0111024

P

RAPPORT

Helgo Heuer

Bjälklag av massivträ med ljudabsorberande rillor

Trätek

INSTITUTET FÖR TRÄTEKNISK FORSKNING

Helgo Heuer

BJÄLKLAG AV MASSIVTRÄ MED LJUDABSORBERANDE RILLOR

Trätek, Rapport P 0111024
ISSN 1102 – 1071
ISRN TRÄTEK – R – – 00/024 – – SE

Nyckelord

absorption area
absorption coefficient
helmholtz resonator
reverberation time
sound classification of rooms

Stockholm november 2001

Förord

En ytas absorption påverkar rummets efterklangstid och därmed människans upplevelse av tal, sång och buller. Bjälklag av massivt trä med profilerad undersida kombinerar fördelarna hög bärförmåga och ljudabsorption. Denna rapport visar de resultat som uppnåtts från arbetet med att bedöma absorptionsfaktorn för en profilerad yta.

Undersökningar ingår som en del i ett större projekt och gjordes på uppdrag av AB Norra Massivträ, Skellefteå.

Ljudtesterna genomfördes i akustiklabbet vid Luleå Tekniska Universitet under ledning av Hans Viklund, Institutionen för Arbetsvetenskap, Avdelningen Miljöteknik/Teknisk Akustik.

Ett stort tack till Hans och alla andra i akustiklabbet för deras "kraftfulla" medverkande, till Håkan Johnsson för en väldigt "effektiv" insats samt ett tack till Anders Gustafsson, Trätek, för synpunkter på och tålamodig hjälp med rapporten!

Innehållsförteckning

1 SAMMANFATTNING 3

2 BAKGRUND 4

3 TEORI 5

4 FÖRSÖKSGENOMFÖRANDET 6

5 MÄTRESULTAT 7

6 KOMMENTARER OCH SLUTSATSER 9

6.1 DISKUSSION 9
6.2 MÖJLIGA ANVÄNDNINGSOMRÅDEN 9

7 REFERENSER 13

BILAGOR	Antal sidor
1. Bilddokumentation	2
2. Beräkning av resonansfrekvensen	1
3. Beräkning av absorptionsfaktor	2
4. Värdering av absorption	2

1 Sammanfattning

I denna rapport presenteras resultaten från undersökningar av absorptionsegenskaper hos bjälklag av massivt trä. Bjälklagselementen har ett profilerat ytskikt vilket skall absorbera ljud enligt Helmholtzprincipen.

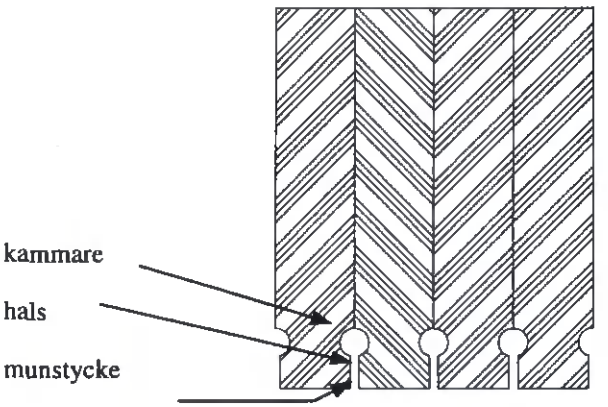
Absorptionsfaktorn α har bestämts för tre olika situationer. Absorptionsförmågan för ljudvågor hos bjälklag av massivträ kan ökas betydligt genom profilering av bjälklagets ytskikt. En sådan profilering gör att resonanseffekter enligt Helmholtz kan utnyttjas. Absorptionsförmågan är begränsad till en frekvensbredd av ca tre oktaver. Mittfrekvensen av frekvensbandet bestäms av resonansfrekvensen enligt Helmholtz (bilaga 2). Genom lämpligt val av profilens mått kan resonansfrekvensen efter behov justeras och därmed påverka absorptionsförmågan.

Utförda tester visar även ett samband mellan olika absorbentmaterial och deras placering i profilen (kammare eller hals). Med absorptionsmaterial i profilen erhölls dämpning i ett bredare frekvensband. En användning av profilerade ytor som absorbent i korridorer, hisshall och trapphus är full tänkbar.

2 Bakgrund

I många lokaler (t ex sporthallar, trapphus, konferensrum) är det nödvändig att ta speciell hänsyn till rummets akustiska egenskaper. Lokalens efterklangstid påverkas av valet av absorbentmaterial och ytans storlek.

Idag använda system, med absorbentskivor o dyl, medför en extra kostnad och kräver också extra tid vid montering. Dessutom är de oftast inte lämpliga för det slitage och den mekaniska påverkan som t ex kan förekomma i sporthallar.



Figur 1 Sektion genom bjälklag med infrästa spår på undersidan.

Genom att profilera bjälklagets undersida (Figur 1) och fylla delar av profileringen med absorbentmaterial kan absorptionen ökas betydligt jämfört med icke profilerade ytor. Principen bakom denna effekten heter *Helmholtzresonator*.

Även om principen är känd sedan länge, så är det dock osäkert om vedertagna beräkningsformler gäller i de här fallen; när massiva bjälklag i trä försetts med spår.

Vidare är det oklart hur stor absorptionen kommer att bli, vilka absorbentmaterial som kan vara lämpliga och vilken effekt de kommer att ge beroende på absorbentmaterialets placering i profilen.

