

Haavard Vedelden Nøst

Lydisolasjon i skole- og kontorbygg med KLT

Sammenstilling av måle- og beregningsresultater

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Anders Homb

Juni 2021

Haavard Vedelden Nøst

Lydisolasjon i skole- og kontorbygg med KLT

Sammenstilling av måle- og beregningsresultater

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Anders Homb
Juni 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Sammendrag

Krysslaminert tre (KLT) er et innovativt bygningsmateriale med stadig økende statlig og kommersiell interesse. Akustikk pekes på som én av de største barrierene for mer omfattende bruk av materialet i Norge, og ved økende lydkrav rettes fokuset mot god utførelse og valg av bestandige løsninger.

I dette studiet har luft- og trinnlydisolasjon blitt målt for etasjeskillere av KLT, på to kontorer og én skole i Trøndelag med søyle-/bjelkesystem. Måleobjektene hadde ulik oppbygning, hvorav to etasjeskillere var utført med tungt flytende gulv og én med lett flytende gulv. Feltmålinger etter *NS-EN ISO 16283* ble gjennomført på to utvalgte steder i hvert bygg, henholdsvis med og uten bærende KLT-skive og videre behandlet etter prinsipper i *NS-EN ISO 717*. Resultatene ble deretter vurdert mot lydkrav i *NS 8175* og viser at alle etasjeskillerne oppfyller minstekrav (klasse C) for luft- og trinnlydisolasjon.

Sammenligning av feltmålte resultater internt i byggene indikerer at det ikke er en tydelig sammenheng mellom oppnådd lydisolasjon og bruk av bærende KLT-skive. Grunner til dette kan være effektive løsninger ved bruk av søyle-/bjelkesystem, variasjon i utførelse, eller utbredt bruk av påføring på flankerende vegger. Som forventet, ble det observert størst lydreduksjon for etasjeskiller med høy flatemasse. Nærmere analyse av resultatene viser derimot likheter i målekurvene fra de tre byggene, som indikerer at lett flytende gulv kan konkurrere mot løsninger med høyere flatemasse, samt bidra til å fremme KLT som klimagunstig materiale. Basert på feltmålingene på Lade skole ble det observert uventede målekurver med mistanke om stiv kobling mellom påstøp og flankerende veggkonstruksjon, noe som belyser viktigheten av god utførelse for følsomme materialer som KLT.

Gjennom litteratursøk og metoden *Backwards Snowballing*, ble det observert uenigheter rundt KLT som materiale. Litteratur og innhentet laboratoriemålinger av enkle KLT-element indikerer at materialet har både isotropiske og ortotropiske egenskaper. Nyere beregningsmodeller, tilpasset enkle KLT-element, ble sammenlignet med laboratoriemålinger og resultatene viser god sammenstilling med avvik på ± 2 dB. Videre ble feltmåling av etasjeskiller med tungt flytende gulv sammenlignet med beregningprinsippene for samlet lydoverføring i *NS-EN ISO 12354*. Her ble det observert avvik på inntil 15 dB og pekt på utfordringer med beregningsmetoden, som mangel på laboratoriemålte tilleggskonstruksjoner og materialdata. I tillegg indikerer resultatene at teoretiske modeller for tilleggskonstruksjoner ikke bør brukes som erstatning for laboratoriemålinger på KLT.

Resultater fra studiet kan brukes til å undersøke sammenstilling av måle- og beregningresultater ved gjennomføring av egne målinger av knutepunktsdemping i betraktete bygg. Datagrunnlaget i oppgaven er begrenset, men resultatene indikerer et behov for videre forskning på KLT og innsamling av mer datagrunnlag. Dette bør prioriteres for å gjøre konstruksjonssystemer av KLT sikre for aktører i bransjen og unngå at akustikk prioriteres sent i prosjekteringsprosessen, noe som kan føre til overdimensjonerte løsninger.

Summary

Cross-laminated timber (CLT) is an innovative building material with increasing interest from both government and media. Acoustic design is pointed out as one of the main barriers to more extensive use of the material and therefore, accurate workmanship and durable solutions are crucial to achieve national requirements.

In this study, airborne and impact sound insulation have been measured for CLT floors on column-beam systems at two offices and one school in Trøndelag. The measured objects had structural differences, including CLT floor constructions with heavy floating floor and CLT floor construction with lightweight resilient floor. On-site measurements according to *NS-EN ISO 16283* were carried out at two selected locations at each building, respectively, with and without load-bearing CLT wall construction. Further, the results were rated according to *NS-EN ISO 717* and compared to requirements in *NS 8175*. The single-number quantities confirmed that all three floor constructions fulfilled requirements given by the Norwegian building regulation.

Comparison of in-situ measurements at each building indicated no correlation between sound insulation and flanking CLT wall construction. This can probably be explained by variation in workmanship, or due to widespread use of acoustic linings. As expected, CLT floor constructions with high mass per unit area (*mpua*), represented the greatest acoustical performance. However, closer analysis of the results showed similarities between the measurements from the three buildings, which suggest that increased mass not necessarily improves the sound insulation properties. This also indicates that lightweight resilient floor systems may compete against solutions with greater *mpua*, which can promote CLT systems as a more favorable choice in a sustainable perspective. The results also indicated solid line contact between the concrete floating floor and the adjoining wall, which was not expected. This highlights the importance of good workmanship, building with sensitive materials as CLT.

Through literature review, using *Backwards Snowballing*, there was observed different material properties in CLT elements. These results implied that CLT has both isotropic and orthotropic properties. Calculation models for bare CLT floor elements were compared with laboratory measurements, and the results were similar with a maximum deviation of ± 2 dB. Furthermore, in-situ measurement of CLT floor with heavy floating floor was compared to prediction models in *NS-EN ISO 12354*. The results showed deviations up to 15 dB, which indicates the challenges with this calculation method. This might be caused by lack of laboratory data of improvement layers, vibration reduction index and material properties. In addition, these results indicate that laboratory measurements should not be substituted by common theory for homogeneous materials.

The amount of measurements in this study are limited, but the results highlight the need of further investigation in order to predict the sound insulation and make CLT systems a favorable choice. If a greater degree of accuracy is established, oversized solutions and acoustical challenges could be avoided in the design phase.

Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på mange lærerike år som student på bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU.

Arbeidet med oppgaven har blant annet lært meg å stole på egne valg og at vertikale luft- og trinnlydmålinger er tidkrevende arbeid, spesielt i bygg uten fungerende heis og uventet bilhavari på E6. Jeg har lært mye nyttig av å planlegge og gjennomføre feltmålinger som jeg kommer til å ta med meg inn i jobben som akustisk rådgiver.

Først, vil jeg rette en takk til min veileder, Anders Homb, for digital veiledning og utlån av måleutstyr fra SINTEF og NTNU. Pandemien gjorde det utfordrende å skaffe måleobjekter, og jeg vil derfor takke Trondheim kommune, Espen Sund fra FuglesangDahl og Einar Bergheim fra SINTEF for tilgang på byggene det ble gjennomført lyd-målinger i. Jeg vil også takke Ingvald Festøy Desserud fra Norconsult for nyttige samtaler og faglige tips.

Til slutt vil jeg rette et stor takk til familie og samboer for god støtte og oppmuntring gjennom masterperioden, i en ellers spesiell tid.

Haavard Vedelden Nøst

Trondheim, 10.juni 2021

Innhold

Tabeller	xiii
Figurer	xvi
Symbolliste	xvii
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Beskrivelse av oppgaven	2
1.2.1 Oppgavens formål	3
1.3 Oppbygning av oppgaven	3
2 Teori	5
2.1 Lydtransmisjon	5
2.1.1 Tapsfaktor	6
2.1.2 Strålingsfaktor	6
2.1.3 Grensefrekvens	6
2.1.4 Isotrope og ortotrope plater	6
2.2 Lydisolering	7
2.2.1 Luftlydisolasjon	7
2.2.2 Trinnlydisolasjon	7
2.2.3 Vibrasjonsreduksjonsindeks	8
2.2.4 Strålingsminskende kledning	8
2.3 Estimering av lydreduksjonstall	9
2.3.1 Lydtransmisjon for dobbelkonstruksjoner	10
2.3.2 Ett-tallskarakteristikk	10
2.4 Estimering av trinnlydisolasjon	11
2.4.1 Trinnlydforbedring	11
2.4.2 Ett-tallskarakteristikk	12
2.5 Bygningskategorier og lydklasser	12
2.5.1 Omgjøringstall for spektrum	13
3 Metode og måleobjekter	15
3.1 Litteraturundersøkelse	15
3.2 Måleobjekter	16
3.2.1 O2-huset	16
3.2.2 ZEB-laboratoriet	17
3.2.3 Lade skole	17
3.2.4 Valg av målesteder i byggene	18
3.3 Måleprosedyre	18
3.3.1 Feltnmåling av luftlydisolasjon	19

3.3.2	Feltmåling av trinnlydisolasjon	20
3.3.3	Etterbehandling av måledata	20
3.3.4	Utstyrliste	21
3.4	Beregningsmodell	21
3.4.1	Utgangspunkt	21
3.4.2	Luftlydisolasjon	23
3.4.3	Trinnlydisolasjon	25
4	Resultater	27
4.1	Litteraturundersøkelse	27
4.1.1	Forskningsarbeid	27
4.1.2	Vanlige løsninger	29
4.2	Sammenstilling av enkle KLT-element	31
4.3	Feltmålinger	33
4.3.1	Ett-tallskarakterisering	33
4.3.2	Luftlydisolasjon for etasjeskiller med KLT	34
4.3.3	Trinnlydisolasjon for etasjeskiller med KLT	36
4.3.4	Differanse for rom med og uten KLT-skive	37
4.4	Sammenstilling med NS-EN ISO 12354	39
4.4.1	Ett-tallskarakterisering	39
4.4.2	Luftlydisolasjon	39
4.4.3	Trinnlydisolasjon	40
5	Diskusjon	43
5.1	Feltmålinger	43
5.1.1	Differanse mellom rom med og uten bærende KLT-skive	45
5.1.2	Vurdering av valgte løsninger	45
5.2	Sammenstilling av måle- og beregningsresultater	47
5.2.1	Enkle KLT-element	47
5.2.2	NS-EN ISO 12354	49
5.3	Videre arbeid	51
6	Konklusjon	53
	Referanser	58
	A Måleoversikt	
	B Plantegninger	
	C Eksempel på måleposisjoner	
	D Beregningsmodell	
	E Måledata	

Tabeller

2.1	Lydklasser og grenseverdier for relevante bygningstyper og brukerområder hentet fra <i>NS 8175</i> (Standard Norge, 2019).	13
3.1	Søkematrise med antall treff for ulike kombinasjoner ved bruk av boolske operatører.	15
3.2	Nøkkelinformasjon om konstruksjonene og etasjeskiller.	16
3.3	Utstyrliste	21
3.4	Tykkelse, flatemasse og dynamisk stivhet for materialer i etasjeskiller på Lade skole.	22
3.5	Materialegenskaper benyttet i beregninger av luft- og trinnlydisolasjon på Lade skole.	23
4.1	Sammenstilling av målt og beregnet lydisolasjon for enkle KLT-element, basert på empiriske formler fra <i>NS-EN ISO 12354</i> og nyere forskning.	31
4.2	Ett-tallskaracterestikk for feltmålt luft- og trinnlydisolasjon vurdert mot gjeldende lydkrav i <i>NS 8175</i>	34
4.3	Ett-tallskaracterisering og avvik for feltmålt og beregnet luft- og trinnlydisolering på Lade skole (<i>LADE 1-2</i>).	39
6.1	Oppsummering av resultater fra feltmåling med oppnådd lydklasse for luft- og trinnlydisolasjon iht. <i>NS 8175</i>	53

Figurer

1.1	Prinsipiell oppbygning av et krysslaminert treelement (KLT) med fem lamellsjikt, lagt over hverandre i kryss (Buck mfl., 2016).	1
2.1	Prinsipielt forhold mellom innfallende-, reflektert-, transmittert- og dissipert lydefekt, hentet fra SINTEF Byggforsk (2004).	5
3.1	Oppbygning av etasjeskiller i O2-huset.	17
3.2	Oppbygning av etasjeskiller på ZEB-laboratoriet.	17
3.3	Oppbygning av etasjeskiller på Lade skole.	18
3.4	Forenklet skissering av beregningssituasjonen for <i>LADE 1-2</i> . Ikke i målestokk.	23
4.1	Prinsipiell oppbygning av etasjeskillere med KLT for de to hovedkategoriene: KLT (a) og Hybrid KLT (b, c), hentet fra Homb, Guigou-Carter, Hagberg mfl. (2017)	30
4.2	Laboratoriemålt (Hoeller, Mahn mfl., 2017) og beregnede verdier av lydreduksjonstall R som funksjon av frekvens for enkle KLT-element.	32
4.3	Laboratoriemålt (Hoeller, Mahn mfl., 2017; Homb, Guigou-Carter og Rabold, 2017) og beregnede verdier av trinnlydnivå L_n som funksjon av frekvens for enkle KLT-element.	32
4.4	Feltmålt lydreduksjonstall R' for etasjeskiller mellom rom med gjennomgående, vertikal KLT-skive.	34
4.5	Feltmålt lydreduksjonstall R' for etasjeskiller mellom rom uten gjennomgående, vertikal KLT-skive.	35
4.6	Feltmålt normalisert trinnlydnivå L'_n for etasjeskiller mellom rom med gjennomgående, vertikal KLT-skive.	36
4.7	Feltmålt normalisert trinnlydnivå L'_n for etasjeskiller mellom rom uten gjennomgående, vertikal KLT-skive.	37
4.8	Differanse for målt lydreduksjonstall R' for etasjeskiller mellom rom med og uten vertikal KLT-skive.	38
4.9	Differanse for målt trinnlydnivå L'_n for etasjeskiller mellom rom med og uten vertikal KLT-skive.	38
4.10	Feltmålt og beregnet lydreduksjonstall R' iht. <i>NS-EN ISO 12354-1</i> , som funksjon av frekvens, plottet med laboratoriemålt lydreduksjonstall R' for enkelt KLT-element.	40
4.11	Feltmålt og beregnet trinnlydnivå L'_n iht. <i>NS-EN ISO 12354-2</i> , som funksjon av frekvens, plottet med laboratoriemålt trinnlydnivå L'_n for enkelt KLT-element.	41
5.1	Potensiell virkning av fast forbindelse mellom tungt flytende gulv og tilstøtende bærevegg, hentet fra Vigran (2002).	44
5.2	Prinsipiell løsning for knutepunkt mellom etasjeskiller av KLT og bærende yttervegg av bindingsverk.	46
5.3	Prinsipiell løsning for knutepunkt mellom etasjeskiller av KLT og bærende yttervegg av bindingsverk.	47

5.4 Laboratoriemålt lydreduksjonstall R for 7-lags KLT-element, plottet mot beregningsmodeller.	48
---	----

Symbolliste

Symbol	Betegnelse	Dimensjon
a_i	kantabsorpsjonslengde	m
A	absorpsjonsareal	m^2
c_0	lydhastighet i luft	m/s
c_L	lydhastighet for longitudinalbølge	m/s
C	omgjøringstall for spektrum	
d	lengde	m
$\overline{D}_{v,ij}$	middelverdi av hastighetsdifferanse	dB
E	elastisitetsmodul (E-modul)	N/m^2
f	frekvens	Hz
f_g	grensefrekvens	Hz
f_0	resonansfrekvens	Hz
h'	platetykkelse	m
K_{ij}	vibrasjonsreduksjonsindeks	dB
l	knutepunktslengde	m
L	midlere lydtryknivå	dB
L_n	trinnlydnivå	dB
L'_n	tilsynelatende trinnlydnivå	dB
$L'_{n,w}$	feltmålt veid normalisert trinnlydnivå	dB
L_p	lydtryknivå	dB
m'	flatemasse	kg/m^2
M	masseforhold i knutepunkt	
p	lydtrykk	Pa
R	reduksjonstall	dB
R'	tilsynelatende reduksjonstall	dB
R_w	veid reduksjonstall	dB
R'_w	feltmålt veid lydreduksjonstall	dB
S	flateareal	m^2
s'	dynamisk stivhet	N/m^2
T	etterklangstid	s
T_s	strukturell etterklangstid	s

u	partikkelhastighet på overflate	m/s
v	partikkelhastighet i bølge	m/s
V	volum	m^3
W	lydeffekt	$watt$
η	tapsfaktor	
ν	Poissons tall	
ρ	densitet	kg/m^3
σ	strålingsfaktor	
τ	transmisjonsfaktor	
Forkortelse	Betegnelse	
KLT	krysslaminert tre	
mpua	mass per unit area	kg/m^2

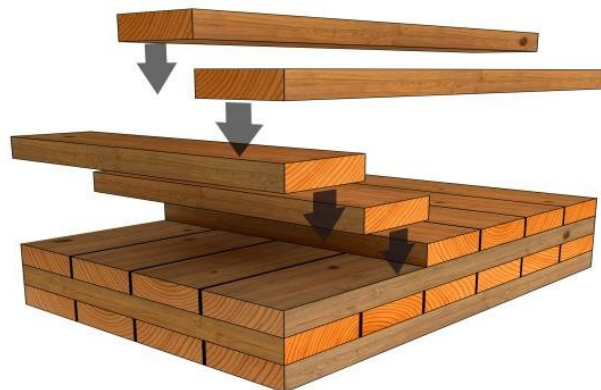
Kapittel 1

Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Norge har historisk sett hatt sterke tradisjoner når det kommer til å benytte tre som byggemateriale og Treteknisk (2006b) viser til treets lave egenvekt, høye styrke, gode isoleringsevne og varmekapasitet som noen av grunnene til dette. Tre ble brukt til bygging av vikingskip og stavkirker, men fra 1700-tallet var det i hovedsak boliger som ble bygget ved å utnytte nye byggemetoder som reisverksvegger og bindingsverk. I 1975 ble Canadas rikelige tilgang på tømmer og behov for rehabilitering av bruer, starten på utviklingen av massivtreelementet. Prinsippet med treplanker på høykant som ble festet med gjennomgående stålstag var vellykket og spredte seg raskt til Europa. På 1990-tallet videreutviklet sveitsiske høyskoler prinsippet til bygningsformål og i 1998 ble massivtreelementer for første gang brukt som etasjeskiller i en bolig i Norge (Treteknisk, 2006b). I dag konkurrerer elementene mot egnede materialer som stål og betong ved oppføring av større bygningskonstruksjoner som skoler, studentboliger og næringsbygg.

Massivtre representerer et av de mest interessante og innovative materialene, noe som har gitt nye muligheter til bruk av tre som et alternativ til tunge konstruksjonssystemer. FN-sambandet (2021) opplyser at Parisavtalen forplikter land til å redusere klimagassutslippene fra år 1993 med 50-55% innen år 2030, og i en artikkel fra Teknisk Ukeblad skrevet av Åse Dragland (2015) kommer det frem at byggsektoren står for rundt 40% av verdens klimagassutslipp. Økt bruk av massivtre kan bidra til å redusere klimagassutslippene i byggsektoren slik at veien mot et nullutslippssamfunn blir kortere.



Figur 1.1: Prinsipiell oppbygning av et krysslaminert treelement (KLT) med fem lamellsjikt, lagt over hverandre i kryss (Buck mfl., 2016).

Massivtrelementer defineres av Treteknisk (2006b) som en fellesbetegnelse på lameller (planker) som sammenføres til et element ved skruing, spikring, bruk av tredybler, lim eller stålstag. Det finnes flere varianter av massivtre, men i Norge er det krysslaminerte trelementer (KLT) av tresortene gran, furu, osp, bjørk og eik som er mest brukt til bygningsformål. Disse er vanligvis bygd opp av tre, fem, sju eller ni lamellsjikt som lagvis ligger over hverandre i kryss (SINTEF Byggforsk, 2001), som vist i figur 1.1. Krav til lydisolasjon avhenger av bygningskategori og det er derfor en utfordring å prosjektere optimale løsninger i forhold til blant annet ønsker om synlige overflater, klimaregnskap og byggekostnader.

Ved oppføring av bygg med massivtre benyttes i hovedsak to ulike konstruksjonsprinsipp, avhengig av byggets formål og størrelse. Man kan velge et bærende veggsystem med innvendig avstivende skiver for å oppnå større spennvidder, eller et søyle-/bjelkesystem bestående av limtre eller materialer som stål og betong. Det sistnevnte systemet kombineres ofte med etasjeskillere og vegger i massivtre som stabiliserende skiver og er gunstig med tanke på å redusere faren for flanketransmisjon (Treteknisk, 2006a). Lydoverføring via flankerende konstruksjoner anses som en vesentlig del av problemstillingen med økende krav til lydisolasjon og den nyeste versjonen av *NS-EN ISO 12354 - Beregning av akustisk ytelse i bygninger basert på bygningsdelers ytelse* fra Standard Norge (2017a), inneholder formel for estimering av den viktige akustiske parameteren vibrasjonsreduksjonsindeks, K_{ij} . Det empiriske formelgrunnlaget er bare gyldig for knutepunkt mellom KLT-element med et flatemasse-forhold [kg/m^2] mellom 0,5-2,0 og er basert på knutepunktsmålinger fra et fåtall bygninger. Verdier for K_{ij} brukes til å beregne samlet lydoverføring, inkludert bidrag fra flankerende elementer. For bygg med knutepunkt med KLT er ikke dette formelgrunnlaget like godt utviklet som for andre bygningsmaterialer og det er derfor viktig å dokumentere svakheter som kan utbedres. Standarden har vist seg å gi god sammenstilling for betongkonstruksjoner, men det er derimot knyttet større usikkerhet rundt lette konstruksjoner hvor underlagsmaterialet ikke er like stort.

De siste tiårene har bruken av massivtre økt betraktelig og brukes ved oppføring av bygningskategorier som kontorer, skoler og boliger. Trekonstruksjoner bygget opp av KLT-elementer gjør det mulig å bygge raskere, mer bærekraftig og høyere. Wahlstrøm mfl. (2020) peker på brannsikkerhet og akustikk som de to største barrierene for mer omfattende bruk av KLT i Norge, i tillegg til for lavt kunnskapsgrunnlag og mangel på veiledende litteratur. Massivtreets positive miljøegenskaper og økende statlige og kommersielle interesse gjør det nødvendig å finne de best egnede løsningene for bygningskategoriene. Ytterligere forskning kan bidra til å gjøre den stadig økende bruken av massivtre mer effektiv og sikker for aktørene i byggebransjen.

1.2 Beskrivelse av oppgaven

Det er behov for mer dokumentasjon fra bygg med krysslaminert tre (KLT). Oppgaven går ut på å samle og systematisere underlagsmateriale fra lydmålinger i ferdige bygg med etasjeskiller av KLT. Dette inkluderer gjennomføring av feltmålinger i tilgjengelige bygg i Trøndelag, men godt dokumentert underlagsmateriale fra litteraturundersøkelse kan også benyttes. Måleresultatene skal sammenlignes med relevante beregningsmetoder, hvor måleresultater som kan være påvirket av flanketransmisjon bør sammenlignes med beregning av samlet lydoverføring iht. prinsipper i *NS-EN ISO 12354*. Arbeidet skal også inkludere en vurdering av løsningene og forslag til endringer som tilfredsstiller lydkrav i de undersøkte bygningskategoriene.

1.2.1 Oppgavens formål

For å besvare oppgaven er det valgt å gjøre følgende:

- Samle underlagsmateriale fra utvalgte bygg med etasjeskiller av KLT.
- Vurdere resultater fra feltmålinger og sammenligne dem mot lydkrav i *NS 8175*.
- Undersøke sammenstilling av måle- og beregningsresultater for enkle KLT-element.
- Undersøke sammenstilling av måle- og beregningsresultater for samlet lydoverføring iht. *NS-EN ISO 12354*.

Studiet skal bidra til økt kunnskap om lydisolasjon i bygg med KLT og bidra til mer dokumentasjon fra feltmålinger i nyere bygg med etasjeskiller av KLT. I tillegg kan sammenstilling av måle- og beregningsresultater være nyttig ved vurdering av fremtidige utvidelser av *NS-EN ISO 12354*. Det er gjennomført feltmålinger fra to kontorer og én skole i Trøndelag med etasjeskiller av KLT og fokuset i oppgaven rettes derfor mot disse to bygningskategoriene. Detaljerte beregninger iht. *NS-EN ISO 12354* har blitt utført for målesituasjonen med tilstrekkelig informasjonsgrunnlag i form av plantegninger og måledata. KLT er et nyere bygningsmateriale og derfor vil en naturlig del av oppgaven være å opplyse om uenigheter og mangler observert i litteraturen.

1.3 Oppbygning av oppgaven

Kapittel 2 introduserer grunnleggende teoretisk rammeverk om lydtransmisjon, lydisolering og grenseverdier for aktuelle bygningskategorier. Kapitlet dekker også relevante beregningsmodeller til estimering av direkte lydtransmisjon for homogene dekker, som i resultatet brukes til å sammenligne med innehentet laboratoriemålt data fra litteraturundersøkelsen. Metodebeskrivelse i kapittel 3 er delt opp i litteraturundersøkelse, måleobjekt, måleprosedyre og beregningsmodell. Først presenteres prinsipper for søkemetode i litteraturundersøkelsen, før måleobjektene og måleprosedyre for feltmåling av luft- og trinnlydisolasjon blir beskrevet. Til slutt presenteres beregningsmetoden i *NS-EN ISO 12354* ved å vise til valgt beregningssituasjon og benyttet teori fra standarden og annen forskningslitteratur.

I kapittel 4 presenteres resultatene. Først fremlegges tidligere forskningsarbeid og vanlige løsninger for etasjeskiller med KLT. Deretter presenteres sammenstilling for beregninger og laboratoriemålinger av direkte lydtransmisjon for enkle KLT-element. Dette gjøres for å undersøke utgangspunktet ved beregning av lydisolasjon for etasjeskillere med KLT. Videre presenteres resultater fra feltmålingene og sammenlignes med lydkrav i *NS 8175*. Avslutningsvis presenteres sammenstilling mellom feltmålinger og beregning iht. *NS-EN ISO 12354* for en utvalgt beregningssituasjon på Lade skole. Resultatene vil videre bli diskutert i kapittel 5 og her vurderes løsningene og eventuelle forslag til endringer som tilfredsstillende lydkrav i de undersøkte bygningskategoriene. Til slutt undersøkes behovet for videre forskning på temaet. Studiet avsluttes i kapittel 6 med en konklusjon som oppsummerer og viser til de viktigste funnene.

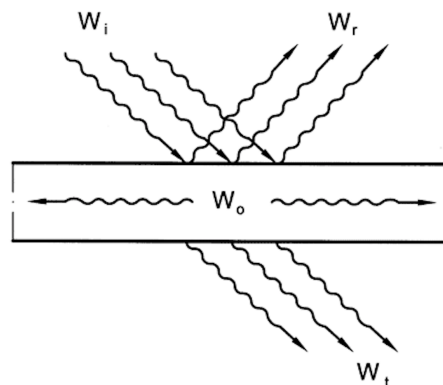
Kapittel 2

Teori

Dette kapitlet presenterer først grunnbegreper innen lydtransmisjon og lydisolering som er relevant for forståelse av etterfølgende feltmålinger og beregninger. Videre introduseres aktuelle bygningskategorier med tilhørende lydklasser og lydkrav gitt i *NS 8175* (Standard Norge, 2019). Til slutt presenteres beregningsmodeller for beregning av luft- og trinnlydisolasjon i homogene materialer, som senere i oppgaven brukes til sammenligning med laboratoriemålinger av enkle KLT-element.

2.1 Lydtransmisjon

Figur 2.1 er hentet fra SINTEF Byggforsk (2004) og viser forholdet mellom innfallende-, reflektert-, transmittert- og dissipert lydeffekt. Refleksjonsfaktoren r er definert som forholdet mellom reflektert lydeffekt og innfallende lydeffekt, $r = W_r/W_i$. Videre er transmisjonsfaktoren τ gitt som forholdet transmittert lydeffekt og innfallende lydeffekt, $\tau = W_t/W_i$. All lydeffekt som omdannes til varme eller forplanter seg i konstruksjonen kalles dissipert lydeffekt W_o og dissipasjonsfaktoren defineres som forholdet mellom dissipert og innfallende lydeffekt, $\delta = W_o/W_i$.



Figur 2.1: Prinsipielt forhold mellom innfallende-, reflektert-, transmittert- og dissipert lydeffekt, hentet fra SINTEF Byggforsk (2004).

I en bygning vil lyd kunne transmitteres på to ulike måter. Direktetransmisjon gjennom skillekonstruksjonen eller ved flanketransmisjon, som Glasø (2011) definerer som lydoverføring mellom rom via tilstøtende (flankerende) bygningsdeler. Uttrykket brukes også om all lydoverføring som ikke går gjennom skillekonstruksjonen og skjer da gjennom utettheter, sammenkoblinger, kanaler eller over himling. I følge SINTEF Byggforsk (2009) blir flanketransmisjon mer kritisk ved økende

lydisolasjonskrav og man må derfor regne med en svekkelse på 3 til 6 dB av luftlydisolasjon i ferdigstilt bygg.

2.1.1 Tapsfaktor

Tapsfaktoren η er et uttrykk for relativt energitap i svingende systemer og Standard Norge (2017a) gir en estimering av den totale tapsfaktoren *in situ* gitt ved,

$$\eta_{tot,situ} \approx \eta_{int} + \frac{c}{\sqrt{f}} \approx 0,01 + \frac{c}{\sqrt{f}} \quad (2.1)$$

hvor c avhenger av type byggesystem og kan for konstruksjonselementer lettere enn 150 kg/m^2 bestemmes som $c = m/300$ med intern tapsfaktor på $\eta = 0,005$.

2.1.2 Strålingsfaktor

Strålingsfaktoren σ er gitt som forholdet mellom utstrålt lydeffekt fra en plate under virkelige svingeforhold og lydeffekt under utstråling av en plan bølge når alle deler svinger i fase. Strålingsfaktoren er gitt som,

$$\sigma = \frac{W}{\rho \cdot c_0 \cdot S \cdot \hat{v}^2} \quad (2.2)$$

hvor W er utstrålt lydeffekt, ρ er lufttettheten, S er arealet på platen og \hat{v}^2 er midlet hastighetskvadrat.

2.1.3 Grensefrekvens

Grensefrekvensen for en isotrop plate er frekvensen hvor fasehastigheten for bøyingsbølger er lik lyd hastigheten i lufta rundt. Platen vil stråle ut mer lyd for frekvenser over grensefrekvensen og denne kan beregnes etter formel gitt i Vigran (2002),

$$f_g \approx \frac{c_0^2}{1,8 \cdot c_L \cdot h'} [Hz] \quad (2.3)$$

hvor h' er platetykkelsen og c_L er longitudinal hastighet for materialet definert som,

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho(1 - \nu^2)}} [m/s] \quad (2.4)$$

hvor E er elastisitetsmodulen, ρ er densiteten og ν er Poissons tall.

2.1.4 Isotrope og ortotrope plater

Tre er et ortotropisk materiale og ortotropiske plater kjennetegnes ifølge Vigran (2002) av ulike elastiske egenskapene i to akseretninger og hvor stivheten er avhengig av fiberretningen. En ortotropisk plate har høy styrke, sett i lys av elementets vekt og kan derfor være fordelaktige hvis man trekker inn aspekter som vekt og pris. En negativ side ved slike materialer er at lydreduksjonstallet generelt er betraktelig lavere, sammenlignet med plane plater i samme tykkelse. Til forskjell fra et ortotropisk materiale som tre, vil et isotropisk materiale ha materialegenskaper som er uavhengig

av retning og derfor kan beskrives av to materialkonstanter, henholdvis elastisitetsmodulen E og Poissons tall ν , som vist i formel 2.4.

2.2 Lydisolering

I skillekonstruksjoner er det spesielt lydtransmisjonsegenskapene for luft- og trinnlyd man tar for seg. Luftlydisolasjon er isolasjon av luftbåret lyd, mens strukturlyd brukes om vibrasjoner i faste strukturer. Innen bygningsakustikk er trinnlyd den vanligste formen for strukturlyd, som skapes av gangtrafikk. I en effektiv skillekonstruksjon omdannes noe lydenergi til varme i lydabsorberende materialer, samtidig som høy impedansforskjell reflekterer tilbake resten av lydenergien.

2.2.1 Luftlydisolasjon

Luftlydisolasjon er definert ved lydreduksjonstallet, R , og er gitt som forskjellen i utstrålt effekt i forhold til innfallende effekt,

$$R = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{\tau}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{W_i}{W_t}\right) \quad [dB] \quad (2.5)$$

$$R = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{\tau}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{p_S}{p_M}\right) + 10 \cdot \log\frac{S}{A_M} = L_S - L_M + 10 \cdot \log\frac{S}{A_M} \quad [dB] \quad (2.6)$$

hvor L_S og L_M er midlere lydtryknivå i henholdsvis sender- og mottakerrom, S er arealet av skillekonstruksjonen og A_M er ekvivalent absorpsjonsareal i mottakerrommet. Ekvivalent absorpsjonsareal i mottakerrom bestemmes av,

$$A_M = \frac{0,163 \cdot V}{T} \quad [m^2] \quad (2.7)$$

hvor V er mottakerrommets volum og T er mottakerrommets etterklangstid. Feltmålt lydreduksjonstall, også kalt tilsynelatende lydreduksjonstall, R' , gir krav til lydisolasjon i valgt bygningskategori og ved å kombinere formel 2.6 og 2.7 bestemmes ligningen for lydreduksjonstallet, R :

$$R = L_S - L_M + 10 \cdot \log \cdot T + 10 \cdot \log\frac{S}{0,163 \cdot V} \quad [dB] \quad (2.8)$$

Beregningen av lydreduksjonstallet, R , krever måling av lydtryknivå i senderrom L_S og mottakerrom L_M , samt måling av etterklangstid T i mottakerrom. I tillegg må man ha informasjon om arealet S av skillekonstruksjonen og volumet V i mottakerrommet. Veid reduksjonstall R_w tar hensyn til at mennesker ikke hører alle frekvenser like godt og kan brukes til å karakterisere luftlydisolasjonen av et bygningselement i laboratorium, men kan også angis som veid feltmålt reduksjonstall i ferdig bygg, R'_w (Glasø, 2011).

2.2.2 Trinnlydisolasjon

Trinnlydnivå omtales ofte som strukturlyd, generert av fottrinn. For å måle trinnlydnivå trengs det et standardisert hammerverk som er nærmere beskrevet i Standard Norge (2020a). Det som

faktisk måles er avgitt akustisk effekt til rommet under etasjeskiller og i en bygning defineres trinnlydnivået L'_n som,

$$L'_n = L_M + 10 \cdot \log \left(\frac{A}{A_0} \right) \text{ [dB]} \quad (2.9)$$

hvor L_M er lydtrykknivået i mottakerrommet og A er ekvivalent absorpsjonsareal i mottakerrommet med et referanseareal A_0 lik $10m^2$.

2.2.3 Vibrasjonsreduksjonsindeks

Vibrasjonsreduksjonsindeks K_{ij} er reduksjon av vibrasjoner mellom to elementer på hver sin side av knutepunktet og er spesielt avgjørende for å begrense flanketransmisjon av luft- og strukturlyd. Målt knutepunktsdemping, også omtalt som hastighetsdifferanse, brukes til å bestemme vibrasjonsreduksjonsindeksen ved følgende formel,

$$K_{ij} = \overline{D_{v,ij}} + 10 \cdot \log \left(\frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i a_j}} \right) \text{ [dB]} \quad (2.10)$$

hvor l_{ij} er knutepunktslengden mellom elementene i og j , $a_i a_j$ er den ekvivalente kantabsorpsjonslengden av element i og j , og $\overline{D_{v,ij}}$ er middelverdien av hastighetsdifferansen mellom element i og j . Den ekvivalente kantabsorpsjonslengden a kan uttrykkes som en sammenheng mellom etterklangstid og elementets demping, og kan defineres som,

$$a_i = \frac{2 \cdot 2\pi^2 S_i}{c_0 T_i} \cdot \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}} \text{ [m]} \quad (2.11)$$

hvor S_i er skilleflateelement i sitt areal, T_s er element i sin strukturelle etterklangstid og f_{ref} er referansefrekvensen som er satt til 1000 Hz.

2.2.4 Strålingsminskende kledning

Strålingsminskende kledning er en bøyesvak plate med høy grensefrekvens som monteres på en massiv vegg eller dekke. Tilleggskonstruksjonen har som hensikt og øke reduksjonstallet eller trinnlydisolasjonen og kan bestemmes etter formelen,

$$\Delta R = -10 \cdot \log \left[\left(\frac{f_0}{f} \right)^4 + n \cdot \frac{\tilde{u}_{2,B}^2}{\tilde{u}_1^2} \cdot \sigma_B \right] \text{ [dB]} \quad (2.12)$$

hvor f_0 er resonansfrekvensen til systemet, n er antall lydbroer fordelt på arealet S og $\tilde{u}_{2,B}^2/\tilde{u}_1^2$ angir hastighetsforskjell mellom primærkonstruksjon og lydbroen. Strålingsfaktor for linjefeste mellom primærkonstruksjon og strålingsminskende kledning $\sigma_{B,linje}$ kan bestemmes av følgende formel:

$$\sigma_{B,linje} = \frac{2c_0}{\pi} \cdot \frac{l}{S} \cdot \frac{1}{f_g} \quad (2.13)$$

Vigran (2002) viser til estimert forbedring av lydreduksjonstall for frittstående tilleggskonstruksjon og påpeker at senteravstand da kan settes lik korteste platelengde. Forbedringen vil starte ved resonansfrekvensen og øke med 12 dB per oktav til maksimumpunktet som begrenses av grensefrekvensen til den strålingsminskende kledningen og kontaktflaten mellom elementene. Før

grensefrekvensen vil forbedringen avta og ved frekvensen vil kledningen utstråle like mye lyd som primærkonstruksjonen.

2.3 Estimering av lydreduksjonstall

Vigran (2002) presenterer vanlige formler ved betraktning av en uendelig stor, homogen plate uten energitap. Den såkalte *masseloven* defineres da som,

$$R_0 = 20 \cdot \log(m' \cdot f) - 42.5 \text{ [dB]} \quad (2.14)$$

hvor en dobling av frekvens eller flatemasse vil resultere i en økning av reduksjonstallet på 6 dB. I masseloven er det kun lydreduksjon fra skilleflaten som medregnes, uten flanketransmisjon. I en virkelig skilleflate vil vi ha lydinnfall fra mange ulike vinkler og derfor betraktes et ideelt diffust lydfelt. Her tar reduksjonstallet med innfallsvinkler fra 0 til 90 grader i tilfeldig fase, og er gitt ved formelen:

$$R_{random} = R_0 - 10 \cdot \log \cdot 0.23 \cdot R_0 \text{ [dB]} \quad (2.15)$$

Denne formelen kan gi for lave verdier, da innfallsvinkler fra 78 til 90 grader vil gi mindre bidrag dersom arealet er endelig. For feltmessige forhold har formelen derfor blitt justert til å inkludere innfallsvinkler fra 0 til 78 grader, som har vist seg å være en bedre tilnærming. Formelen er gitt ved:

$$R_d = R_0 - 5dB = 20 \cdot \log(m' \cdot f) - 47dB \text{ [dB]} \quad (2.16)$$

Lydtransmisjon ved betraktning av luftlyd består av to komponenter; tvunget vibrasjonsfelt kalt ikke-resonante lydfelt og frie svingninger ved refleksjon av grenseflatene kalt det resonante bidraget. Under grensefrekvensen til det betraktede materialet vil frie svingninger fra det resonante bidraget gi lite utstråling, og det er derfor man til en viss nøyaktighet kan bruke beregninger av en uendelig plate på en endelig.

Ljunggren (2019) presenterer en modifisert versjon av Sharp (1978) sin beregningsmodell for lydoverføring i bygningselementer, spesielt tilpasset KLT-elementer. Modellen er basert på teoretisk og empirisk data hvor lydreduksjonen til KLT-elementet er delt inn i fire ulike frekvensområder:

$$f \leq f_g/2 : R = 20 \cdot \log(m' \cdot f) - k \text{ (6dB/oktav)} \quad (2.17)$$

$$f_g/2 \leq f \leq f_g : R = R \text{ (for } f = f_g/2) \text{ (0dB/oktav)} \quad (2.18)$$

$$f = 2f_g : R_{2g} = R_{g/2} + 10 \cdot \log(\eta) + 23 \quad (2.19)$$

$$f > 2f_g : R = R_{2g} + 20 \cdot \log(f/2f_g) \text{ (6dB/oktav)} \quad (2.20)$$

Hvor $k = 48$ for $d \leq 130$ mm og $k = 47$ for $d \geq 180$ mm. Modellen tar hensyn til at KLT er et ortotropisk materiale med forskjellige egenskaper i ulike retninger, uten én definert *dupp* ved grensefrekvensen f_g .

2.3.1 Lydtransmisjon for dobbelkonstruksjoner

Vigran (2002) presenterer en empirisk formel for dobbelkonstruksjoner fra Sharp (1978), basert på masseloven. Formelen gjelder for dobbelkonstruksjoner uten mekanisk forbindelse hvor hulrommet er fylt med absorberende materiale, og er gitt for følgende tre frekvensområder,

$$f < f_0 : R = R_M = 20 \cdot \log(m'_1 + m'_2) \cdot f) - 47 [dB] \quad (2.21)$$

$$f_0 < f < f_d : R = R_1 + R_2 = 20 \cdot \log(f \cdot d) - 29 [dB] \quad (2.22)$$

$$f > f_d : R = R_1 + R_2 + 6 [dB] \quad (2.23)$$

hvor d er hulromsavstand mellom elementene, $f_d = 55/d$ og R_1 og R_2 er enkel masselovberegning for element på side 1 og 2 i dobbelkonstruksjonen.

2.3.2 Ett-tallskarakteristikk

En generell, empirisk formel for ett-tallskarakterisering av luftlydisolasjon i homogene konstruksjonselementer er gitt i Standard Norge (2017a) som,

$$R_w = 20,0 \cdot \log(m') [dB] \quad (2.24)$$

for m mellom $80 - 100 kg/m^2$ og,

$$R_w = 32,4 \cdot \log(m') - 26 [dB] \quad (2.25)$$

for m mellom $100 - 150 kg/m^2$.

Evalueringer av Di Bella og Mitrovic (2020) har resultert i en empirisk formel, basert på masseloven som gir ett-tallskarakterisering av KLT-element med flatemasse mellom $35 - 130 kg/m^2$. Formelen er gitt som:

$$R_w = 20,3 \cdot \log(m') [dB] \quad (2.26)$$

2.4 Estimering av trinnlydisolasjon

Estimering av trinnlydnivå for massive dekker er gitt i Standard Norge (2017b) som,

$$L_n = 155 - 30 \cdot \log(m') + 10 \cdot \log(T_s) + 10 \cdot \log(\sigma) + 10 \cdot \log \frac{f}{f_{ref}} \text{ [dB]} \quad (2.27)$$

hvor m' er flatemassen til materialet, T_s er materialets strukturelle etterklangstid, σ er materialets strålingsindeks og f_{ref} er referansefrekvensen lik 1000 Hz. Den strukturelle etterklangstiden er avhengig av materialets tapsfaktor, som bestemmes av følgende formel,

$$T_s = \frac{2,2}{f \cdot \eta_{tot}} \text{ [s]} \quad (2.28)$$

hvor η_{tot} *in situ* bestemmes av formel 2.1. Videre trengs strålingsindeksen til materialet. Det finnes flere formler for å bestemme denne faktoren, og Leppington, Broadbent og Heron (1982) har delt strålingsfaktor ved resonant stråling for en plate inn i tre frekvensområder,

$$\sigma = \frac{U \cdot c_0}{2\pi^2 \sqrt{f \cdot f_g} \cdot S \sqrt{\chi^2 - 1}} \cdot \left[\ln \frac{\chi + 1}{\chi - 1} + \frac{2\chi}{\chi^2 - 1} \right] \quad (2.29)$$

for $f < f_g$, hvor parameteren $\chi = \sqrt{f_g/f}$. Faktoren $S = a \cdot b$ gir arealet av den rektangulære platen med side $a < b$ og omkrets $U = 2(a + b)$. Når $f \approx f_g$ kan strålingsfaktoren skrives som,

$$\sigma = \sqrt{\frac{2\pi f}{c_0}} \cdot \sqrt{a} \left(0,5 - 0,15 \frac{a}{b} \right) \quad (2.30)$$

og for $f > f_g$ kan man benytte følgende formel:

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{f_g}{f}}} \quad (2.31)$$

2.4.1 Trinnlydforbedring

Prinsippet med flytende gulv er basert på masse-fjær-masse effekten, hvor bærekonstruksjonen m'_1 er den statiske massen og fjæreffekten sikres av det elastiske laget som sammen med det flytende gulvet m'_2 danner et resonanssystem. Å estimere trinnlydforbedring ΔL for et flytende gulv er ikke sett på som en enkel oppgave. Beregningen er avhengig av informasjon og beregning av grensebetingelsene for de ulike lagene i etasjeskiller. Det må i likhet med estimering av reduksjonstall tas hensyn til både tvungen og resonant transmisjon. Forbedringen er frekvensavhengig og vil bidra med en forbedring over resonansfrekvensen. For tungt flytende overgulv som påstøp av betong vil forbedringen ligge på 9 dB/oktav, men for lett flytende overgulv vil forbedringen ligge omkring 18 dB/oktav. Dette gjelder for tunge primærdekker som betongdekker, og vil derfor ikke gjenspeile trinnlydforbedringen av et lett primærdekke som trebjelkelag eller massivtre med samme nøyaktighet. Impedansen av hammerverket vil i slike tilfeller kunne påvirke selve primærkonstruksjonen og dermed gjøre det vanskeligere å bestemme trinnlydforbedringen (Vigran, 2002). For lette primærdekker vil forbedringen ligge fra 6 til 9 dB/oktav over resonansfrekvensen og om

målte verdier ikke er tilgjengelig kan forbedringen estimeres ved bruk av følgende formel:

$$\Delta L = \left(30 \cdot \log \frac{f}{f_0} \right) [dB] \quad (2.32)$$

Hvor f er senterfrekvensen og f_0 er resonansfrekvensen til systemet gitt i Standard Norge (2017a) som,

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{s' \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} [dB] \quad (2.33)$$

hvor $s' [N/m^2]$ er dynamiske stivheten til trinnlydsplaten og m'_1 er flatemassen til bærekonstruksjonen og m'_2 er flatemassen til det flytende gulvet. Lydisolasjonsegenskapene til et flytende gulv bestemmes i hovedsak av de mekaniske egenskapene til det elastiske dempesjiktet og da spesielt den dynamiske stivheten, i tillegg til flatemassen.

