



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2018 30 stp**

Fakultet for Realfag og Teknologi

Hovedveileder: Tormod Aurlien, NMBU

Biveileder: Christian Magnusson, Rambøll

## **Effekt på lydisolasjon som følge av uttørking av massivtre**

The effects on sound insulation due to drying of  
cross laminated timber

**Razegheh Alavi**

Byggeteknikk og arkitektur

Fakultet for Realfag og Teknologi



## Forord

Høsten 2013 flyttet jeg inn i det som da var Norges høyeste massivtrehus. Innen kort tid oppdaget jeg at det smalt fra veggene. Da jeg tok en prat med læreren min i husbygningsteknikk lærte jeg at de smellene kommer fra at treet tørket. Etterhvert merket jeg også at det var mer lytt i studentboligen min.

Etter tre år med nysgjerrighet fikk jeg endelig skrevet en masteroppgave og gjort en forskning på om det er en sammenheng mellom sprekkdannelser og lydisolasjon i massivtre. Oppgaveskrivingen har krevd mye arbeid. Den har også krevd mye støtte og velvilje fra mange.

Først og fremst vil jeg takke hovedveilederen min, Tormod Aurlien, for god veiledning under oppgaveskrivingen og for å ha holdt motivasjonen min oppe. Jeg vil også takke biveilederne mine i Rambøll, Lars Boberg Hov og Christian Magnusson, for samarbeidet, veiledningen og oppmuntringen de har gitt meg. De fortjener også en takk for lån av utstyr og kontorplass. Jeg takker SiÅs for å ha vært hjelpelige med å gi meg tilgang til dokumenter om bygningene. Studentene som gav meg tilgang til rommene deres fortjener også en takk.

Masterskriving krever mye tålmodighet og støtte. Derfor må jeg takke foreldrene mine for all støtten de har gitt meg. Jeg vil også takke venninnen min Asil Abudayya for alle rådene hun gav meg, Børge Høysæter for god statistikkhjelp og Andreas Bjørne Jacobsen for korrekturlesing av oppgaven.

Til slutt må jeg rette en stor takk til Eirik Kristensen fra Rambøll, som hjalp til med målinger, gav god veiledning og brukte tiden sin utenfor jobb for å korrekturlese oppgaven min og gi meg tilbakemelding.

---

Razegheh Alavi  
14.05.2018





## Sammendrag

Hensikten med denne oppgaven er å undersøke hvordan uttørring av massivtre påvirker lydisolasjon.

Oppgaven tar utgangspunkt i to åtte-etasjes bygninger av massivtre, som ble ferdigstilt i august i 2013. Det ble foretatt målinger av lydisolasjonen til skilleveggene i tre boenheter i samme etasje i hvert bygg. Målingene ble utført ved hjelp av håndholdt lydmåler og rosa støy. Det ble også foretatt en inspeksjon av sprekker og undersøkelse av dørenes egenskaper, samt en vurdering av hvorvidt møblering og flanketransmisjon kan ha en påvirkning på lydreduksjonstallet.

Disse målingene og undersøkelsene har gitt grunnlag for å besvare oppgavens problemstilling. Problemstillingen lyder som følger: *kan uttørring av massivtre føre til sprekkdannelse som kan gi en merkbar reduksjon av lydisolasjon mellom boenheter?*

Det ble oppdaget at utettheter i dører påvirket lydnivået i boenhetene. Resultatene til målingene har, til tross for utette dører, gitt høye verdier av veid, feltmålt lydreduksjonstall i samtlige skillevegger, og oppfyller krav som er satt i norsk standard.

En teoretisk vurdering av sprekkenes effekt tyder på at sprekkdannelse i massivtre med påføring ikke fører til en merkbar reduksjon av lydisolasjonen.



## Abstract

The purpose of this thesis is to investigate how the drying of cross laminated timber affects soundproofing.

This thesis is based on two eight-storey buildings made of cross laminated timber, that were completed in August 2013. Measurements of sound insulation in the partition walls were done in three residential units on the same floor in both buildings. The measurements were done with the use of handheld sound level meter and pink noise. An inspection of cracks and examination of the doors' properties was conducted, as well as an assessment of whether furnishing and flanking transmission could affect the sound reduction.

These measurements and investigations have provided the basis for answering the problem statement. The problem statement is as follows: *Can the drying of cross laminated timber lead to cracks that can significantly reduce sound insulation between residential units?*

It was discovered that air leaking doors affected the sound level in the residential units. The results of the measurements have given high values of the weighted sound reduction index in all partitions, and meet requirements set in the Norwegian standard, despite the air leakage in the doors.

Theoretical assessments of the effects of cracks suggest that cracking in cross laminated timber with insulated dry lining does not lead to a noticeable reduction of sound insulation.



# Innholdsfortegnelse

<b>1. Innledning</b> .....	<b>3</b>
1.1. Bakgrunn.....	3
1.2. Problemstilling.....	3
1.3. Avgrensninger.....	3
1.4. Oppgavens oppbygning.....	4
<b>2. Terminologi og formler</b> .....	<b>5</b>
<b>3. Litteraturstudie</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1. Massivtre</b> .....	<b>9</b>
3.1.1. Uttørking av massivtre .....	9
<b>3.2. Lydtransmisjon</b> .....	<b>10</b>
3.2.1 Luftbåren lydtransmisjon .....	10
3.2.2 Flanketransmisjon .....	10
<b>3.3. Lydisolasjon i konstruksjonsdeler</b> .....	<b>12</b>
3.3.1. Isolasjon mot luftlyd .....	13
3.3.2. Skjerming mot flanketransmisjon .....	13
3.3.3. Lydhimling.....	13
3.3.4. Lyddører .....	14
<b>3.4. Aktuell konstruksjon</b> .....	<b>14</b>
3.4.1. Bygningsmessige løsninger og lydløsninger.....	15
<b>3.5. Måleverdier for lydisolasjon</b> .....	<b>18</b>
3.5.1. R - Lydreduksjonstall .....	18
3.5.2. R' - Tilsynelatende lydreduksjonstall .....	19
3.5.3. R' <sub>w</sub> – Veid, feltmålt lydreduksjonstall .....	19
3.5.4. C – Korreksjonstall for lydreduksjonstall .....	19
<b>3.6. Menneske og lyd</b> .....	<b>20</b>
3.6.1. Menneskets oppfattelse av lyd .....	20
3.6.2. A- og C-vekting.....	21
<b>3.7. Lover og forskrifter</b> .....	<b>21</b>
3.7.1. Byggteknisk Forskrift (TEK 10).....	21
3.7.2. Lydklasser og grenseverdier .....	22
3.7.3 Byggherrens tolkning av krav .....	22
<b>3.8. Statistikk</b> .....	<b>22</b>
3.8.1. Konfidensintervall og signifikansnivå .....	22
3.8.2. T-testing .....	22
<b>4. Metode</b> .....	<b>24</b>
<b>4.1 Opplæring</b> .....	<b>24</b>
<b>4.2. Valg av boenheter</b> .....	<b>24</b>
<b>4.3. Måleutstyr</b> .....	<b>26</b>
<b>4.4. Lydisolasjonsmåling</b> .....	<b>26</b>
4.4.1. Høytaler- og mikrofonposisjon .....	27
<b>4.5. Avvik fra Norsk standard</b> .....	<b>29</b>
4.5.1. Statistisk grunnlag.....	29
4.5.2. Høytaler- og mikrofonposisjon .....	29
<b>5. Resultater</b> .....	<b>30</b>
<b>5.1. Statistisk evaluering av resultatene</b> .....	<b>30</b>
<b>5.2. Andre observasjoner</b> .....	<b>32</b>
5.2.1. Innklemming av dører .....	32
5.2.3. Flanketransmisjon .....	33

<b>6. Diskusjon .....</b>	<b>34</b>
<b>6.1. Manglende dokumenter .....</b>	<b>34</b>
<b>6.2. Vurdering av lydisolasjonsmålinger .....</b>	<b>34</b>
6.2.1 Vurdering av resultat av målt $R'_w$ .....	34
6.2.2. Sammenligning av vegger med bad og vegger uten bad.....	34
<b>6.3. Måleusikkerheter .....</b>	<b>34</b>
6.3.1. Påvirkning av møblering .....	35
6.3.2. Avvik fra standard – avstander .....	35
6.3.3. Avvik fra standard – lavfrekventmetoden.....	35
<b>6.4. Dører .....</b>	<b>35</b>
<b>6.5. Effekt av flanketransmisjon .....</b>	<b>36</b>
<b>6.6. Inspeksjon og effekt av sprekker .....</b>	<b>36</b>
<b>6.7. Vurdering av målemetoder.....</b>	<b>37</b>
6.7.1. Hva kunne gjøres annerledes .....	37
6.7.2. Hva burde ha blitt gjort i tillegg.....	37
<b>7. Konklusjon .....</b>	<b>38</b>
<b>8. Videre arbeid.....</b>	<b>39</b>
<b>9. Figurliste .....</b>	<b>40</b>
<b>10. Tabelliste.....</b>	<b>41</b>
<b>11. Litteraturliste .....</b>	<b>42</b>
<b>12. Vedlegg</b>	

# 1. Innledning

## 1.1. Bakgrunn

P26 og P28 er to speilvendt identiske bygninger med bæreelementer av massivtre, som tilhører Studentsamskipnaden i Ås (SiÅs). Bygningene huser bolig for studenter ved NMBU. Forfatter av oppgaven flyttet inn da det var ferdigstilt i august i 2013, og har bodd i samme boenhet siden. Det har med årene blitt observert at samtidig som massivtreelementene har sprukket opp, så har også lydisolasjonen blitt redusert. Dette vekket nysgjerrighet og resulterte i et ønske om å skrive masteroppgave om det. I 2012 ble det foretatt lydmålinger av disse to bygningene. I etterkant er kvaliteten på verdiene i forhold til rapportering blitt diskutert. Personen som utførte målingene påberoper seg ikke god kvalitet på etterarbeid av rapportering. Ønsket om å foreta akustiske vurderinger av P26 og P28 til denne oppgaven forble, til tross for mangel på relevante dokumenter.

## 1.2. Problemstilling

Denne oppgaven fokuserer på sammenhengen mellom uttørking og oppsprekking av massivtre og dets lydisolasjon. Oppgavens problemstilling er: kan uttørking av massivtre føre til sprekkdannelse som kan gi en merkbar reduksjon av lydisolasjon mellom boenheter?

Målet med oppgaven er dermed å undersøke om skillevegger av massivtre i boenheter får redusert lydisolasjon som følge av sprekker.

## 1.3. Avgrensninger

Dette er en masteroppgave på 30 studiepoeng. Det tilsvarer 18 arbeidsuker, fra 8. januar til 15. mai. Derfor er følgende begrensninger satt:

- Det foretas ikke lydålinger med sine sweep, da målinger utført med håndmåler og rosa støy fungerer vel så godt og tar mindre tid.
- Det blir ikke utført målinger av dører eller skillevegger mellom boenheter og fellesareal.
- Akustisk kamera tas ikke i bruk, på grunn av tidspress som følge av en omfattende lekkasje i P26.

#### 1.4. Oppgavens oppbygning

Denne oppgaven består av 8 kapitler. Det første kapitlet introduserer bakgrunnen for valgt oppgave, forklarer problemstillingen og oppgavens avgrensinger.

Terminologi og formler som er brukt i oppgaven står forklart i kapittel 2. I kapittel 3 presenteres relevant teori tilknyttet problemstillingen. Kapittel 4 belyser forskningsmetodene som er valgt og forklarer utførelsen av undersøkelsene på detaljnivå. Resultatene presenteres i kapittel 5 og diskuteres i kapittel 6. I kapittel 7 besvares problemstillingen. Forslag til videre arbeid blir tatt opp i kapittel 8.

Sammen med denne oppgaven følger vedlegg med resultatene. Siden resultatene består av mange sider, er det valgt å plassere dem i vedlegget. På denne måten holdes oppgaven ryddig.



## 2. Terminologi og formler

I dette kapittelet forklares terminologi, symboler og forkortelser som introduseres og brukes til beregninger i oppgaven.

*Desibel, dB:*

Dimensjonløs måleenhet som beskriver forholdet mellom to lydnivåer.

*Desibelskala:*

Desibelskala følger samme skala som 10-tallslogaritme. 1 dB er 1/10 av 10-tallslogaritme.

*Tidsmidlet lydtryknivå,  $L_p$ :*

Logaritmisk mål på forholdet mellom tidsmidlet effektivt lydtryknivå ( $p_{eff}$ ) og et referanselydtrykk ( $p_0$ ).

Måleenhet: dB

$$L_p = 10 * \log \frac{p_{eff}}{p_0} \quad (1)$$

*Lydtryknivådifference, D:*

Differansen mellom lydtryknivå i senderrom ( $L_s$ ) og mottakerrom ( $L_M$ ).

Måleenhet: dB

$$D = L_s - L_M \quad (2)$$

*Refleksjonsfaktor, r:*

Beskriver forholdet mellom reflektert effekt ( $W_r$ ) og innfallende effekt ( $W_i$ ).

$$r = \frac{W_r}{W_i} \quad (3)$$

*Absorpsjonsfaktor,  $\alpha$ :*

Beskriver forholdet mellom ikke-reflektert lydeffekt og innfallende lydeffekt

$$\alpha = \frac{W_i - W_r}{W_i} = \delta + \tau \quad (4)$$

*Transmisjonsfaktor,  $\tau$ :*

Beskriver forholdet mellom transmitterende lydeffekt ( $W_t$ ) og innfallende lydeffekt ( $W_i$ ).

$$\tau = \frac{W_t}{W_i} \quad (5)$$

*Dissipasjonsfaktor,  $\delta$ :*

Beskriver forholdet mellom dissipert effekt ( $W_0$ ) – effekt omgjort til varme – og innfallende effekt ( $W_i$ ).

$$\delta = \frac{W_0}{W_i} \quad (6)$$

*Absorpsjonsareal,  $A$ :*

Produktet av det geometriske arealet til en overflate ( $S$ ) og absorpsjonsfaktoren ( $\alpha$ ).

Måleenhet:  $m^2$

$$A = S \cdot \alpha \quad (7)$$

*Etterklangstid,  $T$ :*

Tiden midlere lydtryknivå bruker på å falle 60 dB etter at lydkilden er stoppet. Kan beregnes både ved ekstrapolering og ved bruk av Sabines formel, gitt at absorpsjonsarealet ( $A$ ) og volumet ( $V$ ) er kjent.

Måleenhet: s

$$T = 0,16 \cdot \frac{V}{A} \quad (8)$$

*Lydreduksjonstall,  $R$ :*

Laboratoriemålt logaritmisk størrelse som beskriver hvor effektivt en gitt flate isolerer mot luftlyd ved et gitt frekvensbånd.

Måleenhet: dB

$$R = 10 + \log \frac{W_t}{W_i} \quad (9)$$

*Tilsynelatende lydreduksjonstall, R'*:

Logaritmisk størrelse som beskriver hvor effektivt en gitt flate isolerer mot luftlyd ved et gitt frekvensbånd. Ikke justert eller korrigert.

Måleenhet: dB

$$R' = D + 10 \cdot \log \frac{S}{A} \quad (10)$$

*Veid, feltmålt lydreduksjonstall, R'\_w*:

Logaritmisk ett-tallsverdi som beskriver hvor effektivt en gitt flate isolerer mot luftlyd ved et gitt frekvensbånd. Justert etter referansekurve basert på frekvensområdet 100 Hz – 3150 Hz.

Måleenhet: dB

*C-korreksjon, C*:

Omgjøringstall som beskriver  $R'_w$  i et gitt frekvensområde. I NS 8175:2012 benyttes  $C_{50-5000}$ .

Måleenhet: dB

$$C = X_{A,1} - X_w \quad (11)$$

$X_{A,1}$  er summen av differansen mellom de A-vektede lydnivåene i senderrom og mottakerrom

$X_w$  er den relevante ett-tallsverdien basert på referansekurven

*Rosa støy*:

Et energispekter som avtar med 3 dB per oktav

*1/3-oktavbånd*:

Senterfrekvensen til et oktavbånd, som har forholdstallet 2:1 mellom øvre og nedre grensefrekvens.

*Just noticeable difference, JND:*

Et begrep som beskriver den minste variasjonen i lydintensitet som fører til merkbar endring i lydnivå.

$$k = \frac{\Delta I}{I} \quad (12)$$

*Phon:*

Enhet for hørenivå. Phonskala er basert på 1000 Hz ved 0 phon ved 0 dB.

*Standard error of mean, SEM:*

Standardfeilen til middelvei – avhengig av standardavviket til middelveien ( $\sigma$ ) og antall målinger ( $n$ ).

$$SEM = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (13)$$

*Standard error difference, STD err. diff:*

Differansen til to standardfeil

### 3. Litteraturstudie

Dette kapitlet vil ta for seg litteraturen som ligger til grunn for å kunne svare på problemstillingen til oppgaven.

#### 3.1. Massivtre

Massivtre er med årene blitt populær i byggebransjen, både av arkitektoniske, miljømessige og estetiske grunner. Det produseres ved at planker eller lameller settes sammen ved hjelp av spiker, skruer, tredybler eller lim. Massivtreelementer som er satt sammen av stående lameller, ved hjelp av spiker eller skruer, kalles for kantstilte elementer. Ved produksjon av krysslagte elementer vil lamellene legges i kryss, enten i 90° eller 45° vinkel, med lim mellom hvert sjikt (se figur 1). For å øke tettheten og brannmotstand limes det også mellom kantene på plankene. Det anbefales at massivtreelementer med eksponerte overflater som er til innendørs bruk skal ha en trefuktighet på 8-12% i det ytterste laget (Aarstad et al., 2008).



