

NKB Utskotts- och arbetsrapporter

1996:02

Ljudkrav med stöd av ISO/DIS 717

**Nordiska kommittén för byggbestämmelser, NKB
Arbetsgruppen för akustik**

Nordiska kommittén för byggbestämmelser, NKB, är ett samarbetsorgan för de fem nordiska ländernas centrala byggmyndigheter.

Dessa myndigheter är:

Danmark:	Boligministeriet Bygge- og Boligstyrelsen
Finland:	Miljöministeriet
Island:	Skipulag ríkisins
Norge:	Kommunaldepartementet Statens bygningstekniske etat
Sverige:	Boverket

NKB är en institution under Nordiska ministerrådet.

Nordiska ministerrådet

inrättades 1971 som ett samarbetsorgan mellan de nordiska ländernas regeringar. Ministerrådet lägger fram förslag till Nordiska rådets sessioner, för vidare rådets rekommendationer, rapporterar till Nordiska rådet om samarbetets resultat och leder i sista hand arbetet inom olika sektorer. Statsministrarna har ett överordnat ansvar för samarbetet, som i övrigt koordineras av samarbetsministrarna och den nordiska samarbetskommittén. Ministerrådet sammanträder i olika sammansättningar beroende på vilka frågor som skall behandlas.

Ljudkrav med stöd av ISO/DIS 717

NKB Utskotts- och arbetsrapporter
1996:02

ISBN 951-53-0781-3
ISSN 1236-7672
Monila Oy, Helsingfors 1996
Upplaga 400 ex
Publikationen är gratis

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	5
SAMMANFATTNING	6
1. ARBETSMETOD	10
1.1 Datainsamling	10
1.2 Utvärdering stegljud	10
1.3 Utvärdering luftljud	12
2. RESULTAT	14
2.1 Stegljud	14
2.2 Slutsatser stegljud	17
2.3 Luftljud	19
2.4 Slutsatser luftljud	23
3. REFERENSER	24
FÖRKLARING TILL BILAGORNA	25
Bilaga A Resultatlistor stegljud	27
Bilaga B Resultatlistor luftljud	35
Bilaga C 1/3-dels oktavbandsvärden stegljudsmätningar	43
Bilaga D 1/3-dels oktavbandsvärden luftljudsmätningar	53
Bilaga E Beräkning av C-korrekationer	61

FÖRORD

Nordiska kommittén för byggbestämmelser beslöt på sitt möte i maj 1994 att intensifiera samarbetet inom akustikområdet. Särskilt skulle studeras nya standarder aktuella inom Europa, CEN/TC 126. Sålunda beslöt man på initiativ av Arbetsgruppen för akustik att inleda ett arbete med en utvärdering av den nya standarden ISO/DIS 717 - 1 och 2 "Värdering av ljudisolering i byggnader och av byggdelar, del 1: luftljudsisolering och del 2: stegljudsisolering". Arbetet har finansierats av Nordiska kommittén för byggbestämmelser, NKB.

Problemet med dålig steg- och luftljudsisolering har aktualiserats särskilt med hänsyn till att det blivit allt vanligare med lätta stomsystem i byggnader. ISO/DIS 717 ger möjligheter att beakta de låga frekvensområden, vilka oftast är orsaken till klagomål i sådana byggnader.

Arbetet har utförts under ledning av Arbetsgruppen för akustik av dess svenska medlem civilingenjör Klas Hagberg, Boverket. Arbetsgruppens övriga medlemmar är docent Jens Holger Rindel, Danmark, civilingenjör Sigurd Hveem, Norge, tekn. dr. Steindor Gudmondsson, Island och tekn. dr. Laila Hosia, Finland.

Det är arbetsgruppens förhoppning att de nordiska länderna skall harmonisera sina regler inom ljudområdet, speciellt vad gäller mät- och utvärderingsmetoder.

Publiceringen innebär inte att NKB tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat som framläggs i rapporten.

Februari 1996

Nordiska kommittén för byggbestämmelser, NKB
Arbetsgruppen för Akustik

SAMMANFATTNING

Standardiseringsarbetet såväl på internationell som europeisk nivå har resulterat i att de standarder, ISO 717, som idag ligger till grund för entalsvärderingen av ljudisolering i byggnader, revideras. Revisionen kommer att innebära nya möjligheter för formulering av ljudkrav i normer och specifikationer. Det som återstår innan standarderna antas som EN- och ISO - standarder är den sk 'formal vote' - proceduren. Enligt tidsplanen skall den vara slutförd 1996. En förutsättning för att standarderna skall antas är att medlemsländerna röstar 'ja' i tillräckligt antal enligt gällande bestämmelser. Idag existerar standarderna som DIS och prEN, "draft international standard" och europeisk förstandard, och betecknas ISO/DIS 717 respektive prEN 20717. För enkelhets skull används i denna rapport fortsättningsvis endast ISO - beteckningen.

Problem

Problem med dålig steg- och luftljudsisolering är något som kommit att bli mer påtagligt under senare år, särskilt med hänsyn till att det blir allt vanligare att byggnader uppförs med lätta stomsystem. I byggnader med lätta stomssystem är klagomål mer vanliga än i exempelvis byggnader med betongstomme. Samtidigt har hushållen idag fler och mer avancerade hushållsmaskiner och stereoanläggningar. Moderna stereoanläggningar är dessutom effektiva ljudalstrare vid låga frekvenser vilket kan vara särskilt störande. Dessa låga frekvenser har hittills inte beaktats i internationella och europeiska standarder. En av nyheterna i ISO/DIS 717 är just att ge användarna möjlighet att formulera krav i ett nedåt utvidgat frekvensområde.

Syfte

Avsikten med detta arbete har varit att utvärdera den nya standarden ISO/DIS 717 - 1 och 2, "Värdering av ljudisolering i byggnader och av byggdelar, del 1: luftljudsisolering och del 2: stegljudsisolering", samt ge information om denna standard på ett bra sätt kan utnyttjas för att förändra kravformuleringen så att ljudklimatet i våra bostäder på sikt förbättras. Särskilt viktigt har varit att bedöma om formuleringen av *stegljudskrav* kan förändras på ett sätt som gör att byggnader med lätta stomsystem, exempelvis trä, bedöms på ett mer adekvat sätt. ISO-metoden som fram till idag har använts har visat på allvarliga brister i detta avseende. Vi har emellertid, om än i något mindre omfattning, också studerat hur standarden kan utnyttjas för att på ett bra sätt förändra kravformuleringen för *luftljudsisolering*

Resultaten i denna rapport för bedömning av korrelation mellan subjektiv störning och objektiv värdering bygger på en jämförelse mellan en omfattande studie från 1980 - talet av Kaj Bodlund [2] [9] och nya värderingsmått enligt ISO/DIS 717. Resultaten skall möjligen tolkas med viss försiktighet eftersom subjektiv värdering av ljudklimatet kan påverkas av faktorer till vilka hänsyn inte kan tas i en sådan här undersökning.

Bakgrund stegljud

Det stegljudskrav (vägd normaliserad stegljudsnivå i byggnad) som idag används i normer och specifikationer, $L'_{n,w} \leq X$ (X =kravnivån), utvärderad enligt nuvarande ISO 717-2 korrelerar förhållandevis dåligt med subjektiv störning. Detta faktum är särskilt påtagligt för byggnader med lätta stomsystem. I sådana byggnader kan ofta påvisas mycket dålig stegljudisolering, trots godkända värden. Detta är ett problem, inte bara för de som skall bo i husen, utan även för de som tillverkar lätta bjälklag. De lever många gånger i en tro att de tillverkar bjälklag med en stegljudisolering lika god som i ett platsgjutet betonghus. I verkligheten är inte detta sant.

