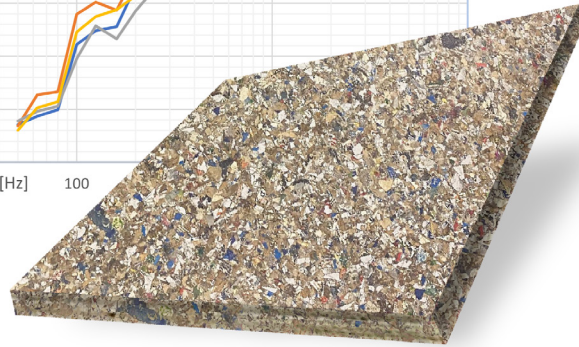
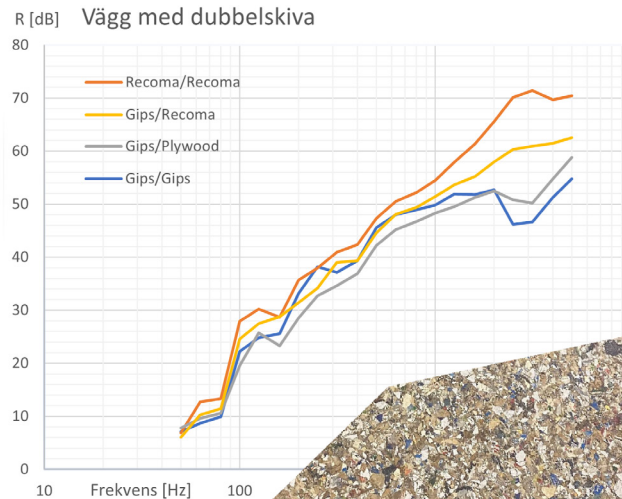




LUND
UNIVERSITY



UNDERSÖKNING AV LUFTLJUDSISOLERING I ETT SKIVMATERIAL TILLVERKAT AV ÅTERVUNNA FÖRPACKNINGAR

SIMON KARLSSON och ROBIN KRONQUIST

Engineering
Acoustics

Bachelor's Dissertation

DEPARTMENT OF CONSTRUCTION SCIENCES

DIVISION OF ENGINEERING ACOUSTICS

ISRN LUTVDG/TVBA--22/4001--SE (1-59) | ISSN 0281-8477

BACHELOR'S DISSERTATION | EXAMENSARBETE I HÖGSKOLEINGENJÖRSUTBILDNINGEN

UNDERSÖKNING AV LUFTLJUDSISOLERING I ETT SKIVMATERIAL TILLVERKAT AV ÅTERVUNNA FÖRPACKNINGAR

SIMON KARLSSON och ROBIN KRONQUIST

Supervisors: **DELPHINE BARD**, Associate Professor, Div. of Engineering Acoustics, LTH, Lund
and **JOAKIM THILÉN**, Acoustician, Tyrens AB, Malmö.

Examiner: **SUSANNE HEYDEN**, Associate Professor, Div. of Structural Mechanics, LTH, Lund.

Copyright © 2022 by Division of Engineering Acoustics,
Faculty of Engineering LTH, Lund University, Sweden.

Printed by V-husets tryckeri LTH, Lund, Sweden, June 2022 (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

Det sker en omställning i samhället där frågor om klimat och miljö får allt mer uppmärksamhet. Denna omställning sker även i byggbranschen som i nuläget står för stora delar av Sveriges totala koldioxidutsläpp, men redan år 2045 ska landet inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser. För att nå målet kommer det att krävas kreativa innovationer inom flera områden. En del av lösningen är att ta vara på de material som redan finns i omlopp. Detta är något som det nystartade företaget Recoma har gjort i sin byggskiva, där de återvinner använda kompositförpackningar för livsmedel, till exempel dryckesförpackningar för mjölk och juice.

Syftet med arbetet är att undersöka luftljudsisoleringen hos Recomas återvunna byggskiva genom mätningar i laboratorium. Målet med testerna är att jämföra Recomaskivan med redan etablerade material som den kan tänkas ersätta i väggkonstruktioner: gips och plywood.

I labbet testades tre olika typer av väggar som alla byggdes på en stomme av Gyprocs XR 95 regel. Väggtyperna som byggdes på regelstommen var: en byggskiva på vardera sida, två skivor på vardera sida och väggar med två skivor på vardera sida och en akustisk isolering, i form av mineralull, inbyggd i väggen. Totalt gjordes mätningar på 11 olika väggtyper med olika kombinationer av Recomas skiva, gips och plywood. Alla mätningar utfördes enligt de krav som ställs på laborationsmätningar i standarden ISO 10140-(2, 4 & 5):2021.

Resultaten av mätningarna visar att väggarna med Recomas skiva generellt har ett högre reduktionstal jämfört med väggarna med de andra skivmaterialen. Det är främst i de högre frekvenserna, över 1000 Hz, som det är stora skillnader mellan skivorna. Detta tycks bero på att Recomas skiva inte påverkas lika mycket av koincidens och därför finns det ingen tydlig minskning i reduktionstalet kring koincidensfrekvensen. Med hänsyn till resultatet kan slutsatsen dras att Recomas återvunna skiva kan ersätta gips och plywood, utan att ljudluftisoleringen försämras. Enligt resultatet i detta arbete tycks den till och med vara bättre. Dock måste fler mätningar utföras för att säkerställa slutsatsen, eftersom detta är ett arbete i begränsad omfattning.

Nyckelord: Recoma, Akustik, Luftljudsisolering, Återvinning

Abstract

There is a change in society where issues of climate and environment are receiving more and more attention. This change is also visible in the construction industry, which currently accounts for large parts of Sweden's total carbon dioxide emissions. Since the government of Sweden has decided to reduce the emissions of greenhouse gases to zero by 2045, this industry needs to adapt. Creative innovations will be required in several areas in order to reach this goal. One part of the solution is to use the materials which are already in circulation. This is something that the newly started company Recoma has done in their building board, where they recycle used composite packages for food, e.g. beverage packages for milk and juice.

The purpose of this study is to investigate the airborne sound insulation of Recoma's recycled building board through measurements in the laboratory. The goal of these tests is to compare the Recoma board with already established materials which it may replace in wall constructions: plasterboards and plywood.

In the lab, three different types of walls were tested, all of which were based on a frame of Gyproc XR 95 joist. There were walls with one layer of building board on each side of the joists, two layers on each side and walls with two layers of boards on each side and acoustic insulation, in the form of mineral wool, built into the wall. In total, measurements were made on 11 different walltypes with different combinations of Recoma's board, plaster and plywood. All measurements were performed in accordance with the requirements for laboratory measurements in the standard ISO 10140- (2, 4 & 5): 2021.

The results of the measurements show that the walls with Recoma's board generally have a higher reduction value compared to the walls with the other board materials. It is mainly in the higher frequencies, above 1000 Hz, that there are large differences between the different materials. This seems to be due to the fact that Recoma's board is not affected as much by coincidence and therefore there is no clear decrease in the reduction value around these frequencies. With regard to the result, it can be concluded that Recoma's recycled board can replace plasterboard and plywood, without deteriorating the sound air insulation. According to the results of this study/investigation,

Recoma's Board even seems to be better. However, more measurements must be performed to ensure the conclusion, as this work is of in limited extent.

Keywords: Recoma, Acoustics, Airborne Sound insulation, Recycling

Förord

Vi vill rikta ett stort tack till Jonas Christensson på Gyproc som har bidragit med material för att kunna genomföra våra tester. Han har också bidragit med sin expertis och sitt stora intresse vilket har varit till stor hjälp både under tiden i labbet och i rapportskrivandet. Tack till Joakim Thilén på Tyréns akustikavdelning som väglett oss genom våra laborationer. Vi vill också tacka avdelning för teknisk akustik vid LTH för handledning och tillgång till labbet och Jessica Dahlström för hjälp med logistiken medan vi var där. Sedan vill vi rikta ett sista tack till Ulla Urde som hjälpte oss och många andra med skrivandet.

Robin Kronquist och Simon Karlsson 2022-06-16

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och mål	2
1.3 Frågeställning	2
1.4 Arbetsfördelning	2
2 Teoretisk bakgrund	3
2.1 Ljuds utbredning i luft	3
2.2 Efterklangstid	4
2.3 Luftljudsisolering	6
2.3.1 Akustiska storheter för att bedöma luftljudsisolering.....	6
2.4 Lättväggskonstruktioner	9
2.4.1 Principiellt beteende hos lättväggskonstruktioner.....	9
3 Experimentell metod	13
3.1 Förutsättningar	13
3.2 Konstruktion	14
3.3 Åtgärder för lufttäthet	15
3.4 Uppställning	17
3.4.1 Riktlinjer för positionering av högtalare och mikrofon.....	17
3.4.2 Mätning av efterklangstid.....	17
3.4.3 Mätning av luftljudsisolering.....	19
3.5 Utförda mätningar	20
3.5.1 Väggtyper.....	20
3.5.2 Arbetsgång.....	25
4 Mätresultat	27
4.1 Resultattabell	27
4.2 Eventuella felfaktorer i utförda mätningar	28
5 Diskussion	29
5.1 Diskussion av mätresultat	29
5.1.1 Enlayersvägg.....	29
5.1.2 Tvålayersväggar.....	32
5.1.3 Tvålayersväggar med isolering.....	34
5.2 Utvärdering av Recomaskivan	35
5.3 Osäkerheter i arbetet	37
6 Slutsats	39
7 Litteraturförteckning	41
8 Bilagor	43

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Det sker en omställning i samhället och frågor om klimat och miljö får alltmer uppmärksamhet. Denna omställning ses även i byggbranschen, som enligt Boverket stod för hela 21% av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser mellan åren 2008 och 2019. Denna andel ska dock minskas avsevärt. Sverige har nämligen satt ett mål, redan år 2045 ska landet inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser (Boverket 2021). För att ha en chans att nå detta mål kommer det att krävas kreativ innovation på flera områden. Byggbranschen kommer att behöva ställa om till att använda nya metoder och material som drastiskt minskar dess ekologiska fotavtryck. En del av lösningen är att ta vara på de material som redan finns i omlopp i samhället, och det är precis det som företaget Recoma har gjort. Recoma är ett nystartat svenskt företag som levererar en byggskiva som är helt producerad av återvunna kompositförpackningar för livsmedel, t.ex. dryckesförpackningar för mjölk och juice. Recoma skriver på sin hemsida; “Vår cirkulära lösning innebär att den kan användas, återvinnas och återanvändas om och om igen utan att generera några utsläpp alls. För att summera, beroende på beräkningsmetod, så bidrar vår produkt till 80–94% mindre koldioxidutsläpp än andra byggskivor, vilket gör den till ett givet val för hållbart byggande”(Recoma, u.å, hämtad 2022-05-02)

(Andersson, 1998) (Rindel, 2017)

Alla nya material behöver ha dokumenterade egenskaper för att ta sig in i byggbranschen. Branschen ses ofta som konservativ. För att garantera lönsamhet och att de krav som ställs på projektet uppfylls, så är det vanligt att man använder sig av produkter och metoder som redan är beprövade. Det nyetablerade företaget Recoma har tagit fram ett tekniskt datablad för sin byggskiva, som visar de mest grundläggande kraven som måste uppfyllas för alla byggmaterial. Det tekniska databladet anger dock inte vilka akustiska egenskaper som går att förvänta sig om man skulle välja att bygga en väggkonstruktion med Recomas skiva. Detta är något som behövs testas i labb eller som framtas i mätningar från tidigare projekt, och eftersom skivan är ny så saknas sådana mätvärden. För att få en uppskattning av hur effektiva de återvunna skivorna är jämfört med redan etablerade material på marknaden, har vi, tillsammans med Avdelning för teknisk akustik vid LTH och Tyréns akustikavdelning, valt att genomföra ett arbete där Recomas skivor jämförs

med gips- och plywoodskivor. Tillverkaren av de återvunna skivorna menar att användningsområdet är valfritt, vilket betyder att de kan ersätta gipsens, som är det vanligaste ytskiktet, samt plywood som ofta används på grund av dess bärighet. Därför kommer Recomas skiva att testas både som ett inre och yttre skikt i väggkonstruktionerna när luftljudsisoleringen i väggarna utvärderas. Dessa kommer sedan ställas mot liknande, redan etablerade konstruktioner, för att klargöra hur de återvunna skivorna presterar ur en akustisk synvinkel.

1.2 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att undersöka luftljudsisoleringen hos Recomas återvunna byggskiva genom mätningar i laboratorium. Målet med arbetet är att göra analyser och jämförelser mellan konstruktioner med Recomas skiva och redan etablerade material som Recoma kan tänkas ersätta. Förhoppningen är att resultatet ska leda till att byggnadsakustiker ska få en uppfattning för när det går att använda sig av Recomas skiva istället för gips och plywood.

1.3 Frågeställning

För att uppnå målet med arbetet ska följande frågeställningar besvaras.

- Hur skiljer sig R_w -värdet på en konstruktion täckt med Recomas skiva mot motsvarande konstruktion täckt med gips eller plywood?
- I vilka frekvensområden har Recomas skiva sina styrkor och svagheter?

1.4 Arbetsfördelning

I omfattande arbeten som sträcker sig över en längre tid är det viktigt att det är jämn arbetsfördelning. I arbetet har båda skribenterna aktivt deltagit i att: samla underlag till arbetet, konstruera testväggar, utföra mätningar och skriva rapporten. Alla arbetsuppgifter går inte dela på. Därför har Simon Karlsson tagit ansvaret för att kontakta sponsorer, medan Robin Kronquist har fått ett större ansvar i att framställa illustrationer till rapporten.

2 Teoretisk bakgrund

Kapitlet Teoretisk bakgrund ger grundläggande information om hur ljudvågor uppfattas av människan, hur ljudvågor beter sig i luft och hur dessa ljudvågor kan påverka en väggkonstruktions luftljudsisolering.

2.1 Ljuds utbredning i luft

Ljudet fortplantas i luft i form av vågrörelser. Genom att luftpartiklarna svänger kring viloläget i samma riktning som ljudvågen bildas en s.k. longitudinalvåg (Åkerlöf, 2001). Vågen resulterar i en liten temporär skillnad i lufttryck jämfört med det statiska trycket. Denna lufttrycksskillnad kan våra öron uppfatta och är den som vardagligen beskrivs som ljud. Ljudet kan också utbreda sig i form av sfäriska och cylindriska ljudvågor (Bodén, Carlsson, Glav, Wallin och Åbom, 1999). Vågfrontens hastighet, d.v.s. hur snabbt ljudet sprider sig, benämns som ljudets hastighet, c , i enheten m/s. Ljudhastigheten beror på temperaturen, T , i °C enligt (Andersson, 1998).

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

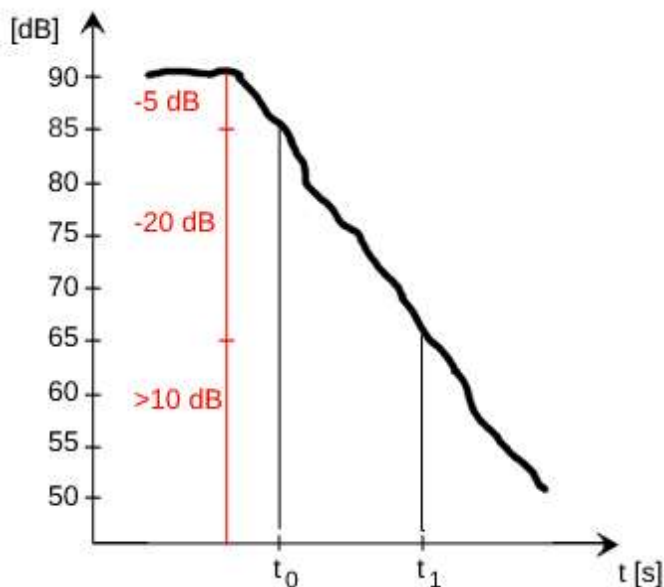
Utbredningshastigheten kan också beskrivas som en funktion av frekvensen, f , och våglängden, λ , i m, där våglängden är ett mått på avståndet från en topp till en annan för en för en sinusvåg (Bodén, m.fl, 1999).

$$c = f\lambda \quad (2.2)$$

Ljudvågor är oftast sammansatta av delvågor med olika våglängder. Normalt är ljud uppbyggt av toner med olika frekvenser inom det hörbara området som för en ung människa sträcker sig från 20 Hz till 20 kHz. Det motsvarar våglängder på mellan 17 m och 17 mm (Åkerlöf, 2001).

2.2 Efterklangstid

Om ett föremål placerat i ett rum utsänder ljud, så är efterklangstiden T tiden från att man avbryter ljudet till att det blir tyst i lokalen. Efterklangstiden är beroende av avstånd mellan rummets ytor och absorptionsfaktor för respektive yta (Andersson, 1998). Efterklangstiden T_{60} är den tid det tar för ljudnivån att minska med 60 dB och på liknande sätt är T_{20} den tid det tar för ljudnivån att minska med 20 dB. Svensk Standard ISO 10140-4:2021 säger att efterklangstiden i intervallet mäts först när ljudnivån redan sjunkit 5 dB från den inledande ljudnivån, till att den minskat med ytterligare 20 dB. Den lägsta ljudnivån får som minst vara 10 dB högre än rummets bakgrundsljud.



Figur 2.1 Illustration av hur efterklangstid, T_{20} , mäts enligt standard, där t_0 är tid mätningens start och t_1 tid då ljudnivån sjunkit med 20 dB.

För att beräkna efterklangstid i ett rum används Sabines formel (Bodén, Carlsson, Glav, Wallin & Åbom, 1999).

$$T = \frac{24V \ln 10}{c \alpha_d S} cdS \quad (2.3)$$

I ekvation 2.3 är V rummets volym, S är summan av areorna för de ytor i rummet som absorberar ljud och α_d är respektive ytas absorptionskoefficient. Vid 20°C kan 2.3, med hjälp av 2.1, skrivas om till:

$$T = 0,161 \frac{V}{\alpha_d S} \quad (2.4)$$

För att Sabines formel ska fungera krävs det att ljudfältet i rummet är likt ett diffust ljudfält. Ett diffust ljudfält kännetecknas av att fas och riktning för ljudets utbredning är helt slumpmässig i alla punkter i rummet (Nilsson m.fl, 2005). Med det menas att man inte kan uppfatta vilken riktning ljudet kommer ifrån.

