



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

R52: 1974

TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FÖR VÄG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

Punktexciterat ljud i byggnader

Göran Gadefelt et al.

Byggforskningen

Punktexciterat ljud i byggnader

En experimentell studie av typiska transmissionsfunktioner i två byggnader med betongstomme

Göran Gadefelt et al.

Genom att de flesta byggnader, det må vara industri- eller bostadsbyggnader, inrymmer maskinella anordningar, föreligger ett stort behov av att närmare känna de faktorer som påverkar fortplantningen av vibrationer och ljud från en störande maskin till byggnadens olika delar. Denna kunskap kan dels utnyttjas till att förutbestämma de från en maskin till närliggande utrymmen genom stommen fortplantade vibrationerna och ljudfälten, dels till att genom konstruktiva ingrepp försvåra ljudfortplantningen.

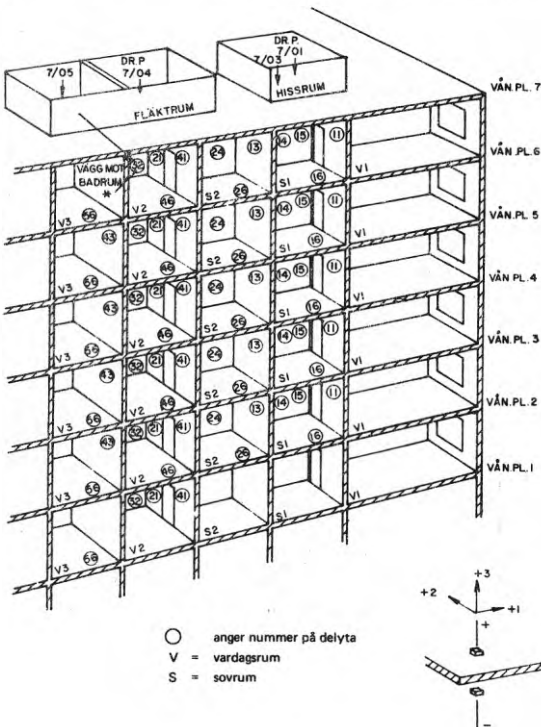
I denna rapport redovisas experimentuella data på byggnaders dynamiska egenskaper från försök utförda under åren 1964–1970. För studien har utvalts en byggnad av typ industri- eller lagerbyggnad, och en bostadsbyggnad. Båda med betong i den bärande stommen. Det framlagda materialet bör främst vara av värde för dem som har att kvantitativt prognosera ljud- och vibrationsutbredning i byggnader av studerad konstruktionstyp.

Då ljudfortplantningen i byggnader från punktformigt angräpande störkrafter tidigare varit bristfälligt experimentellt studerad påbörjades 1964 en studie avsedd att undersöka om de inom maskin- och skeppsbyggnadstekniken på slutet av 50-talet utvecklade metoderna för bestämning av ljudtransmission skulle kunna utnyttjas även inom byggnadstekniken. Syftet med studien var också att ta fram experimentellt underlag med vars hjälp man enkelt skulle kunna karakterisera en byggnads lokala svar på en insatt dynamisk störning, punktadmittans eller punktimpedans och denna störnings fortplantning över bjälklag och genom skilda våningplan, överföringsadmittans.

Undersökningsmetoder

Drivningen av stommen har skett med elektrodynamisk vibrator normalt via 40 mm stålbricka och det lokala svaret bestämts med specialkonstruerat "impedanshuvud". Drivningen har dels skett med sinuston, som ger god informa-

FIG. 1. Mätobjekt. Bostadsbyggnad i platsgjuten betong.



Bygghorsningen Sammanfattningar

R52:1974

Nyckelord:

ljudtransmission, vibration, störande maskinljud, betongstomme

Rapport R52:1974 hänför sig till forskningsanslag C 186 från Statens råd för byggnadsforskning till Akustikbyrån AB, Stockholm.

UDK 624.92
534.83
699.84

SfB A
ISBN 91-540-2373-4

Sammanfattning av:

Gadefelt, G. et al, 1974, *Punktexciterat ljud i byggnader. En experimentell studie av typiska transmissionsfunktioner i två byggnader med betongstomme*, (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R52:1974, 265 s, ill. 37 kr exkl moms.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning.

Distribution:

Svensk Byggtjänst
Box 1403,
111 84 Stockholm
Telefon 08-24 28 60
Grupp: konstruktion

tion om närvaro av resonanser, dels med brus i tersband. Eftersom stegljudsapparat på annat håll utnyttjats för att sätta stommen i rörelse har jämförande mätningar gjorts med denna drivmetod. Inga större fördelar har dock kunnat noteras hos stegljudsapparat jämfört med elektrodynamisk vibrator. Vibrationshastigheten i mottagarpunkter har mätts med piezoelektriska accelerometrar. Även luftljud orsakat av punktformig kraft har uppmätts i ett flertal rum i byggnaden.

Mätobjekt

En industribyggnad, med 28 cm platsbygget betongbjälklag, och en bostadsbyggnad i platsbygget betongstomme har undersökts. Det senare objektet är studerat före inflyttning omedelbart efter färdigställande. FIG. 1.

Mätresultat

Mätresultatet föreligger i form av admittans (eftergivlighet), FIG. 2, vilket anger hur stor hastigheten i drivpunkten blir för en drivkraft av 1 Newton, samt i form av överföringsadmittans, FIG. 3, som visar hastigheten på viss bjälklags- eller väggyta för motsvarande kraft. Med hänsyn till det stora nivåomfånget har logaritmiska måttetal utnyttjats. Drivning har skett i sådana punkter av stommen som kan antas vara karakteristisk plats för maskininstallation.

Vid sidan av dessa katalogiserade upp-

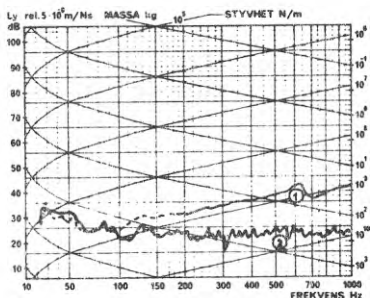


FIG. 2. Byggnadens punktadmittans.

① Hastigheten mätt på drivsidan. ② Hastigheten mätt på plattans från brytpunkten vända yta.

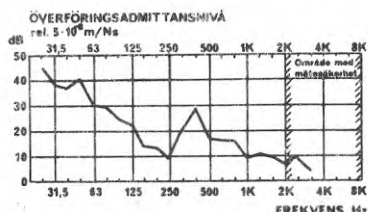


FIG. 3. Överföringsadmittans till godtyckligt valt byggnadselement.

gifter förekommer resultat som visar luftljudet i olika rum i bostadsbyggnaden då en storkraft angriper i stommen. Därjämte lämnas en kort sammanställning av utbredningsdämpningen över tungt pelarbjälklag samt i byggnadsstommen väning för väning, FIG. 4. Vibrationshastighetsnivån för några karakteristiska storkällor som hissar, badrumskran och fläkt har stickprovsmässigt bestämts, FIG. 5. Uppgiftens storlek medför att vunna resultat ej kan ge mer än en första inblick i vibrationsutbredningen i byggnadskroppar. Information saknas sålunda fortfarande om lågfrekvensområdet under 31,5 Hz, vidare är den vertikala ljudutbredningen genom flera pelardäck ofullständigt kartlagd. Inverkan av simultana kraft- och momentangrepp har ej heller kunnat tas upp till analys.

Slutsatser och praktiska konsekvenser

Eftergivligheten för punktangrepp är i lågfrekvensområdet underkastat stora fluktuationer orsakade av lokala resonanser då kraften angriper på mindre deltytor. På stora betongbjälklag är fluktuationerna beroende av frekvensen mer begränsat. För lättbetong rör sig väggen i fas på båda sidor upp till 300–400 Hz. För tunga betongbjälklag (20–28 cm) dominerar den lokala elasticiteten under 40 mm drivbricka över 100 Hz.

Pelare eller styva hisschakt tjänar som vägledare och underlättar transporten

genom väningsplanen. Märkligt nog förefaller betongbjälklagen i lågfrekvensområdet ur dynamisk synpunkt relativt väl kunna beskrivas av en koncentrerad massa under drivbrickan som för 15 cm bjälklag ligger kring 1000 kg och för 28 cm bjälklag i området 2500–3000 kg.

Genom att vibrationshastigheten uppmätts på samtliga väggar, tak och golv kan med hjälp av rapporten avgöras vilka ytor det lönar sig att förse med avstrålningskydd för att luftljudsnivån i visst utrymme skall kunna begränsas. De beräkningar som genomförts för att med hjälp av bestämda vibrationsnivåer och antagna avstrålningsfaktorer bestämma luftljudet i olika rum visar att antalet mätpunkter är tillfredsställande stort för att korrekta luftljudsnivåer skall kunna prognoseras. Undantag är dock frekvensen 125 Hz och lägre samt högfrekvensområdet över 2000 Hz. Lämnade kurvor ger en grov bild av ljudtransmissionen i aktuella byggnader även om spridningen från frekvens till frekvens ofta är så stor att en exakt prognos med svårighet låter sig genomföras. Inverkan av störande maskiner med singeltoner i lågfrekvens- eller mellanfrekvensområdet kan därför med svårighet exakt bestämmas (± 5 –10 dB).

Mätningarna syns vidare visa att de beräkningsmetoder, som hittills utnyttjas för bestämning av flytande golvs isolering, är högst ofullkomliga och bör ersättas av andra. Flytande golvs skyddsverkan i lågfrekvensområdet är mycket tvivelaktig pga de resonanser som återfinns i det tunna övergolvet. Luftljudsmässigt kan dock för mellanhöga och höga frekvenser flytande golv hyggligt skydda rum närmast under aktuellt bjälklag men längre ner i byggnaden är isoleringseffekten mycket begränsad. Då mätning endast skett på ett flytande golv vars status ej i detalj kunnat kontrolleras får resultaten endast utnyttjas för att ange vad som i praktiken kan möta.

Fortsatta studier bör ta sikte på att kartlägga lågfrekvensområdet, inverkan av kraft- och momentangrepp i olika riktningar, överlagring av störningar samt fortsatta mätningar av ljudtransmissionen i horisontal i byggnader.

För industribyggnader med tung stomme bör förbättrad mätteknik utvecklas och studien utsträcks till ljudutbredning över längre distanser. Förlustfaktorbestämning i bjälklagsplattor och väggar bör dessutom drivas längre än vad som varit möjligt i denna studie. Störkällornas dynamiska egenskaper och störstyrka bör närmare penetreras.

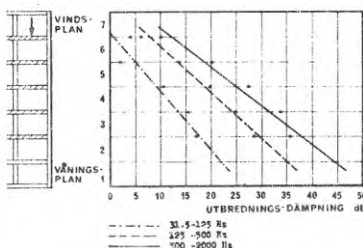


FIG. 4. Vertikal utbredningsdämpning för bjälklagsvibrationer.

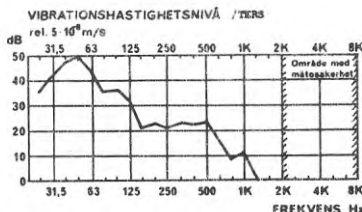


FIG. 5. Vibrationshastighet på väningsbjälklag orsakad av fläkt.

Point excited structurborne noise in buildings

An experimental study of typical transmission functions in two concrete framed buildings

Göran Gadefelt et al.

Owing to the fact that most buildings, both industrial and residential ones, accommodate mechanical equipment it is very important to have further knowledge of the factors which affect propagation of vibration and sound from a noisy machine to the different parts of a building. This knowledge can be used to predict the vibration and sound fields propagated by a machine to nearby rooms through the building structure, and also to impede propagation of sound by means of structural measures.

This report gives experimental data concerning the dynamic properties of buildings which were obtained in tests carried out over the period 1964-70. A building of the industrial or warehouse type and a residential building were selected for the study. Both of these had a loadbearing frame of concrete. The material presented should mainly be of use to people engaged on quantitative prediction of vibration and sound propagation in buildings of the structural type studied.

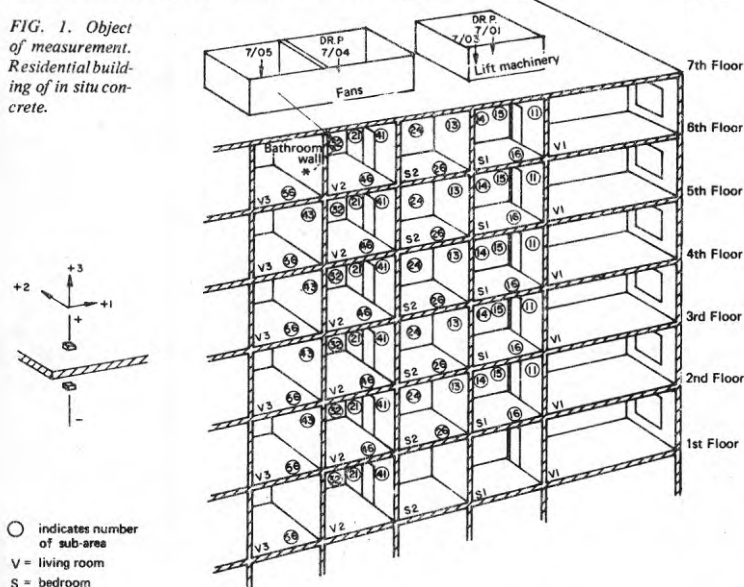
Since there had been very few experimental studies of sound propagation in buildings due to disturbing forces acting at a point, a study was begun in 1964 with the object of ascertaining whether the methods developed at the end of the

fifties in mechanical engineering and shipbuilding for the determination of sound transmission could also be applied in structural engineering. It was also the object of the study to obtain experimental data, with the assistance of which the local response of a building to an applied dynamic disturbance (the point admittance or point impedance), and the propagation of this disturbance over floor slabs and through different storeys (the transmission admittance), could be easily characterised.

Investigation methods

The motive force was applied to the structure by means of an electrodynamic vibrator normally acting through a 40 mm steel washer, and the local response was determined by a specially designed impedance head. The motive force had both the form of a sine tone which provides good information regarding the presence of resonances, and also noise in the third harmonic band. Since a tapping apparatus had in other cases been used to set the structure into motion, comparative measurements were also made by means of this excitation method. No major advantage could however be found in using the tapping apparatus instead of the electrodynamic

FIG. 1. Object of measurement. Residential building of in situ concrete.



National Swedish Building Research Summaries

R52:1974

Key words:

concrete frame, sound transmission, vibration, annoying mechanical noise

Report R52:1974 refers to Grant C 186 from the National Swedish Council for Building Research to Akustikbyrån AB, Stockholm.

UDC 624.92
534.83
699.84
SfB A
ISBN 91-540-2373-4

Summary of:

Gadefelt, G. et al, 1974, *Punktexciterat ljud i byggnader*. Point excited structurborne noise in buildings. An experimental study of typical transmission functions in two concrete framed buildings, (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R52:1974, 265 pp, ill. Sw. Cr. 37.

The report is in Swedish with Swedish and English summaries.

Distribution:

Svensk Byggtjänst
Box 1403,
S-111 84 Stockholm
Sweden

vibrator. The rate of vibration at reception points was determined by means of piezo-electric accelerometers. Airborne sound caused by a point force was also measured in several rooms in the building.

The objects of measurement

An industrial building with in situ concrete floors 28 cm thick, and an in situ concrete framed residential building, were investigated. The latter building was studied prior to occupation and immediately after completion. See FIG. 1.

Results

Results are available in the form of admittances (compliances), FIG. 2, which indicate the velocity at the point of excitation for a disturbing force of 1 Newton, and also in the form of transmission admittances. FIG. 3, which show the velocities on certain floor or wall surfaces for the same force. Logarithmic scales have been used in view of the large ranges. Excitation was applied at those points of the structure which may be assumed to be characteristic sites for mechanical installations.

In addition to these data there are results which show the airborne sound in different rooms of the residential building when a disturbing force acts on the structure. There is also a brief summary of the attenuation of propagation over heavy column-beam floors and in the building frame storey by storey, FIG. 4. The level of rate of vibration was determined on a spot check basis for some characteristic noise

sources such as lifts, bathroom taps and fans, see FIG. 5. The extent of this information permits no more than a preliminary idea of the propagation of vibration in building structures. There is thus still no information concerning the low frequency range below 31.5 Hz, and furthermore the investigation of vertical sound propagation through several flat slabs is incomplete. Nor has the effect of simultaneously acting force and moment been analysed.

Conclusions and practical consequences

The compliance with respect to point excitation is subject to large fluctuations in the low frequency range owing to local resonances, when the force acts on small partial surfaces. On large concrete floor slabs the frequency dependence of the fluctuations is less. In the case of lightweight concrete the wall moves in phase on both sides up to 300–400 Hz, while in the case of heavy (20–28 cm thick) concrete floor slabs the local elasticity underneath the 40 mm washer dominates at frequencies above 100 Hz.

Columns or stiff lift shafts acts as wave guides and facilitate propagation through storeys. What is surprising is that, in the low frequency range, the concrete floor slabs can be described relatively well from the dynamic point of view by a concentrated mass below the washer, the size of which for a 15 cm slab is in the neighbourhood of 1000 kg and for a 28 cm slab in the

range 2500–3000 kg.

Since the rate of vibration was measured on all walls, ceilings and floors, this report will provide assistance in selecting the surfaces on which it is most appropriate to fit sound absorbers in order to limit the airborne sound level in a certain room. The calculations performed in order to determine the airborne sound level in different rooms with the aid of the measured rates of vibration and assumed absorption factors, show that the number of measurement points is sufficiently large for the prediction of correct airborne sound levels. Frequencies of 125 Hz and less, and the high frequency range above 2000 Hz, however, constitute an exception. The curves given provide an approximate idea of sound transmission in the building concerned, even though the scatter from frequency to frequency is often so large that it is difficult to make an exact forecast. It is therefore difficult to determine exactly ($\pm 5-10$ dB) the effect of noisy machinery with single tones in the low or intermediate frequency range.

The measurements further seem to show that the calculation methods hitherto used for the sound insulation of floating floors are unsatisfactory and should be replaced by others. Owing to the resonances present in the thin wearing surface, the protective effect of the floating floor is very questionable in the low frequency range. From the point of view of airborne sound, however, for medium and high frequencies the floating floor can provide good sound insulation in the room immediately below the floor slab with the source of noise, but further down in the building the insulation effect is very limited. Since measurements were made only on one floating floor the condition of which could not be checked in detail, the results should be taken only as an indication of what can be encountered in practice.

Further studies should aim to investigate the low frequency range, the effect of the action of force and moment in different directions, superposition of disturbances, and further measurements of sound transmission in buildings in the horizontal direction.

In the case of industrial buildings with a heavy loadbearing frame, improved measuring techniques should be developed and the study extended to cover sound propagation over longer distances. Determination of the sound reduction index in floor slabs and walls should also be carried further than has been possible in this study. The dynamic properties and intensity of noise sources should be studied in greater depth.

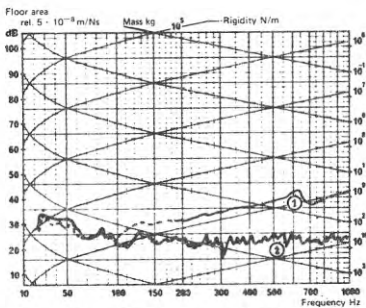


FIG. 2. The point admittance of the building. ① Velocity measured on the excitation side, ② Velocity measured on the side of the slab opposite to the point of excitation.

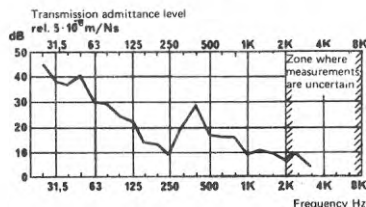


FIG. 3. Transmission admittance with respect to arbitrarily selected vibration component.

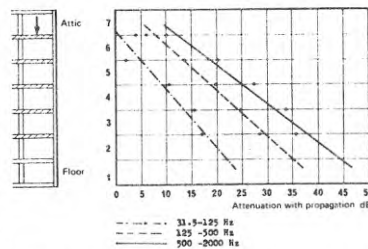


FIG. 4. Attenuation of vertical propagation of floor slab vibration.

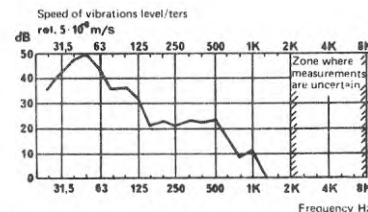


FIG. 5. Rate of vibration on an intermediate floor slab due to the fan.

Rapport R52:1974

PUNKTEXCITERAT LJUD I BYGGNADER

En experimentell studie av några viktigare transmissions-
funktioner i två byggnader med betongstomme

POINTEXCITED STRUCTURBORNE NOISE IN BUILDINGS

An experimental study of typical transmission functions
in two concrete buildings

Göran Gedefelt et al.

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag C 186 från Statens
råd för byggnadsforskning till Akustikbyrån AB, Stockholm.

Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm

ISBN 91-540-2373-4

LiberTryck Stockholm 1974

INNEHÅLL

FIGURFÖRTECKNING	5
TABELLFÖRTECKNING	7
BETECKNINGAR OCH DEFINITIONER	9
FÖRORD	13
1 ALLMÄNT	15
2 BERÄKNING AV STOMLJUDSEXCITERING MED HJÄLP AV MEKANISK IMPEDANS (ADMITTANS). KORT INTRODUKTION	20
2.1 Ekvivalent impedans	25
2.2 Superpositionsprincipen	26
2.3 Reciprocitetsteoremet	26
2.4 Effektöverföringsteoremet	27
2.5 Mekaniska störkällor	27
2.6 Till omgivande struktur överförd akustisk effekt	31
3 MÄTSTORHETER OCH MÄTTEKNIK. VISSA FÖRSTUDIER FÖR ATT BESTÄMMA MÄTTEKNISKA BEGRÄNSNINGAR	32
3.0 Allmänt	32
3.1 Kraftgivare	32
3.2 Givare för bestämning av vibrationshastighet	38
3.3 Mätning av punktadmittans	39
3.4 Mätning av överföringsadmittans och utbredningsdämpning	43
4 MÄTOBJEKT OCH BYGGNADSKONSTRUKTION	57
4.1 Mätobjekt. Lagerbyggnad kv Primus, Lilla Essingen, Stockholm	57
4.2 Mätobjekt 2. Huskropp C. Kv Linjalen, Stockholm	58
5 EXPERIMENTELLT BESTÄMDA PUNKTADMITTANSER	74
5.0 Allmänt betr presentationsformen	74
5.1 Genomförda mätningar	75
5.2 Mätresultat	76
5.21 Lagerbyggnad. 28 cm betongbjälklag	76
5.22 Bostadsbyggnad. Hissmotorfundament	76
5.23 Bostadsbyggnad. Bjälklag	77
5.24 Bostadsbyggnad. Flytande golv i fläktrum	77
5.25 Bostadsbyggnad. Väggar	77
5.3 Kommentarer till mätresultaten	78
5.30 Allmänt	78
5.31 Lagerbyggnad. Betongbjälklag	81
5.32 Hissmotorfundament. Bostadsbyggnad	86
5.33 Bostadsbyggnad. Bjälklag	87
5.34 Bostadsbyggnad. Flytande golv i fläktrum	89
5.35 Bostadsbyggnad. Väggar	93

6	EXPERIMENTELLT BESTÄMDA ÖVERFÖRINGSADMITTANSER	112
6.0	Allmänt. Hur skall mätresultat praktiskt utnyttjas?	112
6.1	Närmare genomgång av mätresultatet	116
6.11	Lagerbyggnad. Överföringsadmittans mellan olika punkter på 28 cm bjälklag	116
6.12	Lagerbyggnad. Transmission mellan olika plan	116
6.13	Bostadsbyggnad. Transmission från hissfundament och hissars bjälklag	117
6.14	Bostadsbyggnad. Transmission från 15 cm och 20 cm betongbjälklag	118
6.15	Bostadsbyggnad. Transmission från flytande golv i fläktrum	119
6.16	Bostadsbyggnad. Transmission från 35 cm lägenhetsskiljande vägg i badrum	119
6.17	Bostadsbyggnad. Transmission från 7 cm lättbetongvägg	120
6.2	Kommentarer till mätresultaten	121
6.20	Allmänt	121
6.21	Lagerbyggnad. Överföringsadmittans mellan olika punkter på 28 cm bjälklag	123
6.22	Lagerbyggnad. Transmission mellan bjälklagen	125
6.23	Bostadsbyggnad. Transmission från 15 cm och 20 cm betongbjälklag	129
6.24	Bostadsbyggnad. Transmission från flytande golv i fläktrum	131
6.25	Bostadsbyggnad. Transmission från 7 cm lättbetongvägg	132
7	LUFTLJUDSNIVÅ I RUM VID STOMLJUDSEXCITERING MED BRUS	209
7.0	Allmänt	209
7.1	Mätmetodik	209
7.2	Genomförda mätningar. Mätresultat	209
7.3	Kommentar till mätresultaten	210
7.31	Ljudtrycksnivå vid godtycklig kraft och rumsabsorption	210
7.32	Betr luftljudtrycksnivåns belopp	211
7.33	Jämförelse mellan uppmätta luftljudnivåer och de som kan kalkyleras ur vibrationsnivåerna	217
8	EXPERIMENTELLT BESTÄMD UTBREDNINGSDÄMPNING	235
8.0	Allmänt	235
8.1	Redovisning av mätresultat	235
8.11	Mätobjekt 1. Lagerbyggnad	235
8.12	Mätobjekt 2. Bostadsbyggnad	235
8.13	Inverkan av exciteringsform på mätresultatet	236
8.2	Kommentar till resultaten	236
8.21	Exciteringsformens betydelse	236
8.22	Mätobjekt. Lagerbyggnad	236
8.23	Mätobjekt. Bostadsbyggnad	237
9	EXEMPEL PÅ KARAKTERISTISKA STÖRNIVÅER PÅ I BOSTADSBYGGNAD INRYMDA INSTALLATIONSKOMPONENTER	254
9.1	Allmänt	254
9.2	Mätmetod	254
9.3	Kommentar	254
	REFERENSER	264

FIGURFÖRTECKNING

- FIG. 1.1 Skiss över punktexcitering i sin allmännaste form
- FIG. 1.2 Drivning av struktur från roterande obalans
- FIG. 2.1 Yttre kraft $f(t)$ angripande en mekanisk struktur
- FIG. 2.2 Impedanser hos de tre grundelementen i ett mekaniskt system
- FIG. 2.3 Enkelt svängande system med massa på fjäder
- FIG. 2.4 Inimpedansen och inadmittansen på ett enkelt svängande system med idealt oeftergivligt underlag
- FIG. 2.5 Ekvivalent system för elastiskt kontinuum påverkad av transversalkraft
- FIG. 2.6 Ekvivalent elektrisk krets. Beskrivning som "konstant kraftkälla" (Thevenins teorem)
- FIG. 2.7 Ekvivalent elektrisk krets. Beskrivning som "konstant hastighetskälla" (Nortons teorem)
- FIG. 3.1 Kraftexcitering. Mekanisk analogi.
- FIG. 3.2 Elektrisk analogi för kraftexciteringspunkten.
- FIG. 3.3 Uppkoppling vid mätning av punktadmittansens belopp
- FIG. 3.4 Uppkoppling vid komplex punktadmittansmätning
- FIG. 3.5 Acceptabelt mätområde för impedanshuvud. Principiell form
- FIG. 3.6 Uppkoppling vid överföringsadmittansmätning med svepande sinuston
- FIG. 3.7 Uppkoppling vid överföringsadmittansräkning med brussignal
- FIG. 4.1 Mätobjekt 1. Lagerbyggnad kv Primus ("Bahcohuset"). Byggnadens dimensioner L 70 x D 28 x H 13 m.

