



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

**R4:1979**

# **Ljudisoleringsegenskaper hos flytande golv**

**Sten Ljunggren**

**Byggforskningen**

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND  
SEKTIONEN FOR VÄG- OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET

R4:1979

LJUDISOLERINGSEGENSKAPER HOS FLYTANDE GOLV

Sten Ljunggren

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
770144-3 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Ingemanssons Ingenjörbyrå AB, Stockholm.

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND  
BERGMANNS FOR VAG- OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R4:1979

ISBN 91-540-2958-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1978 860791

## INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	5	
BETECKNINGAR	9	
1	INTRODUKTION	11
2	MÄTNINGAR	15
2.1	Hammarapparat	15
2.2	Mättrum	17
2.3	Mätning av stegljudsnivå	19
2.4	Kontroll av trumljud	20
2.5	Bestämning av förlustfaktor	22
2.6	Mätobjekt	24
2.7	Mätresultat	28
3	JÄMFÖRELSE AV MÄTRESULTATEN MED TEORETISKA MODELLER	29
3.1	Aktuella teoretiska arbeten	29
3.2	Inverkan av förlustfaktorerna	34
3.3	Isoleringsförbättringens frekvens- beroende	36
3.4	Inverkan av mellanskiktets tjocklek	37
3.5	Inverkan av strålningsfaktorerna $\sigma_1$ och $\sigma_3$	38
3.6	Inverkan av mellanskiktets egenskaper	41
4	UTVÄRDERING AV KOPPLINGSFAKTORN	43
5	FULLSKALEMÄTNINGAR	47
APPENDIX: SAMTLIGA MODELLMÄTNINGSRESULTAT	48	
LITTERATURFÖRTECKNING	59	



## SAMMANFATTNING

I rapporten redovisas en serie modellmätningar tillsammans med några fullskaleprov. Samtliga konstruktioner har varit av typen tungt överskikt på mycket mjukt och kontinuerligt mellanskikt; som typexempel kan tas 10 cm betong på 10 cm mineralull. Isoleringmätningarna har gjorts med en hammarapparat. Resultaten kan sammanfattas på följande sätt.

A Frekvenser över gränsfrekvensen

Gränsfrekvensen  $f_g$  för betong kan skrivas

$$f_g = \frac{18}{h} \text{ Hz}$$

där  $h$  är plattans tjocklek i m.

Av främst mättekniska skäl har största intresset ägnats just detta fall.

## 1 Bullerkällans placering

Vid användningen av flytande golv kan man tänka sig två typfall. I det första fallet exciteras det bärande bjälklaget direkt vid sidan om det aktuella utrymmet och det flytande golvet används som ett avstrålningsskydd. Detta användningssätt är vanligt vid manöverrum intill kraftigt stomljudsstrande maskiner.

I det andra fallet exciteras övergolvet direkt; som typfall kan nämnas fläktrum, där aggregaten placeras direkt på övergolvet.

De resultat som erhållits vid modellmätningarna tyder på att det flytande golvet ger samma isoleringsförbättring i båda fallen.

## 2 Överplattans tjocklek

Ökande plattjocklek ger ökande isolering enligt

$$\Delta L_1 = 30 \log \frac{h_1}{h_0} \quad \text{dB}$$

där  $\Delta L_1$  är isoleringsförbättringen vid en ökning av överplattans tjocklek från  $h_0$  till  $h_1$ .

## 3 Mellanskiktets tjocklek

Mellanskiktets tjocklek har ingen betydelse för ljudisoleringen.

## 4 Överplattans förlustfaktor

Ökande förlustfaktor hos överplattan ger ökande isolering enligt

$$\Delta L_2 = 10 \log \frac{\eta_1}{\eta_0} \quad \text{dB}$$

där  $\Delta L_2$  är isoleringsförbättringen vid en ökning av förlustfaktorn från  $\eta_0$  till  $\eta_1$ .

## 5 Mineralullens egenskaper

Mineralullens kvalitet har kraftig betydelse för ljudisoleringen. Någon systematisk undersökning har dock ej utförts.

## B. Frekvenser under gränsfrekvensen

Med den valda modelltekniken är de erhållna resultaten något osäkra. Det står dock klart att

ökande plattjocklek ger ökande isolering  
 ökande mellanskiktstjocklek ger ökande isolering  
 förlustfaktorn hos överplattan kan vara utan betydelse

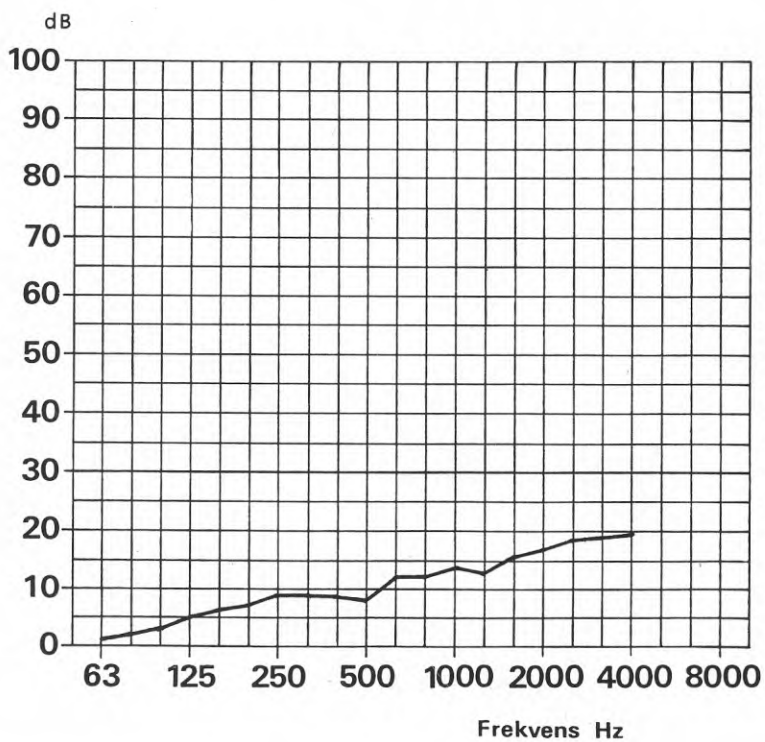
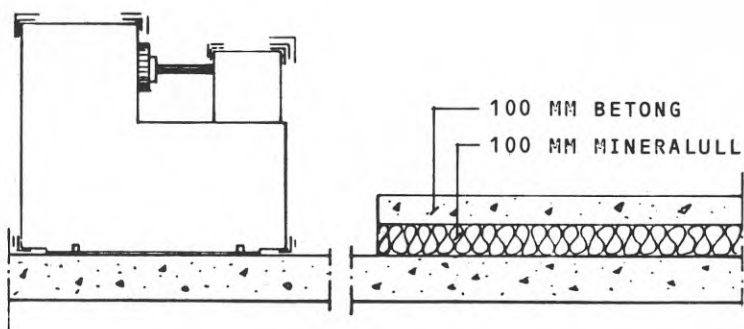
mellanskiktets egenskaper kan vara utan betydelse.



C Resultat från fullskalemätningar

I figur 1 redovisas medelvärden av uppmätt isoleringsförbättring i 3 fall med 100 mm betong på 100 mm stenull med volymvikten 150 kg/m<sup>3</sup>. Gjutningen av överplattorna övervakades noga, och det kan därför uteslutas att några fasta förbindningar mellan överplatta och råbjälklag har uppstått. Överplattorna var vid mätfallet helt fria, utan några väggar, aggregat etc, och förlustfaktorn därför mycket låg; utgående från mätningar på andra liknande konstruktioner bedöms den ligga i intervallet 0,5 till 1,0 %.

Figur 1. Uppmätt isoleringsförbättring. Det flytande golvet fungerar som avstrålningsskydd. Medelvärde av 3 konstruktioner.



## BETECKNINGAR

A	$\omega m_1 Z_1 \eta_1 / \rho c \sigma_1$
B	Böjstyvhet per enhetsbredd ( $Eh^3/12(1-\nu^2)$ )
C	Se ekvation (3.17)
E	Dynamisk E-modul
F	Yttre kraft, effektivvärde
K	Frekvensoberoende konstant
L	Nivå
P	Utstrålad ljudeffekt
S	Yta
Z	Mekanisk kraftimpedans vid punktexcitering
a	Kantlängd
b	Kantlängd
c	Utbredningshastigheten hos ljud i luft
f	Frekvens
h	Plattjocklek
j	$\sqrt{-1}$
k	Vågtal
m	Ytvikt
n	Modtäthet
s	Styvhet
v	Hastighet
x	Koordinat
y	Koordinat
$\Delta$	Differens
$\alpha$	Absorptionsfaktor
$\eta$	Förlustfaktor, definierad enligt Cremer & Heckl, 1967
$\kappa$	Kopplingsfaktor, se ekvation (4.1)
$\lambda$	Våglängd
$\nu$	Tvärkontraktionstalet
$\pi$	3.14...
$\rho$	Densitet
$\sigma$	Strålningsfaktor
$\omega$	$2\pi f$

## Index

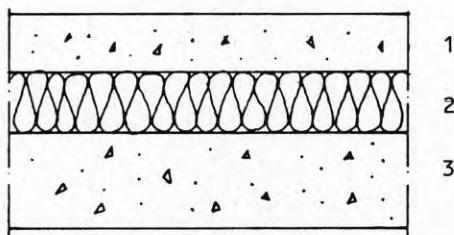
g	Gräns
o	Referens
r	Resonans
v	Hastighet
1	Platta 1 (överplatta, se figur 2)
2	Mellanskikt
3	Platta 3 (undre platta, se figur 2)

## 1 INTRODUKTION

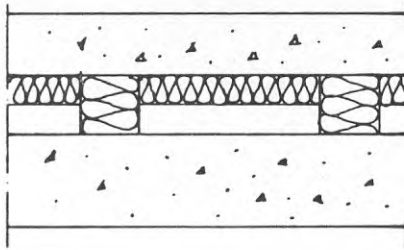
Ljudisoleringen hos normala betongbjälklag är inte speciellt kraftigt beroende av bjälklagets tjocklek; i praktiken gäller att en ökning från 20 cm till exempelvis 25 cm ger en isoleringsförbättring om endast ca 3 dB. För att få en större förbättring måste man därför tillgripa andra medel, och då vanligtvis ett s k flytande golv eller, om så är möjligt, ett undertak.

Begreppet flytande golv är inte entydigt definierat, då olika konstruktionsprinciper avses inom den allmänna byggnadstekniken resp inom akustiken. Ett i akustisk mening flytande golv består av ett fjädrande mellanskikt (2) och ovanpå detta en överplatta (1), se figur 2. I Sverige består det fjädrande skiktet vanligen av mineralull och överplattan är ofta av betong. Vardera skiktet har i allmänhet en tjocklek om ca 50-100 mm.

I utlandet förekommer ofta andra konstruktioner. Speciellt i Västtyskland tycks det vara vanligt med avsevärt klenare konstruktioner som t ex 30-40 mm betong eller gjutasfalt på ett eller flera lager profilerad papp.



Figur 2. Definition av det flytande golvets delement, 1 = överplatta, 2 = mellanskikt, 3 = råbjälklag (bärande konstruktion)



Figur 3. Flytande golv med icke-kontinuerlig fjäder

Det har ofta förekommit att den ljudisolerande effekten hos ett flytande golv har spolierats på grund av s k ljudbryggor, dvs fasta förbindningar mellan överplatta och råbjälklag. Sådana förbindningar kan vara av många olika slag; speciellt har observerats inverkan av betong som runnit igenom isoleringen, avloppsbrunnar, vertikala rör och kanaler m m. För att kunna undvika detta har man utvecklat speciella prefabricerade konstruktioner, där överplattan i princip vilar på ett antal fjädrar, se figur 3. Den akustiska effekten hos ett flytande golv av denna typ skiljer sig från den med en kontinuerlig fjäder (Vér, 1969, 1972). I det följande diskuteras endast fallet med kontinuerlig fjäder.