Vid mätning av ljudöverföring i byggnadskomponenter, som väggar, används efterklangsrums. Ytorna i ett efterklangsrums är täckta av material med låg absorptionskoefficient, vilket innebär att stora delar av de infallande ljudvågorna reflekteras tillbaka in i rummet. Denna typ av rum ger en akustisk testmiljö där ljudenergin flödar ungefär lika i alla riktningar; ett diffust ljudfält (i acoustics, *Efterklangsrums*, u.å.). Ett exempel på ett efterklangsrums visas i Figur 2.2.



Figur 2.2 Efterklangsrums i akustiklaboratoriet på LTH, Lund.

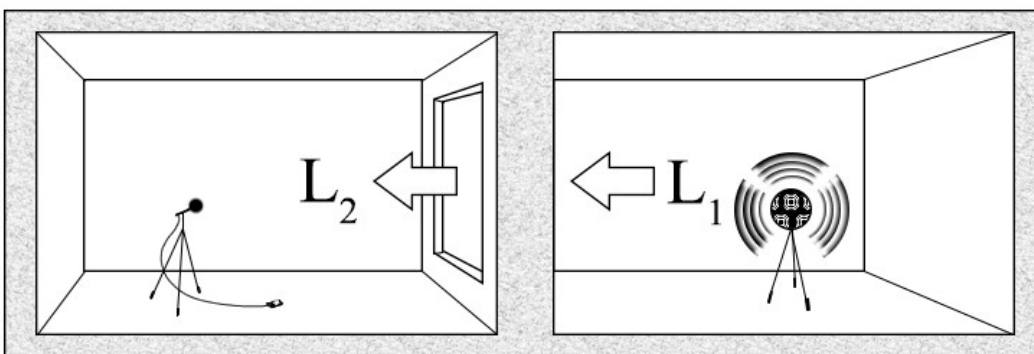
2.3 Luftljudsisolering

Ett mått på hur en konstruktion förhindrar luftljud från att spridas mellan två utrymmen är luftljudsisolering. Ljudet har i princip två vägar att gå mellan olika rum: genom den avskiljande konstruktionen eller genom den angränsande konstruktionen. Exempelvis kan den avskiljande konstruktionen vara en vägg mellan två rum och den angränsande konstruktionen kan vara golv- och takbjälklag. För att praktiskt mäta luftljudsisoleringen mellan två rum använder man en högtalare och en ljudnivåmätare. Högtalaren strålar ut ljud i ett av rummen, detta rum benämns som sändarrum. Ljudnivån mäts först i sändarrummet och sedan mäts ljudnivå, efterklangstid och ljudnivå för bakgrunden i mottagarrummet. Med datan insamlad från mätningarna i de två rummen beräknas ljudreduktionen mellan rummen, en skiljekonstruktion med ett högt ljudreduktionsvärde anses vara bättre.

2.3.1 Akustiska storheter för att bedöma luftljudsisolering

För att bedöma luftljudsisoleringen kan ett flertal storheter användas för att klassa olika konstruktioner. Den enklaste storheten är D som endast beskriver ljudnivåskillnaden mellan rummen. D beskrivs i 2.5, där L_1 är ljudtrycksnivån, i sändarrummet medan L_2 är ljudtrycksnivån i mottagarrummet. Ljudtrycksnivån anges i dB.

$$D = L_1 - L_2 \quad (2.5)$$



Figur 2.3 Beskrivning av ljudnivåskillnad, D .

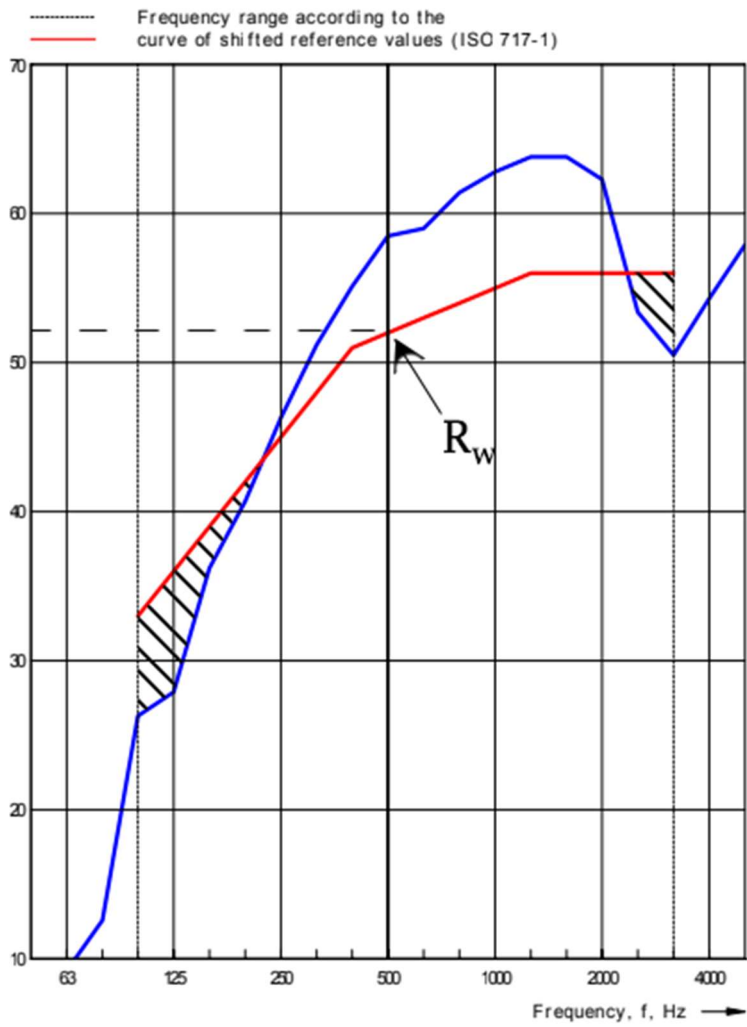
För att tydligare beskriva en skiljekonstruktions egenskaper används effektkvoten, reduktionstalet R . Då reduktionstalet inte beskriver rummets egenskaper utan endast avser beskriva väggens egenskaper har en term lagts till i 2.6 (Nilsson m.fl, 2005). Den sista termen anger vilken effekt som

absorberas eller försvinner från mottagarrummet. S är skiljekonstruktionens area i m^2 och A beskriver arean av den ekvivalenta ljudabsorptionen i mottagarrummet, i m^2 .

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A} \quad (2.6)$$

Reduktionstalet varierar vid olika frekvenser. Resultatet från en mätning visas som en kurva enligt Figur 2.4, där reduktionstalet visas i band om $\frac{1}{3}$ oktav. Då det är väldigt svårt att konstruera ett regelverk utifrån dessa ljudreduktionskurvor har en standard tagits fram för att beskriva dessa som ett fåtal ensiffervärden. Det vanligaste av dessa värden är det som kallas vägt reduktionstal R_w . Det vägda reduktionstalet erhålls genom att jämföra reduktionstalskurvan med en referenskurva (Nilsson m.fl, 2005). Kraven på ljudisolering som sedan ställs i byggregler bestäms som minimivärden uttryckt i R_w . Ett högt R_w -värde betyder att konstruktionen har bra luftljudsisolering.

Den första standarden för att ta fram ett ensiffervärde var ISO 717-1 (1996). Standarden är relaterad till en global referenskurva (se röd kurva i Figur 2.4). Referenskurvan sträcker sig mellan tersbanden 100 och 3150 Hz och flyttas i steg om 1 dB till dess att integralen av skillnaden mellan kurvorna, se skuggad area i Figur 2.4, är så stor som möjligt eller max 32 dB. När kraven på referenskurvan är uppfyllda och den är rätt placerad fås det vägda reduktionstalet, R_w , av vad referenskurvan visar vid 500 Hz.



Figur 2.4 Exempel på hur resultat från en mätning jämförs med en referenskurva för att ta fram R_w -värde.

2.4 Lättväggskonstruktioner

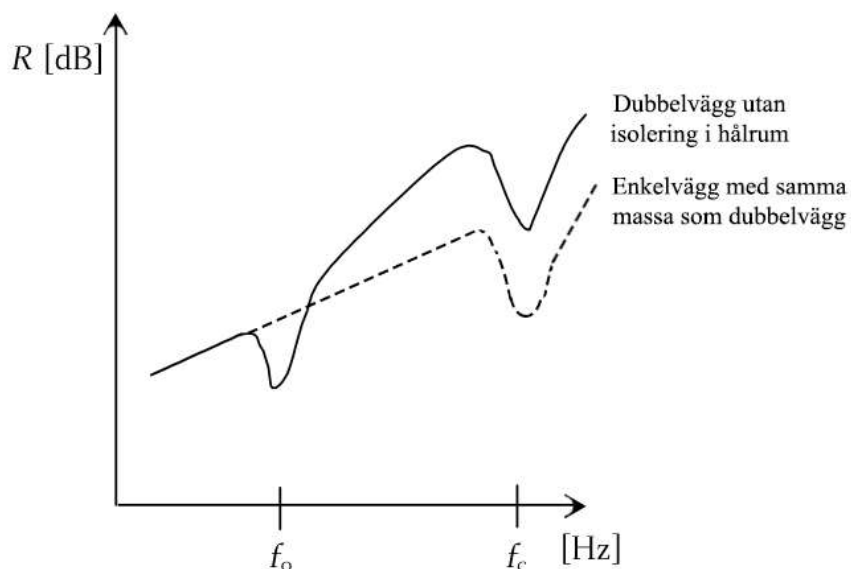
Istället för att använda tjocka massiva väggar för att uppnå god ljudisolering kan man i många fall bygga en lättväggskonstruktion. Dessa väger bara en tiondel så mycket som exempelvis den klassiska massiva betongväggen och kan uppnå samma ljudreduktion (Nilsson m.fl, 2005).

En lättväggskonstruktion består normalt av minst två parallella skivmaterial, separerade med regler som bildar ett hålrum. Detta hålrum kan vara fyllt med luft, en gas, eller isolering (t.ex. mineralull). Ljudtransmissionen genom väggen kommer dels gå via hålrummet och dels genom anslutningar, i detta fall regler mellan skivmaterialen (Rindel, 2018).

2.4.1 Principiellt beteende hos lättväggskonstruktioner

2.4.1.1 Beteende vid väldigt låga frekvenser

Vid frekvenser under grundfrekvensen, f_0 , (se Figur 2.5) är våglängderna så långa att de olika skikten i lättväggskonstruktionen inte uppfattas av ljudvågorna, som resultat beter sig dubbelväggen som en enkelvägg som har samma massa (E. Nilsson m.fl, 2005), enligt Figur 2.5.



Figur 2.5 Generell kurva med reduktionstal för symmetrisk lättkonstruktionsvägg vid olika frekvenser för en dubbelvägg och enkelvägg av samma massa.

2.4.1.2 Grundresonans

Vid låga frekvenser, men högre än tidigare nämnda, är våglängderna tillräckligt korta för att påverka de separata skikten i lättväggskonstruktionen. Vid dessa frekvenser fungerar skivmaterialen som åtskilda väggar med en fjädrande effekt från luften mellan dem, och väggen sätts på grund av detta lätt i rörelse, vilket i sin tur försämrar väggens ljudreduktion. Frekvensområdet där väggen har denna egenskap benämns som grundresonans, f_0 (E. Nilsson m.fl, 2005), och ger en lokal minskning i reduktionstalet enligt Figur 2.5.

Frekvensen för grundresonans kan beräknas enligt:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho_d c_d^2}{d} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \quad (2.8)$$

Där $m_{1,2}$ är skivmaterialens massa per ytenhet, d är hålrummets djup, ρ_d är densiteten för mediet i hålrummet och c_d är ljudets hastighet i mediet (J.H Rindel, *Sound Insulation in Buildings*, 2018).

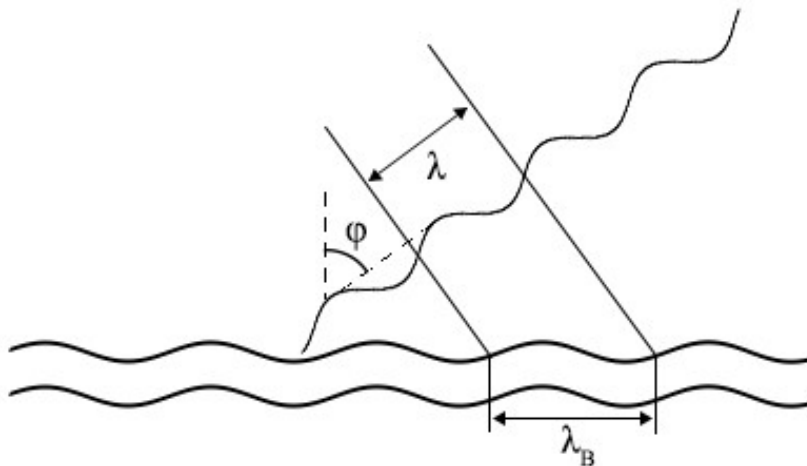
2.4.1.3 Stående vågor

Vid högre frekvenser, där våglängden i jämförelse med hålrummet kan anses som liten, så kommer den fjädrande effekten från luften att försvinna (J.H Rindel, *Sound Insulation in Buildings*, 2018). Vid detta frekvensområde finns det en risk att de ljudvågor som studsar mellan skivornas sammanfaller och påverkar varandra, detta kallas interferens. Beroende på om ljudvågorna i väggen är i fas eller inte när de sammanfaller, så kommer det bildas en höjning eller minskning av tryck- och hastighetsamplitud. För de fall då ljudkällan kontinuerligt sänder ut vågor med samma fasförhållande bildas en stående våg (Nilsson m.fl, 2005). Stående vågor kan synas som lokala minimivärden i reduktionstalet vid de frekvenser där fenomenet uppstår.

2.4.1.4 Koincidens

Koincidens är ett fenomen som uppstår då ljudvågor i luften infaller snett mot en vägg och samspelar med böjvågorna i väggen. När detta inträffar, kommer väggens skivmaterial att svänga med en amplitud, som är ungefär lika stor som partikelförskjutningen i den infallande ljudvågen, vilket leder till att den inkommande vågen i princip blir odämpad och går genom väggen (Andersson, 1998). Denna odämpade våg ger upphov till ett av de lokala minimivärdena i väggens luftljudsisolering.

Vid koincidensfrekvensen f_c , se Figur 2.5, är den infallande ljudvågen som minst dämpad och skapar en lokal minimipunkt i reduktionstalet. Den uppstår när böjvågorna i väggen och de infallande vågorna, vid en viss vinkel, har exakt samma våglängd; $\lambda_B = \lambda$ (Andersson, 1998), enligt Figur 2.5.



Figur 2.6 Illustration av hur koincidens uppkommer, där λ_B är väggens våglängd och λ är de infallande ljudvågornas våglängd.

Andersson skriver vidare att koincidensfrekvensen, f_c , bestäms av ett materials massa per ytenhet och böjstyvhet enligt 2.9.

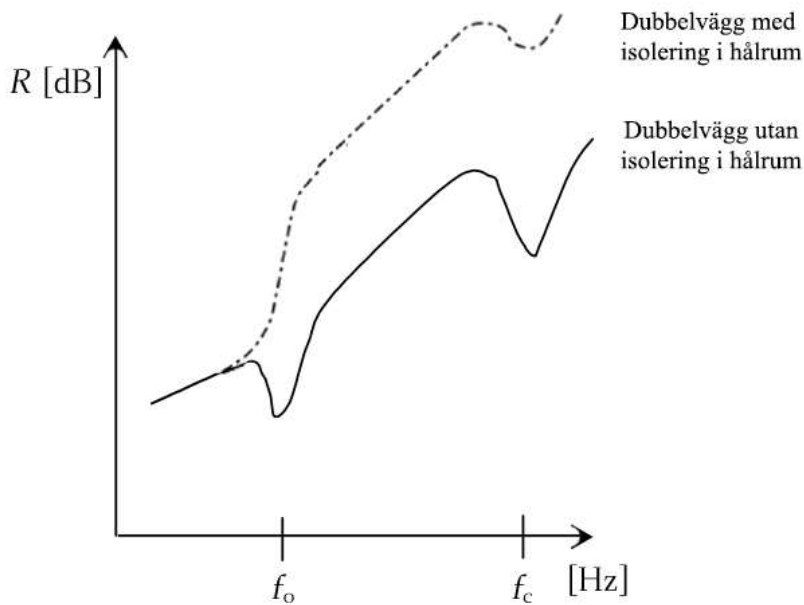
$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{12m''}{Eh^3}} \quad (2.9)$$

Där m'' är materialets massa per ytenhet, kg/m^2 . c är ljudets hastighet i materialet, m/s . E är materialets elasticitetsmodul, i Pa . h är väggens tjocklek, m (Andersson, 1998).

2.4.1.5 Dämpningseffekt av isolering i hålrum

För att öka reduktionstalet i en lättkonstruktionsvägg kan man sätta in en isolering, som vanligtvis är mineralull. Mineralullen fungerar inte som isolering, utan påverkar hålrummets egenskaper genom att omvandla energin i ljudvågorna till värmeenergi (Nilsson m.fl, 2005).

Figur 2.6. visar hur isolering kan påverka de tidigare nämnda fenomenen som framkallar lokala minskningar i reduktionstal, samt den generella ökningen av väggens ljudisolering.