I ett försök att lösa problemet vill många att den gamla standardiserade (ISO) stegljudskällan, den sk hammarapparaten, skall bytas ut. Denna stegljudskälla har nämligen kritiserats för att ge en excitering av stommen som korrelerar dåligt med vanliga stegljud. Detta är möjligen sant i vissa fall, men det förefaller inte sant i det viktiga lågfrekvensområdet. Under 100 Hz är det svårt att skilja en "referensgångare" på ett lätt bjälklag från en stegljudsapparat (jfr. [1]).

De alternativa exciteringsmetoder som undersöks är framförallt en ny japansk metod som bygger på att en speciell gummiboll med en bestämd vikt får falla från en viss höjd. Därefter mäts den uppkomna ljudtrycksnivån. Ett problem är att metoden inte är färdigutvecklad. Det kommer att ta mycket lång tid innan exempelvis en ISO-standard finns tillgänglig, om det någonsin kommer att utvecklas. Problemet med stegljud, på framförallt lätta bjälklag, är något som finns idag och som är akut.

ISO/DIS 717-2 bygger på att mätning, i detta fall, sker i enlighet med ISO 140-7 dvs med den gamla hammarapparaten som stegljudskälla. I ISO/DIS 717-2 sker utvärderingen precis på samma sätt som i den nuvarande ISO 717-2 *men* i annex till standarden finns möjlighet att komplettera det gamla $L'_{n,w}$ -värdet med en sk anpassningsterm C_i eller $C_{i,50-2500}$. Formuleringen av kravet kan således göras på flera sätt:

ALT.	KRAV	BEAKTAT FREKVENSSOMR.
1.	$L'_{nw} \leq X$	100-3150
2.	$L'_{nw} + C_i \leq X$	100-3150
3.	$L'_{nw} + C_{i,50-2500} \leq X$	50-3150

där X är kravnivån.

Formulering enligt alternativ 3 innebär följaktligen att kravet beaktar ett större frekvensområde än det traditionella 100 - 3150 Hz.

Resultat stegljud

Resultaten i denna rapport visar att om stegljudskravet formuleras som

$$L'_{n,w} + C_{i,50-2500} \leq X \quad \text{a)}$$

så kan god korrelation mellan subjektiv störning och ställda krav förväntas. En korrelation *betydligt* bättre än tidigare. Detta uppnås alltså med kommande internationella standarder, dels ISO 140-7 för kontrollmätning dels med ISO/DIS 717-2 för utvärdering. Någon ny mätmetod skulle därmed inte behövas.

Om länderna väljer detta sätt att formulera krav i framtiden så innebär det att olika bjälklag får helt nya värderingar med avseende på stegljud jämfört med idag. Hur denna värdering i

medeltal kommer att förändras på idag förekommande konstruktioner illustreras av nedanstående mycket förenklade schema:

$L'_{n,w} + C_{i,50-2500} \leq X$	=>		
$L'_{n,w} =$	X+3	=====>	X-3
för konstruktionstyp:	betong (tung)	=====>	trä, lättbalk (lätt)

Mellan dessa yttre gränser finns givetvis andra konstruktionstyper, se avsnitt 2.2.

Bakgrund luftljud

De luftljudskrav (vägt reduktionstal i byggnad) som idag tillämpas i normer och specifikationer, $R'_w \geq X$ (X = kravnivån), beaktar inte frekvenser under 100 Hz. Detta kan bidra till att luftljudsisoleringen i verkligheten är sämre än vad som kan förväntas med hänsyn till aktuellt reduktionstal.

ISO/DIS 717-1 bygger på att mätning, i detta fall, sker enligt ISO 140-4. Också i denna standard införs sk anpassningstermer (jfr [3]). Dessa anpassningstermer (tex C , $C_{50-5000}$, C_{tr} , $C_{tr,50-5000}$) är olika beroende på vilken vilen typ av ljud som stör. De beror också av studerat frekvensområde. Formuleringen av ett luftljudskrav kan framdeles således göras på flera sätt i enlighet med ISO/DIS 717-1:

ALT.	KRAV	BEAKTAT FREKVENSSOMR.
1.	$R'_w \geq X$	100-3150
2.	$R'_{w+C} \geq X$	100-3150
3.	$R'_{w+C_{50-5000}} \geq X$	50-5000
4.	$R'_{w+C_{tr}} \geq X$	100-3150
5.	$R'_{w+C_{tr,50-5000}} \geq X$	50-5000

ANM. tr betyder "traffic", dvs här avses skydd mot bla trafikbuller.

där X är kravnivån.

Formulering enligt alternativ 3 eller 5 innebär således att kravet beaktar ett större frekvensområde än det traditionella 100 - 3150 Hz.

Resultat luftljud

Erfarenheter från de nordiska länderna indikerar att just låga frekvenser, från tex basljud i stereoanläggningar, är mycket störande. Resultaten i denna rapport visar att det är möjligt att uppnå ett betydligt bättre skydd mot ljud vid låga frekvenser om luftljudskravet formuleras enligt:

$$R'_{w+} C_{50-5000} \geq X$$

Inom ramen för detta projekt har vi tyvärr inte haft möjlighet att säkert bedöma huruvida de olika C-korrektionerna bidrar till att förbättra eller försämra kravet på luftljudsisolering gentemot subjektiv störningsgrad. Det finns emellertid anledning att förvänta sig en viss förbättring av den subjektiva störningsupplevelsen om $R'_{w+} C_{50-5000}$ används, se avsnitt 1.3, sidan 10-11.

Om länderna väljer detta sätt att formulera krav i framtiden så innebär det att olika konstruktioner får helt nya värderingar med avseende på luftljud jämfört med idag. Hur denna värdering i *medeltal* kommer att förändras på idag förekommande konstruktioner illustreras av nedanstående mycket förenklade schema:

$R'_{w+} C_{50-5000} \leq X$	=>		
$R'_w =$	X+2	=====>	X+5
för konstruktionstyp:	betong (tung)	=====>	gips (lätt)

Mellan dessa yttre gränser finns givetvis andra konstruktionstyper, se avsnitt 2.4.

1. ARBETSMETOD

1.1 Datainsamling

Arbetet inleddes med att samla in data från ett antal olika mätningar. Mätningar som alla var gjorda i frekvensområdet 50-3150 Hz. Avsikten med detta var att det skulle finnas möjlighet att utvärdera och jämföra samma mätningar både inom frekvensområdet 100-3150 Hz och inom frekvensområdet 50-3150 Hz. I Sverige har flera konsulter och provningslaboratorier sedan länge gjort mätningar ned till 50 Hz medan det i andra nordiska länder inte förekommit i samma utsträckning. Därför var det lätt att i Sverige finna ett stort antal gamla mätningar som kunde tjänstgöra som underlag i undersökningen. De andra nordiska länderna har bidragit med mätningar gjorda just för att ingå i denna undersökning.

