

Lydkrav for lette konstruktioner

*Rapport udarbejdet af
Dan Brøsted Pedersen
DELTA Akustik & Vibration*

Rekvirent: By- og Boligministeriet

September 1999

Forord

I forbindelse med den generelle indsats med henblik på frembringelse af næste generation lydbestemmelser i bygningsreglementerne har By- og Boligministeriet ønsket en analyse af alternative muligheder for opstilling af krav, som kan forebygge specielle akustiske problemer ved anvendelse af lette konstruktioner, samt en vurdering af kravenes konsekvenser.

Projektets udgangspunkt er den for By- og Boligministeriet udarbejdede rapport ”Lydforhold i bygninger – Lette konstruktioner”.

Projektet er udført sideløbende med projektet ”Ajourføring af kravniveauet for lydforhold i etageboligbyggeri”, og der er gennemført en teknisk-økonomisk konsekvensvurdering ud fra kravniveauet i dette projekt.

Den teknisk-økonomiske konsekvensvurdering er dels gennemført i samarbejde med Acoustica - Carl Bro as, dels foretaget ud fra oplysninger fra byggeproducenter og projekterende mv.

Rapporten er udarbejdet af DELTA Akustik & Vibration.

By- og Boligministeriet har ikke medvirket ved udformningen af rapporten og deler derfor ikke nødvendigvis forfatterens synspunkter.

Indholdsfortegnelse

Resumé.....	4
1. Baggrund	5
2. Formål, fremgangsmåde og afgrænsning	6
3. Måle- og vurderingsmetoder	7
3.1 Forslag til supplerende retningslinjer for målinger af luftlydisolation	7
3.2 Forslag til supplerende retningslinjer for målinger af trinlydniveau	8
4. Udviklingen i vore nabolande	9
5. Alternative muligheder for opstilling af krav til lydisolation.....	9
6. Forslag til nye krav til lydisolation mellem boliger i nybyggeri.....	11
7. Vurdering af teknisk-økonomiske konsekvenser.....	12
7.1 Nye lette byggesystemer.....	12
7.2 Kombinationer af tunge dæk og lette vægge	14
8. Ressourcer og miljø	16
9. Konklusion.....	17
10. Referencer	18
BILAG 1 Kalkulation af pris for søjle-plade system.....	19

Resumé

Der er gennemført en analyse af alternative muligheder for opstilling af lydkrav, som kan forebygge specielle akustiske problemer for lette konstruktioner. Med udgangspunkt i analysen foreslås det for lette konstruktioner at udvide det bygningsakustiske frekvensområde nedad og indføre de spektrale korrektionsled $C_{50-3150}$ og $C_{L,50-2500}$ defineret i DS/EN ISO 717. De spektrale korrektionsled foreslås anvendt for lejlighedsadskillende vægge med en vægt på mindre end 100 kg/m^2 og for etageadskillelser med en vægt på under 250 kg/m^2 .

Med udgangspunkt i nyere danske lette byggesystemer, som både vandret og lodret stort set opfylder BR-kravene til lydisolering mellem sammenbyggede enfamiliehuse, er der foretaget en teknisk-økonomisk vurdering af konsekvenserne af at gennemføre forslaget til nye lydkrav for lette konstruktioner. De nødvendige bygningsmæssige foranstaltninger skyldes kravet til trinlydniveau. Med foranstaltningerne forbedres etageadskillelsernes lydisolering med ca. 5 dB, hvilket af beboerne opleves som en markant forskel. I tilknytning hertil forventes der meromkostninger på ca. 2-3% af den samlede håndværkerudgift, typisk svarende til en huslejestigning på under 1%. Meromkostningerne kan blive lavere ved produktudvikling.

1. *Baggrund*

Som anført i [1] har lette konstruktioner ved lave frekvenser en dårligere lydisolationsend tunge bygningskomponenter, mens det ofte forholder sig omvendt ved højere frekvenser. Selv om lydkravene i bygningsreglementerne [2] og [3] opfyldes, betyder den forholdsvis ringe lydisolationsend ved lave frekvenser, at beboernes forventninger til støjforholdene i nyt let byggeri ofte ikke indfries. Ved opstilling af krav til de akustiske egenskaber for lette konstruktioner bør der derfor fokuseres på lave frekvenser, primært under 100 Hz.

Nye udgaver af DS/EN ISO 140, [4] og [5], og DS/EN ISO 717, [6] og [7], indeholder informative annekser med beskrivelser af måle- og vurderingsmetoder ned til 50 Hz. Vurderingsmetoderne benyttes for de højeste lydklasser i nye svenske og norske lydklassestandarder [8] og [9] samt i forslaget til en INSTA standard for lydklassifikation af boliger [10], som dog ikke er vedtaget.

Måling og vurdering af lydisolationsend ned til 50 Hz foreskrives i de nye svenske bygningsbestemmelser [11], der henviser til den svenske lydklassestandard [8], og anbefales i den norske lydklassestandard [9], hvortil der henvises i de norske bygningsbestemmelser [12].

