

Lydisolation mellem boliger i etagebyggeri – Kortlægning og forbedringsmuligheder

Rasmussen, Birgit; Hoffmeyer, Dan

Publication date:
2015

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Rasmussen, B., & Hoffmeyer, D. (2015). Lydisolation mellem boliger i etagebyggeri – Kortlægning og forbedringsmuligheder. (1 udg.) SBI forlag. SBI Nr. 2015:27

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

LYDISOLATION MELLEM BOLIGER I ETAGEBYGGERI – KORTLÆGNING OG FORBEDRINGSMULIGHEDER

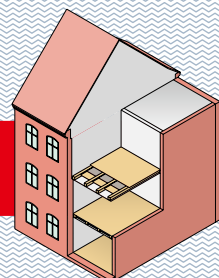
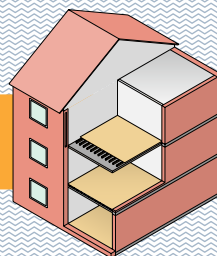
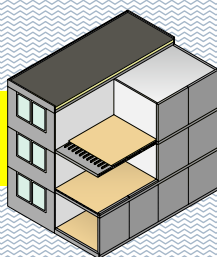
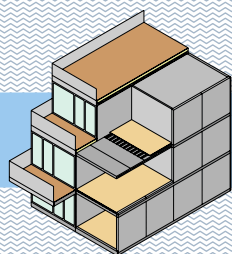
SBI 2015:27

Lydklasse A

Lydklasse B

Lydklasse C

Lydklasse D



Lydisolation mellem boliger i etagebyggeri – Kortlægning og forbedringsmuligheder

Birgit Rasmussen
Dan Hoffmeyer

Titel	Lydisolation mellem boliger i etagebyggeri – Kortlægning og forbedringsmuligheder
Serietitel	SBi 2015:27
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2015
Forfattere	Birgit Rasmussen & Dan Hoffmeyer
Fagfællebedømmer	Anders Løvstad
Sprog	Dansk
Sidetæl	76
Litteraturhenvisninger	Side 55-60
Emneord	lydkrav, lydisolation, etageboliger, feltnålinger, laboratoriemålinger, trinlyd, gulve, gulvudskiftning, renovering
ISBN	978-87-563-1742-9
Tegninger	SBi-anvisning 243 (figurerne 1, 10-14), Jesper Engelmark (figurerne 6-7), Niels Samsø Nielsen og Bo Amstrup Vestergaard (figur 9, tabel 5), Erik Thysell (figurerne 24-29), Mangor & Nagel (Figur A.1, A.2), KHS arkitekter (Figur C.1, C.2), Rubow arkitekter (Figur D.1, D.2), forfatterne (øvrige figurer).
Fotos	Dan Hoffmeyer
Omslag	Niels Samsø Nielsen, Birgit Rasmussen, Bo Amstrup Vestergaard
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post sbi@sbi.aau.dk www.sbi.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven



FAGFÆLLE-
BEDØMT

Indhold

Forord	4
1. Indledning	5
2. Akustisk indeklima i boliger	7
Lydisolationsbegreber og transmissionsveje	7
Beboerundersøgelser	8
3. Lydisolationskrav for etageboliger	10
Lovkrav frem til 2014 for etageboligers lydisolation	10
Lydkrav i Bygningsreglement 2010	12
Lydisolationskrav ved renovering	13
Lydklasser	14
Dokumentation for lydegenskaber	14
4. Kortlægning af danske etageboliger	16
Kvantificering af boliger i Danmark efter boligtype og byggeår	16
Konstruktionstyper i forskellige tidsperioder	17
Etageboligers ejerforhold	19
5. Lydisolation i dansk etageboligbyggeri og forbedringsmuligheder	20
Danske etageboliger: Konstruktionstyper og lydisolation	20
Forbedring af lydisolation – Principper	22
Erfaringsopsamling løsningsmuligheder – Danmark og udlandet	25
Behov for løsninger til forbedring af lydisolation	25
Renoveringsprocessen	26
6. Lydisolation mellem etageboliger – feltmålinger	27
Udvælgelse af bebyggelser	27
Bebyggelser valgt til feltmålinger	27
Planlægning af målinger i bebyggelserne (prøveudtagning)	28
Målingernes gennemførelse og måleresultater	28
Sammenfatning resultater fra feltmålinger og sammenligning med lydkrav	31
Beregningsresultater og -erfaringer	34
Sammenfatning feltmålinger og beregninger	37
7. Laboratorieforsøg af trinlydforbedring	38
Ideer til forbedring af gulvkonstruktioners trinlydforbedring	38
Valg af gulvkonstruktioner til laboratorieforsøg	40
Målemetode	42
Måleresultater fra laboratorieforsøg af trinlyddæmpning for gulve	43
Sammenligninger resultater trinlyddæmpning	45
Målinger på små prøveemner og sammenligning med fuldskala	46
Sammenligning af felt- og laboratorieresultater for trinlydforbedring	49
Sammenfatning trinlydforsøg laboratorium	50
8. Konklusioner og forslag til initiativer	51
Kortlægning af danske etageboliger	51
Lydisolation mellem etageboliger – feltmålinger	51
Laboratorieforsøg af trinlyddæmpning for gulve	52
Erfaringer fra feltundersøgelser & laboratoriemålinger	53
Forslag til initiativer vedrørende renoveringsprocessen	53
Forslag til initiativer til fremtidssikring af etageboligers lydisolation i forbindelse med renovering	54
Litteratur	55
Appendiks A. Rosenvænget Frederikssund – Beskrivelse og måleresultater	61
Appendiks B. Kagshusene, Brønshøj – Beskrivelse og måleresultater	65
Appendiks C. Lunden, Brøndby Strand – Beskrivelse og måleresultater	69
Appendiks D. Ladegårdsparken, Holbæk – Beskrivelse og måleresultater	73

Forord

I Danmark er der ca. 1. mio. etageboliger, hvoraf over halvdelen er bygget, før der var lydisolationskrav og resten i de følgende ca. 50 år med uændrede krav for etageboliger. Kun ca. 20.000 etageboliger forventes at opfylde de nugældende skærpede lydkrav indført i 2008. Da mange beboere er generet af nabostøj, og der sjældent foretages lydrenovering i forbindelse med anden renovering, er det vigtigt at kortlægge konstruktioner og lydisolation i det danske etageboligbyggeri, undersøge forbedringsmulighederne og kommunikere disse til byggebranchen.

Rapporten er udarbejdet af seniorforsker, civilingeniør Birgit Rasmussen (SBI) og civilingeniør, seniorspecialist Dan Hoffmeyer (DELTA).

Statens Byggeforskningsinstitut takker Landsbyggefonden, boligselskaber og deres rådgivere for hjælp i forbindelse med udvælgelse af og adgang til bebyggelserne, hvor der er udført feltmålinger, samt leverandørerne af materialer til laboratoriemålinger. Følgende firmaer har vederlagsfrit leveret materialer til prøveemner i projektets måleprogram: Junckers Industrier A/S, Knudsen Kilen A/S, Harpun A/S, IAC Acoustics A/S, Aprobo AB, Vibratec Akustikprodukter ApS, A/S Christian Berner, Saint-Gobain Isover a/s, Knauf A/S, Gyproc A/S.

Statens Byggeforskningsinstitut takker for kommentarer til rapporten fra Dan Brøsted Pedersen (DB Akustik), Erik Thysell (DELTA), Jesper Bo Andersen (Rambøll), Jørgen Munch-Andersen (Træinformation) og Claus Møller Petersen (Acoustica, Sweco Danmark A/S), Eva Møller (SBI). Statens Byggeforskningsinstitut takker endvidere lektor emeritus Jesper Engelmark, DTU Byg, for kommentarer vedrørende ældre etageboligbyggeri.

Fagfællebedømmelse er udført af civilingeniør, ph.d. Anders Løvstad, Multi-consult, Norge.

Projektet er støttet af Aase and Ejnar Danielsens Fond, Kgs. Lyngby, og Landsbyggefonden, København.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Afdelingen for Byggeri og Sundhed
November 2015

Niels Haldor Bertelsen
Konstitueret forskningschef

1. Indledning

Baggrund

Der er i Danmark i alt ca. 2,7 mio. boliger. Af disse er ca. 1 mio. etageboliger, hvoraf ca. halvdelen er bygget, før der var nationale krav til lydisolationen, og kun ca. 2 % af alle etageboliger er bygget efter at de seneste skærper af bygningsreglementets lydisolationskrav i 2008 har fået effekt. Disse fakta indikerer, at lydforholdene i de fleste etageboliger ikke er tidssvarende. Den seneste nationale sundheds- og sygelighedsundersøgelse, der er udført i 2013, viser da også, at ca. 33 % af beboerne i danske etageboligejendomme er generet af nabostøj (Ekholm et al., 2014), mens kun hhv. 9 % og 6 % af beboerne i rækkehuse og enfamiliehuse er generet af nabostøj.

Ud over de rent komfortmæssige aspekter, kan nabostøj give anledning til andre typer gener, herunder søvnforstyrrelser. Endvidere kan nabostøj være konfliktskabende, og der er således flere grunde til at betragte en boligs lydforhold som en vigtig kvalitet, der skal tages stilling til ved en større renovering af boliger, også fordi omkostningerne og byggegener reduceres betydeligt, når forbedringerne sker samtidigt med øvrige forbedringer, og i praksis er urealistiske som senere enkeltstående forbedringer.

De fleste af de eksisterende danske etageboliger er fra 1970'erne eller tidligere og vil i mange år fremover udgøre langt hovedparten af det danske etageboligbyggeri. Det forventes, at renovering af ældre og nyere ejendomme også i de kommende år udgør en stor del af byggeriet. I de seneste årtier er der ved boligrenovering ofte fokuseret på energibesparelser, facader, nye køkkener og badeværelser, altaner samt naturligvis udskiftning af defekte bygningsdele, men ikke på en forbedring af boligens lydisolation, som ellers er en vigtig del af boligens basiskvalitet, også konstruktionsmæssigt, og af stor betydning for beboernes velfærd.

Formål

Projektets overordnede mål er at bidrage til grundlaget for, at lydisolation mellem eksisterende danske etageboliger kan opgraderes til de skærpede krav til lydisolation i nybyggeri indført i 2008.

Det er projektets mål gennem litteraturstudier og feltmålinger at kortlægge lydforholdene i danske etageboliger med henblik på at identificere konstruktionstyper for lejlighedsskel med et væsentligt behov for en opgradering af lydisolationen og at beskrive ideer til forbedring af lydisolationen samt at afprøve nogle af ideerne ved laboratorieforsøg, så der opnås grundlag for udvælgelse af principløsninger egnede til videreudvikling i separate, efterfølgende projekter.

Gennem bygningsmæssig ajourføring af etageboligbyggeri med hensyn til akustisk kvalitet vil der kunne opnås en fremtidssikring af byggeriet hvad angår nabostøjforhold og de deraf relaterede boligsociale aspekter. Dette medvirker til en generel styrkelse og udvikling af boligernes kvalitet.

Det er endvidere et mål at synliggøre behov for forbedring af lydisolationen for byggeriets parter, inkl. myndigheder og boligselskaber, og at pege på løsningsmulighederne i forbindelse med renoveringsprojekter.

Projektindhold og -aktiviteter

Projektet er opdelt i tre, delvist parallelt løbende dele:

- Kortlægning af danske etageboliger
- Lydisolation mellem etageboliger – Feltundersøgelser
- Lydisolation mellem etageboliger – Forbedringsmuligheder

Der har i projektet været følgende hovedaktiviteter:

- Beskrivelse af lydkrav og lydklasser i Danmark.
- Kvantificering af etage-, række-, enfamiliehuse i Danmark, herunder bygningernes alder.
- Opdeling af dansk etageboligbyggeri i bygningstyper for forskellige tidsperioder med beskrivelse af forekommende konstruktionstyper og hovedmaterialer for lejlighedsskel, kvantitativt og kvalitativt.
- Erfaringsindsamling fra Danmark og udlandet omfattende undersøgelser af lydisolation (feltundersøgelser), beboervurderinger vedrørende lydforhold og erfaringer fra hidtidige renoveringsprojekter (konstruktionsløsninger, måleresultater) blandt danske rådgivere.
- Udarbejdelse af oversigt over repræsentative bebyggelser til feltundersøgelser og kontakt med bygherrer/boligselskaber/byfornylsesselskaber. Til videre undersøgelser blev valgt bygningstyper fra hovedgrupperne under hensyntagen til forekomst og muligheder for adgang til gennemførelse af feltmålinger, forventet lydisolation og behov for ny viden.
- Gennemførelse af feltmålinger af luft- og trinlydisolation mellem boliger i fire udvalgte, typiske boligbebyggelser.
- Ideer til efterisoleringsløsninger til forbedring af lydisolation beskrives ud fra kortlægningsresultater og andre erfaringer. Beslutning om fokusering på trinlyd, derefter kontakt med en række leverandører af gulvmaterialer.
- Laboratoriemålinger af ideer til efterisoleringsløsninger planlagt og gennemført. Udvalgte efterisoleringsløsninger afprøvet i bygninger.
- Analyse af resultater fra felt- og laboratorieundersøgelser samt identificering af efterisoleringsløsninger, som kan videreudvikles i separate, efterfølgende projekter.

Rapportering af alle aktiviteter findes samlet i den foreliggende rapport. Detaljeret rapportering af felt- og laboratoriemålinger findes i separate rapporter. Delresultater fra projektet er præsenteret ved temamøder i Dansk Akustisk Selskab (maj 2013 og dec. 2014) og på internationale konferencer (sept. 2013 og sept. 2014).

Rapportens indhold og brug

Denne rapport beskriver projektets resultater. Rapportens afsnit 2 og 3 giver en introduktion til akustisk indeklima og lydisolutionsbegreber samt til lydisolutionskrav for etageboliger. Afsnittene 4 og 5 beskriver kortlægningen af den danske boligmasse og konstruktionstyper i etageboligbyggeriet. I de følgende afsnit 6 og 7 beskrives hovedresultaterne fra feltmålinger af lydisolation i fire boligbebyggelser og fra laboratoriemålinger af trinlydforbedring for en række gulvkonstruktioner, som kunne være potentielle efterisoleringsløsninger ved forbedring af trinlyddæmpning. Hensigten er nyttiggørelse hos byggeriets parter som grundlag for videreudvikling af produkter og for planlægning af renoveringsprojekter. Uddybende beskrivelser og alle detailresultater fra felt- og laboratoriemålinger er beskrevet i separate målerapporter.

I rapportens afsnit 8 opfordres til at inkludere lydisolutionsforbedringer i renoveringsprojekter, projektets konklusioner beskrives, og der gives en række forslag til initiativer.

Rapporten giver bedst udbytte ved at blive læst i sin helhed, men de fleste af rapportens afsnit kan læses uafhængigt af hinanden.

2. Akustisk indeklima i boliger

Det akustiske indeklima er en meget væsentlig del af det samlede indeklima i boliger: Et godt akustisk indeklima kan defineres som:

- Tilstedeværelse af ønsket lyd
- Fravær af uønsket lyd (ro, "privathed / privacy")
- Muligheder for aktiviteter uden at genere andre beboere

Et dårligt akustisk indeklima kan være skadeligt for helbredet, idet støj fx kan påvirke søvn og afslapning negativt, og kan i øvrigt give anledning til nabokonflikter. Af helbredsmæssige grunde har de fleste lande (i hvert fald i Europa) derfor en eller anden form for krav til lydforholdene.

For at opnå tilfredsstillende lydforhold i boliger, stilles der i bygningsreglementer typisk krav til:

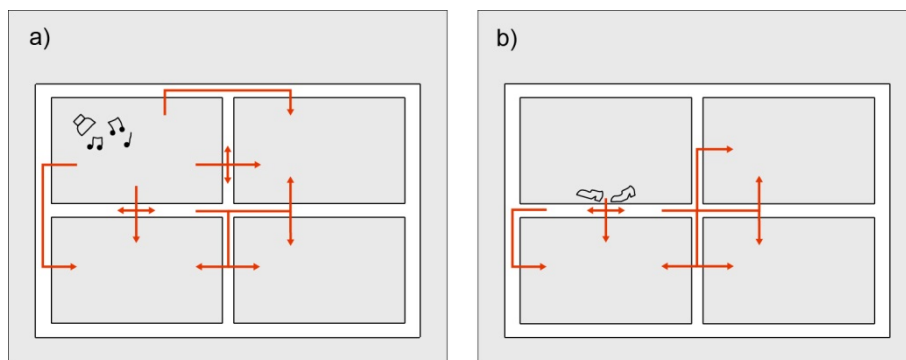
- Luftlydisolation
- Trinlydniveau
- Støj fra trafik og anden ekstern støj
- Støj fra tekniske installationer
- Efterklangstid (i trapperum)

Det foreliggende projekt fokuserer på luftlydisolation og trinlydniveau.

Lydisolutionsbegreber og transmissionsveje

De største lydmæssige udfordringer i etageboligbyggeri er normalt opfyldelse af kravene til luftlydisolation og trinlydniveau mellem boligerne. Ved projekteringen er det vigtigt at vide, at lyd ikke kun transmitteres gennem direkte adskillende bygningsdele. Andre transmissionsveje, fx utætheder eller flankerende konstruktioner, kan have stor betydning og endda være dominerende for den totale lydisolation mellem boligerne.

Begreberne luftlyd, luftlydisolation, trinlyd og trinlydniveau er forklaret kort herunder, og lydtransmissionsveje illustreret i Figur 1. Begreber, teori, måle- og vurderingsmetoder er beskrevet nærmere i SBI-anvisning 245, *Lydisolering i bygninger – teori og vurdering* (Petersen et al., 2014).



Figur 1. Principsnit i etageejendom med eksempler på udbredelsesveje for luftlyd (a) og trinlyd (b) mellem boliger gennem boligadskillende vægge og dæk. Lodret snit.

Note: Luftlyd transmitteres også gennem utætheder, hvilket ikke er illustreret på figuren.

Luftlyd

Luftlyd opstår, når en lydgiver, fx en højttaler, sætter luften i svingninger. Luftlydisolationen er et udtryk for, i hvilken grad luftlyd – fx musik fra en højttaler eller samtale – transmitteres fra et rum til et andet. Luftlyd transmitteres gennem:

- den direkte rumadskillende væg eller etageadskillelse
- flankerende konstruktioner
- eventuelle utætheder og aftrækskanaler

Luftlyd forplanter sig primært til naborum, men også til rum længere væk.

Trinlyd

Trinlyd opstår ved almindelig færdsel på gulve og forekommer i direkte underliggende rum og naborum, men kan også forekomme i rum flere etager over og under. Trinlydniveauet betegner den lyd, der frembringes i et rum, når gulvet i et andet rum påvirkes med en standardiseret bankemaskine.

Trinlyd transmitteres gennem:

- etageadskillelsen
- flankerende konstruktioner

Trinlyd forplanter sig normalt primært til underboen, men også til andre omliggende boliger, se Figur 1.

Lydisolationsbegreber

Lydisolationsbegreberne, der p.t. benyttes i det danske bygningsreglement er de vægtede værdier R'_w og $L'_{n,w}$ for hhv. luftlydisolation og trinlydniveau. Frekvensområdet er 100-3150 Hz. Lydisolationskravene for etageboliger er beskrevet i afsnit 3.

Beboerundersøgelser

I mange lande gennemføres der omfattende sundheds- og sygelighedsundersøgelser eller andre beboerundersøgelser, der omfatter støjgener. I Danmark blev den seneste nationale sundhedsundersøgelse gennemført i 2013, og ifølge denne er 33 % af beboerne i etageboligbyggeri generet af støj fra naboer, hvilket er betydeligt mere end for andre boligtyper, se Tabel 1.

Tabel 1. Andel, der inden for de seneste 14 dage har været generet (lidt eller meget) af trafikstøj eller nabostøj i boligen fordelt efter boligtype. Kilde: *Sundheds- og sygelighedsundersøgelsen 2013* (Ekholm et al., 2014)

	Enfamiliehuse (parcelhuse/ stuehuse)	Række-, kæde- og dobbelthuse	Etageboliger	Andet*	I alt
Støj fra trafikken	6,6 %	5,7 %	15,6 %	13,7 %	9,6 %
Støj fra naboer	5,8 %	9,0 %	32,7 %	20,2 %	15,4 %

* Kollegieboliger, erhvervsboliger, døgninstitutioner, fritidshuse, andre helårsboliger.

Også for andre kategorier af de undersøgte miljøforhold findes det største andele generede blandt dem, der bor i etageboliger. Det gælder fx lugt fra mug, tobaksrøg og afløb, mens fx lugt fra brændeovne generer flere i andre boligtyper. Det skal endvidere bemærkes, at i etageboliger generes væsentligt flere af nabostøj end af trafikstøj. Dette kan have flere årsager, fx at trafikstøjen faktisk ikke er kraftig eller maskeres af nabostøj eller at trafikstøj er mere neutral end nabostøj eller mere jævn (ensartet). Nabostøj har ofte en høj grad af informationsindhold om aktiviteten og kan reelt forstyrre eller genere mere end trafikstøj, også ved at lede tanken hen på, at når naboen kan høres, kan naboen også høre ens egne aktiviteter, dvs. der er mindre "privathed". Nabostøjgener i enfamiliehuse er ofte fra udendørs aktiviteter.

De danske resultater for nabo- og trafikstøj og udviklingen over tid i perioden 2000-2013 samt betragtninger over betydningen af metode findes i Rasmussen & Ekholm (2015).

Det er ikke kun i Danmark, at mange er generet af nabostøj. I det følgende refereres til undersøgelser fra enkelte andre lande som eksempler.

Nyere tyske undersøgelser viser en større andel generede af nabostøj end i den danske undersøgelse, se Rückert-John et al. (2013), Bauphysikkalender (2014), Laußmann et al. (2013). De tyske lydisolationskrav til etageboliger er på linje med de danske, og der er således ikke umiddelbart grund til at mistænke de danske genetall for at være overvurderede.

I Norge har en undersøgelse af nyt boligbyggeri (Barlindhaug & Ruud, 2008) vist, at sammenlignet med andre boligkvaliteter er der størst utilfredshed med lydforholdene. Undersøgelsen blev gennemført i 2007 i boligbyggeri færdiggjort i 2005. Det generelle resultat var, at 80 % var tilfredse med boligens kvalitet og 10 % utilfredse, men betydeligt flere, nemlig 17 %, var utilfredse med lydisolationen, og i visse bygningstyper (let byggeri) var der op til 27 % utilfredse. Et resumé af undersøgelsens konklusioner om lydforhold findes i *Unngå byggskafer – Lydisolations-kvalitet i boliger* (Hveem, 2010).

I Sverige er der i 2007-2008 gennemført en undersøgelse af indeklima i boliger, se Boverket (2009). Der er foretaget besigtigelse, målinger og spørgeskemaundersøgelser i 1.800 bebyggelser med svar fra knapt 6.000 voksne. Undersøgelsen viste, at støj er den væsentligste gene i indemiljøet i etageboliger, og der er udarbejdet et forslag til strategi for at forbedre lydforholdene i forbindelse med renovering.

I evalueringsrapporten WHO (2012) for Europa findes miljømæssige data for sundhedsfaktorer i 30 lande, baseret på Eurostats EU-SILC data (EU-SILC = EU statistics on income and living conditions). I undersøgelsen indgik ét støjspørgsmål, der kombinerer alle typer af støj i et spørgsmål med svarmuligheder Ja og Nej: *"Har du nogen af følgende problemer i forbindelse med det sted, hvor du bor?"* med følgende forklaring til støjspørgsmålet: For meget støj i din bolig fra naboer eller udefra (trafik, erhverv, fabrik, etc.). Forekomsten af generede for EU (28 lande) var samlet set 19 % for 2013, med landeresultater i intervallet 10-30 % og 16,5 % for Danmark. Selv om resultaterne giver en indikation af det samlede støjproblem subjektivt opfattet, giver en sådan forenkling desværre resultater, der er utilstrækkelige som grundlag for kvalificerede beslutninger om relevante tiltag til forbedringer. Rapporten udpeger en række ulighedsfaktorer, der er karakteristiske for social ulighed og betegner støj i hjemmet som en sådan ulighedsfaktor.

Sundheds- og sygelighedsundersøgelser og de fleste beboerundersøgelser, giver ingen detaljerede informationer om støjgener og svarer heller ikke på, om luftlyd eller trinlyd er mest generende. Der foretages ikke i Danmark en samlet registrering af klager over nabostøj, og der savnes også en undersøgelse med mere detaljerede spørgsmål om gener fra forskellige typer nabostøj.

En tidligere sammenstilling af beboerundersøgelser (de fleste udenlandske), hvor der også indgår målinger, findes i Rasmussen & Rindel (1994), og der er indikationer på, at trinlyd fra beboere i lejligheder ovenpå er en af de mest generende typer af nabostøj. Der er behov for nyere undersøgelser, også fordi resultater fra sådanne undersøgelser er meget afhængig af de konkrete lydforhold og af beboernes forventninger og livsstil, og disse forhold kan have ændret sig meget gennem de seneste årtier.

3. Lydisolationskrav for etageboliger

Lydisolationskrav til en bygning skal findes i det relevante bygningsreglement, dvs. normalt i det bygningsreglement, der var gældende på opførelsestidspunktet eller rettere på tidspunkt for udstedelse af byggetilladelse.

Lovkrav frem til 2014 for etageboligers lydisolation

Det første danske bygningsreglement blev udgivet i 1961, men gjaldt ikke for Frederiksberg og København, som har haft egen byggelov frem til hhv. 1972 og 1977. København fik i 1856 sin første egentlige byggelov, som blev normgivende for andre byer, og Frederiksberg fik sin første byggelov i 1858 – med den københavnske byggelov fra 1856 som model. Begge blev senere revideret flere gange, og der kom byggelove i mange andre byer. Omfanget af lydkrav i disse byggelove er ikke undersøgt, og nogle love kan have haft krav, som skyldes hensynet til lydisolation, uden at det nævnes direkte, dog vides at Søllerød Kommune havde lydkrav fra 1936.

I 1948 nedsatte det nyoprettede boligministerium et udvalg med det formål at udarbejde et fælles sæt byggeregler for hele landet, men København og Frederiksberg var dog ikke med. I 1955 forelå udvalgets betænkning, og på det tidspunkt fandtes 67 bygningsvedtægter og 294 bygningsreglementer i Danmark, se Engelmark (2013). Udvalgsarbejdet førte senere til en ny byggelov og udgivelsen af Bygningsreglement 1961. Udviklingen i lydisolationskrav fremgår af Tabel 2.

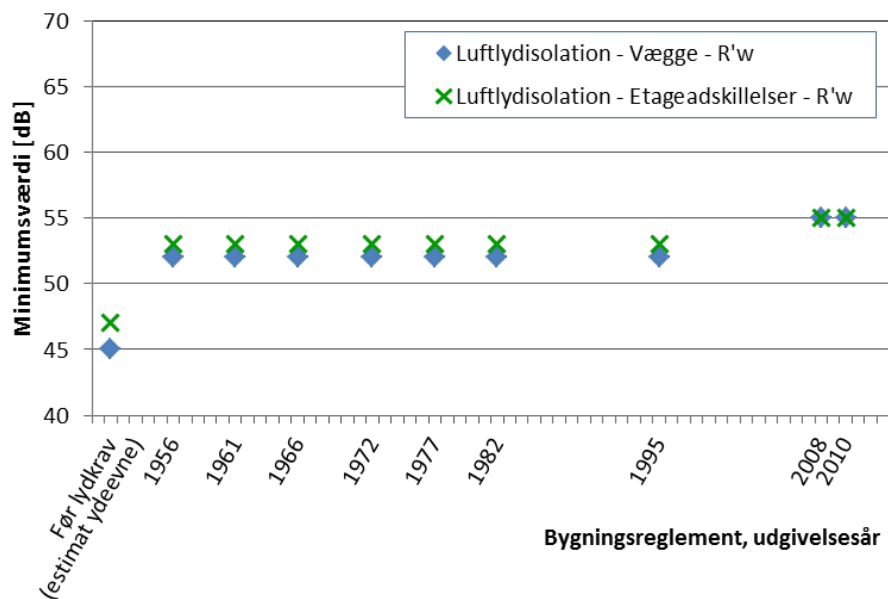
Tabel 2. Lydtekniske hovedkrav i bygningsreglementet angivet for boligadskillende konstruktioner i etageboliger i perioden fra 1956 til 2015. Luftlydisolation R'_w ; Trinlydniveau $L'_{n,w}$. Alle bygningsreglementer er tilgængelige på www.bygningsreglementet.dk.

År	Luftlydisolation ⁽¹⁾	Trinlydniveau ⁽¹⁾	Noter	Bemærkninger
1956	$R'_w \geq 52$ dB (horisontalt) $R'_w \geq 53$ dB (vertikalt)	$L'_{n,w} \leq 58$ dB		Kravværdierne for 1956 gælder kun statsstøttet byggeri
1961	$R'_w \geq 52$ dB (horisontalt) $R'_w \geq 53$ dB (vertikalt)	$L'_{n,w} \leq 58$ dB	(2)	
1966	$R'_w \geq 52$ dB (horisontalt) $R'_w \geq 53$ dB (vertikalt)	$L'_{n,w} \leq 58$ dB	(2)	Kravene for rækkehuse skærpes: $R'_w \geq 55$ dB og $L'_{n,w} \leq 58$ dB
1972	$R'_w \geq 52$ dB (horisontalt) $R'_w \geq 53$ dB (vertikalt)	$L'_{n,w} \leq 58$ dB	(3)	
1977	$R'_w \geq 52$ dB (horisontalt) $R'_w \geq 53$ dB (vertikalt)	$L'_{n,w} \leq 58$ dB	(4)	Kravene for rækkehuse skærpes: $R'_w \geq 55$ dB og $L'_{n,w} \leq 53$ dB
1982	$R'_w \geq 52$ dB (horisontalt) $R'_w \geq 53$ dB (vertikalt)	$L'_{n,w} \leq 58$ dB		
1995	$R'_w \geq 52$ dB (horisontalt) $R'_w \geq 53$ dB (vertikalt)	$L'_{n,w} \leq 58$ dB		
2008	$R'_w \geq 55$ dB	$L'_{n,w} \leq 53$ dB		Kravene for etageboliger skærpes til samme krav som for rækkehuse
Fra 2010	$R'_w \geq 55$ dB	$L'_{n,w} \leq 53$ dB		Uændrede lydkrav

Noter:

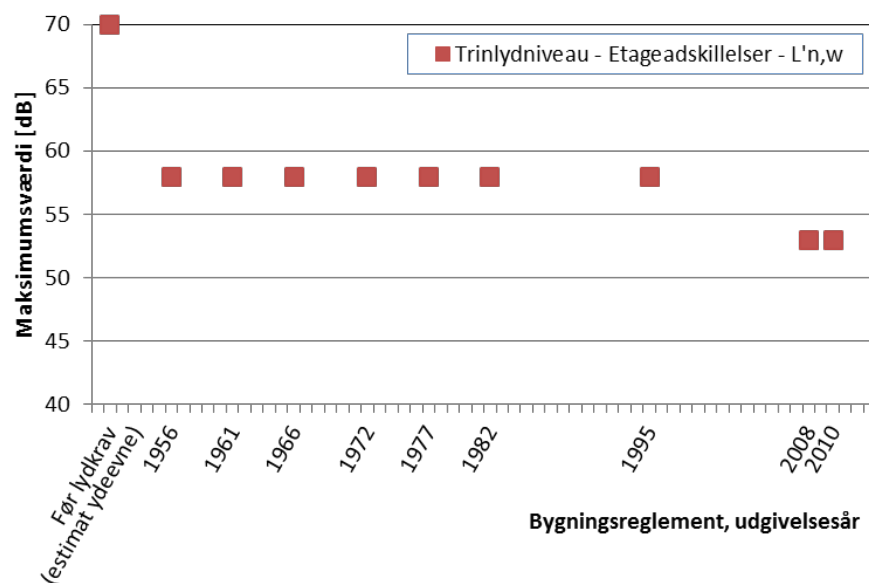
- (1) Værdier frem til 1982 er tilnærmet ved omregning til begreber for luftlydisolation, R'_w , og trinlydniveau, $L'_{n,w}$, som er anvendt i Bygningsreglementerne 1995 og 2008/2010.
- (2) Gælder købstæderne og landet uden København og Frederiksberg.
- (3) Gælder ikke Københavns kommune.
- (4) Første landsdækkende bygningsreglement (dog stadig med undtagelse af Færøerne og Grønland).