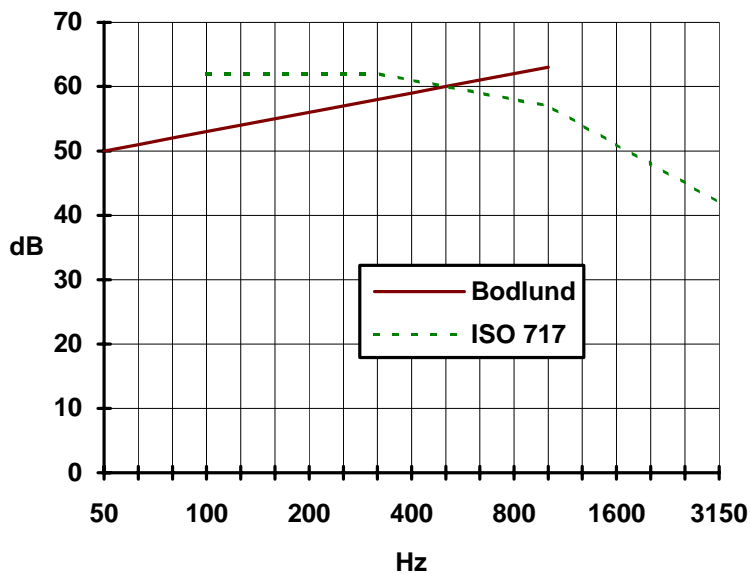
Mätningarna är gjorda på flera olika stomkonstruktioner, flest mätningar finns för byggnader med trästomme, se bilaga A och B.

1.2 Utvärdering stegljud

Utvärderingen är gjord med hjälp av ett dataprogram som arbetsgruppen (Klas Hagberg) själva tagit fram. I detta program finns möjlighet att utvärdera $L'_{n,w}$, $L'_{n,w} + C$ och $L'_{n,w} + C_{i,50-2500}$ enligt ISO/DIS 717-2. Eftersom de nya formuleringarna av stegljudsnivån komplicerar kravformuleringen något så används i denna rapport fortsättningsvis beteckningarna:

$$\begin{array}{l} L_{100} \quad \text{för} \quad L'_{n,w} + C_i \quad \text{och} \\ L_{50} \quad \text{för} \quad L'_{n,w} + C_{i,50-2500} \end{array}$$

För att få en uppfattning om hur dessa värden korrelerar med subjektiv störning har utvärdering också skett med hjälp av en referenskurva som togs fram av Kaj Bodlund 1985 [2]. Denna referenskurva startar vid 50 Hz och har en positiv lutning motsvarande 3 dB/oktav och den sträcker sig fram till 1000 Hz. Genom att använda denna referenskurva, istället för ISO:s referenskurva, vid utvärderingen av ett entalsvärde för stegljudsnivån påvisades en mycket god korrelation mellan subjektiv störning och kravvärde. Stegljudskällan var ISO:s hammarapparat. Bodlunds referenskurva och ISO:s referenskurva är inritade i figur 1 nedan.



Figur 1. Referenskurvor enligt ISO respektive enligt Bodlund. Observera skillnaden!

Entalsvärdet utvärderat enligt Bodlund kommer i denna rapport fortsättningsvis att kallas för:

$$L_B = \text{Bodlunds värde}$$

Utvärdering av L_B -värdet har skett helt i enlighet med de regler som gäller för ISO:s utvärdering, dvs summan av negativa avvikelser får inte överstiga 32.0 dB och L_B -värdet är referenskurvans värde vid 500 Hz. 146 mätningar på olika stomkonstruktioner ligger till grund för utvärderingen. Mätresultaten finns presenterade i bilaga A och C.

Kaj Bodlund erhöll, genom att använda en referenskurva enligt figur 1 (Bodlund) vid utvärdering av stegljudsnivån, en korrelationskoefficient,

$$r = 87 \%,$$

mellan entalsvärdet, L_B , och subjektiv störning [2]. Korrelationen baseras på 211 mätningar på totalt 22 olika konstruktioner. Motsvarande korrelationskoefficienter för andra förekommande utvärderingar blev i Bodlunds undersökning:

$$\begin{array}{ll} I_i & \Rightarrow \quad r = 73 \% \\ L'_{n,w} & \Rightarrow \quad r = 75 \% \\ L'_{n,A} & \Rightarrow \quad r = 72 \% \\ L'_{n,C} & \Rightarrow \quad r = 85 \% \\ I_{co} & \Rightarrow \quad r = 84 \% \end{array}$$

I_{co} motsvarar det värde som används i den holländska standarden NEN 1070.

Det är tydligt att entalsvärdering med hjälp av den referenskurva som föreslogs av Bodlund, se figur 2, ger en betydligt bättre överensstämmelse med subjektiv störning än de utvärderingsmetoder, $L'_{n,w}$ och I_i , som hittills använts i de nordiska ländernas regelverk.

1.3 Utvärdering luftljud

Jämförelse med subjektiv störning, motsvarande den för stegljudsnivå, har inte gjorts i luftljudsfall. Däremot har gamla resultat utnyttjats för att studera tänkbar förändring av subjektiv störning vid komplettering med $C_{50-5000}$, se nedan. Utvärderingen i luftljudsfall görs med samma dataprogram som i stegljudsfallet. I programmet finns möjlighet att utvärdera R'_w , $R'_{w(8)}$, $R'_w + C$, $R'_w + C_{50-5000}$, $R'_w + C_{tr}$ och $R'_w + C_{tr.50-5000}$ enligt ISO/DIS 717-1. I denna undersökning finns inte C_{tr} och $C_{tr.50-5000}$ beräknade eftersom undersökningen bara omfattar ljudisolering mellan lägenheter i bostadshus, se annex A4 i ISO/DIS 717-1, bilaga E. För enkelhets skull används i denna rapport fortsättningsvis beteckningarna:

$$\begin{aligned} R_{100} &\text{ för } R'_w + C \\ R_{50} &\text{ för } R'_w + C_{50-5000} \end{aligned}$$

Vid utvärderingen av luftljudsisoleringen har dessa värden och $R'_{w(8)}$ beräknats. 68 st luftljudsmätningar för olika konstruktioner ligger till grund för utvärderingen. I sammanställningen är dock två mätningar utsorterade på grund av att de inte representerar den konstruktionstyp i vilken de är insorterade, nämligen *ibtgh_1.lft* och *ibtgh_2.lft*. Dessa mätningar är gjorda på lättbetongkonstruktioner med strålningsminskande beklädnad. Mätresultaten finns presenterade i bilaga B och D.

För att få en uppfattning om huruvida C respektive $C_{50-5000}$ bidrar till att förbättra eller försämma entalsvärderingens korrelationen gentemot subjektiv störning så utnyttjades resultaten från [9]. Dessa resultat, som baseras på 89 mätningar för 13 olika konstruktioner, visar på en mycket *dålig* korrelation mellan subjektiv värdering och R'_w om alla data inkluderas, se figur 2. Resultatet blir

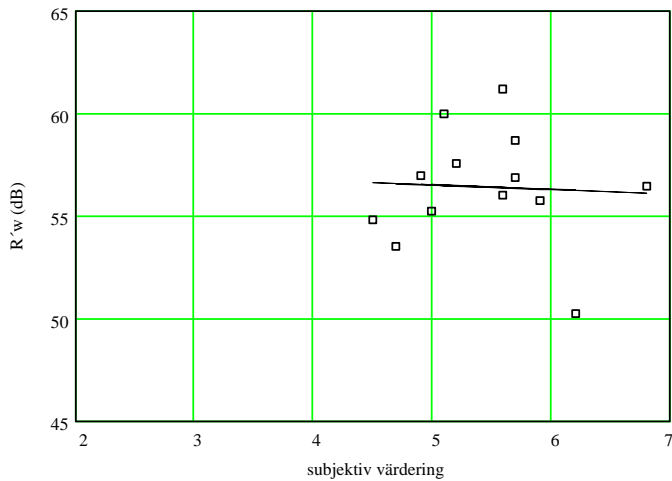
$$R'_w = 57.60 - 0.21S \quad (r = -0.05, n = 13) \quad \text{ingen korrelation!}$$

där S är subjektiv värdering.