- FIG. 4.2 Mätpunktsplacering i kv Primus. Lagerbyggnad, plan 1 - 3, skala 1:500.
- FIG. 4.3 Kv Primus. Lagerbyggnad. Sektion. Skala 1:200.
- FIG. 4.4 Mätobjekt 2. Bostadsbyggnad C kv Linjalen, Stockholm
- FIG. 4.5 Sektion av huskropp C. Kv Linjalen. Skala 1:250
- FIG. 4.6 Lägenhetsplan, huskropp C, kv Linjalen. Skala 1:400
- FIG. 4.7 Bjälklagskonstruktion. Kv Linjalen.
- FIG. 4.8 Drivpunktsplacering på vindsbjälklag samt delytors numrering enl positionsbeskrivning, kv Linjalen, skala 1:100
- FIG. 4.9 Drivpunkter i badrum. Lägenhet 2. Våning 6. Kv Linjalen. Skala 1:40
- FIG. 4.10 Mätpunkter på ingående lägenhetsytor, kv Linjalen. Gäller samtliga lägenhetsplan
- FIG. 4.11 Mätpunkter på ingående lägenhetsytor, kv Linjalen. Gäller samtliga lägenhetsplan
- FIG. 5.1.a Punktaadmittans vid central drivning av platta
- FIG. 5.1.b Motsvarande FIG. 5.2.a vid osymmetrisk drivning.
- FIG. 5.2 Dynamisk modell för lågfrekvensområdet vid central vertikal excitering över pelaren
- FIG. 6.1 Schablonkurva för överföringsadmittans

TABELLFÖRTECKNING

TAB. 4.1	Mätpositionsbeskrivning, kv Primus
TAB. 4.2	Mätpositionsbeskrivning, kv Linjalen
TAB. 5.1	Böjvåglängder för några vanliga bjälklags-tjocklekar
TAB. 6.1	Variationsområde för enskilda mätpunkter på delytor i sovrum, lägenhet 2 våning 6, vid excitering av hissrumsbjälklag. (Brusexcitering)
TAB. 6.2	Översiktstabell över föreliggande mätresultat på samma plan (svepande ton)
TAB. 6.3	Översiktstabell över föreliggande mätresultat på transmission till plan 1 och 2 (svepande ton)
TAB. 6.4	Översiktstabell över mätresultat på transmission från hissfundament (svepande ton)
TAB. 6.5	Mätresultat som visar transmission från 15 cm betongbjälklag i våningsplan 7, (hissrum), till underliggande utrymmen (Brusexcitering)
TAB. 6.6	Översiktstabell över mätresultat från 15 och 20 cm betongbjälklag (Brusexcitering)
TAB. 6.7	Mätresultat visande transmission från flytande golv (Brusexcitering)
TAB. 6.8	Mätresultat visande transmission från lägenhets-skiljande vägg (Brusexcitering)
TAB. 6.9	Mätresultat visande transmission från lättbetongvägg till tung stomme (Brusexcitering)
TAB. 6.10	Exempel på resonansgenombrott från flytande golv vilka underlättar transmissionen
TAB. 7.1	Sammanställning av genomförda luftljudsmätningar
TAB. 7.2	I angränsande rum utbildad dB(A) nivå vid kraftexcitering med vitt brus $F(f) = \text{konstant} = 1/N/\text{ters}$ kv Linjalen

- TAB. 7.3 A-vägda oktavbandsnivåer vid brusexcitering med 1 N/ters i rum V2 under flytande golv (punkt 04) respektive i rum V3 under rent bjälklag (punkt 05)
- TAB. 7.4 Rumsabsorption A_G (m^2) för aktuella rum
- TAB. 7.5 Beräkning av ljudtrycksnivåbidrag från enskilda delytor i rum S2, våning 6 respektive våning 4, vid excitering av hissrumsbjälklag. Jämförelse med experimentellt uppmätta ljudtrycksnivåer. Grafisk framställning, se diagram 7.9.
- TAB. 7.6 Beräkning av ljudtrycksnivåbidrag från enskilda delytor i rum V3, våning 6 respektive våning 4 vid excitering av flytande golv i fläktrum. Jämförelse med experimentellt uppmätta ljudtrycksnivåer. Grafisk framställning, se diagram 7.10.
- TAB. 7.7 Beräkning av ljudtrycksnivåbidrag från enskilda delytor i rum V3, våning 6 respektive våning 4, vid excitering av badrumsbjälklag. Jämförelse med experimentellt uppmätta ljudtrycksnivåer. Grafisk framställning, se diagram 7.11.
- TAB. 8.1 Förteckning över diagram visande den bredbandiga dämpningen vid vertikalutbredning.

BETECKNINGAR OCH DEFINITIONER

		sort
A	yta	m^2
A_S	absorption	m^2
a	acceleration	m/s^2
B	admittansens imaginärdel	$m/s \cdot N$
B'	plattans böjmotstånd	Nm^2
C	elasticitet	m/N
c	våghastighet	m/s
c_B	böjvåghastighet	m/s
c_L	longitudinalvåghastighet	m/s
D^1_2	utbredningsdämpning till mottagarpunkt 2, bestämt som differens mellan överföringsnivåer. Formel (3.10)	dB
d	diameter	m
E	elasticitetsmodul	N/m^2
E_b	underlagets elasticitetsmodul	N/m^2
E_{dyn}	dynamisk elasticitetsmodul	N/m^2
e	excentricitet	m
F	kraft	N
F_o	kraft från störkälla mot stelt underlag	N
$f(t)$	kraft, inkluderande tidsfunktion	N
f	frekvens	Hz
f_o	egenfrekvens	Hz
f_u	undre frekvensgräns	Hz
$f_ö$	övre frekvensgräns	Hz
G	admittansens realdel	m/Ns
g	tyngdacceleration = 9,81	m/s^2

h	plattjocklek	m
j	$\sqrt{-1}$	[o]
K	fjäderkonstant	N/m
K_d	lokal elasticitet	N/m
L'_Y	lokal punktadmittansnivå för cylindrisk exciteringsyta av πm^2	dB
L_p	ljudtrycksnivå	dB
L_{pk}	ljudtrycksnivå, korrigerad till exciteringskraften i N/ters	dB
L_v	vibrationshastighetsnivå re $5 \cdot 10^{-8}$ m/s	dB
L_Y	admittansnivå re $5 \cdot 10^{-8}$ m/Ns; se formel (3.6)	dB
L_{Yii}	punktadmittansnivå re $5 \cdot 10^{-8}$ m/Ns	dB
L_{Yij}	överföringsadmittansnivå, eller vibrationsnivå för 1N störkraft; se formel (6.1)	dB
L	kantlängd	m
\mathcal{M}	moment	Nm
M	massa	kg
M_d	lokal effektiv massa under drivpunkt, formel (3.5)	kg
m	plattmassa/y.e.	kg/m ²
m'	balks massa/l.e.	kg/m
N	antalet egenfrekvenser i frekvensbandet; se formel (5.14)	st
p	ljudtryck	N/m ²
R	impedansens realdel	Ns/m
R^f	prop.konstant för viskösa förluster i enkelt svängande system	Ns/m
Re	realdel	[o]
r	radie	m

dimensionslös storhet = [o]

S_i	i:te avstrålningsytan	m^2
s_i	avstrålningsdämpning i i:te delytan	[o]
S/N	signal - störförhållande	[o]
t	tid	s
V_o	referensnivå för vibrationshastighet = $5 \cdot 10^{-8}$	m/s
V	hastighet, komplex amplitud	m/s
V^*	konjugerat komplext värde av vibrationshastigheten V	m/s
V'	vibrationshastighet mot "frisvävande" mätobjekt orsakat av kraftgenerator	m/s
V_{so}	vibrationshastighet hos störkälla vid "frisvävande" montage	m/s
$v(t)$	hastighet, inkluderande tidsfunktion	m/s
W	ljudeffekt	W
X	impedansens imaginärdel, reaktans	Ns/m
x	amplitud	m
Y	admittans = V/F , definition se formel (2.5)	m/Ns
Y_{ii}	punktheadmittans för punkt i	m/Ns
Y_{ij}	överföringsadmittans i fri punkt (s) sändare i till mottagarpunkt j	m/Ns
Y_o	referensnivå = $5 \cdot 10^{-8}$	m/Ns
Y_b	underlagets (byggnadens) admittans	m/Ns
Y_d	lokal, elastiskt betingad, plattadmittans	m/Ns
Y_p	plattadmittans (böjvägsbidraget dominant)	m/Ns
Y_s	admittans in i källa	m/Ns
Z	impedans = F/V , definition se formel (2.3)	Ns/m
Z^*	konjugerat komplext värde av impedansen Z	Ns/m
Z_b	underlagets (byggnadens) impedans	Ns/m
Z_s	impedans in i källa	Ns/m

dimensionslös storhet = [o]

η	förlustfaktor	[o]
θ	fasvinkel	[o]
λ	våglängd	m
λ_B	böjvåglängd	m
ν	Poissons konstant	[o]
ρ	täthet	kg/m ³
ρ_o	luftens täthet	kg/m ³
τ	transmissionsfaktor	
$\psi(x,y)$	normaliserad egensvängningsform för böj- svängningar i platta. Sektion 5.30	[o]
ω	vinkelfrekvens = $2\pi f$	rad/s
ω_o	resonansvinkelfrekvens	rad/s

dimensionslös storhet = [o]

FÖRORD

I denna rapport redovisas experimentella data på byggnaders dynamiska egenskaper utförda under åren 1964 - 1970. För studien har utvalts en byggnad av typ industri- eller lagerbyggnad, och en bostadsbyggnad. Båda med betong i den bärande stommen. Det framlagda materialet bör främst vara av värde för dem som har att kvantitativt prognosera ljud- och vibrationsutbredning i byggnader av studerad konstruktionstyp. Rapporten vänder sig mindre till konstruktörer än till svängningstekniska och akustiska specialister. Trots detta har vissa elementära begrepp ansetts nödvändiga att redovisa i de inledande kapitlen, då förkunskaperna på detta specialområde kan anses högst varierande även bland fackfolk.

Drivningen av byggnaderna har skett i form av punktformat kraftangrepp avsett att simulera störningskontakter från i byggnader installerade maskinerheter. Ur dynamisk synpunkt är dels byggnadens lokala reaktion ("punktimpedans", "punktadmittans") mot insatt kraftangrepp, dels utbredningen genom stommen av betydelse ("överförings- eller transmissionsadmittans").

De experimentella resurser som vid de första mätningarna i början av 60-talet stod till disposition för t ex impedansmätningar avviker avsevärt från de som nu finns tillgängliga och medför att betydligt större datamängder idag kan insamlas och analyseras med begränsad arbetsinsats.

Här redovisat arbete har utförts vid Akustikbyrån AB, Stockholm, delvis med medel från Statens Råd för Byggnadsforskning (1/3 av kostnaden), delvis med egna medel (2/3 av kostnaden).

På uppgiften har ett flertal medarbetare på Akustikbyrån inkopplats vid skilda tidpunkter.

Objektledare har varit civiling. Gadefelt som planerat arbetet och skrivit huvudtexten i rapporten. Civiling. Bo Egerborg har i början av studien genomfört en kartläggning av de experimen-

tella metodernas begränsning och bl a gjort jämförande studier och reproducerbarhetsstudier av olika typer av excitering, samt svarat för den provmetodik som slutligen utnyttjats. Olle Backteman har haft ansvaret för det fortsatta försöksarbetet och därjämte ansvarat för stora delar av utvärdering och beskrivning i samarbete med våra tekniska medarbetare Ove Bennerhult, Per Ola Fjellström och Bengt Axefors.

De slutsatser som kan dras ur vissa avsnitt av rapporten kan anses av särskild betydelse för byggnaders konstruktion och för dimensionering av vibrationsisolerande montage. Här kan nämnas att viss information lämnas om flytande golvs isoleringsegenskaper, vilka kanske ej klart framgått av tidigare arbeten. Vidare kan de genomförda vibrationsmätningarna utnyttjas för att klarlägga i vilken utsträckning avstrålningskydd på olika delytor är ekonomiska att introducera. De värden på punktadmittanser, som framtagits bör som grov approximation kunna ligga till grund för isoleringsberäkningar av medeltunga och tunga maskiner uppställda i byggnader. På denna punkt har hittills förelegat ett mycket bristfälligt underlag.

Många svåra problem återstår dock att lösa innan byggnadsstommars dynamiska transmissionsegenskaper kartlagts varför det framlagda materialet endast kan betraktas som ett första bidrag i en serie nödvändiga analyser. Bland annat har frågan om samtidiga kraft- och momentangrepp helt måst uteslutas.

Författarna

1. ALLMÄNT

Ljudtransmission i byggnader har varit föremål för ett intensivt studium ända sedan 40-talet. Problemet har fortfarande stor aktualitet bl a beroende på att de strukturer som ingår i byggnader är så olikartade att någon enkel och slutgiltig form av prognos för den interna ljudutbredningen i byggnader ej kan påräknas. Forskning och analys måste därför i hög grad inriktas dels på beskrivning av förhållandena vid idealiserade konstruktionselement, dels på ett hopsamlade av experimentella data för typkonstruktioner, aktuella från tid till tid och för olika geografiska områden. I denna rapport skall redovisas några studier som avser belysa fortplantningar av vibrationer från punktformigt angripande, i tiden sinusformigt varierande störkrafter i frekvensområdet 10 Hz till omkring 2000 - 3150 Hz. Data under 31,5 Hz är dock sparsamma.

Vibrationer av denna karaktär kallas inom byggnadsakustiken av hävd för stomljud, utbredningen stomljudsutbredning eller stomljudstransmission.

Från de fasta installationerna i en byggnad pannor, fläktar, pumpar, hissar, slag i dörrar, hushållsmaskiner, kran- och rörströmningsbuler m m, genereras betydande störningar.

Stomljud återfinns alltså i alla byggnader som inrymmer maskininstallationer. För bostäder har tidigare med hög prioritet behandlats stomljud som uppstår vid gång på bjälklag, s k stegljud.

Det övervägande antalet undersökningar över stomljudstransmission som genomförts har sålunda i sista hand syftat till att kartlägga stegljudets utbredning i stommen.

De grundläggande lagarna för stomljudsutbredningen i fasta strukturer behandlades på ett systematiskt sätt första gången av L Cremer. Se /8/. Senare har ett stort antal forskare ägnat sig åt uppgiften. Här hänvisas t ex till litteraturförteckning, referenserna /3/ - /10/ /13/ /17/ /18/.

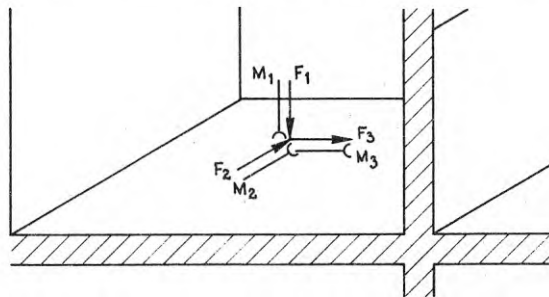
Vi har i vår studie särskilt velat lämna följande bidrag:

- A. en kort introduktion av den metod för ljudutbredningsberäkning från maskiner, som sedan början av 60-talet utvecklats inom maskintekniken framförallt vad gäller ljudutbredning i stål- och metallkonstruktioner (mekaniska - impedansmetoder) och ursprungligen utvecklad av Wright. /19/
- B. en förstudie av i vilken utsträckning denna teknik är experimentellt möjlig att tillämpa på husbyggnadskonstruktioner inkluderande byggnadselement i tungbetong och i någon mån lättbetong.
- C. en katalog över ljudöverföringsdata för huskroppar bestående av dels:
- a. homogena, platsgjutna bjälklag utan ytbeläggning och försedda med pelare som bärande element (typ som utnyttjas för tyngre industri- eller lagerbyggnader).
- b. homogena platsgjutna bjälklag och bärande väggar inkluderande skiljeväggar av lättbetong; (Vanlig typ av bostadsbyggnad karakteriserad av låg inre dämpning); katalogdata inkluderar:
- stommens eftergivlighet för punktformig excitering (mekanisk inadmittans)
- sambandet mellan vibrationshastigheter i olika mottagningspunkter och punktformig störkraft (redovisas som s k mekanisk överföringsadmittans)
- för mätobjekt b ovan, luftljud i rum vid sidan av det rum som punktkraftexciteras;
- D. vibrationsnivåer vid några karakteristiska störningsformer i bostadshus: denna senare redovisning har p g a den begränsade medelstillsdelningen endast kunnat göras högst ofullständig; exempel på störnivåer återfinns emellertid i viss byggnadsakustisk litteratur t ex /6/.

Den genomförda studien belyser nödvändigheten av att vid prognosering av stomljustransmission starkt förenkla beräkningsmodellerna och att utnyttja typbyggnader. Admittanstekniken, som är en experimentell metod, medger nämligen att strukturen utnyttjas för "lösandet av sina egna differentialekvationer och randvärdesproblem". Gränsen kommer att sättas av de experimentella felen. Den inledande studie som genomförts har ej medgivit mer än bestämning av sambandet mellan en transmitterande kraft verkande normalt mot ett bjälklag eller en vägg och resulterande rörelse. Momentexcitering har ej studerats liksom ej heller transversalkraftexcitering i aktuella plattors plan. Man bör göra klart för sig problemets svårighetsgrad då enbart i en punkt principiellt sett tre translationsriktningar och tre momentriktningar kan vara aktuella ($F_1, F_2, F_3, M_1, M_2, M_3$). För en maskin med flera kontaktpunkter tillkommer en superposition av bidragen från de olika kontaktpunk-

FIG. 1.1

Skiss över punktexcitering i sin allmännaste form



punkterna. Den mekaniska impedansmetoden förutsätter linjär överlagring av kraftbidragen från olika kontaktpunkter eller kontaktlinjer mellan maskin, rörledningar e d och underlag men tar hänsyn till strukturernas ömsesidiga samverkan. Betydelsen av ett sådant hänsynstagande kan man lätt förstå om man t ex ser något närmare på vad som sker om man placerar en roterande fläktmotor med en obalansvikt på m_e [kg] med excentriciteten e [m] på en vägg. Obalansen ger upphov till en med tiden sinusformigt varierande störkraft $F = m_e \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t$.

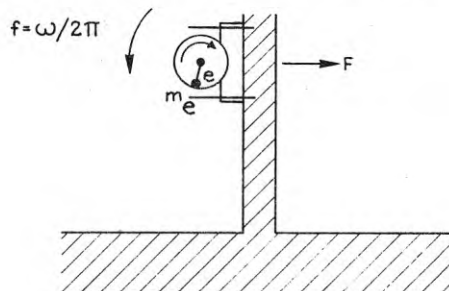


FIG. 1.2

Drivning av struktur från roterande obalans

Om fläktmotorn är mycket lätt i förhållande till väggen går hela störkraften in i denna. Skulle däremot fläktmotorn vara tung och sitta på en lätt panelvägg skulle en stor del av störkraften gå åt till att flytta fläktmotorns massa fram och tillbaka i vibration och den störning väggen utsattes för skulle bli reducerad. För att kartlägga förhållandena krävs alltså kunskap, dels om rörelsemotståndet hos det objekt som belastar väggen, dels rörelsemotståndet i väggen och hur dessa storlekar varierar med störfrekvensen f . Dessa värden krävs i det allmänna fallet för tre translationsriktningar och tre vridningsriktningar.

Det måste vid fortsatta studier av hithörande problem ingå som deluppgift, dels att undersöka med hur stor noggrannhet rörelsemotstånden behöver bestämmas till amplitud och fas, dels med vilken noggrannhet de olika överföringsfunktionerna måste kartläggas.

Admittanstekniken har inom maskintekniken trots sin experimentella ofullkomlighet hittills med ganska stor framgång kunnat utnyttjas för två viktiga specialfall nämligen, dels vid sinusformade störkrafter vid relativt låga frekvenser, dels för randomvibrationer vid medelhöga och höga frekvenser. Det förra fallet är aktuellt vid roterande maskiner med stora obalanskrafter.

Störningarna från flera punkter kan här överlagras. Metodiken förutsätter kunskap om den mekaniska impedansen (admittansen) till amplitud och fas och ömsesidiga impedanser mellan flera exciteringspunkter.

För randomvibrationer kan en superponering av störningarna i flera punkter endast tillåtas om man antar att störkrafterna i olika angreppspunkter är okorrelerade. Detta kan i allmänhet antas vara fallet vid högre frekvenser. Impedansfunktionerna kan bestämmas med hjälp av bredbandsexcitering och kvadratisk summering av impedanserna är möjlig i flera riktningar. Aktuellt är störningar från kranbuller i byggnad.

Den förstudie som genomförts betr experimentaltekniken visar att relativt lätta impedanshuvuden med elektrodynamisk drivning

kan utnyttjas även för tunga betongkonstruktioner. En gräns sätts nedåt i frekvens av givarkänsligheten och av den lokala elasticiteten under drivplattan.

För att mäta vid frekvenser under säg 20 Hz bör man sannolikt i framtiden välja hydraulisk excitering för att få upp krafterna i amplitud. Då många bjälklag och större väggar har grundresonanser i frekvensområdet 10 - 30 Hz får detta anses vara ett angeläget projekt för noggrannare kartläggning av industribyggnaders dynamiska egenskaper.

Den lokala fjädringen under drivplattan från kraftgivaren ger för tjocka betongbjälklag värden som väl svarar mot dem som erhålles enligt Hertz teori för kontakt med halvoändlig betongrymd. Resultatet är såtillvida otillfredsställande att underlagets reaktion blir helt beroende av den lokala utformningen av kontaktytan men är positiv ur den synpunkten att den för enklare geometrier är lätt beräkningsbar även om bjälklagsstrukturen skulle vara geometriskt komplicerad vid sidan av understödsområdet.

De katalogdata som lämnas på underlagsadmittanser, överföringsadmittanser o s v medger en snabb bestämning för ett par karakteristiska byggnadstyper av ett underlags eftergivlighet respektive stomljudets fortplantning från t ex ett våningsplan till ett annat, resp från ett rum till ett sidoliggande rum. Sättet för redovisning genomgås i detalj under resp delavsnitt. I många fall har medelvärdesbilning gjorts över viss delyta eftersom det geometriska medelvärdet för viss yta intresserar mer än exakta punktvärden, vilka också är underkastade större spridning. De redovisade värdena bör endast utnyttjas för att ge en grov uppfattning om karaktären på överföringen. Amplitudtoppar liggande vid en viss frekvens skall givetvis ej, om resultatet skall överföras till andra byggnader eller annan geometri, utnyttjas till sin exakta position. Däremot bör t ex förekomst av ett större antal frekvenstoppar över två tre oktaver kunna anses karakteristiska för studerad konstruktionstyp, såvida exciteringen ej ägt rum centralt på begränsade plattor i vilket fall antalet egenfrekvenser starkt underskattas.

2. BERÄKNING AV STOMLJUDSEXCITERING MED HJÄLP AV MEKANISK IMPE- DANS (ADMITTANS). KORT INTRODUKTION

Det finns flera metoder att analysera ett linjärt mekaniskt system. Matematiskt representeras dessa system av linjära differentialekvationer med konstanta koefficienter. Den klassiska metoden består i att man sätter upp rörelseekvationerna och får lösningen som en summa av fria och påtvingna svängningar med de obestämda konstanterna fastlagda av randvillkoren.

En annan metod som sedan länge utnyttjats vid analys av elektriska kretsar är att man karakteriserar de enskilda fysikaliska elementen med hjälp av sitt stationära "svar" på singeltonsstörningar av sinusvågskarakter. De linjära elementen har nämligen egenskapen att t ex en kraft $f(t)$ som varierar sinusformigt med tiden ger upphov till en enkel harmonisk rörelse med samma frekvens. Man utnyttjar ofta skrivsättet:

$$f(t) = F \cdot e^{j\omega t} \quad (2.1)$$

$$v(t) = V \cdot e^{j\omega t} \quad (2.2)$$

för att symbolisera kraften $f(t)$ och hastigheten $v(t)$. Här står t för tiden, ω är vinkelfrekvensen och F och V är komplexa storheter. Underförstått skall endast högra membrans realdel utnyttjas. (Eftersom $e^{j\omega t} = \cos\omega t + j \sin\omega t$ utnyttjas alltså endast termen $\cos\omega t$)

Genom att utnyttja starkt symboliserade blockdiagram för olika konstruktions-element kan en elektrisk eller mekanisk krets stationära svar lätt beräknas.

För mekaniska system räcker tre typer av element att karakterisera de dynamiska egenskaperna nämligen massor, elasticiteter och viskösa förluster. Kontinuerliga system i form av balkar, plattor o d kan karakteriseras av ett oändligt antal sådana element.

Vi kommer i denna studie att söka samband mellan krafter $f(t)$ i ett mekaniskt system och hastigheter $v(t)$ i kraftangreppspunkten eller längre bort i strukturen.



FIG. 2.1 Yttre kraft $f(t)$ angripande en mekanisk struktur

För den komplexa kvoten mellan kraften $f(t)$ och vibrationshastigheten $v(t)$ utnyttjas begreppet mekanisk impedans

$$Z = R + jX = \frac{f(t)}{v(t)} = \frac{F \cdot e^{j\omega t}}{V \cdot e^{j\omega t}} = \frac{F}{V} \quad (2.3)$$

Impedansen Z kan vid sidan av sin realterm R och reaktiva term X också beskrivas av sin amplitud $|Z|$ och sin fasvinkel θ definierade av

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} \quad \theta = \arctg \frac{X}{R} \quad (2.4)$$

Mättekniken är idag så långt utvecklad att mekanisk impedans kan kontinuerligt bestämmas till sin amplitud och fas som funktion av störfrekvensen.

Det inversa värdet av Z kallas mekanisk admittans och tecknas:

$$Y = G + jB = \frac{1}{Z} = \frac{V}{F} \quad (2.5)$$

För storleken $f(t)/v_1(t)$ inför vi begreppet punktimpedans (eller inimpedans), dess inversa värde kallas analogt punktadmittans. Dessa storheter ger ett direkt mått på strukturens motstånd mot, respektive eftergivlighet för rörelse i kraftens angreppspunkt.

Mellan hastighet $v(t)$, amplitud $x(t)$ och acceleration $a(t)$ gäller som bekant vid sinusformad rörelse att:

$$a(t) = \frac{d}{dt} \cdot v e^{j\omega t} = v \cdot j\omega \cdot e^{j\omega t} = j\omega \cdot v(t) \quad (2.6)$$

$$x(t) = \int v e^{j\omega t} dt = \frac{1}{j\omega} \cdot v(t) \quad (2.7)$$

Om v är hastigheten kan amplitud och acceleration beräknas och vice versa. Detta medför att rörelsen experimentellt kan bestämmas med hjälp av t ex en accelerationsmätning.