2.4.2 Ett-tallskarakteristikk

ISO 12354-2 presenterer en formel for veid normalisert trinnlydnivå for homogene gulvkonstruksjoner. Formelen gjelder homogene gulvkonstruksjoner og er tilpasset betongkonstruksjoner:

$$L_{n,w} = 164 - 35 \cdot \log(m') [dB] \quad (2.34)$$

Det presiseres at formelen gir for høye verdier for lettere konstruksjoner, men at det kan bidra til å være på den sikre siden under prosjektering. Som et forsøk på å dekke andre konstruksjonsmaterialer har Di Bella, Granzotto og Barbaresi (2016) foreslått en empirisk formel for ett-tallskarakterisering av trinnlydnivå for KLT-element. Formelen er gitt som:

$$L_{n,w} = 128 - 22 \cdot \log(m') [dB] \quad (2.35)$$

Videre angir Standard Norge (2017b) veid forbedring av trinnlydnivå $\Delta L_{n,w}$ for flytende gulv laget av sand eller sement:

$$\Delta L_w = 13 \cdot \log(m') - 14,2 \cdot \log(s') + 20,8 [dB] \quad (2.36)$$

2.5 Bygningskategorier og lydklasser

De ulike bygningskategoriene er delt inn i fire lydklasser, hvor A er spesielt gode lydforhold og D gir dårlige lydforhold. Tabell 2.1 angir et utdrag av ulike grenseverdier for relevante bygningstyper og bruksområder som betraktes i studiet. Standard Norge (2019) definerer grenseverdier for luftlydisolasjon som veid feltmålt lydreduksjonstall R'_w og for trinnlydisolasjon som feltmålt veid normalisert trinnlydnivå $L'_{n,w}$. Måleresultatene veies etter etter referansemetoden som er gitt i *NS-EN 717-1/2* (Standard Norge, 2020b; Standard Norge, 2020c).

2.5.1 Omgjøringstall for spektrum

Omgjøringstall for spektrum inkluderes i vurdering av lydisolasjon for å redusere sjenanse fra lavfrekvent lyd. Ved beregning av feltmålt veid normalisert trinnlydnivå $L'_{n,w}$ og veid feltmålt lydreduksjonstall R'_w , inkluderes omgjøringstall for spektrum for utvidet frekvensområde for å ta hensyn til lavfrekvent lydisolasjon. Spektrene bidrar til en strengere vurdering av luft- og trinnlydisolasjonen og noteres som $R'_w + C_{50-5000}$ for luftlydisolasjon og $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$ for trinnlydisolasjon. Internt i bygninger benyttes omgjøringstall for spektrum i grenseverdiene for lydklasse A og B i *NS 8175*.

Tabell 2.1: Lydklasser og grenseverdier for relevante bygningstyper og brukerområder hentet fra *NS 8175* (Standard Norge, 2019).

Brukerområde	Målestørrelse	Klasse A [dB]	Klasse B [dB]	Klasse C [dB]	Klasse D [dB]
Mellom undervisningsrom	$R'_w \geq$	56	52	48	44
Mellom undervisningsrom	$L'_{n,w} \leq$	53	58	63	68
Mellom kontorer og mellom kontor og fellesgang/korridor uten dør	$R'_w \geq$	44	40	37	34
I kontorer og møterom fra andre rom og kommunikasjonsvei	$L'_{n,w} \leq$	53	58	63	68

Kapittel 3

Metode og måleobjekter

Metodekapittelet er delt inn i fire deler. Litteraturundersøkelse, måleobjekter, måleprosedyre og beregningsmetode. Først presenteres metoden som ble brukt til å finne forskningsartikler og løsninger for bruk av KLT. Videre tar kapittelet for seg måleobjektene og måleprosedyrene som ble brukt til feltmåling av luft- og trinnlydisolasjon, før aktuell beregningsmetode i *NS-EN ISO 12354-1* (Standard Norge, 2017a) og *NS-EN ISO 12354-2* (Standard Norge, 2017b) presenteres.

3.1 Litteraturundersøkelse

Det forskes på KLT mer enn noen gang, men likevel er det etterspørsel av datamateriale som kan brukes til å karakterisere de akustiske egenskapene i standarder og veiledere. For å samle relevant litteratur og resultater har det blitt gjennomført en litteraturundersøkelse. Det ble forsøkt å finne fagfelleverdert materiale gjennom søketjenester som *Oria* og *Scopus*, i tillegg til mer generell informasjon gjennom søketjenesten *Google Scholar*. I databasene ble det brukt boolske operatører for å begrense antall treff for å lettere kunne plukke ut relevant litteratur. Ved søk ble det også benyttet en begrensning for litteratur utgitt de siste 10 årene. Tabell 3.1 viser søkeord og antall treff for litteratur på engelsk.

Tabell 3.1: Søkematrix med antall treff for ulike kombinasjoner ved bruk av boolske operatører.

Søkeord	Oria	Scopus
"Cross-laminated timbre..." OR "CLT..."		
AND "...airborne sound insulation"	15	61
AND "...impact sound insulation"	22	80
AND "...prediction method" AND "...sound insulation"	6	27
AND "...floor" AND "...sound insulation"	22	77

Ved vurdering av litteratur ble det tydelig at forskningsmiljøet innen akustikk og KLT er lite. Flere forskningsartikler henviste til samme rapporter og forfattere, noe som gjorde det naturlig å bruke prinsipper fra en teknikk kalt *Backward Snowballing* som komplementering til utført litteratursøk (Wohlin, 2014). Metoden går ut på å finne en relevant, fagfelleverdert og gjennomarbeidet forskningsartikkel, for så å undersøke referanselista til artikkelen for å finne andre gode forskningsartikler. Wohlin (2014) viser til nøkkelord som språk, utgivelsesår og type litteratur som noen naturlige punkt å vurdere i referanselista. Videre ble litteraturen evaluert etter TONE-prinsippet for å sikre troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet (NTNU, 2021). For en praktisk tilnærming kan man bruke følgende kriterier:

- Passer litteraturen til valgt problemstilling?
- Hvor er litteraturen publisert?
- Er forskningsmetodene i litteraturen godt beskrevet?

Et felles treff i Oria og Scopus førte frem til forskningsartikkelen *Acoustic Characteristics of Cross-Laminated Timber Systems* (Di Bella og Mitrovic, 2020), som ble utgangspunktet for bruk av metoden *Backward Snowballing*.

I tillegg til forskningsartikler har blant annet rapporter og veiledere utarbeidet av Norsk Treteknisk Institutt (Treteknisk, 2016) og SINTEF (SINTEF Byggforsk, 2009; Homb og Hveem, 2012) blitt undersøkt for å samle dokumentert informasjon om de akustiske egenskapene til KLT og hvordan materialet brukes i Norge. For å få et dypere innblikk i internasjonal forskning har forskningsrapportene til *National Research Council of Canada* (Mahn, Quirt mfl., 2020) blitt studert og ved beregning av samlet lydoverføring er inspirasjon hentet fra samme rapport. Ved gjengivelse av relevant teori knyttet til oppgaven har spesielt boka *Bygningsakustikk - et grunnlag* av Vigran (2002) vært sentral, sammen med metodisk teori gitt i Standard Norge sine utgivelser av norske og internasjonale standarder.

3.2 Måleobjekter

I dette avsnittet presenteres informasjon om måleobjektene og valg av målesteder i byggene. Det ble valgt å utføre lydmålinger i tre ulike bygg med etasjeskiller av KLT, hvorav to kan inkluderes i bygningskategorien kontor og den siste i kategorien skole som vist i tabell 3.2. Dette ble gjort for å dekke ulike løsninger som kan sammenlignes med hverandre, men også mot bestemte lydkrav i *NS 8175* (Standard Norge, 2019). De tre måleobjektene var O2-huset på Steinkjer, ZEB-laboratoriet og Lade skole i Trondheim. Felles for alle byggene er at de består av et søyle-/bjelkesystem i limtre, kombinert med andre bærende elementer av eksempelvis KLT og betong. KLT-elementene er festet til andre bærekonstruksjoner ved bruk av skruer, stålprofiler og dybler.

Tabell 3.2: Nøkkelinformasjon om konstruksjonene og etasjeskiller.

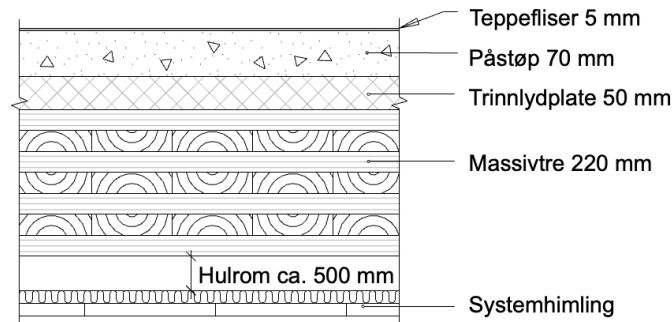
	O2-huset	ZEB-laboratoriet	Lade skole
Bygningskategori	Kontor	Kontor	Skole
Areal	9 300 m ²	1 800 m ²	10 930 m ²
Ferdigstilt	2021	2020	2018
Flatemasse KLT	105 kg/m ²	80 kg/m ²	135 kg/m ²
Total tykkelse	850 mm	950 mm	635 mm

3.2.1 O2-huset

O2-huset er et kontorbygg på 9300 m², oppført i sju etasjer. Det gamle O2-huset ble revet i 2019 og vil stå ferdigstilt i løpet av 2021. De to første etasjene består av fundament og bæresystem av betong, mens de resterende etasjene er bygget opp av KLT-dekker, kombinert med bjelker og søyler av limtre. For å avstive bygget brukes det synlig stående fagverk av limtre i fasaden og vertikale veggskiver av KLT. Planløsningen er tilnærmet identisk for etasjene som er bygd opp av KLT-dekker, noe som reduserer usikkerheter ved vertikale lydmålinger. Generelt er det en god blanding av åpne kontorlandskap og lukkede rom, som vist i plantegningene i *vedlegg B*.

Figur 3.1 viser at etasjeskillerne er bygget opp av KLT (5 lag) på totalt 220 mm, og et tungt flytende gulv bestående trinnlydsplate, påstøp av betong og teppefliser. På undersiden av dekket

er det montert en systemhimling.

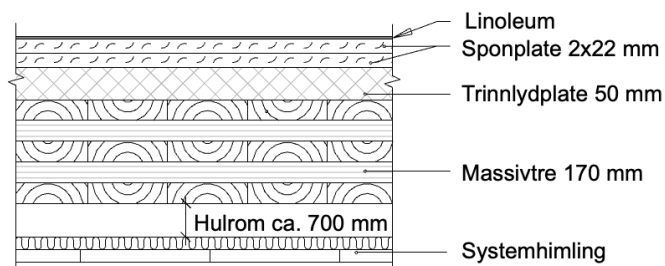


Figur 3.1: Oppbygning av etasjeskiller i O2-huset.

3.2.2 ZEB-laboratoriet

ZEB-laboratoriet er oppført på Gløshaugen i Trondheim og er et forbildeprosjekt som skal dokumentere hvor lavt klimagassutslipp et slikt bygg kan oppnå. ZEB-laboratoriet er skapt av NTNU og SINTEF i tett samarbeid med Veidekke og LINK Arkitektur og ble ferdigstilt i 2020. Dette er et kontorbygg på omlag 1800 m^2 fordelt på fire etasjer som inneholder kantine, undervisningslokaler, kontorplasser og laboratorieområder hvor det skal forskes på nullutslippsteknologi. (LINK Arkitektur, 2021).

Byggets bæresystem består av dekker i KLT, samt bjelker og søyler av limtre. Bygget har avstivende elementer i form av stående fagverkssøyler i limtre og veggskiver av KLT. Planløsningen i bygget (*vedlegg B*) er åpen og fleksibel, med muligheter for å demontere innervegger og dermed endre arealutformingen innvendig. Det komplekse bygget har ulik planløsning i alle etasjer og det er lagt vekt på utradisjonelle arbeidsplasser for å skape trivsel og god produktivitet.



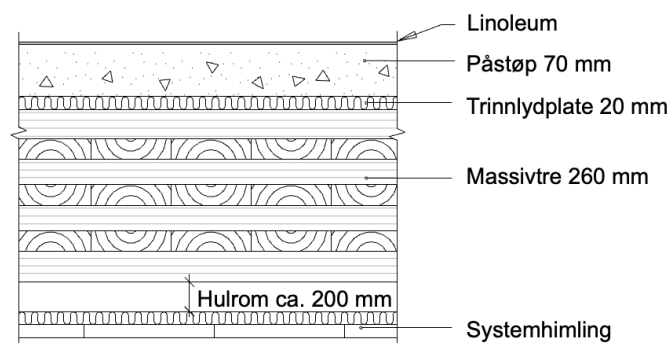
Figur 3.2: Oppbygning av etasjeskiller på ZEB-laboratoriet.

Figur 3.2 viser etasjeskillerne i ZEB-laboratoriet som er bygget opp av KLT (5 lag) på totalt 170 mm og et lett flytende gulv, bestående av trinnlydplate, sponplater og gulvbelegg. I tillegg er det systemhimling i underkant av dekket.

3.2.3 Lade skole

Lade skole er en barneskole i Trondheim kommune med over 700 elever og egen avdeling for 40 minoritetsspråklige elever. Skolen er bygget som passivhus og er delt inn i to fløyer, hvor det i studiet er fokusert på vestfløyen med administrasjon og klasserom for 5.-7.trinn. Bærekonstruksjonen i bygget består i hovedsak av tre, men ved lengre spenn i vestibyleområdet er det benyttet stål og betong. Ellers brukes bjelker og søyler av limtre i tillegg til KLT i dekker og et fåtall bærende

innervegger. Planløsningen i vestfløyen (*vedlegg B*) er identisk for klasserommene i 2.- og 3. etasje langs nordfasaden. Dette gjør klasserommene til gode måle- og sammenligningsobjekt.



Figur 3.3: Oppbygning av etasjeskiller på Lade skole.

Figur 3.3 viser etasjeskiller som er bygget opp av KLT (7 lag) på totalt 260 mm med et tungt flytende gulv på oversiden, bestående av en tynn trinnlydsplate, påstøp i betong og gulvbelegg. På undersiden er det systemhimling med nedhengte treullesement.

3.2.4 Valg av målesteder i byggene

For å gjøre målingene i de tre byggene så like og sammenlignbare som mulig, ble to målesituasjoner valgt som utgangspunkt:

1. Mellom rom **med** bærende/gjennomgående veggskive av KLT
2. Mellom rom **uten** bærende/gjennomgående veggskive av KLT

Det ble valgt lukkede rom med identisk eller lignende romvolum på over- og undersiden av etasjeskiller med unntak av måling *ZEB 1-2* i ZEB-laboratoriet, hvor øverste rom var halvåpent. Hensikten med de valgte målesituasjonene var å velge ut én situasjon med mulighet for flankebidrag i knutepunkt mellom KLT-elementer (1) og én situasjon med mindre sannsynlighet for flankebidrag fra tilknyttede elementer (2).

3.3 Måleprosedyre

I dette avsnittet presenteres informasjon om måleprosedyrene og utstyr som ble brukt ved gjennomføring av luft- og trinnlydmålinger. De første feltmålingene ble gjennomført i ZEB-Laboratoriet i Trondheim den 13.mars, før turen gikk videre til O2-huset på Steinkjer den 14.mars. De siste målingene ble utført på Lade skole i Trondheim den 23.mars 2021.

Å gjennomføre lyd målinger mellom etasjer er tidkrevende arbeid, spesielt når store deler utføres av én person. Ved gjennomføring av vertikale lyd målinger ble det øvre rommet valgt som senderrom og det nederste som mottakerrom, for totalt fem av seks luftlydmålinger. Da kunne målinger av bakgrunnsstøy og etterklangstid i mottakerrommet brukes ved bestemmelse av både luft- og trinnlydisolasjon. Dette ble gjort for å minimere tidsbruken i byggene, med hensyn til pågående byggearbeider og begrenset tilgang. Målinger hvor øverste rom benyttes som senderrom beskrives i Standard Norge (2014) som akseptabel om det brukes helkulehøytaler. Målingene ble på tross av dette gjennomført med tilgjengelig halvkulehøytaler, med forankring i Dunbavin og Critchley (2019) som gjennom forsøk hevder at halvkulehøytaler kan benyttes som lyd kilde i øverste rom

dersom lydkilden plasseres 0,5 m fra vegg og 1,0 m over gulvoverflaten. Dette prinsippet ble fulgt for alle luftlydmålingene. Unntaket gjelder luftlydmåling på ZEB-laboratoriet (*ZEB 1-2*) hvor målingen ble utført nedenfra og opp for å bruke et lukket og ikke halvåpent rom som senderrom. Før og etter hver måleøkt ble måleapparatet kalibrert for å sikre korrekt lydtryknivå gjennom alle målingene.

3.3.1 Feltnmåling av luftlydisolasjon

Til å måle luftlydisolasjonen i etasjeskiller mellom to rom ble standardprosedyre i *NS-EN ISO 16283-1* (Standard Norge, 2014) benyttet. Måleprosedyren gjelder ved måling av luftlydisolasjon mellom to rom med volum mellom 10-250 m^3 i frekvensområdet fra 50-5000 Hz. Ved bruk av lydtrykksmålinger i rom med tilnærmet diffust lydfelt kan resultatene sammenlignes og akustiske ytelser vurderes opp mot hverandre. Prosedyren besto av målinger av lydtryknivå i begge rom med lydkilde i drift i senderrom, måling av bakgrunnstøy i mottakerrom når lydkilden var slått av, samt måling av etterklangtid i mottakerrom. Som bredbåndsstøykilde ble det benyttet én høyttaler som genererte rosa støy.

I senderrom ble det valgt å bruke to høyttalerposisjoner i en avstand på 1,0 m fra skilleflaten. Det ble målt i 15 sekunder i fem stasjonære mikronposisjoner for hver høyttalerposisjon ved bruk av håndholdt mikrofon i hofte høyde. Lydtryknivået ble målt i sender- og mottakerrom for den første høyttalerposisjonen, før prosedyren ble gjentatt for den andre høyttalerposisjonen. Videre kan energimidlet lydtryknivå bestemmes for hver høyttalerposisjon etter følgende formel,

$$L = 10 \cdot \log \left(\frac{p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + \dots + p_n^2}{n \cdot p_0^2} \right) [dB] \quad (3.1)$$

hvor $p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + \dots + p_n^2$ er midlere kvadratisk lydtrykk ved n ulike måleposisjoner i rommet og referanselydtrykket p_0 er 20 μPa . I praksis bestemmes energimidlet lydtryknivået etter,

$$L = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \sum_n^{i=1} 10^{L_i/10} \right) [dB] \quad (3.2)$$

hvor $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$ er lydtryknivåene i n ulike mikrofonsposisjoner i rommet. Eksempel på valgte høyttaler- og mikrofonsposisjoner for luftlydmålinger er vist i *vedlegg C*.

Bakgrunnstøy ble målt i 15 sekunder for to stasjonære mikrofonsposisjoner i mottakerrom for å sikre at signalnivået ikke ble påvirket av bakgrunnstøy. For å redusere faren for at operatør er en kilde til bakgrunnstøy i mottakerrom ble egen hørsel brukt til å identifisere egenprodusert støy. Ved målt lydtryknivådifferanse mellom signalnivå og bakgrunnstøynivå på mer enn 10 dB, kreves ingen korreksjon. Er forskjellen større enn 6 dB men mindre enn 10 dB, bestemmes korrigert signalnivå etter formelen,

$$L = 10 \cdot \log(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10}) [dB] \quad (3.3)$$

hvor L er korrigert signalnivå, L_{sb} er signal- og bakgrunnstøynivå og L_b er bakgrunnstøynivå. Er lydtryknivådifferansen mindre eller lik 6 dB i noen frekvensbånd, brukes en fast korreksjon på 1,3 dB.

Etterklangstiden i mottakerrom ble målt etter standardprosedyre i *NS-EN ISO 3382-2* (Standard Norge, 2008). Det ble benyttet avbrutt støymetode og et evalueringsområdet på 20 dB, gitt som etterklangstiden T_{20} . I hvert mottakerrom ble det gjennomført tre målinger i faste målepunkt med

to målinger i hvert punkt for to ulike høyttalerposisjoner. Målingene ble brukt til å bestemme ekvivalent absorpsjonsareal etter formel 2.7, som videre ble brukt sammen med målte lydtryknivå med korreksjoner for bakgrunnstøy til å bestemme feltmålt reduksjonstall R' for hver høyttalerposisjon etter formel 2.8. Til slutt kunne det totale reduksjonstall for skillekonstruksjonen bestemmes etter formelen

$$R' = -10 \cdot \log \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{-R'_j/10} [dB] \quad (3.4)$$

hvor n er antall høyttalerplasseringer og R'_j er det feltmålte lydreduksjonstallet for høyttalerposisjon j .

3.3.2 Feltmåling av trinnlydisolasjon

Til å måle trinnlydisolasjon i etasjeskiller ble standardprosedyren i *NS-EN ISO 16283-2* (Standard Norge, 2020a) benyttet. Måleprosedyren gjelder ved måling av trinnlydisolasjon mellom to rom med volum mellom 10-250 m^3 for evaluering i frekvensområdet fra 50-5000 Hz.

Et standardisert hammerverk ble brukt som lydkilde og plassert i det øvre rommet, også omtalt som senderrom. Hammerverket ble plassert i åtte posisjoner, orientert 45° på retningen av KLT-elementene. Lydtryknivåene generert av hammerverket ble målt i mottakerrommet i totalt fire eller åtte stasjonære håndholdte mikrofonposisjoner for de åtte lydkildeposisjonene, avhengig av romstørrelse. For skilleflater over 60 m^2 ble åtte unike mikrofonposisjoner benyttet. Dette gjaldt for de to trinnlydmålingene på Lade skole og eksempel på plassering av hammerverk og mikrofonposisjoner er vist i *vedlegg C*.

Målingene ble midlet for hver lydkildeposisjon etter formel 3.1 og formel 3.2. Videre ble målingene korrigert for bakgrunnsstøy etter formel 3.3 før trinnlydsnivået L'_n ble bestemt etter formel 2.9 for hver lydkildeposisjon og til slutt midlet etter formelen,

$$L'_n = 10 \cdot \log \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L'_{n,j}/10} [dB] \quad (3.5)$$

hvor n er antall posisjoner for hammerverket og $L'_{n,j}$ er det feltmålte trinnlydsnivået for lydkildeposisjon j . Ved å definere øvre rom som senderrom, kunne de samme målingene av etterklangstid og bakgrunnsstøy brukes ved bestemmelse av luft- og trinnlydisolasjon for den felles skillekonstruksjonen. Måleprosedyre for etterklangstid og bakgrunnstøy er beskrevet i avsnitt 3.3.1.

3.3.3 Etterbehandling av måledata

Prosedyren i *NS-EN ISO 717* (Standard Norge, 2020c; Standard Norge, 2020b) ble benyttet til angivelse av måleresultatene gjennom programvaren *Nor850* fra Norsonic (2021), og videre ble resultatene for veid feltmålt lydreduksjonstall R'_w og feltmålt veid normalisert trinnlydsnivå $L'_{n,w}$ med tilhørende omgjøringsstall for spektrum, bestemt. Det ble valg å inkludere omgjøringsstall for spektrum ($C_{50-5000}$, $C_{I,50-2500}$) for å ta hensyn til eventuelle høye lydnivå ved lave enkeltfrekvenser. For videre sammenligninger og analyser på tvers av måleserier og bygninger ble *Microsoft Excel* brukt som databehandlingsverktøy.

3.3.4 Utstyrliste

Tabell 3.3 viser det anvendte måleutstyret, fra SINTEF og NTNU i Trondheim.

Tabell 3.3: Utstyrliste

Utstyr	Merke	Type	Serienummer
Høytaler	Norsonic	250	23311
Forsterker	Norsonic	260	26950
Lydmåler	Norsonic	Nor150	15030331
Forforsterker	Norsonic	Nor1209	21266
Kalibrator	Norsonic	1251	34858
Bankemaskin	Bruel & Kjør	3207	2431227
Mikrofon	Norsonic	ukjent	ukjent
Høytalerkabel	Norsonic	Nor1494	
Lasermåler	Bosch	PLR 30 C	
Hørselvern	Peltor	Optime II	
Kabeltrommel	Ukjent	BNC/BNC	
Høytalerstativ			
Skjøteledning			
Grenuttak			

3.4 Beregningsmodell

Til å beregne lydoverføring som inkluderer flankerende konstruksjoner ble prinsippene i *NS-EN ISO 12354-1* (Standard Norge, 2017a) for luftlydisolasjon og *NS-EN ISO 12354-2* (Standard Norge, 2017b) for trinnlydisolasjon benyttet. Beregningsprinsippene er ivaretatt i beregningsprogrammet CadnaB av DataKustik (2021), men mangler gode inngangsverdier for konstruksjoner med KLT. Programmet mangler også muligheten til å definere egne verdier for vibrasjonsreduksjonsindeks, da disse er låst til materialet og kutepunktsløsning som velges. Det ble derfor gjennomført manuelle beregninger for detaljert og forenklet metode i *NS-EN ISO 12354*. I den forenklete metoden brukes ett-talls karakterisering av dekkekonstruksjon og flankerende konstruksjoner, mens det i den detaljerte metoden benyttes frekvensdata i 1/3-oktavnband. Oppsettet i beregningsarket gitt i *vedlegg D* er inspirert av Hoeller, Mahn mfl. (2017) fra *National Research Council Canada*. Selve beregningsmetoden går ut på å summere lydtransmisjonen som går direkte gjennom skillekonstruksjonen og andre flankerende flater. Inngangsverdier som må være kjent er lydreduksjonstallet til skilleflaten og de flankerende konstruksjonene, samt knutepunktsdempingen i konstruksjonen.

3.4.1 Utgangspunkt

Som beregningsobjekt ble det valgt å bruke Lade skole (*LADE 1-2*) på bakgrunn av mest informasjonsgrunnlag i form av plantegninger og måledata. I tillegg har skoler høyere krav til lydisolasjon, noe som gjør det interessant å se på eventuelle flankebidrag som begrenser isolasjonsevnen. Det ble valgt å begrense beregning av flankerende bidrag ved å utelukkende betrakte bærende vegger, som i dette tilfellet er avstivende KLT-vegg og yttervegg av bindingsverk. Lydisolasjonen til den tilknyttede KLT-veggen ble målt og direkte benyttet i beregningene. For resterende konstruksjoner ble laboratoriemålte verdier for lignende konstruksjonselementer hentet fra Homb, Hveem og Strøm (1983), SINTEF Byggforsk (2019) og forskningsrapport RR-331 av Hoeller, Quirt mfl. (2019) og RR-335 av Mahn, Quirt mfl. (2020). Knutepunkt mellom KLT-element i etasjeskiller og bærende KLT-skive er festet med skruer på lengder mellom 220-400 mm. Forbedring av lydisolasjon ved

bruk av tilleggskonstruksjoner er beregnet etter angitte formler i *NS-EN ISO 12354* og Vigran (2002). Videre har innhentet laboratoriedata blitt korrigerert ved hjelp at forenklet teori, benyttet i Homb og Hveem (2012). Ved forskjell i flatemasse m' ble følgende formel for luftlydisolasjon brukt,

$$\Delta R = 20 \cdot \log \left(\frac{m'_1}{m'_2} \right) [dB] \quad (3.6)$$

og ved samme korrigering for trinnlydisolasjon ble følgende formel brukt:

$$\Delta L_n = 30 \cdot \log \left(\frac{m'_1}{m'_2} \right) [dB] \quad (3.7)$$

I formel 3.6 og formel 3.7 er m'_1 og m'_2 flatemassen til henholdsvis element 1 og element 2.

Det ble i tillegg benyttet dokumenterte forenklinger av Schoenwald mfl. (2013) og Mahn, Quirt mfl. (2020) for beregninger med KLT. Schoenwald mfl. (2013) gjennomførte laboratoriemålinger for 78 mm (3 lag) og 175 mm (5 lag) for å undersøke materialets ytelse *in situ*, sammenlignet med i et laboratorium. Resultatene viser at korrigering av det ikke-resonante bidraget kun har innvirkning i beregninger for KLT-element med grensefrekvens i midt- og høyfrekvent område, som 3-lags KLT med grensefrekvens omkring 500 Hz. For tykkere KLT-element som 5- og 7-lags utgjorde korrigeringen av ikke-resonant bidrag ingen betydelig forskjell på beregningsresultatet og inkluderes ikke i beregningene. I forskningsartikkelen til Mahn og Müller-Trapet (2019) belyses enda en forenkling ved beregning av flanketransmisjon iht. Standard Norge (2017a). Gjennom målinger av tapsfaktor η for KLT-dekker viste resultatene at faktoren ligger over terskelnivået i standarden på 0,03, som tilsier at man ikke behøver å ta hensyn til materialets strukturelle etterklangstid T_s ved beregninger. Denne forenklingen er i oppgaven også medregnet for lette vegger av bindingsverk. Oppbygningen av etasjeskiller på Lade skole vises i figur 3.3 og tabell 3.4 angir tykkelse d , flatemasse m' og dynamisk stivhet s' for komponenter i etasjeskilleren.

Tabell 3.4: Tykkelse, flatemasse og dynamisk stivhet for materialer i etasjeskiller på Lade skole.

	$d[mm]$	$m'[kg/m^2]$	$s'[MN/m]$	Kilde
Påstøp	70	168	-	Vigran (2002)
Trinnlydsplate	20	-	<10	Stora Enso (2017)
KLT (7 lag)	260	135	-	Stora Enso (2017)

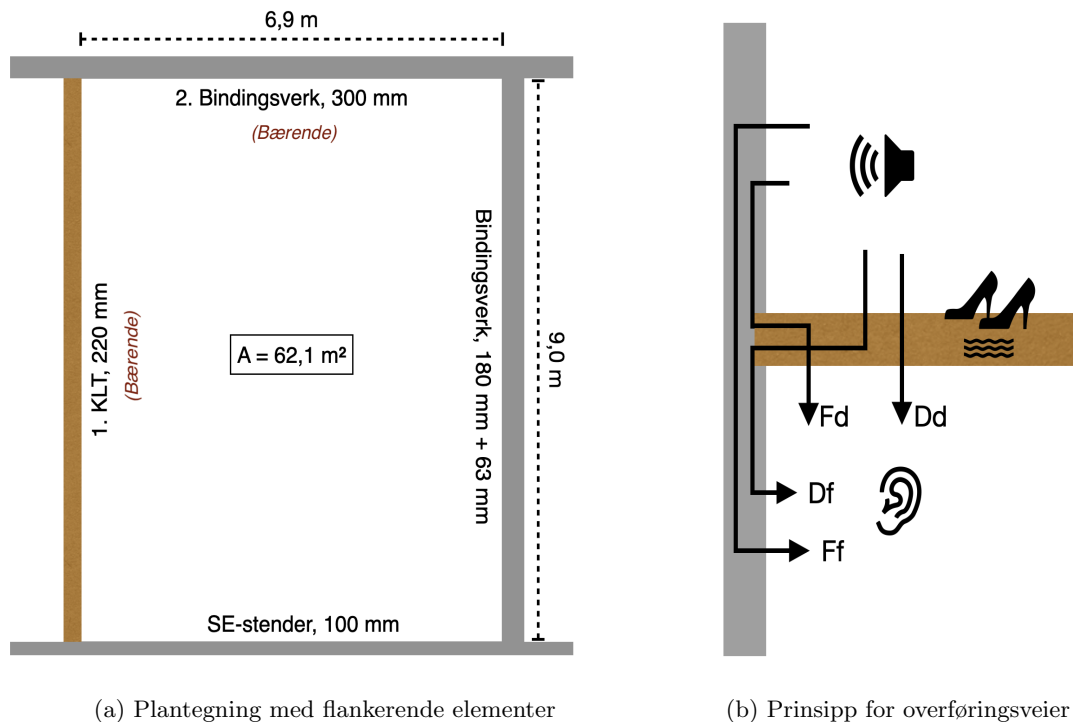
Tabell 3.5 angir benyttet materialdata for KLT-elementet. Dette inkluderer beregnet og innhentet data for densitet ρ , longitudinal hastighet c_L , samt grensefrekvens f_g og resonansfrekvens f_0 for komponentene det flytende gulvet. Resonansfrekvensen er bestemt av trinnlydsplatens dynamiske stivhet s' og flatemassen m' til KLT-elementet og det tungt flytende gulvet. Figur 3.4a viser en enkel skisse av dimensjonene på Lade skole som ble brukt i beregningene, og figur 3.4b viser vanlige overføringsveier for flanketransmisjon mellom to rom i et T-knutepunkt.

Standard frekvensintervall i 1/3-oktavnband fra 100-3150 Hz ble betraktet i den detaljerte metoden i *NS-EN ISO 12354*. Flere laboratoriemålinger begrenset seg til 100-3150 Hz og gjorde det ikke mulig å gjøre beregninger i utvidet frekvensområde fra 50-5000 Hz. I beregningene ble det sett bort fra virkningen av gulvbelegg og systemhimling. I tillegg ble flankerende vegger betraktet uten dør og vinduer. Videre ble det benyttet forenkling i *NS-EN ISO 12354* som angir at $R_{situ} = R$, $\Delta R_{situ} = \Delta R$ og $\Delta L_{situ} = \Delta L$. Korrigering for ikke-resonant lydoverføring for flankerende konstruksjoner iht. standarden ble utelatt, da bidraget for KLT-element med 5 eller 7 lameller antas å være neglisjerbart (Schoenwald mfl., 2013). Disse bestemmelsene gjorde beregninger med detaljert metode mindre omfattende og bedre tilpasset en manuell beregning.

Tabell 3.5: Materialegenskaper benyttet i beregninger av luft- og trinnlydisolasjon på Lade skole.

	ρ [kg/m ³]	c_L [m/s]	f_g [Hz]	f_0 [Hz]
KLT	490	≈ 3500	71	58*
Formel/kilde	Stora Enso (2017)	Krajčič mfl. (2012)	Formel 2.3	Formel 2.33
Betong	2300	≈ 3750	245	58*
Formel/kilde	Vigran (2002)	Formel 2.4	Formel 2.3	Formel 2.33

* for flytende gulv



Figur 3.4: Forenklet skissering av beregningssituasjonen for LADE 1-2. Ikke i målestokk.

3.4.2 Luftlydisolasjon

Metoden for beregning av samlet lydoverføring er basert på prinsippene i *ISO 12354-1* (Standard Norge, 2017a).

Detaljert metode

Beregninger og anvendt data er gitt i *vedlegg D*. Ved bestemmelse av veid feltmålt lydreduksjonstall R'_w for etasjeskiller på Lade skole ble først lydreduksjonstallet for direkte transmisjon R_{Dd} bestemt ved følgende formel,

$$R_{Dd} = R_s + \Delta R_D + \Delta R_d \text{ [dB]} \quad (3.8)$$

hvor R_s er lydreduksjonstall for skillekonstruksjonen, og ΔR_D , ΔR_d er endring av lydreduksjonstall på henholdsvis over- og undersiden av etasjeskiller. Laboratoriemålt verdi for enkelt KLT-element R_s ble hentet fra Mahn, Quirt mfl. (2020). Forbedring av luftlydisolasjon ble betraktet som en dobbelkonstruksjon og beregnet fra formel 2.21-2.23 for tilleggskonstruksjon ΔR_D . Formel for

vibrasjonsreduksjonsindeks K_{ij} varierer for ulike konstruksjoner og knutepunkt. For beregningssituasjonen gitt i figur 3.4a finnes det et X-knutepunkt mellom intern KLT-skive og etasjeskiller og ett T-knutepunkt mellom yttervegg av bindingsverk og etasjeskiller. Av de fire veggkonstruksjonene er vegg nr. 1 og vegg nr. 2 bærende konstruksjoner, og disse inkluderes i beregninger for samlet lydoverføring. For de resterende veggene ivaretas bæringen av søyler. Vibrasjonsreduksjonsindeks K_{ij} er frekvensavhengig, og for knutepunkt mellom to KLT-element kan verdiene bestemmes av følgende empiriske formel fra *NS-EN ISO 12354-1* for X-knutepunkt,

$$K_{Ff} = 10 - 3,3 \cdot \log(f/f_k) + 10 \cdot M \text{ [dB]} \quad (3.9)$$

$$K_{Fd} = K_{Df} = 18 - 3,3 \cdot \log(f/f_k) \text{ [dB]} \quad (3.10)$$

hvor M er masseforholdet i knutepunktet mellom skillekonstruksjonen m'_1 og det flankerende elementet m'_2 gitt som:

$$M = \log \frac{m'_1}{m'_2} \quad (3.11)$$

Standarden dekker også knutepunkt mellom lette dobbelkonstruksjoner og homogene elementer. Denne tilnærmingen ble valgt å bruke for knutepunkt mellom primærkonstruksjonen og bærende yttervegg av bindingsverk. Formlene for de ulike overføringsveiene er gitt som,

$$K_{Ff} = 10 + 20 \cdot M - 3,3 \cdot \log(f/f_k) \text{ [dB]} \quad (3.12)$$

$$K_{Fd} = K_{Df} = 10 + 10 \cdot |M| + 3,3 \cdot \log(f/f_k) \text{ [dB]} \quad (3.13)$$

for både X-knutepunkt og T-knutepunkt. Deretter ble flankerende lydreduksjon gjennom de ulike overføringsveiene bestemt ved følgende formel,

$$R_{ij} = \frac{R_i + R_j}{2} + \Delta R_i + \Delta R_j + K_{ij} + \left(10 \cdot \log \frac{S_s}{l_0 l_{ij}} \right) \text{ [dB]} \quad (3.14)$$

hvor R_i og R_j er lydreduksjonstallet for det de to sidene av det flankerende elementet, l_{ij} er den felles koblingslengden i knutepunktet og referanselengden $l_0 = 1m$. I dette beregningstilfellet var R_i og R_j identiske for alle knutepunktene. Mahn, Quirt mfl. (2020) har gjennom målinger av tapsfaktor η i KLT, konkludert med at endekorreksjon av $D_{v,ij}$ i formel 2.10 kan ignoreres. Dermed kan man skrive $D_{v,ij} = K_{ij}$ for konstruksjoner med tapsfaktor $\eta \geq 0,03$, som vist i formel 3.14. Standard Norge (2017a) viser også til denne forenklingen som en god første tilnærming når absorpsjonslengdene a settes numerisk lik arealet til platen S_s .

Til slutt ble lydreduksjonstallet R'_w bestemt ved å summere opp lydreduksjonen direkte gjennom etasjeskiller R_{Dd} , og bidragene fra flankerende konstruksjoner, R_{Ff} , R_{Df} og R_{Fd} , for hvert 1/3-oktavnband fra 100-3150 Hz,

$$R'_w = - \left(10 \cdot \log \left(10^{-R_{Dd}/10} + \sum_{j=1}^n 10^{-R_{Ff}/10} + 10^{-R_{Fd}/10} + 10^{-R_{Df}/10} \right) \right) \text{ [dB]} \quad (3.15)$$

hvor n er antall flankerende elementer.

Forenklet metode

Beregningene for forenklet metode er gitt i *vedlegg D* og forutsir veid feltmålt lydreduksjonstall R'_w ved å bruke veid reduksjonstall R_w for de involverte konstruksjonselementene. Formel for lydreduksjonstall for direkte transmisjon $R_{Dd,w}$ er gitt som,

$$R_{Dd,w} = R_{s,w} + \Delta R_{Dd,w} [dB] \quad (3.16)$$

hvor $\Delta R_{Dd,w}$ angir total forbedring av lydreduksjon ved bruk av tilleggskonstruksjoner for både over- og undersiden av skillekonstruksjonen som bestemmes ved følgende tilnærming:

$$\Delta R_{Dd,w} = \max(\Delta R_{D,w}, \Delta R_{d,w}) + \frac{\min(\Delta R_{D,w}, \Delta R_{d,w})}{2} [dB] \quad (3.17)$$

Forenklet metode ble i likhet med detaljert metode betraktet med forbedring på oversiden R_D , men ikke på undersiden. Dette ble gjort for å inkludere like mange tilleggskonstruksjoner i beregningsmetodene. Til estimering av ett-tallsverdi for vibrasjonsreduksjonsindeks K_{ij} ble det benyttet en gjennomsnittlig verdi for frekvensområdet, hentet fra formel 3.12, 3.13, 3.9 og 3.10. Videre ble flankerende lydreduksjon bestemt ved følgende formel, angitt med indekser for overføringsvei i flankerende vegg (Ff):

$$R_{Ff,w} = \frac{R_{F,w} + R_{f,w}}{2} + \Delta R_{Ff,w} + K_{Ff} + \left(10 \cdot \log \frac{S_s}{l_0 l_f}\right) [dB] \quad (3.18)$$

Her er $R_{F,w}$ og $R_{f,w}$ veid lydreduksjonstall for flankerende element på henholdsvis sender- og mottakerrom, S_s er arealet til skilleflaten og l_f er felles koblingslengde i knutepunktet med referanselengde på $l_0 = 1m$. Ett-tallsverdier for hele konstruksjoner ble hentet fra Homb, Hveem og Strøm (1983) og Mahn, Quirt mfl. (2020), som vil si at tilleggskonstruksjoner er inkludert i veid laboratoriemålt lydreduksjonstall for veggene. Forskjellen fra formel 3.18 er da at forbedringen $\Delta R_{Ff,w}$ inkluderes i første ledd av formelen. Til slutt kunne veid feltmålt lydreduksjonstall R'_w mellom to rom bestemmes ved følgende formel:

$$R'_w = - \left(10 \cdot \log \left(10^{-R_{Dd,w}/10} + \sum_{j=1}^n 10^{-R_{Ff,w}/10} + 10^{-R_{Fd,w}/10} + 10^{-R_{Df,w}/10} \right) \right) [dB] \quad (3.19)$$

3.4.3 Trinnlydisolasjon

Metoden for beregning av feltmålt veid normalisert trinnlydnivå $L'_{n,w}$ er basert på prinsippene i *ISO 12354-2* (Standard Norge, 2017b). Verdier for vibrasjonsreduksjonsindeks K_{ij} ble bestemt på samme grunnlag som beregningene for luftlydisolasjon.

