



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

R83:1987

Hissbuller i bostäder

Anvisningar om bullerreducerande åtgärder

Esse Kamph
Olof Bengtsson

K
Jull

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	Ser

Byggforskningsrådet

R83:1987

HISSBULLER I BOSTADER

Anvisningar om bullerreducerande åtgärder

Esse Kamph
Olof Bengtsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 810645-7
från Statens råd för byggnadsforskning till 3K Akustik-
byrån AB, Göteborg.

REFERAT

I rapporten redovisas läget för projektet "Buller i bostäder orsakat av hissinstallationer. Anvisningar om bullerdämpande åtgärder". Det övergripande målet för detta projekt har varit att ta fram anvisningar till lämplig byggnadsteknisk utformning av hissmaskinrum etc med hänsyn till stomburet ljud från hissanläggning. Det har inte varit möjligt att nå detta mål inom denna etapp av projektet.

Arbetet har koncentrerats på att prova en modell för att beskriva stomljudstransmissionen från hissanläggning till boningsrum. I modellen ingår som parametrar byggnadsstommens dynamiska egenskaper i form av punkt- och överföringsmobiliteter (mobilitet 0 vibrationshastighet/kraft) och exciterande krafter från hissmaskin etc.

Utgående från direkt uppmätta mobiliteter och indirekt bestämda exciteringskrafter beräknas bl a ljudnivån i angränsande boningsrum. Resultaten jämföres med uppmätta värden. Det finns för närvarande inga enkelt användbara beräkningsmetoder för stomljudsutbredning i byggnadskonstruktioner av aktuellt slag. En genomgång av tänkbara teoretiska beräkningsmetoder redovisas.

Ett försök till kvantitativ bedömning av effekten av massa- och styvhetsändringar hos byggnadsstommen har dock gjorts. En mycket enkel balkmodell av hissmaskinrum och angränsande boningsrum har ställts upp. Resultaten, som måste tolkas med försiktighet, indikerar att relativt måttliga åtgärder skulle kunna ge betydande reduceringar av stomljudstransmissionen. Det är naturligtvis nödvändigt att prova åtgärderna i praktiken innan man drar några mer långtgående slutsatser.

Slutligen ges förslag till inriktning av ett fortsatt arbete med projektet. Det som bedömts som mest angeläget att praktiskt undersöka är hur massa- och styvhetsförändringar hos byggnadsstommen inverkar på stomljudstransmissionen.

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

R83:1987

ISBN 91-540-4782-X
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1987

INNEHÅLL

FÖRORD

SAMMANFATTNING	1
PROBLEMSTÄLLNING	3
MODELL FÖR STOMLJUDSUTBREDNING FRÅN HISSANLÄGGNING	4
Några grundbegrepp	4
Kraft- och momentangrepp från hissanläggning	6
MÄT- OCH ANALYMETODER	10
Mobilitetsmätningar	10
Mätning av punktmobilitet	15
Mätning av överföringsfunktionen kraft-ljudtryck i rum	20
Mätning av start/stoppförlopp	21
MÄTNINGAR	24
Hissanläggningar	24
Dynamiska krafter från hissanläggning 2	25
Normalt hissmaskinmontage	26
Nytt hissmaskinmontage med isolerade linfästen	31
Ytterligare jämförelser mellan beräknade och uppmätta vibrationshastigheter/ljudtryck	36
DISKUSSION AV BYGGNADSTEKNISKA ÅTGÄRDER	37
Uppmätta mobiliteter för hissanläggning 2	38
Mobilitet med ändring av byggnadsstomme	41
Referensfall	42
Beräkningar	44
FÖRÄNDRING AV HISSMASKINISOLERING	47
FORTSATT ARBETE	48
REFERENSER	49
BILAGA	1.1-1.5
BILAGA	2.1-2.9
BILAGA	3.1-3.5
BILAGA	4.1-4.5

FÖRORD

Det övergripande målet för detta projekt har varit att ta fram anvisningar till lämplig utformning av hiss-maskinrum etc med hänsyn till stomburet ljud från hissaneläggning.

Vibrations- och mobilitetsmätningar har utförts vid tre anläggningar med sidohängda topphissar. Mobiliteterna har mätts med sk stötmetod (excitering med hammare försedd med kraftgivare). Olika varianter för vibrationsisolering av hissmaskiner har undersökts.

Arbetet har koncentrerats på att prova en modell för att beskriva stomljudstransmissionen från hissaneläggningen till boningsrum. Utgående från direkt uppmätta punkt- och överföringsmobiliteter hos byggnadsstommen och indirekt bestämda exciteringskrafter har ljudnivån i angränsande boningsrum beräknats.

Modellen för stomljudstransmission har testats med resultaten från mätningarna på en hiss. För denna hiss kan man dra slutsatsen att den dominerande stomljudstransmissionen sker via hissmaskinens fundament.

Ett försök till kvantitativ bedömning av effekten av massa- och styvhetsförändringar hos byggnadsstommen har gjorts. En enkel balkmodell av hissmaskinrum och angränsande boningsrum har ställts upp. Resultaten som måste tolkas med viss försiktighet indikerar att relativt måttliga åtgärder skulle kunna ge betydande reduktioner av hissbulletstörningarna. Det är naturligtvis nödvändigt att prova åtgärderna i praktiken innan man drar några mer långtgående slutsatser.

Esse Kamph

Olof Bengtsson

SAMMANFATTNING

I rapporten redovisas läget för projekt "Buller i bostäder orsakat av hissinstallationer. Anvisningar om bullerdämpande åtgärder".

Det övergripande målet för detta projekt har varit att ta fram anvisningar till lämplig byggnadsteknisk utformning av hissmaskinrum etc med hänsyn till stom-buret ljud från hissinstallering.

Det har inte varit möjligt att nå detta mål inom denna etapp av projektet. Arbetet har koncentrerats på att prova en modell för att beskriva stomljudstransmissionen från hissinstallering till boningsrum. I modellen ingår som parametrar byggnadsstommens dynamiska egenskaper i form av punkt- och överföringsmobiliteter (mobilitet = vibrationshastighet/kraft) och exciterande krafter från hissmaskin etc. Utgående från direkt uppmätta mobiliteter och indirekt bestämda exciteringskrafter beräknas bl a ljudnivån i angränsande boningsrum. Resultaten jämföres med uppmätta värden.

I samband med mätningarna av mobiliteter, ljud och vibrationer har problem uppkommit som krävt extra arbetsinsatser. Mobiliteterna har mätts med sk stötmetod (excitering med hammare försedd med kraftgivare). Metoden medför vissa lågfrekvensproblem. Lokala deformationer i exciteringspunkten påverkar bestämningen av punktmobiliteter. Vidare har högt bakgrundsljud i boningsrummen försvårat ljudmätningarna.

Vibrations- och mobilitetsmätningar har utförts vid tre anläggningar med sk sidohängda topphissar. För en av dessa (nr 2) har mätningarna varit betydligt mer omfattande. Bl a har olika varianter för vibrationsisolerering av hissmaskin och linfästen undersökts. De resultat som redovisas i denna rapport avser denna

hiss. För de två övriga återstår en del analys- och beräkningsarbete. Eventuellt kan ytterligare någon mätning behövas.

Den nämnda modellen för stomljudstransmission har testats med resultaten från hiss nr 2. För denna hiss kan man dra slutsatsen att den dominerande stomljudstransmissionen sker via hissmaskinens fundament.

Den A-vägda momentana ljudnivån i boningsrum vid start och stopp av hiss domineras av ljudbidraget inom tersbanden ca 100-500 Hz. Utgående från uppmätta mobiliteter kan man under vissa förutsättningar bedöma vilka förändringar av byggnadsstommen som kan medföra en minskad stomljudstransmission.

Det finns för närvarande inga enkelt användbara beräkningsmetoder för stomljudsutbredning i byggnadskonstruktioner av aktuellt slag. En genomgång av tänkbara teoretiska beräkningsmetoder redovisas i referens /4/. Ett försök till kvantitativ bedömning av effekten av massa- och styvhetsändringar hos byggnadsstommen har dock gjorts. En mycket enkel balkmodell av hissmaskinrum och angränsande boningsrum har ställts upp. Resultaten, som måste tolkas med försiktighet, indikerar att relativt måttliga åtgärder skulle kunna ge betydande reduceringar av stomljudstransmissionen. Det är naturligtvis nödvändigt att prova åtgärderna i praktiken innan man drar några mer långtgående slutsatser.

Slutligen ges förslag till inriktning av ett fortsatt arbete med projektet. Det som bedömts som mest angeläget att praktiskt undersöka är hur massa- och styvhetsändringar hos byggnadsstommen inverkar på stomljudstransmissionen.

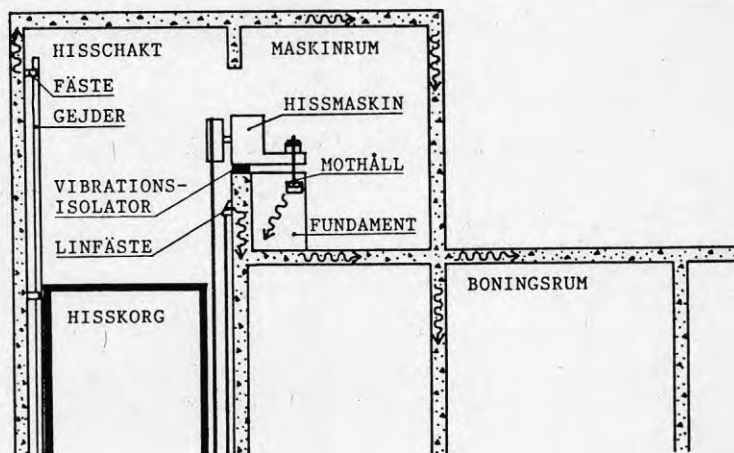
Vid mätningarna av de olika åtgärdernas inverkan har Kone välvilligt deltagit med arbetskraft och material.

PROBLEMSTÄLLNING

Det konstaterades i en tidigare rapport /1/ att det luftljud som alstras i hissmaskinrummet är av underordnad betydelse för hissbullret i intilliggande böningsrum. Detta ljud domineras av det stomljud som leds in via hissanläggningens kontaktpunkter med byggnadsstommen.

Endast sådant stomljud som härrör från hissmaskinen beaktas här. Ljud från reglerutrustning, manövrering av dörrar etc kan behandlas separat. Som framgår av /1/ är det i första hand det momentana ljudet vid start och stopp av hiss som inte uppfyller byggnormens krav. Arbetet har därför koncentrerats till detta även om mätningar även omfattar konstantfartsljudet. En god stötisolering bör även kunna ge god vibrationsisolering.

Figuren nedan visar en schematisk bild av en anläggning med sk sidohängd topphiss.



Figur 1.

Stomljud från hissmaskinen kan ledas in på flera ställen: maskinfundamentet, fästet för korgens och motviktens gejdor (via linor, korg, gejdor) och linfästena.

Det ljud som når boningsrummet beror på ett flertal faktorer:

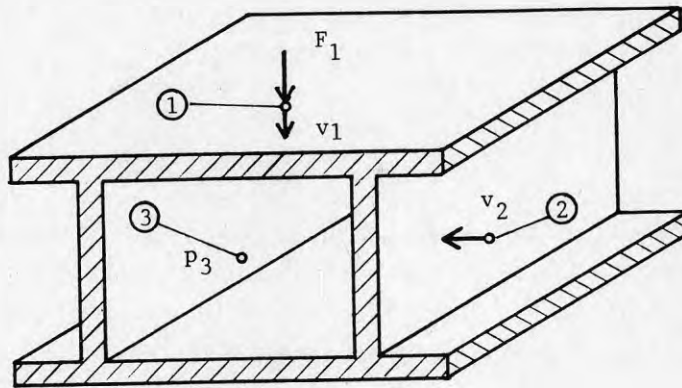
- a) Storleken på de dynamiska krafterna som hiss-maskinen alstrar i olika infästningspunkter.
- b) Anläggningens dynamiska egenskaper (t ex maskinens styvhet) i fästpunkterna.
- c) Vibrationsisoleringens utformning.
- d) Byggnadsstommens dynamiska egenskaper, dels i fästpunkterna, dels mellan dessa och de väggar som omger boningsrummet.
- e) Väggarnas storlek och ljudavstrålningsförmåga samt rummets akustiska egenskaper.

För en mer systematisk behandling av dessa faktorer är det önskvärt att skapa sig en teoretisk modell för stomljudets utbredning från hissanläggning till boningsrum. För att testa en sådan modell har därför mycket arbete lagts ner på att studera punkterna a) och d).

MODELL FÖR STOMLJUDSUTBREDNING FRÅN HISSANLÄGGNING

Några grundbegrepp

Punkt- och överföringsmobilitet samt överföringsfunktion skall definieras. Vi tänker oss en struktur som påverkas av en kraft med amplituden $F_1(f)$ som varierar sinusformigt i tiden med frekvens f (Hz):



Figur 2.

Strukturen antas linjär, dvs responsen är proportionell mot den påverkande kraften.

Punktmobiliteten i punkten ① definieras nu som

$$M_{11}(f) = v_1(f)/F_1(f)$$

där $v_1(f)$ är hastigheten (med frekvensen f) i punkten. På motsvarande sätt definieras överföringsmobiliteten mellan punkterna ① och ② som

$$M_{12}(f) = v_2(f)/F_1(f)$$

Eftersom strukturen är linjär gäller att

$$M_{12}(f) = M_{21}(f) = v_1'(f)/F_2'(f)$$

där $v_1'(f)$ är hastigheten i punkten ① då en kraft $F_2'(f)$ angriper (enbart) i punkten ②.

Precis som mobiliteterna ovan definierar en överföringsfunktion mellan kraft och hastighet kan vi definiera en överföringsfunktion mellan kraften $F_1(f)$ och ljudtrycket $p_3(f)$ i rummet.

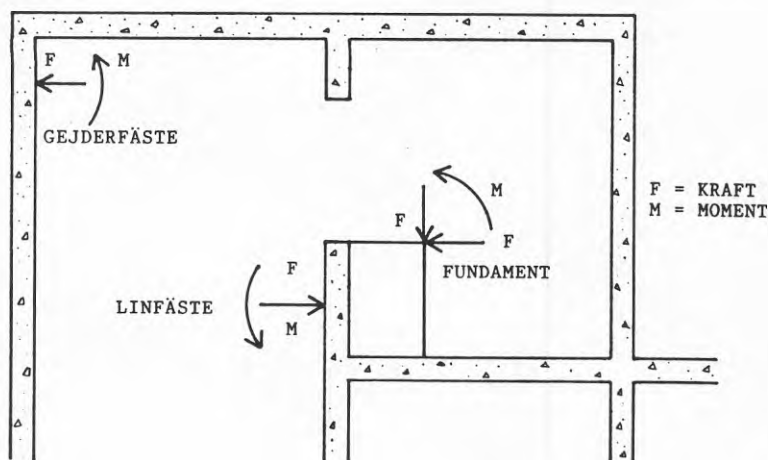
$$H_{13}(f) = p_3(f)/F_1(f)$$

Ovanstående definitioner gäller för godtycklig frekvens f . Vid praktisk bestämning av dessa storheter görs excitering med en bredbandig kraft. Överföringsfunktionerna ges sedan av kvoten mellan hastighetens resp ljudtryckets Fourierspektrum och kraftens Fourierspektrum. För detta ändamål används någon typ av 2-kanalig FFT-analysator (Fast Fourier Transform).

Storheterna ovan är normalt kraftigt frekvensberoende samt komplexa, dvs beskrivs med både belopp och fas. Det är dock endast i speciella fall man är intresserad av fasan. I denna rapport redovisas därför endast storheternas belopp.

Kraft- och momentangrepp från hissanläggning

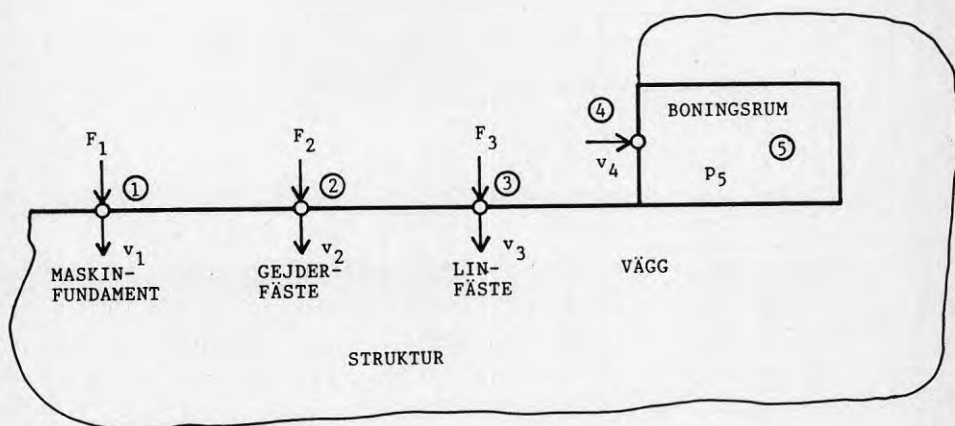
Dynamiska krafter och moment påverkar byggnadsstommen i gejderfästen, linfästen och maskinfundament:



Figur 3.

Speciellt fundamentet påverkas av krafter och moment i flera olika riktningar. Framförallt vid start och stopp rör sig hissmaskinen på ett komplicerat sätt. Därmed blir också kraft- och momentangreppen svåra att bestämma separat. Det är därför helt nödvändigt att förenkla modellen. Vi antar därför att endast en kraft verkar i resp fästpunkter. Vidare antas att rörelserna i konstruktionen vekaste riktning i respektive punkt är bestämmande för stomljustransmissionen. Endast translationsrörelser betraktas.

Den matematiska modellen kan då illustreras så här:



Figur 4.

Vi har alltså en struktur som angrips av krafterna F_1 - F_3 (frekvensberoendet underförstått) i punkterna ①-③. Dessa ger upphov till vibrationshastigheterna v_1 - v_3 i resp angreppspunkt. I responspunkten ④ blir hastigheten v_4 . Ljudavstrålning från rumsväggarna ger luftljud med ljudtrycket p_5 i punkt ⑤.

För de hissar som studerats i detta projekt har vi gjort bedömningen att stomljustransmissionen via gejderfästena är av underordnad betydelse. Återstående inledningsvägar är då två linfästen samt maskinfundamentet.