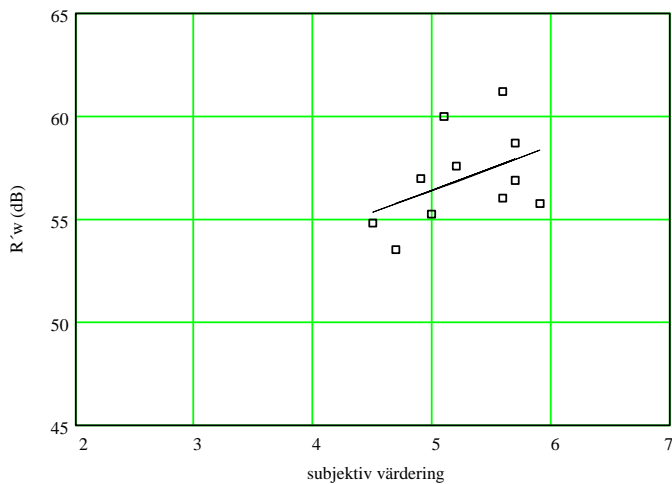
Om vi, vilket torde vara rimligt, utesluter de mätningar som enligt författaren till [9] ger osäkra bedömningar på grund av störande trafikbuller och ett litet antal intervjupersoner erhålls istället resultatet:

$$R'_w = 45.74 + 2.14S \quad (r = 0.43, n = 11)$$

Detta ger en mer sannolik korrelation eftersom bedömningen bör bli bättre om R'_w blir högre. Regressionslinjen i det fall trafikbullerbedömningarna utesluts redovisas i figur 3.



Figur 2. Korrelation mellan reduktionstal och subjektiv värdering enligt [9].



Figur 3. Korrelation mellan reduktionstal och subjektiv värdering enligt [9] när osäkra mätningar på grund av bakgrundsbuller från trafik uteslutits.

Av rapporten [9] framgår vidare att de två mest avvikande punkterna i figur 3 (de två översta) motsvarar reduktionstalet för gipsväggar. Om vi knyter an till resultaten längre fram i denna rapport (avsnitten 2.3 och 2.4) så kan det konstateras att dessa två punkter närmar sig regressionslinjen betydligt om R'_w kompletteras med $C_{50-5000}$ och därmed skulle korrelationen objektiv värdering/subjektiv störning förbättras ytterligare. Tyvärr har vi i denna undersökning inte kunnat göra en exakt beräkning eftersom det inte varit möjligt att få tillgång till aktuella mätresultat.

2. RESULTAT

2.1 Stegljud

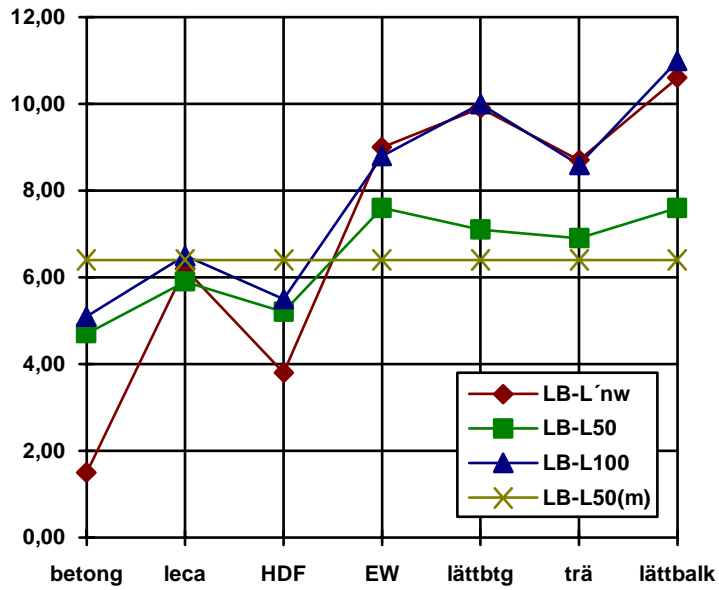
Det faktum att Bodlunds referenskurva [2] för entalsvärdering av stegljudsnivån ger en bättre korrelation mellan ställda krav och upplevd störning än ISO:s referenskurva utnyttjades i denna undersökning genom att de olika differenserna ($L_B-L'_{n,w}$), (L_B-L_{100}) och (L_B-L_{50}) beräknades för samtliga mätningar enligt bilaga A. Därefter bestämdes medelvärdet av dessa skillnader beroende på vilket bjälklag mätserien representerade. För att få en uppfattning om spridningen mellan enskilda mätningar beräknades dessutom standardavvikelsen. Dessa resultat finns sammanställda i tabell 1. I figur 4 är de olika differensernas medelvärden plottade mot olika typer av bjälklag.

Tabell 1. Medelvärdet och standardavvikelsen hos differenserna ($L_B-L'_{n,w}$), (L_B-L_{100}) och (L_B-L_{50}) beroende på bjälklagstyp.

BJÄLK-LAG	$(L_B-L'_{n,w})$ medel	Std. avv.	(L_B-L_{100}) medel	Std. avv.	(L_B-L_{50}) medel	Std. avv.	Antal mätn.
betong	1.5	5.5	5.1	2.0	4.7	1.9	23
lecabjlg	6.2	2.7	6.5	2.1	5.9	1.2	8
HDF-bjlg	3.8	2.3	5.5	0.8	5.2	1.3	7
EW-bjlg	9.0	1.4	8.8	1.3	7.6	0.7	20
lättbetong	9.9	2.5	10.0	2.0	7.1	1.4	9
träbjälklag	8.7	3.2	8.6	2.8	6.9	1.3	72
lättbalk (masonit)	10.6	1.8	11.0	1.0	7.6	0.8	7

Förutom att medelskillnaden mellan olika bjälklag är betydligt mindre för (L_B-L_{50}) så är också standardavvikelsen mellan enskilda mätningar *väsentligt* mindre än för ($L_B-L'_{n,w}$) och mindre än för (L_B-L_{100})

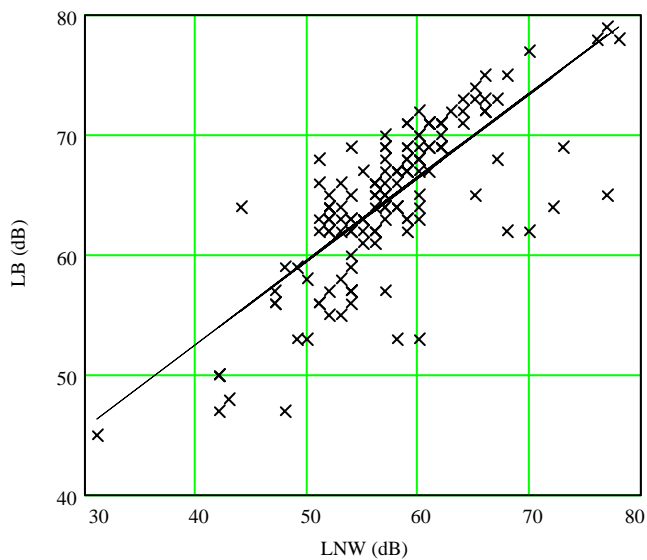
Vidare gjordes en regressionsanalys där de olika ISO/DIS - entalsvärdenas inbördes korrelation med L_B studerades. Resultatet visas i figurerna 5 till 7 nedan. I figurerna är L_B - värdet (y-axeln), för varje mätning, plottat mot respektive utvärdering enligt ISO/DIS 717-2. Korrelationskoefficienten betecknas r .