Detaljert metode

Først ble normalisert trinnlydnivå for direkte transmisjon $L_{n,d}$ bestemt ved følgende formel,

$$L_{n,d} = L_n + \Delta L_D + \Delta L_d \text{ [dB]} \quad (3.20)$$

hvor ΔL_D og ΔL_d er forbedring av trinnlydnivå på henholdsvis sender- og mottakerrom av etasjeskilleren, hvor ΔL_d ble sett bort fra i beregningseksempelet. Videre ble flankerende normalisert trinnlydnivå for de fire veggene bestemt ved bruk av følgende formel,

$$L_{n,Df} = L_{n,d} + \frac{R_D - R_f}{2} - \Delta R_f - K_{Df} - \left(10 \cdot \log \frac{S_i}{l_0 l_{ij}} \right) \text{ [dB]} \quad (3.21)$$

hvor $L_{n,d}$ er det laboratoriemålte trinnlydnivået til etasjeskilleren medregnet tilleggskonstruksjoner, S_i er arealet til elementet og R_D og R_f er lydreduksjonstallet for henholdsvis etasjeskiller og flankerende veggkonstruksjon. I dette tilfellet var forbedringen av luftlydisolasjon for flankerende element ΔR_f inkludert i benyttede verdier for R_f . For hvert betraktet 1/3-oktavnivå ble til slutt total normalisert trinnlydnivå L'_n i mottakerrommet bestemt av formelen,

$$L'_n = \left(10 \cdot \log \left(10^{L_{n,d}/10} + \sum_{j=1}^n 10^{L_{n,Df}/10} \right) \right) \text{ [dB]} \quad (3.22)$$

hvor $L_{n,d}$ er normalisert trinnlydnivå for direkte transmisjon og L_{Df} er normalisert trinnlydnivå for de to flankerende elementer i beregningssituasjonen.

Forenklet metode

For forenklet metode ble veid normalisert trinnlydnivå benyttet for alle involverte konstruksjons-elementer. Beregning av veid normalisert trinnlydnivå for direkte transmisjon $L_{n,d,w}$ og flankerende transmisjon $L_{n,Df,w}$, følger identisk beregningsprosedyre som for detaljert metode, gitt i formel 3.20 og formel 3.21. Til slutt ble total veid normalisert trinnlydnivå bestemt gjennom å summere alle bidrag som angitt i følgende formel:

$$L'_{n,w} = \left(10 \cdot \log \left(10^{L_{n,d,w}/10} + \sum_{j=1}^n 10^{L_{n,Df,w}/10} \right) \right) \text{ [dB]} \quad (3.23)$$

Kapittel 4

Resultater

Dette kapittelet presenterer resultatene fra litteraturundersøkelse, feltmålinger og beregninger. I kapittel 4.1 fremlegges resultater fra litteraturundersøkelsen som består av tidligere forskningsarbeid og vanlige løsninger for etasjeskiller med KLT. Deretter presenteres sammenstilling av luft- og trinnlydisolasjon for beregnede og laboratoriemålte verdier for enkle KLT-element, innhentet i litteraturundersøkelsen. Videre vil resultatene fra utførte feltmålinger bli presentert, hvor målinger med og uten gjennomgående KLT-skive vil bli sammenlignet. Til slutt sammenlignes resultatene fra feltmålinger på Lade skole med beregningsmetoden i *NS-EN ISO 12354*.

4.1 Litteraturundersøkelse

4.1.1 Forskningsarbeid

I en vitenskaplig artikkel sammenligner Di Bella og Mitrovic (2020) internasjonal forskning på byggesystemer av KLT. Her kommer det frem at mangel på kunnskap om egenskapene til KLT reduserer nøyaktigheten i beregningsmodellene som er tilgjengelige. I etasjeskillere kompenseres usikkerheten ofte med overdimensjonerte tilleggskonstruksjoner, noe som har negativ virkning både økonomisk og med tanke på KLT som klimagunstig materiale. Videre undersøkes påliteligheten til beregningsmodeller som bruker vibrasjonsreduksjonsindeks K_{ij} i bestemmelse av samlet lydoverføring. Resultatene viser at en av de største utfordringene ved beregning av luft- og trinnlydisolering i KLT-konstruksjoner er mangelen på laboratoriemålt data for hele bygningselementer, slik det er bygget, inkludert tilleggskonstruksjoner. Di Bella og Mitrovic (2020) hevder årsaken til dette er mangelen på standardiserte metoder for å utføre laboratoriemålinger av skillekonstruksjoner med KLT. Målinger av tilleggskonstruksjoner som brukes ved prosjektering av KLT-bygg kan være utført på et standardisert betongdekke med svært ulike materialegenskaper, sammenlignet med KLT.

I en tidligere artikkel har Di Bella, Granzotto og Barbaresi (2016) belyst den samme problematikken og det påpekes at målinger av trinnlydforbedring ΔL på standardisert betonggulv er ikke adaptivt med reell trinnlydforbedring på et KLT-element. Gjennom beregninger iht. *NS-EN ISO 12354-2* er det observert betydelige forskjeller på hvordan de to materialene reagerer når et flytende gulv legges til, og resultatene viser store ulikheter i lav- og høyfrekvent område. De største forskjellen mellom betonggulvet og KLT-elementet er ytterligere forbedring på 5-10 dB for KLT-elementet i frekvensområdet 200-1000 Hz og 10-30 dB svakere forbedring av trinnlydnivå i frekvensområdet 2500-5000 Hz. Studiet resulterte i en adaptiv formel for estimering av trinnlydforbedring ΔL på KLT-element, som kan brukes på laboratoriemålte verdier fra standardiserte betonggulv. Løsningen er imidlertid optimalisert for konstruksjonsløsninger som består av grus/sand direkte på KLT-

elementet og deretter et flateelastisk, tungt flytende gulv med dynamisk stivhet på mellom 13-36 MN/m^3 . Caniato mfl. (2017) peker på tre utfordringer ved estimering av trinnlydforbedring ΔL på primærkonstruksjoner av KLT. For det første er bidraget til bærekonstruksjonen mindre, grunnet lavere flatemasse og for det andre vil innflytelsen av det elastiske laget være svekket, sammenlignet med samme innflytelse på massive betongdekker. Til slutt nevnes det at den dynamiske stivheten s' ikke alltid er så effektiv for lette konstruksjoner og at masseforholdet mellom primærkonstruksjon og flytende gulv har stor betydning for trinnlydforbedringen.

I forskningsprosjektet *Urban Construction* målte Dolezal, Teibinger og Bednar (2010) knutepunktsdemping for karakterisering av flanketransmisjon og vibrasjoner, som i *NS-EN ISO 12354* brukes ved estimering av lydisolasjon mellom rom. Resultatene ble sammenlignet med feltmålte verdier fra en testkonstruksjon og viser at ett-talls-karakterisering av skillekonstruksjonene har god sammenstilling med avvik på 0-2 dB. I frekvensspekteret er forskjellene derimot betydelig større. Gjennom forskningsarbeidet til *National Research Council Canada* ble det oppdaget store forskjeller i målt knutepunktsdemping, avhengig av festemetode. Variasjoner fra 2-12 dB ble målt ved å endre innfestningsmetode i knutepunktet mellom to KLT-element. For innfestning med skruer ble K_{ij} redusert fra 3-7 dB for overføring vertikalt, fra vegg til vegg (Ff), noe som resulterer i mer overføring av strukturell lyd (Mahn, Quirt mfl., 2020). Schoenwald mfl. (2013) undersøkte også K_{ij} for KLT-elementer og observerte at overføring fra vegg til vegg (Ff) eller vegg til dekke (Fd) er liten, men svært avhengig av festemetode.

Di Bella og Mitrovic (2020) viser til mangel på feltmålinger som kan validere kalkulasjonsmodeller og påpeker at slike kunnskapshull fører til at akustiske utfordringer vurderes senere i prosjektets designfase. Öqvist, Ljunggren og Ågren (2012) har derimot bidratt med luft- og trinnlydmålinger av etasjeskillere fra 18 rom i tre ulike størrelser, laget av et prefabrikkert KLT-system. Resultatene fra feltmålingene viser store avvik ved frekvenser under 100 Hz, noe som skaper variasjoner i ett-talls-karakteriseringen og spesielt for omgjøringsstall for spektrum i de målte elementene. Standardavvikene for ett-talls-karakterisering av luft- og trinnlydisolasjon er henholdsvis 5,6 dB og 3,8 dB. Artikkelen belyser viktigheten av grundig utførelse for å oppnå best mulig lydisolasjon, spesielt ved lave frekvenser.

SINTEF Byggforsk har i samarbeid med Norsk Treteknisk institutt og Norsk forskningsråd, samlet underlag og utviklet veiledere og anvisninger gjennom prosjektet *Byggsystemer med KLT*. Det ene delmålet i prosjektet går ut på å utvikle og dokumentere lydisolasjonsverdier for byggesystemer med massivtre (Homb og Hveem, 2012). Prosjektrapporten viser til behovet for mer kunnskap om lydoverføring i flankerende konstruksjoner for å kunne utvikle og beskrive gode løsninger for ulike bygningskategorier. I prosjektet ble det gjennomført målinger av knutepunktsdemping og Homb og Hveem (2012) hevder at man på den måten kan skaffe pålitelig data som gjør det mulig å utvikle nøyaktige beregningsmodeller for KLT-konstruksjoner. Det er imidlertid mangel på slike databaser, som heller ikke dekkes av nåværende standarder. Resultatene fra forskningsprosjektet viser at beregninger med teoretisk vibrasjonsreduksjonsindeks gir opp til 11 dB dårligere samlet lydreduksjonstall R'_w , sammenlignet med målte verdier. Ved bruk av målt knutepunktsdata i beregninger viser derimot prosjektrapporten at det er mulig å oppnå god sammenstilling mellom målt og beregnet lydreduksjonstall. I tillegg observerte Homb og Hveem (2012) at høyere flatemasse virker positivt på knutepunktsdempingen og bidra til bedre vertikal lydisolering.

KLT kan verken klassifiseres som et massivt materiale hvor akustiske krav oppfylles med høy flatemasse eller som et lett materiale med lav bøyestivhet. Derfor havner KLT ifølge Dolezal og Kumer (2019) utenfor disse hovedkategoriene. Det ble gjennom laboratorieforsøk observert forskjeller i elastisitetsmodul E for primær- og sekundæraksen som indikerer en ortotropisk oppførsel med et større grensefrekvensområde hvor lydisolasjonen svekkes. Dette området kan strekke seg over flere

1/3-oktavnband i området mellom 100-500 Hz og gjør det desto viktigere å sikre gode lydisolerende løsninger. Videre viser resultater fra målinger av materialets bølgetall at KLT ikke har så ortotropiske egenskaper som andre bygningselementer av tre. Målinger i horisontal og vertikal retning for ulike KLT-tykkelser ligger til grunn for observasjonen (Mahn, Quirt mfl., 2020). Caniato mfl. (2017) hevder at et KLT-element kan betegnes som en homogen plate om man ser på den limte løsningen som et resultat av uniforme lag. Etter målinger av den longitudinale bølgehastigheten c_L gjennom et KLT-element hevder Krajči mfl. (2012) at KLT er et ortotropisk materiale. Men, også i denne forskningsartikkelen kommer det frem at KLT skiller seg ut fra andre flersjiktselementer, noe som kan tyde på at KLT-elementer har både ortotropisk og isotropisk oppførsel. Krajči mfl. (2012) viser videre til teoretiske beregninger av lydreduksjonstall for et 80 mm tykt KLT-element, betraktet som både isotropisk og ortotropisk. Resultatene viser at den isotropiske modellen har best sammenstilling før første grensefrekvens, men at begge modellene har svakere sammenstilling for resten av frekvensområdet.

4.1.2 Vanlige løsninger

Homb og Hveem (2012) viser til et omfattende internasjonalt forskningsarbeid i land som Sverige, Canada, Østerrike og Tyskland, hvor arbeidet har gått ut på å karlegge lydisolasjonsegenskapene til skillekonstruksjoner og tilhørende flankebidrag gjennom bærende konstruksjoner. I flere europeiske land brukes tunge etasjeskillere av KLT med påstøp av betong eller andre tunge materialer som sand eller pukk for å øke flatemassen og bidra til redusert flanketransmisjon og bedre luftlydisolasjon. I følge Pei mfl. (2016) var det de store skogressursene i Nord-Amerika som gjorde KLT til et attraktivt byggemateriale og land som Canada har i det siste tiåret fått god støtte fra myndighetene til å utnytte tresressursene og bruke det til å utvikle innovative og bærekraftige byggemetoder av KLT-elementer. Til tross for dette har landet lite praktisk erfaring og Homb og Hveem (2012) påpeker at løsningene som velges ved oppføring av nye bygg i hovedsak er utviklet i europeiske land som Frankrike, og at flere av disse løsningene også kan oppfylle norske lydkrav i *NS 8175* (Standard Norge, 2019).

Homb, Guigou-Carter og Rabold (2017) har kartlagt oppbygning av etasjeskillere med KLT som brukes i ulike land, og inndelingen er basert på arbeidet i forskningsprosjektet *Silent Timber Build*. På bakgrunn av strukturelle forskjeller er konstruksjonene delt inn i to hovedgrupper, henholdsvis C og D i prosjektets prosjektrapport:

1. KLT

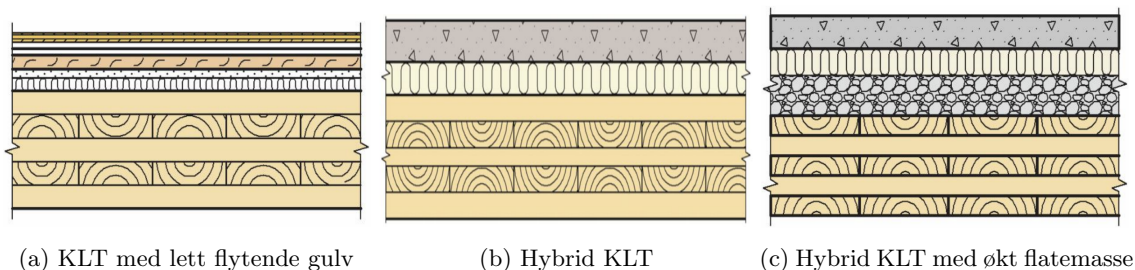
- Enkelt KLT-element
- KLT-element med lett flytende gulv
- KLT-element med lett flytende gulv og nedhengt/frittbærende himling

2. Hybrid KLT

- Hybrid KLT-element med tungt flytende gulv og eventuelt økt flatemasse i form av pukk/grus lagt direkte på KLT-elementet.
- Hybrid KLT-element med tungt flytende gulv og nedhengt/frittbærende himling

Enkle KLT-element brukes vanligvis i bygninger uten krav til lydisolasjon, som boliger. KLT-element med lett tilleggskonstruksjon brukes mest i nordiske land, inkludert Norge og kan brukes i flere bygningskategorier. Internasjonalt, og spesielt i tysktalende land, er det hybride konstruksjoner av KLT som dominerer i de fleste bygningskategoriene hvor det stilles spesifikke lydkrav. Tre vanlige oppbygninger av etasjeskillere med KLT, men uten nedhengt eller fribærende himling, er vist i

figur 4.1. Resultatene fra *Silent Timber Build* viser en tydelig sammenheng mellom trinnlydnivå og flatvekt, men til dels store variasjoner i frekvensspekteret gjør det samtidig vanskelig å etablere en pålitelig sammenheng. Ved å legge til ekstra masse over KLT-elementet vil man oppnå en tryggere løsning, som enklere oppfylder lydkravene som blir stilt til skillekonstruksjonen. Samtidig minsker fordelene ved bruk av KLT når det kommer til bærekraft og redusering av klimagassutslipp.



Figur 4.1: Prinsipiell oppbygning av etasjeskillere med KLT for de to hovedkategoriene: KLT (a) og Hybrid KLT (b, c), hentet fra Homb, Guigou-Carter, Hagberg mfl. (2017)

I en oppdatert håndbok innleder Treteknisk (2016) med viktigheten av god planlegging av bæresystem og knutepunkt slik at bygget får tilfredsstillende lydforhold. For å redusere flanketransmisjon og sikre god knutepunktsdemping viser håndboken til tre ulike løsninger: Gjøre forbindelser elastisk, oppnå lite kraftoverføring ved bruk av punktopplagring eller ha stort masseforhold mellom etasjeskiller og flankerende konstruksjon. I boliger uten bestemte lydkrav vil en etasjeskiller kunne bestå av et enkelt KLT-element, som da vil være den synlige overflaten i både himling og gulv. Arkitekter ønsker seg ofte synlige treoverflater, men ved oppføring av større trekonstruksjoner i bygningskategorier som skoler og kontorer må andre tiltak til for å oppfylle krav til lydisolering. Tiltakene må i mange tilfeller kombineres for å oppfylle de ønskede lydkravene i bygget. Ved tiltak på oversiden er det et godt prinsipp at overgulvet er flytende og at det ikke har direkte kontakt med dekke eller andre tilstøtende bygningselementer. Må det være forbindelser av konstruksjonsmessige årsaker, som kantforsterkning, bør det brukes punktvis opplagerklosser. Tiltak på undersiden bør brukes når tekniske installasjoner skal skjules og er svært vanlig i kontorbygninger. Lydisolasjonen kan forbedres betraktelig i det lavfrekvente område (50-100 Hz) ved økt hulromshøyde, som er avstanden mellom KLT-elementet og himlingsplatene. Denne hulromshøyden bør være minst 200 mm for å eliminere risiko for hulromsresonans.

I KLT-konstruksjoner er det ved økende lydisolasjonskrav helt avgjørende med løsninger som reduserer flankebidraget og SINTEF Byggforsk (2009) regner med en svekkelse av luftlydisolasjon på 3-6 dB i ferdig bygg, sammenlignet med laboratoriemålt verdi. For trinnlydisolasjon vil denne svekkelsen vanligvis være mindre så fremt utførelsen er god, men ved bruk av tyngre tilleggskonstruksjoner av betong/sand/pukk kan svekkelsen ligge på 3-5 dB. Det har blitt forsket på løsninger for å redusere vibrasjonene som overføres mellom bærevegg og etasjeskiller i KLT, men resultatene har avslørt utfordringer knyttet til avstivning og praktisk utførelse. Homb og Hveem (2012) presenterer aktuelle løsninger og angir at innvendig utføring av KLT-vegger kan gi en forbedring i feltmålt luftlydisolasjon av etasjeskiller på omkring 6-7 dB.

4.2 Sammenstilling av enkle KLT-element

Gjennom litteraturundersøkelse ble målt ett-talls karakterisering av luft- og trinnlydisolasjon for enkle KLT-elementer samlet og sammenlignet med beregnede verdier fra formler gitt i tabell 4.1. Dette ble gjort for å se nærmere på sammenstillingen av målt og beregnet lydisolasjon.

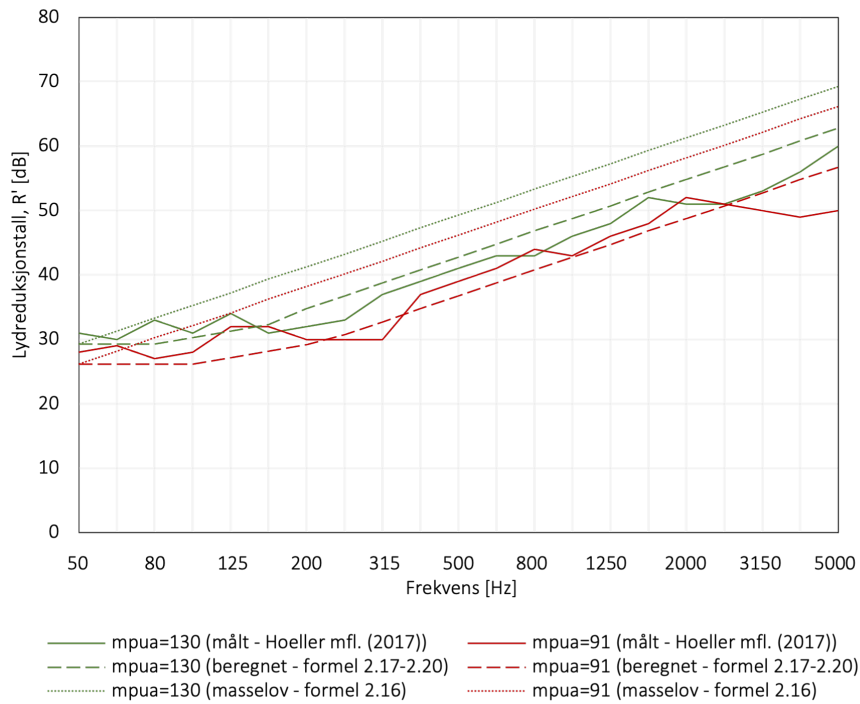
Tabell 4.1: Sammenstilling av målt og beregnet lydisolasjon for enkle KLT-element, basert på empiriske formler fra *NS-EN ISO 12354* og nyere forskning.

	KLT (7)	KLT (5)	KLT (5)	Referanse
Tykkelse [mm]	245	175	180	Hoeller mfl. (2017), Homb mfl. (2017)
Flatemasse [kg/m^2]	130	91	85	Hoeller mfl. (2017), Homb mfl. (2017)
Målt $L_{n,w}$ [dB]	80	85	87	Di Bella mfl. (2016), Homb mfl. (2017)
Beregnet $L_{n,w,1}$ [dB]	90	-	-	Formel 2.34
Beregnet $L_{n,w,2}$ [dB]	81	85	86	Formel 2.35
Målt R_w [dB]	45	42	-	Hoeller mfl. (2017)
Beregnet $R_{w,1}$ [dB]	43	40	-	Formel 2.26
Beregnet $R_{w,2}$ [dB]	42	39	-	Formel 2.25 og 2.24

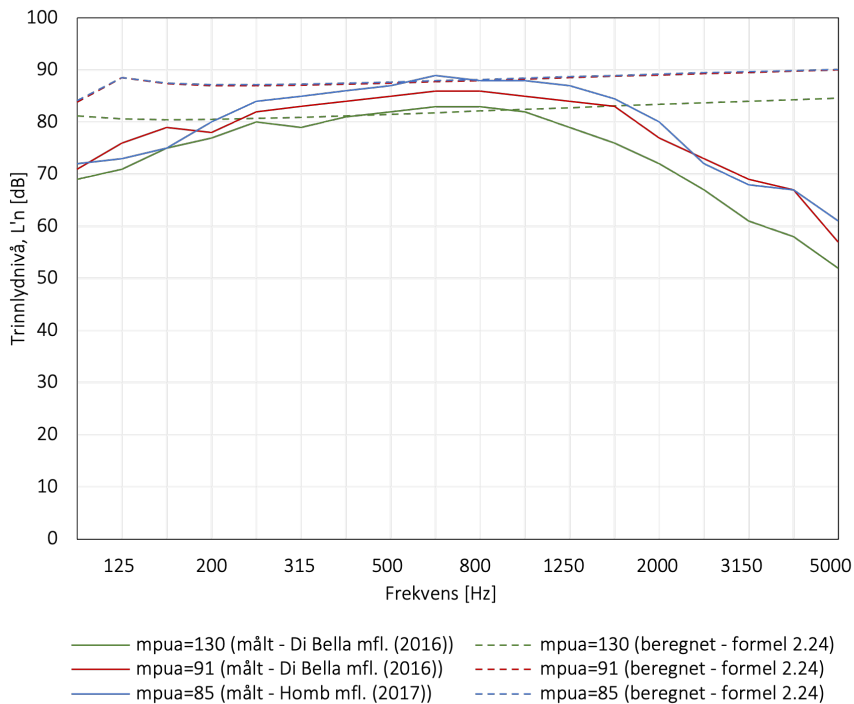
Resultatene i tabellen viser at laboratoriemålte ett-tallsverdier av veid normalisert trinnlydnivå $L_{n,w,2}$ har god sammenstilling med beregnet verdi etter empirisk formel i Di Bella, Granzotto og Barbaresi (2016), med 0-1 dB avvik for alle tre KLT-elementene. Formel for $L_{n,w,1}$ gjelder homogene dekkekonstruksjoner av betong og er inkludert for å vise forskjellen ved bruk av tilgjengelig formel i Standard Norge (2017b). Resultatet viser avvik på 10 dB mot målt verdi, $L_{n,w}$. Videre viser ett-talls karakterisering for veid lydreduksjonstall R_w at det er mindre forskjell mellom målt og beregnede verdier etter empirisk formel i Di Bella og Mitrovic (2020) ($R_{w,1}$), sammenlignet med empiriske formler i Standard Norge (2017a) ($R_{w,2}$). Beregnet lydreduksjonstall $R_{w,1}$ avviker med 2 dB og $R_{w,2}$ avviker med 3 dB for begge KLT-elementene. Dette indikerer at nyere empiriske formler, tilpasset KLT, har bedre sammenstilling ved estimering av KLT-elementers lydisolasjonsegenskaper. Det kan bemerkes fra tabell 4.1 at KLT-elementet med lavest flatemasse ikke er det tynneste. Observasjonen viser at KLT produseres av ulik trekvalitet og tresorter med forskjellig densitet, og at flatemassen er bestemmende for lydisolasjonsegenskapene til KLT-elementer.

Videre ble laboratoriemålt data plottet for å sammenligne på et mer detaljert nivå. Figur 4.2 viser laboratoriemålte verdier av lydreduksjonstallet R som funksjon av frekvens i 1/3-oktavbånd for frekvensområdet 50-5000 Hz for to ulike KLT-element hentet fra Hoeller, Mahn mfl. (2017). Elementet med 5 og 7 lag har en flatemasse på henholdsvis 91 kg/m^2 og 130 kg/m^2 . De laboratoriemålte verdiene er plottet mot beregnet lydreduksjonstall R etter formel 2.17-2.20 gitt i Ljunggren (2019), i tillegg til den klassiske masseloven for diffust lydfelt R_d angitt i formel 2.16.

Grafen viser at den målte lydreduksjonen for begge KLT-elementene oppfører seg lite frekvensavhengig fra 50 Hz og frem til observert grensefrekvens rundt 250 Hz (mpua=130) og 315 Hz (mpua=91). Sammenlignet med laboratoriemålingene viser grafen at beregningsmodellen til Ljunggren (2019) følger elementets oppførsel i massestyrt område, under grensefrekvensområdet, med avvik på ca. 3 dB. I området rundt grensefrekvensen observeres større avvik mellom målt og beregnet kurve på inntil 5 dB og for frekvenser i koincidensområdet, over grensefrekvensen, følger KLT-elementene kurven med en stigning på 6 dB/oktavbånd. Ved frekvenser over 1600 Hz er sammenstillingen noe dårligere, og noe som kan være forårsaket av resonanser skapt av testelementenes kantbegrensninger og tykkelser.



Figur 4.2: Laboratoriemålt (Hoeller, Mahn mfl., 2017) og beregnede verdier av lydreduksjonstall R som funksjon av frekvens for enkle KLT-element.



Figur 4.3: Laboratoriemålt (Hoeller, Mahn mfl., 2017; Homb, Guigou-Carter og Rabold, 2017) og beregnede verdier av trinnlydnivå L_n som funksjon av frekvens for enkle KLT-element.

Samme plott er gitt i figur 4.3 av trinnlydnivå L_n for tre enkle KLT-element med flatemasse på henholdsvis 85 kg/m^2 , 91 kg/m^2 og 130 kg/m^2 . Laboratoriemålte verdier er hentet fra Di Bella, Granzotto og Barbaresi (2016) og Homb, Guigou-Carter og Rabold (2017) og er plottet i frekvensområdet 100-5000 Hz mot formel 2.27 for estimering av trinnlydnivå for massive dekker, gitt i Standard Norge (2017b). Målte verdier viser at KLT-elementene oppfører seg merkbart likt i frekvensområdet 200-2000 Hz, hvor kurvene ligger fordelt slik at det kan observeres at flatemassen er bestemmende for trinnlydnivået. For frekvenser under grensefrekvensen viser resultatene mer svingende kurver uten tydelig sammenheng med elementenes flatemasse. Grafen viser at sammenstillingen mellom beregnet trinnlydnivå for massive dekker og målt trinnlydnivå er dårlig i lav- og høyfrekvent område, med avvik på 12 dB ved 50 Hz og avvik på 33 dB ved 5000 Hz. For frekvenser i midtfrekvent område følger derimot kurvene hverandre godt mellom 215-1250 Hz med avvik mellom 0-5 dB.

4.3 Feltnmålinger

Målinger av luft- og trinnlydisolasjon for etasjeskillere med KLT ble gjennomført på O2-huset, ZEB-laboratoriet og Lade skole for å dokumentere og samle underlagsmateriale fra etasjeskillere med KLT. Skillekonstruksjonenes oppbygning er nokså forskjellige, med store forskjeller i tykkelse, overgulv og hulromsavstand (figur 3.1, 3.2 og 3.3). Først presenteres resultatene i form av ett-talls karakterisering med omgjøringstall for spektrum som sammenlignes med lydkrav i *NS 8175*. Deretter vil lydreduksjonstall R' og trinnlydnivå L'_n plottes som funksjon av frekvent for å se nærmere på egenskapene til skillekonstruksjonene ved ulike frekvensområder. Til slutt presenteres en nærmere sammenligning mellom rommene for hvert bygg, henholdsvis med og uten bærende KLT-skive.

4.3.1 Ett-talls karakterisering

Måleresultatene i tabell 4.2 viser veid feiltmålt lydreduksjonstall R'_w og veid feltnmålt normalisert trinnlydnivå $L'_{n,w}$ med tilhørende omgjøringstall for spektrum (C) for tre ulike etasjeskillere. Etasjeskiller på O2-huset og Lade skole kan klassifiseres som Hybrid KLT, og etasjeskiller på ZEB-laboratoriet som KLT med lett flytende gulv (figur 4.1). Målte rom med indeks 1 og 2, som LADE 1-2, betyr at målingen ble gjort mellom rom med gjennomgående KLT-skive og LADE 3-4 betyr da mellom rom uten KLT-skive. Tabellen angir også minstekrav (klasse C) og lydkrav for klasse B i *NS 8175* ved oppføring av nye bygg. Oversikt over sender- og mottakerrom finnes i *vedlegg A*. Som tabellen viser er kravet til lydisolasjon strengere i skoler, sammenlignet med kontorbygg. Resultatene viser at alle etasjeskillerne i de tre byggene oppfyller minstekravet (klasse C) for både trinn- og luftisolasjon. For veid feltnmålt lydreduksjonstall R'_w oppfylles også klasse B for alle de seks vertikale luftlydmålingene. Oppnådd luftlydisolasjon i O2-huset er 21 dB bedre enn grenseverdien i klasse B og også høyest blant de tre byggene. Legg merke til at dette også er målinger av de to minste skilleflatene og mellom rommene med minst romvolum. Oppnådd luftisolasjon i ZEB-laboratoriet er 13 dB (ZEB 1-2) og 18 dB (ZEB 3-4) bedre enn grenseverdi i klasse B og for Lade skole er den henholdsvis 3 dB (LADE 1-2) og 4 dB (LADE 3-4) bedre.

Resultatene fra feltnmålingene viser videre at veid normalisert trinnlydnivå $L'_{n,w}$ for målesituasjon på Lade skole (LADE 1-2) ikke klarer grenseverdien for lydklasse B med 1 dB for svak ett-tallsverdi. Den andre målingen på Lade skole (LADE 3-4) ligger derimot på grenseverdier for klasse B. Resultatene fra ZEB-laboratoriet viser at lydkravet i klasse B oppfylles med en margin på 0-1 dB for de to feltnmålingene og for O2-huset er klasse B oppfylt med en margin på henholdsvis 9 dB

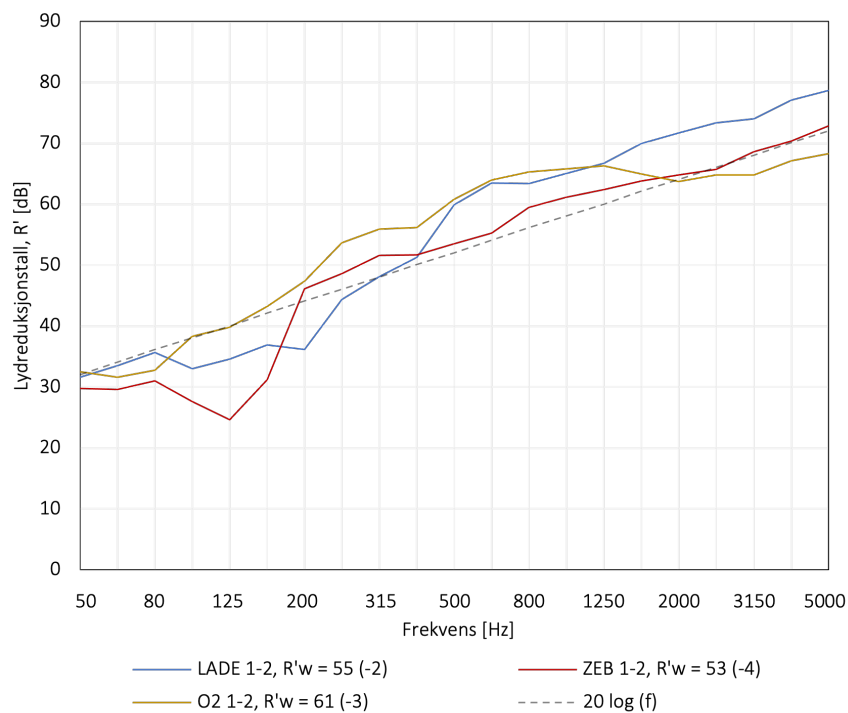
(O2 2-1) og 3 dB (O2 3-4). Legg merke til at bygget med høyest R'_w også har best $L'_{n,w}$.

Tabell 4.2: Ett-talls karakterestikk for feltmålt luft- og trinnlydisolasjon vurdert mot gjeldende lydkrav i NS 8175.

Rom	Volum [m ³]	Skilleflate [m ²]	R'_w ($C_{50-5000}$) [dB]	Klasse B (C) [dB]	$L'_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$) [dB]	Klasse B (C) [dB]
O2 1 O2 2	38,9 38,9	14,4	61 (-3)	≥ 40 (37)	49 (5)	≤ 58 (63)
O2 3 O2 4	49,2 49,2	18,2	61 (-3)	≥ 40 (37)	55 (2)	≤ 58 (63)
ZEB 1 ZEB 2	58,7 65,4	20,3	53 (-4)	≥ 40 (37)	57 (4)	≤ 58 (63)
ZEB 3 ZEB 4	43,4 76,3	26,3	58 (-3)	≥ 40 (37)	58 (4)	≤ 58 (63)
LADE 1 LADE 2	254,6 254,6	62,1	55 (-2)	≥ 52 (48)	59 (1)	≤ 58 (63)
LADE 3 LADE 4	242,2 242,2	62,1	56 (-2)	≥ 52 (48)	58 (1)	≤ 58 (63)

4.3.2 Luftlydisolasjon for etasjeskiller med KLT

For å kunne studere virkningen av knutepunkt mellom etasjeskiller av KLT og bærende KLT-skive, ble det valgt å gjøre feltmåling i et rom med og et rom uten KLT-skive. Forskjeller internt i bygget kan være en indikasjon på økt flankebidrag. Resultatene for lydreduksjonstallet R' er plottet som funksjon av frekvens for frekvensområdet 50-5000 Hz for ett rom i hvert av byggene.



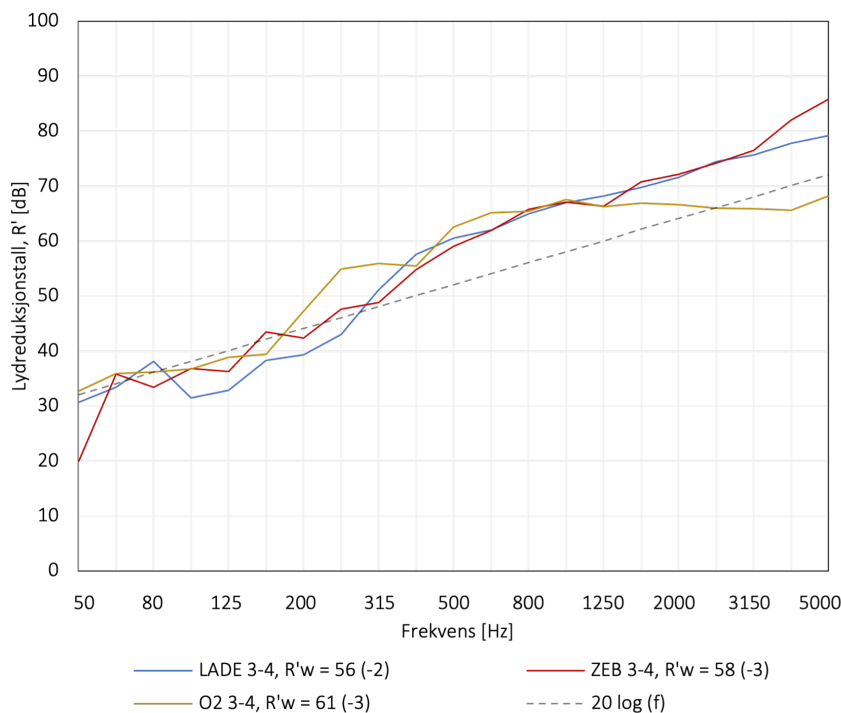
Figur 4.4: Feltemålt lydreduksjonstall R' for etasjeskiller mellom rom med gjennomgående, vertikal KLT-skive.

Mellom rom med vertikal KLT-skive

Målekurvene i figur 4.4 viser at oppførselen for de tre etasjeskillerne er lignende for frekvensområdet 50-80 Hz, hvor masseloven fortsatt er gjeldende. Etter grensefrekvensområdet er det større variasjon hvor målekurven for ZEB-laboratoriet har en større dipp i luftlydisolasjonsevnen, sammenlignet med de to andre konstruksjonene. Forskjellene i målekurven til ZEB-laboratoriet ved de laveste frekvensene skyldes sannsynligvis at KLT-elementet har lavere flatemasse og lett flytende gulv. Målekurven for ZEB-laboratoriet og Lade skole følger den lineære og stiplede linjen ($20 \log(f)$) mellom 500-5000 Hz, som stiger med 6 dB/oktav. Resultatene viser at feltmålt lydreduksjonstall R' er høyest for O2-huset mellom 100-1000 Hz, noe som også er et avgjørende frekvensområde for bestemmelse av ett-talls karakterisering. For det høyfrekvente området mellom 1250-5000 Hz har Lade skole høyest lydreduksjonstall og O2-huset lavest.

Mellom rom uten vertikal KLT-skive

Plott av lydreduksjonstallet R' som funksjon av frekvens mellom rom uten vertikal KLT-skive er vist i figur 4.5. Resultatene viser at målekurven fra ZEB-laboratoriet har ca. 10 dB svakere lydreduksjonstall R' ved 50 Hz, sammenlignet med de to andre. En interessant observasjon er hvor likt målekurvene for de tre etasjeskillerne oppfører seg mellom 63-1250 Hz på tross av vidt forskjellig oppbygning og tykkelse. Videre viser målekurven fra O2-huset redusert luftlydisolering fra 1250-5000 Hz. Dette er forskjeller mellom byggene som ikke kan oppdages ved å utelukkende studere ett-talls karakteristikkene til etasjeskillerne.



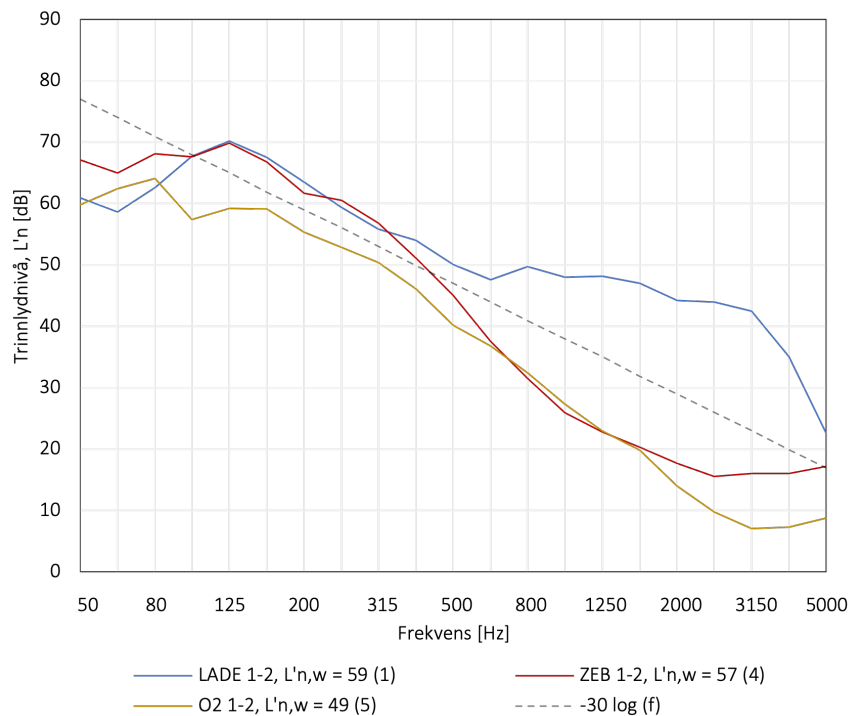
Figur 4.5: Feltemålt lydreduksjonstall R' for etasjeskiller mellom rom uten gjennomgående, vertikal KLT-skive.

4.3.3 Trinnlydisolasjon for etasjeskiller med KLT

Resultatene for trinnlydnivå L'_n er plottet som funksjon av frekvens for frekvensområdet 50-5000 Hz for ett rom i hvert av byggene. Først presenteres resultatene i rommene med vertikal KLT-skive og deretter uten.

Mellom rom med vertikal KLT-skive

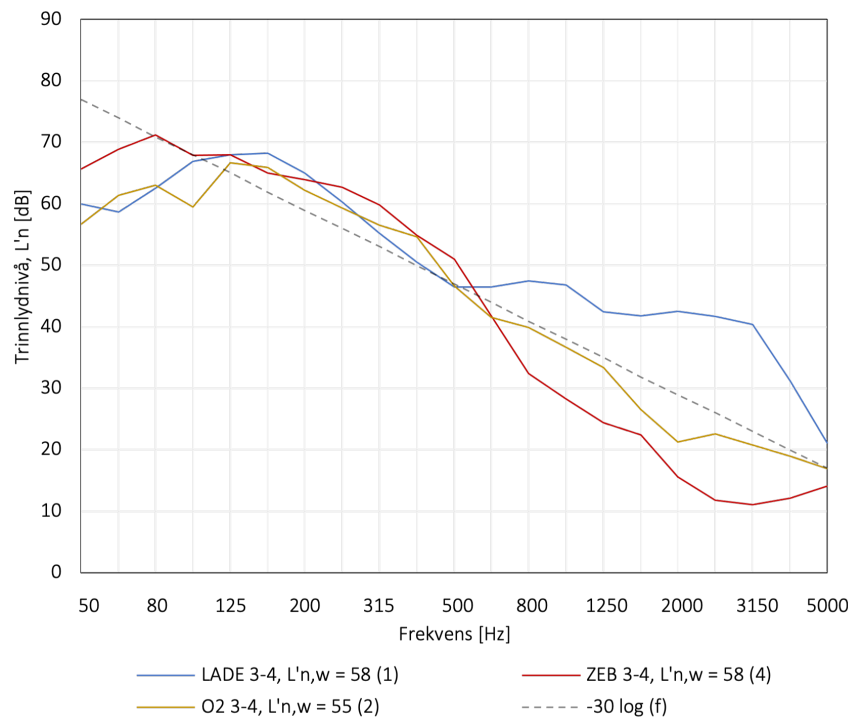
Målekurvene i figur 4.6 viser at det er store forskjeller i trinnlydnivå, hvor den største forskjellen er den svekkede trinnlydisolasjonen på Lade skole i mellom 500-5000 Hz. Denne betydelige forskjellen er ikke forventet og indikerer at en uønsket faktor kan være gjeldende og vil derfor bli nærmere diskutert i kapittel 5. I det lavfrekvente området er målekurvene likere og styres av flatemassen, men isolasjonsevnen til etasjeskiller i ZEB-laboratoriet er som forventet svakere ved de laveste frekvensene. Mellom 125-315 Hz følger alle målekurvene den lineære linjen ($-30 \log(f)$) som synker 9 dB/oktav, og det kan observeres at trinnlydnivået er lavest for O2-huset. Legg også merke til likheten mellom målekurvene for ZEB-laboratoriet og O2-huset, tross store forskjeller i oppbygning.



Figur 4.6: Feltmålt normalisert trinnlydnivå L'_n for etasjeskiller mellom rom med gjennomgående, vertikal KLT-skive.

Mellom rom uten vertikal KLT-skive

Også målekurvene i figur 4.7 viser at ZEB-laboratoriet med sin 170 mm tykke basiskonstruksjon og lett flytende gulv har svakest trinnlydisolasjon ved lave frekvenser. Overraskende nok kan ikke effekten av stor hulromshøyde observeres i feltmålingene, selv om ZEB-laboratoriet har 200-500 mm større hulromshøyde mellom KLT-element og systemhimling, sammenlignet med de to andre konstruksjonene. Mellom 125-500 Hz er målekurvene svært like til å representere ulike løsninger. En interessant observasjon er hvor mye lavere trinnlydnivå ZEB-laboratoriet har fra 630-5000 Hz. Dette tyder på at den lette konstruksjonen har høyere intern demping i det høyfrekvente området.