Det matematiska sambandet mellan angivna storheter kan skrivas (linjärt system antas, t ex är då överföringsmobiliteten $M_{12} = M_{21}$):

$$(1a) \quad v_1 = M_{11} F_1 + M_{12} F_2 + M_{13} F_3$$

$$(1b) \quad v_2 = M_{21} F_1 + M_{22} F_2 + M_{23} F_3$$

$$(1c) \quad v_3 = M_{31} F_1 + M_{32} F_2 + M_{33} F_3$$

$$(1d) \quad v_4 = M_{41} F_1 + M_{42} F_2 + M_{43} F_3$$

$$(1e) \quad p_5 = H_{51} F_1 + H_{52} F_2 + H_{53} F_3$$

Sökta storheter är krafterna F_1 - F_3 . Utgående från dessa kan man sedan i princip bestämma hastighets- respektive ljudbidraget från respektive exciteringspunkt. Avsikten är emellertid inte att här försöka åstadkomma en direkt bestämning av krafterna ur ekvationerna (1a)-(1c). Detta skulle förutsätta dels att den antagna modellen var en god beskrivning av verkligheten dels en mycket noggrann bestämning av hastigheter och mobiliteter.

Eftersom vi i första hand är intresserade av att bestämma den dominerande stomljudskällan försöker vi med en grövre metod. Som ett första steg bortser vi från de inbördes fasrelationerna och skriver om (1a)-(1e) enligt följande:

$$(2a) \quad \bar{v}_1^2 = |M_{11}|^2 \bar{F}_1^2 + |M_{12}|^2 \bar{F}_2^2 + |M_{13}|^2 \bar{F}_3^2$$

$$(2b) \quad \bar{v}_2^2 = |M_{12}|^2 \bar{F}_1^2 + |M_{22}|^2 \bar{F}_2^2 + |M_{23}|^2 \bar{F}_3^2$$

$$(2c) \quad \bar{v}_3^2 = |M_{13}|^2 \bar{F}_1^2 + |M_{23}|^2 \bar{F}_2^2 + |M_{33}|^2 \bar{F}_3^2$$

$$(2d) \quad \bar{v}_4^2 = |M_{14}|^2 \bar{F}_1^2 + |M_{24}|^2 \bar{F}_2^2 + |M_{34}|^2 \bar{F}_3^2$$

$$(2e) \quad \bar{p}^2 = |H_{15}|^2 \bar{F}_1^2 + |H_{25}|^2 \bar{F}_2^2 + |H_{35}|^2 \bar{F}_3^2$$

där \bar{v}_1^2 etc är kvadrerade RMS-värden
och $|M_{11}|$ etc avser beloppet av funktionen.

Man kan uppskatta ett största värde på respektive kraft genom att bortse från hastighetsbidragen på grund av krafter i övriga punkter, dvs

$$(3a) \quad \bar{F}_1^2 \leq \bar{v}_1^2 / |M_{11}|^2$$

$$(3b) \quad \bar{F}_2^2 \leq \bar{v}_2^2 / |M_{22}|^2$$

$$(3c) \quad \bar{F}_3^2 \leq \bar{v}_3^2 / |M_{33}|^2$$

Insättning av (3a)-(3c) i (2a)-(2c) ger ett minsta värde på krafterna:

$$(4a) \quad \bar{F}_1^2 \geq (\bar{v}_1^2 - \bar{v}_2^2 |M_{12}|^2 / |M_{22}|^2 - \bar{v}_3^2 |M_{13}|^2 / |M_{33}|^2) / |M_{11}|^2$$

$$(4b) \quad \bar{F}_2^2 \geq (\bar{v}_2^2 - \bar{v}_1^2 |M_{12}|^2 / |M_{11}|^2 - \bar{v}_3^2 |M_{23}|^2 / |M_{33}|^2) / |M_{22}|^2$$

$$(4c) \quad \bar{F}_3^2 \geq (\bar{v}_3^2 - \bar{v}_1^2 |M_{13}|^2 / |M_{11}|^2 - \bar{v}_2^2 |M_{23}|^2 / |M_{22}|^2) / |M_{33}|^2$$

I de fall korrektionstermerna (term 2 och 3) i uttrycken ovan är små i förhållande till första termen blir skillnaden i undre och övre gräns liten. Kraften i aktuell punkt är härmed bestämbar.

I sådana fall där det är möjligt att effektivt isolera stomljudskällorna från varandra förenklas problemet avsevärt. Ekvationerna (3a)-(3c) ger då direkt krafterna. Isoleringen innebär att t ex krafterna F_2 och F_3 och/eller mobiliteterna M_{12} och M_{13} i ekvationen (2a) reduceras betydligt. Ekvation (3a) ger kraften

$$(5) \bar{F}_1^2 \approx \bar{v}_1^2 / |M_{11}|^2$$

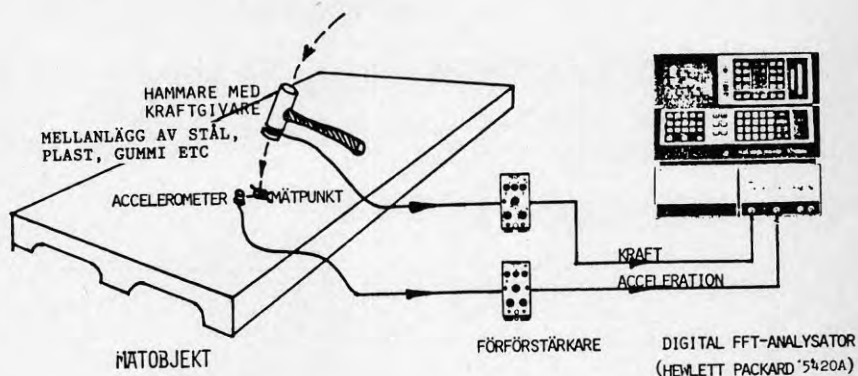
Alternativt reduceras endast kraften i aktuell punkt. Mätning av vibrationshastighet före och efter isolering ger då en indikation på betydelsen av kraften som angriper i punkten.

När det gäller sidohängda hissar kan det vara svårt att åstadkomma en tillräckligt bra isolering för att kunna separera källorna helt. Försök med avisolerade linfästen samt förbättrad vibrationsisolering av hiss-maskinen har gjorts på en hiss (nr 1 nedan).

MÄT- OCH ANALYSMETODER

Mobilitetsmätningar

De hissar som vi haft tillgång till för mätningarna har varit i dagligt bruk. Förutsättningen för att kunna genomföra mobilitetsmätningar i fält med rimlig arbetsinsats har varit en någorlunda lätthanterlig metod. Den sk stötmetoden har därför använts. Denna innebär att en hammare med kraftgivare används för att excitera strukturen, se figuren nedan. Strukturrespon- sen registreras med accelerometer.

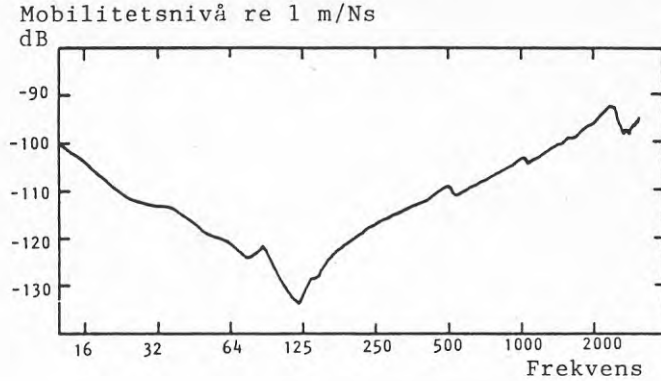


Figur 5.

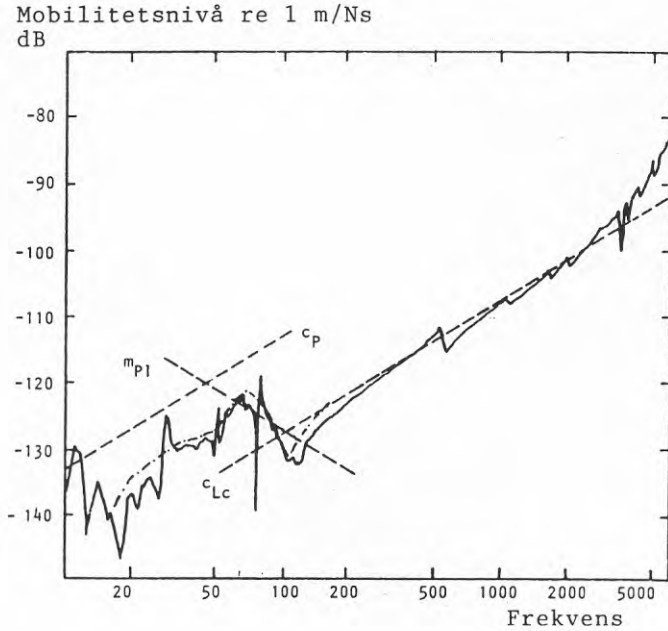
Mobiliteten bestäms sedan med hjälp av en 2-kanalig FFT-analysator. Mobiliteten erhålls genom integration (i princip division med frekvensen) av kvoten mellan accelerationsrespons och exciteringskraft. Valt frekvensområde är 0-1600 Hz.

Genom att variera hammarens tyngd och fjäderstyvheten hos mellanlägget (av plast, gummi, stål etc) på kraftgivaren kan kraftspektrum göras mer eller mindre lågfrekvent.

Stötmetoden har emellertid visat sig ha vissa nackdelar. Jämförande mätningar /2/ med elektrodynamisk vibrator på tyngre byggnadskonstruktioner typ betongstommar visar stora avvikelser vid låga frekvenser. Ett exempel hämtat från /2/ visas i figur 6-7 nedan. Mätningarna avser ett separatpålats betongfundament ($2 \times 2 \times 0.4 \text{ m}^3$).



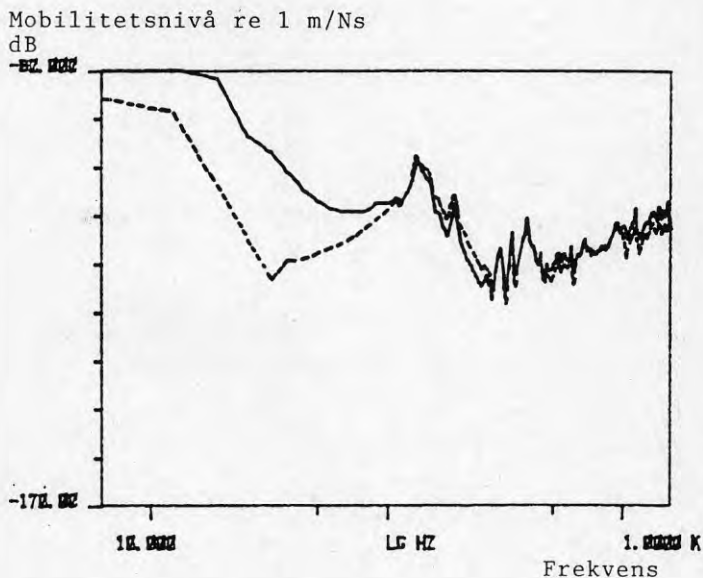
Figur 6. Mobilitetsnivå för separat pålat fundament uppmätt med stötmetod (figur 27 i /2/). Mätning med lätt hammare (<0.5 kg) och kraftgivare Brüel & Kjaer typ 8200.



Figur 7. Mobilitetsnivå för separatpålat fundament.
 —, - - - - mätning med elektrodynamisk vibrator
 - - - - beräknade resultat.

Man noterar att mobiliteten mätt med stötmetoden (figur 6) är betydligt högre vid frekvenser under ca 50-60 Hz. Mobiliteten ökar där med sjunkande frekvenser med ca 10 dB/oktav. Enligt /2/ beror i detta fall det felaktiga resultatet med stötmetoden på en låg kraftsignal vid låga frekvenser.

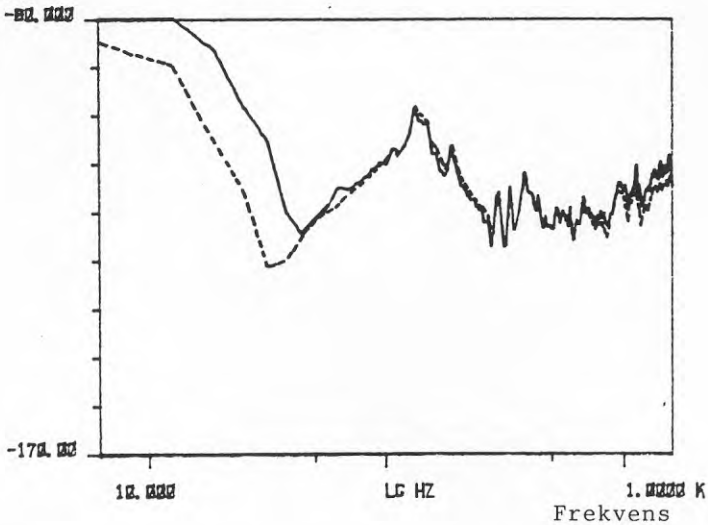
Även med en tyngre hammare (ca 1.4 kg) kan det vara svårt att få tillräcklig kraft vid låga frekvenser. Detta framgår av jämförande mätningar som vi har gjort med lätt och tung hammare på ca 25 cm tjock betongvägg. Två exempel visas i figur 8-9 nedan. Responsen i figur 8 är mätt nära kraftgivaren och i figur 9 på motsatt sida om väggen.



Figur 8. Stötexcitering med hammare nära accelerometern (avstånd ca 30 resp 50 mm).

— liten (0.2 kg) hammare
- - - stor (1.4 kg) hammare

Mobilitetsnivå re 1 m/Ns
dB

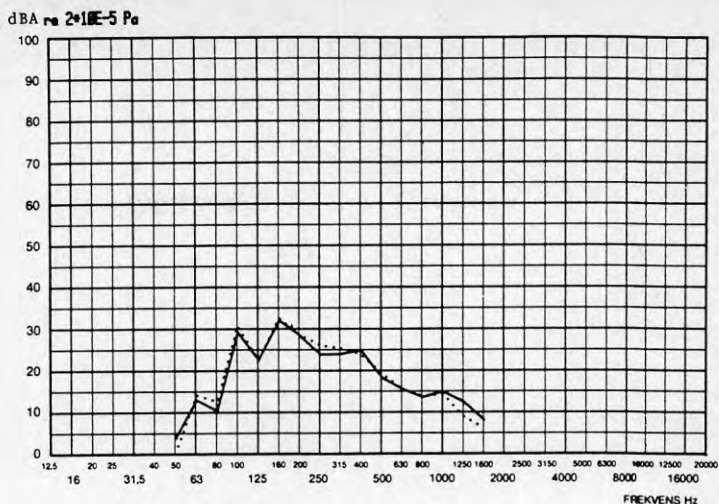


Figur 9. Stötexcitering med hammare på motsatt sida av betongväggen.

— liten (0.2 kg) hammare
- - - stor (1.4 kg) hammare

Både i figur 8 och 9 blir mobiliteten mätt med tung hammare orimlig för frekvenser under ca 30 Hz. Jämför man med mobiliteten mätt med lätt hammare avviker denna betydligt vid frekvenser under ca 80 Hz i figur 8 och ca 40 Hz i figur 9. Att skillnaden tycks erhållas vid högre frekvenser då excitering gjorts nära accelerometern har noterats även i andra mätningar.

Slutsatsen som kan dras är att i vårt fall är mobilitetsmätningarna sannolikt inte tillförlitliga vid frekvenser under säg ca 30 resp 80 Hz (beroende på hammare). När det gäller den A-vägda bullernivån vid start/stopp av hiss är intressant frekvensområde ca 100-500 Hz, se figuren nedan.



Figur 10. A-vägd bullernivå i boningsrum vid start av hissmaskin.

Vid konstantfartsfallet är frekvensområdet enligt /1/ ca 100-400 Hz.

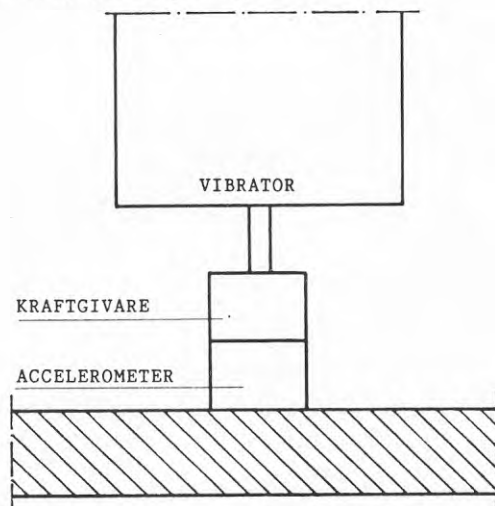
I de fortsatta redovisningarna begränsar vi diskussionen om inget annat sägs till tersbanden 100-500 Hz.

Mätning av punktmobilitet

Det finns ett väsentligt generellt problem vid mätning av punktmobiliteter hos styva/tunga konstruktioner. Konstruktionen har nämligen alltid en viss lokal eftergivlighet i kraftens angreppspunkt = **lokal** mobilitet. Storheten på den yta över vilken kraften fördelar sig påverkar mobiliteten. Mobiliteten ökar med minskad ytstorlek.

Detta förhållande kan i vissa fall, som inte skall beröras här, utnyttjas för att minska stomljudstransmission /2/. I normala fall och även i vårt fall sker stomljudsöverföringen över relativt stora kontaktytor. Vi är därför intresserade av en "**global**" punktmobilitet där samtliga punkter rakt under kraften rör sig med samma hastighet.

Speciellt då ett sk impedanshuvud (se figur) används för att mäta punktmobiliteten kan den globala och lokala mobiliteten skilja sig åt avsevärt. Detta problem har behandlats i /3/.

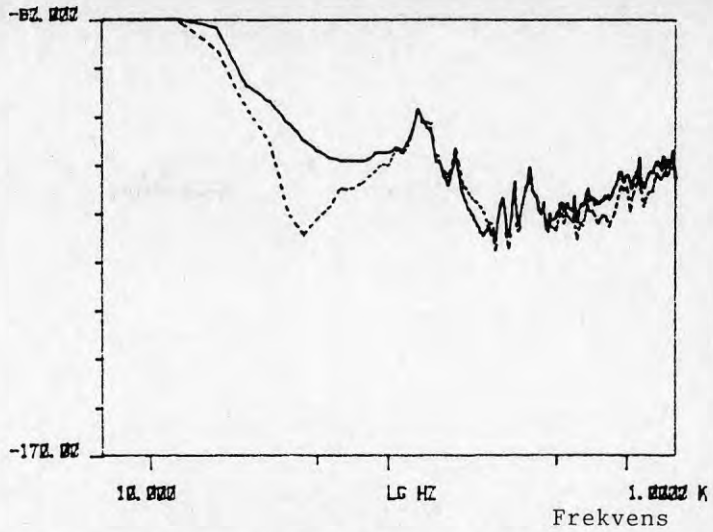


Figur 11. Punktmobilitetsmätning med sk impedanshuvud. Princip.

