,0
315	38,7
400	43,4
500	46,5
630	48,2
800	48,5
1 000	50,2
1 250	53,9
1 600	53,7
2 000	55,4
2 500	50,1
3 150	48,5
4 000	51,6
5 000	56,1



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 45 (-3; -9)$ dB

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

$C_{50-5000} = -7$ dB

$C_{100-5000} = -2$ dB

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

$C_{tr,50-3150} = -20$ dB

$C_{tr,50-5000} = -20$ dB

$C_{tr,100-5000} = -9$ dB

No. of test report: BC6

Date: 2019-12-02

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

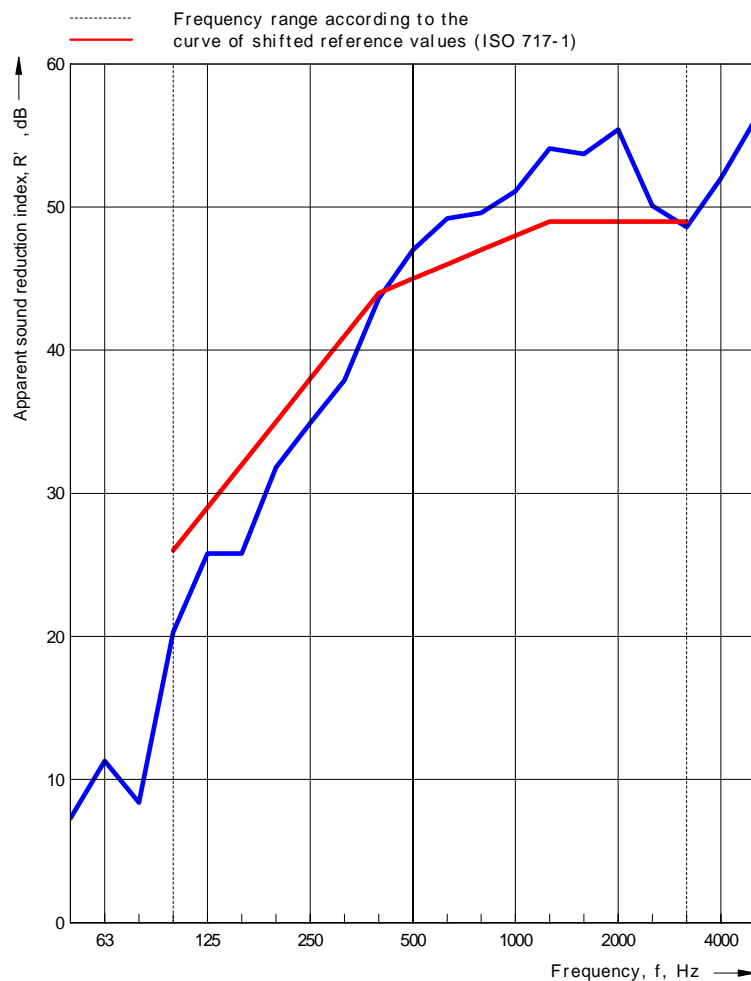
Date of test: 2019-12-02

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'_w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BC7: Genomföring av kanal med dimension 700x250 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 2400 mm i mottagarum och 1800 mm i sändarum närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,3
63	11,3
80	8,4
100	20,3
125	25,8
160	25,8
200	31,8
250	34,9
315	37,9
400	43,6
500	47,0
630	49,2
800	49,6
1 000	51,1
1 250	54,1
1 600	53,7
2 000	55,4
2 500	50,1
3 150	48,6
4 000	52,0
5 000	56,1



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 45 (-2; -8) \text{ dB}$

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

$C_{50-3150} = -7 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -19 \text{ dB}$

$C_{50-5000} = -6 \text{ dB}$

$C_{tr,50-5000} = -19 \text{ dB}$

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

$C_{tr,100-5000} = -8 \text{ dB}$

No. of test report: BC7

Date: 2019-12-02

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

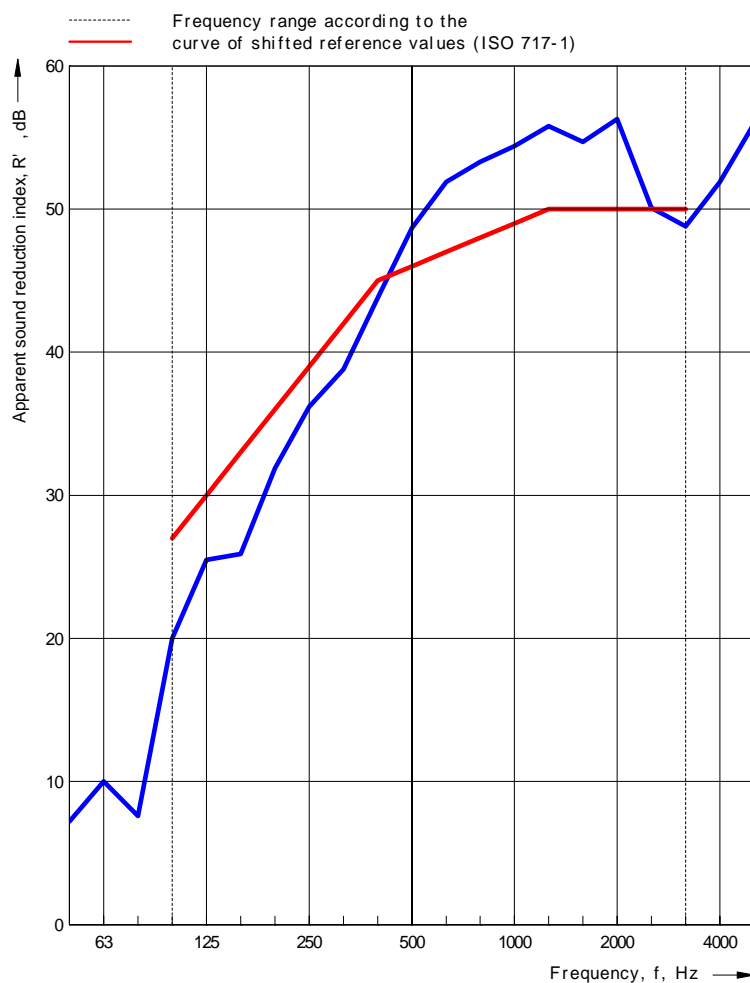
Date of test: 2019-12-02

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'_w: 44 dB.

Object: Mätsekvens BC8: Genomföring av kanal med dimension 700x250 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 3000 mm i mottagarum och 2400 mm i sändarum närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,2
63	10,0
80	7,6
100	20,0
125	25,5
160	25,9
200	31,9
250	36,2
315	38,8
400	43,8
500	48,7
630	51,9
800	53,3
1 000	54,4
1 250	55,8
1 600	54,7
2 000	56,3
2 500	50,1
3 150	48,8
4 000	51,9
5 000	56,0



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 46 (-3; -9) \text{ dB}$

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

$C_{50-3150} = -9 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -20 \text{ dB}$

$C_{50-5000} = -8 \text{ dB}$

$C_{tr,50-5000} = -20 \text{ dB}$

$C_{100-5000} = -2 \text{ dB}$

$C_{tr,100-5000} = -9 \text{ dB}$

No. of test report: BC8

Date: 2019-12-02

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

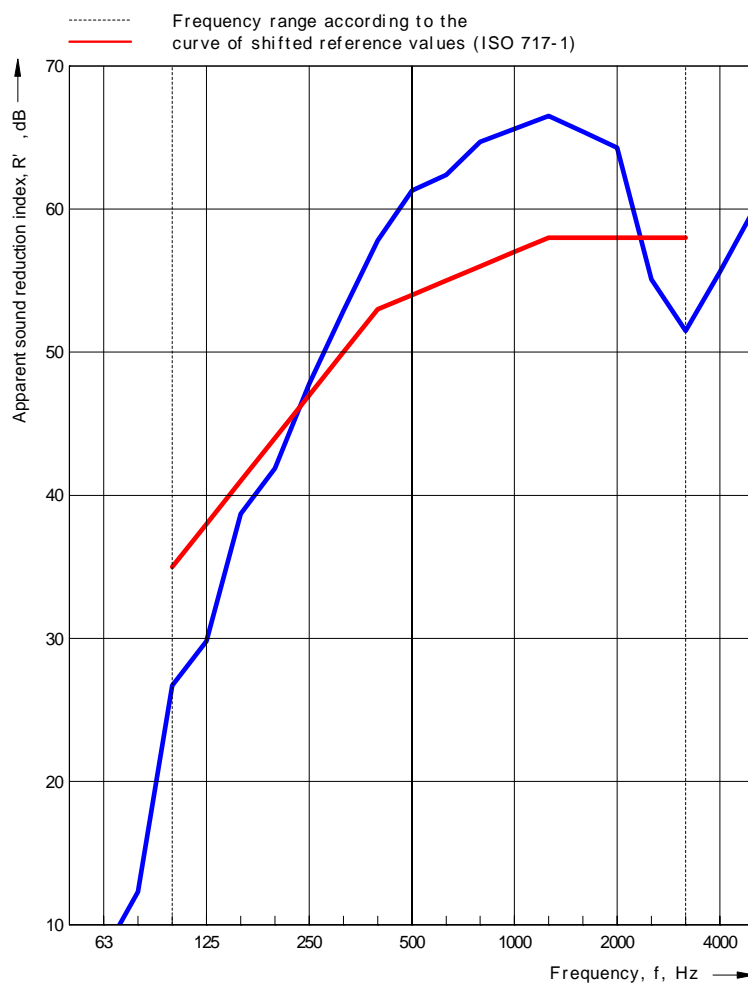
Date of test: 2019-12-04

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CA1: Referensvägg.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,2
63	8,0
80	12,3
100	26,7
125	29,8
160	38,7
200	41,9
250	47,8
315	52,9
400	57,8
500	61,3
630	62,4
800	64,7
1 000	65,6
1 250	66,5
1 600	65,4
2 000	64,3
2 500	55,1
3 150	51,5
4 000	55,6
5 000	60,0



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 54 (-3; -10)$ dB

$C_{50-3150} = -14$ dB

$C_{50-5000} = -13$ dB

$C_{100-5000} = -2$ dB

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

$C_{tr,50-3150} = -27$ dB

$C_{tr,50-5000} = -27$ dB

$C_{tr,100-5000} = -10$ dB

No. of test report: CA1

Date: 2019-12-05

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

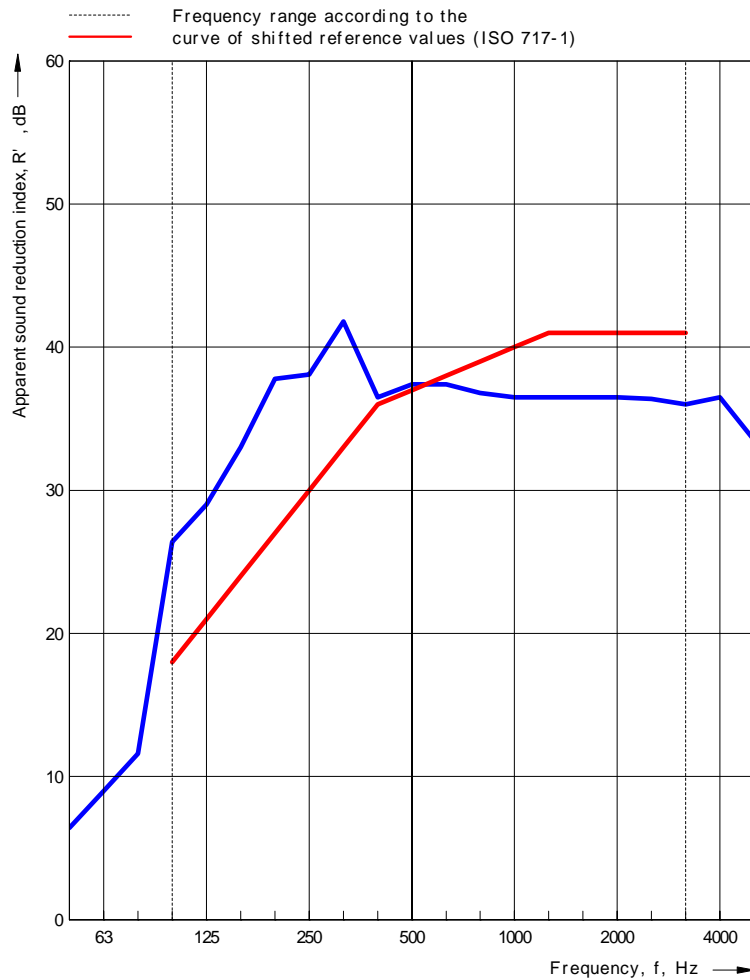
Date of test: 2019-12-05

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CA2: Genomföring av kanal med dimension Ø 315 mm, ingen fogning.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	6,4
63	9,0
80	11,6
100	26,4
125	29,0
160	33,0
200	37,8
250	38,1
315	41,8
400	36,5
500	37,4
630	37,4
800	36,8
1 000	36,5
1 250	36,5
1 600	36,5
2 000	36,5
2 500	36,4
3 150	36,0
4 000	36,5
5 000	33,5