Analysen beskrevet i [1] tyder på, at de nye metoder er velegnede til vurdering af A-vægtet nabostøj ved frekvenser ned til 50 Hz. Med A-vægtningen fås dog måske en for mild vurdering af genevirkningen for lavfrekvent støj. I øvrigt kan frekvensområdet under 50 Hz også have betydning, især for trinstøj. Det er således ikke sandsynligt, at vurderingerne vil vise sig at være for strenge.

Med vurderingsmetoderne kan man ikke med sikkerhed kompensere for alle specielle akustiske egenskaber ved lette konstruktioner, men grundlaget er væsentligt bedre end det i dag benyttede. Der findes ikke andre internationalt standardiserede metoder, og det bemærkes, at de nyeste kendte undersøgelser vedrørende trinlyd beskrevet i [13] ikke har ført til forslag til yderligere modifikationer af måle- og vurderingsmetoder.

I [1] opstilles principperne for et muligt alternativ til introduktion af nye måle- og vurderingsmetoder ned til 50 Hz. Alternativet består af en stramning af kravene til de hidtil benyttede enkelttalsværdier (R'_w og $L'_{n,w}$) for lette bygningskonstruktioner.

Ved anvendelse af de nye vurderingsmetoder - eller en stramning af kravene til lydisolationsend i let byggeri - må der i et vist omfang forventes højere byggeomkostninger.

2. Formål, fremgangsmåde og afgrænsning

Projektets formål er at analysere ovennævnte alternative muligheder for opstilling af krav til luftlydisolation og trinlydniveau, som kan forebygge specielle akustiske problemer ved anvendelse af lette konstruktioner i nybyggeri. På grundlag af denne analyse er der opstillet et forslag til særlige krav til luftlydisolation og trinlydniveau mellem boliger i let byggeri. Der er desuden gennemført en teknisk-økonomisk konsekvensanalyse ud fra kravniveauet i det sideløbende projekt "Ajourføring af kravniveauet for lydforhold i etageboligbyggeri".

Der er taget udgangspunkt i [1] samt de nyeste standarder til måling og vurdering af lyd-isolation i bygninger [4], [5], [6] og [7]. Da målestandarderne ikke på en hensigtsmæssig måde beskriver måleprocedurer ned til 50 Hz, er der opstillet forslag til supplerende retningslinjer for kontrolmålinger i boliger.

Den teknisk-økonomiske konsekvensanalyse er begrænset af det forhold, at der i byggebranchen må forventes en væsentlig produktudvikling og -optimering i de kommende år, idet der endnu kun findes få byggerier med lette boligadskillende konstruktioner både vandret og lodret.

3. Måle- og vurderingsmetoder

De relevante måle- og vurderingsmetoder i DS/EN ISO 140 og DS/EN ISO 717 er omtalt i [1].

Det fremgår bl.a., at feltmålestandarderne DS/EN ISO 140 del 4 [4] og 7 [5] er forsynet med informative annekser med retningslinjer for målinger ved lave frekvenser. I disse annekser, som det ikke er et krav at følge, foreskrives bl.a. minimumsafstande på 1,2 m mellem rumoverflader og mikrofonpositioner, hvilket umuliggør en hensigtsmæssig midling af lydtrykniveauet i de fleste beboelsesrum.

Det foreslås derfor i stedet i videst mulig udstrækning at benytte samme måleprocedure under 100 Hz som beskrevet i de normative dele af standarderne for frekvensområdet 100-3150 Hz. De supplerende retningslinjer nedenfor er udarbejdet på denne baggrund og overlapper delvist de foreskrevne måleprocedurer i standarderne for frekvensområdet 100-3150 Hz. Retningslinjerne kan dog for nogle målesituationer være i modstrid med forskrifterne for frekvensområdet 100-3150 Hz og kan således ikke ukritisk benyttes i hele frekvensområdet 50-3150 Hz. Retningslinjerne er ikke opstillet som komplette målevejledninger og sikrer ikke den bedst mulige målenøjagtighed. I nogle situationer kan det således være hensigtsmæssigt at benytte flere kilde- og mikrofonpositioner. Som hovedregel følges hovedstandarderne, hvis der ikke er specificeret alternative fremgangsmåder.

3.1 Forslag til supplerende retningslinjer for målinger af luftlydisolation

Det anbefales normalt at benytte det største rum som senderum.

Sende- og modtagerumsniveauer måles med en rundstrålende højttaler. Der benyttes mindst to højttalerpositioner, mindst 0,7 m fra gulve/vægge/lofter og med en indbyrdes afstand på mindst 1,4 m. Højttalerpositionerne skal indbyrdes være forskudt mindst 0,7 m i alle tre dimensioner. Minimumsafstanden til skillefladen er 1 m (dog helst mindst 2 m ved målinger for skillevægge).

For hver højttalerposition måles lydtrykniveauet med mindst fem faste mikrofoner eller en roterende mikrofonsvingarm med størst mulig radius (mindst 1 m) i henholdsvis sende- og modtagerum. Mikrofonpositioner eller mikrofonbaner ændres, når højttaleren flyttes. Stativer med fast monterede roterende mikrofonsvingarme drejes 180E (alternativt 90E) omkring en lodret akse og forskydes eventuelt i rummet. Afstanden mellem gulve/vægge/lofter og mikrofoner skal være mindst 0,7 m, dog mindre for roterende mikrofonsvingarme, såfremt radius ellers bliver væsentligt mindre end 1 m.