*Figur 1 Krysslagte elementer med lim som forbindingsmiddel (Aarstad et al., 2008)*

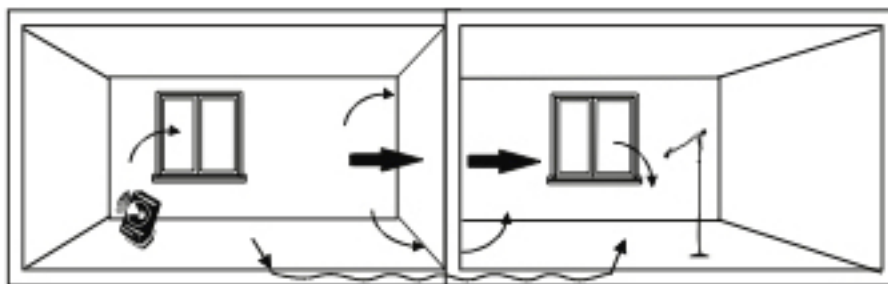
##### 3.1.1. Uttørking av massivtre

Tre er kjent for å være et hygroskopisk materiale. Det vil si at det har evnen til å absorbere og miste fuktighet, avhengig av omgivelsene. Dersom tremateriale med lavt fuktinnhold er i fuktige omgivelser, vil det absorbere vann gjennom luftfuktigheten frem til fuktinnholdet til treet er i likevekt med fuktinnholdet til luften. Når luften i omgivelsene til trematerialet har mindre fuktinnhold enn treet, så vil treet miste fuktinnhold, igjen for å komme i likevekt med fuktinnholdet til luften (Lamb, 1992). Ved absorpsjon vil trematerialet svulle, og ved uttørking vil det krympe og sprekke opp. Det er først enden til en planke som tørker, i og med at vann beveger seg kjappere i enden enn på siden. Dette skaper strekkspenninger, som holdes igjen av resten av treelementet. Dersom spenningene blir større enn styrken til treet eller limet, vil det

oppstå sprekker. Disse sprekke vil oppstå ved de svakeste områdene på treelementet. Om limet er sterkere enn treet, vil treet sprekke, og motsatt om treet er sterkere enn limet (Lamb, 1992).

### 3.2. Lydtransmisjon

Lyden energi som overføres gjennom konstruksjoner kalles for lydtransmisjon. Det kommer av at en konstruksjon settes i svingning av lydenergien. Når konstruksjon er i svingning, vil nye lydbølger genereres videre, men med lavere intensitet. Lydtransmisjon kan både være luftbåren og flankerende, også kjent som flanketransmisjon. Forskjellen på luftlydtransmisjon og flanketransmisjon ligger i transmisjonsmediumet (se figur 2).



Figur 2 Illustrasjon av ulike former for lydtransmisjon (Vigran, 2008)

#### 3.2.1 Luftbåren lydtransmisjon

Luftbåren lydtransmisjon er overføring av lyd gjennom luften. Den kommer av svingninger i partiklene i luften, og transmitteres i form av lydbølger. I tilfeller der det er sprekker eller hull i for eksempel en skillevegg, vil luftlyd kunne transmitteres direkte, da lydreduksjonstallet for hull og sprekker er tilnærmet lik 0 dB (Paroc AB, 2016).

#### 3.2.2 Flanketransmisjon

Flanketransmisjon er lydforplantning som går gjennom andre overføringsveier enn selve skilleveggen mellom to rom. Det kan være gjennom alle tilstøtende konstruksjonsdeler, som felles etasjeskiller eller det indre sjiktet av en kontinuerlig lett yttervegg (Halmrast, 2016). All annen transmisjon som ikke går gjennom en skillevegg betegnes også som flanketransmisjon (SINTEF Byggforsk, 2004). Det kan for eksempel være utettheter i veggen som følge av tekniske gjennomføringer eller tilslutninger som har dårlig utført fuging (Halmrast, 2016). Det finnes tre ulike grader av flankeoverføring (SINTEF Byggforsk, 2015). Figur 3 viser betingelser og kriterier for hver av gradene.

Grad av flankeoverføring	Betingelser/kriterier
Liten	Store spenn (> 8 m) over flere enn to rom Opplegg på søyle/drager Lette, utfyllende skillevegger Yttervegger av bindingsverk, splittet ved dekkene
Middels	Middels spenn (5–7 m) over to rom Opplegg på massiv vegg eller søyle/drager Lette eller massive skillevegger Yttervegger av bindingsverk, delvis splittet ved dekkene
Stor	Små spenn (< 5 m) over ett rom Opplegg på massive veggskiver Massive skillevegger Yttervegger av bindingsverk, delvis gjennomgående

Figur 3 Betingelser og kriterier for grad av flankeoverføring (SINTEF Byggforsk, 2015)

Figur 4 gir en oversikt over erfaringsbaserte verdier for hvor mye lydreduksjonstallet reduseres som følge av el.bokser og rørføringer i vegger med god og dårlig tetting, sammenliknet med vegger uten noen gjennomføringer. Figuren viser at dårlig tetting rundt el.bokser som er montert rett overfor hverandre med direkte el.rørforbindelse gir størst tap på 7 dB. Derrest er det tap på 6 dB ved dårlig tetting av el.bokser montert med 600 mm avstand.

Elbokser med stikkontakt eller bryter montert i begge veggskall		Tap i forhold til vegg uten elbokser $R_m$ (dB)	
		Med god tetting rundt elboks og deksel	Med dårlig tetting rundt elboks og deksel
Uten direkte elrørforbindelse (elektriske installasjoner i hver bruksenhet)	Bokser montert rett overfor hverandre	ca. 1 dB	ca. 2 dB
	Bokser montert 600 mm forskjøvet	ca. 1 dB	ca. 1 dB
	Bokser montert 1 200 mm forskjøvet	ca. 1 dB	ca. 1 dB
Med direkte elrørforbindelse mellom ulike bruksenheter (f.eks. radio/tv)	Bokser montert rett overfor hverandre	ca. 3 dB	ca. 7 dB
	Bokser montert 600 mm forskjøvet	ca. 2 dB	ca. 6 dB
	Bokser montert 1 200 mm forskjøvet	ca. 1 dB	ca. 5 dB

Figur 4 Erfaringsbaserte verdier for tap i lydreduksjonstall på grunn av el.bokser og rørføringer i lette dobbeltvegger (SINTEF Byggforsk, 2002)

### 3.3. Lydisolasjon i konstruksjonsdeler

God lydisolasjon er i større grad avhengig av stor refleksjon på en skillevegg enn dissipering av lydenergien i selve skilleveggen. Dette er fordi refleksjon av lydenergi fra en skillevegg står for høyest reduksjon av lydtransmisjon. Til vanlig er det et krav at en skillevegg av høy kvalitet har et lydreduksjonsnivå på 40-50 dB, som tilsvarer en transmisjonsfaktor på  $10^{-4}$ – $10^{-5}$ . For å kunne oppnå dette må det porøse materialet, som for eksempel mineralull, ha en absorpsjonsfaktor på 0,9999 i det gitte frekvensområdet. Dette er en indikasjon på at det ikke er en god løsning. Dermed er det ikke godt nok å bare bruke porøse materialer for å oppnå bra lydisolasjon. Likevel betyr det ikke at porøse materialer ikke er relevante til lydisolering (Vigran, 2008). Tunge skillekonstruksjoner, som massivtreelementer, vil generelt sett øke evnen til å lydisolere, i motsetning til for eksempel trebjelkelag og stendervegger (Aarstad et al., 2008).



### 3.3.1. Isolasjon mot luftlyd

Det viktigste ved isolasjon mot luftlydtransmisjon er at en konstruksjon er tett. Som nevnt tidligere, vil lydreduksjonstallet til en vegg med et gjennomgående hull eller en sprekk reduseres. Massive vegger med utlektet kledning av plater som minsker lydstråling gir god lydisolasjon for både lav-, mellom- og høyfrekvente lyder. Det er den massive veggen som isolerer mot lavfrekvente lyder, og den utlektede kledningen isolerer mot mellom- og høyfrekvente lyder. I lave frekvenser vil tykkelsen på isolasjonen også bidra til økt lydisolasjon. Lydteknisk sett er dette gunstig, særlig om stenderne til den utlektede kledningen er frittstående og ikke i kontakt med den massive veggen (SINTEF Byggforsk, 2000). I praksis kan de anses som doble, massive vegger. Doble massive vegger er tette veggskall som står på adskilt fundament eller adskilt dekkekonstruksjon. Hensikten med dobbeltkonstruksjoner er at det ikke skal være mekanisk kontakt mellom de to delene av konstruksjonen, slik at de kan svinge fritt og uavhengig av hverandre (Glava AS, 2018). Det er anbefalt at avstanden mellom veggskallene helst skal være minst 150 mm, slik at uønsket resonans kan unngås (Thue, 2009). Det er sjelden at forutsetningene ligger til rette for dette, og det kan føre til at lyd kan overføres fra et veggskall til et annet, noe som begrenser lydisolasjonen (SINTEF Byggforsk, 2000).

### 3.3.2. Skjerming mot flanketransmisjon

For å beskytte mot flanketransmisjon er det viktig å sørge for at konstruksjonsdeler er tette og at elastiske materialer tas i bruk. Elastiske materialer brukes for å redusere flanketransmisjon, mens elastiske støtter er for å hindre at svingninger i en konstruksjon transmitteres over til fundamentet eller annen tilstøtende konstruksjon (Vigran, 2008).

### 3.3.3. Lydhimling

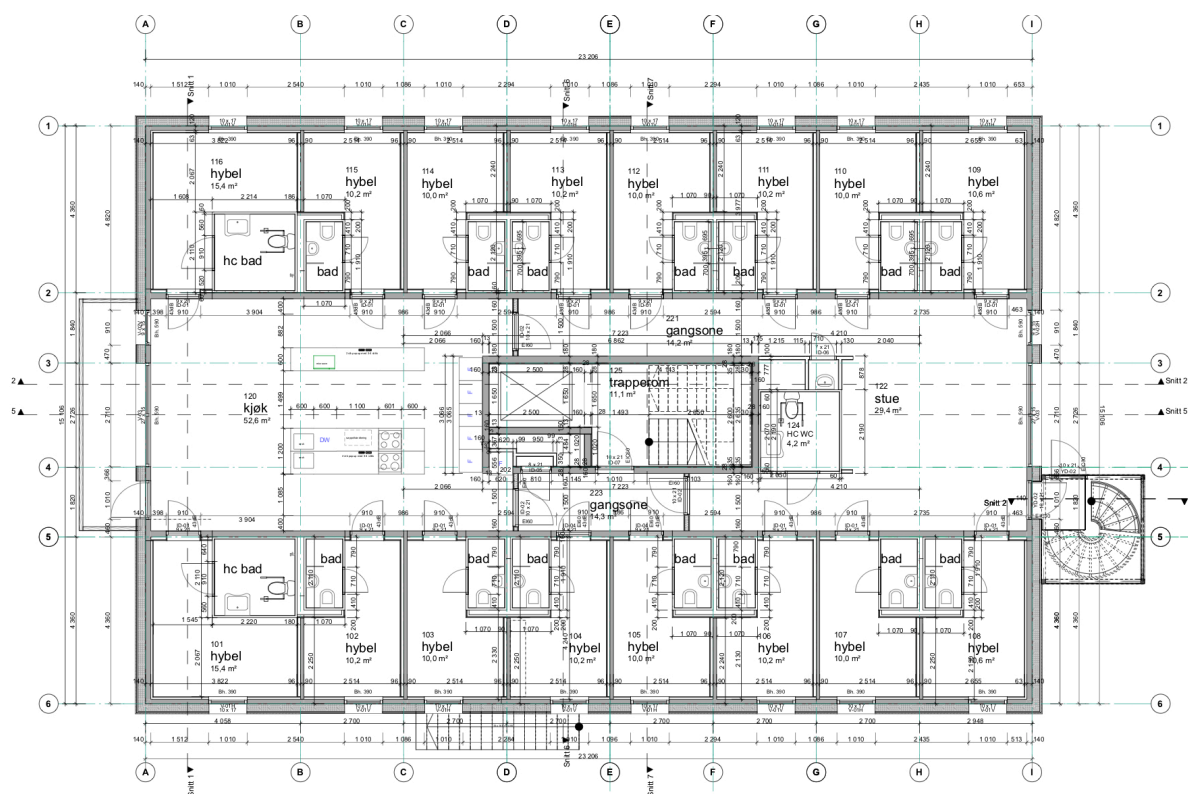
Vibrasjonsisolerende opphengssystem, eller lydhimling, brukes til lydisolering mellom to etasjer. Himlingen består av ordinære bygningsplater som henger i elastiske lydbøyler eller akustikkprofiler i stål ved hjelp av lekter. Platene må være av materiale som har lav strålingsfaktor, som for eksempel 13 mm gipsplater. Når det er to plater som tas i bruk, er platene nødt til å tettes med elastisk fugemasse der de er i kontakt med andre konstruksjonsdeler (SINTEF Byggforsk, 2018). Lydhimlingen monteres på undersiden av en dekkekonstruksjon, slik at vibrasjonsoverføringen mellom skillekonstruksjonen og lydhimlingen er så liten som mulig. Best resultat kan oppnås om konstruksjonen er tung og at underlaget som lydhimlingen festes på er stivt (SINTEF Byggforsk, 2014).

### 3.3.4. Lyddører

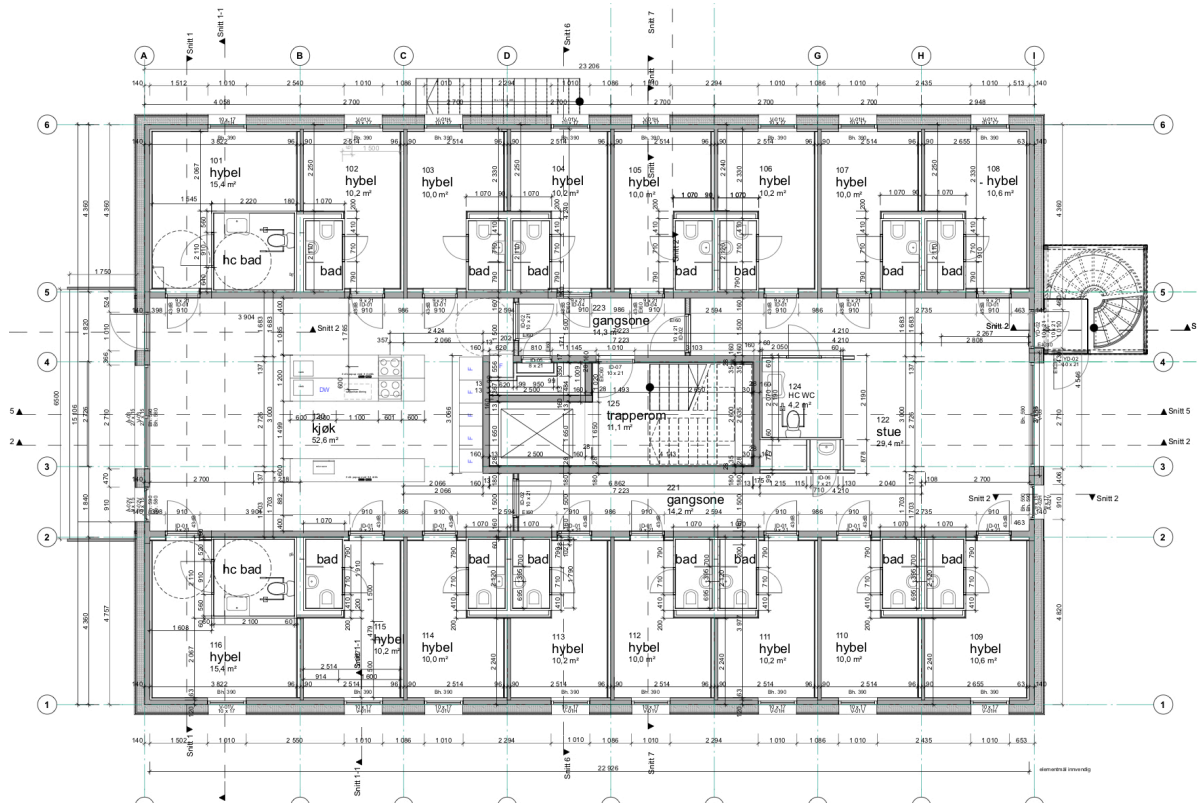
En lyddør har som funksjon å være lydisolerende. Ved innsetting er det viktig at døren er justert nøyaktig, slik at den fungerer optimalt. Det er avgjørende for lydisolasjonen at justeringen er nøyaktig og at tettelisten mellom dørbblad og karm har klemming langs hele omkretsen (SINTEF Byggforsk, 2010).

### 3.4. Aktuell konstruksjon

Den aktuelle konstruksjonen er to bygninger som er på åtte etasjer og har bærekonstruksjon av massivtre. Byggene var ferdigstilt og klar til innflytting i august 2013. Det er 16 boenheter i hver etasje i hvert bygg, med unntak av en etasje som har 15 boenheter. To boenheter i hver etasje er universelt utformet, og har dermed et areal på  $15 \text{ m}^2$ . De resterende boenhetene har et areal på mellom  $10\text{-}10,8 \text{ m}^2$ . Alle boenhetene har eget prefabrikkert bad, mens kjøkken og stue er felles for kollektivet. Totalt er det 254 studenter som bor i P26 og P28.