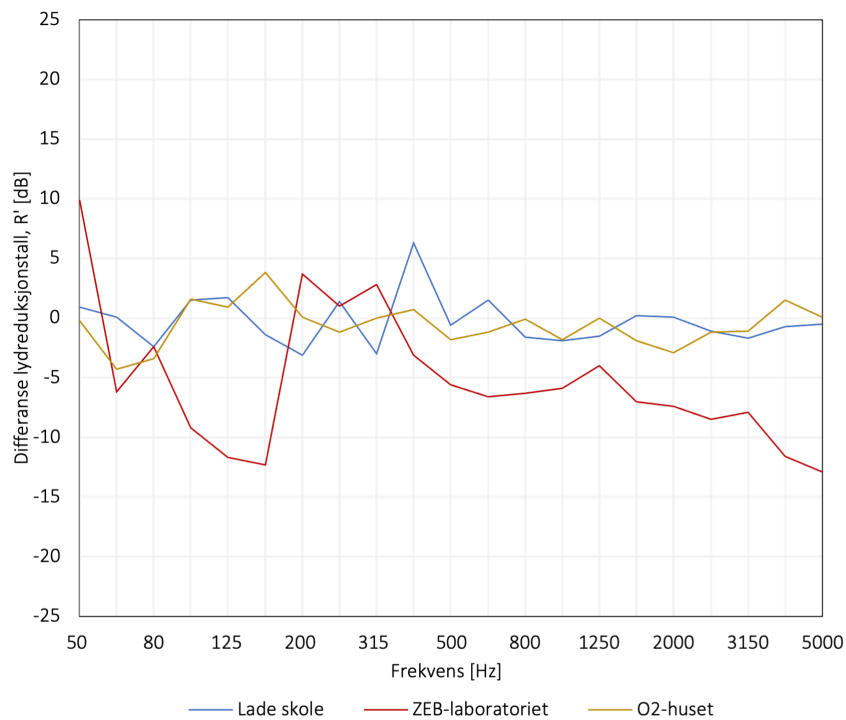
Figur 4.7: Feltmålt normalisert trinnllydnivå L'_n for etasjeskiller mellom rom uten gjennomgående, vertikal KLT-skive.

4.3.4 Differanse for rom med og uten KLT-skive

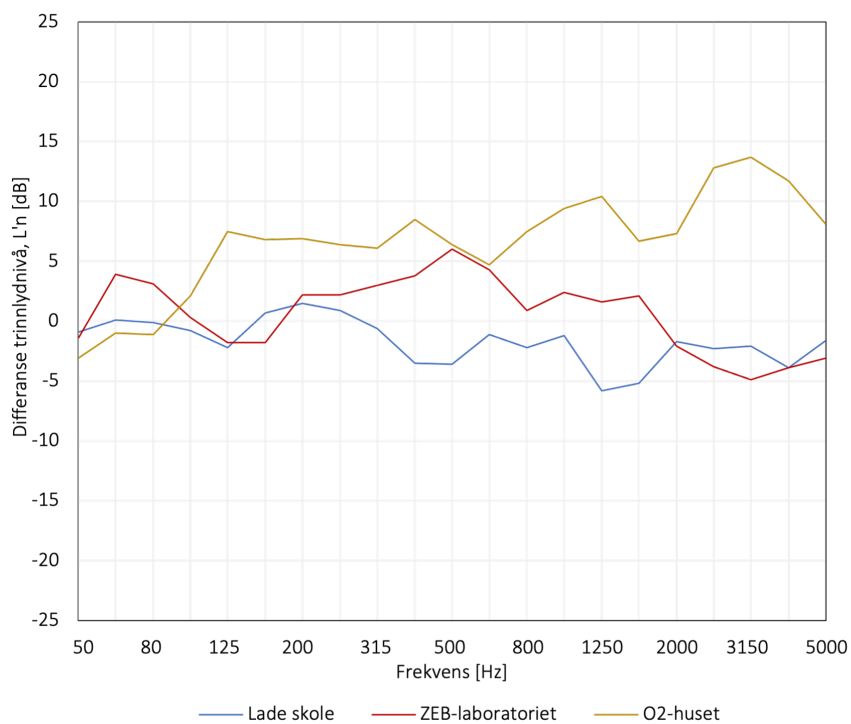
For å studere interne forskjeller i byggene, henholdvis rom med og uten vertikal KLT-skive er differansen i lydreduksjonstall R' og trinnllydnivå L'_n plottet som funksjon av frekvens for de tre måleobjektene. Negativ differanse indikerer økt lydoverføring som påvirker isolasjonsevnen i negativ retning, og ble valgt med forventningen om å se økt flankebidrag i rom med gjennomgående KLT-skive. Differanseverdien kan likevel ikke vurderes som anslått flankebidrag fra KLT-skiven, da alle flankerende vegger kan gi bidrag i feltmålinger.

Differanse i luftlydisolasjon

Figur 4.8 viser intern differanse i lydreduksjonstall R' som funksjon av frekvens for etasjeskiller i de tre byggene. Differansen ble bestemt ved å trekke lydreduksjonstallet for måling med vertikal KLT-skive fra måling uten, $D = R'_{1-2} - R'_{3-4}$. Kurvene fra Lade skole og O2-huset viser små forskjeller mellom de to målesituasjonene, med gjennomsnittlig variasjon på 1 dB, noe som kan tyde på at det ikke er økt flanketransmisjon i målingene med vertikal KLT-skive. Resultatene viser derimot en betydelig forskjell mellom rommene i ZEB-laboratoriet, hvor målekurven viser over 10 dB svakere lydreduksjonstall mellom 125-160 Hz og 4000-5000 Hz. De store forskjellene kan tyde på at flankerende vegger gir høyere overføring av luftlyd for lette konstruksjoner, men andre faktorer kan også være årsaken og vil bli diskutert i kapittel 5.



Figur 4.8: Differanse for målt lydreduksjonstall R' for etasjeskiller mellom rom med og uten vertikal KLT-skive.



Figur 4.9: Differanse for målt trinnlydnivå L'_n for etasjeskiller mellom rom med og uten vertikal KLT-skive.

Differanse i trinnlydisolasjon

Figur 4.9 presenterer intern differanse i trinnlydnivå L'_n som funksjon av frekvens for etasjeskiller i de tre byggene. Differansen ble bestemt ved å trekke trinnlydnivået for måling uten vertikal KLT-skive fra måling med, $D = L'_{n,3-4} - L'_{n,1-2}$. Differansen i trinnlydnivå for Lade skole viser svakere trinnlydisolasjon ved 400-500 Hz og 1250-1600 Hz mellom rom med vertikal KLT-skive. ZEB-laboratoriet har forbedret trinnlydisolasjon i midtfrekvensene og svekket trinnlydisolasjon i høyfrekvent område. En interessant observasjon er kurven for O2-huset, hvor trinnlydnivået er bedre fra 100-5000 Hz for etasjeskiller mellom rom med bærende KLT-skive. Dette resultatet skiller seg ut, og vil bli nærmere diskutert i kapittel 5.

4.4 Sammenstilling med NS-EN ISO 12354

For å undersøke sammenstilling mellom feltmålt og beregnet luft- og trinnlydisolasjon har det blitt gjennomført beregninger i frekvensområdet fra 100-3150 Hz iht. *NS-EN ISO 12354* for målesituasjon på Lade skole (*LADE 1-2*). Skillekonstruksjonen som har blitt betraktet er gitt i figur 3.3 og målesituasjonen er skissert i figur 3.4. Forutsetninger og benyttet teori er presentert i avsnitt 3.4 og beregninger er gitt i *vedlegg D*.

4.4.1 Ett-tallskarakterisering

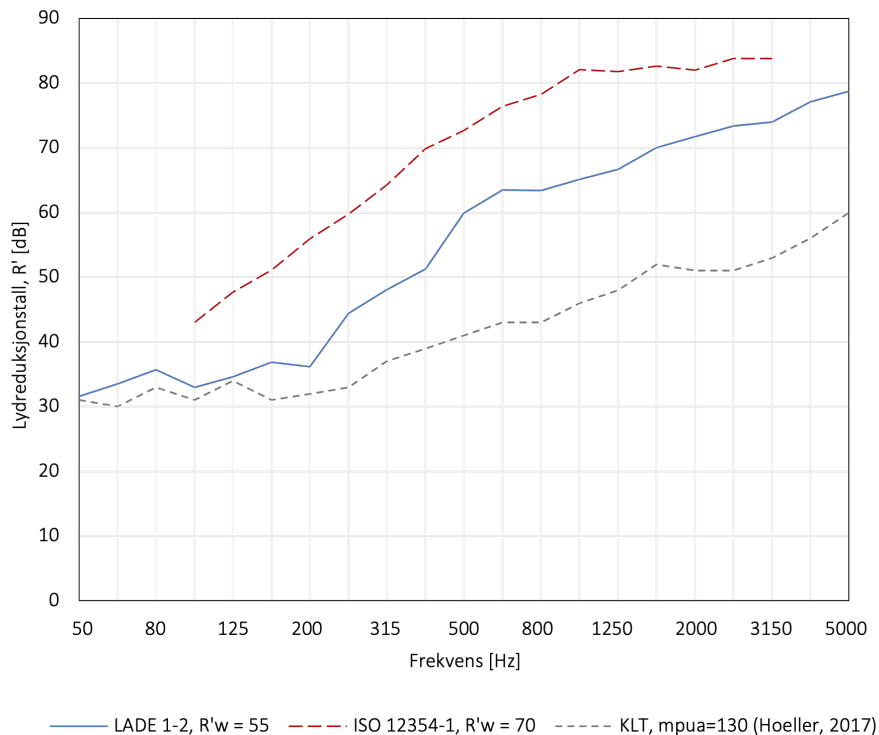
Tabell 4.3 viser ett-tallskarakterisering av målt og beregnet luft- og trinnlydisolering på Lade skole for henholdsvis forenklet og detaljert metode i *ISO 12354*, presentert i avsnitt 3.4.2 og 3.4.3. Resultatene viser at beregnet veid lydreduksjonstall for samlet lydoverføring R'_w overestimerer luftlydisolasjonsevnen til konstruksjonselementet. Forenklet metode estimerer $R'_w = 62$ dB og beregninger med detaljert metode gir $R'_w = 70$ dB, noe som gir et avvik fra feltmålt verdi på 15 dB. Videre er det observert at resultatene fra beregnet ett-tallskarakterisering for veid normalisert trinnlydnivå for samlet lydoverføring $L'_{n,w}$ for etasjeskiller også gir overestimert lydisolasjonsegenskaper. Beregning med detaljert metode gir bedre sammenstilling med avvik på 2 dB og til sammenligning gir forenklet metode dårligere sammenstilling med avvik fra målt verdi på 13 dB. Resultatene indikerer at sammenstillingen ikke er tilfredsstillende og grunner til dette vil bli nærmere diskutert i kapittel 5.

Tabell 4.3: Ett-tallskarakterisering og avvik for feltmålt og beregnet luft- og trinnlydisolering på Lade skole (*LADE 1-2*).

	R'_w [dB] (Forenklet)	R'_w [dB] (Detaljert)	$L'_{n,w}$ [dB] (Forenklet)	$L'_{n,w}$ [dB] (Detaljert)
Beregnet	62	70	46	57
Feltmålt	55		59	
Avvik	+7	+15	-13	-2

4.4.2 Luftlydisolasjon

For å kunne se nærmere på beregnet luftlydisolasjon fra detaljert metode er resultatet plottet som funksjons av frekvens i samme graf som feltmålte verdier fra Lade skole (*LADE 1-2*) og laboratoriemålt lydreduksjonstall for enkelt KLT-element med lignende flatemasse.



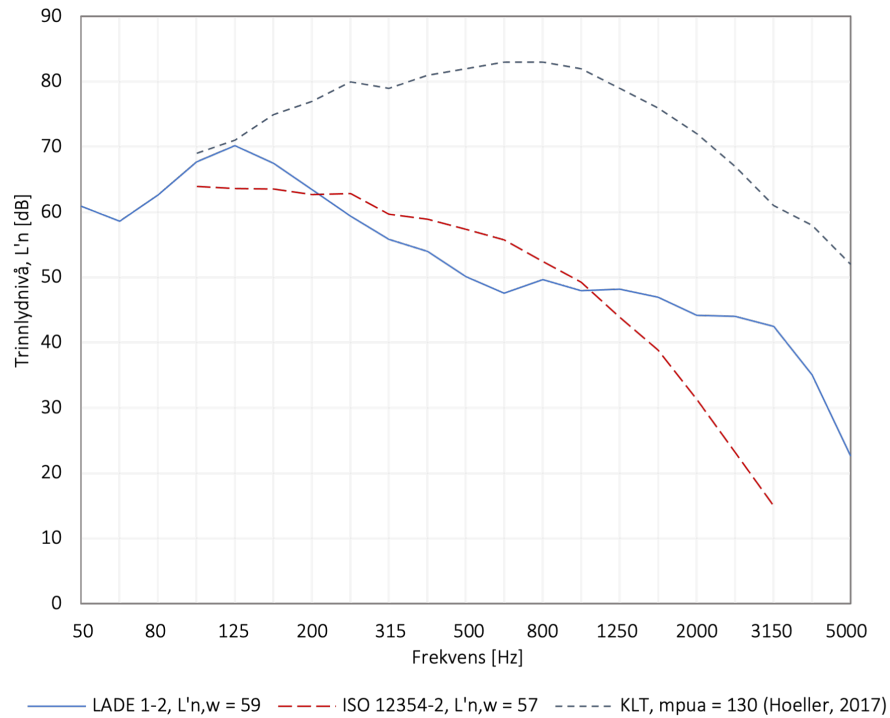
Figur 4.10: Feltmålt og beregnet lydreduksjonstall R' iht. *NS-EN ISO 12354-1*, som funksjon av frekvens, plottet med laboratoriemålt lydreduksjonstall R' for enkelt KLT-element.

Resultatene i figur 4.10 viser at målekurvene store forskjeller for feltmålt (blå) og beregnet (rød) lydreduksjonstall R' for frekvensområdet, hvor beregnet lydisolasjon viser 15 dB høyere veid lydreduksjonstall og mellom 10-20 dB høyere reduksjonstall for hvert 1/3-oktavnband. Derimot viser resultatet lignende form på målekurvene, på tross av overestimert lysisolasjonsevne. Beregnet kurve stiger i likhet med målt kurve med ca. 14 dB/oktav mellom 200-400 Hz, 8 dB/oktav mellom 400-800 Hz før kurven flater ut og stiger med ca. 4 dB/oktav. For beregningssituasjonen ble det kalkulert en grensefrekvens for primærkonstruksjonen av KLT, som vist i figur 3.5, på $f_g = 71$ Hz. Målekurvene viser ikke en forventet dupp rundt den frekvensen, men derimot antydninger til ortotropisk oppførsel i et grensefrekvensområde mellom 80-200 Hz. En interessant tilleggsobservasjon er hvordan målekurvene for feltmålt og laboratoriemålt lydreduksjonstall R' følger hverandre i lavfrekvent område, henholdsvis før og i grenfrekvensområdet, som indikerer bedre sammenstilling hvor masseloven er gjeldende.

4.4.3 Trinnlydisolasjon

Figur 4.11 presenterer beregnet trinnlydnivå for samlet lydovertføring L'_n , plottet som funksjon av frekvens, sammen med feltmålte verdier fra Lade skole (*LÅDE 1-2*) og laboratoriemålt trinnlydnivå for enkelt KLT-element. Målekurvene viser størst forskjeller mellom feltmålt (blå) og beregnet (rød) trinnlydnivå L'_n i høyfrekvent område. Målekurvene krysser hverandre to ganger og har lignende oppførsel i frekvensområdet mellom 400-800 Hz med en synkende kurve på 4-6 dB/oktav. I midtfrekvent område mellom 100-1250 Hz er det observert forskjeller i trinnlydnivå på inntil 8 dB, men ved høye frekvenser er det som nevnt i avsnitt 4.3 store forskjeller, hvor det høye trinnlydnivået fra feltmåling kan være påvirket av eksterne faktorer. Legg merke til at man ikke kan se forventet

forbedring av trinnlydivå ΔL fra beregnet resonansfrekvens $f_0 = 58$ Hz i den feltmålte målekurven, men derimot ved 125 Hz. Observasjonen indikerer feil antagelse av sentral materialdata og vil bli nærmere diskutert i kapittel 5. Sammenlignes feltmålte (blå) og laboratoriemålte (grå) verdier, kan man i likhet med figur 4.10 observere god sammenstilling for laveste 1/3-oktavbånd.



Figur 4.11: Feltmålt og beregnet trinnlydivå L'_n iht. *NS-EN ISO 12354-2*, som funksjon av frekvens, plottet med laboratoriemålt trinnlydivå L'_n for enkelt KLT-element.

Kapittel 5

Diskusjon

I dette studiet har det blitt samlet underlagsmateriale gjennom litteraturundersøkelse og feltmålinger for å undersøke sammenstilling mellom måle- og beregningsresultater. Kapittelet diskuterer resultater og begrensninger, og avsluttes med forslag til videre forskning på området.

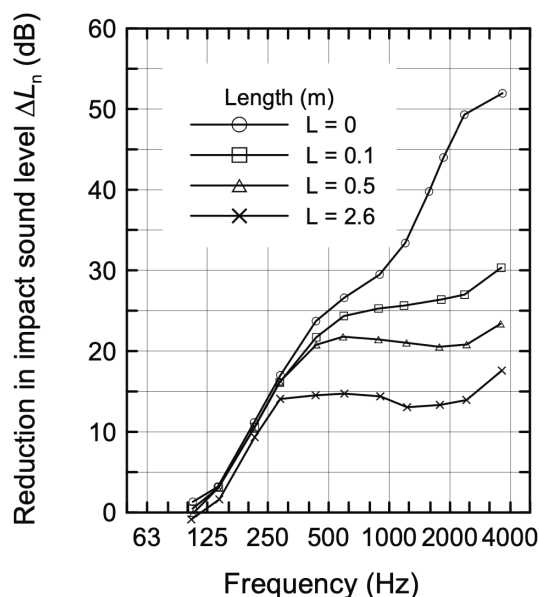
5.1 Feltmålinger

Som forventet for nylig oppførte bygg i Norge, oppfyller alle målte etasjeskillere lydkrav gitt i *NS 8175*. Det er kjent at etasjeskillere med god sikkerhet oppfyller krav til luftlydisolasjon dersom den oppfyller krav til trinnlydnivå, som er sett på som mer utfordrende. Det kan observeres (tabell 4.2) at dette også er tilfellet i studiet, hvor marginen til grenseverdi for lydklasse C er større for luftlydisolasjon, sammenlignet med trinnlydisolasjon for samtlige skillekonstruksjoner. I likehet med studiet til Öqvist, Ljunggren og Ågren (2012) viste resultatene interne variasjoner for lydisolasjon i 2 av 3 bygg. Grunner til dette kan ifølge Öqvist, Ljunggren og Ågren (2012) være variasjon i utførelse og dermed økt lydtransmisjon gjennom sprekker og utettheter.

Det er viktig å se nærmere på eventuelle begrensninger ved evaluering av resultater fra feltmålinger. Som påpekt i beskrivelse av måleprosedyren (avsnitt 3.3) ble det for flere målinger brukt halvkulehøytaler for luftlydmålinger, med øverste rom som senderrom, som ifølge Dunbavin og Critchley (2019) er like pålitelig som normal praksis i Standard Norge (2014). I standarden står det at målinger fra øverste rom og ned er godkjent ved bruk av helkulehøytaler og dersom metodene viser seg å være likestilt, vil det kunne føre til lettere måleutstyr, kortere måletid og dermed mulighet for økonomisk gevinst. For å validere bruk av halvkulehøytaler må det utføres nærmere undersøkelser som inkluderer sammenligninger av måledata ved gjennomføring av målinger begge veier, på samme skillekonstruksjon. Videre ville det vært interessant å sammenligne resultatene med identiske målinger ved bruk av helkulehøytaler. Måledata i studiet kan brukes til en slik sammenligning.

Ved gjennomføring av feltmålinger er det ønskelig med lite ekstern støy fra andre rom i bygget eller aktivitet på utsiden av bygget, for å redusere usikkerhet og variasjon i målingene. For å begrense ekstern støy ble feltmålingene gjennomført på tidspunkt hvor sjansen for forstyrrelser var liten og hvor byggene etter avtale ikke skulle brukes til andre aktiviteter. Lade skole er eneste måleobjekt hvor det er sannsynlig at ekstern støy kan ha påvirket måleresultatet. Grunnen til dette er at skolen har en trafikkert vei og lekeplass på utsiden av fasaden hvor målingene ble samlet. Selv om målinger av bakgrunnstøy ble gjennomført i tidsrom hvor det ikke ble oppdaget ekstern støy, er det ingen garanti for at støy fra barnelek eller biler ikke påvirket målingene mens høytaler eller hammerapparat genererte støy. Som nevnt i avsnitt 4.3 er det spesielt resultatene fra

trinnlydmålinger på Lade skole som skiller seg ut. Grafen viser uventet målekurve, sammenlignet med de to andre måleobjektene. En slik målekurve kan bli observert i tilfeller hvor målingene har blitt påvirket av bakgrunnstøy, men verdier for lydtryknivå i mottakerrom (*vedlegg E*) viser stabilt høyt trinnlydnivå for alle mikrofonposisjoner, uten betydelig standardavvik. I tillegg er målekurven lik for begge trinnlydmålingene, som ble tatt på to ulike steder i bygget. Andre mulige årsaker til den uventede målekurven kan være en stiv forbindelse i randsonen for påstøp mot flankerende vegg eller stiv forbindelse mellom KLT-elementet og himling. I målekurvene av lydreduksjonstallet fra Lade skole er det ikke observert den samme svekkelsen ved høye frekvenser, noe som kan tyde på at årsaken ikke er en stiv forbindelse til himling fordi samme effekt burde vært tilstede for både trinn- og luftlydmålingene. For å styrke påstanden om en stiv forbindelse mellom påstøp og flankerende vegg er det vist til figur 5.1 fra Vigran (2002) som presenterer effekten av nettopp dette.



Figur 5.1: Potensiell virkning av fast forbindelse mellom tungt flytende gulv og tilstøtende bærevegg, hentet fra Vigran (2002).

Det er interessant hvor lite kontaktpunkt som skal til for å redusere trinnlydforbedringen i midt- og høyfrekvent område. Figuren gjelder riktignok for lydbro til bærevegg av betong, men det kan tenkes at samme effekt kan observeres i andre bygningselementer også. Svekkelsen i målekurven fra Lade skole stemmer godt overens med effekten som figuren presenterer. Det vil være vanskelig å konkludere med årsaken til det uventede måleresultatet, men SINTEF Byggforsk (2009) påpeker at etasjeskillere av KLT med tungt flytende gulv er følsomme for utførelse og det vil derfor være sannsynlig at en slik svakhet kan være årsaken.

Er det virkelig slik at det bør benyttes tungt flytende gulv eller ekstra flatemasse for å oppnå tilfredstillende lydforhold i bygningskategorier med strengere lydkrav, eller kan et lett flytende gulv være et like fornuftig valg? Sett bort fra den uventede målekurven for trinnlydnivå på Lade skole i midt- og høyfrekvent område, viser resultatene fra studiet at ulike oppbygninger av etasjeskillere kan oppnå lignende lydisoleringsegenskaper. Målekurvene til de tre byggene følger hverandre godt, og det er ikke oppdaget store forskjeller mellom de to kategoriene, henholdsvis KLT med lett flytende gulv og Hybrid KLT med tungt flytende gulv. I motsetning til O2-huset og Lade skole, har etasjeskilleren på ZEB-laboratoriet et lett flytende gulv med en flatemasse på under en femdel av to andre overgulvene. I tillegg til å unngå bruk av betong, er det flyende gulvet bygd opp av sponplater som lages av trerester som spon og sagflis. Feltemålingene antyder at materialvalg og

bærekraftig materialbruk ikke nødvendigvis er et hinder for å oppnå tilstrekkelig lydisolasjon, noe som ifølge Wahlstrøm mfl. (2020) en av fordelene ved å benytte KLT i bygninger. Resultatene fra ZEB-laboratoriet viser heller ikke store utslag av flankebidrag på trinnlydmålingene, noe som også belyses i SINTEF Byggforsk (2009) som én av fordelene med lette gulv. Men, resultatene kan også betraktes fra en annen synsvinkel. For det er i byggene hvor det er benyttet tungt flytende gulv, skillekonstruksjonene viser best lydisolasjonsevne (tabell 4.2). Ved økende lydisolasjonskrav kan det tenkes at byggherre og entreprenør velger løsninger som er sikre og som oppfyller lydkrav med en viss margin slik at grenseverdiene ikke overskrides, på tross av potensielle utførelsesfeil. I skolebygg som Lade skole, er lydkravene strengere og på bakgrunn av teori som viser sammenheng mellom flatemasse og lydisolasjonsegenskaper (avsnitt 2.3, 2.4), kan det tenkes at et tungt flytende gulv er et sikrere valg dersom utførelsesfeil utelates.

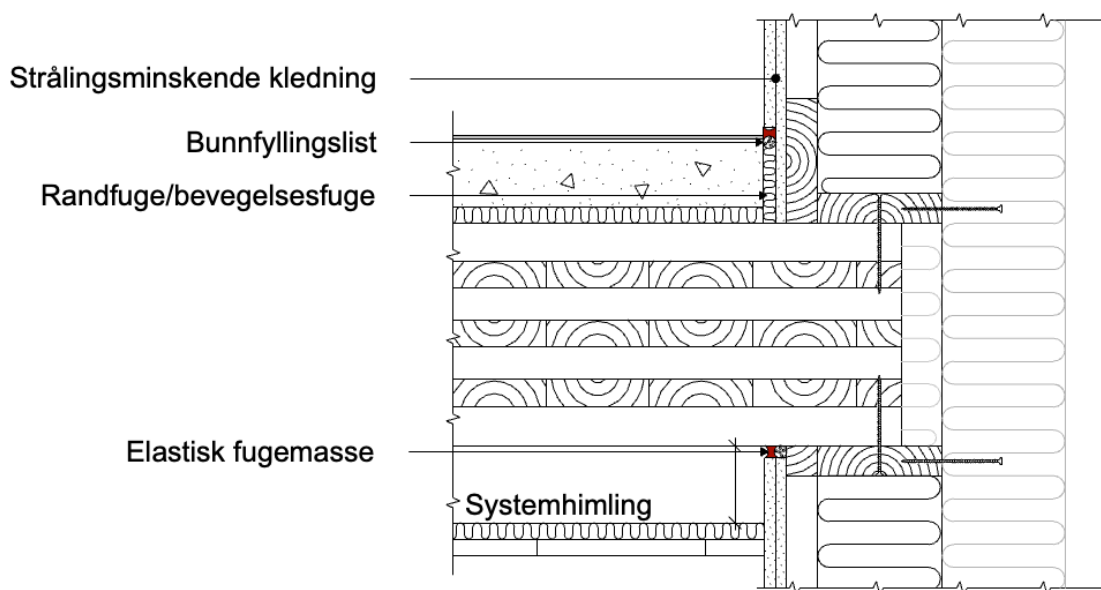
5.1.1 Differanse mellom rom med og uten bærende KLT-skive

For å undersøke forventet sammenheng mellom bruk av bærende KLT-skive og økt lydtransmisjon ble det valgt to ulike målesituasjoner i hvert bygg (avsnitt 3.3), henholdsvis med og uten KLT-skive. En overraskende observasjon fra resultatene er hvor lite som tyder på at vertikale KLT-skiver bidrar til økt flanketransmisjon mellom rommene. Tvert imot kan man se at for noen av resultatene er det etasjeskiller uten vertikal KLT-skive som har svakest lydisolasjonsevne og dette indikerer at det ikke er en tydelig sammenheng mellom oppnådd lydisolasjon og bruk av bærende KLT-skive. Grunner til dette kan være variasjon i utførelse, men det kan også forklares av utbredt bruk av innvendig påføring på flankerende vegger. Denne påstanden støttes av Homb og Hveem (2012), som i sitt studium observert betydelig forbedring av luftlydisolasjon ved bruk av innvendig påføring. I alle tre måleobjekter er gjennomgående KLT-skiver påforet i sender- eller mottakerrom. En annen grunn til at det ikke er observert store flankebidrag kan være søyle-/bjelkesystemet som er benyttet som bæresystem i de tre måleobjektene. Samme oppfattelse er funnet i Treteknisk (2006a), hvor det påpekes at slike bæresystem er gunstige for å kunne tilrettelegge for optimal lydisolering ved å begrense flanketransmisjon. Grunner til dette kan være mindre kontaktflate mellom bærende elementer, samt gode rutiner for utførelse av knutepunkter i bæresystemet.

5.1.2 Vurdering av valgte løsninger

I lys av resultatene fra feltmålinger på O2-huset, ZEB-laboratoriet og Lade skole oppfyller alle etasjeskillerne grenseverdien for klasse C i *NS 8175* og løsningene kan derfor benyttes i de to aktuelle bygningskategoriene, kontorer og skoler. Fra ett-talls karakteristikken (tabell 4.2) kan det observeres at trinnlydisolasjon vil være bestemmende for valg av løsning. Som diskutert, kan en stiv forbindelse mellom påstøp og flankerende bærevegg på Lade skole være en av grunnene til redusert trinnlydisolasjon ved høye frekvenser. For å belyse viktigheten av god utførelse langs randen er det i figur 5.2 vist et knutepunkt mellom dekke og bærende yttervegg av bindingsverk. Oppbygningen av etasjeskiller er hentet fra Lade skole og utførelsesprinsipp i knutepunktet er inspirert av løsninger i SINTEF Byggforsk (2009).

Observasjoner i målekurvene fra Lade skole indikerer at det bør rettes et større fokus på utførelse i randsonen mellom tungt flytende gulv og flankerende elementer som kan bidra til å redusere lydbroer. Er påstanden om stiv forbindelse på Lade skole rett, vil lydisolasjonen bli betraktelig forbedret ved mer nøyaktig utførelse. ZEB-laboratoriet tilfredstiller lydklasse B for trinnlydisolasjon, men har ikke noe margin om dette viser seg å være den dimensjonerende lydklassen i bygget. Vurdert ut fra feltmålingene i studiet antyder resultatene at løsningen i ZEB-laboratoriet med lett flytende gulv er en tilfredstillende løsning. Det kan tenkes at den store hulromshøyden i konstruksjonen bedrer lydisolasjonen i lavfrekvent område og bidrar til at løsningen kan konkurrere med

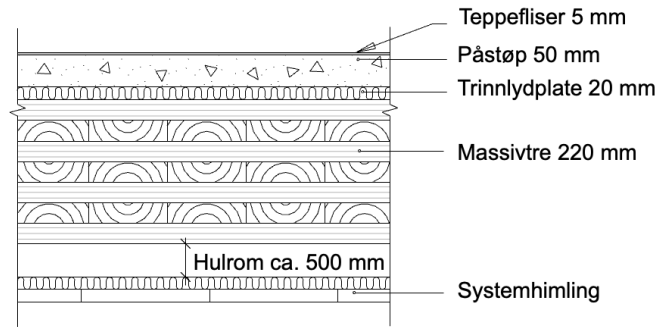


Figur 5.2: Prinsipiell løsning for knutepunkt mellom etasjeskiller av KLT og bærende yttervegg av bindingsverk.

etasjeskillere utført med tungt flytende gulv. Dersom det med tiden viser seg at lett flytende gulv kan oppfylle ønskede lydkrav i bygningskategorier som skoler og kontorer, kan det føre til mer bærekraftige prosjekter med mulighet for mindre klimagassutslipp.

O2-huset skal stå ferdig i løpet av 2021 og er det bygget med best lydisolasjonsevne. Resultatet for veid normalisert trinnlydnivå (tabell 4.2) antyder derimot at det er store interne variasjoner i bygget. Observasjoner fra målekurvene (avsnitt 4.3) kan tyde på at det også her er variert presisjon i utførelse av påstøp mot flankerende elementer. Påstanden støttes av de store forskjellene for de to målestedene mellom 125-5000 Hz (figur 4.9). Feltmålingene indikerer at løsningen er tilstrekkelig for lydkrav i klasse C og klasse B. En interessant observasjon er at bygget oppfylder grenseverdi for lydklasse A (tabell 2.1) i *NS 8175* for tre av fire målinger. På den ene siden kan løsningen for etasjeskilleren vurderes som trygg på bakgrunn av flere målinger som viser høy lydisolasjonsevne. På den andre siden kan resultatene tyde på at løsningen er overdimensjonert. Denne utfordringen ble også belyst av Di Bella og Mitrovic (2020), som påpeker at tendensen har negativ virkning både økonomisk og for KLT som klimagunstig materiale. Grad av overdimensjonering vil i dette tilfellet selvsagt avhenge av hvilke lydkrav som er satt til bygget under prosjektering. Gjeldende lydkrav kan også være bestemt av byggherre, i samarbeid med de prosjekterende for å ha spesifikke lydkrav i noen spesielle rom. Tar man utgangspunkt i lydkrav etter klasse C eller klasse B, vil det være interessant å se nærmere på muligheten for å redusere tykkelsen på påstøp og trinnlydplaten. En endring på trinnlydplaten vil kun endre resonansfrekvensen og sannsynligvis flytte målekurven for trinnlydnivå mot høyre.

En potensiell endring, som kan oppfylle lydkrav i klasse C og klasse B er foreslått i figur 5.3. Her er påstøp redusert med 20 mm og trinnlydplaten med 30 mm. Resonansfrekvensen vil da teoretisk (formel 2.33) ligge 6 Hz høyere i frekvensspekteret ved bruk av samme dynamiske stivhet, og forbedringen av trinnlydisolasjonen vil dermed ikke starte før dette. På bakgrunn av feltmålingene og andre vanlige løsninger fra litteraturundersøkelsen kan denne løsningen vurderes i bygg med etasjeskiller av KLT som sikter seg inn på å oppfylle lydkrav C eller B, og samtidig unngå overdimensjonering. Økt flatemasse direkte på KLT-elementet (figur 4.1) kan også være et godt alternativ,



Figur 5.3: Prinsipiell løsning for knutepunkt mellom etasjeskiller av KLT og bærende yttervegg av bindingsverk.

men fra et bærekraftsperspektiv bør løsningen da føre til redusert bruk av påstøp og KLT. Det ville vært interessant å sett nærmere på likheter og forskjeller for de to løsningene, men dette er ikke nærmere undersøkt i studiet.

5.2 Sammenstilling av måle- og beregningsresultater

Laboratoriedata for enkle KLT-element har blitt sammenlignet mot relevante modeller, og feltmålinger fra Lade skole mot beregningsmetode i *NS-EN ISO 12354*.

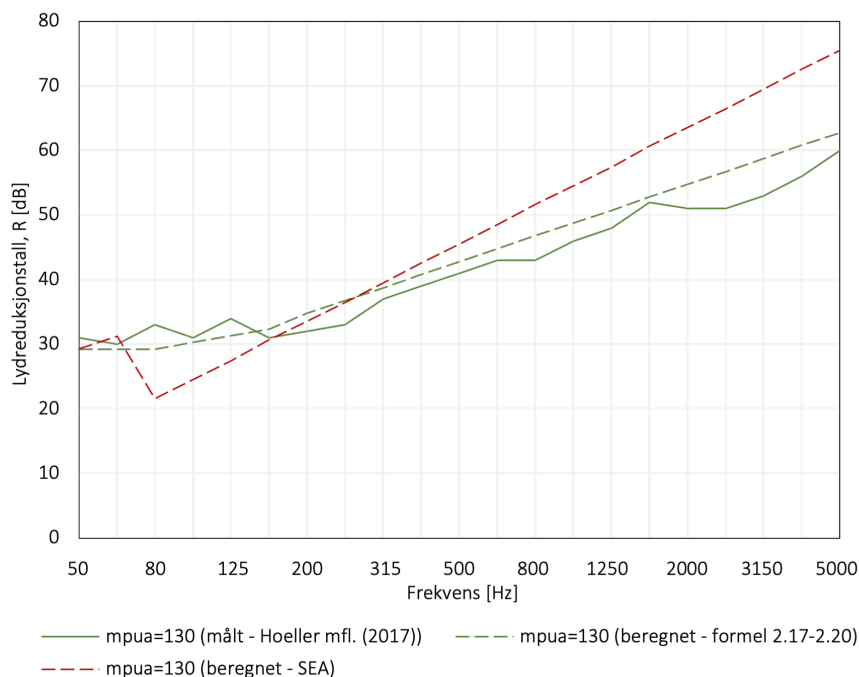
5.2.1 Enkle KLT-element

Resultatene viste (avsnitt 4.2) at nyere empiriske formler, tilpasset KLT som materiale, kan gi god sammenstilling med laboratoriemålte ett-tallsverdier. Avvik på ± 2 dB er mindre enn grensen for usikkerhet i ISO 12354-1 (Standard Norge, 2017a) og det kan derfor se ut til at nøyaktigheten er tilfredsstillende for ett-talls karakterisering av luftlydisolasjon for enkle KLT-element med flatemasse mellom 85-130 kg/m^2 . Det bør derimot rettes stor usikkerhet mot bruk av formel for veid normalisert trinnlydnivå av homogene dekker gitt i Standard Norge (2017b). Dette er også belyst i forskningen til Caniato mfl. (2017) som viser at beregningene for ett-talls karakterisering i *ISO 12354* bare gir brukbare resultater for veid lydreduksjonstall R_w og at tilgjengelig formel for veid normalisert trinnlydnivå $L_{n,w}$ ikke kan benyttes i beregninger for KLT.

Beregninger av trinnlydnivå L_n for enkelt KLT-element (figur 4.3), bestemt av generell formel for massive dekker (formel 2.27) viste store forskjeller mellom målt og beregnet trinnlydnivå L_n . Grunner til dette kan være at parametre, som strålingsfaktor σ , ble estimert ved bruk av generell formel for isotrope materialer og ikke bestemt gjennom laboratoriemålinger. Avvikene i lave og høye frekvenser kan tyde på at andre resonanseffekter fra måleoppsettet i laboratoriefasilitetene og fra elementtykkelsen gjør seg gjeldende. I tillegg kan mykheten på kontaktområdet mellom hammerverk og KLT-elementet spille inn. Et annet relevant punkt å ta i betraktning ved beregning av trinnlydnivå er at laboratoriemålte verdier for enkelt KLT-dekke kan gi ugunstige verdier. Grunnen til dette kan ifølge Tretknisk (2016) være at dekket ligger fritt opplagt, uten energiavledning til omkringliggende bygningsselementer.

For sammenligning av lydreduksjonstall R i frekvensspekteret ble laboratoriemålinger plottet mot modifiserte modell av Ljunggren (2019) (figur 4.2). I motsetning til isotropisk og ortotropisk beregning av enkelt KLT-element gjennomført av Krajčič mfl. (2012), viser figuren at de ortotropiske

egenskapene til KLT-elementet er tatt hensyn til, uten en tydelig dupp ved grensefrekvensen som kommer av elementets stivhet og høy intern demping i trematerialet. Fra grafen kan det se ut til at frekvensområdet under grensefrekvensen til de målte elementene er lite frekvensavhengig og strekker seg over flere oktavbånd. Det kan observeres at grensefrekvensområdet for målt 7-lags KLT-element avsluttes rundt 250 Hz hvor det er vanskelig å peke ut materialets grensefrekvens. For å vise potensielle forskjeller er resultatet for enkelt 7-lags KLT-element plottet mot beregning av teoretisk lydreduksjonstall R for enkeltkonstruksjoner etter statistisk energi analysemetode (SEA) av Brekke (1979) gitt i Homb, Hveem og Strøm (1983).



Figur 5.4: Laboreriemålt lydreduksjonstall R for 7-lags KLT-element, plottet mot beregningsmodeller.

Som presentert i figur 5.4 kan det se ut til at KLT skiller seg ut fra andre bygningsmaterialer som betong ved ha en stigningskurve på 6 dB/oktav etter grensefrekvensområdet, til forskjell fra homogene materialer som antakelig vil følge en stigningskurve på 9 dB/oktav etter koincidensområdet. Figuren viser også hvor tydelig dupp ved grensefrekvensen som burde blitt observert dersom KLT oppførte seg som et isotropisk materiale. Selv om beregningsmodellen til Ljunggren (2019) tar hensyn til dette, baserer den seg på beregning av grensefrekvens for et isotropiske materiale med én bestemt grensefrekvens, som brukes for å markere starten på koincidensområdet. Denne løsningen gjør det enklere å oppdrive materialdata og formler som trengs for å gjøre en estimering av enkelte KLT-elementers luftlydisolasjonsevne, og er ikke avhengig av ortotropiske beregninger i flere retninger.

For å kunne beregne KLT-elementets ortotropiske oppførsel med større nøyaktighet ved de mindre duppene i grensefrekvensområdet vil det være nødvendig å se nærmere på materialets egenskaper i de ulike retningene. På den ene siden virker det korrekt å omtale KLT som et ortotropisk materiale, da KLT regelrett er bygd opp av treplanker, med ortotropisk oppførsel for hver individuelle planke. På den andre siden har forskning fra Krajčič mfl. (2012), Caniato mfl. (2017) og Mahn, Quirt

mfl. (2020) oppdaget både isotropisk og ortotropisk oppførsel for KLT som bygningselement. Det kan derfor se ut til at KLT havner på utsiden av etablerte materialkategorier, noe Dolezal og Kumer (2019) også påpekte i sitt studie. Resultater (figur 4.2) indikerer likevel at KLT oppfører seg som et ortotropisk materiale i frekvensspekteret og nyere empiriske beregningsmodeller for homogene materialer viser i tillegg god sammenstilling med enkle KLT-element, noe som tyder på at KLT oppfører seg som et homogent materiale. Likevel belyser uenighetene viktigheten av videre forskning på KLT for å karakterisere materialegenskaper og vurdere om KLT, som innovativt og utbredt materiale, behøver sin egen materialkarakterisering i kommende standarder.

5.2.2 NS-EN ISO 12354

Resultatene (tabell 4.3) viser ikke tilfredsstillende sammenstilling mellom målt og beregnet lyd-isolasjon, og indikerer at det kreves større datagrunnlag og dokumenterte materialegenskaper for KLT som bygningsmateriale. I likhet med studiet til Homb og Hveem (2012) viser resultatene at forhåndsdefinerte eller teoretiske verdier for vibrasjonsreduksjonsindeks ikke gir god sammenstilling med målt lyd-isolasjon. Det er derimot vist at beregninger iht. *NS-EN ISO 12354* kan gi god sammenstilling ved innsamling av egne måledata for knutepunktsdempingen i konstruksjonen som betraktes (Dolezal, Teibinger og Bednar (2010), Homb og Hveem (2012)). Disse forskjellene belyser utfordringen ved beregning av lyd-isolasjon i bygg med KLT, og indikerer at man bør gjøre egne målinger av knutepunkt for å få pålitelige resultater. Slike målinger er tidkrevende og kan føre til utfordringer fra et økonomisk perspektiv. I betraktet beregningssituasjon er det også andre faktorer som spiller inn. Under beregningene kan det knyttes usikkerhet til bestemmelse av forbedring av lyd-isolasjon ved bruk av tilleggskonstruksjoner. Det ble benyttet teoretisk forbedring fra Vigran (2002) og *NS-EN ISO 12354*, noe som viste seg å være bestemmende for beregningsresultatene. I tillegg kan materialegenskaper som dynamisk stivhet være avgjørende i beregninger av trinnlydforbedring. Metoden i *NS-EN ISO 12354* baserer seg på laboratoriemålt data for alle involverte elementer og under beregningene ble det tydelig at teoretiske modeller for tilleggskonstruksjoner ikke bør brukes som erstatning.

Det ble observert interne forskjeller og indikasjoner på utførelsesfeil i feltmålingene, noe Öqvist, Ljunggren og Ågren (2012) også fant i sitt studie. Beregningsresultatene (tabell 4.3) viser overestimering av virkelig lyd-isolasjon, og grunner til dette kan være målefeil eller dårlig utførelse. For luftlydmålinger i felt kan grunner til overestimering være utettheter og lekkasjer i hull/sprekker, da beregningsmodellen ikke inkluderer disse elementene. For trinnlydmålinger kan strukturelle koblinger fra flytende gulv redusere lyd-isolasjonen og overføre mer lyd til rommet under. Det kan tenkes at selv en skrue som er plassert på feil sted vil kunne overføre mer lydenergi og påvirke isolasjonsevnen til konstruksjonssystemet. I beregningsmodellen kan det tenkes at overestimeringen kommer av begrensninger i innehentet input-data eller empiriske formler som fører til forskjeller i kalkulert lyd-isolasjon.