Måletiden pr. højttalerposition skal være mindst 30 s. For en fast mikrofonposition måles i mindst 8 s. Støj fra højttaleren og baggrundsstøj i modtagerummet måles for samme mikrofonpositioner.

Efterklangstiden i modtagerummet måles for mindst to højttalerpositioner. Højttalertype og afstand til gulve/vægge/lofter er ikke kritisk. For hver højttalerposition benyttes en roterende mikrofonsvingarm med en rotationstid på mindst 30 s eller tre faste mikrofonpositioner, som varieres, når højttaleren flyttes. Efterklangstiden bestemmes for mindst seks excitationer pr. højttalerposition over et evalueringsområde på 20 dB. Henfaldskurverne kan eventuelt midles for flere excitationer før bestemmelse af efterklangstiden (ensemble averaging).

3.2 Forslag til supplerende retningslinjer for målinger af trinlydniveau

Den benyttede bankemaskine placeres asymmetrisk over måleobjektet, mindst 0,7 m fra væggene. For måleobjekter med et areal på under 20 m² benyttes mindst fire bankemaskinepositioner. For større måleobjekter benyttes mindst seks positioner.

Lydrykniveau i modtagerummet, baggrundsstøj og efterklangstid måles som beskrevet ovenfor for luftlydisolation. Mikrofonpositioner eller mikrofonbaner kan dog være de samme for to bankemaskinepositioner. Måletiden pr. bankemaskineposition skal være mindst 30 s for en roterende mikrofonsvingarm og mindst 8 s for en fast mikrofonposition.

4. *Udviklingen i vore nabolande*

I vore nabolande har man inden for de seneste år gennemført fornyelser af bygningsreglementernes lydkrav. I Sverige og Norge er der således indført en henvisning til en lydklassestandard, hvor en bestemt klassebetegnelse svarer til byggemyndighedernes minimumskrav (se [14]).

I Sverige kræves anvendelse af de spektrale korrektionsled $C_{50-3150}$ og $C_{1,50-2500}$ for gener ved lave frekvenser ned til 50 Hz.

I Norge anbefales det at anvende ovennævnte spektrale korrektionsled. Anvendes disse, skal luftlydkravet lempes med 2 dB, mens trinlydkravet er uforandret.

5. *Alternative muligheder for opstilling af krav til lydisolation*

I det følgende foretages en sammenligning af to alternative muligheder for opstilling af krav til lydisolation.

I [1] forklares baggrunden for et alternativ til at udvide det bygningsakustiske frekvensområde nedad og indføre de spektrale korrektionsled. Princippet for dette alternativ er, at kravet til både R'_w og $L'_{n,w}$ for lette konstruktioner øges med 5 dB. Der er flere væsentlige fordele ved blot at skærpe kravene med 5 dB:

- Der findes standardiserede målemetoder, som har været almindeligt anvendt i mange år.
- Måleudstyr og software er udbredt.
- Måleusikkerheden er begrænset.
- Der findes et pålideligt grundlag for projektering (vejledninger, laboratoriemålinger mv.).

Af ulemper ved en simpel skærpelse på 5 dB for lette konstruktioner kan nævnes:

- Der skal skelnes mellem ”lette” og ”tunge” konstruktioner ved hjælp af en grænse for konstruktionernes vægt pr. arealenhed.
- Med mindre denne grænse er høj, skal der suppleres med en grænse for konstruktionernes grundresonansfrekvens.
- I tilfælde af væsentlig flanketransmission eller lydbroer forekommer den betydeligste lydtransmission ofte ved forholdsvis høje frekvenser, hvorved de spektrale forskelle

mellem tunge og lette konstruktioner udlignes, og en differentiering mellem tunge og lette konstruktioner mister sin berettigelse.

- En optimering af lydisolationen over 100 Hz for at opfylde et skærpet krav til lette konstruktioner kan betyde, at støjgener ved lavere frekvenser ikke afhjælpes.

På tilsvarende måde kan der anføres følgende fordele ved at indføre de spektrale korrektionsled ned til 50 Hz:

- Kravene til lydisolation kan opstilles på en enkel måde.
- Måleresultatet afspejler i videst mulig udstrækning risikoen for generende nabostøj ned til 50 Hz på det konkrete målested.
- Lydkravene opstilles efter samme principper som i Sverige og til dels Norge.
- Der opbygges erfaring med lydisolation ved lave frekvenser.

Af ulemper ved at indføre de spektrale korrektionsled kan nævnes:

- Der kræves en vis udskiftning af måleudstyr og software.
- Målingerne tager længere tid.
- Måleusikkerheden bliver større og kendes kun overslagsmæssigt.
- Ved lave frekvenser afhænger lydisolationen for identiske konstruktioner i høj grad af de aktuelle rumdimensioner og kan udvise betydelige variationer.