Figur 2.7 . Generell kurva på reduktionstal för symmetrisk lättkonstruktionsvägg vid olika frekvenser för en dubbelvägg med och utan isolering i hålrummet. f_0 = grundfrekvens, f_c = koincidensfrekvens

3 Experimentell metod

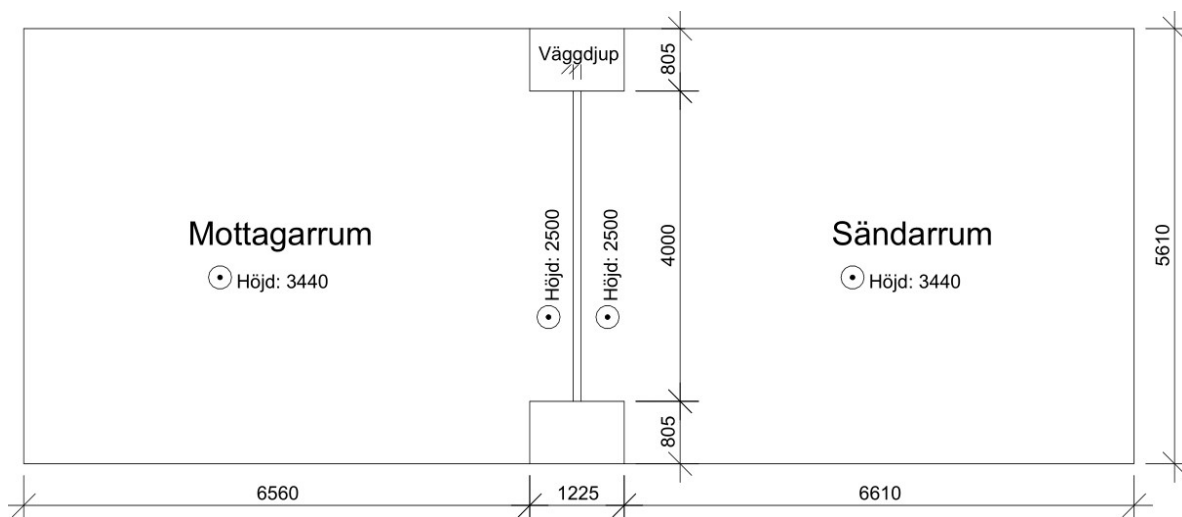
I detta kapitel förklaras de krav som ställs på mätningarna, vilka förutsättningar som fanns i akustiklaboratoriet och hur testerna gick till.

3.1 Förutsättningar

Mätningarna är utförda i akustiklaboratoriet vid LTH. Laboratoriet är utformat med två rum intill varandra med en öppning på $4 \times 2,5$ m² där de olika väggkonstruktionerna byggs upp. Rummens väggar är klädda med kakel. Golv och tak är av betong. Ytskikten är utvalda för att vara hårda och ha en låg absorptionskoefficient för att reflektera så mycket som möjligt av det infallande ljudet tillbaka ut i rummet.

Enligt ISO 10140–5:2021 ska vardera rum vara minst 50 m³ men de ska inte vara lika stora. Detta krav uppfylls. Däremot rekommenderas en skillnad i rumsvolym på minst 10% mellan sändar- och mottagarrummet vilket inte uppfylls, eftersom rummen är nästintill identiska i volym, men detta är endast en rekommendation. En skiss av labbets dimensioner presenteras i Figur 3.1.

ISO 10140–5:2021 ställer även krav på att efterklangstiden inte ska vara för lång eller kort, utan den bör ligga på 1–2 s för frekvenser över 100 Hz. Om efterklangstiden ligger utanför det angivna spannet bör rummet förses med diffusorer. På grund av arbetets omfattning togs ingen hänsyn till detta.



Figur 3.1 Planskiss av akustiklabbet.

Väggen som skiljer sändarrummet från mottagarrummet är en betongvägg med en tjocklek på 1225 mm. I skiljeväggen finns en 4 m bred och 2,5 m hög öppning där olika testkonstruktioner kan monteras. Enligt ISO 10140-5:2021 ska testöppningen vara ca 10 m², vilket uppfylls.

3.2 Konstruktion

Under testerna användes tre olika skivmaterial i olika kombinationer. Det var 12,5 mm normalgips (Gyproc GNE 12,5) med måtten 2500 x 900 mm, 12 mm plywood med samma mått och till sist Recomas byggskiva basic som hade tjockleken 12 mm. Recomaskivan levererades i måtten 2500 x 1250 mm och hade en mindre variation i tjocklek mellan skivorna. Vissa mätningar utfördes med en mineralull i väggen och då användes Isover piano 95. Regelstommen byggdes med Gyprocs ljudregel XR 95 som är anpassad för väggar där ljudisoleringen är i fokus. Reglarna ställdes i en plåtprofil med ljudtätningstaster (Gyproc AC 40 ACOUnomic). Väggens stomme byggdes med ett c/c avstånd på 450 mm mellan reglarna. Stommens utformning visas i Figur 3.2.

Infästning av skivor gjordes enligt Gyprocs monteringsanvisning, där skruvarna monteras med 200 mm avstånd längs skivornas långsidor, och med 300 mm mellanrum i skivans mitt. För väggar med två skikt fästes skivorna så att skarvar på den innersta och yttersta skivan inte överlappar, vilket innebär att den yttre skivan förskjuts med 450 mm jämfört med den inre. Vid infästning av enkelskikt användes 25 mm skruv, och vid dubbelskikt 38 mm skruv. Monteringsanvisningen och skruvtyper var avsedda för gipsskivor, men användes för samtliga väggtyper.



Figur 3.2 Den monterade stommens utformning.

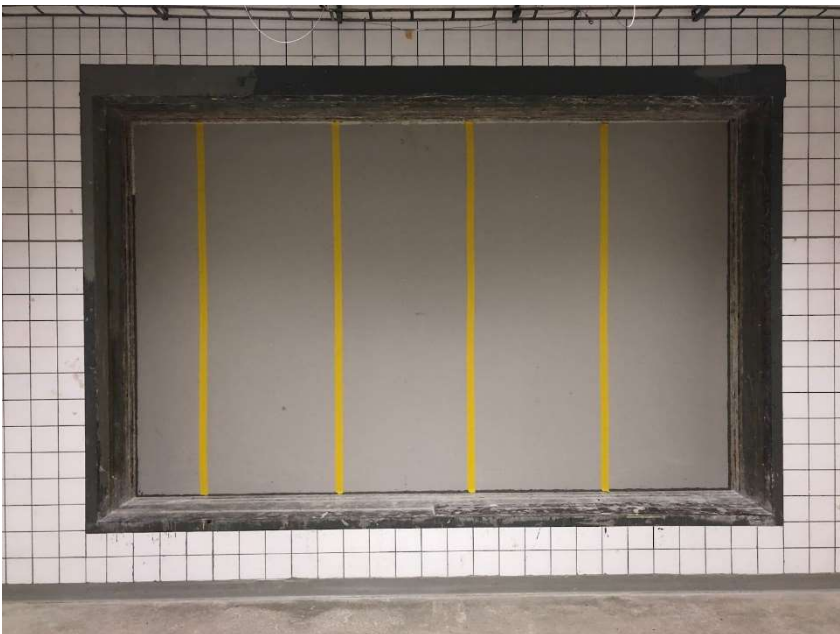
3.3 Åtgärder för lufttätet

Eftersom det är av stor vikt för luftljudsisoleringen att väggen är lufttät är det noga att springor som uppstår tätas. För att få en bättre lufttätet användes två åtgärder för samtliga väggar: tätning längs mötet mellan testvägg och befintlig betongvägg och tätning längs med skarvar mellan skivor. Tätning mellan testvägg och befintlig vägg görs vanligtvis med en mjukfog av något slag, men eftersom arbetet krävde att ett flertal väggtypen skulle monteras och demonteras så användes en modellera, som kunde återanvändas vid tätning av samtliga väggar, se Figur 3.3.



Figur 3.3 Tätningsslera längs mötet mellan testvägg och befintlig betongvägg.

Vanligtvis tätas skarvar i väggkonstruktioner med spackel, För att efterlikna detta användes tejp längs skarvarna. Tejpen var endast nödvändig på väggar som bestod av ett lager skivmaterial. Exempel på hur denna tätning ser ut visas i Figur 3.4.



Figur 3.4 Tätning med tejp längs skarvar.

3.4 Uppställning

3.4.1 Riktlinjer för positionering av högtalare och mikrofon

ISO 10140–4:2021 innehåller olika krav på högtalar- och mikrofonpositioner, som är generella för de olika mätningar som genomförs under laborationen. Standarden anger bl.a. att mikrofonerna ska vara asymmetriskt uppställda och en rad minimiavstånd. Minimiavstånden är:

- 0,7 m mellan fasta mikrofonpositioner
- 0,7 m mellan mikrofon och rumsavgränsande yta
- 1 m mellan mikrofon och testelementet
- 1 m mellan mikrofon och högtalare



Figur 3.5 Högtalare och förstärkare som har tilldelats en placering i sändarrummet utifrån de krav som ställs i ISO 10140–4:2021.

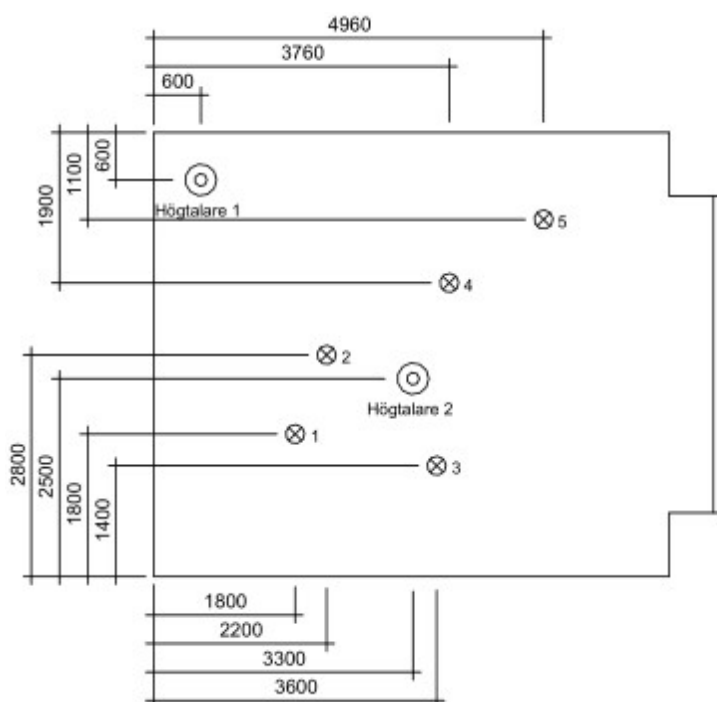
3.4.2 Mätning av efterklangstid

I kapitel 2.2 framgår det att ytornas förmåga att absorbera ljud påverkar rummets efterklang. Därför genomfördes en mätning av efterklangstid i

rummet för respektive ytmaterial på testväggen. Efterklangstiden används för att beräkna reduktionstalet, R , men då den inte visar på väggens förmåga att reducera luftljud presenteras inte de olika efterklangstiderna.

Mätning av efterklangstid utfördes enligt Svensk Standard ISO 10140–4:2021, som används vid mätning av ljudisolering hos byggnadselement i laboratorium. Standarden innehåller krav och rekommendationer för de mätprocedurer som används vid mätning av efterklangstid. Den mätmetod som användes i arbetet var den avbrutna brusmetoden med fixerade mikrofonpositioner. Den valda metoden går ut på att fylla ett rum med brus och sedan avbryta ljudkällan för att mäta hur lång tid det tar för ljudet att avta. Standarden säger att man helst ska mäta efterklangstiden i intervallet först när ljudnivån redan sjunkit 5 dB från den inledande ljudnivån, till att den minskat med ytterligare 20 dB. Dock får den lägsta ljudnivån som minst vara 10 dB högre än rummets bakgrundsljud.

Standarden anger även att det minsta antalet mätningar för varje frekvensband är sex. Detta krav kan uppnås med antingen en högtalarposition med sex mikrofonpositioner, eller med två högtalarpositioner med tre mikrofonpositioner. I detta arbete användes fem mikrofonpositioner och en högtalare med två högtalarpositioner, med uppställning enligt Figur 3.7.

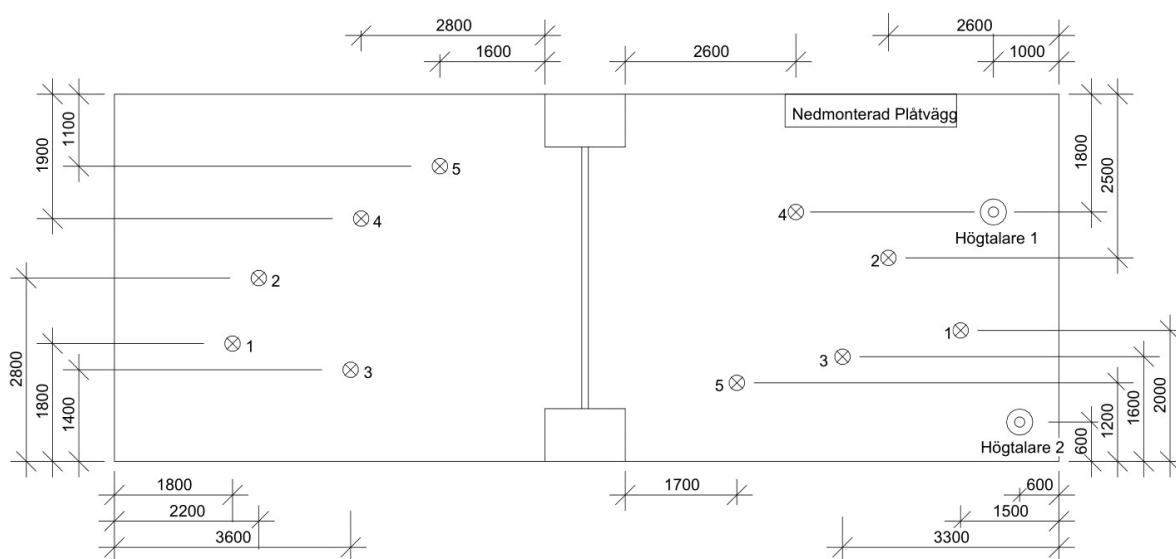


Figur 3.6 Placering av högtalare och mikrofoner vid mätning av efterklangstid med den avbrutna brusmetoden med fixerade mikrofonpositioner.

3.4.3 Mätning av luftljudsisolering

När mätningar för luftljudsisolering utförs i ett laboratorium kan de utföras på olika sätt. Enligt ISO 10140–2:2021 kan två högtalare användas simultant eller en högtalare som ställs på två olika positioner. Mikrofonen kan man välja att antingen placera i flera fasta positioner eller några färre rörliga positioner där man för mikrofonen i ett av fyra förutbestämda mönster. Vid fältmätningar används vanligtvis metoden med rörliga mikrofonpositioner då det är smidigare och ger en tillräcklig noggrannhet. Målet med testerna är att jämföra de olika materialen, därför valdes metoden med fasta mikrofonpositioner för att inte riskera några variationer mellan olika mätningar.

ISO 10140–2:2021 anger riktlinjer för hur högtalare och mikrofon bör placeras i rummet. Eftersom riktlinjerna inte beskriver exakta positioner togs positionerna som användes vid testerna fram i samråd med handledare från LTH och finns beskrivna i Figur 3.8.



Figur 3.7 Mikrofon- och högtalarpositioner.

För varje vägg som testades, mättes ljudnivån i sändarrummet, mottagarrummet och tills sist bakgrunds-nivån i mottagarrummet. Då endast en högtalare användes, mättes ljudnivån två gånger i varje mikrofonposition, en för varje högtalarposition. Efterklangstiden återanvändes för alla väggar med samma ytskikt eftersom variationen mellan olika väggar med samma ytskiva bedömdes vara försumbar. I varje mikrofonposition utfördes en mätsekvens om 15 sekunder. Enligt ISO 10140–4:2021 ska mätsekvensen vid varje fast position vara minst 6 sekunder vid frekvenser mellan 100 - 400 Hz och inte

mindre än 4 sekunder för de högre frekvenserna, vilket därmed uppfylldes. Mätresultatet utvärderades i frekvensområdet 50-5000Hz för att täcka alla krav som ställs på olika byggnader.

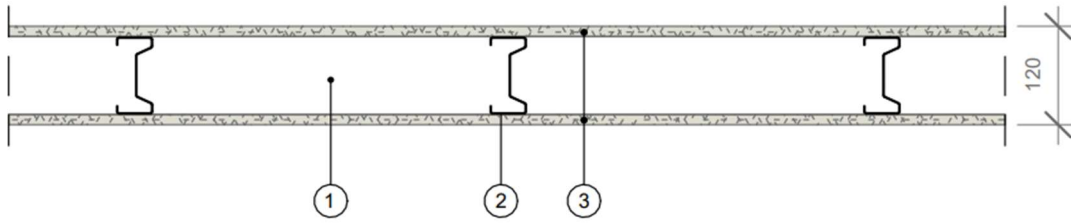
3.5 Utförda mätningar

Mätningar utfördes på tre olika typer av innerväggar: Vägg med en skiva på vardera sida om regelstommen, vägg med två skivor på vardera sida och vägg med två skivor på vardera sida med isolering. Väggreglar, plåtprofiler och isolering är alla valda efter sina goda akustiska egenskaper, detta för att få en tydligare jämförelse av de olika väggskivorna som testats. I avsnitt 3.5.2 presenteras de väggar som testats i den ordning som de testades. Ordningen de är testade i är noga planerad för att effektivisera arbetets gång och inte behöva montera upp och ned skivor i onödan.

3.5.1 Väggtyper

Vägg 1-3 är idag vanligt förekommande i branschen. Det är väggar med R_w -värde på 35, 44 och 52 dB. 35 dB är ett vanligt förekommande krav på väggar mellan kontor, 44 dB används ofta in till mötesrum och 52 dB används för väggar in till rum med sekretesskrav. Därav valdes de som referensväggar för projektet. Syftet med att ha referensväggar att jämföra med är att det kan uppstå stora skillnader i resultat dels mellan olika laboratorier och dels mellan laboratorie- och fältmätningar. Eftersom det i många projekt önskas en träskiva i väggen för möjligheten till upphängning av tyngre saker på väggarna så gjordes valet ta med vägg 4–6 bland testobjekten. På vägg 7–11 sitter Recomaskivan monterad, vissa väggar har endast Recomaskivor och andra en blandning av Recomaskivor och gipsskivor.