För kvoten mellan kraften och hastigheten längre bort i strukturen $v_3(t)$ inför vi begreppet överföringsimpedans, dess inversa värde kallas överföringsadmittans. För att skilja dessa storheter åt utnyttjas i denna rapport ett dubbelindex där första positionen i står för sändarpunkt, andra positionen j för mottagarpunkt. Således symboliserar

Z_{ij}	= punktimpedans	Z_{ij}	= överföringsimpedans för kraft angripande i punkt i hastighet mätt i punkt j
Y_{ij}	= punktadmittans	Y_{ij}	= överföringsadmittans för kraft angripande i punkt i och hastighet mätt i punkt j .

En ytterligare komplikation inträder vid mätning på tunga strukturer. Såsom försöken i denna utredning visar, är hastigheten vid kraftexcitering av en tung vägg eller platta olika stor på båda sidor om väggen även relativt långt ner i frekvens. Detta orsakas främst av den lokala elasticitet som finns i konstruktionselementet under en koncentrerad last. Det har därför blivit nödvändigt att vid definition av punktadmittansen ange på vilken sida av konstruktionselementet hastighetsmätningen genomförts.

Vi återvänder nu för ett kort ögonblick till de enkla element som uppbygger ett mekaniskt systems totala impedans. Grundelementen massa M [kg] elasticitet C [m/N] och förlust R' [Ns/m]

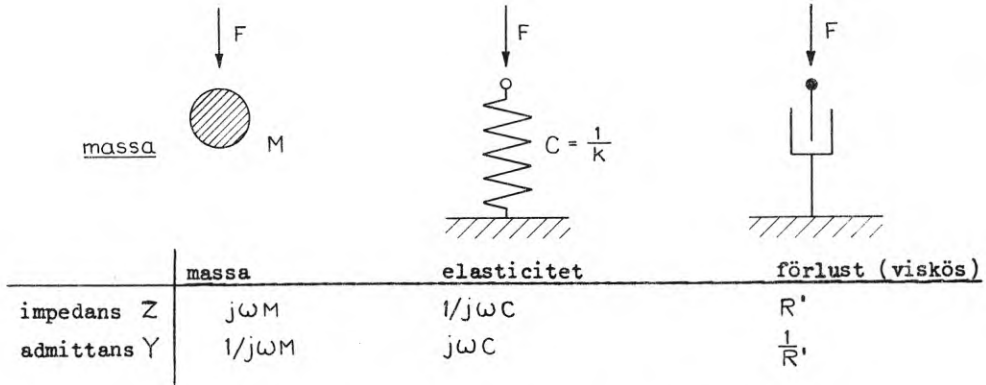


FIG 2.2 Impedanser hos de tre grundelementen i ett mekaniskt system.

har de punktadmittanser som visas i FIG. 2.2. Här står C för det reciproka värdet av fjäderkonstanten K , d v s:

$$C = 1/K \quad (2.8)$$

Man ser att en punktmassa M :s impedans ökar linjärt med stör-frekvensen ω , medan en fjäders impedans går upp vid låga frekvenser. För att kunna bygga upp (syntetisera) en mekanisk krets av dessa grundelement är det nödvändigt att känna det sätt varpå de skall förbindas. Sättet för kombination hänger i "impedansanalogin" samman med de villkor som de två fältstorheterna kraft och hastighet är underkastade. I varje enskilt snitt av systemet måste summan av krafterna vara noll. På samma sätt måste uppträdande hastighet bestämmas av de geometriska villkoren för komponentens rörelse.

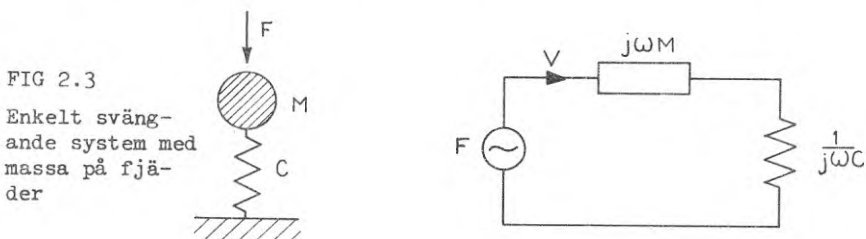
Eftersom impedansbegreppet sedan länge utnyttjats inom den elektriska kretsteorin skall parallellerna mellan mekaniska och elektriska system antydast, även om denna analogi för den i kretsteori obehövande knappast är till något stöd.

Mekanisk - elektrisk analogi

Krafter F symboliseras av generatorer med spänningen F över utgångspolerna eller mellan aktuell punkt i systemet och jord

Hastigheter V symboliseras av strömmar

Ett enkelt svängande system med massa på fjäder kan alltså symboliseras av:



"Strömmen" V bestämmer hastigheten på massan M . Man får alltså enligt elektriska räknelagar att hastigheten

$$V = \frac{F}{Z} = \frac{F}{j\omega M + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega C \cdot F}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} = \frac{j\omega C}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \cdot F \quad (2.9)$$

där $\omega_0^2 = \frac{1}{MC}$ (2.10)

Det framgår direkt att impedansen

$$Z = j\omega M + \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j\omega C} \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 \right] \quad Y = \frac{1}{Z} = \frac{j\omega C}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 \right]} \quad (2.11)$$

på det enkla svängande systemet har ett förlopp enligt FIG. 2.4.

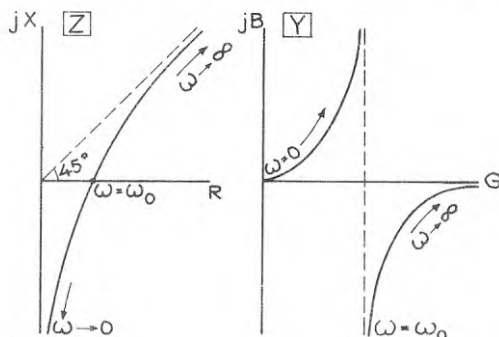


FIG 2.4 Inimpedansen och inadmittansen på ett enkelt svängande system med idealt oeftergivligt underlag

För de lägsta frekvenserna, $\omega \rightarrow 0$ går Z mot $\frac{1}{j\omega C}$ d v s mot höga negativa komplexa värden. För höga frekvenser går Z mot $j\omega M$, d v s impedansen närmar sig till en asymptot i 45° -riktningen. För frekvensen $\omega = \omega_0$, resonansfrekvensen är $X = 0$, d v s R-axeln skärs igenom.

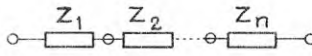
Komplicerade mekaniska systems beskrivning underlättas av ett antal grundregler som vi inte kan gå djupare in på i detta sammanhang. Här hänvisas t ex till ref /19/. Dock skall för deras stora betydelse nämnas några viktiga begrepp och teorem.

2.1 Ekvivalent impedans

En samling impedanser kan ersättas av en ekvivalent impedans.

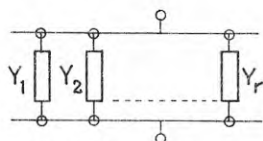
Specialfall:

a) impedanser i serie $Z_{ekv} = \sum_n Z_n$ (2.12)



b) admittanser i parallell ersättes av

$$Y_{ekv} = \sum_n Y_n \quad (2.13)$$



Det är denna regel som gör att ett kontinuerligt mekaniskt system kan framställas som summan av ett oändligt antal admittanser varav den enskilda admittansen är admittansen hos varje enskild egensvängningsform. Admittansen blir hög i varje enskild egenresonanspunkt. Ett elastiskt kontinuum i form av t ex en understödd balk eller platta kan sålunda, om för enkelhetens skull förlusterna försummas, ersättas med en ekvivalent fyrpol av den principiella form som visas i fig. 2.5.

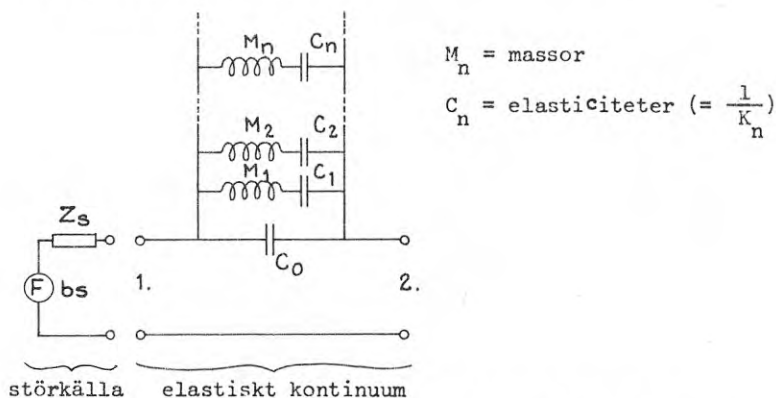


FIG 2.5 Ekvivalent system för elastiskt kontinuum påverkad av transversalkraft

I den visade analogin symboliserar vänstra delen störkällan till vilken vi strax skall återkomma, C_0 är den lokala elasticiteten i kraftens angreppspunkt, vilken starkt beror på lokal geometri. Serieresonanssystemen $M_1 - C_1 \quad M_2 - C_2 \quad \dots \quad M_n - C_n$, är ekvivalenta massor och styvheter för det elastiska kontinuets egensvängningsformer grupperade efter en monotont stigande skala på egenfrekvenserna

$$\omega_n = \frac{1}{\sqrt{M_n C_n}} \quad (2.14)$$

För varje egenresonans går Z_n mot noll, jfr formel (2.10), vilket, om ej plattan blockeras, (kretsen öppen i snitt 2) medför att hastigheten ("strömmen") i systemet för given kraft F_{bs} från störkällan blir mycket hög.

2.2 Superpositionsprincipen

I ett system innehållande impedanser och flera generatorer (krafter), är hastigheten i en given punkt lika med summan av hastigheternas från varje enskild kraft (generator). Störningarna från ett rörsystem, en maskin el dyl kan därför erhållas genom superposition av bidragen från enskilda kontaktpunkter. Om rörelsen mellan exciteringspunkterna är kopplad måste hänsyn dock härvid tas till den ömsesidiga impedansen.

2.3 Reciprocitetsteoremet

Om en kraft (moment) appliceras i punkten i och hastigheten (vinkelhastigheten) uppmättes i en annan punkt j av systemet blir kvoten mellan kraft och hastighet (överföringsimpedansen) lika stor som kvoten mellan kraft och hastighet om sändar- och mottagarpunkt byter plats. Detta samband är högst värdefullt att utnyttja vid sådan experimentell bestämning där den ena exciteringsformen med svårighet kan realiseras.

Vid det mera komplicerade fallet med utbredda strukturer där flera translations- och vinkelrörelser är aktuella kan det på samma sätt visas att samband mellan tryckfältsexcitering (i t ex luftrum) och elementarbidrag från kraft- och momentexcitering är enklare att mättekniskt komma åt genom att excitera med tryckfält i givet slutet rum och i stället experimentellt bestämma de uppstående rörelserna. Här kommer också reciprocitetsteoremet till användning.

2.4 Effektöverföringsteoremet

Man kan visa att den maximala mekaniska effekt som överförs från en del av en sammansatt struktur till en annan är maximum om de båda inimpedanserna i delsystemen, sedda från föreningssnittet, är komplext konjugata, d v s om resistanserna R är lika och reaktanserna X är lika till beloppet men har motsatta tecken. Detta är en viktig regel att ha i minnet vid all ljud- och vibrationsisolering.

2.5 Mekaniska störcällor

Mekaniska störcällor kräver sin särskilda karakterisering. De störningar som utbildas kan härledas till tröghetskrafter från roterande eller fram- och återgående delar och är då oberoende av underlagets eftergivlighet. De kan också orsakas av t ex randomexciterade plåtvibrationer från strömmande medier eller elektromagnetiska krafter i t ex el.motorer. För lätta konstruktioner kan vibrationerna i kontaktpunkter mellan maskin och underlag kraftigt påverkas av underlagets styvhet och massreaktans. Oberoende av frekvens blir den kraft som för dessa maskiner utvecklas internt i störcällan relativt oberoende av underlagets rörelse, vilken senare i vissa fall kan helt domineras av krafter från den störande maskinen. En annan viktig kategori av störcällor är de där vibrationshastigheten i kontaktpunkten mellan maskin och underlag helt är bestämd av den störande maskinens egenskaper. Man inser att detta ytterlighetsfall inträffar endast om motreaktionen från underlaget endast obetydligt förmår påverka maskinens vibrationshastighet i kontaktpunkten. Detta inträffar i verkligheten i sådana fall där underlaget är mycket eftergivligt och lätt och den störande komponenten är robust kompakt eller tung i förhållande härtill. Det viktigaste fallet "konstant hastighetskälla" har vi i maskiner uppställda på vecka gummiisolatorer. I stora delar av frekvensområdet gäller här ovanstående förutsättning. Styvheten från isolatorerna påverkar obetydligt en tung maskinfots rörelse och isolatorerna kan inräknas i omgivande struktur.

Oberoende av störcällans interna egenskaper och sättet på vilket de primära krafterna utbildas kan en mekanisk störcällas dynamiska egenskaper när det gäller störcraften i en riktning ("endimensionella fallet") i en kontaktpunkt mot underlaget bestämmas med hjälp av två mätningar. Dessa

är en "kortslutningsmätning" (kontaktkraften $F = 0$, d v s källan är helt fri) och en "öppen mätning", ("strömmen", d v s vibrationshastigheten $V = 0$). Kontaktpunkten skall i detta senare fall anslutas till ett idealt oeftergivligt underlag. De storheter som bestäms vid de båda mätningarna är vibrationshastighet V_0 i störkällans kontaktpunkt till det tänkta underlag, resp kontaktkraften F_0 mot det stela underlaget.

Den "tvåpol" som karakteriserar källan har ett utseende enligt FIG.2.6 och 2.7,där $Z_S = \frac{F_0}{V_0}$

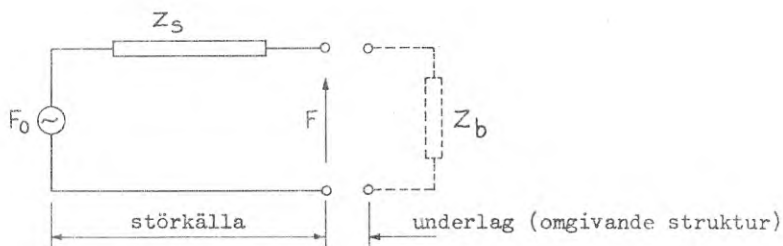


FIG 2.6 Ekvivalent elektrisk krets. Beskrivning som "konstant kraftkälla" (Thevenins teorem)

Den kraft som från störkällan verkar mot omgivande struktur då hastigheten i kontaktpunkten är V är bestämd av:

$$F = F_0 - Z_S V \quad (2.15)$$

Det framgår vidare av den ekvivalenta kretsen mot en struktur med impedansen Z_b att hastigheten V i kontaktpunkten bestäms av:

$$V = \frac{F_0}{Z_S + Z_b} = \frac{F_0}{Z_b} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{Z_b}{Z_S}\right)} \quad (2.16)$$

För bestämning av störningar in i en struktur krävs alltså, vilket redan tidigare berörts, både kännedom om störkällans dynamiska egenskaper och underlagets. Den vanligen utnyttjade hypotesen att $Z_b \gg Z_s$ och alltså $v \approx \frac{F_0}{Z_b}$ är ej alltid uppfylld.

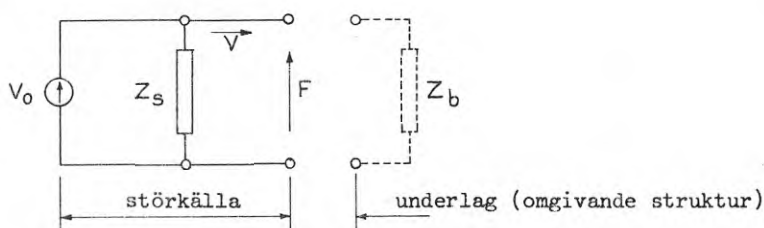


FIG 2.7 Ekvivalent elektrisk krets. Beskrivning som "konstant hastighetskälla" (Nortons teorem)

Den kraft som utbildas med underlaget bestäms av:

$$F = Z_s \cdot (V_0 - V) = \frac{Z_s Z_b}{Z_s + Z_b} \cdot V_0 \quad (2.17)$$

och hastigheten i kontaktpunkten är:

$$V = \frac{Z_s}{Z_s + Z_b} \cdot V_0 \quad (2.18)$$

Bestämningen av F_0 är normalt förbunden med stora praktiska svårigheter, speciellt i mellan- och högfrequensområdet, eftersom ett idealt stelt underlag utan inre resonanser endast existerar i tankevärlden. Eftersom

$$F_0 = Z_s \cdot V_0 \quad (2.19)$$

räcker det dock med att känna två storheter i sambandet (2.19) för att den tredje storheten skall vara känd. Bestämningen av Z_s kan experimentellt ske med hjälp av en yttre generator med given störkraft F' mot en mycket mjukt upphängd störkälla under samtidig uppmätning av utbildad vibrationshastighet V' i kraftangreppunkten. Man får då $Z_s = \frac{F'}{V'}$ till amplitud och fas. Därmed är F_0 indirekt bestämd med hjälp av (2.19).

Vanligt är att man bestämmer admittansen både på källan

$$\left(Y_s = \frac{1}{Z_s} = \frac{V'}{F'} \right) \quad \text{och underlaget} \quad \left(Y_b = \frac{1}{Z_b} \right)$$

vilket sker genom att man vid den experimentella bestämningen reglerar på konstant kraft F' .

Kraften mot underlaget är enligt (2.17) bestämd av

$$F = \frac{V_0}{Y_s + Y_b}$$

varför vibrationshastighetsbestämning V_0 på mjukt uppställd störkälla och admittansmätningar in mot källa och underlag alltså klargör vilken störkraft som kommer att utbildas mot underlaget.

Ex. 1 Mekanisk störkälla i form av vibrerande underlag, med en vibrationsriktning dominerande. Mät impedansen Z_s in i underlaget med underlaget obelastat. Mät också den fria hastigheten V_0 med underlaget helt obelastat. Underlaget kan då som störkälla simuleras med en ekvivalent krets enligt FIG. 2.6.

Ett alternativt sätt att beskriva underlaget är att utnyttja analogin enl. FIG.2.6 där $F_c = Z_s \cdot V_0$ som då måste räknas fram frekvens för frekvens.

Ex. 2 En kompakt elmotor med massan M och med en roterande obalans m_e , excentricitet e kan vid obalansfrekvensen karakteriseras av

$$F_0 = m_e \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t$$

$$Z_s = j\omega M$$

där $\omega = 2\pi f$, f = rotationsfrekvensen för obalansen i rotorn. Vid höga frekvenser skiljer sig Z_s från $j\omega M$ och måste experimentellt bestämmas.

2.6 Till omgivande struktur överförd akustisk effekt

Den i en viss drivpunkt överförda mekaniska effekten bestäms av sambandet:

$$W = \operatorname{Re} \left\{ F \cdot V^* \right\} \quad (2.20)$$

där F är kraften i snittet och V^* är en till vibrationshastigheten V konjugat komplex storhet samt Re står för realdelen av produkten mellan F och V^*

(Anm. Om $V = V_1 + j V_2$ är $V^* = V_1 - j V_2$)

Man kan urskilja två specialfall nämligen att kraften F är given och oberoende av underlagets impedans. Detta inträffar enl (2.15) då $F_0 \gg Z_S V \approx 0$ d v s då $\frac{Z_S}{Z_S + Z_b} \ll 1$ eller då störkäl-

lans inre impedans Z_S är låg i förhållande till underlagets Z_b Då blir:

$$W = \operatorname{Re} \left\{ F \cdot \frac{F}{R - jX} \right\} = \operatorname{Re} \left\{ F^2 (G - jB) \right\}$$

$$\therefore W = GF^2 \quad (2.21)$$

d v s med F given bestäms till strukturen inmatad effekt entydigt av admittansens realdel G . Detta villkor bör vara uppfyllt vid elektrodynamisk excitering av en struktur.

För en konstant hastighetskälla blir i stället

$$W = \operatorname{Re} \left\{ Z^* V^2 \right\} = RV^2 \quad (2.22)$$

vilket innebär att realdelen R av strukturens impedans entydigt bestämmer den inmatade effekten.

Vid den mätteknik som utnyttjats vid denna undersökning har de elektrodynamiska störningsgivarna reglerats på ett sådant sätt att vibrationskraften in i strukturen varit konstant över frekvensområdet och exciteringen motsvarar fallet "konstant kraftkälla".

3. MÄTSTORHETER OCH MÄTTEKNIK. VISSA FÖRSTUDIER FÖR ATT BESTÄMMA MÄTTEKNISKA BEGRÄNSNINGAR ¹⁾

3.0 Allmänt

Vid utbredningsmätningar i större strukturer erfordras dels lämplig anordning för kraftexcitering, dels givare för bestämning av svaret och vibrationsutbredningen.

På exciteringssidan kan, som antytts under sektion 2, antingen den inmatade kraften eller hastigheten bestämmas. Den inmatade störningen kan valfritt utgöras av en svepton av sinuskaraktär, ett quasistationärt brus eller av mekaniska engångspulser vars svar Fourier transformerar. På mottagarsidan längre bort i strukturen mätes acceleration eller vibrationshastighet. Enbart transversala rörelser har bestämts. Ej rotationshastigheter.

3.1 Kraftgivare

Med hänsyn till den ringa erfarenhet som vid mätningarnas början, omkring 1964, förelåg beträffande transienta pulser som störkälla startades studiet med en jämförelse av svepande sinuston och brusexcitering med hjälp av den standardiserade hammarapparat som inom byggnadsakustiken utnyttjas för mätning av stegljudsisolering. Denna senare består som bekant av 5 hammare på linje med ett längsta avstånd mellan huvudena av 0.1 m, en fallmassa på 0.5 kg, en fallhöjd av 4 cm och en slagfrekvens av 10 Hz.

Kraftgivare av typ hammarapparat lämpar sig inte för bestämning av punktimpedanser eftersom den lokala inkraften (-hastigheten) ej enkelt låter sig bestämmas.

Störkraften från en hammarapparat har fördelen att vara relativt hög jämfört med den som erhålles med konventionella elektrodynamiska generatorer, och är tidsmodulerad. Vid transient excitering sammanlagras, i mätpunkter som ligger på visst avstånd från kraftangreppspunkten, vibrationsbidraget från olika överföringsvägar. I fallet med transient excitering från upprepade pulser utgör den

¹⁾Läsning av avsnitt 3 kan uteslutas för dem som ej önskar granska materialets giltighet.

olika tidsfördröjningen över olika delvägar en extra komplikation. Avståndet mellan exciteringspunkt och registreringspunkt inverkar såväl på den transienta signalens bredd som på dess amplitud. Signalens toppfaktor¹⁾ blir härigenom avståndsberoende. För att metoden skall ge ett korrekt värde på utbredningsdämpningen måste därför det verkliga effektivvärdet registreras. Med konventionell utrustning för byggnadsakustiska mätningar innehållande Brüel & Kjaer tersfilter och nivåskrivare är detta ej möjligt som en följd av hammarapparatens låga slagfrekvens 10 Hz. Toppfaktorn hos registrerade vibrationsförlopp kan som exempel vid ett praktiskt fall variera mellan 5 och 15 dB, vilket innebär en differens om ca 5 dB på hos skrivaren avläst effektivvärde. Om utbredningsdämpningen i samma fall skulle vara 5 dB avläses således 0 dB. Om hammarapparat och nivåskrivare utnyttjas måste således effektivvärdet bildas före nivåskrivaren.

Som elektrodynamisk kraftgenerator för sinus- och brusexcitering har två typer av kraftgeneratorer nyttjats, dels Goodman vibrator typ 390 A med vikten ca 7.0 kg, dels den kraftgenerator som är sammanbyggd med Wilcoxons impedanshuvud Z 820. Den förra typen av givare utnyttjades vid mätning på lagerbyggnad, kv Primus, den senare på kv. Linjalen. Givaren i Wilcoxons impedanshuvud har hög tvärstyvhet och hög momentimpedans, vilket är fördelaktigt i mätpunkter med stora vinkelrörelser.

Goodman-vibratoren är av konventionell typ och driver mätobjektet via en kort cylindrisk pinne. Den upphänges mycket mjukt i förhållande till mätobjektet. Egenfrekvensen i systemet generatormassa - upphängningselasticitet sätter en undre gräns för det frekvensområde inom vilket kraftgenerering kan ske. Eftersom i generatoren varje kraft måste motsvaras av sin motkraft och denna senare består av tröghetskraften från generatormassan M generator inses att vid låga frekvenser bestäms maximalt överförd kraft till underlaget av uttrycket:

$$F = x \omega^2 M_{\text{generator}} \quad (3.1)$$

 1) Toppfaktor = $\frac{V_{\text{peak}}}{V_{\text{rms}}}$ På t ex visarinstrument och nivåskrivare avlästa värden är normalt toppfaktorsberoende vid höga toppfaktorer.

där X är vibrationsamplituden, ω vinkelfrekvensen. Av praktiska skäl måste X hållas inom vissa gränser. För att kunna mäta långt ner i frekvens krävs alltså en stor generatormassa. Detta är det konventionella problemet. Ex. $X = 5 \cdot 10^{-3}$ m $f = 10$ Hz $M = 4$ kg ger $F = 80$ N.

Önskar man mäta långt ner i frekvens måste man gå över antingen till mekaniska kraftgivare med roterande excentervikter eller hydrauliska kraftgivare. Då studien främst avsåg frekvenser över 10-15 Hz, d v s i och över området för de flesta byggnadsplattors grundresonanser har det extremt lågfrekventa området uteslutits.

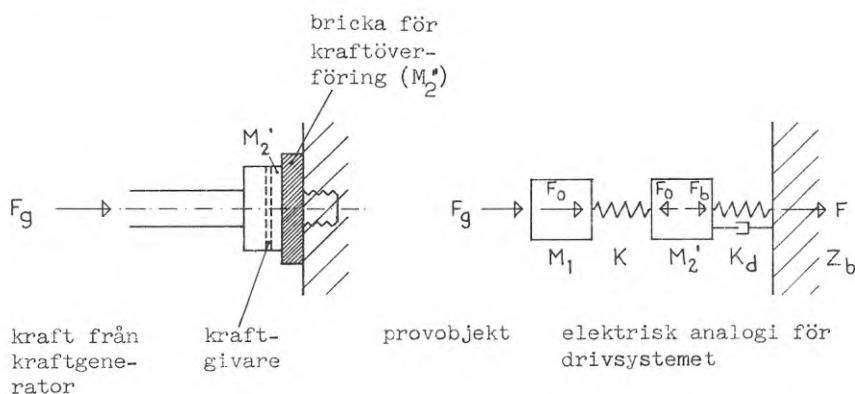


FIG 3.1 Kraftexcitering. Mekanisk analogi.