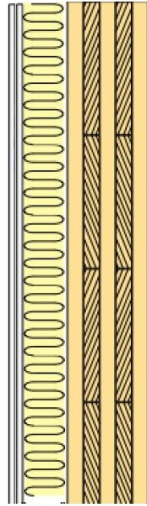
Figur 5 Planløsning av en typisk 16-roms etasje i P26 (BAS Arkitekter, 2012a)



Figur 6 Planløsning av en typisk 16-roms etasje i P28 (BAS Arkitekter, 2012b)

### 3.4.1. Bygningmessige løsninger og lydløsninger

Skilleveggen mellom boenhetene er ikke bærende. Den består av 90 mm massivtre (fem lag), 10 mm klaring, 70 mm isolasjon i hulrom og 2x13 mm gipsplater (se figur 7) og er satt på Sylomer, som er et elastisk lager. Det vil si at den ene siden av veggen er eksponert tre, mens den andre er kledd inn med to lag gipsplater. Alle boenheter har en vegg som er eksponert, mens de tre resterende veggene er kledd inn. Skilleveggen som er mellom boenheter som har bad mellom seg strekker seg kun til badet, og ikke hele veien gjennom badene. Det vil si at omtrent halvparten av veggen er av massivtreelement, mens veggen mellom baderommene er av 50 mm tykk betong. Rundt baderommene er det en påføring med frittstående gipsvegg.

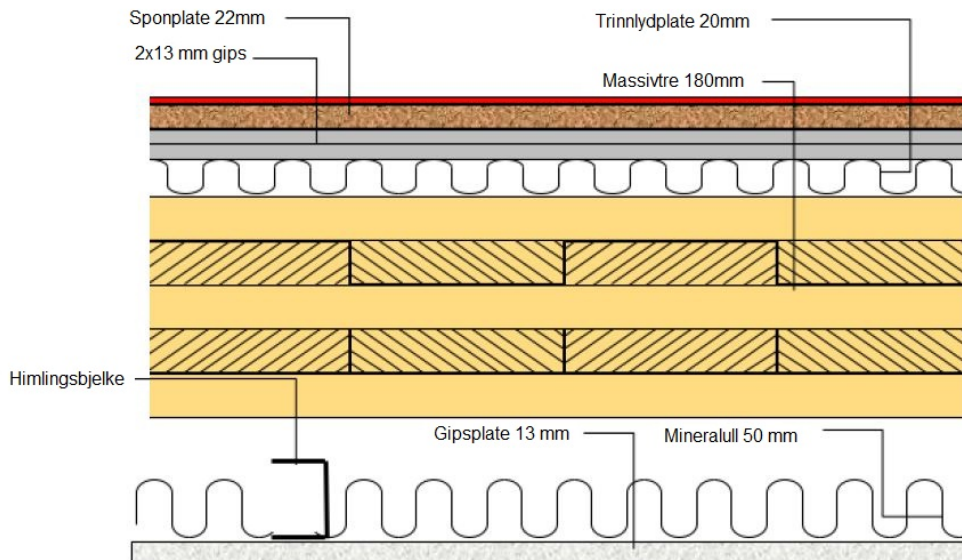


Figur 7 Snittfigur av skillevegg mellom to boenheter (Strand, 2018)

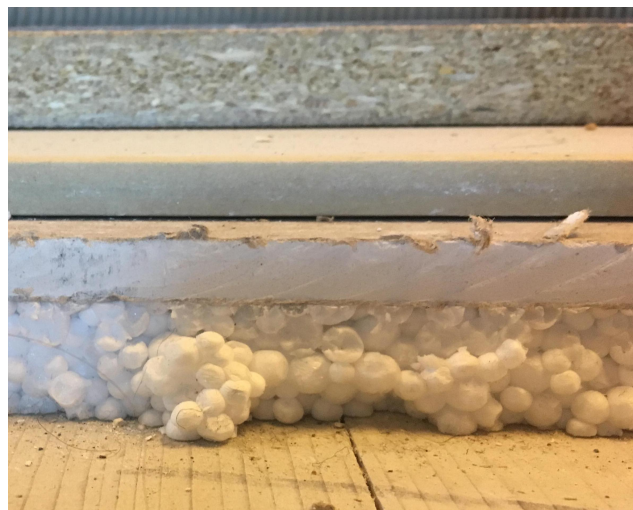
Mellom boenhetene og fellesarealet er det en skillevegg som består av 160 mm massivtre (fem lag), 10 mm klaring, 70 mm isolasjon og 2x13 mm gipsplater. Påforingen er på innsiden av boenhetene.

Det er ingen føringer gjennom skilleveggene mellom boenhetene eller mellom boenhetene og fellesarealet. Det er heller ingen rør eller ledninger som går mellom skilleveggene.

Etasjeskillene i boenhetene består av 180 mm massivtre på bunn (fem lag), 20 mm trinnlydplate av Rockwool, 2x13 mm gipsplater, 22 mm sponplate og til slutt et lag med linoleum (se figur 8). Fellesarealet har samme etasjeskille, men istedenfor Rockwool er det brukt isoporplate (se figur 9). Rett under etasjeskillet kommer lydhimlingen, som består av en himlingsbjelke og 50 mm mineralull, samt 13 mm gipsplate som er sparklet og malt.



Figur 8 Snittfigur av etasjeskillet i boenhetene (Strand, 2018)

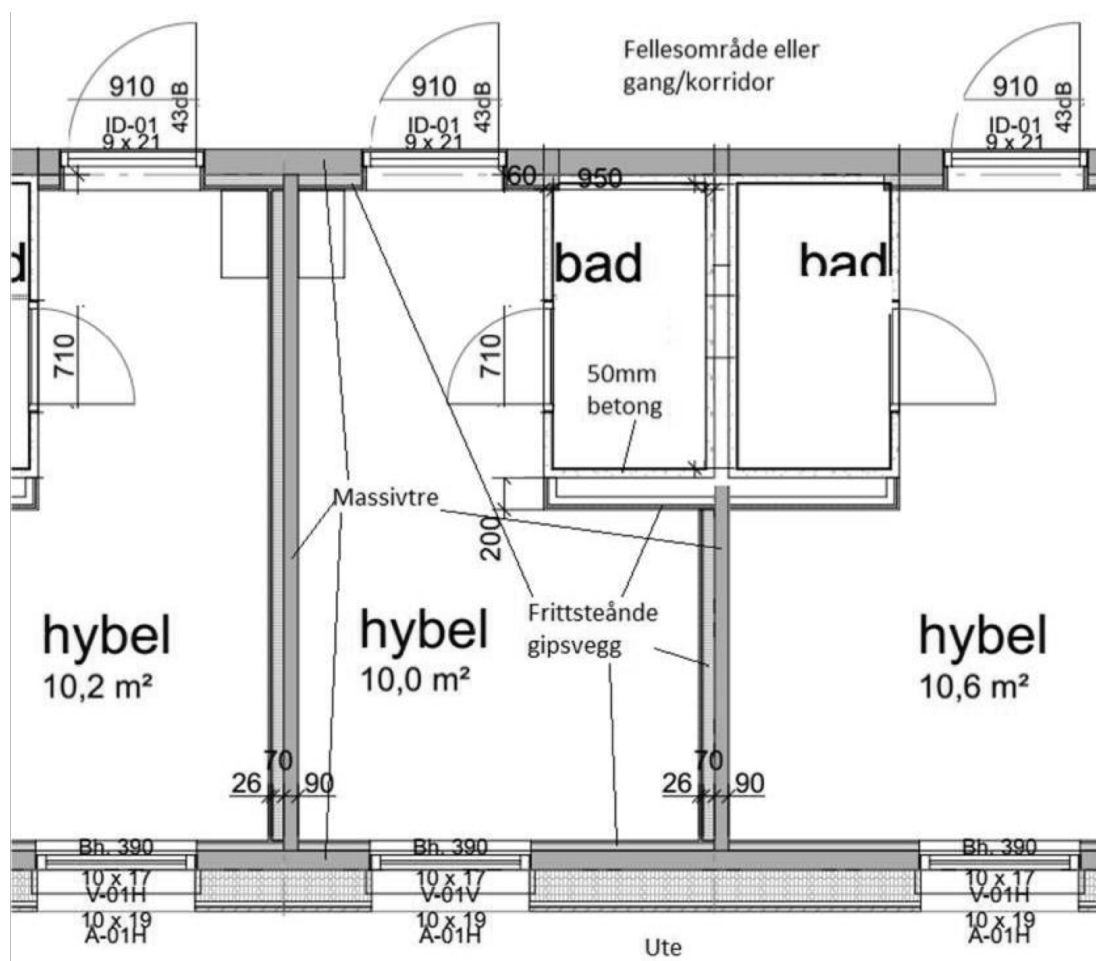


Figur 9 Snittbilde av etasjeskillet i fellesarealet (Alavi, 2017)

Fasadeveggen består av kledning på utsiden, 36 mm klaring og 198 mm trykkfast isolasjon. Det bærende massivtreelementet er på 120 mm, etterfulgt av 48 mm påforing og en frittstående gipsvegg.

Skilleveggen mellom boenheter, som strekker fra yttervegg til skillevegg mellom boenhet og fellesareal, går fra massivtreelement til massivtreelement. Det vil si at skilleveggen går gjennom påforingen på hver side. Det samme gjelder skilleveggen som går fra yttervegg til bad (se figur 10).

Til alle boenheter er det satt inn lyddører i massivtreveggen med  $R_{w(\text{lab})} = 43 \text{ dB}$ . Mellom karm, vegg og terskel er det fuget.



Figur 10 Illustrasjon av hvordan en skillevegg strekker seg fra en vegg til en annen (Sættem, 2016)

### 3.5. Måleverdier for lydisolasjon

Dette kapittelet handler om teorien bak luftlydisolasjon.

#### 3.5.1. R - Lydreduksjonstall

Lydreduksjonstallet,  $R$ , er en logaritmisk størrelse som beskriver hvor effektivt en gitt flate isolerer mot luftlyd ved et gitt frekvensbånd. Det varierer med, og er avhengig av, frekvensen. Høyere frekvenser gir større lydreduksjonstall.  $R$  tas i bruk kun i laboratorier ved målinger og studier av konstruksjonselementer, ettersom forstyrrende faktorer, som bakgrunnsstøy og flanketransmisjon, da elimineres (Vigran, 2008). For beregning av  $R$  er det lydeffektene  $W_i$  og  $W_t$  som er de avgjørende faktorene. Se formel (9).

### 3.5.2. $R'$ - Tilsynelatende lydreduksjonstall

I motsetning til målinger av luftlydisolasjon som gjøres i laboratorier, så er det mange veier for lydtransmisjon i en vanlig bygning. I tillegg til lydtransmisjon som går direkte gjennom en skillevegg, er det også flanketransmisjon og bakgrunnsstøy. For målinger i bygninger gjelder samme metode og beregning som i laboratoriebygninger, men her tas det i tillegg hensyn til differansen til lydtrykknivå på hver side av skilleveggen. Se formel (10). Denne beregningen gir det som kalles *tilsynelatende lydreduksjonstall*,  $R'$  (Vigran, 2008). Målemetoden for  $R'$  står forklart i ISO 16283-1:2014. Der kommer det frem at målinger av  $R'$  skal bruke alle 1/3 oktavbånd fra og med 100 Hz til og med 3150 Hz. Frekvensen viser til midtpunktet i et oktavbånd (Standard Norge, 2014).

### 3.5.3. $R'_w$ – Veid, feltmålt lydreduksjonstall

Ved spesifisering av lydisolasjonsverdier er det hensiktsmessig å forholde seg til ett-tallsverdien  $R'_w$  fremfor 16 lydreduksjonstall til hvert oktavbånd fra 100 Hz til 3150 Hz.  $R'_w$  er betegnelsen for *veid, feltmålt lydreduksjonstall*. ISO 717-1:2013 forklarer hvordan  $R'_w$  skal beregnes (Standard Norge, 2013). Den sier at alle verdiene for hvert frekvensbånd fra 100 Hz til 3150 Hz skal sammenlignes med en referansekurve. Referansekurven forflyttes med 1 dB trinn fra kurven med  $R'$ -verdiene frem til summen av avviket mellom de to kurvene er så stor som mulig, men ikke større enn 32 dB. Ett-tallsverdien,  $R'_w$ , leses av på kurven med  $R'$ -verdiene ved 500 Hz ved den høyeste verdien der referansekurven kan være (Vigran, 2008).

### 3.5.4. $C$ – Korreksjonstall for lydreduksjonstall

*C-korreksjon* er et omgjøringstall som brukes for å gi bedre vurdering av det hørbare frekvensregistret i et utvidet spekter, som inkluderer lavfrekventområdet (50 Hz - 80 Hz) og høyfrekventområdet (4000 Hz – 5000 Hz). Dette er et tall som regnes ut ifra hvor verdiene for  $R'$  ligger i forhold til A-veid referansekurve (Standard Norge, 2013). Se formel (11). Lave verdier for  $R'$  ved lave frekvenser gir ikke like mye negativt utslag for omgjøringstallet som tilsvarende verdier for  $R'$  ved frekvenser som er nærmere midten av frekvensspekteret (Vigran, 2008). Siden beregning av omgjøringstallet innebærer en logaritmisk summering av differansen mellom A-veid kurve og verdiene for  $R'$ , vil store negative enkeltavvik gi større utslag sammenliknet med utregning av ett-tallsveide lydreduksjonstall. Dette er fordi utregningen av ett-tallsveide går ut på en lineær sum av negative differanser. Når det er store negative verdier

for C indikerer det at det er dårlig lydisolasjon for lavfrekventområdet (SINTEF Byggforsk, 2000).

### 3.6. Menneske og lyd

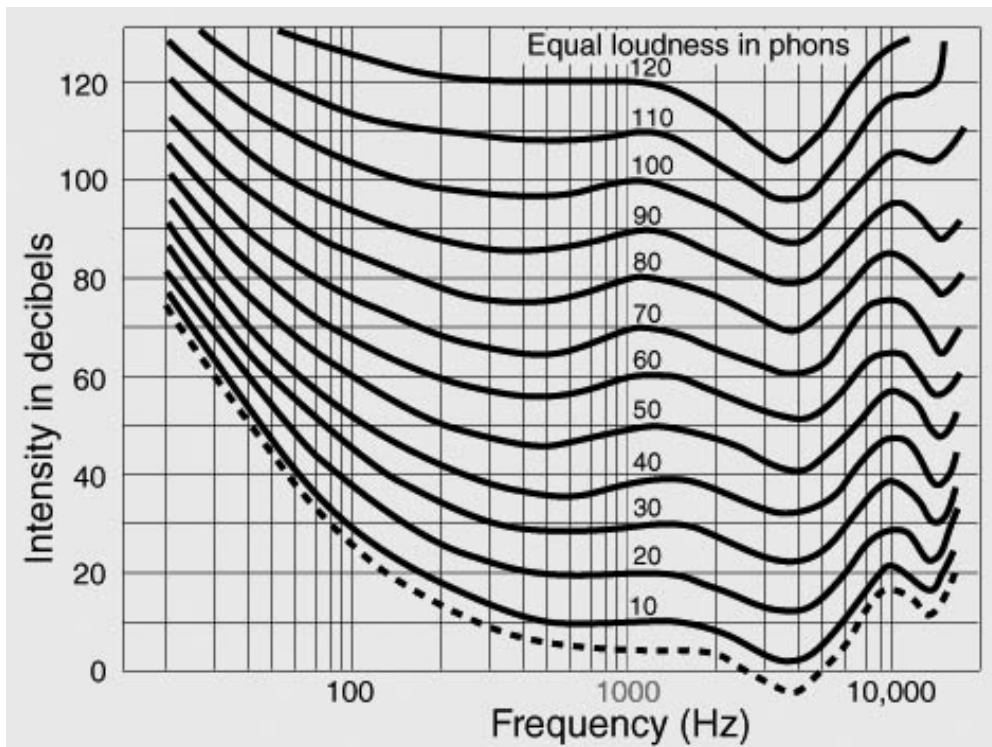
#### 3.6.1. Menneskets oppfattelse av lyd

Lydtrykknivå har enheten desibel, som er  $1/10$  av 10-tallslogaritme. Årsaken til at lydtrykknivå følger en logaritmisk skala er at det er mer hensiktsmessig for å si noe om hvordan et menneske opplever styrken på lydtrykknivå. Å omtale lydtrykknivået som et menneske kan oppfatte lineært vil føre til bruk av veldig små tall med mange desimaler. Desibelskalaen er jevn. Det vil si at en endring på 1 dB utgjør en like stor forskjell i lydnivå fra for eksempel 90 dB til 91 dB som fra 10 dB til 11 dB. Et menneske evner å oppfatte lyder som er mellom 20 Hz til 20 kHz (Hass, 2017). Den minste endringen i lydstyrke et menneske kan oppfatte er 3 dB, som er en dobling av lydenergien.

Innen psykoakustikk er *just noticeable difference* (JND) et begrep som beskriver den minste variasjonen i lydintensitet som fører til merkbar endring i lydnivå (Lorenzi, 2016). Det er et tilnærmet konstant forholdstall – altså er JND en konstant andel av referansenivået til lydintensiteten. Den matematiske definisjonen på JND står skrevet i kapittel 2 – Terminologi og formler. JND kan deles i to kategorier: en for frekvens (JND Hz) og en for desibel (JND dB). Ved lave frekvenser er JND (Hz) omtrent 1 Hz. Det vil si at de fleste vil klare å høre forskjell på en lavfrekvent lyd hvis frekvensen øker med 1 Hz. Ved høyere frekvenser skal det derimot mer til enn 1 Hz for å høre forskjell (Forinash, 2018).

En phonskala med likelydskurver viser hvordan et menneske oppfatter lydtrykknivå (se figur 11). Ved 1000 Hz er phonskalaen lik desibelskalaen. Det vil si at ved 1000 Hz er det 0 phon ved 0 dB. Det betyr at for at to toner, en med frekvens på 100 Hz og en på 1000 Hz, skal oppfattes som like sterke, så må den tonen som er på 100 Hz ha en høyere lydtrykknivå (Gjestland, 2018).