Ved udarbejdelse af forslag til nye lydkrav ud fra en afvejning af fordele og ulemper for de to alternative principper er der lagt vægt på følgende:

- Som følge af højere måleomkostninger bør en eventuel udvidelse af frekvensområdet primært finde sted for byggerier, hvor det har reel betydning for vurderingen af nabostøjens genevirkning.
- Ved udvikling af nye lette byggesystemer bør der lægges vægt på de lydmæssige egenskaber ned til 50 Hz, dvs. der bør stilles krav og indhentes erfaringer for et udvidet frekvensområde.
- Nye lydkrav skal kunne beskrives og administreres så enkelt som muligt.

Forslaget er nærmere beskrevet i Afsnit 6.

6. Forslag til nye krav til lydisolations mellem boliger i nybyggeri

Langt størstedelen af dansk byggeri opføres med tunge konstruktioner, for hvilke lydisolations under 100 Hz sjældent har praktisk betydning. Der bør derfor ikke generelt kræves målinger ned til 50 Hz, som i større eller mindre omfang kræver nyt udstyr og mere tidkrævende måleprocedurer. Derfor foreslås det kun for lette konstruktioner at udvide det bygningsakustiske frekvensområde nedad og indføre de spektrale korrektionsled $C_{50-3150}$ og $C_{1,50-2500}$.

Til afgrænsning mellem lette og tunge konstruktioner er det nødvendigt at fastsætte grænseværdier for vægten pr. arealenhed for henholdsvis vægge og dæk. Ved at sætte grænserne tilstrækkeligt højt kan det undgås at opstille supplerende betingelser, som er relateret til dobbeltkonstruktionernes grundresonansfrekvens. Det foreslås derfor at fastsætte grænseværdier, som er lidt lavere end vægten pr. arealenhed for de letteste, almindeligt udbredte konstruktionstyper i traditionelt dansk byggeri af beton eller letbeton. Sådanne konstruktioner er dobbelte porebetonvægge (ca. 130 kg/m^2) og betonhulpladedæk med trægulv (ca. 310 kg/m^2). Grænserne for vægten pr. arealenhed foreslås således fastsat til henholdsvis 100 kg/m^2 for skillevægge og 250 kg/m^2 for etageadskillelser.

Grænseværdierne gælder for den adskillende flade mellem to rum i den aktuelle målesituation.

Som i f.eks. [10] bør udvidelse af det bygningsakustiske frekvensområde og introduktion af de spektrale korrektionsled medføre en reduktion af kravværdien for luftlydisolation med 2 dB. Kravet til luftlydisolation bliver dermed $R'_w + C_{50-3150} \geq 53 \text{ dB}$. Kravet til trinlydniveau ($\geq 53 \text{ dB}$) bør gælde for både $L'_{n,w}$ og $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$.

I overensstemmelse med retningslinjer anført i [15] er det i dag almindelig praksis at acceptere overskridelser af et aktuelt BR-krav på 1 dB, såfremt gennemsnittet for ens konstruktioner opfylder kravet. Denne praksis skyldes, at det er muligt at begrænse måleusikkerheden til $\leq 1 \text{ dB}$. Ved anvendelse af de spektrale korrektionsled ned til 50 Hz er måleusikkerheden sandsynligvis $\leq 2 \text{ dB}$ (i nogle tilfælde mere, afhængigt af de undersøgte konstruktioner). Det foreslås derfor at acceptere overskridelser på 2 dB, såfremt gennemsnittet for identiske konstruktioner opfylder kravet.

Som en følge af de begrænsede erfaringer med lydisolations ved frekvenser under 100 Hz er der risiko for mere hyppige overskridelser af BR-kravene umiddelbart efter en eventuel introduktion af de spektrale korrektionsled ned til 50 Hz. Denne risiko kan bl.a. begrænses ved informationsvirksomhed om korrekt projektering ud fra krav til lydisolations i et udvidet frekvensområde. Ved projektering af nye bygninger bør der desuden advares imod at overføre erfaringer fra eksisterende byggerier uden at tage højde for de betydelige variationer, som lydisolations for samme konstruktioner udviser ved lave frekvenser.

7. *Vurdering af teknisk-økonomiske konsekvenser*

Den teknisk-økonomiske konsekvensvurdering er dels gennemført i samarbejde med Acoustica - Carl Bro as, dels foretaget ud fra oplysninger fra byggeproducenter og projekterende mv.

Der er udført overslagsmæssige beregninger af forhøjelsen af håndværkerudgifter som følge af forbedrede konstruktioner (arbejds løn plus materialer, excl. moms).

Som Bilag 1 i [14] er prisen pr. m² etageareal i Afsnit 7.2 beregnet under den forudsætning, at der for hver kvadratmeter lejlighedsskel (skillevæg) skal bruges 2 m² facade og 3,5 m² etageadskillelse. Denne fordeling gælder for lange og høje ejendomme, men f.eks. ikke for byggeri i to etager, hvor der for hver kvadratmeter lejlighedsskel kun skal bruges 1,75 m² etageadskillelse. I Afsnit 7.1 regnes der med byggeri i to-tre etager.