I infästningspunkten för kraftexciteringen måste vid kraftmätning hänsyn tagas till lokala massor och elasticiteter. Kraften från ovannämnda generatorer F_0 mäts med hjälp av ett piezoelektriskt element med en fjäderkonstant k . Under den piezoelektriska kristallen finns en koncentrerad massa M_2 som dels består av en del M_2' av givarmassa dels av en massa på lokal bricka för bästa infästning till underlaget M_2'' . Genom att variera diametern på brickan har också den lokala styvheten K_d under brickan kunnat varieras och därmed inverkan av lokal elasticitet K på uppmätt punktadmittans.

Den lokala punktdmittansen är enligt Hertz för en cylindrisk oeftergivlig stämpel med diametern d bestämd av: $(K_d = \frac{j\omega}{Y_b})$:

$$Y_b = j\omega \left(\frac{1 - \nu^2}{d \cdot E_b} \right) \quad (3.2)$$

där E_b är underlagets E-modul, ν dess Poissonkonstant. För stål/betong är denna ansats relativt exakt om stålbrickan ej väljs alltför tunn.

Den elektriska analogin för systemet visas i FIG. 3.2.

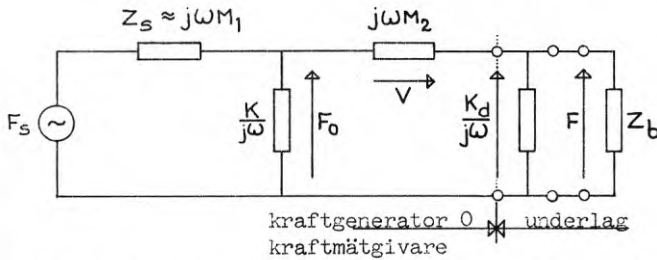


FIG 3.2 Elektrisk analogi för kraftexciteringspunkten.

Den del av systemet som rör kraftgeneratoren "ovanför" kristallen F_s , Z_s är relativt ointressant. Man mäter kraften F_0 och reglerar på denna. Kraften mot underlaget bestäms av

$$F = F_0 - j\omega M_2 \cdot V$$

$$\text{d v s} \quad F = F_0 - j\omega M_2 \cdot \frac{F_0}{j\omega M_2 + \frac{\frac{K_d}{j\omega} \cdot Z_b}{\frac{K_d}{j\omega} + Z_b}} \quad (3.3)$$

För specialfallet att underlagets impedans Z_b är mycket större än den lokala fjädringens impedans $\frac{K_d}{\omega}$ gäller alltså att:

$$F = F_0 \left[1 - \frac{j\omega M_2}{j\omega M_2 + \frac{K_d}{j\omega}} \right] = F_0 \left[1 - \frac{1}{1 - (\frac{\omega_0}{\omega})^2} \right] \quad (3.4)$$

där $\omega_0^2 = \frac{K_d}{M_2}$ motsvaras av resonansen mellan massa under kristallen och mätobjektet samt den lokala elasticite-

ten. Om ω_0 väljes mycket hög i förhållande till ω uppstår ingen nämnvärd "kraftdeformation", ty då blir $F \approx F_0$.
Gränsen för ett fel på 3 dB fås då

$$\frac{1}{\sqrt{2}} < \left| \frac{F}{F_0} \right| < \sqrt{2}$$

I aktuellt fall har som exempel utnyttjats en stålbricka med 40 mm diameter vilket med givaren ger ($E_b = 3 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$:
 $\zeta_b = 2400 \text{ kg/m}^3$ $\nu \approx 0,3$)

$$M_2 = 0,24 \text{ kg}$$

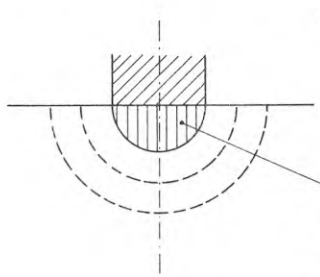
$$K_d = \frac{d \cdot E_b}{1 - \nu^2} = \frac{4 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 10^{10}}{0,91} = 1,3 \cdot 10^9 \text{ [N/m]}$$

$$d \text{ v s } \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{1,3 \cdot 10^9}{0,24}} = 7,4 \cdot 10^4$$

$$f_0 = 11800 \text{ Hz}$$

som lokal egenresonans. Nu finns det emellertid skäl att, till skillnad från vad som redovisas i litteraturen, i formeln för den lokala resonansen vid excitering mot ett tjockt bjälklag med stor utsträckning också räkna med de lokala tröghetskrafter som orsakas av den lokala intryckningen. För att beräkna detta exakt krävs en detaljerad summering av kompressions-,skjuv- och Rayleighvågsbidragen. Låt oss emellertid för enkelhetens skull antaga att tröghetsbidraget M_d under stämpeln är

$$M_d \approx \varrho \cdot \frac{2\pi}{3} \left(\frac{d}{2} \right)^3 \quad (3.5)$$

$$= \varrho \cdot \frac{d^3}{4}$$


tröghetsbidraget från lokal deformation under stämpeln approximeras till en koncentrerad massa M_d

svarande mot den effektivmassa som fås om betongen hade rört sig som en inkompressibel vätska under stämpeln.

$$\text{Spec. : } d = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m} \quad \varrho = 2,4 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \text{ ger}$$

$$M_d = 2,4 \cdot 10^3 \cdot \frac{64 \cdot 10^{-6}}{4} = 39 \cdot 10^{-3} \text{ kg} = 39 \text{ gram.}$$

Den massa som tidigare kalkylerats med $M_2 = 240$ g, bör alltså snarast vara:

$$M_{2\text{eff}} = 240 + 39 = 279 \text{ gram}$$

$$f_0 \approx \sqrt{\frac{240}{279}} \cdot 11800 \approx 11000 \text{ Hz}$$

Med hänsyn till att de aktuella mätningarna avser området under 3000 Hz behöver alltså ej inverkan av tröghetstermen i kontaktpunkten beaktas vid mätning på betong.

Vid mätning på lättbetong är

$$E_b \approx 1,7 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$$

d v s för en drivbricka enligt ovan fås

$$f_0 \approx \sqrt{\frac{1,7}{30}} \cdot 11800 = 2800 \text{ Hz}$$

och kraften

$$F/F_0 = \left[1 - \frac{1}{1 - \left(\frac{2800}{1000}\right)^2} \right] = 1,15 \text{ vid } 1000 \text{ Hz}$$

d v s inget kraftkorrektionsbidrag, behöver heller göras vid 1000 Hz, om man mäter tjocka lättbetongkonstruktioner. Vid 2800 Hz får man p g a elasticiteten under brickan en lokal resonans som omöjliggör eller starkt försvårar kraftmätningen. En lättare drivbricka bör väljas för de högre frekvenserna i detta område.

Skulle uppgiften i stället varit att mäta kraften mot en lätt och eftergivlig konstruktion, t ex gipsväggar eller tunna plåtväggar kommer spänningsfallet över $j\omega M_2$, enl. FIG. 3.2, att dominera medan den lokala elasticiteten blir låg i förhållande till Z_b . Konsekvensen blir att man då bör satisfiera villkoret:

$$\omega M_2 \ll |Z_b|$$

vilket sker genom lägsta möjliga värde på M_2 . En alternativ väg är att man vid impedansmätning subtraherar en del av kraft- och accelerationssignalerna i en differentialförstärkare. Det belopp som dras ifrån justeras så att kraftsignalen är minimerad då ingen yttre last Z_b ligger på kraftgivaren.

3.2 Givare för bestämning av vibrationshastighet:

I föreliggande undersökning har vibrationshastigheten uppmätts med accelerometrar av typ Brüel & Kjaer typ 4334.

Massa	35 g
Känslighet	5000 $\mu\frac{V}{g}$
Tvärkänslighet	< 4%

Det har genom varierad infästningsyta och givarmassa konstaterats att ovan nämnda accelerometer fastskruvad på plan stålbricka med ytan 7 cm^2 , vikt 35 g, möjliggör korrekt mätning på betong till åtminstone 9kHz om brickan fästs till underlaget med ett tunt skikt av epoxiplast. Montageresonansen inverkar här ej vare sig givaren är monterad på bjälklagets slipade ovansida eller på dess grövre putsade undersida.

Motsvarande kontroll har ej gjorts experimentellt vid montage på lättbetong. Det finns dock, med anledning av den lägre E-modulen i lättbetongen, skäl anta att korrekta mätningar bör kunna göras upp till $\sqrt{\frac{1,7}{40}} \cdot 3000 \approx 1900 \text{ Hz}$, och sannolikt vid mätning på putsade lättbetongytor ändå högre på g a putsskiktets, jämfört med lättbetongen, större styvhet.

(Anm. I det primärmaterial som föreligger från mätningar på betongytor föreligger accelerationsvärden för frekvenser ända upp till 9 kHz. Dessa har dock med hänsyn till den tidskrävande mättekniska granskningen av frekvensområdet 2 - 9 kHz utelämnats).

Accelerationssignalerna har genomgående tidsintegrerats i särskild krets för erhållande av vibrationshastigheten. Signalernas fas har ej varit föremål för studium, endast deras amplitud. Mätssystemet har kalibrerats på skakbord av typ General Radio 1557-A. För bestämning av effektmedelvärdet över viss bjälklagsplatta eller vägg har antalet mätpunkter per yta valts till minst 3 och högst 9 stycken. Se FIG. 4.10-4.11 som visar mätpunkternas placering i bostadshusmätning.

3.3 Mätning av punktadmittans

Denna mätning kräver simultan registrering av kraft F och vibrationshastighet V_1 i kraftangreppspunkten eller vibrationshastighet V_2 på "motsatt" sida av exciterad platta. Se FIG. 2.1.

Punktadmittanser har uppmätts med

- 1) sammansatt elektrodynamisk vibrator, Goodman typ 390A och Wilcoxons impedanshuvud typ Z 820.
- 2) Wilcoxons vibrationsgenerator typ F⁴ med hopbyggt impedanshuvud typ Z 820.

Storleken på kontaktytan mellan impedanshuvud och byggnad har varierats mellan 1 och 28 cm² varvid massan M_2 mellan kraftgivare och byggnad varierat i intervallet 200 - 600 g.

Bjälklags- och väggimpedanser (admittanser) har genomgående erhållits i central mätpunkt på fri yta genom vibrationshastighetsmätning med accelerometer placerad under exciteringspunkten på "plattans" undersida. Vid mätning har vibratorn drivits med svepande sinuston över frekvensintervallet 20 Hz - 9 kHz. Mätssystemet innehåller don för automatisk nivåreglering till konstant kraft. Vibrationshastighet har efter synkron smalbandsanalys registrerats på nivåskrivare. Registrering har således skett av admittansens belopp. Principiellt kopplingsschema för admittansmätningarna framgår av FIG. 3.3.

Då man vid praktiska tillämpningar endast i undantagsfall har behov av den fullständiga komplexa admittansen, se diagram 3.7-3.8, har vid aktuell undersökning mätningarna begränsats till registrering av admittansens belopp. Beträffande komplexa bjälklagsadmittanser och kopplingsschema för mätning av dessa hänvisas till ref /2/ och FIG. 3.4.

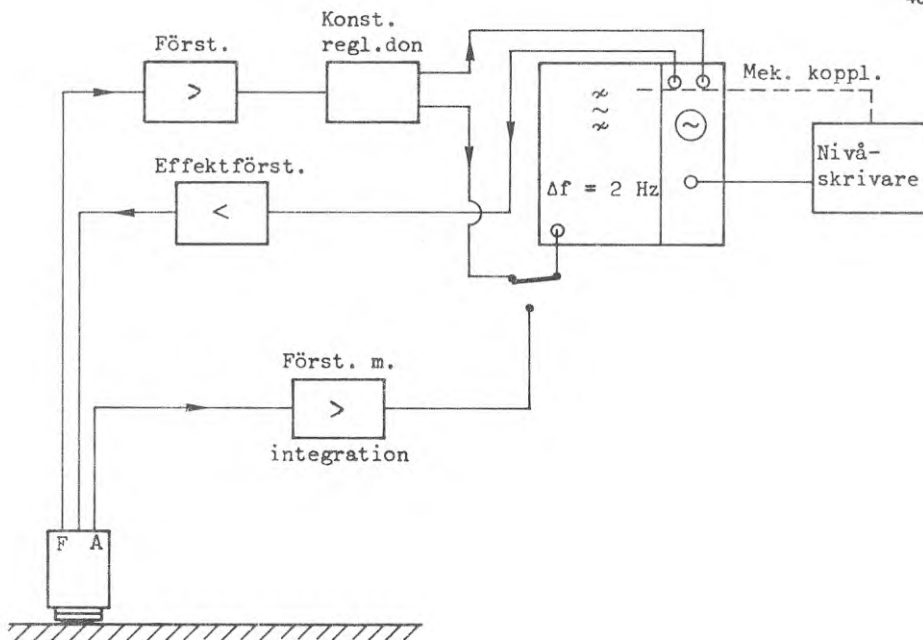


FIG 3.3 Uppkoppling vid mätning av punktadmittansens belopp

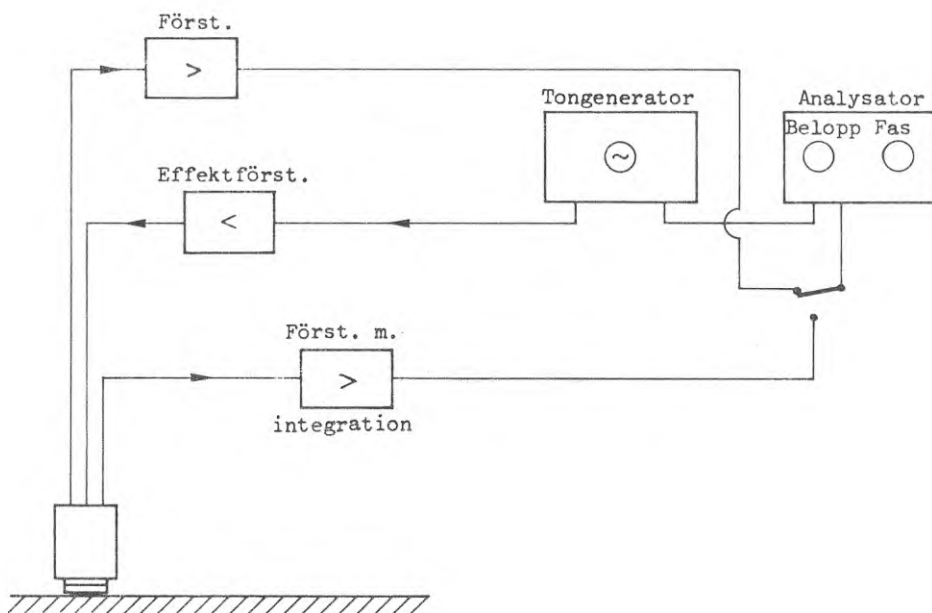


FIG 3.4 Uppkoppling vid komplex punktadmittansmätning.

Det får anses väsentligt att känna de begränsningar som en punktadmittansmätning med hastighetsgivaren placerad i kraftangreppspunkten är underkastad. Av denna orsak har i diagram 3.2 redovisats den lokala punktadmittansen som fås under en cirkulär drivkolv med ytan $12,5 \text{ cm}^2$ enligt (3.2) ($d_0 = 4,0 \text{ cm}$) dels för lättbetong dels för betong. För andra drivbrickor med diametern d gäller att

$$L_Y^i = L_Y \text{ diagram 3.2} - 20 \log \frac{d_0}{d} \quad (3.6)$$

Detta värde har jämförts med det teoretiska värdet för den punktadmittansen som erhålles för stora plattor ut-satta för en transversell kraft normalt mot plattans plan, nämligen

$$Y_P = \frac{1}{4h^2} \sqrt{\frac{3(1-\nu^2)}{9_b E_b}} \quad (3.7)$$

där h är plattjockleken. Admittansnivån L_Y har visats i diagram 3.1 för varierande tjocklekar på lättbetong och betongplattor. Slutligen har i diagram 3.3 värdena på lokal admittans jämförts med plattadmittansen för några värden på drivbrickans diameter.

För de frekvenser där den lokala admittansen dominerar över "plattadmittansen" kan ej hastighetsmätning omedelbart under kraftexciteringspunkten utnyttjas. Man finner att för t ex 15 cm betong och 40 mm drivbricka ligger denna gräns vid 450 - 500 Hz. Ett säkert värde på L_Y för t ex ett 15 cm bjälklag fås alltså ej över ca 200 Hz. Endast för 5 cm lättbetong kan en hygglig mätning göras med en 40 mm-stålbricka upp till ca 1000 Hz. Och ju mindre bricka som utnyttjas, (för att felet från tröghetstermen i denna skall hållas nere), desto mer begränsad blir man på den lokala elasticiteten. Man får därför begränsningar i mätområdet vilka i princip har den form som visas i FIG. 3.3. Den undre frekvensgränsen f_u bestäms av svårigheten att hålla upp storkraften och/eller hålla nere montagefrekvensen hos vibratorn, den övre f_o av t ex lokal resonans mellan M_2 och lokal elasticitet eller av annan lokal resonans i vibratorn. De övre och undre, amplitud-

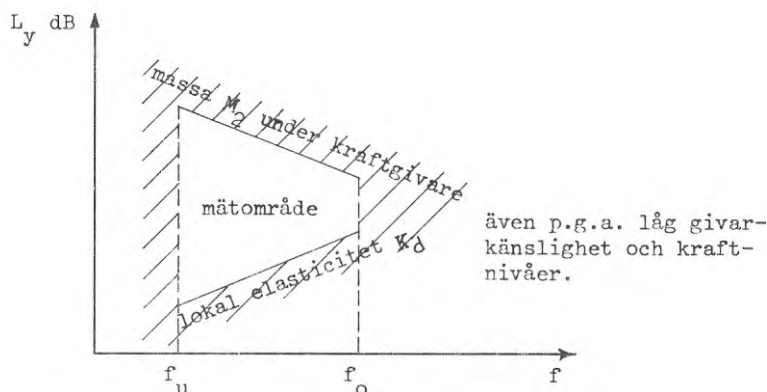


FIG 3.5 Acceptabelt mätområde för impedanshuvud. Principiell form

begränsningarna sätts av M_2 resp K_d . Genom att mäta vibrations-hastigheten V_2 på motsatt sida av exciterad platta bortfaller normalt den undre begränsningen för det aktuella frekvensområdet.

Av diagram 3,5 framgår hur uppmätt punktadmittans på ett stort 28 cm betongbjälklag, kvarteret Primus, varierar med drivbrickans diameter. Man återfinner bl a en lokal antiresonans sannolikt härrörande från drivsystemet vid ca 2000 Hz som försvårar mätning över denna frekvens, för de större brickorna 40 och 60 mm. Elimineras inverkan av impedanshuvudets utimpedans fås admittanskurvor enligt diagram 3.4.

Samma studie genomförd med hjälp av hastighetsmätning på ett 28 cm tjockt betongbjälklags undersida, mitt för drivpunkten ger en punktadmittans enl diagram 3.6. Man lägger märke till att punktadmittansen för bjälklaget redan vid ca 200 Hz närmar sig till ett konstant värde. I frekvensområdet 5000 - 6000 Hz återfinner man en resonans till vilken vi skall återkomma längre fram.

3.4 Mätning av överföringsadmittans och utbredningsdämpning

Överföringsadmittansen Y_{ij} har tidigare definierats som kvoten mellan vibrationshastigheten V_j i mottagarpunkten j och kraften F_i i sändarpunkten i , varvid det förutsättes att vibrationshastigheten V_j enbart orsakats av störkraften j

d v s

$$Y_{ij} = \frac{V_j}{F_i} \quad (3.8)$$

Uppgiften kräver alltså även i detta fall en simultan kraft- och vibrationshastighetsmätning. För att bestämma överföringsadmittansen Y_{ij} på långa avstånd från exciteringspunkten inses att signalstyrkan lätt kan bli låg jämfört med bakgrundsnivån från övriga störningar i byggnaden. Det signalsystem som visats i FIG. 3.4 har vid sändning med sinuston utnyttjats för att reducera brusbidraget. Filterbandbredden är här 2 Hz. Skulle detta förfarande ej räcka kan i kritiska situationer en korskorrelationsmetod tillgripas vid vilken mottagarsignalen multipliceras med en i förhållande till denna fasförskjutna sinusformigt varierande signal med samma frekvens som sändaren och en tidsintegration genomförs över ändlig tid. Accelerationssignaler som med 20 - 30 dB understiger brusets, mätt i tersband, kan i sådana fall detekteras.

Med hjälp av kraftregleringssystemet har admittansen kunnat direkt bestämmas som funktion av frekvensen. Registrering har skett på nivåskrivare av typ Brüel & Kjaer med mekanisk koppling för drivning av smalbandsfiltret. Frekvensskalan på smalbandsfiltret är ej logaritmisk. För att underlätta tydningen av admittanserna har i diagrammet kurvskaror för konstant massa och styvhet lagts in. Man lägger märke till att i frekvensområdet 200 - 1000 Hz är i dessa diagram frekvensaxeln i det närmaste logaritmisk varför både konstant styvhet och massa representeras av räta linjer.

Relationen mellan vibrationshastigheten i två punkter kan anges i form av en dämpning och begreppet utbredningsdämpning D skall här användas för att beskriva en successiv förändring av vibrationstillståndet från punkt ' till punkt " då man längs ett bjälklag eller i en struktur avlägsnar sig från exciteringspunkten.

D bestäms av sambandet:

$$D'_{''} = 20 \log \frac{V'_i}{V''_i} \quad (3.9)$$

Referenspunkten ' är icke avgörande för begreppet, men det har visat sig lämpligt att utnyttja en väl definierad punkt för ändamålet. Denna punkts läge skall vara sådant att den ligger utanför det egentliga närfältet dock ej på större avstånd än att utbredningen från exciteringspunkten till referenspunkten kan antas kontinuerligt varierande utan inflytande från omgivande konstruktionselement såsom pelare och väggar. I denna rapport har för mätobjekt 1, kv Primus , valts en punkt 1.0 meter från exciteringspunkten.

Utbredningsdämpningen mellan två punkter 1 och 2 kan också, enligt definitionen erhållas som differensen i överföringsnivå mellan de båda punkterna förutsatt att kraftexcitering skett i samma punkt i. Alltså:

$$D_2^1 = L_{Y11} - L_{Y12} \quad (3.10)$$

Begreppet utbredningsdämpning har betydelse närmast för studium av vibrationsnivåernas reduktion vid mätning på samma bjälklag eller vid studium av vibrationsnivåns vertikala variation genom våningsplanen i höghuskonfigurationer.

Vid mätning av överföringsadmittans och utbredningsdämpning är det i allmänhet fördelaktigt att excitera med en brussignal. Härigenom erhålles direkt, utan matematisk bearbetning, funktionens medelvärde i givna frekvensband. Sådant medelvärde kan utnyttjas i praktiska fall eftersom oftast störningskällorna är av bruskaraktär eller har singulära toner vars läge relativt resonanser i omgivande struktur (bjälklag, väggar) ej kan förutses.

Av avgörande betydelse för mätningen är exciteringsnivån, eftersom mätsystemets dynamik begränsar möjligheterna att bestämma utbredningsdämpning till större avstånd. Hammarapparaten ger i detta avseende högre nivå än flertalet för fältförsök lämpade elektromekaniska vibratorer exciterade med brussignal. Som exempel kan från aktuella mätningar på 28 cm betongbjälklag nämnas att på 20 m:s avstånd från drivpunkten ligger undre gräns för möjlig mätning vid sinusexcitering med 10 W-vibrator och 2 Hz smalbandsanalys vid ca 30 Hz, vid brusexcitering med (10 W i ett tersband) vibrator vid 200 Hz och vid excitering med hammarapparat, tersbandsanalys vid 40 Hz. Med hänsyn till behovet av

utsträckt frekvensområde och osäkerheten vid mätning med hammarapparat har utbredningsdämpning vid aktuell undersökning genomförts med sinusexciterad elektromekanisk vibrator. Parallellt har för mätobjekt kv Primus vissa mätningar med stegljudsapparat och integrerande analys utförts som kontroll av metodens användbarhet. Härvid har efter integrering och tersbandsfiltrering signal från accelerometer genomgått linjär halvvågslikriktning varefter integrering skett under 4 sek. Integratorns utspänning har registrerats på nivåskrivare. Genom den konventionella likriktarkopplingens begränsade linjära område har stötexciteringen transformerats med hjälp av gummimatta mellan hammare och bjälklag för optimal frekvensgång hos vibrationshastighetsnivån. Vidare har kontroll av klippnivån i filter och förstärkare varit nödvändig i varje steg.