Udviklingen i lydkrav er illustreret grafisk i Figur 2 og Figur 3 for hhv. luft- og trinlydkrav. For boliger fra før det første bygningsreglement er benyttet et estimat for den faktiske lydisolations, baseret på data fra Kristensen & Petersen (1987) og Kristensen (1992b).



Figur 2. Minimumsværdier luftlydisolation mellem etageboliger. Udvikling af danske bygningsreglementskrav (hovedkrav).

Note: Grænseværdierne for 1956 gælder kun statsstøttet byggeri. Værdier frem til 1982 er fremkommet ved en tilnærmet omregning til nugældende begreber.



Figur 3. Maksimumsværdier trinlydniveau mellem etageboliger. Udvikling af danske bygningsreglementskrav (hovedkrav).

Note: Grænseværdierne for 1956 gælder kun statsstøttet byggeri. Værdier frem til 1982 er fremkommet ved en tilnærmet omregning til nugældende begreber.

Skærperne i lydkrav, der blev indført i 2008 er de første skærper for etageboligbyggeri siden indførelsen af lydkrav i bygningsreglementet i 1961. Forud for skærperne blev der udført flere udredninger for Bygge- og Boligstyrelsen, se især *Lydforhold i boliger - State-of-the-art* (Rasmussen & Rindel, 1994) og *Ajourføring af kravniveauet for lydforhold i etageboligbyggeri* (Hoffmeyer, 1999).

Lydkrav i Bygningsreglement 2010

De nugældende krav til boligens akustiske indeklime findes i Bygningsreglement 2010, kap. 6.4.2. Kravene gælder både for nybyggeri, tilbygninger og væsentlige ombygninger og anvendelsesændringer.

Funktionskravet for boliger anses for opfyldt, jf. vejledningstekst til Bygningsreglement 2010, kap. 6.4.2, stk. 1, når de udføres som klasse C i DS 490, *Lydklassifikation af boliger* (Dansk Standard, 2007). Grænseværdierne for lydklasse C findes i DS 490 (2007), tabel 1 til 5.

Der er i DS 490 specificeret grænseværdier for følgende lydforhold i beboelsesbygninger:

- Luftlydisolation mellem boliger og andre rum uden for boligen.
- Trinlydniveau fra gulve, trapper og altaner uden for boligen.
- Efterklangstid i trapperum.
- Støj fra tekniske installationer.
- Støj i beboelsesrum fra trafik.

Følgende krav gælder for lydisolation mellem boliger (lydklasse C):

- Luftlydisolation, $R'_w \geq 55$ dB.
- Trinlydniveau, $L'_{n,w} \leq 53$ dB fra beboelsesrum, køkkener i andre boliger.
- Trinlydniveau, $L'_{n,w} \leq 58$ dB fra trapperum, toilet- og baderum, gange, altaner m.v.

Der er også krav til luftlydisolation for vægge og døre mod trapperum, se DS 490 (Dansk Standard, 2007). Altaner samt gulve og dæk i rum med et gulvareal under $2,5 \text{ m}^2$ skal ikke opfylde trinlydkravene. Information om krav til lydisolation mod lokaler med støjende aktiviteter (i erhverv eller fællesrum) findes i DS 490.

Lydisolutionsbegreberne er defineret i internationale standarder (ISO), som imidlertid også definerer andre begreber end dem, der anvendes i Danmark. Der anvendes i Europa (og globalt) mange forskellige begreber og kravniveauer, se fx Rasmussen & Rindel (2010), Rasmussen (2010) eller Rasmussen (2011).

Frekvensområdet for de danske lydisolutionskrav er det traditionelle bygningsakustiske frekvensområde 100-3150 Hz som i de fleste andre lande. Da lette konstruktioner i lejlighedsskel kan give problemer med nabostøjgener pga. utilstrækkelig lydisolation ved lave frekvenser, selv om bygningsreglementskravene til lydisolation er opfyldt, anbefales det derfor som supplement til lydisolutionskravene at udvide frekvensområdet nedad til 50 Hz ved at anvende de spektrale korrektioner $C_{50-3150}$ og $C_{1,50-2500}$ for henholdsvis luftlydisolation og trinlydniveau, se SBI-anvisning 237, *Lydisolering mellem boliger – nybyggeri* (Rasmussen et al., 2011) og SBI-anvisning 243, *Lydisolering mellem boliger – eksisterende byggeri* (Rasmussen & Petersen 2014). I Sverige har man anset behovet for at inkludere lave frekvenser så stort, at bygningsreglementet generelt inkluderer frekvenser ned til 50 Hz i lydisolutionskravene. I alle de nordiske lande anvendes i de højere lydklasser A og B de spektrale korrektioner $C_{50-3150}$ og $C_{1,50-2500}$ for henholdsvis luftlydisolation og trinlydniveau. Kriterierne for de danske lydklasser A-D ses længere fremme i afsnittet *Lydklasser*.

I det aktuelle projekt har de lave frekvenser ikke været i fokus, hvilket skyldes, at problemet primært vedrører lette konstruktioner, og at sådanne konstruktioner i det eksisterende byggeri typisk har en lydisolation så langt under gældende krav, se afsnittet *Danske etageboliger: Konstruktionstyper og lydisolation*, at første prioritering må være generelt at gøre en indsats for at hæve lydisolationen.

Lydisolationskrav ved renovering

De gældende danske lydkrav for nybyggeri skal også overholdes ved væsentlige ombygninger og anvendelsesændringer, dvs. fx hvis en kontorbygning ombygges til boliger eller hvis der foretages en sammenlægning eller opdeling af eksisterende etageboliger. Der er for lydforhold normalt ikke krav til opgradering af ydeevnen ved udskiftning af bygningsdele i forbindelse med renovering.

Svenske lydkrav ved bygningsrenovering

I Sverige er der i 2014 i bygningsreglementet indført en paragraf om lydkrav gældende ved ændring af bygninger for at sikre, at der i videst muligt omfang ved renovering foretages en opgradering af lydforholdene, hvor disse ikke opfylder kravene til nybyggeri. Herunder er gengivet nogle uddrag fra Boverket (2014), kap 7:4 Krav til støjbeskyttelse ved ændring af bygninger, 7:41 Lydforhold:

"Bygninger, deres installationer og elevatorer skal være udformet således, at forekomst og spredning af forstyrrende støj begrænses, så skader på menneskers sundhed undgås. Regler om ændring af bygninger findes også i afsnit 1:22. (BFS 2013: 14).

Generelt råd

For at opnå acceptable akustiske forhold, kan det være nødvendigt at foretage en bygningsakustisk gennemgang af bygningen inden beslutning om foranstaltninger til forbedring af lydforholdene. Denne undersøgelse kan fx omfatte spørgeskemaer til beboerne for at afgøre, på hvilke områder de eventuelle problemer er størst."

"De krav til støj- og lydisolering, som gælder ved opførelse af nye bygninger i henhold med § 7:2 skal tilstræbes opfyldt. (BSF 2011: 26).

Generelt råd

Især i rum beregnet til søvn og hvile, er det vigtigt med gode akustiske egenskaber."

"Ændringer må ikke medføre, at bygningens akustiske egenskaber forværres. Dog må de forringes, hvis de efter ændring opfylder kravene i § 7: 2. (BFS 2011: 26).

Generelt råd

Ændringer i en konstruktion kan forringe dens evne til at reducere støj. Eksempelvis forværres lydegenskaber, hvis bjælkelags fyld af tungere materialer fjernes og erstattes med noget lettere. (BFS 2011: 26)."

Noget tilsvarende kunne overvejes til det danske bygningsreglement. Dette ville i de enkelte renoveringsprojekter medføre en vurdering af de konkrete lydforhold før renovering og fremme stillingtagen til fremtidige lydforhold og forbedringer, så "akustisk slum" ikke forekommer i nyrenoveret byggeri, der på andre områder er opgraderet til dagens standard.

Spanien: Håndtering af lydforhold ved renovering af boligbyggeri

I Spanien er der i 2013 indført en obligatorisk bygningsvurdering for boligbyggeri, der skal renoveres for offentlige midler, se Ministerio de Fomento (2013). Vurderingen inkluderer en obligatorisk vurdering af tre forhold, nemlig bygningen fysiske tilstand, tilgængelighed og energimæssige ydeevne, og en frivillig vurdering af lydforhold. Renovering af lydforhold støttes ikke økonomisk, men der bliver mere opmærksomhed om lydforhold, fordi emnet indgår i skemaet til bygningsvurdering. Ordningen er beskrevet i *Noise Requirements in Existing Buildings in Spain: New Proposals and the Existing Building Evaluation Report* (Carrascal García et al., 2015).

Lydklasser

Det gældende danske bygningsreglement henviser til DS 490, lydklasse C. DS 490 indeholder også to højere lydklasser, A og B, samt en lavere lydklasse D. Hovedkriterier for lydisolation og forventet beboertilfredshed i henhold til DS 490 er gengivet i Tabel 3. Ud over information om lydisolationskriterier for de fire lydklasser, kan tabellen benyttes således, at for fx boliger, der opfylder grænseværdierne i klasse C i DS 490, kan man forvente, at 50-65 % af beboerne finder lydforholdene tilfredsstillende, mens 15-20 % kan forventes at være generet af støj fra naboer. Lydklasse A kan normalt ikke opnås i etageboligbyggeri, selv ikke ved nybyggeri.

Tabel 3. Hovedkriterier for de danske lydklasser A, B, C, D og beboernes forventede tilfredshed. Resumé baseret på information i DS 490 *Lydklassifikation af boliger*.

Lydisolation mellem boliger Hovedkriterier i DS 490:2007			Lydklassebeskrivelser og forventet beboervurdering af lydforhold		
Lydklasse	Luftlydisolation	Trinlydniveau	Lydklassebeskrivelser	Gode eller meget gode	Dårlige
A	$R'_w + C_{50-3150} \geq 63 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 43 \text{ dB}$ og $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 43 \text{ dB}$	Specielt gode lydforhold	> 90 %	
B	$R'_w + C_{50-3150} \geq 58 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 48 \text{ dB}$ og $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 48 \text{ dB}$	Tydeligt bedre lydforhold end bygge Lovgivningens minimumskrav	70 - 85 %	< 10 %
C	$R'_w \geq 55 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 53 \text{ dB}$	Svarer til bygge Lovgivningens minimumskrav	50 - 65 %	< 20 %
D	$R'_w \geq 50 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 58 \text{ dB}$	Mindre tilfredsstillende lydforhold, beregnet for ældre bygninger	30 - 45 %	25 - 40 %
Note: Inden for den enkelte lydklasse kan procentdelen af beboere, som er tilfredse eller utilfredse, variere lidt fra det ene akustiske kriterium til det andet. Grupperingen er fortrinsvis baseret på den subjektive vurdering af luftlydisolation mellem boliger og trinlydniveau fra omliggende boliger.					

Boliger bygget i perioden fra ca. 1960 til ca. 2009 kan forventes at overholde lydisolationskriterierne i lydklasse D, men boliger bygget før ca. 1960 kan ikke forventes at opfylde lydklasse D i DS 490, se afsnit 5, hvor der foreslås at udvide DS 490 med flere lavere lydklasser, så alle danske etageboliger kan lydklassificeres.

En del andre lande i Europa har lydklassestandarder for boligbyggeri. Alle fem nordiske lande har lydklassestandarder med samme lydklassenotationer A-D, men i øvrigt ikke identiske klassekriterier, se Rasmussen (2012a). En række andre lande i Europa har lydklasseordninger, se Rasmussen (2012b), der også inkluderer de fem nordiske lande i sammenligningerne. En international standard (ISO) med seks lydklasser A-F for boliger er under forberedelse, se Rasmussen (2014). Lydklassekriterierne i forskellige lande og i ISO-forslaget er ret forskellige, uanset at nogle lydklassenotationer kan være ens. Det internationale forslag inkluderer lydklasser, der i højere grad end den nuværende danske lydklassestandard, giver mulighed for at lydklassificere eksisterende boligbyggeri.

Dokumentation for lydegenskaber

Kontrolmålinger i bebyggelser

Feltmålinger af lydforholdene i det eksisterende boligbyggeri før og efter renovering kan dokumenteres efter samme retningslinjer som for nybyggeri. Der henvises til SBI-anvisning 217, *Udførelse af bygningsakustiske målinger* (Hoffmeyer et al., 2008) og SBI-anvisning 245, *Lydisolering i bygninger – teori og vurdering* (Petersen et al., 2014). Usikkerheder knyttet til målinger i renoverede bebyggelser er endvidere omtalt i SBI-anvisning 243, *Lydisolering mellem boliger – eksisterende byggeri* (Rasmussen & Petersen, 2014).

Dokumentation for produkters lydegenskaber

Dokumentation for produkters lydegenskaber foregår ved laboratoriemålinger udført efter DS/EN ISO 10140, *Akustik - Laboratoriemåling af bygnings-elementers lydisolation* (Dansk Standard, 2010): Dette gælder både de lyd-isolerende egenskaber for vægge og dæk samt for forsatskonstruktioner, hvis forbedring måles ved anvendelse af en relevant referencekonstruktion, se nærmere i standarden.

I relation til det aktuelle projekt er det især vigtigt at bemærke, at der ved typeprøvning af gulves trinlyddæmpning måles efter metoden i ovennævnte standard, dvs. gulvkonstruktionen monteres i laboratoriet på et standardiseret referencedæk med areal ca. 10 m². Standarden definerer både tunge og lette referencedæk, men de standardiserede, lette referencedæk er ikke egnede til at simulere typiske lette etagedæk i Danmark, fx træetageadskillelser, og derfor kan trinlyddæmpningen for gulve til sådanne etageadskillelser ikke umiddelbart bestemmes efter denne metode.

Til bestemmelse af trinlyddæmpning for gulve på betondæk benyttes et tungt referencedæk (massivt betondæk), der opfylder standarden, og de målte laboratorieresultater kan også benyttes for samme gulvtype på andre tunge dæk. Trinlydniveauet i en bebyggelse vil dog være bestemt af både gulvets trinlyddæmpning og det aktuelle tunge dæks trinlydniveau. Laboratoriemålemetoden er detaljeret beskrevet i ovennævnte standard og er summarisk beskrevet i SBI-anvisning 245, *Lydisolering i bygninger – teori og vurdering* (Petersen et al., 2014), hvor der også findes et eksempel. Det er endvidere væsentligt at være opmærksom på, at andre størrelser prøveemner eller feltmålinger ikke kan benyttes som grundlag for typeprøvning af trinlyddæmpning for et givet produkt eller generel dokumentation for ydeevne, da resultaterne kan være meget forskellige fra resultaterne fra standardiserede laboratorieprøvninger.

4. Kortlægning af danske etageboliger

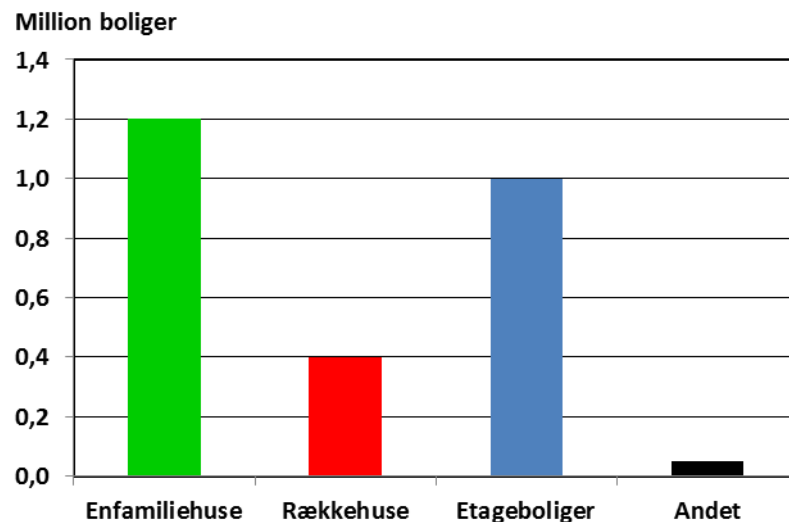
Som grundlag for en vurdering af det samlede behov for forbedring af lydisolationen i dansk etageboligbyggeri, foretages en kortlægning af:

- Antal etage-, række-, enfamiliehuse
- Byggeår og hovedmaterialer i etageboligbyggeri
- Forekommende konstruktionstyper, kvalitativt og kvantitativt

Konstruktionstyper og estimeret lydisolationsniveau er nærmere beskrevet i afsnit 5.

Kvantificering af boliger i Danmark efter boligtype og byggeår

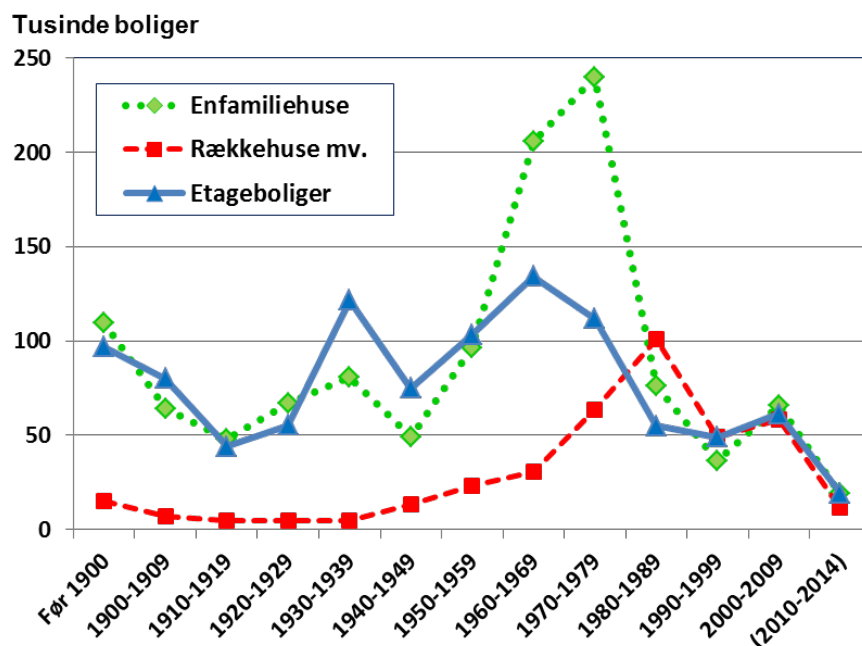
Der er cirka 2,7 mio. boliger i Danmark. Antal og fordeling på boligtyper ses på Figur 4.



Figur 4. Antal beboede boliger i Danmark fordelt efter type (afrundede tal). Data fra www.statistikbanken.dk (2015). Rækkehuse inkluderer her kæde- og dobbelthuse.

Af den samlede danske boligmasse er ca. 1 mio. etageboliger, dvs. over en tredjedel af alle boliger er etageboliger. Der er flere enfamiliehuse end etageboliger. De præcise årsager hertil kendes ikke, men kan for de enkelte husstande være resultatet af en beslutningsproces baseret på positive tilvalg, fx ønske om at få mere plads, egen græsplæne og luft omkring boligen, og/eller aktive fravalg af uønskede forhold i etageboliger, fx nabostøj. I henhold til Tabel 1 er 33% af beboerne generet af nabostøj, hvilket er mere end 5 hhv. knapt 4 gange så mange som for enfamiliehuse hhv. rækkehuse (inkl. kæde- og dobbelthuse).

I Figur 5 ses danske boliger fordelt på boligtyper og byggeår for perioden 1900-2009 i 10-års perioder samt antal fra før år 1900 og for 5-årsperioden 2010-2014. Det ses, at boligbyggeriet samlet set har toppet i 1960'erne og 1970'erne, og at en meget stor andel af boligbyggeriet i disse to perioder er enfamiliehuse, men at etageboligbyggeriet også har været ret højt både i disse to perioder og i de forudgående årtier.



Figur 5. Danske boliger fordelt på boligtyper efter byggeår for tiårs perioder 1900-2009, for perioden før år 1900 og for 5-årsperioden 2010-2014. Data fra www.statistikbanken.dk (2015). Data for 1900-1909 og 1910-1919 er estimeret ud fra tidligere data for de to perioder og nye data for 1900-1919.

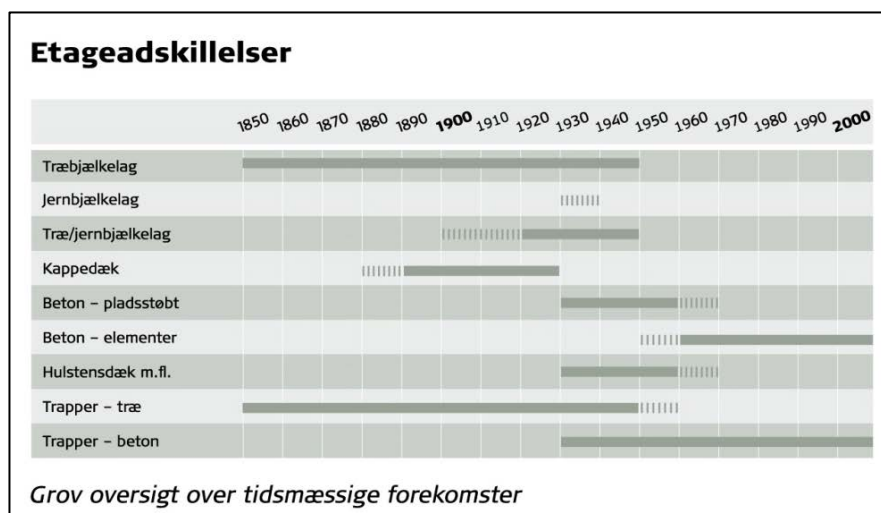
Selv om mange etageboligbebyggelser bygget før 1980'erne har gennemgået små eller større renoveringer, er der stadig et meget stort renoveringsbehov, og i mange tilfælde er der behov for en mere gennemgribende renovering, fx hvor der primært har været foretaget en facaderenovering.

Det foreliggende projekt fokuserer på mulighederne for forbedring af lydisolationen mellem etageboliger. På baggrund af byggeår og viden om byggeskik i de forskellige perioder samt undersøgelser af lydisolation kan boligerne kategoriseres efter konstruktionstyper og lydisolationen estimeres, se afsnit 5, hvilket er grundlaget for udvikling af egnede renoveringsløsninger til forbedring af lydisolationen.

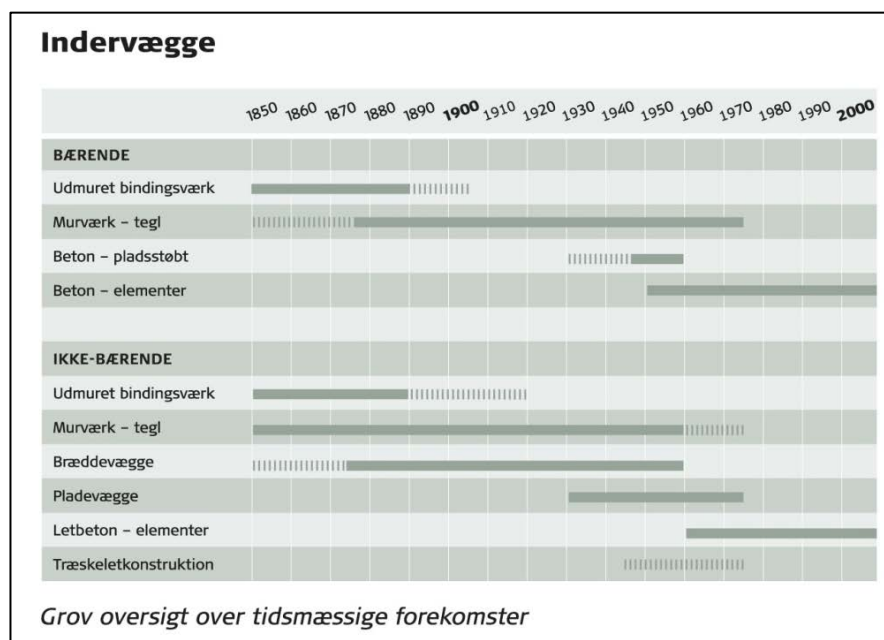
Information om byggeskik og konstruktioner findes i *Københavnsk etageboligbyggeri 1850-1900. En byggeteknisk undersøgelse* (Engelmark, 1983) og *Dansk Byggeskik – Etagebyggeriet gennem 150 år* (Engelmark, 2013) samt fx på www.danskbyggeskik.dk og www.danskebygningsmodeller.dk. Fotos og beskrivelser af typiske etageboligbebyggelser fra forskellige tidsperioder findes i fx i *Nye udfordringer for det almene boligbyggeri* (Landsbyggefonden, 2014) samt i andre tidligere publikationer fra Landsbyggefonden, se supplerende litteratur.

Konstruktionstyper i forskellige tidsperioder

I nedenstående Figur 6 og Figur 7 vises en *Grov oversigt over tidsmæssige forekomster* af forskellige materialer/konstruktioner til henholdsvis etageadskillelser og indervægge i etageboliger. Diagrammerne er gengivet fra Engelmark (2013) og gældende for perioden 1850-2000. Det skal bemærkes, at før der kom lydisolationskrav, var det næsten udelukkende statikken og eventuelt brandhensyn, der var afgørende for valg af materialer og konstruktionsopbygning. Derfor var det almindeligt med tunge bærende vægge parallelt med facaderne, men ikke nødvendigvis i lejlighedsskel. I Figur 7 er der opdelt i bærende og ikke-bærende vægge. Boligadskillende vægge var normalt også bærende vægge, men ikke altid, og kunne i nogle tilfælde fx være relativt tynde bræddevægge med en meget ringe lydisolation.



Figur 6. Etageadskillelser i etageboligbyggeri: Grov oversigt over tidsmæssige forekomster af etagedæk i forskellige materialer anvendt til boligadskillende konstruktioner og trapper. Diagram gengivet fra Engelmark (2013).



Figur 7. Indvendige vægge i etageboligbyggeri: Grov oversigt over tidsmæssige forekomster af vægge i forskellige materialer anvendt til boligadskillende vægge og interne vægge i lejligheder mv. Diagram gengivet fra Engelmark (2013).

Hvad angår etageadskillelser, ses det af Figur 6, at træbjælkelag anvendes i etageboligbyggeri frem til ca. 1950. Fra ca. 1930 til 1960 anvendes især in-situ støbt betondæk samt hulstensdæk mv. Fra ca. 1960 er betonelementer (typisk huldæk) den dominerende dæctype i etageboligbyggeriet.

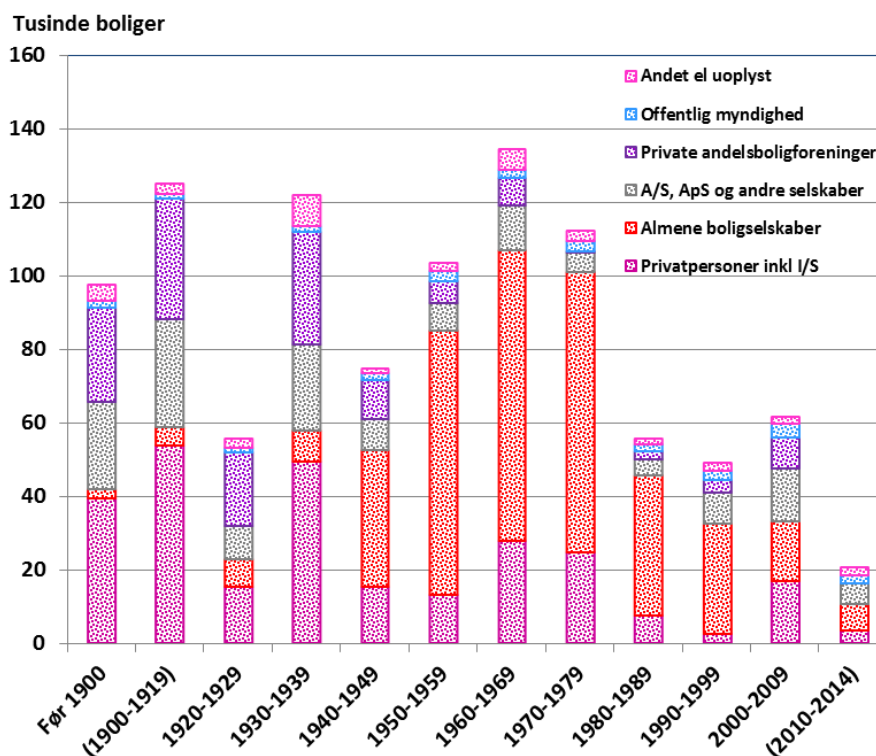
Af Figur 7 ses, at murværk af tegl anvendes som bærende vægge frem til ca. 1975, men allerede fra ca. 1950 benyttes desuden beton, og fra midt i 1960'erne er betonelementer dominerende som bærende vægge.