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C; C_{tr}) = 37 (-1; -1)$ dB

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

$C_{50-3150} = -2$ dB

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

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

$C_{tr,50-3150} = -10$ dB

$C_{tr,50-5000} = -10$ dB

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

No. of test report: CA2

Date: 2019-12-05

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

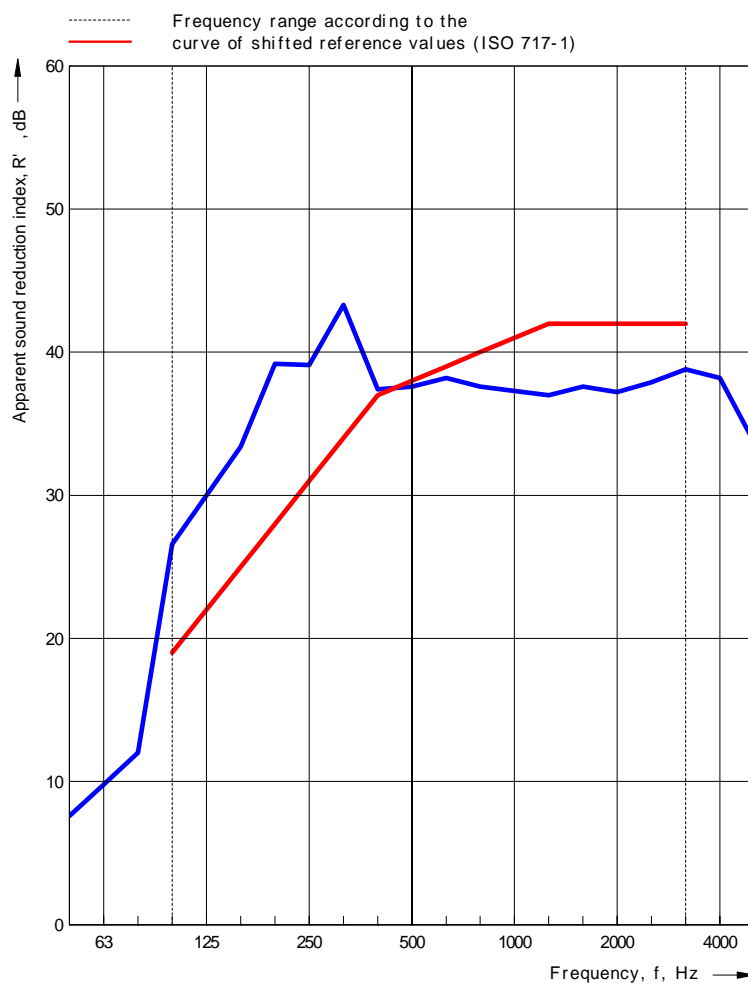
Date of test: 2019-12-05

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CA3: Genomföring av kanal med dimension Ø 315 mm, fog på båda sidor.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,6
63	9,8
80	12,0
100	26,6
125	30,0
160	33,4
200	39,2
250	39,1
315	43,3
400	37,4
500	37,6
630	38,2
800	37,6
1 000	37,3
1 250	37,0
1 600	37,6
2 000	37,2
2 500	37,9
3 150	38,8
4 000	38,2
5 000	33,7



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C; C_{tr}) = 38 (0; -1)$ dB

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

$C_{50-3150} = -2$ dB

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

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

$C_{tr,50-3150} = -10$ dB

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

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

No. of test report: CA3

Date: 2019-12-05

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

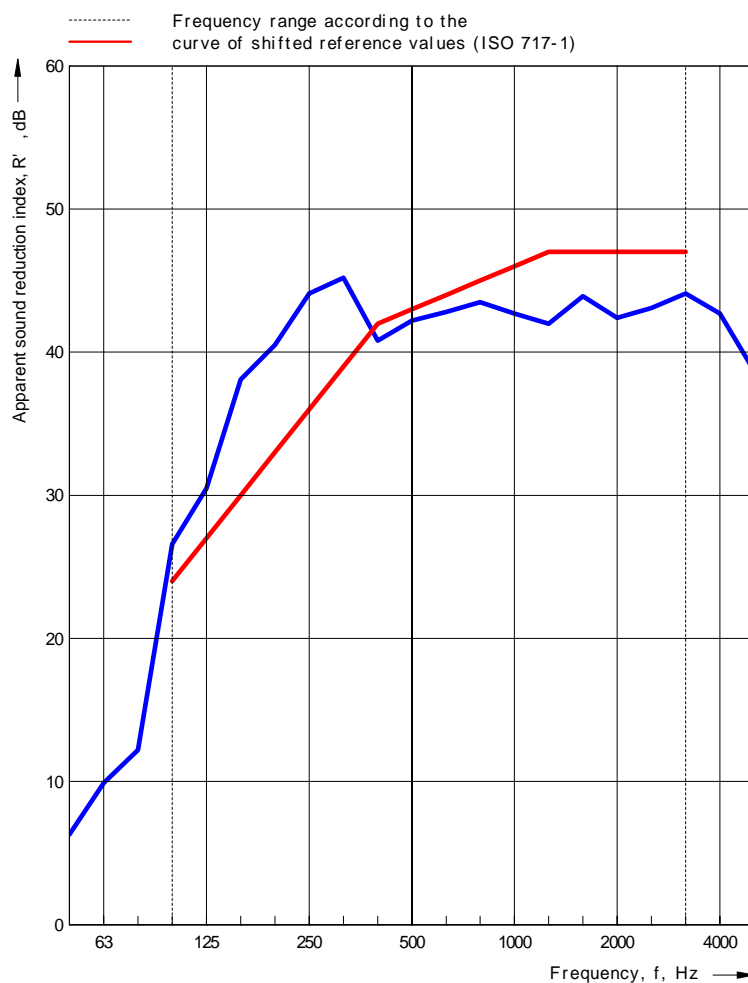
Date of test: 2019-12-05

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CA4: Genomföring av kanal med dimension \varnothing 315 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 600 mm på båda sidorna närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	6,3
63	9,9
80	12,2
100	26,6
125	30,5
160	38,1
200	40,5
250	44,1
315	45,2
400	40,8
500	42,2
630	42,8
800	43,5
1 000	42,7
1 250	42,0
1 600	43,9
2 000	42,4
2 500	43,1
3 150	44,1
4 000	42,7
5 000	38,7



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 43 (-1; -2)$ dB

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

$C_{50-3150} = -4$ dB

$C_{tr,50-3150} = -16$ dB

$C_{50-5000} = -4$ dB

$C_{tr,50-5000} = -16$ dB

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

$C_{tr,100-5000} = -2$ dB

No. of test report: CA4

Date: 2019-12-05

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

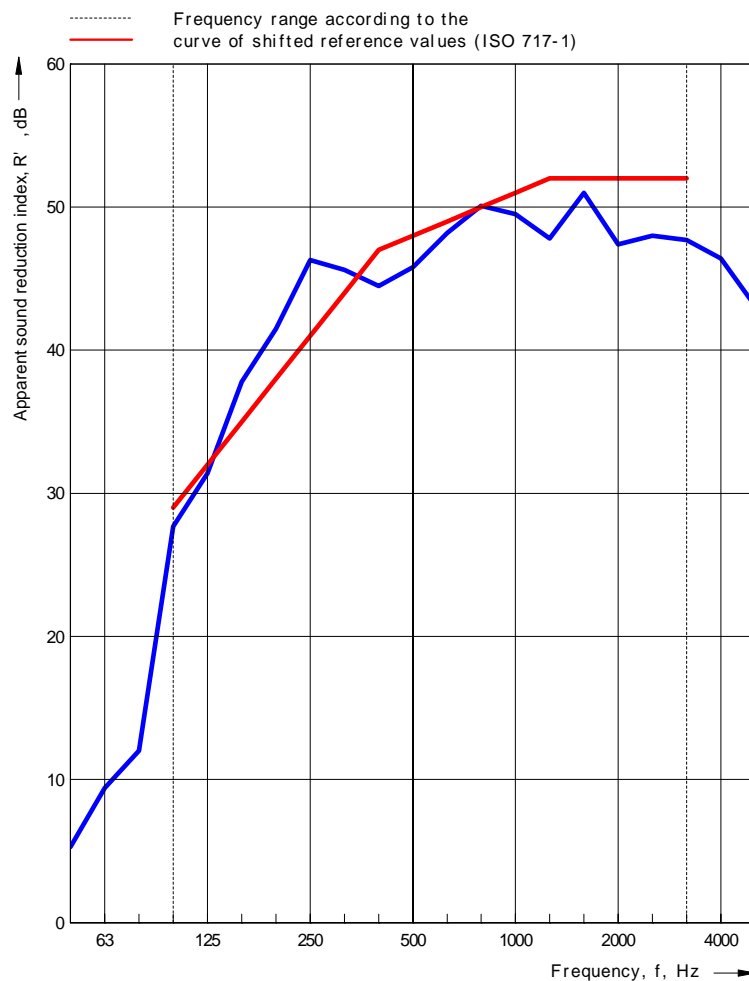
Date of test: 2019-12-05

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CA5: Genomföring av kanal med dimension \varnothing 315 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 1200 mm på båda sidorna närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	5,3
63	9,4
80	12,0
100	27,7
125	31,4
160	37,8
200	41,5
250	46,3
315	45,6
400	44,5
500	45,8
630	48,2
800	50,1
1 000	49,5
1 250	47,8
1 600	51,0
2 000	47,4
2 500	48,0
3 150	47,7
4 000	46,4
5 000	43,1



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 48 (-1; -4)$ dB

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

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

$C_{100-5000} = -2$ dB

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

$C_{tr,50-3150} = -21$ dB

$C_{tr,50-5000} = -21$ dB

$C_{tr,100-5000} = -5$ dB

No. of test report: CA5

Date: 2019-12-05

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

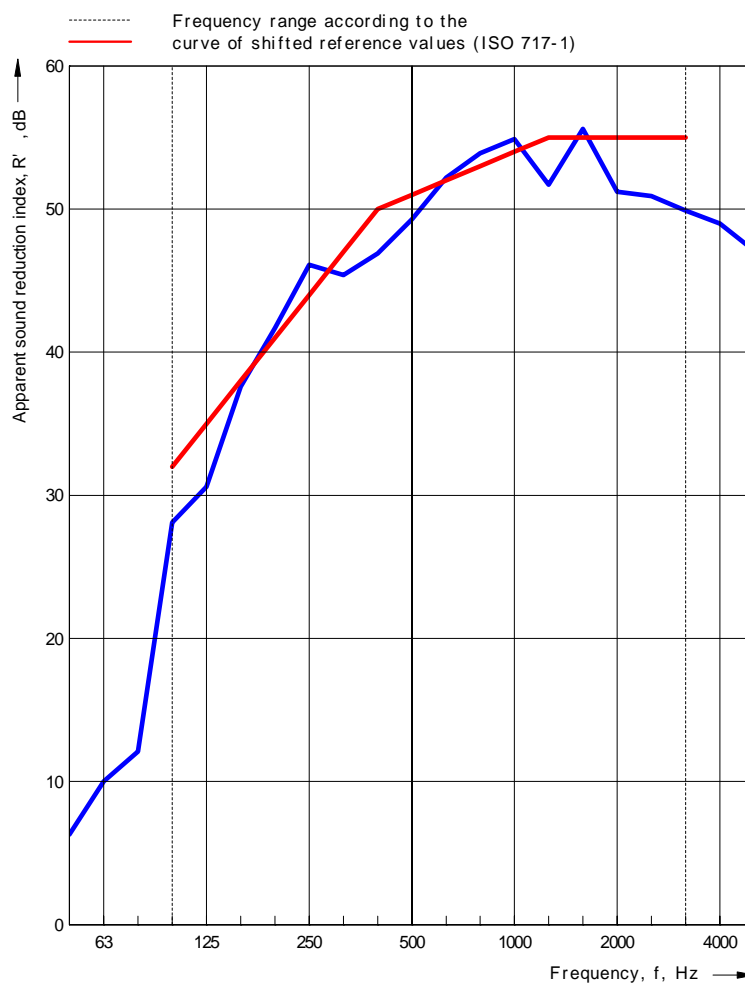
Date of test: 2019-12-05

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CA6: Genomföring av kanal med dimension \varnothing 315 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 1800 mm på båda sidorna närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	6,3
63	10,0
80	12,1
100	28,1
125	30,6
160	37,6
200	41,7
250	46,1
315	45,4
400	46,9
500	49,3
630	52,2
800	53,9
1 000	54,9
1 250	51,7
1 600	55,6
2 000	51,2
2 500	50,9
3 150	49,9
4 000	49,0
5 000	47,1