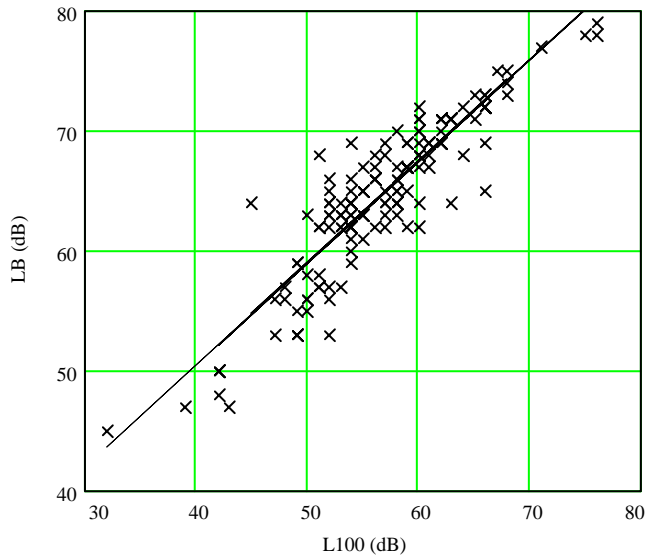
NOTERA!

LB-L50(m) är
medelvärdet över
alla bjälklag

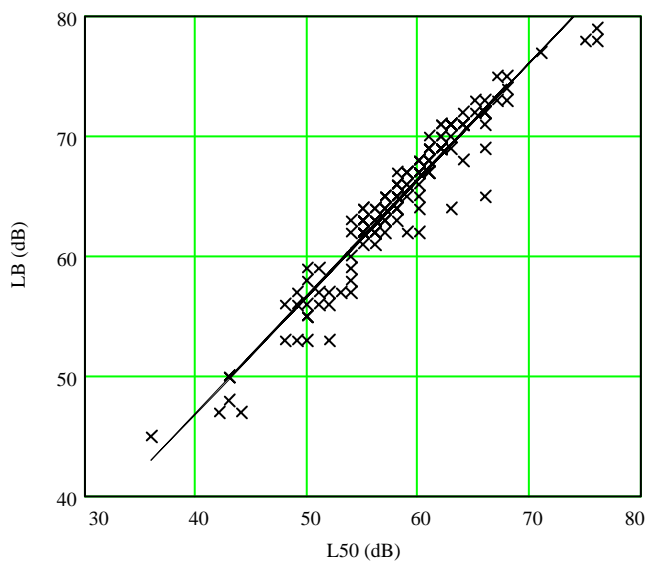
Figur 4. Medelvärde av differenserna enligt tabell 1



Figur 5. Korrelation mellan L_B -värdet och $L'_{n,w}$ -värdet. $r = 0.76$.



Figur 6. Korrelation mellan L_B -värdet och L_{100} -värdet. $r = 0.90$.



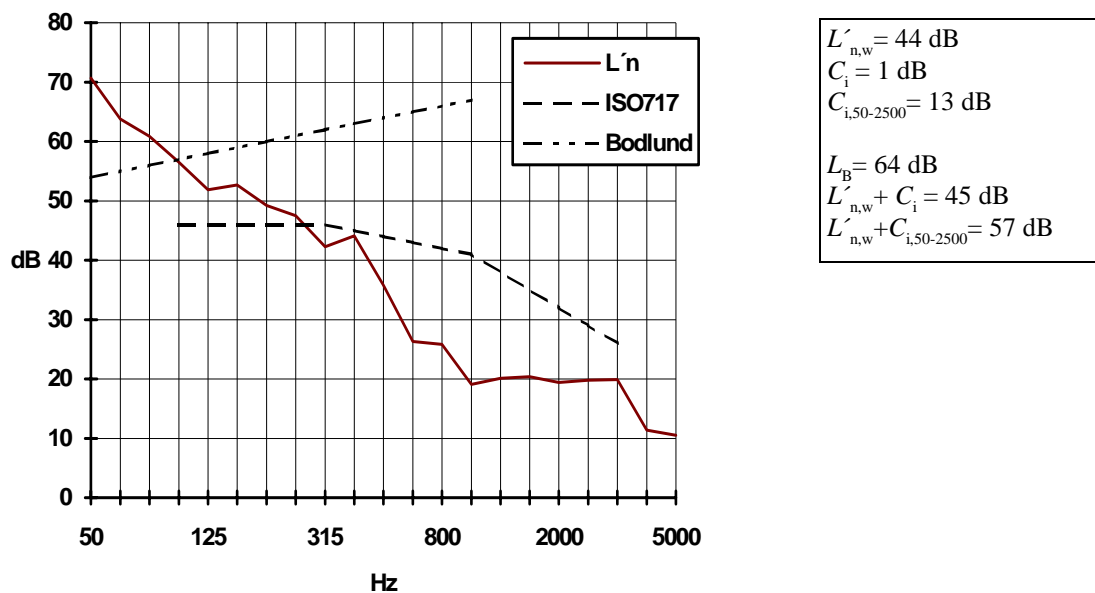
Figur 7. Korrelation mellan L_B -värdet och L_{50} -värdet. $r = 0.96$.

Av dessa resultat framgår att korrelationen mellan utvärdering enligt Bodlund respektive enligt ISO/DIS 717-2 med $C_{i,50-2500}$ är mycket god. Differensen $L_B - L_{50}$ varierar förhållandevis lite mellan olika *bjälklagstyper* (mellan 4.7 och 7.6; medel: 6.4). Eftersom utvärdering med Bodlunds kurva, L_B , ger en god korrelation med subjektiv störning så finns anledning att anta god korrelation med subjektiv störning också för L_{50} . Det kan samtidigt konstateras att krav formulerat som L_{50} blir *något* generösare för lätta bjälklag än om det formuleras som L_B under förutsättning att den förstnämnda nivån bestäms utifrån den medelskillnad som råder mellan L_B och L_{50} för *betongbjälklag*.

Exempel:

Antag ett krav $L_B = 62$ dB => motsvarande L_{50} -krav för *betongbjälklag* blir $L_{50} \approx 57$ dB medan det för ett lätt bjälklag (trä) skulle krävas $L_{50} \approx 55$ dB. Antag därvid att ett krav skulle vara $L_{50} = 57$ dB => $L_B = 64$ dB accepteras för träbjälklag.

Detta mönster illustreras av figur 4 eftersom kurvan för $L_B - L_{50}$ sluttar svagt uppåt, från tunga till lätta bjälklag. I figur 7 däremot är differensen i det närmaste konstant, vilket möjligen kan bero på att vi haft tillgång till fler mätresultat från träbjälklag. Vidare är skillnaden mellan individuella mätningar betydligt mindre för differensen $L_B - L_{50}$ än för de två övriga differenserna, standardavvikelsen är liten för $L_B - L_{50}$ och korrelationskoefficienten är hög. Förändringar som påverkar $L'_{n,w}$ -värdet positivt, tex en mycket mjuk matta på ett träbjälklag får inte bara ett högt L_B -värde utan också ett mycket högt värde på $C_{i,50-2500}$. Detta mönster är tydligt, vilket framgår av resultatlistan i bilaga A. Ett typiskt exempel på en i verkligheten mindre bra konstruktion med höga värden på L_{50} och L_B men med ett *mycket bra* $L'_{n,w}$ -värde visas i figur 8.



Figur 8. UPPIFRÅN: Mjuk matta; 22 mm spånplatta; träbjälklag 48*198 med 200 mm mineralull; 48*48 mm läkt; ljudreglar; 2*13 gips.