Der er ikke i Figur 6 og Figur 7 oplysninger om perioden efter år 2000, men størstedelen af dansk etageboligbyggeri er bygget af betonelementer som boligadskillende konstruktioner. Dog har lette dobbeltvægge opbygget af pladebeklædte skeletkonstruktioner i stigende grad vundet indpas som boligadskillende vægge, bl.a. på grund af større fleksibilitet i placeringen af væggene.

Etageboligers ejerforhold

Mulighederne for indflydelse på renoveringsprocessen og gennemførlighed af specifikke renoveringstiltag afhænger i høj grad af boligernes ejerforhold, og derfor er det relevant også at kvantificere boligerne efter ejerforhold og byggeår.

Etageboligernes ejerforhold fordeler sig som vist i diagrammet i Figur 8. Selv om alle typer af ejergrupper er repræsenteret i alle tidsperioder, ses der en klar dominans af forskellige ejerforhold i forskellige tidsperioder.



Figur 8. Etageboligers ejerforhold efter byggeår for tiårs perioder 1920-2009, for perioden før år 1900 og for 20-årsperioden 1900-1919 samt for 5-årsperioden 2010-2014. Note: Bemærk at data for tiårsperioderne fra 1900-1919 vil kunne findes i statistikbanken ved at inkludere arkivdata.

Kilde: Data fra www.statistikbanken.dk (2015).

I perioden frem til 1939 er privatejede boliger dominerende, mens størstedelen af boligerne opført i perioden 1940-1999 er ejet af almene boligselskaber. Ejerforholdene har stor betydning for beboerinddragelsen i beslutningsprocessen og dermed for indhold, varighed og resultat af den samlede renoveringsproces. Der er udgivet en del publikationer om disse emner, se referencer i *Renoveringsprocessen* sidst i afsnit 5..

5. Lydisolation i dansk etageboligbyggeri og forbedringsmuligheder

På baggrund af konstruktionskarakteristika beskrevet i afsnit 4 samt litteratur og hjemmesider om konstruktioner i dansk etageboligbyggeri, kan eksisterende dansk etageboligbyggeri overordnet fordeles på tre bygningstyper:

- Bygningstype E1: Ældre muret byggeri med træetageadskillelser
- Bygningstype E2: Muret byggeri med støbte etageadskillelser
- Bygningstype E3: Betonelementbyggeri

Danske etageboliger: Konstruktionstyper og lydisolation

Ovennævnte bygningstyper E1, E2, E3 består ikke udelukkende af de angivne materialer.

En mere detaljeret beskrivelse af de tre bygningstyper med gennemgang af boligadskillende konstruktioner, lydtekniske egenskaber og løsninger til lydtekniske forbedringer findes i SBI-anvisning 243, *Lydisolering mellem boliger – eksisterende byggeri* (Rasmussen & Petersen, 2014). Supplerende oplysninger om historiske bygningskonstruktioner findes i *Dansk Byggeskik – Etagebyggeriet gennem 150 år* (Engelmark, 2013) og på hjemmesider som www.danskebyggningsmodeller.dk og www.danskbyggeskik.dk.

Med udgangspunkt i boligstatistikker, se afsnit 4, konstruktionsbeskrivelser og de ældre SBI-anvisninger 172 og 173 (Kristensen, 1992a og 1992b) kan der foretages en kvantificering af bygningstyperne og lydisolutionskarakteristika estimeres. De forskellige konstruktioners forekomst og lydisolation skønnes at være som vist i Tabel 4. Fordeling på byggeår fremgår af Figur 5.

Tabel 4. Konstruktionstyper og estimeret lydisolation for boligadskillende etagedæk og vægge i dansk etagebolig-byggeri.

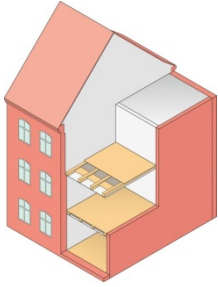
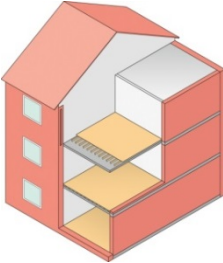
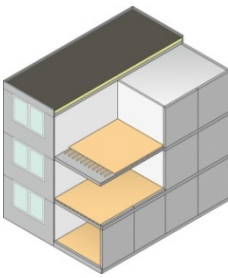
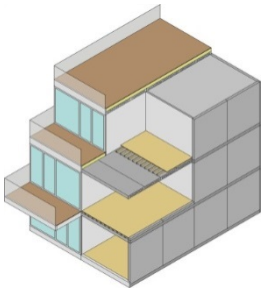
Periode	Etageadskillelser (2)	Boligadskillende vægge (2)	Antal etageboliger (1)
Før 1900	Træbjælkelag R'_w 45 - 50 dB $L'_{n,w}$ 63 - 75 dB	Bindingsværk (1/2-sten) R'_w 42 - 47 dB (3)	100.000
1900-1950		Fuldmuret bredstenvæg (3/4-sten) R'_w 48-50 dB (3)	400.000
1930-1960	Beton, pladsstøbt R'_w 45 - 53 dB $L'_{n,w}$ 58 - 65 dB	1/1-stensvægge, R'_w 52-54 dB, eller betonvægge, pladsstøbte R'_w 45 - 52 dB	100.000
1960- ca. 2010	Betonelementer, huldæk R'_w ca. 53 dB $L'_{n,w}$ ca. 58 dB	Betonelementer R'_w 52 - 54 dB (4)	400.000
Fra ca. 2010	Betonelementer $R'_w \geq 55$ dB $L'_{n,w} \leq 53$ dB	Betonelementer $R'_w \geq 55$ dB (5)	20.000
Datakilder: Konstruktionstyper: www.danskyggeskik.dk , Engelmark (1983 og 2013). Antal boliger: Statistikbanken, Danmarks Statistik. Lydisolutionsdata: Udgangspunkt i SBI-anvisningerne 172 og 173 (Kristensen, 1992a og 1992b)			
Noter: (1) Afrundede tal. Det samlede antal etageboliger i Danmark er ca. 1 million. (2) Generelt er der et overlap af konstruktionstyper mellem perioderne. Endvidere er andre konstruktionstyper med lavere lydisolation anvendt i nogle tilfælde. (3) Indtil ca. 1950, har en mindre del af de boligadskillende vægge været bræddevægge med tykkelser under 10 cm og en lydisolation betydeligt lavere end for de angivne konstruktionstyper. (4) En mindre del af de boligadskillende vægge er lette dobbeltvægge, specielt i de 1-2 sidste årtier i perioden. Samme forventede lydisolation udtrykt ved R'_w . (5) En mindre del af de boligadskillende vægge er lette dobbeltvægge med samme forventede lydisolation udtrykt ved R'_w .			

Principskitser af de tre bygningstyper er vist i Tabel 5 sammen med simplificerede oplysninger om tidsperioder, antal boliger og skønnet lydisolation. Ved opgørelsen af antal boliger bygget efter de seneste skærper i bygningsreglementet i 2008 - i tabellen karakteriseret som nybyggeri - er der regnet med, at faktisk implementering af de skærpede krav i praksis først er sket fra ca. 2010, idet tidspunktet for byggetilladelsen er afgørende for, hvilke krav, der skal opfyldes.

Endvidere er der for bygningstype E3 angivet forventet lydklasse D (den laveste) i henhold til DS 490 (2007). Bygningstyperne E1 og E2 kan ikke klassificeres efter den nuværende lydklassestandard, men man kunne forestille sig ved en revision af DS 490 at udvide med fx to lydklasser "E" og "F" med hhv. 5 og 10 dB spring fra lydklasse D, så også størstedelen af boligerne i det ældre boligbyggeri ville kunne lydklassificeres. Dette ville være analogt til energimærkning, hvor også eksisterende byggeri med ringe energiforhold kan mærkes, og dermed synliggøres behovet for en opgradering.

Grundlaget for en eventuel revision og udvidelse af lydklassestandarden DS 490 skal dog undersøges nærmere, da hver lydklasse har en række kriterier ud over de nævnte. En række andre lande i Europa, inkl. alle de nordiske lande, har lydklassestandarder for boligbyggeri, og en international standard (ISO) er under forberedelse, se *Lydklasser* i afsnit 3.

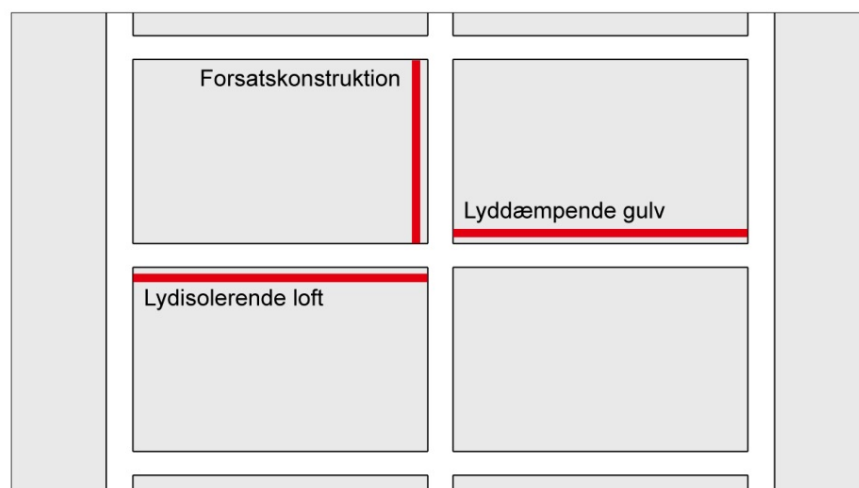
Tabel 5. Bygningstyper og hovedkarakteristika for dansk etageboligbyggeri. Bygningstyperne betegnes E1, E2, E3 som i SBI-anvisning 243 *Lydisolering mellem boliger – eksisterende byggeri* (Rasmussen & Petersen, 2014). Mht. lydkrav henvises til Tabel 2.

Bygningstype E1 Ældre muret byggeri med træetageadskillelser Periode: Ca. 1850 til 1930/1950 Antal boliger i Danmark: Ca. 500.000	Bygningstype E2 Muret byggeri med støbte etageadskillelser Periode: Ca. 1930 til 1960 Antal boliger i Danmark: Op til ca.100.000	Bygningstype E3 Betonelementbyggeri Periode: Fra ca. 1960 til 2009 Antal boliger i Danmark: Ca.400.000	Nybyggeri Betonelementbyggeri Periode: Fra ca. 2010 til 2014 Antal boliger i Danmark: Ca.20.000
			
Lydkrav: Nej	Lydkrav: Nej	Lydkrav: Ja	Lydkrav: Ja
Lydisolation: $R'_w \sim 42-50 \text{ dB}$ $L'_{n,w} \sim 63-75 \text{ dB}$	Lydisolation: $R'_w \sim 45-53 \text{ dB}$ $L'_{n,w} \sim 58-65 \text{ dB}$	Lydisolation: $R'_w \geq 52-53 \text{ dB}$ $L'_{n,w} \leq 58 \text{ dB}$	Lydisolation: $R'_w \geq 55 \text{ dB}$ $L'_{n,w} \leq 53 \text{ dB}$
Bygningstypen E1 kan ikke lydklassificeres efter DS 490:2007	Bygningstypen E2 kan ikke lydklassificeres efter DS 490:2007	DS 490:2007 Lydklasse: D	DS 490:2007 Lydklasse: C

Af lydisolationskarakteristika i Tabel 5 for bygningstyperne E1, E2, E3 og Nybyggeri ses, at alt etageboligbyggeri fra før de seneste skærpselser af lydkravene ligger under dagens standard og har et potentielt opgraderingsbehov. Principper for forbedring er beskrevet i det følgende, og opgraderingsbehovet senere i afsnittet.

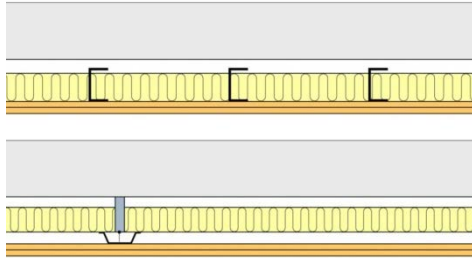
Forbedring af lydisolation – Principper

I Figur 9 er illustreret hovedprincipperne for forbedring af lydisolation med forsatskonstruktioner i kombination med eksisterende vægge eller etagedæk. I de følgende figurer gives der eksempler på kendte konkrete og principielle løsninger til forbedring af luftlyd- og trinlydisolation.

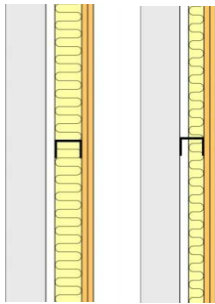


Figur 9. Hovedprincipper for forbedring af lydisolation.

Principper for forbedring af lydisolationen ved hjælp af forsatskonstruktioner til vægge og lofter er vist i Figur 10 og Figur 11. Mere detaljerede beskrivelser af mulighederne og forbedringspotentialer er beskrevet i SBi-anvisning 243, *Lydisolering mellem boliger – eksisterende byggeri* (Rasmussen & Petersen 2014). Det er vigtigt at følge leverandørens monteringsvejledning for montage og tilslutning til tilstødende bygningsdele.



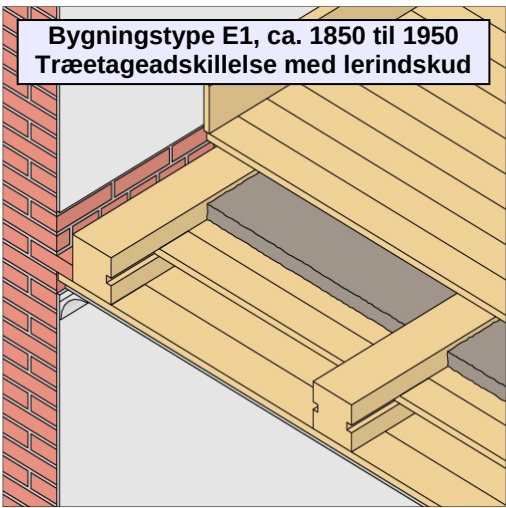
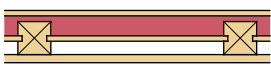
Figur 10. Principper for forbedring af lydisolation med fritbærende underloft (øverst) eller lydisolerende nedhængt loft (nederst). Pladebeklædningen kan fx være 2 lag gips og bæreprøfnerne af stål eller træ. Lodret snit. Ej målfast.



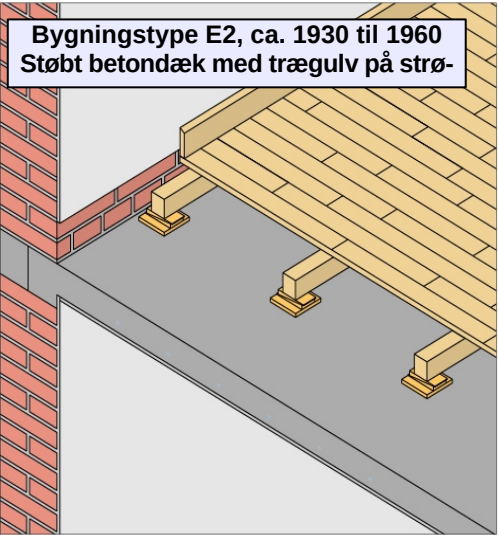
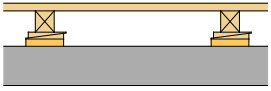
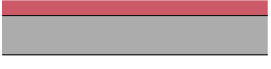
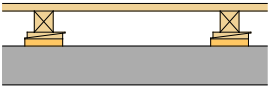
Figur 11. Principper for forbedring af lydisolation med forsatsvæg (til venstre) opsat foran eksisterende tung eller let væg eller forsatsbeklædning (til højre) opsat på tung væg. Pladebeklædningen kan fx være 2 lag gips og stolperne af stål eller træ. Vandret snit. Ej målfast.

Der fokuseres i den foreliggende rapport på trinlydløsninger ved ændringer af gulvkonstruktioner, og de angivne løsningsmuligheder til vægge og lofter behandles ikke yderligere i den foreliggende rapport.

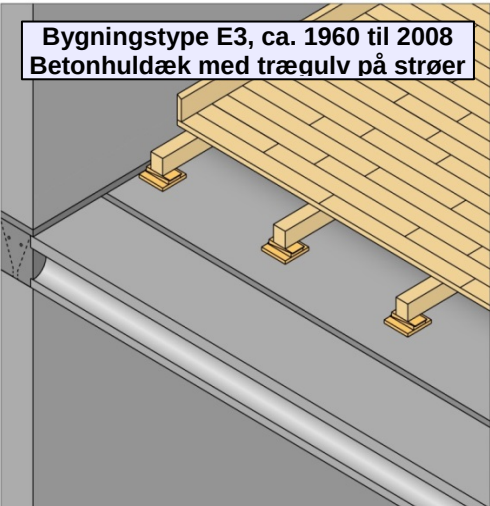
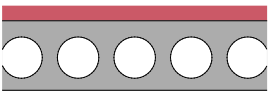
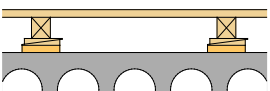
Typiske etageadskillelser for de tre bygningstyper E1, E2, E3 og principielle muligheder for forbedring af lydisolationen af etageadskillelserne ses i Figur 12, Figur 13, Figur 14. Forbedringspotentialer er beskrevet i SBi-anvisning 243 (Rasmussen & Petersen 2014).

Bygningstype E1, ca. 1850 til 1950 Træetageadskillelse med lerindskud	Forbedringsmuligheder	
	Konstruktion	Beskrivelse
		Træbjælkelag m. nyt lydisolerende overgulv
		Træbjælkelag m. nyt lydisolerende underloft
		Træbjælkelag m. ændret etageadskillelse og nyt gulv
		Træbjælkelag m. ændret etageadskillelse og nyt loft

Figur 12. Eksisterende træetageadskillelse, bygningstype E1. Principper for forbedringsmuligheder er vist til højre med rød farve.

Bygningstype E2, ca. 1930 til 1960 Støbt betondæk med trægulv på strøer	Forbedringsmuligheder	
	Konstruktion	Beskrivelse
		Betondæk 90-120 mm tykt m. nyt trægulv på strøer på trinlyddæmpende brikker
		Betondæk 90-120 mm tykt m. nyt gulv
		Betondæk m. eksisterende trægulv på strøer på bløde brikker og nyt lydisolerende underloft
		Betondæk m. nyt gulv og nyt lydisolerende underloft

Figur 13. Eksempel på eksisterende etageadskillelse, bygningstype E2. Principper for forbedringsmuligheder er vist til højre med rød farve.

Bygningstype E3, ca. 1960 til 2008 Betonhuldæk med trægulv på strøer	Forbedringsmuligheder	
	Konstruktion	Beskrivelse
		Betonhuldæk 220 mm m. nyt gulv
		Betonhuldæk 185 mm m. trægulv på strøer på bløde brikker og nyt lydisolerende underloft
		Betonhuldæk 185 mm m. nyt gulv og nyt lydisolerende underloft

Figur 14. Eksisterende etageadskillelse, bygningstype E3. Principper for forbedringsmuligheder er vist til højre med rød farve.

Erfaringsopsamling løsningsmuligheder – Danmark og udlandet

I projektet har der været søgt efter relevant litteratur om løsningsmuligheder for forbedring af lydisolering, og der har der været kontakt til danske rådgivere og andre i byggebranchen for at indsamle viden og erfaringer fra renoveringsprojekter. Endvidere har der været kontakt til udenlandske institutter og eksperter, der kunne forventes at have erfaring fra forbedring af lydisolering ved renovering. Samlet set foreligger der en del udenlandske erfaringer, men ofte er de knyttet til en national byggeskik og ikke direkte anvendelig i Danmark, og bred nyttiggørelse af erfaringer fra danske rådgivere er vanskeliggjort af, at der ofte ikke er gennemført lydisolationsmålinger i det færdige byggeri, eller målerapporterne beskriver ikke de boligadskillende og flankerende konstruktioner detaljeret nok til ekstern, generel brug, da formålet udelukkende har været kontrol af specifikke byggerier. Og i øvrigt er en målerapport altid rekvirentens ejendom, hvilket også komplicerer potentiel bredere nyttiggørelse, da der skal indhentes tilladelser, og første forudsætning er, at der overhovedet er kendskab til målerapportens eksistens.

Samlet set er følgende publikationer mest relevante:

- SBI-anvisning 172, *Bygningers lydisolering – Ældre bygninger*. (Kristensen, 1992a).
SBI-anvisning 173, *Bygningers lydisolering – Ældre bygninger*. (Kristensen, 1992b).
- SBI-anvisning 243, *Lydisolering mellem boliger – eksisterende byggeri*. (Rasmussen & Petersen, 2014)
- Grundejernes Investeringsfond (GI) og By- og Boligministeriet, *Bedre lydisolering i nyrenoverede boliger* (1999-2006).

Oplysninger om praksis i andre lande kan fx findes i følgende publikationer:

- SINTEF Byggforsk, Byggforskserien.
- COST Action TU0901, *Building acoustics throughout Europe. Volume 2: Housing and construction types country by country* (Rasmussen et al. (ed.), 2014).
- *Housing and sound insulation - Improving existing attached dwellings and designing for conversions*. (Smith et al., 2006).

Behov for løsninger til forbedring af lydisolering

Ca. 500.000, altså halvdelen af Danmarks etageboliger, er med træetageadskillelser og bygget før ca. 1950, dvs. før der var lydkrav og langt under dagens kravniveau med hensyn til lydisolering mod nabostøj. Ca. 100.000 boliger er med støbte etagedæk bygget 1930-1960 og også betydeligt under dagens standard. Af de sidste 400.000 etageboliger, opført som betonelementbyggeri 1960-2009, vurderes langt de fleste også at være under dagens kravniveau, og kun ca. 20.000 fra perioden 2010-2014 kan forventes at overholde de skærpede lydkrav indført i Bygningsreglementet fra 2008.

Der foreligger ikke nyere, danske beboerundersøgelser, der belyser gener af forskellige typer nabostøj, og de nationale SUSY-undersøgelser svarer heller ikke på, om luftlyd eller trinlyd er mest generende, kun hvor mange, der samlet set er generet af nabostøj, men i branchen er der en udbredt opfattelse af, at de største nabostøjproblemer skyldes trinlyd samt støj fra musik, TV og subwoofere. Indikationer fra tidligere undersøgelser, se Rasmussen & Rindel (1994), peger på trinlyd som det største problem.

I forbindelse med projektets afgrænsning er det vurderet, at det største behov for forbedring af lydisoleringen i etageboliger findes omkring trinlydiveauet lodret mellem lejligheder. Det er yderligere valgt primært at se på lydisoleringen mellem opholdsrum. Der er således ikke planlagt undersøgelser omkring baderum, trapperum mv.

Ved planlægning af feltmålinger og laboratorieforsøg er der taget udgangspunkt i følgende hovedtyper af etageadskillelser i boligbyggeri fra før 2010:

- Træetageadskillelser med lerindskud
- Støbte betondæk med trægulv på strøer på bløde brikker
- Betonhuldæk med trægulv på strøer på bløde brikker og kiler

Bygningstyper med træetageadskillelser (typisk fra før 1950) og muligheder for forbedring af lydisolationen for disse har tidligere været belyst ved feltmålinger i en forsøgsejendom samt ved laboratoriemålinger i et GI-projekt. Der er dog et behov for at uddybe eller supplere undersøgelserne med træetageadskillelser, især mht. feltmålinger, idet der kun er udført målinger på prototyper af fire forskellige løsningsforslag afprøvet i en ejendom.

Senere bygningstyper omfatter muret byggeri med pladsstøbte massive betondæk (50'erne og 60'erne) og elementbyggeri med betonhuldæk (70'erne og fremefter). I det meste af denne periode har der i bygningsreglementerne været et uforandret kravniveau med hensyn til lydisolation, og etageboligbyggeri af de nævnte bygningstyper må - uanset om de er opført i 50'erne eller senere - forventes stort set at opfylde dette kravniveau.

Fra og med Bygningsreglement 2008, se afsnit 3. *Lydisolationskrav for etageboliger* er der gennemført en skærpelse af kravniveauet til lydisolation i etageboliger i forhold til de tidligere bygningsreglementer. For trinlydniveauet er der således tale om en skærpelse af kravniveauet på 5 dB til $L'_{n,w} \leq 53$ dB, mens der for luftlydisolationen er en skærpelse på 2-3 dB til $R'_w \geq 55$ dB. Skærpelsen i lydkrav er altså størst for trinlyd.

Samlet set tages der til de videre undersøgelser udgangspunkt i, at trinlyd udgør det væsentligste problem, og derfor fokuseres på etageadskillelser.

Feltemålinger lydisolation - afgrænsning

Det var intentionen at finde boligbebyggelser af alle tre førnævnte bygningstyper (E1, E2, E3) til projektets feltemålinger. Det viste sig dog ikke gennemførligt at få adgang til et etageboligbyggeri med træetageadskillelser (E1). Derfor er der i projektet udført målinger i bebyggelser med hhv. in-situ støbte betondæk (E2) og betonhuldæk (E3), hvor det så til gengæld blev muligt at udvide antallet af målinger. En nærmere undersøgelse af bygningstypen E1, der har det største opgraderingsbehov, bliver forhåbentligt muligt i et fremtidigt projekt.

Uanset, at det er valgt at have større fokus på trinlyd, udføres målinger af både luftlydisolation og trinlydniveau for at få en samlet vurdering af bebyggelsernes lydisolation, se afsnit 6, der beskriver feltemålingerne.

Laboratorieforsøg trinlydforbedring - afgrænsning

I det aktuelle projekt er det med de førnævnte begrundelser valgt at koncentrere indsatsen omkring forbedringer af trinlyddæmpning i bygningstyper med tunge dæk, dvs. in-situ støbte dæk (E2) eller betonhuldæk (E3). Projektets laboratoriemålinger er på denne baggrund afgrænset til at omfatte afprøvning af gulvopbygninger på tunge dæk. Prøveemner og måleresultater er beskrevet i afsnit 7.

Renoveringsprocessen

Renoveringsprocessens planlægning og forløb er afgørende for resultatet, og derfor er det vigtigt, at lydforhold også inddrages i processen. Der er udgivet en del publikationer om renoveringsprocessen, se fx *AlmenVejledning i fremtidsanalyse* (AlmenNet, 2013a), *AlmenVejledning i helhedsplanlægning og myndighedssamarbejde* (AlmenNet, 2013b) og *Nye udfordringer for det almene boligbyggeri* (Landsbyggefonden, 2014).

6. Lydisolation mellem etageboliger – feltmålinger

Formålet med denne del af projektet er at udføre feltmålinger af luft- og trinlydisolation mellem boliger i udvalgte, typiske boligbebyggelser, bedst muligt repræsentative for de forskellige tidsperioder.

Målingerne skal således blandt andet medvirke til at underbygge de skønnede overordnede lydisolutionsværdier for forskellige konstruktionstyper, som angivet i Tabel 4 i afsnit 5.

Feltemålingerne i bebyggelser, der står foran renovering, skal samtidigt afklare bebyggelsernes status med hensyn til lydisolation og tydeliggøre behovet for lydmæssige forbedringer i forhold til dagens kravniveau for akustisk indeklima i boliger. Yderligere vil målingerne give et godt udgangspunkt for, hvor store forbedringer, der fx kræves for gulvenes trinlyddæmpning ved en renovering for at bringe trinlydniveauet i bebyggelsen i overensstemmelse med Bygningsreglement 2010.

I to bebyggelser har det også været muligt at gennemføre målinger efter udført renovering, og disse resultater skal medvirke til projektets billede af muligheder og valg, når lydforholdene inddrages i en renovering.

Udvælgelse af bebyggelser

Det var planen at gennemføre feltemålinger i tre forskellige bygningstyper:

- Bygningstype E1: Ældre muret byggeri med træetageadskillelser
- Bygningstype E2: Muret byggeri med støbte etageadskillelser
- Bygningstype E3: Betonelementbyggeri

Der blev gennem en række kontakter, inkl. Landsbyggefonden, søgt efter relevante bebyggelser, hvor renovering skulle påbegyndes og feltemålingerne tidsmæssigt kunne indpasses i renoveringsprocessen og projekttidsplanen. Der blev etableret kontakt til i alt 13 specifikke projekter og ca. 10 yderligere kontakter til rådgivere og boligselskaber og udarbejdet lister med bebyggelsesdata, adresser, konstruktioner, tidsplaner og kontaktpersoner mv.

Der kom aftaler i stand om feltemålinger i to bebyggelser af typen E2 og to af typen E3. Af forskellige grunde blev ikke muligt at få adgang til gennemførelse af feltemålinger i bygningstype E1, og det blev besluttet i stedet at udvide med flere målinger efter renovering i den ene bebyggelse af typen E3.

Bebyggelser valgt til feltemålinger

I Tabel 6 findes en samlet oversigt over karakteristika for de fire bebyggelser Rosenvænget, Kagshusene, Lunden og Ladegårdsparken, hvor feltemålinger blev gennemført før renovering. I de to sidstnævnte bebyggelser blev der tillige gennemført målinger efter renovering, se nærmere i det følgende. Kortfattede beskrivelser af bebyggelserne findes i appendikserne A-D.

Tabel 6. Hovedkarakteristika for bebyggelser valgt til feltmålinger, byggeår og konstruktionsopbygning inden renovering, inkl. højde af gulvkonstruktioner.

Bygningstype Bebyggelsens navn og by	Antal lejligheder	Boligadskillende konstruktioner		Byggeår	Renoverings- år (plan)
		Etage- adskillelser	Vægge		
Bygningstype E2 Rosenvænget, Frederikssund	115 + 18 klubvær.	120 mm in-situ beton Gulv 90 mm	Bredsten muret, pudset (170 mm)	1951-1962	Fra 2012
Bygningstype E2 Kagshusene, Brønshøj	254	150 mm in-situ beton Gulv 130 mm	1/1 stens muret, pudset (240 mm)	1955-1959	2011-2012
Bygningstype E3 Lunden, Brøndby Strand	309	230 mm beton- huldæk Gulv 90 mm	150 mm beton- elementer	1971	2010-2012
Bygningstype E3 Ladegårdsparken, Holbæk	910 fordelt på etaper I og II	230 mm beton- huldæk I: Gulv 30 mm II: Gulv 90 mm	150 mm beton- elementer	1972-1978 1991-1992 ny tagetage 1997 facade- renovering	Fra 2012

Alle bebyggelserne har trægulve og hovedparten trægulve på strøer. Ladegårdsparken etape I har dog fladelejlrede gulve. Med strøgulve på 90 – 130 mm er der tale om gulvhøjder, der er lavere end de ofte i nyere byggerier anvendte gulvopbygninger. Dette har stor betydning for valg af forbedringsmuligheder, da de nye gulve bør have samme højde som de gamle for at undgå komplikationer med ændring af døre og dørtrin.