Den teknisk-økonomiske konsekvensvurdering vedrører to trin for en eventuel stramning af kravene til luftlydisolation og trinlydniveau:

- En skærpelse af lydkravene fra de nugældende til niveauet i BR-S 98 for sammenbyggede enfamiliehuse ($R'_w \geq 55$ dB og $L'_{n,w} \leq 53$ dB)
- En udvidelse af det bygningsakustiske frekvensområde nedad og introduktion af de spektrale korrektionsled ($R'_w + C_{50-3150} \geq 53$ dB og $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 53$ dB) for lette konstruktioner

Hovedvægten er lagt på det sidst nævnte trin.

7.1 *Nye lette byggesystemer*

Ifølge måleresultater i [16] og [1] opfyldes BR-kravene for sammenbyggede enfamiliehuse med kun meget få undtagelser i de nyere byggerier opført med konkurrencedygtige lette byggesystemer (Ecohouse, Continua, Casa Nova, Danogips etagedæk). En skærpelse af kravniveauet i etageejendomme til niveauet for sammenbyggede enfamiliehuse medfører således ingen nævneværdig fordyrelse for denne kategori af bygninger.

Med hensyn til krav i et udvidet frekvensområde har målinger for de fire byggesystemer nævnt ovenfor givet følgende generelle resultater efter introduktion af de spektrale korrektionsled:

- Kravet til luftlydisolation opfyldes altid (både vandret og lodret).
- Kravet til trinlydniveau opfyldes for gulve med et areal på ca. 10 m².
- Kravet til trinlydniveau overskrides med 4-5 dB for gulve med et areal på mere end ca. 30 m².

Byggesystemerne og de fleste måleresultater er beskrevet i [1]. Målingerne udgør ikke nogen omfattende analyse af byggesystemerne, og det er ikke muligt ud fra et begrænset antal måleresultater nøjagtigt at beskrive de nødvendige foranstaltninger for overholdelse af trinlydkravet. For at forbedre trinlydniveauet kan en eller flere af følgende foranstaltninger f.eks. tænkes udført:

- Stivere bærende system (specielle bjælker, større profilhøjde, kortere spændvidde)
- Tungere gulv (f.eks. flere lag gulfplade, anhydritlag, betonfliser, sand eller sten)
- Bedre lydisolerende loft (større hulrum, større mængde lydabsorberende materiale, tungere loft, bedre svingningsdæmpende system)
- Dæmpning af flanketransmission

Merprisen for et stivere bjælkesystem i forhold til almindeligt benyttede træbjælker er i Sverige beregnet til SEK 25-90 pr. m² etageadskillelse, afhængigt af det valgte bjælkesystem.

Merprisen for at forøge gulvets vægt med tre lag gulfplade er ca. kr. 250 pr. m². En tungere løsning med f.eks. betonfliser er dyrere, mens sand eller sten kan udlægges billigere. (Af byggesystemerne nævnt ovenfor er Casa Nova dækket allerede forsynet med 45 mm perlesten).

Merprisen for et bedre lydisolerende loft er ligeledes ca. kr. 250 pr. m² (100 mm ekstra mineraluld, et ekstra lag gulfplade, evt. gummisvingningsdæmpere).

Det er ikke forsøgt at beregne merprisen for at dæmpe flanketransmission, der bør dæmpes ved ændring af samplingsdetaljer. Dæmpning af flanketransmission kan i øvrigt minimere behovet for ovennævnte udgiftskrævende foranstaltninger.

Der må typisk påregnes en forøget højde for etageadskillelsen på ca. 100 mm. De heraf følgende ekstraomkostninger til vægge antages at være de samme som ekstraudgifterne til ydervægge i [1] for traditionelt byggeri (ca. kr. 25 pr. m² etageadskillelse).

Der er ikke taget stilling til eventuelle krav, som kunne begrænse vibrationerne fra fodtrin på lette etagedæk. Det skal dog anføres, at vibrationerne primært hænger sammen med udformningen af bærende bjælker og gulv (ikke mindst vægten), mens loftet kun spiller en mindre rolle. Ved forbedring af trinlydniveauet for de nævnte byggesystemer er det derfor hensigtsmæssigt at kombinere et stivere bjælkesystem med et tungere gulv.

Typiske omkostninger ved forbedring af trinlydniveauet for en let etageadskillelse består dermed af:

1. Stivere bjælkestystem (SEK 25-80)
2. Tungere gulv (kr. 50-250, afhængigt af materialevalg)
3. Højere ydervægge (kr. 25)

I alt er merudgifterne ca. kr. 100-350 pr. m² etageadskillelse. I 2-etages byggeri er merudgifterne som følge af forbedrede etageadskillelser pr. m² etageareal ca. kr. 50-170, i 3-etages byggeri ca. kr. 70-230. Merudgifterne udgør således 1-4% af en anslået samlet håndværkerudgift på kr. 6.000. Ved de billigste løsninger udlægges sand eller sten i etageadskillelsen. Ved de dyreste ligner gulvkonstruktionerne f.eks. norske og finske typer beskrevet i [17]. En typisk fordyrelse af byggesystemerne er sandsynligvis 2-3%, dvs. det samme som anført i [14] for almindeligt benyttede konventionelle byggesystemer ved en generel ajourføring af kravniveauet i etageejendomme. Huslejestigningen forventes derfor også at blive omtrent den samme som anført i [14] (under 1%).

