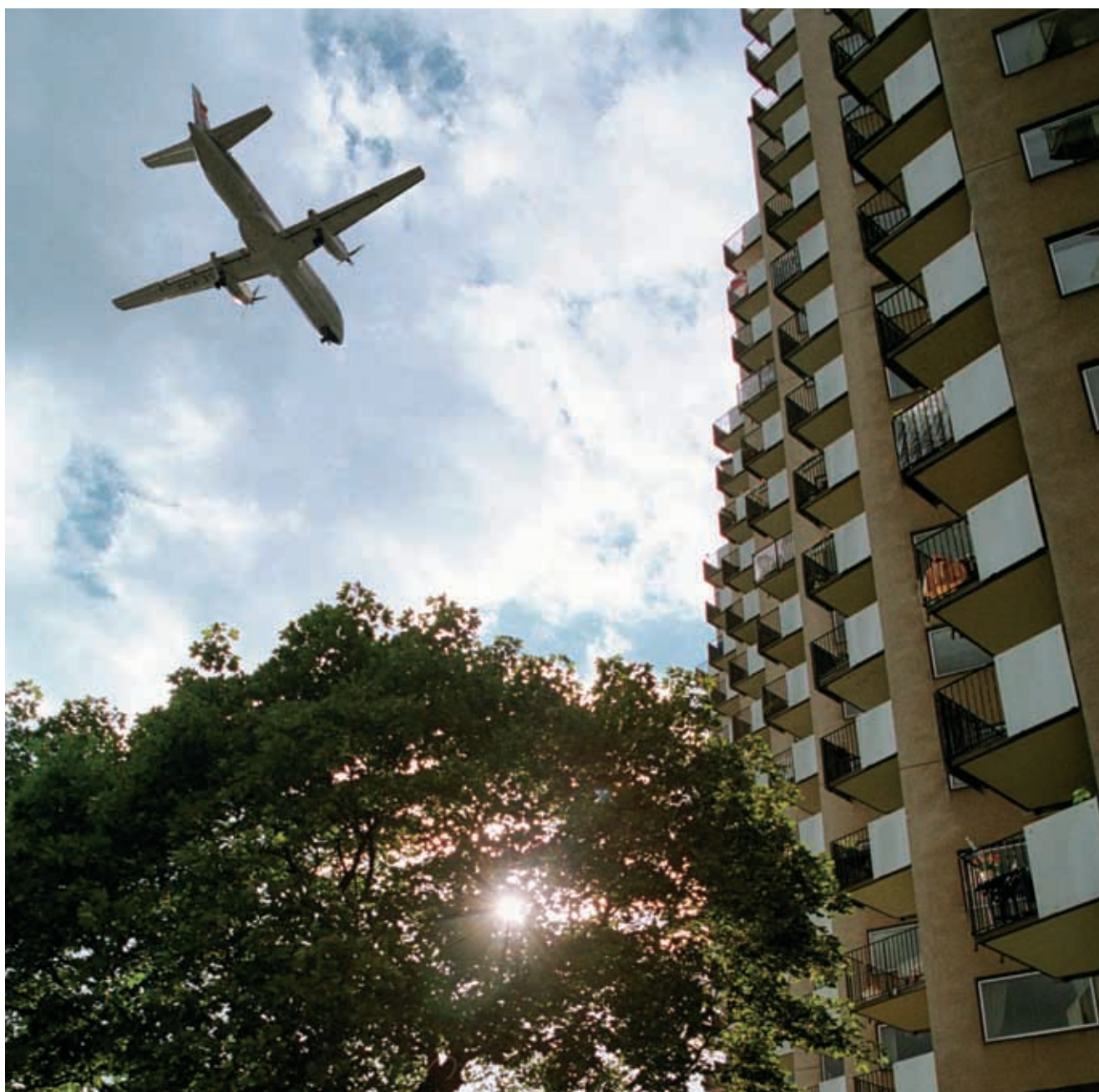


Bostäder och nya ljudkrav



Bostäder och nya ljudkrav

Boverket september 2007

Titel: Bostäder och nya ljudkrav.
Utgivare: Boverket september 2007
Upplaga: 1
Antal ex: 50

Tryck: Boverket internt

ISBN: 978-91-85751-43-3

Sökord: Bostäder, nybyggnation, ljudisolering, ljudmiljö, BBR, Boverkets byggregler, fältstudier, fallstudier, exempel, mätningar, undersökningsresultat.

Diarienummer: 504-3738/2004

Omslag: Robert Ekegren/SCANPIX

Publikationen kan beställas från:

Boverket, Publikationsservice, Box 534, 371 23 Karlskrona

Telefon: 0455-35 30 50 eller 35 30 56

Fax: 0455-819 27

E-post: publikationsservice@boverket.se

Webbplats: www.boverket.se

Denna skrift kan på begäran beställas i alternativa format.

© Boverket 2007

Förord

I takt med förtätningen av våra stadskärnor ökar diskussionen om bullerproblem för de boende.

I en byggprocess kämpar de inblandade för att undvika fördyrande åtgärder, men många gånger är det ett kortsiktigt tänkande som används.

Buller är ett av de inslag som kan innebära problem för projektören, arkitekten och framför allt den boende.

Konsultföretaget WSP pekar istället på att ljudisoleringen och hur ansvaret för ljudfrågorna fördelas mellan projektets parter kan bidra till att byggkostnaderna kan minskas och kvaliteten i färdiga byggnader ökas.

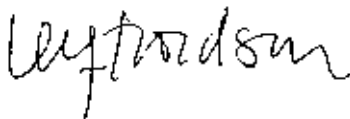
Det har hänt mycket inom ljudområdet de senaste 15 åren. Kraven har förfinats och detaljeringsgraden har ökat. Nya beräkningsmetoder, Europa- och ISO-standarder, har gjort det möjligt att bestämma ljudisoleringen i färdiga byggnader redan på planeringsstadiet, förutsatt att produktleverantörer tillhandahåller användbara underlag för ljudet.

WSP har undersökt om ett nytt standardiserat sätt att mäta och verifiera ljudisolering kan bidra till en bättre ekonomi och en bättre kvalitet för de boende. WSP medverkade tidigare i arbetet kring omarbetningen av Boverkets Byggregler BBR, avsnitt 7 Bullerskydd och har använt erfarenheter därifrån. Utgångspunkten var att titta närmare på effekter av de nya byggreglerna efter att de infördes 1 juli 2006 och hur de nya reglerna bör användas.

Denna rapport och den studie den bygger på kan ge branschen en ökad kunskap om hur de reviderade bygglagarna påverkar kostnader och kvalitet vid byggnaders dimensionering och uppförande med hänsyn till buller. Rapporten visar att det varit möjligt att fastställa bra marginaler vid dimensionering för att kraven ska uppfyllas utifrån Boverkets nya byggregler. Krav som också upplevs som godtagbara för en majoritet av de boende.

För innehåll och sammanställning av rapporten svarar Klas Hagberg från WSP. Expertmedverkande är Christian Simmons, Simmons akustik & utveckling AB. Ansvariga för mätningarna har Tomas Jerson och Emma Gruvin varit.

Karlskrona september 2007



Ulf Troedson
Överdirektör Boverket

Innehåll

Sammanfattning.....	7
Introduktion.....	11
Väsentliga ändringar i standarden.....	11
Förstudier.....	12
Fältstudie.....	12
Begränsningar.....	13
Effekter av regeländringarna.....	15
Förstudie – statistik från nya flerbostadshus.....	15
Fältstudie – kontrollmätningar.....	16
Resultat – medelförändringar.....	16
Byggnadsobjektens ljudklassning.....	17
Utvärdering av respektive byggnadsobjekt.....	18
Marginaler vid projektering.....	25
Förstudie – säkerhetsmarginal.....	25
Fältstudie – marginal till krav.....	27
Tillämpning av BBR.....	31
Boendeundersökning.....	35
Rekommendationer för fortsatt arbete.....	39
Referenser.....	41
Bilaga 1 – Marginal vid dimensionering med SS-EN 12354.....	43
Bilaga 2 – Verkan av nya regler i SS 25267:2004 jämfört med SS 02 52 67:1998.....	49
Bilaga 3 – Inter-Noise 2006.....	61

Sammanfattning

I denna rapport redovisas effekter av att BBR:s ljudkrav på bostadsbyggnader har reviderats. Ljudkraven i BBR anges dels med en allmänt formulerad föreskrift och dels med ett allmänt råd som hänvisar till ljudklass C i svensk standard för ljudklassning av bostäder. Ljudklasser har utvärderats i sju objekt med hjälp av beräkningar och mätningar, dels enligt den tidigare utgåvan av SS 02 52 67 (1998, utgåva 2) och dels mot den gällande SS 25267 (2004, utgåva 3). De väsentligaste ändringarna i standarden redovisas och diskuteras i introduktionsavsnittet.

Analys av statistik över nya hyresbostäder 2000–2005 samt fältnätningar i sju bostadsbyggnader visar att den nya utgåva 3 skulle ge *lättnader* mot utgåva 2, med i medeltal

2 dB för luftljudsisoleringen

2–4 dB för stegljudsisoleringen

0 dB för stegljudsisoleringen, med en föreslagen precisering

Den föreslagna preciseringen av standarden är att man skall utvärdera stegljudsisolering horisontellt och vertikalt separat, och båda skall uppfylla kraven. Med dagens formulering får man medelvärdesbilda resultaten, oavsett mätning.

Resultatet för ljudklass för respektive byggnad i denna undersökning förblir dock oförändrad även efter introduktionen av utgåva 3, så när som på ett objekt. I detta objekt sker en uppgradering från ljudklass C till ljudklass B och det är luftljudsisoleringen som gör att ljudklassen ändras. Samtliga byggnaders ljudklasser enligt respektive utgåva redovisas i nedanstående tabell.

Ljudklassning av respektive byggnadsobjekt, enl. utgåva 2 och 3

	Luftljudsisolering	Stegljudsisolering ¹	Totalt
Objekt 01 (btg)			
– utgåva 2	C	B	C
– utgåva 3	C	A (B)	C
Objekt 02 (btg)			
– utgåva 2	C	B	C
– utgåva 3	C	A (B)	C
Objekt 03 (btg)			
– utgåva 2	C	B	C
– utgåva 3	C	A (B)	C
Objekt 04 (btg)			
– utgåva 2	C	B	C
– utgåva 3	B	B (B)	B
Objekt 05 (btg)			
– utgåva 2	C	B	C
– utgåva 3	C	B (B)	C
Objekt 06 (trä)			
– utgåva 2	B	C	C
– utgåva 3	B	C (C)	C
Objekt 07 (trä)			
– utgåva 2	B	C	C
– utgåva 3	A	C (C)	C

¹ Värden inom parentes avser ljudklass då stegljud har medelvärdesbildats separat för vertikala och horisontella mätningar.

Mät- och beräkningsresultat har också analyserats för att få fram vilken säkerhetsmarginal som bör tillämpas vid dimensionering (projektering).

Sammanfattningsvis kan mätningarna i de utvalda hyresbostäderna tolkas så, att man med utgåva 3 och med föreslagen ändring (se not 1 i ovanstående tabell) skulle kunna minska konstruktionernas

luftljudsisolering med 2,1 dB

stegljudsisolering med -0,1 dB

Dessa värden har beräknats med förutsättningen, att det blir cirka 10 procent risk för underkännande vid en kontrollmätning mot krav i ljudklass C. För att uppnå ljudklass B med säkerhet måste de aktuella konstruktionernas ljudisolering ökas.

Jämförelser mellan beräkningar och mätningar av ljudisolering i byggnad visar att de säkerhetsmarginaler för dimensionering som har tagits fram i tidigare jämförelsestudier fortfarande kan tillämpas. Några observationer inom denna studie som är av praktiskt intresse kan dock tillfogas:

- 1 dB marginal bör tillämpas vid dimensionering med beräkning mot krav enligt utgåva 3, både för luft- och stegljudsisolering.
- Vid beräkningen skall ljudisoleringen för alla byggnadsdelar vara noggrant dokumenterade.
- Vid utförandet skall bygghederna sammanfogas på det sätt som förutsetts vid dimensioneringen. Angiven marginal räcker inte för att ta hänsyn till fel och brister i utförandet utan är endast avsedd att kompensera för oundvikliga smärre variationer i bygghedernas egenskaper och mätosäkerheter.

En boendeundersökning har genomförts i de sju bostadshus som har studerats. Utifrån betygen kan följande intressanta samband konstateras:

- Stegljudsisoleringen ger generellt något lägre betyg än luftljudsisoleringen oavsett stomkonstruktion, det vill säga stegljudsisoleringen upplevs som sämre. Mätvärdena antyder dock motsatsen, det vill säga att luftljudsisoleringen skulle upplevas sämst, förutsatt att klassgränserna motsvarar samma andel störda för respektive egenskap. Detta vet vi idag inte tillräckligt mycket om för att säkert kunna avgöra.
- Stegljudsisoleringen värderas över normal minimistandard för samtliga stomkonstruktioner i de sju objekt som ingår i detta arbete. Dock är andelen låga betyg väsentligt fler för de två lätta stomkonstruktionerna än för betongkonstruktionerna.
- Motsvarande som i punkten ovan indikeras inte för luftljudsisoleringen.

Resultaten från denna undersökning visar att de förändringar i utvärderingen som infördes i utgåva 3 inte har kompenserats fullt ut med förändrade kravnivåer. Emellertid visar boendeundersökningen att det kanske var rätt att införa en viss lättnad av luftljudskravet, eftersom de boende överlag värderar luftljudsisoleringen bättre än stegljudsisoleringen, med viss variation beroende på stomsystem.

Några rekommendationer för fortsatt analys ges sist i rapporten.

Introduktion

Författarna har under åren 2002–2004 medverkat i en genomgripande förändring av den svenska standarden för ljudklassning av bostäder¹, och även skrivit ett förslag till ny lydelse i Boverkets Byggregler BBR, avsnitt 7 Bullerskydd. Ljudklassningsstandarden har i praktiken uppfattats som ett krav, på grund av följande:

När BBR reviderades 1999 infördes ett allmänt råd som hänvisade till utgåva 2 av standarden SS 02 52 67 (nedan benämnd ”utgåva 2”). Under 2004 ersattes denna av utgåva 3 (nedan benämnd ”utgåva 3”). I den BBR som gällde fram till 2006-06-30 (med övergångsbestämmelser till 2007-07-01) fanns dock hänvisningen till utgåva 2 kvar, vilket naturligtvis skapade en viss osäkerhet kring vilken utgåva som skulle tillämpas. Boverket uttalade då, att båda utgåvorna borde kunna godtas som likvärdiga sätt att uppfylla det allmänt formulerade funktionskravet i BBR.

En ny BBR trädde i kraft den 1 juli 2006 och därmed bör endast utgåva 3 tillämpas. Från och med 1 juli 2007 gäller bara utgåva 3.

Det finns en rad faktorer som skiljer sig mellan utgåvorna och som påverkar vilka krav som skall tillämpas. Ljudkravet blir ofta dimensionerande för byggnadskonstruktionerna. Detta gör att definitionen av ljudkravet påverkar byggnadens utformning och därmed även byggkostnaderna. Det fanns därför ett behov av att göra jämförelser av hur regel förändringarna slår igenom i praktiken.

Väsentliga ändringar i standarden

SS 02 52 67 (utgåva 2) och SS 25267 (utgåva 3) skiljer sig åt beträffande ljudisolering på nedanstående punkter (det finns även andra förändringar som inte berörs i denna rapport):

1. *Begränsningsregler*: Utvärdering av luftljudsisolering och stegljudsnivå med hänsyn till rumsstorlekar. I utgåva 3 infördes begränsningsregler för mottagarumsvolym och skiljearea vid bestämning

¹ SS 25267:2004, utgåva 3: Byggakustik – Ljudklassning av utrymmen i byggnader – Bostäder. Utgåva 2 från 1998 littereras SS 02 52 67. Vid revidering tar SIS sedan en tid bort alla inledande nollor och mellanrum i litterering, av datatekniska skäl. Numret har alltså inte ändrats, men ser annorlunda ut.

av luftljudsisolering (R'_{w}) och stegljudsnivå ($L'_{n,w}$). I praktiken blir dessa sammanfattningsvärden i stora rum lika med de mått som redan används i europeisk och internationell standard, $D_{nT,w}$ (standardiserad A-vägd ljudtrycksnivåskillnad) och $L'_{nT,w}$ (standardiserad stegljudsnivå). Dessa mått har redan införts i Tyskland, Österrike, Holland och England. Begränsningsreglerna gör att kraven på byggnadskonstruktionerna inte ökar med utrymmenas volym såsom tidigare varit fallet.

2. *Medelvärdesbildning*: Vid verifiering med mätningar skall kravet i utgåva 3 jämföras med ett medelvärde från flera olika mätningar, inom ett och samma objekt. Enstaka avvikelser från kravvärdet på maximalt 2 dB godtas om medelvärdet innehåller kravet. Tidigare gällde att samtliga krav skall vara uppfyllda, inga avvikelser godtogs.
3. *Kravnivåerna* har skärpts med 2 dB för stegljudsnivå och 1 dB för luftljudsisolering.
4. *Verifiering med beräkning* godtas enligt utgåva 3. Detta ger stöd för ett industriellt, kvalitetsstyrt byggsätt. Den beräkningsmetod som anvisas, är framtagen av CEN på uppdrag av EU-kommissionen för att underlätta upphandling och ökad konkurrens mellan byggmaterialleverantörerna. Det blir väsentligt lättare för nya leverantörer och produkter att komma in på marknaden, när provningar och beräkningar enligt standardiserade metoder godtas som ett sätt att styrka att ett kravvärde kommer att klaras i färdig byggnad med de föreslagna produkterna.
5. *Säkerhetsmarginal* vid dimensionering skall väljas med hänsyn till kända osäkerheter. Marginalerna är olika för olika typer av stomsystem.