3 Teori

Vid akustisk bedömning av lokaler spelar absorptionsförmågan en stor roll. Absorptionsförmågan för en byggdel bestäms av två faktorer, absorptionskoefficienten α och byggdelens yta *S*. Lägre värden för α kan alltså kompenseras genom större ytor. Hela lokalens absorptionsförmåga kännetecknas av summan av alla ytor med respektive material absorptionsegenskaper.

$$A_M = \sum_i S_i \cdot \alpha_i$$

Definitioner

- α: Absorptionskoefficient
- S: Yta (tak, vägg, golv)
- A_M: Absorptionsyta ($=S^* \alpha$)
- T: Efterklangstid (den tid som behövs för minskning av ljudnivån med 60dB)
- *Absorbent*: Här material som placeras i profilen för att öka de energetiska förlusterna (*Stepisol* och *hampdrev* har använts).
- *Oktavband*: Frekvensbandet indelas i *oktaver*. En *oktav* innebär en fördubbling av frekvensen. *Oktaverna* är benämnda efter deras mittfrekvenser (63, 125, 250, 500, ... [Hz]).
- *Tersband*: Indelning av frekvensbandet i *terser*. En *ters* motsvarar en tredjedels oktav. *Terserna* benämns efter deras mittfrekvenser (50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, ... [Hz]).

Absorptionen av ljudenergi enligt Helmholtz åstadkoms genom dispersion av rörelseenergi. Principen för en Helmholtzresonator bygger på ett fjäder-massa-system. Den instängda luftvolymen i kammaren motsvarar fjädern. Luftvolymen i halsen och omkring munstycket bildar systemets massa. Energiförluster sker via termiska och viskosa effekter i halsen och munstycket. Förlusterna kan ökas genom att man placerar absorbentmaterial i kammaren eller i halsen. Beräkning av systemets resonansfrekvens återges i bilaga 2.

4 Försök

Absorptionsförmågan bestäms enligt *rumsmetoden,* SS-EN 20354. Absorptionsytan i en lokal kan beräknas m h a efterklangstiden och har enheten *"kvadratmeter Sabine"*, m^2S.

$$A_M = 0{,}163\frac{V}{T}$$

V är rummets volym. Med kännedom om differensen i efterklangstid med och utan absorbent kan absorptionsfaktorn α beräknas.

$$\alpha_i = 0{,}163\frac{V}{S}\left(\frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_o}\right)$$

T_i: efterklangstid med absorbent *i*
T_0: efterklangstid i det tomma rummet
α_i: absorptionsfaktor för absorbent *i*

Vid mätning av efterklangstid är luftfuktigheten en viktig faktor. Den relativa luftfuktigheten vid alla mättillfällen mättes till RF=50%. Temperaturen mättes till 20°C.

Efter slutförda mätningar av det tomma rummets efterklangstid, lades en ca 3 m x 4 m stor yta av bjälklagselement på golvet med den profilerade sidan uppåt.

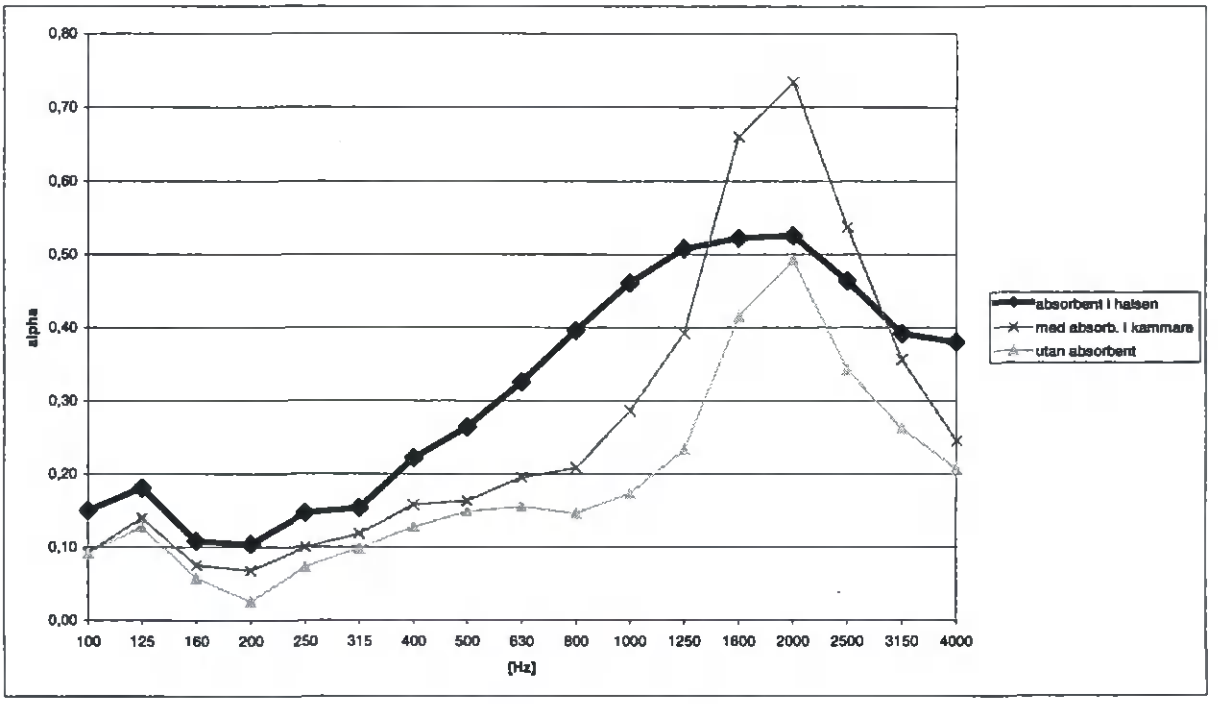
Totalt genomfördes tre absorptionsmätningar med beteckningarna M1, M2 och M3:

- M1: Mätning med remsor av Stepisol i halsen.
- M2: Mätning utan remsor eller annan absorbent.
- M3: Mätning med drev av hampa i kammaren.

Testföremålen och försöksuppställningen framgår av bilaga 1.

5 Mätresultat

Resultaten av mätningarna visas i Figur 2 i form av absorptionsfaktorn α för varje tersband.



Figur 2 Absorptionsfaktor α (uppmätta värden i tersband).

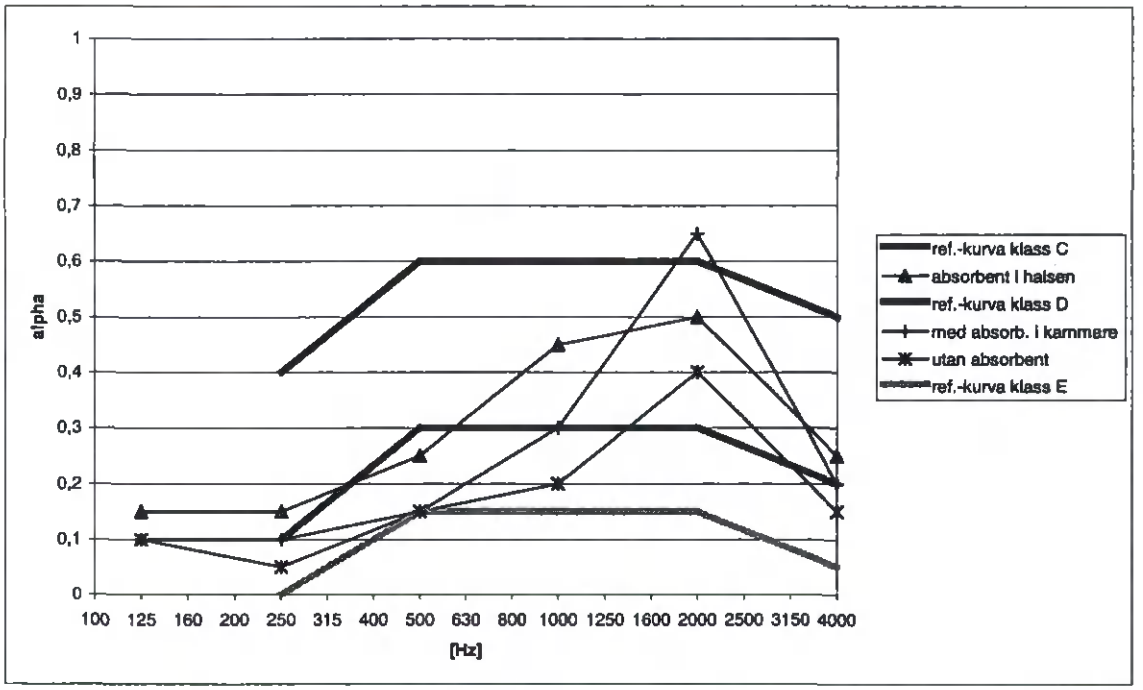
Högsta absorptionen mättes upp för hampdrev i kammaren vid frekvensen 2000Hz och bandbredden till en till två oktav.

Med Stepisol i halsen erhölls en lägre absorptionsfaktorer vid frekvensen 2000Hz och en bandbredd av fyra till fem oktav.

Lägsta absorptionsfaktorn erhölls för alternativet utan absorbentmaterial i hals och kammare.

För värdering av absorptionsegenskaper måste de i tersbandet uppmätta värdena räknas om till oktavbandet (aritmetiskt medelvärdesbildning). En referenskurva förskjuts i steg av 0,05 så långt som möjligt uppåt tills summan av de negativa avvikelserna (d v s alla värden som ligger under referenskurvan) är mindre eller lika med 0,1. Den värderade absorptionsfaktorn α_w är definierad som det värdet av den förskjutna referenskurvan vid frekvensen 500Hz.

Figur 3 visar absorptionsfaktorn α för de tre mätningarna M1, M2 och M3. Absorptionsfaktorn har räknats om från ters- till oktavband. Referenskurvorna för tre olika absorptionsklasser är inritade. Varje nivå utmärker det lägsta läget av referenskurvan för respektive absorptionsklass.



Figur 3 Absorptionsfaktor α (i oktavband) och referenskurvor för absorptionsklasser (lägsta möjliga läget för respektive klass).

6 Kommentarer och slutsatser

6.1 Diskussion

Resultaten bekräftar att vedertagna beräkningsregler och antaganden stämmer. Detta innebär att det är möjligt att genom lämpligt val av geometriska dimensioner justera systemets resonansfrekvens och därmed styra absorptionen till ett visst område. I föreliggande fall var resonansfrekvensen beräknad till ca 1900Hz, vilket bekräftas genom kurvornas maxvärden vid just den frekvensen (jämför Figur 2).

Mätning M1
Med Stepisol i halsen erhölls ett relativt bredbandigt förlopp för absorptionsfaktorn. Genom val av lämpliga dimensioner kan absorptionskurvans mittfrekvens anpassas. Tillsammans med det bredbandiga förloppet kan krav för utrymmen med låg till medelhög absorption uppfyllas. Absorptionen som uppnås motsvarar klassen D enligt svensk standard SS-EN ISO 11654 (se Figur 3). Storleksordningen kan jämföras med cementbundna träfiberskivor.

Mätning M2
Enligt de teoretiska beräkningarna skall absorption utan absorbentmaterial inne i resonatorn i det närmaste vara obefintlig. Vid genomförd mätning fanns det rester av Stepisol kvar i halsen. Mätvärden för detta fall kan därför anses vara för höga. Kurvan visar dock tydligt resonansfrekvensens läge i form av en spets vid ca 2000Hz.

Mätning M3
Med absorbent av typ "drev" i kammaren erhölls intressanta värden. Kammaren var vid mättillfället endast fylld till ca 60% med drev. Absorptionsklassen blir här klass E. En ökad fyllningsgrad – kanske t o m en överfyllning – medför troligen en ökad absorption i ett bredare frekvensband med möjligheten att eventuellt uppnå absorptionsklass D.

Resultaten sammanfattas i Tabell 1:

Tabell 1 Resultat.

		Absorptionsklass	Absorptionsfaktor α_w
M1	Stepisol i halsen	D	0,30
M2	drev i kammaren	E	0,20 H
M3	utan absorbent	E	0,20

6.2 Möjliga användningsområden

I Svensk Standard SS 025267 respektive 68 anges krav på akustiska egenskaper för olika typer av lokaler. Kraven ges i form av procentuell del av takyta som måste vara täckta med absorbent av en viss absorptionsklass. Kraven återges sammanfattningsvis i Tabell 2.

Absorptionsklasser som åstadkommits under försöket var klass D och E. Gemensamt för alla tre fallen är att absorptionen är liten vid låga frekvenser.

Med de nuvarande egenskaperna kan olika användningsmöjligheter tänkas, eftersom det ligger i produktens natur att alltid 100% av takytan är absorberande. Eftersom sambandet mellan absorptionsyta A_M och absorptionskoefficienten α är linjärt (se avsnitt *Teori*), motsvarar en yta, täckt med en absorbent ur klassen D till 100%, en jämförbar yta som är endast täckt till 50% med absorbentmaterial ur klassen C. Det innebär att en användning av profilerade ytor i korridorer, hisshall och trapphus är fullt tänkbar.

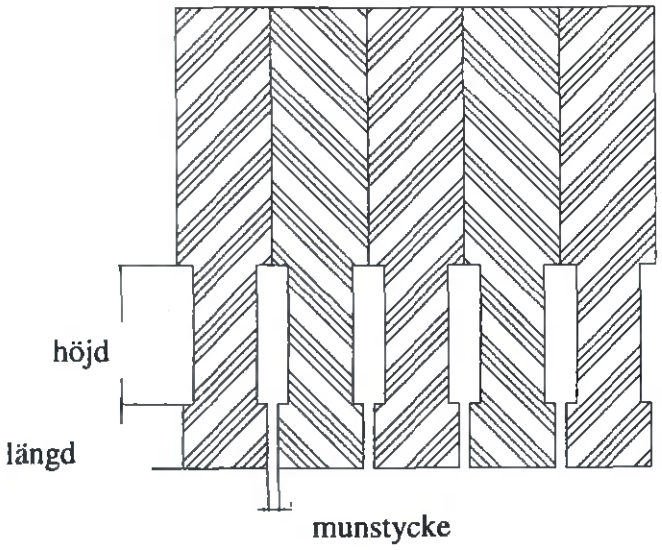
Kraven som finns i de olika standarderna (bl a SS 025267, SS 025268, BBR94, etc) anger krav på efterklangstiden i form av den nödvändiga absorptionsytan i relation till rummets takyta. Detta innebär, att absorbentmaterialet inte uteslutande får vara placerade i taket utan även i andra ytor i rummet för att uppnå den erforderliga efterklangstiden. Absorptionen av bjälklaget kan ses som en del av den totala absorptionen och om ytterligare absorberande material ingår i den akustiska dimensioneringen av rummet så ökar användningsmöjligheterna betydligt.

Tabell 2 Krav på absorbentarea enligt SS 025267 respektive 68.

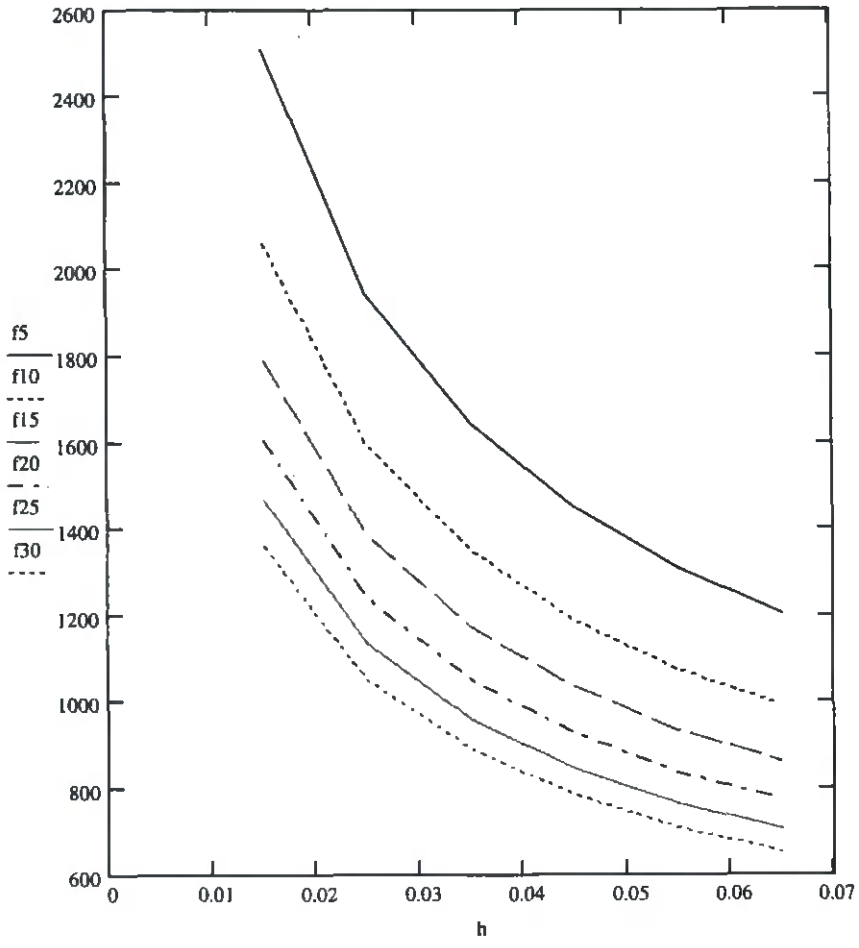
Typ av lokal	Absorbentklass	Andel av takyta	
6.2.1.1 VÅRDLOKALER			
Korridor, trapphus	B	60%	
Konferensrum, vilrum, etc.	B	40%	
6.2.1.2 UNDERVISNINGSLOKALER			
Korridor, trapphus, omklädningsrum, etc.	B	60%	
Kontorsrum, konferensrum, vilrum, etc.	B	40%	
6.2.1.3 KONTORSLOKALER		Ljudklass A	Ljudklass B
Kontorsrum	B	40%	-
Konferensrum, vilrum, etc.	B	50%	50%
Korridor, hisshall, etc.	C	50%	50%
6.2.1.4 HOTELL			
Trapphus	C	50%	50%
Korridor	C	90%	90%
6.2.1.5 BOSTÄDER			
Trapphus	A	60%	40%
	B	70%	50%
	C	90%	60%

I varje fall verkar det vara fördelaktigt att ändra de geometriska måtten hos urfräsningen. Genom att öka volymen i kammaren förskjuts resonansfrekvensen till lägre frekvenser. Enligt beräkningarna skulle det vara möjligt att få resonansfrekvenser kring 800Hz (se Figur 5). Därigenom ökar marginalen för vilken absorptionsklassen D uppfylls. Vidare tester och utveckling kan t o m leda fram till resultat i absorptionsklass C.

För geometriska mått, vilka ingick i beräkningen, se Figur 4.



Figur 4 Sektion genom bjälklag med infrästa rektangulära spår på undersidan.



Figur 5 Resonansfrekvensen som funktion av kammarens höjd h (15 till 65 mm) för olika halslängder (5 till 30 mm).

7 Referenser

SS 025267	Byggakustik – Ljudklassning av utrymmen i byggnader – Bostäder
SS 025268	Byggakustik – Ljudklassning av utrymmen i byggnader – Vårdlokaler, undervisningslokaler, dag- och fritidshem, kontor och hotell
SS-EN 20354	Byggakustik – Mätning av ljudabsorption i efterklangsrum
SS-EN ISO 11654	Byggakustik – Ljudabsorbenter – Värdering av mätresultat och klassindelning

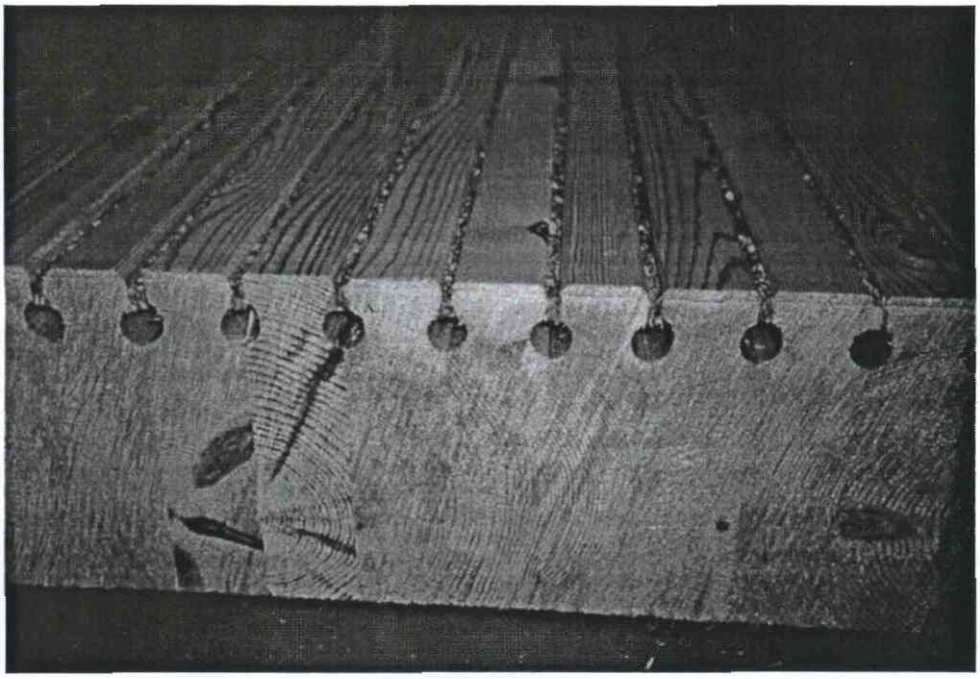


Bild 1 Detalj av bjälklaget vid mätning M1: Stepisol i halsen.

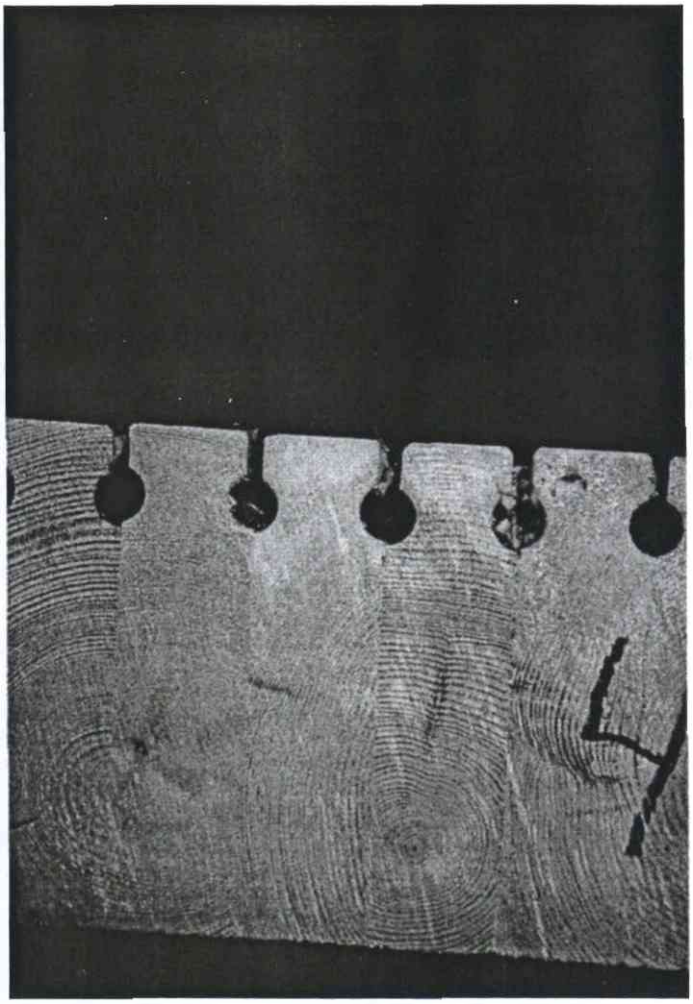


Bild 2 Detalj av bjälklaget vid mätning M2: Stepisol har skurits bort, ingen absorbent i halsen eller kammare.

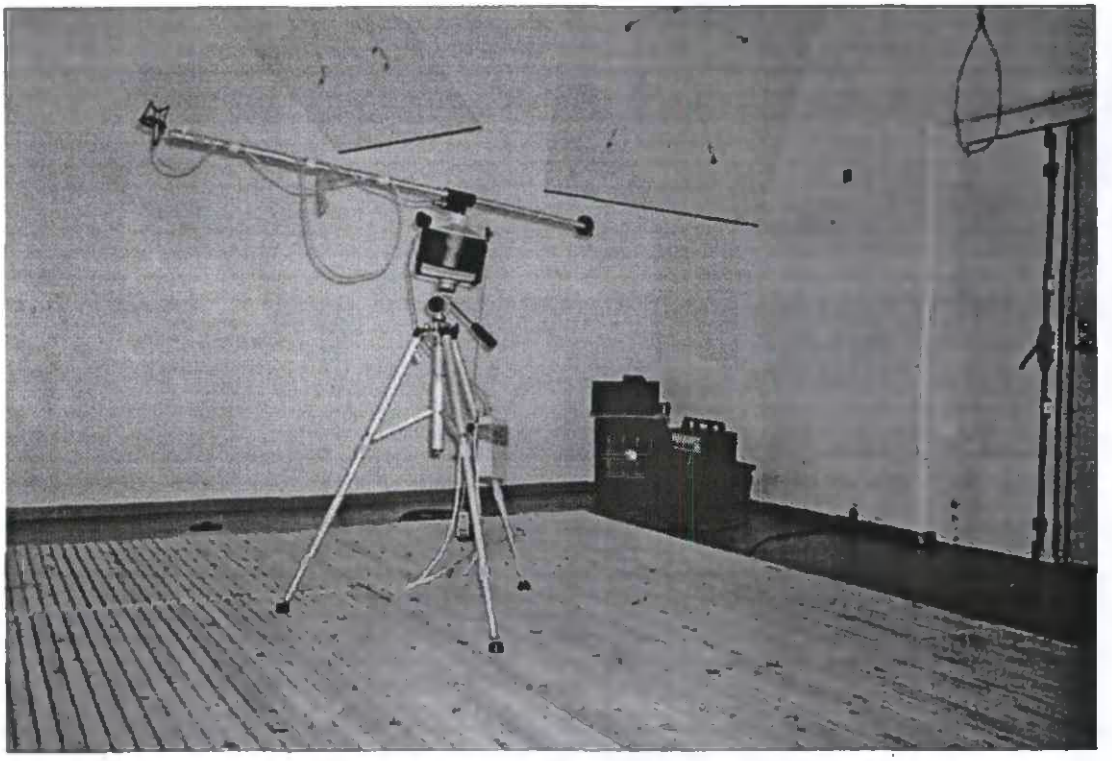


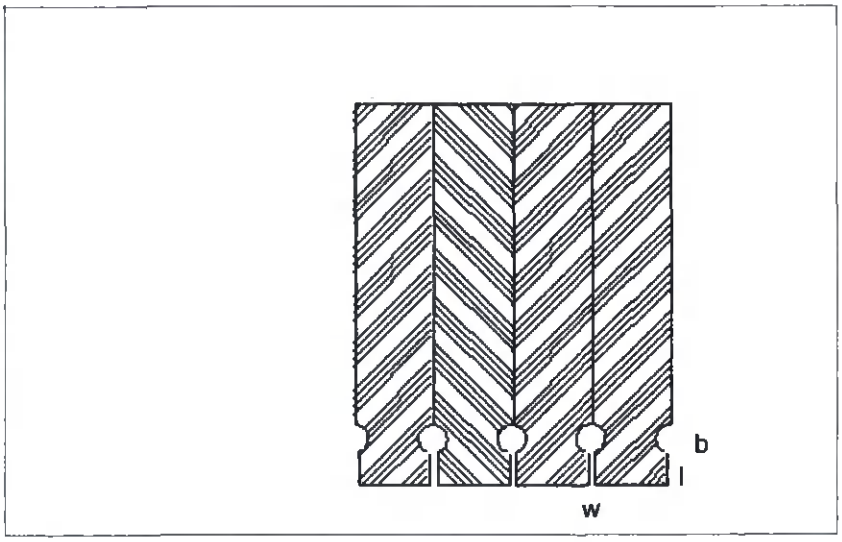
Bild 3 Mätuppsättning i efterklangrummet i Luleå Tekniska Högskolans akustiklab: bjälklagselementen ligger på golvet, ovanpå det står mikrofonen. I bakgrunden syns högtalare och förstärkare liksom några av de diffusörpanel som hänger från taket.

Bild 4 Detalj av bjälklaget vid mätning M3: Hampdrevet läggs in i kammaren.

Beräkning av resonansfrekvensen

velocity of sound in air: $c := 340\frac{m}{s}$

length of the slits: $l_s := 1\frac{m}{m}$



length of the neck: $l := 15 \cdot mm$

width of the slits: $w := 5mm$

cc dist. betw. the slitses: $d := 42mm$

radius of the cavity: $b := 8mm$

end correction: $\delta := \frac{-2w}{\pi} \cdot \ln\left(\sin\left(\frac{\pi w}{2 \cdot d}\right)\right)$

volume of the cavity: $V := \pi \cdot b^2 \cdot l_s$ $V = 2.011 \times 10^{-4}\, m^2$

resonance frequency:

$$f := \frac{c}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{w \cdot l_s}{V \cdot (l + \delta)}} \qquad f = 1891Hz$$

Beräkning av absorptionsfaktor

MÄTRESULTAT

$$A_M = 0.163\frac{V}{T}$$

A_M= Absorptionsyta = $S\alpha$

S = Area

α = Absorptionskoefficient

V = Mätrummets volym

T = Efterklangstid

V = 209 m^3

S = 11,73 m^2

$$\alpha = 0.163\frac{V}{S}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)$$

Frekvenser i tersband [Hz]	tomtrum EKT, [s]	absorbent i halsen EKT, [s]	α - värdet	utan absorbent EKT, [s]	α - värdet	med absorb. i kammare EKT, [s]	α - vårdet
100	10,0	6,6	0,15	7,6	0,09	7,6	0,09
125	10,1	6,2	0,18	7,0	0,13	6,8	0,14
160	8,4	6,4	0,11	7,2	0,06	6,9	0,08
200	7,8	6,1	0,10	7,3	0,03	6,6	0,07
250	8,2	5,8	0,15	6,8	0,07	6,4	0,10
315	9,0	6,1	0,15	6,9	0,10	6,6	0,12
400	8,9	5,3	0,22	6,4	0,13	6,0	0,16
500	9,5	5,1	0,26	6,4	0,15	6,2	0,16
630	9,5	4,6	0,33	6,3	0,16	5,8	0,20
800	8,8	4,0	0,40	6,1	0,15	5,4	0,21
1000	8,4	3,6	0,46	5,6	0,17	4,6	0,29
1250	7,8	3,3	0,51	4,8	0,23	3,8	0,39
1600	7,0	3,1	0,52	3,5	0,41	2,7	0,66
2000	6,1	2,9	0,53	3,0	0,49	2,4	0,73
2500	5,4	2,9	0,46	3,3	0,34	2,7	0,54
3150	4,5	2,8	0,39	3,2	0,26	2,9	0,36
4000	3,5	2,4	0,38	2,8	0,21	2,7	0,25

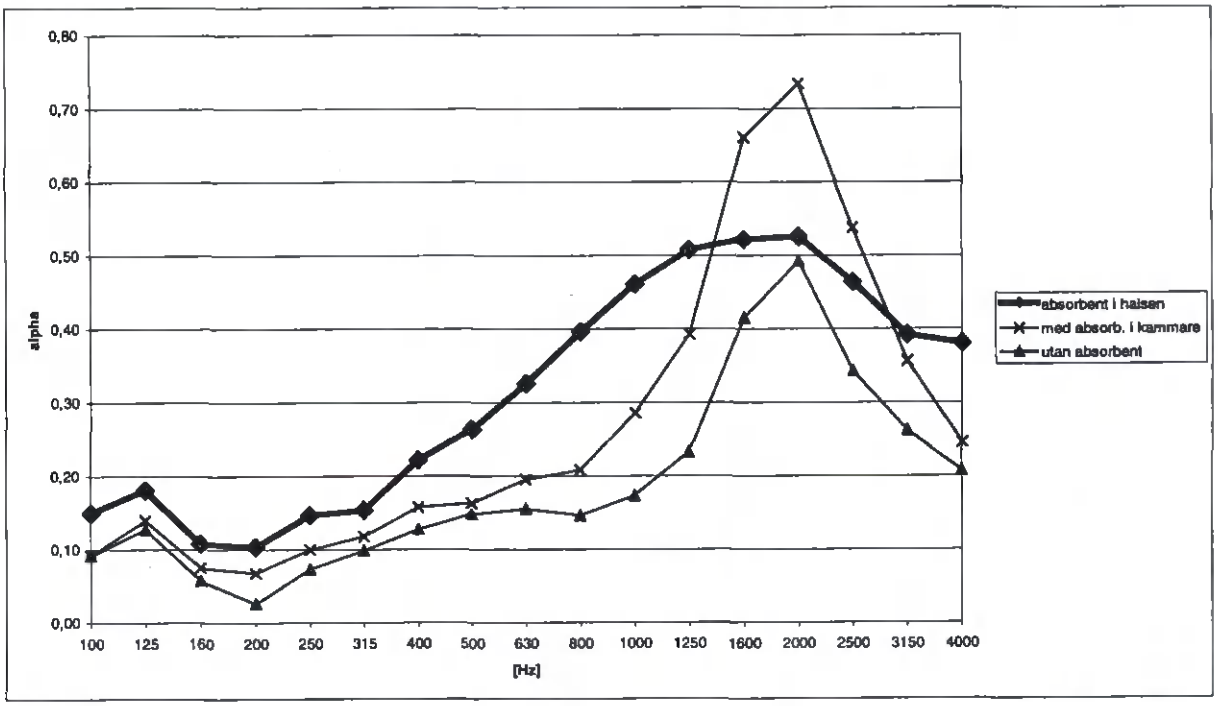


Fig. 1 Absorptionsfaktor α för de tre testade moment

Värdering av absorption

ABSORPTIONSKLASS (enligt SS-EN ISO 11654)