Som vist i tabell 4.3 er det avvik mellom måle- og beregningsresultater ved betraktning av total lydoverføring av etasjeskiller på Lade skole. Standard Norge (2017a) oppgir et forventet standardavvik på $\geq 2,5$ dB for forenklet metode, ved beregning av konstruksjoner som ikke er homogene. Dette indikerer stor usikkerhet for sammensatte konstruksjoner, hvor ulike materialer kombineres innad i bygget.

I likhet med oppsummeringen til Di Bella og Mitrovic (2020) for internasjonal forskning på KLT, viser resultatene i studiet redusert nøyaktighet ved beregning av samlet lydoverføring iht. *NS-EN ISO 12354*. Grunnen til det kan være sammensatt av flere, og det er derfor forsøkt å liste opp de største utfordringene ved beregningsmetoden, observert i studiet:

- Mangel på databaser med laboratoriemålt data for tilleggskonstruksjoner på KLT
- Mangel på laboratoriemålt data med utvidet frekvensområde (50-5000 Hz)
- Mangel på entydig materialdata for KLT

Som presentert i resultatet (avsnitt 4.2) finnes det laboratoriemålt datagrunnlag for enkle KLT-elementer som kan benyttes i beregninger. I lys av figur 4.2 er det observert at modifiserte modeller kan gi godt samsvar med målt lydisolasjon. Det som derimot viste seg å være en større utfordring var beregningsverdier for tilleggskonstruksjonene. Gode estimeringer og laboratoriedata er enkelt å oppdrive for tilleggskonstruksjoner på primærkonstruksjoner av betong, dataen bør ikke benyttes for lette konstruksjoner som KLT. Dette belyses også av Di Bella, Granzotto og Barbaresi (2016) og Di Bella og Mitrovic (2020), og indikerer store forskjeller og avvik ved bruk av standardiserte laboratoriemålinger på betong. Det finnes sider med laboratoriemålt data for hele etasjeskillere med KLT, inkludert tilleggskonstruksjoner ((Lignumdata, 2021), (Mahn, Quirt mfl., 2020)), men her kan utfordringen være å finne lignende løsning som betraktes i eget tilfelle. Et annet relevant punkt er at disse konstruksjonene representerer utbredte løsninger i det aktuelle landet, noe som minsker sjansene for å finne de vanligste løsningene i Norge (figur 4.1a, 4.1b). Grunner til mangelen kan være at det ikke har blitt samlet nok pålitelig laboratoriedata enda. I beregninger med detaljert metode (avsnitt 4.4) ble det bestemt å bruke tilgjengelig formelgrunnlag i *NS-EN ISO 12354* som erstatning for laboratoriemålt data for involverte tilleggskonstruksjoner. På den ene siden brukes beregninger som ikke er anbefalt for KLT-elementer, men på den andre siden belyses manglene for KLT-elementer.

Beregnete resultater (*vedlegg D*) viser mangel på data i utvidet frekvensspekter. Dette viste seg tidlig å være en utfordring ved innhenting av laboratoriemålt data. Det er vanlig å inkludere omgjøringsstall for spektrum under prosjektering for å rette et større fokus på løsninger som er tilfredsstillende i det lavfrekvent området og redusere sjenanse. Grunner til mangelen kan være utfordringer med å få pålitelige resultater mellom 50-80 Hz eller at det ikke alltid er nødvendig å betrakte utvidet frekvensområde, avhengig av formålet med målingen og hvilke lydkrav som skal følges.

Ved innhenting av underlagsmateriale til beregninger ble det observert uenighet (Dolezal og Kumer, 2019; Mahn, Quirt mfl., 2020; Krajčič mfl., 2012) rundt KLT som materiale og dermed usikkerhet rundt materialegenskaper og materialdata. Uenighetene gjør det utfordrende å beslutte hvilke empiriske formler og teori som skal brukes. Grunnen til uenigheten kan være de mange variantene som finnes av KLT som materiale. Variasjoner i festemetode, tykkelse på sjiktene, total tykkelse, tresort og trekvalitet. Trekvalitet og tresort vil være med på å bestemme densiteten til materialet og det ble observert variasjoner fra 400 kg/m^3 (Ljunggren, 2019) til 490 kg/m^3 (Stora Enso, 2017). I studiet er dette sett på som et betydelig usikkerhetsmoment. Standarden (Standard Norge, 2017a) inneholder ikke materialdata som longitudinal hastighet, densitet eller elastisitetsmodul for KLT, og informasjonen ble derfor hentet fra diverse litteratur (tabell 3.4, 3.5). Dette viser behovet for utvidelse av standarden med materialdata for KLT.

Det er også relevant å se nærmere på mangler og begrensninger ved detaljert metode som kunne vært unngått i studiet. Punktene i listen kan være viktig ved fremtidige estimeringer av samlet lydoverføring:

- Mangel på informasjon for involverte materialer og løsninger fra leverandør/rådgiver
- Mangel på underlagsmateriale for knutepunktsløsninger og flankerende konstruksjoner

Ved innsamling av materialdata ble det oppdaget store forskjeller i produkter og for å redusere usikkerheten vil det være viktig å få oversikt over materialer og leverandør for de benyttede bygningsproduktene i konstruksjonen. Det knyttes også usikkerhet til benyttet data for vibrasjonsreduksjonsindeks i standarden, hvor de empiriske formlene (avsnitt 3.4) gjelder faste knutepunkt og er basert på et fåtall målinger. Faste knutepunkt kan være festet på mange måter (dybler, skruer, stålvinkel) og kan potensielt resultere i store forskjeller for dempingen i knutepunktene, som påpekt i Mahn, Quirt mfl. (2020) og Schoenwald mfl. (2013). Utfordringen kan også betraktes fra en annen synsvinkel. Er man involvert i en prosjekteringsprosess kan rådgiverne selv være med på å definere materialer med kjente egenskaper og oppførsel, som behovet for trinnlydplater med en spesifikk dynamisk stivhet som avhenger av det flytende gulvet. Det kan derfor tenkes at materialeegenskaper og materialdata er bedre kjent under prosjektering, sammenlignet med i dette studiet, hvor informasjon er hentet fra plantegninger og detaljtegninger med generelle beskrivelser av materialer.

5.3 Videre arbeid

Studiet begrenser seg til feltmålinger i tre bygg. Et naturlig neste steg vil være å samle flere feltmålinger fra samme bygg, eller bygg med lignende etasjeskillere. Homb og Hveem (2012) har vist at det mulig å oppnå god sammenstilling ved å gjøre egne målinger av knutepunktsdempingen. Det ville derfor vært interessant å undersøke hvor god sammenstilling som er mulig å oppnå på Lade skole ved måling av hastighetsdifferanse og samtidig se på sammenstilling med modelleringsprogrammer som CadnaB. Et slikt arbeid kan baseres på underlagsmateriale fra dette studie.

Videre er det observert mangel på materialdata for KLT og uenighet ved kategorisering av materialet. Et steg i riktig retning vil være å samle laboratoriemålinger for ulike festemetoder og underkategorier for KLT-elementer i forskjellige tykkelser. Videre forskning på dette feltet vil bidra til å redusere usikkerhet rundt materialkarakterisering i beregninger og burde bli gjennomført for å komme et steg nærmere flere empiriske formler og anvisninger for KLT i nasjonale og internasjonale standarder.

Når det kommer til beregninger i *NS-EN ISO 12354* er det vanskelig å spekulere i om beregninger gir god eller dårlig sammenstilling når ikke hele konstruksjonen betraktes. Dokumenterte resultater fra laboratoriemålinger (Mahn, Quirt mfl., 2020) har vist seg å dekke løsninger og produkter som enda ikke er utbredt i Norge. Et spennende neste steg vil derfor være å samle laboratoriemålt data for utbredte tilleggskonstruksjoner i Norge og se på muligheten for å opprette en database med verifiserte resultater. Det kan tenkes at rådgivere i bransjen benytter seg av et fåtall løsninger med KLT som de har erfart oppfyller ønsket lydkrav. En felles database kan bidra til mer innovative og optimaliserte løsninger som prosjekteringsgrupper ellers ikke hadde fått tilgang på. En eventuell database bør implementeres i utbredte modelleringsprogrammer som CadnaB (DataKustik, 2021).

I studiet utgjør vertikal KLT-skive kun én av fire vegger mellom to betraktede rom. I standarden (Standard Norge, 2017a) dekker empiriske formler bare vibrasjonsreduksjonsindeks mellom to KLT-element. Dette er kjente situasjoner i bygningskategorier som boliger, med bærende yttervegger av KLT. Det vil derfor være interessant å samle data for knutepunktsdemping mellom KLT og andre konstruksjonselementer med ulik flatemasse. Et slikt studium vil være svært ressurskrevende, men kan samtidig bidra til mer presise beregninger av samlet lydoverføring i bygningskategorier som benytter seg av søyle-/bjelkesystem.

Kapittel 6

Konklusjon

Formålet med studiet var å samle og vurdere underlagsmateriale fra utvalgte bygg med etasjeskillere av KLT. Innsamlet underlagsmateriale ble brukt til å undersøke sammenstilling med relevante beregningsmetoder for enkle KLT-element og beregning av samlet lydoverføring iht. *NS-EN ISO 12354*.

Feltmålinger av trinn- og luftlydisolasjon ble gjennomført ved to kontorer og én skole i Trøndelag på to forskjellige steder i hvert bygg, henholdvis med og uten bærende KLT-skive. Byggene dekket løsninger for etasjeskiller av KLT med lett flytende gulv og hybrid KLT med tungt flytende gulv. Resultatene fra feltmålingene viste at alle etasjeskillerne oppfylte minstekrav i *NS 8175* og er oppsummert i tabell 6.1.

Tabell 6.1: Oppsummering av resultater fra feltmåling med oppnådd lydklasse for luft- og trinnlydisolasjon iht. *NS 8175*.

	$R'_w(C_{50-5000})$ [dB]	$L'_{n,w}(C_{50-2500})$ [dB]	Oppfylt lydkrav	Oppbygning	Vertikal KLT-skive
O2 1-2	61 (-3)	49 (5)	Klasse A	Hybrid KLT	X
O2 3-4	61 (-3)	55 (2)	Klasse B	Hybrid KLT	-
ZEB 1-2	53 (-4)	57 (4)	Klasse B	KLT	X
ZEB 3-4	58 (-3)	58 (4)	Klasse B	KLT	-
LADE 1-2	55 (-2)	59 (1)	Klasse C	Hybrid KLT	X
LADE 3-4	56 (-2)	58 (1)	Klasse B	Hybrid KLT	-

Det ble ikke observert sammenheng mellom lydoverføring og rom med bærende KLT-skive. Derimot ble det observert likheter i målekurvene for oppbygning med lett og tungt flytende gulv og resultatene indikerer at lett flytende gulv kan konkurrere mot løsninger med betydelig høyere flate-masse som skal oppnå lydkrav i klasse C eller B. Løsninger med lett flytende gulv kan samtidig fremme KLT som et bærekraftig valg med mindre klimagassutslipp, sammenlignet med løsninger med påstøp av betong. Likevel ble det observert best lydisolasjon i etasjeskillere med høyere flate-masse og tungt flytende gulv, som forventet fra et teoretisk perspektiv. Internt i byggene ble det oppdaget variert lydisolasjon og målekurvene for trinnlydnivå på Lade skole viste antydninger til svak utførelse med mistanke om stiv kobling mellom påstøp og flankerende vegg. Observasjonen belyser viktigheten av god utførelse for bygningsmaterialer som er følsomme for utførelsesfeil.

Gjennom littaturundersøkelse ble det observert uenigheter rundt KLT som bygningsmateriale hvor funn indikerer at elementene har både isotrope og ortotropiske egenskaper. Innhentede laboratoriemålinger indikerte ortotropisk oppførsel, uten en tydelig dupp i målekurven ved grensefrekvensen. Uenighetene belyser viktigheten av videre forskning på KLT for å karakterisere elementenes

materialegenskaper. Tilgang på mer materialdata kan bidra til at akustisk prosjektering ikke utsettes, og dermed hindre overdimensjonering og negativ virkning både økonomisk og for KLT som klimagunstig materiale.

Nyere empiriske formler for ett-talls karakterisering av KLT viste seg å gi god sammenstilling med laboratoriemålinger og resultatene viste forskjeller på ± 2 dB, til forskjell fra formler tilgjengelig i *NS-EN ISO 12354*, som bør brukes med forsiktighet. I tillegg viste sammenligning av laboratoriemålinger og modifisert modell (Ljunggren, 2019) for beregning av lydreduksjonstall god sammenstilling i frekvensspekteret, ved å ta hensyn til materialets ortotropiske oppførsel i grensefrekvensområdet.

Resultater fra beregninger iht. *NS-EN ISO 12354* viste ikke tilfredsstillende sammenstilling med målt luft- og trinnlydmålinger med avvik på inntil 15 dB, og det ble pekt på utfordringer ved beregningsmetoden:

- Mangel på databaser med laboratoriemålte tilleggskonstruksjoner på KLT
- Mangel på laboratoriemålt data med utvidet frekvensområde (50-5000 Hz)
- Mangel på entydig materialdata for KLT

Metoden i *NS-EN ISO 12354* baserer seg på laboratoriemålt data for alle involverte elementer og beregningene i studiet viste at teoretiske modeller for tilleggskonstruksjoner ikke bør brukes som erstatning. Tidligere har det blitt vist (Homb og Hveem, 2012; Dolezal, Teibinger og Bednar, 2010) at beregninger av samlet lydoverføring kan gi god sammenstilling ved gjennomføring av egne målinger av knutepunktsdemping, som indikerer at god sammenstilling er mulig å oppnå ved utvidelse av tilgjengelig vibrasjonsreduksjonsindeks for ulike bæresystem.

Studiet er begrenset til måledata fra tre feltmålinger og beregningsdata fra én situasjon, og det er derfor vanskelig å konkludere med sammenhenger og sammenstilling for KLT-konstruksjoner. Videre forskning, med et skarpere fokus på å samle datagrunnlag for knutepunktsdemping og tilleggskonstruksjoner for KLT, kan bidra til å gjøre beregningsmetoden mer presis. Deretter vil et naturlig neste steg være å implementere innsamlet datagrunnlag i modelleringsprogrammer som CadnaB for å oppnå høyere grad av nøyaktighet i beregninger av samlet lydoverføring og opprettholde statlig og kommersiell interesse.

Referanser

- Brekke, Arild (1979). *Lydtransmisjon gjennom enkelt- og dobbeltvegger*. Bd. A79060. ELAB rapport. Trondheim: SINTEF.
- Buck, Dietrich mfl. (2016). *Further Development of Cross-Laminated Timber (CLT): Mechanical Tests on 45° Alternating Layers*.
- Caniato, Marco mfl. (2017). «Acoustic of lightweight timber buildings: A review». I: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 80. Publisher: Elsevier, s. 585–596. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.110>.
- DataKustik (2021). *CadnaB – Calculation of sound transmission between rooms for a whole building*. URL: <https://www.datakustik.com/products/cadnab/cadnab/> (sjekket 14.05.2021).
- Di Bella, Antonino, Granzotto, Nicola og Barbaresi, Luca (2016). «Analysis of acoustic behavior of bare CLT floors for the evaluation of impact sound insulation improvement». I: bd. 28. Issue: 1. Acoustical Society of America.
- Di Bella, Antonino og Mitrovic, Milica (2020). «Acoustic Characteristics of Cross-Laminated Timber Systems». I: *Sustainability (Basel, Switzerland)* 12.14. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, s. 5612. DOI: 10.3390/su12145612. (Sjekket 09.01.2021).
- Dolezal, Franz og Kumer, Niko (2019). «Simplified model for sound insulation of cross laminated timber walls with external thermal insulation composite systems». I: bd. 259. Issue: 8. Institute of Noise Control Engineering, s. 1202–1210.
- Dolezal, Franz, Teibinger, Martin og Bednar, Thomas (2010). «Flanking Transmission of Impact Noise at Solid Wood Structures». I: *WCTE proceedings*. URL: http://support.sbcindustry.com/Archive/2010/june/Paper_423.pdf (sjekket 23.02.2021).
- Dunbavin, Philip og Critchley, Iain (2019). «Directivity of a hemi-dodecahedron sound source». I: bd. 259. Issue: 7. Institute of Noise Control Engineering, s. 2135–2146.
- Glasø, Geir (2011). *Tre og lyd*. Tekn. rapp. 36. Oslo. URL: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/36-Tre-og-lyd.pdf> (sjekket 04.02.2021).
- Hoeller, Christoph, Mahn, Jeffrey mfl. (2017). *NRC Research Report RR-335: Apparent Sound Insulation in Cross-Laminated Timber Buildings*. Tekn. rapp. DOI: 10.4224/23002009. (Sjekket 21.04.2021).
- Hoeller, Christoph, Quirt, David mfl. (2019). *NRC Research Report RR-331: Guide to Calculating Airborne Sound Transmission in Buildings - Fifth Edition*. Tekn. rapp. DOI: 10.4224/40001814. (Sjekket 10.04.2021).
- Homb, Anders, Guigou-Carter, Catherine, Hagberg, Klas mfl. (2017). *Validation of prediction tools and constructions – grouping, verification measurements and trend analysis*. Tekn. rapp. STB02.

- Göteborg: RISE Research Institutes of Sweden AB. URL: http://silent-timber-build.com/wp-content/uploads/sites/16/2018/01/wg2-report-anh_171226.pdf (sjekket 10.03.2021).
- Homb, Anders, Guigou-Carter, Catherine og Rabold, Andreas (2017). «Impact sound insulation of cross-laminated timber/massive wood floor constructions: Collection of laboratory measurements and result evaluation». I: *Building Acoustics* 24.1. SAGE Publications Sage UK: London, England, s. 35–52. DOI: <https://doi.org/10.1177/1351010X16682966>. (Sjekket 10.04.2021).
- Homb, Anders og Hveem, Sigurd (2012). *Lydoverføring i byggesystemer med massivtrelementer*. Norsk. Tekn. rapp. 80. SINTEF akademisk forlag. Trondheim. URL: https://www.sintefbok.no/book/index/912/lydoverfoering_i_byggesystemer_med_massivtrelementer (sjekket 10.01.2021).
- Homb, Anders, Hveem, Sigurd og Strøm, Svein (1983). *Lydisolerende konstruksjoner: datasamling og beregningsmetode*. Tekn. rapp. Norges byggforskningsinstitutt.
- Krajči, Luboš mfl. (2012). «Airborne sound transmission of a crosslaminated timber plate with orthotropic stiffness». I: Praha, Tjekkia, s. 202–207.
- Leppington, Francis Godfrey, Broadbent, Edward Granville og Heron, KH (1982). «The acoustic radiation efficiency of rectangular panels». I: *Proceedings of the Royal Society of London. A. Mathematical and Physical Sciences* 382.1783. The Royal Society London, s. 245–271. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspa.1982.0100>. (Sjekket 30.03.2021).
- Lignumdata (2021). *Lignumdata*. Tysk. URL: <https://lignumdata.ch/?page=bauteil&bauteilgruppe=decke> (sjekket 14.05.2021).
- LINK Arkitektur (2021). *ZEB Laboratoriet*. URL: <https://linkarkitektur.com/Prosjekter/ZEB-Flexible-Lab> (sjekket 01.03.2021).
- Ljunggren, Fredrik (2019). «Sound insulation prediction of single and double CLT panels». I: bd. 23. Aachen, Tyskland: Luleå University of Technology, Sweden, s. 242–248.
- Mahn, Jeffrey og Müller-Trapet, Markus (2019). «Characterization of Laminated Timber Building Elements to Estimate Flanking Transmission». I: bd. 259. Issue: 5. Institute of Noise Control Engineering, s. 4170–4178.
- Mahn, Jeffrey, Quirt, David mfl. (2020). *Apparent sound insulation in mass timber buildings*. Tekn. rapp. Edition: Second edition. National Research Council of Canada. Construction. DOI: 10.4224/40001816.
- Norsonic (2021). *Rapporteringsprogram Nor850*. URL: https://norsonic.no/product_single/reporting-software-nor850/ (sjekket 19.03.2021).
- NTNU (2021). *Finne kilder*. URL: <https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Finne+kilder> (sjekket 20.05.2021).
- Pei, Shiling mfl. (2016). «Cross-laminated timber for seismic regions: Progress and challenges for research and implementation». I: *Journal of Structural Engineering* 142.4. Publisher: American Society of Civil Engineers. DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001192. (Sjekket 20.03.2021).
- FN-sambandet (2021). *FNs bærekraftsmål*. URL: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/stoppe-klimaendringene> (sjekket 28.05.2021).
- Schoenwald, Stefan mfl. (2013). «Sound insulation performance of cross laminated timber building systems». I: bd. 247. Issue: 3. Institute of Noise Control Engineering, s. 4337–4346.

- Sharp, Ben H (1978). «Prediction methods for the sound transmission of building elements». I: *Noise Control Engineering* 11.2, s. 53–63.
- SINTEF Byggforsk (2001). *520.205 Massive treelementer. Typer og bruksområder*. URL: https://www.byggforsk.no/dokument/3009/massive_treelementer_typer_og_bruksomraader (sjekket 11.01.2021).
- SINTEF Byggforsk (2004). *421.402 Romakustikk og lydisolering. Grunnbegreper - Byggforskserien*. URL: https://www.byggforsk.no/dokument/186/romakustikk_og_lydisolering_grunnbegreper (sjekket 10.02.2021).
- SINTEF Byggforsk (2009). *522.891 Etasjeskillere i massivtre - Byggforskserien*. URL: https://www.byggforsk.no/dokument/3367/etasjeskillere_i_massivtre (sjekket 15.02.2021).
- SINTEF Byggforsk (2019). *524.321 Lydisolasjon for massive innervegger - Byggforskserien*. URL: https://www.byggforsk.no/dokument/378/lydisolasjon_for_massive_innervegger (sjekket 08.05.2021).
- Standard Norge (2008). *NS-EN ISO 3382-2:2008 - Måling av romakustiske parametere - Del 2: Etterklangstid i vanlige rom*. Norsk. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=744800> (sjekket 08.03.2021).
- Standard Norge (2014). *NS-EN ISO 16283-1:2014 - Akustikk - Feltmåling av lydisolasjon i bygninger og av bygningsdeler - Del 1: Luftlydisolasjon*. Norsk. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=744800> (sjekket 03.03.2021).
- Standard Norge (2017a). *NS-EN ISO 12354-1:2017 - Lydforhold i bygninger - Beregning av akustisk ytelse i bygninger basert på bygningsdelerens ytelse - Del 1: Luftlydisolasjon mellom rom*. Engelsk. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=946133> (sjekket 15.02.2021).
- Standard Norge (2017b). *NS-EN ISO 12354-2:2017 - Lydforhold i bygninger - Beregning av akustisk ytelse i bygninger basert på bygningsdelerens ytelse - Del 2: Trinnlydisolasjon mellom rom*. Engelsk. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=946145> (sjekket 15.02.2021).
- Standard Norge (2019). *NS 8175:2019 - Lydforhold i bygninger - Lydklasser for ulike bygningstyper*. Norsk. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1045700> (sjekket 16.02.2021).
- Standard Norge (2020a). *NS-EN ISO 16283-2:2020 - Akustikk - Feltmåling av lydisolasjon i bygninger og av bygningsdeler - Del 2: Trinnlydisolasjon*. Engelsk. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=744800> (sjekket 03.03.2021).
- Standard Norge (2020b). *NS-EN ISO 717-1:2020 - Akustikk — Vurdering av lydisolasjon i bygninger og av bygningsdeler — Del 1: Luftlydisolasjon*. Engelsk. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1332701> (sjekket 01.03.2021).
- Standard Norge (2020c). *NS-EN ISO 717-2:2020 - Akustikk — Vurdering av lydisolasjon i bygninger og av bygningsdeler — Del 2: Trinnlydisolasjon*. Engelsk. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1332717> (sjekket 01.03.2021).
- Stora Enso (2017). *CLT by Stora Enso - Technical brochure*. URL: <https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/clt-by-stora-enso-technical-brochure-en.pdf> (sjekket 12.05.2021).

- Treteknisk (2006a). *Håndbok: Bygge med massivtrelementer. Hefte 1 - Generelt*. Treteknisk håndbok. Oslo: Norsk Treteknisk Institutt.
- Treteknisk (2006b). *Håndbok: Bygge med massivtrelementer. Hefte 2 - Byggeteknikk*. 1. utg. Treteknisk håndbok. Oslo: Norsk Treteknisk Institutt.
- Treteknisk (2016). *Håndbok: Bygge med massivtrelementer. Hefte 5 - Lyd*. 2. utg. Treteknisk håndbok. Oslo: Norsk Treteknisk Institutt.
- Vigran, Tor Erik (2002). *Bygningsakustikk : et grunnlag*. Trondheim: Tapir.
- Wahlstrøm, Simen mfl. (2020). «Experiences with CLT Construction in Norway». I: *E3S web of conferences*. Bd. 172. Publisher: EDP Sciences, s. 10008. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017210008>. (Sjekk 04.02.2021).
- Wohlin, Claes (2014). *Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering*. URL: <https://www.wohlin.eu/ease14.pdf> (sjekk 30.01.2021).
- Öqvist, Rikard, Ljunggren, Fredrik og Ågren, Anders (sep. 2012). «On the uncertainty of building acoustic measurements – Case study of a cross-laminated timber construction». I: *Applied Acoustics* 73.9, s. 904–912. DOI: 10.1016/j.apacoust.2012.03.012.
- Åse Dragland (2015). *Bygg står for 40% av verdens utslipp - slik skal det reduseres*. Norsk. URL: <https://www.tu.no/artikler/bygg-star-for-40-av-verdens-utslipp-slik-skal-det-reduseres/223922> (sjekk 16.02.2021).

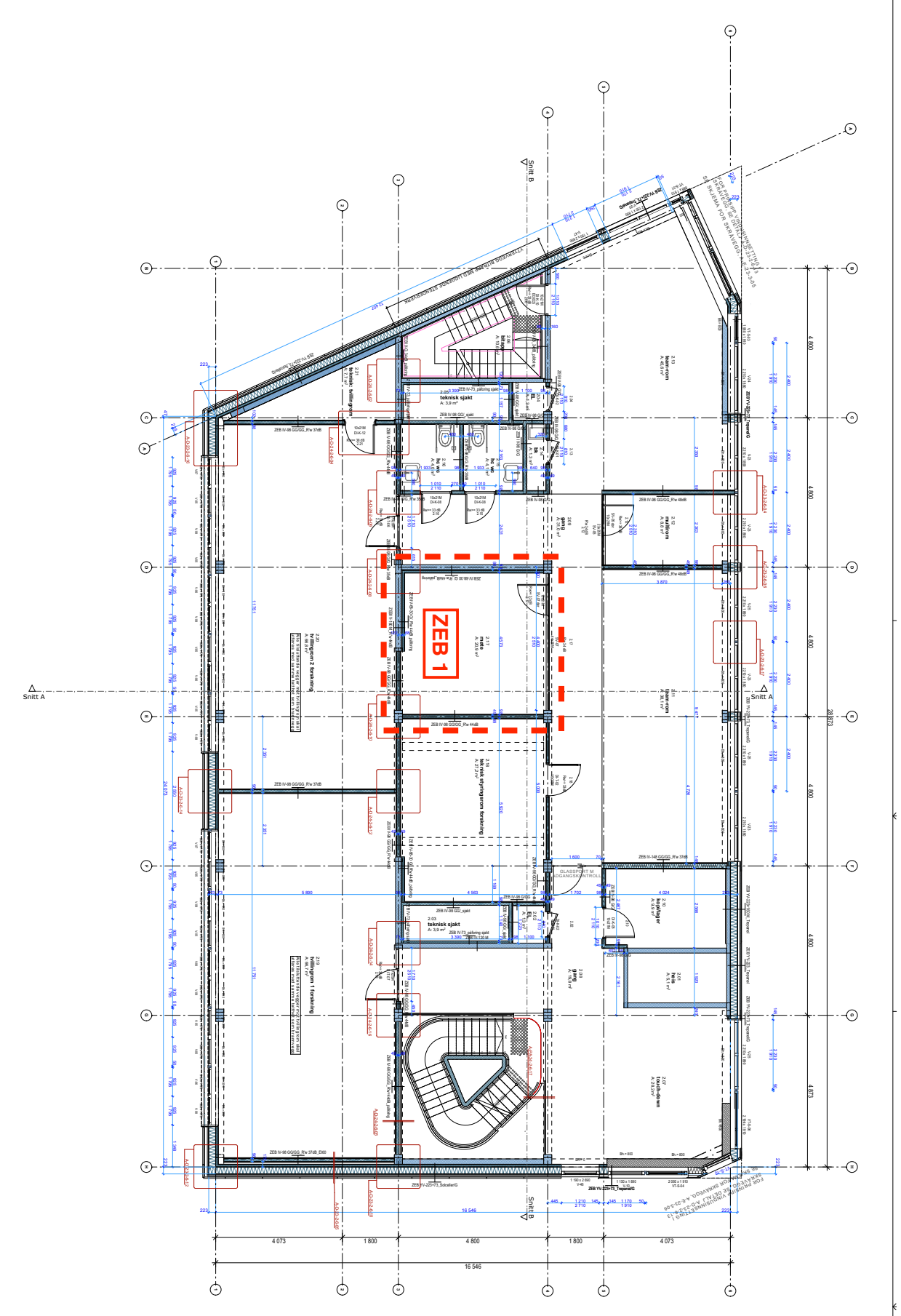
Tillegg A

Måleoversikt

Luftlydmåling	Senderrom	Mottakerrom
O2 1-2	O2 1	O2 2
O2 3-4	O2 3	O2 4
ZEB 1-2	ZEB 1	ZEB 2
ZEB 3-4	ZEB 3	ZEB 4
LADE 1-2	LADE 1	LADE 2
LADE 3-4	LADE 3	LADE 4
LADE 5-2	LADE 5	LADE 2
Trinnlydmåling	Senderrom	Mottakerrom
O2 1-2	O2 1	O2 2
O2 3-4	O2 3	O2 4
ZEB 2-1	ZEB 2	ZEB 1
ZEB 3-4	ZEB 3	ZEB 4
LADE 1-2	LADE 1	LADE 2
LADE 3-4	LADE 3	LADE 4

Tillegg B

Plantegninger



CBSI
 017 skoleveger, nær oplysningen på et østlig ydende for ARKS
 Planlægning af bygge på 1100 mm højde og 1000 mm bredde.

MM 6.0 gælder ikke sokkelpanel og vinduer i sødcellesæder.

NO	BYGGETRIN	INDHOLD	STATUS	REVISOR	REVISOR	REVISOR
1	1	1	1	1	1	1

Planer 1:50 A-P-23-3-01

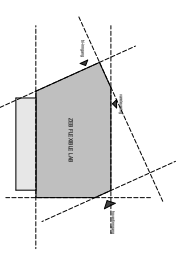
2. etasje, kote +41.020

ARBEJDSSTEGNING

NTNU & SINTEF

Vedskætte

62714 ZEB flexible lab



LINK ARKITEKTUR

Planer 1:50

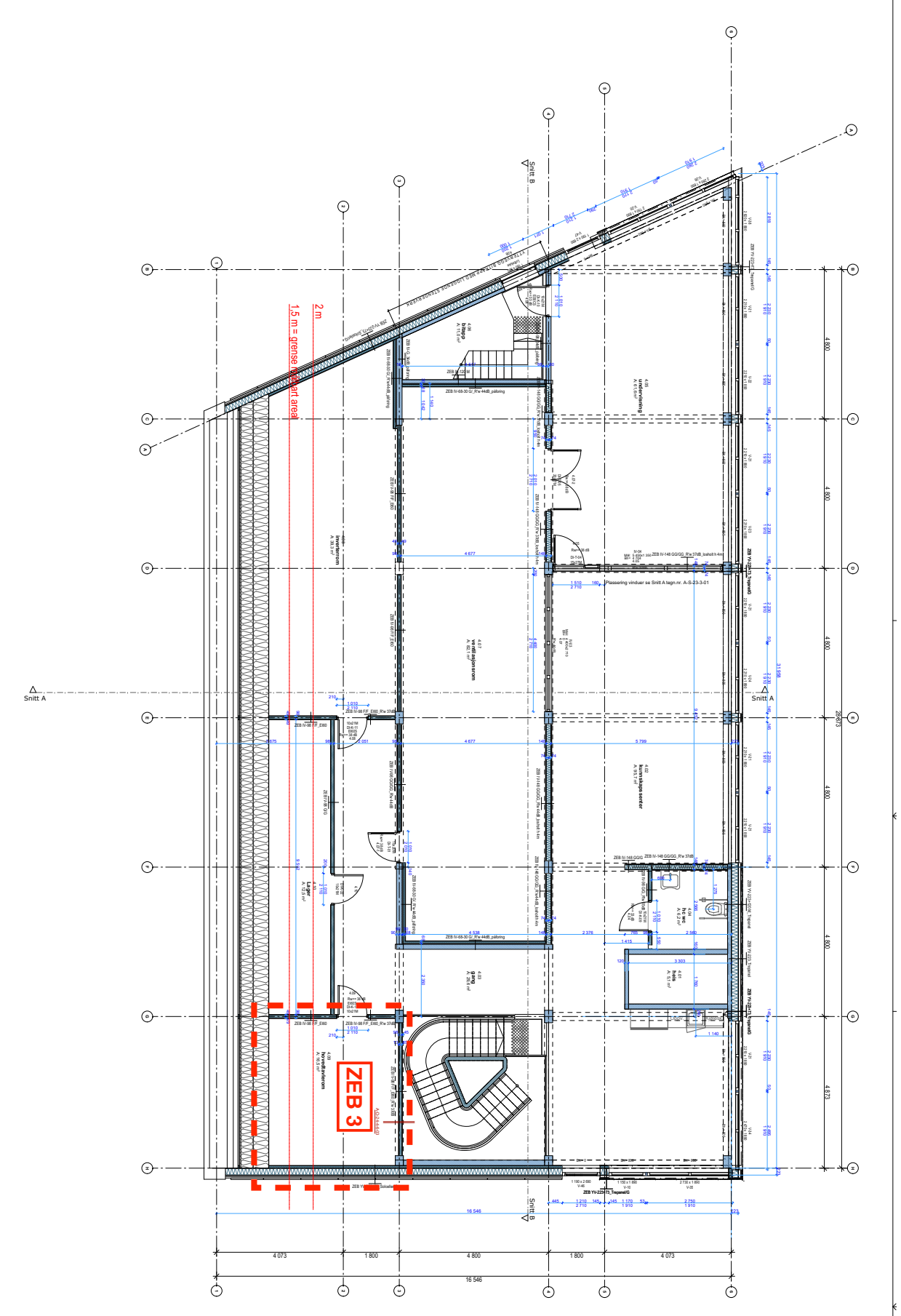
2. etasje, kote +41.020

Arkitekt: LINK ARKITEKTUR

Arkitekt: LINK ARKITEKTUR

A-P-23-3-01

1:50



MM 6.0 gjelder ikke sokkelpanel og vinduer i sokkelløsninger.

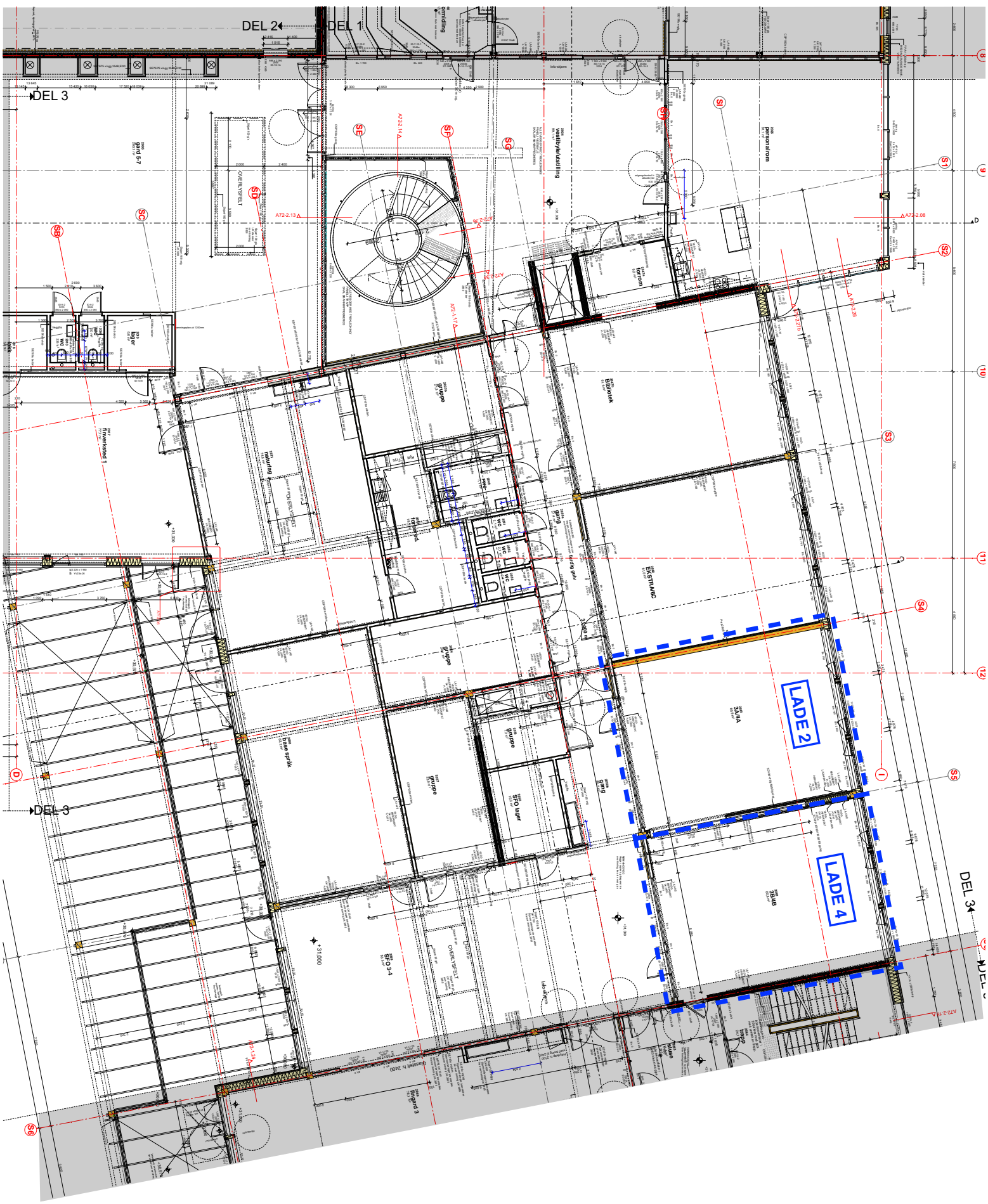
NO	BYGGER	BYGGER	BYGGER	BYGGER	BYGGER	BYGGER	BYGGER	BYGGER	BYGGER
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Planer 1:50
4. etasje, kote +48.720

ARBEIDSTEGNING
NTNU & SINTEF

Vedtakke
62714 ZEB fleksible lab

LINK ARKITEKTUR
 4. etasje, kote +48.720
 Planer 1:50
 Godei 3C
 A-P-23-4-3-01



NO.	BEZUG	BEZEICHNUNG	ANMERKUNGEN	VERLEGER	VERLEGERZEITPUNKT
1	1	...	...	...	...
2	1	...	...	...	...
3	1	...	...	...	...
4	1	...	...	...	...
5	1	...	...	...	...
6	1	...	...	...	...
7	1	...	...	...	...
8	1	...	...	...	...
9	1	...	...	...	...
10	1	...	...	...	...
11	1	...	...	...	...
12	1	...	...	...	...
13	1	...	...	...	...
14	1	...	...	...	...
15	1	...	...	...	...
16	1	...	...	...	...
17	1	...	...	...	...
18	1	...	...	...	...
19	1	...	...	...	...
20	1	...	...	...	...
21	1	...	...	...	...
22	1	...	...	...	...
23	1	...	...	...	...
24	1	...	...	...	...
25	1	...	...	...	...
26	1	...	...	...	...
27	1	...	...	...	...
28	1	...	...	...	...
29	1	...	...	...	...
30	1	...	...	...	...
31	1	...	...	...	...
32	1	...	...	...	...
33	1	...	...	...	...
34	1	...	...	...	...
35	1	...	...	...	...
36	1	...	...	...	...
37	1	...	...	...	...
38	1	...	...	...	...
39	1	...	...	...	...
40	1	...	...	...	...
41	1	...	...	...	...
42	1	...	...	...	...
43	1	...	...	...	...
44	1	...	...	...	...
45	1	...	...	...	...
46	1	...	...	...	...
47	1	...	...	...	...
48	1	...	...	...	...
49	1	...	...	...	...
50	1	...	...	...	...
51	1	...	...	...	...
52	1	...	...	...	...
53	1	...	...	...	...
54	1	...	...	...	...
55	1	...	...	...	...
56	1	...	...	...	...
57	1	...	...	...	...
58	1	...	...	...	...
59	1	...	...	...	...
60	1	...	...	...	...
61	1	...	...	...	...
62	1	...	...	...	...
63	1	...	...	...	...
64	1	...	...	...	...
65	1	...	...	...	...
66	1	...	...	...	...
67	1	...	...	...	...
68	1	...	...	...	...
69	1	...	...	...	...
70	1	...	...	...	...
71	1	...	...	...	...
72	1	...	...	...	...
73	1	...	...	...	...
74	1	...	...	...	...
75	1	...	...	...	...
76	1	...	...	...	...
77	1	...	...	...	...
78	1	...	...	...	...
79	1	...	...	...	...
80	1	...	...	...	...
81	1	...	...	...	...
82	1	...	...	...	...
83	1	...	...	...	...
84	1	...	...	...	...
85	1	...	...	...	...
86	1	...	...	...	...
87	1	...	...	...	...
88	1	...	...	...	...
89	1	...	...	...	...
90	1	...	...	...	...
91	1	...	...	...	...
92	1	...	...	...	...
93	1	...	...	...	...
94	1	...	...	...	...
95	1	...	...	...	...
96	1	...	...	...	...
97	1	...	...	...	...
98	1	...	...	...	...
99	1	...	...	...	...
100	1	...	...	...	...