Ved en generel ajourføring af lydkravene i etageejendomme som beskrevet i [14] dæmpes nabostøjen i princippet med 2-5 dB. Ved anvendelse af de spektrale korrektionsled ned til 50 Hz for lette konstruktioner er dæmpningen af nabostøjen ca. 5 dB, og desuden forventes en dæmpning af vibrationer fra fodtrin. Betalingsvilligheden blandt beboerne må derfor forventes at være mindst den samme som for en ajourføring af kravniveauet i konventionelt byggeri til kravet for sammenbyggede enfamiliehuse.

Som ved den generelle ajourføring af lydkravene må der efter en vis produktudvikling forventes en lavere meromkostning end de nævnte 2-3% af håndværkerudgifterne. Blandt tiltag, som sandsynligvis kan forbedre lydisolationen i en del byggerier uden væsentlige omkostninger, er dæmpning af flanketransmission.

7.2 *Kombinationer af tunge dæk og lette vægge*

Da introduktionen af de spektrale korrektionsled i de fleste tilfælde har langt størst konsekvenser for etageadskillelsernes udformning, kan det være relevant at undersøge en kombination af tunge etageadskillelser og lette vægge, f.eks. i form af et søjle-plade system af beton med gipspladevægge. Ydervæggene kan (delvis) være lette. I modsætning til lette byggesystemer kan søjle-plade konstruktioner af beton opføres i mange etager. Ifølge en beregning for lange og høje bygninger, som kan sammenlignes med beregningerne i [14], er udgiften ca. kr. 1.350 pr. m² etageareal fra dæk, søjler, bagvægge og skillevægge (se Bilag 1). Ved sammenligning med Figur 1 i [14] ses det, at det er billigere end pladsstøbt betonbyggeri (type 1 og 1A). Søjle-plade huset er dog ca. kr. 350 dyrere pr. m² etageareal end de fleste konstruktionstyper, som kan opfylde de ajourførte krav. Søjle-plade systemet er således ud fra en økonomisk betragtning mest relevant ved endnu højere kravniveauer, idet både de pladsstøbte dæk og gipspladevæggene kan gøres væsentligt tykkere uden meget betydelige fordyrelser.

Det skal bemærkes, at der i Danmark findes søjle-plade huse, som ligner det her undersøgte, men med håndværkerudgifter på samme niveau som i typisk konventionelt byggeri. Det ajourførte krav til trinlydniveau kan dog ikke altid opfyldes i disse huse, og de benyttede lette vægge opfylder ikke et krav til $R'_w + C_{50-3150}$ på mindst 53 dB.

En alternativ mulighed kunne i øvrigt være dækelementer af beton med stor spændvidde kombineret med lette skillevægge. Der forligger ikke nærmere erfaringsmateriale fra sådanne byggerier.

Ved anvendelse af gipspladevægge som lejlighedsskel med tunge flankerende konstruktioner fås ved en ajourføring af lydkravene i etageejendomme en merudgift på ca. kr. 20 pr. m² etageareal (se Bilag 1). Denne merudgift er af samme størrelsesorden som for de fleste tunge skillevægge ifølge Figur 3 i [14].

Ved indførelse af krav til $R'_w + C_{50-3150}$ (≥ 53 dB) fås yderligere en merudgift på ca. kr. 70 pr. m² etageareal (se Bilag 1) svarende til godt 1% af håndværkerudgifterne.

For etagebyggeri med lette lejlighedsadskillende vægge og tunge dæk fås således en ekstraudgift fra skillevæggene på i alt ca. 1,5% af håndværkerudgifterne ved en ajourføring af kravniveauet og udvidelse af det bygningsakustiske frekvensområde nedad. Denne ekstraudgift fra skillevæggene er væsentligt højere end i byggeri med tunge vægge og dæk.

8. *Ressourcer og miljø*

Ved udvidelse af det bygningsakustiske frekvensområde nedad og indførelse af de spektrale korrektionsled er det nødvendigt at forbedre lydisoleringen for etageadskillelserne i forhold til eksisterende nyere let byggeri. Denne forbedring kan bl.a. opnås ved - sammen med andre tiltag - at forøge etageadskillelsernes vægt, typisk med ca. 50 kg/m². I 2- og 3-etages ejendomme er der i så fald tale om en vægtforøgelse på ca. 30 kg pr. m² etageareal. Denne forøgelse må siges at være betydelig i bygninger, som udelukkende opføres med lette konstruktioner. Vægtforøgelsen er dog væsentligt større for langt de fleste tunge bygningstyper ved en generel ajourføring af kravniveauet for etageboligbyggeri, med mindre der opsættes forholdsvis kostbare lydisolerede lofter (se Figur 7 i [14]).