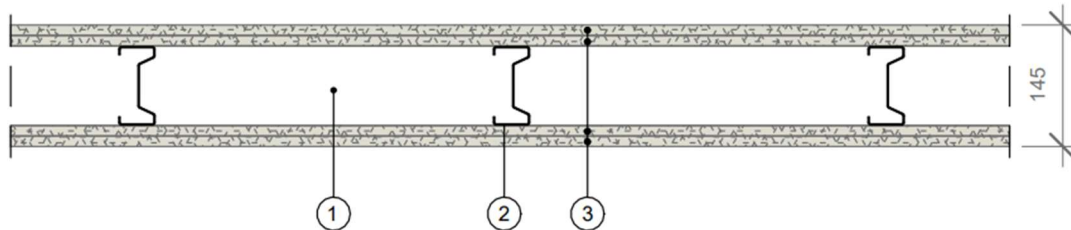
Vägg 1



1. Kantprofil Gyproc 95/40 ACOUnomic (golv, vägg och tak)
2. Regel Gyproc XR 95, c 450 mm
3. 2 x 12.5 mm Gyproc Gipsskivor

Figur 3.8 Horisontellt snitt av vägg 1.

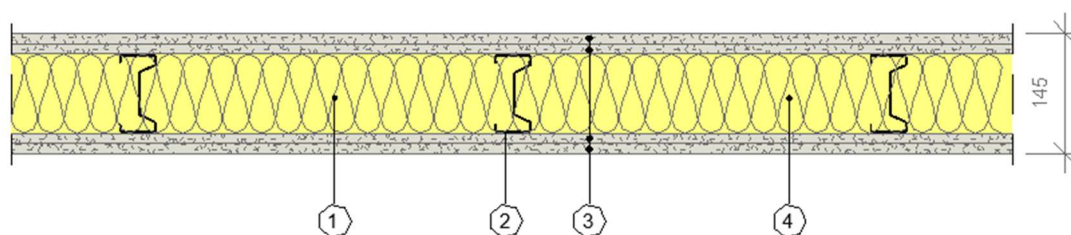
Vägg 2



1. Kantprofil Gyproc 95/40 ACOUnomic (golv, vägg och tak)
2. Regel Gyproc XR 95, c 450 mm
3. 4 x 12.5 mm Gyproc Gipsskivor

Figur 3.9 Horisontellt snitt av vägg 2.

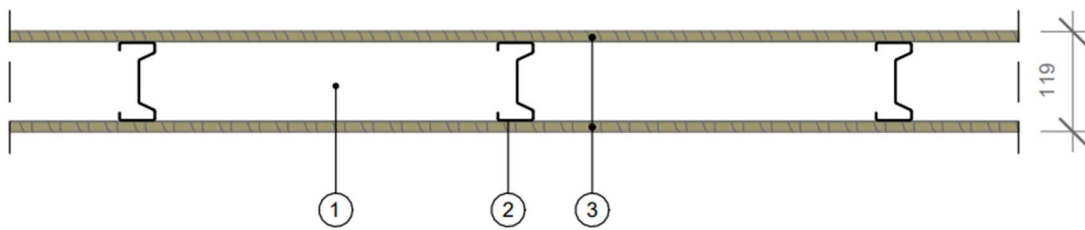
Vägg 3



1. Kantprofil Gyproc 95/40 ACOUnomic (golv, vägg och tak)
2. Regel Gyproc XR 95, c 450 mm
3. 4 x 12.5 mm Gyproc Gipsskivor
4. 95 mm mineralull

Figur 3.10 Horisontellt snitt av vägg 3.

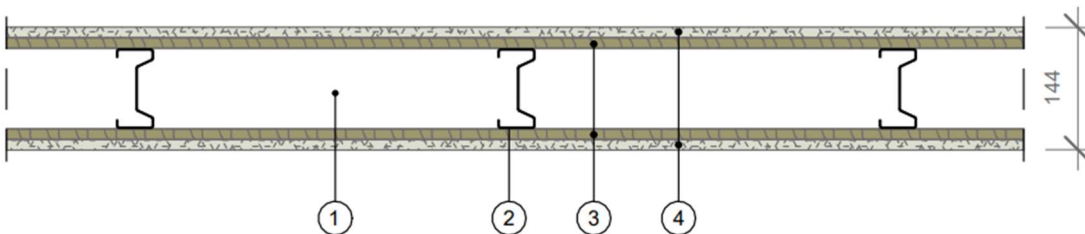
Vägg 4



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

Figur 3.11 Horisontellt snitt av vägg 4.

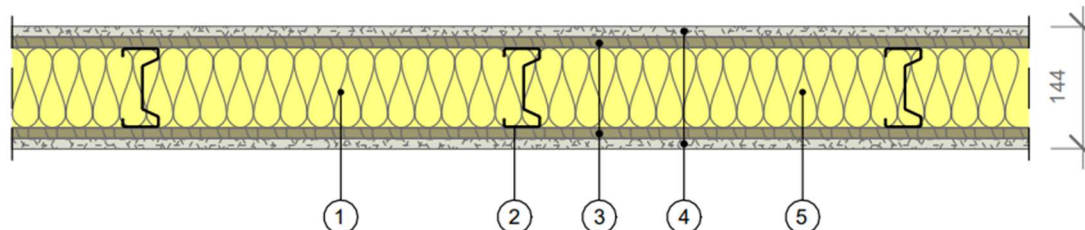
Vägg 5



1. Kantprofil Gyproc 95/40 ACOUnomic (golv, vägg och tak)
2. Regel Gyproc XR 95, c 450 mm
3. 2 x 12 mm Plywoodskivor
4. 2 x 12.5 mm Gyproc Gipsskivor

Figur 3.12 Horisontellt snitt av vägg 5.

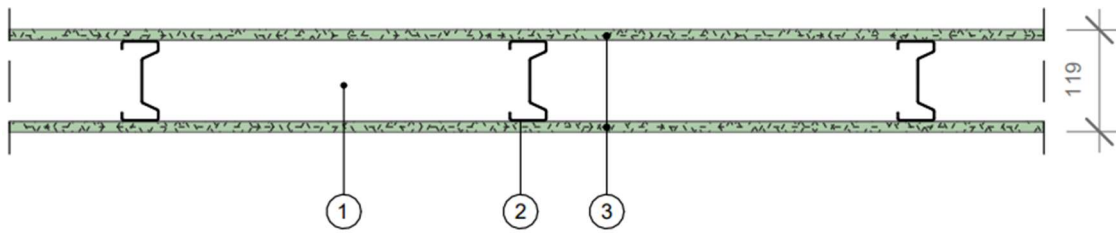
Vägg 6



1. Kantprofil Gyproc 95/40 ACOUnomic (golv, vägg och tak)
2. Regel Gyproc XR 95, c 450 mm
3. 2 x 12 mm Plywoodskivor
4. 2 x 12.5 mm Gyproc Gipsskivor
5. 95 mm mineralull

Figur 3.13 Horisontellt snitt av vägg 6.

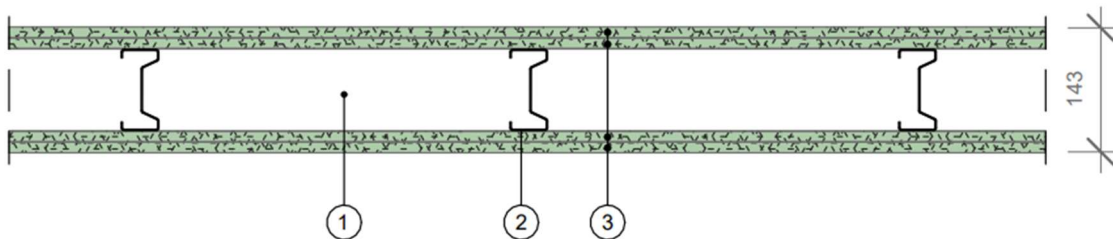
Vägg 7



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

Figur 3.14 Horisontellt snitt av vägg 7.

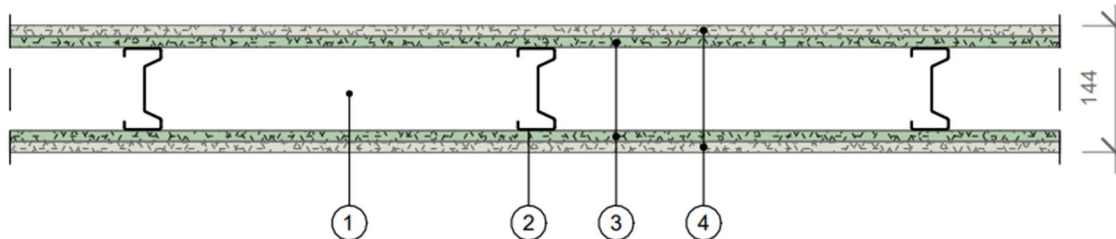
Vägg 8



1. Kantprofil Gyproc 95/40 ACOUnomic (golv, vägg och tak)
2. Regel Gyproc XR 95, c 450 mm
3. 4 x 12 mm Recomaskivor

Figur 3.15 Horisontellt snitt av vägg 8.

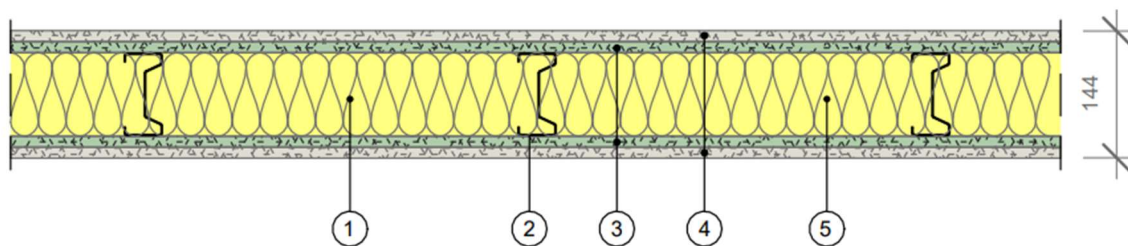
Vägg 9



1. Kantprofil Gyproc 95/40 ACOUnomic (golv, vägg och tak)
2. Regel Gyproc XR 95, c 450 mm
3. 2 x 12 mm Recomaskivor
4. 2 x 12.5 mm Gyproc Gipsskivor

Figur 3.16 Horisontellt snitt av vägg 9.

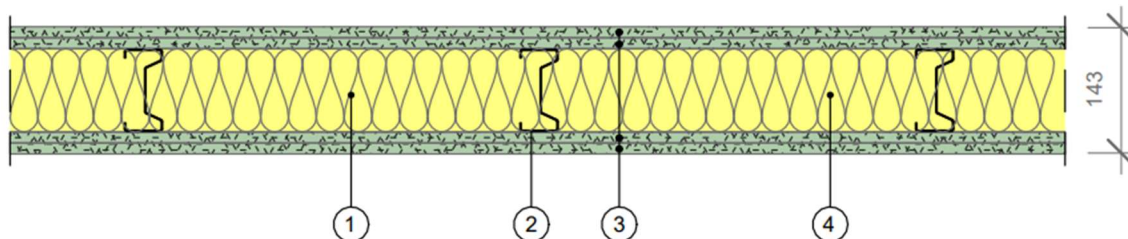
Vägg 10



1. Kantprofil Gyproc 95/40 ACOUnomic (golv, vägg och tak)
2. Regel Gyproc XR 95, c 450 mm
3. 2 x 12 mm Recomaskivor
4. 2 x 12.5 mm Gyproc Gipsskivor
5. 95 mm mineralull

Figur 3.17 Horisontellt snitt av vägg 10.

Vägg 11



1. Kantprofil Gyproc 95/40 ACOUnomic (golv, vägg och tak)
2. Regel Gyproc XR 95, c 450 mm
3. 4 x 12 mm Recomaskivor
4. 95 mm mineralull

Figur 3.18 Horisontellt snitt av vägg 11.

3.5.2 Arbetsgång

Det första som gjordes var att bygga upp stommen som skulle användas för alla väggtyper. Detta gjordes genom att först fästa plåtprofiler i golv, tak och väggar. Sedan monterades regler vertikalt mellan plåtprofilerna med ett c/c-avstånd på 450 mm. Därefter monterades skivmaterialen som skulle användas för respektive vägg. För de väggar som hade två skikt försköts den yttre skivan med 450 mm i relation till bakomliggande. Därefter tätades väggarna med modellerade längs väggens omkrets på båda sidor och för de väggarna med endast ett skikt av skivor tejpades skarvarna.

Efter väggens färdigställande mättes efterklangstiden i rummet. Denna mätning utfördes endast en gång per ytskikt och återanvändes för väggar med samma ytmaterial. Detta utfördes med mikrofon- och högtalarposition enligt Figur 3.7.

Sedan mättes bakgrundsljudet i mottaggarrummet med samma mikrofonpositioner som användes vid mätning av efterklangstid. Sist mättes luftljudsisoleringen av varje vägg enligt uppställningen som visas i Figur 3.8.

4 Mätresultat

I detta kapitel presenteras mätresultaten från de utförda testerna och potentiella felfaktorer diskuteras.

4.1 Resultattabell

Mätresultat visas som R_w -värde för varje väggkonstruktion. R_w -värdet jämförs sedan med referensväggen av samma väggtyp och skillnader presenteras som ΔR för att se om det blev en förbättring eller försämring av luftljudsisoleringen. Ett positivt ΔR -värde innebär en förbättring. Resultatet visas i tabell 4.1. För en mer detaljerad redovisning av resultatet från varje mätning finns kurvbladen redovisade i bilaga 1. Eftersom laboratoriet inte uppfyller alla ställda krav i ISO 10140-5:2021 bör R_w -värdet inte användas som tekniskt för väggkonstruktionerna.

Tabell 4.1 Jämförelse av reduktionstalet R_w för samtliga väggar

Väggnr	Skivmaterial	R_w [dB]	ΔR [dB]
Enlayersväggar			
Vägg 1 Referensvägg	Gips	36	
Vägg 4	Plywood	33	-3
Vägg 7	Recoma	39	3
Tvålayersväggar			
Vägg 2 Referensvägg	Gips / Gips	45	
Vägg 5	Gips / Plywood	43	-2
Vägg 8	Recoma / Recoma	49	3
Vägg 9	Gips / Recoma	46	1
Tvålayersväggar med isolering			
Vägg 3 Referensvägg	Gips / Gips	52	
Vägg 6	Gips / Plywood	53	1*
Vägg 11	Recoma / Recoma	58	6
Vägg 10	Gips / Recoma	56	4

*) Resultat avviker från teori, eventuell felfaktor tas upp i kapitel 4.2.

4.2 Eventuella felfaktorer i utförda mätningar

En av de faktorer som bidragit till eventuella fel är valet av skruv, eftersom samtliga skivmaterial skruvades med gipsskruv. Problematiken med gipsskruven ligger huvudsakligen i dess utformning. Den har ett stort huvud som normalt försänks i gipsen, men för hårdare och styvare material som plywood, så leder detta till att skruven inte alltid fäster i bakomliggande regel.

Återanvändning av material var en annan faktor som kan ha påverkat resultatet, och som potentiellt gav större inverkan på resultatet hos de väggar som byggdes i senare skede. De delar som återanvändes var regler, plåtprofiler och skivmaterial. Resultatet av återanvändningen blev hål från tidigare skruvar.

Recomas återvunna skivor levererades i bredden 1250 mm, och behövde därför sågas på längden med en cirkelsåg. Detta resulterade i att skarvarna mellan skivorna blev något större och med viss variation, jämfört med skivor med fabrikskant.

Monteringen av vägg 6 skiljer sig från hur de andra väggarna monterades. Plywooden i första lagret skruvades glesare än de tidigare skivorna skruvats, ca 50–60 cm mellan skruvarna. Detta gjordes då den yttre gipsen skulle skruvas i samma regel och därmed skulle den inre plywooden få full infästning. Gipsen som användes var återanvänd från tidigare väggar och därmed tillskuren och färdig för montering. Den första gipsskivan som monterades var anpassad för sista regelfacket där c/c avståndet var ca 10 cm mindre än resterande regler, detta resulterade i att alla skruvrader för gipsen hamnade bredvid reglarna. Eftersom det var plywood i det första lagret så fäste gipsskruven bra. Resultatet av denna montering gjorde väggen mindre styv vilket skulle kunna förklara att denna vägg hade en bättre luftljudsisolering än referensväggen.

5 Diskussion

I detta kapitel diskuteras mätresultaten och jämförelser utifrån kurvorna av de olika väggarna utförs för att se på styrkor och svagheter hos de olika materialen. Dessutom diskuteras trovärdigheten på arbetet.

5.1 Diskussion av mätresultat

Här diskuteras och jämförs mätningarna av de olika väggtyperna var för sig. Punkter som analyseras är grundresonansen, var koincidensenfrekvensen infaller, och om några tydliga försämringar av reduktionstalet uppstår p.g.a. exempelvis stående vågor. Skillnader i R_w -värdet presenteras i kapitel 4.1 och dessa diskuteras inte närmare i detta kapitel

5.1.1 Enlagersvägg

I Figur 5.1 presenteras resultat från de mätningar som genomförts på väggar med ett skikt skivor. Genom att jämföra kurvorna i figuren går det dra slutsatser om hur väggarna förhåller sig till varandra och om den bakomliggande teorin stämmer överens med resultatet.



Figur 5.1 Jämförelse av reduktionstal vid olika frekvenser för samtliga enlayersväggar.

Längst ned i intervallet, vid de lägsta frekvenserna i intervallet 50–60 Hz, beter sig väggarna väldigt likt varandra. Detta överensstämmer väl med den bakomliggande teorin (2.4.2.1) för lättkonstruktionsväggar vid väldigt låga frekvenser, där endast massan och väggens tjocklek är avgörande. Eftersom väggarnas tjocklek är samma för de tre olika väggarna, är det massan som är avgörande; en tyngre vägg får ett bättre reduktionsvärde, och detta återspeglas i Figur 5.1, där densiteten för plywood är lägst, följt av gips och sen Recoma som har högst densitet.

Vid 60 Hz sker en förändring i utvecklingen av kurvorna, där reduktionstalet för väggarna inte stiger lika mycket som tidigare, eller sjunker. Anledningen till den försämrade luftljudsisoleringen verkar vara att grundresonansfrekvensen ligger kring 80 Hz för samtliga enlayersväggar.