2.2 Slutsatser stegljud

Med ledning av figurerna 4 och 7 är slutsatsen att ett L_{50} - krav bör hamna ungefär 6.5 dB under ett tänkt L_B - värde. För att stegljudsisoleringen skall bli *acceptabel* krävs minst $L_B = 62.0$ dB. Detta är hämtat ur regressionslinjens ekvation (ekv. 11 i [2]), $L_B = 86,3 - 5,53S$ ($S = 4,4$) där S är subjektiv värdering. Ett sådant krav motsvarar $L_{50} \leq 55.5 \approx 55$ dB, vilket i de flesta fall är en skärpning jämfört med dagens krav i de nordiska länderna. En avrundning från 55.5 dB till 55 dB är lämpligt eftersom L_{50} då bättre harmonierar med motsvarande L_B -värde för *lätta* konstruktioner.

Det förefaller inte finnas någon anledning att krav formuleras som L_{100} . Detta skulle inte bidra till någon avsevärd förbättring för *lätta* konstruktioner jämfört med dagens krav, $L'_{n,w}$.

Resultaten i denna rapport visar dock att

$$L'_{n,w} + C_{i,50-2500}$$

sannolikt är ett mått som kan användas för att erhålla god överensstämmelse med subjektiv störning. Genom att använda detta mått för stegljudsnivå kan produktionen av lätta bjälklag påverkas akustiskt gynnsamt till glädje både för industri och konsumenter.

Tabell 2 nedan visar vad ett krav, $L_{50} = X$ dB, i medeltal motsvarar för olika konstruktioner om kravet istället formuleras som L_B eller $L'_{n,w}$.

Tabell 2. Krav, L_B och $L'_{n,w}$, svarande till $L_{50} = X$ dB för olika stomkonstruktioner.

BJÄLKLAG	L_{50} (dB)	L_B (dB)	$L'_{n,w}$ (dB)
betong	X	X+4.7	X+3.2
lecabjlg		X+5.9	X-0.3
HDF-bjlg		X+5.2	X+1.4
EW-bjlg		X+7.6	X-1.4
lättbetong		X+7.1	X-2.8
träbjälklag		X+6.9	X-1.8
lättbalk (masonit)		X+7.6	X-3

Vid en omräkning av det krav, $L'_{n,w} = 53$ dB, som gruppen föreslog i [3] till ett krav formulerat som L_B eller L_{50} erhålls medelresultat enligt tabell 3 nedan.

Tabell 3. Krav, L_B och L_{50} , svarande till $L'_{n,w} = 53$ dB för olika stomkonstruktioner.

BJÄLKLAG	$L'_{n,w}$ (dB)	L_B (dB)	L_{50} (dB)
betong	53	54.5	49.8
lecabjlg		59.2	53.3
HDF-bjlg		56.8	51.6
EW-bjlg		62.0	54.4
lättbetong		62.9	55.8
träbjälklag		61.7	54.8
lättbalk (masonit)		63.6	56.0

2.3 Luftljud

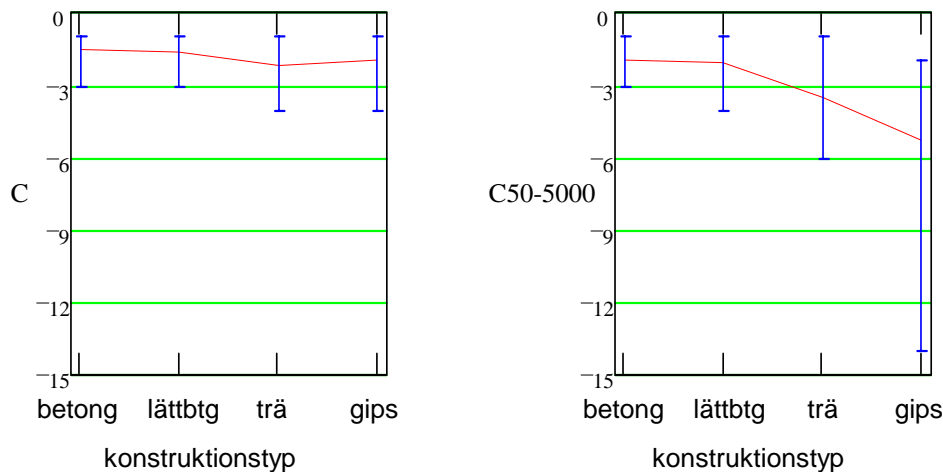
I denna undersökning har vi studerat om de nya C - och $C_{50-5000}$ -korrektionerna i ISO 717-1 kan påverka kravformuleringen så att det blir möjligt att säkerställa god luftljudsisolering vid låga frekvenser. Dessutom görs en bedömning om dess påverkan på den subjektiva störningsupplevelsen, se avsnitt 1.3.

En sammanställning av C - respektive $C_{50-5000}$ - korrektionernas medelvärden och standardavvikelser för de olika skiljekonstruktioner som ingick i denna undersökning (bilaga B) visas i tabell 4. I gruppen "lättbetong" ingår också murade konstruktioner.

Tabell 4. C - och $C_{50-5000}$ - faktorernas medelvärden och standardavvikelser för olika skiljekonstruktioner.

SKILJE-KONSTR.	C medel	Std. avv.	$C_{50-5000}$ medel	Std. avv.	Antal mätn.
betong	-1.6	0.68	-2.0	0.67	9
lättbetong	-1.6	0.64	-2.0	0.75	23
trä	-2.2	0.83	-3.5	1.26	15
gips	-2.0	0.86	-5.3	2.95	19

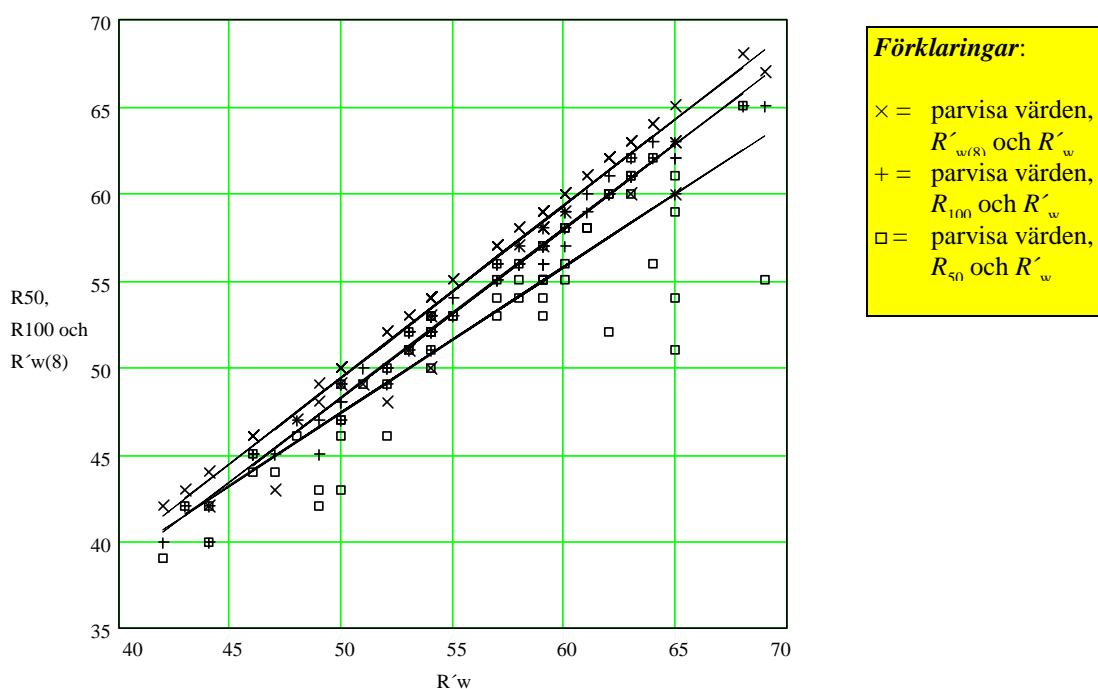
Figur 9 visar också hur C och $C_{50-5000}$ beror av olika skiljekonstruktioner. Staplarna i diagrammen visar C - respektive $C_{50-5000}$ - faktorernas max och minvärden för respektive grupp av skiljekonstruktion medan kurvorna visar motsvarande medelvärde. Det är tydligt att $C_{50-5000}$ påverkar entalsvärderingen markant för de lättare konstruktionerna, där också behovet av en skärpning är störst. Notera den mycket stora skillnaden på extremvärden mellan C och $C_{50-5000}$ i synnerhet för gipskonstruktioner.



Figur 9. C - respektive $C_{50-5000}$ - faktorernas beroende av olika konstruktionstyper. Kurvan visar medelvärdet medan staplarna visar max- respektive min- värdena för de i analysen ingående mätningarna enligt bilaga B.

I figur 10 illustreras hur R_{50} , R_{100} och $R'_{w(8)}$ beror av R'_w . Den översta regressionslinjen representerar förhållandet mellan $R'_{w(8)}$ och R'_w medan regressionslinjen i mitten motsvarar förhållandet mellan R_{100} och R'_w . Den nedersta regressionslinjen motsvarar därmed relationen mellan R_{50} och R'_w . En självklar slutsats av dessa resultat är att det inte finns något att vinna på att använda sig av R_{100} eller $R'_{w(8)}$ istället för R'_w . Möjligen är 8 dB-regeln lite mer effektiv än C - korrektionen eftersom korrelationskoefficienten är något lägre i detta fall, dock endast mycket marginellt, se figur 10. I båda fallen är korrelationskoefficienterna mycket nära 1.

Sambandet mellan R_{50} och R'_w uppvisar ett helt annat mönster. I detta fall är korrelationen betydligt sämre vilket också torde vara eftersträfvansvärt. De mätresultat som ligger tydligt nedanför regressionslinjen uppvisar alla förhållandevis mycket låga reduktionstal i de lägsta 1/3 - dels oktavbanden 50, 63 och 80 Hz.

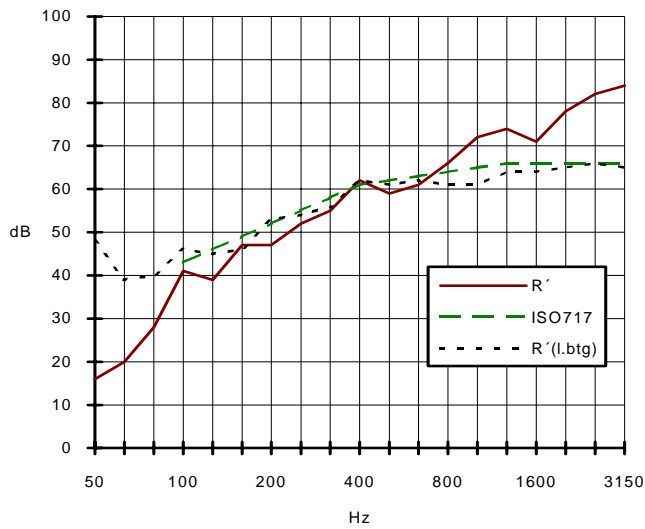


Figur 10. Korrelation mellan vardera R_{50} , R_{100} , $R'_{w(8)}$ och R'_w . Korrelationskoefficienten, r , är i nämnd ordning 0.90, 0.99 respektive 0.98. Den översta regressionslinjen representerar förhållandet mellan $R'_{w(8)}$ och R'_w , den mellersta representerar motsvarande förhållande för R_{100} och R'_w och den nedersta representerar därmed relationen mellan R_{50} och R'_w .

För att ljudisoleringen i framtida byggnader skall förbättras i det viktiga lågfrekvensområdet, krävs således att krav formuleras i ett utvidgat frekvensområde. Ett sätt att uppnå detta är att kravet R'_w kompletteras med $C_{50-5000}$ enligt ISO/DIS 717-1. I de flesta fall är skillnaden mellan C och $C_{50-5000}$ liten (mellan 0 och 2 dB i 88 % av fallen) medan den i vissa extremfall kan vara mycket stor. Skillnaden är stor om reduktionstalet, R' , är lågt under 100 Hz,

vilket är typiskt för lätta skiljekonstruktioner. I dessa typiska fall erhålles, jämfört med R'_w , ett väsentligt försämrat entalsvärde, R_{50} , för luftljudsisoleringen.

Det är nästan genomgående gipsklädda lättregelkonstruktioner som står för extremfallen. Några typiska sådana mätresultat visas i figur 11-13. I figur 11 presenteras som jämförelse dessutom en lättbetongkonstruktion med god isolering i de lägsta tersbanden men med ett reduktionstal, $R'_w = 62$ dB, identiskt med det för gipskonstruktionen.



$$R'_w = 62 \text{ dB}$$

$$C = -2 \text{ dB}$$

$$C_{50-5000} = -10 \text{ dB}$$

$$R'_{w(8)} = 62 \text{ dB}$$

$$R'_w + C = 60 \text{ dB}$$

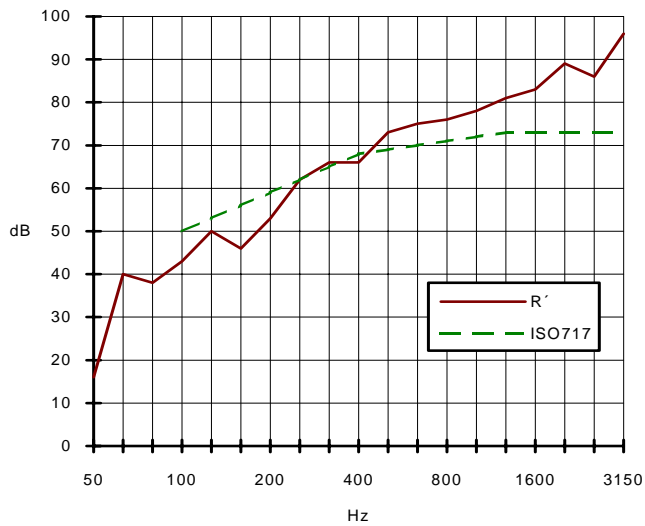
$$R'_w + C_{50-5000} = 52 \text{ dB}$$

lättbetong:

$$R'_w = 62 \text{ dB}$$

$$C = -1$$

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



$$R'_w = 69 \text{ dB}$$

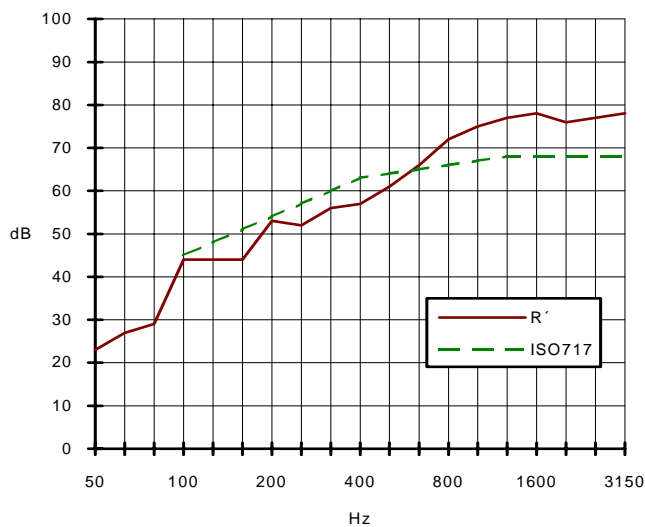
$$C = -4 \text{ dB}$$

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

$$R'_{w(8)} = 67 \text{ dB}$$

$$R'_w + C = 65 \text{ dB}$$

$$R'_w + C_{50-5000} = 55 \text{ dB}$$



$$R'_w = 64 \text{ dB}$$

$$C = -2 \text{ dB}$$

$$C_{50-5000} = -8 \text{ dB}$$

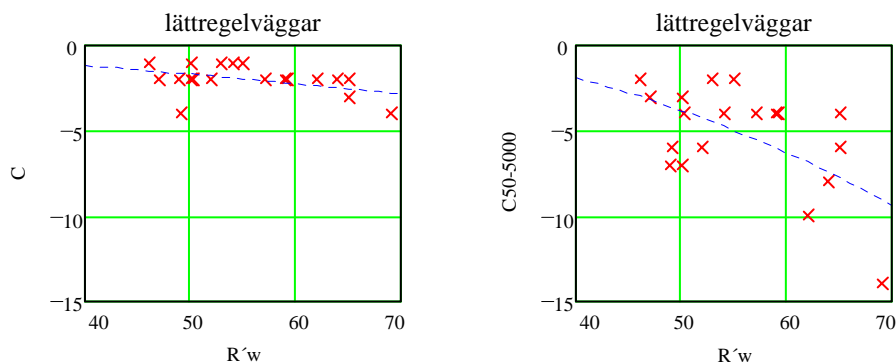
$$R'_{w(8)} = 64 \text{ dB}$$

$$R'_w + C = 62 \text{ dB}$$

$$R'_w + C_{50-5000} = 56 \text{ dB}$$

Figur 11-13. Reduktionstalskurvor för gipsklädda lättregelväggar.

En tendens är vidare att extremt bra reduktionstal, R'_w , (se figur 14) hos en gipsklädd lättregelvägg ger stort negativt värde på $C_{50-5000}$. En effekt som kan tolkas som att det är svårt att åstadkomma verkligt bra ljudisolering vid låga frekvenser med gipsklädda lättregelväggar så som de konstrueras idag. Möjligen kan detta problem delvis lösas genom att exempelvis öka luftspalten mellan skivorna. Motsvarande mönster kan inte påvisas för andra skiljekonstruktioner.



Figur 14. C och $C_{50-5000}$ i relation till R'_w för gipsklädda lättregelväggar.

2.4 Slutsatser luftljud

Med stöd av det underlag som ligger till grund för detta arbete är en rimlig slutsats att i det vanliga frekvensområdet, 100-3150 Hz, finns ingenting att vinna på att C - faktorn används. Det är dock säkert att kravet

$$R'_w + C_{50-5000}$$

bidrar till att förbättra skyddet mot låga frekvenser. Allting tyder på att om en skiljekonstruktions ljudisolering inte är god i de lägre frekvenserna (< 100 Hz) så är risken uppenbar att den underkänns om kravet kompletterats med $C_{50-5000}$. En effekt som är gynnsam för att säkerställa god isolering mot tex basljud från stereoanläggningar. Typiska konstruktioner som behöver förbättras om $C_{50-5000}$ införs är gipsklädda lättregelkonstruktioner. Erfarenheter från de nordiska länderna visar att det är just för dessa skiljekonstruktioner som behovet av förbättringar, i lågfrekvensområdet, är som störst. Det finns också indikationer på att den subjektiva störningsupplevelsen förbättras, se avsnitt 1.3.

Tabell 5 nedan visar vilket reduktionstal, R'_w , som i medeltal krävs för olika konstruktioner för att uppfylla kravet $R_{50} = X$ dB.

Tabell 5. Krav, R'_w , svarande till $R_{50} = X$ dB för olika skiljekonstruktioner.

SKILJEKONSTR.	R_{50} (dB)	R'_w (dB)
betong	X	X+2
lättbetong		X+2
trä		X+3.5
gips		X+5.3

Vid en omräkning av det krav, $R'_w = 55$ dB, som gruppen föreslog i [3] till ett krav formulerat som R_{50} erhålls medelresultat enligt tabell 6 nedan.

Tabell 6. Krav, R_{50} , svarande till $R'_w = 55$ dB för olika skiljekonstruktioner.

SKILJEKONSTR.	R'_w (dB)	R_{50} (dB)
betong	55	53
lättbetong		53
trä		51.5
gips		49.7

3. REFERENSER

- [1] Warren E. Blazier, Russel B. DuPree; J. Acoust. Soc. Am. **96**(3), September 1994.
- [2] K. Bodlund; Journal of sound and vibration (1985) **102**(3), 381-402.
- [3] Lydbestemmelser i de nordiske lande, NKB 1994:01.
- [4] ISO 717-1 (1982); Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation in buildings and of interior building elements.
- [5] ISO 717-2 (1982); Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Impact sound insulation.
- [6] ISO 717-3 (1982); Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Airborne sound insulation of facade elements and facades.
- [7] ISO/DIS 717-1/prEN 20717-1 (1994); Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation.
- [8] ISO/DIS 717-2/prEN 20717-2 (1994); Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Impact sound insulation.
- [9] K. Bodlund; En kartläggning av ljudklimatet i några moderna svenska bostäder; Teknisk rapport SP-RAPP 1983:37, ISSN 0280-2503.

FÖRKLARINGAR TILL BILAGORNA

I kolumn 1 ges filnamnet. Namnet beskriver bjälklagstyp och mätriktning samt om det är luft- eller stegljudsmätning. Se exempel nedan:

trav_1.stg	tra = träbjälklag v = vertikal mätning 1 = löpnummer stg = stegljudsmätning
ewv_1.stg	ew = EW-bjälklag (betong+trä kombinerat)
lbv_1.stg	lb = lättbalk (masonitbalk)
lev_1.stg	le = lecabjälklag
hdfv_1.stg	hdf = håldäcksbjälklag
btgv_1.stg	btg = betongbjälklag
lbtv_1.stg	lbt = lättbetongbjälklag
**_1.lft	lft = luftljudsmätning

I vissa fall kan det stå ett n, d eller i framför. Det betyder då att mätningen är gjord i Norge, Danmark eller Island. Om det inte står någon nationsbeteckning framför så härrör mätningen från Sverige.

Som framgår av resultatlistorna så kan flera olika typer av bjälklag finnas inom en och samma kategori. Detta beror på att programmet inte klarar att sortera tillräckligt noggrant. Exempelvis är mätningarna, vars resultat finns i filerna ibtgv_1.stg och ibtgv_2.stg, utförda på ren betong, dvs utan golvbeläggning.

Då mätningen avser horisontell riktning beskrivs väggtypen i kolumnen längst till höger.

ÖVRIGT STEGLJUD

Ci50 avser $C_{i,50-2500}$

L50iso avser $L'_{n,w} + C_{i,50-2500}$

LB avser stegljudsnivån efter utvärdering enligt Bodlunds referenskurva

L100iso avser $L'_{n,w} + C_i$

ÖVRIGT LUFTLJUD

C50 avser $C_{50-5000}$

R100iso avser $R'_w + C$

R50iso avser $R'_w + C_{50-5000}$

Ia avser R'_w kombinerat med 8 dB-regeln

RESULTATLISTOR STEGLJUD

BILAGA B

RESULTATLISTOR LUFTLJUD

BILAGA C

1/3 - dels oktavbandsvärden STEGLJUD

BILAGA D

1/3 - dels oktavbandsvärden LUFTLJUD

BILAGA E

Beräkning av C-korrekationer