DEL 3
DEL 2
DEL 1
DEL 4

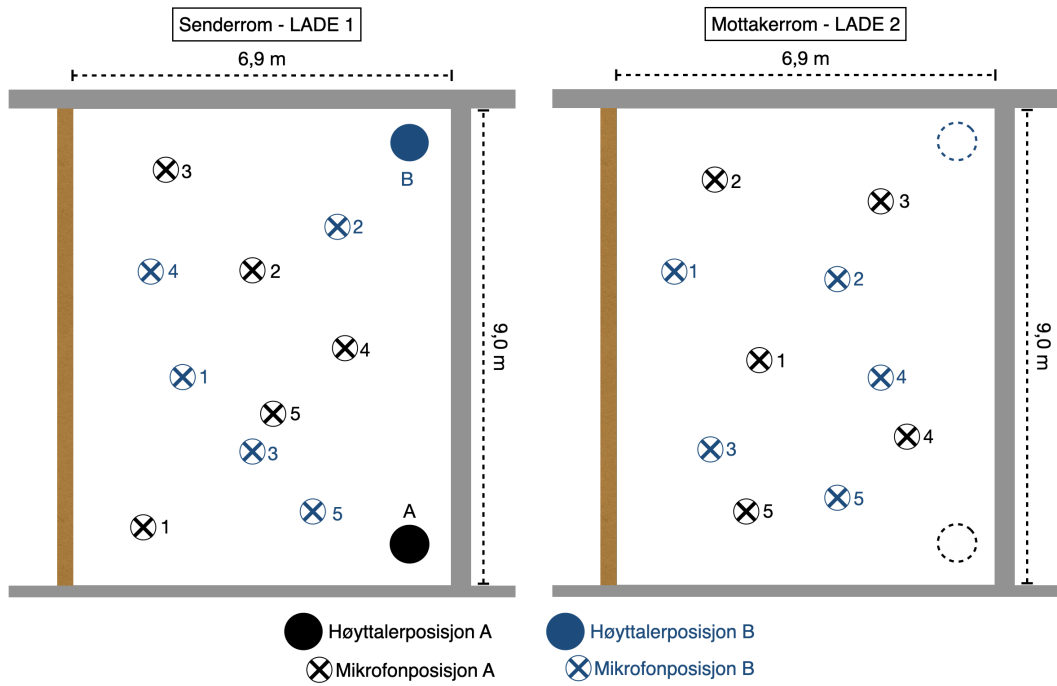
LADE 2
LADE 4

A12/02/3
 100 SOM BOBBI 01.03.2008 A12/02/3
 COGNITIV ANTIKORR 1.4
 100 SOM BOBBI 01.03.2008 A12/02/3

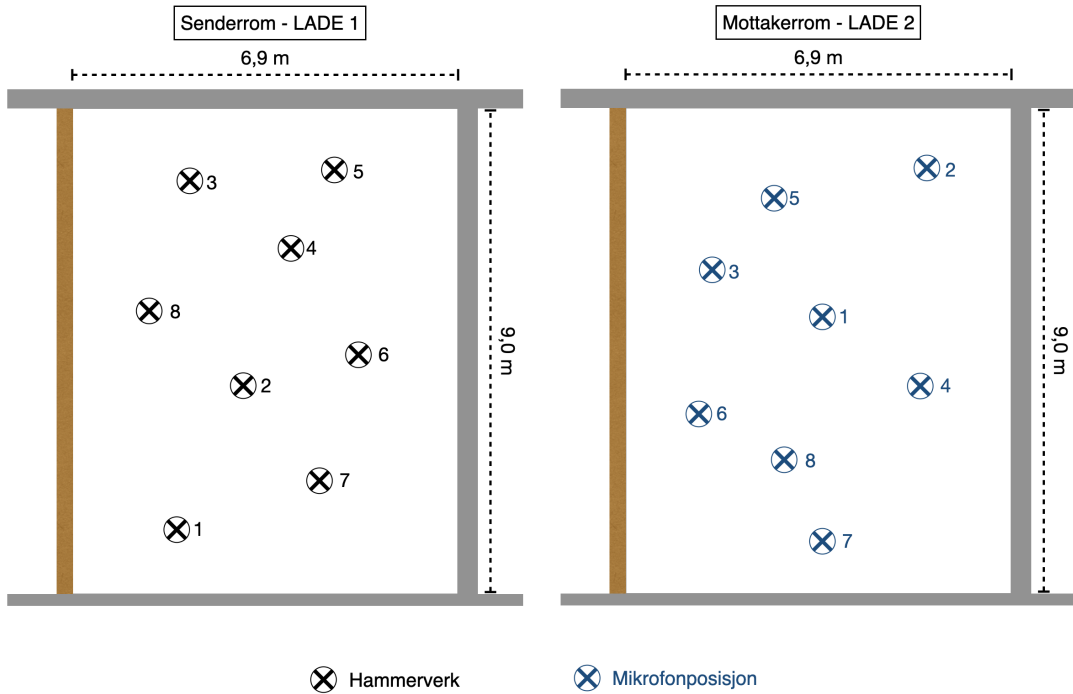
Tillegg C

Eksempel på måleposisjoner

LUFTLYDMÅLING - NS-EN ISO 16283-1



TRINNLydMÅLING - NS-EN ISO 16283-2



Tillegg D

Beregningsmodell

Beregningsmetode etter EN-NS ISO 12354-1

Situasjon: LADE 1-2

Akustiske parametre for KLT-elementene:			
Skilleflate - etasjeskiller [m ²]	=	62,1	KLT-dekke, internt tap, n _j => -0,03
Gulv/vegg - knutepunkt lengde for 1 and 3 [m]	=	9,0	KLT-vegg, internt tap, n _j => -0,03
Gulv/vegg - knutepunkt lengde for 2 and 4 [m]	=	6,9	
For knutepunkt med KLT:			
K _{ij} [dB]	=	F _f 17,6	F _d 10,2
10*log(S _s /l _{ij})	=	8,4	*knutepunkt 1
10*log(S _s /l _{ij})	=	9,5	*knutepunkt 2

Beskrivelse av bygningsdelene:			
Etasjeskiller:			
Materiale	Tykkelse [mm]	*Flatevekt [kg/m ²]	
1	Linoleum		
2	Påstøp	70	192
3	Trinnlydplate	20	5
4	KLT 7-lags	260	135
5	Hulrom	200	systemhimling
6	Trulselment	2x20	20
Vertikal KLT-vegg			
Materiale	Tykkelse [mm]	*Flatevekt [kg/m ²]	
1	KLT	220	105
	Ak-stender m/	25	
	Brønnings	2x15	
	Massivtreplate	20	
* Veggens reduksjonstall er målt, se LADE 5-2			
Bærende vegg-konstruksjoner:			
Type vegg	Tykkelse [mm]	*Flatevekt [kg/m ²]	
2 (Bærende)	Bindingsverk	300	70
3	Bindingsverk	180+63	57
4	SE-stender	100	30

* Flatevekt er estimert fra lignende konstruksjoner på Byggforsk og RR-335

Beregning av direkte transmisjon og flankebidrag, etter metode i NS-EN ISO 12354

Skillekonstruksjon + tilleggskonstruksjon	ISO symbol	Referanse til formel/verdi	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	Rw	
Laboratoriemålt lydreduksjon	R_D, lab	Målt av Hoeller (2017)	31	34	31	32	33	37	39	41	43	43	46	48	52	51	51	53							45
Flatemasse 130->135 kg/m ²	Δ R	Formel 3.6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3		
Endring grunnnet tilleggskonstruksjon på side D	Δ R_D	Formel 2.21-2.23	15	18	23	27	30	34	39	42	47	51	55	58	63	67	70	74							
Direkte lydreduksjon	R_Dd	ISO 12354-1, formel 19	45,9	52,7	54,0	58,9	63,8	71,8	77,9	83,8	89,8	94,0	100,9	106,7	115,0	117,9	121,8	127,8							74

Junntion 1 (X-junntion: KLT-dekke/KLT-skive)	ISO symbol	Referanse til formel/verdi	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	R'w	
Laboratoriemålt lydreduksjon for F1	R_F1, lab	Feltmålt: LADE 5-2	22	23	23	29	34	36	41	44	47	53	56	60	62	67	68	70	71	70	70	74	77		55
Laboratoriemålt lydreduksjon for f1	R_f1, lab	Feltmålt: LADE 5-2	22	23	23	29	34	36	41	44	47	53	56	60	62	67	68	70	71	70	70	74	77		55
M=log(m ² /m ¹)= 0,13	M	Målt av Hoeller (2017)	28	32	32	30	30	30	30	37	39	41	44	43	46	48	52	51	50						
Knutepunkt, K_{ij}																									
Knutepunktstemping, Ff	K_Ff,1	ISO 12354-1, F.3.2	14,9	14,6	14,2	13,9	13,6	13,2	12,9	12,6	12,3	11,9	11,6	11,3	10,9	10,6	10,3	9,9	9,6	9,3	9,0	8,6	8,3		
Knutepunktstemping, Fd	K_Fd,1	ISO 12354-1, F.3.2	14,7	15,0	15,4	15,7	16,0	16,4	16,7	17,0	17,3	17,7	18,0	18,3	18,7	19,0	19,3	19,7	20,0	20,3	20,6	21,0	21,3		
Knutepunktstemping, Df	K_Df,1	ISO 12354-1, F.3.2	14,7	15,0	15,4	15,7	16,0	16,4	16,7	17,0	17,3	17,7	18,0	18,3	18,7	19,0	19,3	19,7	20,0	20,3	20,6	21,0	21,3		
Flankerende lydreduksjonstall																									
Flankerende lydreduksjon for overføring i Ff_1	R_Ff	ISO 12354-1, formel 17	45,3	46,1	45,3	51,0	55,9	57,6	62,1	65,3	67,6	73,3	76,1	79,7	81,1	86,4	86,6	88,6	88,8	88,0	86,9	90,9	93,3		
Flankerende lydreduksjon for overføring i Fd_1	R_Fd	ISO 12354-1, formel 17	45,1	46,5	46,5	52,8	58,3	60,8	65,9	69,7	72,6	79,1	82,5	86,7	88,9	94,8	95,6	98,4	99,2	99,0	98,5	103,3	106,3		
Flankerende lydreduksjon for overføring i Df_1	R_Df	ISO 12354-1, formel 17	45,1	46,5	46,5	52,8	58,3	60,8	65,9	69,7	72,6	79,1	82,5	86,7	88,9	94,8	95,6	98,4	99,2	99,0	98,5	103,3	106,3		
Junntion 1: Flankerende lydreduksjon			40,4	41,6	41,3	47,3	52,6	54,7	59,5	62,9	65,5	71,5	74,5	78,2	79,9	85,3	85,6	87,8	88,1	87,3	86,3	90,4	92,9		

Junntion 2 (T-junntion: KLT-dekke/yttveregg)	ISO symbol	Referanse til formel/verdi	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	Rw	
Laboratoriemålt lydreduksjon for F2	R_F2, lab	Håndbok 28 - Byggforsk	36	35	47	51	51	58	60	60	63	65	66	65	65	65	65	65	64	67	68				59
Laboratoriemålt lydreduksjon for f2	R_f2, lab		36	35	47	51	51	58	60	60	63	65	66	65	65	65	65	65	64	67	68				59
M=log(m ² /m ¹)= 0,29	M	ISO 12354-1, E.3																							
Knutepunkt, K_{ij}																									
Knutepunktstemping, Ff	K_Ff,2	ISO 12354-1, E.3.5	18,1	17,8	17,4	17,1	16,8	16,5	16,1	15,8	15,5	15,1	14,8	14,5	14,1	13,8	13,5	13,2							
Knutepunktstemping, Fd	K_Fd,2	ISO 12354-1, E.3.5	10,6	10,9	11,3	11,6	11,9	12,2	12,6	12,9	13,2	13,6	13,9	14,2	14,6	14,9	15,2	15,5							
Knutepunktstemping, Df	K_Df,2	ISO 12354-1, E.3.5	10,6	10,9	11,3	11,6	11,9	12,2	12,6	12,9	13,2	13,6	13,9	14,2	14,6	14,9	15,2	15,5							
Flankerende lydreduksjonstall																									
Flankerende lydreduksjon for overføring i Ff_2	R_Ff	ISO 12354-1, formel 17	63,6	62,3	74,0	77,7	77,3	84,0	85,7	85,3	88,0	89,7	90,3	89,0	88,7	87,4	90,0	90,7							
Flankerende lydreduksjon for overføring i Fd_2	R_Fd	ISO 12354-1, formel 17	56,1	55,5	67,8	72,1	72,4	79,8	82,1	82,4	85,8	88,1	89,4	88,8	89,1	88,4	91,7	93,1							
Flankerende lydreduksjon for overføring i Df_2	R_Df	ISO 12354-1, formel 17	56,1	55,5	67,8	72,1	72,4	79,8	82,1	82,4	85,8	88,1	89,4	88,8	89,1	88,4	91,7	93,1							
Junntion 2: Flankerende lydreduksjon			52,8	52,0	64,3	68,5	68,8	76,0	78,2	78,4	81,6	83,8	84,9	84,1	84,2	83,3	86,3	87,4							
TOTAL R'w (direct + flanking paths)			43,0	47,7	51,1	55,9	59,7	64,2	69,9	72,6	76,4	78,3	82,0	81,7	82,6	82,0	83,8	83,8							70

Beregningsmetode etter EN-NS ISO 12354-2

Situasjon LADE 1-2

Skillekonstruksjon + tilleggskonstruksjon	Symbol	nse til formel/verdi	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	L'n,w	
Laboratoriemålt lydreduksjon for KLT-dekke	Ln_D, lab	RR 355, m' = 130 kg/m ²	69	71	75	77	80	79	81	82	83	83	82	82	79	76	72	67	61						80
Flatemasse 130->135 kg/m ²	Δ Ln	Formel 3.8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		
Forbedring av trinnlyd på side D	Δ Ln_D	Formel 2.33 f0 = 58 Hz	7,1	10,0	13,2	16,1	19,0	22,0	25,2	28,1	31,1	34,2	37,1	40,0	43,2	46,1	49,0	52,0							
*uten gulvbelegg	Flytende gulv, m' = 168 kg/m ² , s' < 10 MN/m ³ , for f > f0: ΔLn_D = 30 lg(f/f0)																								
Direkte trinnlydnivå	Ln_D		61,4	60,5	61,3	60,4	60,5	56,5	55,3	53,4	51,4	48,3	44,4	38,5	32,3	25,4	17,5	8,5							54
Lydoverføringsvei Df:																									
Knutepunkt, K_{ij}																									
Knutepunktstemping, Df1	K_Df,1	ISO 12354-1, F.3.2	15,7	16,0	16,4	16,7	17,0	17,3	17,7	18,0	18,3	18,7	19,0	19,3	19,7	20,0	20,3	20,6							
Knutepunktstemping, Df2	K_Df,2	ISO 12354-1, E.3.5	10,6	10,9	11,3	11,6	11,9	12,2	12,6	12,9	13,2	13,6	13,9	14,2	14,6	14,9	15,2	15,5							
Flanking Transmission Loss																									
Flankerende trinnlydnivå for overføring i Df1	Ln,Df1	ISO 12354-2, formel 14	41,3	39,6	38,5	38,8	39,1	36,7	32,8	30,5	28,2	23,2	21,0	14,3	8,7	-1,0	-8,7	-16,6							
Flankerende trinnlydnivå for overføring i Df2	Ln,Df2</																								

Forenklet metode ISO 12354-1

Tabell - Input data

Situasjon: LADE 1-2

	Tykkelse [mm]	Rw [dB]	S [m ²]	lij [m]	M	K_Df [dB]	K_Ff [dB]	K_Fd [dB]
Etasjeskiller (D)	260	60 (*)	62,1	-	-	-	-	-
1. Intern vegg (F = f)	220	55 (målt)	35	9	0,11	10,2	17,6	10,2
2. Ekstern vegg (F = f)	300	59 (*)	27	6,9	0,21	6,0	8,9	6,0

Formelgrunnlag	
Rw	Målt verdi eller hentet fra Anvisning 28 (Homb mfl., 1983)
ΔRw	Fra figur D.1 i ISO 12354-1
Kij	Beregnet fra formel F.3.2 og E.3.5 i ISO 12354-1
Resultat	
Gulv	
R_Dd,w	45 + 18 = 63 dB
1. Intern vegg	
R_Ff,w	(55+55)/2 + 17,6 + 8,4 = 81,0 dB
R_Fd,w	(55+55)/2 + 10,2 + 8,4 = 73,6 dB
R_Df,w	(55+55)/2 + 10,2 + 8,4 = 73,6 dB
2. Ekstern vegg	
R_Ff,w	(59+59)/2 + 8,9 + 9,5 = 77,4 dB
R_Fd,w	(59+59)/2 + 6,0 + 9,5 = 74,5 dB
R_Df,w	(59+59)/2 + 6,0 + 9,5 = 74,5 dB
R'w (beregnet) =	62 dB
R'w (feltmålt) =	55 dB
Formelgrunnlag	
Veid lydreduksjonstall for direkte transmisjon: ISO 12354-1, formel 14	
Veid lydreduksjonstall for flanketranmisjon: ISO 12354-1, formel 15/17	
Veid lydreduksjonstall for total transmisjon: ISO 12354-1, formel 18	

*For interne og eksterne vegger som ikke er feltmålt, er Rw hentet fra Byggforsk for lignende konstruksjoner inkludert tilleggskonstruksjoner
 (*) = målt verdi eller hentet fra lignende konstruksjon på Byggforsk

Forenklet metode ISO 12354-2

Tabell - Input data

Situasjon: LADE 1-2

	Tykkelse [mm]	Rw [dB]	S [m ²]	lij [m]	M	K_Df [dB]
Etasjeskiller (D)	260	60 (*)	62,1	-	-	-
Ekstern vegg 1 (f1)	300	59 (*)	27	6,9	0,21	4,0
Intern vegg 1 (f2)	220	55 (målt)	35	9	0,17	1

Formelgrunnlag	
Rw	(*) = målt verdi, beregnet etter masselov-ligning eller fra lignende konstruksjon i Anvisning 28 - Byggforsk
ΔLn,w for flytende gulv	Formel C.4 i ISO 12354-1
Kij	Formel E.3.2 og E.3.3 i ISO 12354-1
Ln for enkelt KLT-element	Hentet fra målinger i Di Bella (2016)
Resultat	
Ln_Dd,w	81 - 36 = 45 dB
Ln_Df1,w	45 + (60-57)/2 - 6,0 - 9,5 = 36,9 dB
Ln_Df2,w	45 + (59-55)/2 - 10,2 - 8,4 = 38,0 dB
Ln'w (beregnet) =	46 dB
Ln'w (feltmålt) =	59 dB
Formelgrunnlag	
Veid normalisert trinnlydnivå for direkte transmisjon: ISO 12354-2, formel 15	
Veid normalisert trinnlydnivå for flanketranmisjon: ISO 12354-2, formel 16	
Totalt trinnlydnivå: ISO 12354-1, formel 18	

For elementer som ikke er feltmålt, er Rw hentet fra Byggforsk for lignende konstruksjoner inkludert tilleggskonstruksjoner
 Påstøp = 168 kg/m² (Lignum)
 s' < 10 (Stora Enso)
 Forbedring av trinnlydnivå for gulvbelegg er ikke inkludert

Tillegg E

Måledata

Måledata - Luftlydmåling av etasjeskiller

Måling: O2 1-2

Frequency			[Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Source	Total	Average Std deviation	[dB]	86,0 5,4	95,8 4,3	95,0 3,8	92,0 3,0	95,0 2,4	99,0 2,3	97,0 2,2	97,3 2,3	96,0 1,2	93,0 1,9	93,0 2,4	91,0 2,3	89,0 1,9	87,3 1,8	90,1 2,1	89,4 1,6	87,6 1,2	88,0 1,8	88,4 1,5	92,4 2,3	94,8 3,0
Source	#A	Average Std deviation	[dB]	86,0 5,9	96,0 5,8	94,0 5,0	91,0 3,4	95,0 2,2	98,2 2,2	97,0 2,7	97,2 2,2	95,0 0,8	93,0 1,9	94,0 3,1	92,0 1,7	89,0 2,3	86,9 1,8	90,1 2,5	88,9 1,9	87,8 1,1	87,8 1,5	88,3 1,7	92,6 2,8	95,1 3,6
Source	#A	#1	[dB]	91,0	96,9	92,0	88,0	93,0	98,5	99,0	100,0	96,0	95,0	96,0	95,0	92,0	88,8	93,3	90,6	89,0	89,5	90,7	96,6	99,9
Source	#A	#2	[dB]	84,0	93,1	95,0	90,0	96,0	99,2	97,0	94,6	94,0	93,0	96,0	93,0	87,0	85,9	88,4	88,7	88,3	88,9	88,4	91,7	93,0
Source	#A	#3	[dB]	79,0	84,9	85,0	86,0	95,0	94,0	96,0	95,4	94,0	90,0	89,0	91,0	88,0	86,2	86,7	85,9	86,6	86,0	87,0	90,2	91,5
Source	#A	#4	[dB]	76,0	92,2	92,0	88,0	95,0	98,1	98,0	96,2	96,0	93,0	91,0	90,0	87,0	84,3	88,8	90,0	88,2	86,8	86,9	89,6	91,6
Source	#A	#5	[dB]	84,0	100,0	98,0	95,0	91,0	99,2	92,0	96,5	95,0	92,0	92,0	93,0	87,0	88,0	90,1	87,8	86,4	86,7	86,9	90,6	91,7
Source	#B	Average Std deviation	[dB]	87,0 5,5	95,5 2,6	95,0 1,8	92,0 2,1	96,0 2,5	99,8 2,3	97,0 1,7	97,3 2,7	96,0 1,3	94,0 2,0	92,0 1,6	90,0 1,9	90,0 1,5	87,7 2,0	90,0 2,0	89,8 1,2	87,4 1,4	88,1 2,2	88,5 1,6	92,1 2,0	94,5 2,7
Source	#B	#1	[dB]	82,0	96,1	94,0	89,0	96,0	95,8	94,0	93,7	94,0	92,0	90,0	88,0	88,0	86,9	90,7	88,6	86,1	86,1	86,8	90,2	92,6
Source	#B	#2	[dB]	77,0	91,8	95,0	91,0	96,0	99,2	97,0	94,8	97,0	92,0	91,0	91,0	91,0	85,1	87,9	88,6	85,7	85,5	87,0	90,5	92,4
Source	#B	#3	[dB]	85,0	96,8	96,0	93,0	94,0	102,0	99,0	98,1	98,0	94,0	94,0	92,0	89,0	86,0	87,6	89,4	87,5	87,0	89,1	91,2	91,8
Source	#B	#4	[dB]	87,0	92,5	97,0	94,0	99,0	99,2	97,0	96,4	96,0	94,0	93,0	88,0	89,0	88,3	89,6	90,6	89,0	88,5	87,9	91,2	93,2
Source	#B	#5	[dB]	91,0	97,6	92,0	94,0	93,0	100,0	97,0	100,0	97,0	97,0	93,0	89,0	92,0	90,1	92,5	91,2	87,9	91,1	90,5	95,2	98,5
Receiving	Total	Average Std deviation	[dB]	56,0 1,7	66,0 2,2	64,0 3,3	54,0 3,0	57,0 3,3	55,1 2,5	51,0 2,4	44,5 1,9	41,0 2,1	39,0 2,7	34,0 1,4	28,0 1,4	25,0 1,9	22,0 1,6	23,4 1,5	23,8 0,9	23,8 1,0	23,3 0,7	23,4 0,7	25,2 1,0	26,2 0,8
Receiving	#A	Average Std deviation	[dB]	56,0 1,6	66,2 1,8	63,0 1,5	52,0 2,9	55,0 3,4	54,6 3,2	51,0 3,1	44,6 2,1	40,0 1,1	41,0 2,4	35,0 1,4	28,0 1,3	24,0 1,4	22,4 1,5	24,4 1,3	24,5 0,6	24,4 0,8	23,3 0,3	23,5 0,2	25,5 1,3	26,4 0,1
Receiving	#A	#1	[dB]	53,0	65,7	65,0	50,0	53,0	55,1	49,0	45,9	40,0	39,0	34,0	29,0	23,0	21,3	24,3	25,1	24,7	23,2	23,3	25,7	26,5
Receiving	#A	#2	[dB]	56,0	66,7	62,0	52,0	57,0	56,5	46,0	46,8	41,0	41,0	35,0	29,0	23,0	23,9	26,0	24,2	24,9	23,4	23,7	27,3	26,3
Receiving	#A	#3	[dB]	56,0	64,1	60,0	52,0	56,0	51,0	52,0	43,7	38,0	37,0	32,0	27,0	26,0	23,5	25,0	24,3	25,2	22,9	23,6	24,3	26,3
Receiving	#A	#4	[dB]	57,0	64,4	63,0	47,0	49,0	49,7	49,0	42,3	39,0	42,0	35,0	27,0	24,0	22,1	23,4	23,7	23,8	23,2	23,5	24,2	26,5
Receiving	#A	#5	[dB]	57,0	68,4	63,0	55,0	53,0	56,7	54,0	42,1	40,0	42,0	36,0	26,0	23,0	20,3	22,8	24,9	23,3	23,8	23,4	25,3	26,6
Receiving	#B	Average Std deviation	[dB]	56,0 2,1	65,9 2,8	64,0 4,7	55,0 2,0	58,0 2,2	55,5 1,4	50,0 1,7	44,5 1,8	42,0 2,4	36,0 0,6	34,0 1,2	29,0 1,5	26,0 1,4	21,5 1,7	22,1 0,6	23,0 0,6	23,1 0,7	23,2 1,0	23,4 0,9	24,8 0,8	25,9 1,1
Receiving	#B	#1	[dB]	53,0	63,5	63,0	52,0	56,0	54,6	52,0	43,4	38,0	36,0	34,0	31,0	27,0	19,1	21,3	22,6	22,4	24,5	23,9	24,4	25,4
Receiving	#B	#2	[dB]	54,0	63,5	66,0	54,0	57,0	55,0	51,0	41,4	41,0	35,0	33,0	28,0	27,0	20,6	22,9	23,9	23,6	23,3	24,6	25,9	25,0
Receiving	#B	#3	[dB]	58,0	66,3	56,0	55,0	60,0	54,6	48,0	45,5	44,0	37,0	33,0	28,0	28,0	22,3	21,6	23,2	22,7	23,4	22,3	25,2	27,8
Receiving	#B	#4	[dB]	54,0	62,8	67,0	55,0	60,0	54,5	49,0	46,0	43,0	37,0	32,0	28,0	24,0	23,4	22,2	22,5	22,5	22,3	22,8	24,1	25,4
Receiving	#B	#5	[dB]	57,0	69,4	59,0	57,0	55,0	57,8	51,0	44,6	43,0	36,0	35,0	30,0	25,0	21,0	22,1	22,8	23,9	22,1	22,8	24,3	25,5
BackgroundN	Total	Average Std deviation	[dB]	19,0 0,0	18,7 1,1	17,0 0,0	12,0 1,8	10,0 2,1	8,3 1,2	15,0 3,2	9,6 2,7	2,3 0,1	1,8 0,4	2,9 0,8	1,6 0,1	1,3 0,1	1,8 0,0	2,6 0,1	3,3 0,0	4,0 0,1	4,7 0,0	5,4 0,1	6,4 0,0	8,0 0,0
BackgroundNoise	#1	[dB]	19,0	17,8	17,0	13,0	11,0	9,1	17,0	11,1	2,2	2,1	2,3	1,5	1,2	1,8	2,5	3,3	3,9	4,7	5,3	6,4	8,0	
BackgroundNoise	#2	[dB]	19,0	19,4	17,0	11,0	8,4	7,4	12,0	7,3	2,3	1,5	3,4	1,6	1,4	1,8	2,6	3,3	4,0	4,7	5,4	6,4	8,0	
Reverberation	Total	Average Std deviation	[s]	0,70 0,10	0,67 0,15	0,60 0,10	0,40 0,10	0,50 0,30	0,37 0,09	0,60 0,10	0,54 0,10	0,60 0,10	0,70 0,10	0,60 0,10	0,60 0,10	0,60 0,10	0,48 0,08	0,39 0,03	0,39 0,05	0,42 0,03	0,44 0,04	0,42 0,03	0,42 0,07	0,40 0,07
Reverberation	#1	[s]	0,70	0,64	0,50	0,50	0,30	0,39	0,40	0,57	0,70	0,70	0,60	0,60	0,50	0,38	0,35	0,46	0,45	0,46	0,37	0,35	0,35	
Reverberation	#2	[s]	0,70	0,72	0,90	0,40	0,20	0,48	0,50	0,69	0,70	0,90	0,60	0,60	0,50	0,35	0,33	0,39	0,47	0,48	0,40	0,27	0,30	
Reverberation	#3	[s]	0,70	0,64	0,60	0,50	0,30	0,31	0,60	0,57	0,60	0,60	0,70	0,70	0,60	0,60	0,38	0,31	0,40	0,47	0,39	0,50	0,42	
Reverberation	#4	[s]	0,80	0,63	0,70	0,40	0,30	0,26	0,40	0,62	0,50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,54	0,40	0,37	0,44	0,41	0,44	0,42	0,38	
Reverberation	#5	[s]	0,90	0,53	0,50	0,40	0,70	0,29	0,70	0,59	0,60	0,70	0,70	0,60	0,60	0,46	0,44	0,42	0,36	0,45	0,49	0,41	0,44	
Reverberation	#6	[s]	0,90	0,56	0,60	0,40	0,80	0,28	0,70	0,53	0,50	0,70	0,60	0,60	0,60	0,43	0,39	0,38	0,40	0,43	0,40	0,47	0,51	
Reverberation	#7	[s]	0,80	0,73	0,50	0,40	1,20	0,35	0,60	0,66	0,60	0,60	0,60	0,70	0,80	0,50	0,42	0,37	0,41	0,40	0,38	0,45	0,47	
Reverberation	#8	[s]	0,80	0,80	0,70	0,30	0,30	0,46	0,50	0,39	0,60	0,70	0,70	0,60	0,60	0,48	0,41	0,43	0,40	0,41	0,40	0,47	0,44	
Reverberation	#9	[s]	0,60	0,54	0,80	0,70	0,30	0,32	0,60	0,56	0,70	0,70	0,80	0,70	0,70	0,52	0,44	0,46	0,46	0,41	0,43	0,46	0,47	
Reverberation	#10	[s]	0,90	1,09	0,70	0,40	0,30	0,36	0,50	0,43	0,70	0,80	0,80	0,60	0,70	0,47	0,37	0,38	0,39	0,51	0,43	0,47	0,44	
Reverberation	#11	[s]	0,60	0,62	0,60	0,40	1,10	0,43	0,60	0,52	0,40	0,50	0,60	0,60	0,50	0,58	0,36	0,29	0,40	0,48	0,45	0,37	0,30	
Reverberation	#12	[s]	0,40	0,58	0,50	0,60	0,40	0,53	0,70	0,35	0,40	0,60	0,70	0,50	0,50	0,47	0,42	0,34	0,42	0,44	0,40	0,38	0,32	

Måling: O2 3-4

Frequency			[Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Source	Total	Average	[dB]	89,0	93,1	92,7	93,6	95,4	97,7	95,6	95,3	93,7	93,5	92,2	89,0	88,1	86,9	88,3	87,9	86,6	86,2	86,9	90,9	92,9
		Std deviation		3,5	3,8	4,9	3,4	2,4	2,1	1,4	1,2	1,8	2,4	1,5	2,0	2,0	1,2	1,4	1,3	1,0	1,6	1,1	0,9	1,4	1,7
Source	#A	Average	[dB]	89,2	93,0	92,1	92,2	94,9	97,0	95,4	95,0	93,4	92,0	92,2	90,1	87,9	86,7	87,8	88,1	86,1	86,0	86,8	90,4	91,7
		Std deviation		4,3	4,7	4,5	3,3	2,7	2,2	1,5	0,8	2,4	1,8	2,0	2,4	1,4	1,7	0,4	1,2	1,5	0,9	0,8	1,1	0,9
Source	#A	#1	[dB]	89,8	94,2	84,1	89,7	96,8	97,0	95,9	95,7	94,4	94,4	93,4	92,9	88,6	86,5	88,4	88,1	85,6	85,6	87,4	90,7	92,4
Source	#A	#2	[dB]	84,6	91,5	95,1	96,6	96,4	99,4	95,6	94,8	93,2	91,9	91,2	91,1	87,6	88,4	87,8	88,4	88,1	87,4	87,5	91,1	92,7
Source	#A	#3	[dB]	91,5	94,6	88,8	88,0	91,7	93,8	95,1	95,1	95,7	91,8	88,9	88,6	86,2	85,3	87,6	86,2	84,0	85,3	86,2	88,5	90,7
Source	#A	#4	[dB]	82,1	83,7	91,0	90,7	95,4	97,7	96,8	93,7	89,5	90,0	93,9	87,8	89,5	87,8	87,3	87,8	86,2	85,4	87,1	91,1	91,7
Source	#A	#5	[dB]	91,3	94,6	94,3	89,6	91,2	95,0	92,8	95,6	91,6	90,2	91,7	87,4	86,5	84,2	87,9	89,4	85,8	85,8	85,6	90,2	90,8
Source	#B	Average	[dB]	88,8	93,2	93,2	94,7	95,8	98,3	95,7	95,6	94,0	94,6	92,3	87,5	88,4	87,2	88,8	87,7	87,0	86,5	87,0	91,3	93,9
		Std deviation		3,2	3,1	5,9	2,9	2,2	2,0	1,5	1,6	1,0	2,4	1,0	0,8	0,9	1,0	0,8	1,8	1,4	1,1	1,7	1,9	
Source	#B	#1	[dB]	88,7	88,4	83,0	93,9	95,9	99,1	95,8	93,2	92,6	93,6	91,5	87,0	89,2	86,7	88,1	86,6	85,0	84,7	85,5	88,9	93,1
Source	#B	#2	[dB]	89,1	90,3	93,7	96,1	94,8	95,1	95,2	94,7	95,3	91,2	91,8	88,0	89,4	86,9	85,9	87,1	86,7	85,1	86,6	89,9	90,9
Source	#B	#3	[dB]	82,6	92,8	95,2	96,8	97,2	100,3	93,7	95,6	93,7	92,9	92,1	87,6	87,3	85,7	88,9	88,4	88,9	86,8	87,1	91,3	93,1
Source	#B	#4	[dB]	90,3	94,9	86,2	89,3	97,3	97,3	94,9	95,6	93,6	97,8	91,9	86,3	88,1	88,1	91,1	88,5	84,8	87,8	88,5	93,3	95,8
Source	#B	#5	[dB]	90,0	95,8	96,3	94,1	91,9	98,0	97,9	97,7	94,4	94,4	93,9	88,3	87,6	88,0	88,3	87,7	88,1	87,2	86,7	91,7	94,8
Receiving	Total	Average	[dB]	59,0	59,5	58,0	56,6	56,0	57,5	49,3	41,7	39,6	39,4	31,9	26,0	24,4	19,7	21,9	21,4	20,6	20,8	21,4	25,7	25,0
		Std deviation		6,2	5,2	4,2	2,2	3,0	3,6	2,0	1,5	1,6	2,1	1,2	1,4	1,6	1,6	1,6	0,7	0,7	0,7	1,0	1,3	0,6
Receiving	#A	Average	[dB]	58,7	59,6	58,5	56,8	56,7	59,4	49,3	42,3	39,4	40,4	31,9	26,0	23,2	18,8	20,4	20,9	20,2	20,8	21,3	26,7	24,9
		Std deviation		4,4	5,0	4,3	1,9	1,3	2,1	1,8	1,6	1,6	2,2	1,0	1,8	1,2	1,2	0,6	0,3	0,6	0,7	1,0	0,6	0,5
Receiving	#A	#1	[dB]	59,2	61,4	53,4	54,4	55,0	59,3	48,7	41,7	41,2	37,4	32,2	26,8	24,0	20,0	20,2	20,9	21,1	21,0	21,7	26,5	25,4
Receiving	#A	#2	[dB]	52,6	55,2	61,9	54,9	58,5	60,6	48,2	42,8	39,5	42,5	31,7	22,6	23,2	17,6	19,7	21,3	20,0	20,2	21,4	26,2	25,3
Receiving	#A	#3	[dB]	62,6	60,8	58,3	57,7	56,9	57,9	46,7	39,4	39,9	41,4	32,0	26,4	21,4	17,4	21,3	20,6	19,8	20,3	20,3	26,0	24,4
Receiving	#A	#4	[dB]	52,7	50,5	51,9	59,0	55,7	61,4	50,0	43,3	37,6	40,4	30,1	25,9	24,4	19,6	20,2	21,0	19,8	20,3	20,0	27,4	24,5
Receiving	#A	#5	[dB]	58,6	61,8	59,8	56,3	56,6	56,1	51,4	43,2	37,5	38,0	32,9	27,0	22,2	18,7	20,2	20,9	20,4	21,8	22,5	27,0	24,8
Receiving	#B	Average	[dB]	59,3	59,4	57,4	56,3	55,0	54,1	49,3	41,1	39,8	38,2	31,9	26,0	25,3	20,5	23,1	21,7	20,9	20,7	21,5	24,5	25,1
		Std deviation		8,1	6,0	4,4	2,6	3,7	2,3	2,3	1,2	1,7	1,6	1,4	1,1	1,2	1,6	1,0	0,8	0,7	0,9	1,1	0,6	0,8
Receiving	#B	#1	[dB]	57,9	57,4	53,0	57,8	51,8	53,9	47,0	39,7	37,3	37,8	32,6	27,2	26,8	22,8	22,1	22,1	20,8	21,2	20,6	23,5	25,2
Receiving	#B	#2	[dB]	53,8	55,4	61,0	53,6	56,0	51,9	49,9	42,2	41,0	39,1	30,9	25,3	23,7	19,2	24,6	22,6	21,6	21,4	22,1	24,7	25,6
Receiving	#B	#3	[dB]	63,7	60,3	51,9	56,7	58,0	54,7	48,7	41,3	40,5	39,6	33,1	25,0	24,5	20,0	23,0	20,8	19,7	19,2	20,0	24,4	24,1
Receiving	#B	#4	[dB]	42,7	47,7	52,4	58,2	55,3	56,6	46,3	41,9	40,9	35,5	29,8	25,0	24,9	18,8	22,6	21,9	21,1	20,7	22,0	24,8	24,5
Receiving	#B	#5	[dB]	60,3	63,7	59,8	52,3	48,7	50,8	52,1	39,6	38,3	37,7	32,5	26,8	26,1	20,6	22,6	21,0	21,0	20,9	22,4	25,1	25,9
BackgroundN	Total	Average	[dB]	22,7	22,8	21,0	20,5	16,6	20,2	19,7	13,1	7,8	8,5	7,1	3,7	3,4	2,2	2,7	3,5	4,1	4,7	5,6	6,6	10,8
		Std deviation		2,1	0,0	4,6	1,9	2,1	0,4	2,0	2,5	0,9	2,4	0,6	0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3
BackgroundNoise	#1	[dB]		23,9	22,8	16,6	18,9	14,9	20,5	18,1	11,0	8,4	6,5	7,5	3,6	3,1	2,0	2,6	3,4	4,0	4,6	5,5	6,6	10,6
BackgroundNoise	#2	[dB]		20,9	22,8	23,1	21,6	17,8	19,9	20,9	14,5	7,1	9,9	6,6	3,8	3,7	2,3	2,7	3,6	4,1	4,8	5,6	6,5	11,0
Reverberation	Total	Average	[s]	0,81	0,74	0,62	0,44	0,39	0,39	0,56	0,60	0,66	0,70	0,73	0,78	0,62	0,46	0,41	0,46	0,50	0,49	0,47	0,50	0,49
		Std deviation		0,11	0,11	0,16	0,09	0,09	0,13	0,05	0,08	0,13	0,08	0,09	0,09	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08
Reverberation	#1	[s]		0,92	0,82	0,40	0,44	0,30	0,26	0,52	0,52	0,43	0,71	0,59	0,70	0,57	0,49	0,32	0,39	0,50	0,41	0,44	0,40	0,43
Reverberation	#2	[s]		0,96	0,74	0,39	0,35	0,57	0,45	0,47	0,57	0,53	0,67	0,58	0,66	0,66	0,40	0,33	0,39	0,56	0,47	0,44	0,42	0,41
Reverberation	#3	[s]		0,85	0,75	0,64	0,30	0,34	0,53	0,58	0,69	0,47	0,74	0,82	0,90	0,67	0,48	0,42	0,47	0,51	0,47	0,46	0,57	0,57
Reverberation	#4	[s]		0,74	0,83	0,68	0,36	0,40	0,60	0,65	0,64	0,63	0,75	0,76	0,89	0,67	0,52	0,45	0,50	0,55	0,50	0,50	0,50	0,53
Reverberation	#5	[s]		0,70	0,50	0,67	0,55	0,31	0,24	0,51	0,59	0,63	0,70	0,69	0,79	0,63	0,45	0,44	0,40	0,51	0,53	0,50	0,57	0,50
Reverberation	#6	[s]		0,77	0,69	0,45	0,38	0,33	0,48	0,57	0,55	0,74	0,75	0,71	0,79	0,66	0,38	0,45	0,47	0,48	0,53	0,52	0,52	0,52
Reverberation	#7	[s]		0,88	0,92	0,96	0,53	0,49	0,39	0,61	0,56	0,60	0,48	0,80	0,89	0,50	0,46	0,42	0,46	0,50	0,50	0,52	0,56	0,57
Reverberation	#8	[s]		0,99	0,86	0,65	0,55	0,37	0,29	0,51	0,67	0,75	0,62	0,79	0,80	0,60	0,46	0,43	0,47	0,52	0,46	0,43	0,59	0,57
Reverberation	#9	[s]		0,75	0,68	0,67	0,49	0,32	0,22	0,60	0,53	0,74	0,74	0,70	0,75	0,65	0,39	0,39	0,43	0,42	0,52	0,51	0,55	0,52
Reverberation	#10	[s]		0,66	0,64	0,69	0,54	0,34	0,53	0,55	0,50	0,76	0,67	0,87	0,64	0,64	0,49	0,41	0,46	0,43	0,54	0,48	0,52	0,51
Reverberation	#11	[s]		0,67	0,69	0,55	0,36	0,42	0,31	0,53	0,60	0,75	0,78	0,74	0,73	0,56	0,50	0,38	0,48	0,50	0,46	0,41	0,43	0,34
Reverberation	#12	[s]		0,83	0,70	0,74	0,41	0,51	0,39	0,56	0,79	0,84	0,78	0,76	0,77	0,58	0,51	0,46	0,55	0,55	0,43	0,44	0,37	0,35