Man undviker detta problem om man mäter rörelsen med en separat accelerometer, som i ovanstående exempel placeras på undersidan av konstruktionen. Det kan dock ibland vara praktiskt olämpligt eller omöjligt att välja en sådan placering. Mobiliteter mätta med accelerometern placerad under eller nära kraftgivaren kan därför behöva korrigeras. Sådana korrektioner som gäller för fall där den lokala eftergivligheten dominerar har presenterats i /2/.

I vårt fall har några enkla mätningar av accelerometerplaceringens betydelse utförts med lätt (0.2 kg) och tung (1.4 kg) hammare. Storleken på de effektiva kontaktytorna vid slag har uppmätts till ca 10 resp 75 mm². I figur 12-13 resp 14-15 jämföres mobiliteter för en 25 cm tjock betongvägg (=punkt 1 i bilaga 1.1), vid excitering nära accelerometern respektive på motsatt sida av väggen. Figur 14-15 avser en styvare del av väggen (= punkt 3 i bilaga 1.1).

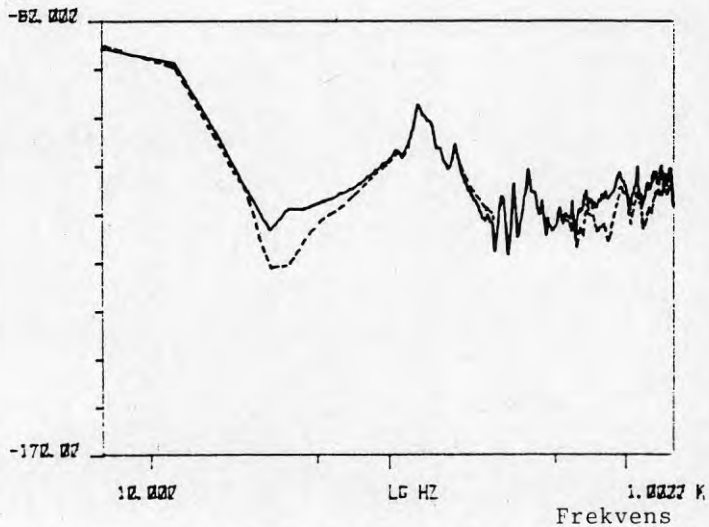
Mobilitetsnivå re 1 m/Ns
dB



Figur 12. Stötexcitering av 25 cm betongvägg med lätt (0.2 kg) hammare

- ca 30 mm från accelerometer
- - - mitt för accelerometer på motsatt sida av väggen

Mobilitetsnivå re 1 m/Ns
dB

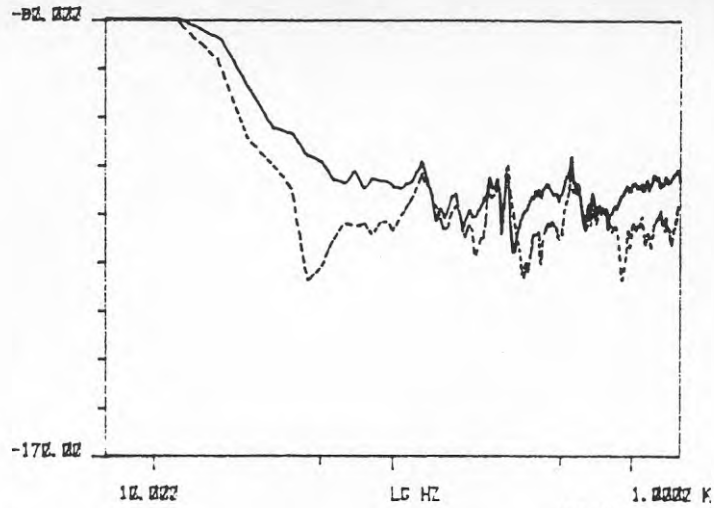


Figur 13. Stötexcitering av 25 cm betongvägg med tung (1.4 kg) hammare.

- ca 50 mm från accelerometer
- - - mittför accelerometer på motsatt sida av väggen

Mobilitetsnivå re 1 m/Ns

dB



Figur 14. Stötexcitering av samma betongvägg som i figur 12-13 men på styvare del.

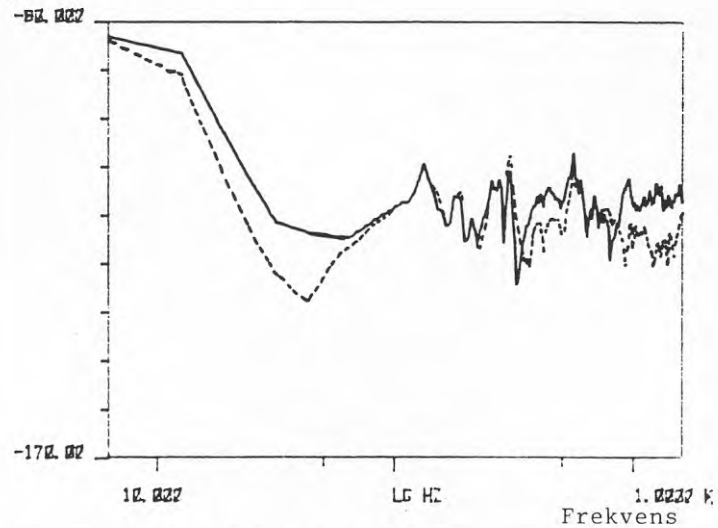
Lätt (0.2 kg) hammare.

— ca 30 mm från accelerometer

----- mitt för accelerometer på motsatt

Mobilitetsnivå re 1 m/Ns

dB



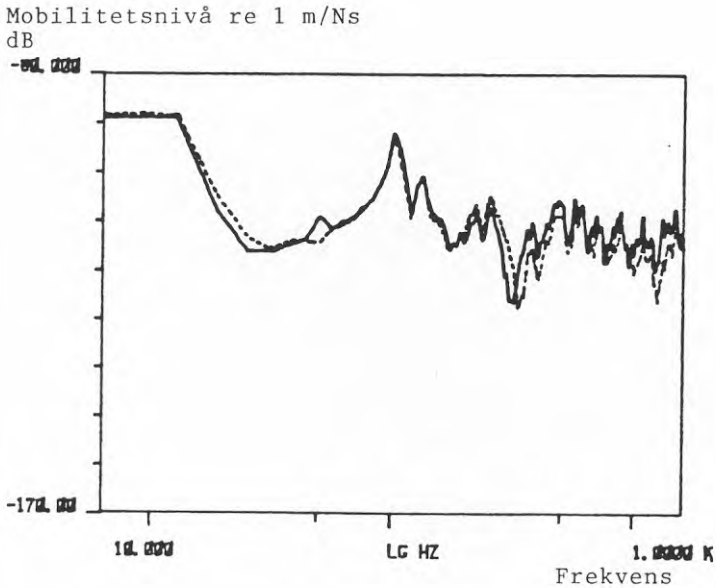
Figur 15. Stötexcitering av samma betongvägg som i figur 12-13 men på en styvare del.

Tung (1.4 kg) hammare

— ca 50 mm från accelerometer

----- mitt för accelerometer på motsatt
sid av väggen

I frekvensområdet ca 250-500 Hz och över ca 900 Hz förekommer avvikelser i storleksordningen 5 dB. Med den tunga hammaren (exciteringsavstånd ca 50 resp 150 mm) erhöles ett likartat resultat vilket framgår av figur 17 nedan.



Figur 17. Stötexcitering av 150 mm betonvägg med tung hammare (1.4 kg)
 — ca 50 mm från accelerometer
 - - - - - dito 150 mm

Mätning av överföringsfunktion kraft-ljudtryck i rum

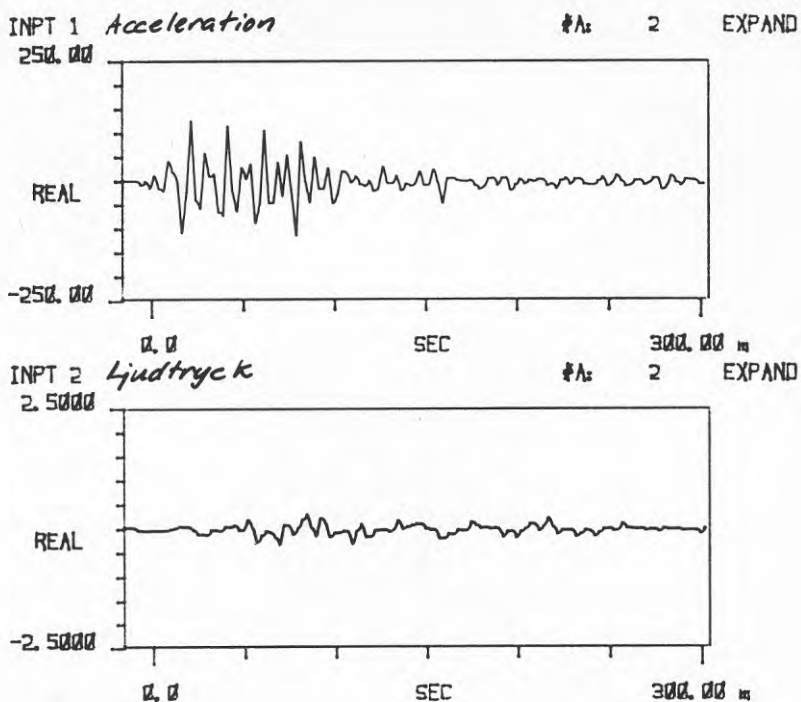
Denna har mätts på motsvarande sätt som överföringsmobiliteterna. Samma position i rummet som vid de följande mätningarna med hissen i drift har använts.

Mätning av start/stoppförlopp

Samtliga mätningar har gjorts genom inspelning med en 2-kanalig bandspelare (Kudelski Nagra IV-S), varvid vibrationer resp luftljud registrerats simultant i två punkter. Eftersom mätningarna omfattade 8-10 mätpunkter var det nödvändigt att hålla ner antalet körningar med hissen. Varje mätpunkt omfattade därför normalt en körning upp och ned med hissen med stopp vid varannan våning. Endast en begränsad del av dessa start/stopp har analyserats.

Analysen har gjorts på en 2-kanalig FFT-analysator (Hewlett & Packard 5420A). I samtliga fall har frekvensområdet 0-1600 Hz använts, vilket innebär 160 ms samplingstid. Dessa frekvensspektra kan alltså betraktas som medelvärden för förloppen under denna tid. Eftersom vi är intresserade av stomljudsöverföringen just på grund av start/stoppförloppen är det önskvärt att välja kortast möjliga tid som täcker in förloppen. En onödigt lång tid medför att bakgrundsljud (ofta högt) och konstantljud påverkar resultatet.

Med den valda tiden täcks i stort sett hela startförloppet in. Stoppförloppet är normalt kortare. I figur 18 nedan visas ett exempel på ett typiskt startförlopp för accelerationen hos fundamentet under hissmaskinen resp för ljudtrycket i lägenheten.

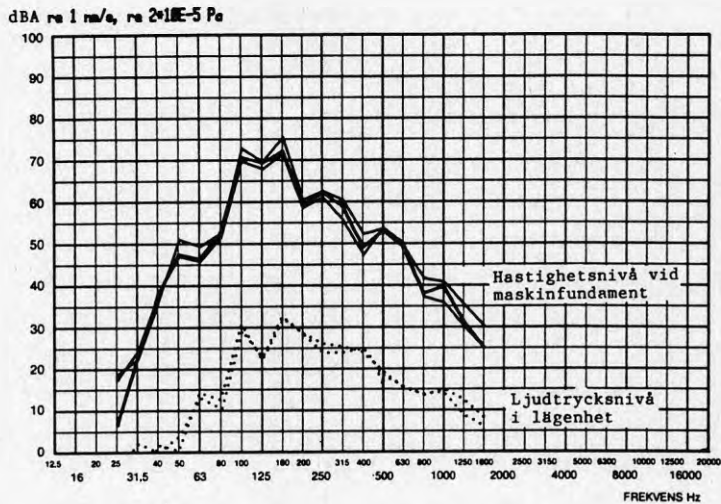


Figur 18. Acceleration hos hissmaskinfundament respektive ljudtryck i lägenhet vid ett startförlopp. Vid analys beaktas förloppen under de första 160 ms.

Man noterar att ljudtrycksförloppet startar något senare. Detta beror på den ändliga vågutbredningshastigheten i betongen. Vid ca 100 Hz är böjvågshastigheten i 160-180 mm tjock betong ungefär densamma som i luft, dvs ca 340 m/s. Avståndet mellan hissmaskin och mikrofon är mindre än 10 m. Eftersom böjvågshastigheten ökar med ökande frekvens och den huvudsakliga energin i pulsen finns i frekvensområdet \geq ca 100 Hz, kan man förvänta sig att tryckförloppet blir förskjutet mindre än 30 ms. Detta gäller också vid överföringsmätningarna, vilket framgår av ovanstående figur.

Det skall påpekas att den valda samplingstiden 160 ms relativt väl motsvarar den tidskonstant (ca 200 ms) som erhålles med visardämpningen "Fast" på en vanlig ljudnivåmätare.

För att begränsa utvärderingen har vi koncentrerat oss på startpulsen, som i de aktuella fallen gav högsta nivåer. Förloppet vid start från översta våningen visade sig ge små variationer i nivå från start till start som framgår av figur 19 nedan.



Figur 19. Exempel på repeterbarhet för startförlopp.
Normalt hissmaskinmontage.

Vid jämförelse mellan vibrationer i olika punkter, som inte mätts simultant, har därför antagits att startförloppet har varit likartat vid de olika mätningarna. Ett medelvärde för ett antal startpulser har då använts.

För de fortsatta beräkningarna och jämförelserna har sedan FFT-analysatorns smalbandsspektra omräknats till tersbandsmedelvärden.

Man noterar i figur 19 ovan att vid ett normalt montage dominerar den A-vägda ljudnivån av ljudbidraget inom tersbanden ca 100-400 Hz.

MÄTNINGAR

Hissanläggningar

Följande 3 hissar har studerats.

Hiss nr 1

Oblockad hiss av Siemens fabrikat. Att hissen är oblockad innebär att hisslinorna är fästade i hiss-korgen. Därmed finns det bara ett linfäste i väggen. Fundamentet i maskinrummet utgörs av schaktväggar, tjocklek 160 mm. Mothållet består av en stålbalkskonstruktion bultad till väggen. Figurer i bilaga 1.2.

Hiss nr 2

Blockad hiss av Kones fabrikat (hissmaskintyp VK16-1). Fundamentet utgörs här av schaktväggen, tjocklek 250 mm i maskinrummet, samt en extra förtjockning av väggen till vilken mothållet är infäst. Figurer i bilaga 1.1.

Hiss nr 3

Som hiss nr 2 men maskintyp VK 21. Schaktväggen i maskinrummet är här bara 150 mm, dvs tjocklek som i övriga delar av hisschaktet. Figurer enligt bilaga 1.3.

I det följande kommer redovisningen att begränsas till resultaten för hiss nr 2. Mätningar och analys har varit mest omfattande för just denna hiss. Ovan presenterade mobilitetsmätningar avser hiss nr 2.

Då det gäller de två andra hissarna har en preliminär analys genomförts. Ytterligare analys och eventuellt någon kompletteringsmätning erfordras dock före presentation.

Dynamiska krafter från hissanläggning 2

Som tidigare nämnts begränsar vi oss till maskinfundamentet och två linfästen som exciteringspunkter av betydelse. Den inbördes relationen mellan fundament och linfästen undersöks.

Aktuella mätpunkter framgår av bilaga 1.1.

Uppmätta punkt- och överföringsmobiliteter i och mellan dessa framgår av diagram 1-3 i bilaga 2.

Vibrationshastigheter resp ljudtryck vid startpuls har mätts för följande fall:

1. Normalt montage av hissmaskin och linfästen. Utförandet redovisas i bilaga 1.4.
2. Kortslutet montage av hissmaskinen, vilket innebär stålmellanlägg i stället för gummimellanläggen enligt punkt 1.
3. Vibrationsisolerade linfästen. Utförande enligt bilaga 1.5.

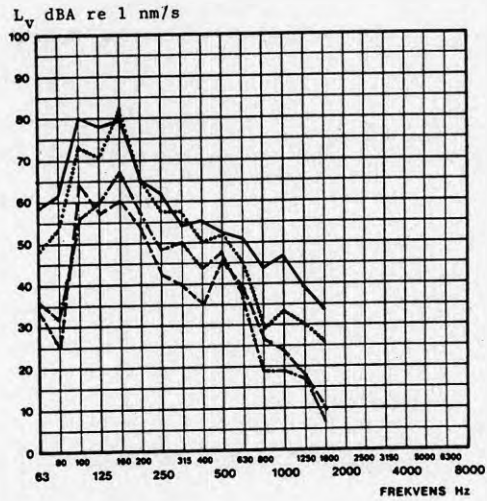
4. Nytt montage av hissmaskin. Maskinens vikt har ökats och betydligt vekare vibrationsisolatorer än i fall 1 har använts. Utförande enligt bilaga 1.4. Även linfästena är isolerade som i fall 3.

A-vägda vibrationshastighets- och ljudspektra för ovanstående fall framgår av diagram 4-9 i bilaga 2.

Normalt hissmaskinmontage

Hastighetsbidragen i punkt 1 (maskinfundamentet) på grund av exciterande krafter i linfästena har beräknats, se figur 20 nedan. Utgår man från maximala krafter enligt ekvation (3) finner man att bidraget (jfr ekvation (2)) från punkt 8 är av underordnad betydelse. Bidraget från punkt 3 tycks däremot vara lika stort eller större än uppmätta nivåer inom ett stort frekvensområde.

Gör istället det rimliga antagandet att krafterna i linfästena är ungefär lika stora. Utgå från den ovan beräknade maximala kraften i punkt 8. Som framgår av figur 20 nedan är även hastighetsbidraget från kraften i punkt 3 av underordnad betydelse.



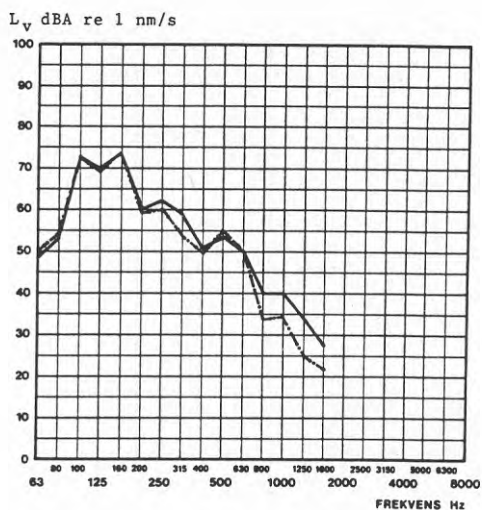
Figur 20. Normalt montage.