Figur 11 Phonskala som viser likelydskurver som funksjon av lydtryknivå i dB og frekvens i Hz (Wikilectures, 2016)

### 3.6.2. A- og C-vekting

Phonskala brukes for å vekte lyd ved måling av lydtrykk. Dette er for å ta hensyn til at styrken på lydtrykk og lydtrykk med frekvens oppleves ulikt. Det mest vanlige er å benytte seg av A-vekting, som er basert på likelydskurven ved 40 phon, noe som tilsvarer 40 dB. Likelydskurven for C-vektet lyd er 100 phon, som tilsvarer 100 dB.

## 3.7. Lover og forskrifter

### 3.7.1. Byggteknisk Forskrift (TEK 10)

P26 og P28 ble bygget mens TEK 10 fremdeles var gjeldende. Veiledningen til første ledd i §13-6 *Generelle krav om lyd og vibrasjoner* i TEK 10 definerer et brukerområde som "et rom eller en samling rom i en bygning som brukes til et bestemt formål, f.eks. en boenhet (bolig)" (Byggteknisk Forskrift, 2010). Videre står det at "flere hybler gruppert rundt fellesrom som stue/kjøkken/bad, kan betraktes som et bruker-område. Det anbefales likevel å lydisolere mellom slike rom.", men det stilles ikke krav til lydisolasjon mellom boenhetene, annet enn at det skal beskyttes mot overhøring. Dimensjoneringen av støybeskyttelsen mellom brukerområdene er avhengig av lydnivået ved forventet aktivitet i et brukerområde. TEK 10 forutsetter at metoder og begreper som er angitt i NS 8175:2012 skal brukes ved prosjektering (Byggteknisk Forskrift, 2010).

### 3.7.2. Lydklasser og grenseverdier

Kriterier for lydforhold er angitt i NS 8175:2012. De er inndelt i fire lydklasser, A, B, C og D, der lydklasse A har grenseverdiene som gir best lydforhold, mens D gir dårligst lydforhold. Denne inndelingen gjør det enkelt å velge grenseverdier etter tiltenkt formål. Under *preaksepterte ytelser* i veiledningen til §13-6 i TEK 10, kommer det frem at kravene til lydforhold oppfylles av lydklasse C i NS 8175:2012. Tabell 1 i NS 8175:2012 viser de laveste grenseverdiene for luftlydisolasjon i boliger. Der står oppført at "*mellom boenheter innbyrdes og mellom en boenhet og fellesareal/kommunikasjonsvei, som fellesgang, svalgang, trapperom, trapp, o.l.*" for klasse C er grenseverdien for veid, feltmålt luftlydisolasjon  $R'_w \geq 55$  dB.

### 3.7.3 Byggherrens tolkning av krav

I et uformelt notat fra Brekke og Strand kommer det frem at byggherre selv har satt kravet på luftreduksjonstallet mellom boenheter til å være  $R'_w = 52$  dB (Strand, 2012). Det er uvisst hvordan kravet ble bestemt, men det er tilsynelatende bestemt basert på kapittel 10 i NS 8175:2012. Dette er et kapittel som omhandler overnattingssteder. For lydklasse C i tabell 26 står det at grenseverdien mellom gjesterom for klasse C skal være  $R'_w \geq 52$  dB.

## 3.8. Statistikk

### 3.8.1. Konfidensintervall og signifikansnivå

Konfidensintervall er et tall, som angis i prosent, og brukes i statistikk for å oppgi hva feilmarginen til en beregning eller en måling er. Jo bredere konfidensintervallet er, desto høyere sannsynlighet er det for at den sanne verdien til beregningen eller målingen er innenfor de to ekstremverdiene til intervallet. Det vanligste er å bruke et konfidensintervall på 95%, fordi statistiske tester hovedsakelig bruker et signifikansnivå på 5% (Løvås, 2004).

Signifikansnivå er en grenseverdi for å beskrive sannsynligheten for at et resultat skyldes tilfeldigheter. Ved tilfeller der det er lav sannsynlighet for at tilfeldigheter har påvirket et resultat, blir resultatet ansett som statistisk signifikant. Det vil si at signifikansnivået bestemmer hvor statistisk signifikant resultatet må være for at det skal aksepteres (Løvås, 2004).

### 3.8.2. T-testing

En T-test er en form for hypotesetest som går ut på å teste forskjeller mellom to utvalg basert på en nullhypotese og en alternativ hypotese. Nullhypotesen er det som undersøkes, men om

den forkastes må den alternative hypotesen aksepteres. Forutsetninger som må ligge til grunn ved utføring av en T-test er at det er tilfeldig utvalgte observasjoner, som ikke er avhengige, er normalfordelt og har lik varians. For å bestemme om en nullhypotese skal forkastes eller ikke, er det vanlig å bruke signifikansnivå på 5%. Etter å ha utført en T-test får man en p-verdi. Dette tallet beskriver sannsynligheten for at resultatet er tilfeldig eller ikke. P-verdien sammenlignes med signifikansnivået. Nullhypotesen forkastes dersom p-verdien er mindre enn eller lik signifikansnivået, og beholdes dersom p-verdien er større (Løvås, 2004).

## 4. Metode

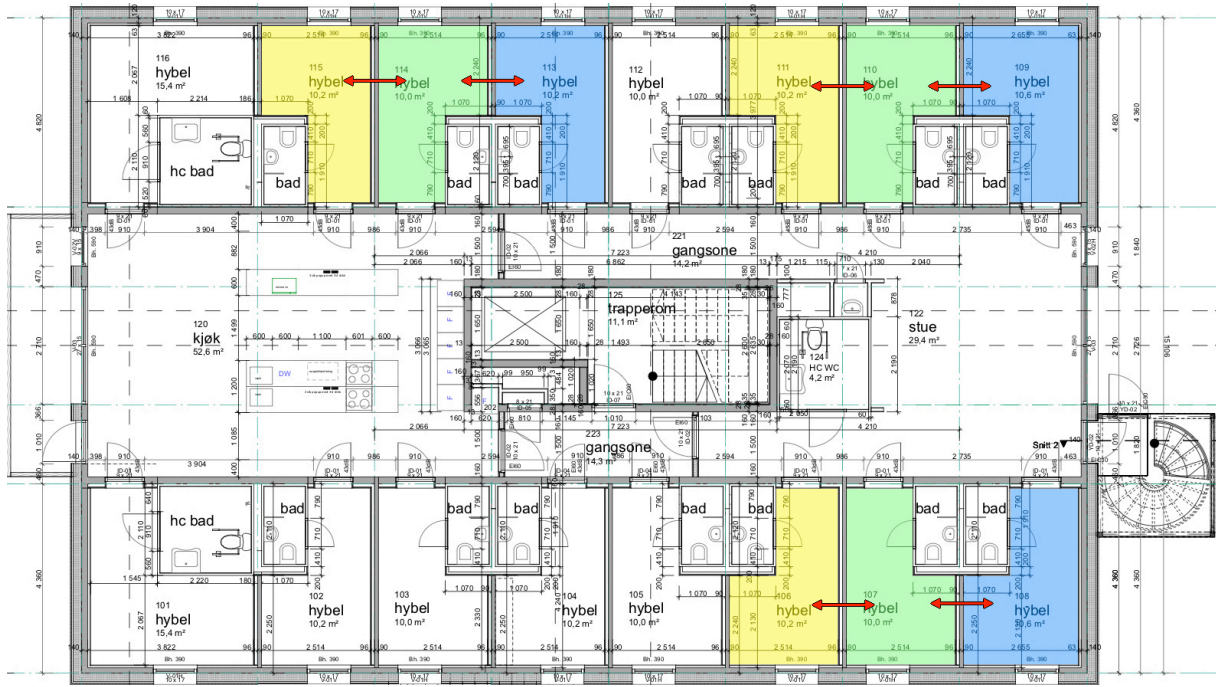
Dette kapitlet tar for seg opplæringen oppgavens forfatter fikk om lydmåling før selve oppgaven ble satt i gang. Det tar også for seg begrunnelse på aktuelle rom som ble valgt. Videre forklares hvilke utstyr som ble brukt og hvordan målingene ble utført, samt avvik fra de gjeldende standardene.

### 4.1 Opplæring

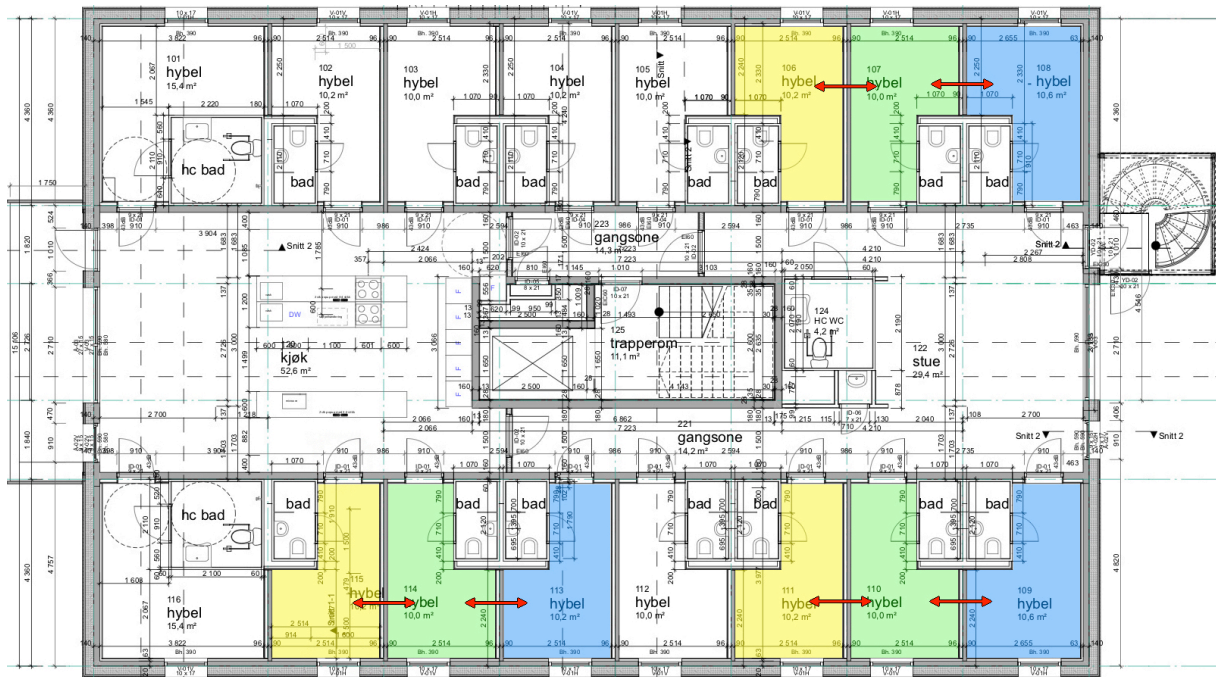
Opplæring i bruk av målemetode- og instrumenter ble gitt av Rambøll i januar 2018 på en skole de utførte målinger på. Der var det innføring og observering av hvordan måleutstyret fungerer, hva som skal tas hensyn til ved måling, samt hvor og hvordan måleutstyr settes opp i mottaker- og senderrom. Forfatter av oppgaven fikk også mulighet til å prøve seg med den håndholdte måleren ved måling av luftlydisolasjon og etterklangstid, men kun observerte ved utføring av sine sweep.

### 4.2. Valg av boenheter

Ved valg av boenheter var tanken å benytte samme enheter som var målt i 2012, på grunn av fordelene med konkret og direkte sammenlikning. I det uformelle notatet fra Brekke og Strand (Strand, 2012) kommer det ikke frem hvilke enheter som var målt. Dermed ble det bestemt at det skulle velges ut seks representative enheter, tre i hvert bygg (se figur 11 og figur 12). Senderrom er markert i grønt, mottakerrom som har skillevegg med bad er i blått og mottakerrom som har skillevegg uten bad er i gult. På grunnlag av oppgavens forfatters subjektive erfaringer med å ha bodd i samme enhet i fem år, har samtlige valgte enheter et areal på 10 m<sup>2</sup> og befinner seg i syvende etasje. Dette inkluderer også forfatterens egen boenhet. Ved at alle enheter har samme areal og er i samme etasje, vil de grunnleggende forutsetningene deres anses å være like og sammenlignbare.



Figur 12 Målte rom i P26



Figur 13 Målte rom i P28

### 4.3. Måleutstyr

Tabell 1 viser måleutstyr som ble benyttet til utføring av lydmålingene.

Tabell 1 Liste over utstyr med gyldig kalibreringsdato

Instrument	Navn på instrument		Serienummer
Håndmåler 1	Sound level meter	Norsonic 118	31994
Håndmåler 2	Sound level meter	Norsonic 118	31751
Høytaler	Hemi – dodacahedron	NOR250	31417
Forsterker	Power amplifier	NOR280	2804096
Forforsterker 1	Preamplifier	Norsonic 1206	30865
Forforsterker 2	Preamplifier	Norsonic 1206	30980
Kalibrator	Sound calibrator	Norsonic 1251	31016
Mikrofon 1		Norsonic 1225	91786
Mikrofon 2		Norsonic 1225	225450
Programvare	Norbuild		

### 4.4. Lydisolasjonsmåling

Måling av luftlydisolasjonen til skillevegger mellom boenheter ble foretatt 12.03.2018 i henhold til standarden ISO 16283-1:2014 med noen unntak, som utdypes senere. De seks representative boenhetene er senderrom, og enhetene på hver side av senderrommene er mottakerrom. Til denne oppgaven ble det valgt å bruke håndholdte målere og rosa støy. Rambøll bistod med utlån av måleutstyr, samt en ansatt, som bidro med veiledning og hjelp ved utføring av målingene. Før målingene ble satt i gang ble det dobbeltsjekket at mikrofonene var kalibrert til 113,8 dB. Dette ble gjort ved å plassere mikrofonen i en kalibrator, som genererer et lydnivå på 114,0 dB ved 1000 Hz. I dette tilfellet var mikrofonene kalibrert, men om de ikke var det, måtte sensitiviteten justeres til 113,8 dB. Takhøyden ble også kontrollmålt å være 2,43 m. Håndholdte målere ble benyttet. Ved utføring av målinger var alle baderomsdører lukket. Da det var to personer som utførte målingene, ble det gjort mer effektivt ved at det ble kontinuerlig byttet på hvem som stod i senderrom og mottakerrom med hver sin håndholdte måler. Det ble også byttet på hvem som målte etterklangstiden. Underveis i målingen, mens høytaleren var på med rosa støy, ble det gjort andre undersøkelser, som å lytte etter flanketransmisjon gjennom ytterveggen i mottakerrom på hver side av senderrom ved å sette øret nesten helt inntil veggen. Andre ting som ble undersøkt mens rosa støy var på i senderrom var å høre etter en endring i lydnivå ved å klemme inn dørene. Dette ble undersøkt på ulike måter. Den ene metoden var å stå rett utenfor senderrommet og klemme inn døren. Den andre metoden var å stå i mottakerrom med døren lukket, mens døren til senderrom ble klemt igjen. Den tredje metoden var å lukke døren til senderrommet og stå i mottakerrommet mens døren

til mottakerrommet ble klemt igjen. Etter å ha lest av resultatene på målingene, ble sprekke-undersøkt, samt størrelsen på dem, i de eksponerte veggene. Disse observasjonene vil det gås dypere inn på i kapittel 6 - Diskusjon.

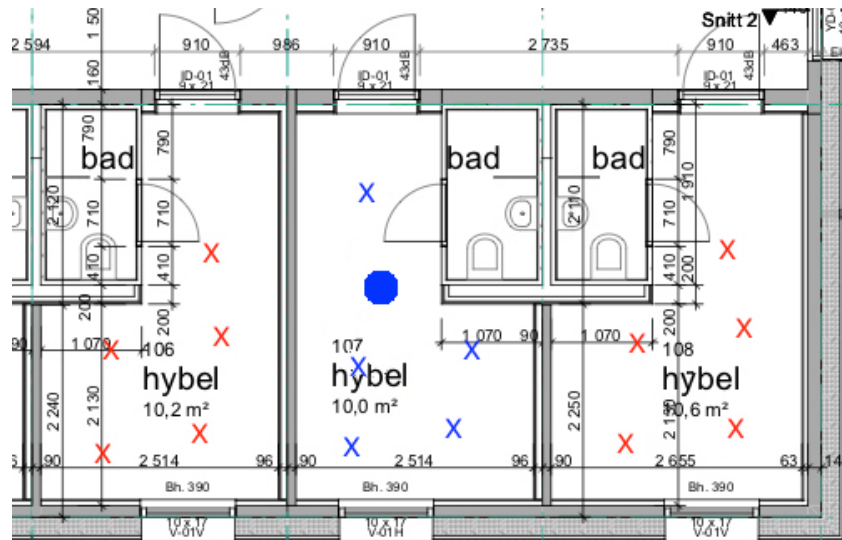
#### 4.4.1. Høytaler- og mikrofonposisjon

Da arealet av overflaten til gulvet i alle boenhetene er mindre  $50 \text{ m}^2$ , ble det gjort målinger med kun to høytalerposisjoner. ISO 16283-1:2014, tillegg C, sier at høyttaleren bør plasseres nærmest mulig hjørner på motsatt vegg av skilleveggen, gitt at lydtransmisjonen ikke er dominert av flanketransmisjon (Standard Norge, 2014). Avstanden mellom hvert fall to av høytalerposisjonene må være minst 1,4 m, og minst 0,7 m fra vegger. Alle avstander måles fra senter av høyttaler til overflaten til hindring/vegg. Dermed ble senteravstanden mellom høyttalerne litt i overkant av 1,4 m. Mikrofon i enden av en håndholdt måler skal, ifølge ISO 16283-1:2014, ha minst en armlengdes avstand fra personen som utfører målingene. Den skal også ha minimumsavstandene 0,5 m fra vegger, 0,7 m fra hindringer som er parallelle med vegger, og 1,0 m fra den aktuelle skilleveggen. Det skal utføres målinger fra minst fem ulike posisjoner per høytalerposisjon, og ingen to mikrofonposisjoner skal ligge i samme plan som rommets hindringer. Mikrofonposisjonene skal heller ikke ligge i et fast rutenett. Gjennomsnittlig måletid ved hver posisjon skal være på minst 4 sekunder for 100 Hz - 5000 Hz, og minst 15 sekunder for 50 Hz - 80 Hz (Standard Norge, 2014). Det ble målt i 10 sekunder ved hver posisjon. Figur 13 og 14 illustrerer posisjonen til høyttaler og mikrofon var ved henholdsvis første og andre runde med målinger. Den blå sirkelen viser høytalerposisjonen i senderrommet, og kryssene viser hvor de fem målingene med mikrofonen ble gjort i hvert rom.