Måling: ZEB 1-2

Frequency			[Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Source	Total	Average	[dB]	90,0	91,1	94,4	89,5	91,8	95,6	99,3	98,8	96,1	92,1	90,4	87,3	85,5	82,6	86,4	86,0	84,6	84,4	85,3	88,1	90,8
		Std deviation		4,8	3,4	4,1	4,4	3,8	2,4	2,9	3,4	2,0	1,5	2,3	1,6	1,3	1,2	2,6	2,7	2,5	2,9	3,7	2,6	2,7
Source	#A	Average	[dB]	90,5	91,0	94,8	90,2	91,9	94,7	98,5	98,8	95,7	92,0	91,3	87,3	85,3	82,6	86,8	86,4	84,9	83,9	85,1	88,2	90,6
		Std deviation		4,0	2,5	4,5	5,3	4,1	2,6	3,0	3,7	1,8	1,4	2,6	0,9	0,9	1,3	2,9	3,1	2,8	2,9	3,3	2,7	2,6
Source	#A	#1	[dB]	89,2	87,7	87,5	84,8	90,6	95,5	99,9	92,2	94,3	91,7	90,1	87,6	85,9	80,8	85,7	82,9	83,1	82,6	85,3	88,6	91,1
Source	#A	#2	[dB]	91,2	88,5	90,5	84,9	88,1	90,1	93,7	99,3	96,0	93,2	89,9	86,8	84,4	81,7	82,3	82,8	81,3	78,9	79,1	83,6	85,9
Source	#A	#3	[dB]	83,4	92,3	97,9	94,3	92,0	94,4	95,7	96,9	98,0	92,9	87,2	87,7	84,1	84,1	85,3	85,8	84,7	82,9	84,2	87,7	89,8
Source	#A	#4	[dB]	94,1	90,3	91,7	82,1	85,1	93,8	99,1	102,4	95,2	89,8	93,6	85,9	85,7	82,4	86,0	85,6	82,9	85,0	84,4	87,3	90,6
Source	#A	#5	[dB]	88,2	93,5	97,5	92,5	96,1	96,9	100,6	97,3	93,2	91,4	93,0	88,1	86,0	83,3	90,4	90,3	88,6	86,7	88,3	90,9	93,0
Source	#B	Average	[dB]	89,3	91,3	94,0	88,7	91,6	96,4	99,9	98,8	96,4	92,2	89,2	87,2	85,7	82,6	86,1	85,6	84,2	84,9	85,4	88,0	90,9
		Std deviation		5,7	4,5	4,1	3,9	3,8	2,1	3,1	3,5	2,4	1,7	1,7	2,2	1,8	1,3	2,5	2,6	2,4	3,2	4,3	2,9	3,0
Source	#B	#1	[dB]	91,9	89,3	90,6	83,4	89,3	92,9	95,7	99,9	98,1	92,0	90,1	85,4	82,8	81,4	84,1	83,0	81,1	80,8	79,3	85,0	87,2
Source	#B	#2	[dB]	91,1	88,4	87,3	83,2	86,2	95,9	102,2	99,5	93,4	89,4	90,4	84,0	85,4	81,7	84,5	86,0	84,1	82,8	82,5	85,6	88,8
Source	#B	#3	[dB]	90,8	95,7	96,5	89,1	96,4	96,2	96,0	99,6	98,6	94,2	89,5	89,9	87,8	84,4	89,8	88,8	87,2	89,1	90,6	91,9	95,0
Source	#B	#4	[dB]	79,7	90,9	96,9	91,8	88,8	98,8	100,0	91,7	93,9	92,4	86,3	87,0	85,9	83,0	83,9	84,4	83,8	83,9	82,2	87,7	89,7
Source	#B	#5	[dB]	82,3	83,3	92,0	89,6	89,3	96,4	101,7	99,2	95,5	91,7	88,3	87,5	85,3	81,6	84,7	82,2	81,9	82,3	81,6	85,5	88,8
Receiving	Total	Average	[dB]	60,9	62,2	63,4	62,4	65,6	62,3	51,9	48,0	41,5	37,2	33,4	28,7	22,9	18,7	20,8	19,3	17,3	15,8	14,0	14,4	14,9
		Std deviation		3,9	2,9	1,7	3,6	2,9	3,6	1,9	2,6	1,8	1,9	1,6	1,5	1,8	1,5	1,1	1,7	1,0	1,2	1,1	1,3	1,3
Receiving	#A	Average	[dB]	60,0	61,3	63,7	63,8	66,0	63,3	51,7	48,5	40,9	37,5	33,4	29,4	22,9	18,2	20,6	18,6	17,6	16,4	13,7	14,4	14,4
		Std deviation		4,1	2,8	2,4	3,0	3,6	4,9	1,5	3,2	1,0	2,1	1,6	1,6	1,5	1,5	1,2	2,0	1,3	1,5	1,0	1,5	1,1
Receiving	#A	#1	[dB]	56,5	59,9	61,8	59,7	62,4	56,1	50,3	47,5	41,1	39,1	32,9	31,0	24,4	20,3	21,7	20,7	19,6	16,1	14,9	15,3	15,0
Receiving	#A	#2	[dB]	57,7	56,9	61,0	63,3	62,2	63,7	51,5	49,2	39,0	35,7	32,9	28,1	23,3	17,8	19,8	17,1	17,1	16,4	13,2	14,0	13,7
Receiving	#A	#3	[dB]	62,9	64,5	61,9	67,6	70,0	67,6	53,7	42,5	40,9	36,0	31,2	29,9	20,2	17,4	19,7	15,6	16,2	14,5	12,1	11,9	12,7
Receiving	#A	#4	[dB]	53,5	59,6	64,3	63,1	66,8	62,5	52,0	48,6	41,5	39,5	35,7	29,7	22,8	18,3	21,8	19,4	16,7	18,4	14,0	15,8	15,5
Receiving	#A	#5	[dB]	62,6	62,0	66,8	61,0	62,2	56,8	49,9	50,9	41,5	35,1	32,8	27,1	22,6	16,1	19,1	18,4	17,4	15,4	13,7	13,8	14,5
Receiving	#B	Average	[dB]	61,6	62,9	62,9	60,2	65,2	61,0	52,1	47,6	42,0	36,9	33,5	27,8	23,0	19,1	21,1	20,0	16,9	15,2	14,4	14,4	15,4
		Std deviation		4,1	2,9	0,9	3,3	2,4	2,4	2,2	2,5	2,0	1,7	1,2	2,2	1,4	1,0	0,9	0,7	0,7	1,1	1,2	1,5	
Receiving	#B	#1	[dB]	66,1	65,9	62,1	56,1	63,1	62,4	49,5	48,9	43,6	38,8	34,0	29,1	25,3	19,7	21,5	20,1	17,7	14,4	13,7	15,0	15,9
Receiving	#B	#2	[dB]	56,6	58,0	62,3	62,9	66,8	59,4	53,5	45,2	38,4	34,2	31,6	27,3	24,3	19,8	20,1	20,3	16,8	15,5	15,4	14,6	15,4
Receiving	#B	#3	[dB]	57,0	63,5	64,2	62,6	67,6	63,5	51,3	45,3	44,0	34,9	31,4	27,8	20,4	17,6	20,0	20,3	16,2	14,5	13,3	12,6	13,7
Receiving	#B	#4	[dB]	57,7	61,0	63,4	56,6	63,4	59,8	49,1	46,3	39,5	36,4	33,9	28,4	22,3	20,3	21,2	20,4	17,4	16,0	15,5	15,7	17,2
Receiving	#B	#5	[dB]	62,1	62,6	62,3	57,7	62,3	57,5	54,4	49,9	41,9	38,2	35,4	26,0	20,7	17,4	22,3	18,4	16,3	15,4	13,5	13,6	13,9
BackgroundN	Total	Average	[dB]	38,2	29,5	26,3	26,8	27,5	24,1	23,6	17,8	11,6	11,0	8,1	4,7	3,0	4,6	4,0	4,3	4,5	5,1	5,8	6,7	8,4
		Std deviation		4,5	0,9	3,0	0,3	0,4	0,6	1,6	1,0	0,8	1,8	1,0	0,0	0,3	1,1	1,0	1,1	0,6	0,4	0,4	0,1	0,4
BackgroundNoise	#1	[dB]		33,9	28,9	27,9	27,0	27,2	23,6	24,6	17,0	11,0	9,5	8,7	4,7	3,2	5,3	4,6	5,0	4,9	5,4	6,0	6,7	8,1
BackgroundNoise	#2	[dB]		40,3	30,1	23,6	26,6	27,7	24,5	22,3	18,4	12,1	12,1	7,3	4,7	2,8	3,7	3,2	3,5	4,0	4,8	5,5	6,6	8,6
Reverberation	Total	Average	[s]	0,63	0,60	0,51	0,55	0,37	0,34	0,39	0,32	0,26	0,25	0,24	0,26	0,28	0,25	0,27	0,29	0,27	0,24	0,20	0,20	
		Std deviation		0,19	0,12	0,10	0,09	0,10	0,10	0,08	0,11	0,04	0,05	0,04	0,06	0,05	0,04	0,06	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,06
Reverberation	#1	[s]		0,36	0,50	0,74	0,67	0,35	0,48	0,48	0,17	0,30	0,28	0,23	0,21	0,15	0,26	0,25	0,23	0,23	0,20	0,20	0,18	0,20
Reverberation	#2	[s]		0,21	0,58	0,47	0,45	0,42	0,52	0,48	0,25	0,19	0,30	0,27	0,19	0,28	0,29	0,28	0,33	0,33	0,25	0,20	0,21	0,21
Reverberation	#3	[s]		0,71	0,54	0,54	0,64	0,35	0,33	0,37	0,36	0,33	0,18	0,34	0,28	0,30	0,36	0,30	0,32	0,29	0,30	0,23	0,18	0,20
Reverberation	#4	[s]		0,65	0,81	0,40	0,60	0,45	0,34	0,45	0,42	0,24	0,23	0,31	0,30	0,29	0,28	0,29	0,27	0,32	0,29	0,23	0,18	0,17
Reverberation	#5	[s]		0,77	0,38	0,51	0,49	0,57	0,40	0,41	0,50	0,27	0,32	0,23	0,33	0,29	0,26	0,31	0,33	0,26	0,26	0,31	0,30	0,27
Reverberation	#6	[s]		0,64	0,66	0,43	0,62	0,52	0,30	0,32	0,44	0,19	0,31	0,23	0,30	0,30	0,31	0,33	0,25	0,29	0,28	0,34	0,27	0,32
Reverberation	#7	[s]		0,81	0,57	0,59	0,36	0,25	0,27	0,22	0,27	0,22	0,26	0,24	0,19	0,23	0,25	0,14	0,24	0,32	0,30	0,22	0,18	0,16
Reverberation	#8	[s]		0,54	0,66	0,48	0,47	0,32	0,27	0,35	0,28	0,30	0,18	0,22	0,20	0,33	0,27	0,17	0,21	0,30	0,29	0,20	0,16	0,18
Reverberation	#9	[s]		0,66	0,60	0,41	0,53	0,31	0,44	0,39	0,29	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,33	0,23	0,24	0,30	0,20	0,22	0,21	0,23
Reverberation	#10	[s]		0,85	0,51	0,56	0,60	0,26	0,29	0,33	0,37	0,29	0,15	0,26	0,29	0,27	0,24	0,20	0,28	0,27	0,25	0,22	0,21	0,21
Reverberation	#11	[s]		0,79	0,55	0,58	0,62	0,29	0,19	0,47	0,14	0,26	0,24	0,24	0,20	0,27	0,26	0,19	0,23	0,31	0,31	0,22	0,16	0,12
Reverberation	#12	[s]		0,60	0,78	0,44	0,49	0,30	0,24	0,43	0,33	0,24	0,26	0,19	0,17	0,17	0,25	0,25	0,27	0,30	0,27	0,23	0,18	0,14

Måling: ZEB 3-4

Frequency			[Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Source	Total	Average	[dB]	84,6	92,4	93,2	92,5	96,1	99,3	98,4	99,1	99,0	99,0	99,0	96,8	95,2	93,6	95,1	95,8	93,9	92,9	93,1	95,7	97,8
		Std deviation		3,2	4,8	3,6	4,3	4,2	3,6	2,1	1,7	1,7	1,8	1,0	1,0	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,7
Source	#A	Average	[dB]	85,0	92,0	92,9	91,0	95,4	97,0	98,4	99,8	99,5	99,0	99,1	97,0	95,2	93,4	95,2	95,8	94,0	92,8	93,1	95,7	97,7
		Std deviation		3,3	3,6	3,9	3,6	3,7	3,2	2,2	1,6	1,7	0,8	0,7	0,9	0,3	0,6	0,4	0,6	0,6	0,5	0,8	1,0	0,9
Source	#A	#1	[dB]	78,4	84,3	86,6	88,6	90,6	93,6	99,6	101,2	99,7	98,0	98,9	97,3	94,9	93,4	95,4	95,8	94,2	92,5	92,3	94,8	97,2
Source	#A	#2	[dB]	85,7	91,2	88,7	89,3	93,0	92,8	93,9	98,9	98,2	99,0	99,6	97,5	95,1	93,0	95,1	94,8	93,7	92,2	91,9	94,1	96,2
Source	#A	#3	[dB]	83,3	90,7	89,7	85,6	90,1	95,8	99,4	100,0	98,2	98,5	98,5	97,0	94,9	92,9	95,6	95,7	93,8	92,8	93,9	96,6	98,6
Source	#A	#4	[dB]	87,5	93,7	94,0	87,8	96,6	97,5	98,5	99,8	100,7	98,9	98,7	96,6	95,4	94,2	95,6	96,6	93,5	92,9	93,5	96,5	98,1
Source	#A	#5	[dB]	83,6	93,1	92,8	88,9	94,0	93,8	99,2	100,8	101,6	98,8	98,4	95,3	95,7	92,8	94,9	95,8	93,7	92,4	92,9	95,5	97,5
Source	#A	#6	[dB]	86,5	93,8	97,2	96,2	99,8	101,4	97,5	96,7	97,0	100,3	100,2	98,0	95,2	94,0	94,8	95,9	95,1	93,6	93,6	96,0	98,4
Source	#B	Average	[dB]	84,1	92,8	93,6	93,8	96,9	101,0	98,5	98,1	98,2	99,1	98,9	96,4	95,1	93,9	94,9	95,7	93,8	93,1	93,1	95,8	97,8
		Std deviation		3,5	6,4	3,6	5,1	5,2	2,2	2,2	1,4	1,5	2,6	1,3	1,1	1,1	0,9	0,8	0,6	0,7	0,7	0,7	0,5	0,6
Source	#B	#1	[dB]	86,2	94,5	96,4	95,7	99,8	100,5	96,2	98,3	96,7	101,5	100,7	97,7	94,4	94,3	94,4	96,3	94,0	93,2	92,9	96,0	97,9
Source	#B	#2	[dB]	86,9	93,4	95,3	97,6	99,9	100,0	98,5	98,7	99,6	100,2	98,9	96,9	97,0	95,0	96,2	96,4	94,2	94,1	94,3	96,2	98,2
Source	#B	#3	[dB]	81,3	91,8	88,1	84,7	93,3	104,2	101,2	98,1	99,6	98,9	98,9	95,1	94,4	92,9	94,6	95,2	94,1	92,7	92,9	96,2	98,3
Source	#B	#4	[dB]	78,5	79,5	89,7	91,4	87,5	98,4	98,5	95,5	96,9	94,8	97,5	95,3	94,7	93,7	94,0	95,1	92,5	92,3	92,6	95,1	97,3
Source	#B	#5	[dB]	82,6	94,8	93,0	89,3	93,8	99,3	95,6	98,9	96,9	97,1	97,6	96,5	94,4	93,2	94,8	95,4	94,1	92,8	92,8	95,4	97,0
Receiving	Total	Average	[dB]	67,8	60,2	61,2	58,0	60,7	58,4	56,8	50,4	48,4	43,5	39,8	34,6	29,4	26,9	28,5	25,2	22,3	19,4	17,0	14,8	13,4
		Std deviation		8,0	3,7	3,0	3,1	2,8	2,4	1,9	1,5	1,2	1,1	1,0	0,8	0,5	0,5	0,4	0,7	0,8	0,5	0,6	1,0	0,9
Receiving	#A	#1	[dB]	72,2	63,1	63,1	58,6	56,7	58,7	54,2	51,3	49,3	43,8	40,2	36,5	30,0	27,3	29,1	25,7	23,9	19,3	16,7	13,7	12,1
Receiving	#A	#2	[dB]	68,0	57,6	61,1	61,9	60,6	58,1	56,0	47,9	46,5	44,1	40,3	35,0	28,9	26,5	28,5	24,5	21,9	19,1	17,4	15,5	14,3
Receiving	#A	#3	[dB]	56,4	52,1	63,3	61,1	61,0	57,4	54,8	50,1	48,4	43,2	39,2	34,1	29,8	26,3	28,3	24,1	21,0	18,3	16,6	14,1	13,1
Receiving	#A	#4	[dB]	51,2	60,2	62,9	57,2	58,0	58,6	55,2	48,7	47,6	44,4	40,7	34,1	28,4	27,4	28,6	25,0	22,8	19,6	16,6	13,7	12,4
Receiving	#A	#5	[dB]	71,3	59,9	57,9	52,1	57,7	63,1	54,8	49,3	48,3	44,5	40,6	34,3	29,6	27,3	28,9	25,1	22,3	19,0	16,0	13,5	12,9
Receiving	#B	#1	[dB]	70,4	59,5	60,7	53,6	63,0	56,1	60,5	49,7	46,3	43,2	40,8	35,0	29,3	26,0	28,6	25,9	22,7	19,6	18,2	15,8	13,4
Receiving	#B	#2	[dB]	65,1	64,1	62,2	57,9	62,7	58,6	57,5	52,2	48,4	43,6	39,4	33,8	29,0	27,3	28,4	24,8	21,9	19,5	17,2	16,6	15,0
Receiving	#B	#3	[dB]	58,2	54,0	54,6	55,5	57,5	55,4	57,7	51,7	49,0	43,3	39,8	34,5	29,8	26,4	28,3	25,5	21,4	20,1	17,4	14,9	14,0
Receiving	#B	#4	[dB]	53,3	60,4	62,1	56,8	57,7	55,3	56,4	48,9	48,6	40,5	38,5	34,1	29,5	26,6	27,5	24,7	22,3	19,5	17,1	14,3	13,2
Receiving	#B	#5	[dB]	69,2	58,8	56,7	55,6	64,4	55,5	56,9	51,5	49,9	43,3	38,0	34,3	29,8	27,2	28,5	26,1	22,6	19,6	16,6	14,5	13,0
BackgroundN	Total	Average	[dB]	40,7	32,1	29,2	25,7	26,8	23,1	18,9	19,4	10,2	7,9	5,1	4,8	6,0	7,2	4,3	4,1	4,0	5,0	5,5	6,5	7,7
		Std deviation		9,1	0,6	1,6	1,7	1,4	1,6	0,3	0,3	1,1	0,3	0,1	1,0	0,7	1,5	0,6	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
BackgroundNoise	#1	[dB]	43,5	31,7	28,0	26,7	27,7	24,1	19,1	16,7	9,4	8,1	5,1	4,0	5,5	6,0	3,8	4,3	4,1	5,0	5,5	6,5	7,7	
BackgroundNoise	#2	[dB]	30,7	32,5	30,2	24,3	25,7	21,8	18,7	21,1	10,9	7,7	5,0	5,4	6,5	8,1	4,7	3,8	3,9	4,9	5,4	6,4	7,6	
Reverberation	Total	Average	[s]	1,07	0,97	0,58	0,58	0,47	0,57	0,54	0,45	0,37	0,39	0,46	0,47	0,47	0,47	0,46	0,50	0,54	0,52	0,51	0,50	0,48
		Std deviation		0,14	0,17	0,10	0,07	0,06	0,15	0,13	0,05	0,06	0,08	0,05	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03
Reverberation	#1	[s]	1,08	0,86	0,70	0,67	0,42	0,66	0,59	0,48	0,44	0,45	0,56	0,48	0,47	0,50	0,46	0,50	0,54	0,51	0,53	0,50	0,52	
Reverberation	#2	[s]	1,06	1,03	0,52	0,60	0,52	0,73	0,50	0,46	0,46	0,50	0,49	0,42	0,51	0,54	0,45	0,44	0,50	0,55	0,52	0,52	0,46	
Reverberation	#3	[s]	1,02	1,07	0,74	0,62	0,42	0,51	0,39	0,44	0,39	0,37	0,44	0,42	0,33	0,43	0,35	0,57	0,54	0,53	0,47	0,42	0,46	
Reverberation	#4	[s]	1,11	0,72	0,57	0,62	0,54	0,54	0,41	0,35	0,27	0,28	0,43	0,50	0,49	0,53	0,54	0,48	0,55	0,56	0,52	0,52	0,46	
Reverberation	#5	[s]	1,10	1,13	0,65	0,50	0,48	0,72	0,46	0,45	0,32	0,41	0,42	0,43	0,43	0,50	0,47	0,47	0,57	0,49	0,49	0,51	0,49	
Reverberation	#6	[s]	1,16	1,13	0,70	0,64	0,55	0,51	0,66	0,50	0,35	0,39	0,56	0,47	0,52	0,38	0,52	0,50	0,51	0,50	0,50	0,48	0,44	
Reverberation	#7	[s]	0,83	0,76	0,47	0,45	0,53	0,38	0,42	0,39	0,32	0,46	0,47	0,47	0,54	0,42	0,46	0,57	0,50	0,52	0,50	0,48	0,47	
Reverberation	#8	[s]	0,88	0,89	0,49	0,48	0,39	0,21	0,51	0,41	0,46	0,37	0,41	0,43	0,53	0,42	0,43	0,50	0,49	0,50	0,49	0,49	0,48	
Reverberation	#9	[s]	1,21	0,77	0,45	0,65	0,53	0,67	0,41	0,50	0,36	0,20	0,42	0,51	0,43	0,53	0,43	0,53	0,60	0,54	0,52	0,54	0,52	
Reverberation	#10	[s]	1,21	0,95	0,50	0,53	0,48	0,55	0,62	0,45	0,28	0,37	0,48	0,51	0,47	0,46	0,41	0,55	0,58	0,54	0,54	0,48	0,44	
Reverberation	#11	[s]	1,26	1,25	0,59	0,58	0,43	0,65	0,75	0,50	0,39	0,47	0,41	0,52	0,50	0,43	0,51	0,48	0,57	0,53	0,52	0,53	0,50	
Reverberation	#12	[s]	0,91	1,13	0,60	0,62	0,38	0,70	0,72	0,47	0,35	0,38	0,42	0,45	0,45	0,47	0,51	0,46	0,51	0,52	0,53	0,52	0,50	

Måling: LADE 3-4

Frequency			[Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Source	Total	Average Std deviation	[dB]	83,9 2,8	87,0 3,2	91,9 2,5	90,0 3,4	91,7 3,7	93,9 2,1	90,8 1,9	88,4 2,7	88,9 4,6	88,3 3,7	86,9 1,8	85,8 2,8	84,0 2,0	82,9 1,9	84,6 1,8	84,7 1,6	83,1 1,9	83,1 2,9	83,6 3,0	87,1 2,1	89,3 2,5
Source	#A	#1	[dB]	85,0	89,0	91,5	92,9	96,9	94,4	90,3	93,3	95,5	92,9	87,3	87,6	86,6	86,8	87,7	87,5	86,3	88,1	88,9	90,4	92,7
Source	#A	#2	[dB]	83,4	90,3	94,8	90,5	90,1	95,5	89,7	83,3	83,8	87,6	87,5	84,0	80,8	83,1	85,2	84,1	83,0	82,1	81,1	85,8	87,5
Source	#A	#3	[dB]	86,9	85,2	91,8	87,3	90,7	94,7	88,0	86,2	84,9	83,9	87,2	82,9	82,7	80,5	82,4	82,7	82,1	79,3	79,6	84,5	86,0
Source	#A	#4	[dB]	80,2	88,1	93,9	85,4	92,3	95,4	90,8	85,5	88,8	86,9	84,7	88,6	84,1	82,7	84,4	83,7	81,5	83,1	84,0	87,3	88,2
Source	#A	#5	[dB]	80,2	87,2	93,4	90,3	89,3	94,8	88,4	88,2	82,3	85,0	86,9	82,5	83,3	82,4	83,7	84,6	82,8	81,3	80,8	84,9	86,8
Source	#B	#1	[dB]	83,1	84,9	88,2	84,8	86,9	90,5	88,4	87,4	83,5	85,9	83,7	82,6	80,5	80,8	82,0	82,8	82,8	79,5	82,1	85,3	86,6
Source	#B	#2	[dB]	82,4	88,3	91,9	93,4	90,3	94,0	93,0	87,0	87,2	86,9	89,4	85,3	85,9	82,8	86,1	85,8	84,2	84,7	85,0	89,7	92,6
Source	#B	#3	[dB]	78,8	82,7	90,9	90,8	89,6	93,1	91,4	89,5	84,3	83,2	86,3	87,3	84,1	81,6	82,0	84,3	82,0	80,5	81,0	85,6	87,1
Source	#B	#4	[dB]	87,3	85,7	89,6	90,0	94,0	93,3	93,5	89,3	91,9	92,9	88,2	88,2	85,1	83,2	84,5	86,0	83,3	83,9	84,1	87,9	90,7
Source	#B	#5	[dB]	83,8	79,8	86,7	83,7	83,3	89,4	91,0	86,2	81,0	82,2	84,8	81,0	82,4	80,5	84,1	82,7	78,9	78,8	79,0	84,5	86,9
Receiving	Total	Average Std deviation	[dB]	54,8 1,7	53,9 2,6	56,5 3,4	58,1 2,2	57,9 1,5	56,8 3,2	55,5 4,5	45,2 2,0	37,1 2,4	31,8 2,5	27,5 2,1	23,1 1,8	19,1 1,6	16,4 1,0	17,5 1,4	15,7 1,3	12,5 1,2	9,2 1,0	8,4 0,8	9,6 0,9	10,4 1,0
Receiving	#A	Average Std deviation	[dB]	55,7 2,0	54,5 1,7	54,2 2,7	58,6 1,6	58,3 2,0	53,9 2,6	49,7 1,4	44,4 2,2	36,7 2,9	29,5 1,7	25,4 0,9	22,5 1,1	18,0 1,5	15,7 1,1	16,7 1,5	15,2 1,6	11,7 1,2	8,6 0,7	8,0 0,5	9,3 0,8	9,9 0,6
Receiving	#A	#1	[dB]	55,1	52,9	52,8	60,9	60,9	50,7	47,7	42,7	33,9	30,5	25,6	22,5	19,5	15,3	17,7	16,3	12,8	8,1	7,8	9,0	9,4
Receiving	#A	#2	[dB]	56,1	52,5	56,1	57,8	56,1	52,9	50,6	44,5	37,8	27,4	23,9	20,7	15,5	14,2	14,2	12,7	9,7	7,5	7,1	8,2	9,2
Receiving	#A	#3	[dB]	57,4	54,4	56,6	58,0	59,0	56,1	51,1	47,4	39,6	29,5	25,6	22,4	17,7	15,2	16,2	14,7	12,0	9,1	8,2	9,1	9,6
Receiving	#A	#4	[dB]	52,0	54,9	50,9	56,6	56,5	55,9	49,2	42,8	32,5	27,7	25,6	22,5	18,4	16,2	16,4	14,4	11,3	9,0	8,4	10,3	10,6
Receiving	#A	#5	[dB]	56,0	56,7	51,3	58,4	56,9	51,1	48,9	41,9	36,2	31,1	26,2	23,8	18,1	17,2	18,0	16,6	12,0	8,9	8,2	9,8	10,4
Receiving	#B	Average Std deviation	[dB]	53,8 1,0	53,1 3,1	58,0 3,1	57,6 2,8	57,5 0,9	58,5 0,8	57,9 1,7	45,9 1,3	37,4 1,9	33,4 1,6	28,9 1,7	23,6 2,3	20,0 0,8	16,9 0,3	18,2 0,6	16,2 0,2	13,2 0,8	9,7 0,9	8,8 0,8	9,9 0,9	10,9 1,2
Receiving	#B	#1	[dB]	52,2	57,3	60,4	57,7	57,5	58,6	58,5	44,7	37,8	32,8	30,4	23,9	20,4	17,1	18,4	15,9	13,5	10,0	9,5	10,8	12,8
Receiving	#B	#2	[dB]	54,6	50,6	55,3	57,1	58,8	59,5	58,7	45,8	38,2	32,6	30,1	26,6	20,3	17,1	18,6	16,4	12,1	9,4	8,3	9,5	10,1
Receiving	#B	#3	[dB]	53,5	49,4	52,9	57,8	57,1	58,6	59,1	47,9	39,2	35,8	27,2	23,0	20,0	17,0	17,2	16,4	14,1	10,7	9,5	10,5	10,6
Receiving	#B	#4	[dB]	54,4	51,7	59,4	59,9	57,0	57,5	55,0	45,2	35,3	32,7	28,9	20,9	20,5	16,5	18,6	16,1	12,5	9,8	8,9	9,9	10,8
Receiving	#B	#5	[dB]	53,8	51,4	58,3	52,4	56,5	57,9	57,0	44,8	34,7	31,6	26,5	21,2	18,6	16,8	17,9	16,2	13,3	8,4	7,7	8,6	9,6
BackgroundN	Total	Average Std deviation	[dB]	31,5 3,0	22,9 1,8	21,4 1,3	20,0 5,4	15,6 3,5	13,2 2,3	10,5 1,3	10,0 0,9	8,1 0,4	6,3 0,7	6,8 0,4	6,9 0,1	8,9 1,3	12,1 1,2	14,6 1,0	13,3 0,9	9,1 0,9	6,5 0,6	6,2 0,1	7,0 0,1	8,1 0,1
BackgroundNoise	#1	[dB]	33,1	24,0	22,2	22,3	17,4	14,5	11,3	10,6	8,4	6,8	7,1	6,9	9,7	12,9	15,2	13,9	9,7	6,9	6,3	6,9	8,1	
BackgroundNoise	#2	[dB]	28,9	21,4	20,4	14,6	12,5	11,3	9,5	9,3	7,8	5,8	6,5	6,8	7,9	11,2	13,8	12,7	8,4	6,1	6,1	7,1	8,0	
Reverberation	Total	Average Std deviation	[s]	1,12 0,26	0,76 0,17	0,69 0,18	0,64 0,19	0,56 0,11	0,42 0,12	0,41 0,05	0,50 0,08	0,48 0,12	0,47 0,09	0,49 0,04	0,46 0,04	0,43 0,07	0,44 0,04	0,50 0,04	0,50 0,04	0,48 0,04	0,46 0,02	0,47 0,03	0,46 0,04	0,44 0,04
Reverberation	#1	[s]	0,84	0,87	0,67	0,80	0,62	0,38	0,38	0,52	0,62	0,46	0,51	0,40	0,46	0,37	0,47	0,49	0,50	0,44	0,43	0,46	0,46	
Reverberation	#2	[s]	1,16	0,65	0,42	0,45	0,59	0,57	0,40	0,49	0,50	0,56	0,49	0,50	0,42	0,46	0,50	0,57	0,53	0,49	0,51	0,51	0,50	
Reverberation	#3	[s]	0,90	1,13	1,05	0,78	0,63	0,70	0,43	0,37	0,56	0,53	0,43	0,42	0,45	0,49	0,43	0,48	0,51	0,42	0,48	0,48	0,45	
Reverberation	#4	[s]	1,49	0,88	0,82	0,86	0,56	0,42	0,45	0,49	0,65	0,28	0,45	0,42	0,45	0,45	0,45	0,45	0,43	0,48	0,45	0,48	0,46	
Reverberation	#5	[s]	0,76	0,87	0,66	0,71	0,48	0,46	0,40	0,49	0,31	0,41	0,50	0,49	0,45	0,48	0,53	0,48	0,51	0,44	0,50	0,46	0,41	
Reverberation	#6	[s]	1,07	0,82	0,83	0,42	0,65	0,42	0,44	0,58	0,33	0,52	0,46	0,46	0,54	0,47	0,49	0,53	0,43	0,46	0,48	0,45	0,43	
Reverberation	#7	[s]	1,32	0,67	0,49	0,89	0,57	0,42	0,33	0,56	0,42	0,38	0,50	0,46	0,45	0,46	0,50	0,45	0,54	0,48	0,41	0,35	0,36	
Reverberation	#8	[s]	1,17	0,59	0,82	0,76	0,79	0,23	0,31	0,39	0,59	0,51	0,54	0,47	0,45	0,39	0,50	0,49	0,50	0,45	0,47	0,45	0,43	
Reverberation	#9	[s]	1,09	0,87	0,58	0,54	0,44	0,34	0,44	0,46	0,52	0,54	0,48	0,44	0,42	0,43	0,52	0,48	0,49	0,44	0,42	0,46	0,41	
Reverberation	#10	[s]	1,60	0,51	0,70	0,54	0,39	0,30	0,43	0,65	0,51	0,51	0,50	0,50	0,46	0,42	0,57	0,46	0,48	0,47	0,47	0,44	0,47	
Reverberation	#11	[s]	1,16	0,66	0,72	0,62	0,48	0,36	0,42	0,48	0,30	0,38	0,58	0,53	0,25	0,47	0,54	0,52	0,41	0,46	0,49	0,51	0,49	
Reverberation	#12	[s]	0,90	0,62	0,46	0,32	0,51	0,41	0,44	0,50	0,42	0,54	0,46	0,46	0,34	0,41	0,53	0,57	0,46	0,48	0,50	0,46	0,46	

Måling: LADE 1-2

Frequency			[Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Source	Total	Average Std deviation	[dB]	85,4 2,8	86,6 2,6	90,6 3,8	87,9 3,3	93,7 3,3	94,5 3,0	92,8 2,3	89,4 2,5	86,5 2,6	86,4 2,8	86,8 2,9	84,9 2,5	82,9 2,3	81,2 2,4	83,3 2,2	83,7 2,3	82,4 2,2	81,8 2,8	82,0 3,0	86,0 2,5	88,0 2,5
Source	#A	Average Std deviation	[dB]	84,5 1,9	86,5 2,2	90,9 4,5	89,2 3,6	94,8 4,6	93,9 3,2	92,0 1,8	89,8 3,3	87,6 3,1	87,4 3,9	86,2 2,8	84,8 2,9	83,2 2,6	81,8 2,8	83,9 2,4	83,8 2,7	82,6 2,5	81,7 3,2	82,2 3,6	86,0 2,9	88,2 2,9
Source	#A	#1	[dB]	84,1	87,3	92,7	91,3	95,7	95,8	90,2	92,1	87,5	87,7	87,2	86,9	83,9	83,0	86,5	84,5	82,5	80,7	81,1	86,9	87,6
Source	#A	#2	[dB]	85,2	83,2	92,3	90,5	90,9	93,1	91,1	86,6	85,3	84,8	86,2	86,7	80,5	79,1	84,3	80,6	80,5	79,4	78,7	83,6	85,9
Source	#A	#3	[dB]	85,9	84,1	81,9	83,1	87,5	89,5	90,8	84,7	82,8	82,3	81,1	80,6	80,4	77,4	80,3	81,1	78,7	76,6	77,1	81,5	84,0
Source	#A	#4	[dB]	81,0	87,6	90,2	85,7	90,8	90,2	91,4	88,7	86,9	83,0	85,5	81,6	81,2	81,7	81,8	82,1	82,8	82,2	81,2	85,7	87,3
Source	#A	#5	[dB]	84,9	88,1	91,4	90,4	99,2	96,6	94,7	92,1	91,2	91,7	88,3	84,5	86,4	84,3	84,2	87,0	85,4	85,1	86,5	88,9	91,8
Source	#B	Average Std deviation	[dB]	86,2 3,8	86,7 3,2	90,2 3,5	85,9 2,5	92,2 1,7	95,0 3,0	93,5 2,7	89,0 1,9	84,9 1,6	85,0 1,3	87,3 3,4	85,0 2,4	82,5 2,2	80,4 2,2	82,6 1,9	83,7 2,1	82,3 2,2	81,9 2,7	81,7 2,6	86,0 2,3	87,9 2,5
Source	#B	#1	[dB]	79,7	82,6	84,8	88,1	91,2	91,6	90,6	88,2	84,8	83,5	87,5	86,4	82,6	81,3	83,5	83,5	80,9	78,9	79,7	84,7	86,5
Source	#B	#2	[dB]	90,2	90,4	94,4	87,1	94,8	99,0	96,5	90,9	86,7	87,0	90,1	87,3	85,4	82,9	85,1	86,7	85,6	85,6	85,6	89,5	91,6
Source	#B	#3	[dB]	85,4	83,0	89,1	85,9	91,4	93,5	91,9	90,2	84,1	84,2	84,2	82,1	81,7	79,0	81,1	82,0	80,4	79,9	79,4	84,0	85,9
Source	#B	#4	[dB]	83,8	86,9	88,1	84,4	91,9	91,9	90,1	86,3	85,3	84,9	88,2	84,6	81,1	79,5	81,1	82,2	81,4	81,5	80,5	84,6	85,7
Source	#B	#5	[dB]	85,4	85,5	88,7	81,6	90,5	94,2	94,6	87,7	82,3	84,6	81,7	82,2	79,6	77,3	80,6	81,6	80,5	79,5	79,5	84,1	86,3
Receiving	Total	Average Std deviation	[dB]	55,5 4,6	54,4 3,3	56,0 3,0	54,8 1,2	57,9 1,4	56,2 1,7	56,0 5,9	44,0 2,6	35,6 2,4	32,3 4,6	25,4 3,6	19,8 3,0	17,5 3,5	15,2 2,5	16,2 2,1	13,9 2,3	10,6 2,6	8,2 2,0	7,8 1,7	8,8 1,5	9,3 1,0
Receiving	#A	Average Std deviation	[dB]	53,3 4,4	56,1 2,7	56,4 1,9	55,2 1,6	58,0 1,3	54,9 1,1	47,5 0,9	41,3 0,9	32,8 0,3	26,3 1,3	20,9 0,9	16,4 1,1	13,3 1,1	13,1 1,7	14,9 2,0	12,1 1,5	8,1 0,9	6,4 0,4	6,4 0,3	7,4 0,2	8,5 0,2
Receiving	#A	#1	[dB]	57,3	58,6	54,3	56,4	57,3	55,9	47,4	39,6	32,6	25,9	20,8	18,1	14,9	14,2	14,2	11,8	8,4	6,7	6,7	7,6	8,6
Receiving	#A	#2	[dB]	50,2	53,7	54,7	54,8	55,9	54,6	47,9	41,7	33,0	25,4	19,7	16,5	13,7	15,0	17,5	14,2	9,2	6,8	6,4	7,3	8,3
Receiving	#A	#3	[dB]	51,0	55,8	55,2	53,3	58,4	55,9	45,9	41,6	33,2	27,7	22,1	15,7	12,7	12,0	15,2	12,2	8,1	6,5	6,6	7,4	8,4
Receiving	#A	#4	[dB]	45,5	51,9	57,5	56,7	59,2	54,5	47,7	41,5	32,6	24,5	20,7	15,7	12,9	11,5	13,4	10,9	7,3	6,1	6,2	7,4	8,6
Receiving	#A	#5	[dB]	54,2	57,5	58,7	53,6	58,4	53,3	48,1	41,6	32,8	27,1	20,9	15,6	11,9	11,2	12,3	10,4	7,0	5,8	5,9	7,2	8,7
Receiving	#B	Average Std deviation	[dB]	56,9 4,2	51,3 2,0	55,6 3,8	54,4 0,7	57,7 1,6	57,2 1,5	58,7 3,0	45,7 1,5	37,3 1,1	34,7 3,2	27,6 1,3	21,6 1,3	19,6 1,9	16,6 2,0	17,2 1,4	15,2 2,1	12,1 2,8	9,4 2,1	8,8 2,1	9,8 1,5	9,9 1,2
Receiving	#B	#1	[dB]	53,6	47,9	59,2	55,2	58,5	58,0	60,9	47,9	36,2	33,0	28,9	22,5	18,3	15,1	16,7	13,5	10,0	7,7	7,2	8,6	8,9
Receiving	#B	#2	[dB]	60,1	50,3	50,4	54,6	59,7	58,2	60,8	44,6	37,8	38,1	28,7	22,0	19,3	19,0	19,0	18,0	16,1	12,5	12,0	11,8	11,8
Receiving	#B	#3	[dB]	56,9	52,5	54,6	54,6	56,1	54,5	55,7	44,0	36,9	30,5	25,8	20,9	19,2	14,3	16,5	13,9	9,6	7,8	7,3	8,3	8,9
Receiving	#B	#4	[dB]	49,5	53,0	56,6	53,3	57,3	57,3	54,2	46,0	36,2	31,4	27,1	19,5	17,4	15,0	15,3	12,6	9,2	7,7	7,3	8,7	9,2
Receiving	#B	#5	[dB]	58,0	51,2	50,6	54,2	55,9	57,3	57,8	44,9	38,8	35,8	26,7	22,6	22,3	17,6	17,8	15,5	11,4	9,1	8,0	10,5	9,9
BackgroundN	Total	Average Std deviation	[dB]	35,3 12,1	28,9 8,1	25,5 7,6	19,2 3,9	17,3 3,8	11,2 1,6	10,2 1,9	8,0 2,6	6,8 3,3	6,0 2,6	6,3 2,8	7,3 2,9	7,5 2,9	10,0 4,1	12,3 3,8	10,8 3,1	6,5 1,7	5,8 0,8	5,8 0,0	7,0 0,1	8,6 0,1
BackgroundNoise	#1	[dB]	38,2	31,6	28,2	21,1	19,2	12,2	11,3	9,4	8,5	7,4	7,9	8,9	9,1	12,0	14,2	12,5	7,5	6,3	5,8	7,0	8,7	
BackgroundNoise	#2	[dB]	21,1	20,1	17,5	15,6	13,9	9,9	8,6	5,8	3,9	3,8	3,9	4,8	5,0	6,2	8,8	8,1	5,1	5,2	5,8	6,9	8,5	
Reverberation	Total	Average Std deviation	[s]	0,92 0,21	0,88 0,14	0,87 0,19	0,72 0,15	0,53 0,13	0,46 0,11	0,50 0,06	0,55 0,09	0,43 0,11	0,44 0,05	0,43 0,06	0,42 0,06	0,42 0,07	0,45 0,04	0,47 0,03	0,51 0,04	0,48 0,04	0,45 0,03	0,47 0,02	0,48 0,02	0,47 0,03
Reverberation	#1	[s]	0,81	0,95	1,07	0,82	0,69	0,49	0,45	0,70	0,36	0,48	0,51	0,53	0,45	0,44	0,45	0,47	0,49	0,41	0,46	0,48	0,50	
Reverberation	#2	[s]	0,84	0,88	1,26	0,47	0,46	0,32	0,50	0,58	0,43	0,43	0,41	0,45	0,39	0,51	0,46	0,50	0,53	0,45	0,49	0,50	0,47	
Reverberation	#3	[s]	1,05	0,76	0,78	0,75	0,27	0,44	0,45	0,44	0,52	0,42	0,44	0,46	0,39	0,52	0,52	0,55	0,50	0,46	0,44	0,49	0,44	
Reverberation	#4	[s]	0,81	0,82	0,78	0,84	0,70	0,39	0,57	0,57	0,53	0,50	0,48	0,42	0,37	0,41	0,44	0,49	0,48	0,47	0,48	0,46	0,50	
Reverberation	#5	[s]	0,76	1,01	1,09	0,88	0,66	0,63	0,52	0,54	0,50	0,45	0,29	0,47	0,30	0,46	0,43	0,52	0,49	0,45	0,46	0,43	0,45	
Reverberation	#6	[s]	0,79	1,07	0,91	0,64	0,56	0,59	0,51	0,52	0,44	0,51	0,47	0,36	0,57	0,43	0,47	0,52	0,43	0,49	0,44	0,48	0,54	
Reverberation	#7	[s]	0,99	0,92	0,83	0,87	0,61	0,60	0,58	0,48	0,25	0,41	0,39	0,38	0,35	0,43	0,47	0,49	0,39	0,41	0,46	0,51	0,48	
Reverberation	#8	[s]	1,48	0,98	0,81	0,88	0,37	0,41	0,58	0,49	0,26	0,33	0,39	0,49	0,42	0,41	0,45	0,51	0,46	0,42	0,49	0,49	0,50	
Reverberation	#9	[s]	0,91	0,63	0,80	0,67	0,58	0,51	0,48	0,42	0,62	0,50	0,40	0,38	0,41	0,44	0,54	0,59	0,52	0,51	0,43	0,49	0,47	
Reverberation	#10	[s]	0,86	1,07	0,63	0,44	0,46	0,45	0,47	0,51	0,39	0,40	0,38	0,40	0,50	0,39	0,47	0,48	0,46	0,41	0,47	0,48	0,43	
Reverberation	#11	[s]	0,68	0,75	0,60	0,73	0,56	0,33	0,40	0,70	0,43	0,43	0,47	0,44	0,39	0,46	0,45	0,52	0,49	0,46	0,45	0,43	0,43	
Reverberation	#12	[s]	1,06	0,74	0,83	0,66	0,46	0,37	0,47	0,62	0,48	0,39	0,47	0,29	0,47	0,50	0,43	0,43	0,54	0,49	0,51	0,48	0,47	

Måledata - Luftlydmåling av KLT-vegg

Måling: LADE 5-2 (KLT-VEGG)