Beräknade hastighetsbidrag i punkt 1 på grund av antagna krafter i punkt 3 resp 8 (linfästen) jämföres med uppmätt hastighet i punkt 1.

- 84.2 dBA ——— Uppmätt
- 66.4 dBA - - - - Bidrag från linfäste ⑧ med maximal kraft enligt ekv (3b)
- 82.7 dBA Dito från linfäste ③ med maximal kraft enligt ekv (3c)
- 68.5 dBA - - - Bidrag från linfäste ③ om samma storlek på kraften som i punkt ⑧ antas

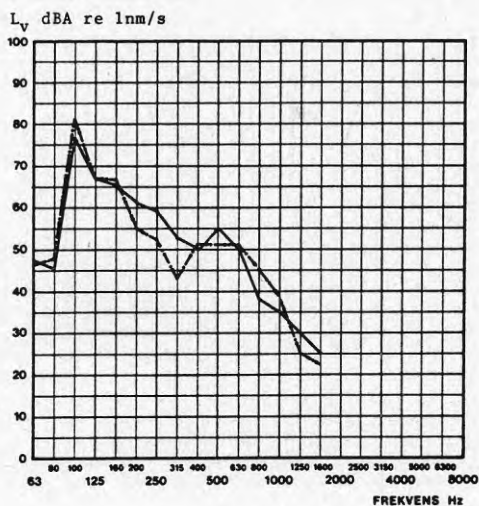
Vi kan således beräkna den exciterande kraften F_1 på maskinfundamentet utgående från ekvation (5).

Kraftens F_1 bidrag till hastigheten i linfästena framgår av figur 21-22 nedan. Inom det intressanta frekvensområdet ca 100-500 Hz är de beräknade bidragen i stort sett lika stora som de uppmätta nivåerna utom vid enstaka tersband. I punkt 8 är beräknade bidrag för låga inom tersbanden 200-315 Hz och möjligen 500 Hz. I punkt 3 är beräknat bidrag för lågt vid 315 Hz.



Figur 21. Jämförelse mellan uppmätt och beräknad hastighetsnivå i linfäste (punkt 3) vid normalt montage.

— uppmätt
 - - - - beräknat

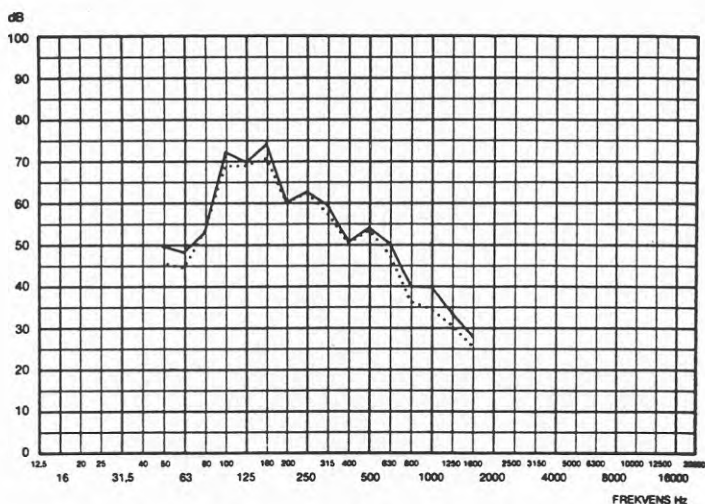


Figur 22. Jämförelse mellan uppmätt och beräknad hastighetsnivå i linfäste (punkt 8) vid normalt montage.

— uppmätt
 - - - - beräknad

Vid nämnda frekvenser skulle alltså transmissionen via linorna kunna vara dominerande för vägghastigheten vid linfästena. Mätningarna efter det att linfästena isolerats (bilaga 1.5) tyder inte på detta, vilket framgår av figur 23-24 nedan.

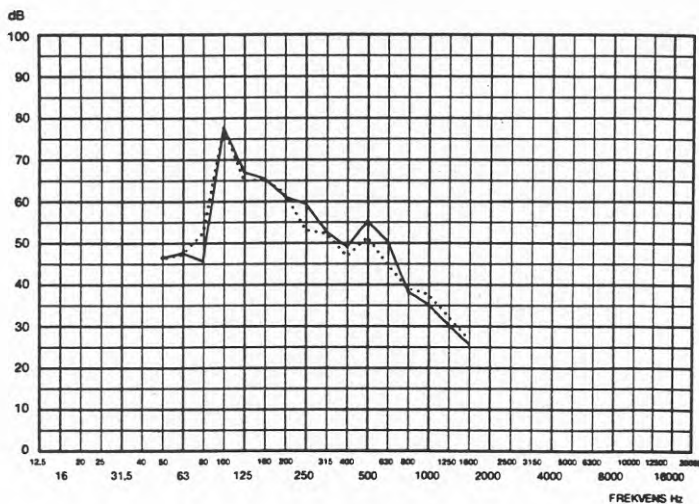
L_v dBA re 1 nm/s



Figur 23. Hastighetsnivå i linfäste (punkt 3) vid normalt hissmaskinmontage.

— normalt linfäste
----- vibrationsisolerat

L_v dBA re 1 nm/s



Figur 24. Hastighetsnivå i linfäste (punkt 8) vid normalt hissmaskinmontage.

— normalt linfäste
----- vibrationsisolerat

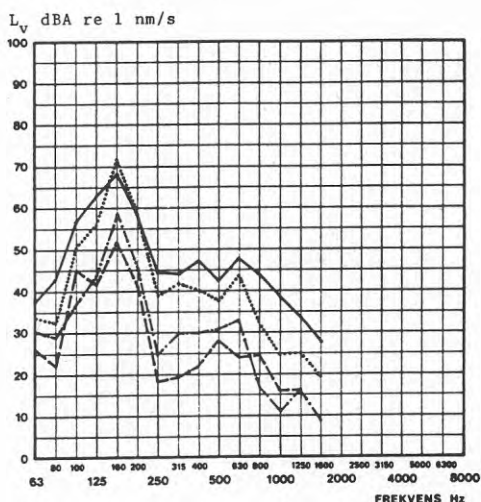
Förändringarna är som synes små utom vid 250 Hz och möjligen 500 Hz i punkt 8.

I detta läge hade det varit önskvärt att studera ett fall med normala linfästen men med väl stötisolerad hissmaskin. Någon sådan mätning har emellertid inte utförts.

Av ovanstående resultat drar vi den slutsatsen att stomljustransmissionen via linfästena är av underordnad betydelse (vid hissmaskinmontage av aktuell typ). Linfästena skulle möjligen kunna bidra inom begränsade frekvensområden då de är placerade mycket nära boningsrum.

Nytt hissmaskinmontage med isolerade linfästen

På samma sätt som vid normalt montage beräknades hastighetsbidragen i punkt 1 från linfästena:

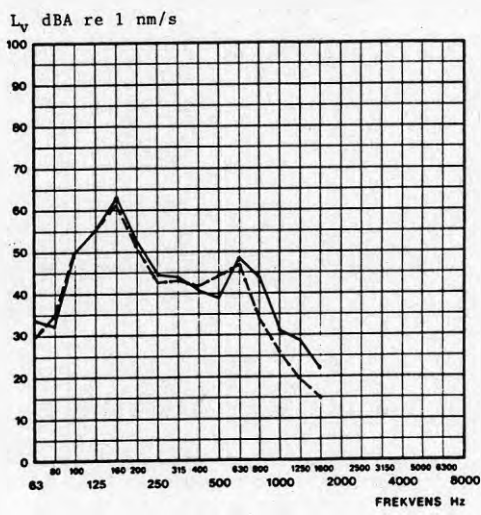


Figur 25. Nytt hissmaskinmontage + isolerade linfästen
Beräknade hastighetsbidrag i punkt 1 på grund av antagna krafter i punkt 3 resp 8 (linfästen) jämföres med uppmätt hastighet i punkt 1.

- 70.3 dBA ——— Uppmätt
 53.1 dBA ----- Bidrag från linfäste ⑧ med maximal kraft enligt ekv (3b)
 71.7 dBA Dito från linfäste ③ med maximal kraft enligt ekv (3c)
 58.9 dBA - - - Bidrag från linfäste ③ om samma storlek på kraften som i punkt ⑧ antas

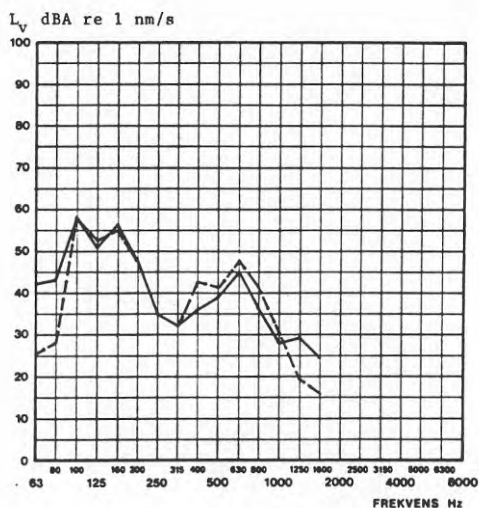
Antas krafter via de två linfästena vara lika stora blir de beräknade bidragen betydligt lägre än hastigheten i punkt 1.

Hastighetsbidragen i linfästena på grund av exciteringen i punkt 1 jämföres med uppmätta hastighetsnivåer:



Figur 26. Jämförelse mellan uppmätt och beräknad hastighetsnivå i linfäste (punkt 3) vid nytt hissmaskinmontage + isolerade linfästen.

———— uppmätt
 ----- beräknat



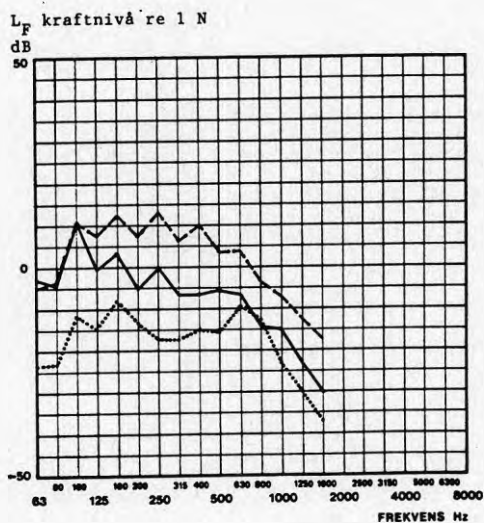
Figur 27. Jämförelse mellan uppmätt och beräknad hastighetsnivå i linfäste (punkt 8) vid nytt hissmaskinmontage + isolerade linfästena.

———— uppmätt
 ----- beräknat

Beräknade bidrag överensstämmer väl med uppmätta nivåer inom intressant frekvensområde. Inget tyder på att stömljudstransmissionen via de **isolerade** linfästena är av någon avgörande betydelse.

Sammanfattningsvis gäller att den dominerande stömljudstransmissionen i normalfallet sker via hissmaskinfundamentet. Stömljud via linfästena är sannolikt endast av betydelse då de placeras mycket nära ett bostadsrum. Med en mycket bra stötisolering av hissmaskinen ökar linfästernas betydelse. Huruvida de ens i detta fallet kan få någon avgörande inverkan har inte kunnat klarläggas ur de gjorda mätningarna. Ytterligare någon mätning är önskvärd. Det skall nämnas att linfästena är tämligen enkla att avisolera.

Utgående från uppmätta mobiliteter och vibrationshastigheter hos hissmaskinfundamentet kan vi alltså beräkna någon form av "ekvivalent kraft" från hissmaskinen för tre olika montage. Kraftspektra framgår av nedanstående figur:



Figur 28. Beräknade krafter mot maskinfundament.

13.0 dBA ——— Normalt montage
19.3 dBA - - - - Kortslutet montage
-1.8 dBA Ny vibrationsisolering

Som nämnts tidigare är det intressanta frekvensområdet ca 100-400 Hz vid normalt maskinmontage. Jämfört med kortslutet montage ger ett normalt montage i snitt 12 dB lägre kraft. Den nya vibrationsisoleringen ger i snitt dubbelt så stor dämpning.

Ytterligare jämförelser mellan beräknade och uppmätta vibrationshastigheter/ljudtryck

Utgående från de ovan beräknade krafterna på maskinfundamentet och uppmätta överföringsmobiliteter har hastighetsnivåer resp ljudtrycksnivåer beräknats i några punkter. Beräknade värden jämföres med uppmätta resultat. Jämförelserna framgår av bilaga 3 där även resultaten för punkt 3 och 8 har tagits med.

Det skall nämnas att speciellt de uppmätta ljudnivåerna kan vara för höga på grund av bakgrundsljud. Störningar från byggverksamhet och trafik i närheten kan ha påverkat resultaten. Detta gäller främst vid normalt och nytt montage. För att överhuvudtaget kunna få meningsfulla mätvärden i det sistnämnda fallet gjordes dessa mätningar nattetid.

I fallet med **kortslutet montage** är överensstämmelsen mellan mätta och beräknade nivåer överlag god, alltså även för ljudnivån. Ljudnivån är ju här också betydligt över bakgrundsnivån.

Vid **normalt montage** förekommer större avvikelser främst i punkt 5 (hissrumsvägg) och punkt 6 (boningsrum) inom tersbanden 250-400 Hz. Beräknade tersbandsnivåer är i snitt ca 10 dBA för låga. Orsaken har inte kunnat fastläggas. Det är inte rimligt att anta att stomljudstransmission via linfästena skulle vara orsaken.

Med det **nya montaget** är beräknade tersbandsnivåer ca 10 dBA för låga inom större delen av det intressanta området. Här är det dock möjligt att uppmätta nivåer är för höga på grund av bakgrundsljud.

Bortsett från en del inte helt klarlagda avvikelser förefaller det möjligt att använda den ovan beskrivna metoden för att studera stomljudsutbredningen från hissmaskinfundamentet.

DISKUSSION AV BYGGNADSTEKNISKA ÅTGÄRDER

Problemet kan tyckas löst i och med montaget med bl a vekare vibrationsisolatorer. Montaget är emellertid inte helt tillfredsställande med hänsyn till de relativt stora rörelserna hos hissmaskinen. Det veka montaget känns av även i hisskorgen.

För den ovan beskrivna hissen 2 är maskinväggens utformning och placering förhållandevis gynnsam. Hiss 3 har motsvarande hissmaskinmontage med veka isolatorer (= "nytt montage" vid hiss 2), men maskinväggen är i det fallet bara 0,15 m tjock och därmed betydligt vekare. Uppmätta ljudnivåer i närliggande boningsrum uppgick till 39-40 dBA, vilket alltså är betydligt högre än för hiss 2. En del av denna ljudnivådifferens kan sannolikt tillskrivas den vekare maskinväggen. Maskinrummets placering i förhållande till boningsrummet bedöms också vara ogynnsammare.

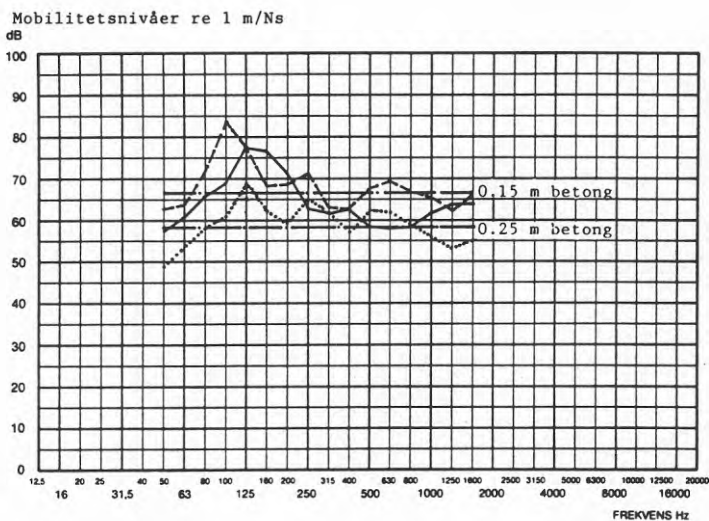
Vi anser därför att det är angeläget att arbeta vidare med de byggnadstekniska åtgärderna med inriktning mot att

- . sätta kravnivåer på maskinväggsmobilitet och överföringsfunktionen till ljudtryck i boningsrum för att det skall finnas en rimlig chans att klara isoleringen.
- . få fram lämpliga byggnadstekniska åtgärder som gör det möjligt att uppfylla kravnivåerna med acceptabla maskinmontage.

I det följande skall några förslag till åtgärder diskuteras med utgångspunkt från hissanläggning 2.

Uppmätta mobiliteter för hissanläggning 2

Mätpunkterna framgår av bilaga 1.1. Väggtjockleken i punkt 1 och 3 är 0,25 m och i punkt 8 0,15 m. I figuren nedan jämföres den teoretiskt beräknade punktmobiliteten för oändligt stor platta med uppmätta värden.



Figur 29. Uppmätta respektive teoretiska punktmobilitetsnivåer.

- punkt 1 (fundament)
- punkt 3 (linfäste)
- - - punkt 8 (linfäste)

Uppmätt mobilitet i punkt 8 stämmer i snitt väl med teoretiskt värde över ca 125 Hz. Toppen vid ca 100 Hz beror på en eller flera resonanser hos betongväggen.

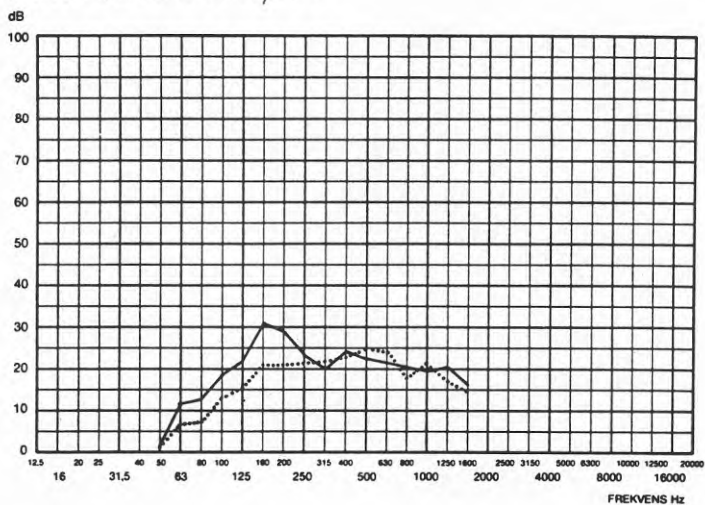
Mobiliteterna i punkt 1 och 3 motsvarar den oändligt stora plattan över ca 250 Hz. Resonanserna i området ca 100-200 Hz medför i punkt 1 en kraftig ökning av mobiliteten. Den är här ca 10 dB högre än i punkt 3. Som framgår av bilaga 1.1 är punkt 3 placerad på en styvare del av väggen. Det extra fundamentet för hissmaskinen borde i och för sig ge viss styvhetsökning under förutsättning att det är väl förbundet med golvet. I annan fall fungerar det bara som en massbelastning.

Egentligen är det inte punktmobiliteten hos maskinväggen som är avgörande även om den kan ha betydelse för effekten av en viss vibrationsisolering. Antag att den **kraft** som påverkar maskinväggen inte nämnvärt ändras om vi ändrar väggens punktmobilitet. Ljudtrycket p i angränsande boningsrum ges då av

$$p = F \cdot H \quad (\text{frekvensberoende})$$

där F är kraften och H är överföringsfunktionen från kraft på maskinvägg till ljudtryck i rum. Överföringsfunktionerna från punkt 1 resp 3 framgår av nedanstående figur.

Överföringsnivå dB re $20 \mu\text{Pa}/\text{N}$



Figur 30. Överföringsfunktion från kraft till ljudtryck i boningsrum (punkt 6)
— excitering i punkt 1
..... dito i punkt 3

Som synes är i detta fall de inbördes relationerna ungefär de samma som för punktmobiliteterna ovan.

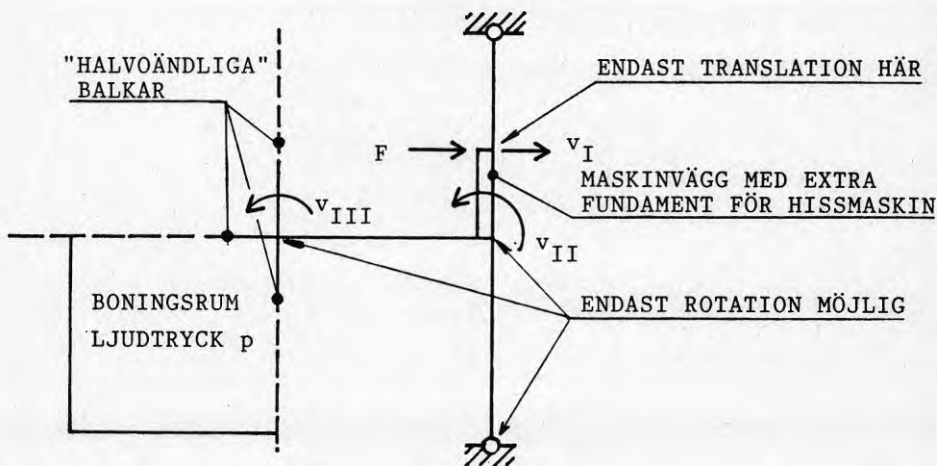
Med det normala montaget blev den beräknade ljudnivån i boningsrummet ca 36 dBA. Om man istället applicerar kraften (figur 28 ovan) i punkt 3 blir ljudnivån ca 30 dBA.

Infästning av hissmaskinen till styvare delar av maskinväggen skulle kunna sänka ljudnivån med befintlig byggnadskonstruktion. Svårigheten är att åstadkomma detta praktiskt. Om maskinen måste ha ungefär den nuvarande placeringen återstår att förändra byggnadsstommen.

Mobilitet med ändring av byggnadsstomme

Metoder att prediktera stömljudsutbredning i byggnadsstrukturer diskuteras i /4/. En fullständig modellering och beräkning är både svår och tidskrävande att genomföra. Detta ligger utanför projektets ram. Ett försök till kvantitativ bedömning av mass- och styvhetsändringars betydelse har dock gjorts.

För detta ändamål har valts en 2-dimensionell balkmodell enligt följande utseende (tvärsnitt genom hissmaskinrummet enligt bilaga 1.1).



Figur 31. Enkel 2-dimensionell balkmodell av hissmaskinrum med angränsande bjälklag och väggar.

I figuren ovan är F alltså kraften från hissmaskinen. Förändringarna av maskinväggen antas inte påverka F .

Modellen har 3 frihetsgrader I - III. För bedömning av förändringen i överföringsfunktionen $H_{I,p}$ till ljudtryck (p) i boningsrummet antas rotationshastigheten v_{III} vara signifikant, dvs vi betraktar överföringsmobiliteten

$$(6) \quad M_{I,III} = v_{III}/F$$

En förändring av $M_{I,III}$ antas medföra motsvarande förändring av $H_{I,p}$. Dvs (k = frekvensberoende faktor)

$$(7) \quad H_{I,p} = k \cdot M_{I,III}$$

Eftersom ljudtrycket antas bestämd av följande uttryck

$$(8) \quad p = H_{I,p} \cdot F = k \cdot M_{I,III} \cdot F$$

kan ljudtrycket efter en viss åtgärd formellt skrivas

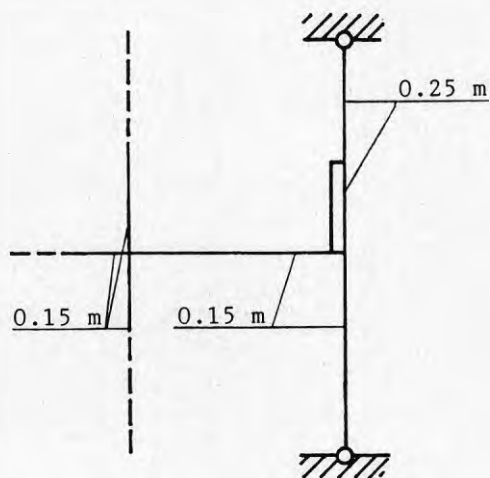
$$(9) \quad p^{\text{efter}} = p^{\text{före}} \cdot \frac{M_{I,III}^{\text{efter}}}{M_{I,III}^{\text{före}}}$$

Ljudnivådämpningen av åtgärden är således

$$(10) \quad D = 20 \log (p^{\text{före}} / p^{\text{efter}}) = 20 \log (M_{I,III}^{\text{efter}} / M_{I,III}^{\text{före}}) \text{ dB}$$

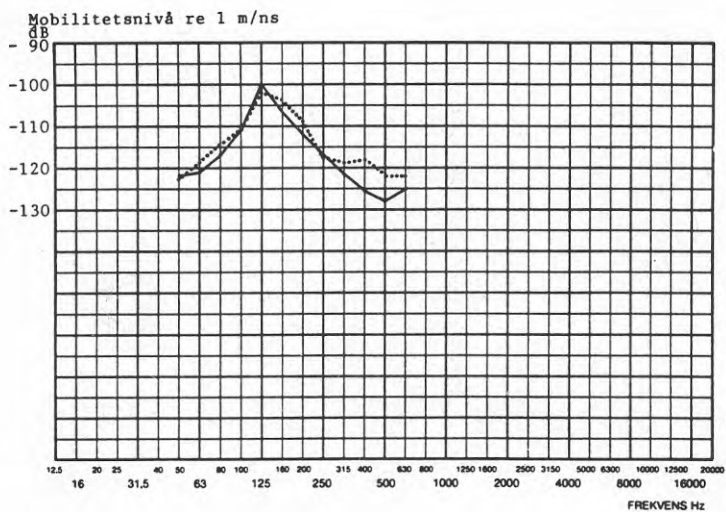
Referensfall

Referensfallets dimensioner framgår av figuren nedan.



Figur 32. Referensfall för bestämning av ljudnivå-
dämpning.

Balkbredden i djupled har satts till 1 m (motsvarar ca 1/4 - 1/2 böjvågslängd i intressant frekvensområde). Mätningar av $M_{I,III}$ saknas. Uppmätt och beräknad punktmobilitet $M_{I,I}$ för referensfallet visas i figuren nedan.

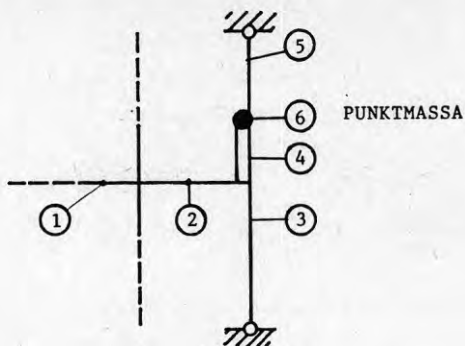


Figur 33. Uppmätt — resp beräknad mobilitetsnivå för referensfall.

Beräkningar

De varianter av förstävningar/massökning som studerats framgår av tabellen nedan. Balkdimensioner mm samt beräknade punkt- och överföringsmobiliteter framgår av bilaga 4. För varje variant har ljudnivån i boningsrummet beräknats enligt uttrycket (9). Normalt montage studeras (kraft enligt figur 28). Frekvensområdet för dBA-nivåerna omfattar tersbanden 50-630 Hz.

I tabellen nedan redovisas dämpningen i dBA relativt referensfallet = variant 1.



Variant	Balkar, tjocklek i m					Massa		Dämpning dBA	
	① 0.15	② 0.15	② 0.40	③ 0.15	③ 0.25	④ ⑤ 0.15	④ ⑤ 0.25		⑥ 1000 kg
1*	x	x		x			x		0
2	x	x		x		x			-8
3	x	x			x		x		0
4	x	x			x	x			3
5	x		x	x			x		1
6	x		x	x		x			-1
7	x		x		x		x		2
8	x		x		x	x			3
9	x	x		x			x	x	0
10	x	x		x		x		x	12
11	x	x			x		x	x	8
12	x	x			x	x		x	10
13	x		x	x			x	x	2
14	x		x	x		x		x	16
15	x		x		x		x	x	7
16	x		x		x	x		x	14

* Referensfall

Resultaten kan sammanfattas enligt följande

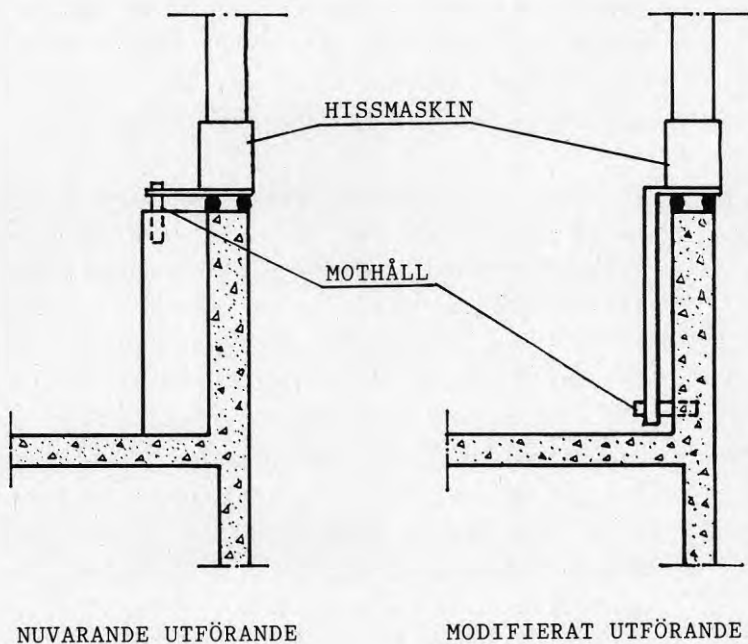
- . Enbart vekare maskinvägg (balk ④ och ⑤) försämrar kraftigt (variant 2).
- . Förstyvningar av hissrumsgolv och underliggande schaktvägg (balk ② och ③) har marginell effekt.
- . Enbart ökad massa med 1000 kg på maskinväggen ger ingen förbättring. Detta beror på att maskinväggens grundresonans inte flyttas tillräckligt långt ner i frekvens.
- . Ökad massa + vekare (0,15 m) maskinvägg ger stora förbättringar. Väggens grundresonans sjunker här till runt 50 Hz.
- . Om dessutom hissrumsgolvet förstyvas (0,40 m) erhålls ytterligare förbättring. Golvet grundresonans förskjuts därvid upp mot ca 400 Hz. Överföringsmobiliteten $M_{I,III}$ minskar därvid kraftigt i det viktiga frekvensområdet ca 100-200 Hz.

Det skall understrykas att beräkningarna ovan baseras på en mycket grov modell. Man får därför vara mycket försiktig med att dra långtgående slutsatser av resultaten.

Beräkningarna indikerar att man med fullt rimliga byggnadstekniska åtgärder skulle kunna åstadkomma en reducerad stomljustransmission. För att få bekräftat detta är praktiska prov nödvändiga. För en sådan provserie kan man tänka sig att göra en mer avancerad beräkningsmodell. Fler alternativa förändringar av massa och styvhet än som tagits med här kan man givetvis tänka sig.

FÖRÄNDRING AV HISSMASKINISOLERING

Hissmaskinens vibrationsisolering har inte analyserats närmare. Vi vet för närvarande inte om den dominerande stomljudsöverföringen sker via vibrationsisolatorerna under maskinen eller via mothållet. Om mothållet är av stor betydelse borde det vara möjligt att flytta fästpunkten till en styvare del (se diskussion under figur 30 ovan) av maskinväggen i princip enligt figur 34.



Figur 34. Förslag till modifierad infästning av mothåll.

FORTSATT ARBETE

Enligt vår bedömning bör en fortsättning av projektet inriktas på att utreda följande punkter.

- Resultaten för hiss nr 2 som redovisats ovan tyder på att stomljudsinledningen via maskinfundamentet dominerar. Överensstämmelsen mellan uppmätt ljudnivå i boningsrum och ljudnivå beräknad utgående från uppmätta mobiliteter och vibrationer är acceptabel för denna hiss. Motsvarande jämförelse bör göras för fler hissar. Som jämförelseobjekt kan bl a hiss 1 och 3 ovan användas. Eventuellt kan några kompletterande mätningar krävas.
- Det som får anses om mest angeläget är att praktiskt undersöka hur massa/styvhetsändringar hos byggnadsstommen inverkar på stomljudsstransmissionen. Några olika utformningar av väggar och bjälklag i och kring hissmaskinrummet skulle då provas. Valet av åtgärder bör vara underbyggt med någon form av teoretisk beräkning av stomljudsstransmissionen. Eventuellt kan beräkningarna baseras på en balkmodell - i princip som redovisats ovan. Det kan då vara lämpligt att välja en sådan byggnad i nyproduktionen, för vilken referensmobiliteter mm kan erhållas från en motsvarande befintlig byggnad.
- Betydelsen av utformningen av mothållets infästning (se figur 33). Det är då intressant att utforma mothållet så att lägre mothållskrafter erfordras och att utnyttja dynamiskt styva infästningspunkter hos byggnadsstommen.

REFERENSER

- /1/ Kamph, E. Byggnadsforskningsrådet.
Rapport R30:1981. Hissbuller i bostäder.
- /2/ Peterson, B. Department of Building Acoustics,
Chalmers University of Technology, Report F83-05,
1983. Studies of ordinary and effective mobili-
ties for the determination of structure-borne
sound power transmission.
- /3/ Gadefelt, G et al. Byggforskningsrådet. Rapport
R52:1974. Punktexciterat ljud i byggnader.
- /4/ Peterson, B. Danish Acoustical Institute, Report
No 125, 1985. An Introductory Study of the
Acoustic Consequences of Technical Installations
in Buildings, in particular Elevator Installa-
tions.
- /5/ Åkesson, B et al. Almqvist & Wiksell, Uppsala,
1977. Böjsvängande balkar och ramar.

3K

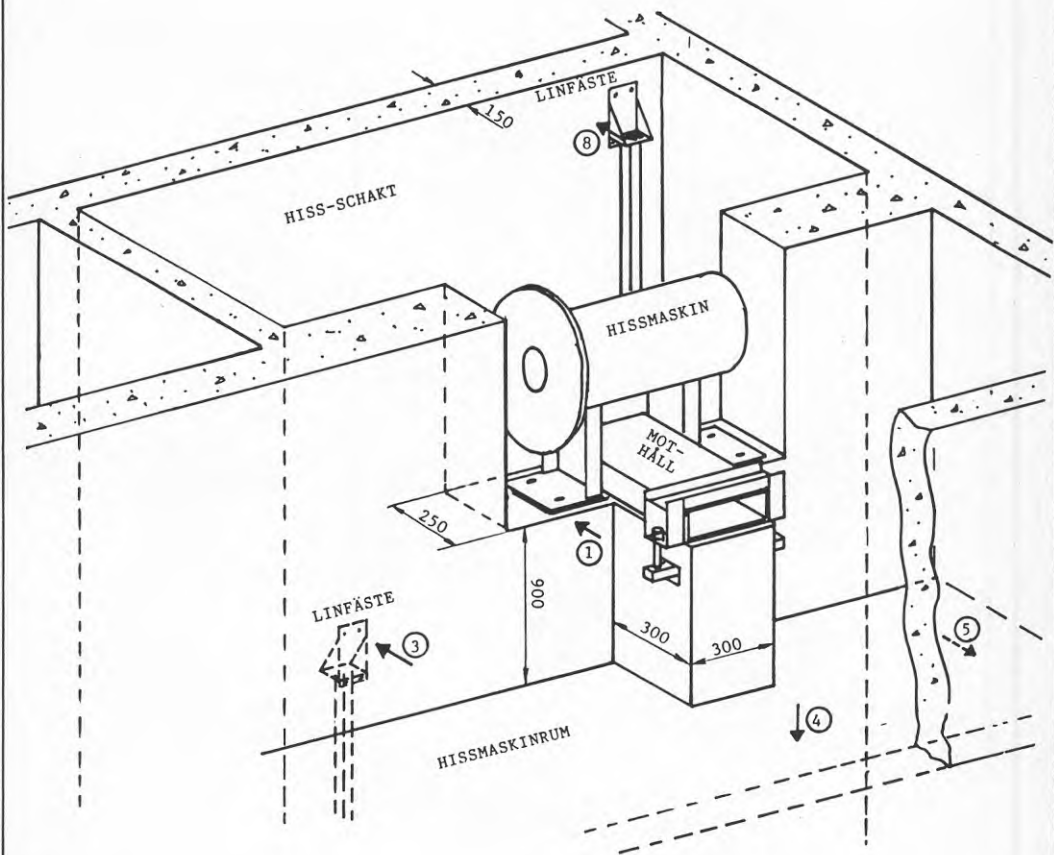
BFR
HISSBULLER DEL II

DILAGA 1.1 SIDA 50

INGÅR I

DATUM

SIGN.



3K

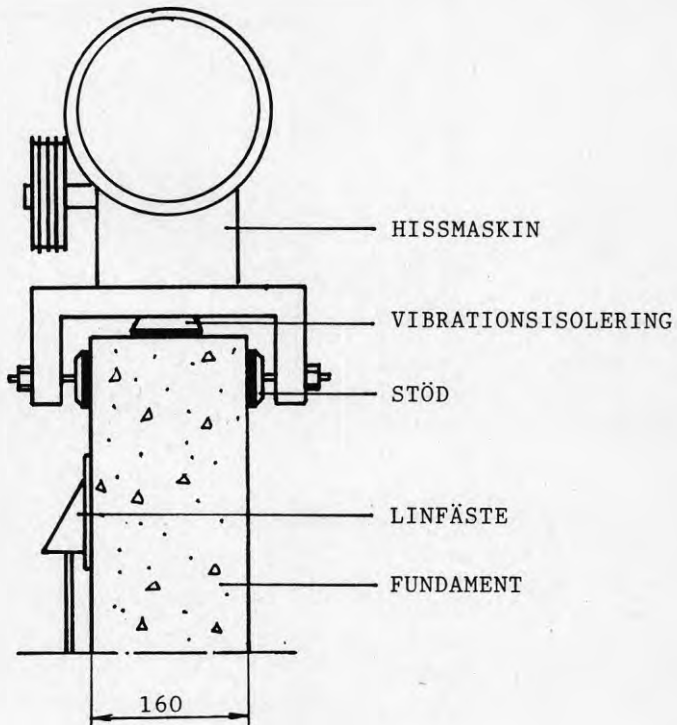
BFR
HISSBULLER DEL II

BILAGA 1.2 SIDA 51

INGÅR I

DATUM

SIGN.



3K

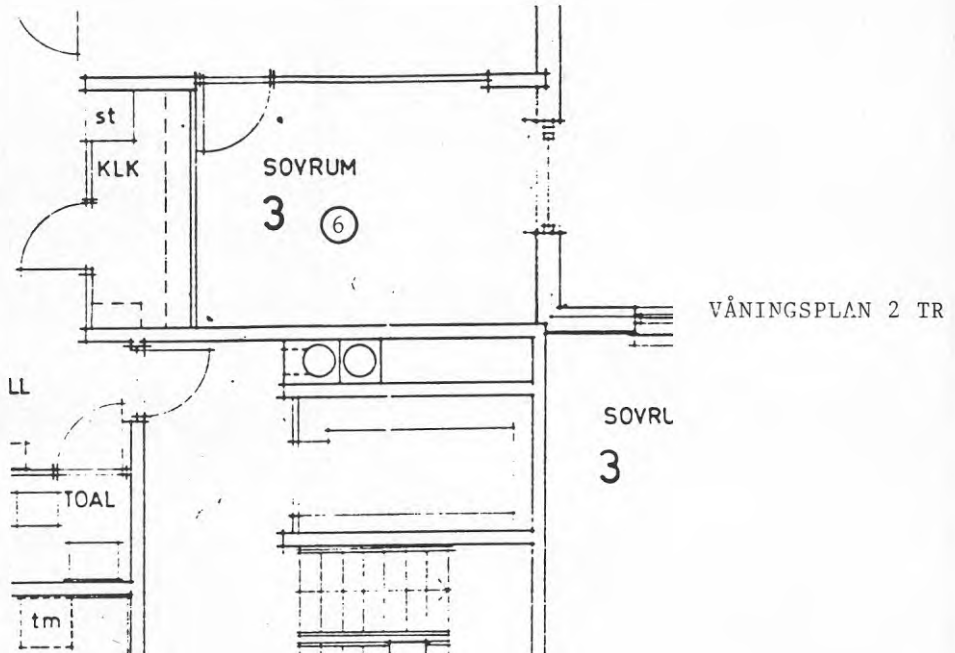
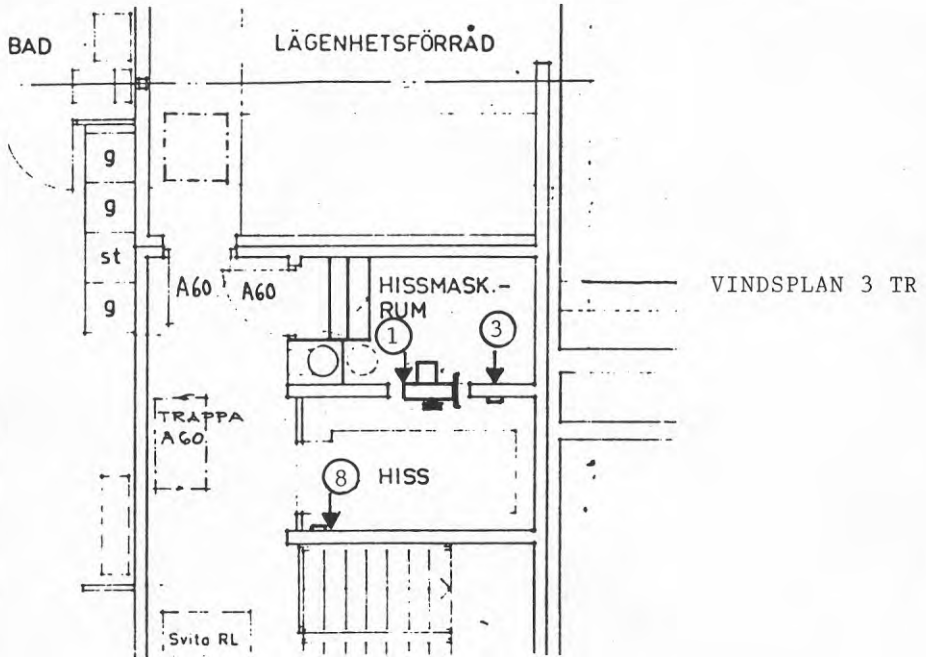
BFR
HISSBULLER DEL II

BILAGA 1.3 SIDA 52

INGÅR I

DATUM

SIGN.



3K

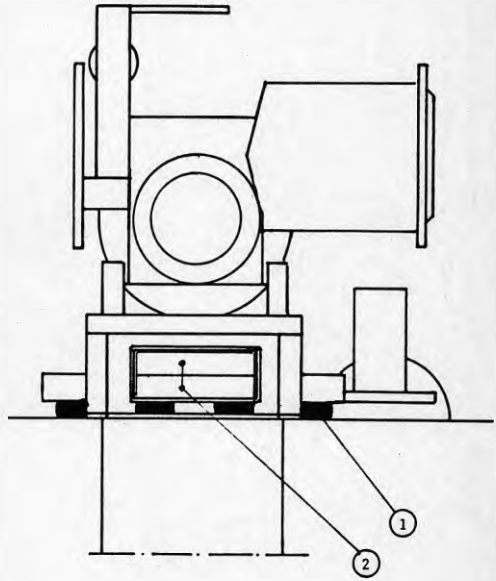
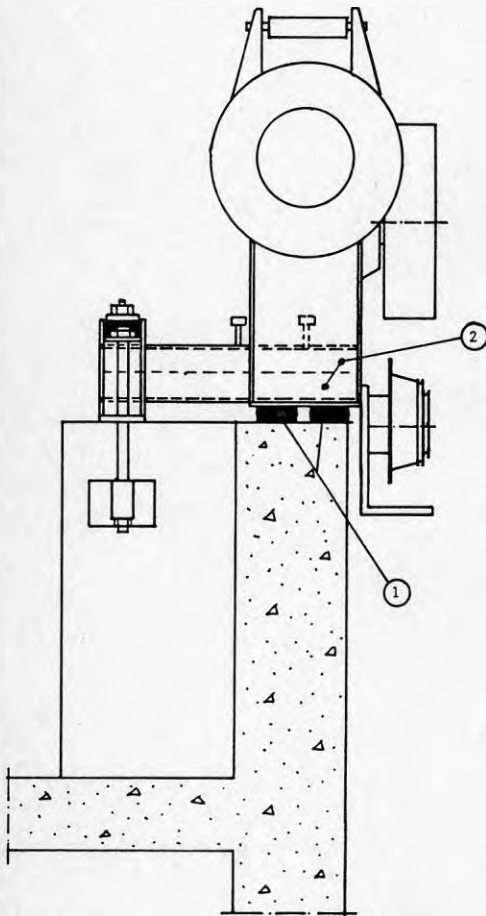
BFR
HISSBULLER DEL II

BILAGA 1.4 SIDA 53

INGÅR I

DATUM

SIGN.



NORMALT MONTAGE

- ① GUMMIMATTA
- ② INGEN MASSBELASTNING

NYTT MONTAGE

- ① VIBRATIONSDÄMPARE
- ② MASSBELASTNING AV TUNGA STÅLPLATTOR

3K

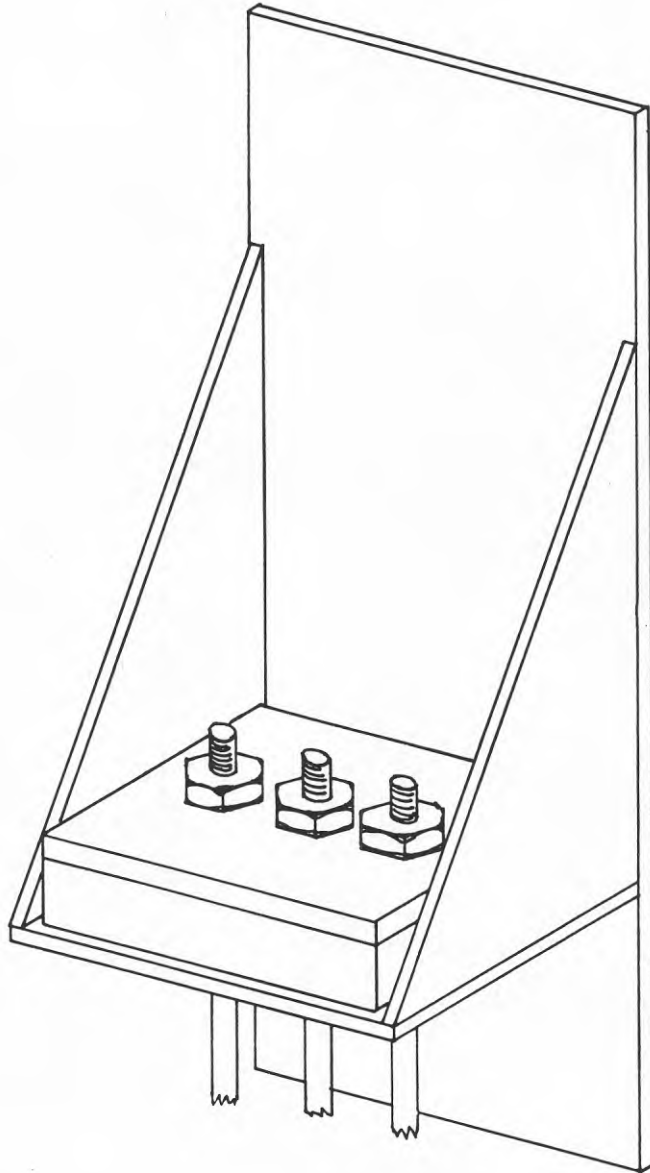
BFR
HISSBULLER DEL II

BILAGA 1.5 SIDA 54

INGÅR I

DATUM

SIGN.



MASSBELASTNING
AV STÅLPLATTOR

GUMMIPLATTOR

3K

BFR.
HISSBULLER DEL II

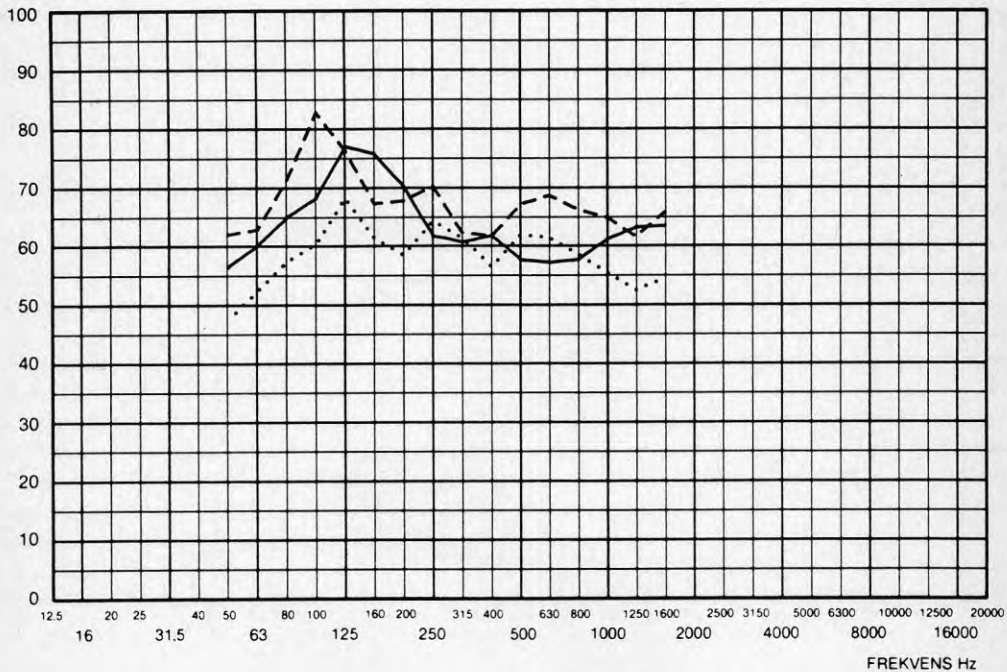
BILAGA	2.1	SIDA	55
INGÅR I	8451.11		
DATUM	82-01-29		
SIGN.			

Stampgatan 58 B
Punktmobilitet

———— Punktmobilitet 1T
..... Punktmobilitet 3T
----- Punktmobilitet 8T

8:27
8:28
1:28

dB re 1 nm/No



3K

BFR
HISSBULLER DEL II

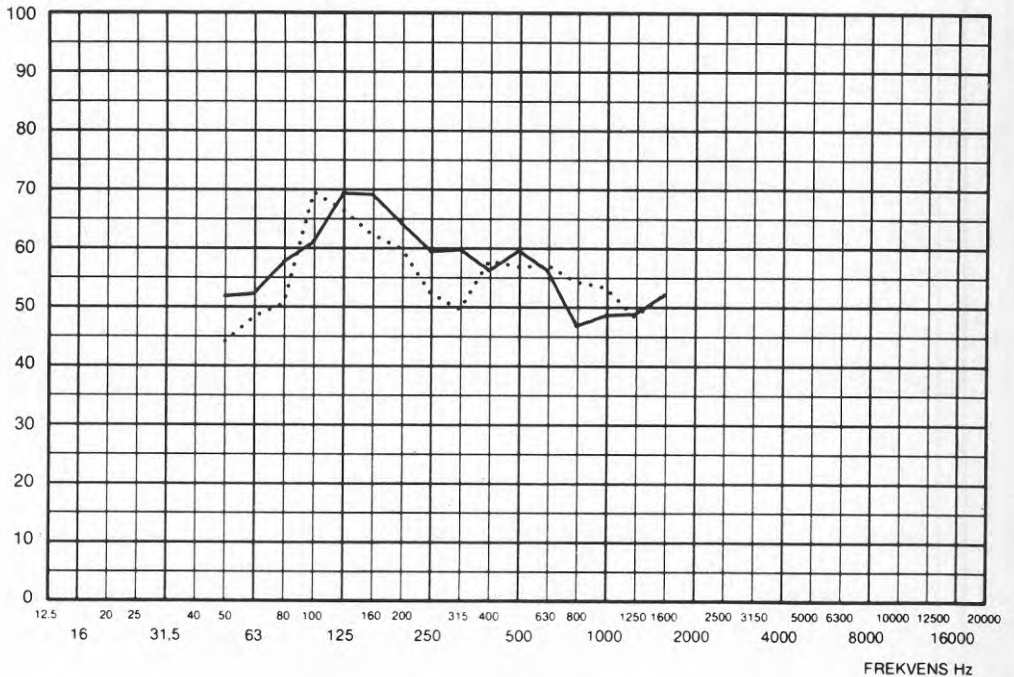
BILAGA 2.2.	SIDA 56
INGÅR I	8451
DATUM	82-01-29
SIGN.	

Stampgatan 58 B
Överföringsmobilitet

— Överföringsmobilitet IT - 3T
..... Överföringsmobilitet IT - 8T

1:8
& 56

dB re 1 na/Na





BFR
HISSBULLER DEL II

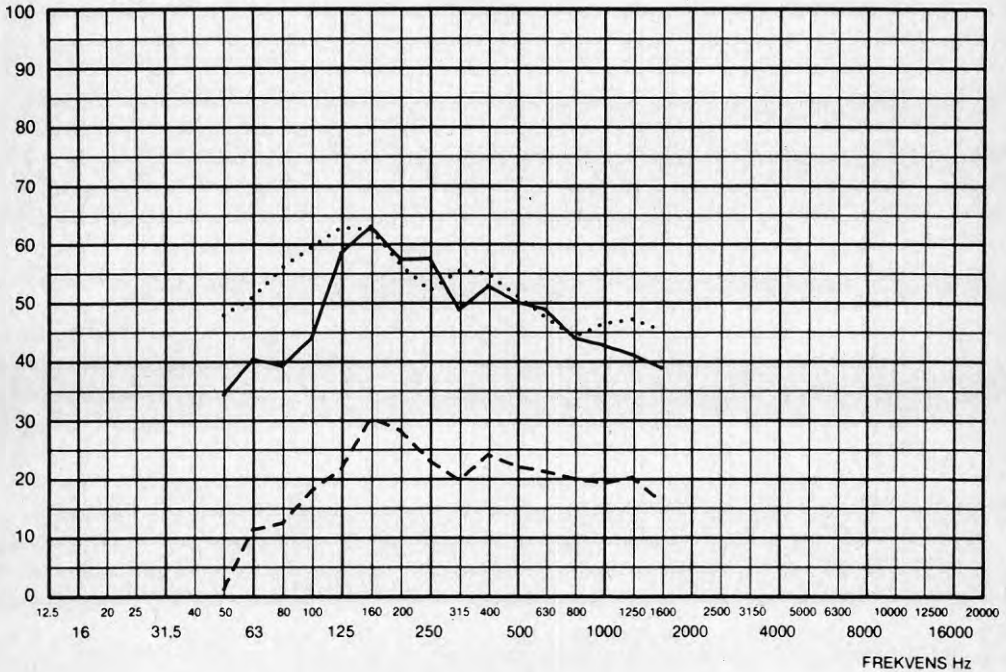
BILAGA	2.3	SIDA	57
INGÅR I	8451.11		
DATUM	82-01-29		
SIGN.			