En markant forbedring af lydisoleringen i let byggeri kan altså tilvejebringes med et væsentligt mindre ressourceforbrug end en tilsvarende forbedring i konventionelt tungt byggeri. Merudgifterne ved forbedringen er omtrent ens i både let og tungt byggeri (se Afsnit 7.1), og for begge kategorier kan der efter en vis produktudvikling forventes både lavere meromkostninger og en reduktion af vægtforøgelsen.

Der er ressourcemæssige grunde til at minimere transport af byggematerialer. Ved at udlægge lokalt tilgængeligt løst - forholdsvis tungt - materiale i etageadskillelser kan man begrænse transport af forarbejdede materialer (f.eks. plader til undergulve). Anvendelse af løst materiale forudsætter dog, at der f.eks. opbygges en gulvkonstruktion på strøer, imellem hvilke materialet udlægges, eller at materialet bæres længere nede i etagedækket af en indskudt plade eller lignende.

I en del økologisk byggeri benyttes tunge bygningsdele til varmeakkumulering og dermed udjævning af temperaturudsving i løbet af døgnet. For at dæmpe trinstøj ved lave frekvenser er det ønskeligt, at etageadskillelserne er forholdsvis tunge, mens væggenes masse ikke har helt samme betydning for de akustiske forhold.

Som et supplement eller alternativ til gennem produktudvikling at minimere vægten af konstruktionerne i let byggeri kunne det være relevant at udvikle etageadskillelser med gode varmeakkumulerende egenskaber.

9. Konklusion

Nyere etageboligbyggeri opført udelukkende med lette konstruktioner opfylder stort set de nugældende krav til luftlydisolation og trinlydniveau i sammenbyggede enfamiliehuse. På trods heraf bør der opstilles særlige lydkrav til lette lejlighedsskel både vandret og lodret, som tager højde for lette konstruktioners forholdsvis dårlige lydisolation ved lave frekvenser.

For i videst muligt omfang - uden store meromkostninger - at forebygge specielle akustiske problemer for lette konstruktioner foreslås det at udvide det bygningsakustiske frekvensområde nedad til 50 Hz og introducere de spektrale korrektionsled defineret i DS/EN ISO 717. Med udgangspunkt i et ajourført kravniveau i etageboligbyggeri - svarende til de nugældende krav for sammenbyggede enfamiliehuse - foreslås kravene, som er anført i Tabel 1.

Luftlydisolation	$R'_w + C_{50-3150} \exists 53 \text{ dB}$
Trinlydniveau	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \# 53 \text{ dB}$ $L'_{n,w} \# 53 \text{ dB}$

Tabel 1

Forslag til lydkrav for lette konstruktioner.

Kravene i tabellen bør gælde for skillevægge med en vægt pr. arealenhed på mindre end 100 kg/m^2 og for etageadskillelser med en vægt pr. arealenhed på mindre end 250 kg/m^2 . For tungere konstruktioner kan de hidtil benyttede måle- og vurderingsmetoder bibeholdes.

Som et gennemsnit må der i forhold til eksisterende nyere lette byggerier umiddelbart påregnes merudgifter på ca. 2-3% af håndværkerudgifterne ved indførelse af de foreslåede krav. Stort set alle merudgifter skyldes kravet til trinlydniveau. Efter en vis produktudvikling forventes lavere meromkostninger. De forventede merudgifter er omtrent de samme som for konventionelle, tunge bygningskonstruktioner ved ajourføring af kravniveauet i etageboliger til det nuværende niveau for sammenbyggede enfamiliehuse (se [14]).

Der må umiddelbart forudses en vis vægtforøgelse, såfremt kravene i Tabel 1 indføres. Vægtforøgelsen er dog væsentligt lavere end ved ovennævnte ajourføring af lydkravene for tunge konstruktioner.