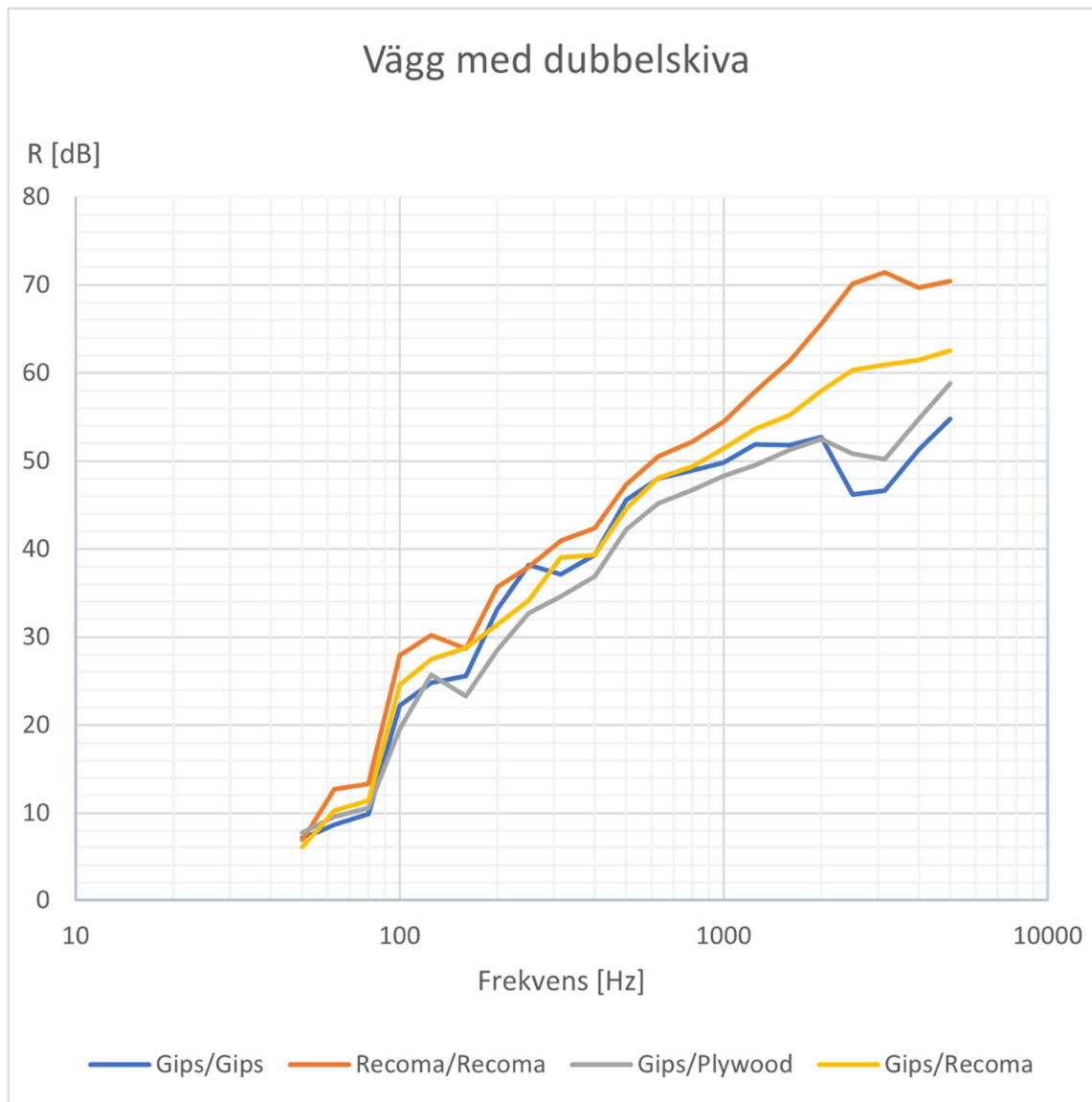
Enligt mätresultaten ger grundresonansen upphov till en försämring av reduktionstalet för gipsen, som inte finns vare sig i Recoma- eller plywoodväggen. För dessa väggar bildas istället en plåtå i reduktionstalet.

I intervallet 200–2000 Hz finns det områden med en lokal minskning i reduktionstal, vid 160 Hz och 400 Hz. Dessa tros bero på stående vågor i väggen. Som framgår i teorin (2.4.2.3) så beror stående vågor på hålrummets vidd och denna är samma för de tre väggtyperna. Detta innebär att det borde förekomma stående vågor för samtliga väggar vid dessa frekvenser. Dock är fenomenet tydligast för gipsväggen.

Vid höga frekvenser är det förväntade resultatet för lättväggskonstruktioner en minskning av reduktionstalet vid koincidens. Denna försämring framgår tydligt för gipsskivan mellan 2000 och 5000 Hz, som verkar ha en koincidensfrekvens vid 3000 Hz. För de andra två skivorna är det inte lika enkelt att klargöra var försämringen hamnar. Enligt bakomliggande teori för koincidens (2.4.2.4) så ökar koincidensfrekvensen med högre massa och lägre böjstyvhets. Med teorin i åtanke bör plywoodens minimipunkt därför hamna vid en lägre frekvens än gips, eftersom den är lättare och har högre böjstyvhets, och kan därför antas vara den lokala minskningen kring 2000 Hz. Kurvan för recomaskivan har en antydning till koincidens vid de absolut högsta frekvenserna som mättes under våra mätningar i akustiklabbet, men det går inte sätta ett definitivt värde för dess koincidensfrekvens.

5.1.2 Tvålayersväggar

I Figur 5.2 presenteras resultat från de mätningar som genomförts på väggar med två skikt skivor. Genom att jämföra kurvorna i figuren går det dra slutsatser om hur väggarna förhåller sig till varandra och om den bakomliggande teorin stämmer överens med resultatet.



Figur 5.2 Jämförelse av reduktionstal vid olika frekvenser för samtliga tvålayersväggar.

Som figuren visar infaller grundresonansen för samtliga väggar mellan 60–80 Hz som sedan följs av en kraftig förbättring av reduktionstalet i frekvenserna upp till 100 Hz. Denna förbättring är kraftigare än den som följer grundresonansen i enlayersväggarna, vilket kan förklaras av den extra massan från ett extra skikt skivor som blir i tvålayersväggar. Skivan från Recoma är

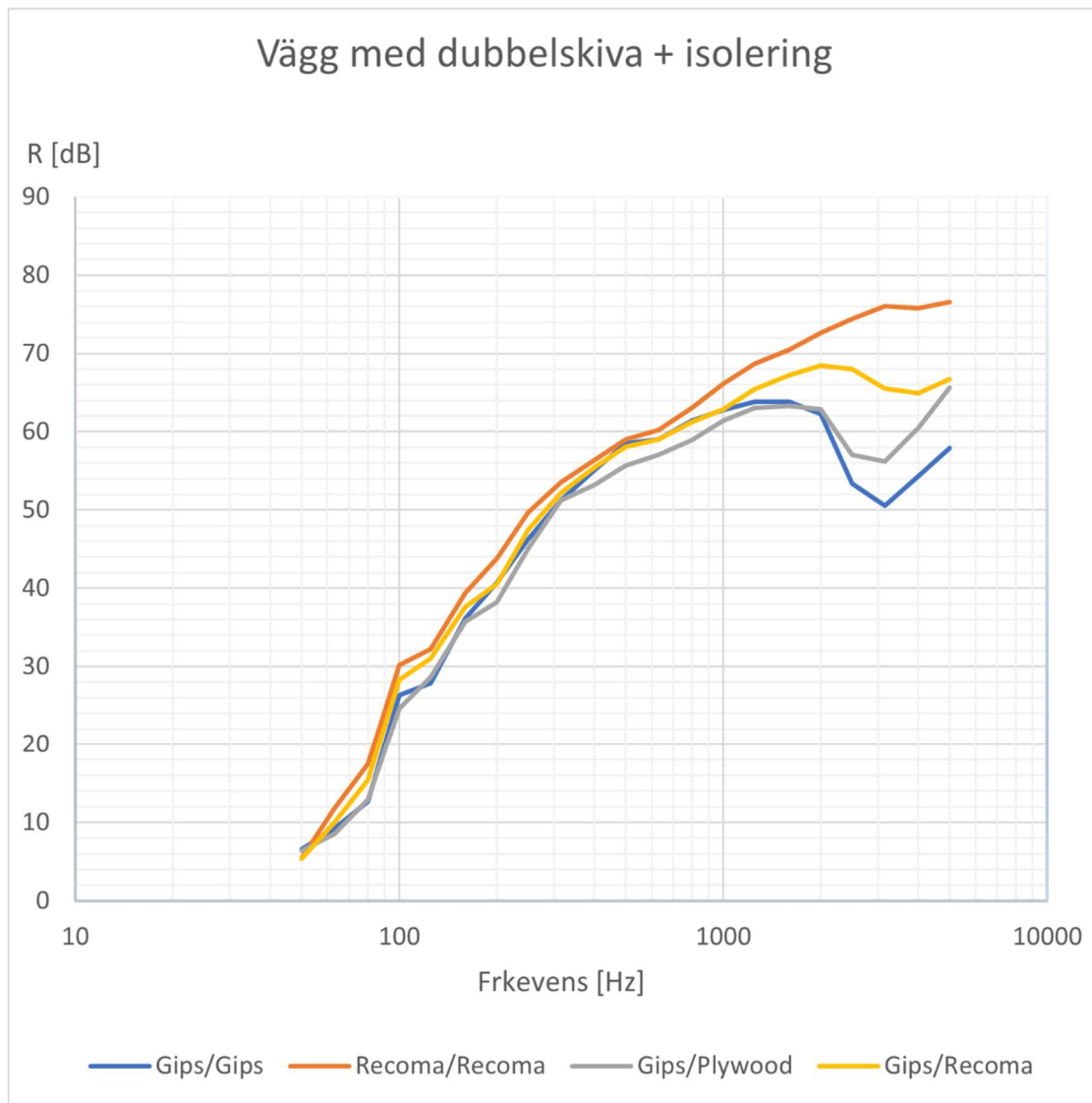
den tyngsta av de skivor som testats och har därmed ett högre reduktionstal vilket stämmer överens med den presenterade teorin i avsnitt 2.4.2.2.

I frekvenserna 100–1000 Hz följer kurvorna generellt varandra, med en skillnad på ca 6–8 dB mellan väggarna med högst gentemot lägst reduktionstal. I detta intervall sker två tydliga försämringar i reduktionstalet där väggkonstruktionerna följer varandra. Den första vid ca 180 Hz och den andra vid ca 400 Hz, dessa skulle kunna förklaras av att det infaller en stående våg i dessa frekvenser. Det går även att se lokala försämringar som inte sker vid samma frekvens för de olika väggarna vilket skulle kunna bero på skillnader i egenskaper hos de olika materialen.

De största skillnaderna i ljudreduktion mellan väggkonstruktionerna är i de höga frekvenserna, över 1000 Hz. Vid avläsning av kurvan når väggen med två skikt av gips sin koincidensfrekvens vid omkring 2000 Hz, därefter följer en kraftig försämring i reduktionstalet. Detsamma gäller väggen med gips/plywood men denna vägg har en försämring som inte är lika markant. Väggen med gips/recoma som skivmaterial verkar inte nå sin koincidensfrekvens inom mätområdet utan den kan tänkas komma högre än 5000 Hz. Den sista konstruktionen, med dubbel Recoma, har en brantare kurva mellan frekvenserna 1000–3000 Hz och har sedan en antydning till en koincidens efter 3000 Hz. Denna minskning av reduktionstalet är inte lika kraftig som den för gipsen.

5.1.3 Tvålagersväggar med isolering

I Figur 5.3 presenteras resultat från de mätningar som genomförts på väggar med två skikt skivor och isolering. Genom att jämföra kurvorna i figuren går det dra slutsatser om hur väggarna förhåller sig till varandra och om den bakomliggande teorin stämmer överens med resultatet.



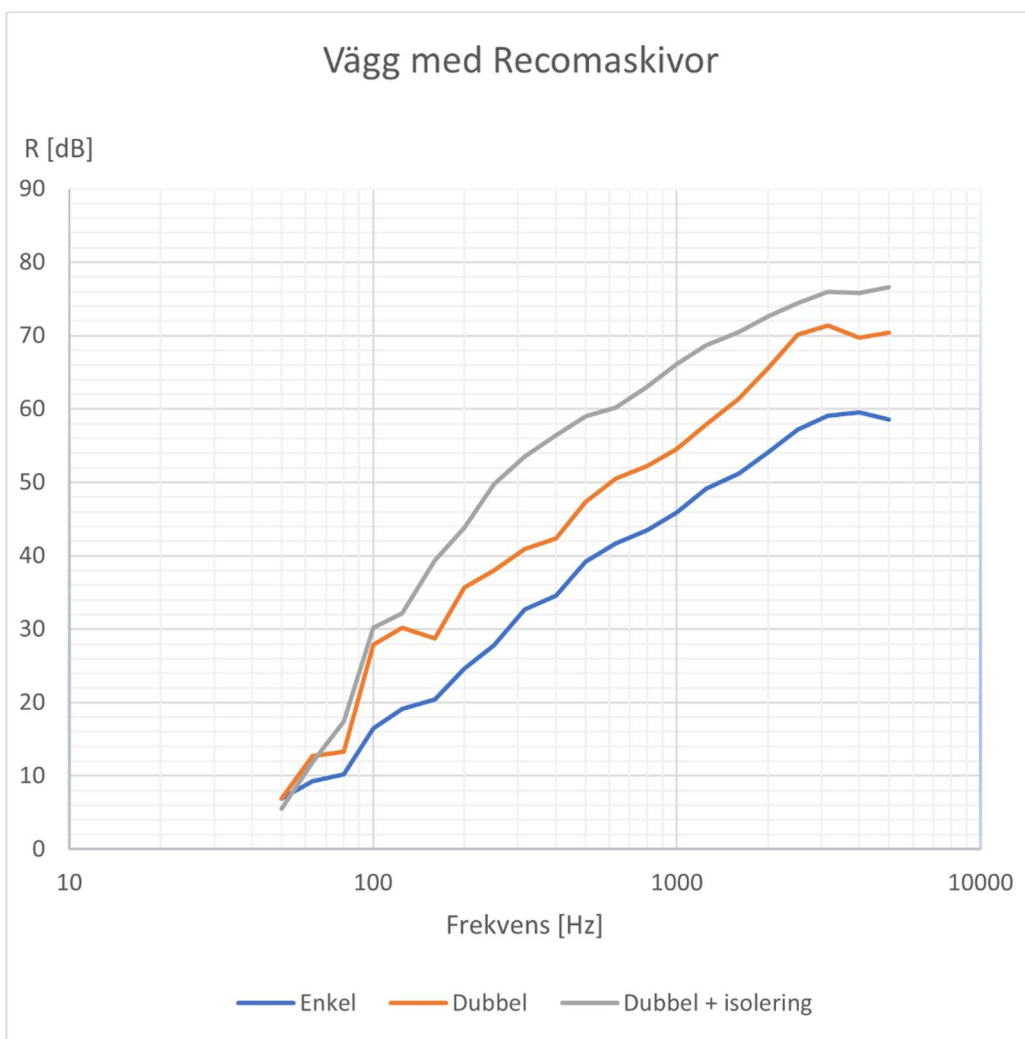
Figur 5.3 Jämförelse av reduktionstal vid olika frekvenser för samtliga tvålagersväggar med isolering.

Generellt för alla väggar med isolering är att reduktionstalen är högre vid samtliga frekvenser jämfört med tidigare väggar. Vid en första anblick av kurvorna för tvålagersväggar med isolering, går det att se att samtliga väggar har ett liknande beteende vid låga frekvenser. Kurvorna följer varandra väldigt väl, med små skillnader i reduktionstalet, upp till frekvenser omkring 1000 Hz. Detta antas bero på att konstruktioner med isolering är så pass optimerade att skillnaderna i materialegenskaper får en mindre inverkan på

ljudreduktionen. Vid ca 1000 Hz och framåt går det utläsa en större spridning mellan de olika väggkonstruktionerna. Vid de här frekvenserna är det återigen, precis som för tvålayersväggar utan isolering, skivmaterialen som påverkar kurvornas utseende på grund av koincidens. Genom att jämföra Figur 5.2 och 5.3 går det se att koincidensfrekvenserna för väggarna inte förändras när isoleringsmaterial sätts in i konstruktionen, däremot sker större försämringar när koincidensfrekvensen nås jämfört väggarna utan isolering. Trots den större försämringen är reduktionstalet högre med isolering i väggen.

5.2 Utvärdering av Recomaskivan

Enligt samtliga mätningar ger Recomaskivan högre luftljudsisolering än referensväggarna. Oavsett om den används i en enlayersvägg, tvålayersvägg eller tvålayersvägg med isolering, verkar skivan prestera likvärdigt eller bättre än övriga skivmaterial vid samtliga frekvenser. Vid de högsta frekvenserna, 2000 Hz och högre, uppnår Recomaskivan högst reduktionstal. Skivorna tycks nämligen inte påverkas av koincidens i samma utsträckning som de andra materialen. Detta resulterar i att de knappt har en lokal minskning i reduktionstalet i de höga frekvenserna (se Figur 5.4).



Figur 5.4 Sammanställning av resultat för samtliga Recomaskivor.

Sett till luftljudsisolering har inga negativa aspekter noterats med Recomaskivan. Dess uppmätta ljudreduktion är bättre än de andra skivorna. Ur en byggnadsakustisk synvinkel sett till luftljudsisolering hade den återvunna skivan kunnat ersätta både gips och plywood i lättkonstruktionsväggar. Baserat på den praktiska erfarenheten av bearbetning och montage av Recomaskivan bedöms utbyte av gips och plywood mot Recoma vara praktiskt genomförbart, då den har hög infästningsstyrka samt ett slätt ytskikt som kan ytbehandlas med traditionella metoder såsom spackling, målning och tapetsering. Gipsen har dock andra egenskaper än ljudisolering, den är även beständig mot brand, och används ofta när det finns brandkrav på en vägg.