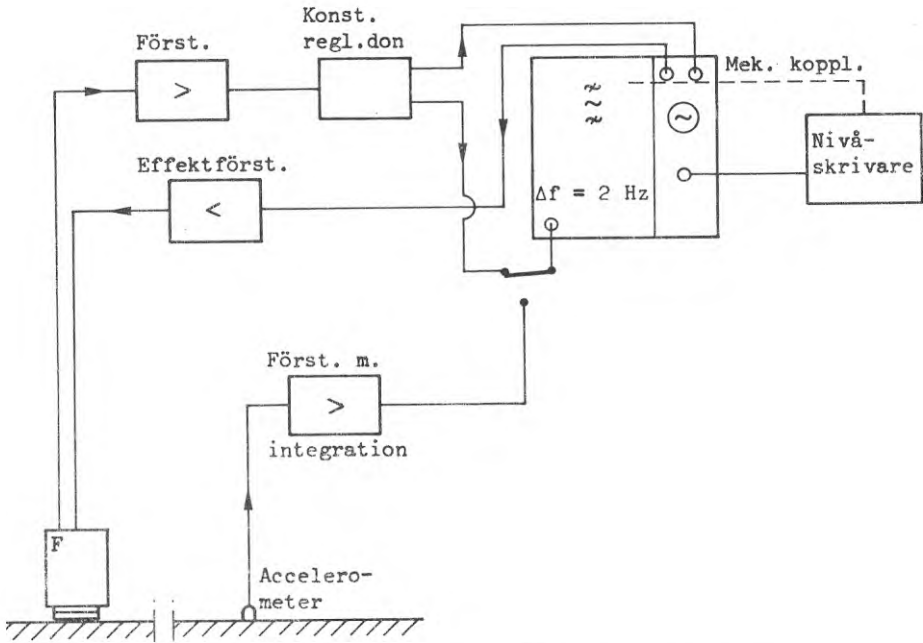


FIG 3.6 Uppkoppling vid överföringsadmittansmätning med svepande sinuston

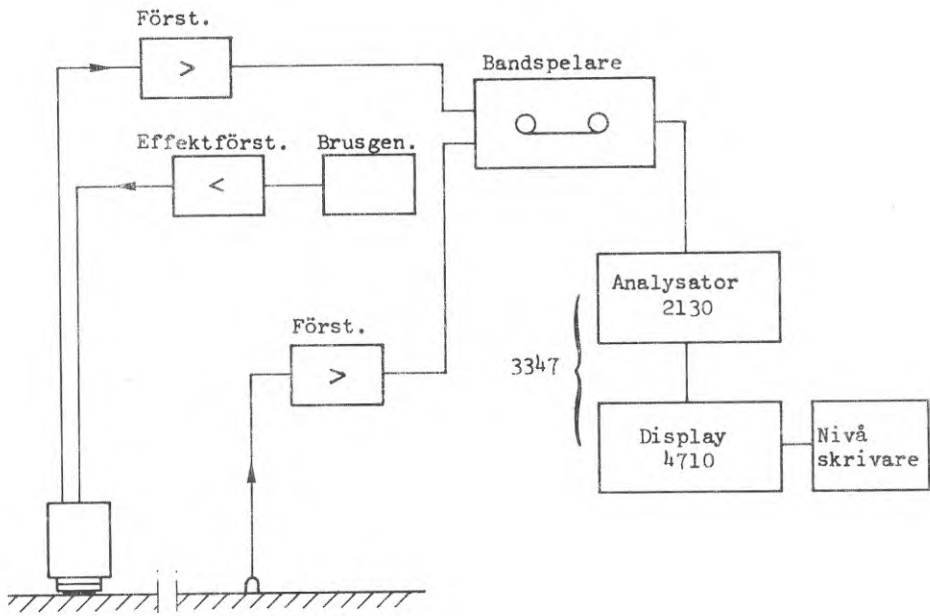


FIG 3.7 Uppkoppling vid överföringsadmittansräkning med brussignal

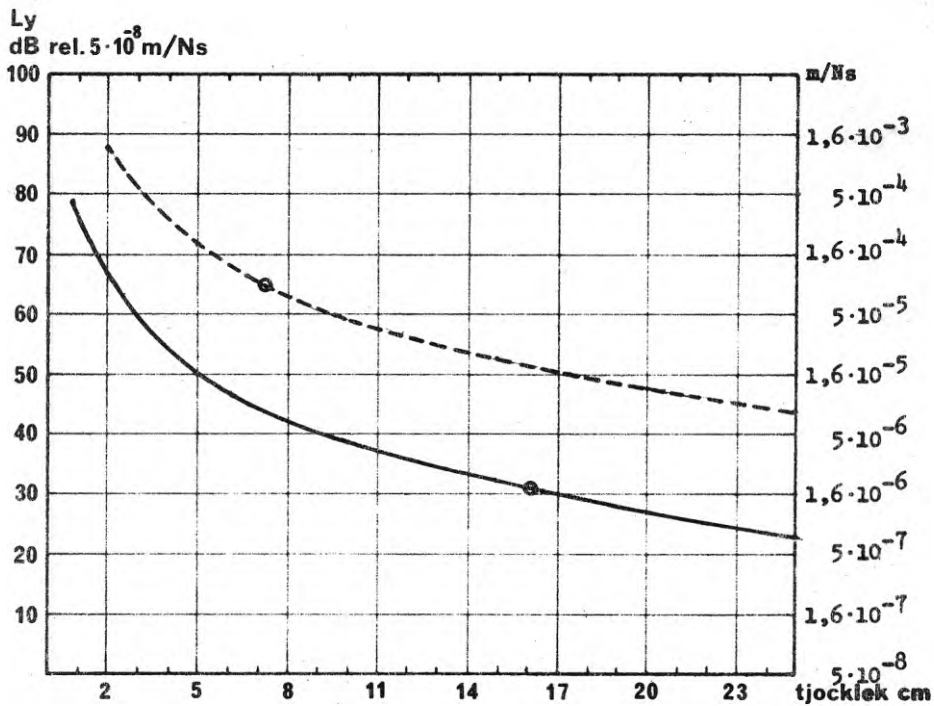


Diagram 3.1 Punktadmittansens variation med tjockleken beräknad för oändlig platta av lättbetong respektive betong

----- Lättbetong $E \approx 17 \cdot 10^8$ N/m² $\rho = 5 \cdot 10^2$ kg/m³
 ————— Betong $E \approx 40 \cdot 10^9$ N/m² $\rho = 2,4 \cdot 10^3$ kp/m³

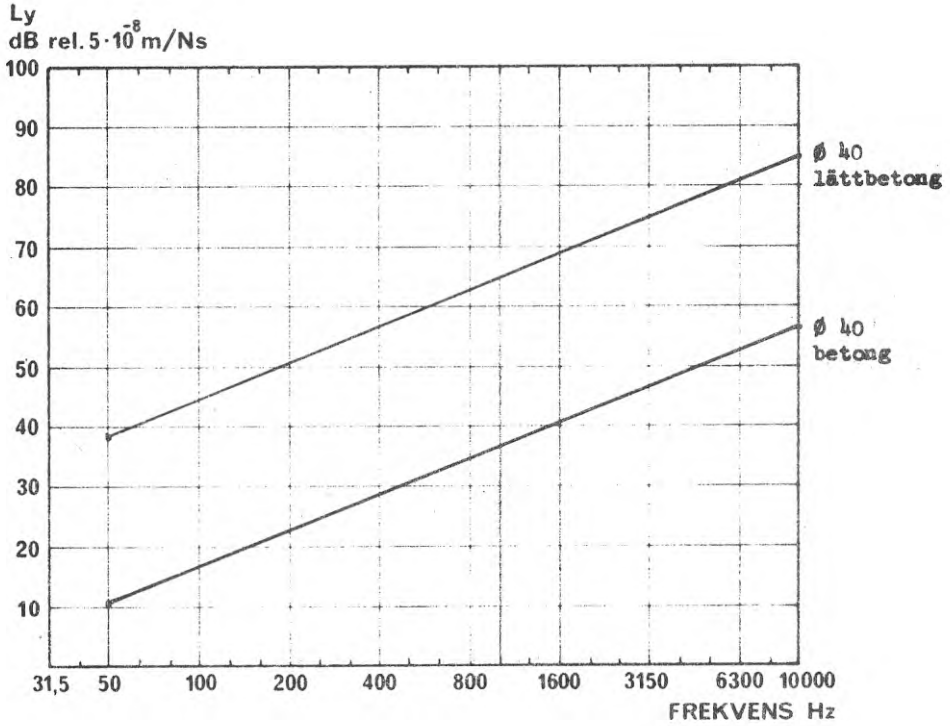


Diagram 3.2 Lokal punktadmittansnivå L'_Y hos lättbetong och betong vid $12,5 \text{ cm}^2$ exciteringsyta (inverkan av impedanshuvudets utadmittans eliminerad)

- Lättbetong $E \approx 17 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ $\rho = 5 \cdot 10^2 \text{ kp/m}^3$
 ————— Betong $E \approx 40 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ $\rho = 2,4 \cdot 10^3 \text{ kp/m}^3$

$$L'_Y = L_Y - 20 \log \frac{d}{d_0}$$

där d är diametern på drivbrickan

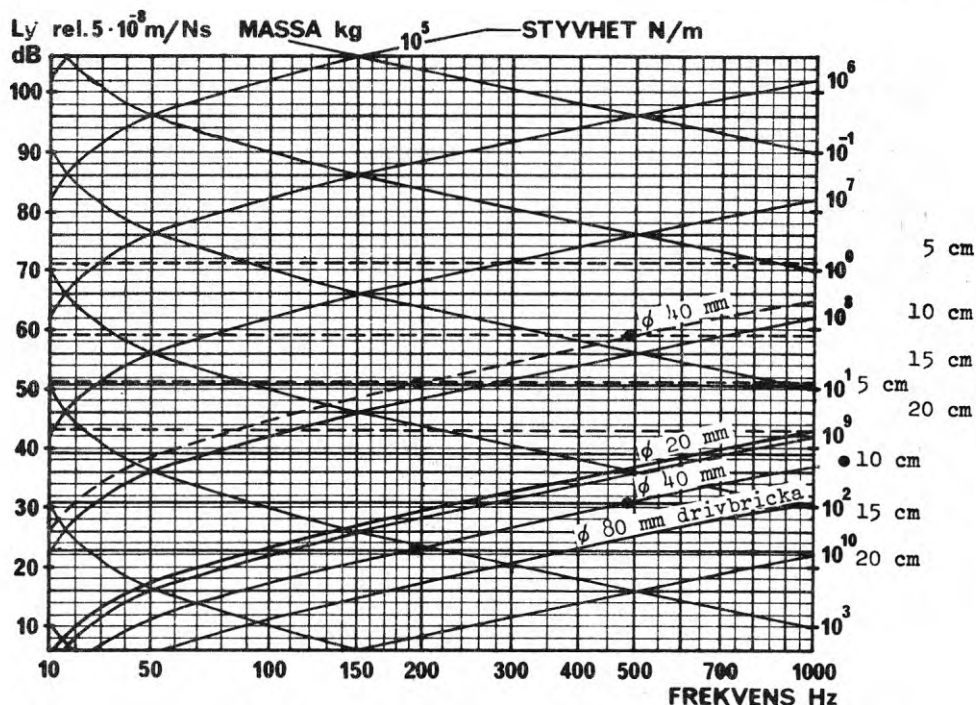


Diagram 3.3 Lokal punktadmittansnivå L_y hos lättbetong och betong vid varierande exciteringsyta, jämfört med plattadmittanserna för stora homogena plattor med tjocklekarna 5, 10, 15, 25 cm. För de frekvenser där den lokala admittansen (lutade kurvorna), överskrider plattadmittanserna (horisontella linjer) dominerar den lokala elasticiteten, och en mätning direkt under kraftexciteringspunkten ger ej korrekt mått på plattans admittans. Gränfallen är för drivbrickan med ϕ 40 cm angiven som runda ringar.

----- Lättbetong $E \approx 17 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ $\rho = 5 \cdot 10^2 \text{ kp/m}^3$
 ————— Betong $E \approx 40 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ $\rho = 2,4 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

$L(Y_{ij})$	i	j
våning	3	3
delyta	01	01
punkt	01	01
riktn.	+3	+3

(Betr. beteckningssystem för i, j se avsnitt 5.0)

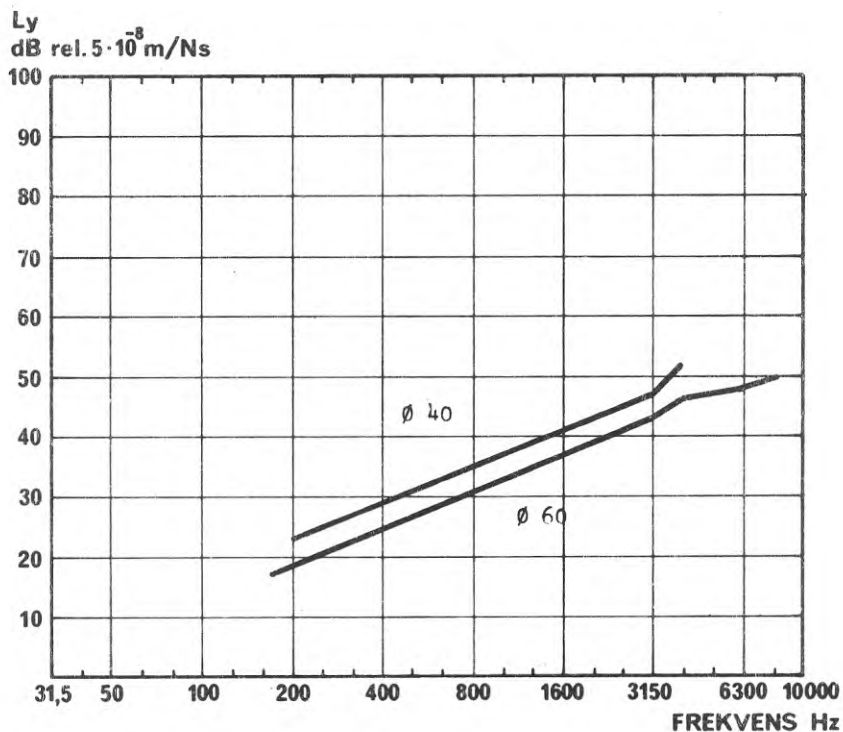


Diagram 3.4

Punktadmittans: lokal, vid varierad exciteringsyta, experimentell bestämning

Diameter på drivbricka: 40 mm
60 mm

Material i drivbricka: stål

Massa under kraftgivare: 240 g
600 g

Byggnad: kv Primus, Lilla Essingen

Anm. Inverkan av impedanshuvudets utimpedans eliminerad

Ly
dB rel. $5 \cdot 10^{-8}$ m/Ns

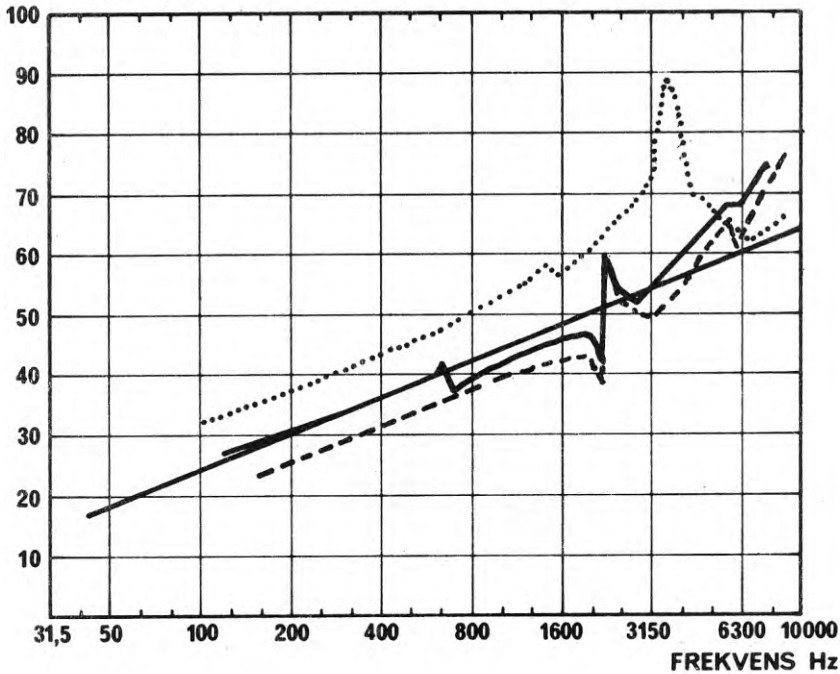


Diagram 3.5

Punktadmittans" Lokal, vid varierad exciteringsyta," experiment. best.

	11 mm
Diameter på drivbricka:	40 mm	————
	60 mm	-----
Material i drivbricka:	stål	
	200 g
Massa under kraftgivare:	240 g	————
	600 g	-----

Drivpunkt: punkt 01

Bjälklag: 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning

Figur 4.1 - 4.3

samma sida av bjälklag som drivbricka
 motsatt sida - " -

Byggnad: kv Primus, Lilla Essingen

Anm. Bjälklagsadmittansen Y_{ii} frånräknad

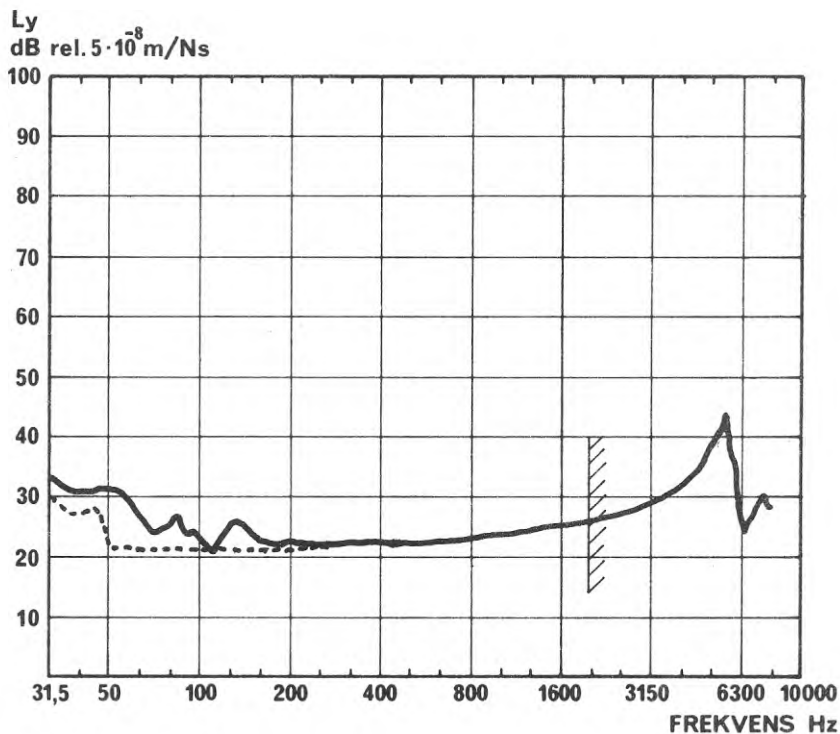


Diagram: 3.6

Diameter på drivbricka 40 mm
 Material i drivbricka stål
 Massa under kraftgivare 240 g
 Drivpunkt: punkt 01 o 03 _____ Figur 4.1 - 4.3
 punkt 02 -----

Bjälklag: 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning

samma sida av bjälklag som drivbricka
 motsatt sida - " -

Byggnad: kv Primus, Lilla Essingen

L(Y _{ij})	i	j	L(X _{ij})	i	j	L(Z _{ij})	i	j
våning	3	3		3	3		3	3
delyta	01	01		01	01		02	02
punkt	01	01		03	03		02	02
riktn.	+3	-3		+3	-3		+3	-3

(Betr. beteckningssystem för i, j
 se 5.0)

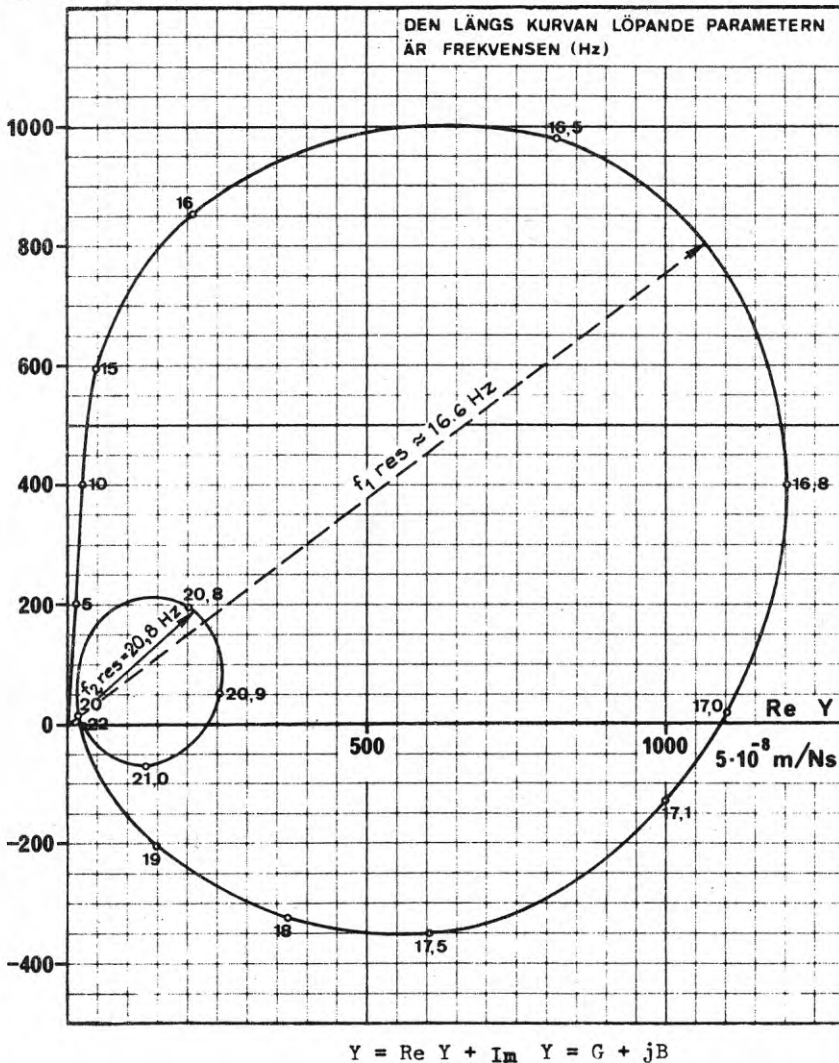
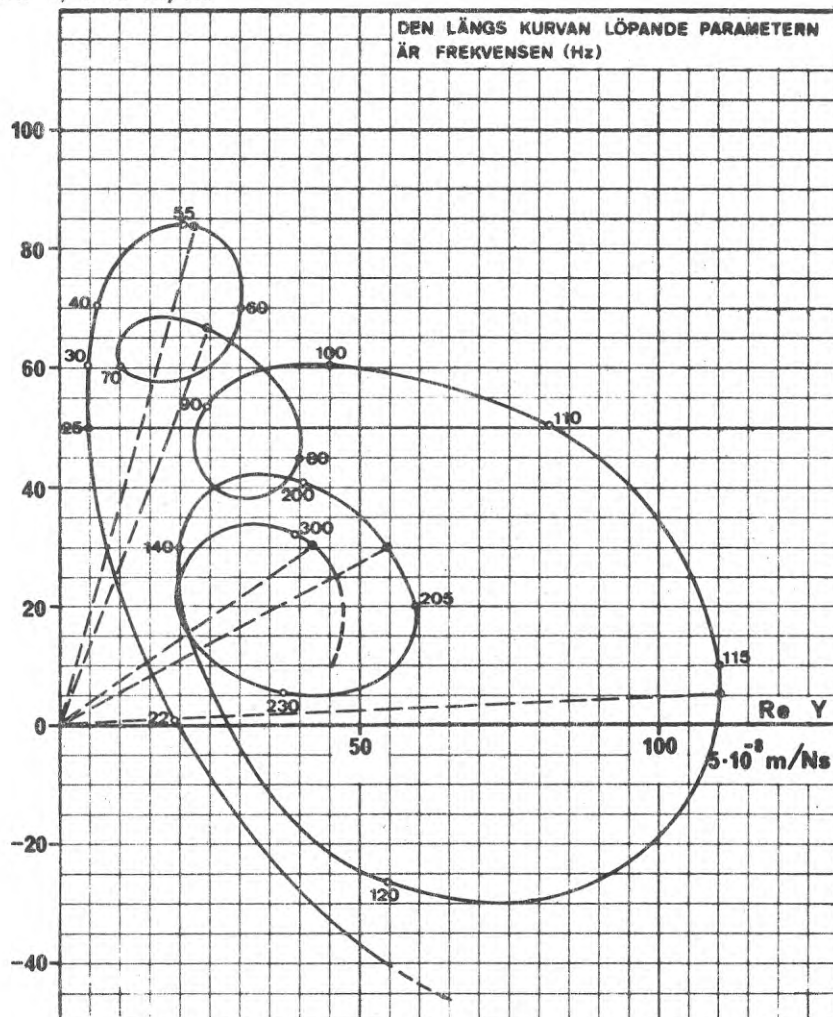
$\text{Im } Y, 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/Ns}$


Diagram 3.7 Bjälklagsadmittans i frekvensområdet 5-22 Hz på 20 cm betongbjälklag.

- (Dras en vektor från origo till den punkt på en kurvslinga som ligger längst från origo fås värdet på admittansen vid resonans genom att mäta vektorns längd; resonansfrekvensen fås ur interpolation mellan närliggande frekvensparametervärden; motsvarande minimivärden på Ortsvektorn ger antiresonansernas värde).
Resonanspunkter: $f = 16,6 \text{ Hz}$ $20,8 \text{ Hz}$
- (Plattans grundresonans $16,6 \text{ Hz}$ slår kraftigt genom i admittansdiagrammet i form av stor eftergivlighet).

$\text{Im } Y, 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/Ns}$


$$Y = \text{Re } Y + j \text{Im } Y = G + jB$$

Diagram 3.8 Bjälklagsadmittans i frekvensområdet 22-300 Hz på 20 cm betongbjälklag.

Resonanspunkter: $f = 56, 73, 115, 203, 305$ Hz (anger sannolikt ej samtliga resonanser eftersom finstrukturen ej detaljgranskats; egenmoderna med frekvenserna 56, 73 och 115 Hz dominerar eftergivligheten i mätpunkten; vid höga frekvenser slingrar sig admittanskurvan kring en punkt på reella axeln med det värde som teoretiskt fås för en oändligt stor platta).

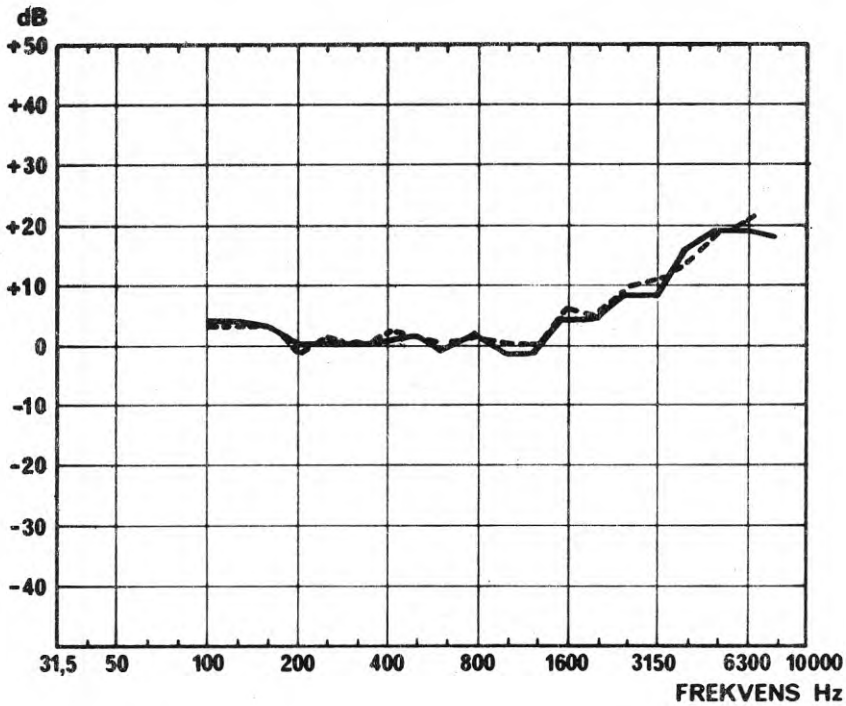


Diagram 3.9

Differens mellan hastighetsnivåer i punkt 18 och 22 vid varierad excitering. Jämförelse mellan registreringsmetoder.