Stampgatan 58 B

Överföringsmobilitet, överföringsnivå

- Överföringsmobilitet IT - 4 1:7
- Överföringsmobilitet IT - 5 1:8
- Överföringsnivå IT - 6 1:16

dB re 1 $\mu\text{m/s}$, re 20 Pa/N



3K

BFR HISSBULLER DEL II

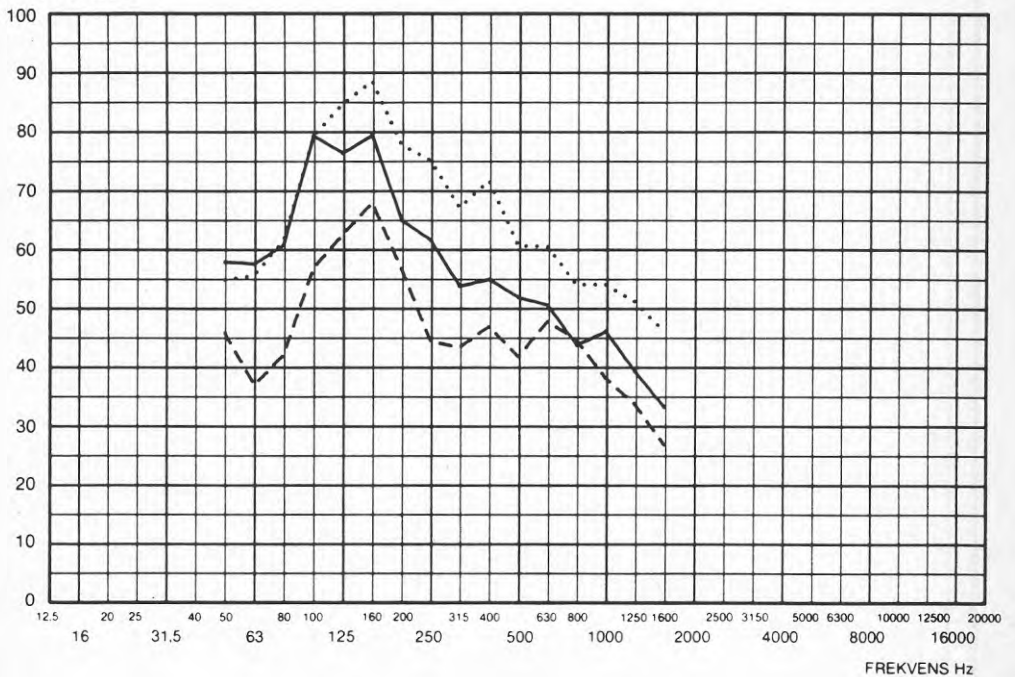
BILAGA	2.4	SIDA	58
INGÅR I	8451		
DATUM	82-05-28		
SIGN.			

Stampgatan 58 B

Hastighetsnivå punkt 1, A-vägt

- Normalt montage 8: 68
- Kortslutet montage 8: 68
- - - Nya dämpare mm 8: 68

dB re 1 nm/s



3K

BFR HISSBULLER DEL II

BILAGA 2.5 SIDA 59

INGÅR I 8451

DATUM 82-05-28

SIGN.

Stampgatan 58 B

Hastighetsnivå punkt 1, A-vägt

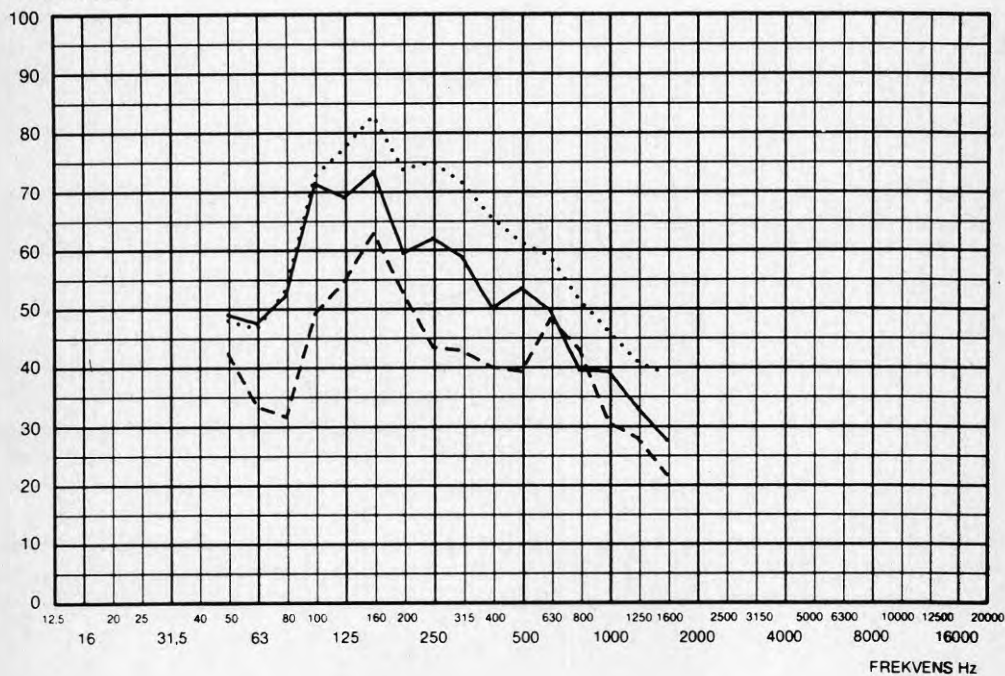
— Normalt montage
..... Kartslutet montage
- - - Nya dämpare mm

8:00

8:30

8:01

dB re 1 nm/s



3K

BFR HISSBULLER DEL II

BILAGA 2.6 SIDA 60

INGÅR I 8451

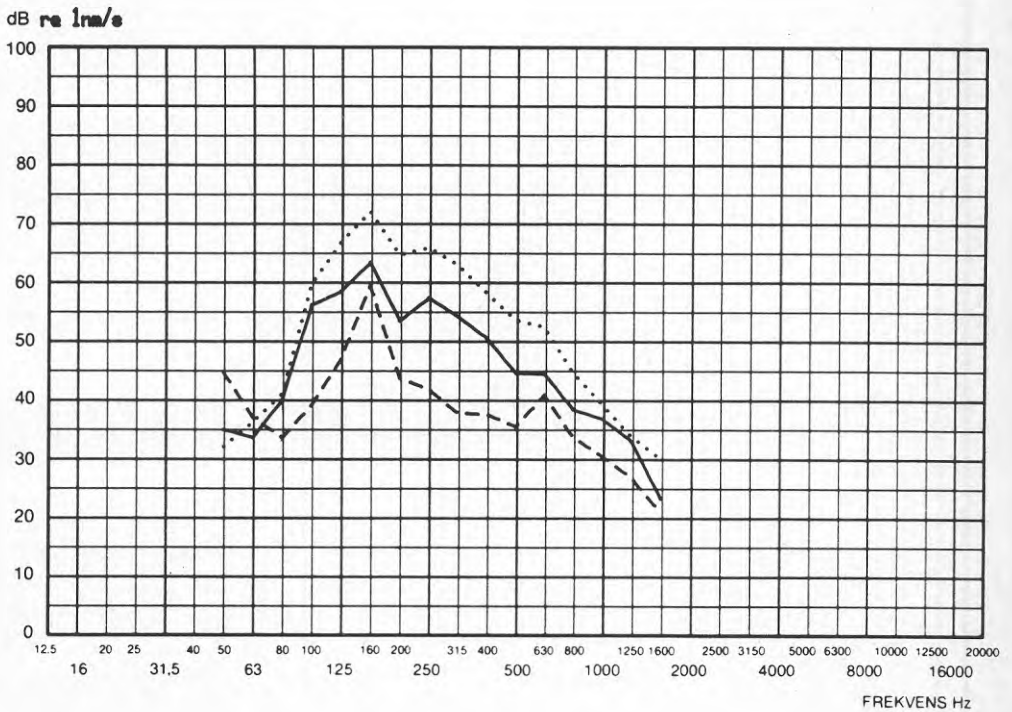
DATUM 82-05-28

SIGN.

Stampgatan 58 B

Hastighetsnivå punkt 4, A-vägt

- Normalt montage & 71
- Kortslutat montage & 75
- - - - - Nya dämpare m & 82





BFR
HISSBULLER DEL II

BILAGA 2.7 SIDA 61

INGÅR I 8451

DATUM 82-05-28

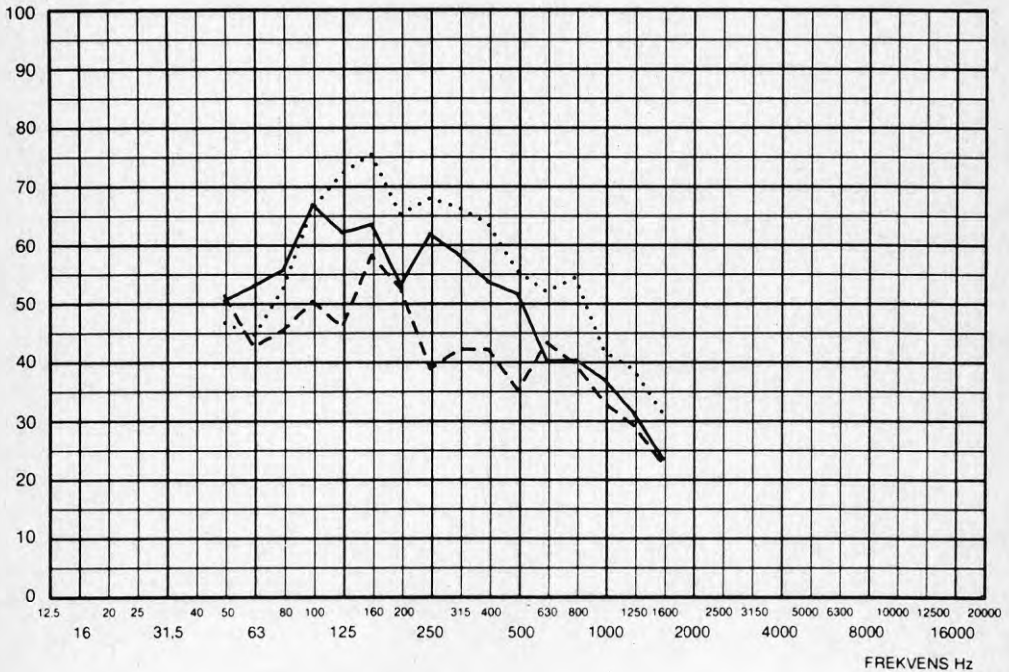
SIGN.

Stampgatan 58 B

Hastighetsnivå punkt 5, A-vägt

- Normalt montage & 72
- Kortslutet montage & 78
- Nya dämpare mm & 83

dB re 1 nm/s



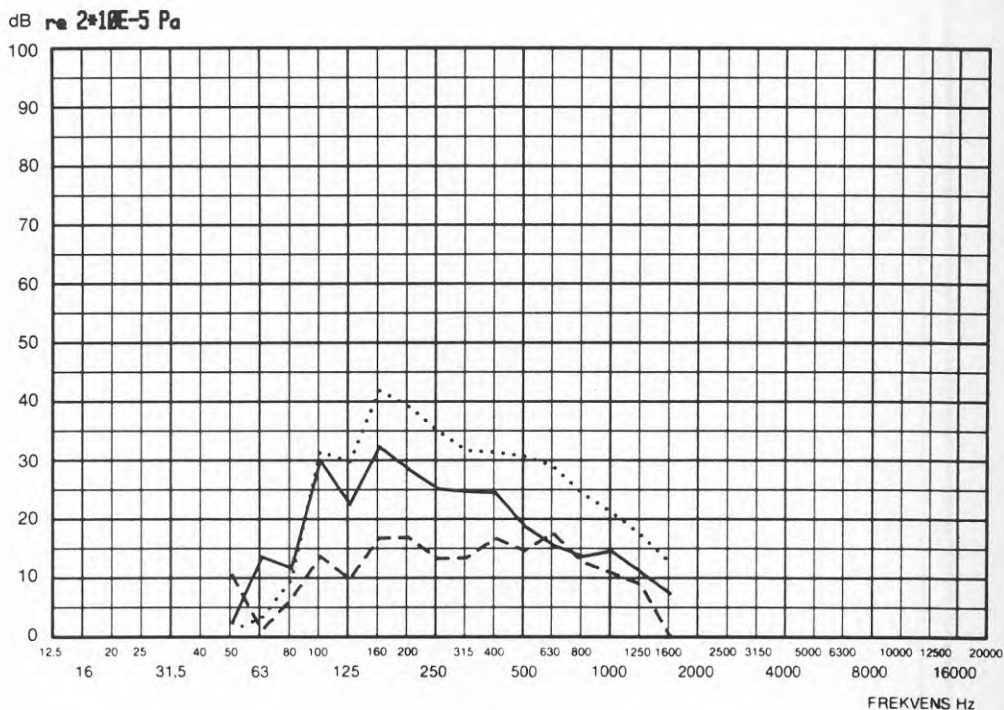
3K

SFR
HISSBULLER DEL II

BILAGA	2.8	SIDA	62
INGÅR I	8451		
DATUM	82-05-28		
SIGN.			

Stampgatan 58 B
Ljudnivå punkt 6, A-vägt

- Normalt montage 8:74
- Kartslutet montage 8:77
- Nya dämpare mm 8:85



3K

BFR
HISSBULLER DEL II

BILAGA	2.9	SIDA	63
INGÅR I	8451		
DATUM	82-05-28		
SIGN.			

Stampgatan 58 B

Hastighetsnivå punkt 8, A-vägt

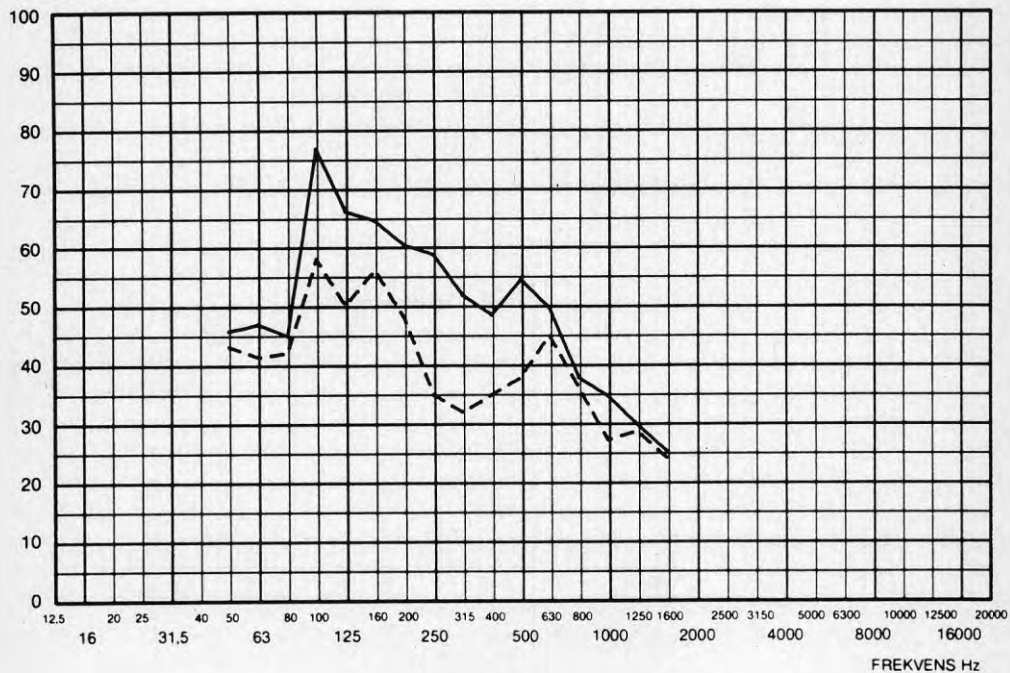
—— Normalt montage

8:73

---- Nya dämpare m

8:84

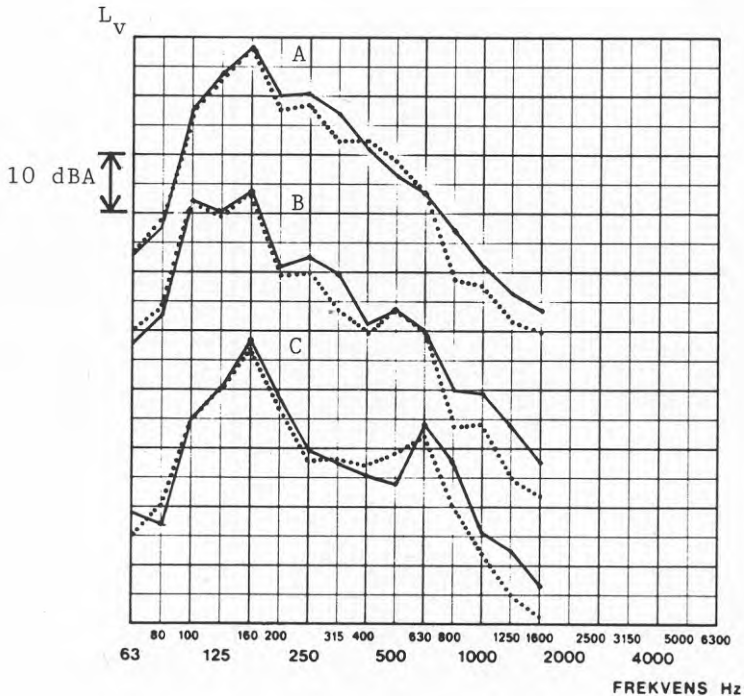
dB re 1 nm/s



Punkt 3 (linfäste)

—— Uppmätt
..... Beräknat bidrag från maskinfundament

- A) Kortslutet montage
 - 86.1 dBA
 - 84.7 dBA
- B) Normalt montage
 - 77.5 dBA
 - 77.0 dBA
- C) Nytt montage
 - 65.0 dBA
 - 63.5 dBA





Punkt 4 (golv i maskinrum)

— Uppmätt
..... Beräknat bidrag från maskinfundament

A) Kortslutet montage

— 75.6 dBA

..... 73.4 dBA

B) Normalt montage

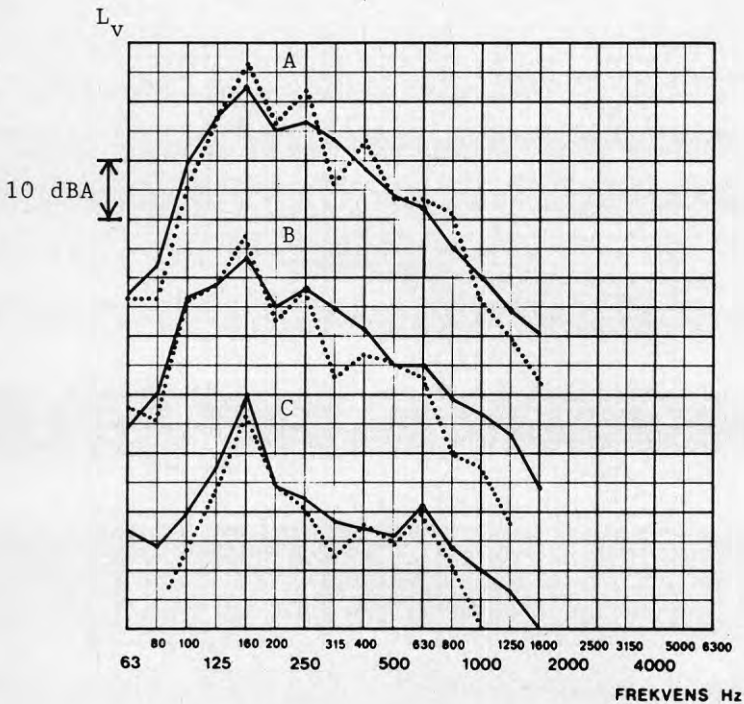
— 67.1 dBA

..... 68.6 dBA

C) Nytt montage

— 60.8 dBA

..... 56.7 dBA



Punkt 5 (vägg i maskinrum)