5.3 Osäkerheter i arbetet

Arbetet är utfört som examensarbete för kandidatexamen. Eftersom arbetet är begränsat i tid, budget och omfattning är det rimligt att diskutera resultatets riktighet. I arbetet har flera eventuella felfaktorer tagits upp. Dessa har uppstått främst på grund av arbetets storlek, som är småskaligt. I ett större arbete hade flera av felfaktorerna kunnat undvikas. Då hade rätt skruv för respektive material använts, vilket hade underlättat infästning av skivor. En annan faktor som togs upp var skruvhål från återanvända skivor. Återanvändningen var nödvändig för detta småskaliga arbete, men i en mer påkostad mätning hade nya skivor använts för varje vägg. Den sista nämnvärda felfaktorn var att skivorna behövde sågas och skäras manuellt när de inte passade utformningen av regelstommen. Skivor går beställa i specifika mått, och om detta hade gjorts hade skarvar mellan skivor inte blivit lika stora. För att felfaktorerna inte skulle göra någon större inverkan på mätresultaten, utfördes dock förebyggande åtgärder: tejpning över skarvar och gamla skruvhål samt modellera vid möte mellan testväggar och befintlig betongkonstruktion. Utan åtgärderna är det troligt att dessa glipor hade blivit dimensionerade för den uppmätta ljudreduktionen. Felfaktorerna och lösningarna är inte specifika för detta arbete. Oavsett vilken skala arbetet har så krävs det åtgärder vid otätheter.

Alla väggar som jämfördes med varandra konstruerades på samma sätt, och mätningarna utfördes för samtliga väggar enligt den valda standarden. De felfaktorer som finns i arbetet återkommer i samtliga väggkonstruktioner och åtgärdas på samma sätt för väggarna de jämförs med. Eftersom väggarna är bedömda på samma sätt och har tillverkats likformigt, anses resultaten kunna användas i jämförande syfte. Arbetet visar även tydliga tendenser i beteendet hos väggarna, som återkommer för alla väggar av samma material. Resultaten bör dock endast användas i jämförande syfte.

6 Slutsats

I samhället pågår en stor klimatomställning för att klara de nationella och internationella mål som är satta. I och med detta nya miljötank som följer omställningen uppstår företag som Recoma. Recoma erbjuder en byggskiva som är gjord av 100% återvunna kompositförpackningar från främst dryckesförpackningar. I byggbranschen finns det väldigt lite erfarenhet av denna nya produkt och informationen som företaget har om produktens materialegenskaper täcker inte alla krav en byggherre eller entreprenör har när den ska välja byggnadsmaterial. För att ge byggnadsakustiker möjligheten att i framtiden bedöma om denna produkt kommer uppfylla de krav på ljudisolering som ställs i respektive projekt, har vi i detta arbete valt att göra tester för att undersöka ljudreduktionen i skivan. I akustiklaboratoriet hos Avdelningen för teknisk akustik på LTH gjordes ljudmätningar på totalt 11 olika väggtyper. Vägghkonstruktionerna hade alla samma regelstomme, sedan varierade vilka skivor som monterades på stommen samt om luftspalten var isolerad eller inte.

Resultaten från mätningarna har jämförts mot resultatet från referensväggarna som byggdes. I de jämförelser som gjordes undersökte vi skillnaden på det vägda reduktionstalet, R_w , mellan olika väggkonstruktioner. Det gjordes också jämförelser i varje oktavband för att se på styrkor och svagheter i olika frekvensspektran. Resultaten visar på att alla konstruktioner med Recomaskiva har ett högre R_w -värde än väggkonstruktioner byggda med de andra byggskivorna. I de kurvblad som presenteras kan man se att den stora skillnaden mellan de olika materialen är i de höga frekvenserna, där Recomas skivor visar på ett markant högre reduktionstal.

Enligt våra tester kan Recomaskivan ersätta både gips och plywood utan att försämra luftljudsisoleringen. För att med större säkerhet visa på skivans ljudreduktion krävs det fler mätningar, både i labb och i fält.

7 Litteraturförteckning

acoustics, i. (den 11 05 2021). *iac acoustics*. Hämtat från <https://www.iac-nordic.se/produkter/akustikavdelning/rum-med-speciella-akustiska-krav/efterklangsrumsrum>

Andersson, J. (1998). *Akustik och buller*. Svensk Byggtjänst.

Bodén, C. G. (1999). *Ljud och vibrationer*. Kungliga Tekniska Högskolan.

Boverket. (den 20 12 2021). *Boverket*. Hämtat från <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/> den 11 05 2022

Nilsson, J. B. (2005). *Grundläggande Akustik*. Lund: Lunds Tekniska Högskola.

Recoma. (den 11 05 2022). *Recoma*. Hämtat från <https://recoma.se>

Rindel, J. H. (2017). *Sound Insulation in Buildings*. Productivity Press.

Svensk Standard. (2013). Byggakustik - Värdering av ljudisolering i byggnader hos byggdelar - Del 1: Luftljudsisolering (ISO 717-1:2013). Svenska institutet för Standarder.

Svensk Standard. (2021). Byggakustik - Mätning av ljudisolering hos byggnadselement i laboratorium - Del 2: Mätning av luftljudsisolering (ISO 10140-2:2021). Svenska institutet för Standarder.

Svensk Standard. (u.d.). Byggakustik - Mätning av ljudisolering hos byggnadselement i laboratorium - Del 4: Mätprocedurer och krav (ISO 10140-4:2021). Svenska institutet för Standarder.

Svensk Standard. (u.d.). Byggakustik - Mätning av ljudisolering hos byggnadselement i laboratorium - Del 5: Krav på provrum och utrustning (ISO 10140-5:2021). Svenska institutet för Standarder.

Vigran. (2008). *Building Acoustics*. Taylor & Francis.

Åkerlöf. (2001). *Byggnadsakustik - En praktisk handbok*. Svensk byggtjänst.

8 Bilagor

Bilaga 1 – Kurvblad för mätningar i laboratorium

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

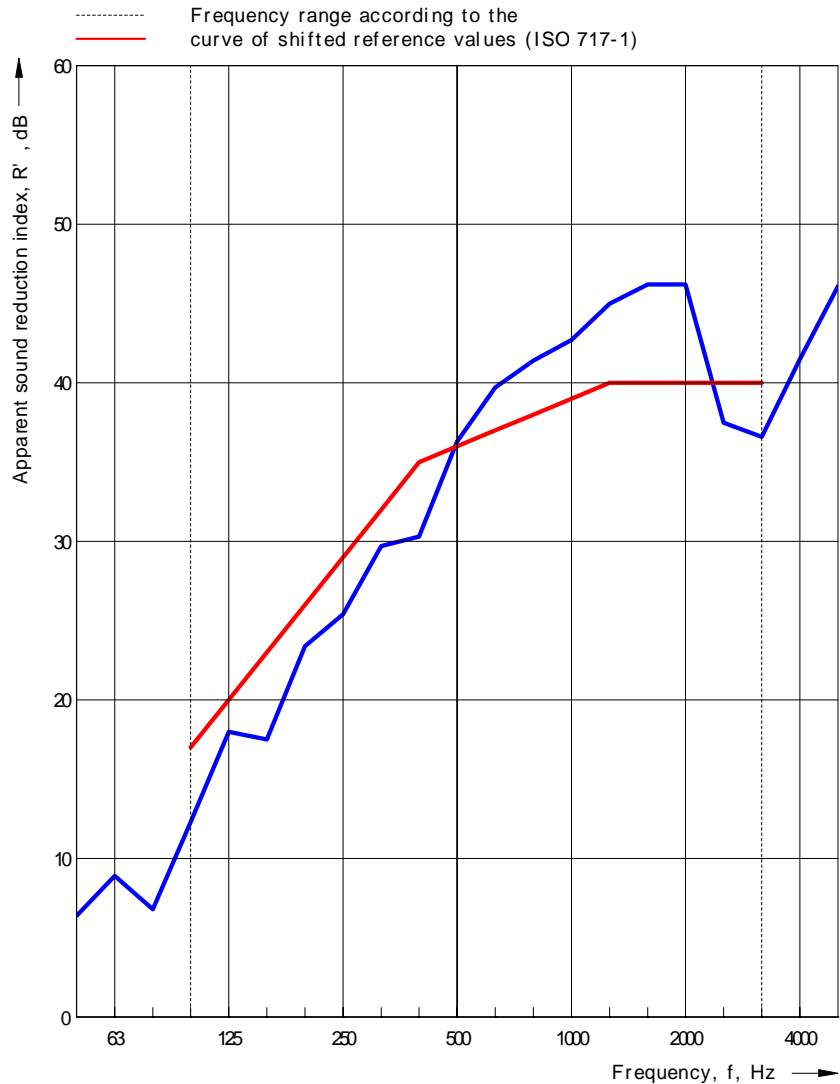
Client:
Description: Mätning i laboratorium

Date of test: 2022-03-16

Object: Vägg 1: Gips - XR95 - Gips

Area S of separating element: 10,00 m²
Source room volume: m³
Receiving room volume: 127,0 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	6,4
63	8,9
80	6,8
100	12,3
125	18,0
160	17,5
200	23,4
250	25,4
315	29,7
400	30,3
500	36,3
630	39,7
800	41,4
1 000	42,7
1 250	45,0
1 600	46,2
2 000	46,2
2 500	37,5
3 150	36,6
4 000	41,5
5 000	46,1



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 36 (-2; -7) \text{ dB}$

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

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

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

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

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

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

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

Company:

No. of test report: 1

Date: 2022-04-07

Signature: SK

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

Date of test: 2022-03-17

Description: Mätning i laboratorium

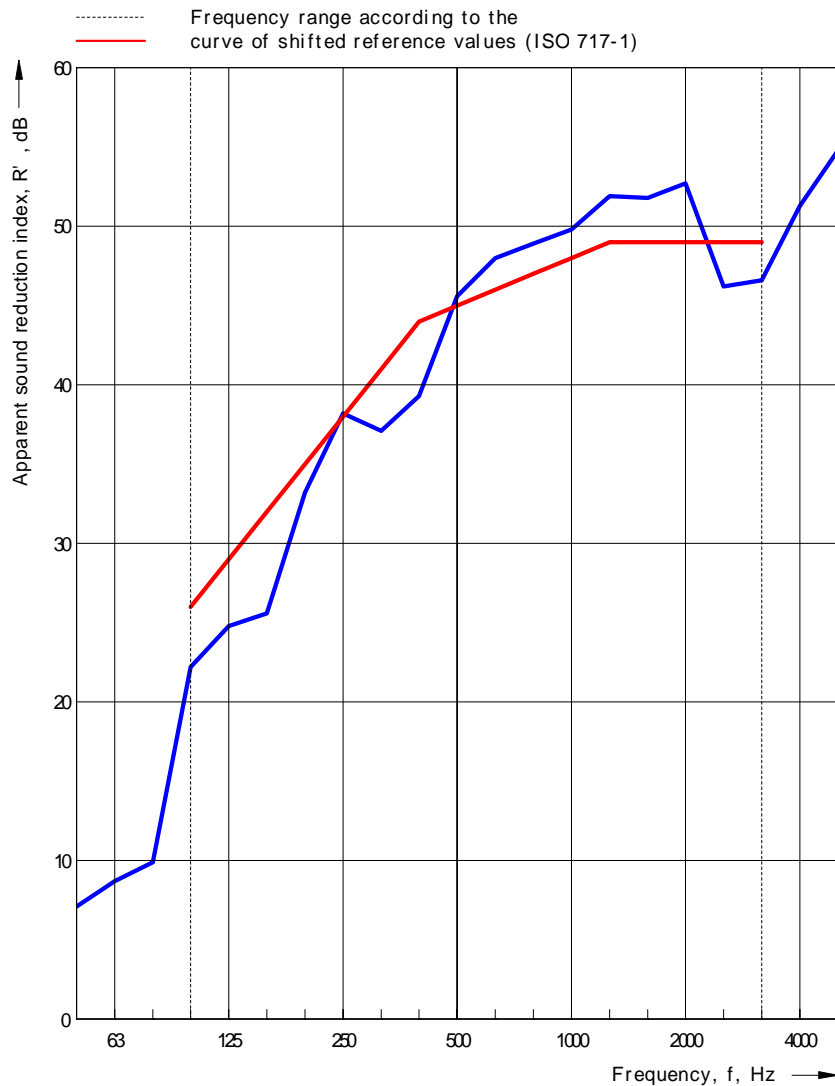
Object: Vägg 2:Gips - Gips - XR95 - Gips - Gips

Area S of separating element: 10,00 m²

Source room volume: m³

Receiving room volume: 127,0 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,1
63	8,7
80	9,9
100	22,2
125	24,8
160	25,6
200	33,2
250	38,2
315	37,1
400	39,3
500	45,6
630	48,0
800	48,9
1 000	49,8
1 250	51,9
1 600	51,8
2 000	52,7
2 500	46,2
3 150	46,6
4 000	51,3
5 000	54,8



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 45 (-2; -7) \text{ dB}$

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

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

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

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

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

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

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

Company:

No. of test report: 2

Date: 2022-04-07

Signature: SK

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

Date of test: 2022-03-18

Description: Mätning i laboratorium

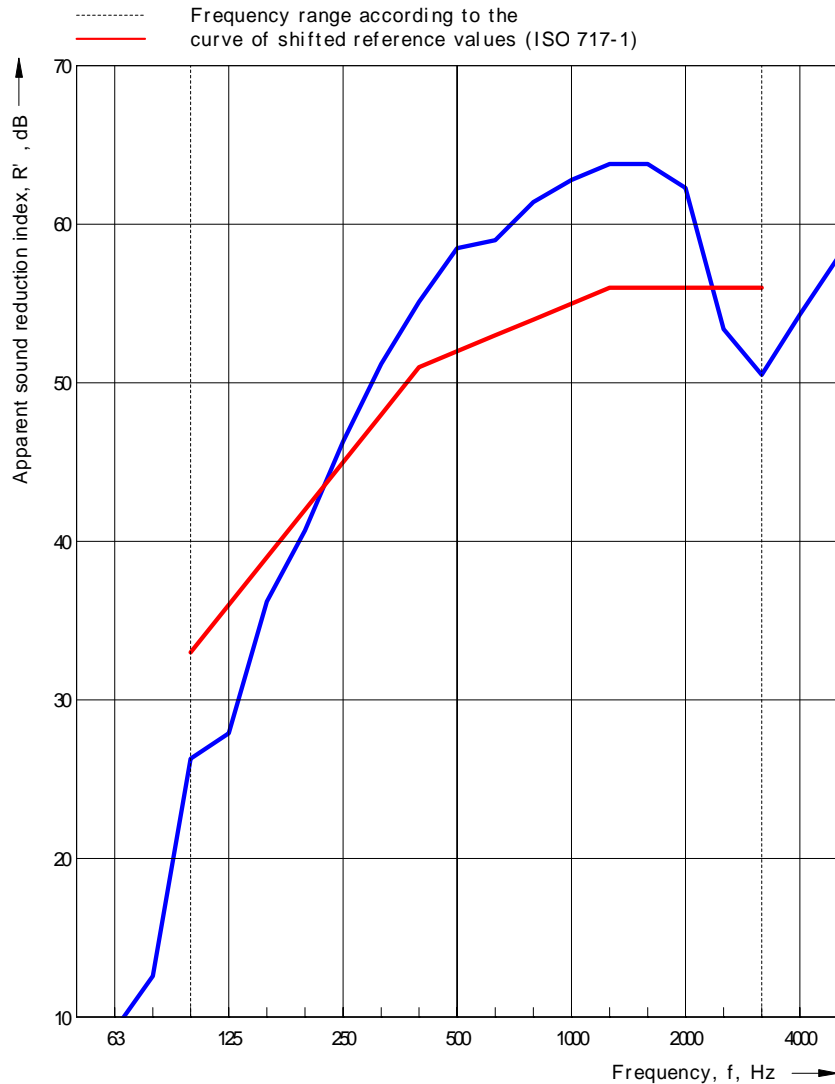
Object: Vägg 3:Gips - Gips - XR95 - Gips - Gips M95

Area S of separating element: 10,00 m²

Source room volume: m³

Receiving room volume: 127,0 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	6,6
63	9,2
80	12,6
100	26,3
125	27,9
160	36,2
200	40,7
250	46,3
315	51,2
400	55,1
500	58,5
630	59,0
800	61,4
1 000	62,8
1 250	63,8
1 600	63,8
2 000	62,3
2 500	53,4
3 150	50,5
4 000	54,3
5 000	57,9



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 52 (-3; -9) \text{ dB}$

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

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

$C_{tr,50-3150} = -25 \text{ dB}$

$C_{50-5000} = -11 \text{ dB}$

$C_{tr,50-5000} = -25 \text{ dB}$

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

$C_{tr,100-5000} = -9 \text{ dB}$

Company:

No. of test report: 3

Date: 2022-04-07

Signature: SK

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

Date of test: 2022-03-21

Description: Mätning i laboratorium

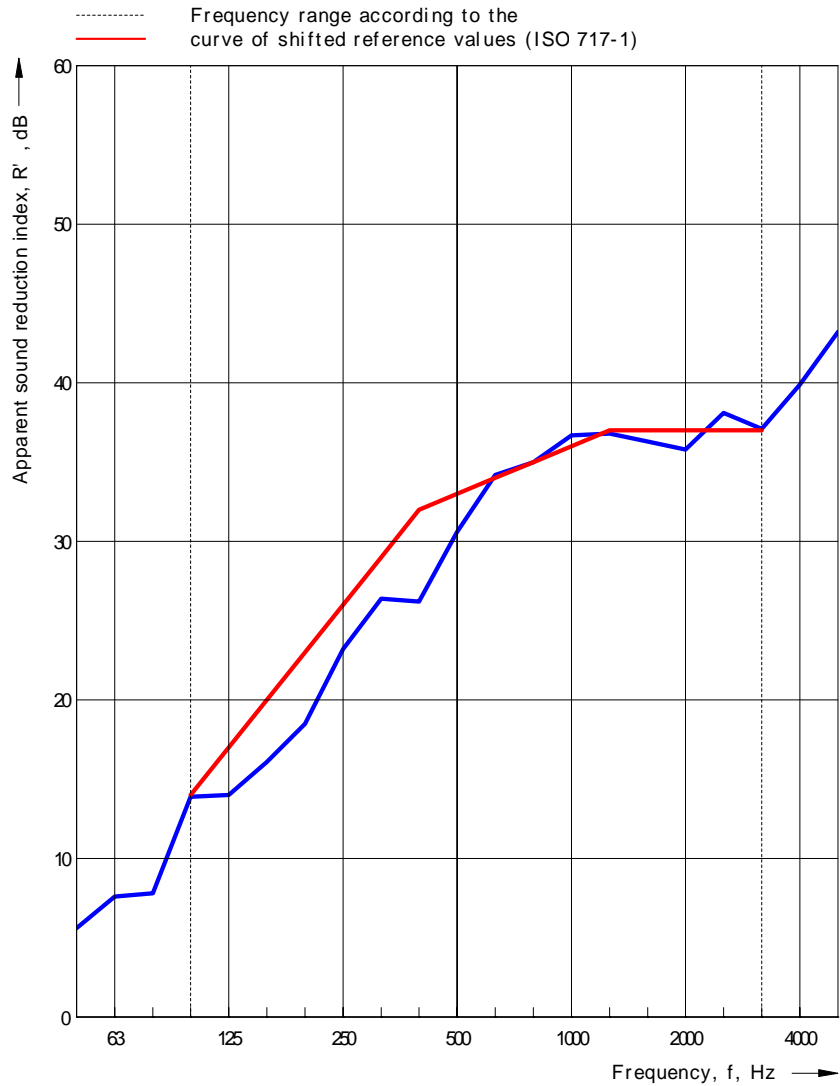
Object: Vägg 4: Plywood - XR95 - Plywood

Area S of separating element: 10,00 m²

Source room volume: m³

Receiving room volume: 127,0 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	5,6
63	7,6
80	7,8
100	13,9
125	14,0
160	16,1
200	18,5
250	23,2
315	26,4
400	26,2
500	30,6
630	34,2
800	35,0
1 000	36,7
1 250	36,8
1 600	36,3
2 000	35,8
2 500	38,1
3 150	37,1
4 000	39,9
5 000	43,2



Rating according to ISO 717-1

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

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

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

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

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

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

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

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

Company:

No. of test report: 4

Date: 2022-04-07

Signature: SK

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

Date of test: 2022-03-21

Description: Mätning i laboratorium

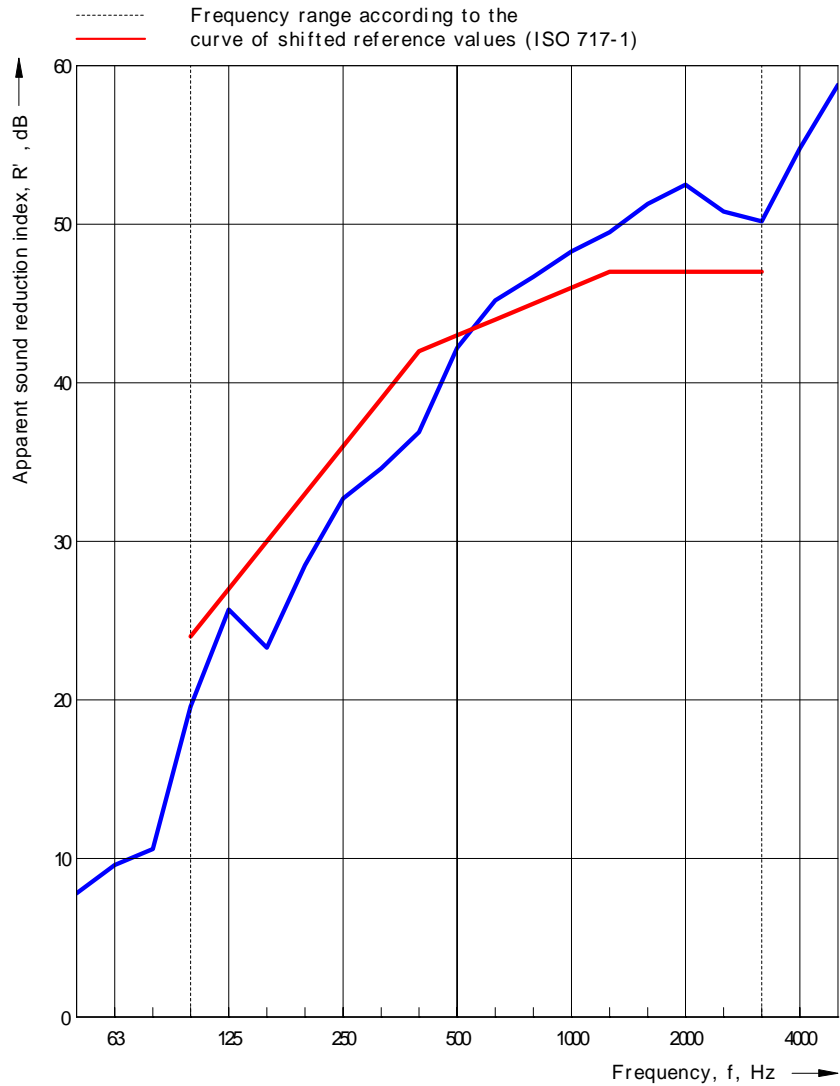
Object: Vägg 5: Gips - Plywood - XR95 - Plywood - Gips

Area S of separating element: 10,00 m²

Source room volume: m³

Receiving room volume: 127,0 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	7,8
63	9,6
80	10,6
100	19,6
125	25,7
160	23,3
200	28,5
250	32,7
315	34,6
400	36,9
500	42,2
630	45,2
800	46,7
1 000	48,3
1 250	49,5
1 600	51,3
2 000	52,5
2 500	50,8
3 150	50,2
4 000	54,8
5 000	58,8



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 43 (-2; -8) \text{ dB}$

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

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

$C_{tr,50-3150} = -16 \text{ dB}$

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

$C_{tr,50-5000} = -16 \text{ dB}$

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

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

Company:

No. of test report: 5

Date: 2022-04-07

Signature: SK

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

Date of test: 2022-03-22

Description: Mätning i laboratorium

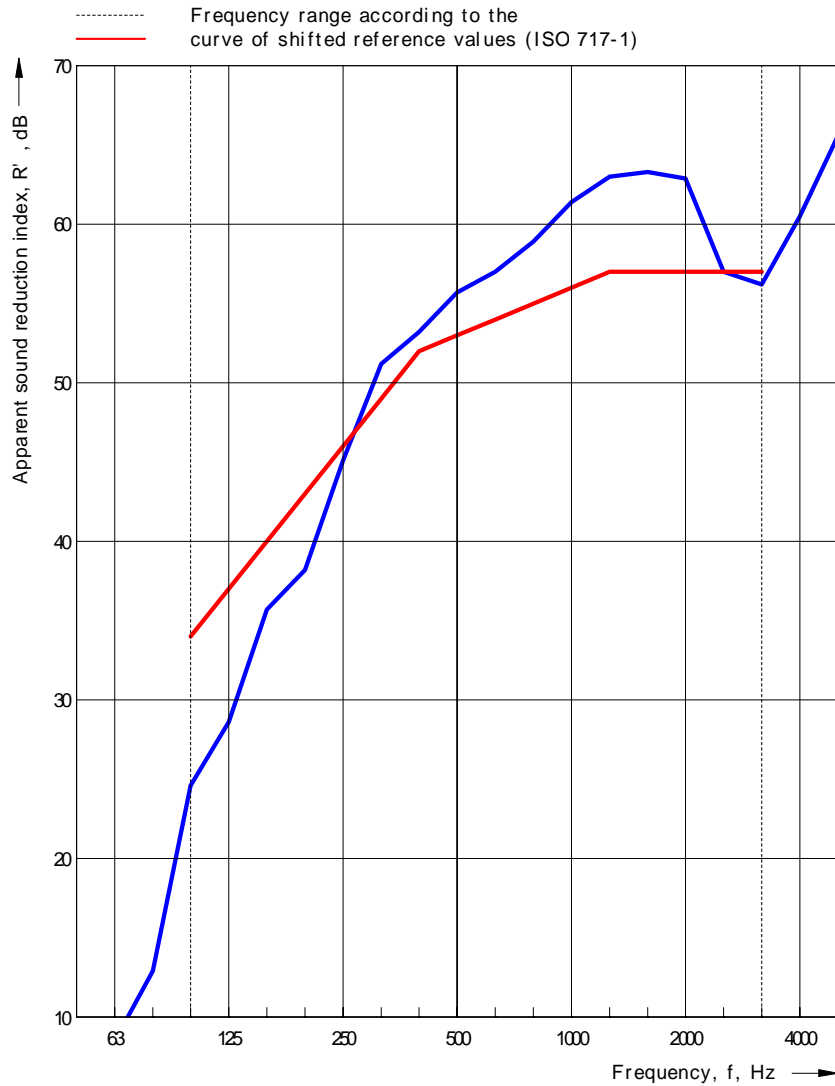
Object: Vägg 6: Gips - Plywood - XR95 - Plywood - Gips M95

Area S of separating element: 10,00 m²

Source room volume: m³

Receiving room volume: 127,0 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	6,4
63	8,5
80	12,9
100	24,6
125	28,6
160	35,7
200	38,2
250	45,1
315	51,2
400	53,2
500	55,7
630	57,0
800	58,9
1 000	61,4
1 250	63,0
1 600	63,3
2 000	62,9
2 500	57,0
3 150	56,2
4 000	60,5
5 000	65,6



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 53 (-4; -11)$ dB

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

$C_{50-3150} = -13$ dB

$C_{tr,50-3150} = -26$ dB

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

$C_{tr,50-5000} = -26$ dB

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

$C_{tr,100-5000} = -11$ dB

Company:

No. of test report: 6

Date: 2022-04-07

Signature: SK

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

Date of test: 2022-03-31

Description: Mätning i laboratorium

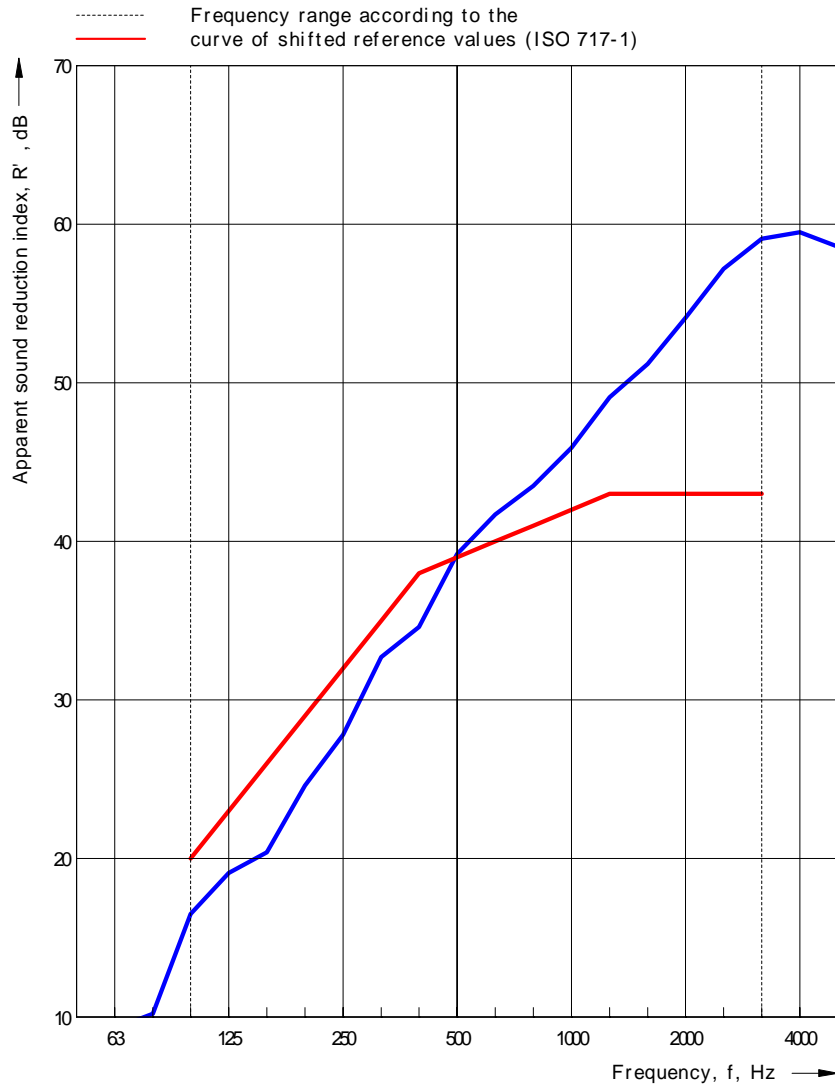
Object: Vägg 7: Recoma - XR95 - Recoma

Area S of separating element: 10,00 m²

Source room volume: m³

Receiving room volume: 127,0 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	6,9
63	9,3
80	10,2
100	16,5
125	19,1
160	20,4
200	24,6
250	27,8
315	32,7
400	34,6
500	39,2
630	41,7
800	43,5
1 000	45,9
1 250	49,1
1 600	51,2
2 000	54,1
2 500	57,2
3 150	59,1
4 000	59,5
5 000	58,6



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 39 (-2; -7) \text{ dB}$

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

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

$C_{tr,50-3150} = -13 \text{ dB}$

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

$C_{tr,50-5000} = -13 \text{ dB}$

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

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

Company:

No. of test report: 7

Date: 2022-04-07

Signature: SK

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

Date of test: 2022-04-01

Description: Mätning i laboratorium

Object: Vägg 8: Recoma - Recoma - XR95 - Recoma - Recoma

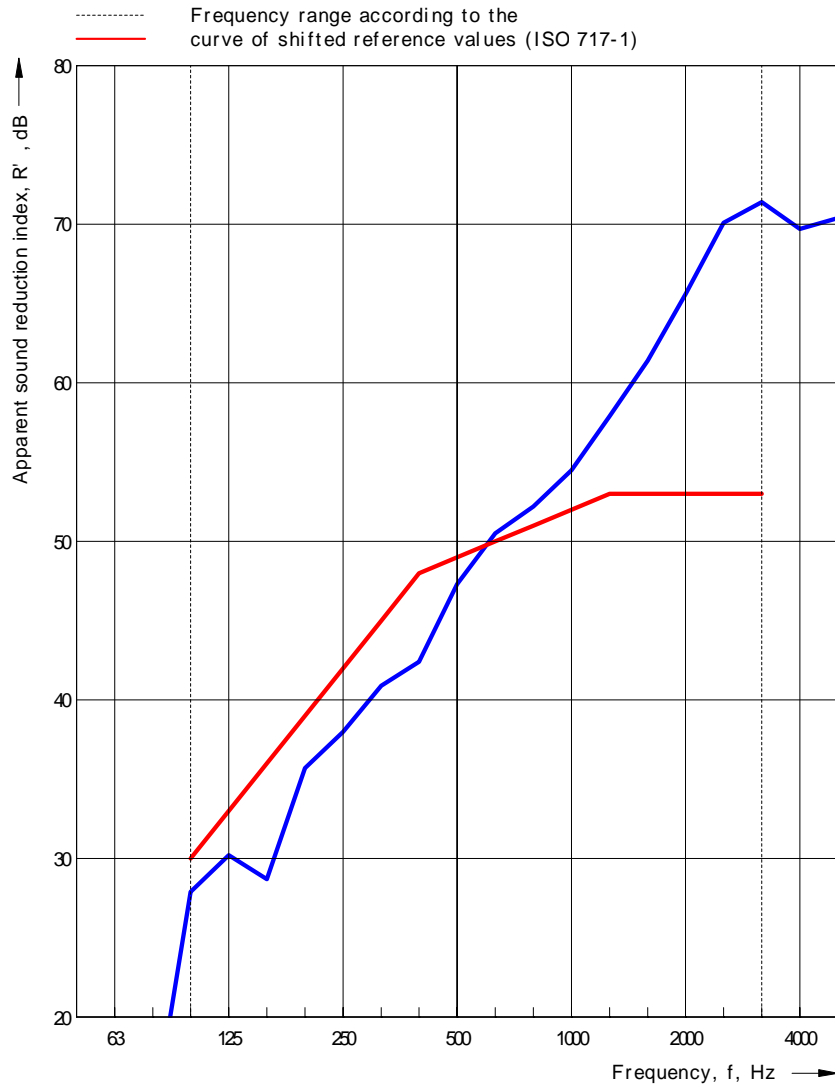
Area S of separating element: 10,00 m²

Source room volume: m³

Receiving room volume: 127,0 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	6,9
63	12,7
80	13,3
100	27,9
125	30,2
160	28,7
200	35,7
250	38,0
315	40,9
400	42,4
500	47,3
630	50,5
800	52,2
1 000	54,5
1 250	57,9
1 600	61,4
2 000	65,6
2 500	70,1
3 150	IV 71,4 ¹
4 000	IV 69,7 ¹
5 000	IV 70,4 ¹

¹ Background noise too high



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 49 (-2; -7) \text{ dB}$

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

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

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

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

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

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

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

Company:

No. of test report: 8

Date: 2022-04-07

Signature: SK

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

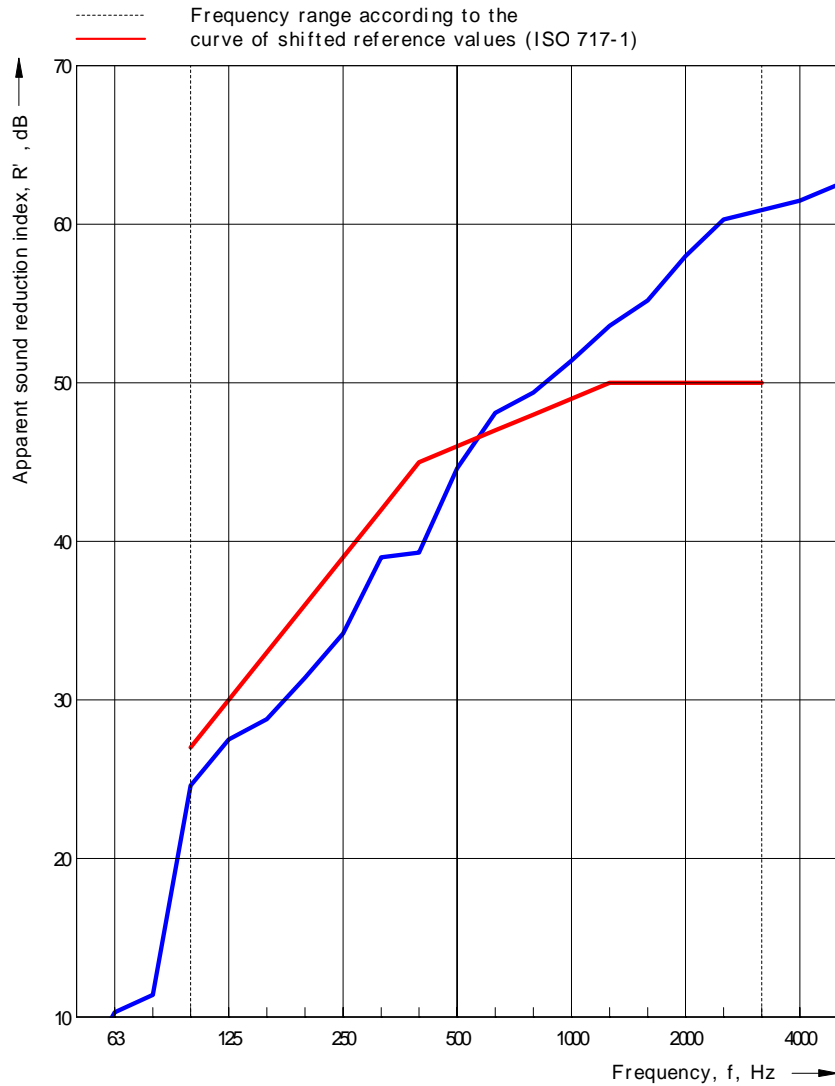
Date of test: 20220404

Description: Mätning i laboratorium

Object: Vägg 9: Gips - Recoma - XR95 - Recoma - Gips

Area S of separating element: 10,00 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 127,0 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	6,0
63	10,3
80	11,4
100	24,6
125	27,5
160	28,8
200	31,4
250	34,2
315	39,0
400	39,3
500	44,6
630	48,1
800	49,4
1 000	51,4
1 250	53,6
1 600	55,2
2 000	58,0
2 500	60,3
3 150	60,9
4 000	61,5
5 000	62,5



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.