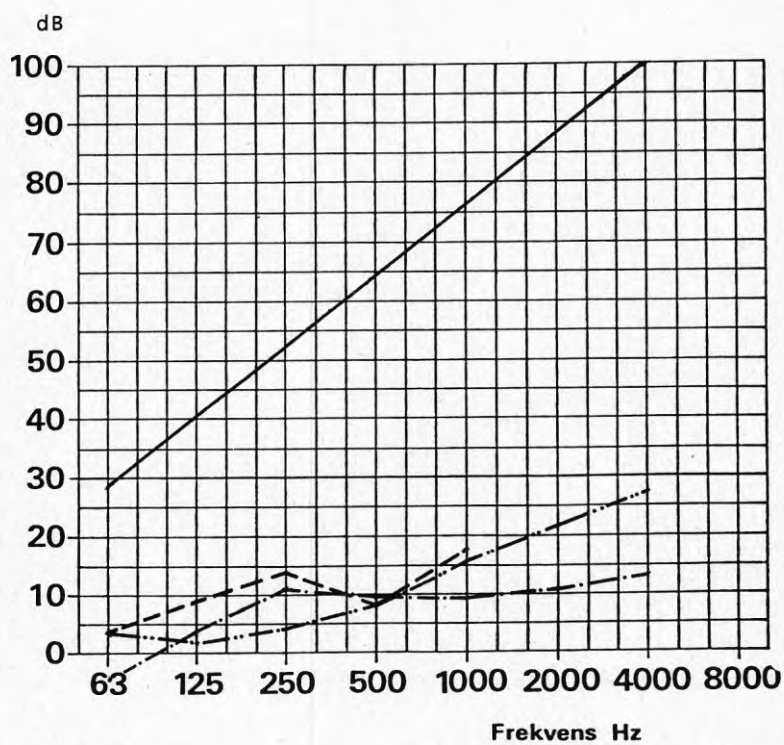
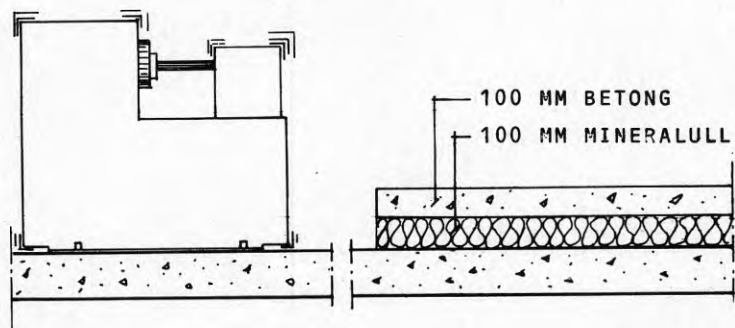
Den nivåminskande effekten  $\Delta L$  av ett flytande golv brukar ofta skrivas

$$\Delta L = 40 \log f/f_r \quad (1:1)$$

där  $f$  är aktuell frekvens och  $f_r$  resonansfrekvensen för massa-fjäder-massasystemet (se exempelvis Cremer & Heckl, 1967). Denna nivåminskning uppnås sällan i praktiken, vilket ofta brukar skyllas på inverkan av oavsiktliga ljudbryggor.

Den isoleringsförbättring som anges i figur 4 är tämligen typisk för det resultat som erhålles under goda förhållanden. Det skall dock observeras att inverkan av

Figur 4. Beräknad isoleringsförbättring (—) och uppmätt (-----, -.-.-, -.-).



ljudbryggor här är utesluten, eftersom gjutningen övervakades noggrant. Det är således uppenbart, att den enkla formeln (1:1) inte alls beskriver det flytande golvet isoleringsförbättring korrekt.

För att närmare undersöka förhållandena har en serie modellmätningar utförts, vilka redovisas i denna rapport.



## 2           MODELLMÄTNINGAR

2.1       Hammarapparat

Vid mätningarna användes den modell av standardapparatens i skala 1:4 som konstruerats av Svensson (1978). De viktigaste uppgifterna för apparaten framgår av tabell 1.

Kraftspektrum för denna hammarapparat har direkt bestämts av Svensson med hjälp av en piezoelektrisk givare. Som en jämförelse har också kraften beräknats ur en mätning av stegljudsnivån från en platta med kända data. Båda dessa värden framgår av tabell 2, tillsammans med de värden som använts vid beräkningarna.

Skillnaden mellan resultatet från kraftgivare respektive modellmätning vid höga frekvenser beror sannolikt på lokal fjädring i modellbjälklaget.

För att inte högfrekvent mekaniskt slammer från hammarapparatens skall påverka mätresultaten, har apparaten försetts med en enkel huv bestående av 50 mm stenull, volymvikt 150 kg/m<sup>3</sup>, invändigt belagd med stapelfiber.

## Tabell 1

Data för modellhammarapparat (enligt Svensson, 1978)

---

Hammarmassa	15,6 g
Antal hammare	5 st
c/c-avstånd mellan hammare	25 mm
Diameter hos hammarhuvud	7,5 mm
Krökningsradie hos hammarhuvud	125 mm (sfärisk kontaktyta)
Fallhöjd	10 mm
Repetitionsfrekvens	40 Hz

---

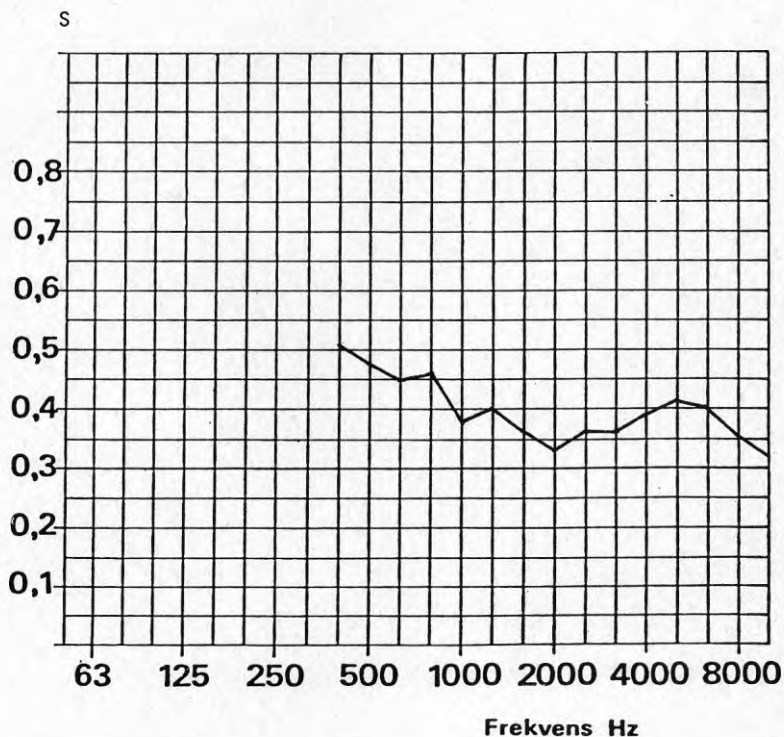
Tabell 2

Kraftspektrum för använd modellhammarapparat

Frekvens Hz	20 log F i dB rel l N (effektivvärde)		
	Enligt Svensson (1978)	Ur modell- mätning	Använda värden
400	0	-	0
500	2	-	2
630	4	-	4
800	4	-	4
1000	6	-	6
1250	6	4,9	6
1600	5	3,9	5
2000	8	4,3	8
2500	8	6,7	8
3150	9	7,8	8
4000	10	7,2	7
5000	11	6,9	7
6300	12	6,2	6
8000	10	7,3	7

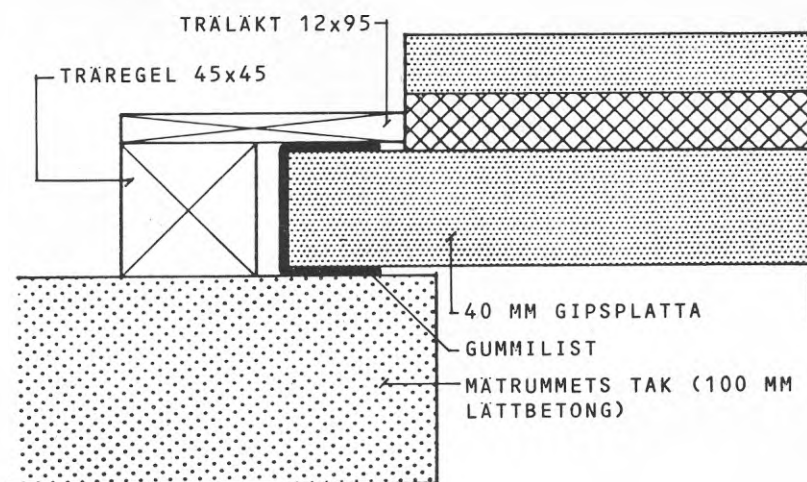
## 2.2 Mättrum

Mättrummet är uppbyggt av 100 mm lättbetong med innermåttan 1,40 m (bredd) x 0,94 m (djup) x 1,21 m (höjd) dvs volymen 1,59 m<sup>3</sup>. Provöppningens storlek är 0,90 x 0,70 m<sup>2</sup>. Rummet är invändigt lackerat; efterklangstiden framgår av figur 4.



Figur 4. Uppmätt efterklangstid hos modellmättrum.

Infästningen av mätobjektet redovisas i figur 5.



Figur 5. Detalj av mätöppningen.

### 2.3 Mätning av stegljudsnivå

Hammarapparatens placering har normalt varit i de 5 positioner som används vid fullskalemätningar enligt SIS 02 52 52. Dock har vid de dubbelsidigt dämpade plattorna endast 1 position använts (i en centralt belägen ursparing av dämpbeläggningsen).

3 fasta mikrofonpositioner har använts vid mätningarna. Efterklangstiden har genomgående bestämts med brus.

Den normerade stegljudsnivån  $L_{0,63}$  har beräknats enligt

$$L_{0,63} = L_M + 10 \log \frac{A_M}{0,63} \quad (2.1)$$

där  $A_M$  är rummets ekvivalenta absorptionsyta.

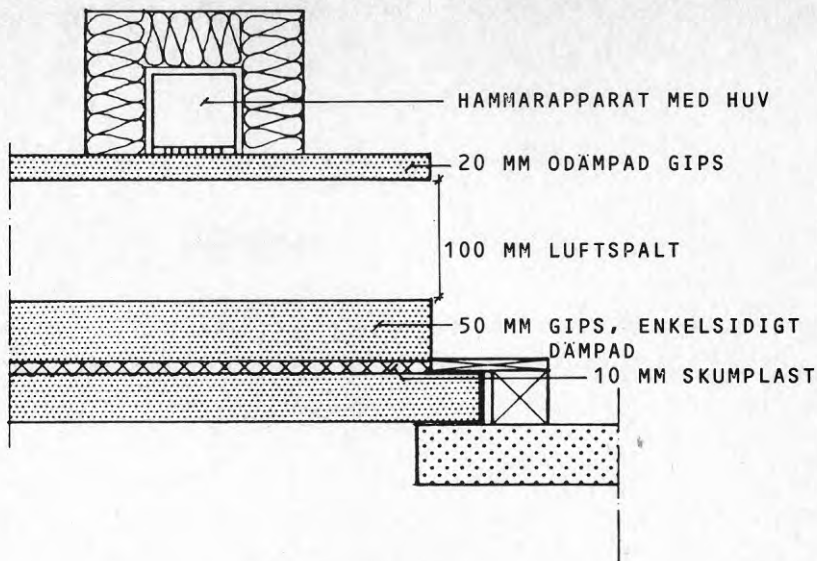
## 2.4 Kontroll av trumljud

Vid modellmätningar av detta slag är det naturligtvis av vital betydelse, att det mekaniska slamret från hammarapparaten samt trumljudet från överplattans ovansida inte påverkar nivån inne i mätrummet. För att kontrollera denna bakgrundsnivå har en kontrollmätning utförts.