$$\alpha_{pi} = \frac{(\alpha_{i1} + \alpha_{i2} + \alpha_{i3})}{3}$$

Frekvenser i tersband [Hz]	absorbent i halsen: α - värdet i tersband α_s	absorbent i halsen: α - värdet i oktavband α_p	utan absorbent: α - värdet i tersband α_s	utan absorbent: α - värdet i oktavband α_p	med absorb. i kammare: α - värdet i tersband α_s	med absorb. i kammare: α - värdet i oktavband α_p	ref.-kurva C α_w	ref.-kurva D α_w	ref.-kurva E α_w
100	0,15		0,09		0,09				
125	0,18	0,15	0,13	0,10	0,14	0,10			
160	0,11		0,06		0,08				
200	0,10		0,03		0,07				
250	0,15	0,15	0,07	0,05	0,10	0,10	0,4	0,1	0
315	0,15		0,10		0,12				
400	0,22		0,13		0,16				
500	0,26	0,25	0,15	0,15	0,16	0,15	0,6	0,3	0,15
630	0,33		0,16		0,20				
800	0,40		0,15		0,21				
1000	0,46	0,45	0,17	0,20	0,29	0,30	0,6	0,3	0,15
1250	0,51		0,23		0,39				
1600	0,52		0,41		0,66				
2000	0,53	0,50	0,49	0,40	0,73	0,65	0,6	0,3	0,15
2500	0,46		0,34		0,54				
3150	0,39		0,26		0,36				
4000	0,38	0,25	0,21	0,15	0,25	0,20	0,5	0,2	0,05

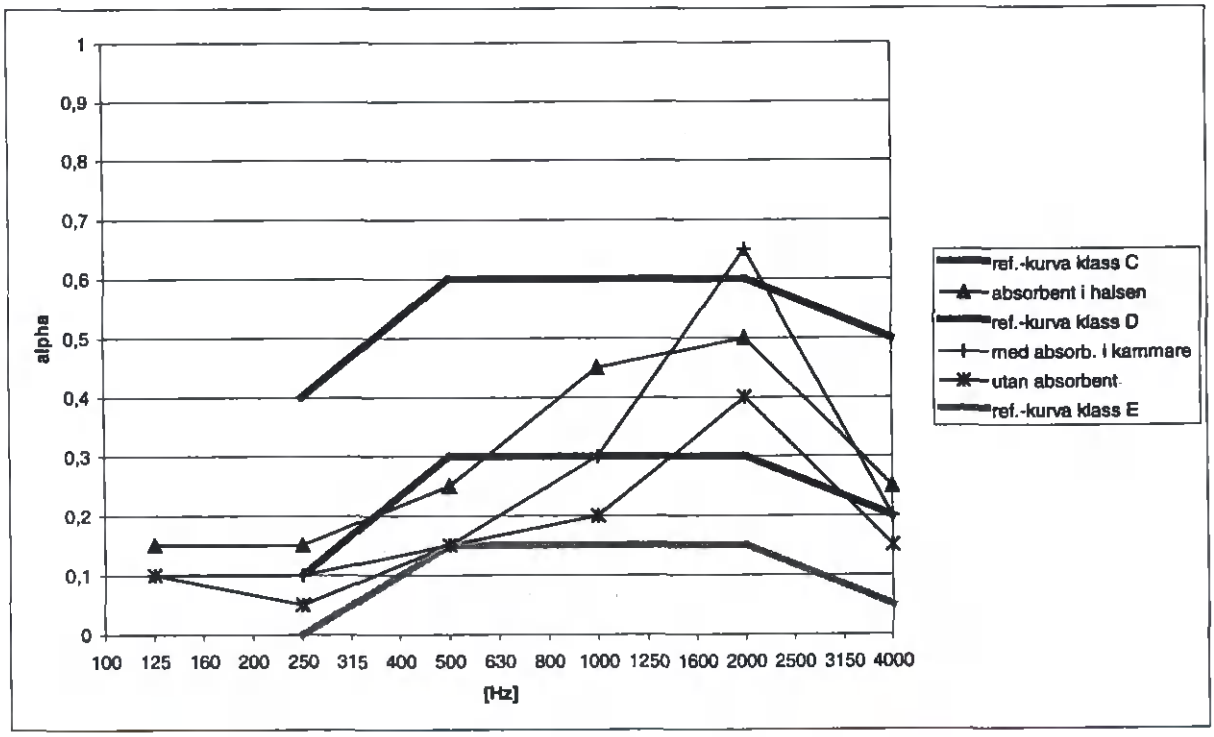


Fig. 1 Absorptionsfaktorer a i oktavband och referenskurvorna i lägsta läge för respektive absorptionsklass.

Tabell 1 Värderade absorptionskoefficienter som entalsvärden ("H" är en formfaktor enligt SS-EN ISO 11654).

värderad absorptionskoefficient α_w	
med absorbent i halsen	$\alpha_w = 0,30$
utan absorbent	$\alpha_w = 0,20$
med absorbent i kammare	$\alpha_w = 0,20$ (H)

Detta digitala dokument
skapades med anslag från

**Stiftelsen Nils och Dorthi
Troëdssons forskningsfond**

Trätek

INSTITUTET FÖR TRÄTEKNISK FORSKNING

Box 5609, 114 86 STOCKHOLM
Besöksadress: Drottning Kristinas väg 67
Telefon: 08-762 18 00
Telefax: 08-762 18 01

Vidéum, 351 96 VÄXJÖ
Besöksadress: P G Vejdes väg 15
Telefon: 0470-72 33 45
Telefax: 0470-72 33 46

Skeria 2, 931 77 SKELLEFTE
Besöksadress: Laboratorgränd
Telefon: 0910-58 52 00
Telefax: 0910-58 52 65