Drivpunkt: punkt 01 FIG. 4.1 - 4.3

Bjälklag: 28 cm betong, plan 3

Byggnad: kv Primus , Lilla Essingen

———— excitering med vibrator, ton
 ----- excitering med hammarapparat, registrering efter integration

L(U ₁₈ -U ₂₂)	i	j	j
våning	3	3	3
öalyta	01	01	01
punkt	01	18	22
riktn.	+3	+3	+3

(Betr. symbolsystem se 5.0)

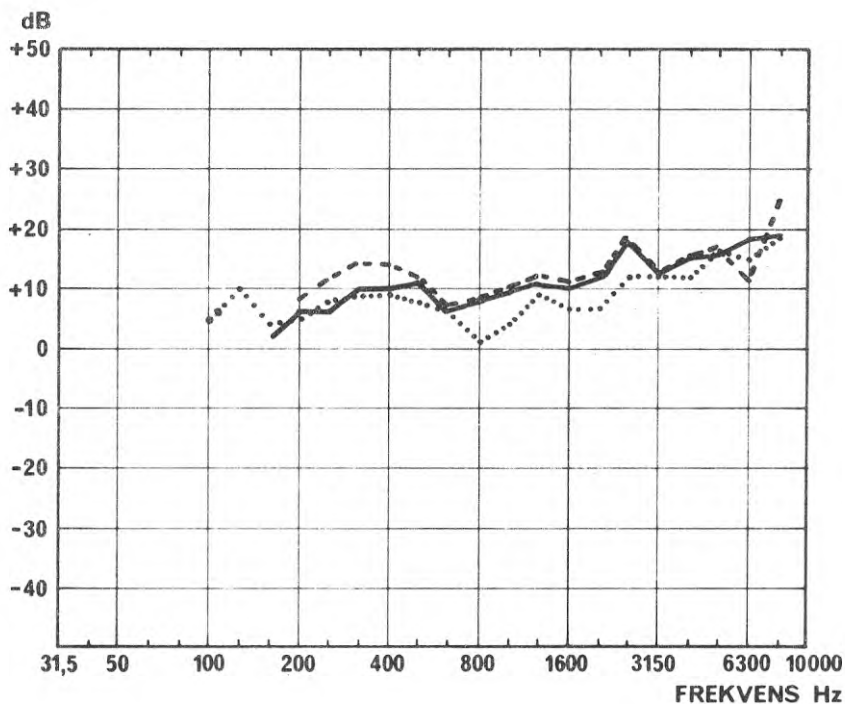


Diagram 3.10

Differens mellan hastighetsnivåer i punkt 18 och 22 vid varierad excitering. Jämförelse mellan registreringsmetoder.

Drivpunkt: punkt 02 **FIG. 4.1 - 4.3**

Bjälklag: 28 cm betong över pelare, plan 3

Byggnad: kv. Primus, Lilla Essingen

- excitering med vibrator, ton
- excitering med vibrator, brus
- excitering med hammarapparat, registrering efter integration

4. MÄTOBJEKT OCH BYGGNADSKONSTRUKTION

Såsom inledningsvis påpekats avser den genomförda studien en första kartläggning av de lokala punktadmittanserna och överföringsadmittanserna för karakteristiska, idag uppförda byggnadstyper. Två objekt har utvalts.

Det ena objektet består av en byggnad med tunga betongbjälklag på pelare, som är vanlig i lagerbyggnader och vissa industribyggnader. Det andra objektet är typiskt för många bostadshus och utgörs av en huskropp med bärande väggar och bjälklag av homogen platsgjuten betong. I detta senare fall har ljudutbredning i vertikal riktning kunnat studeras utförligare på grund av att byggnaden inrymmer flera vertikala våningsplan. Tyngdpunkten i undersökningen har dock lagts på förhållandena i exciterat våningsplan eller i våningsplanen närmast detta eftersom förhållandena här normalt representerar de i praktiken svåraste störningsfallen.

4.1 Mätobjekt. Lagerbyggnad kv Primus, Lilla Essingen, Stockholm

Lagerbyggnaden är uppförd av platsgjuten betong i tre plan. De övre bjälklagen utgörs av 28 cm betong. Bottenbjälklaget är 90 cm vilande på fyllning.

Ett tvärsnitt av byggnaden visas i FIG. 4.3. Pelarplacering och plan framgår av FIG. 4.1-4.3. I dessa plan är också mätpunktsnumrering angiven.

Bärande pelare utgörs av pelare på ett inbördes avstånd av 7,0 m med kvadratisk delning. Pelarnas dimensioner varierar med planen och är mellan plan 1 och 2 90 x 90 cm, mellan plan 2 och 3 55 x 55 cm.

Rumsindelning med väggar av 1/2-stenstegel har förelegat i begränsad omfattning och har markerats på planritningen. En sammanfattande teknisk beskrivning återfinns i TAB. 4.1 i anslutning till FIG. 4.1-4.3.

Under mätningarna var lagerlokalerna praktiskt taget helt utrymda på plan 1 - 3.

Inverkan från befintliga löst inställda föremål på byggnadens dynamiska egenskaper får bedömas som ringa. I industribyggnader med stora lager och maskininstallationer måste man med säkerhet räkna med ett kraftigare inflytande på utbredningsdämpning och överföringsadmittanser. Punktadmittanserna på fria ytor bör dock påverkas i obetydlig omfattning.

Byggnaden är konstruerad av C O Forthmeijer AB, Solna. Detaljritningar över inredning och stomme återfinns hos Byggnadsstyrelsen, Stockholm.

4.2 Mätobjekt 2. Huskropp C. Kv Linjalen, Stockholm

Huskroppen är uppförd av platsgjuten betong i garageplan, källarplan, sex våningsplan och vindsplan. Byggnadens utbredning med lägenhets- och våningsindelning visas i FIG. 4.4-4.6

Bjälklagen utgörs av 16 cm betong med bärande väggar i 16 cm betong. Lägenhets- och rumsskiljande väggar är utförda i samma material och tjocklek med undantag av badrumssektionerna där den lägenhetsskiljande väggen är 35 cm med rördragning i väggen. Rumsskiljande vägg i badrum är i övrigt uppförd av 7 cm lättbetongplank. Fasaderna är konstruerade med fasadelement av 8 cm betong, 12 cm isolering och på regler invändigt 13 mm gips.

I mätpositionsbeskrivningen TAB. 4.2 visas bjälklags- och vägg-tjocklekar för de olika ingående delytorna. Detaljritning av olika bjälklagskonstruktioner visas i FIG. 4.7

Under mätningarna befann sig byggnaden i ett skede strax före inflyttning. I en första etapp utfördes dock mätning på vindsbjälklag innan flytande golv inlagts. I fläktrum var flytande golv med fläktar installerade.

Punktadmittanser och utbredningsfunktioner har studerats på våningsplan 3 - 7. Driv- och mätpunktsplacering på de olika

våningsplanen visas i FIG.4.8 - 4.11. Vertikal utbredning till andra våningsplan har studerats vid excitering i våningsplan 6 - 7.

Byggnaden är konstruerad av Skånska Cementgjuteriet. Detaljritningar över stomme och inredning återfinns hos Skånska Cementgjuteriet.

TAB. 4.1 Mätpositionsbeskrivning, kv Primus

Pos 1 Beskrivning av plan

Plan	Konstruktion	Nivå
1	90 cm betongbjälklag	+ 1,5 m
2	28 cm "-"	+ 4,9 m
3	28 cm "-"	+ 8,3 m

Pos 2 - 3 Beskrivning av delytor

Delyta	Konstruktion	Kommentar
01	28 cm betongbjälklag	Golv vilande på 27 fria pelare, 55 x 55 cm ²
02	28 cm betongbjälklag, 2 över pelare 55 x 55 cm ²	Golv över pelare
03	28 cm betongbjälklag	Golv vilande på 27 fria pelare, 80 x 80 cm ²
04	90 cm fast betongbjälklag	Golv, bottenplan

Pos 4 - 5 Beskrivning av mätpunkter

Se FIG. 4.1 - 4.3

TAB. 4.2 Mätpositionsbeskrivning, kv Linjalen

Pos 1 Beskrivning av plan

Plan	Konstruktion	Nivå
0	16 cm betongbjälklag	+ 23,45 m
1	16 cm "-	+ 26,15 m
2	16 cm "-	+ 28,85 m
3	16 cm "-	+ 31,55 m
4	16 cm "-	+ 34,25 m
5	16 cm "-	+ 36,95 m
6	16 cm "-	+ 39,65 m
7	16 cm "-	+ 42,12 m
	+ ytterligare bjälklag i hiss och fläktrum	se fig 4

I färdigställt skick finnes på bjälklagen

Plan 1 - 6, sand och spånskiva

Pos 2 - 3 Beskrivning av delytor

Delyta	Konstruktion	Kommentar
01		Hissfundament vertikal yta
02		Hissfundament horisontell yta
03	15 cm slipad betongbjälklag med 7 cm träullsisoleringsring under bjälklaget	Bjälklag, hissrum
04	5 cm betongplatta på 2x7 cm mineralull. Konstruktionsbetong 16 cm	Bjälklag, fläktrum
05	16 cm betongbjälklag	Vindsbjälklag intill fläktrum
11	16 cm betongvägg	Rumsskiljande vägg, sovrum. Läg 1.
12	13 mm gips på reglar, med 12 cm mineralull, fasad-element 8 cm betong	Yttervägg sovrum. Läg 1.
13	16 cm betongvägg	Lägenhetsskiljande vägg sovrum. Läg 1.

TAB. 4.2 Mätpositionsbeskrivning, kv Linjalen (forts.)

Pos 2 - 3 forts.

Delyta	Konstruktion	Kommentar
14	13 mm gips på regler, med 3 cm mineralull, betongvägg 16 cm	Vägg mot hisschakt, sovrum. Läg 1.
15	16 cm betongvägg	Vägg mot hisschakt, sovrum. Läg 1.
16	16 cm betongvägg	Golv, sovrum. Läg 1.
21	16 cm betongbjälklag	Rumsskiljande vägg, sovrum. Läg 2.
22	13 mm gips på regler med 12 cm mineralull, fasad-element 8 cm betong	Yttervägg, sovrum. Läg 2.
24	16 cm betongvägg	Vägg mot trapphus, sovrum. Läg 2.
26	16 cm betongbjälklag	Golv, sovrum. Läg 2.
32	7 cm lättbetongvägg. 50 cm breda element. Inspända med träkilar	Rumsskiljande vägg. Badrum. Läg 2.
33	35 cm betongvägg med rördragning.	Lägenhetsskiljande vägg. Badrum. Läg 2.
36	20 cm betongbjälklag	Golv
37	16 cm betongbjälklag	Golv. Läg 2.
41	16 cm betongvägg	Rumsskiljande vägg. Vardagsrum. Läg 2.
42	13 mm gips på regler med 12 cm mineralull, fasad-element 8 cm betong	Yttervägg, vardagsrum. Läg 2.
43	16 cm betongvägg	Lägenhetsskiljande vägg, vardagsrum. Läg 2.
46	16 cm betongbjälklag	Golv, vardagsrum. Läg 2.
51	16 cm betongvägg	Rumsskiljande vägg, vardagsrum. Läg 3.
52	13 mm gips på regler med 12 cm isolering, fasadelement 8 cm betong	Yttervägg, vardagsrum. Läg 3.
54	7 cm lättbetongvägg, 50 cm breda element	Rumsskiljande vägg, vardagsrum. Läg 3.
56	16 cm betongbjälklag	Golv, vardagsrum. Läg 3.

Pos 4 - 5 Beskrivning av mätpunkter

Se FIG. 4.4 - 4.11

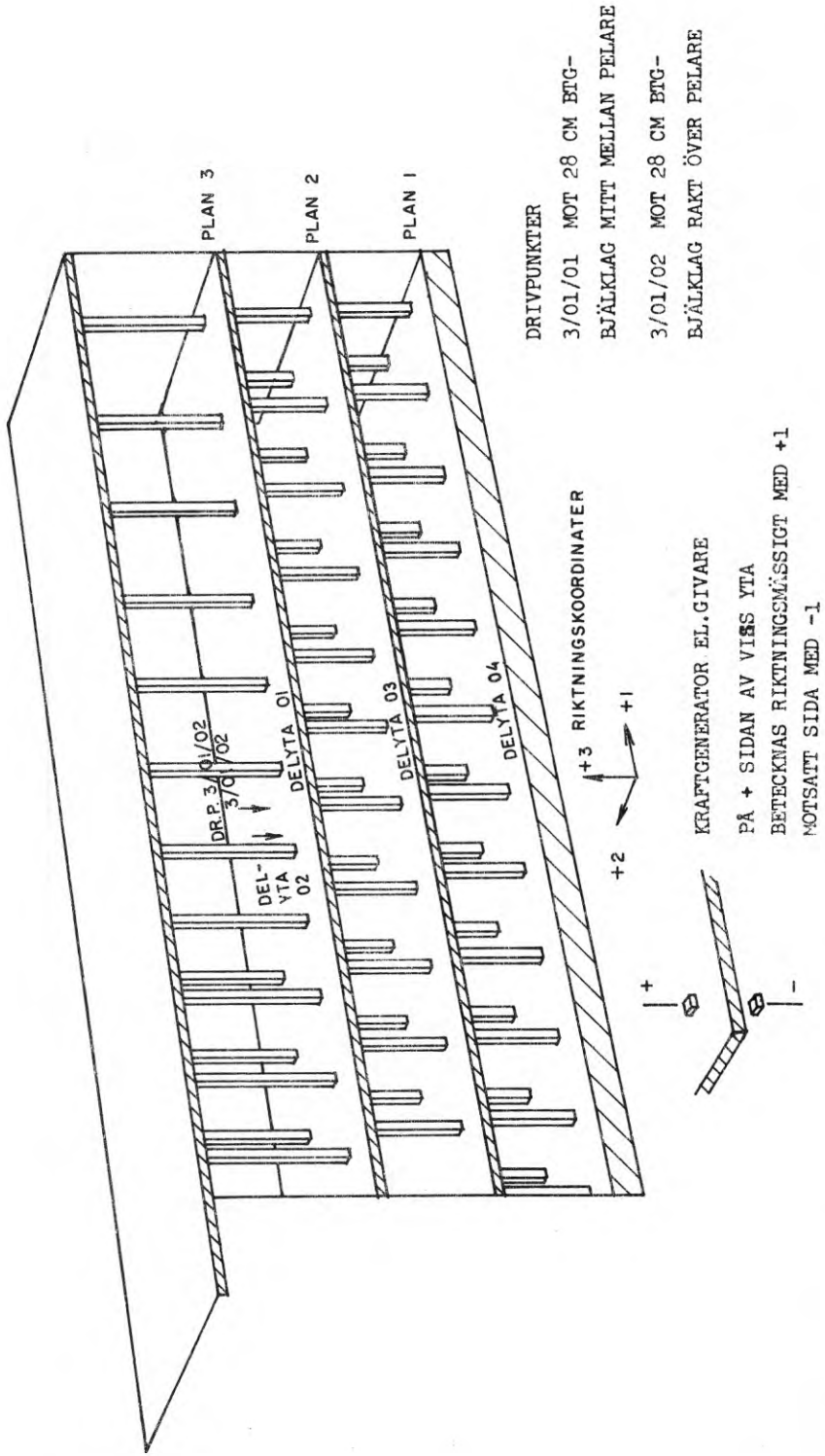
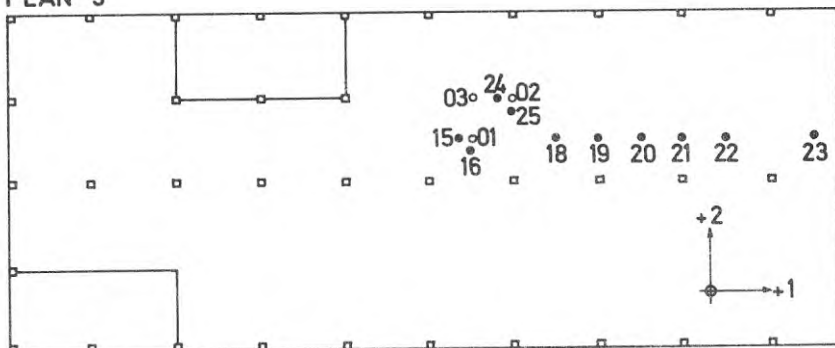
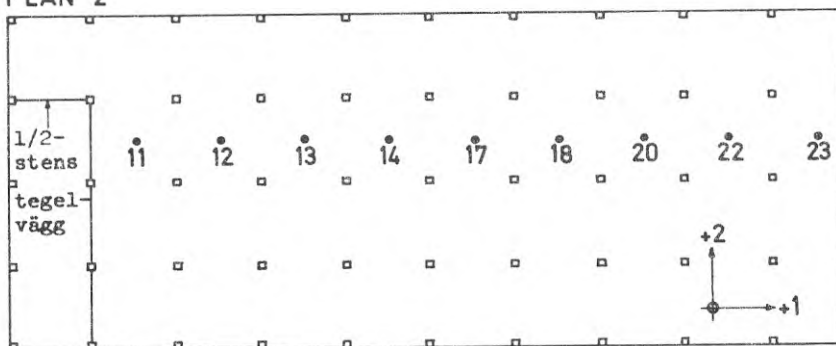


FIG 4.1 Mätobjekt 1. Lagerbyggnad kv Primus ("Bahohuset")
 Byggnadens dimensioner L 70 x B 28 x H 13 m.

PLAN 3



PLAN 2



PLAN 1

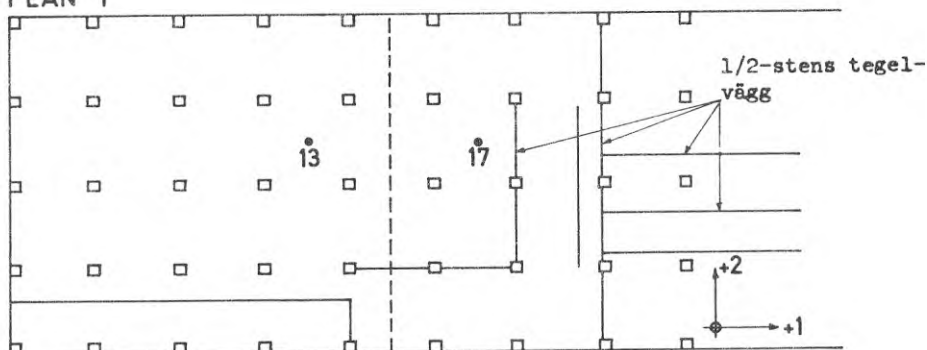


FIG. 4.2. MÄTPUNKTSPLACERING I KV. PRIMUS.
LAGERBYGGNAD, PLAN 1-3. SKALA 1:500

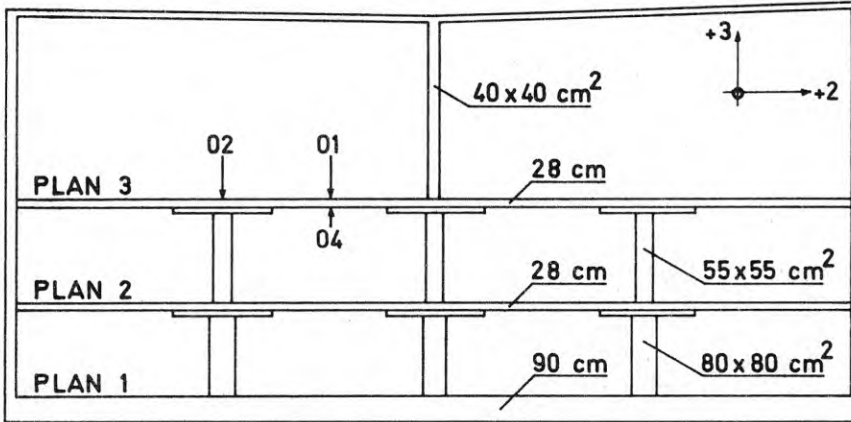
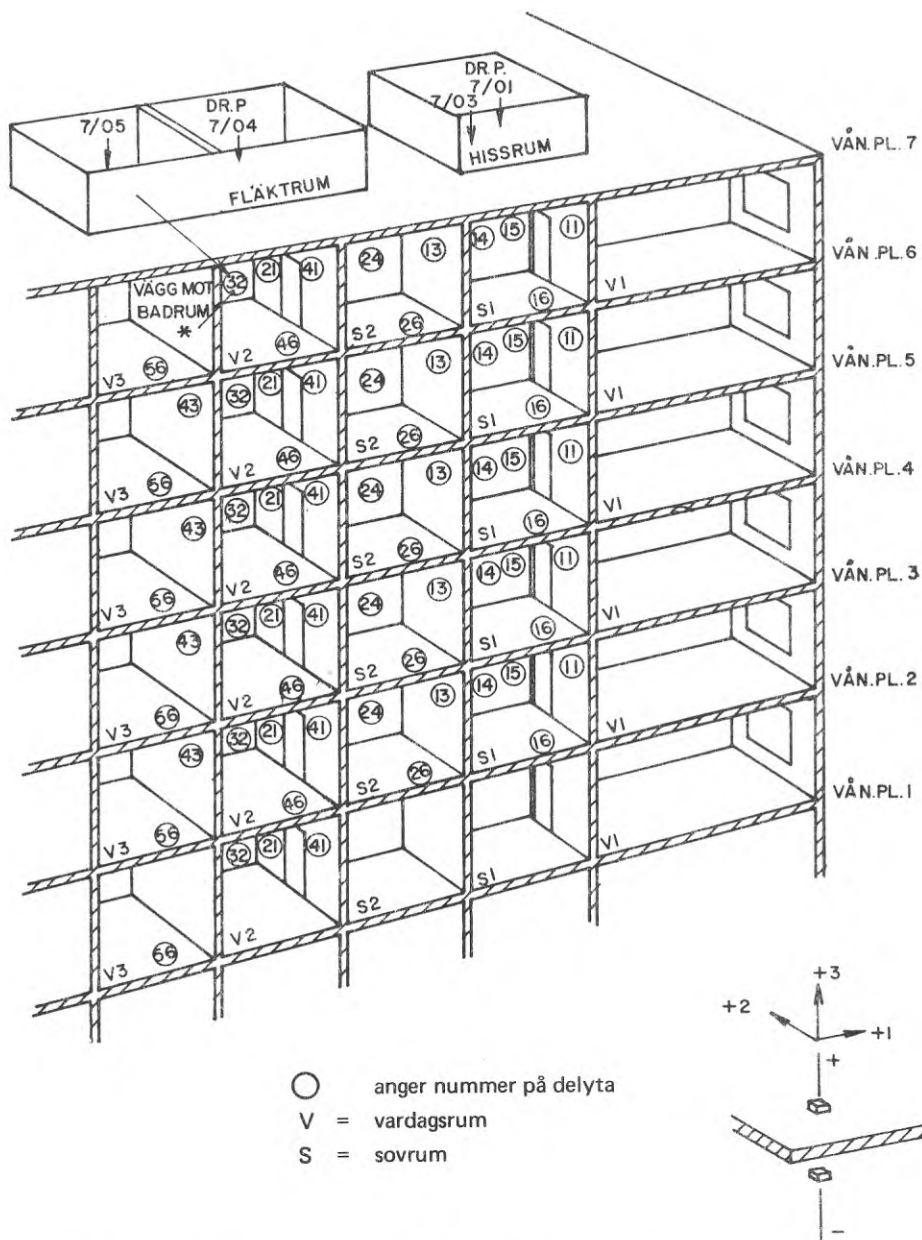


FIG. 4.3. KV. PRIMUS. LAGERBYGGNAD, SEKTION. SKALA 1:200



DRIVNING HISSRUM

"FLÄKTRUM"

BADRUM

7/01 HISSFUNDAMENT	7/04 FLÄKTRUM FLYT.G.	6/32 7 CM LÄTTBTG
7/03 15 CM BTG-GOLV	7/05 15 CM BTG-GOLV	6/33 33 CM BTG-VÄGG
		6/36 15 CM BTG-GOLV

FIG 4.4 Måttobjekt 2. Bostadsbyggnad C kv Linjalen Stockholm

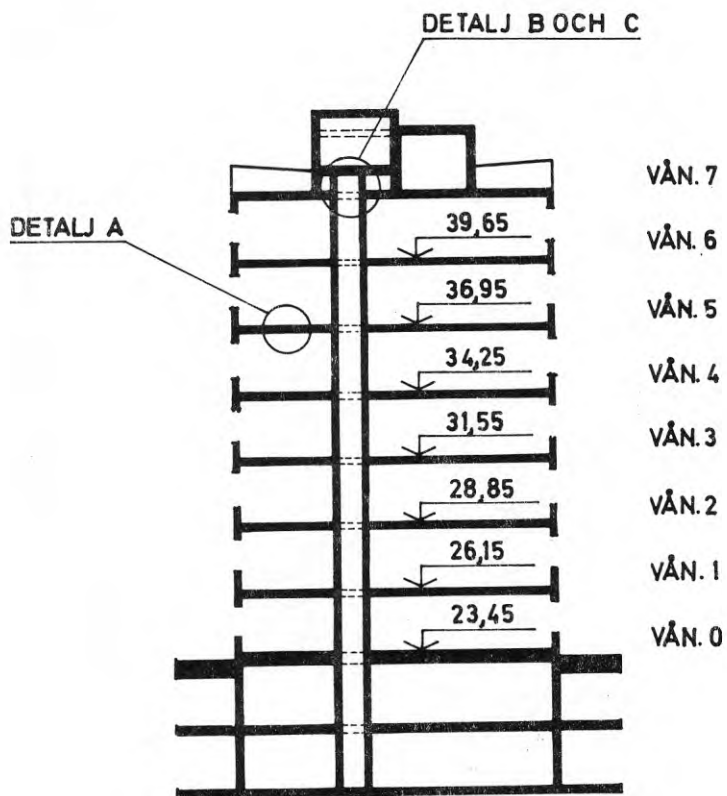


FIG.4.5. SEKTION AV HUSKROPP C. KV. LINJALEN.
SKALA 1:250

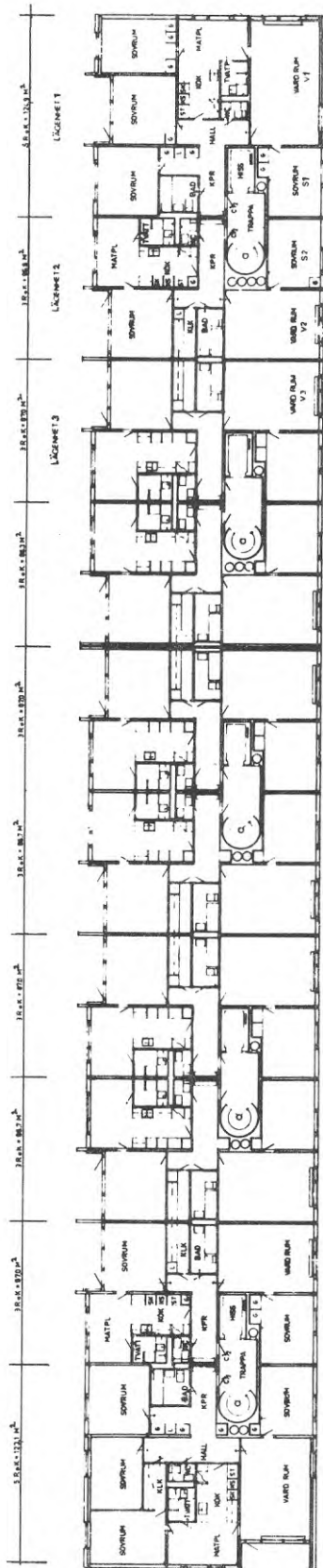


FIG 4.6 Lägenhetsplan, huskropp C, kv Linjalen.