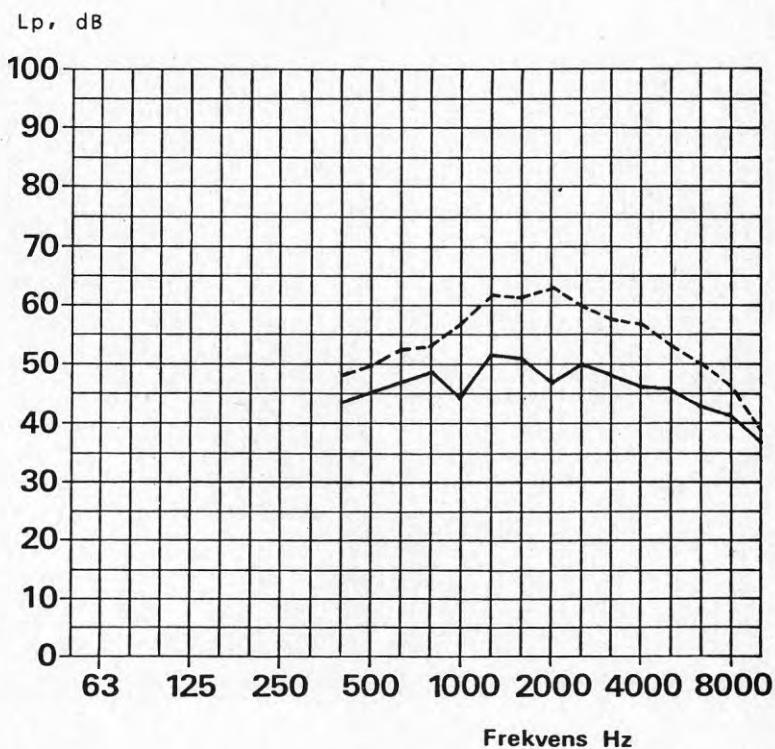
Denna mätning utfördes med en överplatta av 50 mm gips, dämpad på ena sidan, samt 10 mm skumplast. Hammarapparaten placerades på en annan platta, 20 mm gips odämpad, och denna platta hängdes upp ca 100 mm ovanför den dämpade gipsplattan, figur 6. Den nivå, som då registrerades ligger väsentligt under den nivå som erhållas när plattan med hammarapparaten placeras direkt på skumplasten, se figur 7. Det skall här observeras, att trumljudsnivån inte är helt representativ, eftersom vid denna mätning ljudutstrålningen sker från plattans båda sidor.

Vid klenare plattor ökar trumljudsnivån. Mätresultaten visar dock att även stegljudsnivån ökar i samma utsträckning. Det omvända förhållandet gäller vid tjocka och dämpade plattor.

I det följande har därför inga korrektioner gjorts för inverkan av trumljudet.



Figur 6. Mätupställning för kontroll av trumljudet



Figur 7. Uppmätt trumljud (—), respektive stegljudsnivå med överkonstruktionen 20 mm odämpad gips på 10 mm skumplast (-----).



## 2.5 Bestämning av förlustfaktor

Hos de odämpade plattorna har förlustfaktorn bestämts genom registrering av efterklangsförloppet efter en stöt. Signalen från accelerometern (Brüel & Kjaer typ 4344) registrerades därvid på en bandspelare vid hög bandhastighet. Vid analysen sänktes sedan bandhastigheten till en tiondel av den ursprungliga och efterklangstiden utvärderades med en realtidsanalysator General Radio 1921 och en bordsdator Hewlett-Packard 9830 A.

De dämpade överplattorna har haft en tämligen hög förlustfaktor på upp till ca 0,4. Efterklangstiderna vid höga frekvenser blir då mycket korta; exempelvis erhålles vid 1000 Hz en efterklangstid om  $5,5 \cdot 10^{-3}$  s. För att få fram förlustfaktorns frekvensberoende måste en filtrering ske varvid hänsyn måste tas till filtrets insvängningstid. Denna insvängningstid kan skrivas  $\frac{1}{2\Delta f}$  där  $\Delta f$  är filtrets bandbredd. För oktavbandet vid 1000 Hz erhålles därför en insvängningstid på  $7,1 \cdot 10^{-3}$  s. Det är således orimligt att här bestämma förlustfaktorn genom att mäta efterklangstiden.

I stället kan man tänka sig att mäta ljudutstrålningen från plattan när den exciteras av en känd kraft. För en platta med inte alltför hög förlustfaktor kan den från båda sidor utstrålade ljudeffekten  $P$  skrivas (Cremer & Heckl, 1967)

$$P = \frac{2F^2 \rho c \sigma}{Z_0 \omega m \eta} \quad (2.2)$$

Denna teknik har använts vid höga frekvenser för de enkelsidigt dämpade plattorna med en förlustfaktor på upp till ca 10 %.



Sambandet (2.2) är härlett för ett efterklangsfält och behöver därför inte gälla vid mycket höga förlustfaktorer hos plattan. Förlustfaktorn har i detta fall därför endast beräknats teoretiskt för de dubbelsidigt dämpade plattorna.

2.6 Mätobjekt

Plattorna har gjutits i gips med retardationsmedel (Hebolit). Den dynamiska E-modulen har bestämts för ett 40 mm tjockt provstycke i komplex-modulapparat till

$$E = 8 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$$

Specifika vikten varierade något med plattjockleken, se tabell 3.

Tabell 3

Specifik vikt för använda plattor

Tjocklek mm	Specifik vikt kg/m <sup>3</sup>
10	1205
20	1260
40	1380
50	1380

För att öka förlustfaktorn hos plattorna applicerades en aluminiumplåt med ett dämplim på den ena respektive på båda sidor. Fabrikantdata för dämplimet framgår av tabell 4.

Tabell 4

Av fabrikanter (JAFA Dämp teknik) uppgivna data vid 20°C för dämplim JAFA A1

Frekvens Hz	Skjuvmodul N/m <sup>2</sup>	Förlustfaktor
100	$2 \cdot 10^6$	1,0
400	$4 \cdot 10^6$	1,5
1000	$6 \cdot 10^6$	1,5

Tjockleken hos dämplimmet var i samtliga fall ca 0,5 mm; tjockleken hos aluminiumplåten var 0,5, 1,0, 3,0 mm för 10, 20 resp 50 mm gipsplatta.

Uppmätta förlustfaktorer för odämpade plattor framgår ur tabell 5. Förlustfaktorn visade sig vara oberoende av skumplastens tjocklek; angivna värden är medelvärden.

I tabell 5 redovisas även förlustfaktorn för enkelsidigt dämpade plattor. Denna har erhållits genom uppmätning av utstrålad ljudeffekt i ett efterklangsrum vid frekvenser över gränsfrekvensen, och genom efterklangstidsmätning vid lägre frekvenser.

De angivna värdena för de dubbelsidigt dämpade plattorna är beräknade teoretiskt.

Med det använda dämpmaterialet ökas även plattornas böjstyvhet. Denna ökning är mest betydelsefull vid den dubbelsidiga beläggningen, då den uppgår till beräkningsmässigt 4,5 gånger; vid enkelsidig beläggning ökar styvheten med en faktor 2,6.

Tabell 5

Förlustfaktorn för olika plattor

Frekvens Hz	Förlustfaktor i %							
	Odämpade plattor			Enkelsidigt dämpade			Dubbelsidigt dämpade	
	10 mm	20 mm	50 mm	10 mm	20 mm	50 mm	10 mm	20 mm
400	2,2	1,8	1,5	-	-	-	40	40
500	2,2	1,7	1,4	5,5	5,5	-	40	40
630	2,2	1,5	1,3	4,4	5,0	7,0	40	40
800	2,3	1,3	1,0	3,1	4,6	6,9	40	40
1000	2,0	1,2	0,8	4,4	3,7	5,5	40	40
1250	1,8	0,9	0,7	4,4	4,7	4,7	40	40
1600	1,3	0,7	0,6	3,4	6,3	4,4	30	30
2000	1,1	0,7	0,5	3,3	7,8	3,8	30	30
2500	0,9	0,6	0,5	9,3	3,7	-	30	30
3150	0,9	0,5	0,5	3,3	2,4	-	20	20
4000	0,7	0,5	0,4	3,0	1,7	-	20	20
5000	0,6	0,4	0,4	1,9	-	-	20	20
6300	0,4	0,4	0,4	1,9	-	-	15	15
8000	0,4	0,4	0,3	1,9	-	-	15	15

Den använda skumplasten är av fabrikat Becker-Akustik, typ OU 202. Den dynamiska styvheten har bestämts genom uppmätning av resonansfrekvensen vid en belastning om 12,0 kg/m<sup>2</sup>, se tabell 6. Mätningarna gjordes på ett prov med dimensionerna 200x200 mm<sup>2</sup>.

Tabell 6

Uppmätt dynamisk styvhet hos använd skumplast vid en belastning om 12,0 kg/m<sup>2</sup>

Beteckning	Tjocklek mm	Styvhet N/m	Resonansfrekvens Hz
OU-202-1001	10	$3,0 \cdot 10^6$	80
OU-202-2001	20	$2,1 \cdot 10^6$	67
OU-202-5002	50	$1,4 \cdot 10^6$	54

## 2.7 Mätresultat

Samtliga mätresultat redovisas i ett appendix i slutet av rapporten.

Figur 22 ger sålunda den normerade stegljudsnivån för råbjälklaget. I de följande figurerna redovisas den sänkning av stegljudsnivån som övergolvet ger relativt råbjälklaget.

### 3 JÄMFÖRELSE AV MÄTRESULTATEN MED TEORETISKA MO- DELLER

#### 3.1 Aktuella teoretiska arbeten

Det säkerligen mest kända arbetet inom detta område publicerades 1952 av Cremer, jämför också Cremer & Heckl (1967). Cremer betraktar här två parallella plattor med oändlig utsträckning. Kopplingen mellan plattorna förutsättes ske lokalt, dvs den kraft  $p(x_0; y_0)$  som verkar på den icke exciterade plattan förutsättes bero endast på mellanskiktets styvhet och de båda plattornas förflyttningar vid samma  $x$ - och  $y$ -koordinater (figur 8)

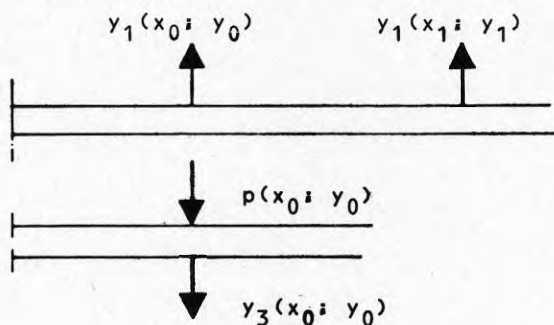
$$p(x_0; y_0) = -s \left\{ y_1(x_0; y_0) + y_3(x_0; y_0) \right\} \quad (3.1)$$

Cremer's analys visar, att denna ansats ger en egensvängning, som skall uppträda vid frekvensen  $f_r$

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{s \left( \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_3} \right)} \quad (3.2)$$

och att isoleringsförbättringen  $\Delta L$  på grund av det flytande golvet vid frekvenser ovanför  $f_r$  kan skrivas

$$\Delta L = 40 \log f/f_r \quad (3.3)$$



Figur 8. Definition av kraft och förflyttningar.

En liknande modell har analyserats av Nilsson (1977). Till skillnad från Cremer har dock Nilsson räknat med plattor av ändlig storlek men fortfarande med en lokal koppling mellan plattorna. För fallet att överplattan är tunnare (eg har kortare böjvågslängd) än råbjälklaget, som förutsätts vara det drivande elementet, kan Nilssons resultat för frekvenser väl över  $f_r$  skrivas

$$\Delta L_V = 40 \log f/f_r + 20 \log \left| \left( \frac{f}{f_{g1}} \right)^2 \left( \frac{f_{g3}}{f_{g1}} \right)^2 - 1 \right| \text{ dB} \quad (3.4)$$

om överplattan är kraftigt dämpad och

$$\Delta L_V = 10 \log \left( \frac{f^{9/2} (f_{g1}^2 - f_{g3}^2)^2 \eta_1 2\pi ab}{f_r^4 f_{g1}^2 f_{g3}^{3/2} c(a+b)} \right) \text{ dB} \quad (3.5)$$

för fallet svagt dämpad överplatta.

När den drivande plattan är tunnare modifieras uttrycket för den svagt dämpade plattan till

$$\Delta L_V = 10 \log \left( \frac{f^{9/2} (f_{g1}^2 - f_{g3}^2)^2 \eta_1 2\pi ab}{f_r^4 f_{g1}^3 f_{g3}^{1/2} c(a+b)} \right) \text{ dB} \quad (3.6)$$

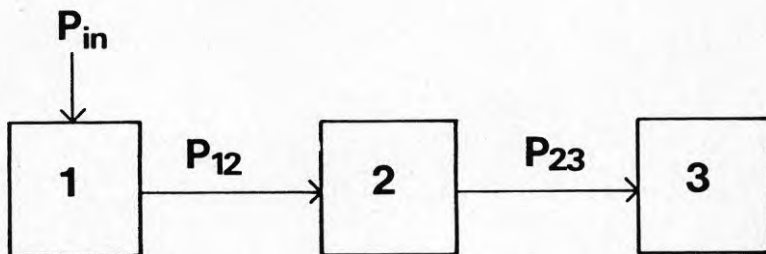
Det skall observeras att Nilssons resultat uttrycks i  $\Delta L_V$ , dvs skillnad i hastighetsnivå mellan de båda plattorna och inte direkt i isoleringsförbättringen på grund av överplattan  $\Delta L$ , där även skillnaden i strålningsfaktor kommer in.



En modell som liknar Nilssons har tidigare analyserats av Foti (1957). Detta arbete skrevs dock innan Skudrzyk (1958) publicerat sitt grundläggande arbete om vibrationer hos resonanta plattor, och Fotis resultat står också i vissa avseenden inte i överensstämmelse med modernare teorier. Detta gäller speciellt beträffande inverkan av de inre förlusterna.

Ett helt annat betraktelsesätt har tillämpats av Price & Crocker (1970). Man applicerade här den statistiska energianalysen på luftljudsisoleringen hos en dubbelvägg med en ljudabsorbent längs väggens kanter. Mellanskiktet förutsattes därvid uppträda som ett resonant element även vid mycket smala mellanskikt. Som en följd av detta blir kraften  $p(x_0; y_0)$  i figur 8 beroende inte bara av  $y_1(x_0; y_0)$  och  $y_3(x_0; y_0)$  utan också av  $y_1(x_1; y_1)$  och överskiktets strålningssegenskaper.

För den här aktuella problemställningen med mekanisk excitering av överplattan och utvärdering av skillnaden i hastighetsnivå gäller en modell enligt figur 9.



Figur 9. System av resonanta oscillatorer för beräkning av energiflöde från övergolv (1) via mellanskikt (2) till underkonstruktionen (3).

Enligt Price & Crocker kan vi skriva om överplattan är drivande

$$\frac{\langle v_3^3 \rangle}{\langle v_1^2 \rangle} = \frac{m_1}{m_3} \frac{\eta_{12} \eta_{32}}{\eta_2 \eta_3} \frac{n_3}{n_2} \quad (3.7)$$

För kopplingsförlustfaktorerna  $\eta_{12}$  och  $\eta_{32}$  gäller definitionsmässigt

$$\eta_{12} = \frac{\rho c \sigma_1}{\omega m_1} \quad (3.8)$$

$$\eta_{32} = \frac{\rho c \sigma_3}{\omega m_3} \quad (3.9)$$

Modtätheten  $n_3$  i platta 3 kan skrivas (Cremer & Heckl, 1967)

$$n_3 = \frac{2S m_3}{\pi Z_3} \quad (3.10)$$

För fallet tunt mellanskikt,  $f < \frac{c}{2h_2}$ , blir modtätheten i mellanskiktet (Price & Crocker)

$$n_2 = \frac{S \omega}{2\pi c^2} \quad (3.11)$$

och med absorberant (absorptionsfaktor  $\alpha$ ) runt kanterna av mellanskiktet anges förlustfaktorn för mellanskiktet till

$$\eta_2 = \frac{c \alpha}{h_2 \pi \omega} \quad (3.12)$$

Med insättning av dessa uttryck erhålles

$$\frac{\langle v_3^2 \rangle}{\langle v_1^2 \rangle} = \frac{\rho^2 c^3 \sigma_1 \sigma_3 4\pi h_2}{\omega^2 m_3 Z_3 n_3 \alpha} \quad (3.13)$$

och

$$\Delta L_V = 10 \log \left( \frac{\omega^2 m_3 z_3 \eta_3^\alpha}{\rho^2 c^3 \sigma_1 \sigma_3 4\pi h_2} \right) \quad \text{dB} \quad (3.14)$$

Om i stället mätningen görs så att  $L_1$  mätes vid excitering av platta 3 och  $L_2$  vid excitering av platta 1 måste en korrektion göras. Eftersom

$$\langle v_1^2 \rangle = \frac{F^2}{\omega m_1 \eta_1 z_1 S} \quad (3.15)$$

får vi skillnaden i hastighetsnivå  $\Delta L_V$

$$\begin{aligned} \Delta L_V = L_1 - L_2 &= 10 \log \frac{\omega^2 m_3 z_3 \eta_3^\alpha}{\rho^2 c^3 \sigma_1 \sigma_3 4\pi h_2} + \\ &+ 10 \log \frac{\omega m_1 \eta_1 z_1 S}{\omega m_3 \eta_3 z_3 S} = 10 \log \frac{\omega^2 m_1 z_1 \eta_1^\alpha}{\rho^2 c^3 \sigma_1 \sigma_3 4\pi h_2} \end{aligned} \quad (3.16)$$

Den uppmätta luftljudsisoleringen hos den dubbelvägg som undersökts av Price & Crocker (1970) visar mycket god överensstämmelse med teorin. Detta är något förvånande eftersom kantabsorptionen blir mycket hög vid högre frekvenser, och vi då knappast kan ha ett resonant ljudfält i mellanskiktet.

De viktigaste och lättast påvisbara skillnaderna i resultatet erhållet från SEA-modellen resp Cremer/Nils-sons modell är följande

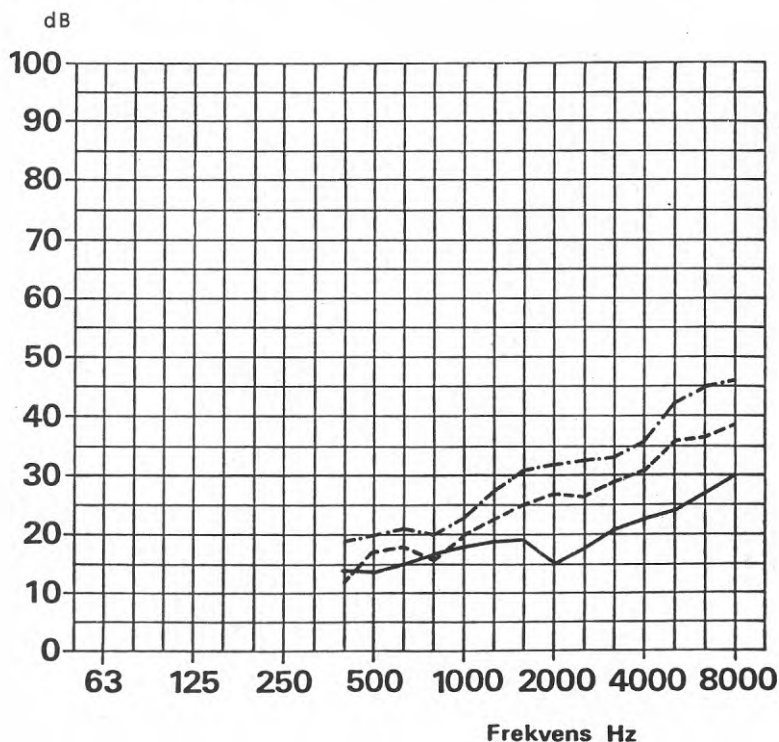
- A) ingen egensvängning vid frekvensen  $f_r$
- B) svagare frekvensberoende;  $20 \log f$  i stället för  $40 \log f$  resp  $45 \log f$
- C) inverkan av strålningsfaktorerna  $\sigma_1$  och  $\sigma_3$
- D) svagare inverkan av mellanskiktets tjocklek;  $10 \log h_2$  i stället för  $20 \log h_2$

Dessutom ingår ej förlustfaktorn i Cremers resultat.

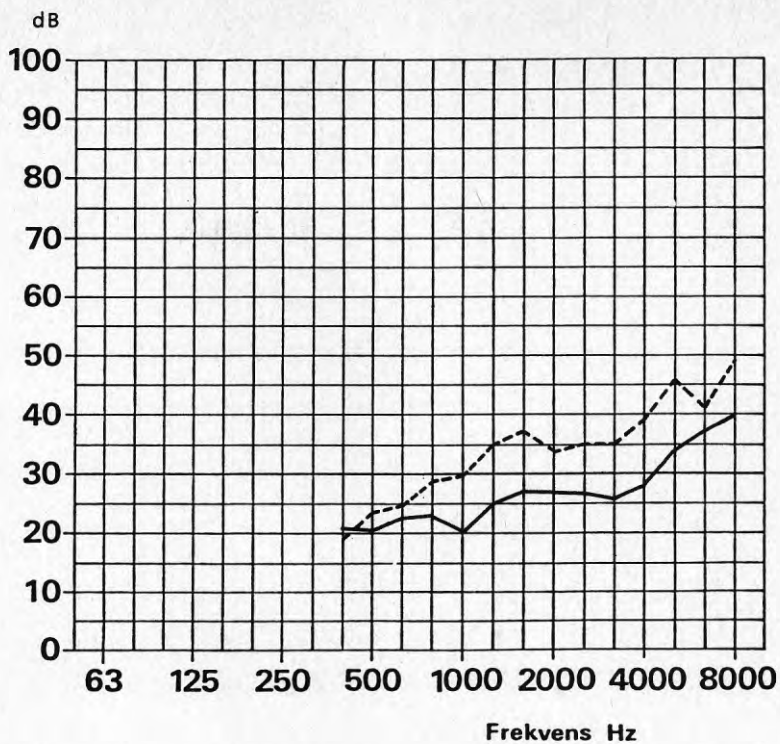
### 3.2 Inverkan av förlustfaktorn

Vid modellmätningarna undersöktes överplattor med olika förlustfaktorer  $\eta_1$ . Ett typiskt resultat framgår av figur 10. Vid höga frekvenser beror uppenbart isoleringsförbättringen på  $10 \log \eta_1$ . Vid låga frekvenser är förlustfaktorberoendet svagare. Det ligger nära till hands att misstänka, att det kraftiga beroendet på förlustfaktorn inträffar vid frekvenser över överplattans gränshfrekvens. Resultatet i figur 11 bekräftar att det kan vara på detta sätt.

Cremers modell är således inte tillämplig på detta system av relativt små plattor vid frekvenser över gränshfrekvensen.



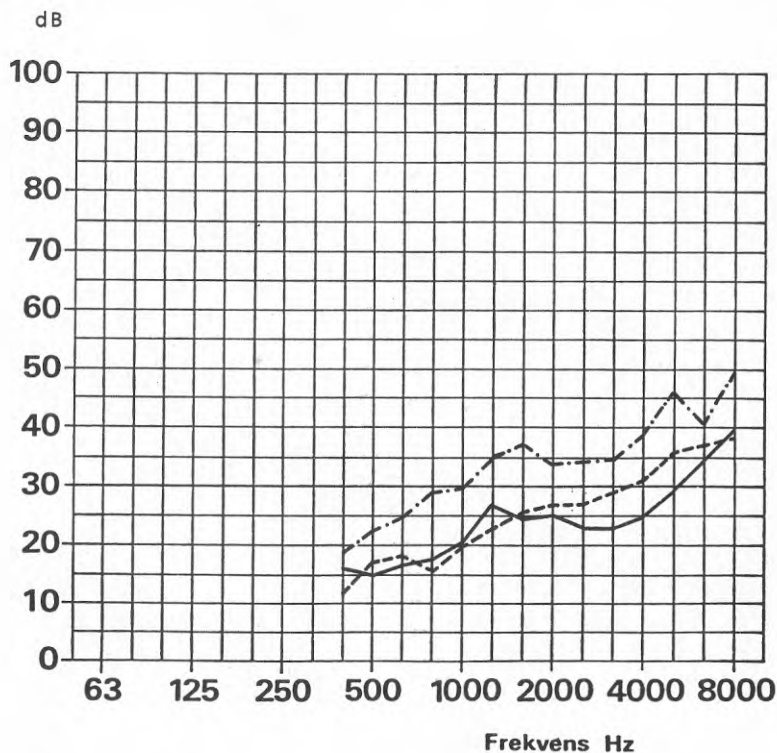
Figur 10. Uppmätt isoleringsförbättring för 20 mm gipsskiva på 20 mm skumplast. —  $\eta \approx 1\%$ ,  
 ----  $\eta \approx 5\%$ , -.-.-  $\eta \approx 20\%$ . Gränshfrekvensen för överplattan = 1250 Hz.



Figur 11. Uppmätt isoleringsförbättring för 50 mm gipsskiva på 20 mm skumplast. —  $\eta \approx 1\%$ ,  
 -----  $\eta \approx 5\%$ . Gränshfrekvensen för överplattan =  
 = 500 Hz.

### 3.3 Isoleringsförbättringens frekvensberoende

De i figur 10 och 11 redovisade kurvorna följer nära linjen  $\Delta L = 20 \log f/f_0$ . Samma resultat erhålles för plattor av olika tjocklek, se figur 12. SEA-modellen stämmer här alltså klart bättre än Cremer/Nilssons modell.



Figur 12. Uppmätt isoleringsförbättring för olika tjocka plattor, samtliga med  $\eta \approx 5\%$ .

20 mm skumplast. — 10 mm, ----- 20 mm,

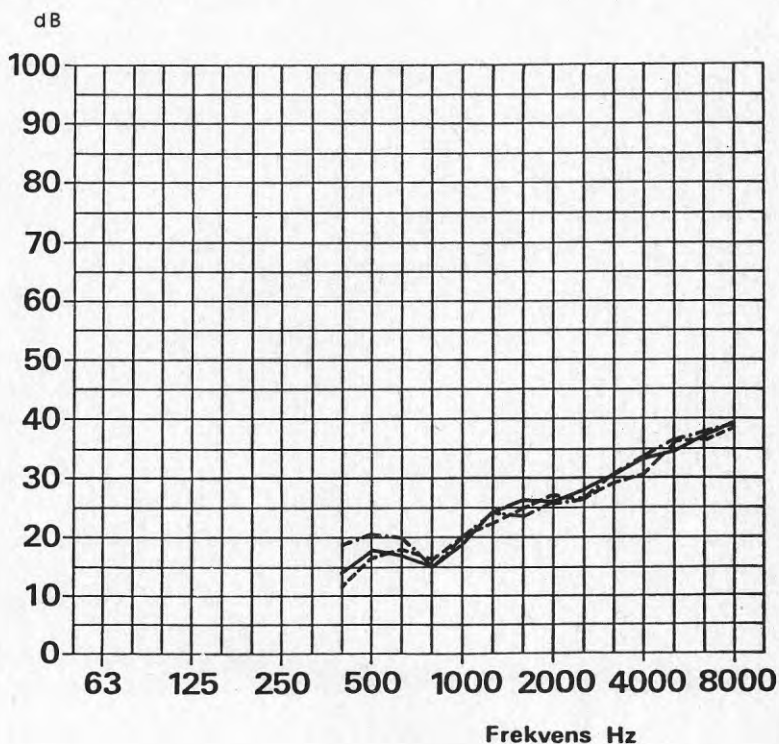
-.-.- 50 mm överplatta.



### 3.4 Inverkan av mellanskiktets tjocklek

Mellanskiktets tjocklek påverkar knappast den uppmätta isoleringsförbättringen vid frekvenser över överplattans gränsfrekvens. Ett typiskt exempel visas i figur 13.

Detta förhållande stämmer således varken med resultaten från SEA-modellen eller från Cremer/Nilssons modell. Det skall dock observeras, att tjockleksberoendet i SEA-modellen härstammar från uttrycket för förlustfaktorn, som endast gäller för fallet med kantabsorption.



Figur 13. Uppmätt isoleringsförbättring med 20 mm gipsplatta,  $\eta \approx 5\%$ .

— 10 mm skumplast, ----- 20 mm skumplast,  
 -.-.- 50 mm skumplast.

### 3.5 Inverkan av strålningsfaktorerna $\sigma_1$ och $\sigma_3$

Faktorn  $A = \frac{\omega m_1 z_1 \eta_1}{\rho c \sigma_1}$  i ekvation (3.16) kan lätt mätas upp genom att utstrålad effekt bestäms vid excitering med känd kraft. Det är då möjligt att testa termen

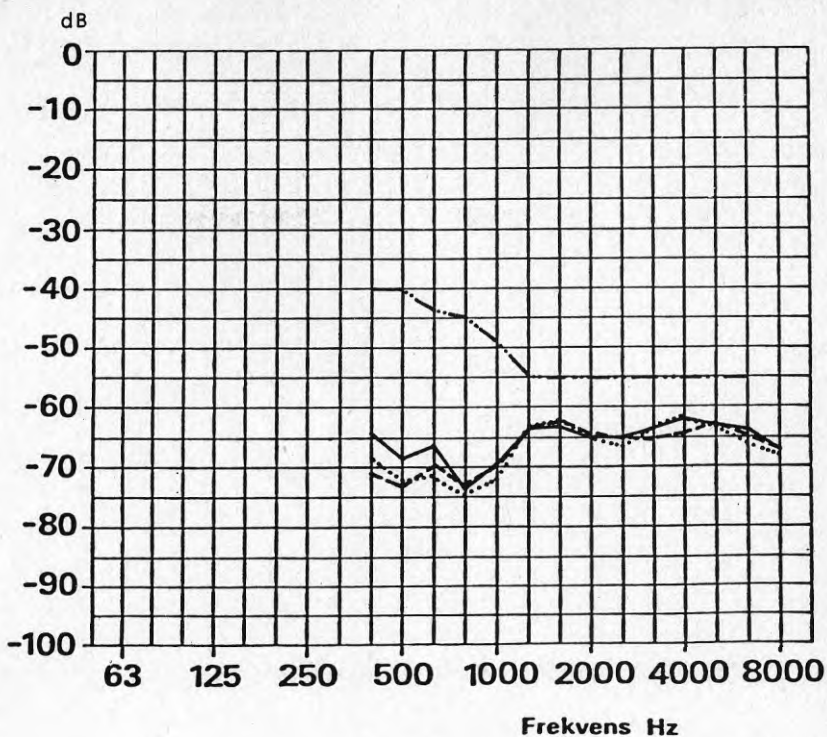
$$\Delta L_v - 10 \log A - 10 \log \omega = C \quad (3.17)$$

med avseende på frekvensberoendet. Håller då hypotesen om SEA-modellen bör faktorn C uppvisa samma frekvensvariationer som  $-10 \log \sigma_3$ .

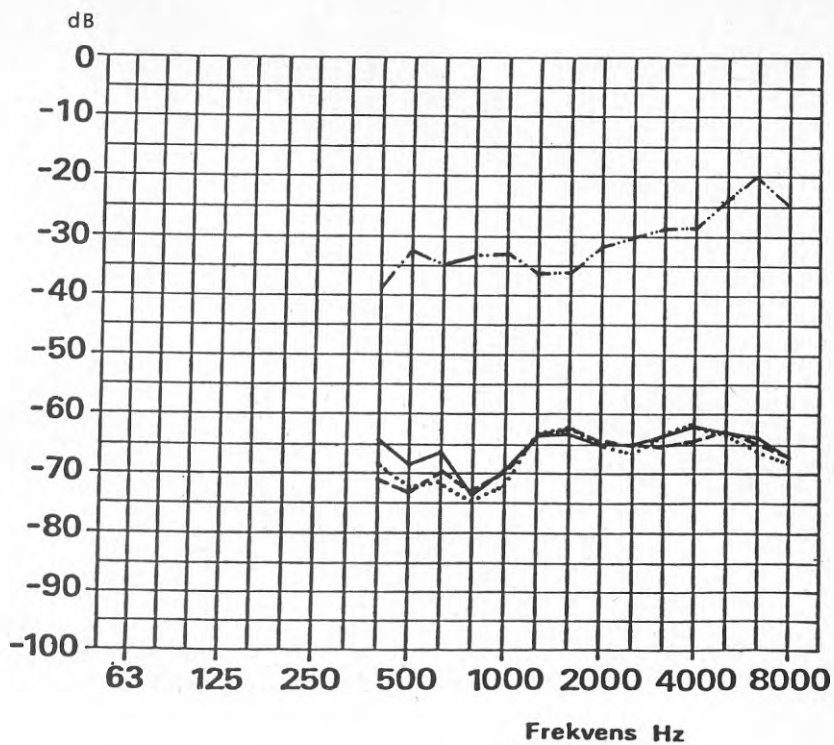
Detta program har utförts för de överplattor som dämpats på ena sidan. Ett typiskt exempel framgår ur figur 14. Faktorn  $\sigma_3$  har bestämts genom excitering av underplattan och uppmätning av utstrålad effekt. I diagrammet har också  $K_1 - 10 \log \sigma_3$  lagts in, där  $K_1$  är en arbiträr frekvensoberoende konstant.

Som synes är frekvensgången hos faktorn C helt skild från  $K_1 - 10 \log \sigma_3$ . Instrålningen från mellanskiktet till underplattan kan således troligen inte behandlas med SEA-modellen. Å andra sidan uppvisar faktorn C ungefär samma frekvensgång som faktorn  $-10 \log \frac{P}{F^2 \omega}$ , se figur 15. Även utstrålningen från platta 1 verkar således vara oberoende av strålningsfaktorn. Mätresultaten tyder således på att SEA-modellen ej kan tillämpas.





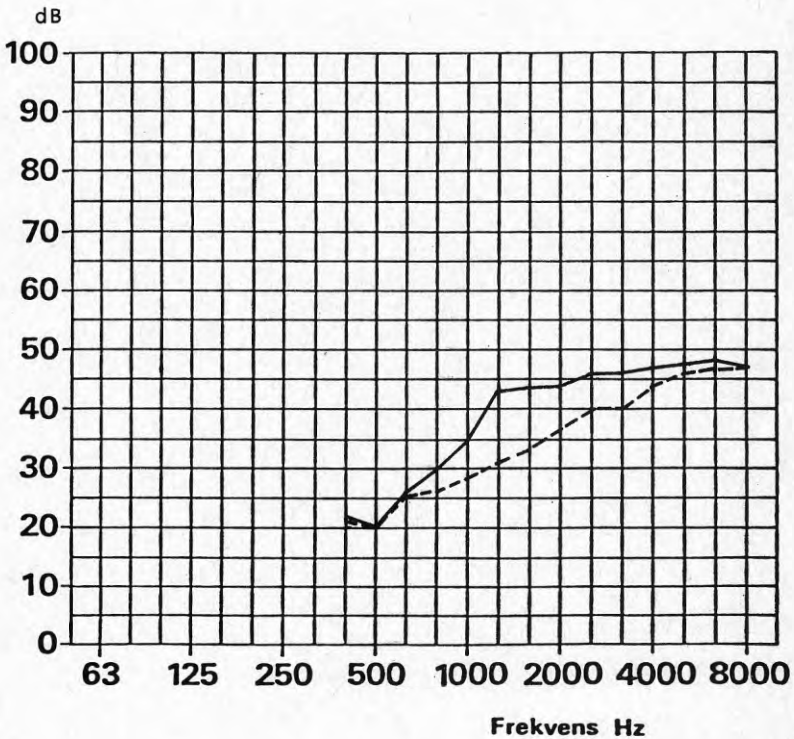
Figur 14. Faktorn C för 20 mm enkelsidigt dämpad platta på — 50 mm, ----- 20 mm resp -.-.- 10 mm skumplast, samt faktorn  $K_1 - 10 \log \sigma_3$  (-.-.-.).



Figur 15. Faktorn C för 20 mm enkelsidigt dämpad platta på — 50 mm, ----- 20 mm resp -.-.- 10 mm skumplast, samt faktorn  $K_2 - 10 \log \frac{P}{F^2 \omega}$  (-...-), där  $K_2$  är en arbiträr, frekvensoberoende konstant.

### 3.6 Inverkan av mellanskiktets egenskaper

I figur 16 visas resultatet från en mätning med olika mellanskikt (skumplast respektive mineralull) men i övrigt oförändrade parametrar. Skillnaden är avsevärd vid höga frekvenser men obetydlig vid låga. Vid höga frekvenser stämmer alltså resultatet ej överens med någon av de teoretiska modeller som berörts i avsnitt 3.1.



Figur 16. Uppmätt isoleringsförbättring för 10 mm enkelsidigt dämpad gipsplatta på — 50 mm mineralull, volymvikt 150 kg/m<sup>3</sup> respektive ---- 50 mm skumplast. Mätresultatet i mineralullsfallet är sannolikt påverkat av trumljudsstörningar vid frekvenser över 1250 Hz.



## 4 UTVÄRDERING AV KOPPLINGSFAKTORN

Inledningsvis förutsätts att platta 3 är exciterad, och att platta 1 och mellanskikt byggs på underplattan för att minska utstrålningen från denna, fall A i figur 17. Som arbetshypotes förutsätts nu att isoleringsförbättringen  $\Delta L$  vid frekvenser över plattornas gränsfrekvenser kan skrivas

$$\Delta L = 10 \log m_1 z_1 \eta_1 / \kappa \quad (4.1)$$

där  $\kappa$  beskriver kopplingen mellan de båda plattorna.

Vid fall B enligt figur 17 måste hänsyn tas till skillnaden i vibrationshastighet i de primärt exciterade plattorna. Eftersom

$$\langle v^2 \rangle = \frac{F^2}{\omega m z \eta S} \quad (4.2)$$

kan vi för fall B skriva

$$\begin{aligned} \Delta L &= 10 \log m_3 z_3 \eta_3 / \kappa + 10 \log \frac{\omega m_1 z_1 \eta_1 S F^2}{\omega m_3 z_3 \eta_3 S F^2} = \\ &= 10 \log m_1 z_1 \eta_1 / \kappa \end{aligned} \quad (4.3)$$

Vi får alltså här samma isoleringsförbättring för de båda fallen, vilket också är nödvändigt med hänsyn till de reciprocitetssamband som gäller för dessa fall.

Med ovanstående hypotes kan  $\kappa$  betraktas som

oberoende av överplattans egenskaper  
 oberoende av mellanskiktets tjocklek  
 beroende av mellanskiktets egenskaper

allt enligt resonemangen i avsnitt 3.

I figur 18 framgår medelvärde av kopplingsfaktorn för skumplast beräknad enligt

$$10 \log \kappa = 10 \log m_1 z_1 \eta_1 - \Delta L \quad (4.4)$$

Vid denna beräkning har följande mätningar medtagits

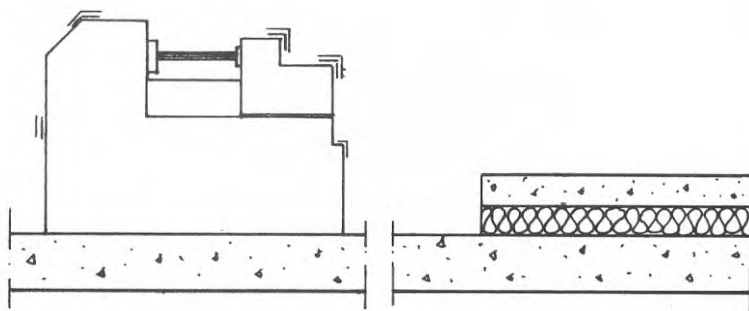
10 mm platta:  $f \geq 2500$  Hz

20 mm platta:  $f \geq 1250$  Hz

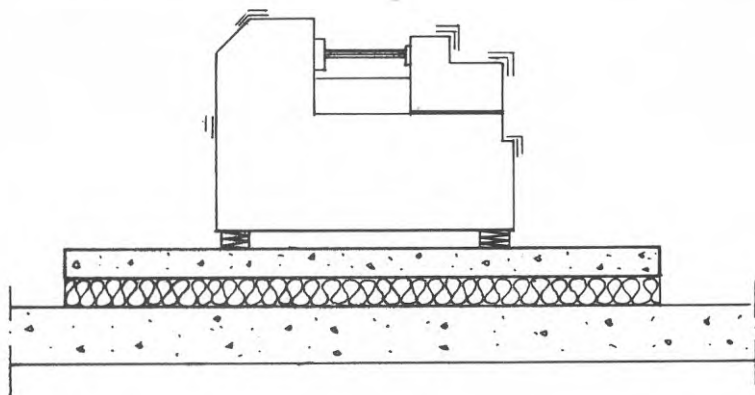
50 mm platta:  $f \geq 1250$  Hz

Standardavvikelsen beräknad för samtliga mätningar framgår ur figur 19.

Kopplingsfaktorn för mineralull (1 mätning, se figur 16), framgår ur figur 20.

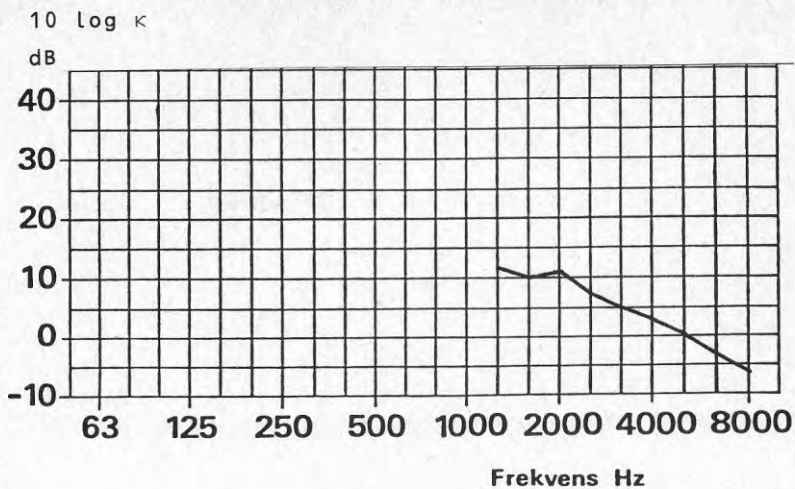


FALL A

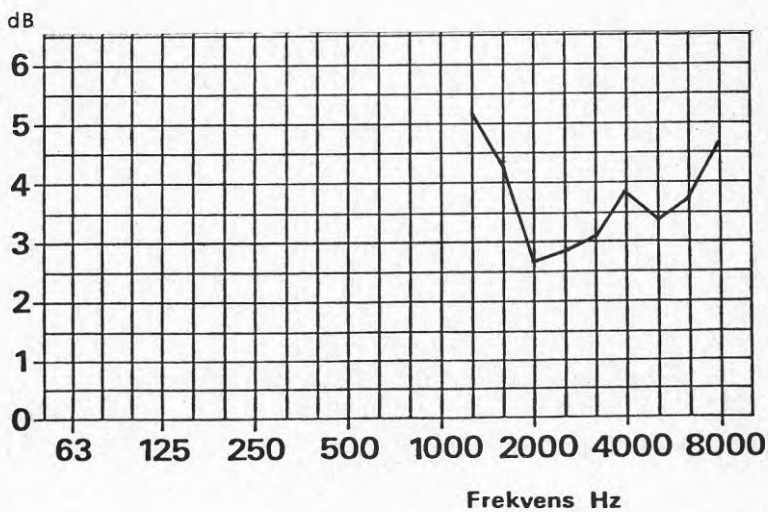


FALL B

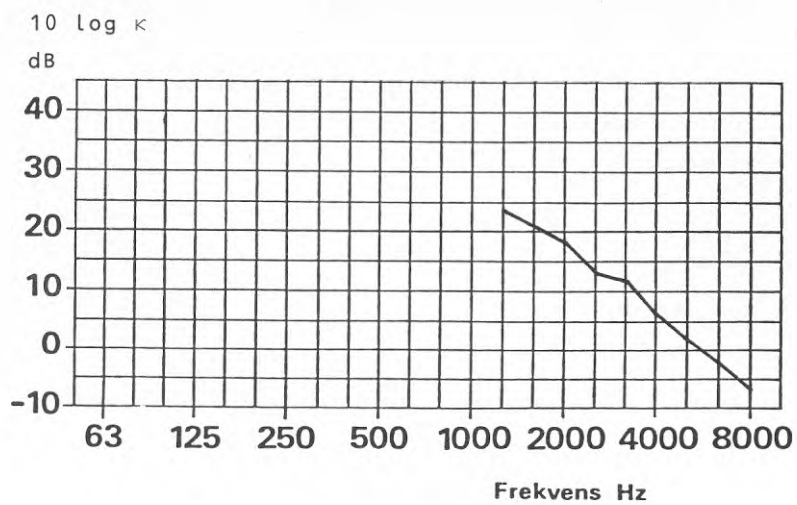
Figur 17. Definition av fall A och B.



Figur 18. Kopplingsfaktorn  $\kappa$  för använd skumplast (Becker-Akustik OU-202).



Figur 19. Standardavvikelse hos uppmätt kopplingsfaktorn  $\kappa$  för använd skumplast (Becker-Akustik OU-202).



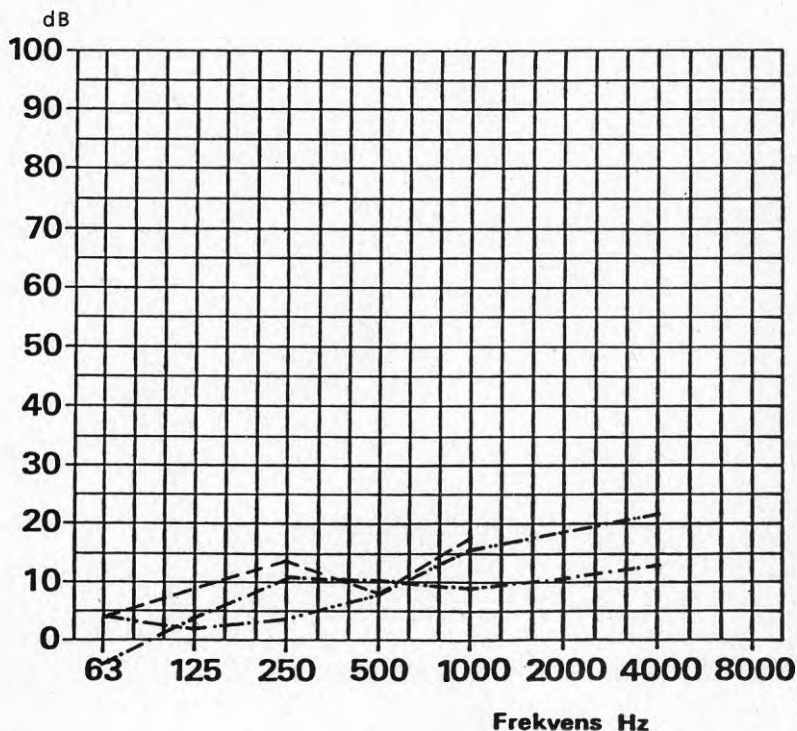
Figur 20. Beräknad kopplingsfaktor  $\kappa$  för stenull, 150 kg/m<sup>3</sup>.



## 5 FULLSKALEMÄTNINGAR

I figur 21 redovisas resultatet av mätningar på 3 olika konstruktioner i full skala. I dessa fall fungerade övergolvet som avstrålningsskydd. Gjutningen övervakades noga, och det är föga sannolikt att några ljudbryggor uppstått vid gjutningen. Förlustfaktorn har ej mätts på dessa överplattor, men i andra, liknande sammanhang har värden på 0,5 - 1,0 % erhållits.

En jämförelse med modellmätresultatet visar, att isoleringsförbättringen i full skala är väsentligt lägre än vad som kan förväntas ur resultatet från modellmätningarna. Den mest sannolika orsaken till detta bedöms vara inverkan av olika egenskaper (exempelvis strömningsmotstånd) hos mellanskiktet.

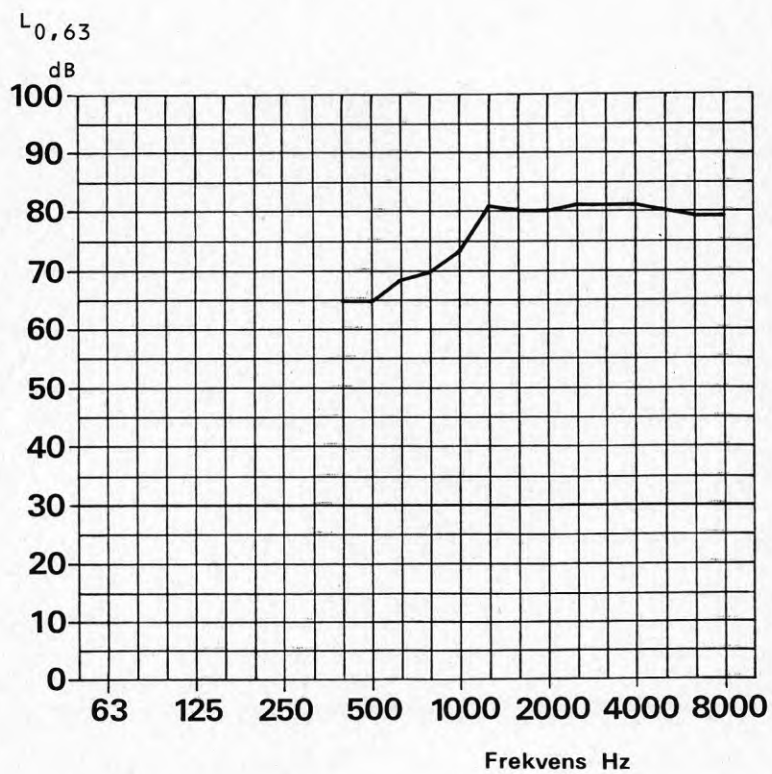


Figur 21. Uppmätt isoleringsförbättring för 100 mm betong på 100 mm mineralull (stenull, volymvikt 150 kg/m<sup>3</sup>). 3 olika fall.

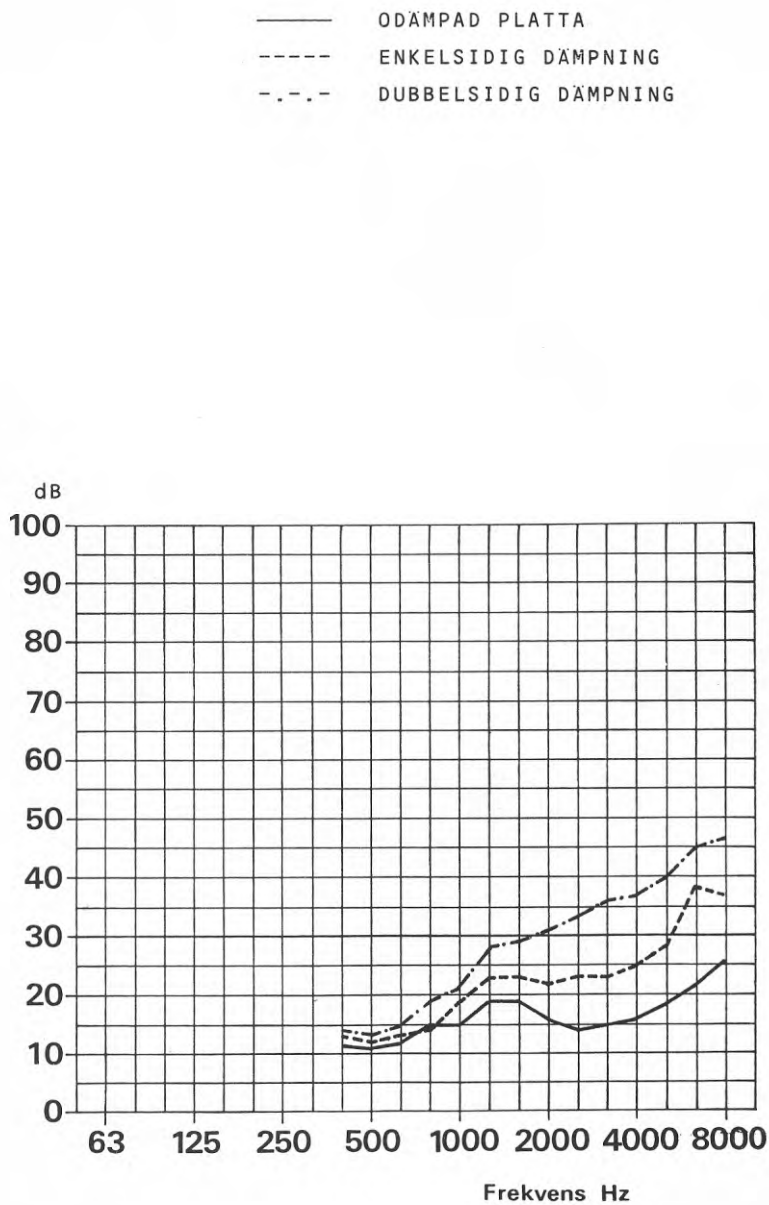
## APPENDIX. SAMTLIGA MODELLMÄTNINGSRESULTAT

På bifogade kurvblad redovisas dels den normerade stegljudsnivån från råbjälklaget, dels isoleringsförbättringarna för olika övergolv. Isoleringsförbättringen har därvid erhållits som differensen i normerad stegljudsnivå mellan råbjälklag och råbjälklag tillsammans med den aktuella överkonstruktionen.

Figur 22. Normerad stegljudsnivå från råbjälklag.

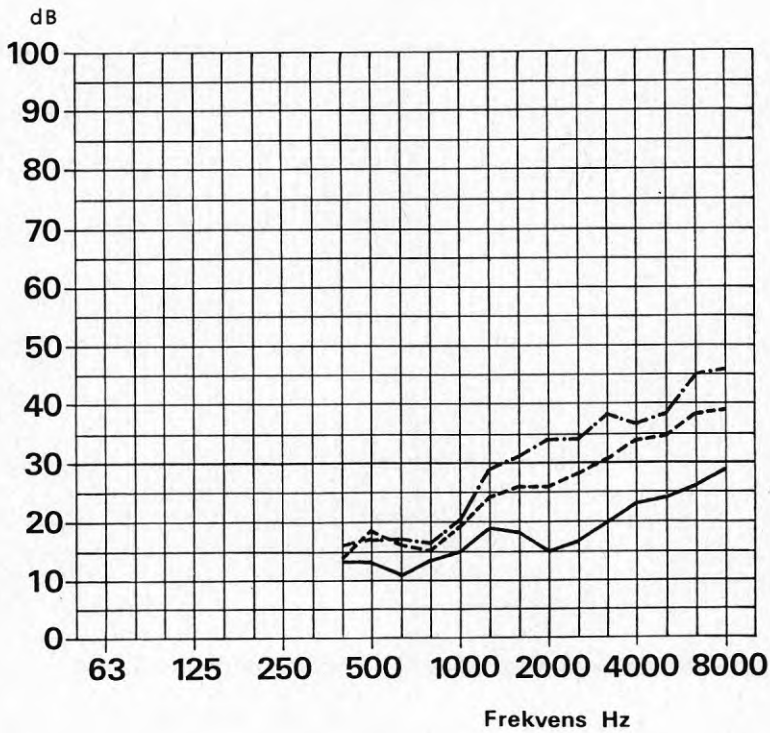


Figur 23. Uppmätt isoleringsförbättring för 10 mm gips på 10 mm skumplast.



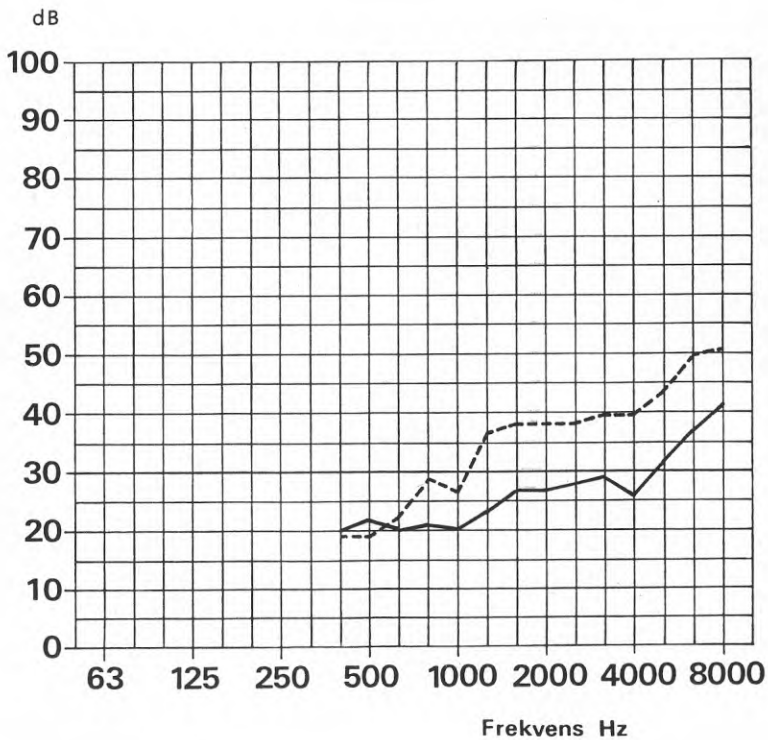
Figur 24. Uppmätt isoleringsförbättring för 20 mm gips på 10 mm skumplast.

— ODÄMPAD PLATTA  
- - - ENKELSIDIG DÄMPNING  
- . - . - DUBBELSIDIG DÄMPNING



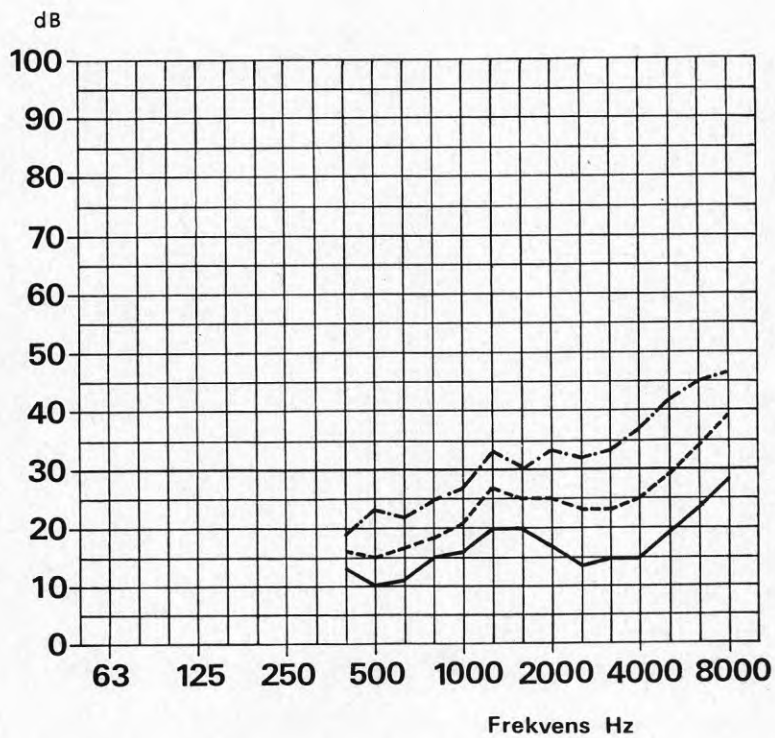
Figur 25. Uppmätt isoleringsförbättring för 50 mm gips på 10 mm skumplast.

— ODÄMPAD PLATTA  
- - - ENKELSIDIG DÄMPNING



Figur 26. Uppmätt isoleringsförbättring för 10 mm gips på 20 mm skumplast.

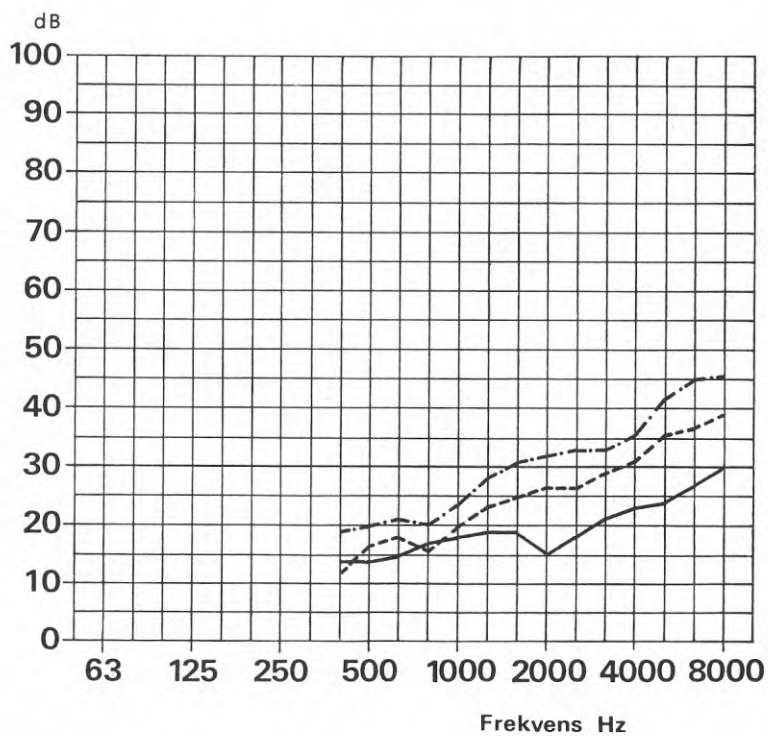
— ODÄMPAD PLATTA  
- - - ENKELSIDIG DÄMPNING  
- . - . - DUBBELSIDIG DÄMPNING





Figur 27. Uppmätt isoleringsförbättring för 20 mm gips på 20 mm skumplast.

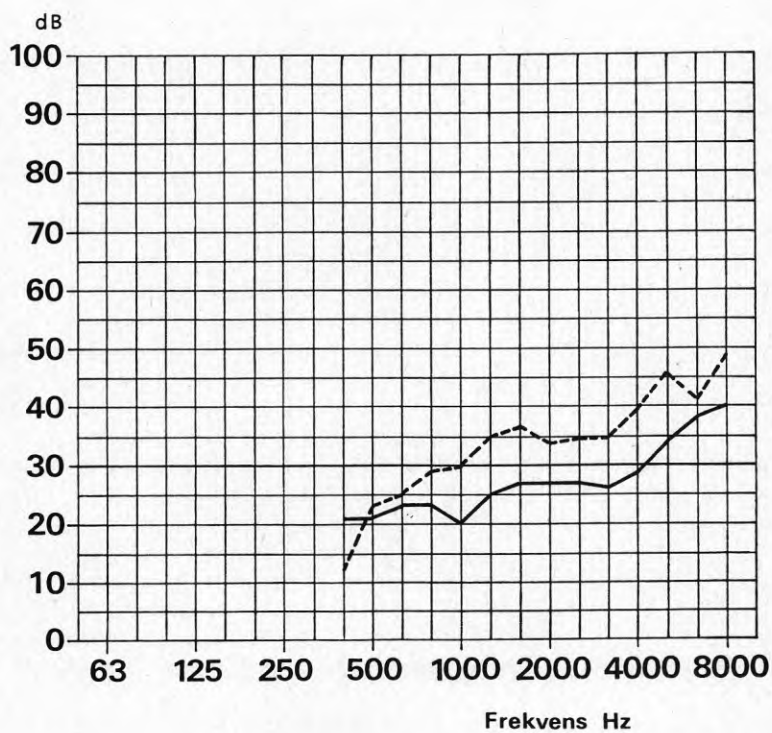
— ODÄMPAD PLATTA  
- - - ENKELSIDIG DÄMPNING  
- . . - DUBBELSIDIG DÄMPNING





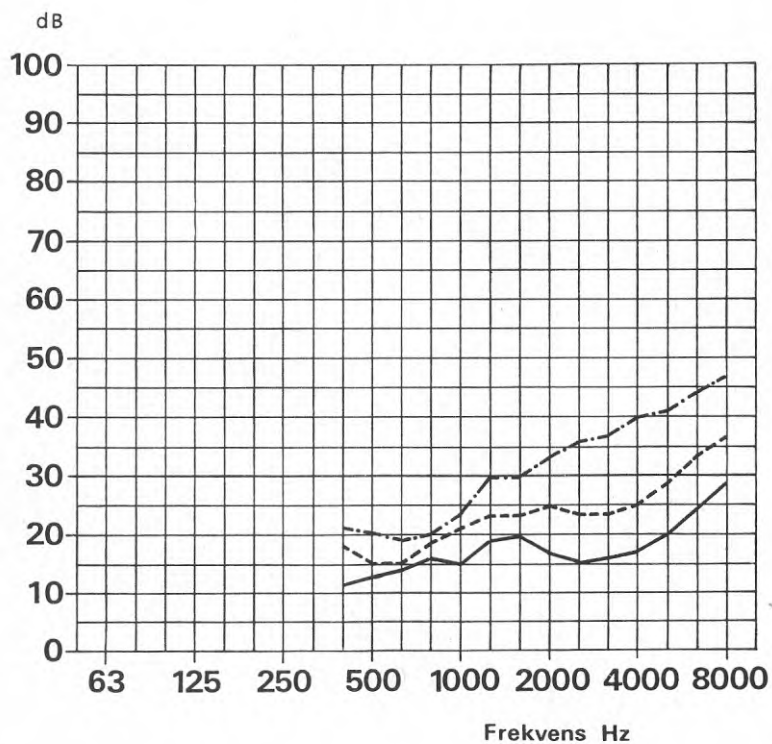
Figur 28. Uppmätt isoleringsförbättring för 50 mm gips på 20 mm skumplast.

— ODÄMPAD PLATTA  
- - - ENKELSIDIG DÄMPNING

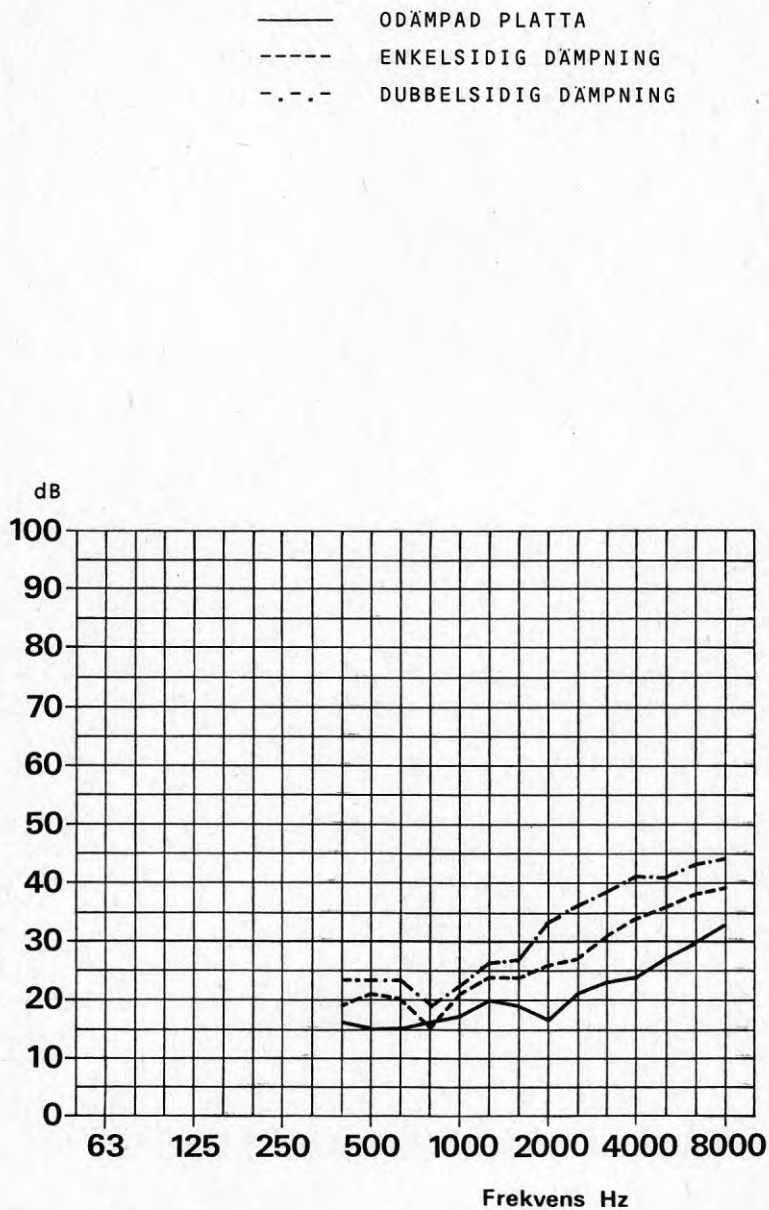


Figur 29. Uppmätt isoleringsförbättring för 10 mm gips på 50 mm skumplast.

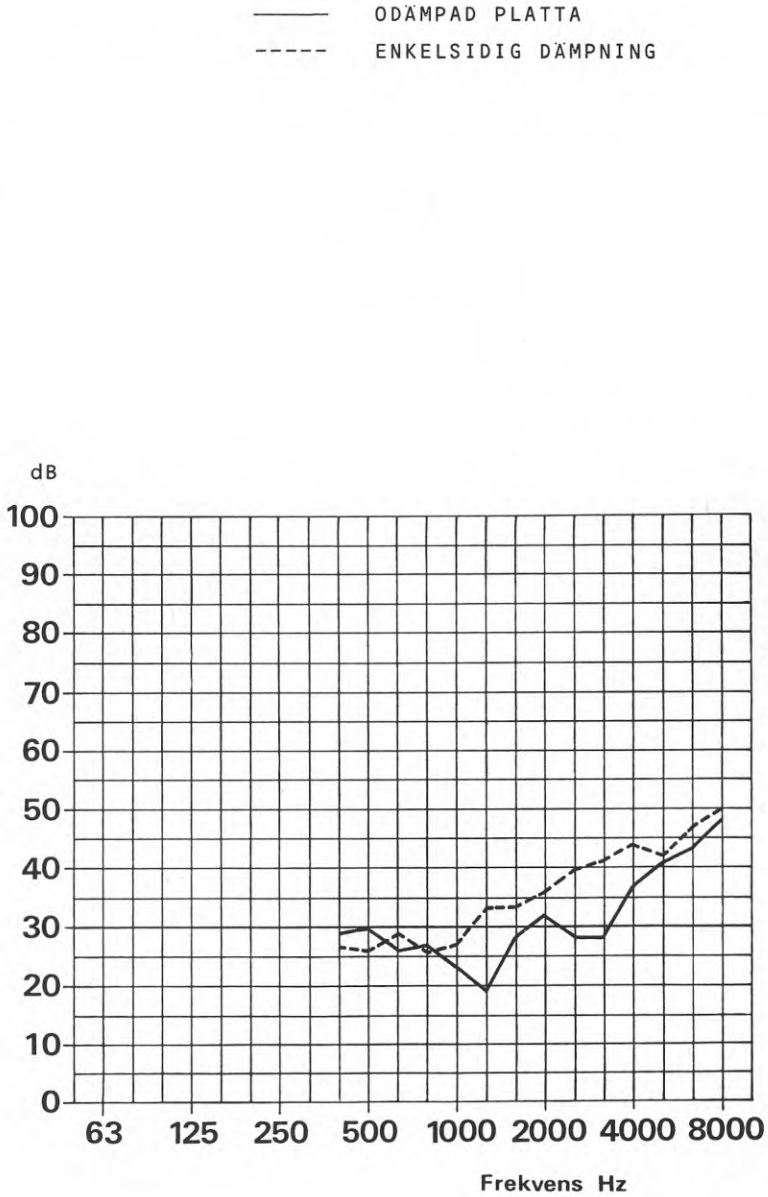
— ODÄMPAD PLATTA  
- - - ENKELSIDIG DÄMPNING  
- . - . - DUBBELSIDIG DÄMPNING



Figur 30. Uppmätt isoleringsförbättring för 20 mm gips på 50 mm skumplast.



Figur 31. Uppmätt isoleringsförbättring för 50 mm gips på 50 mm skumplast.



## LITTERATURFÖRTECKNING

- Cremer, L, 1952: Theorie des Klopfes bei Decken mit schwimmenden Estrich. *Acustica*, vol 2, pp 167-178.
- Cremer, L & Heckl, M, 1967: Körperschall. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York.
- Foti, M, 1957: Sur la transmission des bruits de choc par les planchers flottants. *Acustica*, vol 7, pp 29-37.
- Nilsson, A, C, 1977: Some acoustical properties of floating-floor constructions. *J acoust Soc Am*, vol 61, pp 1533-1539.
- Price, A, J & Crocker, M, J, 1969: Sound Transmission through Double Panels Using Statistical Energy Analysis. *J acoust Soc Am*, vol 47, pp 683-693.
- Skudrzyk, E, J, 1958: Vibrations of a System with a Finite or an Infinite Number of Resonances. *J acoust Soc Am*, vol 30, pp 1140-1152.
- Svensson, J, 1978: Förhandsbestämning av stegljudsnivå vid anisotropa och isotropa bjälklag. Rapport inlämnad till BFR.
- Vér, I, L, 1969: Acoustical and vibration performance of floating floors. Bolt Beranek and Newman Inc, report no 1830.
- Vér, I, L, 1972: Field measurement and study of floating floors. Bolt Beranek and Newman Inc, report no 2311.













**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 770144-3 från  
Statens råd för byggnadsforskning till  
Ingemanssons Ingenjörbyrå AB, Stockholm**

**R4:1979**

**ISBN 91-540-2958-9**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6600904**

**Abonnemangsgrupp:  
Z. Konstruktioner och material**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 1403  
111 84 Stockholm**

**Cirkapris: 20 kr exkl moms**