— Uppmätt
..... Beräknat bidrag från maskinfundament

A) Kortslutet montage

— 79.3 dBA

..... 79.0 dBA

B) Normalt montage

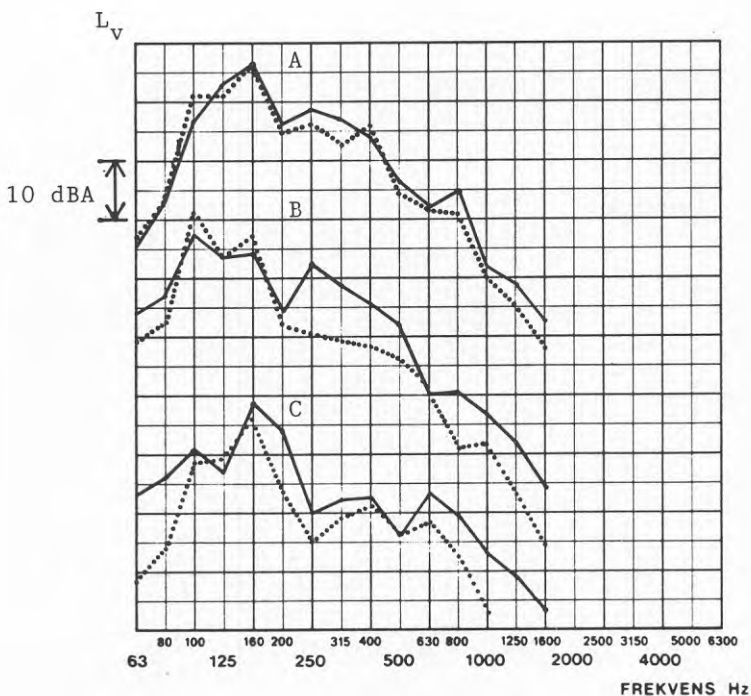
— 71.6 dBA

..... 73.1 dBA

C) Nytt montage

— 61.7 dBA

..... 57.4 dBA





Punkt 6 (boningsrum)

— Uppmätt
..... Beräknat bidrag från maskinfundament

A) Kortslutet montage

— 45.9 dBA

..... 45.7 dBA

B) Normalt montage

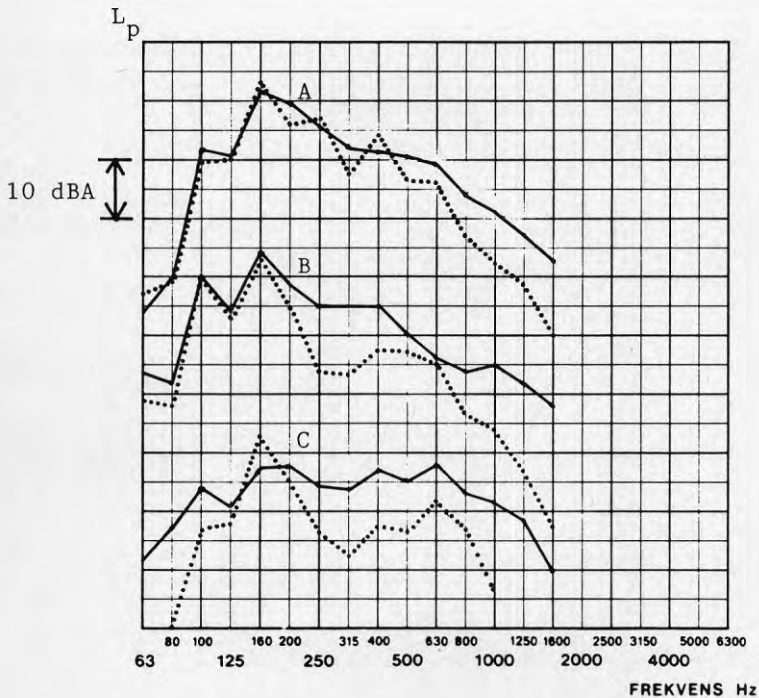
— 37.2 dBA

..... 36.2 dBA

C) Nytt montage

— 26.1 dBA

..... 24.3 dBA



Punkt 8 (linfäste)

— Uppmätt
..... Beräknat bidrag från maskinfundament

B) Normalt montage

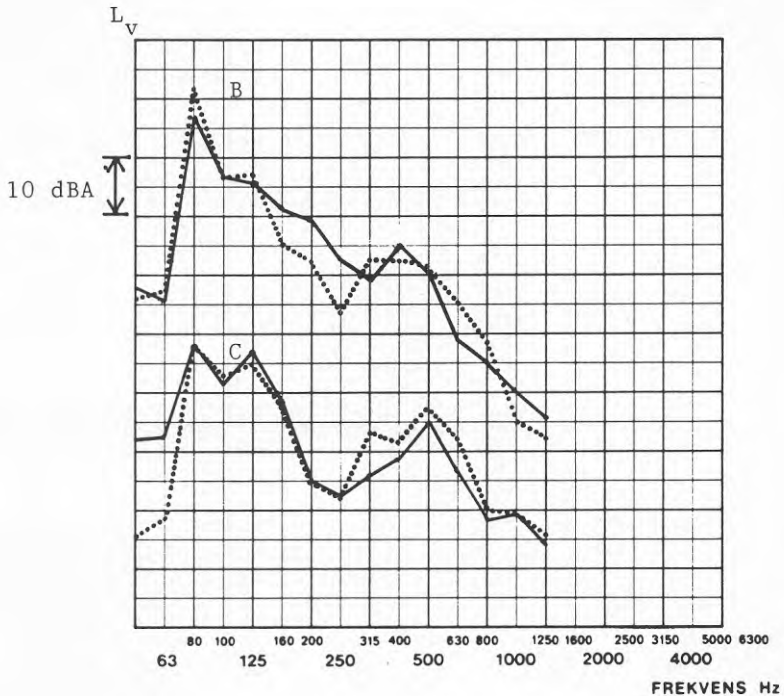
— 78.4 dBA

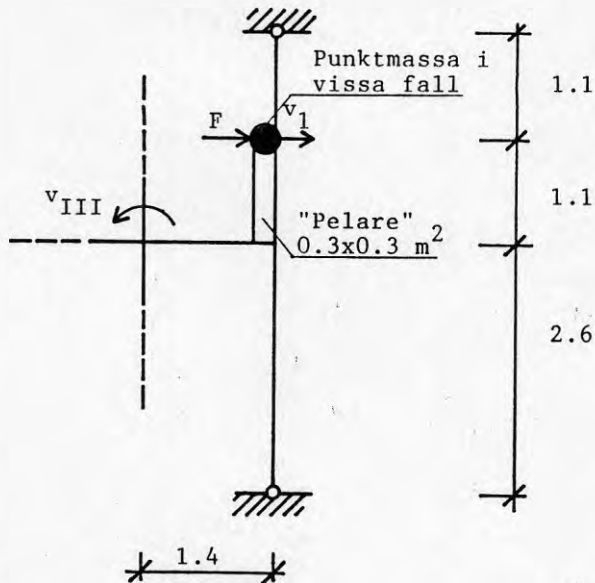
..... 81.4 dBA

C) Nytt montage

— 61.8 dBA

..... 61.3 dBA



BERÄKNADE PUNKT- OCH ÖVERFÖRINGSMOBILITETERBalkmodell:

Balkbredden är i samtliga fall = 1 m.
 Balktjocklekarna framgår av diagrammen.
 E-modul = $2,8 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$
 Densitet = 2300 kg/m^3
 Förlustfaktor = 0,1
 Frekvensområde = 50 - 630 Hz (tersband)
 Beräkningsmetod enligt /5/

På diagram 1-4 redovisas punkt- och överföringsmobiliteter $M_{I,I}$ resp $M_{I,III}$.

$$M_{I,I} = v_I/F \quad ; \quad M_{I,III} = v_{III}/F$$

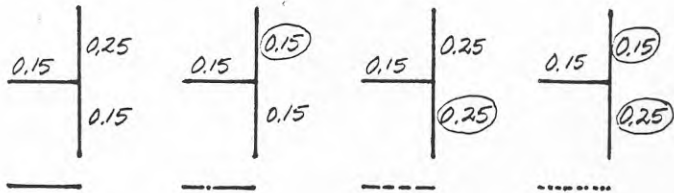
för 16 olika varianter. Variant 1 är referens. För varje variant anges beräknad ljudnivå i boningsrum med normalt hissmaskinmontage. De dimensioner som avviker från referensfallet har i varje referens ringats in.



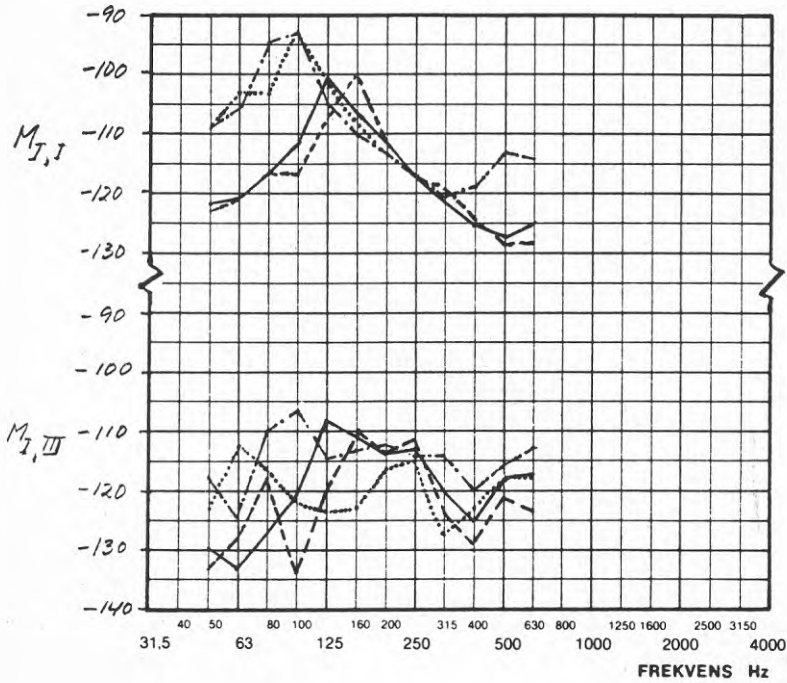
BFR
HISSBULLER DEL II

BILAGA 4.2	SIDA 70
INGÅR I	
DATUM	
SIGN.	

VARIANT: 1 2 3 4
Lp dBA: 36 44 36 33



Mobilitetsnivå dB re 1 m/Ns



3K

BFR
HISSBULLER DEL II

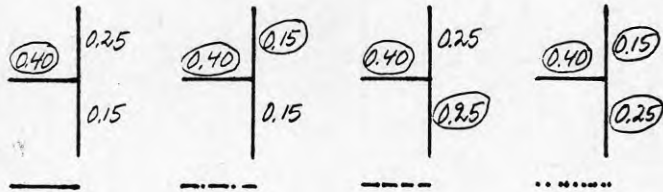
BILAGA 4.3	SIDA 71
INGÅR I	
DATUM	
SIGN.	

VARIANT: 5
Lp dBA: 35

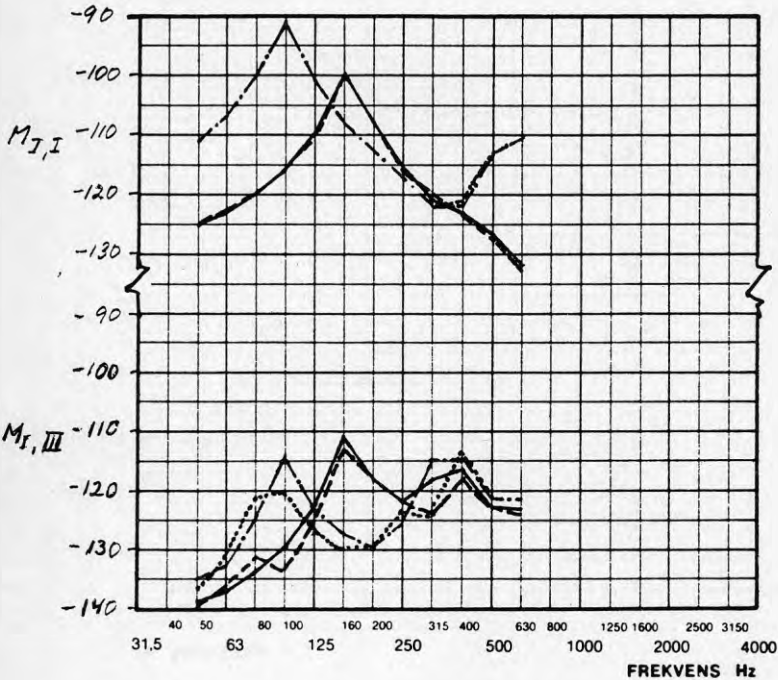
6
37

7
34

8
33



Mobilitetsnivå dB re 1 m/Ns

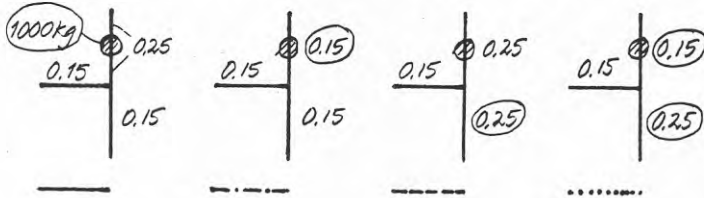


3K

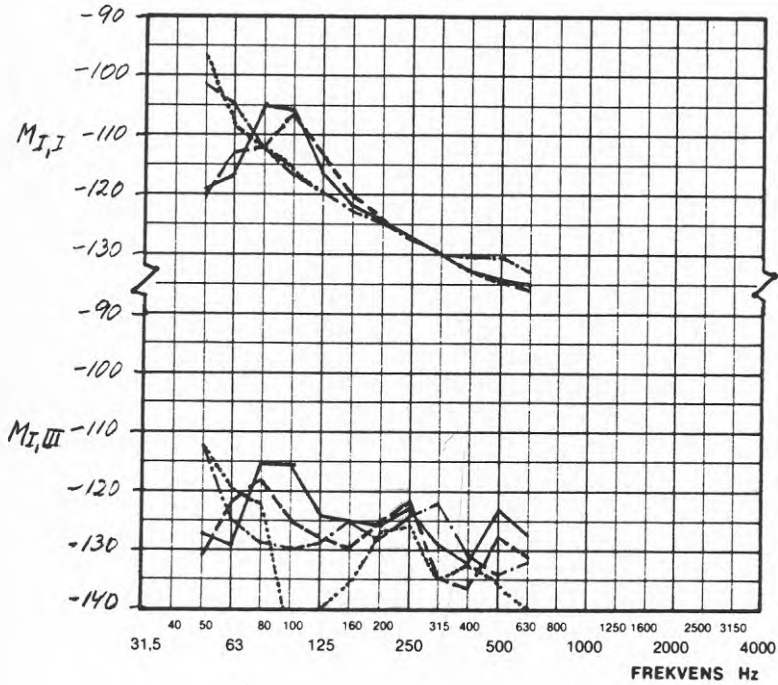
BFR
HISSBULLER DEL II

BILAGA 4.4	SIDA 72
INGÅR I	
DATUM	
SIGN.	

VARIANT: 9 10 11 12
Lp dBA: 36 24 28 26



Mobilitetsnivå dB re 1 m/Ns



3K

BFR
HISSBULLER DEL II

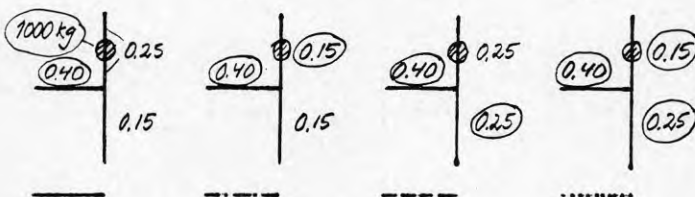
BILAGA 4.5	SIDA 73
INGÅR I	
DATUM	
SIGN.	

VARIANT: 13
Lp dBA: 34

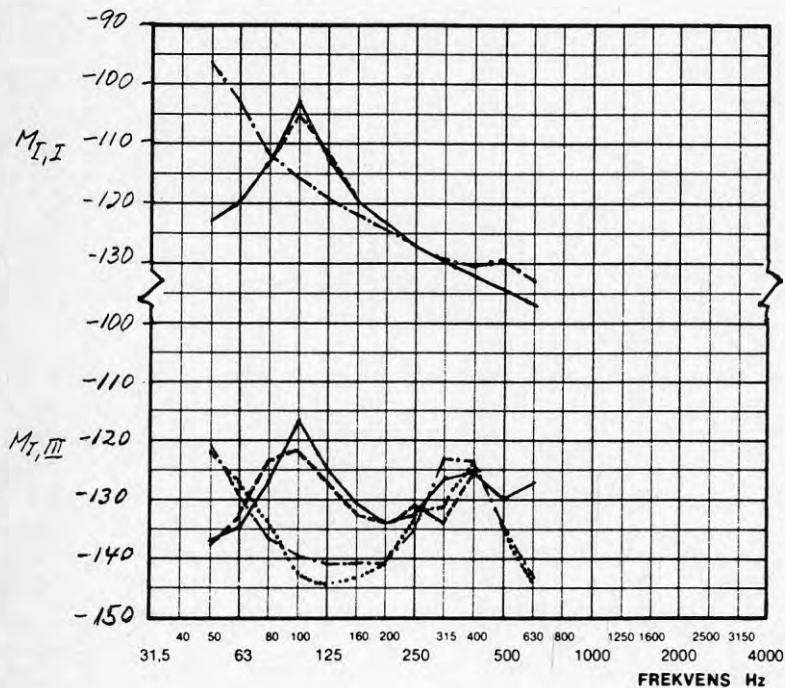
14
20

15
29

16
22



Mobilitetsnivå dB re 1 m/Ns





Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 810645-7
från Statens råd för byggnadsforskning till 3K Akustik-
byrån AB, Göteborg.

NOB: 170 / HISSNUTET I POSTEN I E. KÄMPER, O. BERGSTRÖM

R83: 1987

ISBN 91-540-4782-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6707083

Abonnemangsgrupp:
W. Installationer

Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm

Cirkapris: 39 kr exkl moms