Planlægning af målinger i bebyggelserne (prøveudtagning)

Resultaterne af feltmålingerne i de enkelte bebyggelser indgår i den samlede projektdokumentation for lydisoleringen i de valgte bygningstyper. Formålet med projektmålingerne er fremskaffelse af repræsentative resultater for luft- og trinlydisolation af lejlighedsskel, men ikke at foretage en samlet kontrol af alle øvrige lydkrav i henhold til relevante bygningsreglementer, hvilket ville have betydet yderligere kontroller af fx krav til lydisolering fra trapperum og badeværelser samt til efterklangstid i trapperum og støjniveau fra tekniske installationer.

For at få en mere sikker projektdokumentation for lydisolering mellem boliger i de udvalgte bebyggelser, blev der i hver af bebyggelserne gennemført et noget større antal målinger af luftlydisolation og trinlydniveau end der normalt ville blive udført ved en almindelig kontrol i en bebyggelse. Derved opnåedes en større repræsentation af flere rumsituationer, så resultaterne blev mere repræsentative for bebyggelsen. Både typiske situationer (fx stuer) og eventuelle kritiske situationer i bebyggelserne var repræsenteret i måleprogrammet, og der blev som sædvanligt ved kontrol af bebyggelser valgt en kombination af vandrette og lodrette målinger, dog primært lodrette målinger, som ofte er kritiske for trinlydresultaterne.

Målingernes gennemførelse og måleresultater

Målingerne i de fire bebyggelser blev gennemført i perioden 2012-2014. Der er for hver af bebyggelserne udarbejdet en detaljeret målerapport med beskrivelse af bebyggelserne, oversigter over udførte målinger og kurveblade med lydisoleringen afbildet som funktion af frekvensen samt diagrammer med sammenligninger af måleresultater og beskrivelse af målemetode.

Der er herudover, hvilket ikke er normalt for feltmålerapporter, i videst muligt omfang givet detaljerede beskrivelser af adskillende og flankerende konstruktioner og bygningsdele som grundlag for gennemførelse af beregninger.

De fire målerapporter er:

- *Måling af lydisolation i bebyggelsen Rosenvænget i Frederikssund før renovering.* DELTA rapport TC-100730 (Thysell & Hoffmeyer, 2015).
- *Måling af lydisolation i bebyggelsen Kagshusene i Brønshøj før renovering.* DELTA rapport TC-100729 (Thysell & Hoffmeyer, 2015).
- *Måling af lydisolation i bebyggelsen Lunden i Brøndby Strand før og efter renovering.* DELTA rapport TC-100728 (Thysell & Hoffmeyer, 2015).
- *Måling af lydisolation i bebyggelsen Ladegårdsparken i Holbæk før og efter renovering.* DELTA rapport TC-100727 (Thysell & Hoffmeyer, 2015).

I appendikserne A-D findes kortfattede beskrivelser af bebyggelserne samt oversigter over måleresultater (vægtede værdier) med angivelse af sende- og modtagerum.

Der er i alle fire bebyggelser udført målinger før renoveringen. Pga. projektets ressourcemæssige begrænsninger og tidsplaner, har der ikke kunnet udføres målinger efter renoveringen i mere end to af bebyggelserne. Der er i Ladegårdsparken udført målinger i prøvelejligheder, hvor flere forskellige gulvløsninger var monteret for at demonstrere forskellige løsninger som grundlag for beslutning om gulvtyper til renoveringen.

I det følgende findes en komprimeret sammenstilling af måleresultaterne i tabeller, hvor også gulvtyperne er angivet:

- Tabel 7. Rosenvænget - Målinger før renovering.
- Tabel 8. Kagshusene - Målinger før renovering.
- Tabel 9. Lunden - Målinger før renovering.
- Tabel 10. Lunden - Målinger efter renovering.
- Tabel 11. Ladegårdsparken Etape I - Målinger før renovering.
- Tabel 12. Ladegårdsparken Etape I - Målinger i prøvelejlighed (renoveringsmuligheder).
- Tabel 13. Ladegårdsparken Etape I - Målinger efter renovering.
- Tabel 14. Ladegårdsparken Etape II - Målinger før renovering.
- Tabel 15. Ladegårdsparken Etape II - Målinger i prøvelejlighed (renoveringsmuligheder).

I tabellerne er der for de enkelte bebyggelser angivet husnummer samt måleresultater for vandrette og lodrette målinger af typiske rumsituationer. Numrene på målingerne er angivet i parentes. Flere oplysninger findes i appendikserne A-D og i ovennævnte målerapporter.

Efterfølgende er måleresultaterne sammenlignet med lydkrav, se Tabel 16, og en grafisk sammenstilling af måleresultaterne for de enkelte bebyggelser findes i Figur 15-19.

Rosenvænget

Tabel 7. Rosenvænget - Målinger før renovering.

Husnr.: 11	Luftlyd R'_w	Trinlyd $L'_{n,w}$	Gulv
Vandret	47/48 dB (Måling 2/1)	52/52 dB (Måling 8/9)	22 mm trægulv på strøer på træfiberbrik. Gulvhøjde ca. 90 mm
Lodret	49/49/49/50/50 dB (Måling 3/5/6/4/7)	58/60/62/62/63 dB (Måling 11/10/12/13/14)	22 mm trægulv på strøer på træfiberbrik. Gulvhøjde ca. 90 mm

Kagshusene

Tabel 8. Kagshusene - Målinger før renovering.

Husnr.: 18-20	Luftlyd R'_w	Trinlyd $L'_{n,w}$	Gulv
Vandret	49/52/53/54 dB (Måling 1/3/2/9)	52/53/54 dB (Måling 10/11/14)	28 mm trægulv på strøer på kork. 30 mm mineraluld mellem strøer. Gulvhøjde ca. 130 mm
Lodret	54/54/54/55/55 dB (Måling 5/7/8/4/6)	58/59/59/59/59 dB (Måling 15/12/13/16/17)	28 mm trægulv på strøer på kork. 30 mm mineraluld mellem strøer. Gulvhøjde ca. 130 mm

Lunden

Tabel 9. Lunden - Målinger før renovering.

Husnr.: 43	Luftlyd R'_w	Trinlyd $L'_{n,w}$	Gulv
Vandret	53/54/56/56 dB (Måling 3/7/1/8)	46/50 dB (Måling 11/14)	22 mm trægulv på strøer på plastkiler. Gulvhøjde ca. 90 mm
Lodret	56/57/57/59 dB (Måling 6/2/5/4)	53/57/58/58/58 dB (Måling 17/16/12/13/15)	22 mm trægulv på strøer på plastkiler. Gulvhøjde ca. 90 mm

Tabel 10. Lunden - Måling af forbedring efter renovering af gulv. Sammenligning af resultater af målinger før og efter renovering.

Husnr.: 43	Luftlyd R'_w	Trinlyd $L'_{n,w}$	Gulv
Lodret (se Tabel 9)	57/59 dB (Måling 2/4)	53/57/58/58/58 dB (Måling 17/16/12/13/15)	Eksisterende gulv (22 mm trægulv på strøer på plastkiler). Gulvhøjde ca. 90 mm
Lodret (efter renovering, samme rum)	58/59 dB (Måling 9/10)	49/52/53/53/53 dB (Måling 21/18/19/20/22)	Gulv efter renovering (22 mm trægulv på strøer på plastkiler på 5 mm lydbrik af gummi). Gulvhøjde ca. 95 mm

Ladegårdsparken Etape I

Tabel 11. Ladegårdsparken Etape I - Målinger før renovering.

Husnr.: 99	Luftlyd R'_w	Trinlyd $L'_{n,w}$	Gulv
Vandret	56 dB (Måling 1)	45 dB (Måling 16)	(17 mm trægulv på korkgranulat). Gulvhøjde ca. 30 mm
Lodret	53/53 dB (Måling 2/8)	57/57 dB (Måling 17/23)	(17 mm trægulv på korkgranulat). Gulvhøjde ca. 30 mm

Tabel 12. Ladegårdsparken Etape I - Målinger i prøvelejlighed (renoveringsmuligheder).

Husnr.: 99	Luftlyd R'_w	Trinlyd $L'_{n,w}$	Gulv
Lodret	53 dB (Måling 8)	57 dB (Måling 23)	Eksisterende gulv (17 mm trægulv på korkgranulat). Gulvhøjde ca. 30 mm
Lodret	54 dB (Måling 9)	58 dB (Måling 24)	Prøvegulv (14 mm trægulv på 5 mm akustikmåtte). Gulvhøjde ca. 19 mm

Tabel 13. Ladegårdsparken Etape I - Målinger efter renovering (ingen før-målinger).

Husnr.: 77	Luftlyd R'_w	Trinlyd $L'_{n,w}$	Gulv
Lodret	51/52/54 dB (Måling 14/13/15)	56/57/57/57 dB (Måling 28/29/30/31)	14 mm trægulv på 5 mm akustikmåtte. Gulvhøjde ca. 19 mm

Ladegårdsparken Etape II

Tabel 14. Ladegårdsparken Etape II - Målinger før renovering.

Husnr.: 121	Luftlyd R'_w	Trinlyd $L'_{n,w}$	Gulv
Vandret	57 dB (Måling 5)	43 dB (Måling 21)	21 mm trægulv på strøer på træfiberbrik. Gulvhøjde ca. 90 mm
Lodret	55/56/59 dB (Måling 6/7/4)	55 dB/57 dB (Måling 20/22)	21 mm trægulv på strøer på træfiberbrik. Gulvhøjde ca. 90 mm

Tabel 15. Ladegårdsparken Etape II - Målinger i prøvelejlighed (renoveringsmuligheder).

Husnr.: 121	Luftlyd R'_w	Trinlyd $L'_{n,w}$	Gulv
Lodret	56 dB (Måling 7)	57 dB (Måling 22)	Eksisterende gulv (21 mm trægulv på strøer på træfiberbrik). Gulvhøjde ca. 90 mm
Lodret	53 dB (Måling 10)	60 dB (Måling 25)	Prøvelejlighed (14 mm trægulv på gipsplader på tørgranulat). Gulvhøjde ca. 95 mm
Lodret	54 dB* (Måling 12)	56 dB* (Måling 26)	Prøvelejlighed (14 mm trægulv på gipsplader på tørgranulat). Gulvhøjde ca. 95 mm
Lodret	57 dB* (Måling 11)	46 dB* (Måling 27)	Prøvegulv (14 mm trægulv på 22 mm spånplade på strøer på kiler på lydbrik af gummi med 50 mm mineraluld imellem). Gulvhøjde ca. 120 mm

*Andet rum end måling med eksisterende gulv

Sammenfatning resultater fra feltmålinger og sammenligning med lydkrav

I Tabel 16 findes en samlet oversigt over bebyggelserne med angivelse af overholdelse af eventuelt bygningsreglementskrav på opførelsestidspunktet samt det nugældende Bygningsreglement 2010. For bebyggelserne Rosenvænget og Kagshusene er der givet byggetilladelse, inden lydkrav blev indført, og lydkrav har derfor ikke endnu været gældende.

Tabel 16. Samlet angivelse af overholdelse lydkrav i de fire bebyggelser.

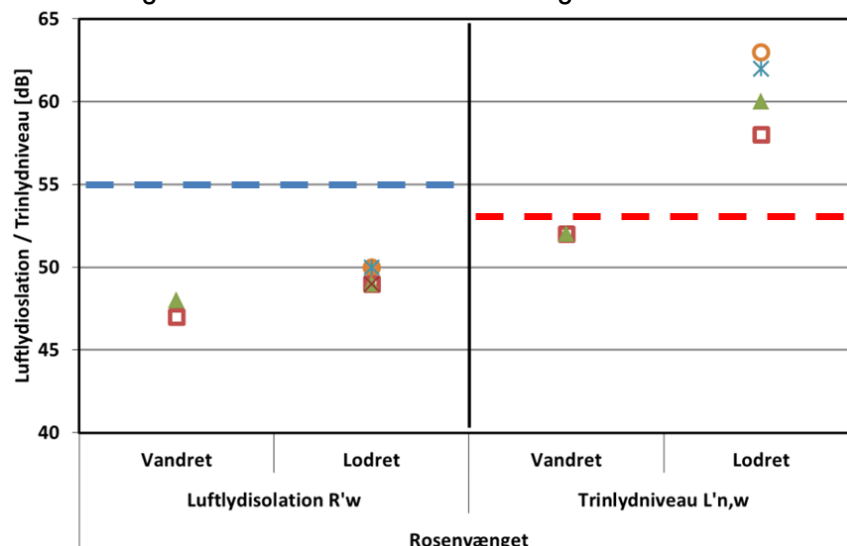
Note: Selv om der er angivet Nej, kan der være enkelte målinger, der opfylder kravene, se Figur 15 - 19

Bebyggelse	Kravoverholdelse før renovering		Kravoverholdelse efter renovering		Kommentarer
	Opførelse	BR2010	Opførelse	BR2010	
Rosenvænget Frederikssund	Ingen krav	Nej	Ikke målt	Ikke målt	Ingen bygningsreglementskrav ved opførelsen
Kagshusene Brønshøj	Ingen krav	Nej	Ikke målt	Ikke målt	Ingen bygningsreglementskrav ved opførelsen
Lunden Brøndby Strand	Ja	Nej	Ja	Ja	Gulve udskiftet pga. defekt underlag
Ladegårdsparken Holbæk, Etape I	Ja	Nej	Ja	Nej	Gulve udskiftet pga. defekt underlag
Ladegårdsparken Holbæk, Etape II	Ja	Nej	Ikke målt	Ikke målt	Gulve udskiftet pga. defekt underlag

Af tabellen ses, at bebyggelserne Lunden og Ladegårdsparken I og II overholder bygningsreglementskrav gældende ved opførelsen. For Lunden kan det bemærkes, at gulvene ved renoveringen er udskiftet til en type med bedre trinlyddæmpning, og Bygningsreglement 2010 overholdes i den renoverede bebyggelse. I Ladegårdsparken er gulvene også udskiftet, men der er i Etape I ikke valgt gulve med en trinlyddæmpning, så de nugældende krav kan overholdes, hvilket heller ikke er lovpligtigt. Der er ikke målt i Etape II efter renoveringen.

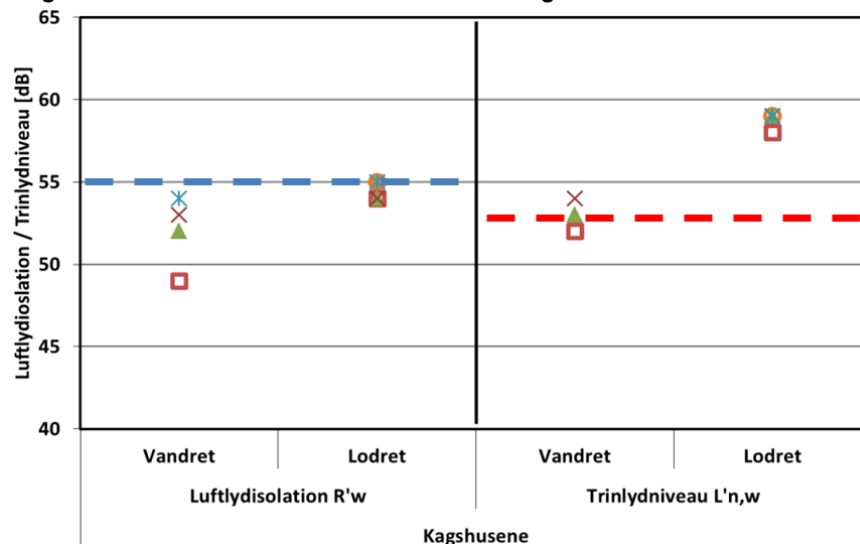
Måleresultaterne for de enkelte bebyggelser er udover i tabellerne 7-15 præsenteret grafisk i Figur 15, Figur 16 og Figur 17 for hhv. Rosenvænget, Kagshusene og Lunden og i Figur 18 og Figur 19 for hhv. Ladegårdsparken I og II. Dette gør det blandt andet muligt at overskue, hvor de enkelte resultater ligger i forhold til hinanden og i forhold til dagens kravniveau for lydisola-tion: Luftlydisolation, $R'_w \geq 55$ dB, Trinlydniveau, $L'_{n,w} \leq 53$ dB.

Rosenvænget – Måleresultater før renovering



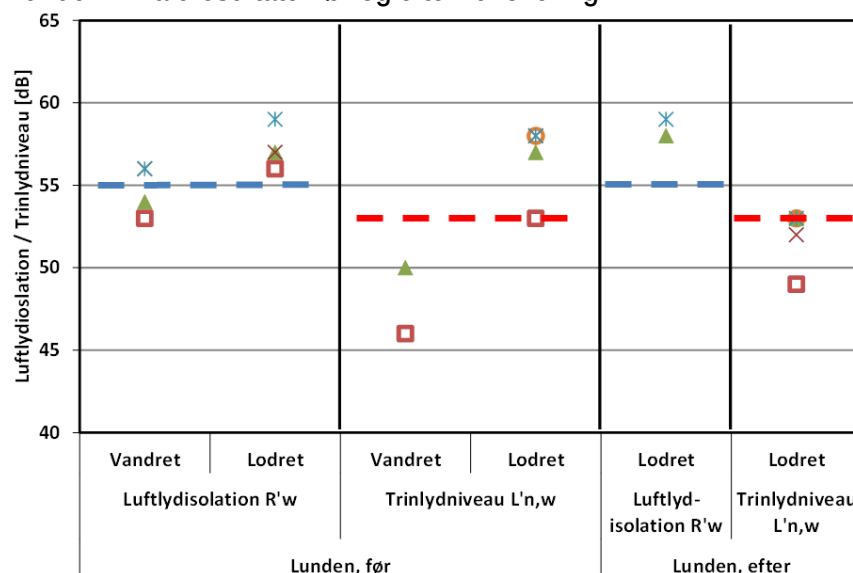
Figur 15. Rosenvænget – Alle måleresultater for luftlydisolation R'_w og trinlydniveau $L'_{n,w}$ afbildet i diagram (7 målinger R'_w og 7 målinger $L'_{n,w}$). Målinger på eksisterende forhold. Grænseværdierne i Bygningsreglement 2010, dvs. min R'_w og max $L'_{n,w}$, er angivet med hhv. blå og røde vandrette, stiplede linjer.

Kagshusene – Måleresultater før renovering



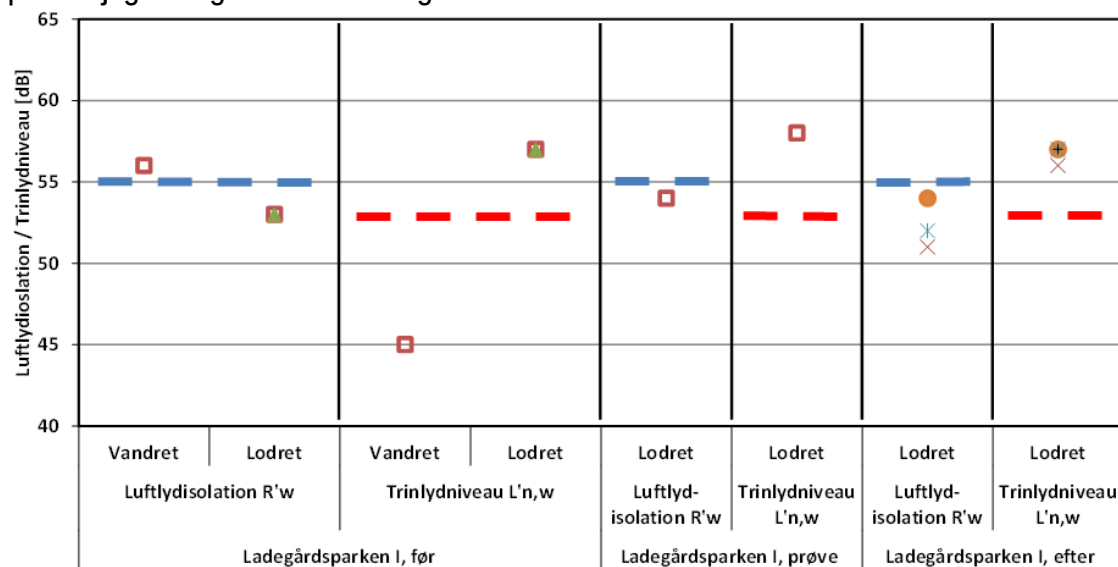
Figur 16. Kagshusene - Alle måleresultater for luftlydisolation R'_w og trinlydniveau $L'_{n,w}$ afbildet i diagram (9 målinger R'_w og 8 målinger $L'_{n,w}$). Målinger på eksisterende forhold. Grænseværdierne i Bygningsreglement 2010, dvs. min R'_w og max $L'_{n,w}$, er angivet med hhv. blå og røde vandrette, stiplede linjer.

Lunden – Måleresultater før og efter renovering



Figur 17. Lunden - Alle måleresultater for luftlydisolation R'_w og trinlydniveau $L'_{n,w}$ afbildet i diagram (8 målinger R'_w og 7 målinger $L'_{n,w}$ før renovering, 2 og 5 efter). Grænseværdierne i Bygningsreglement 2010, dvs. min R'_w og max $L'_{n,w}$, er angivet med hhv. blå og røde vandrette, stiplede linjer.

Ladegårdsparken Etape I – Måleresultater før renovering, i prøvelejlighed og efter renovering



Figur 18. Ladegårdsparken I - Alle måleresultater for luftlydisolation R'_w og trinlydniveau $L'_{n,w}$ afbildet i diagram (3 målinger R'_w og 3 målinger $L'_{n,w}$ før renovering, 2 og 2 i prøvelejlighed, 3 og 4 efter renovering). Grænseværdierne i Bygningsreglement 2010, dvs. min R'_w og max $L'_{n,w}$, er angivet med hhv. blå og røde vandrette, stiplede linjer.

Figure 10 consists of two side-by-side plots comparing sound level measurements and calculations for two measurement points: 'Ladegårdsparken II, før' (left) and 'Ladegårdsparken II, prøve' (right). The y-axis for both plots is 'Luftlydisiation / Trinlydniveau [dB]' ranging from 40 to 65. The x-axis for the left plot shows 'Luftlydisiation R'w' (Vandret, Lodret) and 'Trinlydniveau L'n,w' (Vandret, Lodret). The x-axis for the right plot shows 'Luftlydisiation R'w' (Lodret) and 'Trinlydniveau L'n,w' (Lodret). Data points are marked with various symbols: red squares, green triangles, orange circles, and blue crosses. A horizontal dashed line is at 55 dB in the left plot and 53 dB in the right plot.

Measurement Point	Measurement Type	Direction	Symbol	Value [dB]
Ladegårdsparken II, før	Luftlydisiation R'w	Vandret	Red square	57
		Lodret	Red square	55
	Trinlydniveau L'n,w	Vandret	Red square	43
		Lodret	Green triangle	57
Ladegårdsparken II, prøve	Luftlydisiation R'w	Lodret	Orange circle	57
		Lodret	Blue cross	54
	Trinlydniveau L'n,w	Lodret	Green triangle	60
		Lodret	Orange circle	46

Beregningsresultater og -erfaringer

Overordnet er der rimelig overensstemmelse mellem de beregnede værdier for luftlydisolation og trinlydniveau og de måleresultater, der er opnået ved feltmålingerne i de fire etageboligbyggerier. For hovedparten af beregningsresultaterne er forskellen således indenfor ± 3 dB i forhold til de målte værdier. Det indgår dog, at kendskabet til måleresultaterne i nogen grad har gjort det muligt at finjustere beregningerne i forhold til disse. Det har fx været muligt at revurdere og justere valget af gulvkonstruktion fra beregningsprogrammets datasamling i de tilfælde, hvor der ikke har været data for den konkrete gulvtype.

For tunge konstruktioner i nybyggeri, hvor kendskabet til de aktuelle konstruktioner typisk er betydeligt bedre end i eksisterende byggeri, regnes der ofte med en beregningsusikkerhed på $\pm 3-5$ dB på R'_w og for $L'_{n,w}$ lodret for rum med normal størrelse i boliger. Beregningseksempler og beskrivelse af usikkerhed findes i appendikserne A og B i SBi-anvisning 237, *Lydisolering mellem boliger – nybyggeri* (Rasmussen et al., 2011).

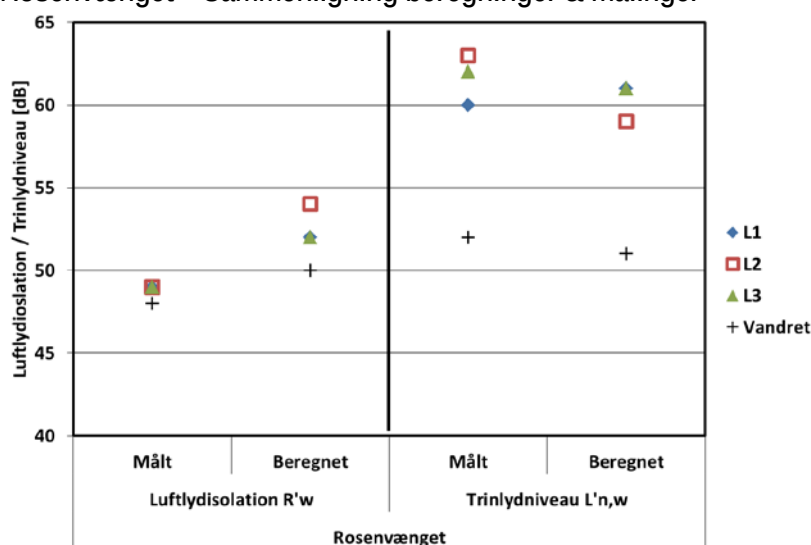
I figurerne nedenfor er der for hver af de fire etageboligbebyggelser gengivet en sammenligning mellem de beregnede og de målte værdier af luftlydisolation og trinlydniveau. For bebyggelserne Lunden og Ladegårdsparken indgår både data før og efter ændringer af gulvopbygning. Figurerne viser de enkelte beregnings- og måleresultater og den overordnet gode indbyrdes overensstemmelse – trods enkelte større afvigelser mellem beregnede og målte værdier.

For Rosenvænget beregnes primært luftlyd- og trinlydværdier, der er bedre end de målte værdier. Dette kan eventuelt skyldes, at dæktykkelserne er udført endnu tyndere end de angivne 120 mm, hvilket vil betyde en forringelse af den målte lydisolation sammenlignet med den beregnede lydisolation.

For Kagshusene er afvigelserne mindre, men der er specielt en stor afvigelse mellem det beregnede og det målte trinlydniveau vandret. Det vurderes, at en del af forskellen skyldes, at beregningsmetoden for trinlyd vandret kun medtager transmissionsvejen gennem gulvet, men ikke via flankerende vægge.

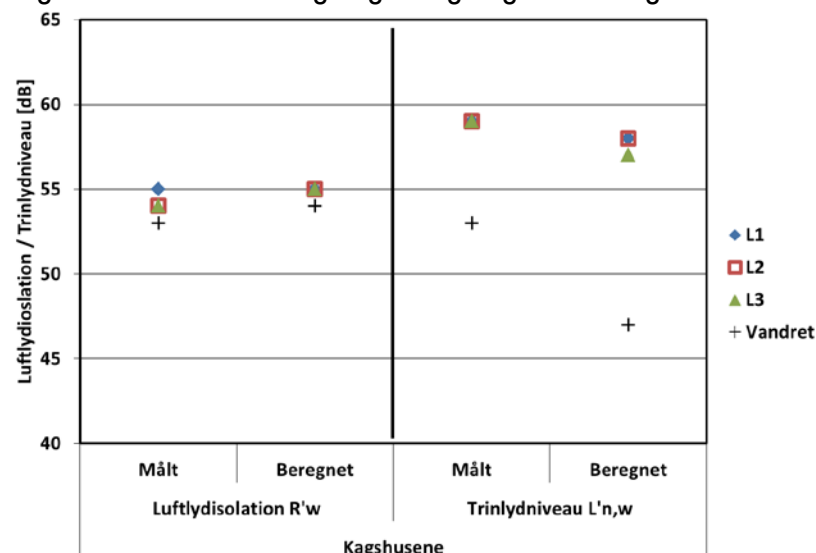
For betonelementbyggerierne Lunden og Ladegårdsparken måles typisk lidt bedre værdier end beregnet, hvilket også erfaringsmæssigt kan forventes i dansk betonelementbyggeri, jf. SBi-anvisning 237, *Lydisolering mellem boliger – nybyggeri* (Rasmussen et al., 2011).

Rosenvænget – Sammenligning beregninger & målinger



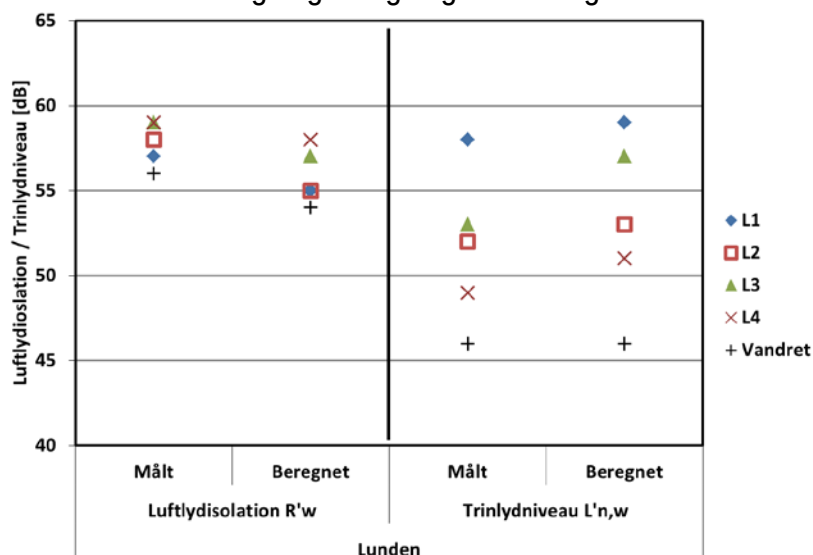
Figur 20. Rosenvænget – Sammenligning af beregnede og målte værdier af luftlydisolation R'_w og trinlydniveau $L'_{n,w}$.

Kagshusene – Sammenligning beregninger & målinger



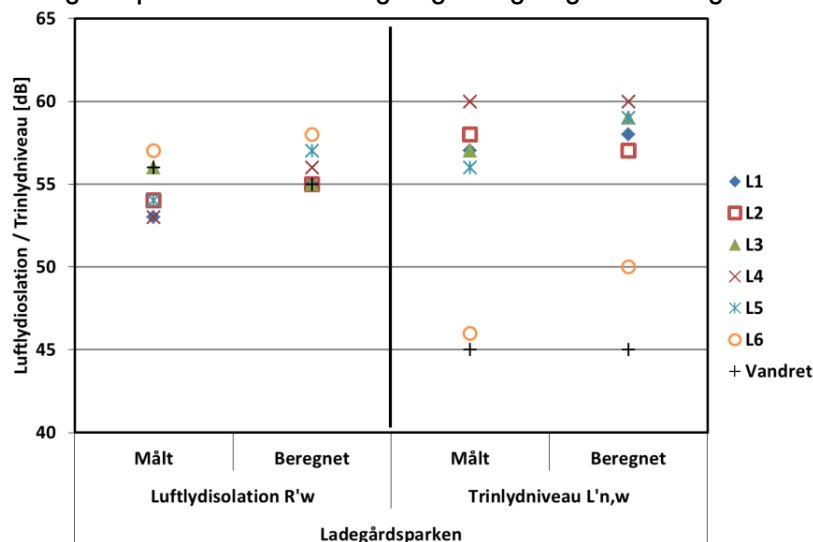
Figur 21. Kagshusene – Sammenligning af beregnede og målte værdier af luftlydisolation R'_w og trinlydniveau $L'_{n,w}$.

Lunden – Sammenligning beregninger & målinger



Figur 22. Lunden – Sammenligning af beregnede og målte værdier af luftlydisolation R'_w og trinlydniveau $L'_{n,w}$.

Ladegårdsparken – Sammenligning beregninger & målinger



Figur 23. Ladegårdsparken – Sammenligning af beregnede og målte værdier af luftlydisolation R'_w og trinlydniveau $L'_{n,w}$.

Sammenfatning feltmålinger og beregninger

Feltemålingerne har i store træk underbygget de skønnede overordnede lyd-isolationsværdier for forskellige konstruktionstyper, som angivet i Tabel 4 i afsnit 5. For de to undersøgte bygningstyper ser billedet dog noget forskelligt ud.

Mellem de to murede byggerier med støbte etageadskillelser er der således – som forventet som følge af markante forskelle i dæktykkelser, gulvopbygning og vægtykkelser – store indbyrdes forskelle på lydisolationsværdierne, der betyder, at mens det ene byggeri stort set opfylder kravniveauet før 2008 har det andet byggeri en betydeligt lavere lydisolationsværdi. De i dette byggeri valgte konstruktioner – små dæktykkelser (120 mm og derunder) og bredstenvægge – indikerer, at der næppe har været fokus på lydisolationsværdien ved opførelsen.

For de to elementbyggerier er der mere overensstemmelse og kun enkelte rum, der skiller sig positivt eller negativt ud fra gennemsnittet. Alle målte værdier overholder kravniveauet fra før 2008, dog med mindst mulig margin for det lodrette trinlydniveau.

Samlet viser måleresultaterne fx for trinlyd, at der i tre af bebyggelserne ved udskiftning af gulve er behov for en forbedring af trinlyddæmpningen på ca. 5 dB, svarende til forskellen mellem kravniveauet før og efter 2008, mens der i den fjerde bebyggelse er behov for en forbedring på op til 10 dB.

For målingerne efter renovering i de to elementbyggerier, hvor gulve er udskiftet ses det, at der i det ene byggeri er valgt at forbedre trinlydniveauet svarende til nugældende krav, mens lydisolationsværdien i den anden bebyggelse svarer til kravniveauet før 2008.

Feltemålingerne indikerer, at der forud for en renovering er god mening i at gennemføre nogle stikprøvevise lydisolationsmålinger med henblik på at afklare, om bebyggelsen afviger fra det forventede lydisolationsniveau. Resultaterne viser også, at behovet for målinger er mindst i traditionelt elementbyggeri, hvor kravniveauet i højere grad kan forventes opfyldt.

Som nævnt i underafsnittet om beregningsresultater og -erfaringer vil brug af beregninger i nogen grad kunne supplere de stikprøvevise feltemålinger for bebyggelsens hovedkonstruktioner. Der vil yderligere kunne gennemføres beregninger for samtlige af bebyggelsens rumtyper, og samtidigt kan beregningerne – under hensyn til beregningsusikkerheden – bruges til at forudsige effekten af valgte efterisoleringsløsninger ved renoveringen af bebyggelsen.

Kombinationen af feltemålinger og lydisolationsberegninger vurderes således at være et vigtigt værktøj i forbindelse med projektering og gennemførelse af renovering, hvor der også er fokus på det akustiske indeklima.

7. Laboratorieforsøg af trinlydforbedring

Formålet med denne del af projektet har været at undersøge forbedringsmuligheder af trinlyddæmpning, der kan bringe lydisolationen i eksisterende byggeri med betondæk på niveau med dagens lydbestemmelser eller bedre. Fra og med Bygningsreglement 2008 er der gennemført en skærpelse af kravniveauet til lydisolation i etageboliger i forhold til de tidligere bygningsreglementer. For trinlydniveauet er der således tale om en skærpelse af kravniveauet på 5 dB til $L'_{n,w} \leq 53$ dB, mens der for luftlydisolationen kun er en skærpelse på 2-3 dB til $R'_w \geq 55$ dB.

Ideer til forbedring af gulvkonstruktioners trinlydforbedring

I forbindelse med udvælgelse af ideer til efterisoleringsløsninger er der foretaget en række valg og fravalg med hensyn til bygningsdele, bygningstyper og gulvopbygninger.

Det er, jf. Afsnit 5, valgt at se på bygningsdelene, der indgår i bygningernes etageadskillelser, og ikke på ideer til forbedring af lejlighedsadskillende vægge eller andre bygningsdele, der har betydning for lydforholdene i etageboligbyggeri. Det er yderligere valgt, at løsningerne skal omfatte gulve, som de forefindes i opholdsrum og køkkener.

Ud fra de i projektet valgte bygningstyper og de på denne baggrund gennemførte feltundersøgelser, har fokus ved laboratoriemålingerne været på bygninger (som opført i 50'erne og 60'erne) med pladsstøbte massive betondæk og elementbyggeri (som opført i 70'erne og fremefter) med betonhuldæk, dvs. bygningstyperne E2 og E3 (se afsnit 5). Behovet for undersøgelser af forbedringsmulighederne for træetageadskillelser til bygningstype E1 er fortsat stort, men ikke muligt at inkludere i det foreliggende projekt. Videre undersøgelser af bygningstype E1 og forbedringsmuligheder er derfor ønskelige i et eventuelt fremtidigt projekt.

Hovedparten af etageboligbyggeriet af typerne E2 og E3 er forsynet med et trægulv på strøer på opklodsninger på betondækket. Gulvenes indbygningshøjde har – specielt i forhold til nyere byggeri – været begrænset, dvs. omkring 90 mm, typisk svarende til et trægulv på træstrøer med lav opklodsning af træstykker evt. med en blød brik eller af plastkiler.

Ideerne til efterisoleringsløsninger har derfor primært omfattet muligheder for at forbedre trinlyddæmpningen ved udskiftning til nye trægulve på strøer alternativt andre svømmende trægulve med en begrænset indbygningshøjde (under 110 mm) på et beton- eller betonhuldæk. Udgangspunktet har været, at laboratoriemålingerne kunne gennemføres på det bygningsakustiske laboratoriums standardbetondæk, som opfylder kravene til referencedæk i DS/EN ISO 10140 (2010). Se nærmere om dokumentation for produkters lydegenskaber i Afsnit 3.

I det følgende beskrives ideer til efterisoleringsløsninger til forbedring af trinlyddæmpningen - og i mindre omfang luftlydisolationen - i forhold til de eksisterende gulve i de udvalgte bygningstyper. Gulvene opdeles i 2 grupper, som i den foreliggende rapport betegnes hhv. trægulve på strøer og fladelejrte trægulve. Begge grupper er svømmende gulve.

En efterisoleringsmulighed kunne også være opsætning af et nedhængt lydisolerende loft, jf. Afsnit 5, enten alene eller i kombination med en forbedring af gulvet. Den forbedring af luftlydisolation og trinlydniveau, der herved kan opnås, er ikke yderligere behandlet i projektet, men er detaljeret beskrevet SBI-anvisning 243, *Lydisolering mellem boliger – eksisterende byggeri* (Rasmussen & Petersen, 2014).

Trægulve på strøer

Ideerne til forbedring af trægulve på strøer har taget udgangspunkt i de gængse opbygninger med trægulve i byggeriet fra 1950'erne til 1970'erne. Der er her oftest benyttet trægulve på strøer på opklodsning med en blød træfiberbrik eller lignende, senere i perioden ofte med et sæt plastkiler som opklodsning. Den totale konstruktionshøjde har typisk været under 110 mm, oftest omkring 90 mm.

Ideerne til forbedring af trægulve på strøer har taget udgangspunkt i følgende forslag til efterisoleringsløsninger:

- Nye trinlyddæmpende underlag under opklodsning eller kiler
- Egentlige svingningsdæmpere under strøer
- Strøer med indbygget dæmpning
- Systemer med stålstrøer
- Dæmpningslag mellem en ekstra guldplade og trægulvet
- Lydabsorberende materiale i hulrum mellem strøer

Målsætningen er, at der med efterisoleringsløsningen kan opnås en forbedring af trinlydniveauet i bygningen på mindst ca. 5 dB, svarende til skærpeisen i Bygningsreglement 2008.

Til laboratorieforsøgene har det dog ikke inden for projektets rammer været muligt at udvælge prøveemner svarende til alle de ovenfor nævnte ideer til efterisoleringsløsninger. Der er således ikke arbejdet med strøer med indbygget dæmpning eller dæmpningslag mellem plade/trægulv og kun i begrænset omfang med stålstrøer.

Fladelejrede trægulve

Nogle eksisterende strøgulvskonstruktioner har en så lille total konstruktionshøjde, dvs. under 90 mm, at det kan være nødvendigt at udføre efterisoleringsløsningen med et fladelejret gulv.

Der er også i en enkelt bebyggelse under projektets feltmålinger fundet fladelejrede gulve i form af trægulve på korkgranulat. Da indbygningshøjden af dette gulv er meget lille (under 40 mm), vil det her også være nødvendigt at se på ideer til nye fladelejrede trægulve med en god trinlyddæmpning.

Det vurderes, at der i almindelighed ikke med gængse tynde trinlyddæmpende underlag direkte under trægulve kan opnås en tilstrækkelig trinlyddæmpning til, at det ved efterisolering er muligt at opfylde det nye kravniveau for trinlydniveau $L'_{n,w} \leq 53$ dB gældende fra Bygningsreglement 2008.

Ideer til fladelejrede gulve omfatter derfor tørre og våde løsninger med et ekstra undergulv, der muliggør brug af et mere elastisk underlag, end det er muligt direkte under et trægulv. Tørre løsninger vil typisk bestå af et trinlyddæmpende underlag med trykfordelende pladelag og øverst et trægulv på et tyndt underlag. Våde løsninger omfatter et trinlyddæmpende underlag, hvorpå der udstøbes et cement- eller mørtelbaseret flydegulv med trægulvet udlagt på et tyndt underlag.

Ideer til forbedring af fladelejrede, svømmende gulve omfatter:

- Trægulv på tyndt underlag på pladelag på trinlyddæmpende underlag
- Trægulv på tyndt underlag på pladelag med trinlyddæmpende underlag udlagt på granulat
- Trægulv på tyndt underlag på støbt gulv på trinlyddæmpende underlag

Målsætningen er, at der med efterisoleringsløsningen kan opnås en forbedring af trinlydniveauet i bygningen på mindst ca. 5 dB. Til laboratorieforsøgene er der kun udvalgt ideer med tørre løsninger.

Leverandører af materialer

Projektet har kontaktet 16 leverandører af materialer til opbygning af gulvkonstruktioner. I alt 13 leverandører har givet tilsagn om levering af fx testmaterialer, informations- og dokumentationsmateriale og/eller hjælp til opbygning i laboratoriet. Udvalgt efter materialetyper og bredde i testprogrammet er 10 af de leverandører, der har meldt positivt tilbage, herefter blevet anmodet om at levere testmaterialer. Med baggrund i forsøgenes premisser og projektets oplæg til konstruktioner er leverandørerne i stort omfang blevet anmodet om at levere deres bedste bud på det mest egnede trinlyddæmpende underlagsmateriale eller gulvopbygning. Det endelige valg af gulvopbygninger til laboratorietesten er foretaget af DELTA og SBI.

Valg af gulvkonstruktioner til laboratorieforsøg

Nedenfor findes en kort, overordnet beskrivelse af de valgte ideer til afprøvning i laboratoriet. Hovedvægten har været på trægulve på strøer, men der er også afprøvet to typer af fladelejrede gulve. En mere detaljeret beskrivelse og tegninger af principopbygningen af gulvkonstruktionerne findes i målerapporten (DELTA rapport TC-100674-1, Hoffmeyer & Rasmussen, 2015) i underafsnittene for de enkelte testgulve nummereret som Gulv A til K (strøgulve) og Gulv L til M (fladelejrede gulve).

Trægulve på strøer

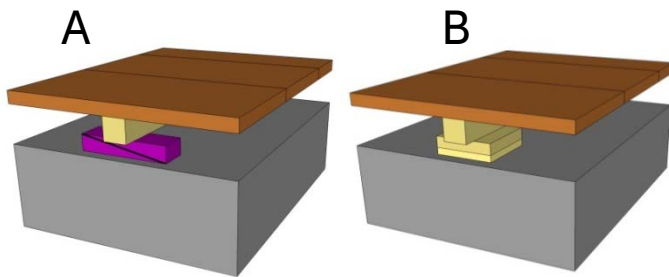
Måleprogrammets trægulve på strøer repræsenterer:

- To eksempler på ofte forekommende gulve i eksisterende bebyggelser fra de valgte bygningstyper og perioder dels på kiler, dels på opklodsning med blød træfiber (Gulve A og B), se Figur 24.
- To eksempler på brug af trinlyddæmpende underlag under kiler (Gulve C og D). Se Figur 25.
- Tre eksempler på brug af trinlyddæmpende underlag under opklodsning (Gulve E, F og G). Se Figur 26.
- Et eksempel på brug af stålstrøer med trinlyddæmpende opklodsning (Gulv H). Se Figur 27.
- Et eksempel på brug af egentlige svingningsdæmpere som opklodsning (Gulv I). Se Figur 27.
- To eksempler på brug af lydabsorberende materiale i hulrum mellem strøer (Gulve J og K). Se Figur 28.

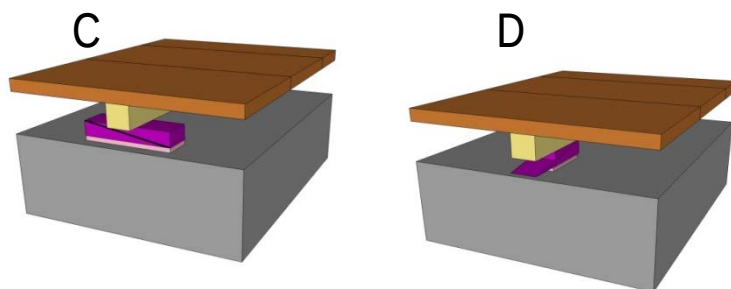
Den totale konstruktionshøjde for gulvopbygningerne ligger på 64-107 mm med en overvægt omkring 90-96 mm svarende til de gængse opbygninger med trægulve i byggeriet fra 1950'erne til 1970'erne.

Opklodsningerne, der er anvendt ved laboratorieforsøgene, kan ikke alle højderreguleres, hvilket der heller ikke er brug ved forsøgene, idet reference-dækket er plant og vandret. Ved en eventuel senere videreudvikling skal denne mulighed indgå, idet der er brug for dette i praksis pga. ujævnheder i eksisterende underlag.

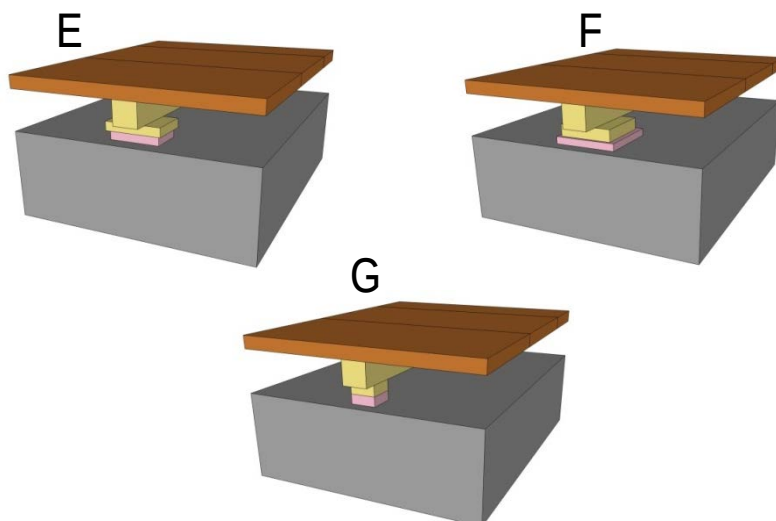
Prøveemnerne er illustreret i Figur 25, Figur 26, Figur 27, Figur 28, og en samlet oversigt ses i Tabel 17.



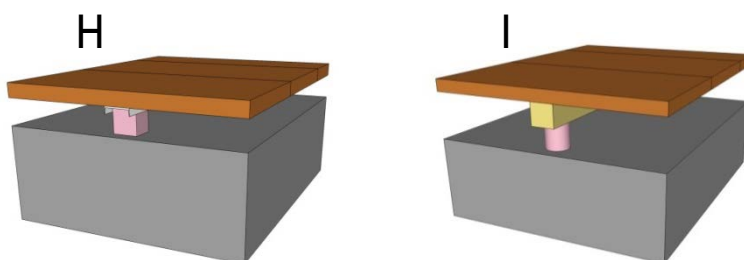
Figur 24. Prøveemner strøgulve A og B med hhv. plastkiler og bløde brikker.



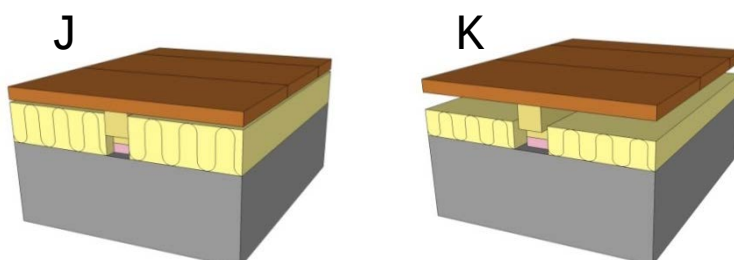
Figur 25. Prøveemner strøgulve C og D med plastkiler og trinlyddæmpende underlag.



Figur 26. Prøveemner strøgulve med traditionel blød opklodsning, gulv B, og med trinlyddæmpende underlag under opklodsning (Gulve E, F og G).



Figur 27. Prøveemner H og I, med specielle opklodsninger og hhv. lav og stor højde.



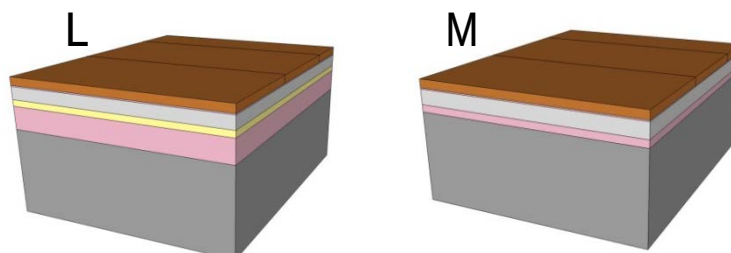
Figur 28. Prøveemner strøgulve J og K med mineraluld i hulrum, ellers som G.

Fladelejrede trægulve

Måleprogrammets fladelejrede trægulve består af:

- Et eksempel med et underliggende pladegulv på et trinlyddæmpende underlag udlagt på granulat (Gulv L). Se Figur 29.
- Et eksempel med et underliggende pladegulv på et trinlyddæmpende underlag (Gulv M). Se Figur 29.

En beskrivelse af prøveemnerne findes i Tabel 18. Den totale konstruktionshøjde for gulvopbygningerne ligger på 89 mm og 53 mm, det første svarende til de gængse opbygninger med trægulve på strøer i byggeriet fra 1950'erne til 1970'erne, det andet som en mulighed de steder, hvor det eksisterende gulv har været særligt lavt.

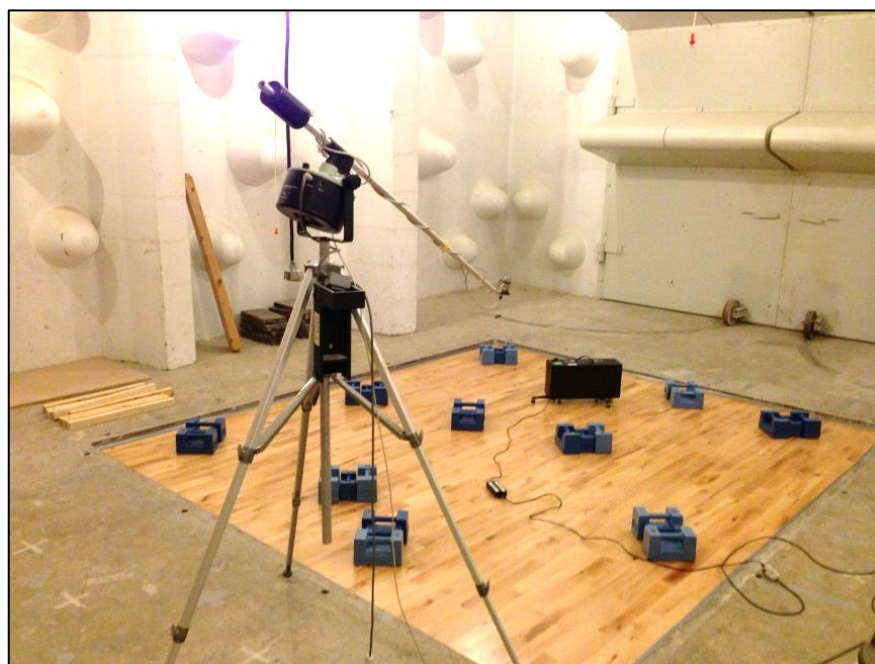


Figur 29. Prøveemner fladelejrede gulve.

Målemetode

Laboratoriemålingerne har omfattet måling af trinlyddæmpning samt måling af forbedring af luftlydisolation for gulvopbygninger på laboratoriets standarddæk, 140 mm armeret, massivt betondæk, areal 10 m². Dækket opfylder kravene til referencedæk i DS/EN ISO 10140 (2010) og kan benyttes til typeprøvning af trinlyddæmpning for gulvbelægninger og gulvkonstruktioner til tunge dæk.

Målingerne er udført i rum 004 og 904 i de bygningsakustiske laboratorier i Bygning 355 på Danmarks Tekniske Universitet (DTU Elektro – Akustisk teknologi). Målerummene er mere detaljeret beskrevet i målerapporten (DELTA rapport TC-100674-1, Hoffmeyer & Rasmussen, 2015).



Figur 30. Trægulv monteret i de bygningsakustiske laboratorier på DTU.

Måleresultater fra laboratorieforsøg af trinlyddæmpning for gulve

I Tabel 17 ses måleresultater for prøveemner med trægulve på strøer og kurverne for trinlyddæmpning er vist i Figur 31. Resultaterne for fladelejlrede gulve er vist Tabel 18 og kurverne i Figur 32.

Sammenligninger af kurver med trinlyddæmpning for udvalgte konstruktioner findes i Figur 33 og Figur 34.

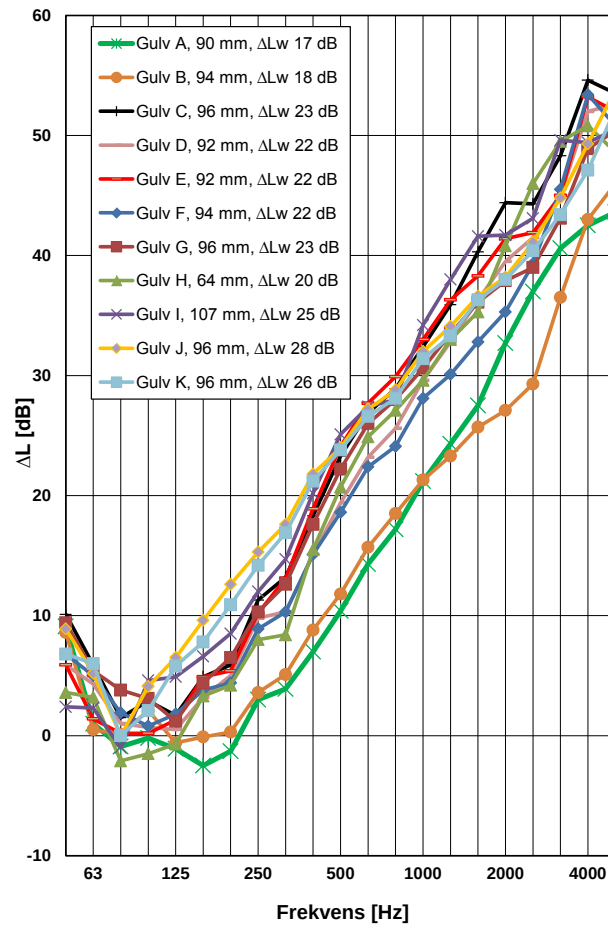
Detaljerede resultater for alle målinger findes i laboratoriemålerapporten DELTA rapport TC-100674-1, *Laboratorietest af trinlyddæmpning for gulve – SBI-projekt 721-082 projektdel C* (Hoffmeyer & Rasmussen, 2015).

Tabel 17. Trægulve på strøer – Måleresultater for gulvopbygninger med trægulve på strøer.

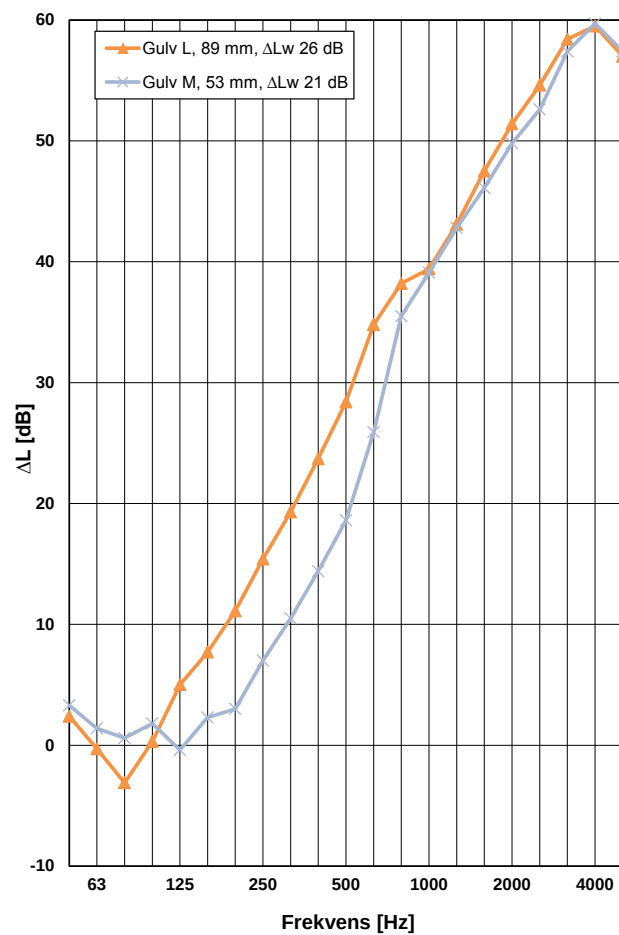
Gulv nr.	Gulvopbygning	Total konstruktionshøjde	Trinlyddæmpning ΔL_w [dB]	Forbedring af luftlydisolation ΔR_w [dB]
A	22 mm massivt trægulv på 40 mm strøer på kiler	90 mm	17	2
B	22 mm massivt trægulv på 40 mm strøer på opklodsning af 20 mm krydsfiner og 12 mm blød træfiberplade	94 mm	18	3
C	22 mm massivt trægulv på 40 mm strøer på kiler med underlag af 8-10 mm gummigranulat	96 mm	23	4
D	22 mm massivt trægulv på 40 mm strøer på kiler med 5 mm gummiunderlag	92 mm	22	3
E	22 mm massivt trægulv på 40 mm strøer på opklodsning af 15 mm krydsfiner og 15 mm polyuretanskum	92 mm	22	3
F	22 mm massivt trægulv på 40 mm strøer på opklodsning af 20 mm krydsfiner og 12 mm polyuretanskum	94 mm	22	3
G	22 mm massivt trægulv på 40 mm strøer på opklodsning af 18 mm mdf-plade og 16 mm gummigranulat	96 mm	23	3
H	22 mm massivt trægulv på metalstrøer på opklodsning af 40 mm gummigranulat	64 mm	20	2
I	22 mm massivt trægulv på 40 mm strøer på opklodsning af 45 mm gummicylinder (svingningsdæmper) med $\varnothing 50$ mm	107 mm	25	3
J	Som Gulv G med 70 mm mineraluld, tætskåret mellem strøer	96 mm	28	4
K	Som Gulv G med 45 mm mineraluld, friholdt fra strøer	96 mm	26	4

Tabel 18. Fladelejlrede trægulve – Måleresultater for gulvopbygninger med fladelejlrede gulve.

Gulv nr.	Gulvopbygning	Total konstruktionshøjde	Trinlyddæmpning ΔL_w [dB]	Forbedring af luftlydisolation ΔR_w [dB]
L	14 mm lamel trægulv på 2 mm foam på 22 mm cementbaseret plade med 11 mm stenuld på 40 mm tørgranulat	89 mm	26	4
M	14 mm lamel trægulv på 2 mm foam på 25 mm fibergipsplader på 12 mm akustikmåtte	53 mm	21	3



Figur 31 Trinlyddæmpning for strøgulve - alle målinger A-K.



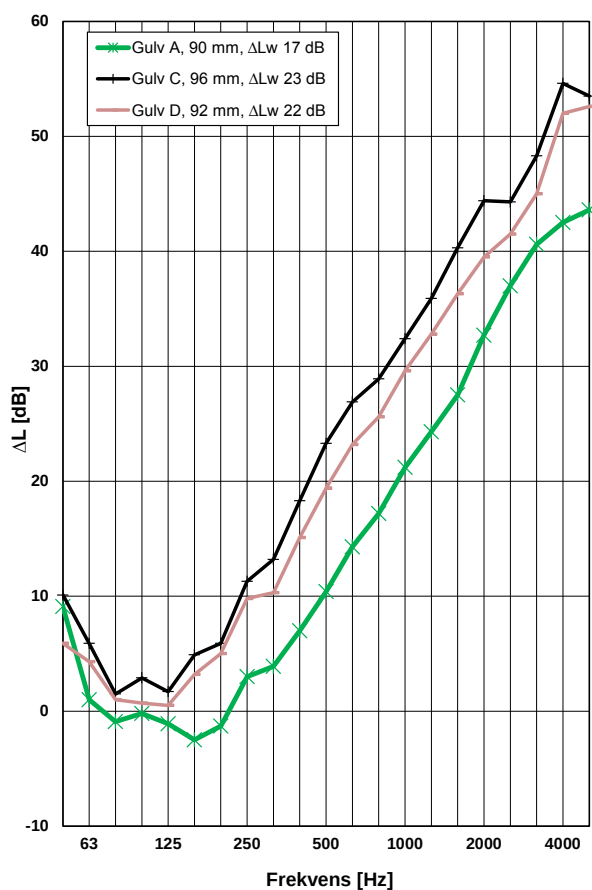
Figur 32 Trinlyddæmpning for de to fladelejrde gulve L og M.

Sammenligninger resultater trinlyddæmpning

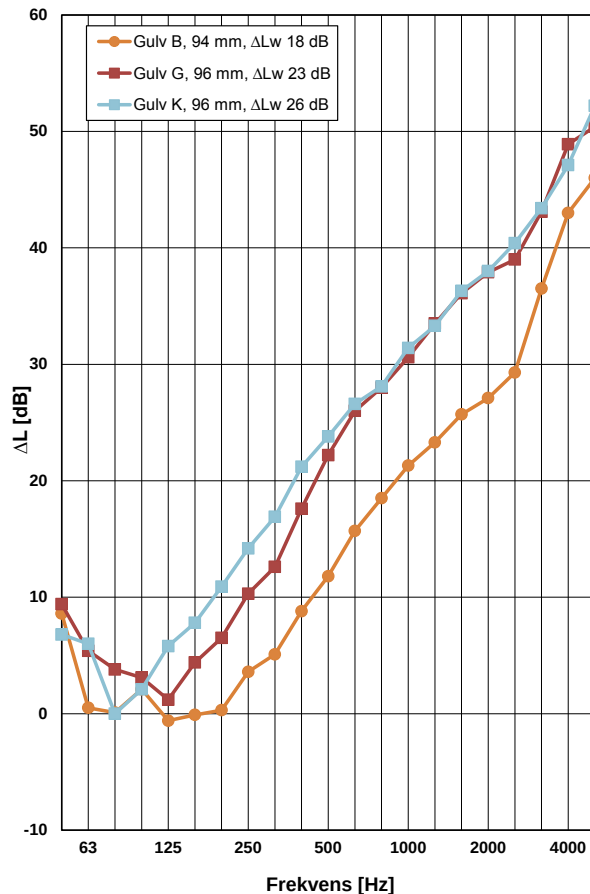
I Figur 33 ses en sammenligning af trinlydforbedringen for gulv A på almindelige plastkiler og gulvene C og D med to forskellige gummibaserede underlag mellem plastkilerne og betondækket. Forbedringen af den vægtede trinlyddæmpning ΔL_w er 5-6 dB.

Figur 34 illustrerer den samme forbedring, når opklodsningen med blød træfiberplade (gulv B) udskiftes med et gummibaseret underlag (gulv G). Når der yderligere anvendes mineraluld mellem strøerne (gulv K) fås en samlet forbedring af den vægtede trinlyddæmpning ΔL_w på 8 dB.

Resultaterne for disse typer gulvkonstruktioner viser, at der med et relativt simpelt middel – et gummibaseret underlag – kan opnås den nødvendige trinlydforbedring af et traditionelt trægulv på plastkiler eller bløde brikker, så de skærpede trinlydkrav i bygninger opfyldes. Når der anvendes et gummibaseret underlag sammen med mineraluld i hulrummet, flyttes de resonansdominerede minimumsværdier af kurven sig et par tredjedelsoktaver mod lavere frekvenser. Videre teoretiske betragtninger vedrørende ændringen af resonansforholdene har ikke været en del af projektet.



Figur 33. Trinlyddæmpning pr. 1/3 oktav for gulvkonstruktionerne A, C og D.



Figur 34. Trinlyddæmpning pr. 1/3 oktav for gulvkonstruktionerne B, G og K.

Hvad angår øvrige sammenligninger af strøgulve og resultater for fladelejlrede gulve henvises til målerapporten om laboratorieforsøgene af trinlyd, se Hoffmeyer & Rasmussen (2015).

Målinger på små prøveemner og sammenligning med fuldskala

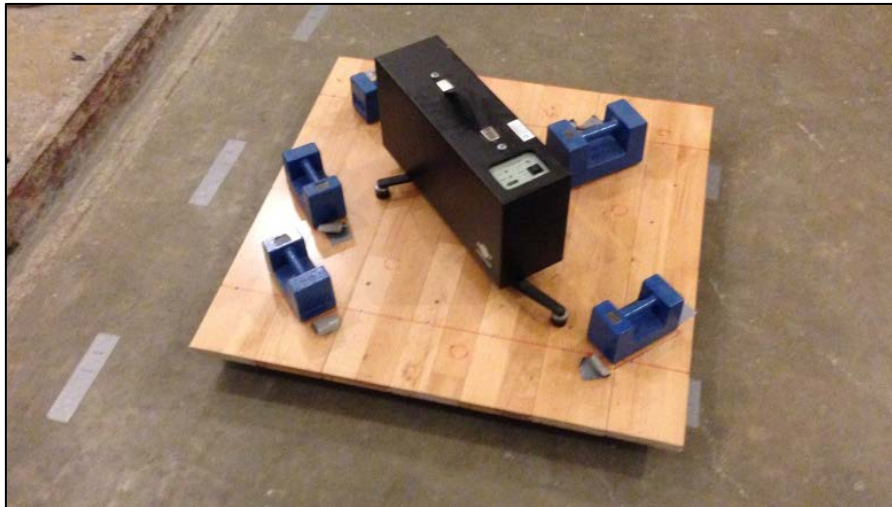
Produktdokumentation for trinlyddæmpning skal foretages i henhold til en standardiseret metode, hvor bl.a. prøveareal og opbygning af referencedæk opfylder kriterierne i DS/EN ISO 10140 (2010). Der er et arealkrav på minimum 10 m^2 , og laboratoriet og måleproceduren skal overholde betingelserne i standarden.

De samlede omkostninger til prøveemner og målinger kan blive ret store, og nogle producenter vælger derfor til produktudvikling at benytte mindre prøveemner og sommetider ikke-standardiserede metoder til målinger af trinlyddæmpning. Det forekommer også, at leverandører benytter sådanne resultater som dokumentation for ydeevnen, uanset at resultaterne kan være tvivlsomme, uden at der dog er kendskab til fejls størrelse. I tilknytning til det foreliggende projekt opstod der mulighed for parallelt med projektet at gennemføre et studieprojekt på DTU Elektro, Akustisk Teknologi med undersøgelse af disse forhold. Studieprojektet har omfattet laboriemålinger med reduceret størrelse af strøgulve og sammenligninger med udvalgte fuldska-lamålinger (fra resultater beskrevet i den foreliggende SBI-rapport) samt teoretisk modellering.

Der blev gennemført målinger af 7 strøgulve, Gulv A til Gulv G, i reduceret størrelse. Gulvfladen var $0,81 \text{ m} \times 0,81 \text{ m}$ ($0,66 \text{ m}^2$) og understøttet af to strøer på i alt 4 opklodsninger. Strøafstand og afstand mellem opklodsninger var som for fuldskala-gulvene. Målingerne er udført på det samme standard-

dæk i laboratoriet på DTU og med tilsvarende belastning af gulvfladen, som ved fuldskalamålingerne. I Figur 35 er vist et foto af småskala-gulvet.

Der er ikke i dette projekt gennemført tilsvarende småskala-målinger på fladelejrrede gulve.



Figur 35. Foto af småskala testgulv i de bygningsakustiske laboratorier på DTU.

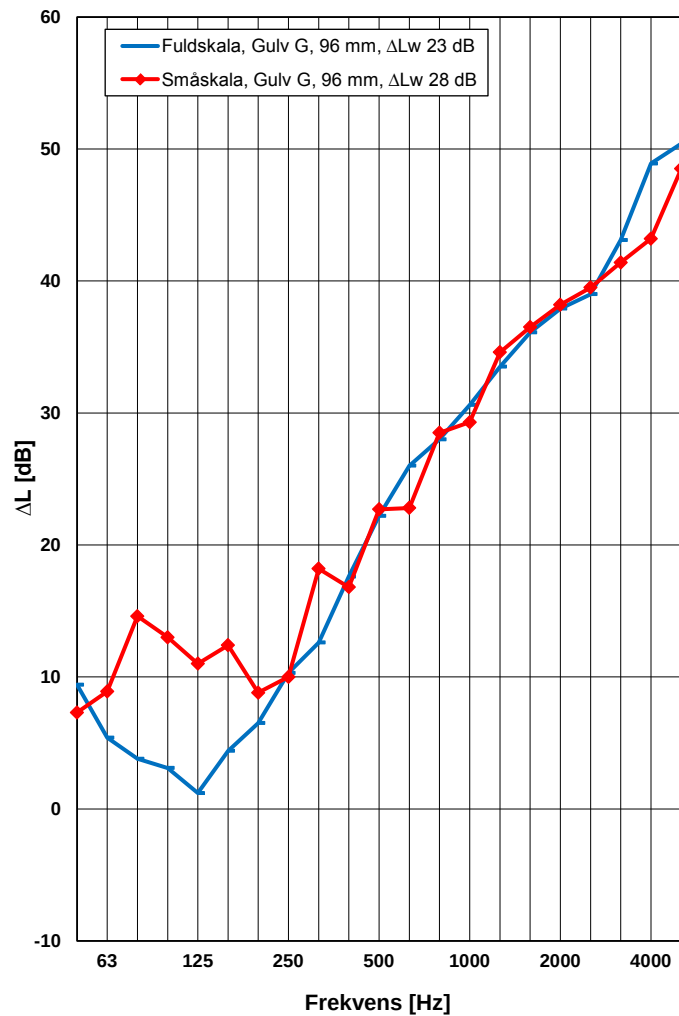
I Figur 36 er der som et eksempel på resultaterne af målingerne af strøggulvene i reduceret størrelse vist en sammenligning af kurveforløbet for trinlyddæmpningen for Gulv G målt i fuldskala og i småskala.

Det fremgår - som forventet - at resultaterne af målinger på små prøveemner ikke er direkte sammenlignelige med resultater på 10 m² gulve. Specielt i frekvensområdet under 400 Hz er der betydelige forskelle som følge af den ændrede geometri.

Gulvene med reduceret størrelse giver alle fra 2 til 5 dB højere vægtet trinlyddæmpning end målt i fuldskala. Målingerne viser dog, at der stort set er den samme rangordning af gulvene i lille og stor størrelse. Eksempler på forskellene mellem den vægtede trinlyddæmpning målt i fuldskala og i småskala fremgår af Figur 37.

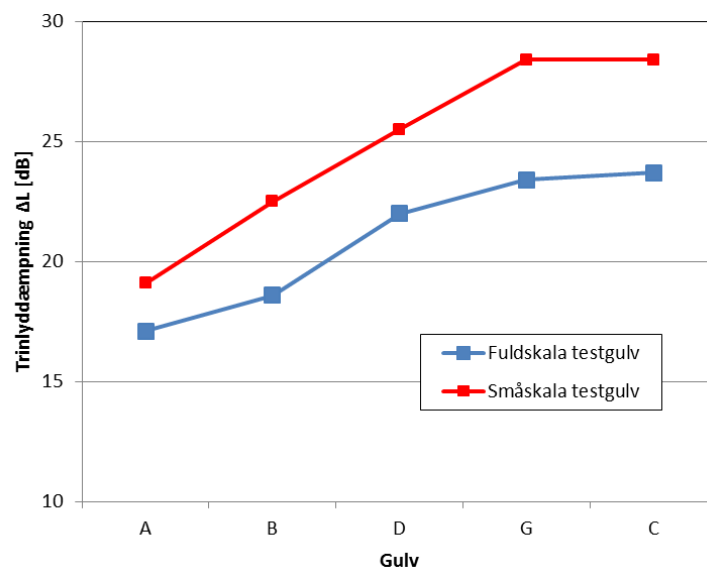
En mere detaljeret gennemgang af resultaterne findes i målerapporten, DELTA rapport TC-100674-1 (Hoffmeyer & Rasmussen, 2015). Forbedringen opnået i småskala og i fuldskala er ikke numerisk ens, men alle værdier for forbedringen i forhold til det forrige gulv er større end eller lig med 0.

Det vurderes på denne baggrund, at prøveemner af reduceret størrelse ikke kan anvendes til dokumentationsmålinger af ydeevne, men kan anvendes til orienterende målinger med henblik på rangordning af strøggulve, fx i forbindelse med udvikling af gulvkonstruktioner med forbedrede trinlydegenskaber.



Figur 36. Sammenligning. Gulv G målt henholdsvis i fuldskala og i småskala.

I Figur 37 ses rangordning af de forskellige gulvopbygninger for målinger i fuldskala og i småskala.



Figur 37. Sammenligning i rangorden af måleresultater for trinlyddæmpning af strøggulve A, B, D, G, C i fuld skala og i småskala.

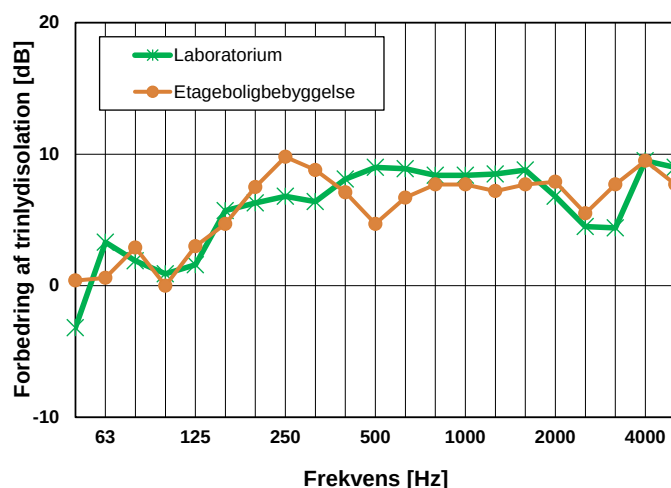
Sammenligning af felt- og laboratorieresultater for trinlydforbedring

Der er i to etageboligbebyggelser i det aktuelle projekt foretaget måling af trinlydniveau før og efter renovering af lejlighederne, se laboratorierapportens afsnit 6. Renoveringen har omfattet udskiftning af de eksisterende trægulve på strøer på plastkiler.

I Figur 38 er der vist en sammenligning af trinlydforbedringen af et gulv i en etageboligbebyggelse (Lunden) og ved laboratoriemåling af et tilsvarende gulv. I etageboligbebyggelsen er gulvet udskiftet og den eksisterende opklodsning med plastkiler (som Gulv A) er i denne forbindelse skiftet til plastkiler med trinlyddæmpende underlag af 5 mm gummimateriale (som Gulv D). Den tilsvarende forbedring er opnået ved de aktuelle laboratoriemålinger (forskellen mellem referencegulvet, Gulv A, og det forbedrede gulv, Gulv D).

Det fremgår, at der er en god overensstemmelse med den viste effekt ved laboratoriemålingerne og den opnåede effekt i bygningen.

Etagedækket i Lunden (230 mm betonhuldæk) har en fladevægt omkring 315 kg/m^2 , laboratoriets standarddæk (140 mm betondæk) tilsvarende 336 kg/m^2 . Dækkenes fladevægt er således af samme størrelsesorden.



Figur 38. Sammenligning af forbedring af trinlydisolation opnået i laboratorium og i etageboligbebyggelse ved at anvende et underlag af gummimateriale under plastkiler. I begge tilfælde opnås en forbedring på 5 dB på enkelttsværdierne.

Gulvene i de øvrige bebyggelser er ikke direkte sammenlignelige med gulvopbygningerne undersøgt i laboratoriet.

Sammenfatning trinlydforsøg laboratorium

Der er gennemført test i laboratoriet af 13 gulvopbygningers trinlyddæmpning på betondæk, heraf 2 referencegulve, 9 ideer til efterisoleringsløsninger for trægulve på strøer og 2 ideer til efterisoleringsløsninger i form af fladelejrrede trægulve. Til nogle af prøveemnerne er der benyttet underlagsmaterialer, som markedsføres til gulvopbygninger, mens andre ikke af leverandøren markedsføres til sådanne formål.

Af de laboratorietestede ideer til efterisoleringsløsninger kan hovedparten af de foreslåede gulvopbygninger forventes at give en forøgelse af trinlyddæmpningen på ca. 5 dB, enkelte endda op til 7-10 dB i forhold til de ofte forekommende trægulve på strøer i eksisterende etageboliger af typen E2 og E3 med beton- eller betonhuldæk.

Undersøgelserne understøtter, at der med forholdsvis enkle efterisoleringsløsninger kan tilvejebringes en trinlyddæmpning, der er ca. 5 dB bedre end de eksisterende strøgulve i etageboligbyggerier fra 50'erne til 70'erne eller senere, dette også uden at forøge gulvopbygningens totale konstruktionshøjde væsentligt. Det er således muligt ved gulvudskiftninger i forbindelse med renovering af byggeri med beton- eller betonhuldæk fra perioden ca. 1960 frem til skærpelsen af kravene i 2008 med simple løsninger at løfte trinlydisolationen op til dagens kravniveau, mens større forbedringer er nødvendige for de tyndere dæk fra tidligere perioder.

For nogle af løsningerne vil forhold omkring materialernes egnethed til indbygning i gulvkonstruktioner i bygninger skulle afklares ved en fortsat produktudvikling og produktmodning af efterisoleringsløsningerne hos producenterne.

En af de laboratorietestede løsninger er også benyttet ved renoveringen i en af de udvalgte boligbebyggelser, hvor der er foretaget målinger af lydisolationen før og efter renovering. Resultaterne viser, at der opnås samme effekt for trinlydniveauet i byggeriet efter renovering, som laboratoriemålingerne forudsiger.

Resultaterne af projektets laboratoriemålinger viser, at der er basis for anvendelse og videreudvikling af trinlyddæmpende efterisoleringsløsninger til brug ved gulvudskiftninger ved renovering af etagebyggeri af typen E2 og E3 – og for generelt ved renovering af etageboliger at anbefale at medtage denne forbedring af den akustiske komfort. Der er således flere løsningsmuligheder, hvor der med forholdsvis enkle ændringer af gulvopbygningen kan forventes en væsentlig forbedring af trinlydforholdene.

Laboratorieforsøgene inkluderede ikke undersøgelser af træetageadskillelser svarende til bygningstype E1, men videre undersøgelser af forbedringsmuligheder er ønskelige i et eventuelt fremtidigt projekt.

8. Konklusioner og forslag til initiativer

Projektets overordnede mål har været at bidrage til det tekniske grundlag for, at lydisolation mellem eksisterende danske etageboliger kan opgraderes til de skærpede krav til lydisolation i nybyggeri indført i 2008. Det var endvidere et mål at synliggøre behov for forbedring af lydisolationen for byggeriets parter, inkl. myndigheder og boligselskaber, og at pege på løsningsmuligheder i forbindelse med renovering. Det første bygningsreglement udkom i 1961, og lydkravene til etageboliger forblev uændrede frem til 2008, hvor der blev indført skærper pga. utilfredsstillende lydforhold i etageboligbyggeri. Der har siden 1980'erne været foretaget meget omfattende renoveringer af danske etageboliger. En opgradering af lydforholdene til gældende bestemmelser er et lovkrav ved anvendelsesændringer, herunder sammenlægning af lejligheder, men ikke ved almindelig renovering. Bl.a. derfor indgår vurdering og forbedring af lydisolationen normalt ikke i renoveringsprocessen og planlægningen.

Projektets hovedaktiviteter har været kortlægning af danske etageboliger (antal, byggeår, boligadskillende konstruktioner og lydisolation), feltundersøgelser af lydisolation mellem etageboliger og laboratorieforsøg med gulvkonstruktioners trinlyddæmpning og forbedringsmuligheder. Projektets hovedresultater er beskrevet herunder.

Kortlægning af danske etageboliger

Der er foretaget en kortlægning af danske etageboliger med kvantificering af boliger, bygningstyper, hovedkarakteristika for boligadskillende konstruktioner fra forskellige tidsperioder samt af boligernes lydisolation. I Danmark er der 2,7 mio. boliger, heraf ca. 1 mio. etageboliger bygget i perioden 1850-2014. Halvdelen af etageboligerne – ca. 500.000 – er med træetageadskillelser og bygget før ca. 1950, dvs. før der var lydkrav, og er langt under dagens kravniveau med hensyn til lydisolation mod nabostøj. Ca. 100.000 boliger er med støbte etagedæk bygget 1930-1960 og også betydeligt under dagens standard pga. små dæktykkelser og gulvkonstruktioner med lav trinlyddæmpning. Af de ca. 400.000 etageboliger opført som betonelementbyggeri efter ca. 1960, vil de fleste også ligge under dagens kravniveau. Kun ca. 20.000 boliger, altså ca. 2 % af samtlige danske etageboliger, er fra perioden 2010-2014, hvor skærper af lydkravene i Bygningsreglement 2008 har fået effekt.

Forbedring af lydisolationen kan ske ved etablering af nye underlofter, gulve og forsatsvægge. Der er i projektet fokuseret på muligheder for forøget trinlyddæmpning vha. nye gulvkonstruktioner i bygningstyperne med støbte etagedæk og betonelementer fra perioderne hhv. 1930-1960 og 1960-2009.

Den seneste nationale sundheds- og sygelighedsundersøgelse (2013) viser, at 33 % af beboerne i etageboligbyggeri er generet af nabostøj, men giver ikke oplysninger om fordeling på bygningstyper eller byggeår.

Lydisolation mellem etageboliger – feltmålinger

Som et led i kortlægningen af lydisolation i dansk etageboligbyggeri blev der gennemført feltmålinger af lydisolation i fire bebyggelser, hvor der var plan-

lagt renovering. Disse fire bebyggelser har alle støbte etagedæk eller betonelementdæk. Der kunne ikke inden for projektets rammer etableres aftaler om adgang til udførelse af feltmålinger i ældre muret byggeri med træetageadskillelser.

Alle fire bebyggelser valgt til feltmålinger stod foran en omfattende renovering, men i ingen af tilfældene var en forbedring af lydisolationen inkluderet i formålet med renoveringen. I to af bebyggelserne skulle gulvene udskiftes pga. defekt underlag, og der blev efterfølgende udført lydisolationsmålinger.

To af bebyggelserne er muret byggeri fra 1950'erne med in-situ støbte etagedæk (tykkelse 120-150 mm) og med trægulve på strøer på brikker. De to andre bebyggelser er betonelementbyggeri fra 1970'erne med betonhuldæk (tykkelse 230 mm) og med trægulve på hhv. korkgranulat og strøer på brikker. I ingen af de fire bebyggelser er de nugældende lydkrav overholdt.

Måleresultaterne for de to bebyggelser opført før udgivelsen af det første bygningsreglement svarer til forventningerne for disse bygningstyper og viser et stort behov for opgradering af lydisolationen. Der var ikke i projektet mulighed for målinger efter renoveringen.

De to øvrige bebyggelser var opført som betonelementbyggerier i perioden, hvor Bygningsreglement 1966 eller 1972 var gældende (samme lydkrav), og opfyldte stort set de dagældende lydkrav. I begge disse bebyggelser var udskiftning af gulve en del af renoveringen på grund af defekt golvunderlag. I den ene bebyggelse havde de nye gulve i den første etape af bebyggelsen ikke forbedrede trinlydegenskaber, og feltmålingerne viste stort set uændrede resultater svarende til før renoveringen. I den anden bebyggelse var de nye gulvkonstruktioner udført med forbedret trinlyddæmpning, og de skærpede lydkrav fra 2008 var opfyldt.

Laboratorieforsøg af trinlyddæmpning for gulve

Der er gennemført test i laboratoriet af 13 golvopbygningers trinlyddæmpning på betondæk. Gulvkonstruktionerne er alle trægulve og udført som strøgulve eller fladelejlrede gulve.

Størstedelen af forsøgene blev udført på strøgulve med forskellige opklodsninger, heraf to som referencer repræsenterende ofte forekommende løsninger i eksisterende boligbebyggelser med betondæk. Resultaterne viste, at der med specielt trinlyddæmpende opklodsninger/underlag kunne opnås en forbedring af trinlyddæmpningen på ca. 5 dB. Det bedste resultat blev målt for de forbedrede gulve, når der også var mineraluld i hulrummet mellem strøerne, hvorved en yderligere forbedring på omkring 3 dB blev opnået. Laboratorieforsøgene blev udført som standardiserede målinger på 10 m² trægulve på et referencedæk af beton.

Flere af prøveemnerne fra laboratorieforsøgene har potentiale til videreudvikling til simple, nye trinlydløsninger. Ved videreudvikling – især for materialer, der ikke i forvejen markedsføres til formålet – skal nogle materials egenskaber, bl.a. holdbarhed, undersøges nøjere, og der skal sikres muligheder for højdejustering af golvopklodsningerne, ligesom øvrige brugsmæssige egenskaber skal vurderes, så materialernes og produkternes anvendelighed som golvunderlag sikres.

I en af de førnævnte to bebyggelser, hvor der er udført feltmålinger og gulvene blev udskiftet, svarede gulvkonstruktionerne før og efter renovering til to af laboratorieforsøgene. Der blev ved feltmålingerne opnået en tilsvarende trinlydforbedring på ca. 5 dB, og de skærpede trinlydkrav fra 2008 blev dermed opfyldt i praksis med kun en mindre ændring af gulvets opklodsning.

Erfaringer fra feltundersøgelser & laboratoriemålinger

Felt- og laboratorieforsøgene har vist, at simple ændringer af typiske gulvkonstruktioner i dansk boligbyggeri bygget efter ca. 1960 kan være tilstrækkelige til opfyldelse af de skærpede krav indført i bygningsreglementet fra 2008. Selvom videreudvikling og flere feltstudier er nødvendige for nogle typer opklodsningmaterialer, kan man sagtens i praksis parallelt hermed gå i gang med at anvende de øvrige forbedringsløsninger ved renovering af boliger - i stedet for at renovere med tidligere løsninger med utilstrækkelig trinlyddæmpning. De projekterende skal dog sikre sig egnethed af produkterne ved at rekvirere relevant dokumentation for anvendelsen, herunder for trinlyddæmpningen vurderet efter standardiserede metoder.

For eksisterende strøgulve i etageboligbyggerier med betondæk viser undersøgelserne, at der med forholdsvis enkle efterisoleringsløsninger kan tilvejebringes en ca. 5 dB bedre trinlyddæmpning, hvilket udgør en væsentlig forbedring og i øvrigt svarer til skærpelsen af trinlydkravene i 2008. Det er således muligt ved gulvudskiftninger i forbindelse med renovering af byggeri fra perioden ca. 1960 frem til 2008 med simple løsninger at løfte trinlydisolationen op til dagens kravniveau. Større forbedringer er dog nødvendige for de tyndere in-situ støbte dæk i bebyggelser fra før ca. 1960.

Udskiftning af gulve ved renovering er ikke en almindelig del af renoveringsprocessen, og når gulve udskiftes, er det typisk, fordi de er decideret defekte. Selv i disse tilfælde vurderes det, at en forbedring af lydisolationen sjældent indgår ved valg af nye gulvkonstruktioner.

Også i bebyggelser fra før 1960, hvor trinlydisolationen kan være ca. 10 dB eller mere under gældende kravniveau, vil det være en fordel at udskifte gulvene. Uanset, at en opgradering ikke uden videre kan føre til en opfyldelse af Bygningsreglement 2010, vil betydelige forbedringer kunne opnås.

Forslag til initiativer vedrørende renoveringsprocessen

I byggebranchen som helhed, inkl. byggeriets organisationer, er der udgivet mange publikationer relateret til fremtidssikring af boliger, men lydisolering er ikke eller kun i meget lille omfang inkluderet som tema, selv om lydisolering er en bygningsmæssig kerne kvalitet og af væsentlig betydning for beboernes livskvalitet, og resultaterne fra den seneste danske sundheds- og sygelighedsundersøgelse i 2013 viser, at ca. 33 % af beboere i etageboliger er generet af nabostøj.

Der er derfor behov for en mere helhedsorienteret tilgang ved boligrenovering, hvilket indebærer, at lydisolering integreres i renoveringsprocessen på lige fod med andre opgraderinger af boligerne. Nogle vigtige initiativer kan igangsættes relativt hurtigt af byggeriets parter:

- Indarbejdelse af lydforhold i tjeklister i vurdering af bygningens tilstand.
- Lydforhold indarbejdes i proceduren for beboerinddragelse.
- I begyndelsen af renoveringsprocessen foretages en rutinemæssig, estimeret lydklassificering af en bygningens lydforhold og gives et første estimat på opgraderingsbehov.
- I planlægningsprocessen foretages en lidt nøjere vurdering af lydforholdene ved granskning af tegninger og ved besigtigelse samt eventuelt ved gennemførelse af beregninger og/eller målinger for at præcisere behovet.
- Lydmæssig projektering integreres i den samlede projektering.

Forslag til initiativer til fremtidssikring af etageboligers lydisolation i forbindelse med renovering

På organisatorisk og nationalt niveau kan bl.a. følgende initiativer fremme en helhedsorienteret renovering af det eksisterende etageboligbyggeri, så renoveringen også omfatter en opgradering af lydisoleringen:

- Hos alle parter involveret i bygningsrenovering skabes bevidsthed og viden om betydningen af lydforholdene som en boligkvalitet - Dette er det første og vigtigste skridt.
- Synliggørelse af lydforhold ved at informere om løsningsmuligheder for forbedring af lydisolation mellem boliger.
- Udarbejdelse af et "God praksis" katalog.
- Revision af lydklassestandarden DS 490, så den inkluderer to lavere lydklasser egnet til lydklassificering af den ældre del af den eksisterende boligmasse.

Herved skabes grundlaget for at tage lydmæssige forbedringer – til gavn for beboerne – i betragtning på lige fod med andre kvalitetsforbedringer, når etageboligbyggeri skal renoveres.

Litteratur

AlmenNet. (2013a). *AlmenVejledning i fremtidsanalyse* (2. udg.).

<http://almennet.dk/projekter/almennet-udviklingsprojekter/fremtidsanalyse>

AlmenNet. (2013b). *AlmenVejledning i helhedsplanlægning og myndigheds-*

samarbejde. <http://almennet.dk/media/24281/almenvejledning-i-helhedsplanlaegning-og-myndighedssamarbejde-2-udgavecompressed.pdf>

Barlindhaug, R., & Ruud, M.E. (2008). *Beboernes tilfredshet med nybygde boliger*. Norsk institutt for by- og regionforskning. NIBR-rapport 2008:14,

Oslo 2008. www.nibr.no/filer/2008-14.pdf. Note: Et resumé med hovedkonklusioner vedrørende lydforhold findes i (Hveem, 2010).

Bauphysikkalender. (2014). *Raumakustik und Schallschutz* (Room acoustics and sound insulation), Ernst & Sohn GmbH & Co. KG. Ch. 5 *Schallschutz in Europa* (Sound insulation in Europe) by Judith Lang.

Boverket. (2009). *Så mår våra hus*. Karlskrona, Sverige.

www.boverket.se/sv/byggande/uppdrag/avslutade-uppdrag/sa-mar-vara-hus

Note: Rapporten er én ud af talrige publikationer i BETSI-projektet.

Boverket. (2014). Boverkets författningssamling BFS 2014:3 BBR 21 Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler (2011:6) - föreskrifter och allmänna råd; Utkom från trycket den 17 juni 2014.

<https://rinfo.boverket.se/BBR/PDF/BFS2014-3-BBR-21-rattelseblad.pdf>

Carrascal García, T., Romero Fernández, A., & Casla Herguedas, B. (2015). *Noise Requirements in Existing Buildings in Spain: New Proposals and the Existing Building Evaluation Report*. Proceedings of EuroNoise2015, p. 1889-1894. Maastricht.

Danmarks Statistik. (2015). *Statistisk Årbog 2015*,

<http://www.dst.dk/da/Statistik/Publikationer/VisPub?cid=20196>

Danmarks Statistik. (2015). *Statistikbanken*.

<http://www.danmarksstatistik.dk/da/Statistik/statistikbanken>

Dansk Standard. (2010). *Akustik - Laboratoriemåling af bygningselementers lydisolation* (DS/EN ISO 10140):

– *Del 1: Produktspecifikke prøvningsprocedurer* (DS/EN ISO 10140-1:2010)

– *Del 2: Måling af luftlydisolation* (DS/EN ISO 10140-2:2010)

– *Del 3: Måling af trinlydisolation* (DS/EN ISO 10140-3:2010)

– *Del 4: Måleprocedurer og krav* (DS/EN ISO 10140-4:2010)

– *Del 5: Krav til prøvningsfaciliteter og -udstyr* (DS/EN ISO 10140-5:2010).

Dansk Standard. (2013). *Akustik – Vurdering af lydisolation i bygninger og af bygningsdele* (DS/EN ISO 717):

– *Del 1: Luftlydisolation* (DS/EN ISO 717-1: 2013)

– *Del 2: Trinlydniveau* (DS/EN ISO 717-2: 2013).

Dansk Standard. (1998). *Akustik. Lydisolutionsmålinger i bygninger og af bygningselementer* (DS/EN ISO 140):

– *Del 4: Måling af luftlydisolation mellem rum i bygninger* (DS/EN ISO 140-4).

– *Del 7: Måling af trinlydniveau i bygninger* (DS/EN ISO 140-7).

- Dansk Standard. (2000). *Bygningsakustik. Beregning af bygningers akustiske egenskaber ud fra bygningselementers egenskaber* (DS/EN 12354):
- Del 1: *Luftlydisolation mellem rum* (DS/EN 12354-1:2000)
 - Del 2: *Trinlydisolation mellem rum* (DS/EN 12354-2:2000).
- Dansk Standard. (2007). *Lydklassifikation af boliger*. (DS 490:2007).
- Ekholm O., Christensen A.I., Davidsen, M., & Juel, K. (2014). *Sundheds- og sygelighedsundersøgelsen 2013. Tema: Boligmiljø*. København: Statens Institut for Folkesundhed, Syddansk Universitet, 2014.
www.si-folkesundhed.dk/upload/rapport_boligmiljo_C3%B8.pdf
- Engelmark, J. (1983). *Københavnsk etageboligbyggeri 1850-1900. En byggeteknisk undersøgelse* (SBI-rapport 142). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut. <http://www.sbi.dk/udgivelser/gamle-rapporter/kobenhavnsk-etageboligbyggeri-1850-1900>
- Engelmark, J. (2013). *Dansk Byggeskik – Etagebyggeriet gennem 150 år*. København: Grundejernes Investeringsfond og RealDania.
http://gi.dk/Publikationer/2113-01%20Bog_Dansk-Byggeskik_150%20%C3%A5r_web.pdf
- Erhvervs- og Byggestyrelsen. (2010). *Bekendtgørelse om offentliggørelse af bygningsreglement 2010 (BR10)* (BEK nr. 810 af 28/6/2010) med (BEK nr. 1309 af 29/11/2010), (BEK nr. 792 af 29/06/2011), (BEK nr. 909 af 18/08/2011) og (BEK nr. 1314 af 12/12/2012). København.
www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=132697
- Eurostat. (2014). *Living conditions in Europe - 2014 Edition*. Eurostat Statistical books, European Union. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014.
<http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/6303711/KS-DZ-14-001-EN-N.pdf/d867b24b-da98-427d-bca2-d8bc212ff7a8>
- Grundejernes Investeringsfond (GI) & By- og Boligministeriet. (1999-2006). *Bedre lydisolering i nyrenoverede boliger*. København.
<http://gi.dk/byggeteknisk-viden/nabost%20%20b8j>; Rapporter:
<http://gi.dk/Publikationer/Rapport%20om%20afprøvning%20af%20lydisoleringismetoder.pdf> og
<http://gi.dk/Publikationer/Rapport%20om%20laboratoriemålinger.pdf>
- Hoffmeyer, D. (1999). *Ajourføring af kravniveauet for lydforhold i etageboligbyggeri*. By- og Boligministeriet.
<http://www.statensnet.dk/pligtarkiv/fremvis.pl?vaerkid=12778&repid=0&iarkiv=1>
- Hoffmeyer, D., Olesen, H.S., & Rasmussen, B. (2008). *Udførelse af bygningsakustiske målinger* (SBI-anvisning 217). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. www.anvisninger.dk/217
- Hoffmeyer, D & Rasmussen, B. (2015). *Laboratorietest af trinlyddæmpning for gulve – SBI-projekt 721-082 projektdel C*. DELTA rapport TC-100674-1.
<http://share.madebydelta.com/publikationer>
- Hveem, S. (2010). *Unngå byggskeer – Lydisolations-kvalitet i boliger*. SINTEF Byggeforsk. <http://www.sintef.no/upload/Artikkel-05-10-ByggAktuelt.pdf>
- Kristensen, J. (1992a). *Bygningers lydisolering: Nyere bygninger* (SBI-anvisning 172). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
<http://anvisninger.dk/172>
- Kristensen, J. (1992b). *SBI-anvisning 173: Bygningers lydisolering – Ældre bygninger*. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm.
<http://anvisninger.dk/173>

- Kristensen, J., & Petersen, L.J. (1987). *Lydisolation mellem boliger. En undersøgelse i ældre bygninger med træetageadskillelser*. (SBI-rapport 188). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
www.danskbyggeskik.dk/pdf/get.action?pdf.id=1265
- Landsbyggefonden. (2014). *Nye udfordringer for det almene boligbyggeri*. <https://www.lbf.dk/media/1265736/Nye-udfordringer-for-det-almene-boligbyggeri-2014.pdf>
- Laußmann, D., Haftenberger, M., Lampert, T., Scheidt-Nave, C. (2013). *Social inequities regarding annoyance to noise and road traffic intensity. Results of the German Health Interview and Examination Survey for Adults (DEGS1)*. Berlin: Robert Koch Institute.
<http://edoc.rki.de/oa/articles/relLpog0Oano/PDF/24RowagVqxTk.pdf>
- Ministerio de Fomento. (2013). *IEE informe de Evaluación del Edificio* (Bygningsvurderingsrapport). Gobierno de España. <https://iee.fomento.gob.es>
- Petersen, C.M., Rasmussen, B., Rasmussen, T.V., & Rindel, J.H. (2014). *Lydisolering i bygninger – teori og vurdering* (SBI-anvisning 245). København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.
<http://www.anvisninger.dk/245>
- Rasmussen, B. (2010). *Sound insulation between dwellings: Requirements in building regulations in Europe*. *Applied Acoustics*, 71(4), 373-385.
10.1016/j.apacoust.2009.08.011
[http://vbn.aau.dk/en/publications/sound-insulation-between-dwellings\(92fff1a0-372c-11df-a0ef-000ea68e967b\).html](http://vbn.aau.dk/en/publications/sound-insulation-between-dwellings(92fff1a0-372c-11df-a0ef-000ea68e967b).html)
- Rasmussen, B. (2011). *Sound insulation between dwellings: Overview of the variety of descriptors and requirements in Europe*. Proceedings of Forum Acusticum 2011. (s. 1793-1798). European Acoustics Association - EAA.
[http://vbn.aau.dk/en/publications/sound-insulation-between-dwellings\(75db8ef3-e845-403a-b610-7556bde881cb\).html](http://vbn.aau.dk/en/publications/sound-insulation-between-dwellings(75db8ef3-e845-403a-b610-7556bde881cb).html)
- Rasmussen, B. (2012a). *Sound classification of dwellings in the Nordic countries – Differences and similarities between the five national schemes*. Proceedings of BNAM2012. [http://vbn.aau.dk/en/publications/sound-classification-of-dwellings-in-the-nordic-countries--differences-and-similarities-between-the-five-national-schemes\(8a7abb1c-6c63-4a9c-9013-3a3ac3d9c88c\).html](http://vbn.aau.dk/en/publications/sound-classification-of-dwellings-in-the-nordic-countries--differences-and-similarities-between-the-five-national-schemes(8a7abb1c-6c63-4a9c-9013-3a3ac3d9c88c).html)
- Rasmussen, B. (2012b). *Sound classification of dwellings: Quality class ranges and intervals in national schemes in Europe*. Proceedings of EURO-NOISE 2012. (pp. 1178-1183). European Acoustics Association - EAA. (Euronoise, Vol. 2012). [http://vbn.aau.dk/en/publications/sound-classification-of-dwellings\(b94738cc-ba0d-4fa5-b5fd-02ba66edd778\).html](http://vbn.aau.dk/en/publications/sound-classification-of-dwellings(b94738cc-ba0d-4fa5-b5fd-02ba66edd778).html)
- Rasmussen, B. (2014). *International proposal for an acoustic classification scheme for dwellings – Background and perspectives*. InterNoise 2014. [http://vbn.aau.dk/en/publications/international-proposal-for-an-acoustic-classification-scheme-for-dwellings\(003a54a9-2128-4d4b-b5ba-23deb38763de\).html](http://vbn.aau.dk/en/publications/international-proposal-for-an-acoustic-classification-scheme-for-dwellings(003a54a9-2128-4d4b-b5ba-23deb38763de).html)
- Rasmussen, B., & Ekholm, O. (2015). *Neighbour and traffic noise annoyance at home - prevalence and trends among Danish adults*. Proceedings of EuroNoise2015, p. 1895-1900. Maastricht.
[http://vbn.aau.dk/en/publications/neighbour-and-traffic-noise-annoyance-at-home--prevalence-and-trends-among-danish-adults\(a6f1faf7-05a8-4e3b-99dc-b2889005f374\).html](http://vbn.aau.dk/en/publications/neighbour-and-traffic-noise-annoyance-at-home--prevalence-and-trends-among-danish-adults(a6f1faf7-05a8-4e3b-99dc-b2889005f374).html)

- Rasmussen, B. (red.) & Machimbarrena, M. (red.). (2014). *COST Action TU0901 – Building acoustics throughout Europe. Volume 1: Towards a common framework in building acoustics throughout Europe*. DiScript Preimpresion, S. L. [http://vbn.aau.dk/en/publications/cost-action-tu0901--building-acoustics-throughout-europe-volume-1-towards-a-common-framework-in-building-acoustics-throughout-europe\(6828a212-ea8f-4783-9cf7-1d57634f62e2\).html](http://vbn.aau.dk/en/publications/cost-action-tu0901--building-acoustics-throughout-europe-volume-1-towards-a-common-framework-in-building-acoustics-throughout-europe(6828a212-ea8f-4783-9cf7-1d57634f62e2).html)
- Rasmussen, B. (red.), Machimbarrena, M. (red.), & Fausti, P (red.). (2014). *COST Action TU0901 – Building acoustics throughout Europe. Volume 2: Housing and construction types country by country*. DiScript Preimpresion, S. L. [http://vbn.aau.dk/en/publications/cost-action-tu0901--building-acoustics-throughout-europe-volume-2-housing-and-construction-types-country-by-country\(0001a660-f87b-40b9-a0ac-2a6c8ccb2a4e\).html](http://vbn.aau.dk/en/publications/cost-action-tu0901--building-acoustics-throughout-europe-volume-2-housing-and-construction-types-country-by-country(0001a660-f87b-40b9-a0ac-2a6c8ccb2a4e).html)
- Rasmussen, B., & Petersen, C.M. (2014a). *Lydisolering mellem boliger – eksisterende byggeri*. (SBI-anvisning 243). København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. www.anvisninger.dk/243
- Rasmussen, B., & Rindel, J.H. (1994). *Lydforhold i boliger - State-of-the-art*. Bygge- og Boligstyrelsen, Boligministeriet. [http://vbn.aau.dk/da/publications/lydforhold-i-boliger--stateoftheart\(ae71be40-1d07-11de-bddb-000ea68e967b\).html](http://vbn.aau.dk/da/publications/lydforhold-i-boliger--stateoftheart(ae71be40-1d07-11de-bddb-000ea68e967b).html)
- Rasmussen, B., & Rindel, J.H. (2010). *Sound insulation between dwellings – Descriptors in building regulations in Europe*. Applied Acoustics, 2010, 71(3), 171-180. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2009.05.002>. [http://vbn.aau.dk/en/publications/sound-insulation-between-dwellings\(2bcf9500-d9a1-11de-a3f5-000ea68e967b\).html](http://vbn.aau.dk/en/publications/sound-insulation-between-dwellings(2bcf9500-d9a1-11de-a3f5-000ea68e967b).html)
- Rasmussen, B., Petersen, C.M., & Hoffmeyer, D. (2011). *Lydisolering mellem boliger – nybyggeri* (SBI-anvisning 237). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. <http://www.anvisninger.dk/237>
- Rückert-John, J; Bormann, I; John, R. (2013). *Repräsentativumfrage zu Umweltbewusstsein und Umweltverhalten im Jahr 2012*. Federal Environment Agency, Berlin, Germany. www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4396.pdf
Note: Data for etageboligbyggeri var ikke inkluderet, men blev stillet til rådighed af Matthias Hintzsche, Noise Abatement & Noise Impact, Umweltbundesamt, Tyskland.
- SINTEF Byggeforsk. (2015). Byggeforskserien. Oslo. <http://bks.byggeforsk.no>; <http://bks.byggeforsk.no/Default.aspx?sectionId=2>
- Smith, S., Wood, J.B., Mackenzie, R. (2006). *Housing and sound insulation - Improving existing attached dwellings and designing for conversions*. Building Performance Centre, Napier University, Scotland. www.gov.scot/Topics/Built-Environment/Building/Building-standards/publications/pubtech/techhsi
- Thysell, E., & Hoffmeyer, D. (2015). *Måling af lydisolation i bebyggelsen Rosenvænget i Frederikssund før renovering*. DELTA rapport TC-100730. <http://share.madebydelta.com/publikationer>
- Thysell, E., & Hoffmeyer, D. (2015). *Måling af lydisolation i bebyggelsen Kagshusene i Brønshøj før renovering*. DELTA rapport TC-100729. <http://share.madebydelta.com/publikationer>
- Thysell, E., & Hoffmeyer, D. (2015). *Måling af lydisolation i bebyggelsen Lunden i Brøndby Strand før og efter renovering*. DELTA rapport TC-100728. <http://share.madebydelta.com/publikationer>

Thysell, E., & Hoffmeyer, D. (2015). *Måling af lydisolations i bebyggelsen Ladegårdsparken i Holbæk før og efter renovering*. DELTA rapport TC-100727. <http://share.madebydelta.com/publikationer>

WHO. (2012). *Environmental health inequalities in Europe: Assessment report*. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen. www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0010/157969/e96194.pdf

Hjemmesider

www.byggningsreglementet.dk

Hjemmeside med gældende og historiske bygningsreglementer, vejledninger m.m.

www.danskbyggeskik.dk

Hjemmeside med omfattende samling af digitaliserede udgaver af ældre byggeteknisk litteratur, særligt om etageboligbyggeri i perioden 1850-2000.

www.danskebyggningsmodeller.dk

Hjemmeside med digitale 3d-modeller af udvalgte byggetekniske detaljer fra etageejendomme fra perioden 1850-2000.

<http://gi.dk/byggeteknisk-viden/nabost%C3%B8j>

Hjemmeside, der samler information og viden om forbedring og vedligehold af ældre etageejendomme inden for en lang række fagområder.

Supplerende litteratur

Hoffmeyer, D., & Rasmussen, B. (2010). *Solutions for improved sound insulation in old housing*. European symposium of EAA TC-RBA and Cost Action TU0901, Florence, Italy. [http://vbn.aau.dk/en/publications/solutions-for-improved-sound-insulation-in-old-housing\(6bdc6382-158d-469b-a0a1-63cc1a2aa54e\).html](http://vbn.aau.dk/en/publications/solutions-for-improved-sound-insulation-in-old-housing(6bdc6382-158d-469b-a0a1-63cc1a2aa54e).html)

Hoffmeyer, D., & Rasmussen, B. (2014). *Housing and construction types country by country - Denmark*. COST Action TU0901 – Building acoustics throughout Europe. Volume 2, Ch. 5: *Housing and construction types country by country*. DiScript Preimpression, S. L., s. 102-118. [http://vbn.aau.dk/en/publications/housing-and-construction-types-country-by-country--denmark\(f3c4a477-9a53-46cc-b25a-a48b2519e8b5\).html](http://vbn.aau.dk/en/publications/housing-and-construction-types-country-by-country--denmark(f3c4a477-9a53-46cc-b25a-a48b2519e8b5).html)

Kjærgård, P. (1948). *Byggebogen*. København: Nyt Nordisk forlag. www.danskbyggeskik.dk

Landsbyggefonden. (2001). *Fysisk opretning og forbedring af de almene boligafdelinger*. https://www.lbf.dk/media/33142/rapport_om_fysisk_opretning0d0a.pdf

Landsbyggefonden. (2005). *At fremtidssikre almene boliger fra 50'erne – idékatalog på baggrund af 20 demonstrationsprojekter*. https://www.lbf.dk/media/33159/at_fremtidssikre_almene_boliger_fra_5027erne0d0a.pdf

Landsbyggefonden. (2006). *Almene boliger med fremtid – fremtidssikring af almene boliger*. https://www.lbf.dk/media/33158/almene_boliger_med_fremtid0d0a.pdf

Nissen, Henrik. (1975). *Modul- og montagebyggeri*. Polyteknisk forlag. København. www.danskbyggeskik.dk

Rasmussen, B., & Hoffmeyer, D. (2013). *Sound insulation performance in Danish multi-storey housing 1850-2009 and upgrade possibilities to meet current regulations*. Proceedings of Inter-Noise 2013. ÖAL Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung.
[http://vbn.aau.dk/en/publications/sound-insulation-performance-in-danish-multistorey-housing-18502009-and-upgrade-possibilities-to-meet-current-regulations\(f8fce53d-1877-4e3d-9351-c649a9ce5bad\).html](http://vbn.aau.dk/en/publications/sound-insulation-performance-in-danish-multistorey-housing-18502009-and-upgrade-possibilities-to-meet-current-regulations(f8fce53d-1877-4e3d-9351-c649a9ce5bad).html)

Rasmussen, B., Hoffmeyer, D., & Hansen, R. (2014). *Impact sound insulation improvement of wooden floors on concrete slabs: A pilot study on solutions and test methods*. Proceedings of Forum Acusticum 2014. European Acoustics Association - EAA. (Forum Acusticum).
[http://vbn.aau.dk/en/publications/impact-sound-insulation-improvement-of-wooden-floors-on-concrete-slabs\(04b1648c-0b1f-46d0-b038-72eb1318391a\).html](http://vbn.aau.dk/en/publications/impact-sound-insulation-improvement-of-wooden-floors-on-concrete-slabs(04b1648c-0b1f-46d0-b038-72eb1318391a).html)

Rasmussen, B. (2014). *Lydisolation mellem boliger i etagebyggeri – Forbedringsmuligheder?* (Poster).
[http://vbn.aau.dk/da/publications/lydisolation-mellem-boliger-i-etagebyggeri--forbedringsmuligheder\(d5a4fc92-a8ca-4994-ac71-c16811976d4c\).html](http://vbn.aau.dk/da/publications/lydisolation-mellem-boliger-i-etagebyggeri--forbedringsmuligheder(d5a4fc92-a8ca-4994-ac71-c16811976d4c).html)

Appendiks A. Rosenvænget Frederikssund – Beskrivelse og måleresultater

Beskrivelse af bebyggelsen

Bebyggelsens navn:	Rosenvænget
Adresse:	Rosenvænget 1-30, 3600 Frederikssund
Byggeår:	1951-1962
Antal boliger:	115 beboelseslejligheder og 18 klubværelser
Bygherre:	Rosenvænget Afd. 08/25, Frederikssund, v/ Domea Nordsjælland Vest
Renovering:	Start medio 2012
Formål:	Fremtidssikring, fysisk og boligsocial helhedsplan, beboerinddragelse, byudvikling, opførelse af handicapegnede boliger. Planer om forbedring af lydforhold. Nye tagboliger, klublejligheder sammenlægges, nye elevatorer
Bemærkninger:	Ingen

Bygningstype og hovedkonstruktioner

Bygningstype: Muret boligbyggeri med støbte betondæk

Hovedkonstruktioner i lejlighedsskel:

Vægge: 170 mm bredstensmur

Etagedæk: Max 120 mm in-situ støbt betondæk

Gulv: 22 mm trægulv på strøer på træfiberbrik
Gulvhøjde ca. 90 mm.

Lydisolationsmålinger

Målinger af lydisolation i bebyggelsen Rosenvænget er udført i maj 2013 før start af renovering. Der er udført i 7 målinger af luftlydisolation R'_w og 7 målinger af trinlydniveau $L'_{n,w}$.

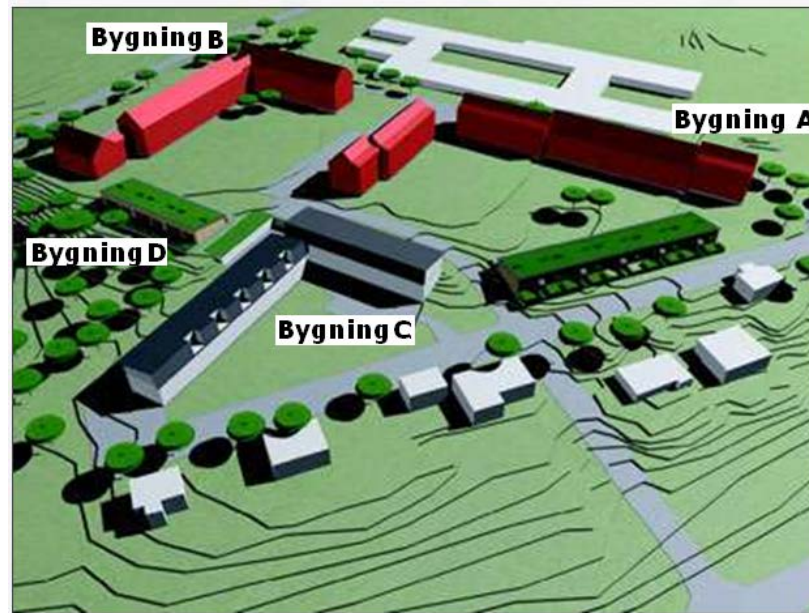
Figureerne A.1 og A.2 viser hhv. situationsplan og plantegning for bebyggelsen. I tabellerne A.1 og A.2 findes oversigter over måleresultater med angivelse af overholdelse af eventuelle lydisolationskrav i bygningsreglementet på opførelsestidspunktet og i det seneste bygningsreglement BR2010.

Målingerne er udført af DELTA og rapporteret i en målerapport (38 s):

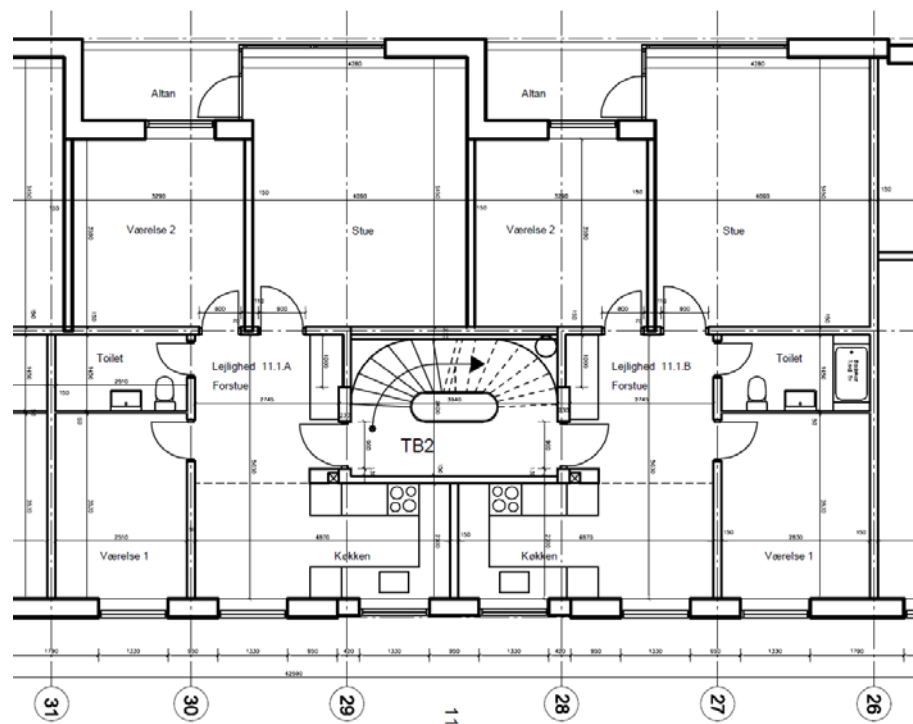
Måling af lydisolation i bebyggelsen Rosenvænget i Frederikssund før renovering. DELTA rapport TC-100730. (Thysell & Hoffmeyer, 2015).

Målerapporten beskriver måleobjekter, konstruktioner, målemetode og måleresultater. I målerapporten findes kurveblade med lydisolationskurver for de enkelte målinger og sammenligninger af måleresultater fra bebyggelsen.

Situationsplan og plantegning



Figur A.1. Bebyggelsesplan. Ej målfast. Opgang 11, hvor målingerne er udført, er i bygning B.



Figur A.2. Plantegning over 1. og 2. plan i opgang 11. Ej målfast.

Resultatoversigt Rosenvænget

Tabel A.1. Måleresultater Rosenvænget: Luftlydisolation R'_w og sammenligning med krav ved opførelse samt med DS 490, lyd-klasse C, som der refereres til i Bygningsreglement 2010.

Måling/ Kurve- blad nr.	Dato	Sende- rum	Modtage- rum	Måle- retning	Måle- resultat R'_w	Lydkrav ved opførelse		DS 490 klasse C	
						Mindst	Over- holder	Mindst	Over- holder
1	27-05- 2013	11, 2. tv. Stue	11, 2. th. Værelse 2	→	48 dB	–	–	55 dB	Nej
2	27-05- 2013	11, 2. tv. Køkken	11, 2. th. Køkken	→	47 dB	–	–	55 dB	Nej
3	27-05- 2013	11, 1. th Værelse 2	11, 2. th. Værelse 2	↑	49 dB	–	–	55 dB	Nej
4	27-05- 2013	11, 1. th. Køkken	11, 2. th. Køkken	↑	50 dB	–	–	55 dB	Nej
5	27-05- 2013	11, st. tv. Værelse 1	11, 1. tv. Værelse 1	↑	49 dB	–	–	55 dB	Nej
6	27-05- 2013	11, st. tv. Stue	11, 1. tv. Stue	↑	49 dB	–	–	55 dB	Nej
7	27-05- 2013	11, st. th. Værelse 2	11, 1. th. Værelse 2	↑	50 dB	–	–	55 dB	Nej

Tabel A.2. Måleresultater Rosenvænget: Trinlydniveau $L'_{n,w}$ og sammenligning med krav ved opførelse samt med DS 490, lydklasse C, som der refereres til i Bygningsreglement 2010.

Måling/ Kurve- blad nr.	Dato	Sende- rum	Modtage- rum	Måle- retning	Målere- sultat $L'_{n,w}$	Lydkrav ved opførelse		DS 490 klasse C	
						Højst	Over- holder	Højst	Over- holder
8	27-05- 2013	11, 2. tv. Køkken	11, 2. th. Køkken	→	52 dB	–	–	53 dB	Ja
9	27-05- 2013	11, 2. tv. Stue	11, 2. th. Værelse 2	→	52 dB	–	–	53 dB	Ja
10	27-05- 2013	11, 2. th. Værelse 2	11, 1. th. Værelse 2	↓	60 dB	–	–	53 dB	Nej
11	27-05- 2013	11, 2. th. Køkken	11, 1. th. Køkken	↓	58 dB	–	–	53 dB	Nej
12	27-05- 2013	11, 2. tv. Værelse 2	11, 1. tv. Værelse 2	↓	62 dB	–	–	53 dB	Nej
13	27-05- 2013	11, 1. tv. Stue	11, st. tv. Stue	↓	62 dB	–	–	53 dB	Nej
14	27-05- 2013	11, 1. tv. Værelse 1	11, st. tv. Værelse 1	↓	63 dB	–	–	53 dB	Nej

Appendiks B. Kagshusene, Brønshøj – Beskrivelse og måleresultater

Beskrivelse af bebyggelsen

Bebyggelsens navn:	Kagshusene
Adresse:	Kagshusene, 2700 Brønshøj
Byggeår:	1955 - 1959
Antal boliger:	254 beboelseslejligheder
Bygherre:	Postfunktionærernes Andelsboligforening, PAB
Renovering:	2011-2012
Formål:	Fremtidssikring, fysisk og boligsocial helhedsplan, beboerinddragelse, byudvikling, opførelse af handicapegnede boliger
Bemærkninger:	Ingen

Bygningstype og hovedkonstruktioner

Bygningstype Muret boligbyggeri med støbte betondæk

Hovedkonstruktioner i lejlighedsskel:

Vægge:	1/1-stens mur
Etagedæk:	150 mm in-situ støbt betondæk
Gulv:	28 mm trægulv på strøer på korkbaseret brik 30 mm mineraluld mellem strøer Gulvhøjde ca. 130 mm

Lydisolationsmålinger

Målinger af lydisolation i bebyggelsen Kagshusene er udført i november 2012 før start af renovering. Der er udført i 9 målinger af luftlydisolation R'_w og 8 målinger af trinlydniveau $L'_{n,w}$.

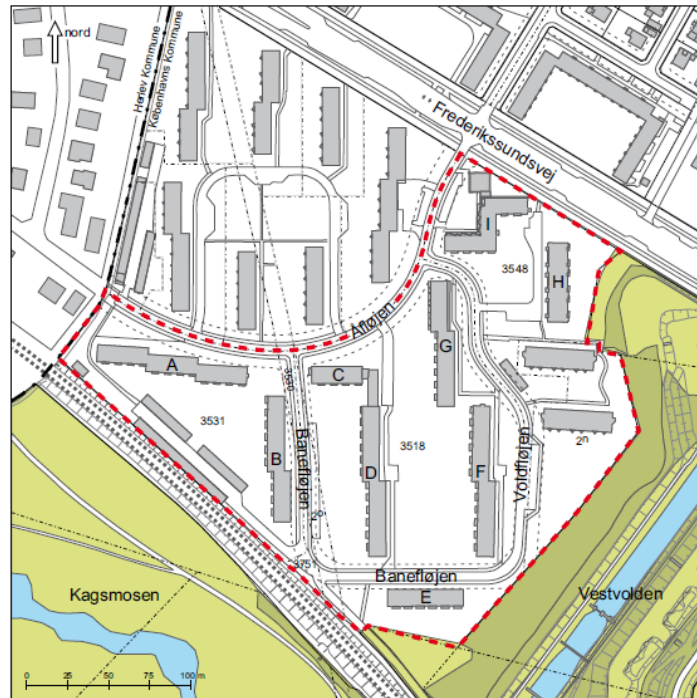
Figureerne B.1 og B.2 viser hhv. situationsplan og plantegning for bebyggelsen. I tabellerne B.1 og B.2 findes oversigter over måleresultater med angivelse af overholdelse af eventuelle lydisolationskrav i bygningsreglementet på opførelsestidspunktet og i det seneste bygningsreglement BR2010.

Målingerne er udført af DELTA og rapporteret i en målerapport (40 s):

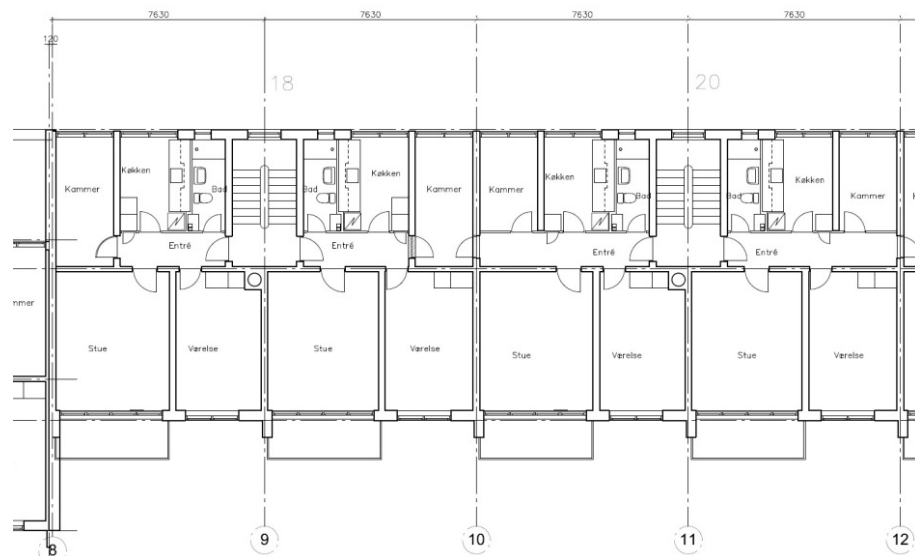
Måling af lydisolation i bebyggelsen Kagshusene i Brønshøj før renovering. DELTA rapport TC-100729. (Thysell & Hoffmeyer, 2015).

Målerapporten beskriver måleobjekter, konstruktioner, målemetode og måleresultater. I målerapporten findes kurveblade med lydisolationskurver for de enkelte målinger og sammenligninger af måleresultater fra bebyggelsen.

Situationsplan og plantegning



Figur B.1. Bebyggelsesplan. Ej målfast. Opgang 18 og 20, hvor målingerne er udført, er i bygning F.



Figur B.2. Plantegning over normalplan i opgang 20 og 18. Ej målfast.

Resultatoversigter Kagshusene

Tabel B.1. Måleresultater Kagshusene: Luftlydisolation R'_w og sammenligning med krav ved opførelse samt med DS 490, lydklasse C, som der refereres til i Bygningsreglement 2010..

Måling/ Kurve- blad nr.	Dato	Sende- rum	Modtage- rum	Måle- retning	Måle- resultat R'_w	Lydkrav ved opførelse		DS 490 klasse C	
						Mindst	Over- holder	Mindst	Over- holder
1	15-11-2012	20, 1. th. kammer	18, 1. tv. køkken	→	49 dB	–	–	55 dB	Nej
2	15-11-2012	20, 1. th. opholdsstue	18, 1. tv. værelse	→	53 dB	–	–	55 dB	Nej
3	15-11-2012	18, 1. th. værelse	18, 1. tv. opholdsstue	→	52 dB	–	–	55 dB	Nej
4	15-11-2012	18, 1. tv. opholdsstue	18, 2. tv. opholdsstue	↑	55 dB	–	–	55 dB	Ja
5	15-11-2012	18, 1. tv. værelse	18, 2. tv. værelse	↑	54 dB	–	–	55 dB	Nej
6	15-11-2012	18, stue th. værelse	18, 1. th. værelse	↑	55 dB	–	–	55 dB	Ja
7	15-11-2012	18, stue th. opholdsstue	18, 1. th. opholdsstue	↑	54 dB	–	–	55 dB	Nej
8	15-11-2012	18, stue th. kammer	18, 1. th. kammer	↑	54 dB	–	–	55 dB	Nej
9	15-11-2012	18, stue tv. opholdsstue	18, stue th. værelse	→	54 dB	–	–	55 dB	Nej

Tabel B.2. Måleresultater Kagshusene: Trinlydniveau $L'_{n,w}$ og sammenligning med krav ved opførelse samt med DS 490, lydklasse C, som der refereres til i Bygningsreglement 2010.

Måling/ Kurve- blad nr.	Dato	Sende- rum	Modtage- rum	Måle- retning	Måle- resultat $L'_{n,w}$	Lydkrav ved opførelse		DS 490 klasse C	
						Højst	Over- holder	Højst	Over- holder
10	15-11- 2012	20, 1. th. kammer	18, 1. tv. køkken	→	52 dB	–	–	53 dB	Ja
11	15-11- 2012	20, 1. th. opholdsstue	18, 1. tv. værelse	→	53 dB	–	–	53 dB	Ja
12	15-11- 2012	18, 2. tv. værelse	18, 1. tv. værelse	↓	59 dB	–	–	53 dB	Nej
13	15-11- 2012	18, 2. tv. opholdsstue	18, 1. tv. opholdsstue	↓	59 dB	–	–	53 dB	Nej
14	15-11- 2012	18, 1. th. værelse	18, 1. tv. opholdsstue	→	54 dB	–	–	53 dB	Nej
15	15-11- 2012	18, 1. th. værelse	18, stue th. værelse	↓	58 dB	–	–	53 dB	Nej
16	15-11- 2012	18, 1. th. opholdsstue	18, stue th. opholdsstue	↓	59 dB	–	–	53 dB	Nej
17	15-11- 2012	18, 1. th. kammer	18, stue th. kammer	↓	59 dB	–	–	53 dB	Nej

Appendiks C. Lunden, Brøndby Strand

– Beskrivelse og måleresultater

Beskrivelse af bebyggelsen

Bebyggelsens navn:	Lunden (Brøndby Strand)
Adresse:	Lejerbo Lunden Afd. 157-0 Daruplund 29, St 2660 Brøndby Strand
Byggeår:	1971
Antal boliger:	309 lejligheder
Bygherre:	Lejerbo
Renovering:	Byggeperiode: 2010-2012
Formål:	Fremtidssikring, fysisk og boligsocial helhedsplan, beboerinddragelse, byudvikling
Bemærkninger:	Udskiftning af gulve pga. defekt underlag

Bygningstype og hovedkonstruktioner

Bygningstype	Betonelementbyggeri, L&N Nybo byggesystem
Hovedkonstruktioner i lejlighedsskel:	
Vægge:	150 mm betonelementer
Etagedæk:	230 mm betonhuldæk
Gulv:	22 mm trægulv på strøer på plastkiler. Gulvhøjde ca. 90 mm.

Lydisolationsmålinger

Målinger af lydisolation i bebyggelsen Lunden er dels udført i marts 2012 før start af renovering, dels i april 2012 efter renovering. Der er før renoveringen udført 8 målinger af luftlydisolation R'_w og 7 målinger af trinlydniveau $L'_{n,w}$, og efter renoveringen udført 2 målinger af luftlydisolation R'_w og 5 målinger af trinlydniveau $L'_{n,w}$.

Figurerne C.1 og C.2 viser hhv. situationsplan og plantegning for bebyggelsen. I tabellerne C.1 og C.2 findes oversigter over måleresultater med angivelse af overholdelse af lydisolationskrav i bygningsreglementet på opførelsestidspunktet og i det seneste bygningsreglement BR2010.

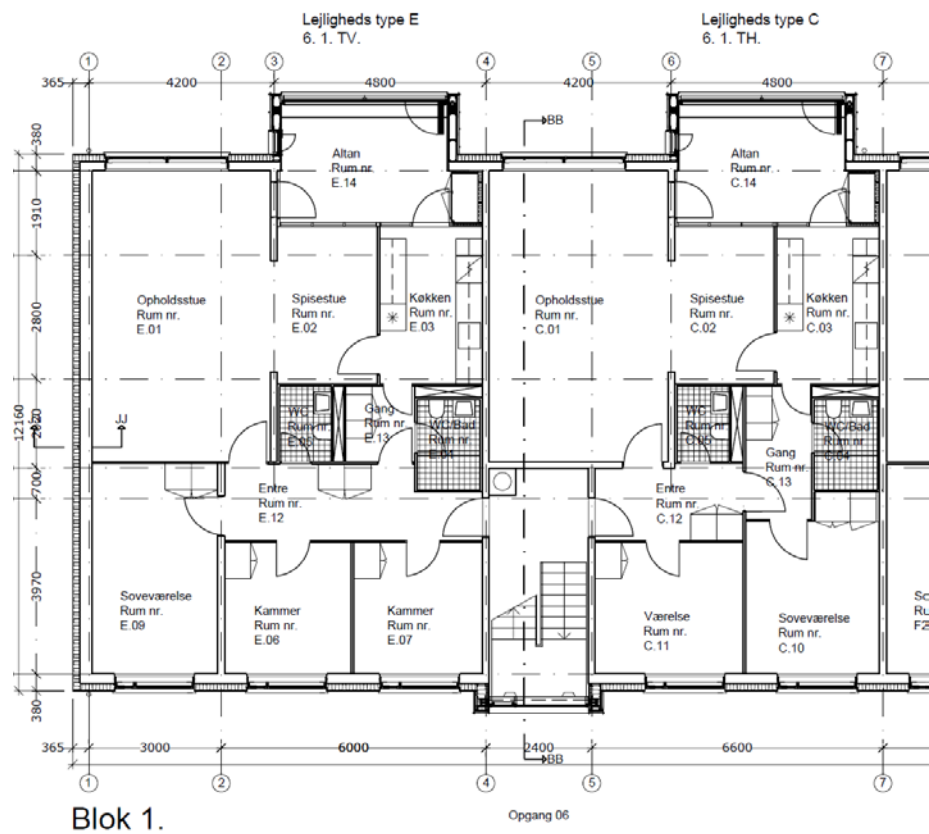
Målingerne er udført af DELTA og rapporteret i en målerapport (48 s): *Måling af lydisolation i bebyggelsen Lunden i Brøndby Strand før og efter renovering*. DELTA rapport TC-100728. (Thysell & Hoffmeyer, 2015).

Målerapporten beskriver måleobjekter, konstruktioner, målemetode og måleresultater. I målerapporten findes kurveblade med lydisolationskurver for de enkelte målinger og sammenligninger af måleresultater fra bebyggelsen.

Situationsplan og plantegning



Figur C.1. Bebyggelsesplan. Ej målfast. Opgang 43, hvor målingerne er udført, er i bygning 9.



Figur C.2. Plantegning over blok/opgang 43. Ej målfast.

Resultatoversigt Lunden, Brøndby Strand

Tabel C.1. Måleresultater Lunden: Luftlydisolation R'_w og sammenligning med krav ved opførelse samt med DS 490, lydklasse C, som der refereres til i Bygningsreglement 2010.. BR-krav ved opførelse omregnet til omtrentlig R'_w -værdi.

Måling/ Kurve- blad nr.	Dato	Sende- rum	Modtage- rum	Måle- retning	Måle- resultat R'_w	Lydkrav ved opførelse		DS 490 klasse C	
						Mindst	Over- holder	Mindst	Over- holder
1	11-03-2012	43, 3. th. stue	43, 3. tv. køkken	→	56 dB	52 dB	Ja	55 dB	Ja
2	11-03-2012	43, 2. tv. stue	43, 3. tv. stue	↑	57 dB	53 dB	Ja	55 dB	Ja
3	11-03-2012	43, 2. tv. køkken	43, 2. th. stue	→	53 dB	52 dB	Ja	55 dB	Nej
4	11-03-2012	43, 1. th. C11	43, 2. th. C11	↑	59 dB	53 dB	Ja	55 dB	Ja
5	11-03-2012	43, 1. th. stue	43, 2. th. stue	↑	57 dB	53 dB	Ja	55 dB	Ja
6	11-03-2012	43, 1. tv. E06	43, 2. tv. E06	↑	56 dB	53 dB	Ja	55 dB	Ja
7	11-03-2012	43, 1. tv. køkken	43, 1. th. stue	→	54 dB	52 dB	Ja	55 dB	Nej
8	11-03-2012	43, 1. th. stue	43, 1. tv. køkken	→	56 dB	52 dB	Ja	55 dB	Ja
9	26-04-2012	43, 2. tv. stue	43, 3. tv. stue	↑	58 dB	53 dB	Ja	55 dB	Ja
10	26-04-2012	43, 1. th. C11	43, 2. th. C11	↑	59 dB	53 dB	Ja	55 dB	Ja

Kortlægningsmåling, før renovering

Måling efter renovering

Tabel C.2. Måleresultater Lunden: Trinlydniveau $L'_{n,w}$ og sammenligning med krav ved opførelse samt med DS 490, lydklasse C, som der refereres til i Bygningsreglement 2010.. BR-krav ved opførelse omregnet til omtrentlig $L'_{n,w}$ -værdi.

Måling/ Kurve- blad nr.	Dato	Sende- rum	Modtage- rum	Måle- retning	Måle- resultat $L'_{n,w}$	Lydkrav ved opførelse		DS 490 klasse C	
						Højst	Over- holder	Højst	Over- holder
11	11-03-2012	43, 3. th. stue	43, 3. tv. køkken	→	46 dB	58 dB	Ja	53 dB	Ja
12	11-03-2012	43, 3. tv. stue	43, 2. tv. stue	↓	58 dB	58 dB	Ja	53 dB	Nej
13	11-03-2012	43, 3. tv. E06	43, 2. tv. E06	↓	58 dB	58 dB	Ja	53 dB	Nej
14	11-03-2012	43, 2. tv. køkken	43, 2. th. stue	→	50 dB	58 dB	Ja	53 dB	Ja
15	11-03-2012	43, 3. th. stue	43, 2. th. stue	↓	58 dB	58 dB	Ja	53 dB	Nej
16	11-03-2012	43, 2. tv. E06	43, 1. tv. E06	↓	57 dB	58 dB	Ja	53 dB	Nej
17	11-03-2012	43, 2. th. C11	43, 1. th. C11	↓	53 dB	58 dB	Ja	53 dB	Ja
18	26-04-2012	43, 3. tv. stue	43, 2. tv. stue	↓	52 dB	58 dB	Ja	53 dB	Ja
19	26-04-2012	43, 3. tv. E06	43, 2. tv. E06	↓	53 dB	58 dB	Ja	53 dB	Ja
20	26-04-2012	43, 3. th. stue	43, 2. th. stue	↓	53 dB	58 dB	Ja	53 dB	Ja
21	26-04-2012	43, 2. th. C11	43, 1. th. C11	↓	49 dB	58 dB	Ja	53 dB	Ja
22	26-04-2012	43, 2. tv. E06	43, 1. tv. E06	↓	53 dB	58 dB	Ja	53 dB	Ja

Kortlægningsmåling, før renovering

Måling efter renovering

Appendiks D. Ladegårdsparken, Holbæk – Beskrivelse og måleresultater

Beskrivelse af bebyggelsen Ladegårdsparken

Bebyggelsens navn:	Ladegårdsparken
Adresse:	Ladegårdsparken, 4300 Holbæk
Byggeår:	Bygget i 3 etaper: 1972-1978, 4 etager, 1991-92 påbygget ny tagetage, og 1997 facaderenovering
Antal boliger:	910 beboelseslejligheder
Bygherre:	Holbæk Boligselskab v/ Domea
Renovering:	Start primo 2012.
Formål:	Fremtidssikring, fysisk og boligsocial helhedsplan, beboerinddragelse, byudvikling.
Bemærkninger:	Udskiftning af gulve pga. defekt underlag.

Bygningstype og hovedkonstruktioner

Bygningstype Betonelementbyggeri, L&N Nybo byggesystem

Hovedkonstruktioner i lejlighedsskel:

Vægge: 150 mm betonelementer

Etagedæk: 230 mm betonhuldæk

Gulv, Etape I 17 mm trægulv på korkgranulat eller

Gulv, Etape II 21 mm trægulv på strøer på træfiberbrik

Gulve i prøvelejligheder og efter renovering: Se målerapport.

Lydisolationsmålinger

Målinger af lydisolation i bebyggelsen Ladegårdsparken er udført i perioden februar 2012 til februar 2014 før renovering, i prøvelejligheder og efter renovering. Der er udført hhv. 8, 4 og 3 målinger af luftlydisolation R'_w og 8, 4 og 4 målinger af trinlydniveau $L'_{n,w}$ hhv. før renovering, i prøvelejligheder og efter renovering.

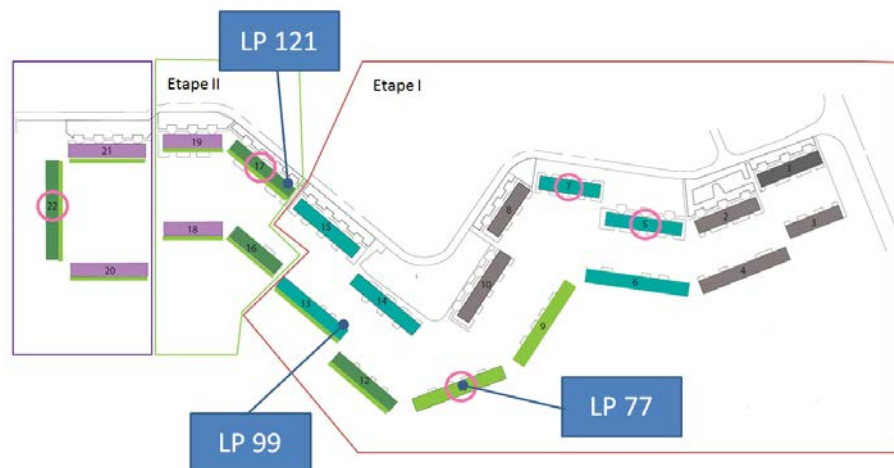
Figurerne D.1 og D.2 viser hhv. situationsplan og plantegning for bebyggelsen. I tabellerne D.1 og D.2 findes oversigter over måleresultater med angivelse af overholdelse af lydisolationskrav i bygningsreglementet på opførelsestidspunktet og i det seneste bygningsreglement BR2010.

Målingerne er udført af DELTA og rapporteret i en målerapport (65 s):

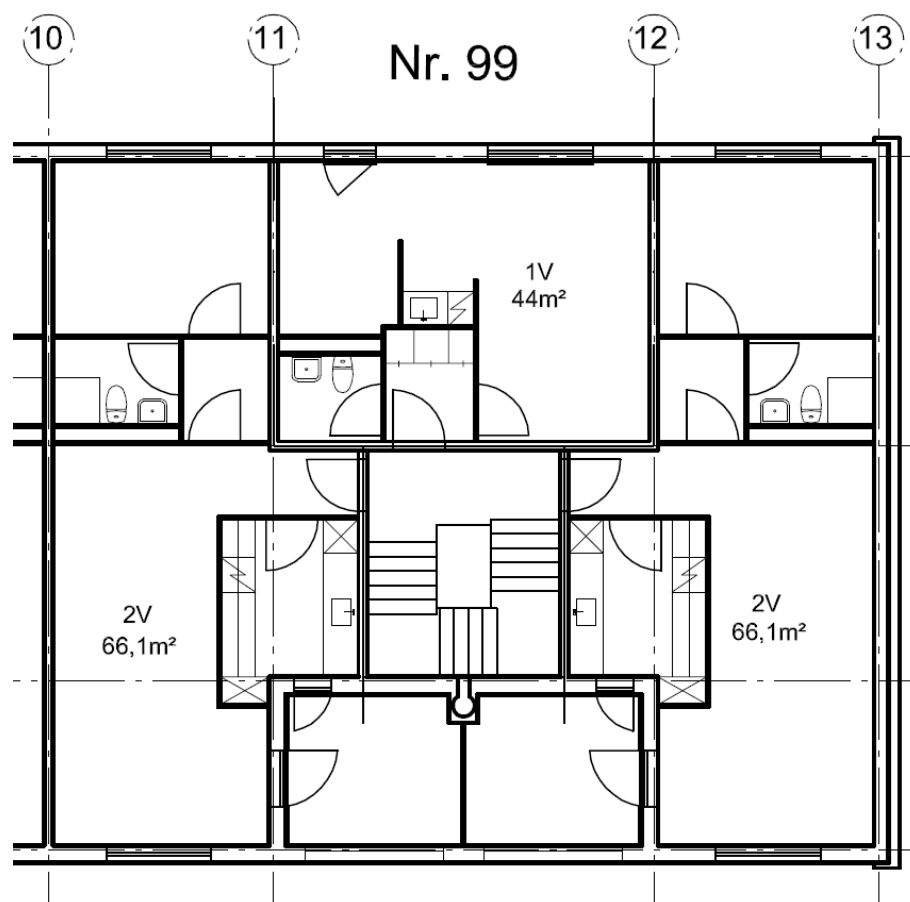
Måling af lydisolation i bebyggelsen Ladegårdsparken i Holbæk før og efter renovering. DELTA rapport TC-100727. (Thysell & Hoffmeyer, 2015).

Målerapporten beskriver måleobjekter, konstruktioner, målemetode og måleresultater. I målerapporten findes kurveblade med lydisolationskurver for de enkelte målinger og sammenligninger af måleresultater fra bebyggelsen.

Situationsplan og plantegning



Figur D.1. Bebyggelsesplan. Ej målfast. De opgange, hvor målinger er gennemført, er markeret med blå. Målinger: Etape I: Nr. 77 og 99; Etape II: Nr. 121



Figur D.2. Plantegning over normalplan i blok med opgang 99. Ej målfast.

Resultatoversigter Ladegårdsparken

Tabel D.1. Måleresultater Ladegårdsparken I & II: Luftlydisolation R'_w og sammenligning med krav ved opførelse samt med DS 490, lydklasse C, som der refereres til i Bygningsreglement 2010. BR-krav ved opførelse omregnet til omtrentlig $L'_{n,w}$ -værdi.

Måling/ Kurve- blad nr.	Dato	Sende- rum	Modtage- rum	Måle- retning	Måle- resultat R'_w	Lydkrav ved opførelse		DS 490 klasse C	
						Mindst	Over- holder	Mindst	Over- holder
1	23-02-2012	99, 3. th. v1	99, 3. mf.	→	56	52 dB	Ja	55 dB	Ja
2	23-02-2012	99, 3. th. v1	99, 2. th. v1	↓	53	53 dB	Ja	55 dB	Nej
3*	23-02-2012	99, 4. th. v1	99, 3. mf.	↓	60	53 dB	Ja	55 dB	Ja
4	23-02-2012	121, 2. mf.	121, 3. mf.	↑	59	53 dB	Ja	55 dB	Ja
5	23-02-2012	121, 2. mf.	121, 2. tv. v1	→	57	52 dB	Ja	55 dB	Ja
6	23-02-2012	121, 3. mf.	121, 2. mf.	↓	55	53 dB	Ja	55 dB	Ja
7	27-03-2012	121, 1. mf.	121, 2. mf.	↑	56	53 dB	Ja	55 dB	Ja
8	27-03-2012	99, 2. mf.	99, 3. mf.	↑	53	53 dB	Ja	55 dB	Nej
9	09-08-2012	99, 2. mf.	99, 3. mf.	↑	54	53 dB	Ja	55 dB	Nej
10	09-08-2012	121, 1. mf. v1	121, 2. tv. v1	↑	53	53 dB	Ja	55 dB	Nej
11	09-08-2012	121, 1. tv. stue	121, 2. tv. stue	↑	57	53 dB	Ja	55 dB	Ja
12	09-08-2012	121, 1. tv. v3	121, 2. tv. v3	↑	54	53 dB	Ja	55 dB	Nej
13	13-02-2014	77, 1. tv. stue	77, 2. tv. stue	↑	52	53 dB	Nej	55 dB	Nej
14	13-02-2014	77, 1. tv. v1	77, 2. tv. v1	↑	51	53 dB	Nej	55 dB	Nej
15	13-02-2014	77, 1. tv. v2	77, 2. tv. v2	↑	54	53 dB	Ja	55 dB	Nej

* Tagbolig fra 1992, ikke repræsentativ for den oprindelige bebyggelse.

Kortlægningsmåling, før renovering
Måling i prøvelejlighed
Måling efter renovering

Nr. 77 og 99 indgår i Etape I, Nr. 121 indgår i Etape II.

Tabel D.2. Måleresultater Ladegårdsparken I & II Trinlydniveau $L'_{n,w}$ og sammenligning med krav ved opførelse samt med DS 490, lydklasse C, som der refereres til i Bygningsreglement 2010. BR-krav ved opførelse omregnet til omtrentlig $L'_{n,w}$ -værdi.

Måling/ Kurve- blad nr.	Dato	Senderum	Modtage- rum	Måle- retning	Måle- resultat $L'_{n,w}$	Lydkrav ved opførelse		DS 490 klasse C	
						Højst	Over- holder	Højst	Over- holder
16	23-02-2012	99, 3. th. v1	99, 3. mf.	→	45	58 dB	Ja	53 dB	Ja
17	23-02-2012	99, 3. th. v1	99, 2. th. v1	↓	57	58 dB	Ja	53 dB	Nej
18*	23-02-2012	99, 4. tv. v1	99, 3. mf.	↓	56	58 dB	Ja	53 dB	Nej
19*	23-02-2012	99, 4. th. v1	99, 3. mf.	↓	58	58 dB	Ja	53 dB	Nej
20	23-02-2012	121, 3. mf.	121, 2. mf.	↓	55	58 dB	Ja	53 dB	Nej
21	23-02-2012	121, 2. mf.	121, 2. tv. v1	→	43	58 dB	Ja	53 dB	Ja
22	27-03-2012	121, 2. mf.	121, 1. mf.	↓	57	58 dB	Ja	53 dB	Nej
23	27-03-2012	99, 3. mf.	99, 2. mf.	↓	57	58 dB	Ja	53 dB	Nej
24	09-08-2012	99, 3. mf.	99, 2. mf.	↓	58	58 dB	Ja	53 dB	Nej
25	09-08-2012	121, 2. tv. v1	121, 1. mf. v1	↓	60	58 dB	Nej	53 dB	Nej
26	09-08-2012	121, 2. tv. v3	121, 1. tv. v3	↓	56	58 dB	Ja	53 dB	Nej
27	09-08-2012	121, 2. tv. stue	121, 1. tv. stue	↓	46	58 dB	Ja	53 dB	Ja
28	13-02-2014	77, 2. tv. v2	77, 1. tv. v2	↓	56	58 dB	Ja	53 dB	Nej
29	13-02-2014	77, 2. tv. v1	77, 1. tv. v1	↓	57	58 dB	Ja	53 dB	Nej
30	13-02-2014	77, 2. tv. stue	77, 1. tv. stue	↓	57	58 dB	Ja	53 dB	Nej
31	13-02-2014	77, 3. tv. v2	77, 2. tv. v2	↓	57	58 dB	Ja	53 dB	Nej

* Tagbolig fra 1992, ikke repræsentativ for den oprindelige bebyggelse.

Kortlægningsmåling, før renovering
Måling i prøvelejlighed
Måling efter renovering

77 og 99 indgår i Etape I, 121 indgår i Etape II.

I Danmark er der 1 mio. etageboliger, hvoraf ca. 0,6 mio. er bygget før der blev indført lydkrav i bygningsreglementet fra 1961, og ca. 0,4 mio. i de følgende knapt 50 år frem til implementeringen af skærpede lydkrav i Bygningsreglement 2008. Der er således behov for en opgradering af lydisolationen, men dette sker meget sjældent i forbindelse med renovering.

Rapporten beskriver dels en kortlægning af det danske etageboligbyggeri med hovedkarakteristika for boligadskillende konstruktioner, byggeår, antal boliger og lydisolation, dels resultater af feltmålinger i boligbebyggelser fra 1950'erne og 1970'erne samt af laboratorieforsøg med gulves trinlyddæmpning.

På baggrund af måleresultaterne konkluderes, at der med forholdsvis enkle løsninger for gulve kan tilvejebringes en trinlyddæmpning, der er betydeligt bedre end typiske, eksisterende gulve.

Det fremhæves, at mere bevidsthed og viden om mulighederne hos alle parter involveret i renovering af etageboligbyggeri kan bidrage til øget fokus på at tage lydmæssige forbedringer i betragtning på lige fod med andre kvalitetsforbedringer.

For at øge opmærksomheden om lydforholdene, giver rapporten forslag til initiativer vedrørende renoveringsprocessen og fremtidssikring af etageboligers lydisolation.

1. udgave, 2015

ISBN 978-87-563-1742-9