Figur 14 Høytalerposisjon 1

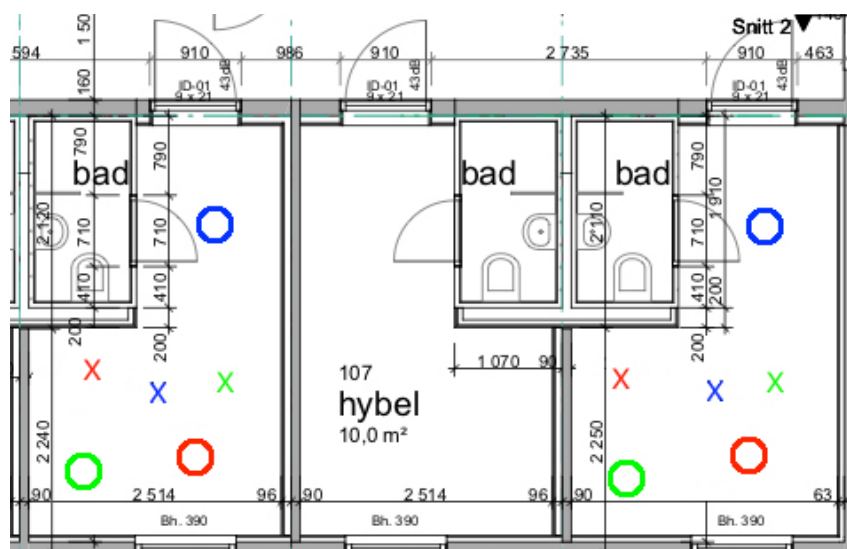




Figur 15 Høytalerposisjon 2

#### 4.4.2. Måling av etterklangstid

Etterklangstiden ble målt i hvert mottakerrom i henhold til NS-EN ISO 3382-2:2008, som sier at når resultatet til en teknisk metode skal brukes til korrigering av andre målinger på teknisk nivå, så er det krav om bare tre målepunkter. Målingene skal da ikke utføres i speilvendte posisjoner – det skal være nye posisjoner ved hver måling. Dette ble gjort ved å sprekke tre ballonger på tre ulike posisjoner i boenheten. Figur 5 er en fargekoordinert illustrasjon av hvor en ballong (sirkel) ble sprukket og hvor tilhørende håndmåler (kryss i samme farge som sirkel) befant seg ved målingen.



Figur 16 Måling av etterklangstid



## 4.5. Avvik fra Norsk standard

På grunnlag av begrenset tilgang til private boenheter, tid og plass i selve boenhetene ble det en del avvik fra gjeldene standarder.

### 4.5.1. Statistisk grunnlag

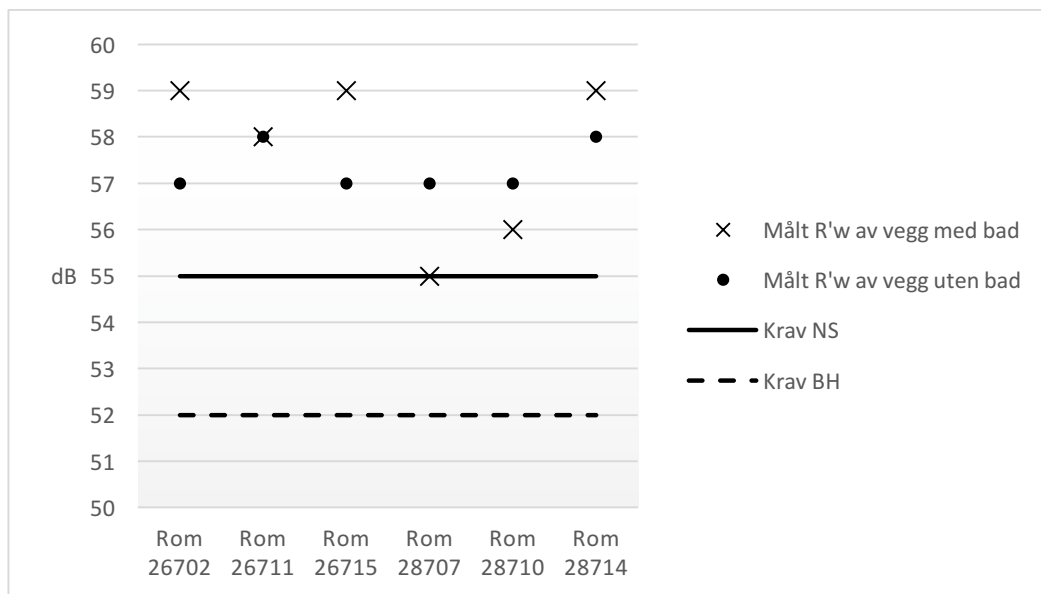
For å kunne tallfeste lydisolasjonsverdier, er det behov for et godt statistisk grunnlag. Det kommer frem i NS 8175:2012, tillegg B, at minst 5% av en type enheter som klassifiseres i en lydklasse skal måles. I denne oppgaven vil 5% tilsvare 13 (rundet opp fra 12.7) boenheter, men i realiteten ble det gjort målinger på seks boenheter (Standard Norge, 2012).

### 4.5.2. Høytaler- og mikrofonposisjon

På grunn av størrelsen og møbleringen i boenhetene var det ikke mulig å kunne følge standarden, spesielt med tanke på minimumsavstanden mikrofonen og høyttaleren skulle ha til vegg og andre hindringer. Merknad 1 i kapittel 6 i NS 8175:2012 sier at ved å legge sammen  $C_{50-5000}$  og  $R'_w$  tas det hensyn til luftlydisolasjon ved frekvenser under 100 Hz for boliger i klasse A og B (Standard Norge, 2012). Dermed ble det heller ikke utført hjørnemålinger for lavfrekventområdet, fordi det er relevant kun for målinger av  $R'_w$  med utvidet spekter for boliger i lydklasse A og B.

## 5. Resultater

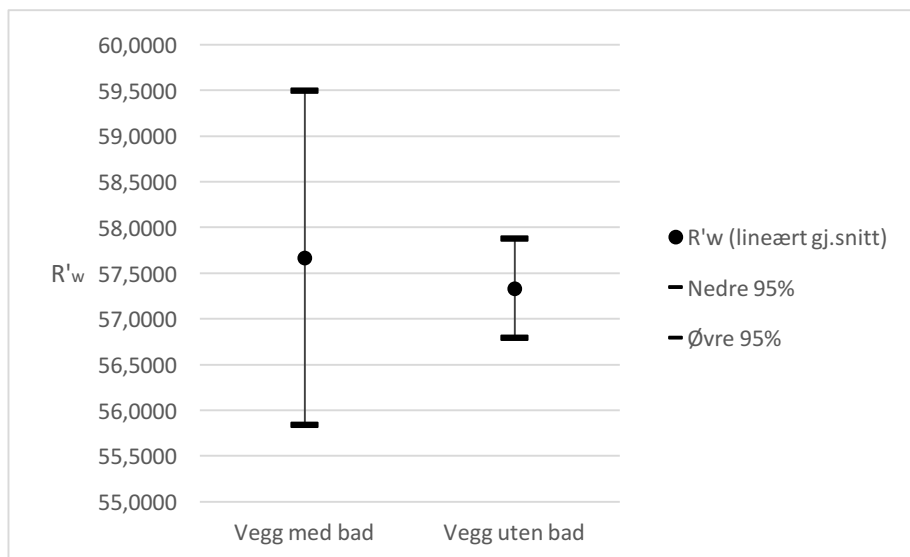
Det ble utført 12 målinger av  $R'_w$  for skillevegger mellom boenheter, og resultatene illustreres i figur 16. For ordens skyld er måleverdiene for veggene illustrert med utgangspunkt i veggene på hver side av senderrom, der den ene vegg har bad og den andre ikke har bad. Vegger med bad har større variasjons av målt  $R'_w$ -verdi enn vegger uten bad, med målinger som varierer fra 55 dB til 59 dB. Ellers ligger alle verdiene over kravet fra norsk standard, som er 55 dB, og byggherrens krav på 52 dB.



Figur 17 Illustrasjon av målt  $R'_w$  av vegger i senderrom. Den heltrukne linjen er krav satt av Norsk standard (NS), og den stiplede linjen er krav satt av byggherre(BH).

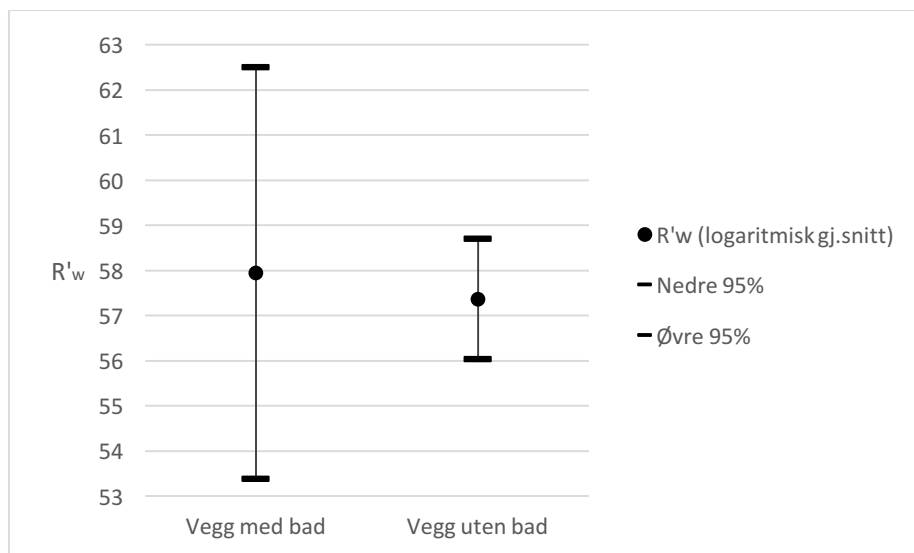
### 5.1. Statistisk evaluering av resultatene

Siden resultatene for målt  $R'_w$  av vegger med bad og målt  $R'_w$  av vegger uten bad er så forskjellige, ble det besluttet å ta en statistisk evaluering og en t-test med 95% konfidensintervall, til tross for at det ikke er utført nok antall målinger jfr. NS 8175:2012. På grunn av de to veggene som skiller seg mest ut med målt  $R'_w$  på 55 dB og 56 dB, er de statistiske beregningene utført med både logaritmisk og lineært gjennomsnitt av målt  $R'_w$ . For lineært gjennomsnitt av målt  $R'_w$  for vegg med og uten bad er det 95% sannsynlighet for at det faktiske gjennomsnittet ligger over både kravet til norsk standard og kravet byggherren har satt (se figur 17).



Figur 18 Lineært gjennomsnitt av målt  $R'_w$  med 95% konfidensintervall

For logaritmisk gjennomsnitt av målt  $R'_w$  for vegg med og uten bad er det 95% sannsynlighet for at det faktiske gjennomsnittet ligger over kravet byggherren har satt, men det er kun logaritmisk gjennomsnitt av målt  $R'_w$  av vegger uten bad som med 95% sannsynlighet ligger over kravet til norsk standard (se figur 18).



Figur 19 Logaritmisk gjennomsnitt av målt  $R'_w$  med 95% konfidensintervall

Tabell 2 Logaritmisk gjennomsnitt av målt  $R'_w$  av vegger med og uten bad med 95% konfidensintervall, samt t-test for differansen mellom dem

Type vegg	Antall målinger	$R'_w$ (logaritmisk gj.snitt)	SEM	Nedre 95%	Øvre 95%
Vegg med bad	6	57,9336	1,7754	53,3690	62,4981
Vegg uten bad	6	57,3595	0,5172	56,0298	58,6893
Type vegg	Differanse		STD Error diff	p-verdi	
Vegg med bad - vegg uten bad	0,5740		1,849	0,7626	

Tabell 3 Lineært gjennomsnitt av målt  $R'_w$  av vegger med og uten bad med 95% konfidensintervall, samt t-test for differansen mellom dem

Type vegg	Antall målinger	$R'_w$ (lineært gj.snitt)	SEM	Nedre 95%	Øvre 95%
Vegg med bad	6	57,6667	0,71	55,8413	59,4921
Vegg uten bad	6	57,3333	0,21	56,7934	57,8732
Type vegg	Differanse		STD Error diff	p-verdi	
Vegg med bad - vegg uten bad	0,3334		0,74	0,6621	

Nullhypotesen til T-testen er at gjennomsnittlig målt  $R'_w$  for begge typer vegger er lik. T-testen av både logaritmisk og lineært gjennomsnitt av målt  $R'_w$  gir p-verdier over 0,05, og dermed er de ikke å anse som statistisk signifikante. Det vil si at nullhypotesen ikke forkastes. Dette vil kommenteres videre i kapittel 6 – Diskusjon.

## 5.2. Andre observasjoner

I tillegg til å gjøre målinger, som gir tallfestede verdier, ble det også gjort noen subjektive observasjoner under målingene.

### 5.2.1. Innklemming av dører

Innklemming av dører i mottaker- og senderrom, mens rosa støy var på, førte til en merkbar endring i lydnivået. Dette gjaldt for alle tre metodene som er nevnt i kapittel 4.4 – Lydisolasjonsmåling.

### 5.2.2. Inspeksjon av sprekker i skillevegg

Størrelsen, plasseringen og antallet sprekker i de eksponerte skilleveggene ble undersøkt. Det er ikke en vesentlig forskjell mellom skilleveggene, med unntak av rom 28708, der noen av

sprekkene er tilsynelatende noe større. Dette er tilsynelatende sprekker som er oppstått kun i det første laget av veggelementene. Dette vil diskuteres videre i kapittel 6.3 - Måleusikkerheter.

### 5.2.3. Flanketransmisjon

Det ble lyttet etter ulik grad av flanketransmisjon ved å legge øret nært inntil yttervegg i mottakerrom på hver side av senderrom for så å forsøke å høre om det var en forskjell mellom rommene. Denne metoden gav ikke resultater som kan diskuteres videre, da det var vanskelig å kunne si noe om det faktisk var en forskjell. I tillegg opplyser Rambøll at flanketransmisjonen opplevdes å være lav i disse boenhetene, noe som er naturlig i rom der fasadeveggen er påforet. Dermed kan usikkerheten på grunn av flanketransmisjon antas å være lav.

## 6. Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres resultater fra lydisolasjonsmålingene, samt andre observasjoner, opp mot teori for å besvare oppgavens problemstilling.

### 6.1. Manglende dokumenter

I utgangspunktet var hensikten med oppgaven at resultatene fra målingene som ble utført i forbindelse med oppgaven skulle sammenliknes med måledata fra da bygningene var nybygget. Det var forutsatt at relevante dokumenter var på plass. Mangel på disse dokumentene åpnet for muligheter til å angripe problemstillingen fra en teoretisk vinkel, uten å være avhengig av å måtte foreta nye målinger.

### 6.2. Vurdering av lydisolasjonsmålinger

#### 6.2.1 Vurdering av resultat av målt $R'_w$

Alle veggene tilfredsstiller kravet for lydreduksjonstall i norsk standard. Målingene har gitt høye verdier for  $R'_w$ . I teorien kan ikke skillevegger av typen som er målt i denne oppgaven redusere lyd særlig mer enn det resultatene viser. Dermed kan det være naturlig å anta at sprekkene sannsynligvis ikke har ført til en svekkelse i lydreduksjonen

#### 6.2.2. Sammenligning av vegger med bad og vegger uten bad

Sammenligning av målt  $R'_w$  i vegger med og uten bad ble gjort, fordi det var interessant å se hva som utgjorde forskjellen i resultatene. Nullhypotesen, som var at gjennomsnittlig målt  $R'_w$  for begge typer vegger er lik, ble ikke forkastet, fordi p-verdien var høyere enn 0,05. Det er også et viktig poeng at den statistiske vurderingen ikke tar hensyn til at tettheten til dørene kan påvirke verdiene på målt  $R'_w$ . Resultatene til den statistiske vurderingen er heller ikke representativ for P26 og P28, fordi det er tatt målinger på færre enn 5% av en type enheter, som kan klassifiseres i en lydklasse.

### 6.3. Måleusikkerheter

Resultatene på målerverdiene kan ha blitt påvirket av flere momenter. Disse måleusikkerhetene skal det gås nærmere inn på og diskuteres i dette delkapitlet.