Förstudier

I en inledande förstudie (se bilaga 2) gjordes en beräkning som baserades på statistik från Boverket och Statistiska centralbyrån, SCB, för nyproduktion av hyreshus 2000–2005. Syftet med förstudien var att få en skattning av effekten av regeländringarna på basis av ett brett underlag, för att sedan kunna jämföra resultaten med fältstudierna. Eftersom fältstudierna baseras på ett begränsat urval av byggobjekt var det väsentligt att göra en oberoende beräkning för att kvalitetssäkra resultaten av fältstudien.

I en annan förstudie om stegljudsnivåer har värden uppmätta i ett antal finska bostadshus jämförts med beräkningar för att undersöka om de marginaler som tillämpas i praxis är tillräckliga.

Fältstudie

En detaljerad analys har gjorts i sju nybyggda bostadshus i landet, varav följande objekt är utvecklingsprojekt inom Boverkets Byggekostnadsforum:

- Kv. Adlersten i Karlskrona (platsgjuten betongstomme).
- Kv. Hinseblick i Karlshamn (prefabricerade betongelement).
- Inre Hamnen i Sundsvall (prefabricerade massivträelement).
- Kv. Bifrost i Mölndal (platsgjuten betongstomme).

Ytterligare tre objekt har lagts till för att få ett bredare underlag för studien:

- Eyrafältet i Örebro (prefabricerade betongelement).
- Kv. Malmcronan i Stockholm (prefabricerade betongelement).
- S:a Råtorp i Karlstad (prefabricerade volymelement i trä).

Resultaten från fältundersökningar avseende ljudisoleringen i ovanstående objekt sammanställs nedan. Det är inte möjligt att identifiera vilka resultat som kommer från vilket objekt. Ordningsföljden ovan stämmer inte med den som redovisas senare i rapporten. Detta sätt att redovisa har valts eftersom denna studie fokuserar på att kartlägga skillnader mellan utgåva 2 och utgåva 3 i allmänhet och inte specifikt ange slutresultatet för varje enskilt objekt.

Begränsningar

Som framgår av föregående avsnitt så har vi haft ett begränsat urval med byggnadsobjekt. I dessa har vi emellertid gjort detaljerade analyser för att se hur förväntad ljudisolering stämmer med slutresultatet i projekten.

Urvalet av byggnader är gjort i samråd med Boverkets Byggekostnadsforum och representerar i huvudsak typiska innerstadsprojekt uppförda med hyresrätt som upplåtelseform och för egen förvaltning. Bostädernas storlek varierar lite men kan generellt betraktas som ganska normala för en liten familj. Därmed är det självklart så att resultaten inte direkt går att översätta till andra typer av bostäder, exempelvis små bostäder för äldre och studenter, eller stora lägenheter med mer exklusiv design.

Effekter av regeländringarna

Förstudie – statistik från nya flerbostadshus

Tillgänglig statistik för landets bostadsproduktion hämtades in från Boverket och Statistiska centralbyrån, SCB, avseende nyproduktion av bostadshus med hyresrätt 2000–2005. Från byggd bruttoarea per lägenhetstyp (antal rum/lgh) gjordes schablonmässiga fördelningar av rumsstorlekar i lägenheter med angiven medelarea. Såväl den schablonmässiga fördelningen som urvalet av byggobjekt påverkar resultatet väsentligt, därför att olika typer av bostäder har producerats under olika perioder. Skulle exempelvis produktion från ytterligare fem år bakåt i tiden ha tagits med, med mycket stora och påkostade bostadsrätter, hade resultatet troligen förändrats avsevärt. Det är därför komplicerat att få fram resultat som kan sägas vara helt allmängiltiga.

Underlaget användes för att bedöma förväntad lättnad av kravnivåerna med hänsyn till de dimensioneringsprinciper som gäller enligt utgåva 3, jämfört med om dimensionering hade gjorts mot krav i utgåva 2. Beräkningarna i förstudien (se bilaga 2) indikerade att den nya utgåvan 3 skulle ge *lättnader* mot utgåva 2, med i medeltal

2,3 dB för reduktionstalet $R'_w + C_{50-3150}$ och
2,4 dB för stegljudsnivån $L'_{nw} + C_{1,50-2500}$

där

- $R'_w + C_{50-3150}$ är det mått på luftljudsisolering som idag används i Sverige.
- $L'_{nw} + C_{1,50-2500}$ är det mått på stegljudsisolering (stegljudsnivå) som idag används i Sverige. Detta mått skall dock kombineras med enbart L'_{nw} , det vill säga både L'_{nw} och $L'_{nw} + C_{1,50-2500}$ skall uppfyllas
- dB betyder decibel och är styrkan på ett ljud eller när man talar om isolering, förmågan att dämpa ljudet.

Denna uppskattade förändring baseras dock på några antaganden som påverkar utfallet. Vid beräkningen har alla rum med lägenhetsskiljande ytor tagits med i medelvärde, vilket för större lägenheter med många

små rum innebär att medelvärdet av ljudisolering ökar i medeltal, jämfört med mätningar där man ofta bara provar i ett sovrum och ett vardagsrum. Hade beräkningen gjorts på det senare sättet, så skulle de ovan angivna skillnaderna (lättnaderna) bli cirka 1 dB mindre. Med de nya reglerna har man i princip ”rätt” att göra provningar i flera rum och tillgodoräkna sig ett något högre medelvärde, så ovanstående värden ger ändå en rättvisande bild av hur stor skillnad som kan uppstå.

Ytterligare en faktor som påverkar resultatet är att dimensionering har gjorts med samma säkerhetsmarginal mot krav i respektive utgåva (10 procent risk för underkänt vid kontrollmätning). Av erfarenhet finns skäl att tro att i praktiken har inte erforderliga säkerhetsmarginaler tillämpats vid projektering (mot krav i utgåva 2). I praktiken har enstaka avvikelser från kravet ofta godtagits. Sammantaget kan därför bedömas, att skillnaden mellan utgåvorna i praktiken snarare blir i storleksordningen 0–1 dB (se bilaga 2).

Fältstudie – kontrollmätningar

I detta avsnitt redovisas resultat efter genomförda kontrollmätningar i de sju objekt som ingår i denna undersökning. Vi har gjort ett begränsat urval av lägenheter i respektive objekt och jämfört med uppsatta mål för objektet. Vi studerar då effekten av de olika förändringarna som beskrevs i introduktionskapitlet:

1. Begränsningsregler
2. Medelvärdesbildning vid kontrollmätning
3. Förändrade kravnivåer

Resultaten redovisas i nedanstående sammanställning av medelförändringar och uppnådda ljudklasser enligt utgåva 2 respektive utgåva 3.

Resultat – medelförändringar

Resultat från fältmätningarna visar att den nya utgåvan 3 skulle ge *lättnader* mot utgåva 2, med *i medeltal*

2,2 dB för reduktionstalet $R'_w + C_{50-3150}$ och
4,4 dB för stegljudsnivån $L'_{nw} + C_{1,50-2500}$

Detta resultat skiljer sig från förstudien med 0,1 dB för luftljudsisoleringen, och med 2,0 dB för stegljudsnivån. Resultaten är samstämmiga när det gäller luftljudsisolering, men skillnaden är påtaglig när det gäller stegljudsnivå. Det finns dock en rimlig förklaring till att denna skillnad uppstår. Volymbegränsningsregeln slår olika beroende på hur många små rum som inkluderas vid utvärderingen. Se vidare ovan, angående diskussionen kring resultaten från förstudien.

En effekt som inte var avsedd, var emellertid att horisontella stegljudsmätningar kan bidra till ett lågt medelvärde och därmed förhöjd stegljudsstandard utan att upplevd standard är bättre än den som verkar vertikalt. Skälet är att knutpunkten mellan vägg och bjälklag dämpar stegljudsbredningen effektivt. Nuvarande regler kan utnyttjas på ett olyckligt sätt

och därför borde medelvärdesbildningen göras separat för vertikala och horisontella mätningar. Då bör man få en bättre värdering av subjektivt upplevd stegljudsnivå i en lägenhet. Om detta tillägg till reglerna appliceras på resultaten, så blir lättningen i kraven mellan de båda utgåvorna av standarden istället:

$$2,2 \text{ dB för reduktionstalet } R'_w + C_{50-3150} \text{ och} \\ 0,5 \text{ dB för stegljudsnivån } L'_{nw} + C_{1,50-2500}$$

Om samma tilläggsregel tillämpas på objekten i förstudien, och man antar att ett större rum och ett mindre rum ingår i respektive mätning, så blir motsvarande lättning på stegljudskravet -0,5 dB istället för angiven lättning 2,4 dB, dvs. man har i praktiken fått en liten skärpning av kravet mellan utgåvorna. Resultaten från förstudien och fältmätningarna ger likartade resultat.

Byggnadsobjektens ljudklassning

Tabell 1. Ljudklassning av respektive byggnadsobjekt, enligt utgåva 2 och 3.

	Luftljudsisolering	Stegljudsisolering ¹	Totalt
Objekt 01 (btg)			
– utgåva 2	C	B	C
– utgåva 3	C	A (B)	C
Objekt 02 (btg)			
– utgåva 2	C	B	C
– utgåva 3	C	A (B)	C
Objekt 03 (btg)			
– utgåva 2	C	B	C
– utgåva 3	C	A (B)	C
Objekt 04 (btg)			
– utgåva 2	C	B	C
– utgåva 3	B	B (B)	B
Objekt 05 (btg)			
– utgåva 2	C	B	C
– utgåva 3	C	B (B)	C
Objekt 06 (trä)			
– utgåva 2	B	C	C
– utgåva 3	B	C (C)	C
Objekt 07 (trä)			
– utgåva 2	B	C	C
– utgåva 3	A	C (C)	C

¹ Värden inom parentes avser ljudklass då stegljud har medelvärdesbildats separat för vertikala och horisontella mätningar.

Endast i två objekt förändras ljudklassningen, och då endast av luftljudsisoleringskravet. Stegljudet får samma klassning i utgåva 2 och utgåva 3.

Utvärdering av respektive byggnadsobjekt

I detta avsnitt redovisas och diskuteras uppmätt ljudisolering i respektive byggnadsobjekt.

Objekt 01

Ambitionen har varit att klara ljudklass B enligt utgåva 3. Medelvärdet av genomförda stegljudsmätningar blir:

$$L'_{n,w} = 45 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 46 \text{ dB}$$

Detta ger ljudklass A eftersom övre gränsen för klass A går vid 48 dB enligt utgåva 3. Inga enskilda mätvärden avviker mer än 2 dB från kravet. Medelvärdesbildning över enbart vertikala mätningar ger:

$$L'_{n,w} = 50 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 49 \text{ dB}$$

Detta ger ljudklass B eftersom övre gränsen för klass B går vid 52 dB enligt utgåva 3.

Enligt utgåva 2 är stegljudsnivån $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 52 \text{ dB}$ som högst. Därmed uppfyller man ljudklass B även enligt utgåva 2 eftersom gränsen för ljudklass B går vid 54 dB.

Medelvärdet för genomförda luftljudsisoleringsmätningar blir:

$$R'_w + C_{50-3150} = 56 \text{ dB}$$

Detta ger ljudklass C eftersom nedre gränsen för klass C går vid 53 dB enligt utgåva 3. Inga enskilda mätvärden avviker mer än 2 dB från kravet.

Enligt utgåva 2 är luftljudsisoleringen $R'_w + C_{50-3150} = 53 \text{ dB}$ som lägst. Därmed uppfylls ljudklass C enligt utgåva 2 eftersom gränsen går vid 52 dB.

Objekt 01	Ljudklass utgåva 2	Ljudklass utgåva 3
Stegljud	B	A
Stegljud mv. vert.	–	B
Luftljud	C	C
Totalt	C	C

Objekt 02

Ambitionen har varit att klara ljudklass B enligt utgåva 3. Medelvärdet av genomförda stegljudsmätningar blir:

$$L'_{n,w} \quad 39 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \quad 48 \text{ dB}$$

Detta ger ljudklass A eftersom övre gränsen för klass A går vid 48 dB enligt utgåva 3. Ett enstaka mätvärde tangerar avvikelserna 2 dB från kravet. Den stora skillnaden mellan de båda värdena ovan antyder att konstruktionen är sådan att det ger höga ljudnivåer i de låga frekvenserna. Medelvärdesbildning över enbart vertikala mätningar ger:

$$L'_{n,w} \quad 43 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \quad 50 \text{ dB}$$

Detta ger ljudklass B eftersom övre gränsen för klass B går vid 52 dB enligt utgåva 3.

Enligt utgåva 2 är stegljudsnivån $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ 53 dB som högst. Därmed uppfylls, med 1 dB marginal, ljudklass B enligt utgåva 2 eftersom gränsen för ljudklass B går vid 54 dB.

Medelvärdet för genomförda luftljudsisoleringsmätningar blir:

$$R'_w + C_{50-3150} \quad 56 \text{ dB}$$

Detta ger ljudklass C eftersom nedre gränsen för klass C går vid 53 dB enligt utgåva 3. Inga enstaka mätvärden avviker mer än 2 dB från detta krav.

Enligt utgåva 2 är luftljudsisoleringen $R'_w + C_{50-3150}$ 54 dB som lägst. Därmed uppfylls ljudklass C enligt utgåva 2 eftersom gränsen går vid 52 dB.

Objekt 02	Ljudklass utgåva 2	Ljudklass utgåva 3
Stegljud	B	A
Stegljud mv. vert.	–	B
Luftljud	C	C
Totalt	C	C

Objekt 03

Ambitionen har varit att klara ljudklass B enligt utgåva 3. Medelvärdet av genomförda stegljudsmätningar blir:

$$L'_{n,w} = 44 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 45 \text{ dB}$$

Detta ger ljudklass A eftersom övre gränsen för klass A går vid 48 dB enligt utgåva 3. Ett enstaka mätvärde tangerar avvikelserna 2 dB från kravet. Medelvärdesbildning över enbart vertikala mätningar ger:

$$L'_{n,w} = 50 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 50 \text{ dB}$$

Detta ger ljudklass B eftersom övre gränsen för klass B går vid 52 dB enligt utgåva 3.

Enligt utgåva 2 är stegljudsnivån $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 54 \text{ dB}$ som högst. Därmed uppfylls, med 0 dB marginal, ljudklass B enligt utgåva 2 eftersom gränsen för ljudklass B går vid 54 dB.

Medelvärdet för genomförda luftljudsisoleringsmätningar blir:

$$R'_w + C_{50-3150} = 58 \text{ dB}$$

vilket svarar mot ljudklass B eftersom nedre gränsen för klass B går vid 57 dB enligt utgåva 3. I detta fall finns dock en enstaka avvikelse som är större än 2 dB ($R'_w + C_{50-3150} = 54 \text{ dB}$) från kravet vid klass B. Därmed uppfylls endast ljudklass C eftersom nedre gränsen för klass C går vid 53 dB enligt utgåva 3.

Enligt utgåva 2 är luftljudsisoleringen $R'_w + C_{50-3150} = 53 \text{ dB}$ som lägst. Därmed uppfylls ljudklass C enligt utgåva 2 eftersom gränsen går vid 52 dB.

Objekt 03	Ljudklass utgåva 2	Ljudklass utgåva 3
Stegljud	B	A
Stegljud mv. vert.	–	B
Luftljud	C	C
Totalt	C	C

Objekt 04

Ambitionen har varit att klara ljudklass B enligt utgåva 3. Medelvärdet av genomförda stegljudsmätningar blir:

$$L'_{n,w} = 46 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} + C_{I,50-2500} = 46 \text{ dB}$$

Detta skulle ge ljudklass A eftersom övre gränsen för klass A går vid 48 dB enligt utgåva 3, dock avviker ett enstaka mätvärde med 3 dB från kravet. Därmed uppfylls enbart klass B. Medelvärdesbildning över enbart vertikala mätningar ger:

$$L'_{n,w} = 49 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} + C_{I,50-2500} = 49 \text{ dB}$$

Detta ger ljudklass B eftersom övre gränsen för klass B går vid 52 dB enligt utgåva 3.

Enligt utgåva 2 är stegljudsnivån $L'_{n,w} + C_{I,50-2500} = 52 \text{ dB}$ som högst. Därmed uppfylls ljudklass B med 2 dB marginal eftersom gränsen för ljudklass B går vid 54 dB.

Medelvärdet för genomförda luftljudsisoleringsmätningar blir:

$$R'_w + C_{50-3150} = 58 \text{ dB}$$

vilket svarar mot ljudklass B. Enstaka mätvärden underskrider aktuellt kravvärde i ljudklass B med 1 dB, alltså gäller att inga avvikelser är större än 2 dB. Därmed uppfylls ljudklass B eftersom nedre gränsen för klass B går vid 57 dB enligt utgåva 3.

Enligt utgåva 2 är luftljudsisoleringen $R'_w + C_{50-3150} = 54 \text{ dB}$ som lägst. Därmed uppfylls ljudklass C enligt utgåva 2 eftersom gränsen går vid 52 dB.