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 51 (-2; -7)$ dB

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

$C_{50-5000} = -10$ dB

$C_{100-5000} = -2$ dB

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

$C_{tr,50-3150} = -23$ dB

$C_{tr,50-5000} = -23$ dB

$C_{tr,100-5000} = -7$ dB

No. of test report: CA6

Date: 2019-12-05

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

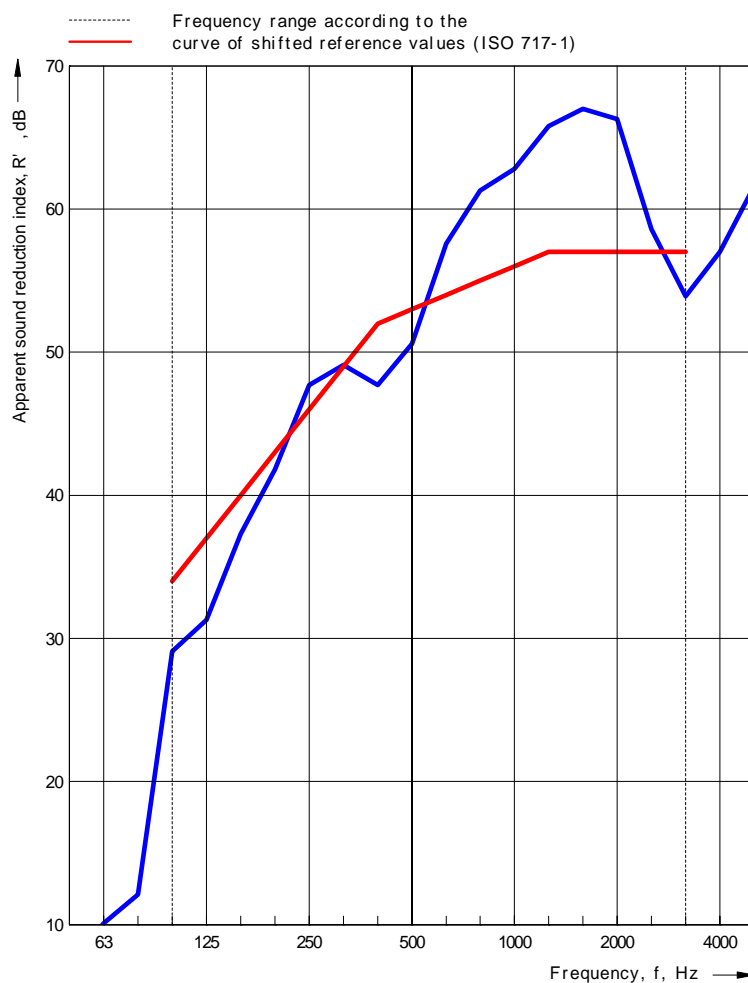
Date of test: 2019-12-05

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CA7: Genomföring av kanal med dimension \varnothing 315 mm, svepning med 50 mm stenull på hela ventilationskanalens sträcka på båda sidorna om väggen, densitet: 100 kg/m³. Mätaren visade 54 dB.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,2
63	10,1
80	12,1
100	29,1
125	31,3
160	37,3
200	41,8
250	47,7
315	49,1
400	47,7
500	50,6
630	57,6
800	61,3
1 000	62,8
1 250	65,8
1 600	67,0
2 000	66,3
2 500	58,6
3 150	53,9
4 000	57,0
5 000	61,6



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C; C_{tr}) = 53 (-2; -7)$ dB

$C_{50-3150} = -12$ dB

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

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

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

$C_{tr,50-3150} = -25$ dB

$C_{tr,50-5000} = -25$ dB

$C_{tr,100-5000} = -7$ dB

No. of test report: CA7

Date: 2019-12-05

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

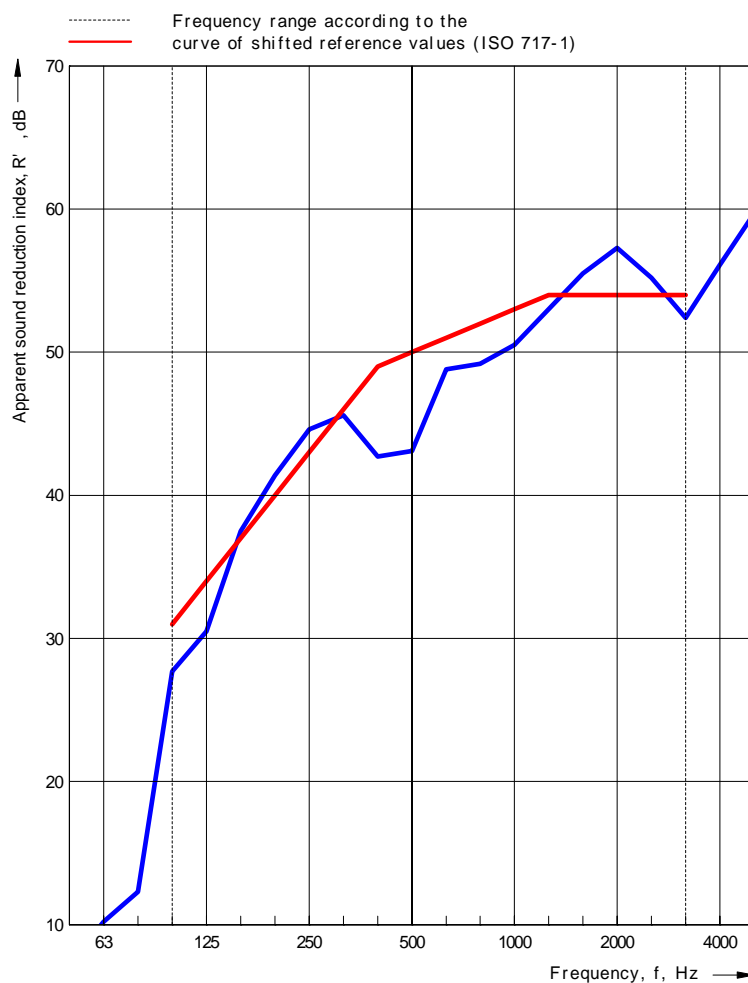
Date of test: 2019-12-05

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CA8: Genomföring av kanal med dimension \varnothing 315 mm, svepning med 50 mm stenull på hela ventilationskanalens sträcka i sändarrum och ingen svepning i mottagarum, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,3
63	10,2
80	12,3
100	27,7
125	30,5
160	37,5
200	41,4
250	44,6
315	45,6
400	42,7
500	43,1
630	48,8
800	49,2
1 000	50,5
1 250	53,0
1 600	55,5
2 000	57,3
2 500	55,2
3 150	52,4
4 000	56,1
5 000	59,7



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 50 (-2; -6)$ dB

$C_{50-3150} = -9$ dB

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

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

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

$C_{tr,50-3150} = -22$ dB

$C_{tr,50-5000} = -22$ dB

$C_{tr,100-5000} = -6$ dB

No. of test report: CA8

Date: 2019-12-05

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

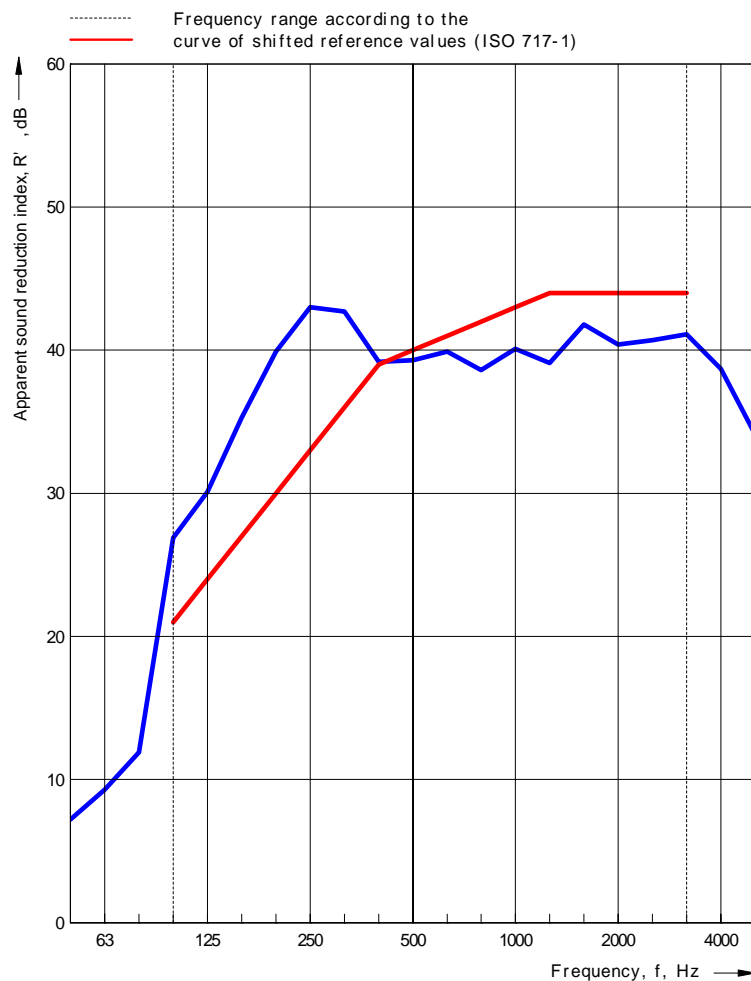
Date of test: 2019-12-05

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CA9: Genomföring av kanal med dimension Ø 315 mm, koppling mitt i vägg samt fog på båda sidor.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,2
63	9,3
80	11,9
100	26,9
125	30,1
160	35,3
200	39,9
250	43,0
315	42,7
400	39,2
500	39,3
630	39,9
800	38,6
1 000	40,1
1 250	39,1
1 600	41,8
2 000	40,4
2 500	40,7
3 150	41,1
4 000	38,7
5 000	34,1