Frequency			[Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Source	Total	Average Std deviation	[dB]	84,6 3,4	87,5 3,4	89,8 2,3	89,2 3,3	88,6 4,2	89,9 3,2	89,8 4,3	87,7 3,1	87,4 3,4	87,5 2,4	86,1 2,3	84,9 1,6	82,6 2,1	82,3 2,4	83,8 1,4	84,5 1,9	82,6 1,4	81,6 1,4	82,4 2,0	86,4 1,9	88,7 2,4
Source	#A	Average Std deviation	[dB]	84,6 4,5	88,7 3,1	90,0 1,8	90,0 4,2	90,0 2,5	87,2 2,3	86,2 3,7	87,7 4,2	88,2 4,4	88,3 2,9	86,1 1,7	85,2 1,7	82,4 1,8	82,1 2,1	83,7 1,4	84,6 1,8	82,1 0,7	81,6 1,7	82,6 2,3	86,8 2,6	89,8 3,0
Source	#A	#1	[dB]	85,4	85,3	91,9	92,5	90,2	89,2	79,9	85,0	82,6	83,7	85,1	82,5	79,6	79,7	83,1	83,6	81,6	79,8	79,8	83,2	85,5
Source	#A	#2	[dB]	76,7	84,1	90,4	92,7	91,9	85,2	83,1	81,7	83,2	87,1	88,7	84,2	82,1	79,2	82,8	82,5	82,7	80,9	80,9	85,3	87,6
Source	#A	#3	[dB]	88,1	88,9	89,5	86,8	91,3	85,0	89,1	92,7	93,1	89,5	84,4	87,2	84,6	83,0	85,7	87,1	82,9	83,7	85,5	88,9	91,5
Source	#A	#4	[dB]	80,4	90,8	86,9	88,7	88,5	89,1	85,9	83,4	84,0	86,4	84,8	85,5	82,1	83,7	82,2	84,7	82,0	80,0	80,8	84,3	87,3
Source	#A	#5	[dB]	84,7	90,7	89,8	82,6	85,8	84,9	87,5	85,7	87,7	91,2	85,7	85,4	82,0	83,0	83,9	83,3	81,3	82,4	83,5	88,9	92,7
Source	#B	Average Std deviation	[dB]	84,6 2,0	85,7 3,2	89,7 2,9	88,1 2,4	86,6 4,6	91,6 2,5	91,7 1,2	87,8 1,3	86,6 2,7	86,6 1,8	86,1 3,0	84,5 1,5	82,8 2,6	82,4 2,9	84,0 1,5	84,5 2,2	82,9 1,9	81,7 1,2	82,2 1,9	86,0 1,0	87,3 1,2
Source	#B	#1	[dB]	82,4	80,6	85,0	84,2	86,4	91,7	91,4	87,0	85,8	85,1	84,3	82,6	80,2	80,3	83,5	83,8	83,4	80,5	82,0	86,4	86,3
Source	#B	#2	[dB]	86,0	87,9	93,1	87,6	89,2	94,8	93,5	89,7	89,7	89,3	89,7	85,5	86,0	85,4	86,2	87,3	85,2	83,4	84,7	86,8	88,4
Source	#B	#3	[dB]	82,0	87,9	89,3	90,7	89,0	88,6	90,6	88,1	87,2	85,0	84,1	86,1	83,5	84,0	83,1	84,8	82,9	82,1	82,5	86,6	88,4
Source	#B	#4	[dB]	84,4	85,1	89,1	86,9	80,3	90,6	90,8	86,9	83,0	86,1	86,3	84,0	80,0	79,4	82,2	81,3	81,1	81,0	79,8	84,6	86,0
Source	#B	#5	[dB]	86,4	83,1	88,0	88,5	79,9	88,9	91,7	86,5	83,7	85,8	81,7	83,3	81,2	79,0	83,7	83,0	80,4	80,6	80,4	85,3	86,6
Receiving	Total	Average Std deviation	[dB]	64,1 4,8	65,8 3,3	68,3 3,5	61,0 3,0	54,0 3,1	52,2 2,6	47,5 3,2	42,6 1,7	38,3 3,2	32,2 2,6	28,2 1,7	22,9 1,8	18,9 1,7	14,6 1,6	15,8 1,6	14,4 1,8	11,6 1,2	11,0 1,1	12,5 0,8	12,3 0,8	11,6 0,5
Receiving	#A	Average Std deviation	[dB]	64,6 3,6	67,4 2,3	68,2 2,4	62,3 3,8	55,6 3,0	50,2 2,1	44,6 2,3	42,9 1,9	35,8 2,4	29,6 0,9	27,8 0,8	22,2 1,6	18,3 1,6	14,1 1,3	15,4 1,5	14,2 2,1	11,2 0,9	10,2 0,5	12,0 0,6	11,8 0,6	11,4 0,5
Receiving	#A	#1	[dB]	65,7	66,5	68,1	60,2	59,3	47,3	41,1	45,0	36,2	30,4	28,2	22,7	19,1	13,9	15,0	13,3	10,3	9,7	11,5	11,4	11,6
Receiving	#A	#2	[dB]	68,4	69,7	65,3	59,0	52,4	49,0	46,9	43,2	38,0	28,6	28,8	23,3	20,0	16,2	17,8	17,4	12,7	11,1	12,9	12,8	12,1
Receiving	#A	#3	[dB]	61,7	68,8	71,3	65,2	53,3	52,2	45,0	43,5	36,7	28,7	27,3	19,9	17,8	13,1	14,5	12,8	11,1	10,1	11,5	11,3	11,0
Receiving	#A	#4	[dB]	61,4	64,2	65,5	56,5	52,3	48,6	42,6	40,3	33,3	29,5	26,8	20,6	17,3	13,3	14,3	12,4	10,7	10,0	11,6	11,4	10,8
Receiving	#A	#5	[dB]	59,6	65,4	67,7	64,7	56,1	51,7	45,2	41,0	32,2	30,4	27,6	23,2	16,0	13,1	14,3	12,5	10,7	10,1	12,3	12,1	11,6
Receiving	#B	Average Std deviation	[dB]	63,5 5,8	63,4 2,9	68,4 4,6	59,2 1,8	51,4 2,2	53,6 1,4	49,2 2,3	42,3 1,5	39,9 2,7	33,9 2,3	28,6 2,4	23,5 1,9	19,4 1,8	15,0 1,9	16,2 1,7	14,6 1,7	12,0 1,3	11,7 1,0	13,0 0,5	12,8 0,6	11,8 0,5
Receiving	#B	#1	[dB]	65,6	61,8	59,2	56,4	51,7	53,6	50,1	44,2	40,8	35,7	30,6	26,4	22,1	17,9	18,9	17,2	14,1	11,7	13,1	13,1	12,5
Receiving	#B	#2	[dB]	60,2	65,9	70,3	58,7	50,8	51,5	47,8	42,5	43,0	33,5	27,4	22,8	18,4	14,8	15,4	14,2	11,8	11,2	12,7	12,6	11,5
Receiving	#B	#3	[dB]	56,8	59,0	67,5	59,9	51,5	55,5	51,7	41,8	38,2	35,6	30,6	21,7	18,8	13,7	15,1	13,4	11,2	11,6	13,5	13,0	12,0
Receiving	#B	#4	[dB]	53,8	61,3	68,9	61,1	53,6	53,3	48,1	40,0	36,9	31,5	25,7	22,5	18,9	13,2	14,8	13,0	10,7	10,5	12,2	11,7	11,3
Receiving	#B	#5	[dB]	67,7	65,2	69,7	58,5	47,6	52,9	45,6	42,2	37,0	30,6	26,0	22,3	17,3	13,6	15,4	13,9	11,3	13,2	13,3	13,2	11,7
BackgroundN	Total	Average Std deviation	[dB]	35,3 12,1	28,9 8,1	25,5 7,6	19,2 3,9	17,3 3,8	11,2 1,6	10,2 1,9	8,0 2,6	6,8 3,3	6,0 2,6	6,3 2,8	7,3 2,9	7,5 2,9	10,0 4,1	12,3 3,8	10,8 3,1	6,5 1,7	5,8 0,8	5,8 0,0	7,0 0,1	8,6 0,1
BackgroundNoise	#1	[dB]	38,2	31,6	28,2	21,1	19,2	12,2	11,3	9,4	8,5	7,4	7,9	8,9	9,1	12,0	14,2	12,5	7,5	6,3	5,8	7,0	8,7	
BackgroundNoise	#2	[dB]	21,1	20,1	17,5	15,6	13,9	9,9	8,6	5,8	3,9	3,8	3,9	4,8	5,0	6,2	8,8	8,1	5,1	5,2	5,8	6,9	8,5	
Reverberation	Total	Average Std deviation	[s]	0,92 0,21	0,88 0,14	0,87 0,19	0,72 0,15	0,53 0,13	0,46 0,11	0,50 0,06	0,55 0,09	0,43 0,11	0,44 0,05	0,43 0,06	0,42 0,06	0,42 0,07	0,45 0,04	0,47 0,03	0,51 0,04	0,48 0,04	0,45 0,03	0,47 0,02	0,48 0,02	0,47 0,03
Reverberation	#1	[s]	0,81	0,95	1,07	0,82	0,69	0,49	0,45	0,70	0,36	0,48	0,51	0,53	0,45	0,44	0,45	0,47	0,49	0,41	0,46	0,48	0,50	
Reverberation	#2	[s]	0,84	0,88	1,26	0,47	0,46	0,32	0,50	0,58	0,43	0,43	0,41	0,45	0,39	0,51	0,46	0,50	0,53	0,45	0,49	0,50	0,47	
Reverberation	#3	[s]	1,05	0,76	0,78	0,75	0,27	0,44	0,45	0,44	0,52	0,42	0,44	0,46	0,39	0,52	0,52	0,55	0,50	0,46	0,44	0,49	0,44	
Reverberation	#4	[s]	0,81	0,82	0,78	0,84	0,70	0,39	0,57	0,57	0,53	0,50	0,48	0,42	0,37	0,41	0,44	0,49	0,48	0,47	0,48	0,46	0,50	
Reverberation	#5	[s]	0,76	1,01	1,09	0,88	0,66	0,63	0,52	0,54	0,50	0,45	0,29	0,47	0,30	0,46	0,43	0,52	0,49	0,45	0,46	0,43	0,45	
Reverberation	#6	[s]	0,79	1,07	0,91	0,64	0,56	0,59	0,51	0,52	0,44	0,51	0,47	0,36	0,57	0,43	0,47	0,52	0,43	0,49	0,44	0,48	0,54	
Reverberation	#7	[s]	0,99	0,92	0,83	0,87	0,61	0,60	0,58	0,48	0,25	0,41	0,39	0,38	0,35	0,43	0,47	0,49	0,39	0,41	0,46	0,51	0,48	
Reverberation	#8	[s]	1,48	0,98	0,81	0,88	0,37	0,41	0,58	0,49	0,26	0,33	0,39	0,49	0,42	0,41	0,45	0,51	0,46	0,42	0,49	0,49	0,50	
Reverberation	#9	[s]	0,91	0,63	0,80	0,67	0,58	0,51	0,48	0,42	0,62	0,50	0,40	0,38	0,41	0,44	0,54	0,59	0,52	0,51	0,43	0,49	0,47	
Reverberation	#10	[s]	0,86	1,07	0,63	0,44	0,46	0,45	0,47	0,51	0,39	0,40	0,38	0,40	0,50	0,39	0,47	0,48	0,46	0,41	0,47	0,48	0,43	
Reverberation	#11	[s]	0,68	0,75	0,60	0,73	0,56	0,33	0,40	0,70	0,43	0,43	0,47	0,44	0,39	0,46	0,45	0,52	0,49	0,46	0,45	0,43	0,43	
Reverberation	#12	[s]	1,06	0,74	0,83	0,66	0,46	0,37	0,47	0,62	0,48	0,39	0,47	0,29	0,47	0,50	0,43	0,43	0,54	0,49	0,51	0,48	0,47	

Måledata - Trinnlydmåling av etasjeskiller

Måling: O2 1-2

Frequency		[Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Receiving Total	Average	[dB]	60,4	62,7	64,1	55,9	58,3	56,8	54,8	52,3	50,0	46,5	40,5	36,9	32,0	26,2	21,0	17,8	12,9	9,6	6,7	6,9	8,2
		Std deviation	3,4	2,8	2,5	1,5	1,2	2,6	1,8	0,9	2,0	1,5	0,9	1,1	0,9	0,9	1,3	2,2	1,4	2,4	0,6	0,2	0,4
Receiving	#1	[dB]	63,9	64,5	66,6	55,2	58,0	60,9	53,1	53,5	49,8	45,0	41,1	36,6	33,9	26,9	22,3	21,5	15,1	14,3	7,8	6,9	7,6
Receiving	#2	[dB]	58,5	65,7	64,5	52,7	58,6	54,6	52,8	51,3	46,8	47,9	40,9	36,5	31,0	25,5	22,7	18,5	13,2	9,4	6,5	7,0	8,7
Receiving	#3	[dB]	61,8	60,0	62,2	56,9	56,4	57,3	56,8	53,5	52,1	45,4	41,5	37,6	31,6	27,2	22,0	16,0	12,7	8,0	5,9	6,8	8,0
Receiving	#4	[dB]	60,2	60,4	64,7	56,0	60,0	53,6	55,3	51,7	51,3	47,7	39,6	37,1	31,4	26,3	20,2	14,4	10,4	6,8	6,0	6,8	8,0
Receiving	#5	[dB]	62,2	64,9	62,1	55,1	57,9	58,1	54,0	51,8	47,8	47,0	40,5	36,9	31,7	25,4	19,3	17,8	13,5	9,0	7,1	7,3	8,0
Receiving	#6	[dB]	58,6	60,3	58,8	55,4	57,3	55,3	55,4	52,7	47,6	48,0	39,5	35,8	31,7	25,8	19,5	17,8	12,9	8,4	7,0	6,9	7,9
Receiving	#7	[dB]	55,3	62,0	65,9	56,9	57,9	52,9	52,0	52,0	49,9	45,2	39,1	34,8	32,3	24,6	19,8	15,4	11,9	7,4	6,6	6,8	8,4
Receiving	#8	[dB]	54,0	57,7	63,6	57,1	59,5	55,8	56,3	51,6	51,5	44,4	40,9	38,6	32,1	27,1	20,7	16,8	11,8	7,5	6,6	6,9	8,9
BackgroundN Total	Average	[dB]	18,6	18,7	17,2	12,3	10,2	8,3	15,2	9,6	2,3	1,8	2,9	1,6	1,3	1,8	2,6	3,3	4,0	4,7	5,4	6,4	8,0
		Std deviation	0,0	1,1	0,0	1,8	2,1	1,2	3,2	2,7	0,1	0,4	0,8	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
BackgroundNoise	#1	[dB]	18,6	17,8	17,2	13,4	11,4	9,1	16,9	11,1	2,2	2,1	2,3	1,5	1,2	1,8	2,5	3,3	3,9	4,7	5,3	6,4	8,0
BackgroundNoise	#2	[dB]	18,6	19,4	17,2	10,9	8,4	7,4	12,4	7,3	2,3	1,5	3,4	1,6	1,4	1,8	2,6	3,3	4,0	4,7	5,4	6,4	8,0
Reverberation Total	Average	[s]	0,72	0,67	0,62	0,44	0,51	0,37	0,55	0,54	0,57	0,68	0,67	0,63	0,57	0,48	0,39	0,39	0,42	0,44	0,42	0,42	0,40
		Std deviation	0,13	0,15	0,14	0,11	0,34	0,09	0,10	0,10	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,08	0,03	0,05	0,03	0,04	0,03	0,04	0,07	0,07
Reverberation	#1	[s]	0,69	0,64	0,51	0,51	0,26	0,39	0,40	0,57	0,67	0,72	0,55	0,64	0,48	0,38	0,35	0,46	0,45	0,46	0,37	0,35	0,35
Reverberation	#2	[s]	0,66	0,72	0,91	0,39	0,24	0,48	0,45	0,69	0,69	0,92	0,59	0,57	0,50	0,35	0,33	0,39	0,47	0,48	0,40	0,27	0,30
Reverberation	#3	[s]	0,69	0,64	0,60	0,46	0,25	0,31	0,57	0,57	0,55	0,59	0,66	0,71	0,61	0,60	0,38	0,31	0,40	0,47	0,39	0,50	0,42
Reverberation	#4	[s]	0,83	0,63	0,69	0,37	0,25	0,26	0,40	0,62	0,51	0,73	0,66	0,73	0,66	0,54	0,40	0,37	0,44	0,41	0,44	0,42	0,38
Reverberation	#5	[s]	0,85	0,53	0,46	0,37	0,66	0,29	0,66	0,59	0,62	0,67	0,67	0,56	0,61	0,46	0,44	0,42	0,36	0,45	0,49	0,41	0,44
Reverberation	#6	[s]	0,86	0,56	0,63	0,37	0,82	0,28	0,72	0,53	0,50	0,70	0,61	0,56	0,62	0,43	0,39	0,38	0,40	0,43	0,40	0,47	0,51
Reverberation	#7	[s]	0,75	0,73	0,45	0,36	1,19	0,35	0,57	0,66	0,56	0,59	0,69	0,76	0,48	0,42	0,37	0,41	0,40	0,38	0,45	0,47	0,45
Reverberation	#8	[s]	0,75	0,80	0,65	0,33	0,34	0,46	0,53	0,39	0,63	0,68	0,69	0,57	0,60	0,48	0,41	0,43	0,40	0,41	0,40	0,47	0,44
Reverberation	#9	[s]	0,62	0,54	0,78	0,68	0,34	0,32	0,59	0,56	0,67	0,67	0,83	0,69	0,68	0,52	0,44	0,46	0,46	0,41	0,43	0,46	0,47
Reverberation	#10	[s]	0,89	1,09	0,72	0,42	0,31	0,36	0,50	0,43	0,69	0,75	0,83	0,58	0,66	0,47	0,37	0,38	0,39	0,51	0,43	0,47	0,44
Reverberation	#11	[s]	0,63	0,62	0,59	0,43	1,10	0,43	0,55	0,52	0,35	0,51	0,60	0,62	0,48	0,58	0,36	0,29	0,40	0,48	0,45	0,37	0,30
Reverberation	#12	[s]	0,43	0,58	0,47	0,62	0,41	0,53	0,68	0,35	0,41	0,60	0,68	0,52	0,45	0,47	0,42	0,34	0,42	0,44	0,40	0,38	0,32

Måling: O2 3-4

Frequency		[Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	
Receiving Total	Average	[dB]	56,8	61,1	62,0	57,0	63,6	62,8	60,7	58,1	55,7	54,1	46,3	41,5	38,9	34,4	30,6	24,2	19,3	20,5	18,6	17,0	16,1	
		Std deviation	1,6	2,3	5,6	2,5	4,7	3,2	2,8	3,4	2,7	3,4	2,5	1,7	1,5	1,8	1,3	2,3	3,1	6,7	7,3	6,3	5,3	
Receiving	#1	[dB]	59,1	60,0	51,5	54,9	68,6	67,3	61,7	60,0	57,7	59,5	50,4	42,2	38,4	35,6	32,0	26,9	21,5	17,5	15,8	16,1	17,2	
Receiving	#2	[dB]	57,7	59,8	60,5	53,3	62,8	59,9	61,4	60,5	57,6	54,9	44,6	39,3	37,3	32,4	29,9	22,7	17,1	14,3	13,5	13,6	13,7	
Receiving	#3	[dB]	57,9	63,7	67,4	60,0	58,1	59,2	55,4	55,8	54,9	53,9	43,1	38,7	41,2	34,9	31,0	25,0	17,7	10,3	8,2	8,1	8,8	
Receiving	#4	[dB]	55,7	59,0	59,3	59,2	57,5	60,0	59,9	56,5	52,5	48,6	42,5	43,0	37,1	34,2	30,0	23,4	20,8	19,5	24,3	23,9	20,3	
Receiving	#5	[dB]	54,4	63,2	65,3	58,4	67,5	65,3	63,3	60,5	56,1	50,2	47,0	43,1	38,8	33,0	29,2	25,2	22,8	28,3	23,5	18,2	20,5	
Receiving	#6	[dB]	56,8	57,1	60,3	54,7	56,4	63,1	62,6	58,5	57,7	51,8	46,1	41,4	37,5	31,1	28,5	20,0	14,5	9,8	7,5	7,6	10,3	
Receiving	#7	[dB]	55,0	62,3	53,0	54,9	57,9	58,5	58,8	51,2	50,8	50,6	44,9	40,2	38,3	34,9	31,1	21,0	14,4	8,2	6,5	7,2	9,1	
Receiving	#8	[dB]	55,9	59,0	55,9	55,7	61,0	59,5	57,2	53,6	52,9	51,9	46,0	41,9	40,7	36,4	31,9	25,1	17,9	11,8	7,2	6,8	7,8	
BackgroundN Total	Average	[dB]	22,7	22,8	21,0	20,5	16,6	20,2	19,7	13,1	7,8	8,5	7,1	3,7	3,4	2,2	2,7	3,5	4,1	4,7	5,6	6,6	10,8	
		Std deviation	2,1	0,0	4,6	1,9	2,1	0,4	2,0	2,5	0,9	2,4	0,6	0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3
BackgroundNoise	#1	[dB]	23,9	22,8	16,6	18,9	14,9	20,5	18,1	11,0	8,4	6,5	7,5	3,6	3,1	2,0	2,6	3,4	4,0	4,6	5,5	6,6	10,6	
BackgroundNoise	#2	[dB]	20,9	22,8	23,1	21,6	17,8	19,9	20,9	14,5	7,1	9,9	6,6	3,8	3,7	2,3	2,7	3,6	4,1	4,8	5,6	6,5	11,0	
Reverberation Total	Average	[s]	0,81	0,74	0,62	0,44	0,39	0,39	0,56	0,60	0,66	0,73	0,78	0,62	0,46	0,41	0,46	0,50	0,49	0,50	0,49	0,47	0,50	0,49
		Std deviation	0,11	0,11	0,16	0,09	0,09	0,13	0,05	0,08	0,13	0,08	0,09	0,09	0,09	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08
Reverberation	#1	[s]	0,92	0,82	0,40	0,44	0,30	0,26	0,52	0,52	0,43	0,71	0,59	0,70	0,57	0,49	0,32	0,39	0,50	0,41	0,44	0,40	0,43	
Reverberation	#2	[s]	0,96	0,74	0,39	0,35	0,57	0,45	0,47	0,57	0,53	0,67	0,58	0,66	0,66	0,40	0,33	0,39	0,56	0,47	0,44	0,42	0,41	
Reverberation	#3	[s]	0,85	0,75	0,64	0,30	0,34	0,53	0,58	0,69	0,47	0,74	0,82	0,90	0,67	0,48	0,42	0,47	0,51	0,47	0,46	0,57	0,57	
Reverberation	#4	[s]	0,74	0,83	0,68	0,36	0,40	0,60	0,65	0,64	0,63	0,75	0,76	0,89	0,67	0,52	0,45	0,50	0,55	0,50	0,50	0,50	0,53	
Reverberation	#5	[s]	0,70	0,50	0,67	0,55	0,31	0,24	0,51	0,59	0,63	0,70	0,69	0,79	0,63	0,45	0,44	0,40	0,51	0,53	0,50	0,57	0,50	
Reverberation	#6	[s]	0,77	0,69	0,45	0,38	0,33	0,48	0,57	0,55	0,74	0,75	0,71	0,79	0,66	0,38	0,45	0,47	0,48	0,53	0,52	0,52	0,52	
Reverberation	#7	[s]	0,88	0,92	0,96	0,53	0,49	0,39	0,61	0,56	0,60	0,48	0,80	0,89	0,50	0,46	0,42	0,46	0,50	0,50	0,52	0,56	0,57	
Reverberation	#8	[s]	0,99	0,86	0,65	0,55	0,37	0,29	0,51	0,67	0,75	0,62	0,79	0,80	0,60	0,46	0,43	0,47	0,52	0,46	0,43	0,59	0,57	
Reverberation	#9	[s]	0,75	0,68	0,67	0,49	0,32	0,22	0,60	0,53	0,74	0,74	0,70	0,75	0,65	0,39	0,39	0,43	0,42	0,52	0,51	0,55	0,52	
Reverberation	#10	[s]	0,66	0,64	0,69	0,54	0,34	0,53	0,55	0,50	0,76	0,67	0,87	0,64	0,64	0,49	0,41	0,46	0,43	0,54	0,48	0,52	0,51	
Reverberation	#11	[s]	0,67																					

Måling: ZEB 2-1

Frequency			[Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Receiving	Total	Average Std deviation	[dB]	64,5 9,1	61,4 4,0	65,5 3,0	64,9 3,2	66,2 3,6	64,2 2,8	58,5 2,5	57,4 1,9	53,8 3,0	47,7 2,2	41,5 1,4	33,2 2,2	27,2 1,5	21,6 1,7	18,1 1,8	16,0 1,4	14,2 1,0	11,8 1,0	11,9 1,7	11,9 1,6	12,7 2,0
Receiving	#All	#1	[dB]	61,3	60,7	65,5	62,4	63,7	58,5	54,7	56,9	48,0	44,2	39,1	31,3	27,0	21,6	17,8	15,0	13,2	11,3	11,6	11,6	12,1
Receiving		#2	[dB]	60,8	60,0	65,8	61,9	65,1	60,5	55,6	58,0	49,5	47,5	41,0	31,2	25,9	20,6	20,0	16,5	15,4	13,1	14,7	14,0	14,3
Receiving		#3	[dB]	71,0	67,2	60,7	61,6	65,4	66,7	61,9	56,6	50,1	45,8	40,2	30,1	24,3	18,9	18,1	13,4	13,2	10,1	9,8	10,2	10,7
Receiving		#4	[dB]	47,3	58,5	64,1	65,9	65,0	62,4	58,2	59,5	57,3	48,0	41,7	35,3	29,1	24,0	17,5	18,1	15,2	12,5	12,8	12,9	13,9
Receiving		#5	[dB]	50,1	52,7	63,2	63,0	59,8	64,1	58,4	57,8	53,7	47,6	42,2	33,6	27,4	22,3	15,2	15,9	14,7	11,6	11,6	12,3	13,7
Receiving		#6	[dB]	66,7	59,2	66,0	69,1	69,3	64,1	59,3	56,4	54,9	46,2	41,5	34,7	28,1	22,4	16,5	15,4	13,9	12,1	11,7	11,5	11,9
Receiving		#7	[dB]	65,3	63,5	64,1	63,3	63,7	63,2	57,8	58,7	53,9	45,1	39,8	29,5	24,8	18,5	15,5	13,8	12,0	10,0	9,1	9,0	9,5
Receiving		#8	[dB]	65,1	56,5	59,9	60,9	66,4	68,1	61,1	58,6	55,8	50,7	41,9	35,6	27,9	20,4	18,5	15,9	14,4	11,8	10,2	9,8	9,9
Receiving		#9	[dB]	62,2	57,2	67,9	68,9	70,9	64,6	57,3	54,7	52,5	50,6	42,0	32,7	27,7	22,7	21,0	16,6	14,7	12,5	13,1	13,7	15,4
Receiving		#10	[dB]	44,0	62,0	69,5	60,2	59,5	62,3	54,8	53,3	54,0	45,5	43,9	33,4	27,4	22,1	17,5	16,9	14,1	11,8	11,3	11,4	12,2
BackgroundN Total	Average Std deviation		[dB]	35,1 6,2	32,3 0,6	33,1 4,9	32,5 4,0	32,2 1,6	26,5 1,5	22,5 1,0	20,2 0,1	13,8 1,1	13,9 1,1	10,7 1,0	11,9 0,7	6,9 1,4	6,7 0,4	7,7 0,4	7,6 0,4	9,0 1,5	5,6 0,4	6,0 0,4	7,0 0,0	7,8 0,1
BackgroundNoise	#1		[dB]	37,6	31,8	28,4	28,9	30,9	25,3	23,1	20,1	14,5	12,5	11,4	11,1	6,4	7,6	7,4	7,3	9,9	5,3	5,7	7,0	7,7
BackgroundNoise	#2		[dB]	28,9	32,7	35,3	34,5	33,2	27,4	21,7	20,3	12,9	15,0	9,8	12,5	7,4	5,6	7,9	7,9	7,8	5,8	6,3	7,0	7,9
Reverberation Total	Average Std deviation		[s]	0,52 0,17	0,41 0,16	0,52 0,13	0,51 0,14	0,41 0,10	0,52 0,10	0,45 0,10	0,46 0,12	0,47 0,07	0,43 0,06	0,42 0,04	0,35 0,07	0,35 0,07	0,35 0,04	0,32 0,04	0,30 0,03	0,31 0,04	0,30 0,03	0,27 0,02	0,27 0,03	0,25 0,02
Reverberation	#1		[s]	0,48	0,53	0,54	0,79	0,59	0,42	0,37	0,59	0,47	0,44	0,40	0,19	0,34	0,27	0,24	0,29	0,32	0,27	0,24	0,23	0,25
Reverberation	#2		[s]	0,78	0,59	0,60	0,69	0,49	0,49	0,56	0,34	0,51	0,53	0,36	0,32	0,40	0,41	0,32	0,27	0,28	0,30	0,30	0,25	0,26
Reverberation	#3		[s]	0,27	0,21	0,56	0,38	0,26	0,39	0,39	0,60	0,47	0,50	0,44	0,47	0,39	0,33	0,31	0,38	0,40	0,32	0,30	0,28	0,25
Reverberation	#4		[s]	0,50	0,18	0,41	0,37	0,32	0,43	0,57	0,51	0,47	0,38	0,44	0,35	0,35	0,33	0,29	0,30	0,32	0,33	0,26	0,30	0,28
Reverberation	#5		[s]	0,42	0,31	0,77	0,61	0,42	0,56	0,49	0,62	0,58	0,40	0,41	0,27	0,24	0,34	0,32	0,29	0,28	0,29	0,29	0,28	0,22
Reverberation	#6		[s]	0,33	0,68	0,48	0,41	0,34	0,67	0,42	0,57	0,40	0,39	0,43	0,38	0,30	0,37	0,34	0,30	0,33	0,23	0,28	0,28	0,23
Reverberation	#7		[s]	0,56	0,55	0,46	0,58	0,32	0,54	0,54	0,34	0,40	0,50	0,40	0,33	0,40	0,35	0,32	0,25	0,31	0,30	0,24	0,23	0,25
Reverberation	#8		[s]	0,55	0,50	0,43	0,39	0,36	0,43	0,54	0,43	0,40	0,40	0,47	0,37	0,32	0,34	0,24	0,30	0,33	0,29	0,26	0,24	0,23
Reverberation	#9		[s]	0,49	0,39	0,41	0,55	0,55	0,70	0,33	0,43	0,53	0,47	0,34	0,37	0,24	0,44	0,33	0,30	0,33	0,29	0,27	0,27	0,26
Reverberation	#10		[s]	0,41	0,35	0,66	0,52	0,39	0,47	0,29	0,50	0,60	0,33	0,50	0,31	0,45	0,31	0,38	0,30	0,27	0,29	0,26	0,32	0,27
Reverberation	#11		[s]	0,85	0,23	0,32	0,50	0,43	0,52	0,54	0,36	0,37	0,36	0,41	0,39	0,40	0,34	0,33	0,29	0,25	0,32	0,28	0,27	0,26
Reverberation	#12		[s]	0,54	0,38	0,62	0,36	0,44	0,65	0,38	0,23	0,46	0,41	0,43	0,40	0,37	0,36	0,38	0,30	0,34	0,32	0,28	0,24	0,23

Måling: ZEB 3-4

Frequency			[Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Receiving	Total	Average Std deviation	[dB]	65,1 5,2	67,9 4,7	68,0 3,9	64,7 3,3	63,9 3,1	61,7 1,7	60,4 1,5	58,4 1,7	54,6 2,1	49,9 1,5	46,8 2,9	37,7 2,3	28,3 2,2	24,2 2,2	20,2 1,6	18,5 5,0	12,7 3,8	9,4 1,9	8,6 1,2	9,5 1,9	11,3 2,6
Receiving	#A	#1	[dB]	66,5	63,1	64,5	64,0	60,9	61,6	59,6	60,2	53,9	47,2	40,9	33,1	24,8	20,9	18,1	11,9	8,7	8,1	7,8	8,0	9,1
Receiving	#A	#2	[dB]	61,7	60,4	63,0	59,2	60,9	63,2	59,9	59,9	56,0	50,6	46,7	37,4	27,7	22,7	19,3	11,8	8,3	7,8	7,6	7,9	9,2
Receiving	#A	#3	[dB]	69,9	70,5	70,4	69,9	69,6	61,8	59,1	55,4	51,9	51,0	49,2	41,5	32,3	28,2	22,4	12,7	8,9	7,5	7,6	8,1	9,3
Receiving	#A	#4	[dB]	57,7	61,4	62,7	59,8	60,9	63,7	61,0	57,9	52,8	49,7	46,0	37,5	26,0	22,5	18,6	11,9	8,1	7,8	8,0	8,2	9,4
Receiving	#A	#5	[dB]	66,2	65,7	69,0	65,2	64,5	60,6	63,2	57,0	56,7	50,7	45,5	37,0	27,3	24,5	19,4	13,4	10,5	9,5	9,1	9,3	10,1
Receiving	#A	#6	[dB]	66,4	62,2	67,2	62,9	61,6	59,6	59,4	57,1	51,1	48,4	44,3	36,0	27,1	24,4	22,3	26,5	19,5	13,4	11,1	13,5	16,7
Receiving	#A	#7	[dB]	57,4	69,4	62,3	62,5	61,3	62,3	58,6	59,4	56,3	48,6	45,1	36,9	28,4	22,6	19,2	12,6	9,7	8,8	8,3	8,7	9,5
Receiving	#A	#8	[dB]	56,0	72,9	72,5	64,0	60,3	58,9	60,6	57,8	54,5	51,2	50,4	38,1	28,1	23,4	20,4	12,8	9,7	8,6	8,4	9,0	9,8
BackgroundN Total	Average Std deviation		[dB]	40,7 9,1	32,1 0,6	29,2 1,6	25,7 1,7	26,8 1,4	23,1 1,6	18,9 0,3	19,4 3,1	10,2 1,1	7,9 0,3	5,1 0,1	4,8 1,0	6,0 0,7	7,2 1,5	4,3 0,6	4,1 0,4	4,0 0,1	5,0 0,1	5,5 0,1	6,5 0,1	7,7 0,1
BackgroundNoise	#1		[dB]	43,5	31,7	28,0	26,7	27,7	24,1	19,1	16,7	9,4	8,1	5,1	4,0	5,5	6,0	3,8	4,3	4,1	5,0	5,5	6,5	7,7
BackgroundNoise	#2		[dB]	30,7	32,5	30,2	24,3	25,7	21,8	18,7	21,1	10,9	7,7	5,0	5,4	6,5	8,1	4,7	3,8	3,9	4,9	5,4	6,4	7,6
Reverberation Total	Average Std deviation		[s]	1,07 0,14	0,97 0,17	0,58 0,10	0,58 0,07	0,47 0,06	0,57 0,15	0,54 0,13	0,45 0,05	0,37 0,06	0,39 0,08	0,46 0,05	0,47 0,04	0,47 0,06	0,47 0,05	0,46 0,05	0,50 0,04	0,54 0,04	0,52 0,02	0,51 0,02	0,50 0,03	0,48 0,03
Reverberation	#1		[s]	1,08	0,86	0,70	0,67	0,42	0,66	0,59	0,48	0,44	0,45	0,56	0,48	0,47	0,50	0,46	0,50	0,54	0,51	0,53	0,50	0,52
Reverberation	#2		[s]	1,06	1,03	0,52	0,60	0,52	0,73	0,50	0,46	0,46	0,50	0,49	0,42	0,51	0,54	0,45	0,44	0,50	0,55	0,52	0,52	0,46
Reverberation	#3		[s]	1,02	1,07	0,74	0,62	0,42	0,51	0,39	0,44	0,39	0,37	0,44	0,42	0,33	0,43	0,35	0,57	0,54	0,53	0,47	0,42	0,46
Reverberation	#4		[s]	1,11	0,72	0,57	0,62	0,54	0,54	0,41	0,35	0,27	0,28	0,43	0,50	0,49	0,53	0,54	0,48	0,55	0,56	0,52	0,52	0,46
Reverberation	#5		[s]	1,10	1,13	0,65	0,50	0,48	0,72	0,46	0,45	0,32	0,41	0,42	0,43	0,43	0,50	0,47	0,47	0,57	0,49	0,49	0,51	0,49
Reverberation	#6		[s]	1,16	1,13	0,70	0,64	0,55	0,51	0,66	0,50	0,35												

Måling: LADE 3-4

Frequency			[Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Receiving	Total	Average	[dB]	54,6	51,6	55,0	59,1	59,6	58,5	55,2	51,4	46,1	41,3	37,5	37,2	38,0	37,4	33,5	32,9	33,4	32,4	31,2	21,9	12,9
		Std deviation		5,1	2,6	3,6	2,3	2,0	2,2	2,7	2,5	2,0	1,1	0,8	0,9	0,6	0,6	0,9	0,6	0,8	0,5	0,9	1,3	1,4	1,1
Receiving	#1		[dB]	46,4	49,0	52,0	56,6	57,1	55,9	53,7	49,5	47,2	39,3	37,6	36,3	39,1	36,2	33,5	32,3	33,2	31,5	30,4	22,3	13,4
Receiving	#2		[dB]	48,1	50,6	59,6	61,0	57,3	59,5	55,3	49,6	43,9	40,9	36,5	37,1	37,7	36,5	33,5	31,8	32,7	33,0	31,7	21,6	13,0
Receiving	#3		[dB]	60,7	51,3	50,5	58,6	58,7	57,8	55,6	51,2	46,8	40,3	36,6	38,6	38,7	37,4	33,9	33,9	33,1	30,4	28,4	19,2	10,8
Receiving	#4		[dB]	47,9	54,1	56,3	59,6	60,3	57,6	57,8	53,9	44,5	42,2	37,2	36,3	37,7	36,9	33,4	33,1	33,8	33,0	32,0	22,3	13,8
Receiving	#5		[dB]	48,1	46,3	52,8	61,0	62,0	58,2	50,5	54,6	49,1	40,5	37,4	38,0	37,3	38,6	34,0	33,0	34,1	32,8	31,1	22,3	13,3
Receiving	#6		[dB]	54,8	54,4	55,8	59,8	57,0	54,3	51,1	49,1	46,2	42,5	38,6	36,5	37,9	37,7	33,3	32,5	33,5	33,1	31,1	21,6	12,3
Receiving	#7		[dB]	56,3	50,7	48,2	54,3	59,8	60,0	57,2	51,0	45,2	41,5	38,5	36,6	37,9	36,6	32,2	32,3	33,4	32,6	30,6	20,4	12,1
Receiving	#8		[dB]	51,7	51,6	54,4	57,8	61,5	61,0	55,4	47,1	42,8	42,3	37,5	37,4	37,7	38,5	33,6	34,1	33,0	32,4	32,7	23,9	14,0
BackgroundN Total	Average	Average	[dB]	31,5	22,9	21,4	20,0	15,6	13,2	10,5	10,0	8,1	6,3	6,8	6,9	8,9	12,1	14,6	13,3	9,1	6,5	6,2	7,0	8,1
		Std deviation		3,0	1,8	1,3	5,4	3,5	2,3	1,3	0,9	0,4	0,7	0,4	0,1	1,3	1,2	1,0	0,9	0,9	0,6	0,1	0,1	0,1
BackgroundNoise	#1		[dB]	33,1	24,0	22,2	22,3	17,4	14,5	11,3	10,6	8,4	6,8	7,1	6,9	9,7	12,9	15,2	13,9	9,7	6,9	6,3	6,9	8,1
BackgroundNoise	#2		[dB]	28,9	21,4	20,4	14,6	12,5	11,3	9,5	9,3	7,8	5,8	6,5	6,8	7,9	11,2	13,8	12,7	8,4	6,1	6,1	7,1	8,0
Reverberation Total	Average	Average	[s]	1,12	0,76	0,69	0,64	0,56	0,42	0,41	0,50	0,48	0,47	0,49	0,46	0,43	0,44	0,50	0,50	0,48	0,46	0,47	0,46	0,44
		Std deviation		0,26	0,17	0,18	0,19	0,11	0,12	0,05	0,08	0,12	0,09	0,04	0,04	0,04	0,07	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,03	0,04	0,04
Reverberation	#1		[s]	0,84	0,87	0,67	0,80	0,62	0,38	0,38	0,52	0,62	0,46	0,51	0,40	0,46	0,37	0,47	0,49	0,50	0,44	0,43	0,46	0,46
Reverberation	#2		[s]	1,16	0,65	0,42	0,45	0,59	0,57	0,40	0,49	0,50	0,56	0,49	0,50	0,42	0,46	0,50	0,57	0,53	0,49	0,51	0,51	0,50
Reverberation	#3		[s]	0,90	1,13	1,05	0,78	0,63	0,70	0,43	0,37	0,56	0,53	0,43	0,42	0,45	0,49	0,43	0,48	0,51	0,42	0,48	0,48	0,45
Reverberation	#4		[s]	1,49	0,88	0,82	0,86	0,56	0,42	0,45	0,49	0,65	0,28	0,45	0,42	0,45	0,45	0,45	0,45	0,43	0,48	0,45	0,48	0,46
Reverberation	#5		[s]	0,76	0,87	0,66	0,71	0,48	0,46	0,40	0,49	0,31	0,41	0,50	0,49	0,45	0,48	0,53	0,48	0,51	0,44	0,50	0,46	0,41
Reverberation	#6		[s]	1,07	0,82	0,83	0,42	0,65	0,42	0,44	0,58	0,33	0,52	0,46	0,46	0,54	0,47	0,49	0,53	0,43	0,46	0,48	0,45	0,43
Reverberation	#7		[s]	1,32	0,67	0,49	0,89	0,57	0,42	0,33	0,56	0,42	0,38	0,50	0,46	0,45	0,46	0,50	0,45	0,54	0,48	0,41	0,35	0,36
Reverberation	#8		[s]	1,17	0,59	0,82	0,76	0,79	0,23	0,31	0,39	0,59	0,51	0,54	0,47	0,45	0,39	0,50	0,49	0,50	0,45	0,47	0,45	0,43
Reverberation	#9		[s]	1,09	0,87	0,58	0,54	0,44	0,34	0,44	0,46	0,52	0,54	0,48	0,44	0,42	0,43	0,52	0,48	0,49	0,44	0,42	0,46	0,41
Reverberation	#10		[s]	1,60	0,51	0,70	0,54	0,39	0,30	0,43	0,65	0,51	0,51	0,50	0,50	0,46	0,42	0,57	0,46	0,48	0,47	0,47	0,44	0,47
Reverberation	#11		[s]	1,16	0,66	0,72	0,62	0,48	0,36	0,42	0,48	0,30	0,38	0,58	0,53	0,25	0,47	0,54	0,52	0,41	0,46	0,49	0,51	0,49
Reverberation	#12		[s]	0,90	0,62	0,46	0,32	0,51	0,41	0,44	0,50	0,42	0,54	0,46	0,46	0,34	0,41	0,53	0,57	0,46	0,48	0,50	0,46	0,46

Måling: LADE 1-2

Frequency			[Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Receiving	Total	Average	[dB]	54,4	51,9	55,9	60,2	61,3	58,0	54,4	50,7	46,0	44,3	40,3	37,7	39,8	38,4	38,8	38,0	34,9	34,4	33,1	25,8	14,5
		Std deviation		4,4	2,5	2,8	1,9	2,3	2,8	2,0	2,0	1,9	1,1	1,1	1,5	0,8	1,1	1,4	3,1	2,8	0,9	1,6	1,7	1,6	1,6
Receiving	#1		[dB]	44,8	50,7	56,9	59,0	58,9	57,3	57,2	52,1	44,9	44,6	37,8	37,8	39,3	37,1	36,1	37,3	35,9	36,1	35,5	27,8	15,7
Receiving	#2		[dB]	53,9	53,2	54,8	57,2	63,1	60,8	55,8	53,2	48,7	45,3	40,0	38,1	40,8	38,8	38,1	36,5	35,4	34,9	33,7	25,9	14,5
Receiving	#3		[dB]	54,7	50,2	57,6	61,6	63,8	58,2	54,7	50,3	46,6	44,3	40,3	37,8	40,8	38,9	38,1	36,4	35,5	36,1	34,4	27,3	16,3
Receiving	#4		[dB]	48,0	52,1	57,4	61,0	61,1	57,2	51,9	47,8	43,5	42,8	39,5	36,8	39,6	37,8	37,6	36,5	34,3	33,3	32,0	25,2	15,0
Receiving	#5		[dB]	53,0	48,1	50,2	58,4	57,9	56,8	53,5	48,8	43,6	44,2	40,3	39,1	40,8	41,0	44,5	43,5	35,6	32,9	32,0	25,8	15,0
Receiving	#6		[dB]	59,0	55,9	55,8	60,5	58,7	55,0	54,2	52,0	46,8	44,1	41,1	37,2	37,9	37,4	35,6	34,7	34,0	32,4	30,7	22,8	11,9
Receiving	#7		[dB]	53,1	50,2	51,9	58,2	62,9	60,7	50,9	48,0	43,9	42,5	42,7	37,9	38,9	37,0	35,2	35,5	33,4	32,4	30,9	24,2	12,1
Receiving	#8		[dB]	55,5	49,0	57,7	62,6	59,4	52,4	53,8	50,6	46,7	45,4	39,0	36,8	39,0	37,4	35,1	35,4	34,6	35,1	32,9	25,2	14,0
BackgroundN Total	Average	Average	[dB]	35,3	28,9	25,5	19,2	17,3	11,2	10,2	8,0	6,8	6,0	6,3	7,3	7,5	10,0	12,3	10,8	6,5	5,8	5,8	7,0	8,6
		Std deviation		12,1	8,1	7,6	3,9	3,8	1,6	1,9	2,6	3,3	2,6	2,8	2,9	2,9	4,1	3,8	3,1	1,7	0,8	0,0	0,1	0,1
BackgroundNoise	#1		[dB]	38,2	31,6	28,2	21,1	19,2	12,2	11,3	9,4	8,5	7,4	7,9	8,9	9,1	12,0	14,2	12,5	7,5	6,3	5,8	7,0	8,7
BackgroundNoise	#2		[dB]	21,1	20,1	17,5	15,6	13,9	9,9	8,6	5,8	3,9	3,8	3,9	4,8	5,0	6,2	8,8	8,1	5,1	5,2	5,8	6,9	8,5
Reverberation Total	Average	Average	[s]	0,92	0,88	0,87	0,72	0,53	0,46	0,50	0,55	0,43	0,44	0,43	0,42	0,42	0,45	0,47	0,51	0,48	0,45	0,47	0,48	0,47
		Std deviation		0,21	0,14	0,19	0,15	0,13	0,11	0,06	0,09	0,11	0,05	0,06	0,06	0,07	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03
Reverberation	#1		[s]	0,81	0,95	1,07	0,82	0,69	0,49	0,45	0,70	0,36	0,48	0,51	0,53	0,45	0,44	0,45	0,47	0,49	0,41	0,46	0,48	0,50
Reverberation	#2		[s]	0,84	0,88	1,26	0,47	0,46	0,32	0,50	0,58	0,43	0,43	0,41	0,45	0,39	0,51	0,46	0,50	0,53	0,45	0,49	0,50	0,47
Reverberation	#3		[s]	1,05	0,76	0,78	0,75	0,27	0,44	0,45	0,44	0,52	0,42	0,44	0,46	0,39	0,52	0,52	0,55	0,50	0,46	0,44	0,49	0,44
Reverberation	#4		[s]	0,81	0,82	0,78	0,84	0,70	0,39	0,57	0,57	0,53	0,50	0,48	0,42	0,37	0,41	0,44	0,49	0,48	0,47	0,48	0,46	0,50
Reverberation	#5		[s]	0,76	1,01	1,09	0,88	0,66	0,63	0,52	0,54	0,50	0,45	0,29	0,47									