Objekt 04	Ljudklass utgåva 2	Ljudklass utgåva 3
Stegljud	B	B
Stegljud mv. vert.	–	B
Luftljud	C	B
Totalt	C	B

Objekt 05

Ambitionen har varit att klara ljudklass B enligt utgåva 3. Medelvärdet av genomförda stegljudsmätningar blir:

$$L'_{n,w} = 50 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 50 \text{ dB}$$

Detta ger ljudklass B eftersom övre gränsen för klass B går vid 52 dB enligt utgåva 3. Dessa två mätvärden är båda hämtade från vertikala mätningar och därför är detta den slutliga ljudklassen.

Enligt utgåva 2 är stegljudsnivån $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 51 \text{ dB}$ som högst. Därmed uppfylls, med 3 dB marginal, ljudklass B enligt utgåva 2 eftersom gränsen för ljudklass B går vid 54 dB.

Medelvärdet för genomförda luftljudsisoleringsmätningar blir:

$$R'_w + C_{50-3150} = 56 \text{ dB}$$

Därmed uppfylls ljudklass C eftersom nedre gränsen för klass C går vid 53 dB enligt utgåva 3.

Enligt utgåva 2 är luftljudsisoleringen $R'_w + C_{50-3150} = 55 \text{ dB}$ som lägst. Därmed uppfylls ljudklass C enligt utgåva 2 eftersom gränsen går vid 52 dB.

Objekt 05	Ljudklass utgåva 2	Ljudklass utgåva 3
Stegljud	B	B
Stegljud mv. vert.	–	B
Luftljud	C	C
Totalt	C	C

Objekt 06

Ambitionen har varit att klara ljudklass B enligt utgåva 3. Medelvärde av genomförda stegljudsmätningar blir:

$$L'_{n,w} \quad 47 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \quad 48 \text{ dB}$$

Detta ger ljudklass A som medelvärde eftersom övre gränsen för klass A går vid 48 dB enligt utgåva 3. Dock är avvikelserna i enskilda mätningar alltför stora vilket gör att slutresultatet landar på ljudklass C. Ett enstaka mätvärde tangerar gränsen för ljudklass C. Medelvärdesbildning över enbart vertikala mätningar ger:

$$L'_{n,w} \quad 54 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \quad 54 \text{ dB}$$

$$L_{NY} \quad .. \text{ dB}$$

Detta ger ljudklass C eftersom övre gränsen för klass B går vid 56 dB enligt utgåva 3.

Enligt utgåva 2 är stegljudsnivån $L'_{n,w}$ 56 dB som högst. Därmed uppfyller man ljudklass C med 1 dB marginal enligt utgåva 2 eftersom gränsen för ljudklass C går vid 58 dB.

Medelvärde för genomförda luftljudsisoleringsmätningar blir:

$$R'_w + C_{50-3150} \quad 61 \text{ dB}$$

vilket svarar mot ljudklass A. I detta fall finns enstaka avvikelser som överstiger 2 dB ($R'_w + C_{50-3150}$ 57 dB) från kravet vid klass A. Därmed uppfylls ljudklass B eftersom nedre gränsen för klass B går vid 57 dB enligt utgåva 3.

Enligt utgåva 2 är luftljudsisoleringen $R'_w + C_{50-3150}$ 57 dB som lägst. Därmed uppfylls ljudklass B enligt utgåva 2 eftersom gränsen går vid 56 dB.

Objekt 06	Ljudklass utgåva 2	Ljudklass utgåva 3
Stegljud	C	C
Stegljud mv. vert.	–	C
Luftljud	B	B
Totalt	C	C

Objekt 07

Ambitionen har varit att klara ljudklass C enligt utgåva 2. Medelvärde av genomförda stegljudsmätningar blir:

$$L'_{n,w} = 48 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 51 \text{ dB}$$

Detta ger ljudklass C eftersom övre gränsen för klass C går vid 56 dB enligt utgåva 3. Ett mätvärde överstiger funktionskravet med 1 dB. Medelvärdesbildning över enbart vertikala mätningar ger:

$$L'_{n,w} = 51 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 54 \text{ dB}$$

Detta ger ljudklass C eftersom övre gränsen för klass C går vid 56 dB enligt utgåva 3.

Enligt utgåva 2 är stegljudsnivån $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 57 \text{ dB}$ som högst. Därmed uppfyller man precis ljudklass C enligt utgåva 2 eftersom gränsen för ljudklass C går vid 58 dB.

Medelvärde för genomförda luftljudsisoleringsmätningar blir:

$$R'_w + C_{50-3150} = 61 \text{ dB}$$

vilket svarar mot ljudklass A. I detta fall finns enstaka avvikelser som tangerar 2 dB ($R'_w + C_{50-3150} = 59 \text{ dB}$) från kravet vid klass A. Därmed uppfylls ljudklass A eftersom nedre gränsen för klass B går vid 61 dB enligt utgåva 3.

Enligt utgåva 2 är luftljudsisoleringen $R'_w + C_{50-3150} = 59 \text{ dB}$ som lägst. Därmed uppfylls ljudklass B enligt utgåva 2 eftersom gränsen går vid 56 dB.

Objekt 07	Ljudklass utgåva 2	Ljudklass utgåva 3
Stegljud	C	C
Stegljud mv. vert.	–	C
Luftljud	B	A
Totalt	C	C

Marginaler vid projektering

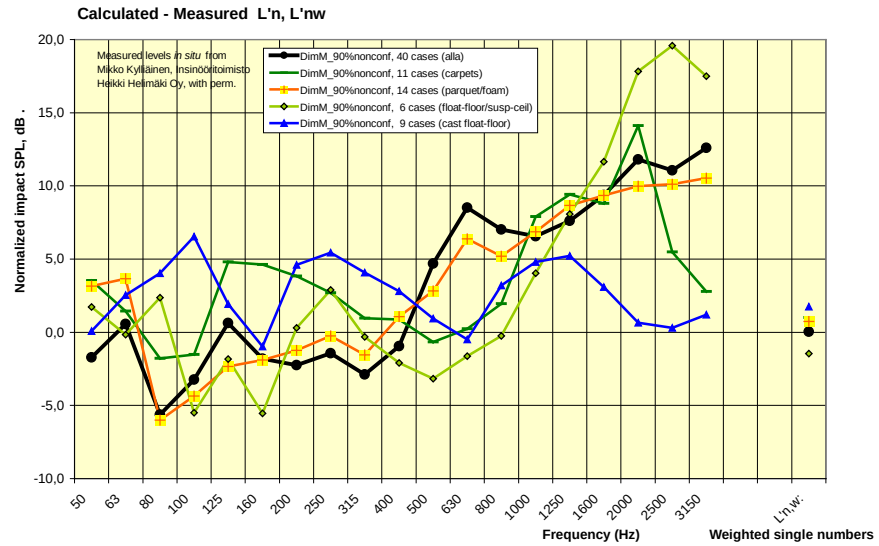
Förstudie – säkerhetsmarginal

Tidigare studier (se bilaga 1) vad avser osäkerheter av beräknade nivåer jämfört med mätta nivåer (i fält) indikerar att 3 dB är en lämplig marginal vid beräkningar i bostadsbyggnader med betongstomme med hänsyn till krav i enskilda lägenheter och rum (så som i utgåva 2) medan 1 dB skulle vara tillräckligt enligt utgåva 3. För byggnader uppförda med lätta stomsystem måste dock större marginaler tillämpas.

I bilaga 1 redovisas resultat från en jämförelse mellan beräkningar och mätningar i 40 olika finska bostadshus med tunga bjälklag och ytterväggar. I nedanstående figur 1 redovisas osäkerhet vid beräkning i tredjedels oktavband samt som vägda värden. Osäkerheten definieras som en 10 procent risk att man vid en kontrollmätning inte når det beräknade värdet. Vid låga frekvenser är marginalen till kravet större (mindre risk), men vid höga frekvenser har man avvikelser på osäkra sidan. Skillnaderna förklaras av att golvbeläggningar med tunna elastiska skikt åldras och den ljuddämpande funktion avtar. Vid beräkningar har indata för nya produkter tillämpats.

För vägda tal visar figur 1 att det skulle räcka att iaktta en säkerhetsmarginal om 2 dB. Av olika skäl har vi ändå valt att bibehålla rekommendationen om att tillämpa 3 dB marginal, se bilaga 1.

Figur 1. Skillnad mellan beräknad och uppmätt stegljudsnivå, uppritad som en "marginal". Marginalen är beräknad som medelvärket mellan beräknade och uppmätta stegljudsnivåer, ökade med 1,28 gånger standardavvikelsen. Jämförelsen har gjorts i varje enskilt 1/3 dels oktavband inom 50–3150 Hz och mot de vägda värdena.



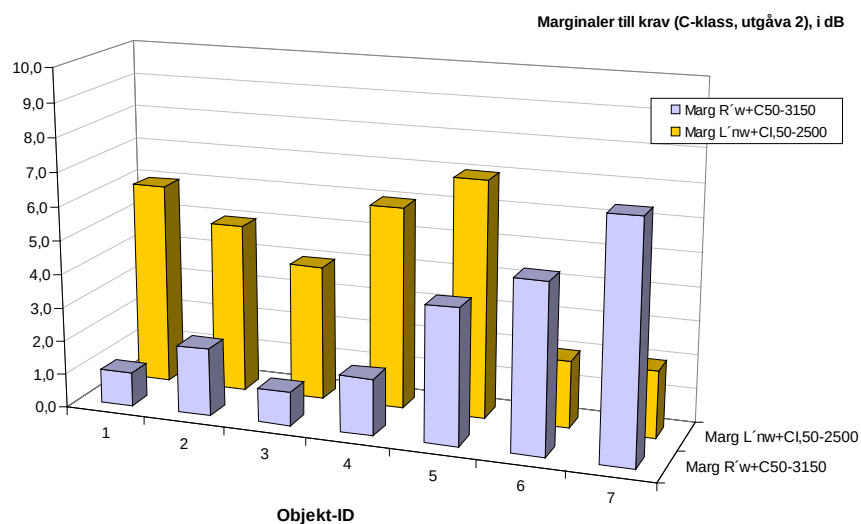
Fältstudie – marginal till krav

Resultaten från genomförda mätningar har utvärderats enligt både utgåva 2 och utgåva 3. I resultaten ingår således effekten av såväl rumsstorlekar och skiljeareor, samt att utgåva 3 av standarden tillåter medelvärde vid utvärdering av mätresultat. Innebörden av dessa effekter beskrivs i bilaga 1.

Figur 2 visar vilka marginaler till krav för luftljudsisolering respektive stegljudsnivå som uppnåtts i bostadsobjekten 1–7, vid utvärdering enligt utgåva 2. I figur 3 visas motsvarande marginaler till krav som uppnåtts vid utvärdering enligt utgåva 3².

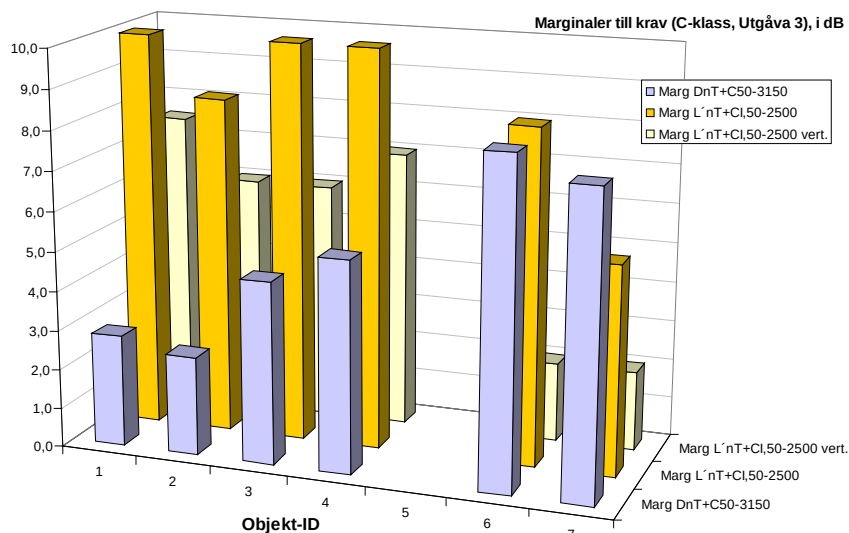
Byggnaderna var i samtliga fall (utom ett) projekterade med målsättning att klara en högre ljudklass, ljudklass B, än vad BBR föreskriver, vilket motsvarar 4 dB högre luftljudsisolering och 4 dB lägre stegljudsnivå, än minimikraven (ljudklass C).

Figur 2. Marginaler mellan uppmätta värden och krav i sju olika byggnader utvärderade enligt utgåva 2 (gamla BBR).



² Värdena för objekt 1 i figurerna 2 och 3 skiljer sig från de resultat som redovisades på konferensen Inter-Noise 2006 (bilaga 3). Kompletterande mätningar har lett till att vissa korrigeringar har införts. Ändringarna påverkar även resultaten i tabellerna.

Figur 3. Marginaler mellan uppmätta värden och krav i sju olika byggnader utvärderade enligt utgåva 3 (nya BBR). De vita staplarna längst bak visar marginalerna för stegljudsnivå, när enbart vertikala mätningar ingår i utvärderingen. Objekt nr 5 kunde inte beräknas mot utgåva 3.



I de byggnader som studerats så är det uppenbart att marginalerna inte varit tillräckliga vid dimensioneringen. Ljudklass C uppfylls men inte ljudklass B så som var avsett.

Vid en jämförelse av resultatet från figur 2 respektive figur 3 så är det uppenbart att marginalerna till krav har ökat påtagligt när utgåva 3 tillämpas istället för utgåva 2, i synnerhet vad avser stegljudsisoleringen. Såsom har diskuterats i tidigare avsnitt, har en oavsedd effekt varit, att horisontella mätningar av stegljud har bidragit till ett lågt medelvärde. När medelvärdesbildning görs separat för horisontell och vertikal mätning erhålls betydligt mindre marginaler till krav, som visas med vita staplar i figur 3 ovan. Begränsningsregeln som säger att avvikelser vid enskilda mätningar inte får överstiga 2 dB är inte tillräckligt effektiv, utan bör kompletteras med det ovan angivna förtydligandet.

Figureerna 2 och 3 indikerar att luftljudsisoleringen är mest kritisk vid val av tunga konstruktioner medan stegljudsisoleringen är den kritiska egenskapen när det gäller lätta konstruktioner. Detta stämmer väl med erfarenheter från andra projekt (som inte ingår i denna studie).

Utifrån data i figurena 2 och 3, så har en beräkning gjorts, av vilka marginaler som borde ha tillämpats vid konstruktion för att precis nå upp till ljudklass C respektive ljudklass B. Dessa marginaler för dimensionering har beräknats som medeldifferenser mellan mätvärden och krav, ökade med 1,28 gånger standardavvikelsen. Detta svarar mot 10 procent risk för underkännande när mätningar genomförs. Dimensioneringsmarginalerna för de olika utgåvorna och ljudklasserna visas i tabell 2². För att knappt klara klass C enligt nya utgåvan skulle man alltså kunna minska

konstruktionernas ljudisolering med i medeltal 2,1 dB för luftljud och 4,3 dB för stegljud. Tar man hänsyn till typen av byggnadsstomme får man delvis andra siffror, men underlaget är för litet för att medge en statistisk bearbetning av dessa grupper. Om hänsyn tas till att horisontella och vertikala stegljudsmätningar utvärderas separat, vilket bör läggas in som ett krav i utgåva 3, är marginalen oförändrad mellan utgåva 2 och 3.

Tabell 2. Förändring av konstruktionernas ljudisolering för att uppfylla ljudklass C i utgåva 2 respektive utgåva 3 med 10 procent risk för underkänt vid mätning. Värdena baseras på medelvärden av fältmätningar i sju byggnadsobjekt med olika byggnadsstommar.

Förändring av konstruktioners ljudisolering (dB) för att uppfylla:	Utgåva 2		Utgåva 3	
	$R'_w + C_{50-3150}$	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	$D_{nTW} + C_{50-3150}$	$L_{nTW} + C_{1,50-2500}$
Ljudklass C, marginaler kan minskas med	0.5	2.0	2.6	6.3 (1,9) ¹
Ljudklass B, marginaler bör ökas med	3.5	2.0	1.4	-2.3 (2,1) ¹

¹ med föreslagen tillägsregel, att medelvärden av vertikala och horisontella mätningar utvärderas separat (mot krav i utgåva 3).

Sammanfattningsvis kan mätningarna tolkas så, att man med utgåva 3 skulle kunna minska konstruktionernas luftljudsisolering ($R'_w + C_{50-3150}$) med 2,1 dB och stegljudsisolering ($L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$) med 4,3 dB, med 10 procent risk för underkännande vid en kontrollmätning mot ljudklass C. Dessa värden ligger mycket nära de lättnader i medeltal som konstaterades i resultatavsnittet. Detta beror på att standardavvikelsen är lika oavsett utgåva. Skillnaden i marginaler mellan utgåvorna bestäms därför endast av medelmarginalerna, som påverkas av regelförändringarna mellan de båda utgåvorna av standarden.

Med ett förtydligande för stegljudsisoleringskravet, att vertikala och horisontella stegljudsmätningar skall utvärderas separat (och jämföras med krav) blir det i stort sett ingen skillnad mellan de olika utgåvorna.

Marginal vid beräkning

I detta avsnitt jämförs beräknad ljudisolering med uppmätt i de studerade byggnadsobjekten.

Tabell 3. Differens mellan beräknad ljudisolering och uppmätt (4 byggnadsobjekt med tung byggnadsstomme).

	$R'_w + C_{50-3150}$ dB	$L'_{nw} + C_{1,50-2500}$ dB
Medeldifferens beräknad – mätt ljudisolering	0,6	-0,6
Standardavvikelse i beräknad – mätt ljudisolering	2,5	2,9
Marginal (10 % risk)	3,9	4,3
Antal jämförelser	20	18
Utan extremvärden:		
Marginal (10 % risk)	3,4	2,7
Antal jämförelser	18	15

I medeltal skiljer sig beräkningar och mätningar inte mycket. Standardavvikelsen är däremot ganska stor, vilket beror på att ett fåtal mätningar skiljer sig mycket medan det stora flertalet ligger väl inom 3 dB. Genom att studera mätkurvorna och aktuella konstruktioner, kan man misstänka att avvikelser i utförandet av byggkonstruktionerna finns, jämfört med vad som har antagits vid beräkningarna. I några fall är det troligt att man har haft luftljudsläckage, i andra fall någon form av flanktransmission. I tabellen ovan har några värden tagits bort, t.ex. där man har haft mycket hög stegljudsisolering (horisontellt genom tung knutpunkt), där beräkningarna är osäkrare än för direkttransmission genom bjälklag, och där isoleringen ändå är långt bättre än vad kravet anger.

Marginalerna krymper då till approximativt 3 dB, vilket ligger i nivå med tidigare jämförelsestudier (se bilaga 2). Det finns därför inte anledning idag att ändra i de rekommendationer som har getts tidigare, se bilaga 2, men några observationer kan läggas som är praktiskt intresse.

Resultaten i denna studie kan sammanfattningsvis uttryckas som tre rekommendationer för praktisk dimensionering:

- 1 dB marginal mot krav bör tillämpas vid dimensionering mot krav enligt SS 25267:2004.
- Vid beräkningen skall ljudisoleringen för alla byggnadsdelar vara noggrant dokumenterade. Se bilaga F i standarden.
- Vid utförandet skall byggdelen sammanfogas på det sätt som förutsatts vid dimensioneringen. Luftläckage och oavsiktliga stomljusbryggor, som inte beaktats vid beräkningen, kan ge större avvikelser. Angiven marginal räcker inte för att ta hänsyn till fel och brister i utförandet utan är endast avsedd att kompensera för oundvikliga smärre variationer i byggdelenas egenskaper och mätosäkerheter.

Tillämpning av BBR

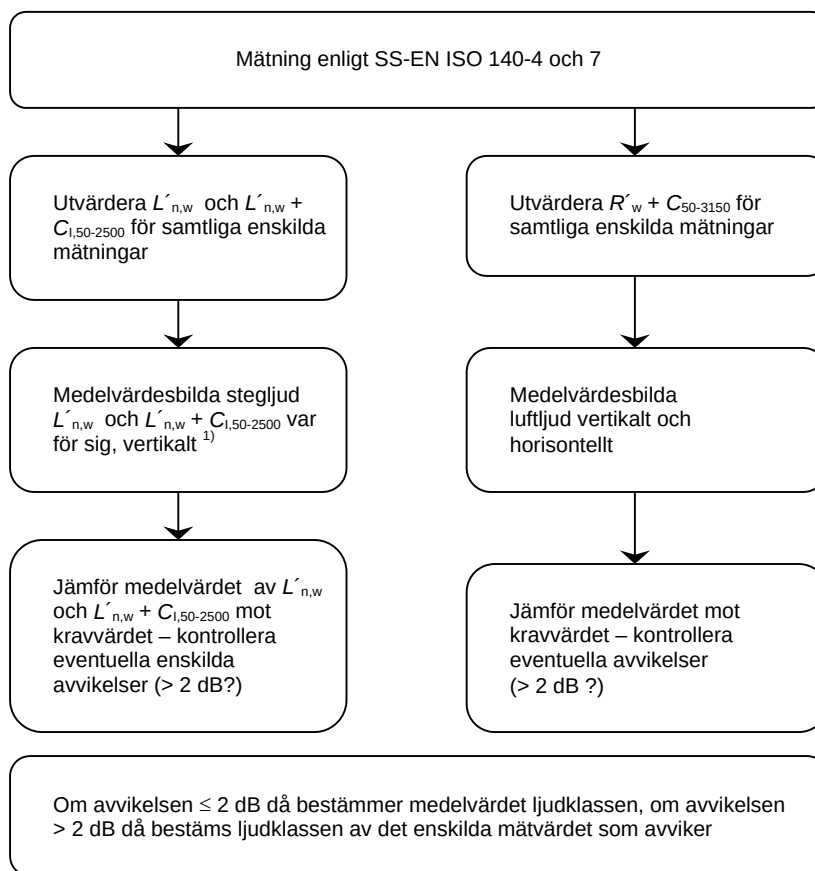
Verifiering med mätningar

Enligt utgåva 2 av standarden så skulle bostadens slutliga ljudisolering (och därmed ljudklass) verifieras med hjälp av kontrollmätningar. Varje enskild mätning inom en bostad skulle uppfylla kravet för aktuell ljudklass. Detta var ett relativt enkelt sätt att se på verifieringen men kunde skapa orimliga situationer vid enskilda undertramp. Enligt utgåva 3 kan verifiering ske med beräkningar och mätningar eller med något av dessa två alternativ. I de fall verifiering sker med mätningar skall medelvärdet av samtliga mätningar inom en bostad uppfylla kravvärdet, samtidigt som vissa villkor för enskilda mätningar är uppfyllda. Principen för verifiering av ljudklass med hjälp av mätningar enligt utgåva 3 beskrivs i flödes-schemat i figur 4.

Hur verifiering och dokumentation kan ske enligt utgåva 3 finns sammanställt i en checklista som kan laddas ner från www.fsbi.se. Denna kan användas av kommunens handläggare för att säkerställa rätt dokumentation och medger en tydlig hantering av ljudfrågorna i varje enskilt bostadsprojekt. Riktlinjerna säkerställer bland annat att viktiga ingångsdata (exempelvis trafikflöden) är fastlagda i ett tidigt skede. I dessa dokumenteras också vilken metod som skall användas för verifiering av slutlig ljudisolering. Tanken är att dessa riktlinjer skall finnas med genom hela projektet.

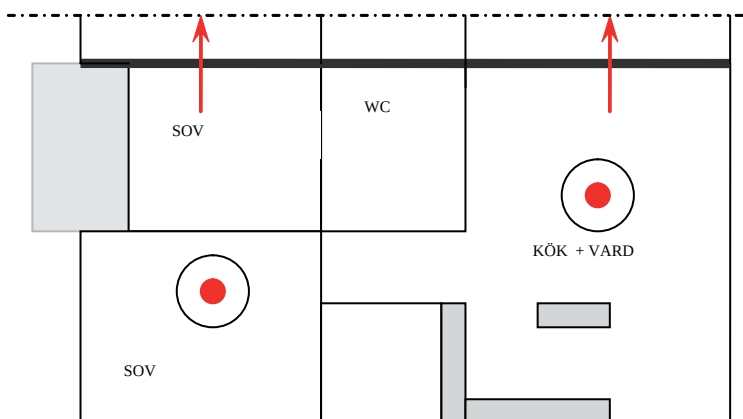
I nedanstående figur 5 redovisas lämpliga mätningar inom en ”typbostad” för att kunna verifiera och klassa bostaden på det sätt som standarden avser. Pilarna avser horisontell mätning medan ringarna med röd prick avser vertikal mätning. Det kan naturligtvis finnas bostäder som inte kan svara mot nedanstående planlösning men för de objekt som ingått i denna studie kan den sägas vara tämligen allmängiltig.

Figur 4. Princip för verifiering av ljudkrav med mätningar enligt nya BBR, det vill säga utgåva 3 av svensk standard SS 25267.



¹ Att det skall vara medelvärde över vertikala mätningar framgår inte av standarden. Det är något vi föreslår för att få en mer korrekt klassning.

Figur 5. Typplan över en bostad med lämpliga val av skiljekonstruktioner vid verifiering av slutlig ljudisolering.



Verifiering med beräkningar

Beräkningar har i detta projekt genomförts för att kontrollera vilken beräkningsosäkerhet man har haft i de aktuella byggobjekten, och hur dessa har förändrats vid övergången från utgåva 2 till utgåva 3. Resultaten av jämförelsen visas i ovanstående avsnitt om marginaler vid dimensionering samt i bilaga 2.

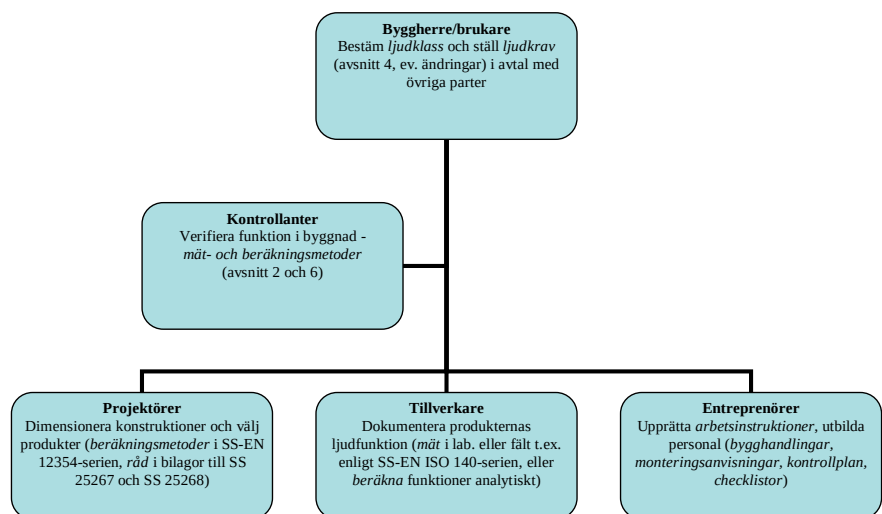
För att kunna verifiera en byggnads slutliga ljudisolering med enbart beräkningar ställer standarden ett antal krav. Verifieringskravet bör även ses i ett större sammanhang.

Sverige har idag ett väl fungerande system för hantering av byggkonstruktionernas ljudisolering under hela byggprocessen:

- Byggherren och byggnadsnämnden kan ställa tydliga och verifierbara krav tack vare ljudklassningsstandarden
- Projektörerna måste ha tillgång till ljuddata för byggprodukter från tillverkarna, och ha god kännedom om dessa produkter och riskmoment under byggfasen
- Tillverkarna skall lämna väl underbyggda projekteringsanvisningar samt prova sina produkter enligt internationella och europeiska standarder, så att projektörerna kan välja ändamålsenliga produkter och beräkna slutlig ljudisolering
- Entreprenörerna måste ha tillgång till relevanta arbetsbeskrivningar, med riskmoment markerade och beskrivna, samt monteringsanvisningar från tillverkarna
- Kontrollanterna har stöd av standardiserade mät- och beräkningsmetoder som förtecknas i ljudklassningsstandarden.

Systemet beskrivs schematiskt i nedanstående figur 6 [1].

Figur 6. Princip för ansvarsfördelning mellan byggprocessens parter, avseende ljudisolering i byggnad, som förutsättning för verifiering med beräkning.



Boendeundersökning

Projektet har kompletterats med en boendeundersökning. Undersökningen har genomförts med enkäter och telefonintervjuer för att studera hur de boende subjektivt upplever ljudisoleringen i byggnaderna. Undersökningen är gjord på liknande sätt som de som tidigare genomförts i Sverige, Bodlund 1985 [2] och Hagberg 2005 [3]. Genom detta förfarande kan de konstruktioner som ingår i denna undersökning adderas till tidigare undersökningar och bidra till ett än mer omfattande bedömningsunderlag för framtida regelverk. En sådan komplettering är dock alltför omfattande för att rymmas i detta arbete och måste därmed ske i ett separat arbete.

De boende ombads att värdera ljudisoleringen med hjälp av en sjugradig skala där betyget 1 är sämst och betyget 7 är bäst. Betyget 4.4 kan anses vara en rimlig nivå för att fastställa samhällets minimikrav [2].

Förutom att de boende har svarat på frågor om ljudisoleringen så har vi även bett att få svar på hur de upplever sin boendemiljö bortsett från ljudfrågorna. Vi har också utfört ett antal telefonintervjuer för att försäkra oss om att de förstått de olika begreppen rätt. Svaren från samtliga boende i varje objekt medelvärdesbildas och det är sedan medelvärdet som jämförs med uppmätt ljudisolering.

Helt otillfredsställande					Helt tillfredsställande	
1	2	3	4	5	6	7

Med hjälp av svaren från boendeundersökningen kan vi direkt jämföra resultaten från de objektivt uppmätta stegljudsnivåerna med de värden som kan förväntas från de subjektiva omdömena. Dessa kan beräknas med hjälp av en enkel formel preciserad i [3]

$$y = -4.1717x + 74.402$$

där

$$y = L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$$

x = subjektiv värdering

Resultaten av jämförelsen visas i figur 7. Ett av objekten är alldeles nyinflyttat och därmed är resultaten från detta objekt behäftat med viss osäkerhet eftersom de boende ännu inte hunnit vänja sig vid sitt nya boende. I ett objekt uttalades, vid telefonintervjuer, en tydlig oro för hyreshöjningar om man lämnade ett alltför gott betyg. Denna oro var så tydligt uttalad att dessa resultat skall användas särskilt försiktigt och markeras därför med en parentes. Även för undersökningen som helhet är naturligtvis denna typ av intervjuer behäftade med osäkerheter. Därför krävs normalt betydligt fler objekt än sju stycken för att få ett tillförlitligt statistiskt underlag.

Resultaten för de olika egenskaperna sammanställs i nedanstående tabell 4.

Tabell 4. Subjektivt betyg för olika egenskaper i respektive objekt.

Egenskap	Objekt 01	Objekt 02	Objekt 03	Objekt 04	Objekt 05	Objekt 06	Objekt 07
Stegljud	(4,6)	5,7	5,1	5,7	5,5	5,2	4,9
Luftljud	(5,8)	6,0	5,9	6,1	5,8	6,6	5,7
Miljön som helhet	(5,4)	6,0	5,2	6,1	6,1	6,2	5,4

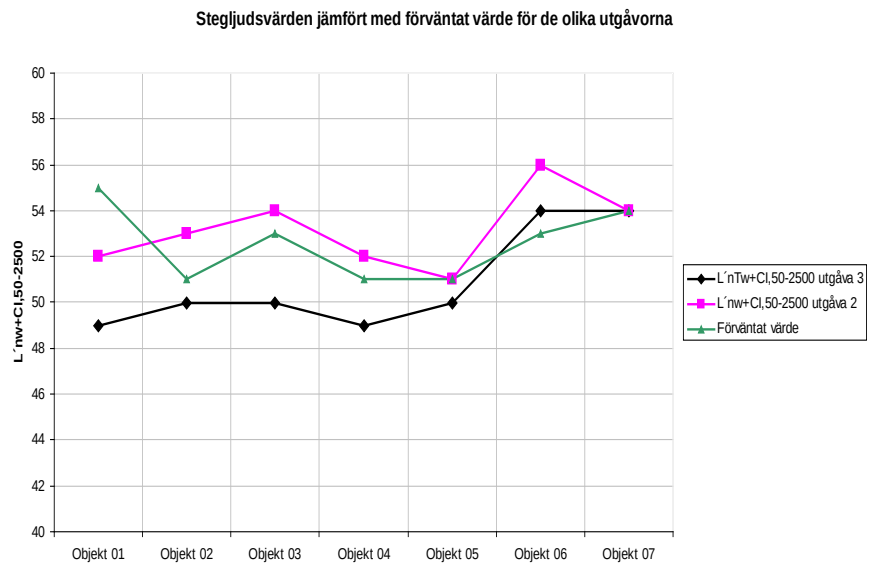
Utifrån betygen kan vi konstatera några intressanta samband som är värda att lyfta fram:

- Stegljudsisoleringen ger generellt något lägre betyg än luftljudsisoleringen oavsett stomkonstruktion, det vill säga stegljudsisoleringen upplevs sämre. Mätvärdena antyder dock motsatsen, det vill säga att luftljudsisoleringen skulle upplevas sämst, förutsatt att klassgränserna motsvarar samma andel störda för respektive egenskap. Detta vet vi idag inte tillräckligt mycket om för att säkert kunna avgöra, men kanske är det då rätt att luftljudskravet har lindrats i utgåva 3.
- Stegljudsisoleringen värderas väl över normal minimistandard för samtliga stomkonstruktioner (betyg 4,4) i de sju objekt som ingår i detta arbete. Dock är andelen betyg lägre än 4 väsentligt fler för de två lätta stomkonstruktionerna än för betongkonstruktionerna, se tabell 5 nedan. Detta beror troligen på att störningen är större när stegljudskällan är starkare (springande barn, tunga fotsteg etc.) jämfört med referensen (standardiserad stegljudskälla). Detta slår igenom hårdare i lätta konstruktioner.
- Motsvarande samband som i punkten ovan indikeras inte för luftljudsisoleringen.

Tabell 5. Andelen svarande i procent som gett betyget 4 eller lägre.

Tung stomme	Tung stomme	Tung stomme	Tung stomme	Tung stomme	Lätt stomme	Lätt stomme
20	18	18	16	(43)	37	39

Figur 7. Förväntat värde på stegljudsisoleringen jämfört med uppmätt värde för de respektive utgåvorna.



Studerar man betygen mer i detalj och de kommentarer som finns inkluderade kan man konstatera att det som stör är ofta stereoljud / hemmabiosystem, prat och skrik (både i angränsande lägenhet och i trapphus), dova dunsar samt spring i våningen ovanför. Om man som hyresgäst har otur att hamna i närheten av dessa "ljudkällor" så avger man vanligtvis mer omfattande och beskrivande svar – vad som stör och hur man upplever det samtidigt som betyget är mycket lägre. Detta styrks av telefonintervjuer, de som avger de högsta betygen (betyg 7) har normalt ingen "bullerkälla" i närheten. De upplever inte att de hör någonting och har sannolikt därmed haft turen att ha tysta grannar.

Om föreskriftens mening är att den skall skydda samtliga boende mot de värsta störkällorna fordras ett minimikrav väsentligt högre än det som gäller idag. Om vi däremot nöjer oss med att majoriteten är tillfredsställda med ljudklimatet så är regelverket relativt väl avvägt idag. Sannolikt finns möjlighet för framsynta hyresvärdar att i hyresavtal reglera hur musik- anläggningar får användas (på samma sätt som tvättstugor).

Rekommendationer för fortsatt arbete

En intressant hypotes att studera vidare kan vara att undersöka huruvida boende i denna typ av bostäder utsätts för mer bullerstörningar än boende i andra typer av bostäder. Är det fler familjer med barn och ungdomar i denna typ av bostäder, som leker/springer på golvet eller spelar musik, än i exempelvis bostäder med andra upplåtelseformer och ålder? Och hur förhåller sig hyresbostäder för mindre familjer till små bostäder för studenter eller äldre? Boende i stora lägenheter med bostadsrätt som upplåtelseform köps ofta av lite äldre människor som kanske har sålt sin villa. De ”genererar” inte samma ljudnivåer som barn- och ungdomsfamiljer, men å andra sidan har denna kategori boende ofta högre krav. Undersökningar bör göras även av dessa typer av bostäder.

Hagbergs arbete [3] skulle kunna kompletteras med resultaten i denna undersökning för att ytterligare säkerställa de empiriska samband mellan upplevd störning och mätbara storheter, och därvid även försöka inkludera luftljudsisolering och andra relevanta parametrar. I detta arbete skulle även ingå att se vidare på de statistiska fördelningarna. Antalet boende som är missnöjda med ljudisoleringen utgör en mindre del av den medelrespons som använts vid regressionsanalyserna, men vid bestämning av ljudklasserna vill man ha en så säker värdering av antalet ”missnöjda” i respektive ljudklass som möjligt.

Vid jämförelser mellan beräkningar och mätningar uppstår ibland oväntat stora avvikelser. Det är angeläget att undersöka vidare vad dessa skillnader egentligen beror på. Är beräkningsmetoden eller indata felaktiga så bör dessa korrigeras. Är det fråga om utförandefel kan man prova att åtgärda bristerna och mäta om, eller så kan man bortse från dessa avvikelser när man bestämmer beräkningsosäkerheten jämfört med resultat från kontrollmätningar.

Referenser

- [1] Simmons, C., Ljudisolering i bostadshus byggda 1880–2000
– Praktiska erfarenheter och indata för beräkningar, FoU-Väst rapport
0405, ISSN 1402-7410 (2004)
- [2] Bodlund, K., Alternative reference curves for evaluation of the impact
sound insulation between dwellings, Journal of Sound and Vibration
102 (3), 381-402 (1985)
- [3] Hagberg, K., Evaluation of sound insulation in the field, Lund
University, Engineering Acoustics, TVBA-3127 (2005)
- [4] Simmons C. Final report of project 04030: Reproducibility of
measurements with ISO 140 and calculations with EN 12354. Rapport
i PDF-format kan hämtas på www.simmons.se, länk Böcker &
Artiklar, eller www.nordicinnovation.net (Nordisk innovationscenter,
Oslo).

Bilaga 1

Marginal vid dimensionering med SS-EN 12354

Sammanfattning

Denna studie bekräftar att de rekommenderade säkerhetsmarginaler vid dimensionering som togs fram i Nordtestprojekt 04030 (se fotnot 1) kan tillämpas framgent.

Praktisk säkerhetsmarginal
vid dimensionering
(mot kontrollmätning i
färdig byggnad)

	R'w	R'w + C50-3150	L'n,w	L'n,w + C1,50-2500
Mot krav i enskilda rum	2	3	2	3
Mot krav på medelvärde av mätningar i flera rum	0	1	0	1

Slutsatsen blir att man skall hålla:

- 1 dB marginal vid dimensionering mot krav enligt SS 25267:2004.
- 3 dB marginal mot krav enligt SS 02 52 67:1998.

Mätosäkerhet

Vid mätning i byggnad med de standardiserade metoder som förtecknas i SS 25267:2004 uppstår alltid en viss osäkerhet i resultatet, beroende på att mätoperatören måste göra ett antal slumpmässiga val. I ett projekt för Nordtest (numera Nordisk innovationscenter) genomfördes en jämförande provning mellan 8 olika mätoperatörer (round robin) i Mölndal¹. Operatörerna mätte luftljudsisolering (reduktionstal) och stegljudsnivå mellan 5 kombinationer av mättrum. Mätförhållandena behölls oförändrade mellan mättillfällena. Mätningarna gjordes enligt de procedurer som beskrivs i svenska och internationella standarder SS-EN ISO 140 delarna 4, 7 and 14, samt vägledande instruktioner i bilaga H till svensk standard SS 25267:2004.

¹ Rapport från projektet (04030) i PDF-format kan hämtas på www.simmons.se, länk Böcker & Artiklar. Final report of project 04030: Reproducibility of measurements with ISO 140 and calculations with EN 12354

Skillnader i resultat från de olika operatörerna analyserades med avseende på såväl totala resultat (reduktionstal, stegljudsnivå) som på de delstorheter som mättes (ljudtrycksnivåskillnad, efterklangstid, skiljearea och mottagarrumsvolym). Standardavvikelser och beräknade risker för underkännande vid kontroll enbart på grund av slumpmässiga variationer i mätresultat som kan hänföras till de aktuella mätmetoderna redovisas i tabell 1.

Tabell 1. Standardavvikelse i uppmätt vägt reduktionstal och vägd stegljudsnivå, med anpassningstermer $R'w$ (C;C50-3150) och $L'n,w$ + CI,50-2500. Nordtestprojekt 04030.

Beräknad mätosäkerhet, i decibel, dB:	Standardavvikelse, alla mätfall (7)	90 % konfidens (1,6*standardavvikelsen), alla mätfall (7)	Standardavvikelse, enkla uttrymmen	90 % konfidens (1,6*standardavvikelse), enkla utrymmen
$R'w$	1,0	1,7	0,7	1,1
$R'w + C$	1,2	1,9	0,8	1,3
$R'w + Ctr$	1,3	2,2	0,9	1,5
$R'w + C50-3150$	1,3	2,1	0,7	1,1
$R'w + Ctr,50-3150$	1,7	2,7	0,8	1,3

Beräknad mätosäkerhet, i decibel, dB:	Standardavvikelse, alla mätfall (4)	90 % konfidens (1,6*standardavvikelsen), alla mätfall (4)
$L'n,w$	0,7	1,1
$L'n,w + CI$	0,7	1,2
$L'n,w + CI,50-2500$	0,8	2,3

Värdena i tabell 1 kan användas för att uppskatta vilken spridning i mätresultat som kan förväntas uppträda i ett enskilt mätresultat (dess signifikans) eller vilken skillnad som kan uppstå om flera operatörer skulle mäta i en och samma lokal, med de angivna mätmetoderna.

Beräkningsosäkerhet

Vid beräkning finns tre källor till osäkerhet i resultatet:

- ingångsvärden för produkter och material, på basis av provning eller beräkning,
- beräkningsmodellens kapacitet att ta hänsyn till aktuella produkter och material,
- osäkerhet i det verkliga utförandet jämfört med betingelserna vid provningarna.

En viss osäkerhet i ingångsvärden för olika material och byggprodukter är oundviklig. Även om produkterna har provats i ett välkänt laboratorium med noggrann kvalitetskontroll, finns en viss kvardröjande osäkerhet. Sänder man ett och samma material- eller produktprov till flera laboratorier får man med största sannolikhet en viss variation mellan resultaten. I SS-EN ISO 140-2 redovisas värden på metodernas reproducerbarhet som baseras på sådana jämförelseprovningar. Vid montering i byggnad kommer den provade produkten med stor sannolikhet att få delvis avvikande

betingelser från dem som gällde vid provningstillfället (i lab.). Det kan handla om fönster som sätts in i en djup nisch eller som har andra dimensioner än det hade i laboratoriet. Tillverkaren eller entreprenören kan behöva göra smärre förändringar i produkternas konstruktion eller montering, som inte kan beaktas med exakthet i samband med dimensionering.

Beräkningsmetoderna i SS-EN 12354 baseras på vissa idealiseringar av ljudfältens struktur, skiljekonstruktionernas form och sammansättning (knutpunkter). Den så kallade knutpunktsdämpningen är särskilt svår att beräkna exakt. I standarden används enkla uttryck för att skatta knutpunktsdämpningen, som har visat sig fungera bra i genomsnitt men som kan slå fel i vissa fall.

För att prova ut osäkerheten i beräkningarna kan jämförelser göras med mätningar i byggnad, där man känner till ingående konstruktioner och byggteknik. Några studier diskuteras nedan.

Marginal vid dimensionering

Nordtestprojektet

Inom samma Nordtest-projekt som nämns i föregående avsnitt genomfördes även jämförelser mellan mätningar och beräkningar när det gäller tunga bjälklag (vertikal ljudisolering) med olika typer av golvbeläggningar.

Tabell 2. Skillnader mellan beräknade och mätta värden i byggnad. Cirka 40 fall. Nordtestprojekt 04030 (se fotnot 1).

Differens beräknad-mätt ljudisolering:	R'w	R'w + C50-3150	L'n,w	L'n,w + C1,50-2500
...mellan medelvärdena	-0,17	0,42	1,87	1,91
...standardavvikelse	2,3	1,6	4,4	2,9
...90 %-konfidensintervall (5 % risk för underkänt)	3,5	3,0	5,1	2,7

Från jämförelserna i tabell 3 och ett antal praktiska antaganden rekommenderades vilka säkerhetsmarginaler som man bör räkna med vid dimensionering. Förutsättningarna för värdena i tabell 3 är att ingångsvärden för aktuella konstruktioner väljs på basis av noggranna provningar eller beräkningar, samt att kvaliteten i monteringen är hög. Vid enstaka tillfällen (<10 % risk) kan ljudisoleringen avvika 1–2 dB från de gällande kraven, om följande marginaler tillämpas i samband med dimensionering.

Tabell 3. Rekommenderade säkerhetsmarginaler vid dimensionering. Nordtestprojekt 04030 (se fotnot 1).

Praktisk säkerhetsmarginal vid dimensionering (mot kontrollmätning i färdig byggnad)	R'w	R'w + C50-3150	L'n,w	L'n,w + C1,50-2500
Mot krav i enskilda rum	2	3	2	3
Mot krav på medelvärde av mätningar i flera rum	0	1	0	1

Slutsatsen av Nordtestprojektet blev alltså att man skall hålla

- 1 dB marginal vid dimensionering mot krav enligt SS 25267:2004 och
- 3 dB marginal mot krav enligt SS 02 52 67:1998

Ny mätserie för jämförelse

I det aktuella projektet för Byggkostnadsforum har vi fått tillgång till resultat av 40 nya mätningar av stegljudsnivå i byggnad från en finsk forskarkollega². Mätvärdena har dokumenterats tillsammans med aktuella konstruktioner i respektive fall. Därigenom har det blivit möjligt att jämföra fältmätningarna med beräknade stegljudsnivåer enligt SS-EN 12354-2.

Mätningarna avser i några fall massiva betongbjälklag, i flertalet fall håldäcksbjälklag med 27 eller 32 cm tjocklek och varierande pågjutningar. Ytterväggarna var i samtliga fall sandwichelement av betong. Innerväggarna varierade mellan 0–2 betongväggar och övriga väggar (1–3) med regler och gipsskivor. Golvbelägningarna var

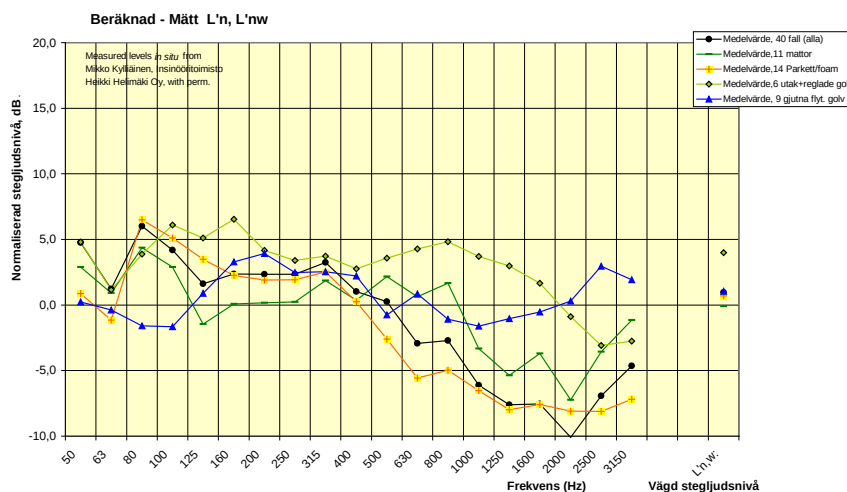
- tunn stegljudsdämpad plast- eller linoleummatta (11 fall),
- tunn parkett på en 2–3 mm tjock skumplastmatta (14 fall),
- uppreglade golv på hårda stolpar eller nedpendlat tak i stålpendlar (6 fall),
- platsgjutna flytande golv med spackel på en elastisk skiva eller duk (9 fall).

Skillnaderna mellan beräknade och uppmätta värden visas i figurerna 1a, 1b och 1c med genomsnittliga avvikelser, standardavvikelser och rekommenderad säkerhetsmarginal. Marginalen i figur 1c har beräknats som — medelavvikelsen + 1.28 x standardavvikelsen

Om man väljer konstruktioner så att det beräknade värdet överstiger aktuellt krav med den angivna marginalen, så bör man med 90 procent sannolikhet kunna förvänta sig att klara kravet vid en kontrollmätning. Väljs marginalen med faktorn 1,6 istället för 1,28 bör man uppfylla kravet med cirka 95 procent sannolikhet.

² Tekn. lic. Mikko Kylliäinen vid konsultföretaget Insinööritoimisto Heikki Helimäki Oy i Tampere, Finland.

Figur 1a.



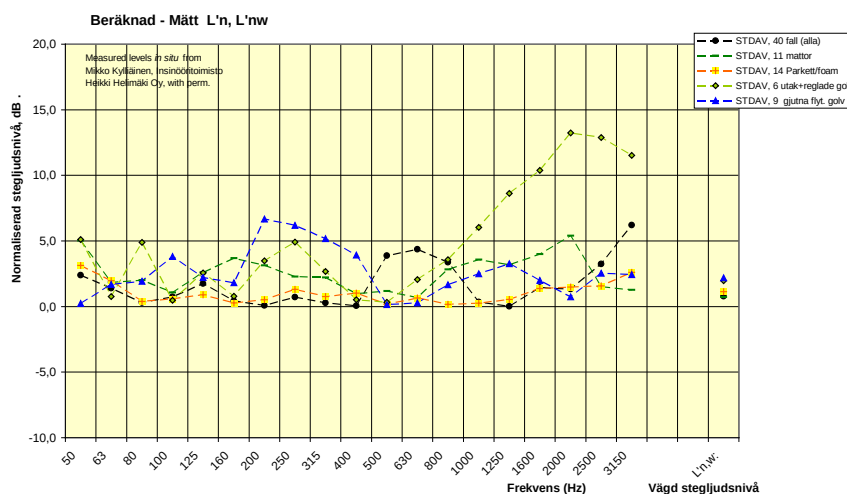
Man kan se i figur 1a, att den beräknade stegljudsnivån är för hög (jämfört med vad som mätts) vid låga frekvenser (<400 Hz), ett fel på säkra sidan. Vid högre frekvenser underskattas stegljudsnivån i beräkningarna.

Det finns tre tänkbara orsaker till dessa avvikelser:

- de elastiska skikt som har lagts mellan golvbeläggningen och bjälklaget i de aktuella byggnaderna har mist en del av sin elasticitet jämfört med de produkter som provats i laboratorium, vars värden har använts vid beräkningarna,
- håldäckens form ger en högre stegljudsnivå än vad som antagits vid beräkningarna eller
- håldäckselementen samverkar inte effektivt vid höga frekvenser.

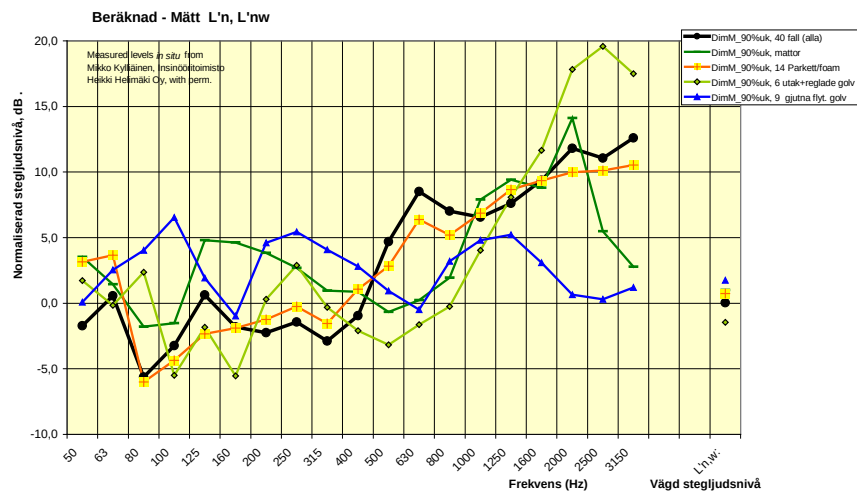
En jämförelse mellan mätningar på massiva betongbjälklag och håldäck visar inte på någon systematisk skillnad. Den mest troliga orsaken är därför att stegljudsskiktet under matta resp. parkett inte är så elastiskt som förväntat. Subjektivt märks denna avvikelse om man går med hårda skor, drar ut stolar, hundtassar som skrapar.

Figur 1b.



Spridningen är relativt lika för matta och parkett, men ökar för de mer komplicerade flytande golven. Dessa är känsliga för stomljudsbryggor. Förklaringen kan därför ligga i att man i vissa fall orsakat en styv kontakt mellan flytande golv och bjälklaget.

Figur 1c.



Figur 1c visar att det räcker att hålla 1 dB marginal vid dimensionering för mattor och parkett på tunna underlag, samt 2 dB för spacklade eller uppreglade golv som läggs flytande. I den finländska studien blir marginalerna alltså lägre än i Nordteststudien. En väsentlig skillnad är därvid, att i Nordteststudien var konstruktionerna inte lika väl dokumenterade som i den finländska.

Emellertid kan olika akustiker eller konstruktörer få något olika resultat, beroende på att de måste välja bland ett antal idealiserade beräkningsförutsättningar som kan antas vara representativa för de aktuella rummen och konstruktionerna. De kan därvid göra något olika val. I Nordteststudien gjordes ett försök att prova denna (operatörsrelaterade) osäkerhet, men antalet deltagare blev för litet för att man skulle kunna dra några säkra slutsatser. I samband med kursverksamhet har vi dock sett, att man som regel träffar ungefär samma val. Den osäkerhet som beror på "operatören" kan bedömas ligga i storleksordningen 1 dB. Denna osäkerhet skall adderas till vad som sagts ovan.

Rekommendationerna i Nordteststudien förefaller därmed att vara tillämpliga framgent.

Bilaga 2

Verkan av nya regler i SS 25267:2004 jämfört med SS 02 52 67:1998

Reglerna i SS 25267

Begränsningsregler för area och volym

I SS 25267 (utgåva 3:2004) anges regler för begränsning av den mottagar-rumsvolym och skiljearea som skall tillämpas vid beräkning av reduktionstal och stegljudsnivå.

I avsnitt 3.1 anges:

”Vid bestämning av R' mellan rum skall förhållandet mellan mottagar-rummets volym V (m^3) och skiljearea S (m^2) begränsas till 3,1 (m).”

I anmärkning 1 till samma stycke anges:

”ANM. 1 När begränsningsregeln för V/S enligt ovan tillämpas i rum där förhållandet $V/S \geq 3,1$ motsvaras reduktionstalet av standardiserad ljudtrycksnivåskillnad enligt SS-EN ISO 140-4, DnT .”

I avsnitt 3.2 anges:

”Vid bestämning av $L'n$ skall rumsvolymer V begränsas till $31,0 \text{ m}^3$.”

I anmärkning 1 till samma stycke anges:

”ANM. 1 När begränsningsregeln för V enligt ovan tillämpas i rum där $V \geq 31 \text{ m}^3$ motsvaras den normaliserade stegljudsnivån av standardiserad stegljudsnivå enligt SS-EN ISO 140-7, LnT .”

Medelvärdesbildningsregler mellan rum inom en bostad

Vid verifiering med mätning tillämpas en medelvärdesbildningsregel enligt avsnitt 5 punkt a):

”Det aritmetiska medelvärdet av resultaten från alla utförda mätningar mot respektive funktionskrav skall visa att vart och ett av dessa funktionskrav innehålls i medeltal inom varje bostad. Dock får enskilda vägda stegljudsnivåer och ljudtrycksnivåer inte överskrida respektive funktionskrav med mer än 2 dB. Enskilda vägda luftljudsisoleringsvärden får inte underskrida respektive funktionskrav med mer än 2 dB.”

Vid verifiering med beräkningar tillämpas regler enligt avsnitt 5 punkt b):

”Verifiering med beräkning skall visa att valda konstruktioner medför att funktionskraven kommer att innehållas i eller mellan samtliga typer av utrymmen som omfattas av krav inom respektive bostad.”

Under punkt 5 b) anges även ett antal förutsättningar för att beräkningar skall ge tillförlitliga resultat. *Vid verifiering med beräkningar godtas inte någon medelvärdesbildning mellan utrymmen inom en bostad.* Ingångsvärden skall väljas med lämpliga säkerhetsmarginaler.

Säkerhetsmarginaler vid dimensionering

Under projekteringen (vid dimensionering av konstruktioner) bör man välja en säkerhetsmarginal mellan beräknade värden och ljudklassens krav, som gör att man med en acceptabel säkerhet kan förväntas klara en verifiering med mätning. Vilken marginal som erfordras beror av vilka produkter och vilken byggteknik man väljer i det aktuella byggprojektet.

I ett nyligen slutfört Nordtestprojekt (04030) rekommenderas följande marginaler på basis av omfattande jämförelser mellan fältmätningar vertikalt och beräkningar i byggnader med tung byggnadsstomme¹. Se även vår rapport 2006-01-20. Marginalerna är valda så att risken för undertramp i en enskild mätning är cirka 10 procent:

Praktisk säkerhetsmarginal

vid dimensionering (mot kontrollmätning i färdig byggnad)

	R'w	R'w + C50-3150	L'n,w	L'n,w + CI,50-2500
Mot krav i enskilda rum	2	3	2	3
Mot krav på medelvärde av mätningar i flera rum	0	1	0	1

Om dimensionering av en tung stomme skall göras enligt den tidigare utgåvan (2) av SS 02 52 67 (1998) bör man alltså välja 3 dB marginal till kravet och då räkna på det dimensionerande utrymmet i en bostad, normalt sett det största rummet (vardagsrummet).

- För ljudklass C (SS 02 52 67:1998) innebär det att man vid beräkning bör klara $R'w + C50-3150 \geq 52+3$ dB och $L'n,w + CI,50-2500 \leq 58-3$ dB i alla utrymmen inom bostaden.

Om dimensionering skall göras enligt den nyare utgåvan (3) av SS 25267 (2004) kan man dimensionera 1 dB över kravet. Det beror på, att 2 dB avvikelse vid mätning i enskilda utrymmen godtas om medelvärdet ändå är uppfyllt. Ljudisoleringen i små rum blir oftast högre än i stora rum, vilket höjer medelvärdet för hela bostaden. Detta resonemang förutsätter att avvikelserna beror på slumpmässiga variationer och att ingångsdata för beräkningarna är valda så att man i medeltal kan förväntas uppfylla kraven. Ljudklassernas gränsvärden har justerats något (+1 dB för luftljud och -2 dB för stegljud) för att i stort sett behålla samma kravnivå på huskonstruktionerna.

- För ljudklass C innebär det att man vid beräkning bör klara $R'w + C50-3150 \geq 53+1$ dB och $L'n,w + CI,50-2500 \leq 56-1$ dB i alla utrymmen inom bostaden.

Skillnaden i "effektiv kravnivå" är alltså en lättnad resp. oförändrat krav (-1 dB för luftljud, 0 för stegljud) mellan de båda utgåvorna, vilket också var avsikten. Begränsningsreglerna för area och volym kommer emellertid också att påverka dimensioneringen, vilket diskuteras nedan.

¹ En översiktlig artikel och en Nordtestrapport i PDF-filformat kan hämtas på www.simmons.se, länk Böcker&Artiklar.

Nordteststudien omfattar inte lätta byggnadsstommar. Praktiska erfarenheter visar att byggsystem med volymelement som separeras med elastiska upplag ger ganska god repeterbarhet och till dess mer systematiska erfarenheter finns tillgängliga kan Nordteststudiens marginaler tillämpas även på dessa byggsystem. I denna studie kommer ett antal hus med lätta konstruktioner att mätas. Platsbyggda lätta konstruktioner har erfarenhetsmässigt större spridning. I SS 25267 bilaga F rekommenderas 2 dB högre marginal med lätta stommar jämfört med tunga stommar:

Vid beräkning av huskonstruktioner, där ljudtransmissionen väsentligen sker i lätta konstruktioner är det svårt att lämna en generell rekommendation. Det är känt att rumsresonanser kan försämra ljudisoleringen vid de lägsta frekvenserna. Stegljudsnivån kan öka något utöver vad som beräknas därför att beräkningsmodellens metod (i SS-EN 12354) för att uppskatta flanktransmissionen i lätta konstruktioner inte har undersökts experimentellt i tillräcklig omfattning. Forskning pågår inom detta område. När mer kunskap kommer fram kan det bli aktuellt att revidera beräkningsmodellen i SS-EN 12354 och rekommendationen om säkerhetsmarginaler. Tills vidare bör man därför tillämpa en något större säkerhetsmarginal mellan beräkningsresultat för lätta konstruktioner och jämförande medelvärden av fältmätningar enligt denna standard, till exempel 4 dB.

- För ljudklass C (SS 02 52 67:1998) innebär det att man vid beräkning bör klara $R'w + C50-3150 \geq 52+5$ dB och $L'n,w + CI_{50-2500} \leq 58-5$ dB i alla utrymmen inom bostaden.
- För ljudklass C (SS 25267:2004) innebär det att man vid beräkning bör klara $R'w + C50-3150 \geq 53+3$ dB och $L'n,w + CI_{50-2500} \leq 56-3$ dB i alla utrymmen inom bostaden.

I det följande avsnittet granskas hur begränsningsreglerna för area och volym inverkar på dimensioneringen.

Verkan av begränsningsreglerna i rum med olika väggarea och volym

I SS-EN 12354 del 1 och 2 anges samband mellan R och D_{nT} respektive mellan L_n och L_{nT} . Sambanden är generella och påverkas inte av vilka konstruktioner som används.

3.1.4 Relation between quantities

The level differences are related to the apparent sound reduction index as follows :

$$D_n = R' + 10 \lg \frac{A_o}{S_s} = R' + 10 \lg \frac{10}{S_s} \quad \text{dB} \quad (5 \text{ a}))$$

$$D_{nT} = R' + 10 \lg \frac{0,16 V}{T_o S_s} = R' + 10 \lg \frac{0,32 V}{S_s} \quad \text{dB} \quad (5 \text{ b}))$$

where

V is the volume of the receiving room, in cubic metres.

3.1.1.1 Relation between quantities

The relation between the quantities L'_{nT} and L'_n is given by :

$$L'_{nT} = L'_n - 10 \lg \frac{0,16 V}{A_o T_o} = L'_n - 10 \lg 0,032 V \quad \text{dB} \quad (3)$$

where

V is the volume of the receiving room, in cubic metres.

Begränsningsreglerna innebär att den sista termen i ekvation 5b alltid är positiv respektive att sista termen i ekvation 3 alltid är negativ. D_{nT} blir därmed alltid större än eller lika med R respektive att L_{nT} alltid är mindre än eller lika med L_n . Korrektionerna blir enligt följande tabell i rum med olika storlekar:

Tabell 1. Korrektionsfaktorer för begränsningsreglerna i SS 25267:2004.

Reduktionstal: V/S eller rumsdjup (m)	Öka R med (dB)	Stegljudsnivå: Rumsvolym (m ³)	Minska Ln med (dB)
3,1	0,0	31	0,0
3,2	0,1	32	0,1
3,3	0,2	33	0,2
3,4	0,4	34	0,4
3,5	0,5	35	0,5
3,6	0,6	36	0,6
3,7	0,7	37	0,7
3,8	0,8	38	0,8
3,9	1,0	39	1,0
4,0	1,1	40	1,1
4,1	1,2	41	1,2
4,2	1,3	42	1,3
4,3	1,4	43	1,4
4,4	1,5	44	1,5
4,5	1,6	45	1,6
4,6	1,7	46	1,7
4,7	1,8	47	1,8
4,8	1,9	48	1,9
4,9	2,0	49	2,0
5,0	2,0	50	2,0
5,1	2,1	51	2,1
5,2	2,2	52	2,2
5,3	2,3	53	2,3
5,4	2,4	54	2,4
5,5	2,5	55	2,5
5,6	2,5	56	2,5
5,7	2,6	57	2,6
5,8	2,7	58	2,7
5,9	2,8	59	2,8
6,0	2,8	60	2,8
7,0	3,5	70	3,5
8,0	4,1	80	4,1
9,0	4,6	90	4,6
10,0	5,1	100	5,1
12,0	5,8	120	5,8
15,0	6,8	150	6,8
20,0	8,1	200	8,1

Termen V/S kan bli stor i de fall lägenheten har stora öppna utrymmen (stort rumsdjup) eller då den synliga lägenhetsskiljande konstruktionen är liten eller delvis avskärmad, exempelvis av ett våtrum. I de tidigare reglerna fick man effekten, att kraven på väggens reduktionstal (R') blev hårdare ju mindre area som var gemensam med andra lägenheter. Den subjektiva ljudisoleringen (D_nT) blir dock i praktiken bättre med minskad area. Begränsningsregeln gör kravet på konstruktionen mer anpassat till situationen. En nackdel är dock att det blir något mer komplicerat att välja byggdel, eftersom man måste räkna fram R för byggdelen från D_nT . Observera att kravet gäller i båda riktningarna. För osymmetriska planlösningar innebär det att man skall dimensionera väggar med hänsyn till det minsta rummets volym.

Inverkan av olika lägenhetsstorlekar

Boverket har bidragit med statistiska uppgifter om nybyggda flerbostadshus 2001–2005. Fördelningen av totalt 328 bostadsobjekt under perioden visas på raderna 1–3 i tabell 2a. Tyvärr fanns i detta underlag inte några uppgifter om rumsdimensioner. Sedan 1994 finns inte några bindande krav på rumsstorlekar, utan de krav som ställs i BBR avser de funktioner som skall inrymmas i en bostad. Rapporterade uppgifter avser byggd medelarea inom respektive objekt. Det kan naturligtvis förekomma olika areor för en viss lägenhetstyp inom ett specifikt objekt, men man kan anta att denna variation är mycket mindre än mellan olika objekt eftersom man normalt eftersträvar symmetrier och upprepningseffekter för att få lägre byggkostnad. Angivna standardavvikelser i tabell 2a kan därför antas vara något i underkant men ändå vara hyggligt representativa för spridningen i byggd area per lägenhetstyp mellan alla objekt som byggts under perioden.

Tabell 2a. Lägenhetsareor i nyproduktion 2001–2005, enligt Boverket (NYB05).

Lägenhetstyp	1 rum	2 rum	3 rum	4 rum	> 4 rum
Antal objekt där byggd medelarea angivits	110	288	262	159	8
Medelvärde av lägenhetsareor (m ²)	41,6	57,8	75,6	92,4	113,7
Standardavvikelse (m ²) mellan objekten	7,0	8,3	10,8	15,6	12,7

Från SCB har statistiska uppgifter hämtats avseende ombyggnadsobjekt, enl. tabellerna 2 b, c:

Tabell 2b. Antal rumsenheter, bostadsarea i ombyggda flerbostadshus, enligt SCB (Hela riket).

Statistik	Byggår (avslutade lägenheter)	2001	2002	2003	2004
Antal lägenheter		7 527	12 714	11 843	13 705
Antal rumsenheter*		23 053	33 777	35 760	40 822
Area (m ²) totalt		496 531	736 972	760 698	860 163

Tabell 2c. Beräknade mått från SCB:s statistik.

Beräknade mått:

Area per lägenhet	66,0	58,0	64,2	62,8
Area per rumsenhet*	21,5	21,8	21,3	21,1
Antal rumsenheter/lägenhet	3,1	2,7	3,0	3,0
Area per bostadsrum (inkl. kök, exkl. hall, bad) **	14,5	13,9	14,2	14,0

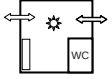
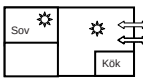
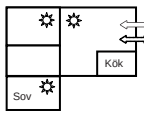
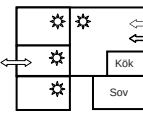
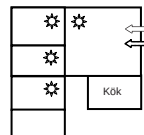
*) I SCB:s statistik räknas 1 rum eller 1 kök som en rumsenhet. Kokvrå hallar badrum m.m. räknas ej som rumsenhet.

**) Om man räknar med att lägenheter innehåller 1 kök, och hallar och badrum motsvara 1,5 rum fås en ungefärlig uppskattning av genomsnittliga bostadsrumsstorlekar enligt tabellens sista rad.

Tabell 2 c tyder på att det är 2 rum och kök, cirka 63 m², som är den vanligaste lägenhetsformen för ombyggnad under perioden 2001–2005. Om man antar att köksutrymmet är medelstort (14 m²), bad+hall är 21 m², kan man anta att övriga rum upptar cirka 10 m² (sovrums) och 18 m² (vardagsrum). Om köksutrymmet ingår i vardagsrummet bör arean antas till 32 m².

I tabell 3 visas en schablonmässig fördelning av bjälklags- och väggarea per rum, för respektive lägenhetstyp (antal rum) i nyproduktion. Dessa schabloner baseras på tabellerna 2, våra erfarenheter av ett antal nyare bostadsobjekt och våra rimlighetsbedömningar av de rumsstorlekar som erfordras för att uppfylla tillgänglighets- och funktionskrav enligt SS 914221:1994. Med biarea menas i tabell 3 hall, bad, förråd och andra utrymmen. Biarean antas öka något med ökande antalet rum, exempelvis har man normalt gäst-WC i större lägenheter. Med vardagsrum och sovrums menas utrymmen för sömn, vila och daglig samvaro. I vardagsrum ingår utrymme för matlagning (köksdel), som ur ljudisolerings synpunkt antas dimensioneras mot samma krav som för övriga rum.

Tabell 3. Antagna typfall enligt tabell 2, för ljudisoleringsberäkningar.

Lägenhetstyp	1 rum	2 rum	3 rum	4 rum	> 4 rum
Bjälklag, schablonarea (m ²):	rum/kök 30	vrums/kök 25	vrums/kök 25	vrums/kök 25	vrums/kök 35
vrums – vardagsrum	-	srum 12	srum 14	srum 14	srum 14
srum1 – sovrums1	-	-	srum 10	srum 10	srum 10
srum2 – sovrums2	bia 12	bia 21	bia 27	srum 8	srum 10
bia – biutrymmen				bia 35	srum 8 bia 37
Lägenhetsskiljande vägg, schablonarea max: (50 % av lgh)	rum 19	vrums 15	vrums 15	vrums 15	vrums 20
		-	-	srum 8	srum 8
			-	-	-
Lägenhetsskiljande vägg, schablonarea min: (50 % av lgh)	rum 10	vrums 8	vrums 8	vrums 8	vrums 8
		-	-	-	-
Typ-planlösning, mätiktningar					
vertikalt					
horisontellt					

Ytterligare en faktor måste beaktas i detta sammanhang, nämligen randförlusterna i stommen. Små rum har ofta 1–3 dB högre ljudisolerings än stora rum. Det har flera orsaker. I stora rum är parkettgolv vanliga medan man i mindre rum ofta lägger en stegljudsdämpad golvmatta som ger bättre luftljudsisolering. Stomljudsabsorption längs bjälklagets kanter har proportionellt större verkan (rel. rummets area) än i stora rum. Små rum har ofta flera lätta väggar, där stomljudsabsorptionsfaktorn för bjälklagen eller skiljeväggarna är större. I stora rum blir spännvidderna för bjälklagen större, och väggarna är ofta bärande vilket ger avsevärt lägre stom-

ljudsabsorption (kantförluster)². I tabell 4 används en schablon, där luft- och stegljudsisoleringen i genomsnitt antas vara 1,5 dB bättre i sovrum än i vardagsrum.

Sammantaget ger de nya reglerna i SS 25267:2004 följande lättnader jämfört med SS 02 52 67:1998 (där det stora rummet blir dimensionerande för hela bostaden):

- begränsningsregler för volym och skiljearea minskar kraven på stora rum och rum med små lägenhetsskiljande väggar
- medelvärdesbildning gör att högre ljudisolering i de små rummen tillgodoräknas
- medelvärdesbildning utjämnar slumpmässiga variationer i konstruktioner och mätresultat och minskar därigenom behovet av säkerhetsmarginaler vid dimensionering.

I tabell 4 redovisas en typberäkning av begränsnings- och medelvärdesbildningsreglerna i SS 25267:2004 jämfört med SS 02 52 67:1998 (där det stora rummet blir dimensionerande för hela bostaden). Korrekationer för dessa regler tillämpas enligt tabell 1, med rumshöjd 2,5 m. Lägenheterna antas vara symmetriska och spegelvända, med den längre sidan vänd mot angränsande lägenhet. I 50 procent av lägenheterna antas den längre sidan vara vänd mot angränsande lägenhet. I 50 procent av lägenheterna antas rummen vara vända med den kortare sidan (3,2 m) mot varandra, eller rummen vara vinklade så att en mindre del vetter mot grannlägenheten. Man kan då beräkna förändringar för ett antal typfall enl. tabell 3.

² Ett undantag från denna schablon kan vara i platsbyggda hus med lätta lägenhetsskiljande bjälklag som ligger stumt upplagda på lätta bärande väggreglar, där ljudstrålning från väggarna kan ge en omvänd verkan, det vill säga sämre ljudisolering i små rum än i stora rum.

Tabell 4. Inverkan av begränsningsregler, smårumskorrektion och medelvärdesbildning för typ-lägenheter enl. tabell 3. Referensfall: krav på det största rummet enligt SS 02 52 67:1998.

Lgh-typ (antal)	Rum	Korrekt.	Bjälklag		Vägg (max)		Vägg (min)		Vägg (med)		Medelvärde	
			R	L	R	L	R	L	R	L	R	L ³
1 rum	rum	tab 1	0	-3,8	+1,0	-3,8	+3,8	-3,8	+2,4	-3,8		
		smårum	0	0	0	0	0	0	0	0		
(110)	Lgh	medelvärde av alla "delmätningar" vertikalt och horisontellt:									+1,2	-3,8
2 rum	vrum25	tab 1	0	-3,0	+1,3	-3,0	+4,0	-3,0	+2,6	-3,0		
		smårum	0	0	0	0	0	0	0	0		
	srum12	tab 1	0	0								
		smårum	+1,5	-1,5								
(288)	Lgh	medelvärde av alla "delmätningar vertikalt och horisontellt:									+1,4	-2,3
3 rum	vrum25	tab 1	0	-3,0	+1,3	-3,0	+4,0	-3,0	+2,6	-3,0		
		smårum	0	0	0	0	0	0	0	0		
	srum14	tab 1	0	-0,5								
		smårum	+1,5	-1,5								
	srum10	tab 1	0	0								
		smårum	+1,5	-1,5								
(262)	Lgh	medelvärde av alla "delmätningar vertikalt och horisontellt:									+1,4	-2,4
4 rum	vrum25	tab 1	0	-3,0	+1,3	-3,0	+4,0	-3,0	+2,6	-3,0		
		smårum	0	0	0	0	0	0	0	0		
	srum14	tab 1	0	-0,5								
		smårum	+1,5	-1,5								
	srum10	tab 1	0	0								
		smårum	+1,5	-1,5								
	srum8	tab 1	0	0	0	0	+0,1	-0,1	+0,1	-0,1		
		smårum	+1,5	-1,5	+1,5	-1,5	+1,5	-1,5	+1,5	-1,5		
(159)	Lgh	medelvärde av alla "delmätningar vertikalt och horisontellt:									+1,4	-2,2
>4 rum	vrum35	tab 1	0	-4,5	+1,5	-4,5	+5,5	-4,5	+3,5	-4,5		
		smårum	0	0	0	0	0	0	0	0		
	srum14	tab 1	0	-0,5								
		smårum	+1,5	-1,5								
	srum10	tab 1	0	0								
		smårum	+1,5	-1,5								
	srum10	tab 1	0	0								
		smårum	+1,5	-1,5								
	srum8	tab 1	0	0	0	0	+0,1	-0,1	+0,1	-0,1		
		smårum	+1,5	-1,5	+1,5	-1,5	+1,5	-1,5	+1,5	-1,5		
(8)	Lgh	medelvärde av alla "delmätningar vertikalt och horisontellt:									+1,6	-2,6
Viktade medelvärden på korrektionsfaktorerna, viktfaktor antalet lägenheter ⁴ :											+1,3	-2,4

Slutsatsen av beräkningsexemplen i tabell 4 blir att kraven på konstruktionernas luftljudsisolering (R) i genomsnitt lättas med 1,3 dB respektive deras stegljudsisolering (L) med 2,4 dB.

³ Observera att negativa korrekationer på L innebär att kraven på konstruktionen minskar.

⁴ En viktad beräkning med total byggnadsarea per lägenhetstyp ger oförändrad R-korrektion, -2,5 dB på L-korrektionen.

Den förändring av kraven som infördes i SS 25267:2004 var +1 dB på R och -2 dB på L. Som visats i det första avsnittet innebär dock reglerna om medelvärdesbildning och tillåten avvikelse i enskilda fall att marginalerna vid dimensionering kunde minskas med 1 dB för luftljud (ingen skillnad för stegljud).

Sammantaget, med hänsyn till de dimensioneringsmarginaler som togs fram i föregående avsnitt, blir slutsatsen den att kraven på konstruktionerna i praktiken har lättats:

- med 2,3 dB (+1,3+1,0) för reduktionstalet R och
- med 2,4 dB för stegljudsnivån L (-2,4+0).

I praktiken har man, enligt kommentarer från projektledare och andra akustiker, sällan tillämpat fullt 3 dB marginal vid dimensionering mot SS 02 52 67 utgåva 2 såsom antagits ovan, utan man har ofta satt ljudklass B som ”projekteringsmål” och godtagit smärre avvikelser från målet vid slutbesiktning. Förändringen som visas ovan kan därför i praktisk tillämpning vara i storleksordningen 1 dB.

Räkneexemplen i tabell 4 tyder åtminstone på att de nya reglerna inte har inneburit någon skärpning av kravet på konstruktionernas ljudisolerande förmåga utan snarare än viss lättnad.

Bestämning av reduktionstal och stegljudsnivå

Vid bestämning av R' och L'_n används följande samband:

The index R' it is normally determined from measurements according to :

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S_s}{A} \quad \text{dB} \quad (2)$$

where

L_1 is the average sound pressure level in the source room, in decibels ;

L_2 is the average sound pressure level in the receiving room, in decibels ;

A is the equivalent sound absorption area in the receiving room, in square metres ;

S_s is the area of the separating element, in square metres.

3.1.2 Standardized level difference D_{nT}

The difference in the space and time average sound pressure levels produced in two rooms by one or more sound sources in one of them, corresponding to a reference value of the reverberation time in the receiving room.

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{T}{T_0} \quad \text{dB} \quad (3)$$

where

T is the reverberation time in the receiving room, in seconds ;

T_0 is the reference reverberation time ; for dwellings given as 0,5 s.

3.1.1 Normalized impact sound pressure level L'_n : The impact sound pressure level corresponding to the reference equivalent absorption area in the receiving room.

$$L'_n = L_i + 10 \lg \frac{A}{A_0} \quad \text{dB} \quad (1)$$

where

L_i is the impact sound pressure level measured in the receiving room, in decibels ;

A is the measured equivalent absorption area of the receiving room, in square metres ;

A_0 is the reference equivalent absorption area ; for dwellings $A_0 = 10 \text{ m}^2$.

This quantity is to be determined in accordance with EN ISO 140-7.

Bilaga 3

INTER-NOISE 2006

3-6 DECEMBER 2006
HONOLULU, HAWAII, USA

Consequences of new building regulations for modern apartment buildings in Sweden

Klas G. Hagberg^a
WSP Acoustics / Multiconsult
Rullagergatan 5
SE-41526 Gothenburg
Sweden

Christian Simmons^b
simmons akustik och utveckling ab
Krokslatts Fabriker 1
SE-43137 Molndal
Sweden

ABSTRACT

New evaluation rules have been introduced to the Swedish sound classification standard for dwellings. The sound reduction index R' is now calculated with the ratio, V/S (receiving room volume divided by the partition size) always being equal to or less than 3,1 m. This implies that R' always becomes greater than or equal to the standardized sound pressure level difference, D'_{nT} . For impact sound, the receiving room volume is restricted to 31 m³, which implies that the most favorable value of L'_{nw} and L'_{nTw} is applied. These rules may have significant effect when the receiving room volume is large. Furthermore, measurement results within the same dwelling shall now comply with the required value on the average, and the most unfavorable deviation from this requirement must not exceed 2 dB. Previously, every single room had to comply with the requirement. The effect of these rules has been studied, on basis of statistical material for apartment houses as well as measurements in seven new buildings. The results show that the new rules make it considerably easier to comply with the requirements, the difference is in the order of 2 dB for airborne sound insulation and 2-4 dB for impact sound.

1 INTRODUCTION

In this study, the effects of several new acoustic requirements on sound insulation have been studied, as applied to multi storey apartment houses in Sweden. There have been several reasons to make some changes. For instance, with the previous requirement on footfall noise, expressed as the highest normalized impact sound pressure level ($L'_{n,w}$), constructions face on to large rooms had to be upgraded, as compared to small and medium sized rooms, in spite of the fact that the actual impact sound was the same. This is due to the normalization to 10 m² sound absorption area. Now, the requirement is made equivalent to the standardized impact sound pressure level ($L'_{nT,w}$), i.e. the impact sound level is normalized to a more realistic sound absorption area of the actual room, taking the size of the room into account. A similar effect of the previous requirements caused a need to upgrade the airborne sound reduction index (R'_w) of small separating walls face on to large receiving room volumes. Now, the requirements state a requirement equivalent to the standardized sound pressure level ($D'_{nT,w}$), which takes the size of the room into account. These changes are intended to make the requirements correspond to the experienced sound insulation. The intended effect of the changes is also to facilitate to planners and contractors to actually fulfil the requirements with normal building techniques, which is not always the case with regard to the previous regulations. Verification with measurements *in situ* is still based on existing European and international standards EN ISO 140 [1]. Single numbers are calculated according to EN ISO 717 [2].

To make the changes less confusing to the building industry and other interested parties, the requirements still state the maximum $L'_{n,w}$ and minimum R'_w , with spectrum adaption terms (C_{50}).

^a Email address: klas.hagberg@wspgroup.se

^b Email address: christian.simmons@euromail.se

3150, $C_{1,50-2500}$), but they also state new “limitation rules”. For R'_w , the ratio of the receiving room volume V to the area of the separating partition S is limited to 3,1. For $L'_{n,w}$, the volume V is limited to 31 m³. Following the expressions in ISO 140, the requirement will then always be the most favourable of (R'_w ; $D'_{nT,w}$) and ($L'_{n,w}$; $L'_{nT,w}$) respectively. In rooms greater than a medium sized bedroom, the limitation rules apply in most cases. Retaining the old figures will hopefully facilitate the acceptance of new rules, not least since an adjustment to unknown quantities in the building industry commercial material is not required.

The acoustic regulations are stated in the Swedish sound classification standard SS 25267. The changed requirements are described in the third edition of SS 25267 issued 2004 [3], hereafter referred to as “edition 3”. The previous requirements were stated in edition 2, issued 1998, hereafter referred to as “edition 2” [4].

Another important change of the requirement was made to the verification principles. Now, verification may be also made during construction, using calculations according to the standards EN 12354 (ISO 15712). As prerequisites, appropriate quality control and safety margins with respect to known uncertainties must be applied.

The main differences between edition 3 and edition 2 are:

- When airborne and impact sound insulation are evaluated, the ratio V/S is limited to 3,1 m and the receiving room volume, V , is limited to 31 m³ respectively. This implies that R' always becomes greater than or equal to the standardized sound pressure level difference, D'_{nT} , and that the most favorable value of L'_{nw} and L'_{nTw} is always applied.
- When the final results are verified with measurements, the requirement level will be compared to the average value taken within the dwelling being examined. However, the unfavorable deviation from any single measurement may not exceed 2,0 dB. In the former regulation every single measurement has to be fulfilled.
- The acoustic performance may be verified by calculations, which will support a more industrialized building technique, force the manufacturers to document their products appropriately and stress the importance of the early design work. The calculations will be made according to EN 12354 [5]. Averaging and unfavorable deviations are not accepted.
- The requirement levels have been changed to balance the changes to the evaluation rules
 - to 56 dB for impact sound and 53 dB for airborne sound in edition 3, from 58 dB and 52 dB in the edition 2
- During construction, margins to the requirements must be chosen with respect to known uncertainties. Margins will differ depending on the type of building structure.

In the work, some generalized statistical building data have been analyzed with respect to the effect of the changes, as well as data for seven “real world” new housing units. This work is commissioned by the committee “Forum for building costs” within the Swedish building authority *Boverket* (National board of Housing Building and Planning).

2 INITIAL STUDY – STATISTICS OF APARTMENT HOUSES

2.1 Effect of limitation rules, based on public statistics of new apartments

Statistical figures of new apartment houses built during 5 years have been collected by two Swedish authorities, *Boverket* and *SCB* (Bureau of statistics). The data comprised the number of apartments built, the number of rooms, and their overall size. Unfortunately, there are no data on sizes of rooms, nor walls or slabs. To enable calculation of the effect of the limitation rules, some schematic figures of room and wall sizes were estimated. The effect of higher structural losses at the borders of small rooms was included by an empirical correction of 1.5 dB, as compared to

the largest room. The sound insulation of the building was chosen with respect to the requirement of edition 2, where a margin of 3 dB was recommended with respect to the largest room and the measurement direction. When the same type of apartment was designed according to the new requirement of edition 3, a safety margin of 1 dB was applied to all rooms. The effect of the different safety margins and requirements indicated the effect of the new requirements relieved the requirement on the building constructions by

- 2,3 dB on the airborne sound insulation
- 2,4 dB on the impact sound insulation

2.2 Safety margin, comparison between measured and calculated sound insulation *in situ*

Earlier studies [7] of the uncertainty of calculated values as compared to measured (*in situ*), indicate that 3 dB is an appropriate margin to observe during design (calculations) of houses with concrete structures with respect to requirements on individual apartments and rooms (as in edition 2), but 1 dB would be sufficient for edition 3. For light weight structures greater margins should be applied. In this study, impact sound measurement data of 40 Finnish apartment houses with heavy slabs and exterior walls have been analyzed. The uncertainty of calculations compared to measurements, defined as a 10% risk of non-conformance to the requirement, agree with the recommended safety margin 3 dB. However, the deviations at high frequency are greater than expected, see figure 1. Hardening of soft flooring underlayers may be a reason.

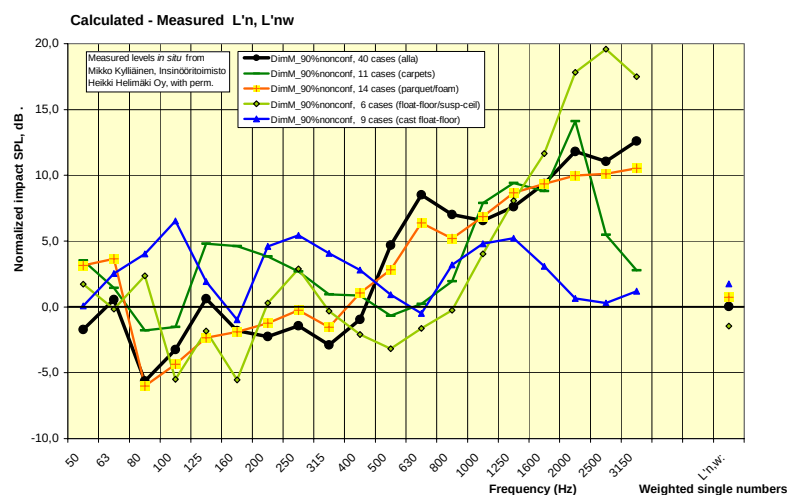


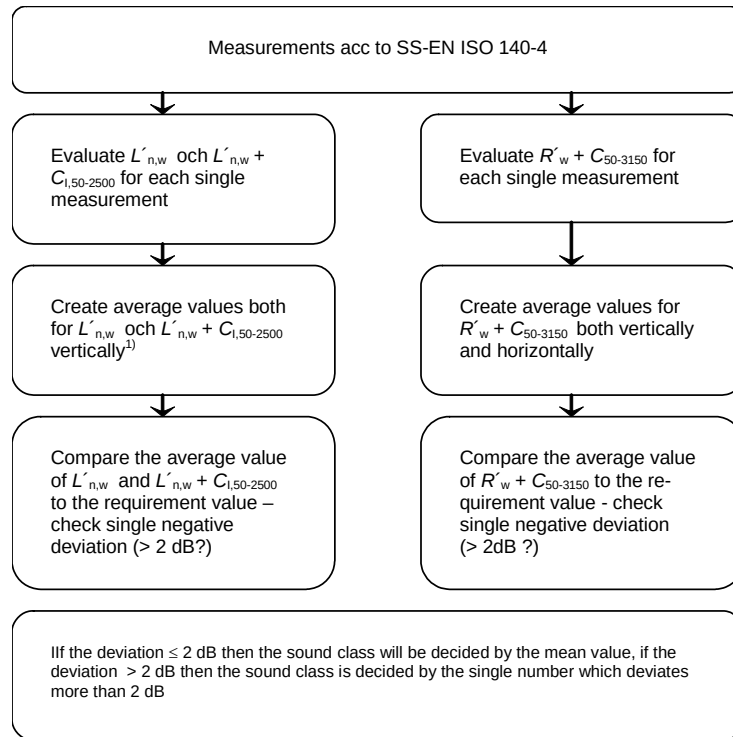
Figure 1: Difference between calculated and measured impact sound pressure levels, plotted as a margin. The margin is calculated as the average deviation increased by 1,28 times the standard deviation in each frequency band 50-3150 Hz and as weighted single numbers

3 FIELD STUDY OF NEW APARTMENT HOUSES

In this part of the study, measurements were made in seven new apartment houses according to ISO 140 [1]. Comparative calculations were made as well, according to EN 12354 [5] for the five houses with concrete structures. Two buildings with light weight structures were omitted from this comparison since the standard EN 12354 [5] is not applicable to buildings with light weight structures.

3.1 Evaluation of measurement results

The measurements were evaluated according to the rules corresponding to each of the two editions of the standards. This means that for edition 2 each single measurement is evaluated separately and then compared to the requirement and for edition 3 the evaluation follows the principles shown in the scheme in figure 2. The single numbers in the scheme include the effect of limitation rules and averaging within an apartment according to edition 3, as described in the introduction.



¹⁾ The fact that it should be mean value only using vertical measurements is not described in the new standard. This is suggested to reach a more correct classification with regard to impact sound

Figure 2: Principle for verification of the acoustic performance according to edition 3 of the new Swedish standard, SS 25267 [3]

3.2 Margins of measured sound insulations to the requirements

The measured sound insulations of the buildings have been compared to the relevant requirement of each edition of the standard, and this difference is hereafter denoted “margin” for short. Figure 3 show the margins of airborne and impact sound insulation for each building 1-7, evaluated according to edition 2. Figure 4 shows the corresponding values according to edition 3.

The building cases being analyzed were all designed to meet a higher sound class (B) than required (C), according to the edition 2, i.e. with 4 dB higher airborne sound insulation and 4 dB lower impact sound levels. Thus, the margin should be in the order of 7 dB with edition 2 and 5 dB with edition 3, to ensure compliance with the requirements.

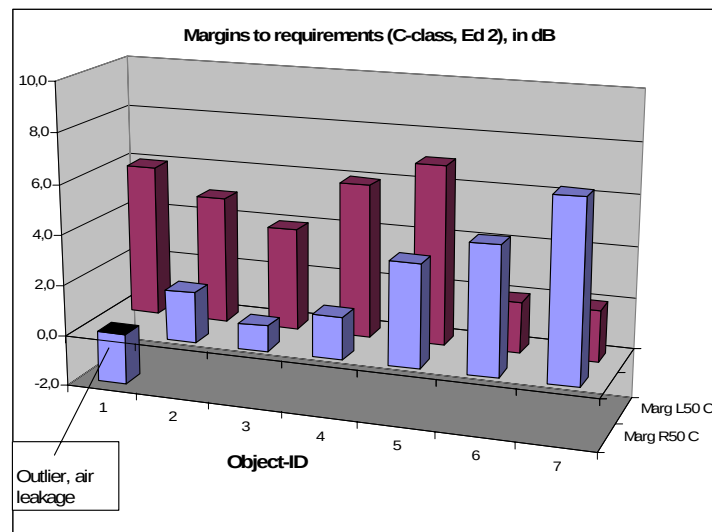


Figure 3: Margins between measurements and requirements in seven buildings evaluated according to edition 2

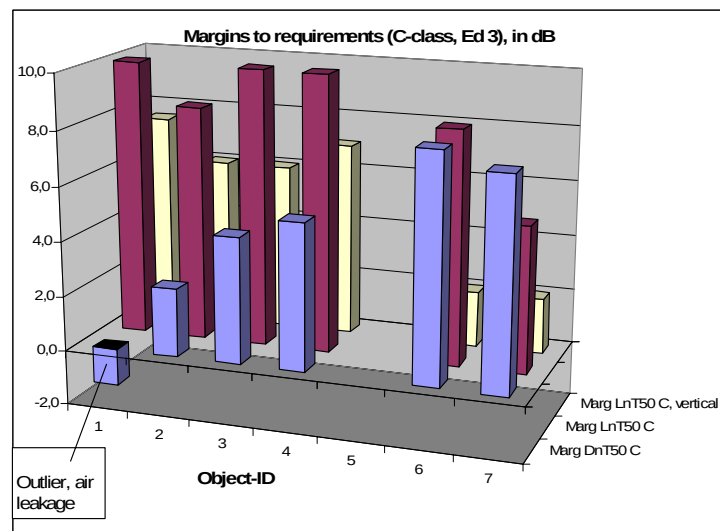


Figure 4: Margins between measurements and requirements in seven buildings evaluated according to edition 3. The white bars (back) show margins of impact sound insulation, when only vertical measurements are taken into account

In the buildings studied, it is clear from the figure 3, that appropriate margins have not been observed during design to ensure conformance with the requirements of the higher sound class B. Even for sound class C, which are minimum values according to the building codes, the margin is just about enough in some cases. In one case (#1), air leakage reduced the sound insulation considerably and the requirement was not fulfilled, but this case was omitted when the average margin was calculated (cf. table 1).

Comparing the results of figures 3 and 4, it is clear that the margins have increased considerably when edition 3 is applied, as compared to the previous edition 2. One effect not

intended, is that horizontal impact sound insulation in buildings with certain structural joints is considerably lower than the vertical, which reduce the average value of the apartment.

The figures 3 and 4 both indicates, that airborne sound insulation is critical for the choice of heavy constructions, whereas impact sound is the critical quantity for houses with light weight structures. With the new edition 3, the differences are reduced.

From the data of the figures 3 and 4, recommended margins for design have been computed as the average margin increased by 1,28 times the standard deviation of the 7 cases. This margin corresponds to a 10% risk of failure, i.e. not fulfilling the requirement when a measurement is carried out. Values for sound class C and class B, for each edition, are presented in table 1.

Table 1: Recommended changes of design margin, in dB, to reach sound class C and sound class B respectively depending on edition of the standard SS 25267. Based on measured data of 7 modern Swedish buildings.

Recommended margins	Edition 2		Edition 3	
	$R'_w + C_{50-3150}$	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	$D_{nTw} + C_{50-3150}$	$L_{nTw} + C_{1,50-2500}$
Design for sound class C, margins could decrease with	0.7	2.0	3.0	6.3 (1,9) ¹
Design for sound class B, margins should increase with	3.3	2.0	1.0	-2.3 (2,1) ¹

¹ If the requirement is applied separately to vertical measurements and horizontal measurements (proposal)

In edition 3, the direction of measurement is not specified. For impact sound, horizontal measurements typically include rooms with heavy slabs and walls, connected by rigid junctions. Thus, the horizontal impact sound is often much lower than the vertical, which reduces the average and increases the margin to the minimum requirement (compared to edition 2). The limiting rule is however effective, where the unfavorable deviation must not exceed 2 dB. It would be more attractive [6], to change edition 3 such that the mean value must be evaluated separately for vertical and horizontal directions. Then the margin decreases, which is shown in the right hand column of table 1.

When the values of table 1 is compared to the results of the initial study of statistics (clause 2.1), the results of the airborne sound insulation are similar, i.e. the requirements have been reduced about 2 dB. For impact sound, the results of table 1 show a larger reduction than calculated in the initial study. However, in the initial study, vertical impact sound insulation was calculated for each room, and included in the average of the apartment. For large apartments, with several small bedrooms, this would imply a systematic difference compared to the measurements of the field study, where typically one large room and one small room were measured. Taking this effect into account, it appears that the results of the initial study could be realistic if many measurements are performed in each apartment, but since common practice is to choose two rooms in each apartment, the values of table 1 are probably more relevant.

3.3 Uncertainty of calculations compared to measurements

Comparative calculations were made, according to EN 12354 [5], for the five houses with concrete structures. The calculations were all made using the BASTIAN software package and a common database of Nordic building products. The results are presented in figures 5 and 6, where the required values are marked by bold graph lines.

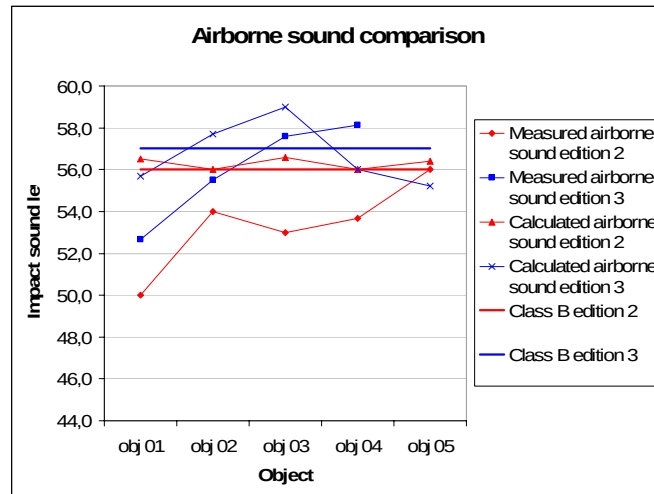


Figure 5: Calculated and measured airborne sound reduction index, with evaluation rules applied to editions 2 and 3

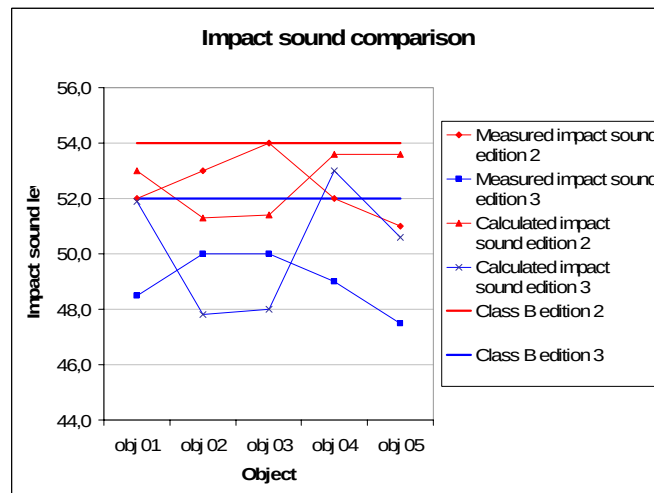


Figure 6: Calculated and measured normalized impact sound pressure level, with evaluation rules applied to editions 2 and 3

The figures 5 and 6 show some deviations between calculated and measured values. Calculated margins, taken as the average deviation increased by 1,28 times the standard deviation (10% risk of non conformance) result in a practical guideline for margins to be observed during design (calculations). These margins are about 1 dB higher than reported in [7]

- 3,7 dB for $R'_w + C_{50-3150}$
- 4,0 dB for $L'_{nw} + C_{1,50-2500}$

4 SUMMARY

Edition 3 of the Swedish standard SS 25267, to which is referred in the Swedish building regulations, imply that it has become easier to reach the expected requirement values. Design margins may be somewhat reduced compared to the previous edition. This could also be

interpreted as the new edition of the standard is an adaptation to the established practice of the local building industry. The requirements of the former edition 2 actually implied that the required sound class was not fulfilled in many cases. This appeared in particular in apartments with large receiving room volumes and for separating surfaces where the relationship V/S is large.

For impact sound, there are studies [6] which support the new requirement levels, however for airborne sound insulation, it would be appropriate to make further investigations of the experienced airborne sound insulation with respect to requirement levels of edition 3.

It shall be observed, this investigation is restricted to typical modern “family” apartments. For other types of dwellings, for example particularly small dwellings (for students, elderly people etc), or large dwellings, other results may appear.

During 2006, an investigation regarding subjectively experienced sound insulation will be performed for the housing units included in this project. This part of the project was added lately, and therefore it could not be included in this paper.

5 ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank the National Board of Housing Building and Planning, for the support of this project. Special thanks to Mr Sonny Modig.

6 REFERENCES

- [1] *Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Parts 4 and 7*, International standard, ISO 140:1998 (ISO, 1998)
- [2] *Acoustics -- Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Parts 1 and 2*, International standard, ISO 717:1996 (ISO, 1996)
- [3] *Acoustics - Sound classification of spaces in buildings - Dwellings*, Swedish Standard SS 25267, Edition 3 (SIS, Stockholm, Sweden, 2004)
- [4] *Acoustics - Sound classification of spaces in buildings - Dwellings*, Swedish Standard SS 025267, Edition 2 (SIS, Stockholm, Sweden, 1998)
- [5] *Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Parts 1 and 2*, European Standard EN 12354 (CEN, Brussels, Belgium, 2000).
- [6] K. G. Hagberg, “Evaluation of sound insulation in the field”. Lund University of Technology 2005.
- [7] C. Simmons, “Uncertainty of measured and calculated sound insulation in buildings – results of a round robin test”. *Proceedings of Forum Acusticum, Prague 2005*

Korta fakta om Boverkets Byggekostnadsforum

En av de hetaste frågorna inom bygg- och bostadssektorn har under det senaste året varit de uppskruvade priserna på tomtmark, byggentreprenader och byggmaterial, främst i tillväxtregionerna. För att bland annat ta fram, analysera och förmedla kunskap och erfarenheter till berörda inom byggsektorn om faktorer som är av betydelse för att främja utvecklingen, öka effektiviteten och sänka kostnaderna inom i första hand bostadsbyggnadssektorn och därmed på sikt åstadkomma sänkta boendekostnader, har regeringen givit Boverket i uppdrag att inrätta ett *Byggekostnadsforum*.

Boverkets Byggekostnadsforum ska verka för en ökad effektivitet och lägre kostnader i byggande och boende genom att fungera som kunskaps- och idébank för byggherrar, kommuner, myndigheter och byggentreprenörer. Syftet är bland annat att förmedla kunskap om byggprojekt eller byggprocesser som leder till att man kan bygga billigt, utan att försämra kvalitén eller utrustningsstandarden.

Boverkets Byggekostnadsforum får bl.a. använda 20 miljoner kronor årligen för att stödja lämpliga *pilotprojekt* som på ett nytt sätt söker få ner boendekostnaderna vid nybyggnad av hyresbostäder samtidigt som projekten främjar ekologisk hållbarhet. Pengarna kan också användas för att i efterhand utvärdera, dokumentera och publicera kunskap om projekt som redan genomförts med motsvarande syfte och inriktning så att dessa kan fungera som goda exempel.

Information om Byggekostnadsforums arbete samt redovisning av goda exempel och information om de pilotprojekt som startats hittills kan hämtas på Byggekostnadsforums hemsida www.byggekostnadsforum.se eller från Boverkets hemsida www.boverket.se.

Boverket

Box 534, 371 23 Karlskrona
Tel: 0455-35 30 00. Fax: 0455-35 31 00
Webbplats: www.boverket.se