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 40 (0; -1)$ dB

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

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

$C_{50-5000} = -3$ dB

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

$C_{tr,50-3150} = -13$ dB

$C_{tr,50-5000} = -13$ dB

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

No. of test report: CA9

Date: 2019-12-05

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

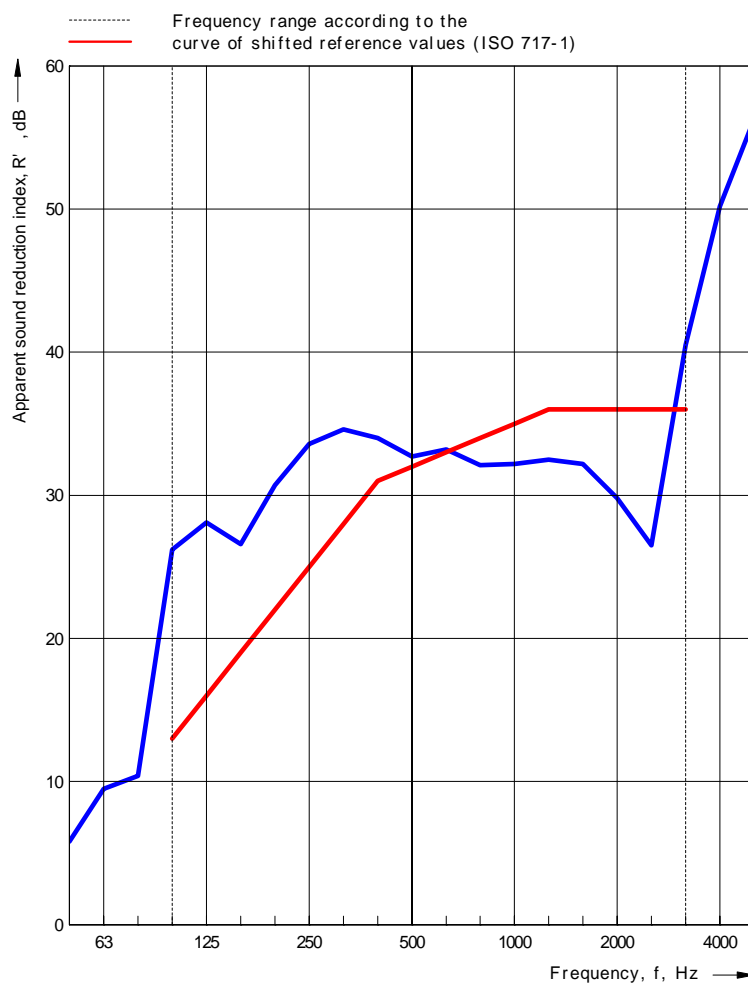
Date of test: 2019-12-08

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CB1: Genomföring av kanal med dimension Ø 630 mm, ingen fogning.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	5,8
63	9,5
80	10,4
100	26,2
125	28,1
160	26,6
200	30,7
250	33,6
315	34,6
400	34,0
500	32,7
630	33,2
800	32,1
1 000	32,2
1 250	32,5
1 600	32,2
2 000	29,8
2 500	26,5
3 150	40,5
4 000	50,2
5 000	56,3



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 32 (-1; -1)$ dB

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

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

$C_{tr,50-3150} = -7$ dB

$C_{50-5000} = 0$ dB

$C_{tr,50-5000} = -7$ dB

$C_{100-5000} = 0$ dB

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

No. of test report: CB1

Date: 2019-12-09

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

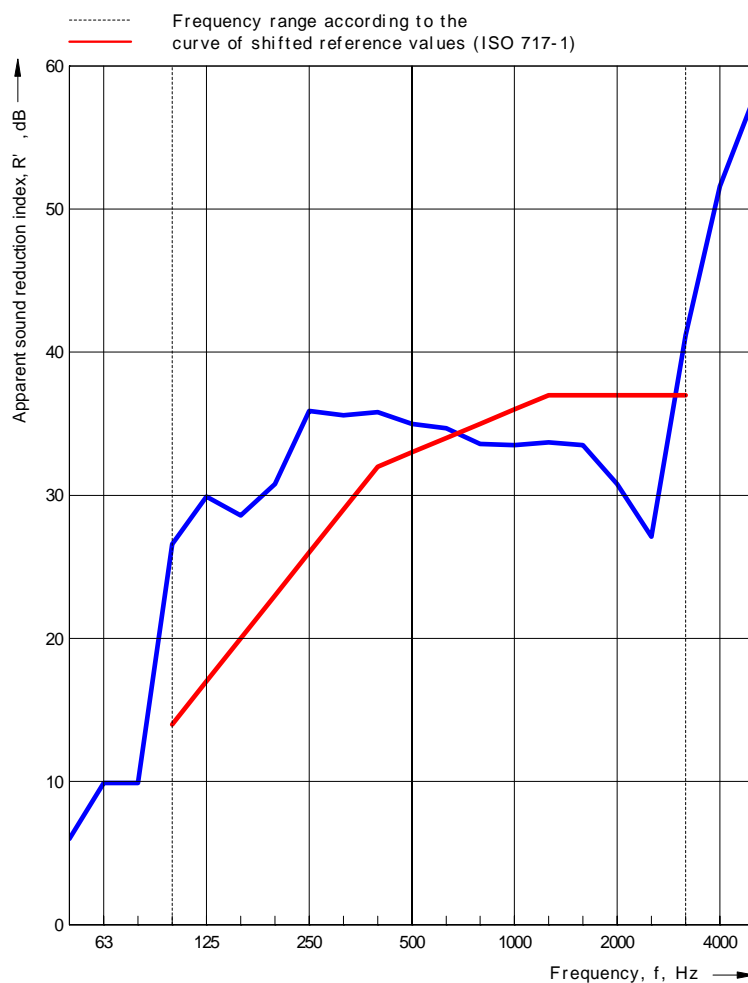
Date of test: 2019-12-08

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CB2: Genomföring av kanal med dimension Ø 630 mm, fog på båda sidor.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	6,0
63	9,9
80	9,9
100	26,6
125	29,9
160	28,6
200	30,8
250	35,9
315	35,6
400	35,8
500	35,0
630	34,7
800	33,6
1 000	33,5
1 250	33,7
1 600	33,5
2 000	30,8
2 500	27,1
3 150	41,2
4 000	51,6
5 000	57,8



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 33 (-1; 0)$ dB

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

$C_{50-3150} = -2$ dB

$C_{tr,50-3150} = -7$ dB

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

$C_{tr,50-5000} = -7$ dB

$C_{100-5000} = 0$ dB

$C_{tr,100-5000} = 0$ dB

No. of test report: CB2

Date: 2019-12-09

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

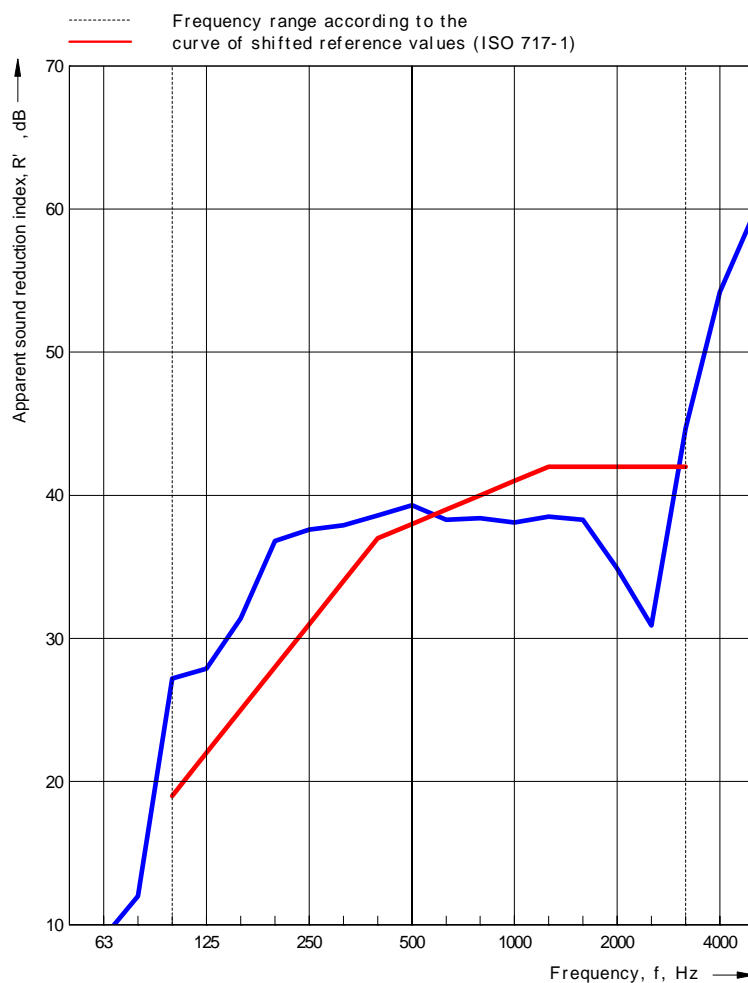
Date of test: 2019-12-08

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CB3: Genomföring av kanal med dimension \varnothing 630 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 600 mm på båda sidorna närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	5,1
63	9,1
80	12,0
100	27,2
125	27,9
160	31,4
200	36,8
250	37,6
315	37,9
400	38,6
500	39,3
630	38,3
800	38,4
1 000	38,1
1 250	38,5
1 600	38,3
2 000	34,9
2 500	30,9
3 150	44,7
4 000	54,2
5 000	59,7



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 38 (-2; -2)$ dB

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

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

$C_{tr,50-3150} = -12$ dB

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

$C_{tr,50-5000} = -12$ dB

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

$C_{tr,100-5000} = -2$ dB

No. of test report: CB3

Date: 2019-12-09

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

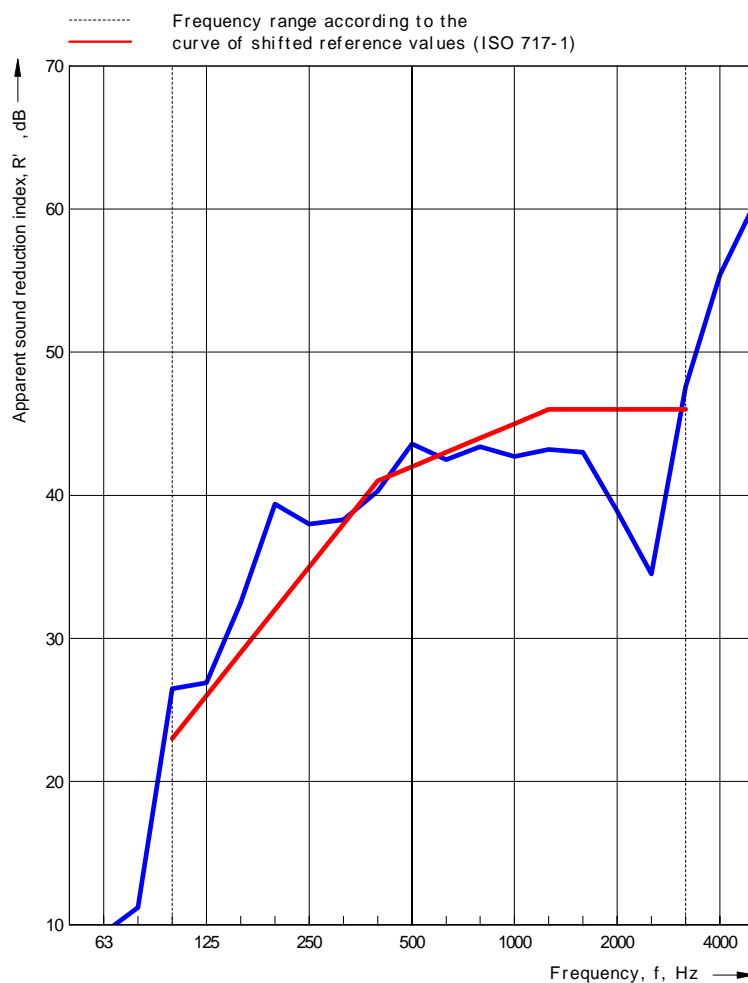
Date of test: 2019-12-08

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CB4: Genomföring av kanal med dimension \varnothing 630 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 1200 mm på båda sidorna närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	5,7
63	9,4
80	11,2
100	26,5
125	26,9
160	32,5
200	39,4
250	38,0
315	38,3
400	40,3
500	43,6
630	42,5
800	43,4
1 000	42,7
1 250	43,2
1 600	43,0
2 000	38,9
2 500	34,5
3 150	47,6
4 000	55,4
5 000	60,3



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 42 (-2; -3)$ dB

$C_{50-3150} = -5$ dB

$C_{50-5000} = -4$ dB

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

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

$C_{tr,50-3150} = -15$ dB

$C_{tr,50-5000} = -15$ dB

$C_{tr,100-5000} = -3$ dB

No. of test report: CB4

Date: 2019-12-09

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

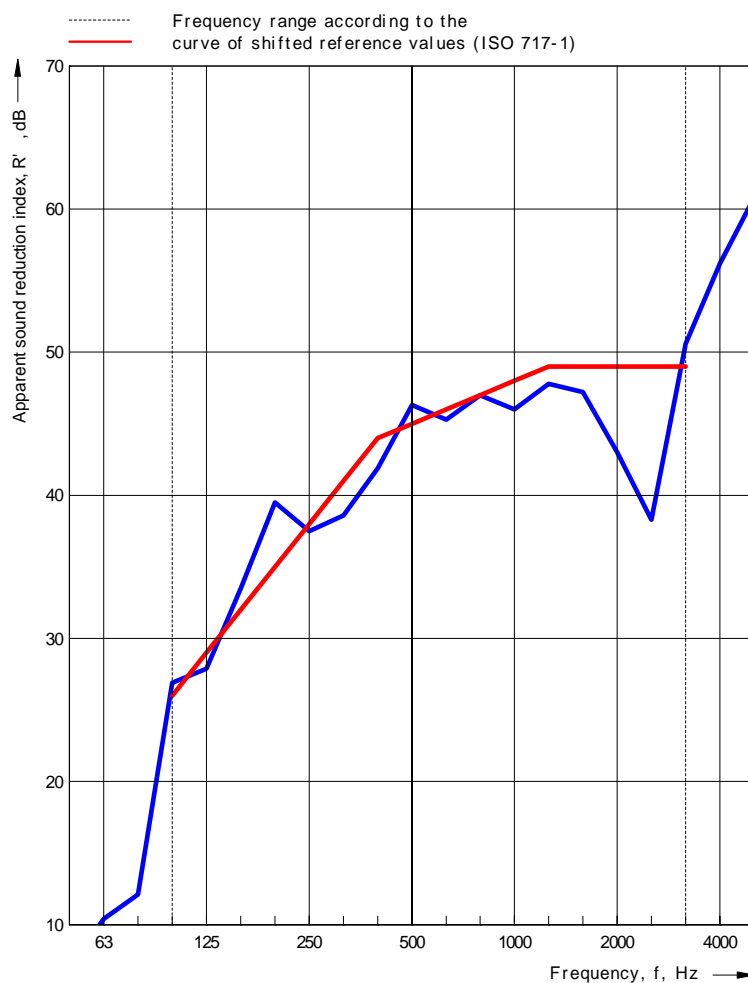
Date of test: 2019-12-08

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CB5: Genomföring av kanal med dimension \varnothing 630 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 1800 mm på båda sidorna närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,0
63	10,4
80	12,1
100	26,9
125	27,9
160	33,5
200	39,5
250	37,5
315	38,6
400	41,9
500	46,3
630	45,3
800	47,0
1 000	46,0
1 250	47,8
1 600	47,2
2 000	43,0
2 500	38,3
3 150	50,6
4 000	56,2
5 000	60,8



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 45 (-2; -4)$ dB

$C_{50-3150} = -6$ dB

$C_{50-5000} = -5$ dB

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

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

$C_{tr,50-3150} = -17$ dB

$C_{tr,50-5000} = -17$ dB

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

No. of test report: CB5

Date: 2019-12-09

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

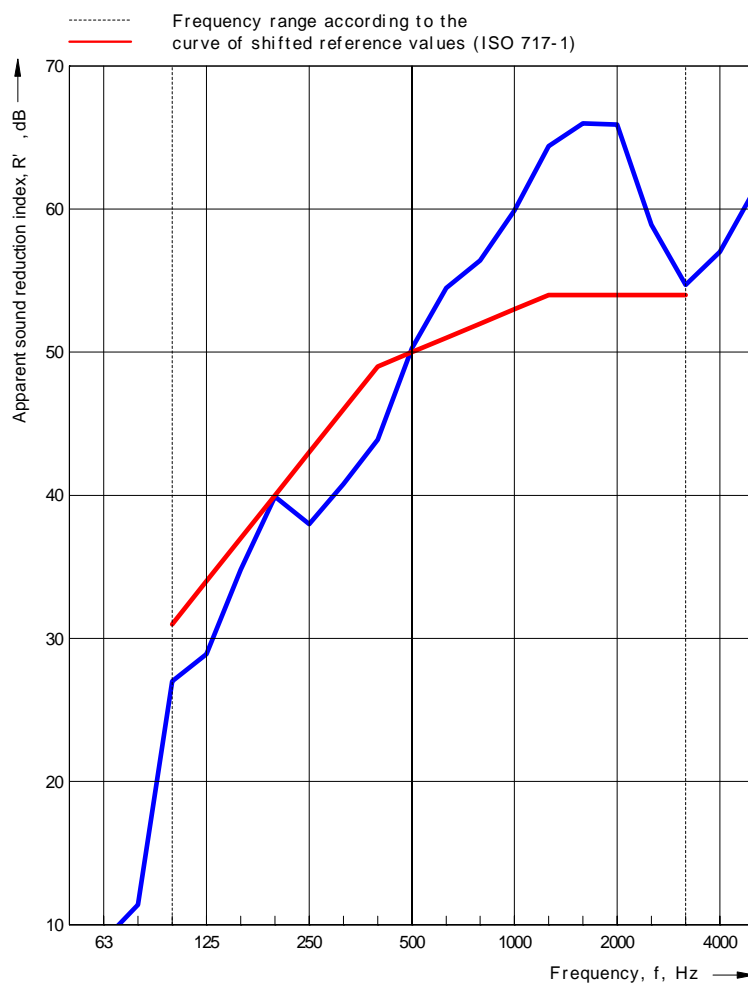
Date of test: 2019-12-08

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CB6: Genomföring av kanal med dimension Ø 630 mm, svepning med 50 mm stenull på hela ventilationskanalens sträcka på båda sidorna om väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	5,8
63	8,9
80	11,4
100	27,0
125	28,9
160	34,8
200	39,9
250	38,0
315	40,8
400	43,9
500	50,3
630	54,5
800	56,4
1 000	59,9
1 250	64,4
1 600	66,0
2 000	65,9
2 500	58,9
3 150	54,7
4 000	57,0
5 000	61,3



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 50 (-2; -7)$ dB

$C_{50-3150} = -10$ dB

$C_{50-5000} = -9$ dB

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

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

$C_{tr,50-3150} = -23$ dB

$C_{tr,50-5000} = -23$ dB

$C_{tr,100-5000} = -7$ dB

No. of test report: CB6

Date: 2019-12-09

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

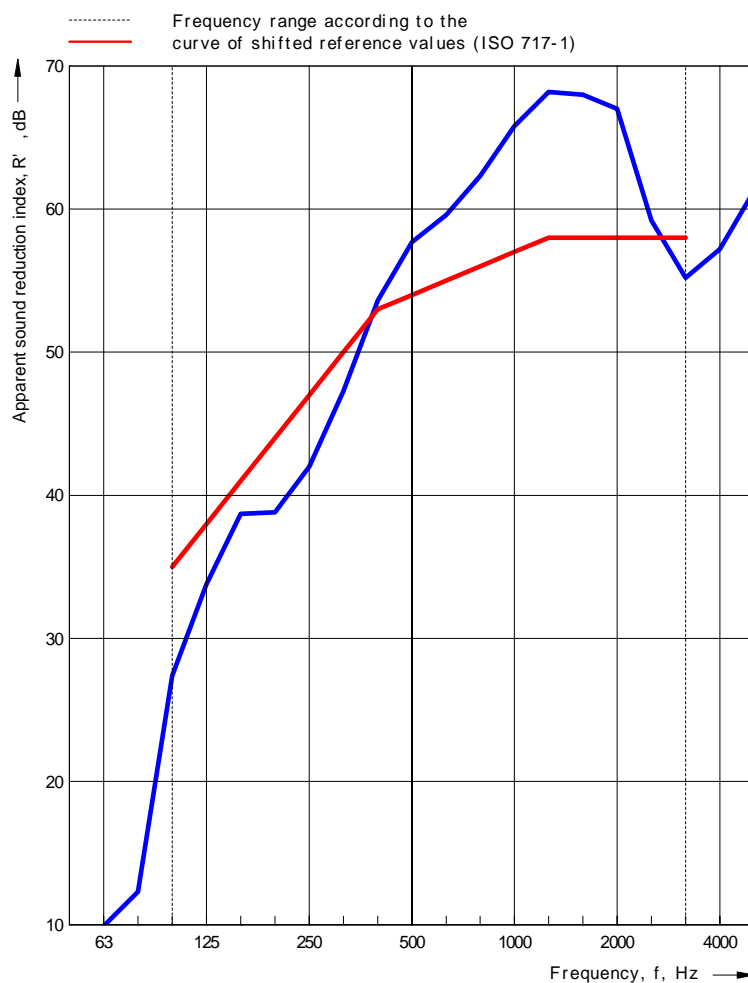
Date of test: 2019-12-09

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CB7: Genomföring av kanal med dimension \varnothing 630 mm, svepning med 100 mm stenull på en sträcka om 1800 mm närmst väggen på båda sidorna, resterande sträcka sveptes med 50 mm stenull, båda med densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	6,4
63	9,9
80	12,3
100	27,4
125	33,8
160	38,7
200	38,8
250	42,0
315	47,3
400	53,6
500	57,7
630	59,6
800	62,3
1 000	65,8
1 250	68,2
1 600	68,0
2 000	67,0
2 500	59,2
3 150	55,2
4 000	57,2
5 000	61,3



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C; C_{tr}) = 54 (-3; -9)$ dB

$C_{50-3150} = -13$ dB

$C_{50-5000} = -12$ dB

$C_{100-5000} = -2$ dB

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

$C_{tr,50-3150} = -26$ dB

$C_{tr,50-5000} = -26$ dB

$C_{tr,100-5000} = -9$ dB

No. of test report: CB7

Date: 2019-12-09

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

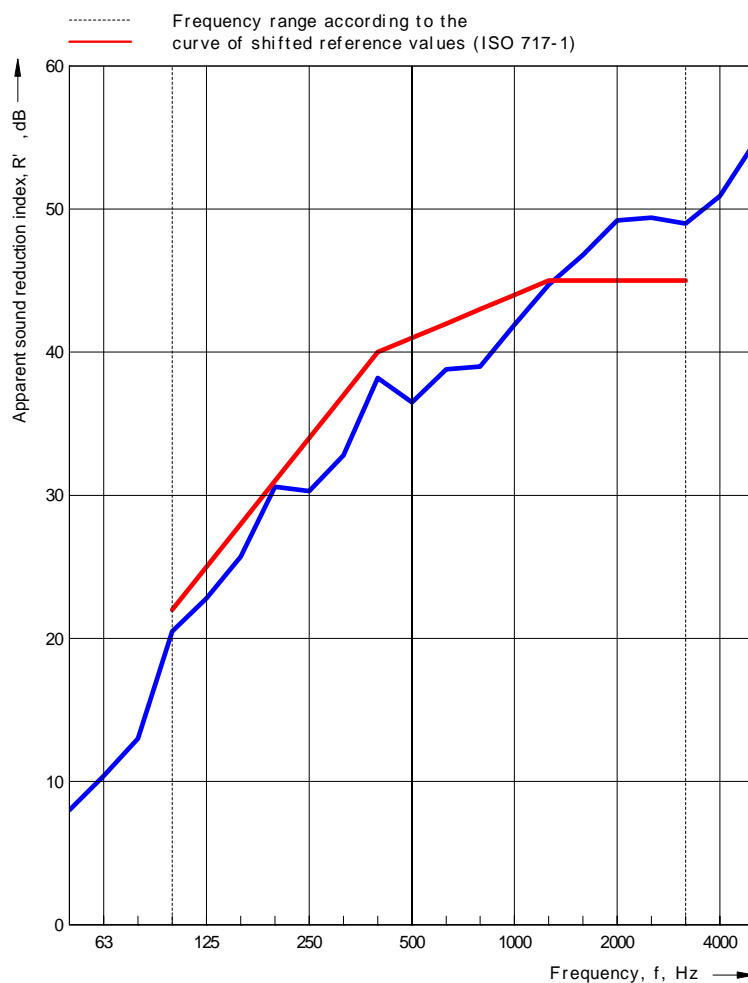
Date of test: 2019-12-10

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CC1: Genomföring av kanal med dimension 700x250 mm, ingen fogning.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	8,0
63	10,4
80	13,0
100	20,5
125	22,8
160	25,7
200	30,6
250	30,3
315	32,8
400	38,2
500	36,5
630	38,8
800	39,0
1 000	41,9
1 250	44,7
1 600	46,8
2 000	49,2
2 500	49,4
3 150	49,0
4 000	50,9
5 000	54,6



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C; C_{tr}) = 41 (-2; -6)$ dB

$C_{50-3150} = -4$ dB

$C_{50-5000} = -3$ dB

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

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

$C_{tr,50-3150} = -13$ dB

$C_{tr,50-5000} = -13$ dB

$C_{tr,100-5000} = -6$ dB

No. of test report: CC1

Date: 2019-12-10

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

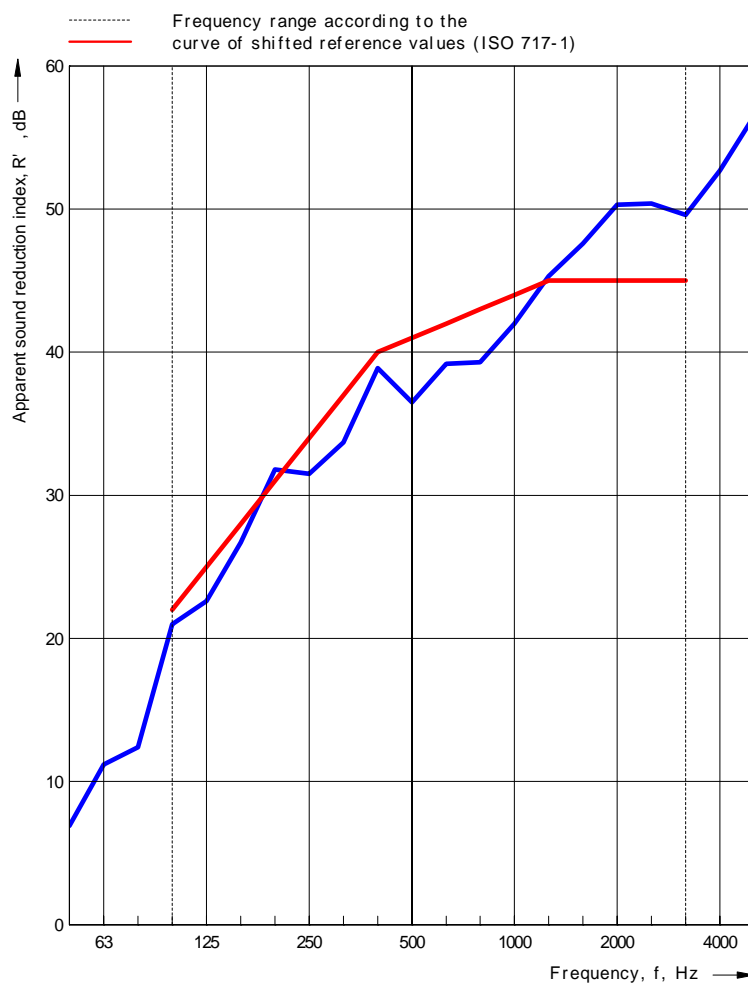
Date of test: 2019-12-10

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CC2: Genomföring av kanal med dimension 700x250 mm, fog på båda sidor.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	6,9
63	11,2
80	12,4
100	21,0
125	22,6
160	26,7
200	31,8
250	31,5
315	33,7
400	38,9
500	36,5
630	39,2
800	39,3
1 000	42,0
1 250	45,3
1 600	47,6
2 000	50,3
2 500	50,4
3 150	49,6
4 000	52,7
5 000	56,5



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 41 (-1; -6)$ 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

$C_{100-5000} = 0$ dB

$C_{tr,50-3150} = -13$ dB

$C_{tr,50-5000} = -13$ dB

$C_{tr,100-5000} = -6$ dB

No. of test report: CC2

Date: 2019-12-10

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

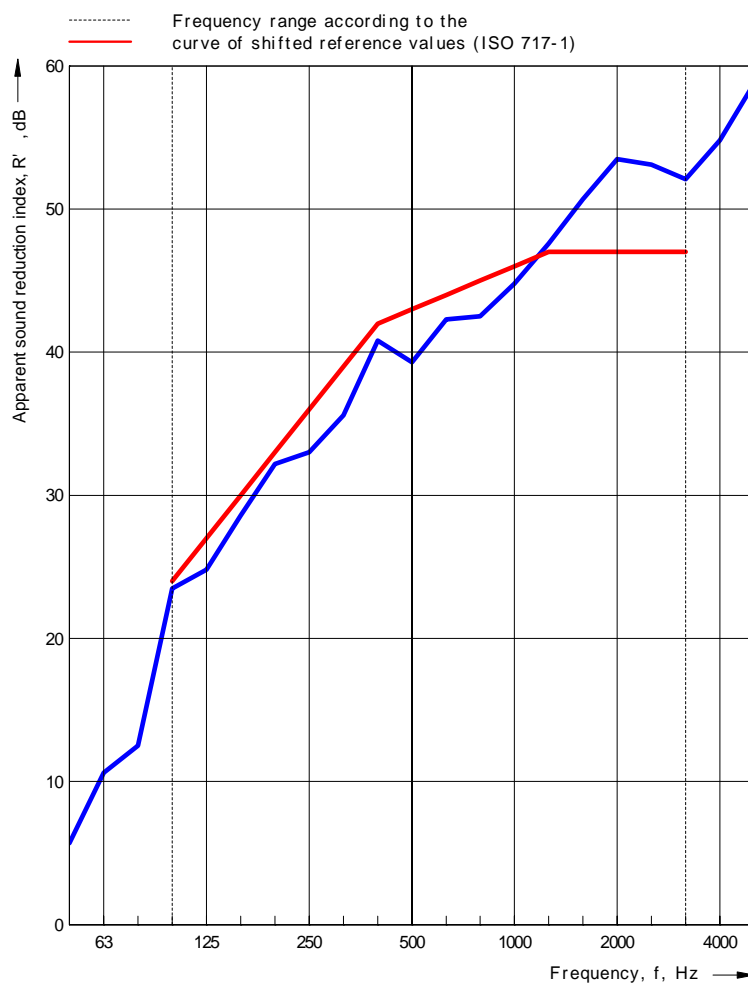
Date of test: 2019-12-10

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CC3: Genomföring av kanal med dimension 700x250 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 600 mm på båda sidorna närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	5,7
63	10,6
80	12,5
100	23,5
125	24,8
160	28,6
200	32,2
250	33,0
315	35,6
400	40,8
500	39,3
630	42,3
800	42,5
1 000	44,8
1 250	47,6
1 600	50,7
2 000	53,5
2 500	53,1
3 150	52,1
4 000	54,8
5 000	58,8



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 43 (-1; -5) \text{ dB}$

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

$C_{50-3150} = -4 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -16 \text{ dB}$

$C_{50-5000} = -3 \text{ dB}$

$C_{tr,50-5000} = -16 \text{ dB}$

$C_{100-5000} = 0 \text{ dB}$

$C_{tr,100-5000} = -5 \text{ dB}$

No. of test report: CC3

Date: 2019-12-10

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

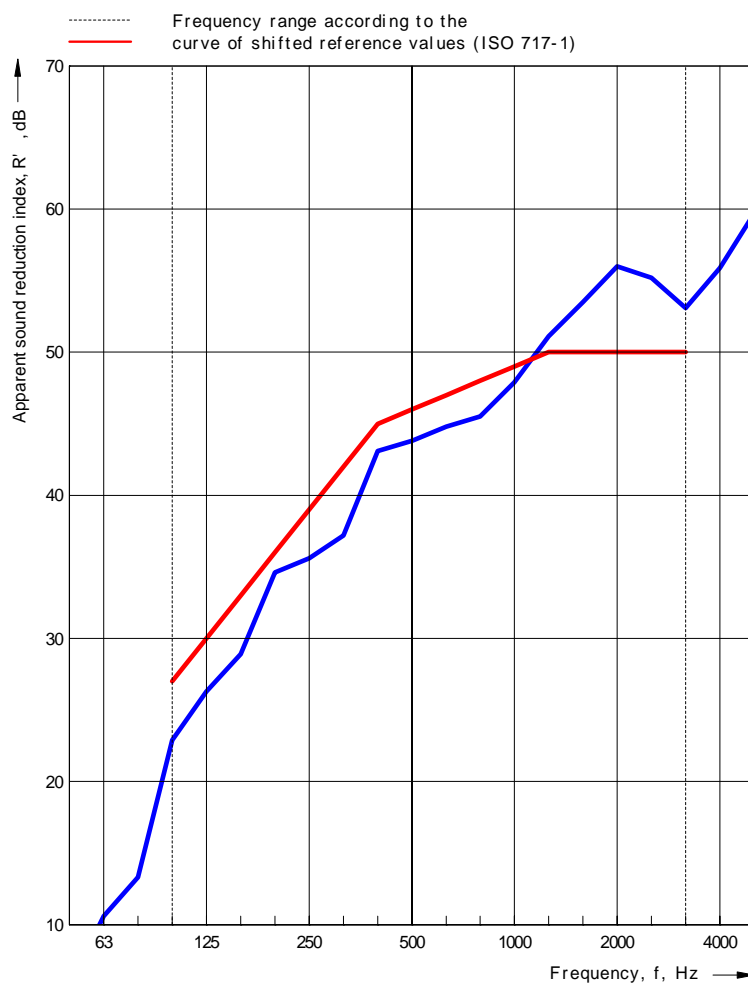
Date of test: 2019-12-10

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CC4: Genomföring av kanal med dimension 700x250 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 1200 mm på båda sidorna närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	5,7
63	10,6
80	13,3
100	22,9
125	26,3
160	28,9
200	34,6
250	35,6
315	37,2
400	43,1
500	43,8
630	44,8
800	45,5
1 000	47,9
1 250	51,1
1 600	53,5
2 000	56,0
2 500	55,2
3 150	53,1
4 000	55,9
5 000	59,7



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 46 (-2; -7)$ dB

$C_{50-3150} = -7$ dB

$C_{50-5000} = -6$ dB

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

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

$C_{tr,50-3150} = -19$ dB

$C_{tr,50-5000} = -19$ dB

$C_{tr,100-5000} = -7$ dB

No. of test report: CC4

Date: 2019-12-10

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

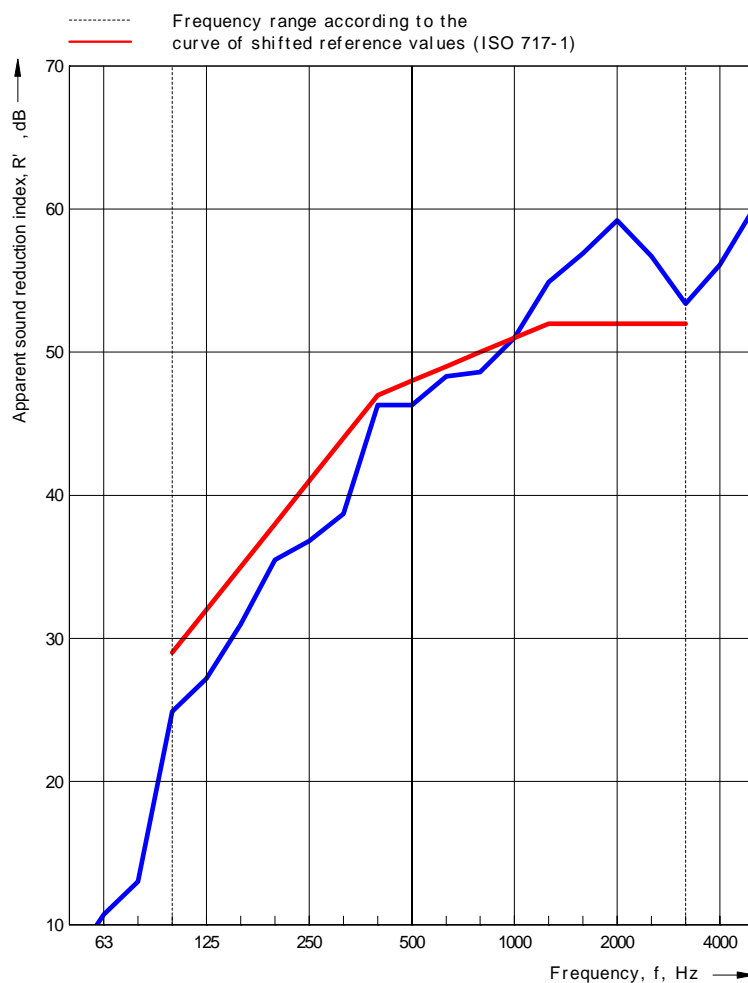
Date of test: 2019-12-11

Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CC5: Genomföring av kanal med dimension 700x250 mm, svepning med 50 mm stenull på en sträcka om 1800 mm på båda sidorna närmst väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,1
63	10,7
80	13,0
100	24,9
125	27,2
160	31,0
200	35,5
250	36,8
315	38,7
400	46,3
500	46,3
630	48,3
800	48,6
1 000	51,0
1 250	54,9
1 600	56,9
2 000	59,2
2 500	56,7
3 150	53,4
4 000	56,1
5 000	60,1



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 48 (-2; -8)$ dB

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

$C_{50-5000} = -7$ dB

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

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

$C_{tr,50-3150} = -20$ dB

$C_{tr,50-5000} = -20$ dB

$C_{tr,100-5000} = -8$ dB

No. of test report: CC5

Date: 2019-12-11

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

Date of test: 2019-12-11

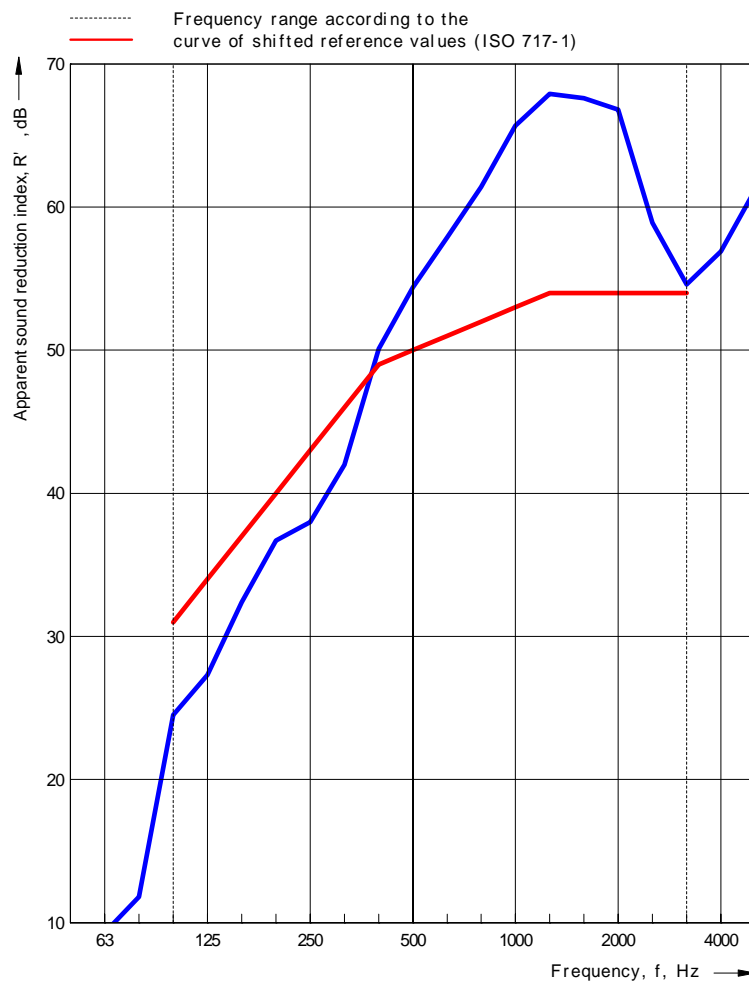
Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CC6: Genomföring av kanal med dimension 700x250 mm, svepning med 50 mm stenull på hela ventilationskanalens sträcka på båda sidorna om väggen, densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	6,1
63	9,3
80	11,8
100	24,5
125	27,3
160	32,4
200	36,7
250	38,0
315	42,0
400	50,1
500	54,4
630	57,9
800	61,4
1 000	65,7
1 250	67,9
1 600	67,6
2 000	≥ 66,8 ¹
2 500	58,9
3 150	54,6
4 000	56,9
5 000	61,2

¹ Background noise too high



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 50 (-3; -9)$ dB

$C_{50-3150} = -10$ dB

$C_{50-5000} = -9$ dB

$C_{100-5000} = -2$ dB

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

$C_{tr,50-3150} = -23$ dB

$C_{tr,50-5000} = -23$ dB

$C_{tr,100-5000} = -9$ dB

No. of test report: CC6

Date: 2019-12-11

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

Date of test: 2019-12-11

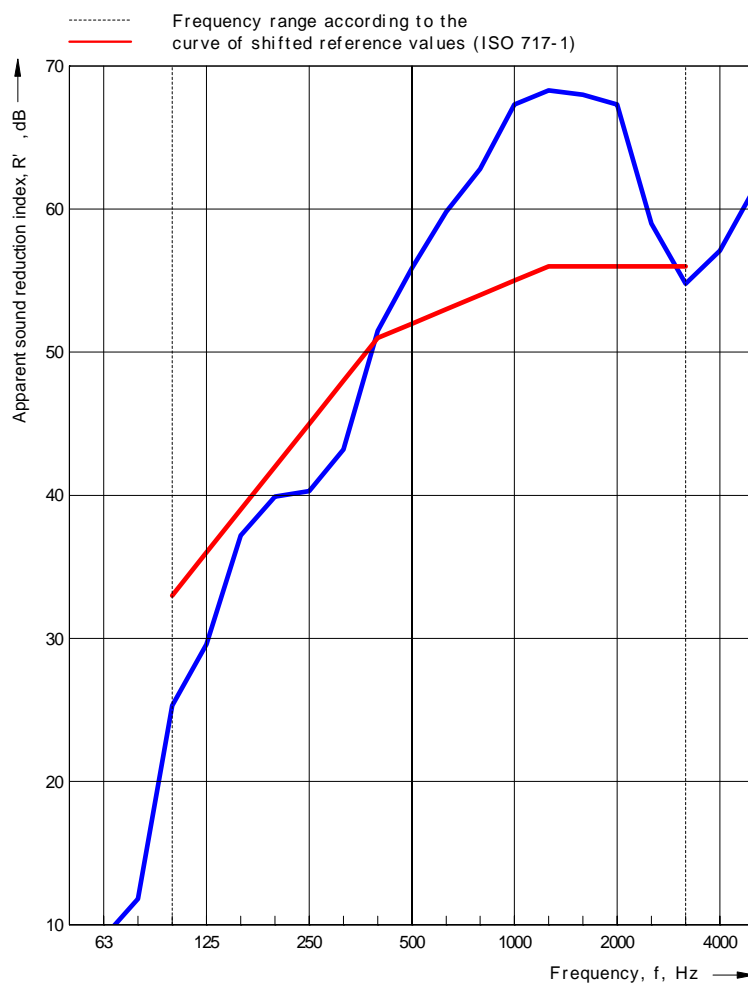
Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CC7: Genomföring av kanal med dimension 700x250 mm, svepning med 100 mm stenull på en sträcka om 600 mm närmst väggen på båda sidorna, resterade sträcka sveptes med 50 mm stenull, båda med densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,7
63	9,1
80	11,8
100	25,3
125	29,6
160	37,2
200	39,9
250	40,3
315	43,2
400	51,5
500	55,9
630	59,8
800	62,8
1 000	≈ 67,3 ¹
1 250	68,3
1 600	68,0
2 000	≈ 67,3 ¹
2 500	59,0
3 150	54,8
4 000	57,1
5 000	61,4

¹ Background noise too high



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C; C_{tr}) = 52 (-3; -9) \text{ dB}$

$C_{50-3150} = -12 \text{ dB}$

$C_{50-5000} = -11 \text{ dB}$

$C_{100-5000} = -2 \text{ dB}$

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

$C_{tr,50-3150} = -24 \text{ dB}$

$C_{tr,50-5000} = -24 \text{ dB}$

$C_{tr,100-5000} = -9 \text{ dB}$

No. of test report: CC7

Date: 2019-12-11

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

Date of test: 2019-12-11

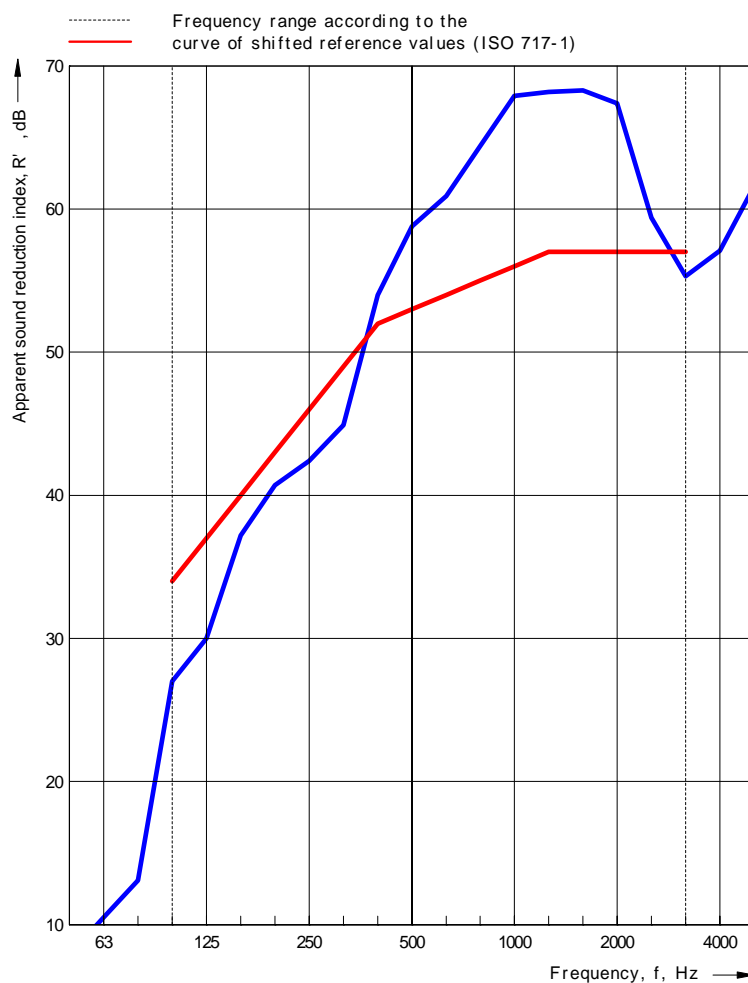
Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CC8: Genomföring av kanal med dimension 700x250 mm, svepning med 100 mm stenull på en sträcka om 1200 mm närmst väggen på båda sidorna, resterade sträcka sveptes med 50 mm stenull, båda med densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,9
63	10,5
80	13,1
100	27,0
125	30,0
160	37,2
200	40,7
250	42,4
315	44,9
400	54,0
500	58,8
630	60,9
800	64,4
1 000	≈ 67,9 ¹
1 250	68,2
1 600	68,3
2 000	≈ 67,4 ¹
2 500	59,4
3 150	55,3
4 000	57,1
5 000	61,6

¹ Background noise too high



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 53 (-2; -9)$ dB

$C_{50-3150} = -12$ dB

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

$C_{100-5000} = -2$ dB

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

$C_{tr,50-3150} = -24$ dB

$C_{tr,50-5000} = -24$ dB

$C_{tr,100-5000} = -9$ dB

No. of test report: CC8

Date: 2019-12-11

Signature: enl

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

Date of test: 2019-12-11

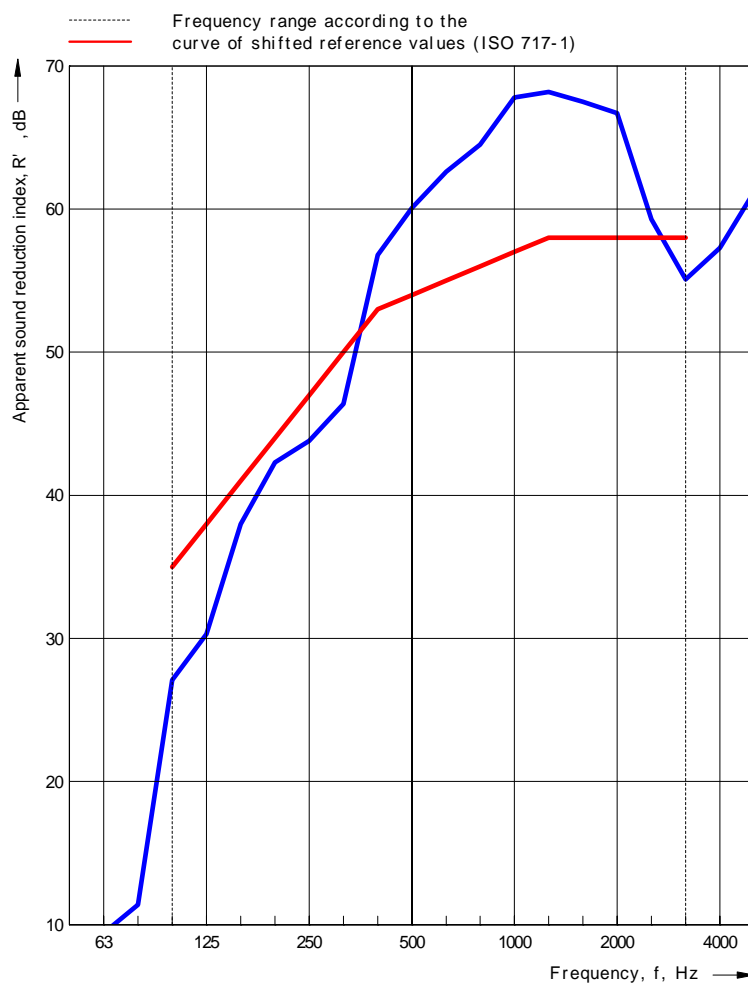
Description: Mätning i laboratorium på vägg med ljudklass R'w: 52 dB.