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

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

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

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

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

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

Company:

No. of test report: 9

Date: 2022-04-07

Signature: SK

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

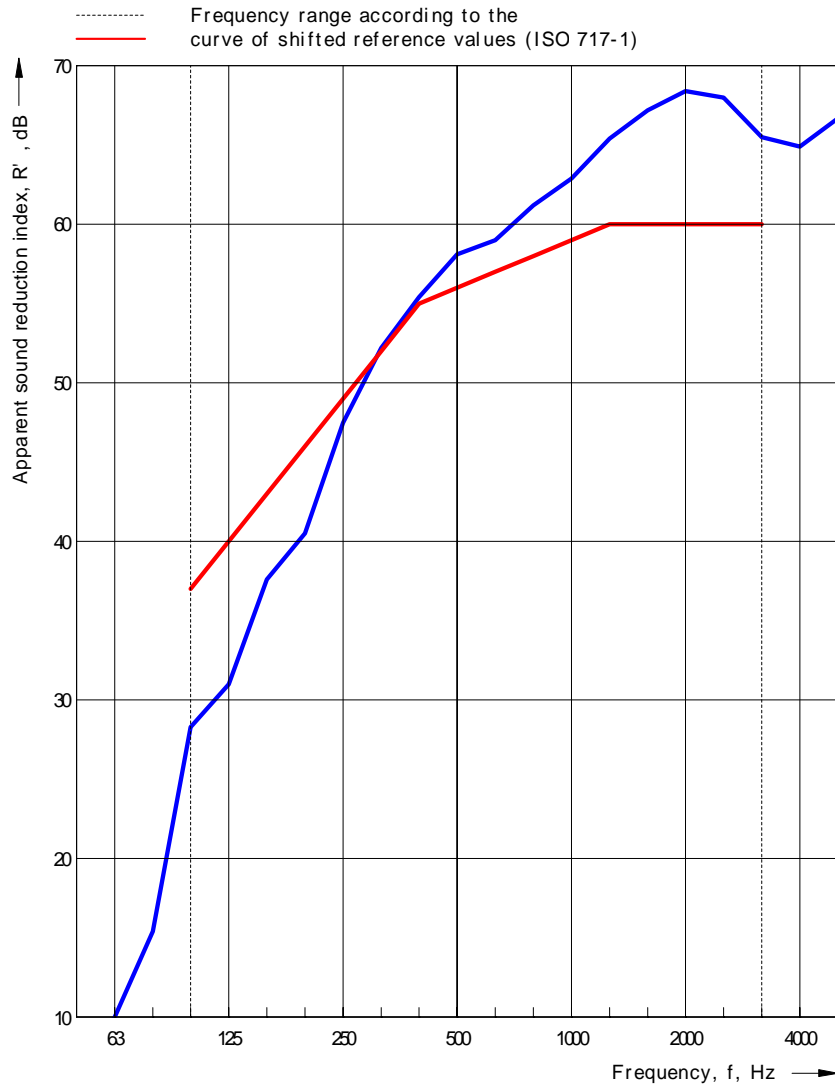
Client:
Description: Mätning i laboratorium

Date of test: 20220405

Object: Vägg 10: Gips - Recoma - XR95 - Recoma - Gips M95

Area S of separating element: 10,00 m²
Source room volume: m³
Receiving room volume: 127,0 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	5,4
63	10,0
80	15,4
100	28,3
125	31,0
160	37,6
200	40,5
250	47,5
315	52,2
400	55,4
500	58,1
630	59,0
800	61,2
1 000	62,9
1 250	65,4
1 600	67,2
2 000	68,4
2 500	68,0
3 150	65,5
4 000	64,9
5 000	66,7



Rating according to ISO 717-1

$$R'_w(C;C_{tr}) = 56 (-4; -11) \text{ dB}$$

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

$$C_{50-3150} = -15 \text{ dB}$$

$$C_{50-5000} = -14 \text{ dB}$$

$$C_{100-5000} = -3 \text{ dB}$$

$$C_{tr,50-3150} = -28 \text{ dB}$$

$$C_{tr,50-5000} = -28 \text{ dB}$$

$$C_{tr,100-5000} = -11 \text{ dB}$$

Company:

No. of test report: 10

Date: 2022-04-07

Signature: SK

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:
Description: Mätning i laboratorium

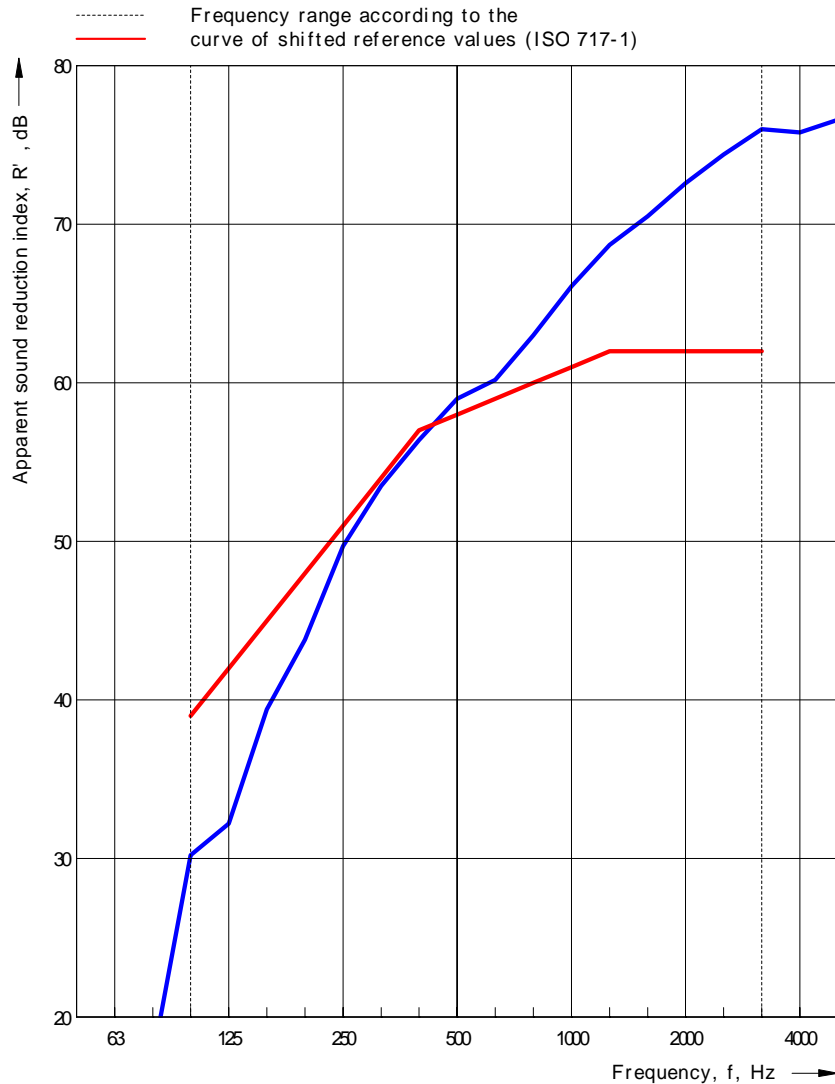
Date of test: 20220406

Object: Vägg 11: Recoma - Recoma - XR95 - Recoma - Recoma M95

Area S of separating element: 10,00 m²
Source room volume: m³
Receiving room volume: 127,0 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	5,5
63	11,8
80	17,4
100	30,2
125	32,2
160	39,4
200	43,8
250	49,7
315	53,5
400	56,4
500	59,0
630	60,2
800	63,0
1 000	66,1
1 250	68,7
1 600	70,5
2 000	72,6
2 500	74,4
3 150	76,0
4 000	75,8 ¹
5 000	76,6 ¹

¹ Background noise too high



Rating according to ISO 717-1

$$R'_w(C;C_{tr}) = 58 (-4; -11) \text{ dB}$$

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

$$C_{50-3150} = -16 \text{ dB}$$

$$C_{tr,50-3150} = -29 \text{ dB}$$

$$C_{50-5000} = -15 \text{ dB}$$

$$C_{tr,50-5000} = -29 \text{ dB}$$

$$C_{100-5000} = -3 \text{ dB}$$

$$C_{tr,100-5000} = -11 \text{ dB}$$

Company:

No. of test report: 11

Date: 2022-04-07

Signature: SK

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

Date of test: 2022-03-28

Description: Mätning i laboratorium

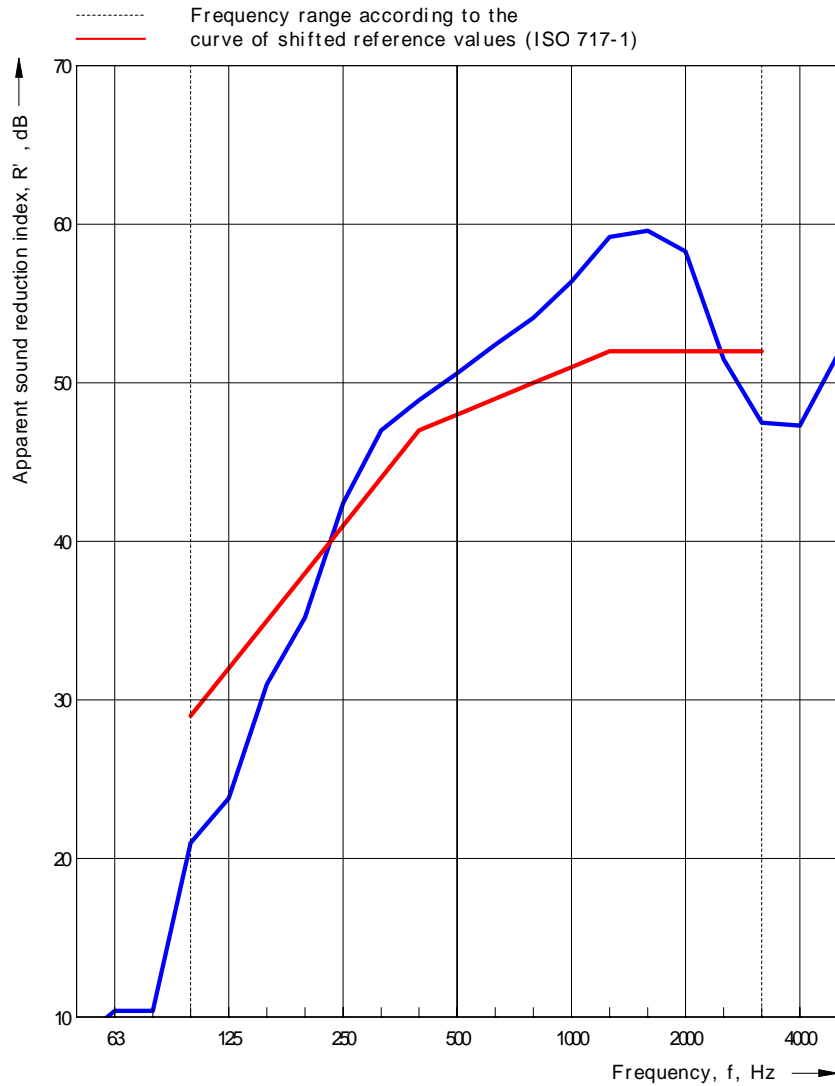
Object: Vägg 12: Gips - XR95 - Gips M95 (Plywood infällt mellan reglarna) EXTRA

Area S of separating element: 10,00 m²

Source room volume: m³

Receiving room volume: 127,0 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	8,4
63	10,4
80	10,4
100	21,0
125	23,8
160	31,0
200	35,2
250	42,4
315	47,0
400	48,9
500	50,6
630	52,4
800	54,1
1 000	56,4
1 250	59,2
1 600	59,6
2 000	58,3
2 500	51,5
3 150	47,5
4 000	47,3
5 000	51,8



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 48 (-3; -10)$ dB

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

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

$C_{tr,50-3150} = -21$ dB

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

$C_{tr,50-5000} = -21$ dB

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

$C_{tr,100-5000} = -10$ dB

Company:

No. of test report:

7

Date: 2022-04-07

Signature:

SK

Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client:

Date of test: 2022-03-29

Description: Mätning i laboratorium

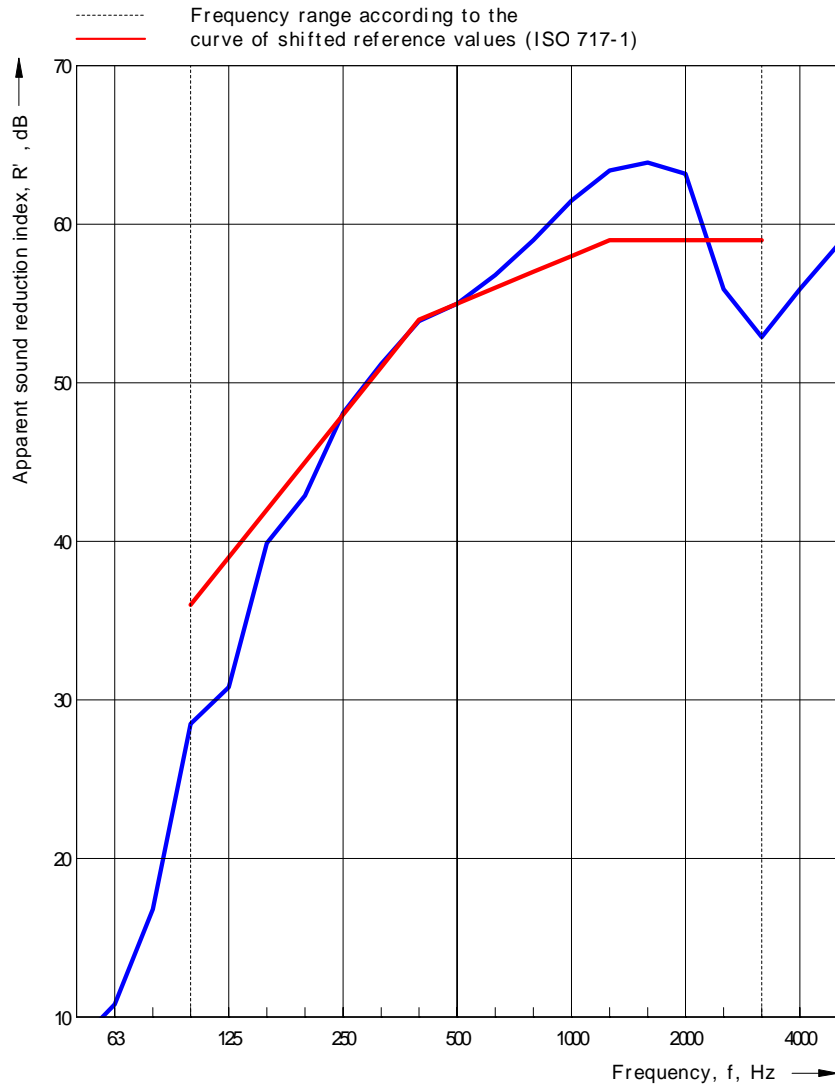
Object: Vägg 13: Gips - Gips - XR95 - Gips - Gips M95 (Plywood infällt mellan reglarna) EXTRA

Area S of separating element: 10,00 m²

Source room volume: m³

Receiving room volume: 127,0 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	8,3
63	10,8
80	16,8
100	28,5
125	30,8
160	39,9
200	42,9
250	48,1
315	51,2
400	53,9
500	55,0
630	56,8
800	59,0
1 000	61,5
1 250	63,4
1 600	63,9
2 000	63,2
2 500	55,9
3 150	52,9
4 000	55,9
5 000	58,7



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 55 (-3; -9) \text{ dB}$

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

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

$C_{50-5000} = -11 \text{ dB}$

$C_{100-5000} = -3 \text{ dB}$

$C_{tr,50-3150} = -25 \text{ dB}$

$C_{tr,50-5000} = -25 \text{ dB}$

$C_{tr,100-5000} = -9 \text{ dB}$

Company:

No. of test report: 8

Date: 2022-04-07

Signature: SK