### 6.3.1. Påvirkning av møblering

Møbleringen i rommet kan ha en påvirkning på måleresultatene. Blant annet fordi alle sengene ligger inntil vegger med bad. Over sengene er det en bokhylle som går fra yttervegg til baderomsvegg. På andre siden av boenhetene er det et skrivebord med bokhyller under, og ved siden av skrivebordet er det en bokhylle som går helt opp til taket. Alle hyllene er ikke fylt opp like mye. Noen har også oppbevaring under sengen. Dette er momenter som kan påvirke og øke målt  $R'_w$ . Sannsynligvis er dette en årsak til at resultatene ligger noe over det som kan forventes. Den forholdsvis lave verdien (55 dB) til vegg med bad i senderrom 28707 kan muligens komme av at det var vesentlig mindre møblering i mottakerrommet i forhold til de andre boenhetene.. Det ideelle hadde vært å tømme alle boenhetene for møblering, fordi da ville påvirkning av møblering elimineres og måleresultatene ville vært mer eksakte. Når det er sagt, ble ikke volumet av møbleringen trukket fra totalvolumet til sender- og mottakerrom ved utregning av målt  $R'_w$ . Dette er fordi de forskjellige volumene som møbleringen utgjør, er en lav andel av totalt volum, og det er usikkerheter knyttet til beregning av volum for møbler som ikke er lukket.

### 6.3.2. Avvik fra standard – avstander

På grunn av størrelsen og utformingen av boenhetene, er det muligheter for at noen av mikrofonposisjonene ikke var innenfor minstekravene for avstand fra vegger, hindringer og personen som utfører målinger. Mikrofon som er litt for nærme en skilleflate som måles kan lede til et misledende høyt målt  $R'_w$ -verdi.

### 6.3.3. Avvik fra standard – lavfrekventmetoden

Siden boenhetene er små, vil lavfrekventmetode føre til stående bølger i boenhetene. Det tar lang tid å oppdage hvor lydnivået er høyest, samt å måle det. Det er ikke tatt utgangspunkt i måling med utvidet spekter til denne oppgaven. Dermed vil ikke usikkerheter tilknyttet fravær av målinger med utvidet spekter være av betydning.

## 6.4. Dører

Til denne oppgaven er det ikke utført målinger av lyddører. Dermed kan det ikke med sikkerhet sies at egenskapene til dørene påvirker målt  $R'_w$  av skilleveggene, basert kun på målingene utført i forbindelse med denne oppgaven. For SiÅs er det en kjent sak at det er problemer med lyddørene i P26 og P28. Som følge av mange klager på støy fra beboerne ble det i februar 2018 utført lydmålinger i andre boenheter i P26 enn de som er målt i forbindelse med denne

oppgaven. I målerapporten kommer det frem at det er lydlekkasje i dørene hovedsakelig på grunn av dårlig justering (Strand, 2018). Andre årsaker som nevnes er svakheter og lekkasje i og rundt dørkarm. Denne utettheten av dørene forklarer den betydelig hørbare endringen av lydnivå, både rett utenfor senderrommet og i mottakerrommet, da dørene ble klemt igjen mens rosa støy var på i senderrommet. Det er også grunn til å tro at mottakerrommene med lavest målt  $R'_w$  (55 dB og 56 dB) sannsynligvis har de minst lydisolerende dørene blant de rommene som ble målt til denne oppgaven. Årsaken til utettheter i dørinnfestet kan også komme som konsekvens av krymping i massivtreelementet ved uttørring. SiÅs har uttalt at det er opprettet en reklamasjonssak på dørene. De krumme skal byttes ut og de resterende skal justeres.

### 6.5. Effekt av flanketransmisjon

Alle konstruksjonselementer som er tilstøtende skilleveggen er påforet, og det er ingen gjennomføringer i skillevegger mellom boenheter eller mellom boenheter og fellesareal. Annet enn dører som ikke er tette, er det tilsynelatende ingen utettheter i boenhetene som kan gi redusert lydisolasjon som følge av flanketransmisjon.

### 6.6. Inspeksjon og effekt av sprekker

Som nevnt tidligere, består massivtreeveggene i P26 og P28 av fem lag med lameller og en påføring. Dersom det er en sprekke i det første laget, vil ikke en sprekke i det andre laget nødvendigvis være rett bak sprekken i det første laget. Det er svært lite sannsynlig at alle lagene får sprekke rett bak hverandre. Dersom det likevel skulle oppstå, så resulterer det i et lite hull som er påforet på den andre siden. Sammenlignet med det verste mulige tilfellet fra figur 4, som gav 7 dB reduksjon av lydreduksjonstallet, kombinert med teorien om JND, er det liten grunn til å tro at sprekker gir merkbar reduksjon av lydisolasjon.

Dette er gitt at skilleveggen består av et helt massivtreelement, og ikke er todelt. Uttørringen fører til krymping i treet, som videre fører til at avstanden mellom to elementer blir større. Siden elementene bare er satt opp ved siden av hverandre, vil sprekken gå hele veien gjennom alle fem lagene. Dermed kan sprekken ha effekt på målt  $R'_w$  av vegger som ikke har krav om påføring. Vedlegg 1 illustrerer en slik sprekke. Bildet er tatt av en vegg som ikke har betydning for lydisolasjonen til noen boenheter.



## 6.7. Vurdering av målemetoder

### 6.7.1. Hva kunne gjøres annerledes

Til denne oppgaven kunne det med fordel blitt utført målinger av flere boenheter. Det ville gitt et bedre grunnlag til å foreta en statistisk vurdering som ville vært gyldig i henhold til NS 8175:2012.

### 6.7.2. Hva burde ha blitt gjort i tillegg

Målinger utført mens dører i senderrom og mottakerrom klemmes igjen kunne gitt mer informasjon om påvirkning av egenskapene til dører på lydreduksjonstallet, fordi da kunne resultatene med og uten klemming av dører sammenlignes.

Det ville vært svært interessant å utføre målinger ved hjelp av akustisk kamera, fordi det kunne lokalisert eventuelle svakpunkter i skillevegg. Dette bør utføres i laboratorium for å unngå at kameraet plukker opp flanketransmisjon.

## 7. Konklusjon

Problemstillingen oppgaven har søkt å svare på er om uttørring av massivtre fører til sprekkdannelser som kan gi merkbar reduksjon av lydisolasjon mellom boenheter.

- Resultatene på målingene viser høye verdier av  $R'_w$  i samtlige skillevegger.
- Teoretisk vurdering av sprekkenes effekt på lydreduksjonstallet, basert på Byggforskserien nr. 421.431, indikerer at sprekkdannelser i massivtreelementer med påføring må være gjennomgående for at de skal ha en merkbar effekt.
- Svekkelse i dører kan være en forklaring på at lydisolasjonen oppleves å som redusert med årene.

Dermed kan det konkluderes med at sprekkdannelser i massivtre ikke fører til reduksjon av lydisolasjon mellom boenheter.

## 8. Videre arbeid

Det kan være interessant å utføre laboratoriemålinger, både med håndholdte målere og med akustisk kamera, med fem års mellomrom. På den måten kan en sikre at samme forutsetninger ligger til grunn ved utføring av målingene. Da er det viktig å dokumentere hele prosessen i detaljnivå, samt å sørge for at rapporten skrives grundig og at alle vedleggene tas vare på. Målinger som utføres i laboratorium åpner også for at det ikke blir noen avvik fra standarder.

Om noen år kan det også utføres nye målinger i de samme boenhetene i P26 og P28, og sammenligne resultatene med de i denne oppgaven. Det må da tas hensyn til at dørene kan ha blitt byttet ut. Dermed vil ikke forutsetningene være helt de samme.

## 9. Figurliste

Figur 1 Krysslagte elementer med lim som forbindingsmiddel (Aarstad et al., 2008).....	9
Figur 2 Illustrasjon av ulike former for lydtransmisjon (Vigran, 2008) .....	10
Figur 3 Betingelser og kriterier for grad av flankeoverføring (SINTEF Byggforsk, 2015) ....	11
Figur 4 Erfaringsbaserte verdier for tap i lydreduksjonstall på grunn av el.bokser og rørføringer i lette dobbeltvegger (SINTEF Byggforsk, 2002) .....	11
Figur 5 Planløsning av en typisk 16-roms etasje i P26 (BAS Arkitekter, 2012a) .....	14
Figur 6 Planløsning av en typisk 16-roms etasje i P28 (BAS Arkitekter, 2012b) .....	15
Figur 7 Snittfigur av skillevegg mellom to boenheter (Strand, 2018) .....	16
Figur 8 Snittfigur av etasjeskillet i boenhetene (Strand, 2018) .....	17
Figur 9 Snittbilde av etasjeskillet i fellesarealet (Alavi, 2017).....	17
Figur 10 Illustrasjon av hvordan en skillevegg strekker seg fra en vegg til en annen (Sættem, 2016) .....	18
Figur 11 Phonskala som viser likelydskurver som funksjon av lydtrykknivå i dB og frekvens i Hz (Wikilectures, 2016).....	21
Figur 12 Målte rom i P26.....	25
Figur 13 Målte rom i P28.....	25
Figur 14 Høytalerposisjon 1 .....	27
Figur 15 Høytalerposisjon 2 .....	28
Figur 16 Måling av etterklangstid.....	28
Figur 17 Illustrasjon av målt $R'_w$ av vegger i senderrom. Den heltrukne linjen er krav satt av Norsk standard (NS), og den stiplede linjen er krav satt av byggherre(BH). .....	30
Figur 18 Lineært gjennomsnitt av målt $R'_w$ med 95% konfidensintervall .....	31
Figur 19 Logaritmisk gjennomsnitt av målt $R'_w$ med 95% konfidensintervall .....	31

## 10. Tabelliste

Tabell 1 Liste over utstyr med gyldig kalibreringsdato .....	26
Tabell 2 Logaritmisk gjennomsnitt av målt R'w av vegger med og uten bad med 95% konfidensintervall, samt t-test for differansen mellom dem .....	32
Tabell 3 Lineært gjennomsnitt av målt R'w av vegger med og uten bad med 95% konfidensintervall, samt t-test for differansen mellom dem .....	32

## 11. Litteraturliste

- Aarstad, J., Bunkholt, A. & Glasø, G. (2008). *Massivtre*. TreFokus & TreTeknisk (red.). FOKUS på tre, Nr. 20.
- BAS Arkitekter. (2012a). *Prosjektnr. 12009 Tegningnr. B31-010 Rev A*.
- BAS Arkitekter. (2012b). *Prosjektnr. 12009 Tegningnr. A31-010 Rev H*.
- Byggteknisk Forskrift. (2010). Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggeregler/tek/3/13/iv/13-6/> (Lest 20.03.18).
- Forinash, K. (2018). *Just noticeable difference*. Tilgjengelig fra: [https://soundphysics.ius.edu/?page\\_id=914](https://soundphysics.ius.edu/?page_id=914) (lest 24.04.18).
- Gjestland, T. (2018). *Hørenivå*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/hørenivå> (lest 24.04.18).
- Glava AS. (2018). *Teori lydisolering*. Tilgjengelig fra: <https://www.glava.no/bygg/dokumentasjon-montering/teori/teori-lydisolering/> (Lest 10.03.18).
- Halmrast, T. (2016). *Klangen - En huskeliste om lyd, akustikk og musikk*.
- Hass, J. (2017). *An Acoustics Primer*. Tilgjengelig fra: [http://www.indiana.edu/~emusic/etext/acoustics/chapter1\\_pitch.shtml](http://www.indiana.edu/~emusic/etext/acoustics/chapter1_pitch.shtml) (lest 25.04.18).
- Lamb, F. M. (1992). *Splits and cracks in wood*.
- Lorenzi, A. (2016). *Psychoacoustics*. Tilgjengelig fra: <http://www.cochlea.eu/en/sound/psychoacoustics> (lest 24.04.18).
- Løvås, G. G. (2004). *Statistikk for universiteter og høyskoler*, b. 2. Utgave.
- Paroc AB. (2016). *Lydisolering*. Tilgjengelig fra: <http://www.paroc.no/knowhow/lyd/lydisolering> (lest 10.03.18).
- Sættem, J. L. (2016). *Lydkomfort i fleretasjes studentboliger i massivtre*: Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet.
- SINTEF Byggforsk. (2000). 524.321 Lydisoleringsegenskaper til tunge innervegger.
- SINTEF Byggforsk. (2002). 421.431 Lydisolering av gjennomføringer.
- SINTEF Byggforsk. (2004). 421.402 Romakustikk og lydisolering - Grunnbegreper.
- SINTEF Byggforsk. (2010). 534.141 Lydisolerende dører.
- SINTEF Byggforsk. (2014). 722.512 Forbedring av lydisolasjonen for etasjeskillere av tre.
- SINTEF Byggforsk. (2015). 522.514 Lydisolerende, tunge etasjeskillere - Konstruksjonseksempler.
- SINTEF Byggforsk. (2018). 543.613 Nedfôret himling.
- Standard Norge. (2012). *NS 8175:2012 Lydklasser i bygninger - Lydklasser for ulike bygningstyper*.
- Standard Norge. (2013). *NS-EN ISO 717-1:2013 Akustikk - Vurdering av lydisolasjon i bygninger og av bygningsdeler - Del 1: Luftlydisolasjon*.
- Standard Norge. (2014). *NS-EN ISO 16283-1:2014 Akustikk - Feltnmåling av lydisolasjon i bygninger og av bygningsdeler - Del 1: Luftlydisolasjon*.
- Strand, L. (2012). *AKU02 R 130812 Pentagon 2 lydforhold*.
- Strand, L. (2018). *AKU02 R 180208 rev01 Studentboliger Skogsveien Ås - luft- og trinnlydmålinger*.
- Thue, J. V. (2009). *Dobbeltvegg*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/dobbeltvegg> (Lest 15.03.18).
- Vigran, T. E. (2008). *Building Acoustics*.
- Wikilectures. (2016). Threshold of hearing.

## 12. Vedlegg

<b>Bilde av sprekk mellom to massivtreelementer .....</b>	<b>II</b>
<b>Måleresultat fra mottakerrom 26701.....</b>	<b>III</b>
<b>Måleresultat fra mottakerrom 26703.....</b>	<b>IV</b>
<b>Måleresultat fra mottakerrom 26710.....</b>	<b>V</b>
<b>Måleresultat fra mottakerrom 27612.....</b>	<b>VI</b>
<b>Måleresultat fra mottakerrom 26714.....</b>	<b>VII</b>
<b>Måleresultat fra mottakerrom 26716.....</b>	<b>VIII</b>
<b>Måleresultat fra mottakerrom 28706.....</b>	<b>IX</b>
<b>Måleresultat fra mottakerrom 28708.....</b>	<b>X</b>
<b>Måleresultat fra mottakerrom 28709.....</b>	<b>XI</b>
<b>Måleresultat fra mottakerrom 28711.....</b>	<b>XII</b>
<b>Måleresultat fra mottakerrom 28713.....</b>	<b>XIII</b>
<b>Måleresultat fra mottakerrom 28715.....</b>	<b>XIV</b>

Bilde av sprekk mellom to massivtreelementer



*Figure 1 Figuren viser at sprekken mellom to massivtreelementer kan bli stor nok til at et knivblad på omtrent 15 cm kan trenge hele veien inn*



# Måleresultat fra mottakerrom 26701

## Apparent sound reduction index according to ISO 16283-1

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

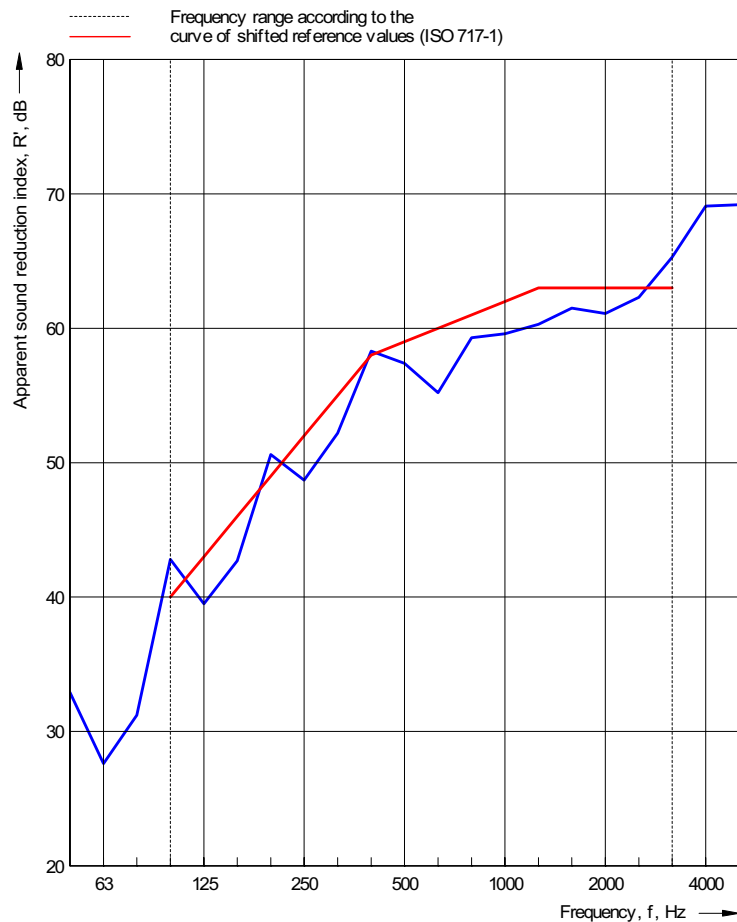
Client:  
Description:

Date of test: 12.03.18

Object: Palisaden 26: SR 26702, MR 26701, Rev 26701

Area S of separating element: 10,00 m<sup>2</sup>  
Source room volume: 24,3 m<sup>3</sup>  
Receiving room volume: 26,2 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	32,9
63	27,6
80	31,2
100	42,8
125	39,5
160	42,7
200	50,6
250	48,7
315	52,2
400	58,3
500	57,4
630	55,2
800	59,3
1 000	59,6
1 250	60,3
1 600	61,5
2 000	61,1
2 500	62,3
3 150	65,3
4 000	69,1
5 000	69,2



Rating according to ISO 717-1

$R'_{w}(C; C_{tr}) = 59 (-2; -5) \text{ dB}$

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

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

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

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

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

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

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

Company: Rambøll Norge AS

No. of test report:

MR 26701

Date: 16.03.2018

Signature:

Razegheh Alavi

# Måleresultat fra mottakerrom 26703

## Apparent sound reduction index according to ISO 16283-1

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

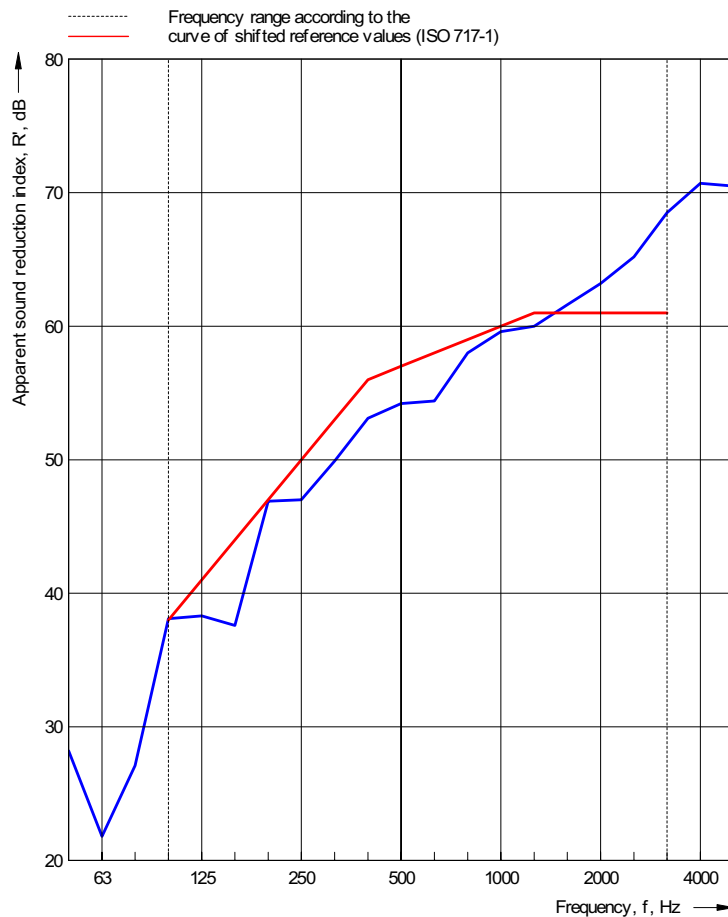
Client:  
Description:

Date of test: 12.03.18

Object: Palisaden 26: SR 26702, MR 26703, Rev 26703

Area S of separating element: 10,60 m<sup>2</sup>  
Source room volume: 24,3 m<sup>3</sup>  
Receiving room volume: 24,8 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	28,2
63	21,8
80	27,1
100	38,1
125	38,3
160	37,6
200	46,9
250	47,0
315	49,9
400	53,1
500	54,2
630	54,4
800	58,0
1 000	59,6
1 250	60,0
1 600	61,6
2 000	63,2
2 500	65,2
3 150	68,5
4 000	70,7
5 000	70,5



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C; C_T) = 57 (-2; -6)$  dB

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

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

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

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

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

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

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

Company: Rambøll Norge AS

No. of test report:

MR 26703

Date: 16.03.2018

Signature:

Razegheh Alavi

# Måleresultat fra mottakerrom 26710

## Apparent sound reduction index according to ISO 16283-1

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

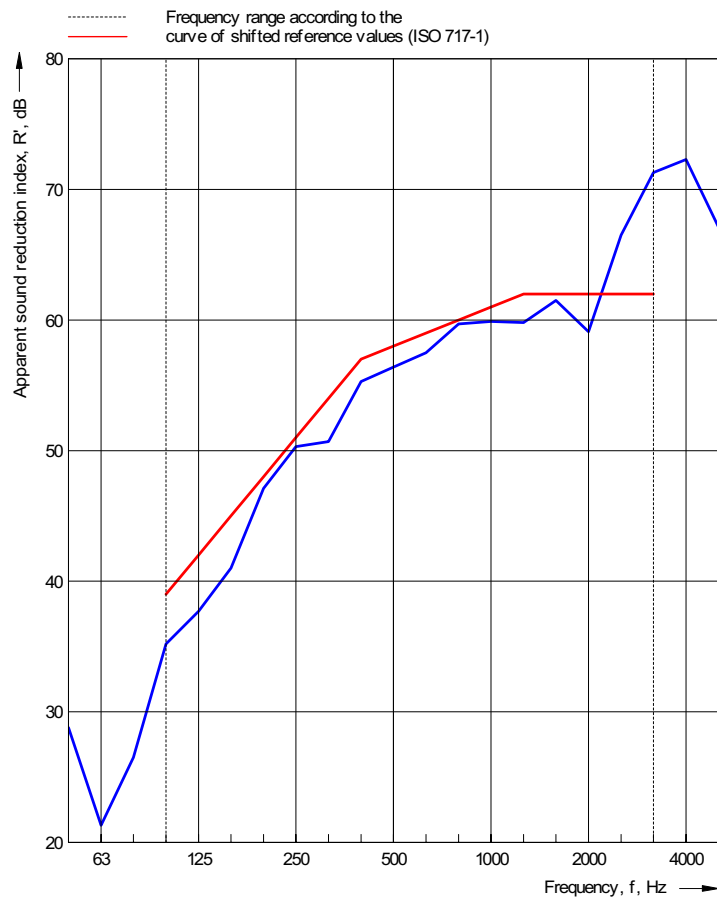
Client:  
Description:

Date of test: 12.03.18

Object: Palisaden 26: SR 26711, MR 26710, Rev 26710

Area S of separating element: 10,60 m<sup>2</sup>  
Source room volume: 24,3 m<sup>3</sup>  
Receiving room volume: 24,8 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	28,8
63	21,3
80	26,5
100	35,2
125	37,7
160	41,0
200	47,1
250	50,3
315	50,7
400	55,3
500	56,4
630	57,5
800	59,7
1 000	59,9
1 250	59,8
1 600	61,5
2 000	59,1
2 500	66,5
3 150	71,3
4 000	72,3
5 000	67,1



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_p) = 58 (-2; -7) \text{ dB}$

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

$C_{50-3150} = -6 \text{ dB}$

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

$C_{50-5000} = -5 \text{ dB}$

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

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

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

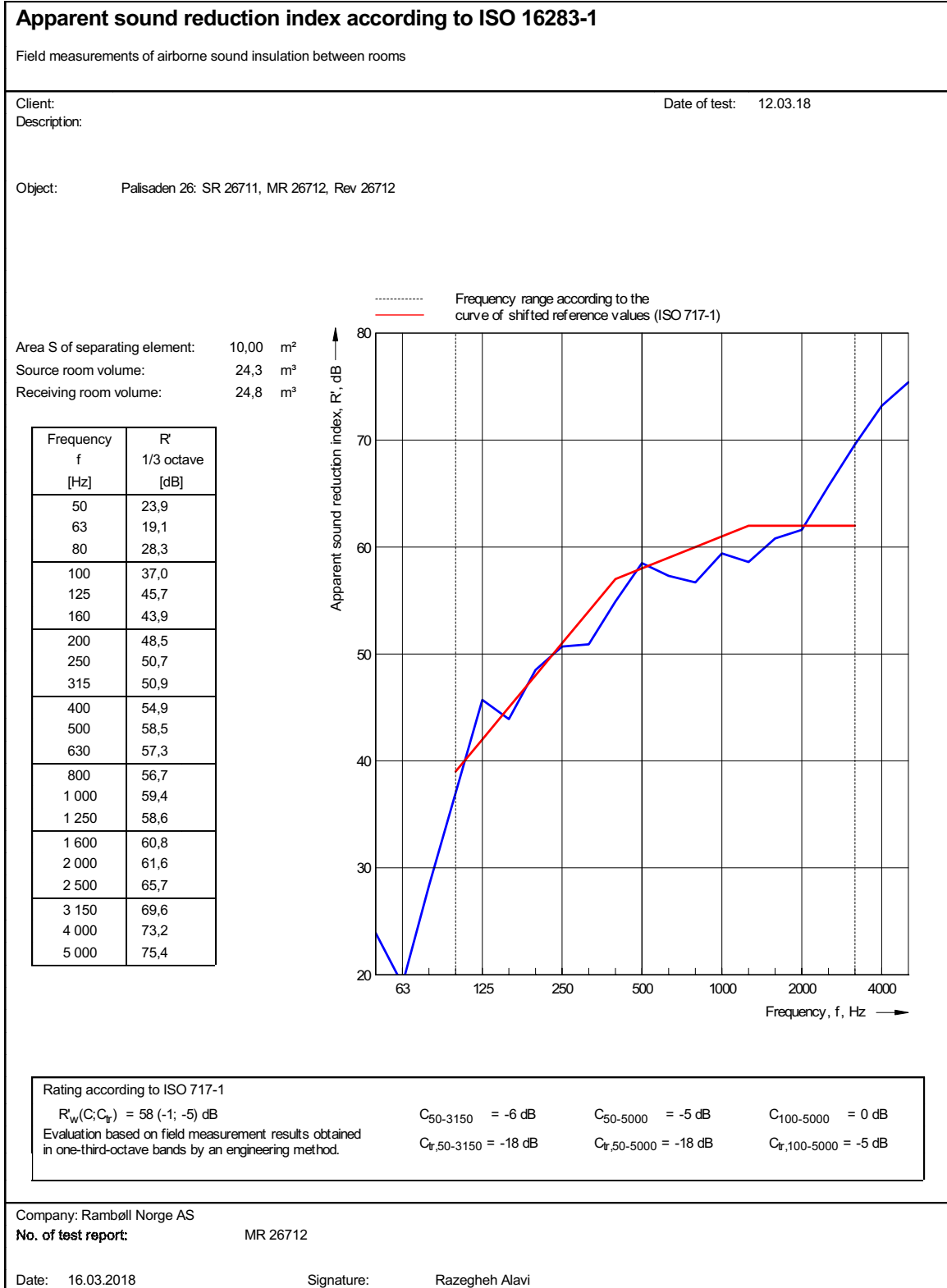
Company: Rambøll Norge AS

No. of test report: MR 26710

Date: 16.03.2018

Signature: Razegheh Alavi

# Måleresultat fra mottakerrom 27612



# Måleresultat fra mottakerrom 26714

## Apparent sound reduction index according to ISO 16283-1

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

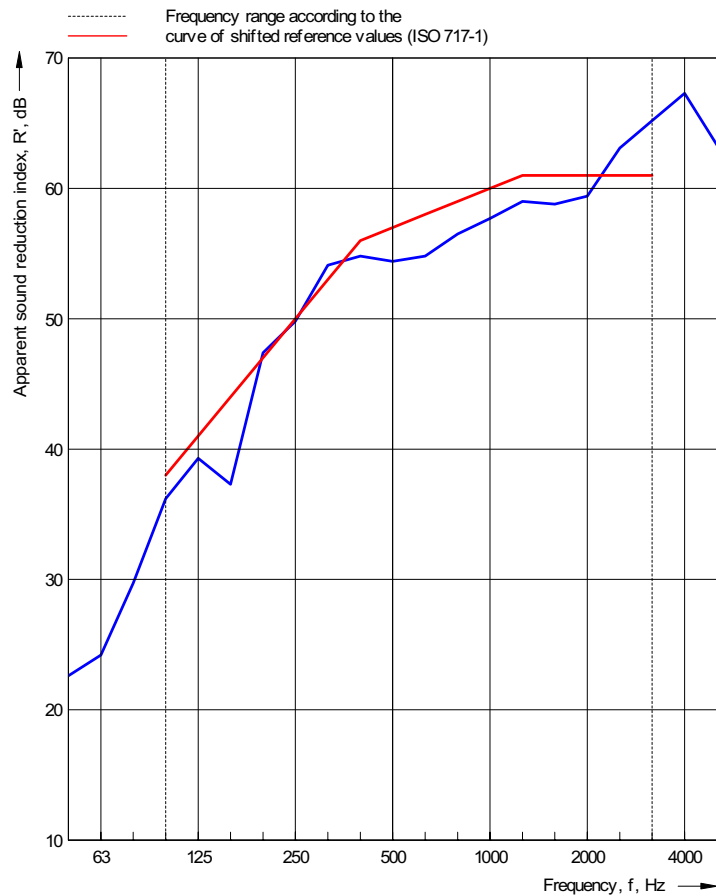
Client:  
Description:

Date of test: 12.03.18

Object: Palisaden 26, SR 26715, MR 26714, Rev 26714

Area S of separating element: 10,60 m<sup>2</sup>  
Source room volume: 24,3 m<sup>3</sup>  
Receiving room volume: 24,8 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	22,6
63	24,2
80	29,7
100	36,2
125	39,3
160	37,3
200	47,4
250	49,8
315	54,1
400	54,8
500	54,4
630	54,8
800	56,5
1 000	57,7
1 250	59,0
1 600	58,8
2 000	59,4
2 500	63,1
3 150	65,2
4 000	67,3
5 000	63,3



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C; C_{tr}) = 57 (-2; -7) \text{ dB}$

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

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

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

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

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

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

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

Company: Rambøll Norge AS

No. of test report: MR 26714

Date: 16.03.2018

Signature: Razegheh Alavi

# Måleresultat fra mottakerrom 26716

## Apparent sound reduction index according to ISO 16283-1

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

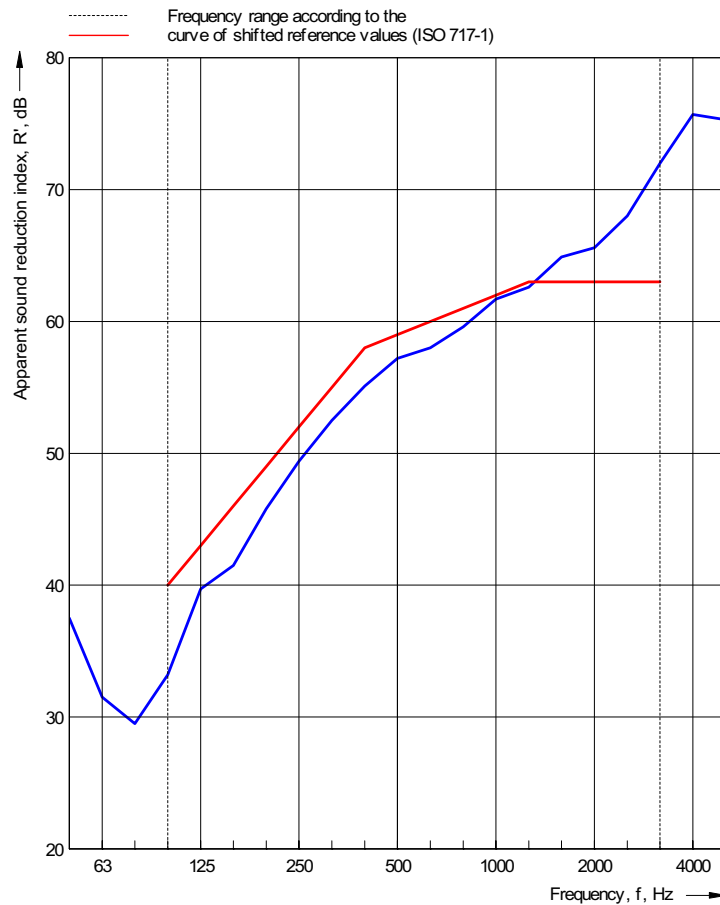
Client:  
Description:

Date of test: 12.03.18

Object: Palaisden 26: SR26715, MR 26716, Rev 26716

Area S of separating element: 10,00 m<sup>2</sup>  
Source room volume: 24,3 m<sup>3</sup>  
Receiving room volume: 26,2 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	37,5
63	31,5
80	29,5
100	33,2
125	39,7
160	41,5
200	45,8
250	49,4
315	52,5
400	55,1
500	57,2
630	58,0
800	59,6
1 000	61,7
1 250	62,6
1 600	64,9
2 000	65,6
2 500	68,0
3 150	72,0
4 000	75,7
5 000	75,3



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C; C_T) = 59 (-3; -9)$  dB

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

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

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

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

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

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

$C_{T,100-5000} = -9$  dB

Company: Rambøll Norge AS

No. of test report: MR 26716

Date: 16.03.2018

Signature: Razegheh Alavi

# Måleresultat fra mottakerrom 28706

## Apparent sound reduction index according to ISO 16283-1

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

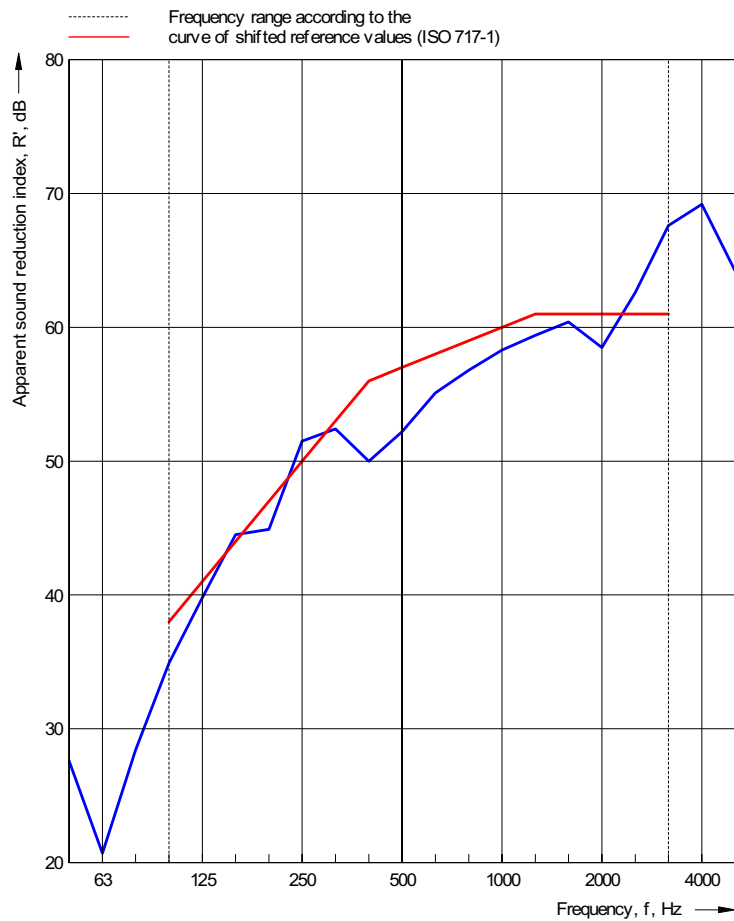
Client:  
Description:

Date of test: 12.03.18

Object: Palisaden 28: SR 28707, MR 28706, Rev 28706

Area S of separating element: 10,60 m<sup>2</sup>  
Source room volume: 24,3 m<sup>3</sup>  
Receiving room volume: 24,8 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	27,6
63	20,7
80	28,4
100	34,9
125	39,8
160	44,5
200	44,9
250	51,5
315	52,4
400	50,0
500	52,2
630	55,1
800	56,8
1 000	58,3
1 250	59,4
1 600	60,4
2 000	58,5
2 500	62,6
3 150	67,6
4 000	69,2
5 000	64,2



Rating according to ISO 717-1

$R'_{w}(C; C_{tr}) = 57 (-2; -6)$  dB

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

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

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

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

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

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

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

Company: Rambøll Norge AS

No. of test report:

MR 28706

Date: 16.03.2018

Signature:

Razegheh Alavi

# Måleresultat fra mottakerrom 28708

## Apparent sound reduction index according to ISO 16283-1

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

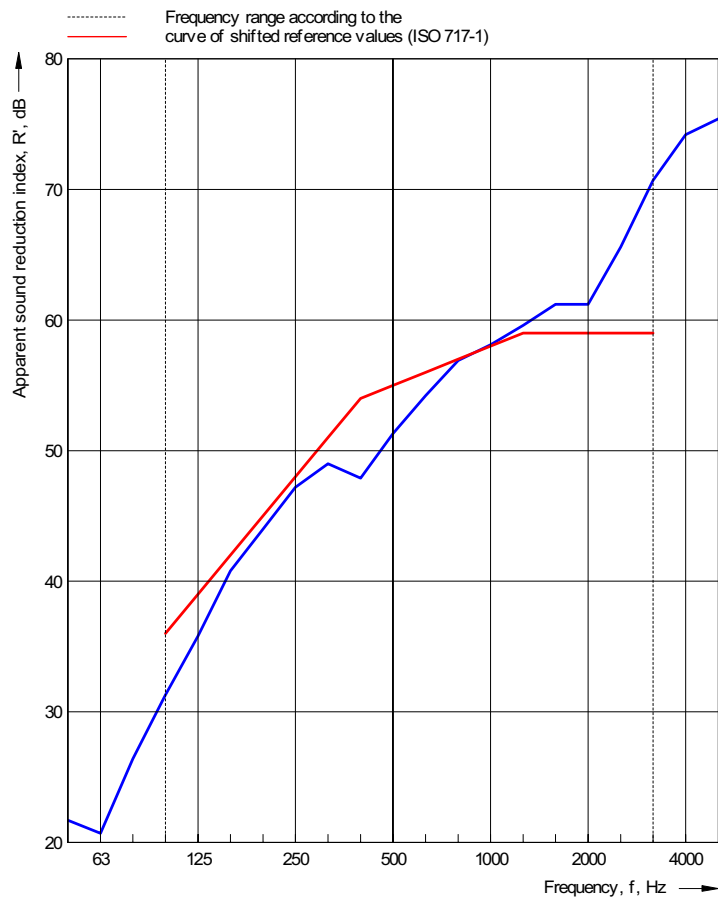
Client:  
Description:

Date of test: 12.03.18

Object: Palisaden 28: SR 28707, MR 28708, Rev 28708

Area S of separating element: 10,00 m<sup>2</sup>  
Source room volume: 24,3 m<sup>3</sup>  
Receiving room volume: 25,8 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	21,7
63	20,7
80	26,4
100	31,3
125	35,8
160	40,8
200	44,0
250	47,2
315	49,0
400	47,9
500	51,3
630	54,2
800	56,9
1 000	58,1
1 250	59,6
1 600	61,2
2 000	61,2
2 500	65,6
3 150	70,7
4 000	74,2
5 000	75,4



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_T) = 55 (-2; -7)$  dB

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

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

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

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

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

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

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

Company: Rambøll Norge AS

No. of test report: MR 28708

Date: 16.03.2018

Signature:

Razegheh Alavi

1.



# Måleresultat fra mottakerrom 28709

## Apparent sound reduction index according to ISO 16283-1

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

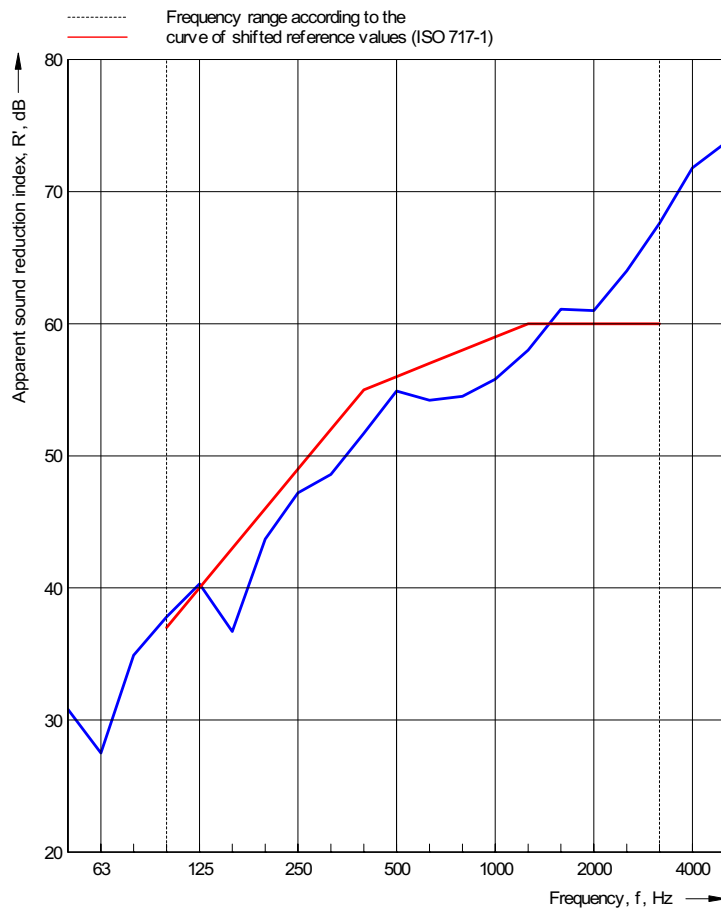
Client:  
Description:

Date of test: 12.03.18

Object: Palisaden 28, SR 28710, MR 28709, Rev 28709

Area S of separating element: 10,00 m<sup>2</sup>  
Source room volume: 24,3 m<sup>3</sup>  
Receiving room volume: 25,8 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	30,8
63	27,5
80	34,9
100	37,8
125	40,3
160	36,7
200	43,7
250	47,2
315	48,6
400	51,7
500	54,9
630	54,2
800	54,5
1 000	55,8
1 250	58,0
1 600	61,1
2 000	61,0
2 500	64,0
3 150	67,6
4 000	71,8
5 000	73,7



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_T) = 56 (-2; -6)$  dB

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

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

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

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

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

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

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

Company: Rambøll Norge AS

No. of test report: MR 28709

Date: 16.03.2018

Signature: Razegheh Alavi

# Måleresultat fra mottakerrom 28711

## Apparent sound reduction index according to ISO 16283-1

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

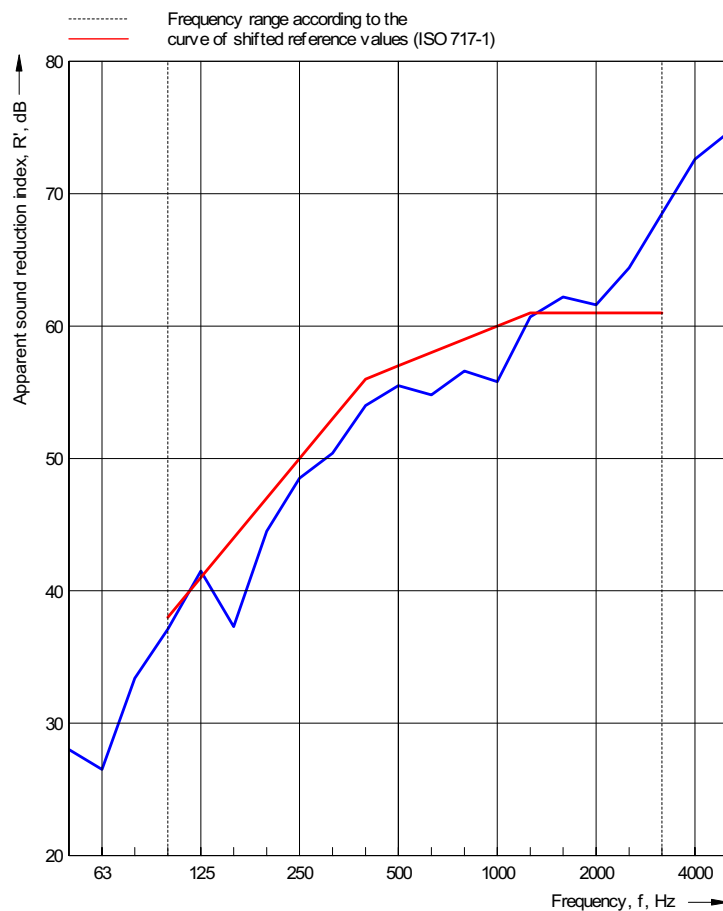
Client:  
Description:

Date of test: 12.03.18

Object: Pallsdaen 28: SR 28710, MR 28711, Rev 28711

Area S of separating element: 10,60 m<sup>2</sup>  
Source room volume: 24,3 m<sup>3</sup>  
Receiving room volume: 24,8 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	28,0
63	26,5
80	33,4
100	37,1
125	41,5
160	37,3
200	44,5
250	48,5
315	50,4
400	54,0
500	55,5
630	54,8
800	56,6
1 000	55,8
1 250	60,7
1 600	62,2
2 000	61,6
2 500	64,4
3 150	68,5
4 000	72,6
5 000	74,6



Rating according to ISO 717-1

$R'_{w}(C; C_T) = 57 (-2; -6)$  dB

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

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

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

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

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

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

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

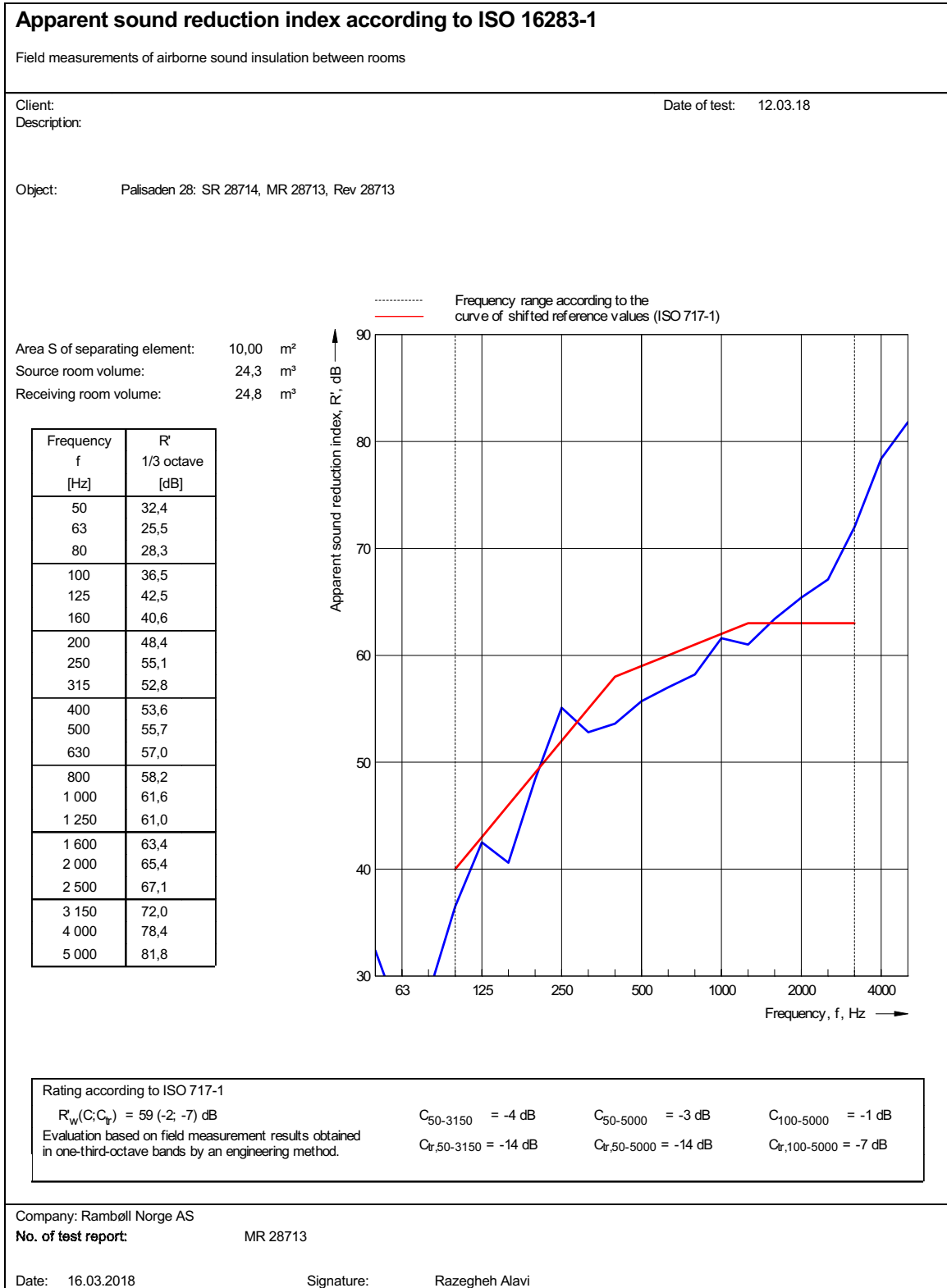
Company: Rambøll Norge AS

No. of test report: MR 28711

Date: 16.03.2018

Signature: Razegheh Alavi

# Måleresultat fra mottakerrom 28713



# Måleresultat fra mottakerrom 28715

## Apparent sound reduction index according to ISO 16283-1

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

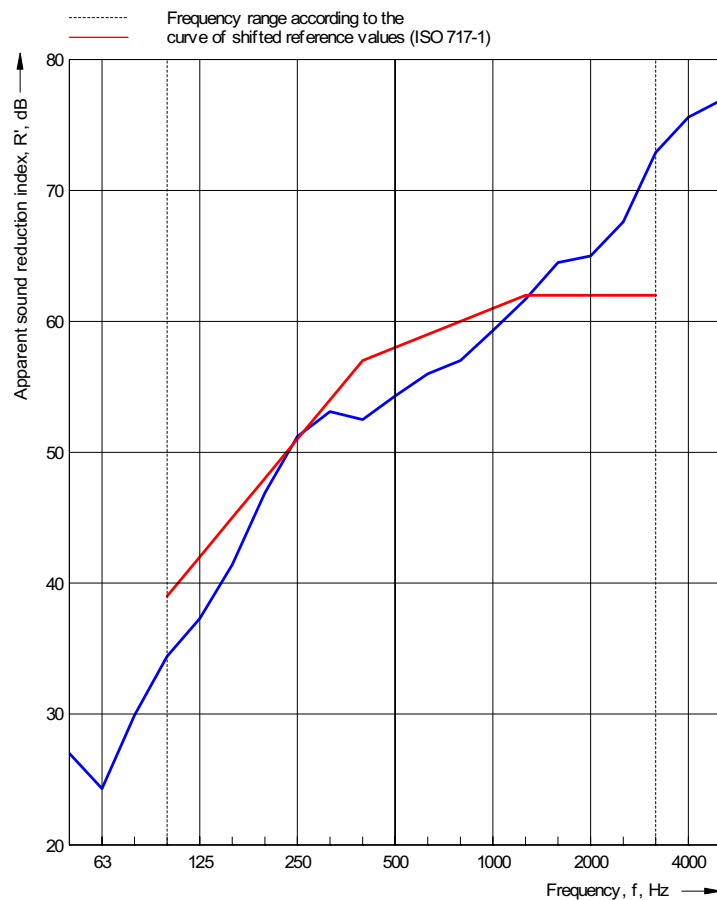
Client:  
Description:

Date of test: 12.03.18

Object: Pallsaden 28, SR 28714, MR 28715, Rev 28715

Area S of separating element: 10,60 m<sup>2</sup>  
Source room volume: 24,3 m<sup>3</sup>  
Receiving room volume: 24,8 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	27,0
63	24,3
80	29,9
100	34,4
125	37,3
160	41,4
200	46,9
250	51,2
315	53,1
400	52,5
500	54,3
630	56,0
800	57,0
1 000	59,3
1 250	61,7
1 600	64,5
2 000	65,0
2 500	67,6
3 150	72,9
4 000	75,6
5 000	76,9



Rating according to ISO 717-1

$R'_{w}(C;C_p) = 58 (-2; -7) \text{ dB}$

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

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

$C_{r,50-3150} = -14 \text{ dB}$

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

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

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

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

Company: Rambøll Norge AS

No. of test report: MR 28715

Date: 16.03.2018

Signature: Razegheh Alavi





**Norges miljø- og biovitenskapelige universitet**  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway