

Vårt ombud	Vår ref – uppdragsbeteckning	Ert ombud och postadress
Christian Simmons	2005135-1	Till SIS Tk 197 Byggakustik
Mölnadal, vårt datum	Vårt dokument-ID	
2005-07-08	SIS-Tk197-SAUra-Dim-EN-12354-6.doc	
Anm. Tidigare versioner 2005-05-18, 05-24. Redaktionella ändringar och några förtydliganden införda.		
Ert datum	Er beteckning	Er fax och e-postadress

Distribution

Rapporten är offentlig. PDF-fil finns på www.simmons.se. Vid citering, ange "Rapport 2005135-1 från simmons akustik & utveckling ab"

Revidering av SS 02 52 68 (SS 25268)

Dimensionering av ljudabsorbenter enligt SS-EN 12354-6

Sammanfattning

I denna rapport redovisas indata till beräkning av efterklangstid enligt SS-EN 12354-6, samt beräkning av erforderlig mängd ljudabsorbenter mot dimensionerande efterklangstider i SS 25268.

En jämförelse mellan 44 fältmätningar och beräkningar av motsvarande rum bekräftar tidigare observationer, att det finns vissa systematiska skillnader som beror av typen av ljudabsorbenter (porösa material respektive hårda perforerade skivor), och att möbleringen har en väsentlig inverkan på efterklangstiden. Beräkningsmetoden bedöms ändå ha en godtagbar noggrannhet, om man iakttar säkerhetsmarginaler vid dimensionering.

Med hjälp av jämförelsen har sådana säkerhetsmarginaler beräknats, som kan tillämpas för att uppmätta efterklangstider ej bör överskrida angivna toleranser, med en sannolikhet av 90 %. Marginalerna har beräknats med hänsyn till typen av ljudabsorbent.

Med hjälp av nämnda indata och fältresultaten föreslås också omvandlingstabeller för enkel översättning mellan efterklangstid och erforderlig mängd ljudabsorbenter, lämpliga att använda i tidigt skede av byggprocessen. Vissa schabloner för ljudabsorption i utrymmen utan ljudabsorbenter, s.k. grundabsorption, har beräknats och använts för att ta fram dessa översättningstabeller.

Innan valet av ljudabsorbent slutligen fastställs, bör en detaljerad beräkning göras enligt standarden, med indata för aktuell produkt och för byggnadskonstruktioner i de aktuella rummen.

simmons akustik & utveckling ab

postadress	telefon & fax	mobilterminal	bankgiro	org.nr.
Kroksläatts Fabriker 1	+46 (0)31 27 66 00	tel: +46 (0)709 72 72 65	5298 - 3426	556625-6417
SE-431 37 Mölnadal	e-post & internet	fax: +46 (0)709 72 71 65	postgiro	innehar F-skattebevis
besök Göteborgsvägen 97	info@simmons.se	e-post och SMS:	-	momsreg.nr./VAT.no
Mölnadal (vid Byggcentrum)	www.simmons.se	christian.simmons@euromail.se		SE556625641701

Jämförelse mellan fältmätningar och beräkningar

Bakgrund

I förslaget till SS 25268 utgåva 2 (som avses sändas ut på remiss i augusti 2005) föreslås rumsakustiska krav ställas i form av en beräknad ljudabsorptionsarea istället för uppmätt efterklangtid. Motsvarande krav har införts i flera länder, däribland Danmark, och flera parter har önskat en sådan ändring även i den svenska ljudklassningsstandarden. En svårighet har varit att SS 25268 skall fungera som råd i en ny utgåva av BBR (1 febr 2006), och krav i SS 25268 måste vara verifierbara med en metod som är standardiserad, eller åtminstone allmänt tillgänglig. En metod för verifiering är beräkning med en ny standard, SS-EN 12354-6, som blev klar under 2004¹. Frågan har då varit, huruvida beräkningar med den nya och delvis obeprövad standardmetoden ger rättvisande resultat mot vad som förväntats från en mätning, och om det är rimligt att göra beräkningar till referensmetod.

Följande strategi har valts:

- Av praktiska skäl anger standarden dimensionerande efterklangstider.
- Användaren skall beräkna erforderlig mängd ljudabsorbenter för att nå denna efterklangtid.
- Alternativet hade varit att i varje enskilt fall ange ljudabsorptionsarea för olika takhöjder, konstruktionsmaterial och möblering, vilket hade blivit alltför omfattande.

Förutsatt att dimensioneringen har gjorts på ett korrekt sätt är det mängden ljudabsorbenter (av en specifik typ) som skall utgöra det reella kravet, som skall kunna verifieras i byggnad. Mätning av efterklangtid, t.ex. enligt SS 02 52 64 eller förslag till ny internationell standard ISO 3382-2, kan användas som ett sätt att undersöka ljudabsorptionen i ett befintligt utrymme, men efterklangsmätning är inte referensmetod.

Beräkningsmetoden i SS-EN 12354-6 baseras på den så kallade Sabines formel för diffusa ljudfält, som har tillämpats praktiskt sedan lång tid, dock har några tillägg gjorts som ännu inte har jämförts mot fältmätningar i någon större omfattning. I ett icke bindande annex till standarden finns en metod för rum som inte har diffusa ljudfält. Det har dock funnits resultat från fältmätningar, som tyder på att beräkningsresultat med Sabines formel ger vissa systematiska och slumpmässiga avvikelser mot vad som kan mätas i rum med olika rumsformer, typer av ljudabsorbent och med olika möblering / inredning.

I denna rapport redovisas en jämförelse mellan 44 fältmätningar i klassrum och beräkningar som har gjorts enligt standarden för motsvarande rum. Fältmätningarna i jämförelsen har lämnats från ett antal tillverkare och akustikkonsulter i Norden och de inrymmer rum med såväl porösa ljudabsorbenter som hårda absorbenter (perforerade gipsskivor med akustikfilt). Vid beräkningarna har ljudabsorptionsfaktorer för respektive produkt använts, enligt tillverkarens uppgifter, när produkt och monteringsätt har beskrivits i mätprotokollet. För vissa fältmätningar har angiven ljudabsorbent beskrivits knapphändigt. I dessa fall har ett antagande om produkttyp gjorts, och schablonvärden på ljudabsorption för denna produkttyp tillämpats, vilket tillför en osäkerhet i de beräknade värdena. Vissa avvikelser mellan beräknade och uppmätta värden har konstaterats (se nedan) som är större än vad som kan bedömas bero på enbart mätosäkerhet².

¹ Byggakustik – Bestämning av akustiska egenskaper hos byggnader utgående från egenskaper hos byggnadselement – Del 6: Ljudabsorption i utrymmen i byggnader. 2004-01-16. SIS förlag, www.sis.se.

² Med ledning av jämförande provningar i fält, se not 4 sid 6

Ljudabsorptionsfaktorer

För att kunna göra beräkningar på ljudabsorption och efterklangstider i de rum som skulle jämföras med fältmätningar erfordrades uppgifter om ljudabsorption i vanliga byggnadsmaterial. Data från ett antal publikationer och konsulter samlades in och redovisas i tabell 1. Osäkerheten i dessa värden är stor, flertalet sammanställningar baseras på föråldrade referenser. Merparten av värdena hämtades från EN 12354-6 (och översattes från engelska till svenska), Chalmers tekniska högskola, Arbetsmiljöverkets publikation Buller och Bullerbekämpning³ samt egna data. Se tabell 1. Nederst i tabellen återfinns de värden på "grundabsorption" som använts för att ta fram enkla tabeller i typutrymmen till SS 25268.

Genom att föra in tabell 1 i SS 25268 kan man förvänta sig att värdena kommer att användas vid praktisk dimensionering. Därmed finns det möjlighet att få en samordnad respons från branschen på hur dessa värden fungerar i praktiken, och vid behov korrigera värdena. Det samma gäller indata för olika kommersiella ljudabsorbenter och beräkningsmetodens tillämplighet. Med tiden bör man kunna revidera indata till beräkningar och förbättra noggrannheten i beräkningar jämfört med de osäkerheter som redovisas nedan. Det väsentliga är att få till stånd en samordnad procedur för dimensionering, och där ligger styrkan i att få denna procedur och tabell 1 införd i den svenska ljudklassningsstandarden för lokaler.

Värden i tabell 1 har använts vid jämförelserna mellan fältmätningar och beräkningar enligt SS-EN 12354-6, som diskuteras vidare nedan.

³ Arbetsmiljöverkets publikationsservice 2002. ISBN 91-7464-414-9.

Tabell 1. Ljudabsorptionsfaktorer för byggkonstruktioner

För rum utan diffusering bör kontrollräkning göras enligt SS- EN 12354-6 annex D

Vid citering, ange Rapport 2005135-1 från simmons akustik & utveckling ab

Nr	Beskrivning	Oktavband, Hz	125	250	500	1000	2000	4000	Källa:
	(Mått i mm)		Absorptionsfaktorer avser 1 m2 area om ej annat anges						
	VÄGGAR, TAK:								
1	Betong, putsad murvägg, omålad		0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	EN 12354-6
2	Träpanel 50 (målad) dikt an tung vägg		0,10	0,07	0,05	0,05	0,04	0,04	AMV
3	Murad vägg, ej putsad, omålad		0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	EN 12354-6
4	Putsad trävägg (cloisson)		0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,03	Fältvärden
5	78-hälstegel kantställt, 50 spalt med 45 min-ull		0,48	0,77	0,38	0,27	0,65	0,35	AMV
6	Gasbetong, målad porös yta		0,07	0,04	0,08	0,08	0,15	0,27	Danogips
7	Lättklinkerbetong, målad porös yta		0,10	0,20	0,40	0,60	0,50	0,60	Danogips
8	Keramiska plattor (fogade)		0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	Danogips
9	Spånskivor, 45 mineralull		0,12	0,04	0,06	0,05	0,05	0,05	Danogips
10	Treetex-tak slätt (20 träfiberskivor) 25 regler		0,07	0,22	0,47	0,53	0,67	0,51	CTH
11	Treetex-tak hålrat (20 träfiberskivor) 25 regler		0,13	0,41	0,40	0,60	0,75	0,72	CTH
12	Mineralfiberplatta pressad 16, luftspalt 20 till tak		0,09	0,40	0,56	0,59	0,70	0,69	AMV
13	Träpaneler 45, kantlist 13, springa 5, 25 min-ull		0,20	0,30	0,80	0,70	0,50	0,40	CTH
14	Biografduk		0,10	0,10	0,20	0,30	0,50	0,60	DIN 18041
15	2x13 gipsvägg 70 regel 45 min-ull		0,12	0,10	0,08	0,06	0,06	0,06	AMV
16	1x13 gipsvägg utan min-ull		0,31	0,08	0,04	0,07	0,09	0,08	DIN 18041
17	1x13 gipsvägg 100 min-ull		0,25	0,17	0,04	0,08	0,08	0,09	DIN 18041
18	1x13 gipsundertak, 25 luft		0,16	0,15	0,07	0,08	0,05	0,06	AMV
19	1x13 gipsundertak, 25 min-ull		0,26	0,20	0,10	0,07	0,04	0,07	AMV
20	1x13 gipsundertak, 100 luft		0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09	AMV
21	2x13 gipsundertak, 200 luft		0,10	0,08	0,06	0,04	0,04	0,05	Fältvärden
22	Ventilationsöppning 50% öppen		0,30	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	EN 12354-6
	DÖRRAR, FÖNSTER:								
31	Fönster, glasfasader		0,12	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02	EN 12354-6
32	Dörrar, tunga		0,14	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	EN 12354-6
33	Dörrar, lätta		0,25	0,20	0,15	0,10	0,08	0,07	Danogips
34	Glest nätdgardintyg, 0-200 framför tung vägg		0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	EN 12354-6
35	Gardintyg, <0,2 kg/m2, 0-200 framför tung vägg, min-värde		0,05	0,06	0,09	0,12	0,18	0,22	EN 12354-6
36	Vävd gardin, >0,4 kg/m2 veckad 1:3, 0-200 hård vägg, max-värde		0,10	0,40	0,70	0,90	0,95	1,00	EN 12354-6
37	Öppning >1x1 m mot ljudabsorberande utrymme		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	EN 12354-6
	GOLV:								
41	Trägol i asfalt (alt. elastiskt lim) på betong		0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	AMV
42	Trägol, parkett på foam/papper		0,05	0,10	0,15	0,07	0,06	0,07	AMV
43	Trägol, parkett, flytande på regler		0,12	0,10	0,06	0,05	0,05	0,06	EN 12354-6
44	Hårda golvbelägg (PVC, Linoleum) på betongbjälklag		0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	EN 12354-6
45	Klinkergolv		0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	DIN 18041
46	Mjuk golvmatta på betongbjälklag, < 5 mm		0,02	0,03	0,06	0,15	0,30	0,40	EN 12354-6
47	Mjuk golvmatta på betongbjälklag, >10 mm		0,04	0,08	0,15	0,30	0,45	0,55	EN 12354-6
48	Vattenyta		0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	AMV
	MÖBLER, INREDNING:								
51	Stol, stoppad sits och rygg		0,10	0,20	0,25	0,30	0,35	0,35	EN 12354-6
52	Stol, plast-/träsis		0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	EN 12354-6
53	Glest stående personer (1 per 6 m2)		0,12	0,45	0,80	1,20	1,30	1,40	EN 12354-6
54	Glest sittande personer (1 per 6 m2)		0,05	0,10	0,20	0,35	0,50	0,65	EN 12354-6
55	Stolsrader, plast-/träsisar		0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	EN 12354-6
56	Stolsrader, stoppade sitsar och ryggar, minvärden		0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,50	EN 12354-6
57	Stolsrader, stoppade sitsar och ryggar, maxvärden		0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	EN 12354-6
58	Publik, 0,9-1,2m mellan raderna, minvärden		0,20	0,40	0,50	0,60	0,70	0,70	EN 12354-6
59	Publik, 0,9-1,2m mellan raderna, maxvärden		0,60	0,70	0,80	0,90	0,90	0,90	EN 12354-6
60	Skolbarn på stol+bord (1 per m2)		0,10	0,20	0,25	0,35	0,40	0,40	EN 12354-6
61	Bokhylla 20 cm med böcker/materiel (Aobj=0,2^(2/3))		0,13	0,31	0,48	0,64	0,64	0,64	Beräkn. enl.
62	Bokhylla 20 cm, tomma hyllplan (Aobj=0,2^(2/3))		0,07	0,15	0,29	0,34	0,34	0,34	från objekts
63	Skåp 30 cm med dörr, utan glaspartier (Aobj=0,3^(2/3))		0,28	0,37	0,45	0,45	0,45	0,45	volym enl.
64	Skåp 30 cm med dörr, tunna glaspartier (Aobj=0,3^(2/3))		0,71	0,59	0,45	0,45	0,45	0,45	EN 12354-6
65	Bord med fanerad träskiva på stälben (Aobj=0,3^(1/3), per bord)		0,09	0,20	0,38	0,44	0,44	0,44	---
66	Schablon för omöblerade utrymmen (korridorer o.dyl.)		0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Bedömda
67	Schablon för gles möblering (väntrum o.dyl.)		0,10	0,20	0,20	0,25	0,25	0,25	Fältvärden
68	Schablon för tät skolsalsinredning (bänkar, trästolar, hyllor, skåp)		0,40	0,35	0,35	0,40	0,40	0,40	Fältvärden
65	Bord med fanerad träskiva på stälben (Aobj=0,3^(1/3), per bord)		0,09	0,20	0,38	0,44	0,44	0,44	---
66	Schablon för omöblerade utrymmen (korridorer o.dyl.)		0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Bedömda
67	Schablon för gles möblering (väntrum o.dyl.)		0,10	0,20	0,20	0,25	0,25	0,25	Fältvärden
68	Schablon för tät skolsalsinredning (bänkar, trästolar, hyllor, skåp)		0,40	0,35	0,35	0,40	0,40	0,40	Fältvärden

I databasens rader 61-65 har ljudabsorptionen beräknats med metoden i SS-EN 12354-6, där ljudabsorptionsarean för ett objekt antas till dess volym upphöjt i 0,67. Värdet avser 1 m² objekt utom för rad 65. För låga frekvenser, där våglängden i luft är längre än objektets

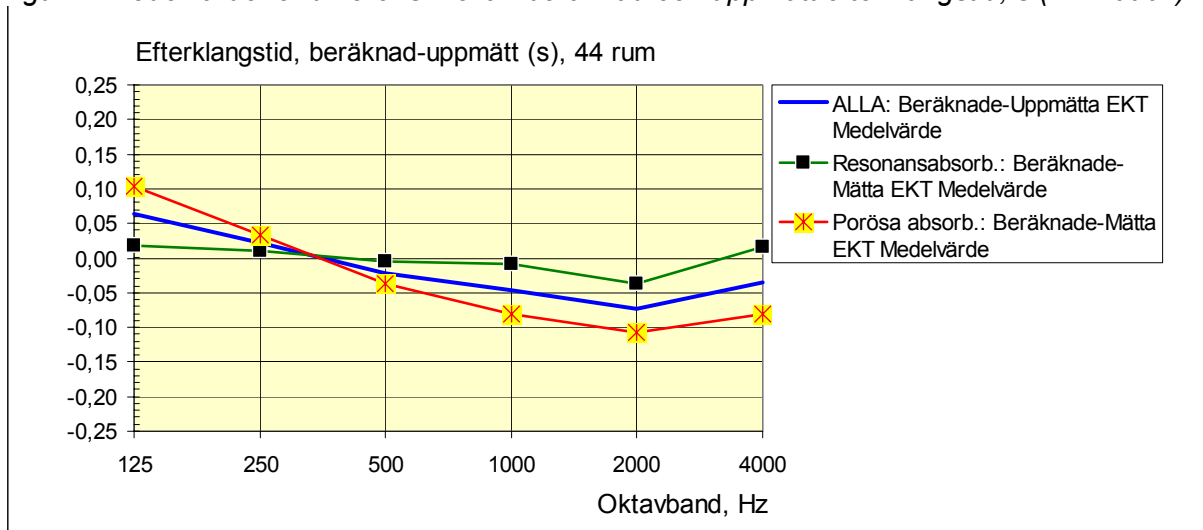
yttermått, reducerades ljudabsorptionen. För skåp med tunna glasluckor ökades istället ljudabsorptionen något, för att ta hänsyn till membranabsorptionen.

Jämförelse mellan fältmätningar och beräkningar

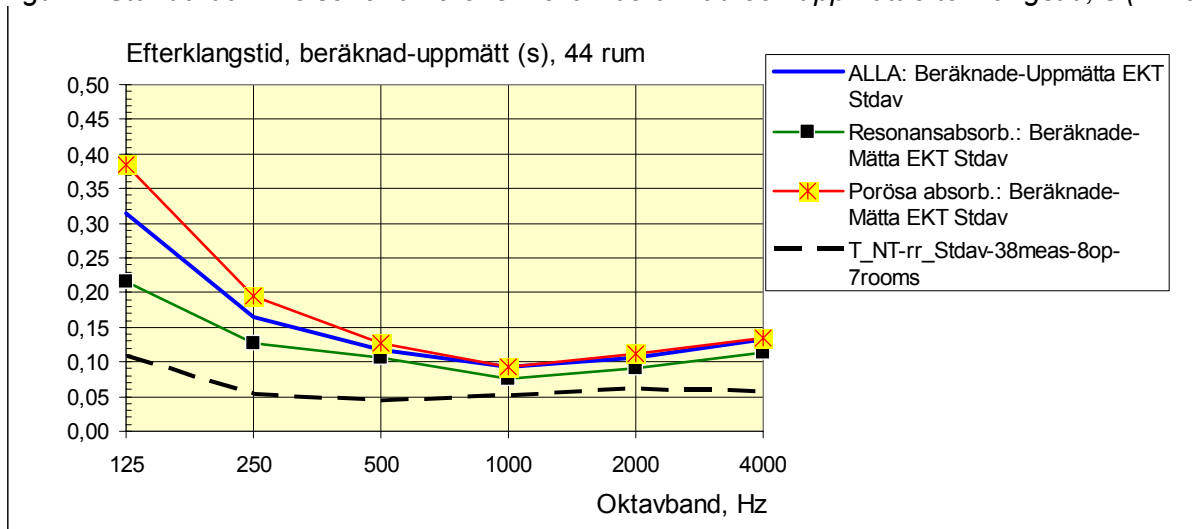
Beräkningsresultat

I jämförelsen mellan beräkningar och mätningar betraktas dels resultat för alla mätfall, dels en uppdelning i resultat för "porösa absorbenter" (t.ex. mineralullsskivor) respektive "resonansabsorbenter" (t.ex. perforerade gipsskivor med akustikfilt). För de 44 fältmätningar som analyserats blev medelvärde och standardavvikelse i differensen mellan beräknade och mätta efterklangstider:

Figur 1. Medelvärde för differens mellan beräknad och uppmätt efterklangstid, s (44 mätfall)



Figur 2. Standardavvikelse för differens mellan beräknad och uppmätt efterklangstid, s (44 fall)



Som jämförelse finns i figur 2 även inlagt en standardavvikelse i uppmätt efterklangstid "T_NT-rr", som bestäms inom ett jämförelseprojekt för bestämning av mätosäkerhet⁴. Dessa

⁴ Nordtestprojekt 04030. Projektrapport och en artikel i "Bygg&Teknik" finns på www.simmons.se

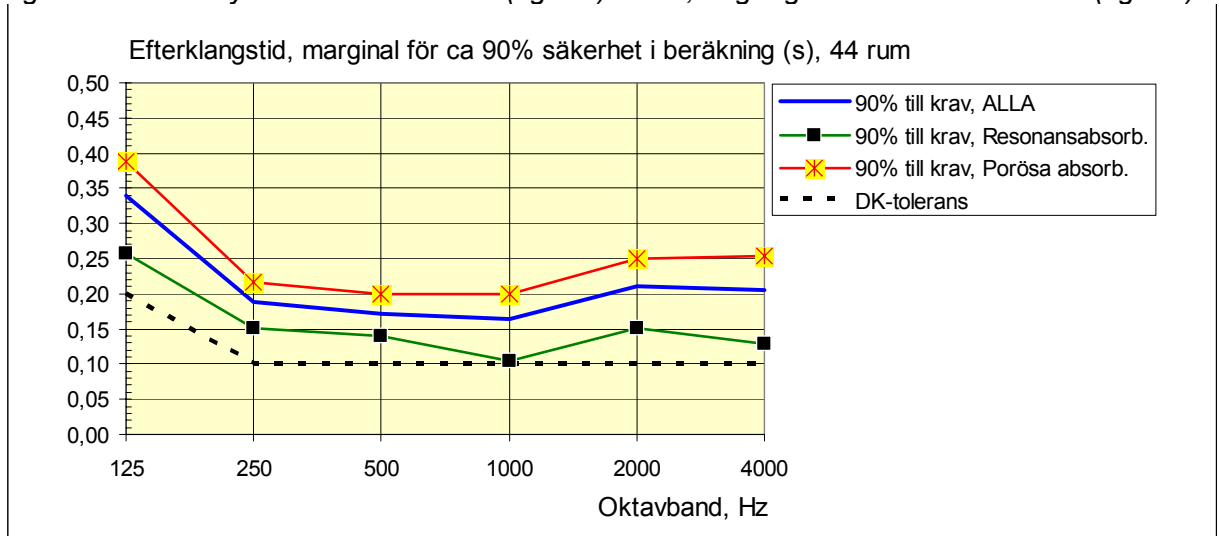
mätningar gjordes av 8 operatörer, i 7 olika mätrum, totalt 38 delmätningar. Jämförelsen visar, att skillnaderna mot beräkningar inte enbart beror på mätosäkerhet. Beräkningsmetoden och valet av indata påverkar också differensen mot mätvärdena, [se avsnitt Bakgrund](#).

Om man korrigerar ett beräkningsresultat för både de systematiska skillnaderna och de slumpmässiga avvikelserna (enligt de båda föregående diagrammen) kan man bestämma en säkerhetsmarginal som gör att man med en viss sannolikhet kommer att mäta lika eller kortare efterklangtid i ett utrymme än vad som beräknats.

Genom att bestämma en så kallad täckningsfaktor k , och multiplicera k med standardavvikelsen s enligt figur 2, kan en sannolikhet för "godkännande" vid mätning väljas. I denna studie väljs k till 1,28, vilket ger ett dubbelsidigt konfidensintervall om 80% (antalet sampel >17). I hälften av avvikelserna är mätt efterklangtid mycket kortare än beräknat, i den andra hälften är de längre än beräknat. Med k vald till 1,28 blir risken för "underkänt" vid mätning alltså 10%. Marginalen säkerställer, att beräknade värden motsvarar verkliga värden med en rimlig säkerhet, förutsatt att beräkningen avser utrymmen som liknar dem som studerats här (klassrum, grupprum och liknande).

I nedanstående figur 3 visas summan av den systematiska avvikelserna (figur 1) och 1,28 gånger standardavvikelsen (figur 2)

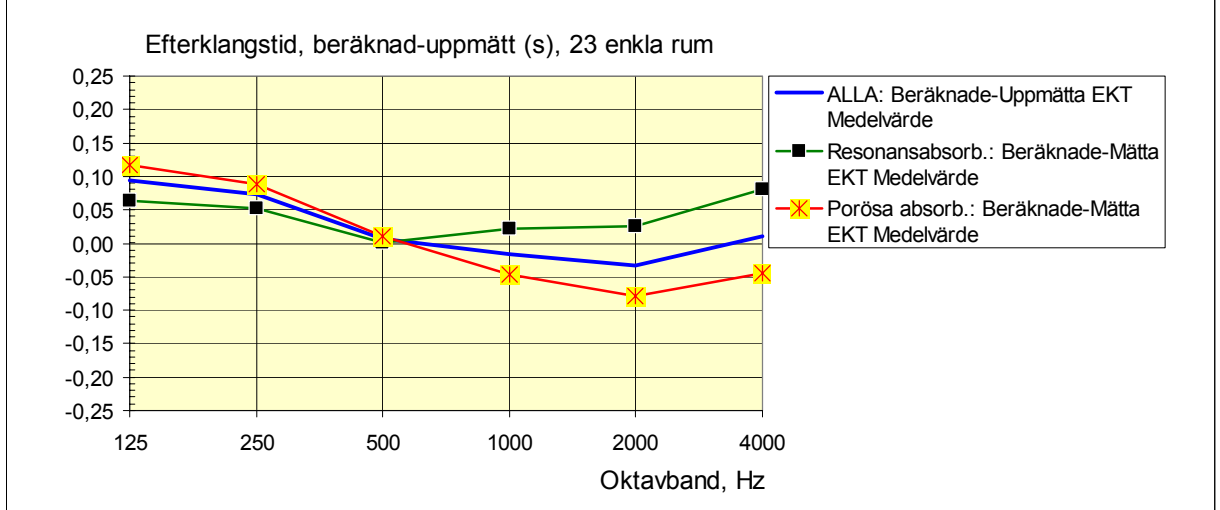
Figur 3. Summa systematisk avvikelse (figur 1) och 1,28 gånger standardavvikelsen (figur 2)



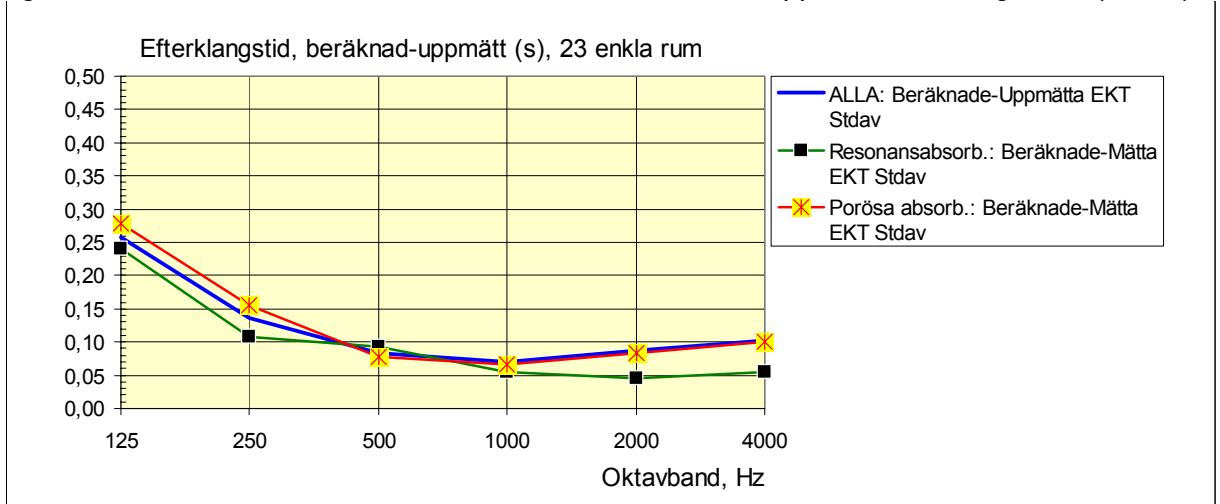
Den streckade linjen är den tolerans till krav (0,6 s i exemplet) som föreslogs till de danska anvisningarna från Ehrvervs- och boligstyrelsen (se nedan), som föreslås tillämpas även i den svenska standarden SS 25268. Som synes av figur 3 räcker det inte med de föreslagna toleranserna (streckad linje), man måste dimensionera för en något kortare efterklangtid för att inte riskera att överskrida dessa toleranser vid en jämförande mätning.

Figurerna 1-3 baseras på samtliga mätfall (44 st). 23 av dessa fall valdes ut för att de avser rum med en stor mängd diffuserande möbler och en takhöjd $\leq 3,1$ m. Motsvarande värden på systematisk avvikelse, standardavvikelse och summa 1,28 gånger standardavvikelsen (motsvarande figur 3) visas i figurerna 4-6:

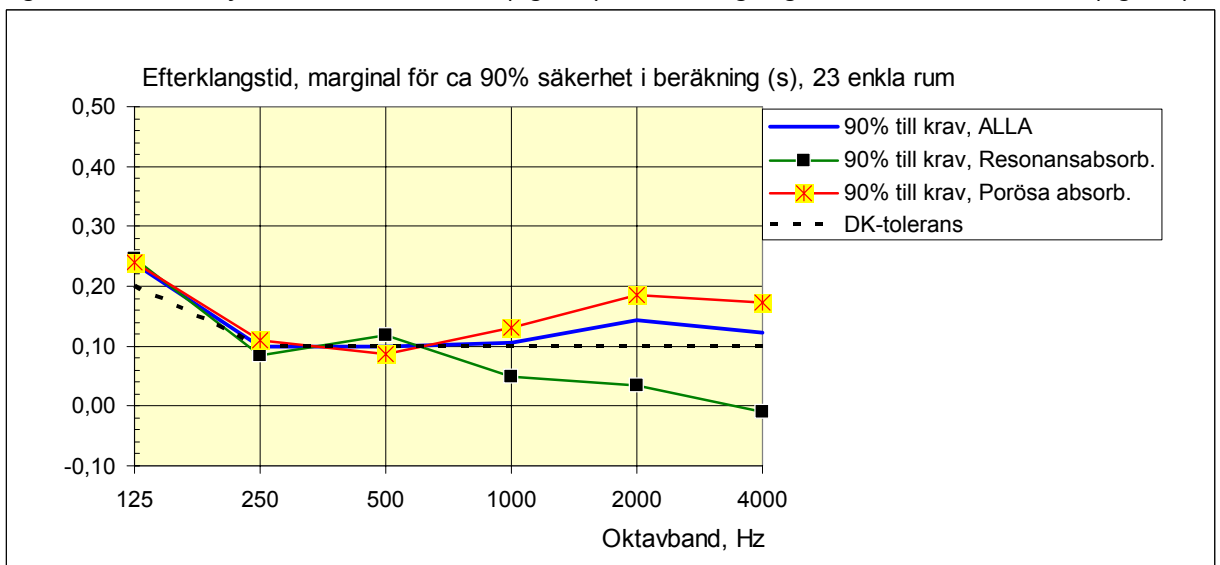
Figur 4. Medelvärde för differens mellan beräknad och uppmätt efterklangstid, s (23 mätfall)



Figur 5. Standardavvikelse i differens mellan beräknad och uppmätt efterklangstid, s (23 fall)



Figur 6. Summa systematisk avvikelse (figur 4) och 1,28 gånger standardavvikelsen (figur 5)



Figur 6 visar att de toleranser som valts i den danska anvisningen fungerar bra i praktisk dimensionering, om ljudfälten är diffusa (tätt möblerade rum). Vid höga frekvenser kan man tillämpa något mindre marginal för hårda absorbenter (perforerade gipsskivor o.dyl.) än för porösa absorbenter. Detta antas till viss del bero på, att den standardiserade mätmetod som används vid laboriemätningar (ISO 354) ger ett ljudinfall från alla infallsvinklar, medan i klassrum tenderar man att få en stor andel ljud som faller in snett och strykande längs absorbenten. Ljudabsorptionen i den porösa produkten blir då inte lika effektiv som för ett idealt diffust ljudinfall. De hårda absorbenterna fungerar mer likartat i laboratorium som i fält, därför kan en mindre marginal tillämpas vid dimensionering med dessa produkter.

Säkerhetsmarginaler

Ovanstående resultat bekräftar, att man kan använda den beräkningsmetod som anges i den svenska och europeiska standarden SS-EN 12354-6, men för att få en acceptabel överensstämmelse med mätningar (90% sannolikhet) rekommenderas att man dimensionerar ljudabsorbenter mot nedan angivna säkerhetsmarginaler. Marginalerna baseras på figurerna 3 och 6, med avrundning till närmast liggande 0,05 sekunder.

Tabell 2. Säkerhetsmarginaler vid dimensionering – för rum med begränsad diffusering:

För rum med takhöjd >3,1m eller lutande tak eller saknar diffuserande inredning på golv och väggar:							
Beräkningsmarginal för:	Oktavband	125	250	500	1000	2000	4000 Hz
Porösa absorbenter (mineralull, träfiber, textilier mm)		0,20	0,10	0,10	0,10	0,15	0,15 sek
Resonansabsorbenter (perforerade hårda skivor)		0,05	0,05	0,05	0,00	0,05	0,05 sek

Tabell 3. Säkerhetsmarginaler vid dimensionering – för rum med god diffusering:

För rum med rektangulär form och takhöjd <3,1m och diffuserande inredning på golv och väggar:							
Beräkningsmarginal för:	Oktavband	125	250	500	1000	2000	4000 Hz
Porösa absorbenter (mineralull, träfiber, textilier mm)		0,05	0,00	0,00	0,05	0,10	0,05 sek
Resonansabsorbenter (perforerade hårda skivor)		0,05	0,00	0,00	-0,05	-0,05	-0,10 sek

Dessa marginaler kompenserar för såväl systematiska som slumpmässiga skillnader mellan beräknade värden och mätvärden i klassrum och liknande utrymmen. Om föreslagna marginaler används, och om väl dokumenterade ljudabsorbenter används enligt tillverkarnas anvisningar, bedöms sannolikheten till 90% för att uppmätt efterklangstid blir lika med eller kortare än den dimensionerande, om en avvikelse om högst 0,2 sek vid 125 Hz och 0,1 sek vid frekvenser 250-4000 Hz godtas. Marginalerna är framtagna i rum med cirka 0,6 s dimensionerande efterklangstid.

Ovanstående tabeller bör kunna tillämpas till dess tillverkarna har hunnit följa upp montering och ljudabsorption i byggnad med sina respektive produkter, och ange säkerhetsmarginaler för var och en av dessa. När standarden varit i bruk en tid bör det finnas tillräckligt underlag för att bestämma standardavvikelse i differensen mellan beräkning och mätning. Den procentuella risk för underkänt som kan godtas, bör vara gemensam för alla produktslag, dvs. täckningsfaktorn bör standardiseras. Ovan har 1,28 valts, för att ge 90% sannolikhet för att en mätning inte ger längre efterklangstid än vad kravet anger, inklusive godtagbara toleranser.

Beräkning av typfall

För att underlätta tillämpningen av standarden har ett antal typfall tagits fram, där erforderlig mängd ljudabsorbenter har beräknats schablonmässigt för angivna dimensionerande efterklangstider, med samma metodik som projektörer kan använda för att räkna på de faktiska förhållandena och med specifika produktdata. Beräkningar bör göras i oktavband, vilket ger

högre noggrannhet och bättre utnyttjande av valda produkter. I tabellerna 5 och 6 anges erforderlig mängd ljudabsorbenter av en viss kategori i tre olika typer av utrymmen och med två takhöjder.

Vid beräkningen av dessa typfall har en så kallad grundabsorption för utrymmet tillämpats, som har bestämts med beräkning av de rum som ingick i jämförelsematerialet. Dessa anges i tabell 1, raderna 66-68. Med grundabsorption menas den ljudabsorptionsarea som antas finnas i rummet innan man applicerar ljudabsorbenter, inklusive inverkan av möblering. För tätt möblerade rum har medelvärdet av alla beräknade fältexempel använts. För så kallade glest möblerade rum användes medelvärdet minskat med 1,6 gånger standardavvikelsen, vilket innebär att cirka 2.5% av alla rum i studien har mindre beräknad ljudabsorptionsarea än vad som antagits. För rum med tunga väggar, t.ex. i byggnader från förra sekelskiftet, bör kolumnen för glest möblerade rum användas eller en beräkning göras i oktavband med hänsyn till aktuella konstruktioner och rumsstorlekar. För helt omöblerade rum har det inte funnits några mätdata utan här har helt enkelt en låg vald schablon om 10% [ljudabsorptionsfaktor](#) i alla oktavband antagits.

Data för ljudabsorption i typiska absorbentprodukter väljs med hjälp av klassningen i SS-EN ISO 11654. Klassningen gäller bara i frekvensområdet 250-4000 Hz. Vid 125 Hz har ett karakteristiskt värde för A- respektive C-absorbenter valts. Härvid har förutsatts, att ljudabsorbenterna monteras i bärverk med total höjd 200 mm. För resonansabsorbenter (perforerade gipsskivor med akustikfilt) har värdet vid 250 Hz ökats med 0,05 jämfört med minimivärdet i ISO 11654. En jämförelse med ett antal produkter på marknaden visar att antagna värden är något lägre än vad som har mätts i laboratorium, även om enstaka exempel visar på lägre ljudabsorption vid 125 Hz. Det finns produkter i klass A med låg bygghöjd (40-100 mm) eller tunna porösa skivor (15 mm) som har avsevärt sämre ljudabsorption än i tabell 4. Som påpekats tidigare, man bör kontrollräkna aktuella fall innan valet av ljudabsorbent fastställs. Huvudsyftet med de föreslagna tabellerna 5-6 är att möjliggöra en snabb överblick av absorbentmängderna i tidigt skede i byggprocessen.

Vid beräkning av tätt möblerade rum har marginaler enligt tabell 2 använts. Vid beräkning av glest möblerade och omöblerade rum har säkerhetsmarginaler enligt tabell 3 tillämpats.

Tabell 4. Ljudabsorbenter - indata för beräkningar till omvandlingstabeller i SS 25268

Oktavband, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Ljudabsorptionsklass						
A	0,50	0,70	0,90	0,90	0,90	0,80
C	0,45	0,45	0,60	0,60	0,60	0,50

Tre olika rumsfall har valts, samt två takhöjder för respektive fall (2,8 resp. 3,5 m)

- klassrum 9x7 m², med tät möblering (bord, hårda stolar, hyllor och skåp)
- glest möblerade mindre rum 4,5x7 m², med viss inredning
- omöblerade mindre rum 4,5x7 m², tillämpliga även för smala utrymmen (korridor o.dyl.) *

* Vid beräkning av omöblerade rum har endast värden i frekvensområdet 250-4000 Hz beaktats. Alla beräkningar har gjorts utan ljudabsorberande inverkan av personer i lokalen.

Tabell 5. Omvandling mellan dimensionerande efterklangstid och absorbentmängd – **porösa** ljudabsorbenter i takbärverk (min 20 mm, tkh 200). Tabellens värden anger den area, uttryckt som en andel av golvarean (i %) som täcks av ljudabsorbenten.

T (sek)	Tätt möblerade rum, 60 m ²		Glest möblerade rum, 30 m ²		Omöblerade, mindre/smala utrymmen 30 m ² (250-4000 Hz)	
	2,8m	3,5m	2,8m	3,5m	2,8m	3,5m
takhöjd	2,8m	3,5m	2,8m	3,5m	2,8m	3,5m
1,2	0	15	25	35	15	20
1,0	10	35	35	45	20	30
0,8	30	60	50	65	30	40
0,6	70	110	80	105	45	60
0,5	100	145	110	145	60	75
0,4	150	-	-	-	80	100

Tabell 6. Omvandling mellan dimensionerande efterklangstid och absorbentmängd – **hårda** ljudabsorbenter i takbärverk (tkh 200). Tabellens värden anger den area, uttryckt som en andel av golvarean (i %) som täcks av ljudabsorbenten.

T (sek)	Tätt möblerade rum, 60 m ²		Glest möblerade rum, 30 m ²		Omöblerade, mindre/smala utrymmen 30 m ² (250-4000 Hz)	
	2,8m	3,5m	2,8m	3,5m	2,8m	3,5m
takhöjd	2,8m	3,5m	2,8m	3,5m	2,8m	3,5m
1,2	0	20	20	30	20	30
1,0	15	40	30	40	30	40
0,8	40	70	40	55	40	55
0,6	80	120	60	80	65	85
0,5	110	160	80	105	80	105
0,4	160	-	105	135	105	135

Några tidigare erfarenheter

Lunds tekniska universitet

Erling Nilsson vid LTH har visat preliminära resultat av jämförelser mellan mätningar i klassrum och beräkningar, dels enligt Sabines formel och dels efter en mer detaljerad modell. Försöken visade att möbler hade stor inverkan vid mellan- och höga frekvenser (250 Hz – 4 kHz). Studien visar att absorbenter i ljudabsorptionsklass A resp. C enligt SS-EN ISO 11654 ger förvånansvärt lika efterklangstider i klassrum vid frekvenser över 500 Hz. Ljudtrycksnivåerna vid höga frekvenser skiljde sig på ett sätt som inte förväntats med ledning av efterklangstiderna. Under sommaren 2005 skall fler jämförelser göras vid LTH, där man provar flera absorberstyper i samma rum, med och utan möblering. Ljudtrycksnivåskillnader, taluppfattbarhetsmått och efterklangstider kommer att analyseras i detalj.

Klas Hagberg vid WSP Akustik rapporterade fältmätningar i ett klassrum, där man provade olika typer av ljudabsorbenter (porösa mineralullsabsorbenter och perforerade gipsskivor med akustikfilt). I stort kom Hagberg till samma slutsats som Nilsson, att efterklangstiderna inte varierade så mycket som förväntats med ledning av ljudabsorptionsklassen för takabsorbenterna.

I vårt jämförelsematerial ingick data från WSP:s försök, och ytterligare en jämförelse av motsvarande slag (ej publicerad). Mätningar i likartade klassrum i samma korridor, med olika undertak, fanns också med i jämförelsematerialet. Den oväntat låga inverkan av typ av ljudabsorbent på efterklangstiden som nämnts ovan, syns även i dessa jämförelser.

Nilssons studie förklarar det som varit praxis bland konsulter, att man måste räkna med en viss ljudabsorption för möblering, även om denna utgörs av hårda bänkar, stolar, skåp och hyllor. Vid LTH pågår ett Nordtestprojekt med syfte att ta fram en mätmetod för att karakterisera inverkan av möbler (skenbar ljudabsorption), som passar för beräkning av klassrum och liknande utrymmen. Ljudabsorptionsdata för möblering i databasen har beräknats från objektens volym, enligt metoden i SS-EN 12354-6, se ovan.

Danska erfarenheter

- det har funnits önskemål i arbetsmiljösammanhang, särskilt från arbetsmiljömyndighetens sida, att man inte skall mäta efterklangstid i arbetslokaler, utan istället beräkna och ställa krav på en viss ljudabsorbentmängd. Syftet sägs primärt vara att reducera ljudtrycksnivåer. Vid mätning har efterklangstiderna ofta varit kortare än förväntat, och därmed har det funnits en "skenbar" ljudabsorptionsarea i lokalen. Företaget har därför inte kunnat åläggas att montera den mängd som myndigheten ville ha på plats.
- betydelsen av att begränsa efterklangstiderna vid 125 Hz är inte dokumenterad, men man har haft kravet länge i Danmark, och man har diskuterat att göra en studie på temat. Den allmänna uppfattningen är att det är väsentligt att begränsa efterklangstider vid låga frekvenser, även om talspektrum innehåller en relativt låg energi vid dessa frekvenser.
- i den anvisning som ges ut från Ehrvervs- och boligstyrelsen har man mjukat upp anvisningen jämfört med huvudrapportens⁵ not 1 till tabell 3.2 sidan 10:
"Efterklangstiderna skal overholdes ved alle 1/1-oktaver i frekvensområdet 125-4000 Hz, med en tolerance på $\pm 0,2$ s ved 125 Hz og $\pm 0,1$ s ved alle øvrige frekvenser."
I anvisningen valde man att istället ange en rekommendation om högst 30% avvikelse istället för 0,2 s, cirka 15% vid övriga frekvenser, utan nedre begränsning av efterklangstiden. I not 1 sid 4 anges
" 1) Maksimumsværdierne for efterklangstiderne gælder i princippet for alle 1/1-oktaver i frekvensområdet 125-4000 Hz, se også vejledningens tekst."
Man trycker i inledningsavsnittet till anvisningen (sid 3) på att man skall dimensionera ljudabsorbenter och fördela dessa så att samma efterklangstid erhålls i alla oktavband:
" I forhold til BR 95 introducerer de vejledende projekteringsværdier en generel ændring af lydbestemmelserne, idet efterklangstider og absorptionsarealer angives som henholdsvis maksimums- og minimumsværdier, der i princippet gælder for alle 1/1-oktaver i det aktuelle frekvensområde og ikke som tidligere for en gennemsnitsværdi for et større frekvensområde. Der bør tilstræbes en jævn frekvensfordeling med kun mindre afvigelser mellem de enkelte 1/1-oktavværdier. Ved 125 Hz vil det være acceptabelt med afvigelser fra projekteringsværdierne på omkring 30%. De vejledende projekteringsværdier for lydregulering gælder for møblerede rum uden personer, ligesom lydbestemmelserne i BR 95. De vejledende projekteringsværdier for efterklangstider og absorptionsarealer i rum i skoler og daginstitutioner bør opfyldes ved brug af akustiklofter i kombination med lydabsorberende vægbeklædninger. Generelt må det for at opnå en ønsket fordeling af absorptionen i et rum anbefales at placere mindst 10-15% af det samlede absorptionsareal på vægge eller andre lodrette flader. For også at sikre en jævn frekvensfordeling vil det ofte i forbindelse med den akustiske projektering være nødvendigt at kombinere flere typer af lydabsorberende materialer på rummets overflader, dvs. materialer der har forskellige lydabsorberende egenskaber inden for det aktuelle frekvensområde."
- formuleringarna i vägledningen är i princip inte rättsligt gångbara, vilket inte heller var avsikten. Avgränsningen medger att mycket allmänna formuleringar kan användas. I konkreta projekt bör man formulera skarpa krav och ange metod för verifiering.
- författarna till vägledningen hade en begränsad tillgång till fältdata när de föreslog marginalerna, de hade dock vissa beräkningar som gav stöd för förslaget.

Möln dal dag som ovan

⁵ "Lydforhold i undervisnings- og daginstitutioner - Ajourføring af kravniveauet". Erhvervs- og Boligstyrelsen, Februar 2003, www.ebst.dk.

simmons akustik & utveckling ab
Christian Simmons