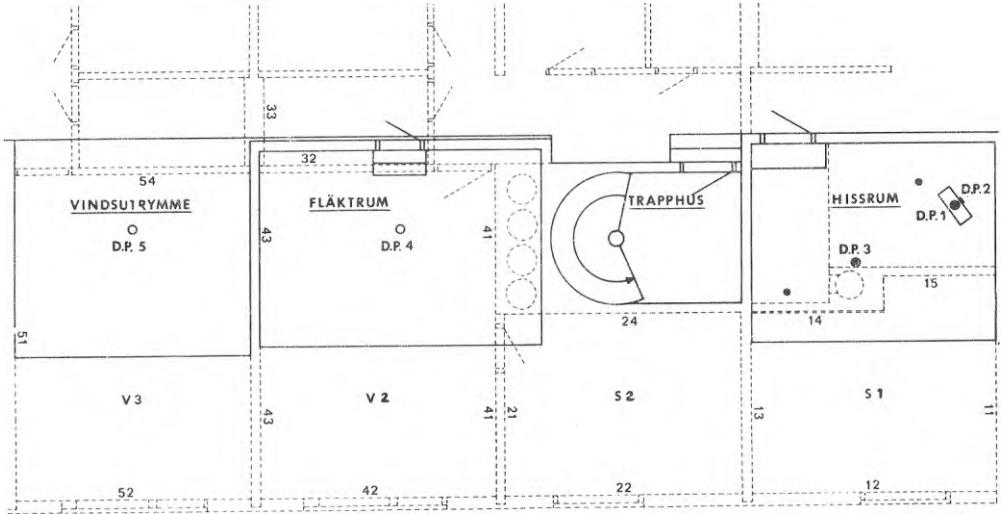


FIG. 4.8. DRIVPUNKTSPACERING PÅ VINDSBJÄLKLÄG SAMT DEL-
YTORS NUMRERING ENL. POSITIONSBESKRIVNING,
KV. LINJALEN. SKALA 1:100

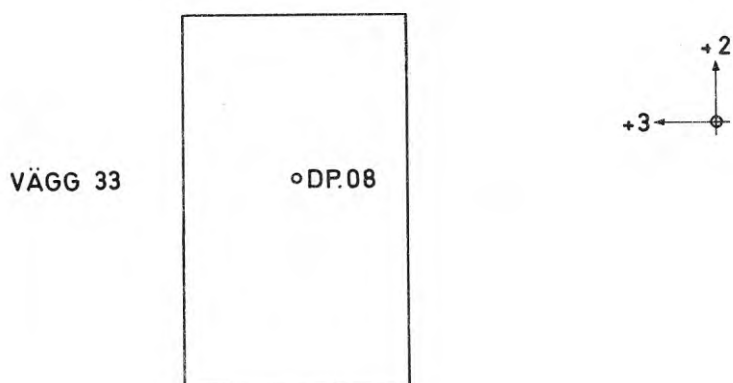
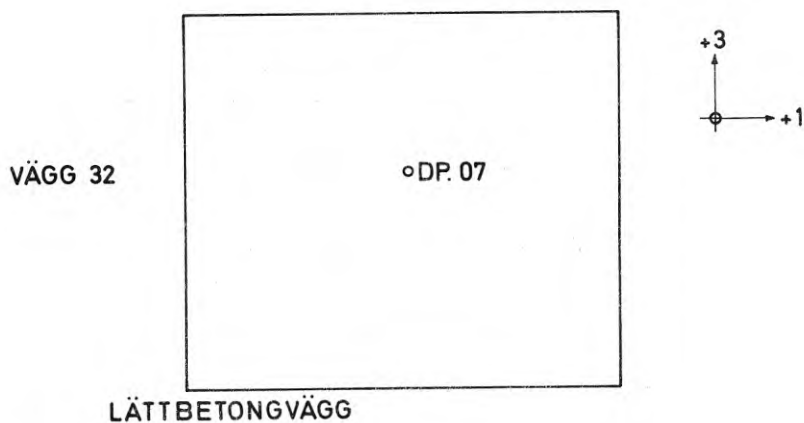
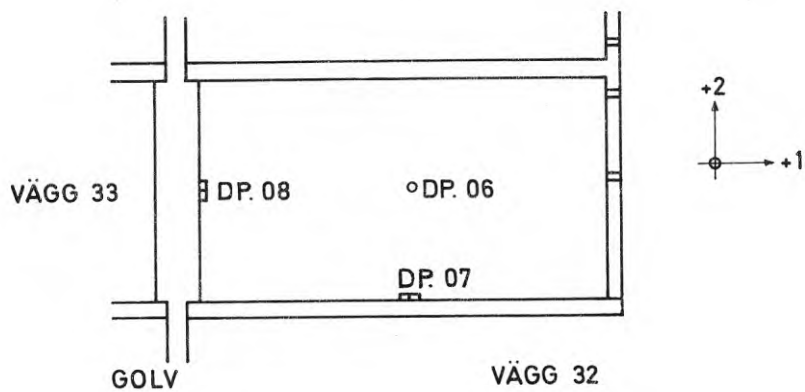


FIG.4.9. DRIVPUNKTER I BADRUM. LÄGENHET 2. VÅN.6
KV. LINJALEN. SKALA 1:40

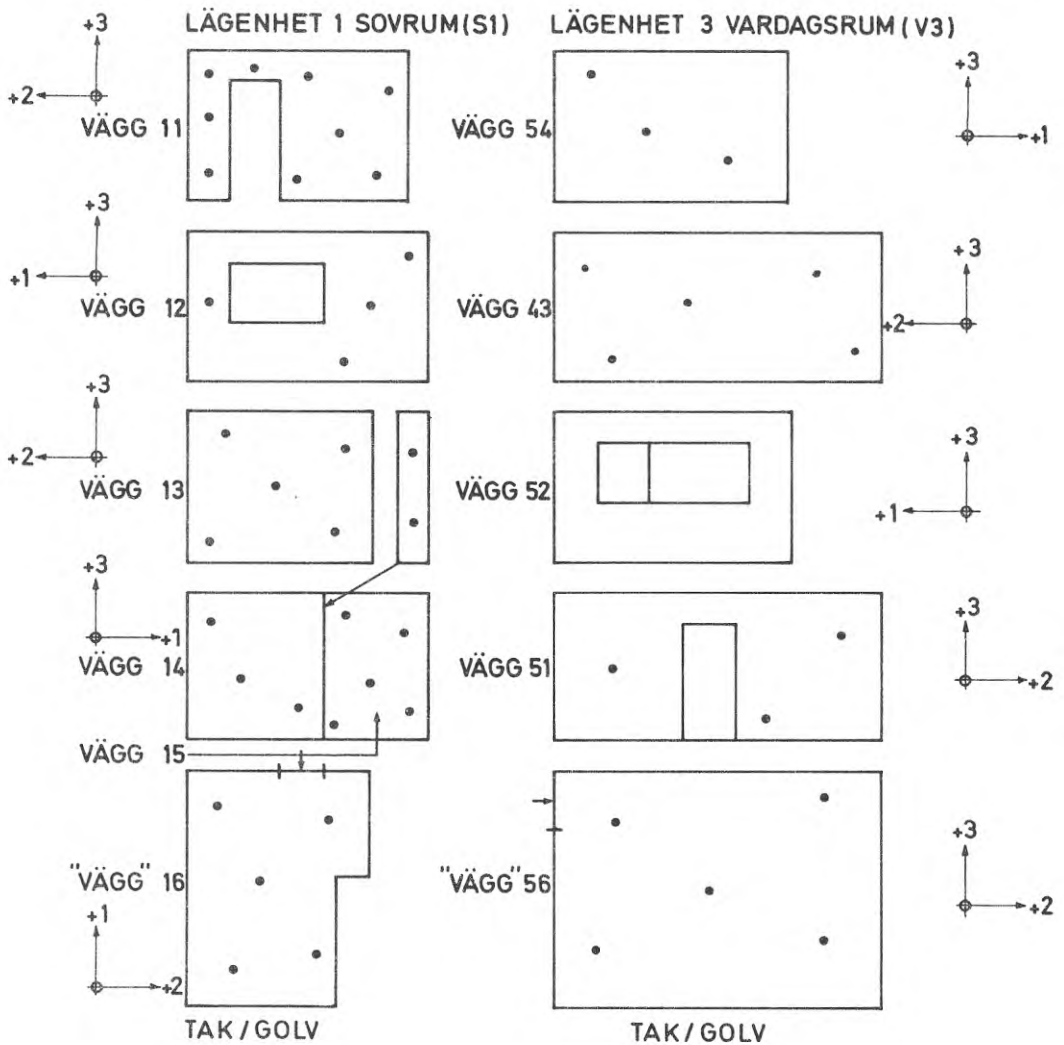


FIG. 4.10. MÄTPUNKTER PÅ INGÅENDE LÄGENHETSYTOR.
KV. LINJALEN. GÄLLER SAMTLIGA LÄGENHETS-
PLAN.

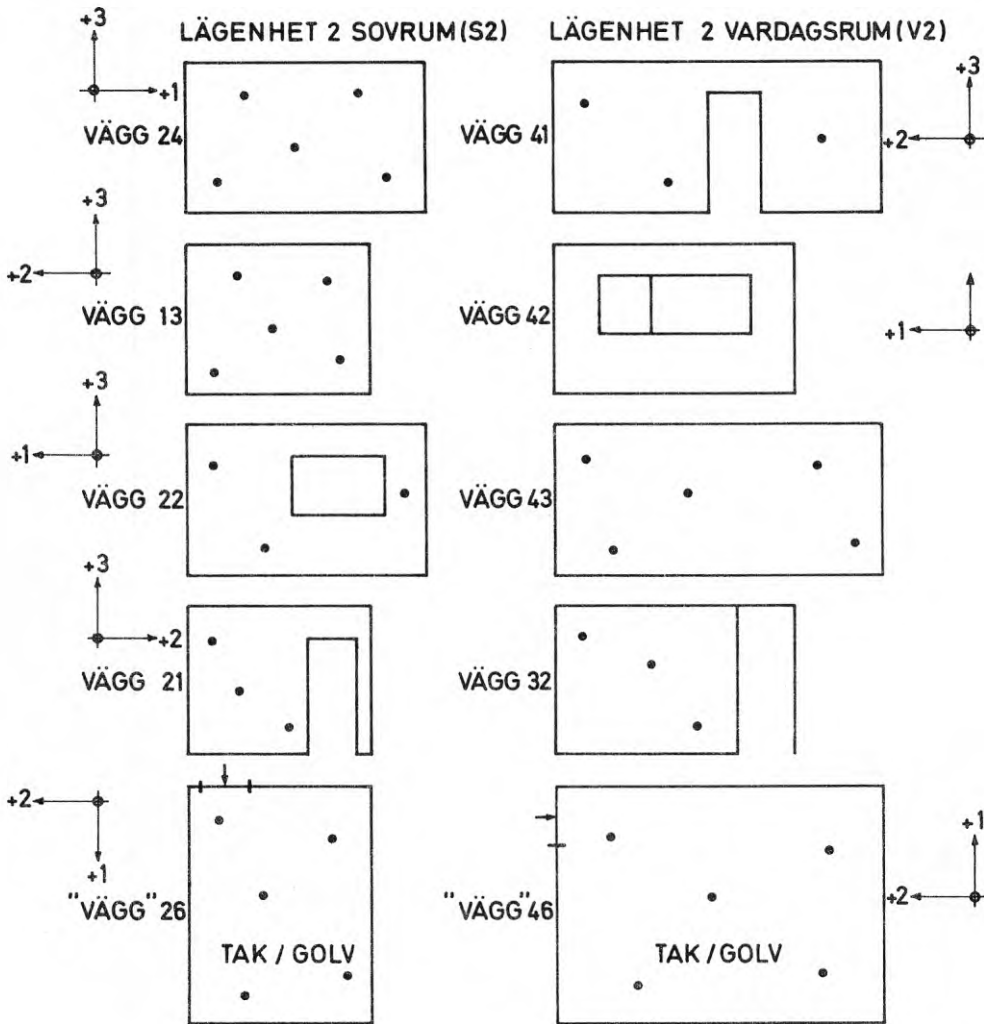


FIG. 4.11. MÄTPUNKTER PÅ INGÅENDE LÄGENHETS-
KV. LINJALEN. GÄLLER SAMTLIGA LÄGENHETS-
PLAN.

5. EXPERIMENTELLT BESTÄMDA PUNKTADMITTANSER

5.0 Allmänt betr presentationsformen

Resultat från mätningarna av punktadmittansen redovisas i form av admittansnivån L_Y definierad av

$$L(Y_{ii}) = 20 \log \frac{Y}{Y_0} \quad \text{dB} \quad (5.1)$$

där $Y_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/Nsek}$

och där det första i:et svarar mot drivpunkten, (kraft in) och det andra i:et svarar mot mätpunkten för vibrationshastighet, vilken kan ligga på samma punkt som kraftexciteringen eller vid drivning på bjälklagsplattor eller väggar på en punkt som ligger på normalen mot ytan men på "baksidan" av den drivna plattan.

Eftersom byggnader är strukturellt komplicerade och innehåller ett flertal delytor har nedan redovisade symboliska skrivning generellt utnyttjats för punkt- och överföringsadmittanserna. Rymdgeometriskt definieras läget för en punkt av parametrarna: våning, delyta, punkt. Dessutom anges riktningen med hjälp av ett rätvinkligt koordinatsystem med tre axelriktningar 1, 2, 3.

Exempel:

$L(Y_{ij})$	i	j
våning	7	6
delyta	03	05
punkt	04	MV
riktning	+3	-3

sändare \uparrow \uparrow mottagare

Metoden illustreras enklast numeriskt. $L(Y_{ij})$ ovan symboliserar den överföringsadmittans som erhålles vid

drivning i våningsplan 7 på delyta 03 (t ex visst golvparti)
i punkt 04 (angiven i detalj på särskild skiss), och
i riktning +3, d v s vertikalt på översidan av delytan
03.

hastigheten har mätts i våningsplan 6, delyta 05, vertikalt på ytans undersida (-3). MV anger att en kvadratisk medelvärdesbildning har genomförts för samtliga mätpunkter på delytan 05.

Det bör observeras att den hastighet V som uppstår i drivpunkten bestäms av

$$V = F \cdot Y_{ii} \quad (5.2)$$

där F är drivkraften och V hastigheten eller med

$$V_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s} \quad \frac{V}{V_0} = \frac{F \cdot Y_{ii}}{Y_0}$$

d v s hastighetsnivån i

$$L_V = 20 \log \frac{V}{V_0} = 20 \log \frac{Y_{ii}}{Y_0} + 20 \log F$$

$$\therefore L_V = L(Y_{ii}) + 20 \log F \quad (5.3)$$

vilket är ett uttryck som snabbt medger bestämning av vibrationsnivån då kraften F från störkällan är känd.

5.1 Genomförda mätningar

I de sammanfattande figurerna för mätobjekt 1 lagerbyggnad och 2 bostadshus avsnitt 4, har med pilar och text markerats drivpunkter som studerats.

För lagerbyggnadens del har drivning skett dels på översta bjälklaget mitt mellan pelare, dels rakt över pelare i avsikt att studera om t ex en maskinplacering rakt över pelare kommer att leda till andra överföringsfunktioner än för maskiner med maskinfötter placerade mellan pelare.

För bostadshuset har excitering företrädesvis skett i sådana punkter som kan anses vara karakteristiska för vanliga störkällors placering. FIG. 4.8-4.9. Drivning har sålunda ägt rum dels på fundament till hissmotor, dels på rent 15 cm betongbjälklag i hissrummet, vidare på 15 cm betongbjälklag i fläktrumområdet utan och med flytande golv. Den senare studien avser något närmare klarlägga den olikhet i ljudutbredning som fås vid inläggning av 5 cm flytande betongbjälklag på 2x7 cm mineralull. Vidare har störningsutbredningen från badrumsparti studerats, dels vid excitering

av en tung 35 cm betongvägg, som normalt kan tänkas inrymma bruisande rörledningar, dels en tunn 7 cm lättbetongvägg till vilken störkällor i något fall kan tänkas ansluten.

Sammanfattningsvis har drivning alltså ägt rum på

- 1) tungt 28 cm pelarbjälklag mitt mellan pelare och rakt över dem
- 2) hissmotorfundament i bostadshus
- 3) 15 cm betongbjälklag i bostadshus
- 4) 5 cm övergolv på mineralull
- 5) 35 cm betongvägg ingående i våtsektion i bostadshus
- 6) 7 cm lättbetongplank i bostadshus.

Punktadmittansen har bestämts med hjälp av hastighetsmätning såväl på samma sida om plattan som drivpunkten, som på motsatt sida.

5.2 Mätresultat

De viktigaste mätresultaten presenteras i diagrammen 5.1-5.17. Redovisade admittanskurvor är korrigerade för inverkan av störnivå. Korrektions har ej införts för resonansen mellan massa under kraftgivare och lokal elasticitet, vilken korrektions kan vara aktuell för frekvenser över 2000 Hz, vid mätning på betong.

5.21 Lagerbyggnad. 28 cm betongbjälklag

Diagram 5.1-5.5 redovisar erhållna punktadmittansnivåer. Resultat presenteras för drivbrickor av stål med diametrarna 11,5 mm, 40 mm och 60 mm. Jämförelse av admittansen för de båda drivpunkterna mellan och över pelare kan endast göras för 40 mm-brickan, vilken senare utnyttjats för de flesta drivningarna.

5.22 Bostadsbyggnad. Hissmotorfundament

I diagram 5.6 och 5.7 visas punktadmittansen vid ett hissfundament infäst till bjälklaget. Drivning har skett både vertikalt och horisontellt. Det senare av den orsaken att en preliminär granskning

av geometrin tydde på att fundamentet borde vara vekare i horisontell led än vertikalt och hissmaskineriet kan beräknas ha störfkrafter i horisontalled som är lika stora som i vertikalled.

5.23 Bostadsbyggnad. Bjälklag

Exempel på punktadmittanser på betongbjälklag framgår av

diagram	objekt	konstruktion
5.8	hissrum	15 cm btg
5.10	vind	15 cm btg
5.11	badrum	20 cm btg
5.12	"	20 cm btg
5.16	"	20 cm btg + 4 cm sandfyllning

Mätningen redovisad i diagram 5.16 ägde rum sedan samtliga vånings- och badrumsbjälklag belagts med ett lager av 4 cm sand, vilket avsåg tjäna som underlag för senare inlagd parkett.

5.24 Bostadsbyggnad. Flytande golv i fläktrum

Olika hypoteser, bl a grundade på teoretiska ansatser, har tidigare uppställts beträffande för- och nackdelar av att ställa upp störande maskiner som t ex fläktar på flytande övergolv. En studie har därför genomförts, dels av punktadmittansen på ett flytande golv, dels av utbredningen från detta, till underliggande delar av byggnaden.

I diagram 5.9 redovisas punktadmittansen för ett 5 cm betonggolv på 2 x 7 cm mineralull.

5.25 Bostadsbyggnad. Väggar

Det får anses av betydelse att grovt känna utbredning från och hastighetsnivåer på lättbetongväggar utsatta för direkt punktangrepp.

Lättbetong

I diagram 5.13, 5.14 redovisas erhållna punktadmittansen på en lättbetongvägg då en 33 mm drivbricka utnyttjats (drivbrickan av mindre betydelse i det studerade frekvensintervallet eftersom elasticitet och tröghet ej inverkar på försöksresultatet, se kommentarer nedan).

Betong 35 cm. Badrum. Lägenhetsskiljande vägg

Endast lokal punktadmittans har studerats. Diagram 5.15 och 5.17. Mätt i badrum. Mätningen redovisad i diagram 5.17 ägde rum sedan badrumsbjälklaget belagts med ett lager av 4 cm sand.

5.3 Kommentarer till mätresultaten

5.30 Allmänt

Punktadmittansmätningarna ger en uppfattning om byggnadens dynamiska svar, närvaro av egenresonanser och grad av strukturell dämpning. Den senare sammansättes i stora byggnader, dels av en andel som kan härledas till de inmatade vibrationsvågornas transport bort från drivpunkten, dels av intern förlustandel orsakad av material- och friktionsförluster.

På stora ytor eller vid ej alltför stora randreflexer svarar den bortledda böjvågsenergin för den dominerande delen av admittansen. I dessa fall utbildas ej stående vågor så enkelt (plattresonanser) varför skarpa resonanstoppas saknas.

I det extrema fallet med en oändligt stor homogen platta bortleds hela böjvågsenergin från exciteringspunkten och man får en reell punktadmittans bestämd av

$$\operatorname{Re} Y = |G| = \frac{1}{8\sqrt{B' \rho h}} \approx \frac{1}{2,3 C_L \rho h^2} \quad (5.4)$$

där B' = plattans böjmotstånd

ρ = "- densitet

h = "- tjocklek

De värden på Y som erhålles enl. (5.4) har beräknats för betong- och lättbetongplattor med varierande tjocklek och redovisas i diagram 3.1.

För en "oändligt" lång balk är admittansen ej rent resistiv utan inkluderar också en reaktiv del av samma absoluta belopp. Man har för punktadmittansen normalt mot balken:

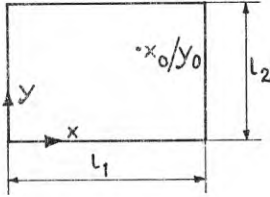
$$Y = G + jB = \frac{1}{2 m' c_B (1+j)} = \frac{1}{4 m' c_B} (1-j) \quad (5.5)$$

$$c_B = \sqrt{\frac{B'}{m'}} \cdot \sqrt{\omega} = \text{böjvågshastigheten}$$

där $m' = \text{balkens massa/l.e}$

Vid avgränsade plattor domineras admittanserna i det lägre frekvensområdet av de enskilda egensvängningsformerna och för t ex en ändlig, rektangulär platta utan förluster som är länklagrad upp-lagd gäller enl t ex /13 / att:

$$Y = \frac{4j\omega}{m \cdot l_1 \cdot l_2} \sum_{n_1=1}^{\infty} \sum_{n_2=1}^{\infty} \frac{\sin^2\left(\frac{n_1\pi}{l_1}\right) x_0 \cdot \sin^2\left(\frac{n_2\pi}{l_2}\right) y_0}{\omega_n^2 - \omega^2} \quad (5.6)$$



där $m = \text{plattmassa /y.e.}$

$l_1; l_2 = \text{kantlängder}$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{B'}{m}} \left[\left(\frac{n_1\pi}{l_1}\right)^2 + \left(\frac{n_2\pi}{l_2}\right)^2 \right] \quad (5.7)$$

$x_0/y_0 = \text{koordinaten för drivpunkten}$

d v s admittansen sammansättes som redan tidigare antytts av bidragen från de olika egensvängningsformerna med maximalt bidrag i resonanspunkterna ω_n , då teoretiskt sett Y borde bli oändligt hög.

Det kan också finnas skäl att erinra om det välkända faktum att effektiva massan för egenfunktionen i drivpunkten $x_0 y_0$ bestäms av:

$$M_{\text{eff}n} = \frac{M}{\varphi_n^2(x_0; y_0)} \quad (5.8)$$

där

$$M = m l_1 l_2$$

$$Z_n = \varphi_n(x; y) \cdot \sin \omega_n t \quad \text{anger egensvängningsformen och } \varphi_n \text{ normerats så att:}$$

$$\frac{1}{l_1 l_2} \int_0^{l_1} \int_0^{l_2} \varphi_n^2(x; y) dx dy = 1,0 \quad (5.9)$$

För t.ex en länklagrad platta där

$$\varphi_n(x, y) = 2 \sin n_1 \frac{\pi x}{l_1} \cdot \sin \frac{n_2 \pi y}{l_2}$$

blir

$$\varphi_n^2 = 4 \sin^2 \frac{n_1 \pi x_0}{l_1} \cdot \sin^2 \frac{n_2 \pi y_0}{l_2} \quad \left\{ \begin{array}{l} n_1 = 1, 2, 3, \dots \\ n_2 = 1, 2, 3, \dots \end{array} \right.$$

Spec. a) $x_0 = l_{1/2}$ $y_0 = l_{2/2}$ $n_1 = 1$ $n_2 = 1$ ger

$$p_{1,1}^2 = 4 \text{ och } M_{\text{eff},1,1} = M/4$$

b) $x_0 = l_{1/6}$ $y_0 = l_{2/6}$ $n_1 = 3$ $n_2 = 3$ ger

$$p_{3,3}^2 = 0 \text{ och } M_{\text{eff},3,3} \rightarrow \infty$$

I närheten av noderna går p_n mot noll och $M_{\text{eff}} \rightarrow \infty$

Effektivvärdet varierar alltså mellan extremvärdena $M/4$ i bukar-
na till ∞ i noderna

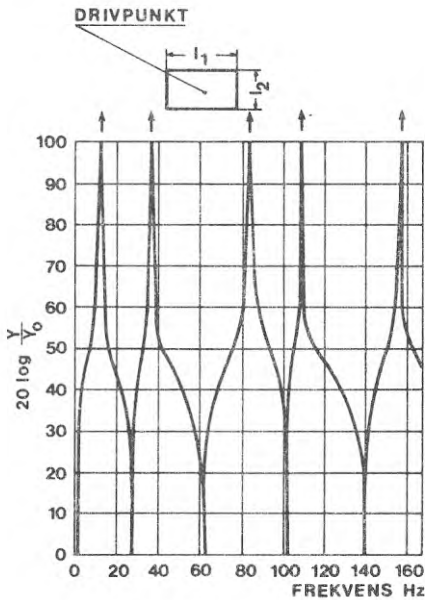


FIG. 5.1.a Punktadmittans vid central drivning av platta

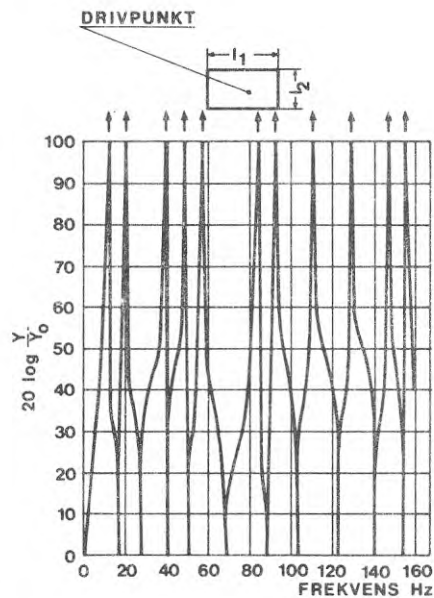


FIG. 5.1.b Motsvarande FIG. 5.2.a vid osymmetrisk drivning

FIG. 5.2 antyder hur admittansen varierar som funktion av frekvensen för en platta med $l_1:l_2 = \sqrt{3}:1$. Man lägger märke till att vid osymmetrisk drivning sätts betydligt fler egensvängningsformer i rörelse vilket antyds av den tätare resonansförekomsten.

Vid plattor med inre förluster varierar Y betydligt långsammare med frekvensen.

Vid drivning av tunga plattor måste hänsyn tas till den lokala admittansen vilket antytts i avsnitt 3.3 Enligt formel 3.2 gäller

$$Y_b = j\omega \left(\frac{1 - \nu^2}{d \cdot E} \right) \quad (5.10)$$

Jämförelse kommer nedan att göras med denna ansats.

5.31 Lagerbyggnad. Betongbjälklag

Ett studium av diagrammen 5.1-5.4 visar för frekvenser över omkring 200 Hz ett värde svarande mot en ren elasticitet.