Object: Mätsekvens CC9: Genomföring av kanal med dimension 700x250 mm, svepning med 100 mm stenull på en sträcka om 1800 mm närmst väggen på båda sidorna, resterade sträcka sveptes med 50 mm stenull, båda med densitet: 100 kg/m³.

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 132,9 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,3
63	9,4
80	11,4
100	27,1
125	30,3
160	38,0
200	42,3
250	43,8
315	46,4
400	56,8
500	60,1
630	62,6
800	64,5
1 000	≈ 67,8 ¹
1 250	68,2
1 600	67,5
2 000	≈ 66,7 ¹
2 500	59,3
3 150	55,1
4 000	57,3
5 000	61,2

¹ Background noise too high



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 54 (-3; -10)$ dB

$C_{50-3150} = -14$ dB

$C_{50-5000} = -13$ dB

$C_{100-5000} = -2$ dB

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

$C_{tr,50-3150} = -26$ dB

$C_{tr,50-5000} = -26$ dB

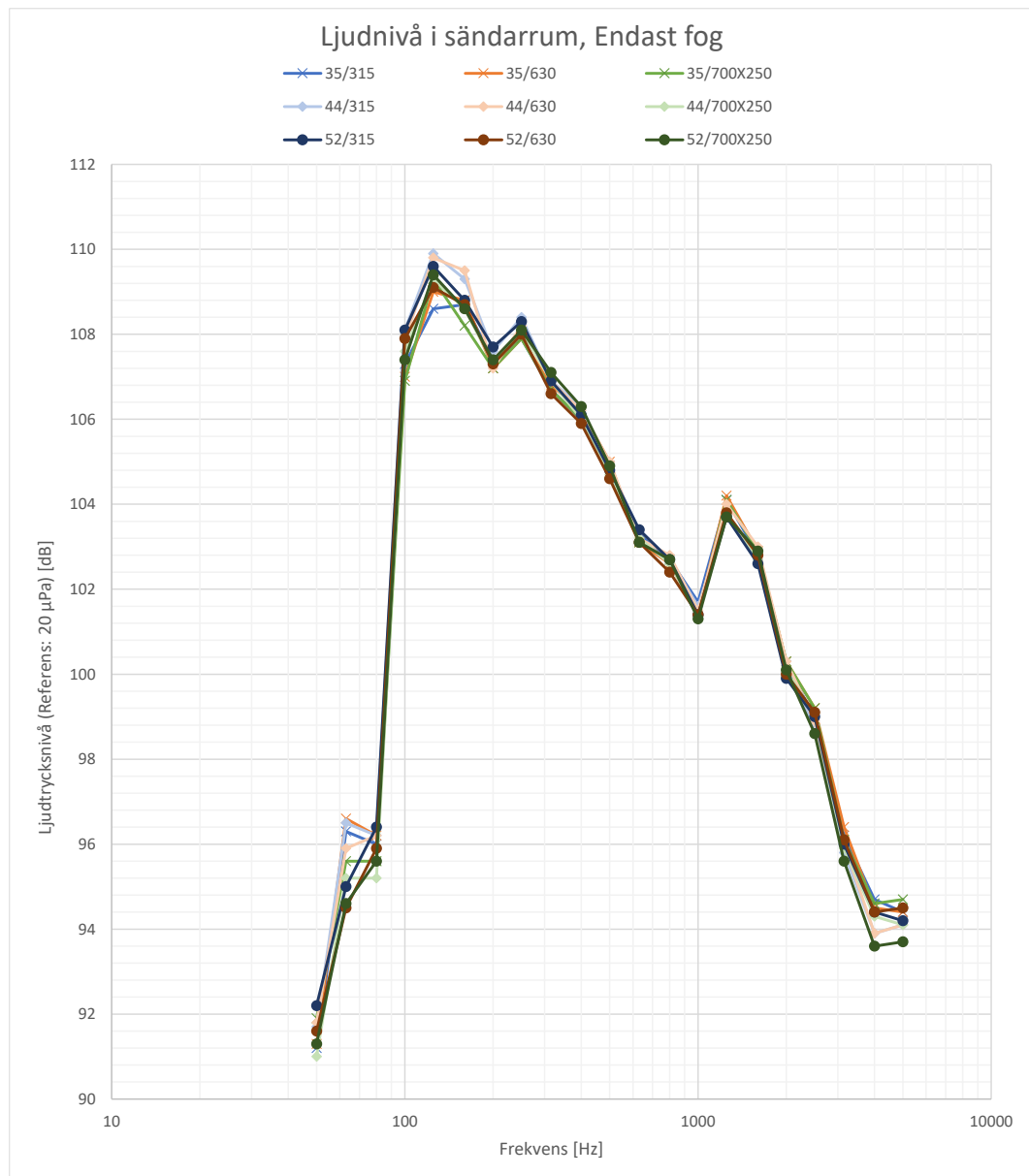
$C_{tr,100-5000} = -10$ dB

No. of test report: CC9

Date: 2019-12-11

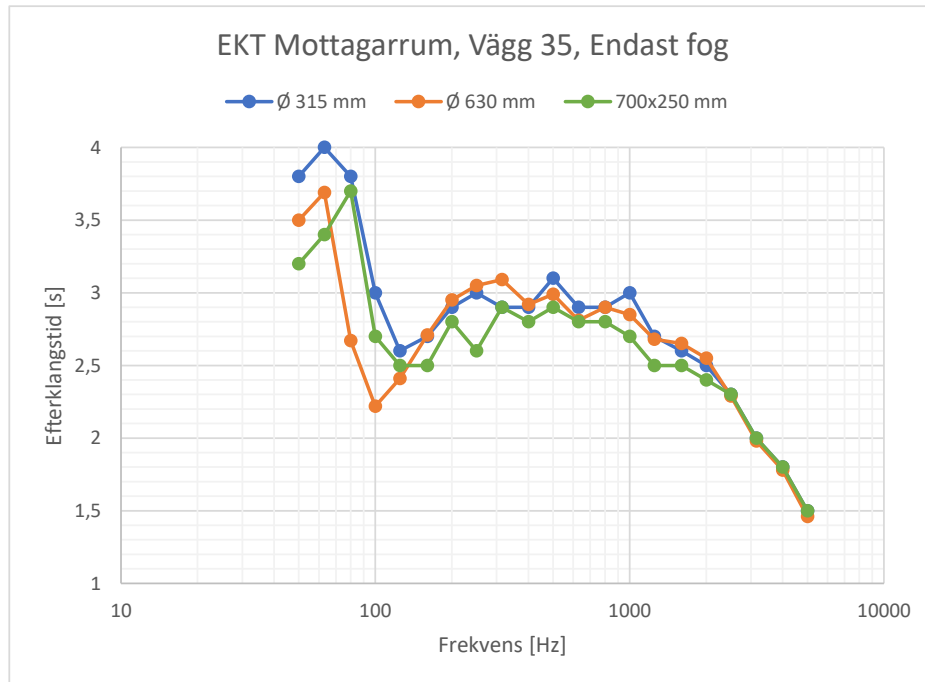
Signature: enl

A.2 Ljudnivå i sändarrum

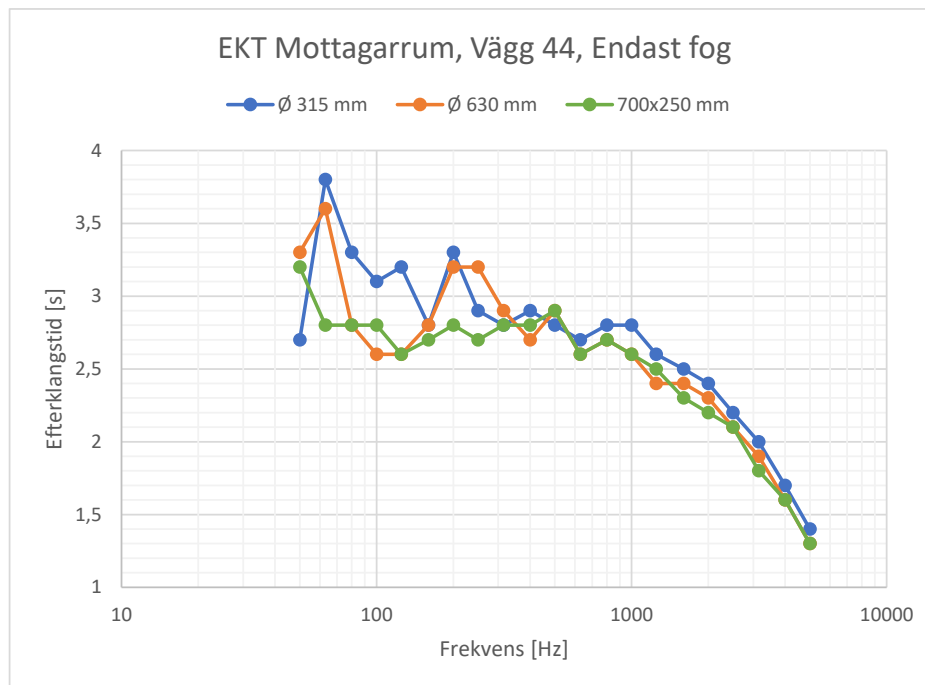


Figur A.1: Utdrag av ljudnivåer i sändarrum för olika kombinationer.

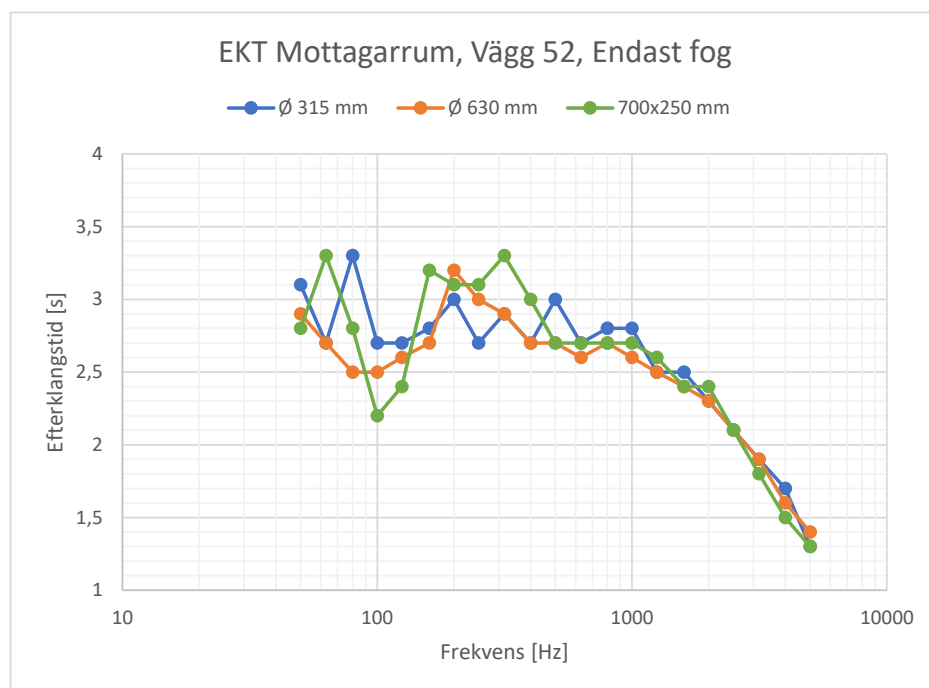
A.3 Efterklangstid i mottagarrum



Figur A.2: Utdrag av efterklangstid för sekvens AA3, AB2 och AC2.



Figur A.3: Utdrag av efterklangstid för sekvens BA3, BB2 och BC2.



Figur A.4: Utdrag av efterklangstid för sekvens CA3, CB2 och CC2.