10. Referencer

- [1] "Lydforhold i bygninger- Lette konstruktioner", Boligministeriet, December 1997. Udarbejdet af Dan Brøsted Pedersen, DELTA Akustik & Vibration.
- [2] Bygningsreglement 1995, Bygge- og Boligstyrelsen, 1995 (BR-95).
- [3] Bygningsreglement for småhuse, Bolig- og Byministeriet, 1998 (BR-S 98).
- [4] DS/EN ISO 140-4:1998 - "Akustik. Lydisolationsmålinger i bygninger og af bygningselementer. Del 4: Måling af luftlydisolation mellem rum i bygninger".
- [5] DS/EN ISO 140-7:1998 - "Akustik. Lydisolationsmålinger i bygninger og af bygningselementer. Del 7: Måling af trinlydniveau i bygninger".
- [6] DS/EN ISO 717-1:1997 - "Akustik. Vurdering af lydisolation i bygninger og af bygningsdele. Del 1: Luftlydisolation".
- [7] DS/EN ISO 717-2:1997 - "Akustik. Vurdering af lydisolation i bygninger og af bygningsdele. Del 2: Trinlydniveau".
- [8] "Byggakustik - Ljudklassning av utrymmen i byggnader - Bostäder", Svensk Standard SS 02 52 67, Sverige 1998.
- [9] "Lydforhold i bygninger, Lydklassifisering av ulike bygningstyper", Norsk Standard, NS 8175, Norge 1997.
- [10] Forslag til INSTA 122:1997 "Lydklassifikation af boliger". Dansk udgave udsendt som DSF 33966 af Dansk Standard, Charlottenlund.
- [11] Byggeregler, Boverket, BBR 94, BFS 1993:57/BFS 1998:38, Sverige 1993/1998.
- [12] "Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven", Kommunal- og arbejdsdepartementet og Miljøverndepartementet, nr. 33, Norge 1997.
- [13] "Floor research at NRC Canada", A.C.C. Warnock, Proceedings for COST Action E5 Workshop, Acoustic Performance of Medium-Rise Timber Buildings, Dublin, 1998.
- [14] "Ajourføring af kravniveauet for lydforhold i etageboligbyggeri", By- og Boligministeriet, 1999. Udarbejdet af Dan Hoffmeyer, DELTA Akustik & Vibration.
- [15] "Bygningers lydisolering. Nyere bygninger", Jørgen Kristensen. SBI-Anvisning 172, Statens Byggeforskningsinstitut, 1992.
- [16] "Lydbestemmelser i de nordiske lande", Nordisk Komité for Bygningsbestemmelser, NKB Utskotts- och arbetsrapporter 1994:01. Udarbejdet af Akustik-arbejdsgruppen.
- [17] "Comparison of low frequency impact sound insulation of different Nordic light-weight floor constructions", Sigurd Hveem, Proceedings for COST Action E5 Workshop, Acoustic Performance of Medium-Rise Timber Buildings, Dublin, 1998.

BILAG 1

Kalkulation af pris for søjle-plade system

Efter samme retningslinjer som i [14] er der udført beregninger for 160 mm pladsstøbt paddehatdæk med søjler pr. 3,3 m og tre forskellige lette, lejlighedsadskillende vægge i en lang og høj bygning.

Prisen for betonsøjler er tillagt den lejlighedsadskillende væg, omregnet til kr. pr. m² væg. Tillægget er kr. 345 pr. m².

Det antages, at en 150 mm bærende betonvæg midt i bygningen erstattes af en 95 mm gipspladevæg. Besparelsen herved fratrækkes den lejlighedsadskillende væg, omregnet til kr. pr. m² lejlighedsskel. Som grundlag for denne beregning er anvendt en pris for 150 mm betonelementer på kr. 630 pr. m² og for 95 mm gipspladevægge på 70 mm stålskelet med 50 mm mineraluld på kr. 400 m². Besparelsen omregnet til lejlighedsskel er kr. 205 pr. m².

Facadebagmure antages at være 120 mm betonelementer, pris kr. 570 pr. m².

Der er benyttet priser for tre forskellige lette lejlighedsadskillende vægge af gipsplade på stålskelet.

Beregningsresultaterne fremgår af Tabel B.1-B.3.

Nr.	Krav	Konstruktion	Pris
1	$R'_w \geq 52$ dB	2 × 2 lag 13 mm gipsplade på saksede stållægter med 50 mm mineraluld, tykkelse 145 mm	kr. 575 pr. m ²
2	$R'_w \geq 55$ dB	2 × 2 lag 13 mm gipsplade på saksede stållægter med 120 mm mineraluld, tykkelse 170 mm	kr. 650 pr. m ²
3	$R'_w + C_{50-3150} \geq 53$ dB	2 × 3 lag 13 mm gipsplade på dobbelt stålskelet med 2 × 70 mm mineraluld, tykkelse 225 mm	kr. 900 pr. m ²

Tabel B.1

Priser for skillevægge.

	Mængde	Enhedspris	Pris pr. m ² dæk
Forskalling	1 m ²	kr. 250	kr.250
Armering	15 kg	kr. 22	kr. 330
Beton	0,16 m ³	kr. 1.375	kr. 220
I alt			kr. 800

Table B.2

Beregning af pris for 160 mm pladsstøbt paddehatdæk.

	Skillevægskonstruktion 1	Skillevægskonstruktion 2	Skillevægskonstruktion 3
Pris pr. m ² skillevæg	Gipspladevæg: kr. 575 Betonsøjler: kr. 345 Besparelse ved søjler: kr. 205 I alt pr. m ² : kr. 715	Gipspladevæg: kr. 650 Betonsøjler: kr. 345 Besparelse ved søjler: kr. 205 I alt pr. m ² : kr. 790	Gipspladevæg: kr. 900 Betonsøjler: kr. 345 Besparelse ved søjler: kr. 205 I alt pr. m ² : kr. 1.040
Pris pr. m ² facade-bagmur	kr. 570 pr. m ²	kr. 570 pr. m ²	kr. 570 pr. m ²
Pris pr. m ² dæk	kr. 800 pr. m ²	kr. 800 pr. m ²	kr. 800 pr. m ²
Pris i alt pr. m ² etageareal	kr. 1.260 pr. m ²	kr. 1.280 pr. m ²	kr. 1.350 pr. m ²

Table B.3

Beregning af samlet pris pr. m² etageareal.