

# Evaluering av krav til lydisolering mellom boliger i NS 8175

**Runar Golimo Simonsen**

Master i elektronikk

Oppgaven levert: Mai 2008

Hovedveileder: Arild Brekke, IET

Biveileder(e): Sigmund Olafsen, Brekke & Strand akustikk AS



# Oppgavetekst

Det viser seg ofte å være misforhold mellom folks forventninger til lydisolasjon i nye boliger og gjeldende krav. Oppgaven går ut på å vurdere om lydisolasjonskurve og entallsverdien for lydisolering mellom boliger som benyttes i dag er riktig eller om det bør gjøres justeringer. Kandidaten skal gjennomføre et antall målinger av faktisk lydnivå i boliger for forskjellige typer husstunder, slik at det fremskaffes et representativt grunnlag for støybelastningen. Før måleseriene gjennomføres gjøres studier vedrørende plassering av målepunkter, måletider og statistisk behandling av måledata. Ut fra målte lydnivåer i boligene skal det beregnes hvilket lydnivå dette medfører hos nabo. Kandidaten skal også vurdere kostnader ved og effekten av å bedre lydisolasjonen opp til klasse B etter NS 8175.

Oppgaven gitt: 15. januar 2008  
Hovedveileder: Arild Brekke, IET



## Sammendrag

Denne masteroppgaven har gått ut på å vurdere hvorvidt gjeldende krav til lyd-isolasjon mellom boliger står i sammenheng med folks forventninger til lydnivå fra nabo. Det ble gjort målinger for å kartlegge det generelle lydnivået i oppholdsrom i fem private boliger. De innhentede data ble brukt som grunnlag for å beregne resulterende lydnivå hos en hypotetisk nabo gjennom et utvalg av 18 ulike lette skillevegger. Data fra de 18 lettveggene ble hentet fra erfaringsdata-basen StairWay hos Brekke & Strand akustikk AS.

Det viste seg at ingen av de foreslåtte alternative beskrivelser av lydnivået ser ut til å være bedre enn dagens standard. Verken differanse i veid lydnivå eller A-veid gjennomsnittsspektrum hadde klare fordeler i forhold til henholdsvis veid reduksjonstall og referansespektra for omgjøringstall. Referansekurven for bestemmelse av ett-tallsverdi stemte også godt med frekvenskurvene av tilsynelatende reduksjonstall for utvalget av lettvegger. Det er derfor lite grunnlag for å gjøre vesentlige endringer på standarden for beskrivelse av lyd-isolasjon.

C-veid maksimalnivå hos nabo var imidlertid noe høyere enn ønskelig siden det i 8% av tiden oversteg 47dBC, som er standardens grenseverdi for støy fra tekniske installasjoner. Det settes derfor et lite spørsmålstegn ved dagens utstrakte bruk av A-veing siden dette tar bort mye av den lavfrekvente energien. Et forslag til justering av dagens krav kan være å legge til omgjøringstall for spektrum også for klasse C slik at det i større grad blir tatt hensyn til isolasjonen ved frekvenser under 100Hz.

Det ble også gjort en kostnadsvurdering av en eventuell oppgradering til klasse B for lydkrav til boliger. Denne viste at det er verdien av tapt boareal til tykkere vegger som er den dominerende kostnaden ved en eventuell utbygging.

Det ble ikke gjort spørreundersøkelse i forbindelse med denne oppgaven, men det vil være en viktig del av en eventuell videreføring av prosjektet. Det er først ved å gjøre en landsomfattende undersøkelse at det kan kartlegges om folk virkelig er fornøyd med dagens krav til lyd-isolasjon eller ikke.

## Abstract

This master's thesis is about whether the Norwegian standard for sound insulation between flats meets people's expectations of sound level from the neighbours. Measurements were made to find the general sound level in living rooms of five private homes. The registered data were used to calculate the sound level at a hypothetical residence next door through a selection of 18 different partition walls. Data from these 18 walls were extracted from the knowledge base Stair-Way at Brekke & Strand akustikk AS.

It turned out that none of the proposed alternative descriptions of the sound level seemed to be better than the current standards. Neither difference in weighted sound level nor the A weighted mean spectrum had obvious advantages compared to weighted sound reduction index and reference spectra for calculating spectrum adaption terms. The curve of reference values to calculate single number quantities also seemed to correlate well with the spectra of apparent sound reduction indices. There are therefore no obvious reasons to make considerable changes to the standard for description of sound insulation.

However, the C weighted maximum sound level next door was somewhat higher than desirable since it exceeded the limit value (for technical installations) of 47dBC in 8% of the time. The question should be raised whether the extensive use of A-weighting leads to an underestimation of the annoyance from low frequent sound energy. An adjustment of the standard is suggested that includes the spectrum adaption terms also in sound class C in order to consider frequencies below 100Hz to a greater extent.

An estimation of the costs of upgrading the standard to class B for living rooms was also done. The calculation showed that it is the loss of area because of the thicker walls that is the main expense.

This thesis does not include a questionnaire about annoyance from neighbours, but that will be a natural follow-up to the project. This needs to be done in order to discover whether people really are satisfied with the sound insulation or not.

## Forord

Denne oppgaven avslutter masterstudiet i elektronikk ved NTNU med signalbehandling og akustikk som fordypning. Rapporten er resultatet av arbeidet som ble utført våren 2008 ved Brekke & Strand akustikk AS på Skøyen i Oslo.

Jeg vil rette en stor takk til Sigmund Olafsen for god veiledning og hjelp samt hyggelige samtaler gjennom hele prosessen. Takk til Arild Brekke som var den formelle faglærer og kontaktperson for NTNU. Takk til Magne Skålevik som hadde den opprinnelige idéen til oppgaven samt nyttige tips underveis. Takk spesielt til de som stilte sine hjem til disposisjon for målinger. Takk også til resten av de ansatte ved Brekke & Strand for gode tips og hyggelig arbeidsmiljø. Sist, men ikke minst, vil jeg takke min samboer Tone og huskyfrøken Nala for oppmuntring og støtte.

Oslo, 23. mai 2008

Runar Golimo Simonsen

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>I</b>
<b>Abstract</b>	<b>II</b>
<b>Forord</b>	<b>III</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
1.1 Mål . . . . .	1
1.2 Dekomponering av problemet . . . . .	1
1.3 Denne oppgaven . . . . .	1
<b>2 Teori</b>	<b>3</b>
2.1 Antakelser . . . . .	3
2.2 Lydisolasjon . . . . .	4
2.3 Tilsynelatende reduksjonstall . . . . .	4
2.4 Differansespektrum . . . . .	5
2.5 Romisolering . . . . .	5
2.6 Ett-tallsverdi . . . . .	5
2.7 Omgjøringstall . . . . .	6
2.8 Dobbeltveggresonans . . . . .	6
2.9 Romkorleksjon . . . . .	6
2.10 Fordeling av ekvivalentnivå . . . . .	7
2.11 A- og C-veide nivå . . . . .	8
2.12 Lydnivå hos nabo . . . . .	8
2.13 Forskjell i veid lydnivå . . . . .	9
2.14 Gjennomsnittsspektrum . . . . .	9
2.15 Lydklasser . . . . .	10
<b>3 Metode og gjennomføring</b>	<b>11</b>
3.1 Utstyrliste . . . . .	11
3.2 Innsamling av data . . . . .	11
3.3 Behandling av data . . . . .	13
3.4 Analyse . . . . .	14
<b>4 Resultater</b>	<b>18</b>
4.1 Data om boligene . . . . .	18
4.2 Lettvegger . . . . .	18
4.3 Koreksjonsspektra . . . . .	19
4.4 Ukorrigerte spektra . . . . .	19
4.5 Målte ekvivalentspektra . . . . .	20
4.6 A-veid utregnet vs. måler . . . . .	25
4.7 Fordeling av A- og C-veide nivå . . . . .	25
4.8 Fordeling av A- og C-veide nivå hos nabo . . . . .	26



4.9	Persentiler av veide nivå hos nabo . . . . .	27
4.10	Reduksjonstall vs. referansekurve . . . . .	29
4.11	Veide spektra vs. referansespektra . . . . .	30
4.12	Ett-tallsverdier . . . . .	32
4.13	A- og C-veid nivåforskjell . . . . .	33
4.14	Veid reduksjonstall vs. isolasjonstykkelse . . . . .	36
<b>5</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>37</b>
5.1	Nivådifferanser . . . . .	37
5.2	Romkorreksjon . . . . .	37
5.3	Målte spektra . . . . .	38
5.4	A-veid nivå beregnet vs. måler . . . . .	39
5.5	Lydnivå i boligene . . . . .	40
5.6	Lydnivå hos nabo . . . . .	40
5.7	Vurdering av lydisolasjonskurve . . . . .	41
5.8	Vurdering av ett-tallsverdi . . . . .	42
5.9	Lave frekvenser . . . . .	43
5.10	Veiing . . . . .	43
5.11	Vurdering av kostnader . . . . .	44
5.12	Bruk av utstyr . . . . .	45
5.13	Vurdering av eget arbeid . . . . .	46
5.14	Videre arbeid . . . . .	46
<b>6</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>47</b>
	<b>Referanser</b>	<b>48</b>
	<b>Appendiks</b>	<b>50</b>
<b>A</b>	<b>Lettveggdata</b>	<b>50</b>
<b>B</b>	<b>A- og C-veiing i 1/3-oktavbånd</b>	<b>51</b>
<b>C</b>	<b>Veiekurver for A-, B- og C-veiing</b>	<b>52</b>
<b>D</b>	<b>Kildekode for beregninger (MATLAB)</b>	<b>53</b>
D.1	run.m . . . . .	53
D.2	beregning.m . . . . .	57
D.3	makevar.m . . . . .	58
D.4	plotrefkurve.m . . . . .	59
D.5	plotspektrum.m . . . . .	60
D.6	plotgjspek.m . . . . .	61
D.7	plotfordeling.m . . . . .	63
D.8	plotkumfordeling.m . . . . .	65
D.9	plotdelta.m . . . . .	66

D.10 plotveiekurver.m . . . . .	68
D.11 plotLWn.m . . . . .	69
D.12 fordeling.m . . . . .	70
D.13 export.m . . . . .	70
D.14 energisum.m . . . . .	71

## **E Automatisering av datakonvertering 72**

### **Figurer**

2.1 Eksempel på fordeling av veide lydnivå . . . . .	7
3.1 Skjematisk framstilling av et typisk valg av loggepunkt i en hypotetisk stue. . . . .	12
3.2 Skjematisk framstilling av et typisk valg av støykildeplasseringer og målepunkter i en hypotetisk stue. For hver av støykildeplasseringene gjøres målinger ved hvert målepunkt samt ved loggepunktet.	13
3.3 Skjematisk oversikt over sammenhengen mellom MATLAB-skript og -funksjoner. . . . .	16
4.1 Spektra av nivådifferansen $D$ gjennom de 18 ulike lettveggene. .	18
4.2 Spektra av korreksjonsfaktor $-H$ for hver av målelokasjonene. .	19
4.3 Eksempel på målte (ukorrigerede) ekvivalentspektra fra bolig 1. .	19
4.4 Målte (og korrigerede) ekvivalentspektra fra bolig 1. . . . .	20
4.5 Ekvivalent gjennomsnittsspektrum for bolig 1. . . . .	20
4.6 Målte (og korrigerede) ekvivalentspektra fra bolig 2. . . . .	21
4.7 Ekvivalent gjennomsnittsspektrum for bolig 2. . . . .	21
4.8 Målte (og korrigerede) ekvivalentspektra fra bolig 3. . . . .	22
4.9 Ekvivalent gjennomsnittsspektrum for bolig 3. . . . .	22
4.10 Målte (og korrigerede) ekvivalentspektra fra bolig 4. . . . .	23
4.11 Ekvivalent gjennomsnittsspektrum for bolig 4. . . . .	23
4.12 Målte (og korrigerede) ekvivalentspektra fra bolig 5. . . . .	24
4.13 Ekvivalent gjennomsnittsspektrum for bolig 5. . . . .	24
4.14 Fordeling av ekvivalent A-veid nivå beregnet (ukorrigert) fra 1/3-oktavbånd sammenlignet med nivå hentet fra måler for alle boligene. . . . .	25
4.15 Fordeling av A- og C-veide nivå totalt for alle boligene. . . . .	25
4.16 Kumulativ fordeling av A- og C-veide nivå totalt for alle boligene.	26
4.17 Fordeling av A- og C-veide lydnivå hos nabo gjennom alle veggene for alle boligene. . . . .	26
4.18 Kumulativ fordeling av A- og C-veide lydnivå hos nabo gjennom alle veggene for alle boligene. . . . .	27
4.19 Prosentvis oversteget A-veid ekvivalentnivå hos nabo. . . . .	27
4.20 Prosentvis oversteget A-veid maksimalnivå hos nabo. . . . .	28
4.21 Prosentvis oversteget C-veid ekvivalentnivå hos nabo. . . . .	28

4.22	Prosentvis oversteget C-veid maksimalnivå hos nabo. . . . .	29
4.23	Sammenligning av $R'$ for de 18 lettveggene og referansekurven for bestemmelse av ett-tallsverdi. . . . .	29
4.24	A-veide ekvivalentspektra for bolig 1 sammenlignet med referansekurver for beregning av omgjøringstall. . . . .	30
4.25	A-veide ekvivalentspektra for bolig 2 sammenlignet med referansekurver for beregning av omgjøringstall. . . . .	30
4.26	A-veide ekvivalentspektra for bolig 3 sammenlignet med referansekurver for beregning av omgjøringstall. . . . .	31
4.27	A-veide ekvivalentspektra for bolig 4 sammenlignet med referansekurver for beregning av omgjøringstall. . . . .	31
4.28	A-veide ekvivalentspektra for bolig 5 sammenlignet med referansekurver for beregning av omgjøringstall. . . . .	32
4.29	Ett-tallsverdier $D_{n,T,w}$ , $R'_w$ og $R'_w + C$ for de 18 lettveggene. . . . .	32
4.30	Forskjell i veide ekvivalent- og maksimalnivå sammenlignet med ett-tallsverdier for bolig 1. . . . .	33
4.31	Forskjell i veide ekvivalent- og maksimalnivå sammenlignet med ett-tallsverdier for bolig 2. . . . .	33
4.32	Forskjell i veide ekvivalent- og maksimalnivå sammenlignet med ett-tallsverdier for bolig 3. . . . .	34
4.33	Forskjell i veide ekvivalent- og maksimalnivå sammenlignet med ett-tallsverdier for bolig 4. . . . .	34
4.34	Forskjell i veide ekvivalent- og maksimalnivå sammenlignet med ett-tallsverdier for bolig 5. . . . .	35
4.35	Forskjell i veide ekvivalent- og maksimalnivå sammenlignet med ett-tallsverdier samlet for alle boligene. . . . .	35
4.36	Fordeling av forskjell i A- og C-veide nivå for alle boligene. . . . .	36
4.37	Sammenheng mellom isolasjonstykkelse og veid reduksjonstall for et noe større utvalg av lettvegger fra StairWay. . . . .	36

## Tabeller

3.1	Liste over utstyr brukt i den praktiske delen av prosjektet. . . . .	11
3.2	Data fra de utvalgte lettveggene: Veid reduksjonstall $R'_w$ , omgjøringstall $C$ for spektrum, ett-tallsverdi for romisolering $D_{n,T,w}$ , samt volum $V$ for naborommet, skilleareal $S_{skille}$ og tilnærmet frekvens $f_0$ for dobbeltveggresonans. . . . .	15
4.1	Data om boligene det er blitt gjort målinger i. . . . .	18

# 1 Innledning

Man kan ikke unngå å legge merke til lyd og støy som kommer fra tilstøtende boliger. Spesielt ikke hvis man bor tett på nabo, som for eksempel i et rekkehus. Spørsmålet er imidlertid i hvilken grad man lar seg sjenere av denne støyen. Hva er akseptabelt og hva er for mye? Dagens standard for vurdering av data fra lydisolasjonsmålinger i bygninger er beskrevet i [13] mens kravene til lydisolasjonen for de ulike klassene av bygningstyper er gitt i [14]. For boliger er kravet for klasse C satt til  $R'_w \geq 55\text{dB}$ . I følge standarden kan da inntil 20% av de berørte forventes å la seg forstyrre.

## 1.1 Mål

Målet med denne oppgaven er å undersøke om det er grunnlag for å se nærmere støykravene til boliger. Dersom utfallet viser seg å gi ny og spennende informasjon, kan det være aktuelt å sette i gang et mer omfattende forskningsprosjekt for å kartlegge og eventuelt foreslå justeringer av gjeldende krav i henhold til folks forventninger. Av hensyn til tid og arbeidsmengde er det ikke inkludert en spørreundersøkelse i dette prosjektet, men det vil være en naturlig videreføring dersom resultatene viser seg å være interessante.

## 1.2 Dekomponering av problemet

For å få et grunnlag å vurdere kravene på, skal det gjøres målinger for å kartlegge det faktiske støynivået i en gjennomsnittlig bolig idag. Målingene gjøres i et begrenset omfang, men resultatene vil likevel gi en indikasjon. Lydnivå hos en tenkt nabo blir beregnet ved å bruke lettveggdata fra databasen StairWay. Resultatene analyseres i lys av dagens gjeldende krav til lydisolasjonskurve og bestemmelse av ett-tallsverdi for lydisolasjon [13, s. 7]. Det skal også gjøres en kostnadsvurdering av en eventuell oppgradering til lydklasse B for boliger.

## 1.3 Denne oppgaven

Opgaven er delt inn i følgende hoveddeler:

- **Teori:** Dette kapitlet tar for seg den teoretiske bakgrunnen for begreper som er relevante for prosjektet. Det forutsettes at leseren er godt kjent med grunnleggende akustiske parametre og målestørrelser.
- **Metode og gjennomføring:** Kapitlet gir en beskrivelse av hvordan den praktiske delen av prosjektet er gjennomført. Det tar for seg måleteknikk, målinger samt bearbeidelse og analyse av data.

- **Resultater:** Her gjengis de viktigste resultatene fra målingene og beregningene i form av figurer og tabeller.
- **Diskusjon:** Dette kapitlet tar for seg resultatene og drøfter dem i henhold til målet. Det skisseres også eventuelt videre arbeid.
- **Konklusjon:** Her oppsummeres de viktigste slutningene av diskusjonen.

## 2 Teori

### 2.1 Antakelser

I praktiske anvendelser innen akustikk er det helt nødvendig å gjøre antakelser for å gjøre situasjonen håndterbar med tanke på beregninger som skal gjøres. For å forenkle situasjonen i dette prosjektet blir følgende antakelser gjort:

- **Diffusitet:** Et diffust lydfelt beskrives i [9, s. 298] ved at energitettheten er den samme i alle punkt i rommet slik at innfallende bølge kan komme fra alle vinkler med samme sannsynlighet. Dette impliserer også at frekvenskurven er konstant over alt i rommet. I praksis er lydtrykket i for eksempel en stue aldri helt diffust, spesielt ikke ved lave frekvenser. I dette prosjektet er likevel antakelsen om diffust lydfelt gjort, men med visse forbehold: Lydfeltet er tilstrekkelig diffust slik at en midling over et begrenset antall målinger gir den generelle frekvensresponsen til rommet.
- **Enkel skillekonstruksjon:** Skillekonstruksjonen mellom den aktuelle boligen og nabo består kun av én bygningsdel, nærmere bestemt en lettvegg hvis data er hentet fra databasen StairWay. Det er kun brukt lette skillevegger av den grunn at det er slike det eksisterer mest data om i databasen pr. januar 2008.
- **Kveld- og nattnivå:** Ekvivalent lydnivå pleier ofte å bli justert i forhold til tid på døgnet når man kartlegger støybelastningen for boliger [14, tillegg D.2]. Dette gjøres fordi støy med et gitt nivå sjenerer mer om kvelden og natta enn om dagen. Dette både på grunn av at folk vanligvis skal sove, og at det generelle bakgrunnsstøynivået er lavere på disse tidene av døgnet. I dette prosjektet blir det ikke tatt hensyn til kveld- og nattnivå siden målingene som blir gjort er av støy som hovedsakelig stammer fra menneskelig aktivitet, og følgelig vil det justere seg etter tid på døgnet av seg selv.
- **Spektrum:** Begrepene *spektrum* og *frekvenskurve* blir i denne oppgaven brukt om en serie 1/3-oktavbåndsverdier, i utgangspunktet i frekvensområdet 50Hz–5kHz. Det er ikke hensiktsmessig å bruke høyere frekvensoppløsning enn dette ved beskrivelse av frekvenskarakteristikken til støy fra udefinerte støykilder. Den menneskelige hørsel har forøvrig frekvensoppløsning (Bark-bånd [16, s. 6]) i denne størrelsesorden.
- **Dynamisk område:** Lydnivåmålere av litt eldre type, som for eksempel Brüel & Kjær 2260, har begrenset digital oppløsning (B&K2260: 16 bit) og dermed begrenset dynamisk område for måling av lydnivå. I tilfeller der målinger faller utenfor målerens dynamiske område blir disse satt til den aktuelle grenseverdien.

Andre antakelser som eventuelt blir gjort underveis uttrykkes eksplisitt i den aktuelle sammenhengen.

## 2.2 Lydisolasjon

De lydisolerende evnene til en vegg kan beskrives ved å tallfeste transmisjonen av lydenergi gjennom den. *Transmisjonsfaktoren* [18, s. 176] til veggen beskriver dette og er gitt som forholdet mellom transmittert og innfallende akustisk effekt, nærmere bestemt

$$\tau = \frac{W_t}{W_i} \quad (1)$$

der  $W_t$  er transmittert effekt og  $W_i$  er innfallende.

I praksis er det likevel mer vanlig å bruke *reduksjonstallet* [4, s. 2], som er den tilsvarende logaritmiske størrelsen

$$R = 10 \log\left(\frac{1}{\tau}\right) = 10 \log\left(\frac{W_i}{W_t}\right) \quad (2)$$

siden denne er mer håndterlig å bruke, spesielt i forhold til lydnivå og andre akustiske parametre som også uttrykkes i dB.

Det er viktig å legge merke til at det her er logaritmen til den *inverse* av transmisjonsfaktoren som gjelder. Dette gjøres for å få en positiv dB-verdi for reduksjonstallet. Navnet *reduksjons-tall* impliserer også i seg selv at det er snakk om en negativ forskjell.

## 2.3 Tilsynelatende reduksjonstall

I en faktisk situasjon med to boliger skilt av en vegg vil det, i tillegg til direkte transmisjon gjennom veggen, også bli overført lyd gjennom de tilstøtende strukturene (flanketransmisjon). Dette spesielt hvis stenderverk og/eller bærende konstruksjoner er felles for de to, som for eksempel gjennomgående gulvbjelker. Det blir derfor brukt et uttrykk for *tilsynelatende reduksjonstall* [18, s. 179] for å ha et mål på samlet overføring av lydenergi fra et rom til et annet. Dette er definert som

$$R' = D + 10 \log\left(\frac{S}{A_M}\right) \quad (3)$$

der  $D$  er differansen i lydtrykksnivå mellom rommene ved måling,  $S$  er arealet av transmisjonsoverflaten (skilleareal) og  $A_M$  er totalt absorpsjonsareal i motakerrommet. Data om lettveggene som tas i betraktning i dette prosjektet er hentet fra erfaringsdatabasen StairWay hos Brekke & Strand akustikk i form av blant annet tilsynelatende reduksjonstall i 1/3-oktavbånd.

## 2.4 Differansespektrum

Med utgangspunkt i (3) er det dermed mulig å beregne seg tilbake til nivådifferansen mellom det aktuelle rommet og eventuell nabo ut fra data om naborommet samt lettveggdata hentet fra StairWay. Nivådifferansen er gitt (i hvert 1/3-oktavbånd) ved

$$D = R' - 10 \log \left( \frac{S_{\text{skille}}}{0.16V/T} \right) \quad (4)$$

der  $S_{\text{skille}}$  er skillearealet,  $V$  er volumet og  $T$  er målt etterklangstid i naborom. Det er her brukt Sabines formel for etterklangstid [25],[6, s. 336] for å beregne absorpsjonsarealet i rommet siden volumet er begrenset. I følge [5, ligning (7)] er det standard å bruke kun to desimaler i utregningen.

## 2.5 Romisolering

Det har tidligere blitt brukt en *standardisert lydtrykknivådifferanse*  $D_{n,T}$  [18, s. 179] som beskrivelse av lydisolasjon i norske funksjonskrav. EN-ISO 140 del 4 [5] gir fortsatt mulighet til å bruke denne størrelsen. Nivådifferansen er gitt som

$$D_{n,T} = D + 10 \log \left( \frac{T}{T_0} \right) \quad (5)$$

der  $T$  er målt og  $T_0$  standardisert etterklangstid (for boliger er  $T_0 = 0.5\text{s}$ ). Ett-tallsverdi for romisolering beregnes med samme framgangsmåte som for reduksjonstall, se avsnitt 2.6. Det hevdes at denne nivådifferansen gir en bedre beskrivelse av opplevd lydisolasjon enn det tilsynelatende reduksjonstallet, men det er altså  $R'$  som er grunnlag for gjeldende krav, og som det blir lagt vekt på i dette prosjektet.

## 2.6 Ett-tallsverdi

De lydisolerende egenskapene til en vegg kan representeres ved ett enkelt tall, et *veid reduksjonstall* ( $R'_w$ ), som er raskere og enklere å forholde seg til enn en frekvenskurve i 1/1- eller 1/3-oktavbånd. Det blir i stedet brukt referansekurver med fastlagt form for å representere frekvensfordelingen. Slike standardiserte kurver finnes for eksempel i ISO 717-1 [13, s. 7–10]. Ett-tallsverdien bestemmes ved å sammenligne den målte frekvenskurven med referansekurven og forskyve denne etter bestemte kriterier [13, s. 11]. Det veide reduksjonstallet  $R'_w$  fås som verdien av referansekurven ved 500Hz etter forskyvningen. Ett-tallsverdier for de aktuelle lettveggene i dette prosjektet er hentet fra StairWay.



## 2.7 Omgjøringstall

Det blir også brukt et såkalt *omgjøringstall for spektrum* ( $C$ ) i beregningen av lydisolasjon. Dette tallet brukes som et tilleggskriterium i vurderingen av lydisolasjon i boliger [13] og legges til  $R'_w$  for å ta hensyn til frekvenser under 100Hz i klasse A og B. Selv om det ikke kreves, oppfordres det likevel til å legge til omgjøringstall også for klasse C. Dette som en tilleggsvurdering siden det fører til en 2dB strengere gjennomsnittlig bedømmelse. Omgjøringstallet beregnes i henhold til [13] og er gitt ved

$$C = X_A - X_w \quad (6)$$

der  $X_A$  er normalisert differanse i A-veid lydtrykksnivå med kildespekter av rosa støy og  $X_w$  er aktuell ett-tallsverdi.

## 2.8 Dobbelveggresonans

En lett dobbeltvegg uten kobling mellom platene har resonansfrekvens gitt av massen og stivheten til veggplatene. En overslagsberegning av denne frekvensen kan gjøres ved å bruke masse og avstand. Denne er gitt i [18, s. 241] som

$$f_0 \approx 60 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2 d}} \quad (7)$$

der  $m_1$  og  $m_2$  er masse/flateenhet [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ] til de to veggplatene, og  $d$  er avstanden [ $\text{cm}$ ] mellom dem. Dobbelveggresonansen fører til dårlige isolasjonsegenskaper i dette frekvensområdet, og det er derfor ønskelig å få den så lav som mulig slik at den gir minst mulig sjenanse.

## 2.9 Romkorleksjon

Når det skal gjøres målinger over tid i et oppholdsrom i normal bruk, sier det seg selv at det er svært upraktisk å ha en mikrofon stående på stativ midt i rommet til enhver tid. Dette vil både hindre normal bruk av rommet samtidig som brukerne til stadighet blir minnet på at det foretas målinger, hvilket igjen kan føre til mindre naturlig lydnivå. Målemikrofonen blir derfor plassert inntil et hjørne, oppå et skap eller en lignende plass som er litt ute av veien for beboerne.

For å utjevne de akustiske ulempene en slik plassering medfører, blir målingene filtrert med en *korleksjonsfaktor*. Denne faktoren er den inverse av overføringsfunksjonen  $H$  mellom målemikrofonens plassering under loggingen (loggepunktet) og det generelle lydnivået i rommet der folk normalt oppholder seg.

Korreksjonsfaktoren beregnes ved først å gjøre en energimidling over  $k \cdot i$  målinger gjort med  $i$  ulike plasseringer av en støykilde for hvert målepunkt  $k$ :

$$\bar{L}_k = 10 \log \left( \frac{1}{i} \sum_i 10^{0.1L_{k,i}} \right) \quad (8)$$

der  $L_{k,i}$  er måling ved målepunkt  $k$  for støykildeplassering  $i$ . Samme energimidling gjøres også for loggepunktet:

$$\bar{L}_{\text{loggpkt}} = 10 \log \left( \frac{1}{i} \sum_i 10^{0.1L_{\text{loggpkt},i}} \right) \quad (9)$$

der  $L_{\text{loggpkt},i}$  er måling i loggepunktet for støykildeplassering  $i$ . Videre beregnes et generelt lydnivå i rommet ved å midle over de  $k$  målepunktene:

$$\bar{L}_{\text{rom}} = 10 \log \left( \frac{1}{k} \sum_k 10^{0.1\bar{L}_k} \right) \quad (10)$$

Til slutt beregnes selve overføringsfunksjonen mellom loggepunktet  $\bar{L}_{\text{loggpkt}}$  og målepunktene  $\bar{L}_{\text{rom}}$  (i hvert 1/3-oktavnivå):

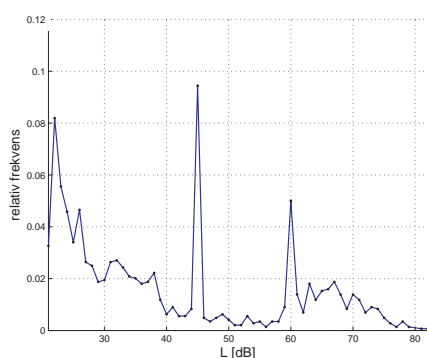
$$H = \bar{L}_{\text{loggpkt}} - \bar{L}_{\text{rom}} \quad (11)$$

Korreksjonsfaktoren er den inverse av denne overføringsfunksjonen (inversfilter) og blir dermed  $-H$ . På denne måten oppnås romkorrigerede målinger

$$L_{\text{korrigeret}} = L_{\text{logget}} - H \quad (12)$$

der  $L_{\text{logget}}$  er logget lydnivå hentet fra lydmåler etter endt loggeperiode.

## 2.10 Fordeling av ekvivalentnivå



**Figur 2.1:** Eksempel på fordeling av veide lydnivå

Fordelingskurven over ekvivalent lydnivå  $L_{\text{eq}}$  gir et bilde over forekomsten av de målte lydnivå i en bolig over tid. I målingene gjort i dette prosjektet blir  $L_{\text{eq}}$  målt over femminuttersintervaller og fordelingen representert med 1dB oppløsning. Figur 2.1 viser et eksempel på en slik fordelingskurve over målte lydnivå. Kurven viser store utslag for lave nivå, d.v.s. når folk sover eller ikke er hjemme. Den viser også tydelige toppe ved 45 og 60dB hvilket betyr at disse nivåene forekommer relativt oftere enn de andre. Dette kan skyldes for eksempel vifter eller andre tekniske installasjoner med et gitt støynivå.

## 2.11 A- og C-veide nivå

Siden menneskets hørsel har vist seg å ha varierende sensitivitet over det hørbare frekvensområdet (ca. 20Hz–20kHz), har det blitt utviklet såkalte *veiekurver* for å vektlegge de ulike frekvens(bånd)ene deretter. Uheldigvis varierer også fasongen på frekvensresponsen i øret med lydstyrken på en slik måte at den er flatere ved høye nivå enn ved lave [10, s. 39-42]. Dette har resultert i ulike veiekurver, A-, B- og C-veing, for ulike nivå fra lave til høye.<sup>1</sup> Det er imidlertid bare A- og C-veing som normalt sett blir brukt idag. Disse kurvene tar utgangspunkt i phonkurvene [8, s. 300][24] ved henholdsvis 40 og 100phon (40 og 100dB ved 1kHz).

Det A-veide ekvivalente lydnivået beregnes ved å filtrere spekteret med et standard A-filter [9, s. 86],[19], eventuelt med et nettverk av verdier i en gitt frekvensbåndoppløsning. Eksempel på veienettverk for 1/1- og 1/3-oktavbånd er gitt i appendiks B (hentet fra [1] og [3]). Etter filtreringen summeres energien over det aktuelle frekvensområdet:

$$L_{A,eq} = 10 \log \left( \sum_i 10^{\frac{L_i + A_i}{10}} \right) \quad (13)$$

der  $L_i$  er ekvivalent lydtrykksnivå og  $A_i$  er A-filterverdi i frekvensbånd  $i$ .

Maksimalt A-veid lydtrykksnivå kan beregnes fra 1/3-oktavbånd på samme måte som  $L_{A,eq}$  ved å bruke  $L_{A,max}$  i stedet for  $L_{A,eq}$  i ligning (13). Det er imidlertid viktig å bemerke at A-veid maksimalnivå ikke nødvendigvis er det samme som energisummen av maksimalnivå i hvert 1/3-oktavbånd. Maksimalnivåene i de forskjellige frekvensbåndene kan nemlig stamme fra ulike hendelser i måleperioden, spesielt når måleperioden er så lang som fem minutter. I de fleste tilfeller er denne feilen imidlertid så liten at den kan neglisjeres.

## 2.12 Lydnivå hos nabo

Metoden for å beregne lydnivå hos nabo er utviklet med utgangspunkt i [15], men bruker altså data fra lette skillevegger mellom rom i stedet for fasadespekt- ra. Lettveggdata samt informasjon om naborommet hentes fra erfaringsdataba- sen StairWay. Basert på målingene gjort i et oppholdsrom kan lydnivået hos eventuell nabo beregnes ved bruk av reduksjonstallet og skillearealet for den ak- tuelle lettveggen samt volum og etterklangstid i naborom. Lydnivådifferansen  $D$ , mellom rommet det måles i og naborommet, beregnes på forhånd for hver lettvegg ved å bruke ligning (4). Romkorreksjonen  $-H$  tas også med for å jevne

<sup>1</sup>Det eksisterer også en kurve for D-veing [19, avsnitt 2], men denne er utviklet spesielt for støy fra tidlige jetfly og gjelder ikke høye nivå generelt.

ut akustiske effekter ved loggepunktet. Dermed blir beregningen av lydnivå (i dB) hos nabo

$$L_{\text{nabo},i} = L_{\text{målt},i} - H_i - D_i \quad (14)$$

for hvert 1/3-oktavbånd  $i$ .

A- og C-veide ekvivalent- og maksnivå fås ved å filtrere og summere i henhold til ligning (13). Dermed kan veide nivå hos nabo for alle kombinasjoner av målinger og vegger beregnes. Med måledata fra 5 boliger, ca. 1000 måleperioder pr. bolig og data fra 18 lettvegger, blir det omlag 90000 verdier for statistisk analyse.

## 2.13 Forskjell i veid lydnivå

Forskjellen i A- og C-veid lydnivå mellom rommet og nabo finnes ved å beregne de veide nivåene begge steder for deretter å ta differansen mellom dem. Spekteret hos nabo beregnes ved bruk av ligning (14) i hvert 1/3-oktavbånd, og det tilhørende A-veide nivået beregnes v.h.a. ligning (13). Nivåforskjellen i dBA finnes dermed ved

$$\Delta L_A = L_{A,\text{målt}} - L_{A,\text{nabo}} \quad (15)$$

der  $L_{A,\text{målt}}$  er A-veid målt nivå og  $L_{A,\text{nabo}}$  er beregnet A-veid nivå hos nabo. Den samme framgangsmåten brukes for å finne forskjell i C-veid nivå ved å bruke C-veing i stedet for A-veing.

Det kan være fort gjort å tenke at det ville vært lettere å beregne A- og C-veid nivå av differansespekteret direkte siden dette er det samme for alle målinene. Det blir imidlertid ikke riktig siden fasongen på målte spektra varierer og dermed gir ulike verdier i dBA/dBC. Det er også lett å se matematisk:

$$\begin{aligned} \Delta L_A &= 10 \log \left( \sum_i 10^{0.1(L_{\text{målt},i} + A_i)} \right) - 10 \log \left( \sum_i 10^{0.1(L_{\text{målt},i} + A_i - D_i)} \right) \\ &\neq 10 \log \left( \sum_i 10^{0.1(A_i - D_i)} \right) \end{aligned} \quad (16)$$

## 2.14 Gjennomsnittsspektrum

Ved logging av spektra over lengre tid, vil det etterhvert kunne oppstå behov for en datareduksjon. Dette kan oppnås ved å uttrykke formen på spektrene statistisk. Det kan gjøres ved først å normalisere spektrene til sin respektive energisum for deretter å ta middelverdi og standardavvik i hvert frekvensbånd. Normaliseringen beregnes (i dB) som

$$L_{i,\text{norm}} = L_i - L_\Sigma \quad (17)$$

der  $L_i$  er målt verdi i 1/3-oktavbånd  $i$  og  $L_\Sigma$  er energisummen<sup>2</sup> av spekteret. Dermed oppnås gjennomsnittsspekteret av  $N$  målte spektra ved

$$\begin{aligned}\mu_{L_{i,\text{norm}}} &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N L_{i,n} \\ \sigma_{L_{i,\text{norm}}} &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (L_{i,n} - \mu_{L_{i,\text{norm}}})^2}\end{aligned}\tag{18}$$

der  $L_{i,n}$  er målt lydnivå i frekvensbånd  $i$  ved måling  $n$ . Det er ikke brukt energimidling her siden det er fordeling av måleverdier som beregnes, og ikke det fysiske lydnivået i seg selv.

Dersom frekvenskurvene har en noenlunde homogen fasong, vil denne komme fram i gjennomsnittsspekteret. Dersom det er lite sammenheng mellom formen på de ulike kurvene vil gjennomsnittsspekteret bli relativt flatt med noe større standardavvik.

## 2.15 Lydklasser

Dagens standard [14] deler kravene inn i lydklasser slik at grenseverdiene kan velges etter bygningstype og bruksformål:

**klasse A** «... tilsvarer lydmessig spesielt gode forhold hvor berørte personer kun unntaksvis blir forstyrret av lyd og støy.»

**klasse B** «... tilsvarer tydelig bedre lydforhold enn de minste grensene som er gitt i klasse C, og betraktes som god lydstandard. Berørte personer kan bli forstyrret av lyd og støy til en viss grad.»

**klasse C** «... angir de grenseverdiene for nye bygninger som tilsvarer intensjoner for minstekrav i teknisk forskrift etter plan- og bygningsloven, og for ombygninger der det stilles samme krav som for nye bygninger (jf. PBL § 87 nr. 2).» (Paragrafen i plan- og bygningsloven det henvises til er gitt i [11]) For denne lydklassen oppgis det at «Inntil 20% av berørte personer i boliger kan forventes å bli forstyrret av lyd og støy».

**klasse D** «... angir grenseverdier der en stor andel av personer kan forventes å bli forstyrret av lyd og støy.»

I dette prosjektet er det kun lydnivå i boliger som tas i betraktning. Standarden krever at lydisolasjonen for klasse C skal oppfylle et veiet reduksjonstall  $R'_w$  på minimum **55dB** «... mellom boenheter innbyrdes og mellom boenheter og fellesarealer (fellesgang, trapperom og lignende)» [14, tabell 1].

---

<sup>2</sup> $10 \log(\sum_i 10^{0.1L_i})$

## 3 Metode og gjennomføring

### 3.1 Utstyrliste

Utstyret som brukes i den praktiske delen av prosjektet samt den essensielle programvaren for databehandling og analyse er gitt i tabell 3.1. Målerene hurtigkalibreres før hver måleserie settes igang ved å sjekke at en kalibrator gir 94dB utslag på instrumentet. Dette er ikke en fullstendig kalibreringsprosedyre, men gir en god indikasjon på at måleren og mikrofonen fungerer som de skal.

**Tabell 3.1:** Liste over utstyr brukt i den praktiske delen av prosjektet.

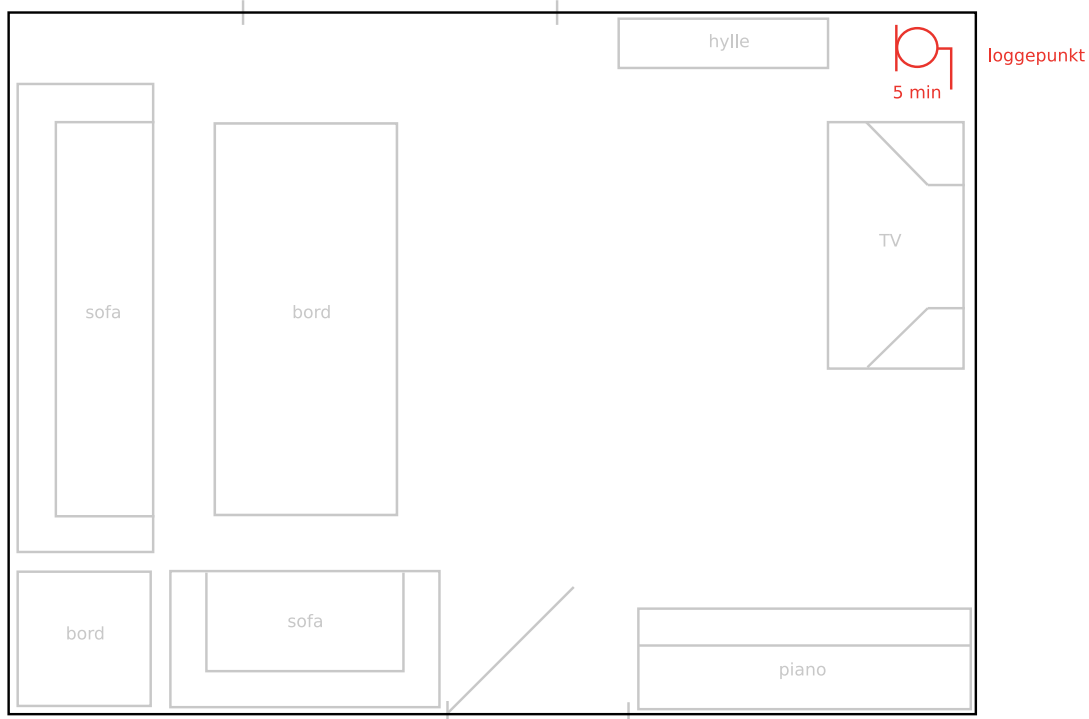
<b>merke</b>	<b>modell</b>	<b>serienr.</b>
Brüel & Kjær	Modular Precision Sound Analyzer Type 2260	1894146
Brüel & Kjær	Prepolarized Free-field 1/2" Microphone Type 4189	2294266
Norsonic	NOR-840 Real Time Analyser	17842
Norsonic	1/2" målemikrofon Type 1201	20926
Norsonic	Integrating-averaging Sound Level Meter Type 118	30521
Norsonic	1/2" målemikrofon Type 1206	29608
Norsonic	Power Amplifier 260	23384
Norsonic	halvkulehøytaler 250	3142
Apple	PowerBook 12" 1GHz G4 PowerPC	UV3427AYPHK
Apple	iMac 20" 2.4GHz Intel Core 2 Duo	W87340DJX88
PC	lab-PC i kjeller hos Brekke & Strand	—
<b>programvare</b>	<b>type</b>	<b>versjon</b>
StairWay	lettveggdatabase (pr. 09.01.2008)	2.2
NoiseExplorer	uthenting av måledata (fra B&K 2260)	7815 (v. 4.11)
Nor-Xfer	uthenting av måledata (fra NOR-118)	4.0.6.3
NeoOffice	dokument, regneark, database	2.2.1–2.2.3
MATLAB	beregning, plotting av figurer	r2007a
Python	behandling av data og andre tekstfiler	2.3.5

### 3.2 Innsamling av data

Innsamling av data gjøres i et utvalg av fem boliger. Selv om utvalget er begrenset, er det forsøkt å få med ulike boligsituasjoner. Utvalget inneholder både barnefamilie, par uten barn i huset og bokollektiv med unge voksne. Selve målingene gjennomføres i to omganger: Først ved logging av lydnivå og deretter ved måling av romrespons for korreksjon av de loggede lydnivåene.

### 3.2.1 Logging

For å kartlegge det generelle lydnivået gjøres målinger av ekvivalent- og makspektra, A-veid ekvivalent og maksimum lydnivå samt noe statistikk i form av prosentvis oversteget A-veid nivå ( $L_{99}$ ,  $L_{95}$ ,  $L_{90}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_{10}$ ,  $L_5$  og  $L_1$ ). Disse verdiene logges med fem minutters oppløsning over en periode på tre til fem døgn. Dette gir omlag 900–1400 målinger per bolig for videre anayse. Loggingen gjennom-

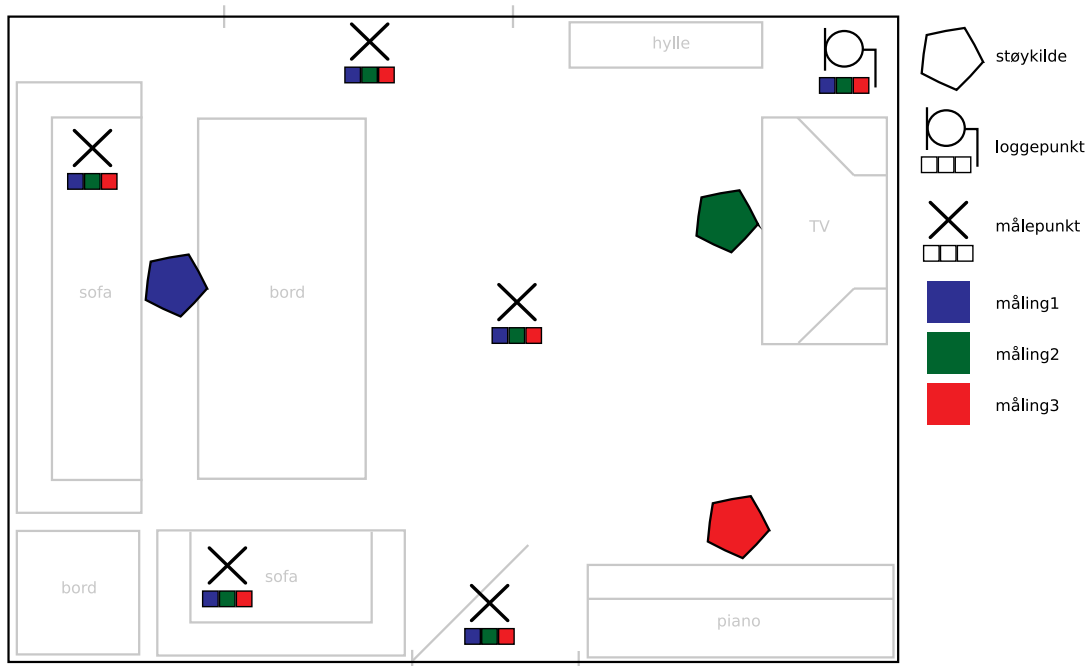


**Figur 3.1:** Skjematisk framstilling av et typisk valg av loggepunkt i en hypotetisk stue.

føres ved å plassere en lydmåler med mikrofon i et oppholdsrom, fortrinnsvis en stue, over perioden. Som regel er det et hjørne eller en annen litt bortgjemt plass inntil en vegg som er det mest gunstige stedet for plassering for ikke å hindre normal bruk av rommet (se figur 3.1). Til gjengjeld blir målte data filtrert med en korreksjonsfaktor (se avsnitt 2.9) slik at lydnivåene skal være så generelle som mulig, og ikke bare gjelde for den eksakte plasseringen av måleren (loggepunktet).

### 3.2.2 Romkorreksjon

Målinger for korreksjon av de loggede lydnivåene gjøres ved å bruke en kilde i form av en halvkulehøytaler som plasseres tre ulike steder i rommet. Kilden plasseres fortrinnsvis i nærheten av de naturlige støykildene i rommet, som



**Figur 3.2:** Skjematisk framstilling av et typisk valg av støykildeplasseringer og målepunkter i en hypotetisk stue. For hver av støykildeplasseringene gjøres målinger ved hvert målepunkt samt ved loggepunktet.

for eksempel TV-apparat og piano (se figur 3.2). Den interne støygeneratoren i NOR118 brukes til å generere rosa støy synkronisert med målingene à fem sekunder. På denne måten minimaliseres støybelastningen for beboerne i forbindelse med målingene. Nivået på støyen er også dempet **30dB** siden det måles i boliger der bakgrunnsstøyen ellers er forholdsvis lav. For hver plassering av støykilden gjøres målinger i fem ulike punkt i rommet i tillegg til loggepunktet. Man får dermed et sett med tre målinger per målepunkt, i tillegg til loggepunktet. Figur 3.2 gir en skjematisk oversikt over hvordan korreksjonsmålingene er gjennomført i et tenkt tilfelle.

### 3.3 Behandling av data

Fra lydmåler B&K2260 hentes data ut i form av Excel-filer (.xls) og tabulator-delt tekst (.txt) via tilhørende analyseprogramvare *NoiseExplorer 7815*. Tekstfilene gjøres om til MATLAB-lesbare<sup>3</sup> CSV-filer [20] ved hjelp av et egenutviklet Python-program (appendiks E). Dette programmet erstatter «underrange»-verdier med nedre grense for det dynamiske området til måleren, og genererer én CSV-fil for hver parameter til videre bruk i analysen.

<sup>3</sup>MATLAB har også funksjonalitet for å lese Excel-filer direkte, men denne er svært begrenset på andre operativsystemer enn Windows.



Data fra romkorreksjonsmålingene gjort med NOR118 hentes også ut via tilhørende programvare *Nor-Xfer*, og eksporteres i Excel-format. Korreksjonsfaktoren oppnås ved først å gjøre en energimidling i regneark over de tre støykildeplasse- ringene for hvert målepunkt inklusive loggepunktet. Disse blir sortert og lagret i CSV-format med én 1/3-oktavbåndserie for hvert av målepunktene i tillegg til loggepunktet, se appendiks E (linje 160 ff). Videre beregnes en generell overfø- ringsfunksjon i MATLAB mellom loggepunktet  $\bar{L}_{\text{rom}}$  og midlingen over de fem målemunktene (se ligning (11) og appendiks D.2, linje 18). Resultatet blir en overføringsfunksjon ut fra en midling over 15 målinger (se avsnitt 2.9). Kor- reksjonsfaktoren er den *inverse* av denne overføringsfunksjonen og legges til de loggede spektrene (se appendiks D.2, linje 25–26).

### 3.4 Analyse

Det gjøres et utvalg av lettvegger fra StairWay gitt følgende kriterier:

- tilsynelatende reduksjonstall ( $R'$ ) i 1/3-oktavbånd (50Hz–5kHz)
- veiet reduksjonstall  $50\text{dB} < R'_w < 65\text{dB}$ .
- romvolum  $V > 0$  for tilstøtende rom
- skilleareal  $S > 0$  mellom målt rom og tilstøtende rom
- målt etterklangstid  $RT$  i 1/3-oktavbånd (50Hz–5kHz)

Utvalget resulterer i 18 lettvegger av ulik karakter for videre bruk i analysen. Det er utelukkende brukt lette skillevegger, og ikke tyngre betongvegger, fordi det er slike vegger det eksisterer mest data om i databasen pr. januar 2008. Et lite utvalg av data fra de utvalgte veggene er gjengitt i tabell 3.2.

Kravet til  $R'_w$  for klasse C i henhold til NS 8175 er 55dB [14, s. 9], men ut- valgsriterium er her satt til  $> 50\text{dB}$  for å få med noen tilfeller i analysen der veggene er «mislykket» i forhold til kravet. Det anbefales også i [14] å legge til omgjøringsstallet  $C$  for spektrum som en tilleggsvurdering for klasse C. Ved å gjøre dette på utvalget av lettvegger er det enda færre av dem som oppfyller gjeldende krav, se tabell 3.2.

For de utvalgte veggene beregnes differansespektrum  $D$  for lydnivå mellom rom- mene ved å bruke ligning (4) for hvert 1/3-oktavbånd. Disse spektrene, et for hver vegg, lagres også som egen MATLAB-fil (.MAT) for lettere tilgang senere.

Det blir også beregnet en korreksjonsfaktor ut fra overføringsfunksjonen  $H$  i lig- ning (11). Denne legges til de målte spektrene for å jevne ut eventuelle spesielle forhold ved mikrofonplasseringen. På denne måten oppnås et relativt generelt spektrum for lydnivået i rommet fra målingen, om enn ikke like nøyaktig som ved såkalt digital romkorreksjon [22].

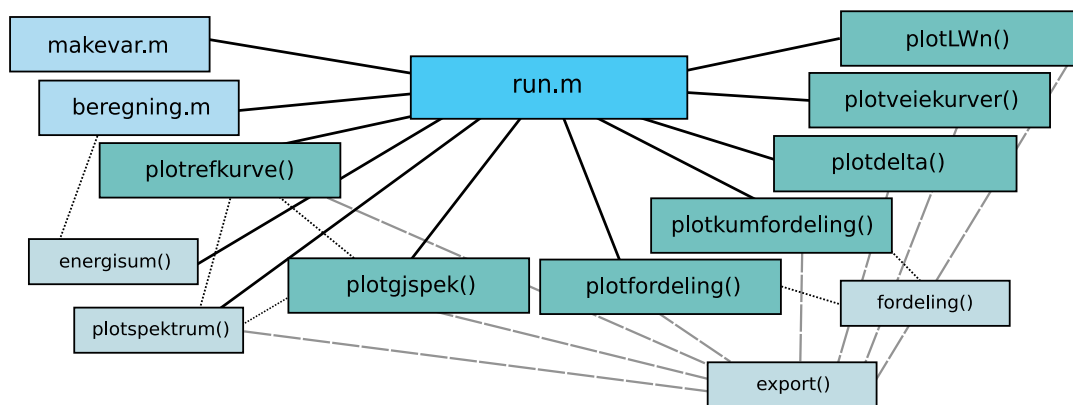
**Tabell 3.2:** Data fra de utvalgte lettveggene: Veid reduksjonstall  $R'_w$ , omgjøringstall  $C$  for spektrum, ett-tallsverdi for romisolering  $D_{n,T,w}$ , samt volum  $V$  for naborommet, skilleareal  $S_{skille}$  og tilnærmet frekvens  $f_0$  for dobbeltveggresonans.

$R'_w$ [dB]	$C$ [dB]	$R'_w + C$ [dB]	$D_{n,T,w}$ [dB]	$V$ [m <sup>3</sup> ]	$S_{skille}$ [m <sup>2</sup> ]	$\sim f_0$ [Hz]
62	-1	61	62	10,5	4,4	59
57	-2	55	56	23,5	9,8	59
64	-5	59	63	10,5	4,4	48
57	-5	52	61	72,0	9,6	48
56	-2	54	60	87,7	11,4	48
54	-1	53	54	29,5	10,0	59
52	-2	50	54	69,3	13,9	59
63	-11	52	66	87,0	12,0	34
55	-5	50	53	16,7	7,6	48
62	-7	55	60	19,5	8,9	50
62	-3	59	64	104,0	20,8	42
58	-3	55	60	52,9	10,8	50
61	-3	58	61	20,3	6,9	50
56	-3	53	55	23,8	9,7	50
64	-6	58	63	19,0	9,0	42
51	-1	50	54	73,2	11,6	59
51	-2	49	54	63,7	10,5	59
52	0	52	52	29,0	9,7	50

### 3.4.1 MATLAB-beregninger

De resterende beregningene, samt grafisk framstilling av resultater, blir gjort i MATLAB ved skriptet `run.m` (appendiks D.1) med tilhørende funksjoner (appendiks D.2–D.14). Figur 3.3 viser en grov sammenheng mellom skriptet og funksjonene. Følgende parametre blir beregnet for hver bolig:

- **A- og C-veide nivå:** Veide ekvivalent- og maksimalnivå samt deres tilhørende veide spektra beregnes ut fra målte (og korrigerede) spektra i henhold til ligning (13). Ukorrigerte A-veide nivå beregnes også for å kunne sammenligne med A-veide nivå hentet direkte fra måler.
- **Ekvivalent- og maksspektra:** Romkorrigerede spektra plottes i samme figur i form av kurveskare med én kurve per femminuttersmåling. Dette gir en indikasjon på hva slags spektre som opptrer i den aktuelle boligen. Ukorrigerte spektra blir plottet på samme måte for sammenligning.
- **Referansekurver:** A-veide spektra, normalisert til sin respektive A-veide verdi, plottes til sammenligning med referansekurvene for beregning av omgjøringstall for spektrum.
- **Gjennomsnittsspektrum:** For å avdekke eventuelle sammenhenger i kurvefa-



Figur 3.3: Skjematiske oversikt over sammenhengen mellom MATLAB-skript og -funksjoner.

songen til de målte spektra for hver bolig, beregnes middelværdi og standardavvik i hvert 1/3-oktavbånd i henhold til ligning (18).

- **Fordeling av veide nivå:** Relativ frekvens av de veide nivåene med 1dB oppløsning beregnes. Dette gir et bilde av det generelle støynivået i rommet over tid. Det plottes fordeling av A- og C-veide ekvivalent- og maksimalnivå.
- **Nivåfordeling hos nabo:** Samme type fordeling som over, men det brukes i tillegg differansespektra fra lettveggdatabasen. A- og C-veide nivå hos nabo beregnes for hver av de 18 lettveggene for hver femminuttersperiode. Populasjonen fordelingen regnes over blir dermed 18 ganger antall femminuttersperioder. Fordelingen plottes for A- og C-veide nivå i samme figur.
- **Forskjell i veide nivå:**  $\Delta L_w$  [dBA/dBC] beregnes gjennom alle veggene slik at måledata kan sammenlignes med de eksisterende ett-tallsverdier. A- og C-veid lydtrykksnivå beregnes på hver side av veggen for deretter å ta differansen mellom målt og tilstøtende rom. Nivåforskjellen beregnes for hver femminuttersperiode slik at middelværdien for alle målingene kan sammenlignes med  $R'_w$  og  $R'_w + C$  for hver av lettveggene.
- **Prosentvis oversteget nivå:** Det beregnes og plottes figurer med prosentvis oversteget veide ekvivalent- og maksnivå ( $L_{99}, L_{95}, L_{90}, L_{50}, L_{10}, L_5$  og  $L_1$ ) hos nabo for hver av de fem boligene. Persentilene beregnes ut fra tidligere beregnede A- og C-veide nivå siden disse er romkorrigerede i motsetning til persentilene hentet direkte fra måleren.

I tillegg til utregningene for hver bolig, blir det beregnet og plottet nivåfordelinger og forskjeller i veide nivå samlet for alle boligene. Fordeling av A-veide nivå hentet direkte fra måler og plottes for sammenligning med fordeling av målte (og korrigerede) nivå. Referansekurven for bestemmelse av ett-tallsverdi blir også

plottet til sammenligning med tilsynelatende reduksjonstall i 1/3-oktavnband for utvalget av lettvegger.

### 3.4.2 Kostnadsberegning

En overslagsberegning av sammenhengen mellom isolasjonstykkelse og veid reduksjonstall  $R'_w$  gjøres til slutt i regneark ved å bruke et litt større utvalg av lettvegger fra StairWay. Bruk av lineær regresjon [7, s. 1145] gir  $R'_w$  som funksjon av isolasjonstykkelse. Denne kan videre brukes til å anslå kostnader ved oppgradering av kravene ved å se hvor mye tykkere isolasjonslag veggen i så tilfelle må ha.

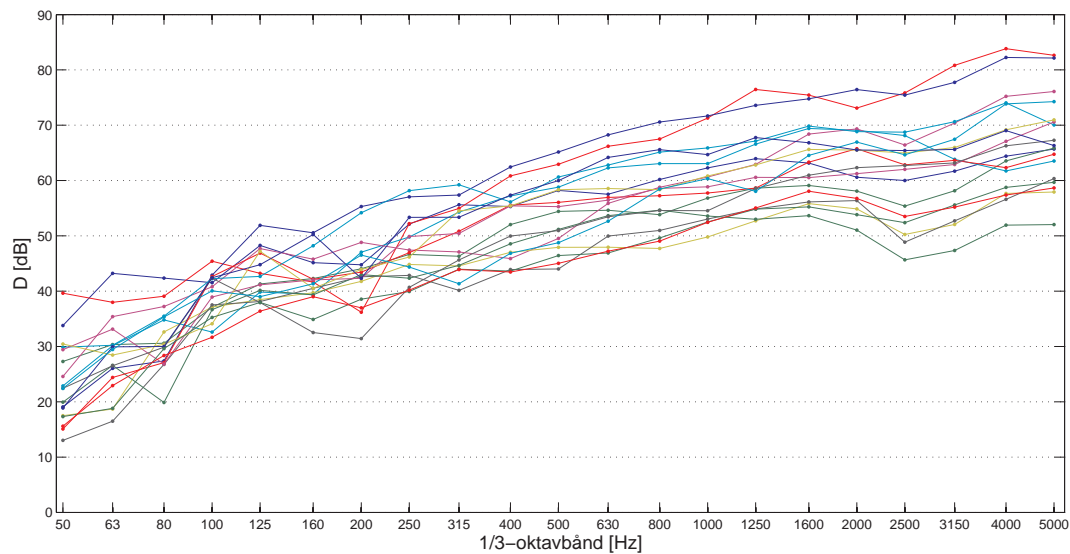
## 4 Resultater

### 4.1 Data om boligene

Tabell 4.1: Data om boligene det er blitt gjort målinger i.

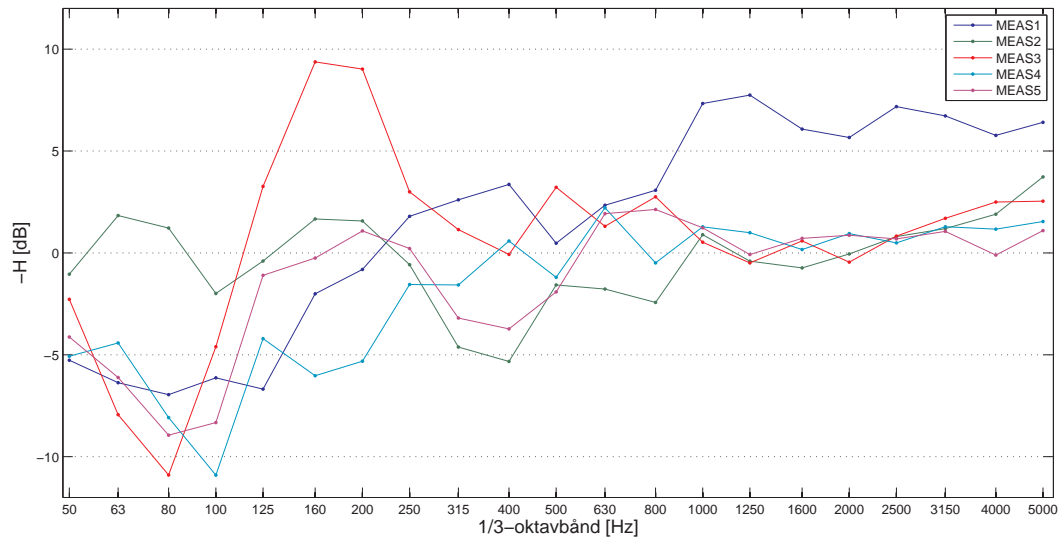
	MEAS1	MEAS2	MEAS3	MEAS4	MEAS5
loggeperioder	1441	1441	973	896	1441
voksne	2	2	2	2	8
barn	-	-	-	3	-
husdyr	1 hund	-	1 hund	-	-
$l_{x,1}$ [m]	5.3	9.7	6.6	9.0	6.5
$l_{x,2}$ [m]	4.9	-	4.2	-	-
$l_{y,1}$ [m]	4.2	3.7	6.5	6.0	4.6
$l_{y,2}$ [m]	-	-	-	7.6	-
$\sim V$ [m <sup>3</sup> ]	47	86	103	198	73

### 4.2 Lettvegger



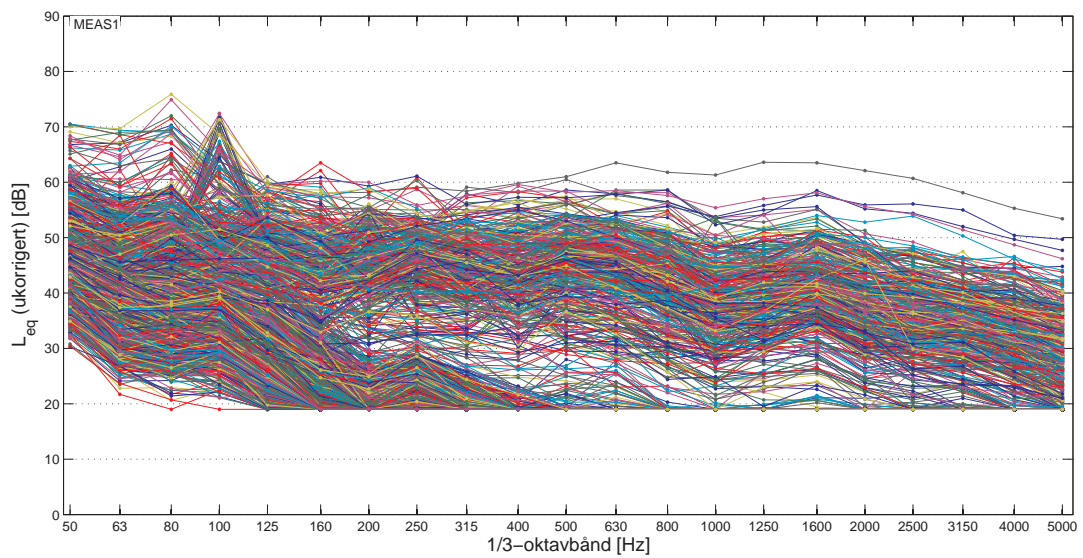
Figur 4.1: Spektra av nivåforskjellen  $D$  gjennom de 18 ulike lettveggene.

### 4.3 Koreksjonsspektra



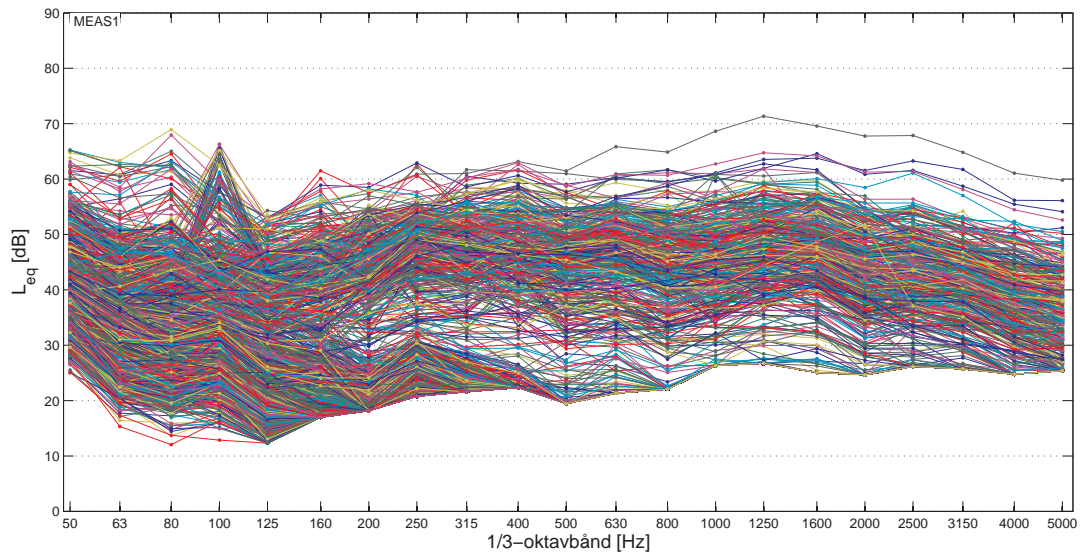
Figur 4.2: Spektra av korreksjonsfaktor  $-H$  for hver av målelokasjonene.

### 4.4 Ukorrigerte spektra

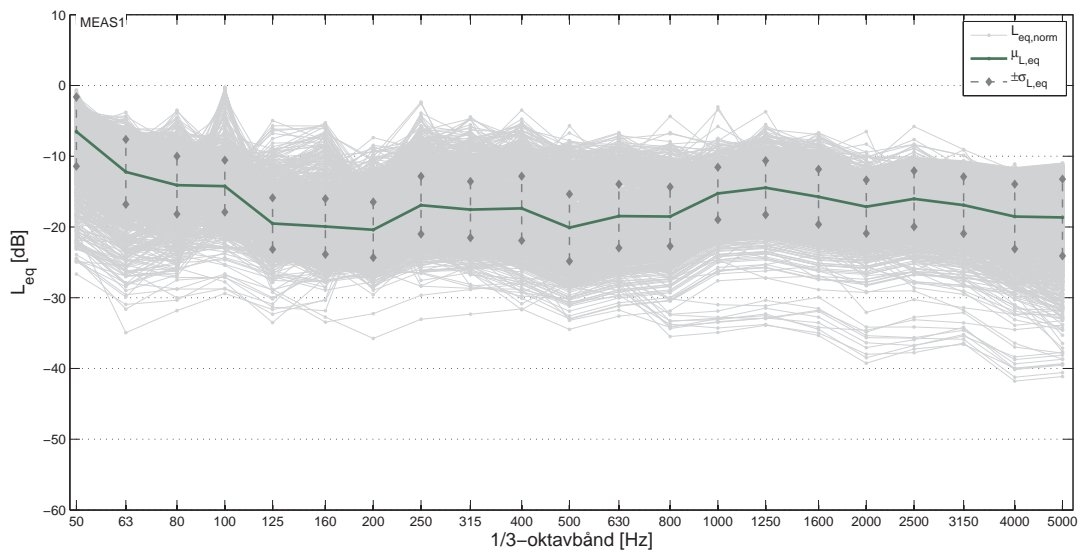


Figur 4.3: Eksempel på målte (ukorrigerte) ekvivalentspektra fra bolig 1.

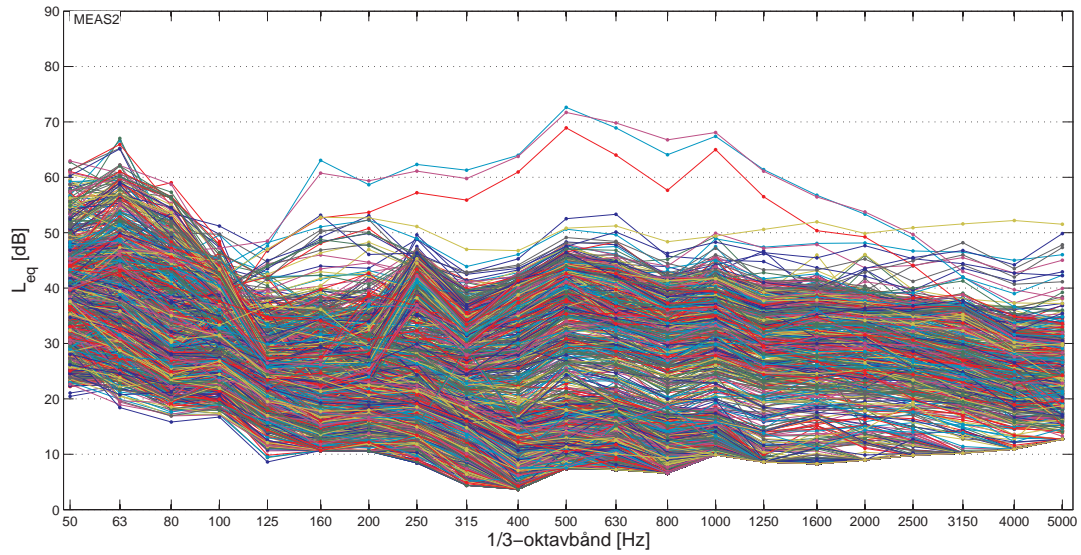
## 4.5 Målte ekvivalentspektra



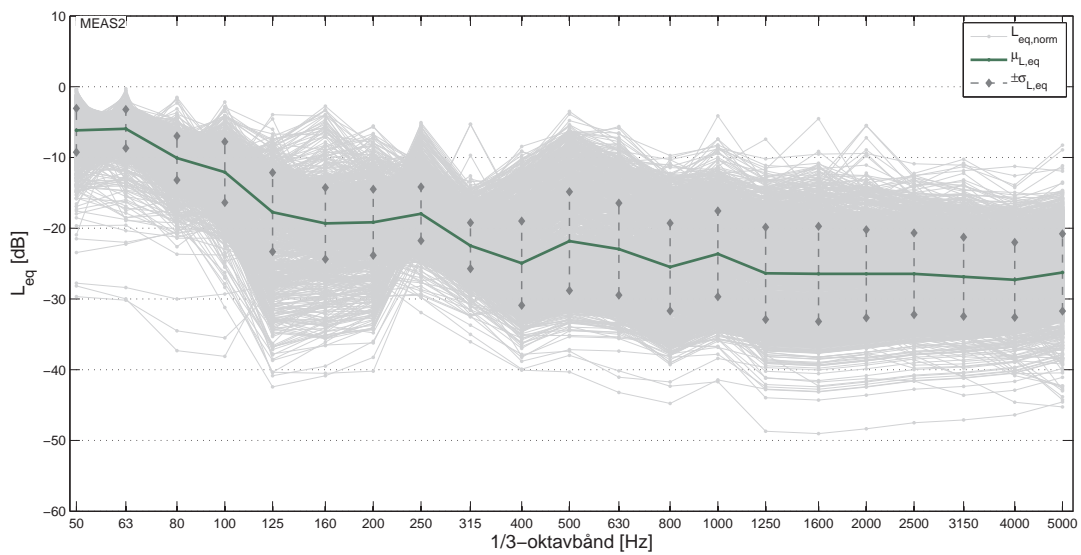
Figur 4.4: Målte (og korrigerede) ekvivalentspektra fra bolig 1.



Figur 4.5: Ekvivalent gennemsnitsspektrum for bolig 1.

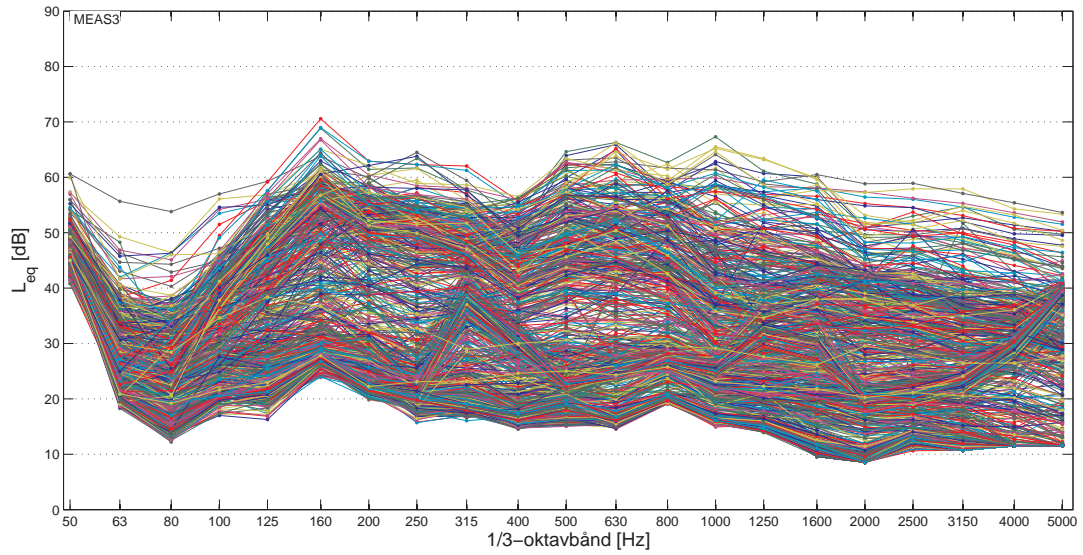


Figur 4.6: Målte (og korrigerede) ekvivalentspektra fra bolig 2.

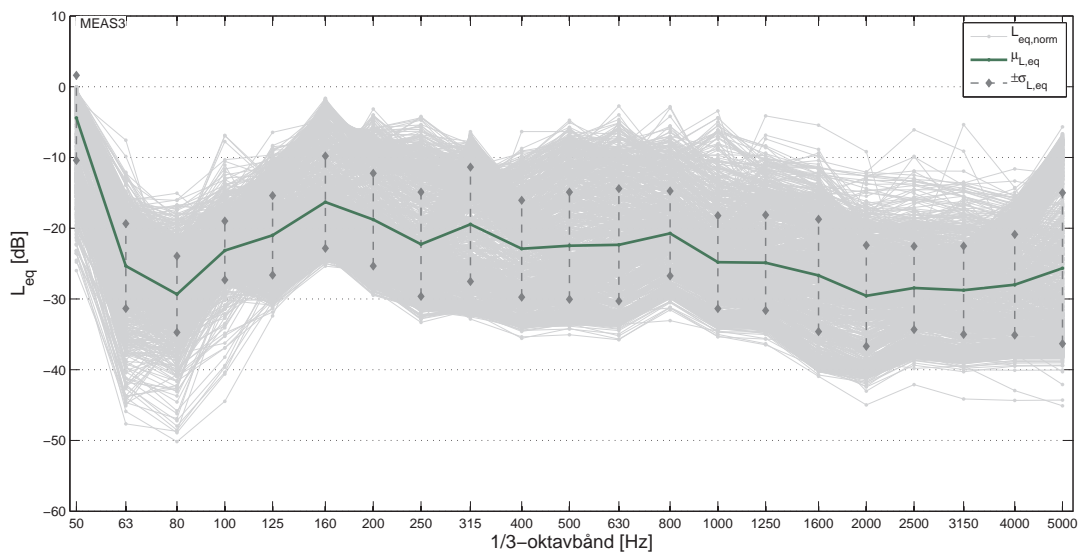


Figur 4.7: Ekvivalent gennemsnitsspektrum for bolig 2.

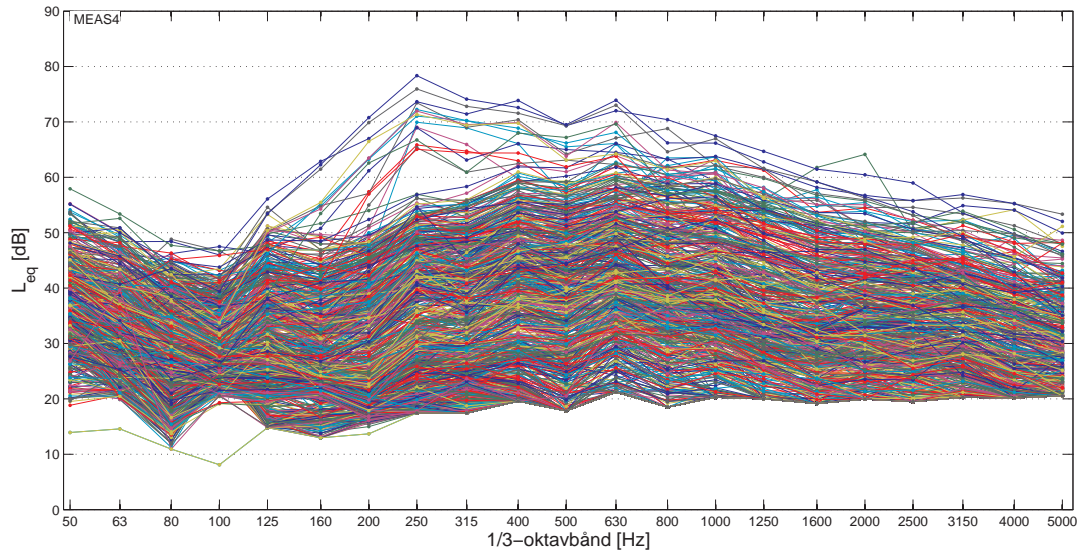




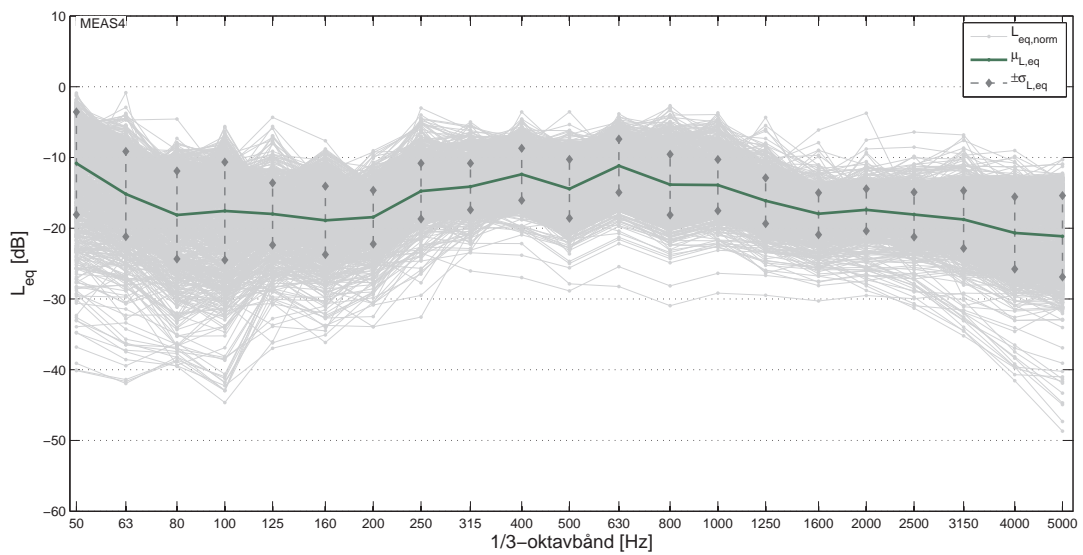
Figur 4.8: Målte (og korrigerede) ekvivalentspektra fra bolig 3.



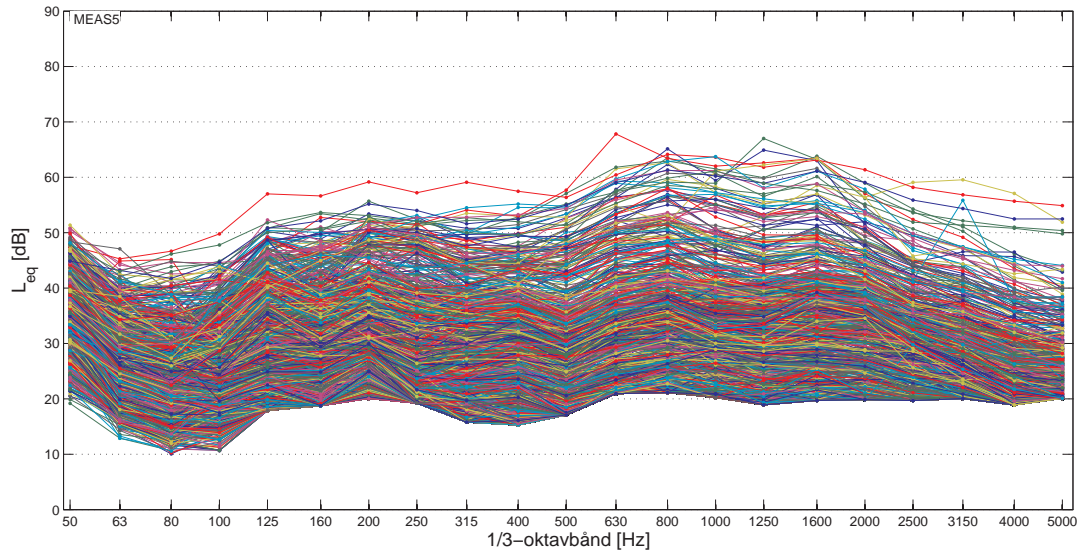
Figur 4.9: Ekvivalent gennemsnitsspektrum for bolig 3.



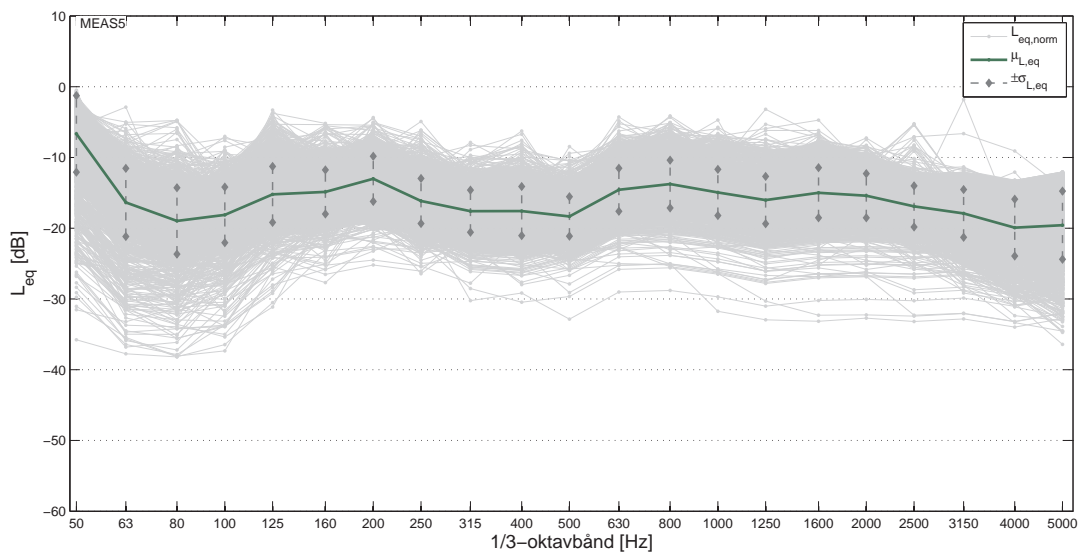
Figur 4.10: Målte (og korrigerede) ekvivalentspektra fra bolig 4.



Figur 4.11: Ekvivalent gennemsnittsspektrum for bolig 4.

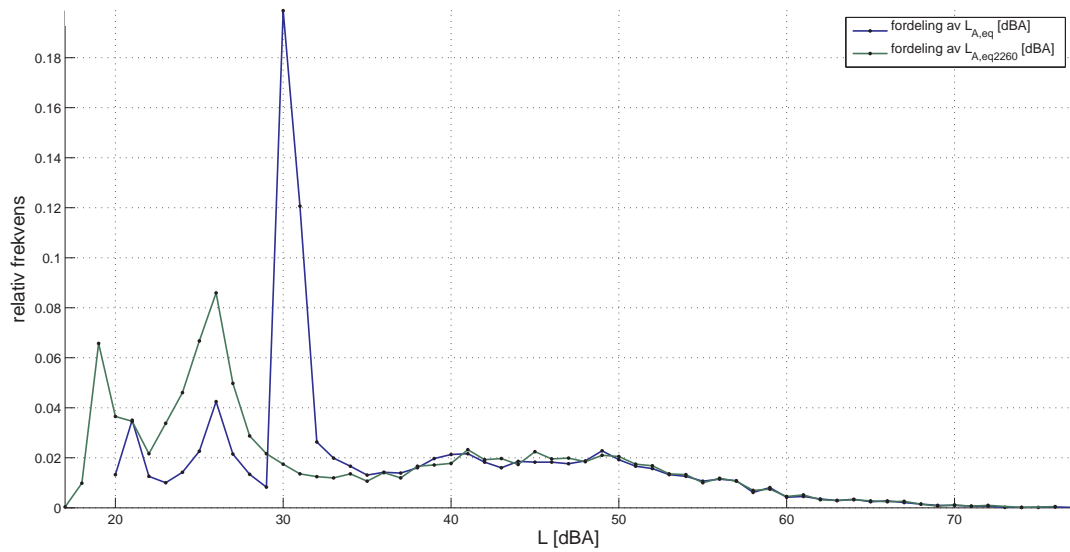


Figur 4.12: Målte (og korrigerede) ekvivalentspektra fra bolig 5.



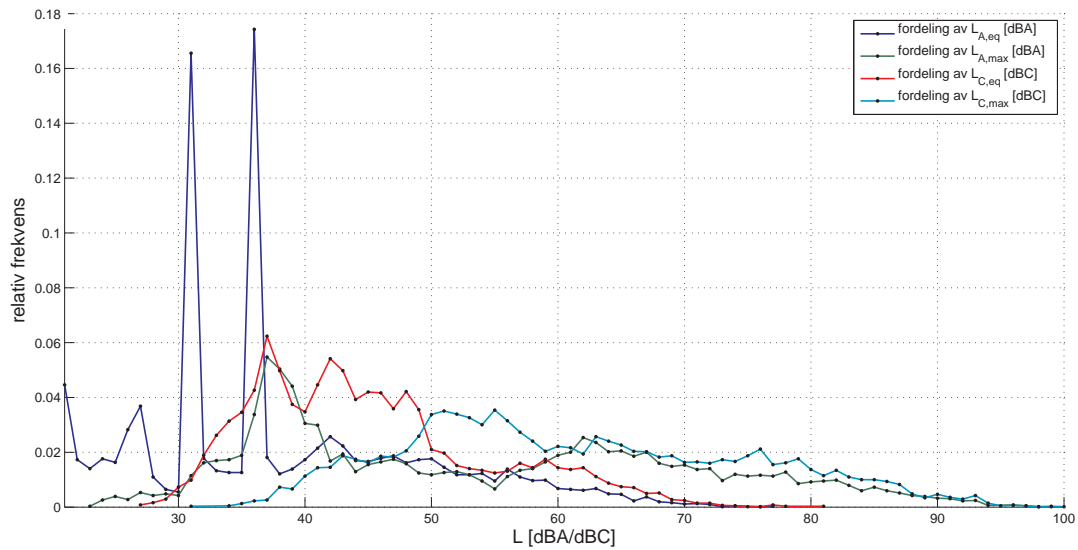
Figur 4.13: Ekvivalent gennemsnittsspektrum for bolig 5.

## 4.6 A-veid utregnet vs. måler

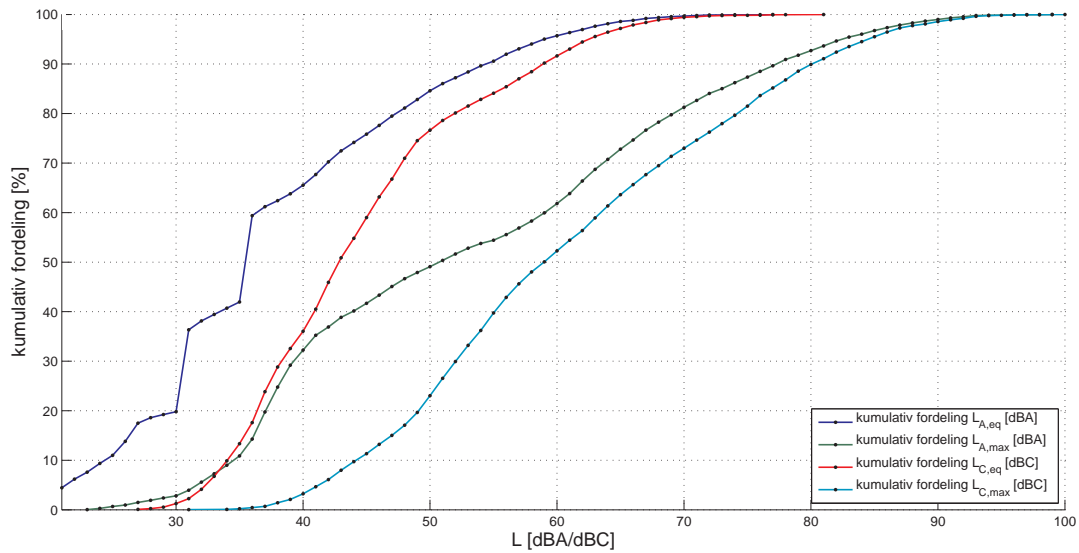


**Figur 4.14:** Fordeling av ekvivalent A-veid nivå beregnet (ukorrigert) fra 1/3-oktavnband sammenlignet med nivå hentet fra måler for alle boligene.

## 4.7 Fordeling av A- og C-veide nivå

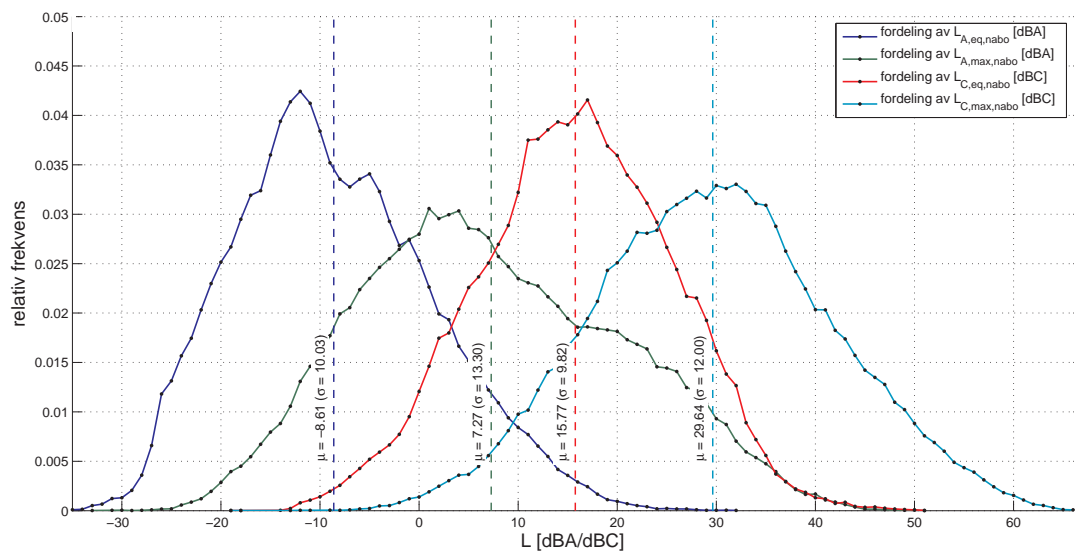


**Figur 4.15:** Fordeling av A- og C-veide nivå totalt for alle boligene.

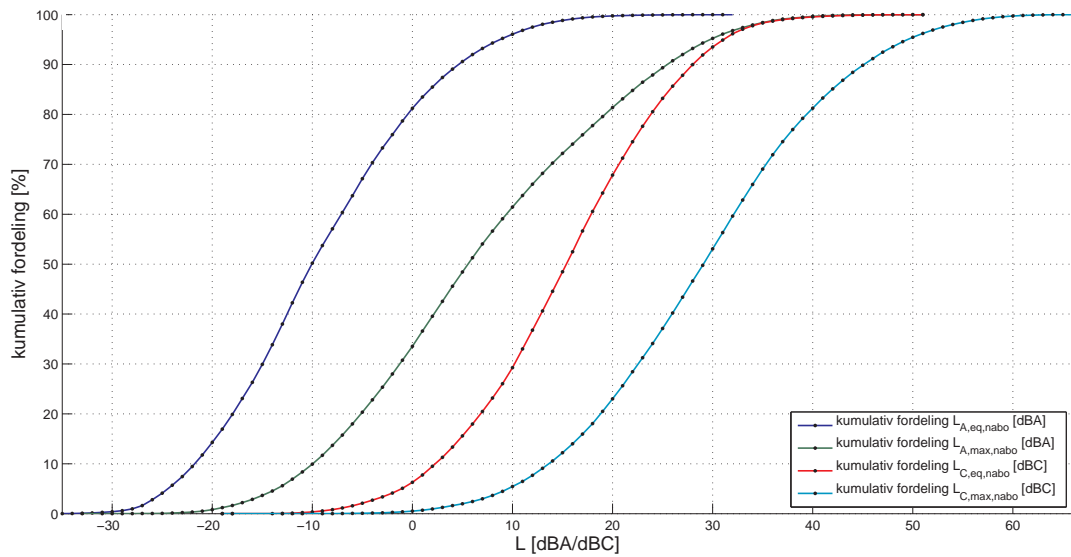


Figur 4.16: Kumulativ fordeling av A- og C-veide nivå totalt for alle boligene.

## 4.8 Fordeling av A- og C-veide nivå hos nabo

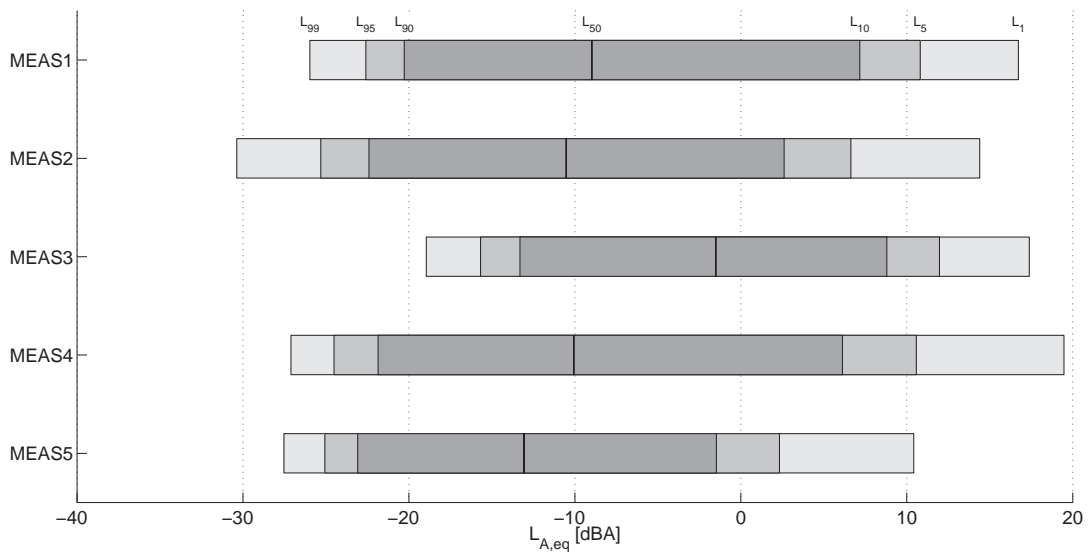


Figur 4.17: Fordeling av A- og C-veide lydnivå hos nabo gjennom alle veggene for alle boligene.

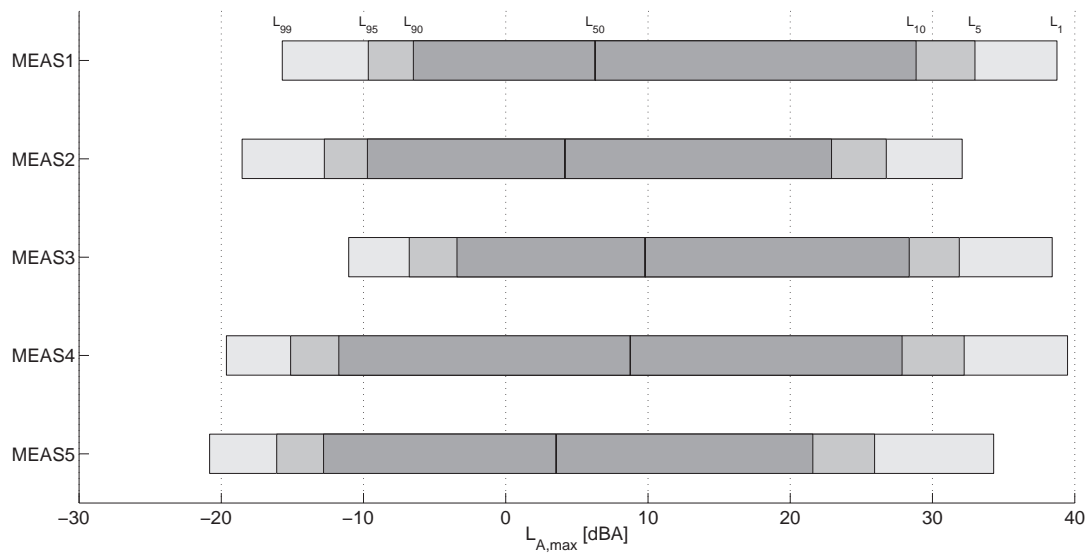


**Figur 4.18:** Kumulativ fordeling av A- og C-veide lydnivå hos nabo gjennom alle veggene for alle boligene.

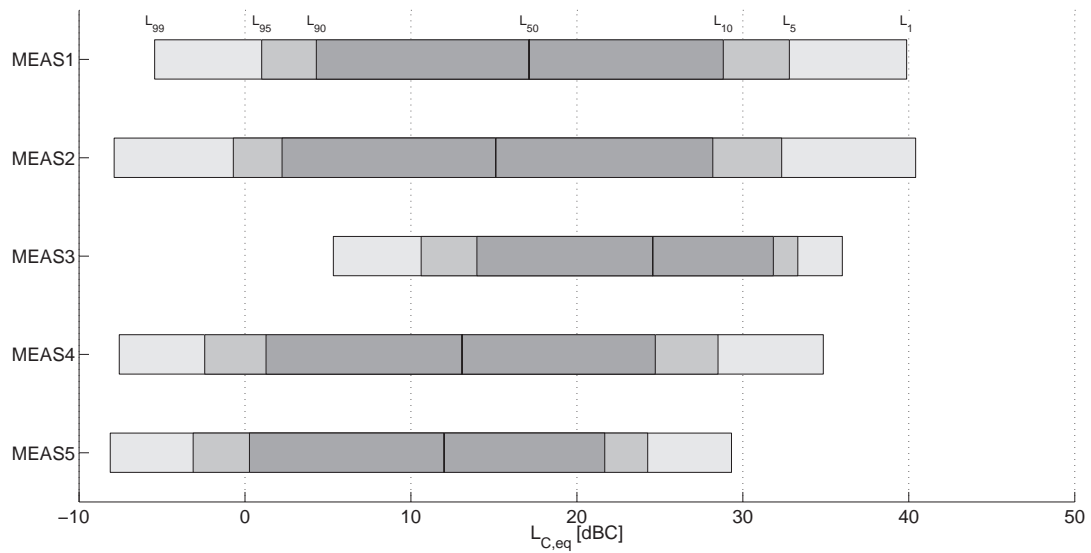
#### 4.9 Persentiler av veide nivå hos nabo



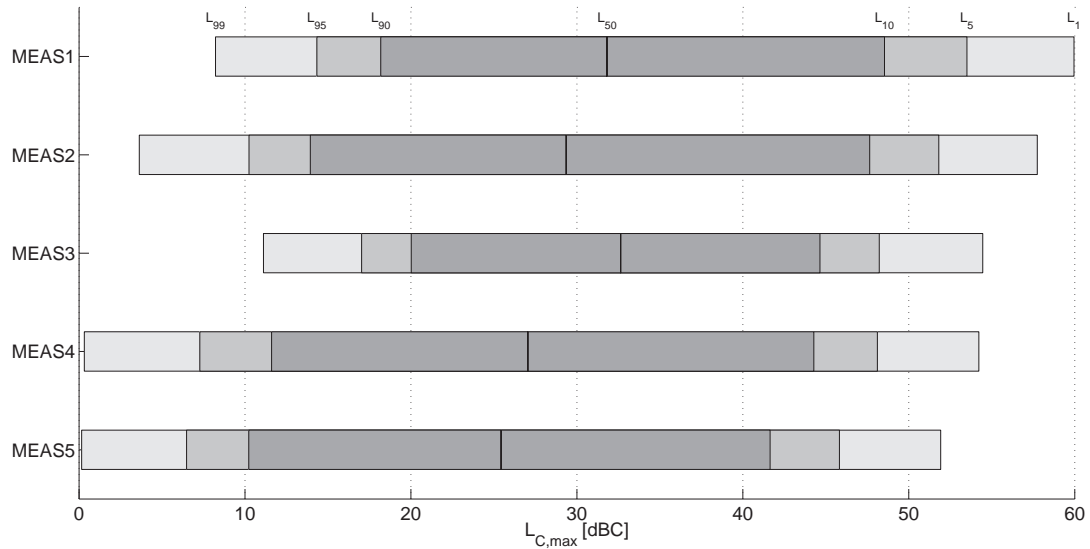
**Figur 4.19:** Prosentvis oversteget A-veid ekvivalentnivå hos nabo.



Figur 4.20: Prosentvis oversteget A-veid maksimalnivå hos nabo.

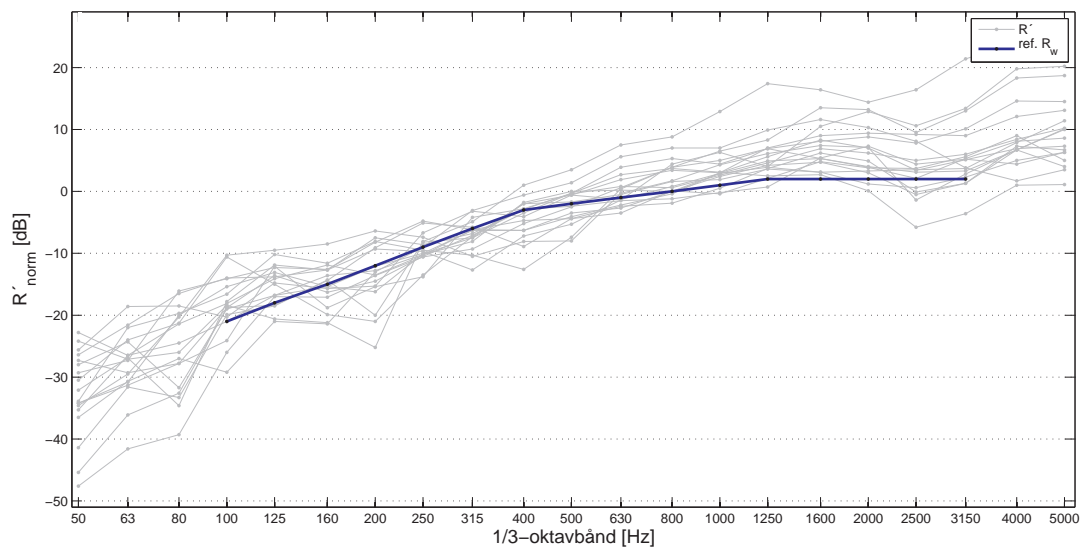


Figur 4.21: Prosentvis oversteget C-veid ekvivalentnivå hos nabo.



Figur 4.22: Prosentvis oversteget C-veid maksimalnivå hos nabo.

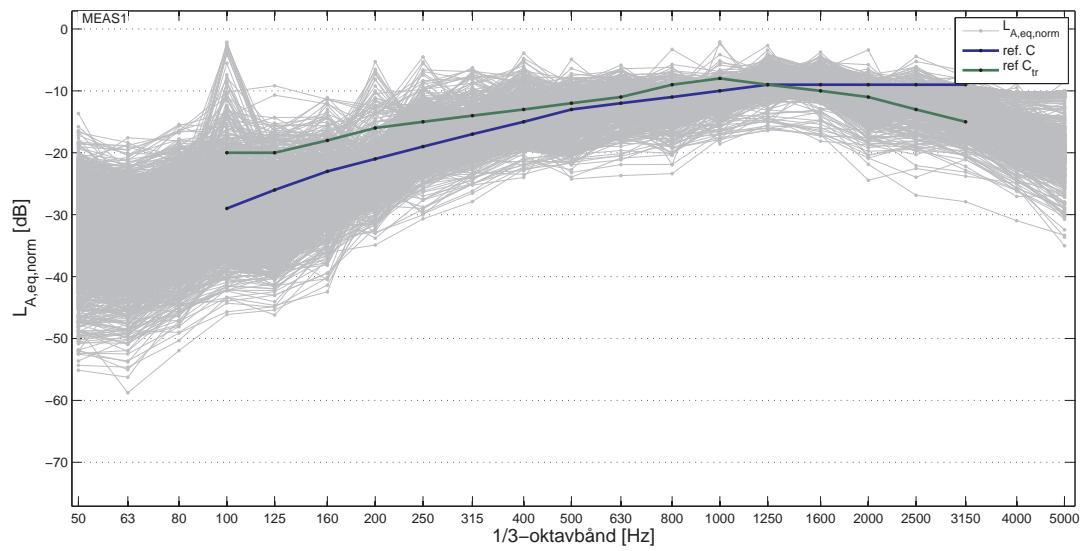
#### 4.10 Reduksjonstall vs. referansekurve



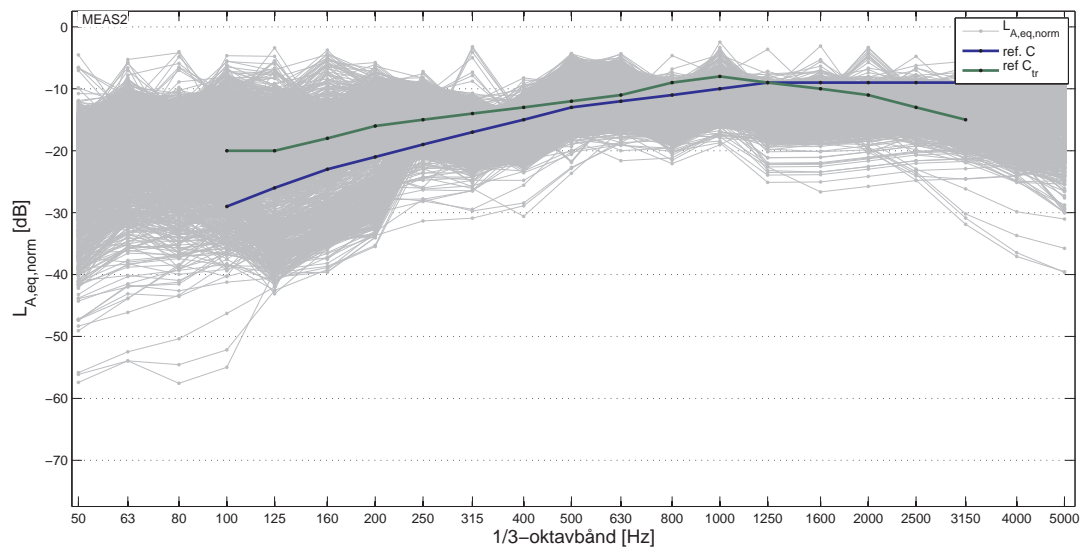
Figur 4.23: Sammenligning av  $R'$  for de 18 lettveggene og referansekurven for bestemmelse av ett-tallsverdi.



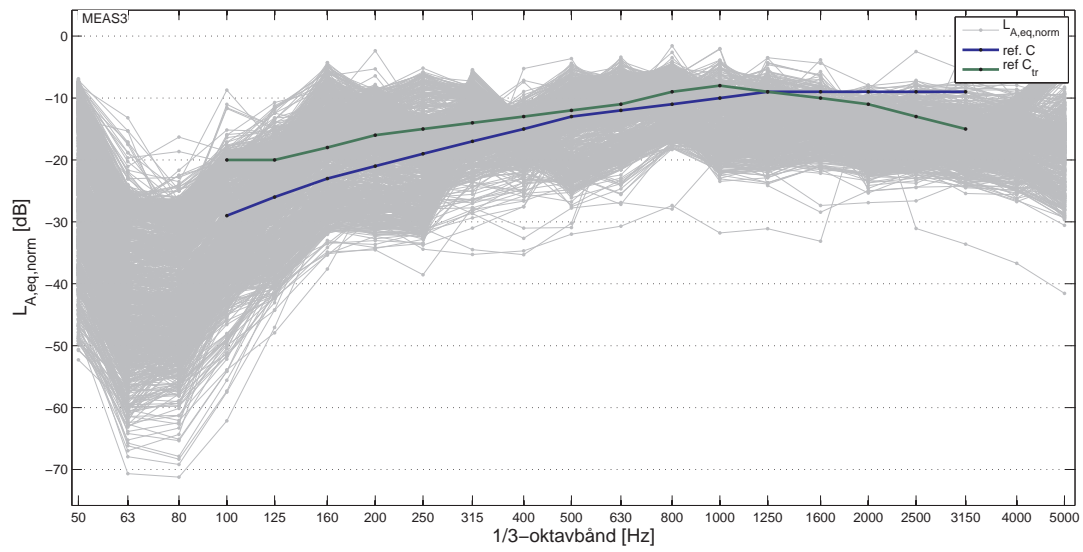
### 4.11 Veide spektra vs. referansespektra



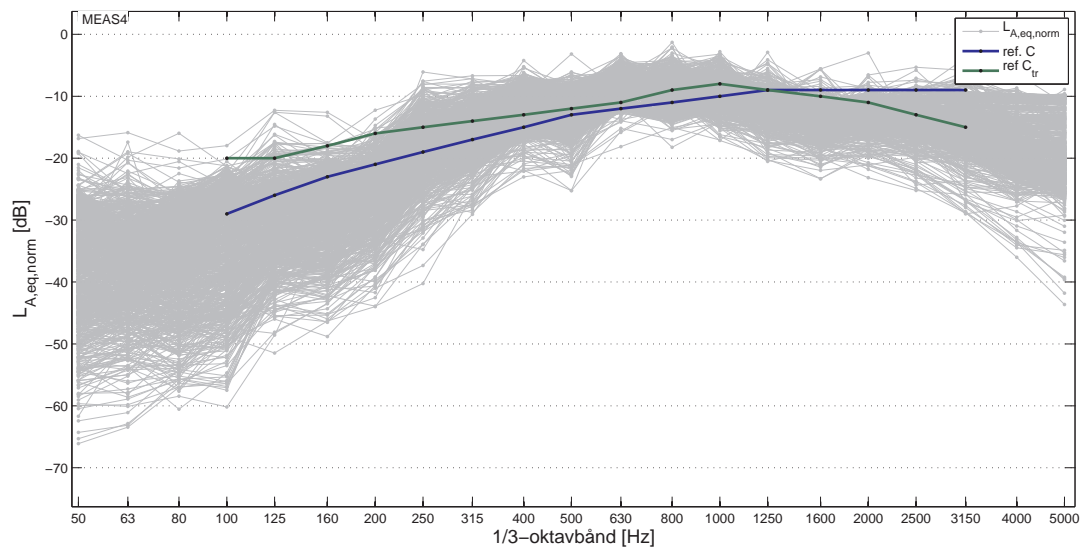
**Figur 4.24:** A-veide ekvivalentspektra for bolig 1 sammenlignet med referansekurver for beregning av omgjøringsstall.



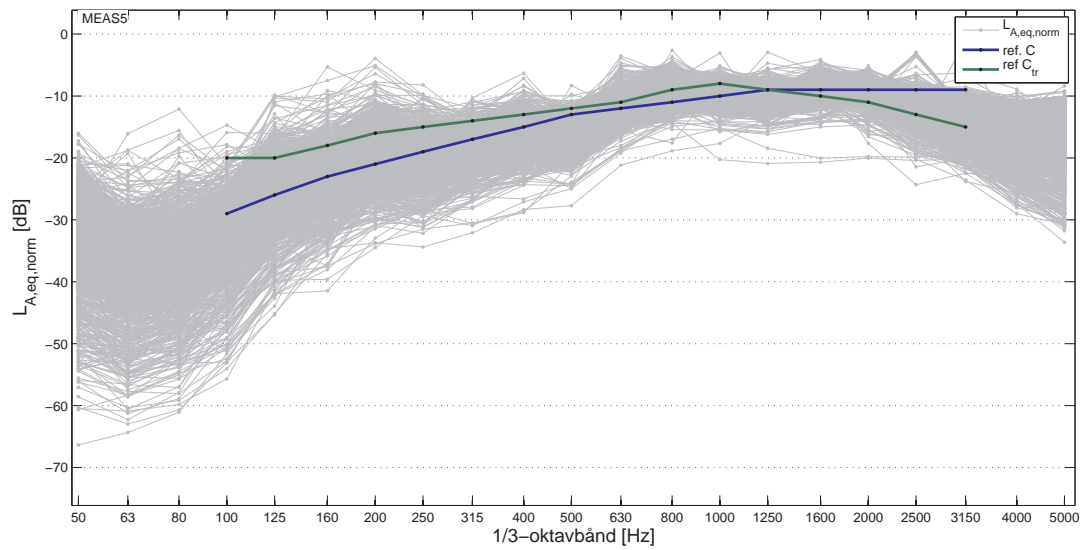
**Figur 4.25:** A-veide ekvivalentspektra for bolig 2 sammenlignet med referansekurver for beregning av omgjøringsstall.



**Figur 4.26:** A-veide ekvivalentspektra for bolig 3 sammenlignet med referansekurver for beregning av omgjøringsstall.

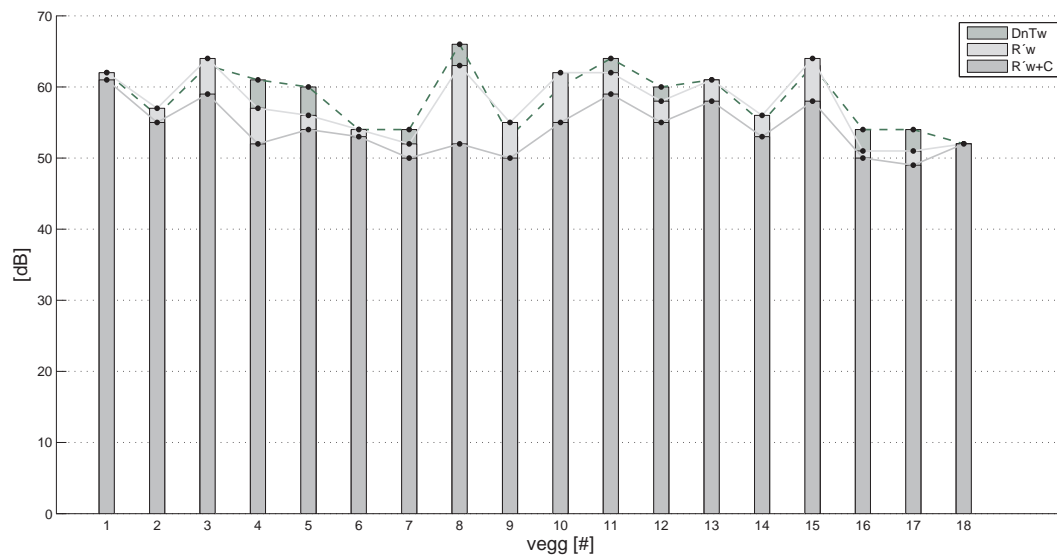


**Figur 4.27:** A-veide ekvivalentspektra for bolig 4 sammenlignet med referansekurver for beregning av omgjøringsstall.



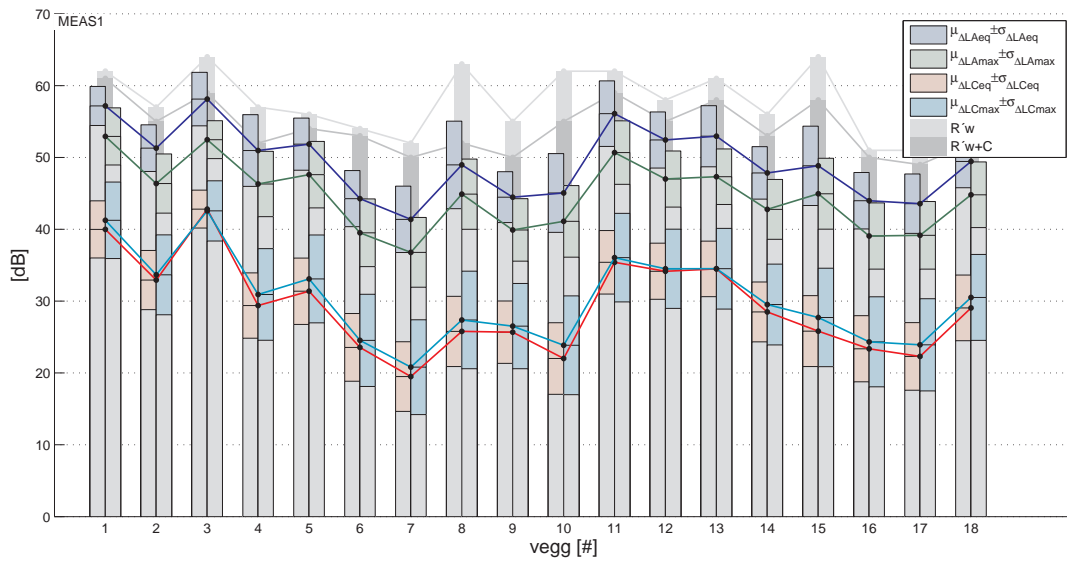
Figur 4.28: A-veide ekvivalentspektra for bolig 5 sammenlignet med referansekurver for beregning av omgjøringsstall.

#### 4.12 Ett-tallsverdier

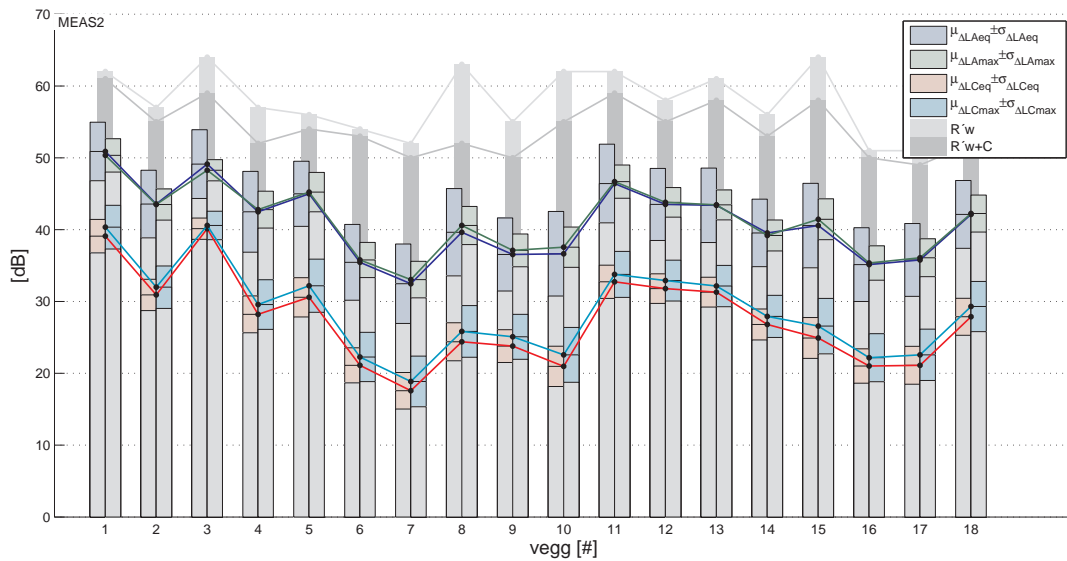


Figur 4.29: Ett-tallsverdier  $D_{n,T,w}$ ,  $R'_w$  og  $R'_w + C$  for de 18 lettveggene.

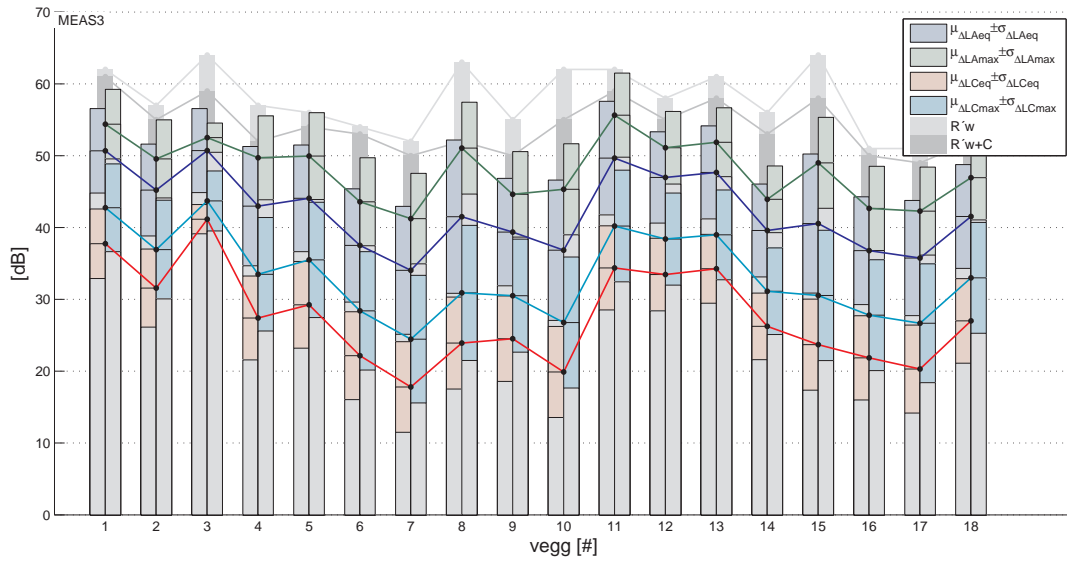
### 4.13 A- og C-veid nivåforskjell



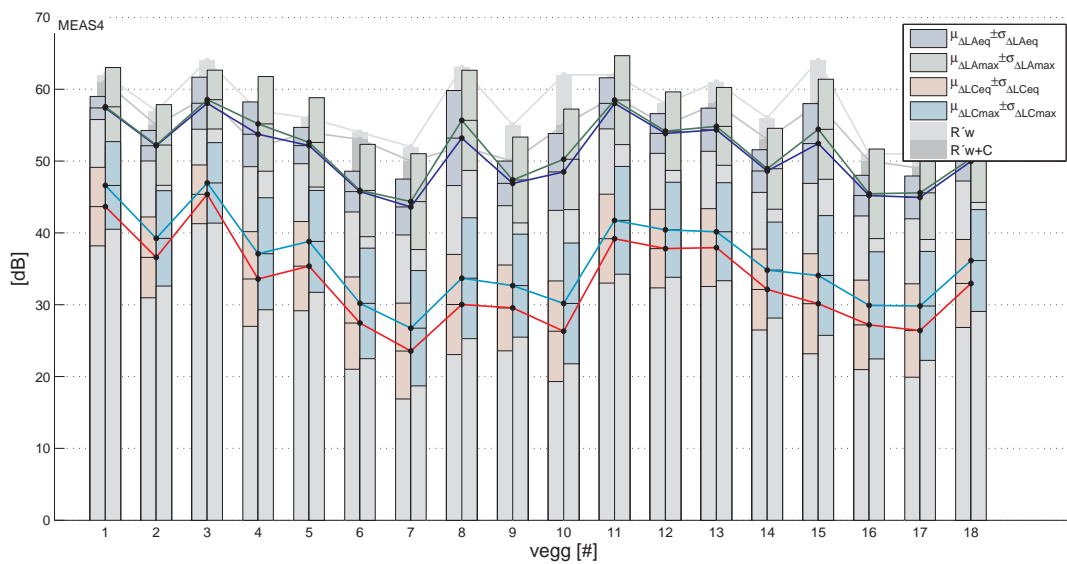
**Figur 4.30:** Forskjell i veide ekvivalent- og maksimalnivå sammenlignet med ett-tallsverdier for bolig 1.



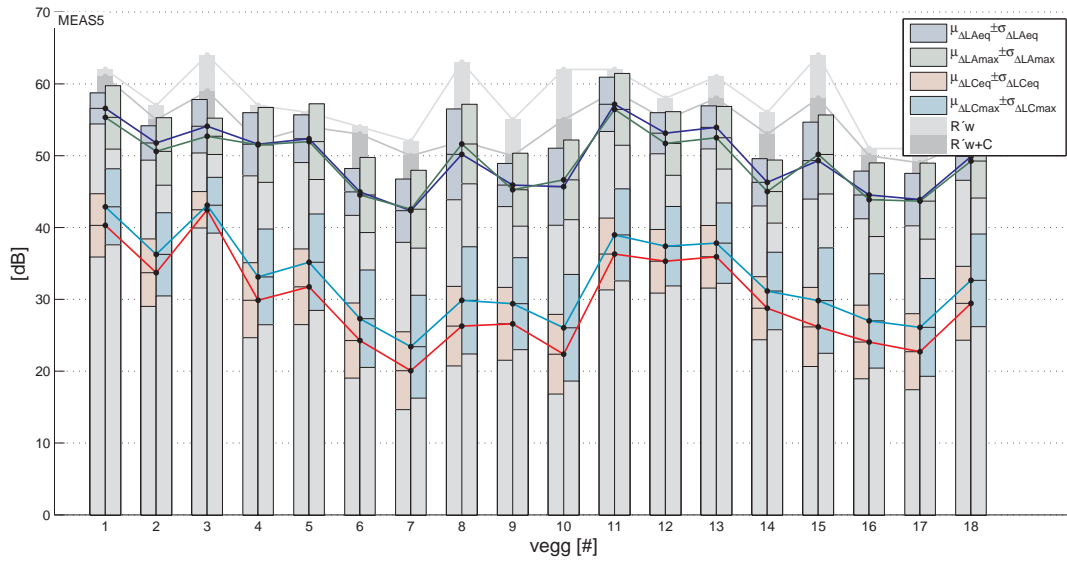
**Figur 4.31:** Forskjell i veide ekvivalent- og maksimalnivå sammenlignet med ett-tallsverdier for bolig 2.



**Figur 4.32:** Forskjell i veide ekvivalent- og maksimalnivå sammenlignet med ett-tallsverdier for bolig 3.

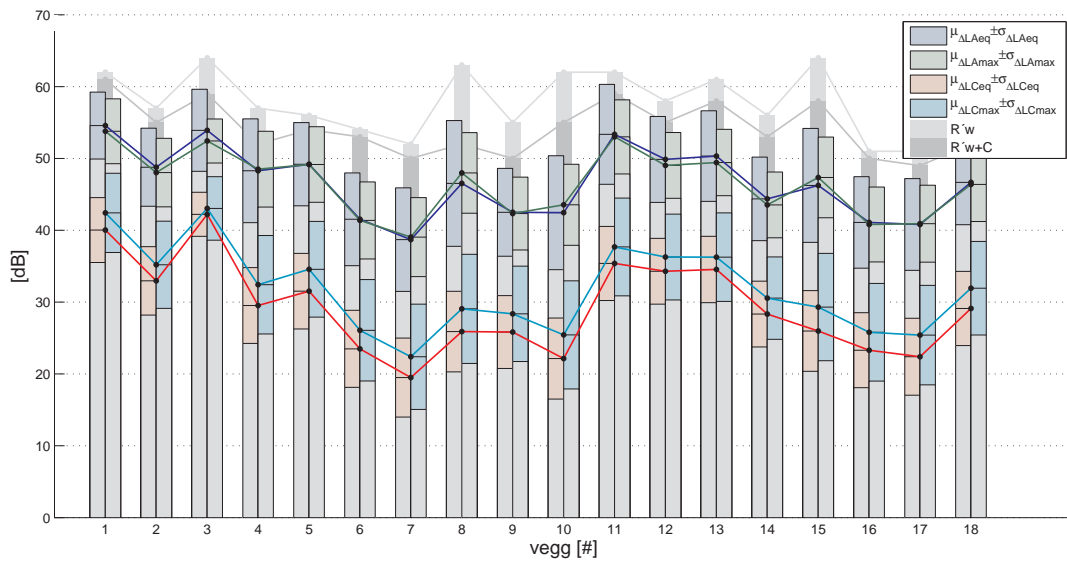


**Figur 4.33:** Forskjell i veide ekvivalent- og maksimalnivå sammenlignet med ett-tallsverdier for bolig 4.

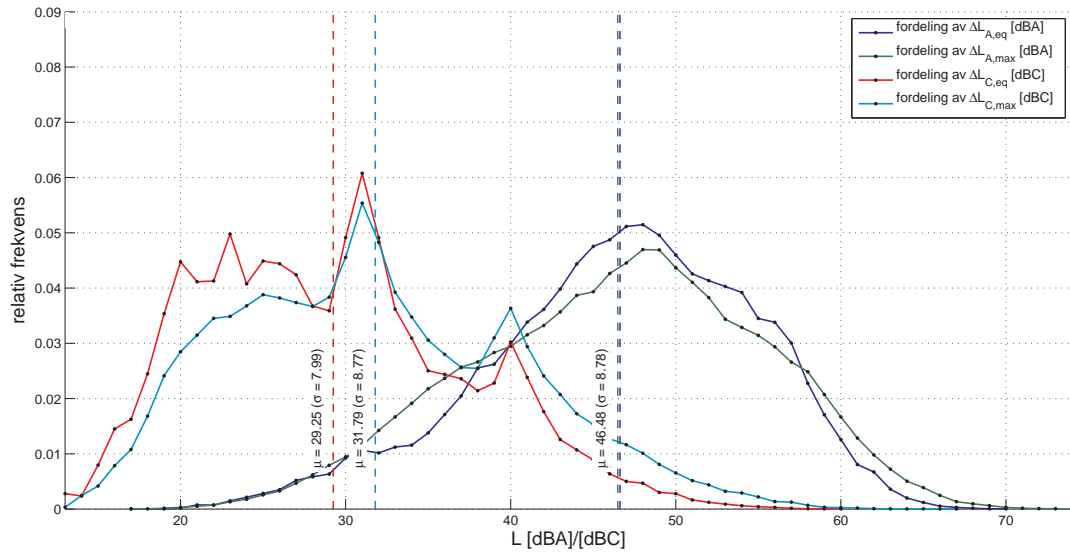


Figur 4.34: Forskjell i veide ekvivalent- og maksimalnivå sammenlignet med ett-tallsverdier for bolig 5.

#### 4.13.1 totalt

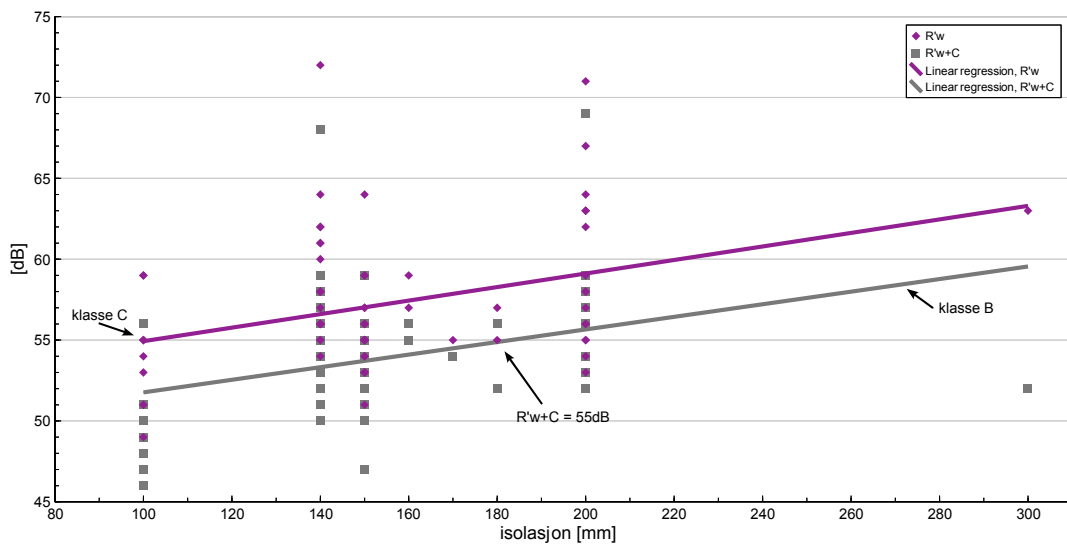


Figur 4.35: Forskjell i veide ekvivalent- og maksimalnivå sammenlignet med ett-tallsverdier samlet for alle boligene.



Figur 4.36: Fordeling av forskjell i A- og C-veide nivå for alle boligene.

#### 4.14 Veid reduksjonstall vs. isolasjonstykkel



Figur 4.37: Sammenheng mellom isolasjonstykkel og veid reduksjonstall for et noe større utvalg av lettvegger fra StairWay.

## 5 Diskusjon

### 5.1 Nivådifferanser

Figur 4.1 viser spektra av nivådifferanser gjennom veggen basert på verdier for tilsynelatende reduksjonstall  $R'$  og romparametre i naborom for utvalget av lettvegger fra databasen. Samtlige vegger isolerer dårligere for lave frekvenser enn for høye. For lave frekvenser går imidlertid kurvene litt på «kryss og tvers», hvilket tyder på større usikkerhet i forhold til demping i dette frekvensområdet. Denne usikkerheten kan skyldes at bølgelengdene her nærmer seg samme størrelsesorden som romdimensjonene ( $\lambda_{100\text{Hz}} \approx 3.4\text{m}$ ) slik at antakelsen om diffust lydfelt ikke lenger stemmer like godt. I frekvensbåndene over ca. 250Hz er kurvene i stor grad parallelle, hvilket betyr at veggene har mer like egenskaper i forhold til frekvens hva gjelder lydisolasjon. Det er likevel 20–30dB forskjell mellom veggene med høyest demping og de med lavest. Ved 2.5kHz har de fleste av veggene en liten fordypning i spekteret som mest sannsynlig skyldes grensefrekvensen til veggplata. En enkel 13mm gipsplate har grensefrekvens for sportilpasning ved  $\approx 2640\text{Hz}$ , og følgelig vil den isolere litt mindre i dette området fordi  $\lambda_{\text{luft}} \approx \lambda_{\text{gips}}$  slik at lydenergien går «tvers gjennom» [18, s. 189]. Alle veggene har imidlertid doble gipsplater (se appendiks A) hvilket skulle tilsi at denne grensefrekvensen er den halve. Grunnen til at dette ikke stemmer kan være at sammenføyningen av platene er dårlig slik at de i stedet oppfører seg som to enkle i serie.

### 5.2 Romkorreksjon

Beregnete korreksjonsspektra basert på overføringsfunksjon mellom loggepunkt og rommet generelt er gitt i figur 4.2. Det er også her større usikkerhet for lave frekvenser enn for høye av samme grunn som i avsnitt 5.1. Ved høye frekvenser ( $> 1\text{kHz}$ ) ligger alle kurvene, unntatt én, rundt 0dB. Måling 1 skiller seg her fra de andre, sannsynligvis på grunn av at måleren i dette tilfellet til en viss grad var plassert i «skyggen» bak en sofa. For høye frekvenser vil dermed måleren registrere lavere verdier siden disse bølgene har bølgelegde vesentlig mindre enn sofaen, og dermed diffrakterer mindre rundt sofahjørnet enn de lavfrekvente [21],[17].

For måling 3 viser korreksjonsspekteret kraftig demping av frekvensbåndet ved 80Hz, og kraftig forsterkning ved 160–200Hz. Dempningen kan skyldes at måleren her var plassert i et hjørne, nesten oppunder taket. Bølgelengden ved 80Hz er ca. 4.3m, hvilket er i samme størrelsesorden som bredden av rommet, se tabell 4.1. Dermed vil eventuelle stående bølger [9, s. 294] kunne være fremtredende i spekteret i dette frekvensbåndet. Forsterkningen i korreksjonsspekteret ved 160Hz er det imidlertid litt vanskeligere å finne en åpenbar årsak til. Siden



måleren var plassert inntil veggen, er det svært lite sannsynlig at det er stående bølger med nullpunkt her. Disse har nemlig maksimalnivå mot en hard vegg (akustisk impedans  $Z \rightarrow \infty$ ) og nullpunkt mot en åpning ( $Z \rightarrow 0$ ).

Målingene av romresponsen for utarbeidelse av romkorleksjon ble gjort ved å holde måleren med påmontert mikrofon i hånda. Dette kan naturligvis føre til noe uønskede effekter med refleksjoner og skygge, men disse feilkildene antas å være neglisjerbare i denne sammenhengen. En mer idéell måte å gjøre disse målingene på er uansett å plassere mikrofonen på et stativ slik at den står mer fritt i rommet.

Ved sammenligning av figur 4.3 og 4.4, er det tydelig å se at romkorleksjonen gir en dreining av spekteret. Selv om romkorleksjonen i de fleste tilfeller bare er noen få dB, får de korrigerte spektrene endret frekvenskarakteristikk og dermed endret gjennomsnittsspektrum. Korleksjonen av spektrene får også noe betydning for de veide nivåene, selv om denne nok ikke er vesentlig.

### 5.3 Målte spektra

Kurveskarer av målte og korrigerte ekvivalentspektra samt gjennomsnittsspektra basert på disse er gitt i figur 4.4–4.13. Generelt sett har disse spektrene en tendens til å dele seg mellom to forskjellige nivå ved frekvenser over et par hundre Hz. Det laveste nivået vil i de fleste tilfeller beskrive bakgrunnsstøyen når det ikke er folk i rommet, og det høyeste vil typisk beskrive nivå når rommet er i bruk. For bolig 1 (figur 4.4) er gapet mellom disse nivåene ganske tydelig, mens det for bolig 5 (figur 4.12) ikke er synlig i det hele tatt. Hovedkildene til disse høyere nivåene er sannsynligvis hovedsakelig tekniske apparater, som TV og radio, siden disse gir et forholdsvis konstant nivå når de står på. På grunn av at målingene er gjort i femminuttersintervaller, kan det være vanskeligere å registrere menneskelig aktivitet som korte samtaler og andre gjøremål. Disse tar oftest vesentlig kortere tid enn fem minutter, men vil likevel bidra til ekvivalentnivået, spesielt hvis den gjeldende aktivitet medfører høyt støynivå. Valget av fem minutter som intervall for målingene er gjort nettopp på grunn av dette siden man av personvern hensyn ikke kan gjøre så detaljerte målinger at de menneskelige aktivitetene i rommet kan spores på noen måte.

For noen av boligene viser kurveskaren av ekvivalentspektra konsekvente topp i enkelte frekvensbånd. For eksempel er det for bolig 3 en markant topp i ekvivalentspekteret ved 315Hz (figur 4.8). Denne toppen skyldes trolig en eller annen teknisk installasjon som slås av og på ettersom en del av kurvene ikke har topp for denne frekvensen. En slik installasjon kan være for eksempel et kjøleskap eller en vifte.

Ved 100Hz i ekvivalentspekteret for bolig 4 (figur 4.10) er det også en markant topp. I dette tilfellet er det muligens en installasjon som går kontinuerlig, for

eksempel et ventilasjonsanlegg. En annen forklaring på denne toppen kan være spesiell bakgrunnsstøy, for eksempel trafikkstøy, som kommer utenfra.

### 5.3.1 Gjennomsnittsspektra

Ved å se på figur 4.4–4.13, kan man gjøre en sammenligning av målte spektra og de tilhørende gjennomsnittsspektrene. Det er, som forventet, forholdsvis tydelig hvordan den typiske fasongen til de målte spektrene gjenspeiler seg i gjennomsnittsspekteret. Den eneste gjennomgående tendensen mellom de ulike boligene er at spekteret hever seg noe for de lave frekvensene. Ellers ser ikke gjennomsnittsspekteret i seg selv ut til å avsløre noen hittil ukjente sammenhenger.

### 5.3.2 Bakgrunnsstøy

Nivået på bakgrunnsstøyen har ikke blitt målt direkte, men ved å se på ekvivalentspektrene er det forholdsvis enkelt å danne seg et bilde som forklart i avsnitt 5.3. Spektrene gir en god indikasjon på bakgrunnsstøynivået som i de fleste tilfellene ligger i området 10–30dB. På grunn av den dynamiske begrensningen til lydmåleren foreligger det ikke tilfredsstillende A-veide måleresultat av bakgrunnsstøyen, men de gir grunn til å anta at nivået ligger mellom 15 og 30dBA, se avsnitt 5.4.

## 5.4 A-veid nivå beregnet vs. måler

Fordelingskurven i figur 4.14 av beregnet A-veid ekvivalentnivå samlet fra alle boligene, viser en svært høy verdi for 30–31dBA i forhold til ekvivalent A-veid nivå hentet direkte fra måleren. Denne unormalt høye verdien kommer av at det dynamiske området på måleapparatet i tre av de fem boligene var satt til 19–99dB. I mange tilfeller har dermed en del målinger ikke blitt registrert nøyaktig fordi måleren har gått i såkalt «underrange», og ikke lagret verdi for et (eller flere) av 1/3-oktavbåndene. Disse målingene har i etterbehandlingen blitt erstattet med nedre grense (se avsnitt 3.3). Når de fleste av de 21 1/3-oktavbåndene har en verdi på 19dB, vil nettopp det resulterende A-veide nivået ligge mellom 30 og 31dBA, selv om det egentlige nivået altså er lavere. For noen av målingene har til og med målerens egen verdi for A-veid nivå gått i underrange. I disse tilfellene er dermed den virkelige verdien også mindre enn 19dBA.

Under målingene gjort i bolig 2 og 3 var det dynamiske området på måleren satt til 9–89dB, hvilket er årsaken til at fordelingen også har noen verdier under 30dBA. Med denne innstillingen vil færre målinger gå i underrange, men samtidig blir den øvre grenseverdien i laveste laget for maksimalnivå. Det er derfor bare i

disse to boligene, uten barn og med få voksne (se tabell 4.1), denne innstillingen har blitt brukt.

Det kan også nevnes at det A-veide nivået hentet fra måleren blir regnet ut fra *hele* dens frekvensområde (16Hz–16kHz) og ikke bare 1/3-oktavbåndene 50Hz–5kHz. Feilen dette medfører antas imidlertid å være ubetydelig sammenlignet med kompresjonen av det dynamiske området som beskrevet ovenfor.

## 5.5 Lydnivå i boligene

Figur 4.15 viser fordeling av ekvivalent- og maksimalnivå totalt for alle boligene. Dette gir et inntrykk av støyen som forekommer i en bolig ved normal bruk. Det A-veide ekvivalentnivået legger seg i stor grad mellom 30 og 45dBA, men den virkelige fordelingen er trolig litt mer jevn nedover mot 20dBA (se avsnitt 5.4). Kurven har to distinkte toppe, i motsetning til i figur 4.14, som trolig skyldes at romkorreksjonen i de ulike boligene fører til mer eller mindre forskyving av de A-veide nivåene. Fordelingen vitner uansett om et forholdsvis begrenset støynivå fordelt over tid. Det er imidlertid viktig å være klar over at boliger der beboerne er på jobb på dagtid (og sover om natten) vil få en fordeling av ekvivalentnivået med høye relativ frekvens for lave nivå. Dette gir i seg selv ingen informasjon om lydnivået når beboerne er hjemme og i aktivitet. Det er derfor viktig å se på «halen» av fordelingen oppover i lydnivå for å få et inntrykk av hvilke nivå som faktisk opptrer ved bruk. Figuren viser at ekvivalent A-veid nivå ligger mellom 40 og 60dBA det meste av tiden. Ekvivalentnivå over 70dBA for en femminuttersperiode forekommer svært sjeldent, og 80dBA har ikke blitt registrert i noen av målingene. En slik fordeling av A-veide ekvivalentnivå indikerer forholdsvis rolige forhold i dette utvalget av boliger, også når folk er tilstede.

Det kan også være verdifullt å se på fordelingene av maksimalnivå for å danne seg et mer detaljert bilde av hvilke lydnivå som forekommer. Figur 4.16 viser kumulativ fordeling av A- og C-veide nivå. Det opptrer veide maksimalnivå helt opp mot 100dBA/dBC, men dette er til gjengjeld svært sjeldent. I 90% av tida er både A- og C-veid maksimalnivå lavere enn 80dBA/dBC. Dette tyder på at lydnivå fra det aktuelle utvalget av boliger neppe vil sjenere eventuelle naboer i vesentlig grad.

## 5.6 Lydnivå hos nabo

Fordelingene (relativ og kumulativ) av A- og C-veid ekvivalent- og maksimalnivå i tilstøtende rom samlet for alle boligene er gitt i figur 4.17 og 4.18. Det er tydelig at fordelingen av A- og C-veide nivå går mot en normalfordeling. Dette er også naturlig i følge sentralgrenseteoremet [12, s. 157] siden populasjonen man får

(antallet nivå) etter beregningene er i størrelsesorden 16000–26000 for hver bolig, og godt over 100000 totalt. Fordelingene av maksimalnivåene har litt større spredning ( $\sigma \sim 12\text{--}13\text{dBA/dBC}$ ) enn ekvivalentnivåene ( $\sigma \approx 10\text{dBA/dBC}$ ), noe som også er å forvente siden maksimalnivå ikke integrerer over tid på samme måte som de ekvivalente.

De A-veide nivåene viser seg å ha lavere middelvei enn de C-veide. A-veid maksimalnivå over 40dBA hos nabo er svært sjeldent i de boligene det er blitt gjort målinger i. C-veid ekvivalentnivå hos nabo overstiger faktisk A-veid maks med opptil 12dB. Dette er med litt ettertanke likevel naturlig siden veiekurven for C-veid lydtrykksnivå (se appendiks C) har mindre dempning av lave frekvenser, samtidig som det er i dette frekvensområdet isolasjonen er dårligst (lavest nivåforskjeller, se figur 4.1). Maksimum C-veid lydtrykksnivå har middelvei på ca. 30dBC med standardavvik 12dBC. Dermed vil omlag 8% av nivåene legge seg over 47dBC (se figur 4.18), som er høyeste grenseverdi for lydnivå fra tekniske installasjoner i klasse C i henhold til NS 8175 [14, s. 10]. Dette medfører at vegger som tilfredsstillere kravene likevel slipper igjennom så mye lavfrekvent støy fra nabo at det vil kunne føre til en del klager på lydisolasjonen. Det er jo ingen grunn til å tro at støy fra nabo er mindre sjenerende enn støy fra tekniske installasjoner, snarere tvert imot. Tekniske installasjoner, som for eksempel ventilasjonsanlegg, har som regel et jevnt støynivå med lite variasjoner i spekteret sammenlignet med spektra med opphav i menneskelig aktivitet (se figur 4.4–4.13).

Persentilene i figur 4.19–4.22 viser en sammenligning av nivåfordelingene mellom de ulike boligene. Det forekommer en del variasjon, men den holder seg for det meste innenfor 10dB. Dette må sies å være naturlig tatt i betraktning de vidt forskjellige bosituasjonene i utvalget av boliger.

## 5.7 Vurdering av lydisolasjonskurve

Den standardiserte frekvenskurven for bestemmelse av ett-tallsverdi for lydisolasjon [13, s. 7] sammenfaller godt med spektra av tilsynelatende reduksjonstall for veggene fra StairWay. Figur 4.23 viser kurveskare av tilsynelatende reduksjonstall normalisert til sitt respektive veide reduksjonstall ( $R'_w$ ) sammenlignet med referansekurven (normalisert til  $R'_w = 54\text{dB}$ ). For frekvenser over 500Hz har imidlertid utvalget av lettvegger noe høyere verdier enn referansekurven.

Dersom referansekurven skulle justeres på bakgrunn av dette lettveggutvalget, ville det vært naturlig å heve den noe over 500Hz. Det er imidlertid ved lave frekvenser det er problematisk, siden lydisolasjonen er dårligst i dette området. Det vil derfor være mer aktuelt å utvide referansekurven enn å endre fasongen på den. En måte å utvide frekvenskurven på kan være å la kurven flate ut under 100Hz. Ved å utvide kurven ned til 50Hz-båndet vil man kunne stille

strengere krav til isolasjonen ved lave frekvenser slik at C-veide maksimalnivå over 47dBC hos nabo begrenses. En slik utvidelse av frekvenskurven fører dog til en kostnadsøkning ved oppføring, siden veggene må bygges tykkere for å imøtekomme kravene.

### 5.7.1 Omgjøringstall

Standarden [13] tar likevel et visst hensyn til lavfrekvensområdet ved å bruke omgjøringstallet  $C$  for spektrum. Dette tallet beregnes på bakgrunn av referansespektra [13, s. 9], og legges til  $R'_w$ . Figur 4.24–4.28 viser referansespektrene sammenlignet med A-veide spektra normalisert til sin respektive verdi i dBA for hver bolig. Spredningen mot lave frekvenser viser større usikkerhet nedover i spekteret, men den generelle fasongen (gjennomsnittsspekteret) ser ut til å følge referansespektrene stort sett innenfor 10dB avvik. Referansekurvene kan derfor sies å gi en god beskrivelse av formen på støyspektra som opptrer innendørs, forutsatt at disse er A-veide.

Selv om det for klasse C i henhold til [14] ikke er tatt med omgjøringstall for spektrum, anbefales det likevel å legge til dette som en tilleggsvurdering. For klasse A og B derimot, gjelder grenseverdien  $R'_w + C$  som standard nettopp for å begrense lavfrekvent støy [14, s. 9]. En justering av standarden for å bedre lydisolasjonen ved lave frekvenser, kan altså gjøres så enkel som å legge til omgjøringstall for spektrum også for klasse C. Dette vil føre til noe strengere bedømmelse og dermed begrense C-veid maks over 47dBC hos nabo. For utvalget av lettvegger fra StairWay vil en slik forskriftsendring i snitt føre til 3.4dB strengere bedømmelse.

## 5.8 Vurdering av ett-tallsverdi

Figur 4.29 viser ett-talls karakteristikk for utvalget av lettvegger fra StairWay. Det tilsynelatende reduksjonstallet  $R'_w$  varierer mellom 51 og 64dB, mens romisolerings  $D_{n,T,w}$  i snitt ligger 0.8dB høyere. Ved å legge til omgjøringstall  $C$  for spektrum blir ett-tallsverdiene redusert et par dB for de fleste veggene.<sup>4</sup>

Nivåforskjellen mellom boligene i dBA og dBC sammenlignet med verdiene for  $R'_w$  og  $R'_w + C$  er gitt i figur 4.30–4.35 for de respektive lettveggene fra databasen. Det er tydelig at nivåforskjellene for veide lydtrykk ligger noe lavere enn  $R'_w/R'_w+C$ , men de to gruppene parametre varierer relativt unisont gjennom utvalget. Det kan se ut som om nivåforskjellene samlet for alle boligene (figur 4.35) ligger et sted mellom  $R'_w$  og  $R'_w + C$  i variasjonen fra vegg til vegg. Dette tyder på at nivåforskjell i veid lydtrykk ikke nødvendigvis beskriver lydisolasjonen vesentlig bedre enn gjeldende ett-tallsverdi.

<sup>4</sup>I figur 4.29 er det bare  $R'_w + C$  som er vist.

Det er likevel kanskje enklere og mer intuitivt å beskrive lydisolasjonen ved bruk av nivåforskjellen i  $\text{dBA/dBC}$  enn med  $R'_w$ . Ulempen er at disse nivåforskjellene vil variere noe med formen på kildepekteret. Figur 4.36 viser den samlede fordelingen av veide nivåforskjeller. Disse kurvene ser også ut til å gå mot en normalfordeling med standardavvik omkring  $8\text{dB}$ . Denne variasjonen vil imidlertid kunne elimineres ved å bruke et fast spektrum, som for eksempel rosa støy eller et standardisert referansespektrum.

På den annen side er det ingen grunn til å endre på parametre som faktisk gir et brukbart bilde av lydisolasjonen. Bruk av ett-tallsverdier i form av veiet reduksjonstall er godt innarbeidet i fagmiljøet, og en forskriftsendring vil muligens føre til mer frustrasjon og irritasjon enn vinning i form av økt intuitivitet.

## 5.9 Lave frekvenser

Frekvensområdet som inngår i dagens standarder er begrenset nedad til  $100\text{Hz}$ , eller  $50\text{Hz}$  ved bruk av utvidet frekvensområde. Det kan imidlertid være vel så interessant å se på frekvensbånd helt ned til  $20\text{Hz}$  (tilsvarende nedre grense for den menneskelige hørsel), siden det gjerne forekommer mye støy i de lavfrekvente områdene. Dessuten vil en lettvegg ha dobbeltveggresonans nettopp i dette området, se ligning (7). Tabell 3.2 viser overslag av resonansfrekvenser for utvalget av lettvegger. Resonans i veggen vil naturligvis føre til dårligere isolasjonsegenskaper, og dertil høye  $\text{dBC}$ -verdier hos nabo.

Et interessant spørsmål er om det forekommer mer lavfrekvent støy nå til dags enn da kravene ble fastsatt for flere titalls år siden. Spektrene for de ulike boligene (fig. 4.4–4.13) viser at nivåene er generelt økende mot lave frekvenser. Dette er dog naturlig, og siden det ikke foreligger tilfredsstillende måledata fra tiden da kravene ble satt, er det vanskelig å gjøre en objektiv sammenligning. En ting som uansett er sikkert er at det idag er langt vanligere med store hjemmekinoanlegg og/eller subwoofere som i enkelttilfeller kan bidra til en betraktelig lavfrekvent støybelastning hos nabo.

## 5.10 Veiging

Det er utstrakt bruk av A-veiging i dagens regelverk, men denne størrelsen fører per definisjon til at lavfrekvent støy blir noe undertrykket. Denne veiekurven er beregnet på lave til middels nivå og tar utgangspunkt i likelydskurven [23] ved  $40\text{phon}$ . Bruk av C-veiging gir mindre undertrykkelse av lavfrekvente nivå, men denne kurven tar utgangspunkt i  $100\text{phon}$  hvilket er vesentlig høyere enn normale lydnivå i en bolig. Det kan derfor være en viss fare for å ta med for mye lavfrekvent energi ved bruk av denne veiekurven. Det er likevel verdifullt å ta med C-veide nivå siden eventuelle store forskjeller mellom dette og de tilsvarende

A-veide nivåene vil kunne gi informasjon om høyt innhold av lavfrekvent støy. Frekvenskurven for B-veing [2] tar utgangspunkt i 70phon, og vil dermed kanskje filtrere bort lave frekvenser på en mer tilfredsstillende måte ved middels til høye lydnivå. B-veing er imidlertid ikke lenger i bruk i dagens regelverk, og en eventuell gjeninnføring vil sannsynligvis skape mer forvirring og tungvinne løsninger enn nytteverdi i form av bedre veing.

En idé til løsning av veieproblematikken kan være å innføre en ny størrelse i form av *progressiv veing*, for eksempel kalt **dB**L. Dette kan gjennomføres ved å interpolere veiekurvene fra A til C, og tilpasse veingen det enkelte nivå: For nivå omkring 40dB vil veiekurven tilsvare dagens A-veing, mens den for nivå i området 100dB vil tilsvare dagens C-veing. Med den datakraften som er tilgjengelig idag, bør ikke en slik måte å beregne veide nivå på by på nevneverdige problemer. På denne måten vil man for et hvert nivå kunne beskrive støybelastningen med ett tall med «riktig» veing i stedet for å operere med forskjellige veiekurver.

En løsning som dette kan høres vel og bra ut ved første øyekast, men det er nok dessverre ikke første gangen noe slikt har blitt foreslått. Selv om idéen i seg selv kan synes å være god, vil det å gjennomføre noe slikt i praksis være ganske urealistisk tatt i betraktning alt målestyr med de «gamle» veiefiltrene implementert. Store deler av standarder og regelverk i forbindelse med lydnivå måtte i så fall også revideres, blant annet ved å fastsette nye grenseverdier for støybelastning. Gevinsten ved å innføre en ny form for veing er altså så liten sammenlignet med omfanget av selve omleggingen, at det neppe blir aktuelt siden de eksisterende størrelsene fungerer så vidt godt.

## 5.11 Vurdering av kostnader

Omlag tre firedeler (72.2%) av lettveggene fra databasen oppfyller kravet om  $R'_w \geq 55\text{dB}$ . Ved å bruke tilleggskriteriet  $R'_w + C \geq 55\text{dB}$ , er det bare 44.2% av veggene som oppfyller kravet. Kravene til klasse B ( $R'_w + C \geq 58\text{dB}$ ) er det bare 27.8% av veggen som oppfyller. Dersom man antar at utvalget av lettvegger fra databasen er representativt, vil altså andelen godkjente vegger synke fra 72.2% til 27.8% ved en oppgradering til klasse B.

En eventuell oppjustering av kravene til klasse B vil naturligvis føre til økte kostnader for de som skal bygge bolig. Lydisolasjonen kan til en viss grad forbedres ved å bruke tykkere isolasjonslag i veggen, men isolasjonsevnen for lave frekvenser vil uheldigvis ikke øke like mye som for høye [18, fig. 6-29]. Derfor må det kanskje også gjøres flere tiltak, som å øke antall gipsplater, slik at veggen blir tyngre. Figur 4.37 viser sammenhengen mellom isolasjonstykkelse og  $R'_w/R'_w + C$  for et større utvalg (75 vegger) fra StairWay. Det er naturligvis en tydelig tendens at isolasjonsegenskapene øker med økt veggtykkelse, men kanskje

ikke i den grad det er naturlig å forvente. For å heve isolasjonsegenskapene fra  $R'_w \geq 55\text{dB}$  (klasse C) til  $R'_w + C \geq 58\text{dB}$  (klasse B), må man øke isolasjonstykkelsen fra 100mm til ca. 270mm ifølge tendensen i dette utvalget. Byggekostnadene i forbindelse med en slik endring i tykkelse er ubetydelige til sammenligning med verdien av tapt boareal siden det kun er snakk om å legge inn mer isolasjonsmateriale i veggen ved oppføring. Hvis man antar en kvadratmeterpris på 40000kr for leiligheter av god standard i Oslo, vil en slik utbygging av veggen koste 6800kr pr. løpemeter vegg. Denne oppgraderingen fører til 6–7dB økning av reduksjonstallet, og dermed koster det omtrent 1000kr/dB pr. løpemeter vegg!

Dersom man legger til omgjøringsstall for spektrum for klasse C ( $R'_w + C \geq 55\text{dB}$ ), må isolasjonstykkelsen økes fra 100mm til 180mm. Dette fører til en halvering av kostnadene (3200kr pr. løpemeter vegg), og er dermed et bedre alternativ dersom kravene skal justeres. En slik mellomløsning går naturligvis også på bekostning av reduksjonstalløkningen, men siden det er lavfrekvensområdet som er det mest kritiske, er dette likevel et høyst aktuelt kompromiss.

Selv om det knytter seg stor usikkerhet til disse tallene, gir de en pekepinn på omfanget av kostnadene ved en oppjustering av kravene. Det interessante er at tap av boareal er den vesentlige kostnaden ved en eventuell forskriftsendring, og ikke byggekostnadene i seg selv.

## 5.12 Bruk av utstyr

En del av hensikten med prosjektet har også vært å gjøre seg kjent med og lære seg bruk av profesjonelt verktøy og måleteknikk for lydmålinger i rom. Oppsett og bruk av B&K2260 og NOR118 har foløpt uten nevneverdige problemer. Bruk av NOR840 til logging i bolig 5 skapte imidlertid hodebry. Det viste seg nemlig da den skulle hentes etter endt loggeperiode, at maskinen på en eller annen måte hadde låst seg i målemodus. Det var derfor umulig å hente ut data på noen måte, selv ikke etter telefonkontakt med service hos Norsonic. I et siste forsøk på å redde dataene, ble måleren satt til å gå tom for batteri i håp om at autolagringsfunksjonen skulle tre i kraft. Dette skjedde dessverre ikke, og denne måleserien måtte derfor gjøres helt på nytt, denne gangen ved bruk av B&K 2260.

I et prosjekt som dette hvor det ikke er penger involvert, har en slik feil heldigvis svært lite å si. Dersom prosjektet hadde vært betalt av en kunde derimot, ville et slikt problem ført til forsinkelser og økte kostnader, hvilket er uheldig for et eventuelt konsulentfirma som utfører oppdraget.



### 5.13 Vurdering av eget arbeid

Prosjektet har gitt en innføring i praktisk måling av akustiske parametre ved bruk av profesjonelle måleinstrument samt bearbeiding av resulterende data. Det har naturligvis gått med en del tid til databehandling og programmering, spesielt i starten av prosjektet. Det har også gått mye tid på framstilling og presentasjon av resultater. Det kunne naturligvis vært mulig å fordype seg mer i litteratur om emnet for å få en enda bredere og dypere forståelse, men praktisk arbeid og analyse av måledata gir også verdifull kunnskap og erfaring. Slik erfaring kan være vel så nyttig å ha med seg ut i arbeidslivet.

### 5.14 Videre arbeid

Kartleggingen i dette prosjektet har foregått i forholdsvis begrenset omfang. Dette av hensyn til tid og arbeidsmengde for en masteroppgave. I en eventuell videreføring av prosjektet, vil det være mest nærliggende å utvide kartleggingen av lydnivå ved å gjøre målinger i flere boliger. Dette vil gjøre måledataene til et mer representativt utvalg å trekke konklusjoner fra. Det vil også være aktuelt å utvide utvalget av skillevegger ved å hente inn data fra flere typer vegger, som for eksempel tyngre betongvegger, og å måle lydisolasjonen i de samme boligene som er blitt kartlagt. Sist, men ikke minst, bør det gjøres en omfattende spørreundersøkelse blant folk for å avdekke om hvorvidt de lar seg sjenere av støy fra nabo eller ikke. Hvis ingen lar seg forstyrre er det jo ingen grunn til å endre på gjeldende krav.

## 6 Konklusjon

Resultatene av analysen basert på måledata gjengitt i kapittel 4 viser at referansekurvene for bestemmelse av ett-tallsverdi samt referansespektra for omgjøringstall ser ut til å korrellere godt med målte data. På grunnlag av utvalget av lettvegger og målte støyspektra i dette prosjektet, er det derfor ingen grunn til å gjøre særlige justeringer av disse.

Forskjeller i A- og C-veid lydnivå ser heller ikke ut til å beskrive lydisolasjonen vesentlig bedre enn de eksisterende parametre  $R'_w$  og  $C$ . Det er derfor ingen grunn til å endre på gjeldende standard for ett-talls karakteristikk av lydisolasjon.

Det har imidlertid vist seg at det C-veide maksimalnivået beregnet hos nabo er noe høyere enn ønskelig siden det i 8% av tiden faktisk overstiger grenseverdien på 47dBC for tekniske installasjoner. Dette kan gi grunnlag for å legge til omgjøringstallet  $C$  for spektrum også for klasse C i NS 8175, for å stille strengere krav til isolasjonen ved lave frekvenser.

Kostnadene ved en eventuell oppgradering av kravene til klasse B for boliger er naturligvis betydelige. De høye kvadratmeterprisene for leiligheter (i Oslo) fører imidlertid til at det er verdien av tapt boareal som utgjør mesteparten av utgiftene, og ikke byggekostnadene i seg selv. En oppjustering av kravene ved å ta med omgjøringstallet også for klasse C, som foreslått over, vil føre til en halvering av kostnadene i forhold til å oppgradere til klasse B. Dette ser derfor ut til å være det mest aktuelle alternativet dersom kravene skal endres.

## Referanser

- [1] Dirac Delta Consultants Limited. "A Weighting". <http://www.diracdelta.co.uk/science/source/a/w/aweighting/source.html>, 2006. besøkt: 13.02.2008.
- [2] Dirac Delta Consultants Limited. "B Weighting". <http://www.diracdelta.co.uk/science/source/b/w/bweighting/source.html>, 2006. besøkt: 11.04.2008.
- [3] Dirac Delta Consultants Limited. "C Weighting". <http://www.diracdelta.co.uk/science/source/c/w/cweighting/source.html>, 2006. besøkt: 13.02.2008.
- [4] ISO. "ISO 140-3: Acoustics – Measurements of sound insulation in buildings and of building elements – Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements", 1995.
- [5] ISO. "ISO 140-4: Acoustics – Measurements of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms", 1998.
- [6] L. E. Kinsler og A. Frey. *Fundamentals of Acoustics*. John Wiley & Sons, Inc., 4. utgave, 2000.
- [7] E. Kreyszig. *Advanced Engineering Mathematics*. John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- [8] A. Krokstad. *Akustikk for ingeniører, kap 1–13 + 17–18*. NTNU, Inst. for teleteknikk, akustikk, 1999.
- [9] M. Long. *Architectural Acoustics*. Elsevier Academic Press, 2006.
- [10] H. W. Lord, W. S. Gatley og H. A. Evensen. *Noise Control For Engineers*. McGraw-Hill, 1980.
- [11] Lovdata. «Plan- og bygningslov». <http://www.lovdato.no/cgi-wift/wiftldles?doc=/usr/www/lovdato/all/nl-19850614-077.html&emne=plan+og+byggningslov>, 1985. besøkt: 14.03.2008.
- [12] G. G. Løvås. *Statistikk – for universiteter og høyskoler*. Universitetsforlaget, 1999.
- [13] NS-EN. «ISO 717-1: Akustikk – Lydforhold i bygninger – Del 1: Vurdering av luftlydisolasjon», 1997.
- [14] NS-ISO. «NS 8175: Lydforhold i bygninger – Lydklasser for ulike bygningstyper», 2005.

- 
- [15] S. Olafsen. “An empirical way to calculate indoor noise from road traffic”. I *Euronoise*, 2003.
- [16] J. O. Smith III. “Bark and ERB Bilinear Transforms”. Rapport, Stanford University, Center for Computer Research in Music and Acoustics, 1999.
- [17] University of Salford, AS/A Level Physics Revision. “Diffraction”. <http://www.acoustics.salford.ac.uk/feschools/waves/diffract.htm>, 2005. besøkt: 10.04.2008.
- [18] T. E. Vigran. *Bygningsakustikk – et grunnlag*. Tapir Akademisk Forlag, 2002.
- [19] Wikipedia. “A-weighting — Wikipedia, The Free Encyclopedia”. <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=A-weighting&oldid=186376100>, 2008. besøkt: 30.01.2008.
- [20] Wikipedia. “Comma-separated values — Wikipedia, The Free Encyclopedia”. [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Comma-separated\\_values&oldid=197581588](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Comma-separated_values&oldid=197581588), 2008. besøkt: 14.03.2008.
- [21] Wikipedia. “Diffraction — Wikipedia, The Free Encyclopedia”. <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Diffraction&oldid=203637543>, 2008. besøkt: 10.04.2008.
- [22] Wikipedia. “Digital room correction — Wikipedia, The Free Encyclopedia”. [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Digital\\_room\\_correction&oldid=186788195](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Digital_room_correction&oldid=186788195), 2008. besøkt: 25.03.2008.
- [23] Wikipedia. “Equal-loudness contour — Wikipedia, The Free Encyclopedia”. [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Equal-loudness\\_contour&oldid=198209317](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Equal-loudness_contour&oldid=198209317), 2008. besøkt: 15.04.2008.
- [24] Wikipedia. “Phon — Wikipedia, The Free Encyclopedia”. <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Phon&oldid=196801446>, 2008. besøkt: 14.03.2008.
- [25] Wikipedia. “Sabine — Wikipedia, The Free Encyclopedia”. <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Sabine&oldid=186984990>, 2008. besøkt: 30.01.2008.

## Appendiks

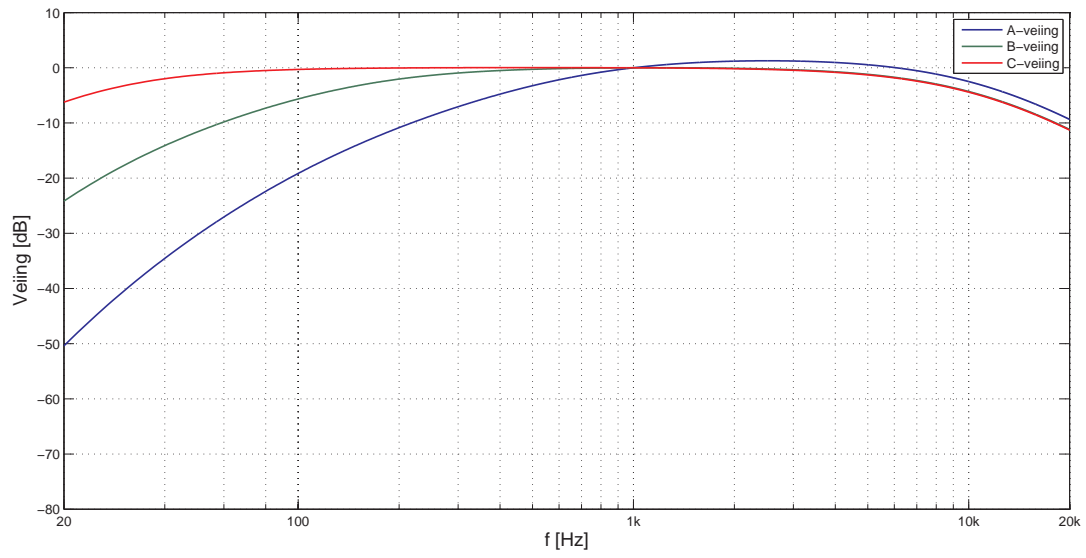
### A Lettveggdata

[#]	$R'_w$ [dB]	$C$ [dB]	$V$ [m <sup>3</sup> ]	$S_{\text{skille}}$ [m <sup>2</sup> ]	isolasjon [mm]	stendere
1	62	-1	10,5	4,4	100	1
2	57	-2	23,5	9,8	100	1
3	64	-5	10,5	4,4	150	2
4	57	-5	72,0	9,6	150	2
5	56	-2	87,7	11,4	150	2
6	54	-1	29,5	10,0	100	1
7	52	-2	69,3	13,9	100	1
8	63	-11	87,0	12,0	300	2
9	55	-5	16,7	7,6	150	2
10	62	-7	19,5	8,9	140	2
11	62	-3	104,0	20,8	200	2
12	58	-3	52,9	10,8	140	2
13	61	-3	20,3	6,9	140	2
14	56	-3	23,8	9,7	140	2
15	64	-6	19,0	9,0	200	2
16	51	-1	73,2	11,6	100	2
17	51	-2	63,7	10,5	100	2
18	52	0	29,0	9,7	140	2
gjelder alle veggene:						
stendertype			stål			
antall plater, side 1			2			
antall plater, side 2			2			

**B A- og C-veiing i 1/3-oktavbånd**

f [Hz]	A-veiing [dB]	C-veiing [dB]
20	-50.5	-6.2
25	-44.7	-4.4
31.5	-39.4	-3.0
40	-34.6	-2.0
50	-30.2	-1.3
63	-26.2	-0.8
80	-22.5	-0.5
100	-19.1	-0.3
125	-16.1	-0.2
160	-13.4	-0.1
200	-10.9	0
250	-8.6	0
315	-6.6	0
400	-4.8	0
500	-3.2	0
630	-1.9	0
800	-0.8	0
1000	0	0
1250	0.6	0
1600	1	-0.1
2000	1.2	-0.2
2500	1.3	-0.3
3150	1.2	-0.5
4000	1	-0.8
5000	0.5	-1.3
6300	-0.1	-2.0
8000	-1.1	-3.0
10000	-2.5	-4.3
12500	-4.3	-6.2
16000	-6.6	-8.5
20000	-9.3	-11.2

## C Veiekurver for A-, B- og C-veiing



## D Kildekode for beregninger (MATLAB)

### D.1 run.m

```

1  % RUN.M kjører beregninger ved å gå gjennom alle målingene og beregner det
   % som skal beregnes i følge innstillingene øverst i fila.
3
4  tic;
5  clear all
   close all
7
8  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% INNSTILLINGER %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
9  % bestemmer hva som skal beregnes og plottes så man slipper å kjøre alt
   % hver gang:
11 %   0 = USANN
    %   1 = SANN
13
14 pltD = 1;           % nivådifferanser
15 pltH = 1;           % korreksjonsfaktor
   pltR = 1;           % reduksjonstall vs. referansekurve
17 pltent = 1;         % entallsverdier
   pltweight = 1;      % veiekurver
19 plt2260 = 1;        % A-veid sammenligning med lydmåler
   pltLWn = 1;         % prosent oversteget A-veide nivå
21
22 pltLspecNOcorr = 1; % ukorrigerte spektra
23 pltLspec = 1;       % korrigerede spektra
   pltmeanspec = 1;    % gjennomsnittsspektra
25 pltref = 1;         % veide spektra vs. referansekurver
27
28 pltLdist = 1;        % fordeling av veide nivå
   pltLdistTOT = 1;    %
29 pltLnabo = 1;        % fordeling av veide nivå hos nabo
   pltLnaboTOT = 1;    %
31 pltdelta = 1;        % forskjell i veide nivå
   pltdeltaTOT = 1;    %
33
34 ex = 1;              % evt. eksportering av figurer
35
36 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% DEFINERER VARIABLE %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
37 % ulike størrelser som er generelle for alle utregninger
38 %
39
40 % navn på måledata
41 meas = {'MEAS1','MEAS2','MEAS3','MEAS4','MEAS5'};
42
43 % lettveggdata og diverse andre globale variable. Laster inn fra filer,
   % eller definerer på nytt hvis noen av filene ikke eksisterer.
44 if exist('var.mat','file') && exist('lettveggdata.mat','file')
45     load var.mat
     load lettveggdata.mat D R Rw C Dlng
46 else
47     % definerer variable og henter lettveggdata på nytt
48     makevar
49 end
50
51
52
53
54 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% BEREGNINGER %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
55 % Beregner det som skal beregnes (hvis ikke .mat-fila eksisterer)
56 %
57

```



## D KILDEKODE FOR BEREGNINGER (MATLAB)

```

59 % initialiserer variable for alle målingene
H = zeros(length(meas),bandlmg); % overføringsfunksjon for rommene
61 LAn = cell(size(meas)); % prosent oversteget A-veid nivå
tmp = cell(length(meas),1); % veide nivå
63
% A- og C-veide nivå samles i datastruktur
65 TOT = ...
struct('LAeq',{tmp},'LA2260',{tmp},'LAmax',{tmp},'LCeq',{tmp},'LCmax',{tmp},...
67 'LAeqnabo',{tmp},'LAmaxnabo',{tmp},'LCeqnabo',{tmp},'LCmaxnabo',{tmp},...
'deltaLAeq',{tmp},'deltaLAmax',{tmp},'deltaLCeq',{tmp},'deltaLCmax',{tmp});
69
for ii=1:length(meas)
71
% laster fil med ferdigberegnete data, eller beregner alt hvis ikke
73 % fila eksisterer
datafile = [meas{ii} '.mat'];
75 if exist(datafile,'file')
load(datafile)
77 else
beregning
79 end
81
% lagrer data fra aktuelle måling
LAn{ii} = LAn1; % persentiler til totalfordeling
83 H{ii,:} = H1; % korreksjonsfaktor til totalbeskrivelse
85
TOT.LAeq{ii} = LA.eq; % veide nivå totalt
TOT.LA2260{ii} = LA.eq2260;
87 TOT.LAmax{ii} = LA.max;
TOT.LCeq{ii} = LC.eq;
89 TOT.LCmax{ii} = LC.max;
91
TOT.LAeqnabo{ii} = LA.eqnabo; % nivå hos nabo totalt
TOT.LAmaxnabo{ii} = LA.maxnabo;
93 TOT.LCeqnabo{ii} = LC.eqnabo;
TOT.LCmaxnabo{ii} = LC.maxnabo;
95
TOT.deltaLAeq{ii} = LA.deltaeq; % veide nivåforskjeller
97 TOT.deltaLAmax{ii} = LA.deltamax;
TOT.deltaLCeq{ii} = LC.deltaeq;
99 TOT.deltaLCmax{ii} = LC.deltamax;
101
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% PLOTTER %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
103 % Grafisk framstilling av resultater. Bruker underliggende funksjoner
% til å beregne og/eller plotte resultater.
105
% ukorrigerte spektra
107 if pltLspecNOcorr
plotspektrum(LLeqRAW,'L_{eq} (ukorrigert) [dB]',gfxpath,['Leq_specNOcorr_'
...
109 meas{ii}],ex,0);
plotspektrum(LFmaxRAW,'L_{max} (ukorrigert) [dB]',gfxpath,['Lmax_specNOcorr_'
' ...
111 meas{ii}],ex,0);
end
113
% ekvivalent- og maksspektrum (korrigert)
115 if pltLspec
plotspektrum(LLeq,'L_{eq} [dB]',gfxpath,['Leq_spec_' meas{ii}],ex,0);
117 plotspektrum(LFmax,'L_{max} [dB]',gfxpath,['Lmax_spec_' meas{ii}],ex,0);
end
119
% veide spektra kontra referansekurver
121 if pltref
plotrefkurve(LA.eqspec,LA.eq,refC,'L_{A,eq,norm} [dB]', {'L_{A,eq,norm}', ...

```

## D KILDEKODE FOR BEREGNINGER (MATLAB)

```

123         'ref. C','ref C_{tr}'),gfxpath,['LrefA_' meas{ii}],ex,0);
        plotrefkurve(LC.eqspec,LC.eq,refC,'L_{C,eq,norm} [dB]','L_{C,eq,norm}',...
125         'ref. C','ref C_{tr}'),gfxpath,['LrefC_' meas{ii}],ex,0);
    end
127
    % gjennomsnittsspektrum
129    if pltmeanspec
        plotgjspek(LLeq,'L_{eq} [dB]',gfxpath,['Leq_meanspec_' meas{ii}],...
131         ex,1);
    end
133
    % fordeling av ekvivalent og maks A- og C-veid nivå beregnet fra
    % 1/3-oktavbånd
135    if pltLdist
137         lbl = 'L [dBA/dBC]';
         tmplgnd = {'L_{A,eq,nabo} [dBA]','L_{A,max,nabo} [dBA]','L_{C,eq,nabo} [dBC]
         ',...
         'L_{C,max,nabo} [dBC]'};
139         plotfordeling([LA.eq LA.max LC.eq LC.max],res,lbl,tmplgnd,gfxpath,...
141         ['L_dist_' meas{ii}],false,ex,.15);
         plotkumfordeling([LA.eq LA.max LC.eq LC.max],res,lbl,tmplgnd,gfxpath,...
143         ['L_cumulative_' meas{ii}],ex);
    end
145
    % fordeling av ekvivalent og maks A- og C-veid nivå hos nabo
147    if pltLnabo
149         lbl = 'L [dBA/dBC]';
         tmplgnd = {'L_{A,eq,nabo} [dBA]','L_{A,max,nabo} [dBA]','L_{C,eq,nabo} [dBC]
         ',...
         'L_{C,max,nabo} [dBC]'};
151         plotfordeling([LA.eqnabo LA.maxnabo LC.eqnabo LC.maxnabo],res,lbl,...
         tmplgnd,gfxpath,['L_nabo_dist_' meas{ii}],true,ex,.07);
153         plotkumfordeling([LA.eqnabo LA.maxnabo LC.eqnabo LC.maxnabo],res,lbl,...
         tmplgnd,gfxpath,['L_nabo_cumulative_' meas{ii}],ex);
155    end

157    % nivåforskjell i dBA og dBC gjennom vegg
    if pltdelta
159         plotdelta(LA.deltaeq,LA.deltamax,LC.deltaeq,LC.deltamax,['dB'],gfxpath,...
         ['deltaL_' meas{ii}],ex);
161         lbl = 'L [dBA/dBC]';
         plotfordeling([LA.deltaeq(:) LA.deltamax(:) LC.deltaeq(:) LC.deltamax(:)],
         ...
163         res,lbl,{'\DeltaL_{A,eq} [dBA]','\DeltaL_{A,max} [dBA]','...
         '\DeltaL_{C,eq} [dBC]','\DeltaL_{C,max} [dBC]'},gfxpath,...
165         ['deltaL_dist_' meas{ii}],true,ex,.09);
    end
167 end

169 % ekvivalent A-veid nivå beregnet i 2260 sammenlignet med beregning
    % fra 1/3-oktavbånd totalt for alle boligene.
171 if plt2260
        LATOT = energisum(csvread([path 'MEASTOT.LLeq.csv']),Afilt);
173         LA2260TOT = csvread([path 'MEASTOT.LAeq.csv']);
         plotfordeling([LATOT LA2260TOT],res,'L [dBA]',{'L_{A,eq}',...
175         'L_{A,eq2260}'},gfxpath,'LA2260_dist',false,ex);
    end
177

    % nivådifferansen D
179    if pltD, plotspektrum(D,'D [dB]',gfxpath,'D',ex,0); end

181 % tilsynelatende reduksjonstall vs. referansekurve
    if pltR, plotrefkurve(R,Rw,refR-54,'R_{norm} [dB]',{'R','ref. R_w'},gfxpath,...
183         'Rref',ex,0);
    end
185

```

## D KILDEKODE FOR BEREGNINGER (MATLAB)

```
% A- og C-veingskurver
187 if pltweight, plotveiekurver(gfxpath,'veiekurver',ex); end

189 % entallsverdier i egen figur
if pltent, plotdelta(0, 0, 0, 0,'[dB]',gfxpath,'ltallsverdier',ex); end
191

% korreksjonsfaktor -H for de ulike målingene
193 if pltH, plotspektrum(-H, '-H [dB]',gfxpath,'H',ex,meas, [-12 12]); end

195 % prosentvis oversteget A-veid nivå
if pltLWn,
197     plotLWn(TOT.LAeqnabo,'L_{A,eq} [dBA]',meas,gfxpath,'LAn_eqnabo',ex);
    plotLWn(TOT.LAmaxnabo,'L_{A,max} [dBA]',meas,gfxpath,'LAn_maxnabo',ex);
199     plotLWn(TOT.LCeqnabo,'L_{C,eq} [dBC]',meas,gfxpath,'LCn_eqnabo',ex);
    plotLWn(TOT.LCmaxnabo,'L_{C,max} [dBC]',meas,gfxpath,'LCn_maxnabo',ex);
201 end

203 % nivådifferanser for alle målingene
if pltdeltaTOT
205     dLAeq = cell2mat(TOT.deltaLAeq);
    dLAmx = cell2mat(TOT.deltaLAmx);
207     dLCeq = cell2mat(TOT.deltaLCeq);
    dLCmx = cell2mat(TOT.deltaLCmx);
209     plotdelta(dLAeq,dLAmx,dLCeq,dLCmx,'[dB]',gfxpath,'deltaL_TOT',ex);
    plotfordeling([dLAeq(:) dLAmx(:) dLCeq(:) dLCmx(:)],res,'L [dBA]/[dBC]',...
211         {'\DeltaL_{A,eq} [dBA]', '\DeltaL_{A,max} [dBA]', '\DeltaL_{C,eq} [dBC]', ...
         '\DeltaL_{C,max} [dBC]'},gfxpath,'deltaL_dist_TOT',true,ex,.09);
213 end

215 % fordeling (og kumulativ) av A-veide nivå for alle boligene
if pltdistTOT
217     tmp = [cell2mat(TOT.LAeq) cell2mat(TOT.LAmx) cell2mat(TOT.LCeq) ...
            cell2mat(TOT.LCmx)];
219     tmplbl = {'L_{A,eq} [dBA]', 'L_{A,max} [dBA]', 'L_{C,eq} [dBC]', ...
              'L_{C,max} [dBC]'};
221     plotfordeling(tmp,res,'L [dBA/dBC]',tmplbl,gfxpath,'L_dist_TOT',0,ex,.18);
    plotkumfordeling(tmp,res,'L [dBA/dBC]',tmplbl,gfxpath,'L_cumulative_TOT',ex);
223
end
225

% fordeling (og kumulativ) av A- og C-veide nivå hos nabo for alle boligene
227 if pltLnaboTOT
    tmp = [cell2mat(TOT.LAeqnabo) cell2mat(TOT.LAmaxnabo) cell2mat(TOT.LCeqnabo) ...
          cell2mat(TOT.LCmaxnabo)];
229     tmplbl = {'L_{A,eq,nabo} [dBA]', 'L_{A,max,nabo} [dBA]', 'L_{C,eq,nabo} [dBC]', ...
              'L_{C,max,nabo} [dBC]'};
231     plotfordeling(tmp,res,'L [dBA/dBC]',tmplbl,gfxpath,'L_nabo_dist_TOT',1,ex,.05);
    plotkumfordeling(tmp,res,'L [dBA/dBC]',tmplbl,gfxpath,'L_nabo_cumulative_TOT',ex
233         );
end
235

% sjekke tidsbruk og si fra at beregningene er ferdige
237 t = toc;
if t>60
239     m = floor(t/60);
    s = .1*round(10*(t-(m*60)));
241     tid = [num2str(m) ' min ' num2str(s) ' s'];
else
243     s = .1*round(10*t);
    tid = [num2str(s) ' s'];
245 end
msgbox(['Ferdig! (' tid ')'],'run.m')
```

## D.2 beregning.m

```

% BEREGNING kjører beregninger for den aktuelle målinga og lagrer
2 % ferdigberegnete data i en egen .MAT-fil

4 % Runar G. Simonsen, apr. 2008

6 % henter inn rådata fra aktuelle måling (ii)
LLeqRAW = csvread([path meas{ii} 'LLeq.csv']);           % ekvivalentspektra
8 LFmaxRAW = csvread([path meas{ii} 'LFmax.csv']);       % maksspektra
LA.eq2260 = csvread([path meas{ii} 'LLeq.csv']);        % A-veid ekvivalentnivå
10 LA.max2260 = csvread([path meas{ii} 'LAmax.csv']);    % A-veid maksimalnivå
LAN1 = csvread([path meas{ii} 'Ln.csv']);               % persentiler av A-veid
12 corrf = csvread([path meas{ii} '.corr.csv']);        % korreksjonsmålinger

14 % antall måleperioder i serien
periods = size(LLeqRAW,1);

16 % overføringsfunksjon for rommet
18 H1 = 10.*log10(10.^(.1.*corrf(1,:))./mean(10.^(.1.*corrf(2:end,:)),1));

20 % legger inn den inverse overføringsfunksjonen som korreksjonsfaktor for
% ekvivalent- og maksspektra
22 LLeq = zeros(size(LLeqRAW));
LFmax = LLeq;
24 for jj=1:periods
    LLeq(jj,:) = LLeqRAW(jj,:) - H1;
26    LFmax(jj,:) = LFmaxRAW(jj,:) - H1;
end

28 % beregner veide nivå og spektra (romkorrigert)
30 [LA.eq LA.eqspec] = energisum(LLeq,Afilt);
[LC.eq LC.eqspec] = energisum(LLeq,Cfilt);
32 [LA.max LA.maxspec] = energisum(LFmax,Afilt);
[LC.max LC.maxspec] = energisum(LFmax,Cfilt);
34

% beregner veide nivå og spektra hos nabo
36 [LA.eqnabo LA.eqnabospec] = energisum(LLeq,Afilt,D);
[LA.maxnabo LA.maxnabospec] = energisum(LFmax,Afilt,D);
38 [LC.eqnabo LC.eqnabospec] = energisum(LLeq,Cfilt,D);
[LC.maxnabo LC.maxnabospec] = energisum(LFmax,Cfilt,D);
40

% beregner A- og C- veid nivåforskjell gjennom veggene
42 tmp = zeros(periods,Dlng);
tmptot = zeros(periods*Dlng,1);
44 LA.deltaeq = tmp;
LA.deltamax = tmp;
46 LC.deltaeq = tmp;
LC.deltamax = tmp;
48 start = 1;
for jj=1:Dlng
50    stop = jj*periods;
    LA.deltaeq(:,jj) = LA.eq - LA.eqnabo(start:stop);
52    LA.deltamax(:,jj) = LA.max - LA.maxnabo(start:stop);
    LC.deltaeq(:,jj) = LC.eq - LC.eqnabo(start:stop);
54    LC.deltamax(:,jj) = LC.max - LC.maxnabo(start:stop);
    start = stop+1;
56 end

58 % lagrer ferdigberegnet data til senere bruk
save([meas{ii} '.mat'],'periods','H1','LLeqRAW','LLeq','LFmaxRAW',...
60 'LFmax','LA','LC','LAN1')

```

## D.3 makevar.m

```

% MAKEVAR definerer og lagrer globale variable samt lettveggdata. Første
2 % del av denne fila kan brukes til å gjøre ulike innstillinger for
% beregningene.
4
% Runar G. Simonsen, apr. 2008
6
%===== GLOBALE VARIABLE =====
8
% filbane for måledata og grafikk
10 path = '../meas/';
   gfxpath = '../LaTeX/gfx/eps/';
12
% 1/3 oktavbånd
14 octband = [50 63 80 100 125 160 200 250 315 400 500 630 800 1e3 1250 1600 ...
            2e3 2500 3150 4e3 5e3];
16 bandlng = length(octband);

18 % Veiefilter
   Afilt = [-30.2 -26.2 -22.5 -19.1 -16.1 -13.4 -10.9 -8.6 -6.6 -4.8 -3.2 -1.9 ...
           -0.8 0 0.6 1 1.2 1.3 1.2 1 0.5];
20   Cfilt = [-1.3 -0.8 -0.5 -0.3 -0.2 -0.1 0 0 0 0 0 0 0 0 -0.1 -0.2 -0.3 -0.5 ...
           -0.8 -1.3];
22

24 % referansekurver for entallsverdier
   refR = [33 36 39 42 45 48 51 52 53 54 55 56 56 56 56];
26   refC = [-29 -26 -23 -21 -19 -17 -15 -13 -12 -11 -10 -9 -9 -9 -9 -9 -9;...
           -20 -20 -18 -16 -15 -14 -13 -12 -11 -9 -8 -9 -10 -11 -13 -15];
28

% andre variable
30 pos = [2 470 1000 470]; % posisjon til figur
   xval = [.97*octband(1) 1.05*octband(end)]; % grenseverdier for oktavbåndsplott
32   res = 1; % oppløsning i dBA/dBC-fordelingene

34 % lagrer globale variable
   save var.mat path gfxpath octband bandlng Afilt Cfilt refR refC pos xval res
36
%===== LETTVEGGDATA =====
38
% nivådifferanse
40 D = xlsread('../database/LevelDiff.xls');
   Dlng = size(D,1); % antall lettvegger
42

% data fra brukbare lettvegger
44 tmp = xlsread('../database/BrukbareLettvegger.xls');

46 sel = 2:Dlng+1; % (utvalgsvektor)
   R = tmp(sel,6:26); % tilsynelatende reduksjonstall
48   Rw = tmp(sel,1); % veid tilsynelatende reduksjonstall
   C = tmp(sel,2); % omgjøringstall for spektrum (C1)
50   DnT = tmp(sel,3); % romisolering
   V = tmp(sel,4); % volum i naborom
52   S = tmp(sel,5); % skilleareal

54 % lagrer lettveggdata
   save lettveggdata.mat D R Rw C DnT V S Dlng

```

## D.4 plotrefkurve.m

```

1  % PLOTREFKURVE plotter referansekurver
2  %   plotrefkurve(L,LW,REF,YLBL,LGND,PATH,FILESTR,EX,MEAN) plotter kurveskare
3  %   av normaliserte spektra sammenlignet med referansekurve(r) REF. Spektrene
4  %   normaliseres til korresponderende verdier LW (f.eks. A-veide nivå
5  %   eller energisum av spekteret). LW må ha like mange elementer som L har
6  %   spektra. Hvis MEAN = TRUE gjøres en datareduksjon ved å plote
7  %   gjennomsnittsspektrum i stedet for kurveskare. YLBL er benevning på
8  %   y-aksen. LGND er tekst til merkelapp på figuren (både kurveskare og
9  %   referansekurve). Hvis EX = TRUE eksporteres plottet til fil FILESTR.eps
10 %   i filbanen PATH.
11
12 % Runar G. Simonsen, apr. 2008
13
14 function [] = plotrefkurve(L,LW,ref,ylbl,lgnd,gfxpath,filestr,ex,pltmean)
15
16     load var.mat octband xval
17
18     % referansekurver fra 100Hz--3.15kHz
19     refband = octband(4:19);
20
21     % normaliserer spektrene
22     LWspec = zeros(size(L));
23     for ii=1:size(L,1)
24         LWspec(ii,:) = L(ii,:)-LW(ii);
25     end
26     ymax = max(max(LWspec))+5;
27     yval = [ymax-80 ymax];
28
29     % plotter først kurveskare eller gjennomsnittsspektrum
30     if pltmean
31         hsp = plotgjspek(LWspec,ylbl,gfxpath,filestr,0,0);
32     else
33         hsp = plotspektrum(LWspec,ylbl,gfxpath,filestr,0,0);
34     end
35
36     % lys grå farge på kurveskare/gjennomsnittsspektrum
37     gray = .7.*ones(1,3);
38     set(hsp,'color',gray);
39
40     % plotter inn referansekurve(r)
41     hold on
42     href = plot(refband,ref,'.-','LineWidth',2,'MarkerFaceColor',...
43         'k','MarkerEdgeColor','k','MarkerSize',8);
44     hold off
45
46     axis([xval yval])
47     legend([hsp(1); href],lgnd)
48
49     % setter på tekstmerkelapp
50     ind = strfind(filestr,'MEAS');
51     txtlbl = [' ' filestr(ind:end)];
52     text(octband(1),yval(2),txtlbl,'Interpreter','none',...
53         'VerticalAlignment','top','BackgroundColor','w','Margin',0.1);
54
55     % eksporter grafikk
56     if ex, export(gfxpath,filestr); end
57
58 return
59 end

```

## D.5 plotspektrum.m

```

1  % PLOTSPEKTRUM plotter spektrum
2  %   plotspektrum(L, YLBL, PATH, FILESTR, EX, LGND, YAX) plotter spektrum-/spektra-
3  %   verdier L i 1/3-oktavbånd med YLBL som label på y-aksen. Akseverdier på
4  %   y-aksen kan også gis som vektor i YAX. LGND kan være tekststreng eller cell
5  %   array av tekststrenger som merkelapp i figuren (utelates hvis LGND = 0).
6  %   Hvis EX = TRUE eksporteres plottet til FILESTR.eps i filbanen PATH.
7  %   Funksjonen returnerer referanse («handle») til plottet som blir generert.
8
9  % Runar G. Simonsen, feb. 2008
10
11 function h = plotspektrum(L, ylbl, gfxpath, filestr, ex, lgnd, yax)
12
13     load var.mat octband pos xval
14
15     % sette på merkelapp hvis det er en måling
16     if length(filestr)>4,
17         txt=true;
18         ind = strfind(filestr, 'MEAS');
19         txtlbl = [ ' ' filestr(ind:end) ];
20     else
21         txt=false;
22     end
23
24     % fikser akseverdiene..
25     if nargin < 7
26         ymin = min(min(L));
27         ymax = max(max(L));
28         if ymin>0, ymin = 0; end
29         if ymax < 90, ymax = 90; end
30         yax = [ymin ymax];
31     end
32
33     % plotter spektrum
34     figure
35     h = plot(octband, L, '-.', 'MarkerSize', 8);
36     axis([xval yax(1) yax(2)])
37     set(gca, 'Xscale', 'log', 'xtick', octband, 'Ygrid', 'on')
38     set(gcf, 'Position', pos)
39     xlabel('1/3-oktavbånd [Hz]', 'FontSize', 14)
40     ylabel(ylbl, 'FontSize', 14)
41     if txt,
42         text(octband(1), ymax, txtlbl, 'Interpreter', 'none', ...
43             'VerticalAlignment', 'top', 'BackgroundColor', 'w', 'Margin', 0.1);
44     end
45     if ischar(lgnd) || iscell(lgnd), legend(lgnd); end
46
47     % eksporter grafikk
48     if ex, export(gfxpath, filestr); end
49
50 return
51 end

```

## D.6 plotgjspek.m

```

1  % PLOTGJSPEK plotter gjennomsnittsspektrum
2  % plotgjspek(LL,LBL,PATH,FILESTR,EX,CURVES) plotter gjennomsnittsspektrum
3  % basert på de målte spektra i LL. Spektrene normaliseres til sin
4  % respektive energisum. Gjennomsnittsspekteret plottes med standardavvik
5  % for hvert 1/3-oktavbånd. Resultatet plottes i figur der LBL er
6  % benevning på y-aksen. Dersom CURVES = TRUE plottes også kurveskare av
7  % spektrene gjennomsnittet er beregnet fra. Hvis EX = TRUE eksporteres
8  % plottet til fil FILESTR.eps i filbanen PATH. Funksjonen returnerer
9  % referanse («handle») til plottet som blir generert.

11 % Runar G. Simonsen, mar. 2008

13 function ph = plotgjspek(LLeq,ylbl,gfxpath,filestr,ex,curves)

15     load var.mat octband pos xval

17     if nargin<6, curves = 0; end

19     % beregner energisum fra 1/3-oktavbånd
20     specsum = energisum(LLeq);

21     Ltmp = zeros(size(LLeq));
22     for ii=1:size(LLeq,1)
23         Ltmp(ii,:) = (LLeq(ii,:))-specsum(ii);
24     end
25     Lstd = std(Ltmp);
26     Lmean = mean(Ltmp,1);

29     % maks- og minverdier
30     ymax = max(max(Lmean+Lstd));
31     if ymax<10, ymax=10; end
32     ymin = -60;

33     % plotter gjennomsnittsspektrum med standardavvik
34     gray = .4.*ones(1,3);

37     % tar eventuelt med kurveskare i bakgrunnen og setter gråfarge på den
38     if curves
39         hsp = plotspektrum(Ltmp,ylbl,gfxpath,filestr,0,0);
40         set(hsp,'color',.8.*ones(1,3));
41     else
42         figure
43     end

45     hold on
46     for ii=1:length(octband)
47         lh = line(octband(ii).*ones(1,2),[Lmean(ii)-Lstd(ii) Lmean(ii)+Lstd(ii)],...
48             'LineStyle','--','LineWidth',1.1,'Color',gray,'Marker','d',...
49             'MarkerSize',4,'MarkerFaceColor',gray);
50     end
51     ph = plot(octband,Lmean,'.-','MarkerSize',8,'Color',[0 .5 0],'LineWidth',2);
52     hold off

53     axis([xval ymin ymax])
54     set(gca,'Xscale','log','xtick',octband,'Ygrid','on')
55     set(gcf,'Position',pos)
56     xlabel('1/3-oktavbånd [Hz]','FontSize',14)
57     ylabel(ylbl,'FontSize',14)
58     text(octband(1),ymax,[' ' filestr(strfind(filestr,'MEAS'):end)],...
59         'Interpreter','none','VerticalAlignment','top','BackgroundColor',...
60         'w','Margin',0.1);
61     hl = [ph lh];

```



```
63     lgnd = {'\mu_{L,eq}', '\pm\sigma_{L,eq}'};
64     if curves
65         hl = [hsp(1) hl];
66         lgnd = {'L_{eq,norm}', lgnd{:}};
67     end
68     legend(hl,lgnd)
69
70     % eksporter grafikk
71     if ex, export(gfxpath,filestr); end
72
73 return
74 end
```

## D.7 plotfordeling.m

```

% PLOTFORDELING plotter fordelingsfunksjonen
2 % plotfordeling(LA,RES,LBL,LGND,PATH,FILESTR,STAT,EX,YLIM) plotter
%   fordelingsfunksjonen av LA med oppløsning RES. LA kan være både vektor og
4 %   matrise (så lenge utvalget er større enn antallet fordelinger)
%   Resultatet plottes i figur der LBL er benevning på x-aksen og LGND er
6 %   figurforklaring. Hvis det skal plottes flere fordelinger i figuren, må
%   LGND være cell array med en merkelapp/benevning for hver fordeling.
8 %   Middelerverdi og standardavvik kan inkluderes i plottet hvis STAT = TRUE.
%   Hvis EX = TRUE eksporteres plottet til fil FILESTR.eps i filbanen
10 %   PATH. YLIM kan brukes til å begrense maksimalverdien på y-aksen.

12 % Runar G. Simonsen, feb. 2008

14 function [] = plotfordeling(LA,res,lbl,lgnd,gfxpath,filestring,stat,ex,ylim)

16     load var.mat pos

18     % beregner fordeling(er)
    LAlng = size(LA,2);
    rnge = zeros(LAlng,4);
    LAstat = zeros(LAlng,2);
    dist = cell(1,LAlng);
    rng = dist;

24     for ii=1:LAlng
26         [Ldist tmprng] = fordeling(LA(:,ii),res);
        dist{ii} = Ldist;
        rng{ii} = tmprng;
28         rnge(ii,:) = [tmprng(1) tmprng(end) min(Ldist) max(Ldist)];
30         LAstat(ii,:) = [mean(LA(:,ii)) std(LA(:,ii))];
    end

32     % finner evt. maksverdi til y-aksen
34     if nargin<9, ylim = max(rnge(:,4)); end

36     % hvis lbl er en enkelt streng
38     if ~iscell(lgnd), lgnd = {lgnd}; end

40     % grafisk fremstilling av resultat
    figure
    hold on
42     colormap lines
    clr = colormap;
44     leg = cell(LAlng,1);
    p = zeros(1,LAlng);
46     h = p;
    for ii=1:LAlng
48         p(ii) = plot(rng{ii},dist{ii},'.-','LineWidth',1.2,'Color',clr(ii,:),...
        'MarkerEdgeColor','k','MarkerSize',8);
50         leg{ii} = ['fordeling av ' lgnd{ii}];
    end

52     % plotter middelerverdi m/tekst
54     if stat
        for ii=1:LAlng
56             Y = [0 ylim];
            h(ii) = line(LAstat(ii,1).*ones(1,2),Y);
58             set(h(ii),'LineStyle','--','Color',clr(ii,),'LineWidth',1.1)
            text(LAstat(ii,1)-.5,mean(mean(rnge(:,3:4)))/4,[' \mu = ' ...
60                 sprintf('%.2f',LAstat(ii,1)) ' (\sigma = ' sprintf('%.2f',...
                LAstat(ii,2)) ' '),'VerticalAlignment','bottom',...
62                 'BackgroundColor','w','Margin',.01,'Rotation',90)
        end
    end

```

```
        end
64     end
    hold off
66
    legend(p,leg)
68     axis([min(rnge(:,1)) max(rnge(:,2)) 0 ylim])
    grid on
70     xlabel(lbl,'FontSize',14)
    ylabel('relativ frekvens','FontSize',14)
72     set(gcf,'Position',pos,'PaperPositionMode','auto')
    text(min(rnge(:,1)),ylim,[' ' filestring(strfind(filestring,...
74         'MEAS'):end)],'Interpreter','none','VerticalAlignment','top',...
        'BackgroundColor','w','Margin',0.1)
76
    % eksporterer figur til fil
78     if ex, export(gcf,path,filestring); end
80 return
end
```

## D.8 plotkumfordeling.m

```

1  % PLOTKUMFORDELING plotter den kumulative fordelingen
2  % plotkumfordeling(LA, RES, LBL, LGND, PATH, FILESTR, EX) plotter
3  % kumulativ fordeling av LA med oppløsning RES. LA kan være både
4  % vektor og matrise (så lenge utvalget er større enn antallet
5  % fordelinger). Resultatet plottes i figur der LBL er benevning på
6  % x-aksen og LGND er figurforklaring. Hvis det skal plottes
7  % flere fordelinger i figuren må LGND være cell array med en
8  % merkelapp/benevning for hver fordeling. Hvis EX = TRUE eksporteres
9  % plottet til fil FILESTR.eps i filbanen PATH.

11 % Runar G. Simonsen, feb. 2008

13 function [] = plotkumfordeling(LA, res, lbl, lgnd, gfxpath, filestring, ex)

15     load var.mat pos

17     % beregner fordeling(er)
18     LAlng = size(LA,2);
19     rnge = zeros(LAlng,4);
20     dist = cell(1,LAlng);
21     rng = dist;

22     for ii=1:LAlng
23         [Ldist tmprng] = fordeling(LA(:,ii),res);
24         dist{ii} = cumsum(Ldist).*100;
25         rng{ii} = tmprng;
26         rnge(ii,:) = [tmprng(1) tmprng(end) min(Ldist) max(Ldist)];
27     end

29     % hvis lbl er en enkelt streng
30     if ~iscell(lgnd), lgnd = {lgnd}; end

32     % grafisk fremstilling av resultat
33     figure
34     hold on
35     colormap lines
36     clr = colormap;
37     leg = cell(LAlng,1);
38     p = zeros(1,LAlng);
39     for ii=1:LAlng
40         p(ii) = plot(rng{ii},dist{ii},'-','LineWidth',1.2,'Color',clr(ii,:),...
41             'MarkerEdgeColor','k','MarkerSize',8);
42         leg{ii} = ['kumulativ fordeling ' lgnd{ii}];
43     end

44     hold off
45     legend(p,leg,'Location','SouthEast')
46     axis([min(rnge(:,1)) max(rnge(:,2)) 0 100])
47     grid on
48     xlabel(lbl,'FontSize',14)
49     ylabel('kumulativ fordeling [%]','FontSize',14)
50     set(gcf,'Position',pos,'PaperPositionMode','auto')
51     text(min(rnge(:,1)),100,[' ' filestring(strfind(filestring,...
52         'MEAS')):end]),'Interpreter','none','VerticalAlignment','top',...
53         'BackgroundColor','w','Margin',0.1)

54     % eksporterer figur til fil
55     if ex, export(gfxpath,filestring); end

56     return
57 end

```

## D.9 plotdelta.m

```

1  % PLOTDELTA plotter nivåforskjell
2  %   plotdelta(DeltaAeq,DeltaAmax,DeltaCeq,DeltaCmax,LBL,PATH,FILESTR,EX)
3  %   plotter nivåforskjell gjennom veggen for ekvivalent og maks A- og C-
4  %   veid nivå. Middelerverdi og standardavvik plottes i figur der LBL er
5  %   benevning på x-aksen. Hvis EX = TRUE eksporteres plottet til fil
6  %   FILESTR.eps i filbanen PATH. Hvis DeltaAeq = 0 plottes kun
7  %   lettveggdata.

9  % Runar G. Simonsen, feb. 2008

11 function [] = plotdelta(deltaAeq,deltaAmax,deltaCeq,deltaCmax,lbl,gfxpath,...
    filestring,ex)
13
14     if deltaAeq==0; pltd = false; else pltd = true; end
15
16     load var.mat pos
17     load lettveggdata.mat D Rw C DnT
18     Dlng = size(D,1);
19
20     % beregner middelerverdi+-standardavvik (A- og C-veid) for alle veggene
21     DLAeq = zeros(Dlng,3);
22     DLAmax = DLAeq; DLCeq = DLAeq; DLCmax = DLAeq;
23     if pltd
24         for ii=1:Dlng
25             tmpmean = mean([deltaAeq(:,ii) deltaAmax(:,ii) deltaCeq(:,ii) ...
26                 deltaCmax(:,ii)]);
27             tmpstd = std([deltaAeq(:,ii) deltaCeq(:,ii) deltaCeq(:,ii) ...
28                 deltaCmax(:,ii)]);
29             DLAeq(ii,:) = [(tmpmean(1)+tmpstd(1)) tmpmean(1) tmpmean(1)-tmpstd(1)];
30             DLAmax(ii,:) = [(tmpmean(2)+tmpstd(2)) tmpmean(2) tmpmean(2)-tmpstd(2)];
31             DLCeq(ii,:) = [(tmpmean(3)+tmpstd(3)) tmpmean(3) tmpmean(3)-tmpstd(3)];
32             DLCmax(ii,:) = [(tmpmean(4)+tmpstd(4)) tmpmean(4) tmpmean(4)-tmpstd(4)];
33         end
34     end
35
36     % grafisk fremstilling av resultat
37     pltlettvegg = [DnT Rw Rw+C];
38     pltdata = [DLAeq DLAmax DLCeq DLCmax];
39
40     % fargedefinisjoner (RGB i området 0--1)
41     blue = [0 0 1];
42     lb = [.75 .8 .85];
43     green = [0 .5 0];
44     lg = [.8 .85 .8];
45     red = [1 0 0];
46     lr = [.9 .8 .8];
47     cyan = [0 .75 .75];
48     lc = [.7 .85 .85];
49     gray = [lg-.1;.85.*ones(1,3);.72.*ones(1,3)];
50     clrmap = [lb; lb; gray(2,:);...
51             lg; lg; gray(2,:);...
52             lr; lr; gray(2,:);...
53             lc; lc; gray(2,:);...
54             blue; green; red; cyan];
55
56     % plassering av søyler og kurver
57     barwidth = .3;
58     xleft = .85:Dlng-.15;
59     xright = 1.15:Dlng+.15;
60     xdata = [xleft; xleft; xleft;
61             xright; xright; xright;
62             xleft; xleft; xleft;

```

## D KILDEKODE FOR BEREGNINGER (MATLAB)

```

63         xright; xright; xright]);
Dpos = 1:Dlng;
65
66     % plotter figur
67     figure
68     hold on
69     lv = zeros(1,size(pltlettvegg,2));
70     plv = lv;
71     b = zeros(1,size(pltdata,2));
72
73     % plotter lettveggdata
74     for ii=1:size(pltlettvegg,2)
75         lv(ii) = bar(pltlettvegg(:,ii),'BarWidth',barwidth,'FaceColor',...
76             gray(ii,:),'XData',Dpos,'LineStyle','none');
77         set(get(lv(ii),'BaseLine'),'LineStyle','none');
78         plv(ii) = plot(Dpos,pltlettvegg(:,ii),'o-','Color',...
79             gray(ii,:),'LineWidth',1.2,'MarkerEdgeColor',gray(ii,:),...
80             'MarkerFaceColor',gray(ii,),'MarkerSize',3);
81     end
82
83     % plotter resten
84     if pltd
85         for ii=1:size(pltdata,2)
86             b(ii) = bar(pltdata(:,ii),'BarWidth',barwidth,'FaceColor',...
87                 clrmap(ii,),'XData',xdata(ii,),'Basevalue',0);
88         end
89         index = [2 5 8 11];
90         for ii=1:size(index,2)
91             plot(Dpos,pltdata(:,index(ii)),'o-','Color',...
92                 clrmap(ii+12,),'LineWidth',1.2,'MarkerEdgeColor','k',...
93                 'MarkerFaceColor','k','MarkerSize',3);
94         end
95         hold off
96         legend([b(2) b(5) b(8) b(11) lv(2) lv(3)],...
97             '\mu_{\Delta LAeq}\pm\sigma_{\Delta LAeq}',...
98             '\mu_{\Delta LAmx}\pm\sigma_{\Delta LAmx}',...
99             '\mu_{\Delta LCeq}\pm\sigma_{\Delta LCeq}',...
100             '\mu_{\Delta LCmx}\pm\sigma_{\Delta LCmx}','R'w','R'w+C')
101
102         text(0,70,[' ' filestring(strfind(filestring,'MEAS'):end)],...
103             'Interpreter','none','VerticalAlignment','top','BackgroundColor',...
104             'w','Margin',0.1)
105
106         set([lv(1) plv(1)],'Visible','off')
107
108     else
109         % hvis plotting kun av lettveggdata
110         legend([lv(1) lv(2) lv(3)],'DnTw','R'w','R'w+C')
111         set(lv,'LineStyle','-')
112         set(plv,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','k')
113         set(plv(1),'LineStyle','--','Color',[0 .5 0])
114     end
115
116     axis([0 20 0 70])
117     xlabel('vegg [#'],'FontSize',14)
118     ylabel(lbl,'FontSize',14)
119     set(gcf,'Position',pos,'PaperPositionMode','auto')
120     set(gca,'Ygrid','on','XTick',1:18)
121
122     % evt. eksportere til .eps-fil
123     if ex, export(gfxpath,filestring); end
124
125     return
end

```

## D.10 plotveiekurver.m

```

% PLOTWEIGHT plotter veiekurver
2 % plotweight(PATH,FILESTR,EX) plotter veiekurver for A- B- og C-veing og
% eksporterer figur med navn FILESTR til PATH hvis EX = true.
4
% Runar G. Simonsen, feb. 2008
6
function [] = plotveiekurver(gfxpath,filestr,ex)
8
    load var.mat pos
10
    % frekvensvektor
12    f = 10:2e4;

14    % formel for A-veiekurve
    A = 10.*log10(1.562339.*f.^4./((f.^2+107.65265^2).*(f.^2+737.86223^2))...
16    +10.*log10(2.24288e16.*f.^4./((f.^2+20.598997^2).^2.*(f.^2+12194.22^2).^2));

18    % formel for B-veiekurve
    B = 10.*log10(1.025119.*f.^2./(f.^2+158.48932^2))...
20    +10.*log10(2.242881e16.*f.^4./((f.^2+20.598997^2).^2.*(f.^2+12194.22^2).^2))
    ;

22    % formel for C-veiekurve
    C = 10.*log10(2.242881e16.*f.^4./((f.^2+20.598997^2).^2.*(f.^2+12194.22^2).^2));
24

    % plotter veiekurvene
26    figure
    h = plot(f,[A;B;C]);
28    ticks = [20 100 1000 1e4 2e4];
    ticklbl = {'20','100','1k','10k','20k'};
30    set(gca,'Xscale','log','XTick',ticks,'XTickLabel',ticklbl)
    axis([20 2e4 -80 10])
32    set(gcf,'Position',pos)
    grid on
34    set(h,'LineWidth',1.2)
    xlabel('f [Hz]','FontSize',14)
36    ylabel('Veing [dB]','FontSize',14)
    legend('A-veing','B-veing','C-veing')
38

    % eksporter grafik
40    if ex, export(gfxpath,filestr); end

42 return
end

```

## D.11 plotLWn.m

```

1  % PLOTLWN plotter statistikk
2  %   plotLWn(LWN,LBL,YLBL,PATH,FILESTR,EX) plotter fordeling av veide
3  %   lydnivå. Resultatet plottes i figur der LBL er benevning på x-aksen og
4  %   YLBL er benevninger på y-aksen. Hvis det skal plottes flere fordelinger
5  %   i figuren må YLBL være cell array med en merkelapp/benevning for hver
6  %   fordeling. Hvis EX = TRUE eksporteres plottet til fil FILESTR.eps i
7  %   filbanen PATH.

9  % Runar G. Simonsen, mar. 2008

11 function [] = plotLWn(LWn,lbl,ylbl,gfxpath,filestring,ex)

13     load var.mat pos

15     % beregner persentiler
16     LWnlng = length(LWn);
17     LWnstat = zeros(LWnlng,7);
18     bval = zeros(LWnlng,1);
19     for ii=1:LWnlng
20         LWnsrt = sort(LWn{ii});
21         numLW = length(LWnsrt);
22         prindex = round([.01 .05 .1 .5 .9 .95 .99].*numLW);
23         LWnstat(ii,:) = LWnsrt(prindex);
24         bval(ii) = LWnstat(ii,4);
25     end

27     % grafisk fremstilling av resultat
28     index = [1 7 2 6 3 5 4];
29     gray = [.9 .75 .6];
30     cmp = [ones(2,3).*gray(1);ones(2,3).*gray(2);ones(2,3).*gray(3);zeros(1,3)];
31     figure
32     colormap([ones(1,3).*gray(1);ones(1,3).*gray(2);ones(6,3).*gray(3);...
33             ones(1,3).*gray(2);ones(1,3).*gray(1)]);
34     hold on
35     for jj=1:length(index)
36         for ii=1:LWnlng
37             p = barh(LWnstat(ii,index(jj)),'Basevalue',bval(ii),'BarWidth',.4,...
38                    'FaceColor',cmp(jj,:), 'XData',ii);
39         end
40     end
41     hold off

43     axis ij
44     set(get(p,'BaseLine'),'LineStyle','none')
45     set(gca,'XGrid','on','YTick',1:5,'YTickLabel',ylbl,'FontSize',14)
46     xlabel(lbl,'FontSize',14)
47     xtlbl = {'L_{99}','L_{95}','L_{90}','L_{50}','L_{10}','L_{5}','L_{1}'};

49     % sette inn tekstforklaring på første serie.
50     for ii=1:length(xtlbl)
51         text(LWnstat(1,ii),.55,xtlbl{ii},'VerticalAlignment','top',...
52             'HorizontalAlignment','center','BackgroundColor','w','Margin',0.1)
53     end

55     set(gcf,'Position',pos)

57     % eksport til .eps-fil
58     if ex, export(gfxpath,filestring); end

59
60 return
61 end

```



## D.12 fordeling.m

```
1  % FORDELING beregner den relative fordelingen for verdiene i DATA
2  %   fordeling(DATA,RES) kvantiserer verdiene i DATA med oppløsning RES.
3  %   Standardverdi for RES er 1. Funksjonen returnerer også en vektor med
4  %   området fordelingen spenner over.
5
6  % author: Runar G. Simonsen, Jan. 2008
7
8  function [dist rng] = fordeling(indata,res)
9
10     % standardverdi
11     if nargin<2, res = 1; end
12
13     % lager radvektor
14     if size(indata,2)>size(indata,1), indata = indata'; end
15
16     % beregner fordelingen
17     data = sort(res.*round(indata./res));
18     step = data(2:end)-data(1:end-1);
19     tmp = find(step>0);
20     tmpdist = [tmp(1); tmp(2:end)-tmp(1:end-1)];
21     dist = tmpdist./(sum(tmpdist,1));
22     rng = data(tmp);
23
24 return
25 end
```

## D.13 export.m

```
1  % EXPORT genererer .eps-filer av figurene
2  %   export(PATH,FILESTR) eksporterer gjeldende figur til FILESTR.eps i
3  %   filbanen PATH.
4
5  % author: Runar G. Simonsen, Apr. 2008
6
7  function [] = export(gfxpath,filestr)
8
9     set(gcf,'PaperPositionMode','auto')
10    print('-depsc2','-cmyk', [gfxpath filestr '.eps'])
11    close all
12
13 return
14 end
```

## D.14 energisum.m

```

% ENERGISUM summerer lydnivå fra oktavbånd
2 %   beregning(L,W,D) beregner energisum, eventuelt med veiekurve W (veid
%   lydnivå) og nivååddifferanse D gjennom en skillevegg (eller flere). Ved
4 %   bruk av flere skillevegger beregner funksjonen nivå og spektra for
%   alle loggeperioder for hver skillevegg.
6
% Runar G. Simonsen, feb. 2008
8
function [LW Lspec] = energisum(L,W,D)
10
% antall oktavbånd
12 bandlng = size(L,2);

14 % hvis ikke nivååddifferanse og/eller veiekurve er oppgitt
if nargin<3 || isequal(D,0), D = zeros(1,bandlng); end
16 if nargin<2 || isequal(W,0), W = zeros(1,bandlng); end

18 % kjører eventuelt alle veggene mot samtlige målinger
Dlng = size(D,1);
20 Llng = size(L,1);
LW = zeros(Dlng*Llng,1);
22 Lspec = zeros(Dlng*Llng,bandlng);

24 itot = 1;
for jj=1:Dlng
26   for kk=1:Llng
% veid nivå hos nabo i oktavbånd
28   Lspec(itot,:) = L(kk,:) - D(jj,:) + W;
% LW (logaritmisk sum)
30   LW(itot) = 10*log10(sum(10.^(.1.*Lspec(itot,:))));
   itot = itot+1;
32   end
end
34 return
36 end

```

## E Automatisering av datakonvertering

```

1  #!/usr/bin/python
2  # -*- coding: latin-1 -*-
3
4  # Henter data fra logging med B&K 2260 i form av tekstfil generert av
5  # NoiseExplorer 7815. Genererer egne .csv-filer for hver av parametrene som skal
6  # være med i analysen. Henter også data fra romkorreksjonsmålingene gjort med
7  # NOR-118. Disse er på forhånd behandlet med regneark.
8
9  # Runar G. Simonsen, mar. 2008
10
11 import sys, csv
12
13 # måle-ID, filer som skal prosesseres
14 measure = ["MEAS1", "MEAS2", "MEAS3", "MEAS4", "MEAS5"]
15
16 # mappereferanse for å kunne kjøre fila fra LaTeX-mappa..
17 mdir = "../data/"
18
19 # inputfil for korreksjonsmålinger
20 corrname = mdir+"meas/raw/CORR.csv"
21 try:
22     corrfile = open(corrname, 'r')
23     corrdata = csv.reader(corrfile, skipinitialspace=True)
24 except IOError:
25     print "The file '"+corrfile+"' cannot be found!"
26     sys.exit()
27
28 # initierer
29 under = "---"
30 ii = 0
31 periodstot = 0
32 corr = [[]]*len(measure)
33 corROUT = [[]]*len(measure)
34 print "\n"
35
36 # samler data i en totalfil for hver parameter
37 LLeqTOTfile = open(mdir+"meas/MEASTOT.LLeq.csv", 'w')
38 LAeqTOTfile = open(mdir+"meas/MEASTOT.LAeq.csv", 'w')
39 LFmaxTOTfile = open(mdir+"meas/MEASTOT.LFmax.csv", 'w')
40 LAmxTOTfile = open(mdir+"meas/MEASTOT.LAmx.csv", 'w')
41 corrTOTfile = open(mdir+"meas/MEASTOT.corr.csv", 'w')
42 LnTOTfile = open(mdir+"meas/MEASTOT.Ln.csv", 'w')
43
44 # csv-objekter
45 LLeqTOTout = csv.writer(LLeqTOTfile)
46 LFmaxTOTout = csv.writer(LFmaxTOTfile)
47 corrTOTout = csv.writer(corrTOTfile)
48 LnTOTout = csv.writer(LnTOTfile)
49
50 # går gjennom filene én etter én
51 for meas in measure:
52
53     # tekstfila hentet fra 2260
54     inputfile = mdir+"meas/raw/"+meas+".TXT"
55
56     try:
57         input = open(inputfile, 'r')
58         indata = csv.reader(input, skipinitialspace=True, delimiter='\t')
59     except IOError:
60         print "The file '"+inputfile+"' cannot be found!"
61         sys.exit()

```

```

63 print "=====" +meas+" ====="
64 print "fil: "+inputfile
65
66 # utdata i MATLAB-lesbar .csv
67 LLeqfile = open(mdir+"meas/"+meas+".LLeq.csv", 'w')
68 LAeqfile = open(mdir+"meas/"+meas+".LAeq.csv", 'w')
69 LFmaxfile = open(mdir+"meas/"+meas+".LFmax.csv", 'w')
70 LAmxfile = open(mdir+"meas/"+meas+".LAmx.csv", 'w')
71 Lnfile = open(mdir+"meas/"+meas+".Ln.csv", 'w')
72 corr[ii] = open(mdir+"meas/"+meas+".corr.csv", 'w')
73 corrout[ii] = csv.writer(corr[ii])
74
75 # csv-objekter
76 LLeqout = csv.writer(LLeqfile)
77 LFmaxout = csv.writer(LFmaxfile)
78 Lnout = csv.writer(Lnfile)
79
80 # initierer variable
81 read = False
82 periods = 0
83 for row in indata:
84     try:
85         # går gjennom raden
86         if read:
87             LLeq = row[LLeqcol[0]:LLeqcol[1]]
88             LFmax = row[LFmaxcol[0]:LFmaxcol[1]]
89             Ln = row[Lncol[0]:Lncol[1]]
90
91             # bytter ut underrange verdier med grenseverdien
92             LAeq = row[LAcoll].replace(under, limit)
93             LAmx = row[LAmxcol].replace(under, limit)
94             while LLeq.count(under) > 0:
95                 LLeq[LLeq.index(under)] = limit
96             while LFmax.count(under) > 0:
97                 LFmax[LFmax.index(under)] = limit
98             while Ln.count(under) > 0:
99                 Ln[Ln.index(under)] = limit
100
101             # bytter ut komma med punktum som desimaltegn
102             # (kan muligens gjøres mer elegant..)
103             LAeq = LAeq.replace(",", ".")
104             LAmx = LAmx.replace(",", ".")
105             for jj in range(len(LLeq)):
106                 LLeq[jj] = LLeq[jj].replace(",", ".")
107             for jj in range(len(LFmax)):
108                 LFmax[jj] = LFmax[jj].replace(",", ".")
109             for jj in range(len(Ln)):
110                 Ln[jj] = Ln[jj].replace(",", ".")
111
112             # skriver raden til filer
113             LAeqfile.write(LAeq+"\n")
114             LAmxfile.write(LAmx+"\n")
115             LLeqout.writerow(LLeq)
116             LFmaxout.writerow(LFmax)
117             Lnout.writerow(Ln)
118
119             # skriver raden til totalfiler
120             LAeqTOTfile.write(LAeq+"\n")
121             LAmxTOTfile.write(LAmx+"\n")
122             LLeqTOTout.writerow(LLeq)
123             LFmaxTOTout.writerow(LFmax)
124             LnTOTout.writerow(Ln)
125
126             periods += 1
127
128 # overskriftsrad, finner riktig index til variablene

```

```

129         elif row[0] == "Start date":
130             headers = row
131             LAcot = headers.index("LAeq")
132             LAmacot = headers.index("LAFmax")
133             LLeqcol = [headers.index("LLeq 50Hz"),headers.index("LLeq 5kHz")+1]
134             LFmaxcol = [headers.index("LLFmax 50Hz"),headers.index("LLFmax 5kHz"
135                 )+1]
136             Lncol = [headers.index("LAF1"),headers.index("LAF99")+1]
137             read = True
138
139             # finner nedre grense for underrange
140             elif row[0] == "Range:":
141                 tmp = row[2].split(",")
142                 limit = tmp[0].strip()
143                 print "nedre grense: "+limit+"dB"
144
145         except IndexError:
146             # «..nei, den har vi ikke sett..»
147             pass
148
149     print "antall perioder: "+str(periods)
150
151     # lukker filer..
152     input.close()
153     LLeqfile.close()
154     LAeqfile.close()
155     LLeqfile.close()
156     LFmaxfile.close()
157
158     ii += 1
159     periodstot += periods
160
161     # behandler romkorreksjonsdata
162     read = False
163     for row in corrrdata:
164
165         # går gjennom raden
166         if read:
167             # henter måling nr..
168             measnr = int(row[IDcol].strip("MEAS"))
169
170             # henter måledata og skriver til fil
171             LLeq = row[LLeqcol[0]:LLeqcol[1]]
172             corrrout[measnr-1].writerow(LLeq)
173
174             # overskriftsrad, finner riktig index til variablene
175             elif row[0] == "MeasID":
176                 headers = row
177                 band = corrrdata.next()
178                 IDcol = headers.index("MeasID")
179                 statuscol = headers.index("Status")
180                 LLeqcol = [band.index("50 Hz"),band.index("5.0 k")+1]
181
182                 read = True
183
184     # lager «placebo»-korreksjonsfil for MEASTOT
185     ones = 21*[1]
186     for ii in range(5):
187         corrrTOTout.writerow(ones)
188
189     # lukker korreksjonsfiler..
190     corrrfile.close()
191     for ii in range(len(meas)):
192         corrr[ii].close()
193
194     print "==== KORREKSJON ====="

```

```
195 print "fil: "+corrname
    # lukker totalfiler..
197 LLeqTOTfile.close()
    LAeqTOTfile.close()
199 LFmaxTOTfile.close()
    LAmxTOTfile.close()
201 corrTOTfile.close()
    LnTOTfile.close()
203
print "==== TOTAL ====="
205 print "antall perioder: "+str(periodstot)
207 print "\nprosessert "+str(ii+1)+" filer"
print "ferdig!\n..."
```