De värden som uppmätts är approximativt:

drivbricka	fjäderkonstant
11,3 mm	$2,8 \cdot 10^8$ N/m
40 mm	$10 \cdot 10^8$ "
60 mm	$13 \cdot 10^8$ "

och ligger inom mätfelens gränser på de belopp som på teoretisk väg erhålles under antagande av $E_{dyn} = 3 \cdot 10^{10}$ N/m $\nu = 0,3$

Genom att admittansen så direkt beror av drivbrickans storlek får det alltså anses högst sannolikt att admittansen är bestämd av en lokal elasticitet över 200 Hz.

Det är ganska intressant att studera t ex diagrammen 5.2 och 5.3, som erhållits vid drivning mellan pelare. Man lägger för det första märke till att de resonanser som förekommer är starkt dämpade. Variationerna rör sig om ca ± 3 dB mellan resonanser och

antiresonanser, vilket visar att strukturen är starkt dämpad. Detta tyder på att den utgående vibrationsenergin fortplantas utefter plattan utan nämnvärda reflexer och eventuellt söker sig ner i pelarna till bjälklagen 2 och 1.

Låt oss se något på reflexerna vid övergången mellan plattan i plan 3 och de pelare som understöder detta plan. I mellan- och högfrekvensområdet där böjvåglängden är liten i förhållande till pelaravstånden kan en ren vågbetraktelse genomföras. För longitudinalvågimpedansen vertikalt in i pelarna gäller:

$$Z_{\text{pelare}} = \rho c_L \cdot A = 2400 \cdot 3500 \cdot 0,55 \cdot 0,55 \\ = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Ns/m}$$

medan plattimpedansen över 200 Hz enl försöken ligger på

$$L_Y = 26 - 28 \text{ dB} = 20 \log \cdot \frac{1}{Z \cdot Y_0}$$

$$\text{eller } Z_{\text{platta}} \approx \frac{10^8}{22 \cdot 5} = 10^6 \text{ Ns/m}$$

d v s impedanskvoten mellan böjvågor i plattan och longitudinalvågor i pelarna ligger kring 1:2,5, varför transmissionsfaktorn ner i pelarna ligger kring:

$$\tau = \frac{2,5 + 1}{4 \cdot 2,5} = 0,35$$

vilket innebär att relativt mycket energi tappas av neråt. Anpassningen till pelarna i bjälklaget under plan 2 är dock något sämre eftersom pelarna här är 80 x 80 cm och alltså

$$Z_{\text{pelare}} \approx \left(\frac{0,8}{0,55}\right)^2 \cdot 2,5 \cdot 10^6 \approx 5 \cdot 10^6$$

Energitransporten ner från platta 2 till platta 1 blir alltså något svårare.

Av diagram 5.1-5.3 framgår att punktadmittansen mätt med hjälp av hastighetsgivare på undersidan av plattan närmar sig till ett konstant värde redan över 150 Hz och till det teoretiska värdet för plattadmittanser som kan beräknas med hjälp av formel 5.4.
f < 100 Hz

För frekvenser under 100 Hz närmar sig överytans admittans $L(Y_{+3})$ till underytans $L(Y_{-3})$ även om ingen exakt överensstämmelse noterats vilket man av teoretiska skäl skulle väntat sig. Det finns ju inget skäl att över- och underyta på samma platta under första longitudinalresonansen som ligger vid ca 6000 Hz inte skulle röra

sig i fas och med samma amplitud vid dessa frekvenser. Antydningar till resonanser återfinns över 25 Hz men resonanserna är här liksom i hela frekvensområdet ej särskilt utpräglade.

30 < f < 100 Hz

En grov approximation för bjälklagets admittans i frekvensområdet 30 - 100 Hz är att dynamiskt uppfatta bjälklaget som en punktmassa med ett värde kring 2000 - 2500 kg. Detta skulle motsvara massan i en cirkulär "betongkolv" med tjockleken 28 cm och diametern 2,2 m eller som effektivmassan i mitten av en kvadratisk platta på ca 4 x 4 m upplagd på randen och utförande böjsvängningar. Enklarest förefaller vid en grov approximation att för homogena plattor av denna typ med mycket stor utsträckning dynamiskt ersätta plattan med en kolv massa motsvarande en diameter på 8-12 bjälklagstjocklekar. Denna ansats bör dock underbyggas med betydligt större experimentellt material för att kunna säkert godtas. (Jämförelse kan göras med 15 cm btg, $M_{eff} \approx 1000$ kg, diagram 5.10; 20 cm btg diagram 5.11 $M_{eff} \approx 1000$ kg, vilket kan antyda att effektivmassan borde vara proportionell mot h^2 d v s mot bjälklagstjocklek och en kolvyta $\sim \lambda_B^2 \sim h/f$ där $\lambda_B =$ böjvåglängden, $f =$ frekvensen. Den borde dock i så fall ha ett frekvensberoende som är större än det som konstaterats). Admittansen rakt över pelare, diagram 5.4, är som väntat något lägre i frekvensområdet upp till 70 Hz, över vilken frekvens den lokala elasticiteten under drivbrickan dominerar. Även här förefaller det som om en grov ansats för bjälklaget i intervallet 25 - 70 Hz skulle kunna vara en ideal massa men med beloppet ca 3000 kg. Betongpelaren mellan plan 2 och 3 är ca 3 m hög och väger $2400 \cdot 0,55 \cdot 0,55 \cdot 3 = 2100$ kg, vartill kommer en "avlastningsbricka" under bjälklaget plan 3 vars vikt ej är närmare känd men kan skattas till $0,14 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 2400 \approx 3000$ kg.

Longitudinalvågsresonans i pelaren mellan plan 2 och 3 ger approximativt, om plan 2 också antas representerad av en effektiv massa på 3000 kg, en egenresonans på:

$$\omega_0 \approx \sqrt{\frac{2 \cdot A E}{l \cdot M_{eff}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,55^2 \cdot 3 \cdot 10^{10}}{3 \cdot 3000}} = 140$$

$$f_0 = 22 \text{ Hz}$$

Denna teoretiskt beräknade resonans ligger relativt nära den uppmätta och medför att pelaren över denna frekvens dynamiskt sett approximativt kan ersättas med $M_{pelare} / 6$ upp till några multi-

plar av denna frekvens d v s med ca 350 kg innan övriga inre resonanser kommer in. För avlastningsbrickan rakt över pelaren kan man approximativt räkna med $\frac{1}{4} \cdot 3000 = 750$ kg. Den effektiva massan rakt över pelaren borde alltså i frekvensområdet 20 - 100 Hz ej ligga alltför långt från värdet:

$$2000 \text{ à } 2500 + 350 + 750 = 3100 - 3600 \text{ kg.}$$

Önskar man utsträcka den dynamiska modellen även till de övriga planen bör man i lågfrekvensområdet för vertikala vibrationer kunna göra en ansats av den typ som antytts i FIG. 5.2

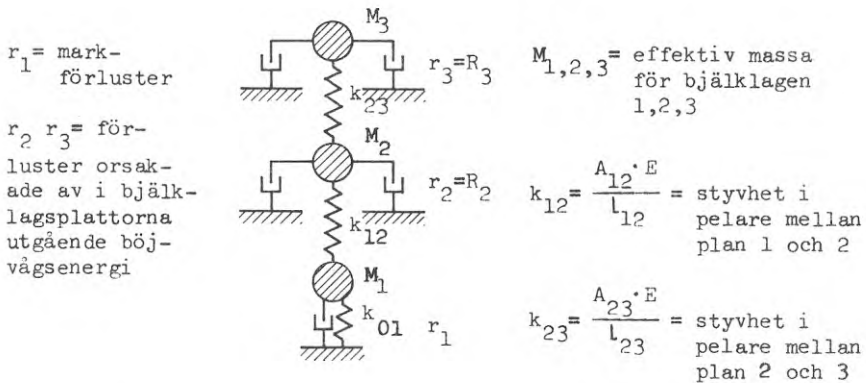


FIG 5.2 Dynamisk modell för lågfrekvensområdet vid central vertikal excitering över pelaren

Detta är möjligt genom att pelaren av aktuell längd 3 m kan betraktas som rena elasticiteter, ty första interna longitudinalvågsresonansen återfinns först vid:

$$f_{1 \text{ long. pel.}} = \frac{c_L}{2l} \approx \frac{3500}{2 \cdot 3} = 580 \text{ Hz} \quad (5.11)$$

Under 100 - 150 Hz dominerar longitudinalelasticiteten. Förutsättningen för att de bortgående böjvågorna skall kunna simuleras med en resistiv term, $R' = 8 \sqrt{B' \cdot m}$ är att plattan minst har en utsträckning av säg 10 - 20 böjvåglängder i två riktningar. Detta villkor är långtifrån uppfyllt vid alla byggnader. En blick på tabellen nedan antyder detta:

TAB. 5.1 Böjvågslängder för några vanliga bjälklagstjocklekar

	frekvens	25	31,5	63	125	250	Hz
Betong 15 cm		6,4	5,7	4,0	2,85	2,0	m
20 cm		7,4	6,6	4,7	3,3	2,35	m
25 cm		8,3	7,4	5,2	3,7	2,6	m

För det aktuella fallet är M_1 betydligt större än M_2 , M_3 och $M_1/k_{01} \ll M_2/k_{12}$ varför de båda första egenresonanserna grovt erhålles genom att betrakta k_{12} :s undersida fixerad.

Detaljerna i punktadmittansens beroende av frekvensen kan ej enkelt följas upp. Man kan dock konstatera att admittansen för bjälklagen både mellan och över pelare under 100 Hz är betydligt större än de rena plattresistanserna beräknat enligt t ex formel (5.4) och att de enklast simuleras med hjälp av en punktmasa. Detta är gynnsamt ur maskinisoleringsynpunkt.

Sammanfattning av bjälklagsadmittanser och modeller för 28 cm pelarbjälklag (drivyta ϕ 40 mm) med stor utsträckning. Vertikal drivning.

	$f = 30 - 100$ Hz	$>100 - 150$ Hz
mätt mellan pelare	bjälklaget approximeras till punktmassan $M_{eff} = 2000 - 2500$ kg; resonansupbyggnad starkt försvårad	lokala elasticiteten dominerar på bjälklagets översida; på bjälklagets undersida överensstämmer admittansen väl med den teoretiskt beräknade för oändligt stora plattor, d v s är frekvensoberoende och resistiv; resonanserna kraftigt utdämpade sannolikt beroende på utgående böjvågseffekt; resonansförstärkningarna ligger kring en 2-faktor (3dB).

f = 25 - 70 Hz

150 Hz - 300 Hz

drivning rakt över pelare	bjälklaget approximeras till punktmassa $M_{eff} = 3000$ kg; resonanseffekter med underliggande bjälklag kan misstänkas ge amplitudförstärkningar av högst storleksordningen 2 - 3 ggr (6 - 10 dB)	lokala elasticiteten dominerar på bjälklagets översida som är den enda yta som är direkt åtkomlig för rörelsemätning rakt under exciteringspunkten; dynamisk modell upp till säg 300 Hz bör kunna skapas med punktmassor koncentrerade till bjälklagsplanen och däremellan pelarelasticiteter motsvarande longitudinell hoptryckning.
---------------------------	--	---

5.32 Hissmotorfundament. Bostadsbyggnad

Karakteristiskt för studerat hissfundament både vid vertikal och horisontell excitering är en starkt oregelbunden frekvensgång. Lokal elasticitet under drivpunkten är låg i förhållande till strukturens eftergivlighet, i varje fall under 400 Hz.

Det är betydligt lättare att i området under 400 Hz sätta fundamentet i rörelse i horisontell riktning än i vertikal.

Differensen rör sig om 20 - 25 dB, varför t ex hissmotorernas horisontala rörelsekomponenter bör vara av särskild vikt att undertrycka.

Admittansen i det studerade hissmotorfundamentet ligger i frekvensområdet under 200 Hz för horisontell störning 15 - 20 dB över admittansen för ett enkelt 15 cm betongbjälklag vilket kanske bör vara en tankeställare vid konstruktion av maskinfundament i byggnader.

Man lägger märke till en antiresonans vid 30 - 40 Hz med starkt inflytande på rörelsebilden. Sannolikt orsakas denna av en fjädring i fundamentets överdel som arbetar mot en längre ner i strukturen lokaliserad effektivmassa. Det är möjligt att en sådan antiresonans-effekt skulle kunna utnyttjas för att minska vibrationsöverföringen till byggnadsstommen för motorer med dominerande störningar kring 30 - 40 Hz d v s vid 1800 - 2400 rpm. Här fordras dock ganska omfattande studier med varierade exciteringspunkter, exciteringsriktningar och fundamenttyper för att slutsatser skall kunna dras för ett allmänt fall.

5.33 Bostadsbyggnad. Bjälklag

15 cm bjälklag. Hissrum. Plan 7.

Mätning på 15 cm bjälklag i hissrum ca 1 meter vid sidan av hissfundament (diagram 5.8) visar i frekvensområdet 10 - 60 Hz en admittans svarande mot en effektivmassa på 1000 kg. För området över 400 Hz närmar sig admittansen till den lokala elasticiteten under drivbrickan men man observerar en kraftig överlagring av resonanser som eventuellt kan ha orsakats av närvaron av hissfundamentet.

Vid mätning på ett vindsbjälklag 15 cm (diagram 5.10) nära centrum på ett rum om ca 3,5 x 4 m återfinns samma principiella fenomen:

vid låga frekvenser (< 130 Hz) en effektiv punktmassa om ca 1000 kg, över 200 Hz lokal elasticitet under drivbrickan.

Resonanseffekterna är något mer accentuerade på detta bjälklag än på pelarbjälklaget sannolikt beroende på närvaron av kraftiga bärande vertikala väggar som delar in bjälklagen i smärre delytor på vilka resonanta vågfält lättare byggs upp. Frånvaron av starkare resonansgenombrott under 40 - 50 Hz är dock anmärkningsvärd liksom i de mätningar som utförts på 20 cm bjälklag i badrum, våning 6, (diagram 5.11). Vid 180 och 220 Hz finner man dock relativt starka antiresonanser som visar att dämpningen i strukturen är begränsad. Resonansen vid 400 Hz kan ej enkelt förklaras men kan eventuellt bero på någon lokal "bom" under drivpunkten. Motsvarande admittans med rörelsen bestämd på undersidan av bjälklaget, visar att ett ganska effektivt vågfält med stort antal frihetsgrader utbildats över 200 Hz och att admittansen väl sammanfaller med värdet för oändligt stor platta. Undantaget antiresonanser vid 200, 260 och 390 Hz.

Mätningen upprepad i badrummet med 4 cm sandfyllning reducerar som väntat resonanseffekterna. Övriga påverkningar i lågfrekvensområdet under 200 Hz kan ej förklaras.

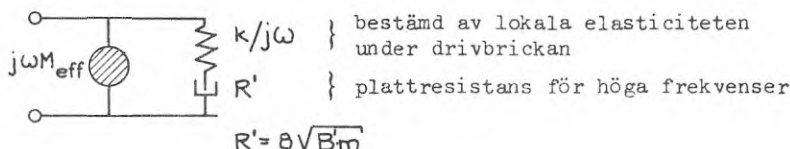
Sammanfattning:

Platsgjutna homogena betongbjälklag med tjocklekar i intervallet 15 - 20 cm förefaller, om man bortser från vissa genombrott, som kan orsakas av samverkan med i området för exciteringen lokaliserade massor, grovt kunna beskrivas av följande modell för punktadmittansen:

frekvens 10 - 100 Hz	>200 Hz
koncentrerad effektiv massa på ca 1000 kg	lokala elasticiteten från drivbrickan dominerar på bjälklagets översida
resonanseffekter på utbredda bjälklag är begränsade men kan ge avvikelser på såg 2 ggr (6 dB)	Vid mätning av rörelsen på bjälklagets undersida är admittansen konstant och resistiv och sammanfaller med platteorin för stora plattor; enskilda resonanser kan framträda relativt accentuerade (upp till 8 dB) men är sparsamma.

Anm 1 De mätningar som genomförts är begränsade; och resultaten i vissa avseenden oförklarliga. För säkrare karakterisering inte minst avseende bjälklag längre ner i bostadsbyggnader bör fortsatta mätningar genomföras.

Anm 2 Det bör kanske påpekas att admittansen på översidan enligt ovan gjord redovisning grovt kan simuleras med modellen enligt nedan:



$$Y \approx \frac{1}{8\sqrt{B \cdot m}} + j\omega \left(\frac{1 - \nu^2}{d \cdot E} \right) + \frac{1}{j\omega M_{eff}} \quad (5.12)$$

där B' = plattans böjmotstånd, M_{eff} = effektivt trög massa i lf-området, m = plattvikt/y.e och d = drivplattans diameter eller för homogena platta (enl 5.4):

$$Y \approx \frac{1}{2,3C_L \rho h^2} + j\omega \left(\frac{1-\nu^2}{d \cdot E} \right) + \frac{1}{j\omega M_{\text{eff}}} \quad (5.13)$$

Det föreliggande bristfälliga experimentella underlaget tyder på att $M_{\text{eff}} \sim h^2/\sqrt{\omega}$ eller $\sim h^2/\sqrt[3]{\omega}$. Vid låga frekvenser dominerar tröghetstermen. Vid höga frekvenser dominerar den lokala elasticiteten helt. Man bör emellertid göra klart för sig att bjälklagets admittans i realiteten är betydligt mer invecklad än vad (5.12) antyder och ansatsen skall därför endast utnyttjas för mycket grova överslag. Framförallt bör försiktighet iakttagas på lågdämpade, väl begränsade bjälklagsplattor där plattadmittansen i hög grad bestäms av närheten till närmaste resonansfrekvens.

Den skenbara antiresonans (lågt Y) man får då de reaktiva termerna i (5.13) tar ut varandra återfinns vid aktuella bjälklagsdimensioner och drivbrickor i intervallet 100-200 Hz.

5.34 Bostadsbyggnad. Flytande golv i fläktrum

Den punktadmittans som visas i diagram 5.9 för ett 5 cm tjockt övergolv av betong visar att plattresonanserna dominerar över den lokala elasticiteten åtminstone upp till 700 Hz.

Ett grovt överslag av resonansfrekvenserna för en överplatta utan hänsyn till bäddelasticiteten från mineralull ger värdena:

		m				
f_{mn}	0	1	2	3	4	
0			<u>3,8</u>	10	<u>20</u>	
1		3,8	<u>8,4</u>	15	25	
2	8,4	12	18	<u>26</u>	37	
3	25	26	<u>32</u>	42	<u>54</u>	
4	46	48	55	60	77	

Av dessa är de värden understrukna som nämnvärt exciteras vid en central drivpunkt. Bäddelasticiteten inverkar dock mycket kraftigt på de lägsta egenfrekvenserna. Den inverkar t o m på sådant sätt att egenfrekvenserna för plattan aldrig understiger den vertikala uppläggningsfrekvensen för plattan.

För mineralull gäller att $K_{\text{stat}} = 3 \cdot 10^5 \text{ N/m}^3$ för 14 cm höjd. Detta skulle vid plan excitering av RW-skivan ge, om man räknar med $K_{\text{dyn}}/K_{\text{stat}} = 6$ en vertikal uppläggningsfrekvens av:

$$f_{0,0} \approx 20 \text{ Hz}$$

d v s den återfinns i det studerade frekvensintervallet.

En grov modell för överbetongen kan fås ur diagram 5.9 genom antagandet att plattan ersätts av en effektiv koncentrerad massa under drivpunkten. Man får följande approx. värden:

f	10-63 Hz	63-125 Hz	125-250 Hz
M_{eff}	600 kg	550 kg	300 kg

Hela plattan väger $2400 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot 3,2 \cdot 4,5 = 1700 \text{ kg}$

$$d v s \quad M_{\text{eff}} \approx \frac{M}{4} = 425 \text{ kg}$$

om man går ändå längre i approximation.

Anmärkningsvärt är emellertid att admittansen ej närmar sig till plattadmittansen för en stor 5 cm betongplatta som teoretiskt, enligt diagram 5.18 borde svara mot $L_V = 50 \text{ dB}$. Om man ur diagram 5.9 skulle våga sig på att approximera admittansen till en resistans skulle man nämligen få $L_V \approx 30 \text{ dB}$ i frekvensintervallet 300-600 Hz. Det större motståndet i plattan skulle kunna förklaras av:

- styvheten i understödjande mineralull (med vissa mindre luftstyvhetsbidrag)
- antalet egenfrekvenser i frekvensområdet är fortfarande så lågt att approximationen för en mycket stor platta ej gäller.

Låt oss först se på argument b). Plattans modtätet d v s antalet eigensvängningar per "bandbredd" är teoretiskt enligt /13/.

$$\frac{\Delta N}{\Delta \omega} = \left(\frac{2\pi}{\lambda_B} \right)^2 \cdot \frac{A}{4\pi\omega} = \frac{A}{3,6 \cdot c_L h} \quad (5.14)$$

där $A = \text{plattans yta} = 3,2 \times 4,5 = 14,4 \text{ m}^2$ $c_L = 3500 \text{ m/s}$

$$d \text{ v s} \quad \Delta N / \Delta \omega = \frac{14,4}{3,6 \cdot 3500 \cdot 5 \cdot 10^{-2}} = 0,023$$

eller $0,023 \cdot 100 \cdot 2\pi = 14$ stycken/100 Hz bandbredd

Eftersom drivningen sker centralt i plattan kommer dock alla jämna ordningsnummer att bortfalla varför antalet moder högst är halva detta tal. Härtill kommer att styvheten i underlaget ökar böjvåglängden λ_B och ytterligare reducerar antalet moder. Experimentellt har uppmätts 2 - 4 resonanser per 100 Hz band, och endast omkring 1,5 i frekvensområdet 200 - 500 Hz. Av resonanskurvorna att döma ligger förlustfaktorerna η vid resonanser i frekvensområdet 35-250 Hz i intervallet $0,12 < \eta < 0,20$, d v s resonansförstärkningarna uppgår till 5-8,4 eller mellan 14 och 18 dB jämfört med motsvarande statiska excitering.

Villkoret för att en asymptotisk lösning skall erhållas svarande mot täta resonanser är att avståndet mellan enskilda egenfrekvenser uppfyller kravet:

$$\Delta f < \eta_n f_n \tag{5.15}$$

eller $\Delta f < 0,12 \text{ à } 0,20 \cdot f_n$

Speciellt $f = 300 \text{ Hz}$ ger som krav

$$\Delta f < 36 - 60 \text{ Hz}$$

vilket villkor knappast är uppfyllt, vid central excitering men möjligen kan vara det vid en osymmetrisk excitering av plattan närmare ena kanten. Man kan alltså konstatera att möjligheten att betrakta plattan som en ren resistans ej är uppfyllt p g a alltför låg mottäthet och trots närvaron av mineralull i systemet alltför låg förlustfaktor. Å andra sidan kan man alltid söka dra en medelkurva som approximation för admittansen. Det värde på punktimpedansen som fås vid ett avstånd mellan två egenfrekvenser på be- loppet Δf är enl. t ex Skudrzyk för ett tvådimensionellt konti- num

$$Z \approx \frac{2}{\pi} \Delta f \cdot M_n \tag{5.16}$$

där M_n är effektiva massan för n:te moden. Antas enligt försöksvärdena $\Delta f \approx 100$ Hz $M_n \approx 300$ kg i frekvensområdet kring 300 Hz fås:

$$Z = \frac{2}{\pi} \cdot 100 \cdot 300 \approx 2 \cdot 10^4 \text{ Nsek/m}$$

eller $Y = 5 \cdot 10^{-5}$ $L_Y = 20 \text{ Log } \frac{5 \cdot 10^{-5}}{5 \cdot 10^{-8}} = 60 \text{ dB}$

Värdet kan förefalla rimligt jämfört med $L_y = 50$ dB enl diagram 5.1 för 5 cm betongplatta vid excitering i godtycklig punkt. Excitering i symmetripunkt ger med nödvändighet högre L_y -värde. Det experimentellt bestämda medelvärde $L_y \approx 30$ dB synes ligga alltför långt från det på teoretisk väg erhållna. Kan förutsättningen om otillräcklig mottäthet inverka så kraftigt på resultatet är en fråga man tvingas ställa sig.

Sammanfattning: Punktadmittansen på 5 cm-betongplatta på 14 cm mineralull är i frekvensintervallet 10 - 1000 Hz starkt beroende av de enskilda plattresonanserna. Förlustfaktorerna på dessa resonanser kan beräknas ligga i intervallet 0,10 - 0,20 varför förstärkningarna av singeltoner vid resonans kan uppgå till 14 - 20 dB och alltså kraftigt påverkar ljudutbredningen från t ex fläktar till byggnad.

För snabba överslag av vibrationsöverföringen från maskiner på övergolvet kan för punktadmittansen av plattan i frekvensområdet 10 - 700 Hz ansättas:

$$Y \approx \frac{4}{j\omega M_{\text{över golv}}} \quad (5.17)$$

d v s admittansen svarar mot svaret hos en punktmassa med övergolvet's effektivmassa, i aktuellt fall ca 400 kg. För att ta hänsyn till resonanseffekterna bör på de på så sätt erhållna värdena läggas ett påslag av 10 - 15 dB i vibrationsnivå. Vid drivning i sådana punkter som kan antas ligga i eller nära vibrationsbukar. Den egensvängningsform som representeras av en idealt styv 5 cm betongplatta vibrerande på 14 cm elastiskt mineralullsskikt dominerar vid punktformig central excitering ej admittansbilderna och denna flitigt utnyttjade modell för överslagsberäkningar av isolering bör därför sannolikt utgå.

5.35 Bostadsbyggnad. Väggar

Lättbetongvägg. 7,5 cm

Den admittans som redovisas i diagrammen 5.13,5.14 har uppmätts dels på drivsidan dels på motsatt sida om väggen som drivpunkten.

Man kan konstatera:

a punktadmittansen mätt på de båda väggsidorna överensstämmer praktiskt taget helt i frekvensintervallet 10 - 1000 Hz. Över 400 - 500 Hz kan man skönja närvaron av en mycket svag lokal elasticitet genom att admittanskurvan ligger ett par dB högre på drivsidan.

b de lokala plattresonanserna är kraftigt accentuerade. Man kan avläsa egenresonanser vid 25, 35 och 50 Hz; spännvidden mellan max- och minimivärden i admittanskurvan (resonans- resp anti-resonanslägen) antydes i tabellen nedan:

f	10-50	100-400	400-4000	Hz
ΔL_y	25	20	10-15	dB

c plattvibrationerna är i lågfrekvensområdet 10 - 50 Hz starkt odämpade; de förlustfaktorer som kan beräknas ur resonansbilderna rör sig kring $\eta = 0,05$. Att resonanserna är så utpräglade torde direkt sammanhånga med de stora randreflexerna vid övergången från lättbetong till omgivande struktur av betong.

d plattadmittansen överensstämmer för frekvenser över 200 Hz medelvärdesmässigt väl med den som kan beräknas för en utsträckt lättbetongplatta på 7,5 cm, nämligen $L_y = 65$ dB.

Anm 1

De högsta resonansstopparna kring 90 dB i lågfrekvensområdet medför att maskiner och armaturer med vikter över säg 5 kg med svårighet låter sig isoleras vid placering på lättbetongväggar om normala montagefrekvenser kring 15 Hz och däröver skall kunna utnyttjas. Se också bilaga 3.

Sammanfattning: För admittansen gäller i det studerade frekvensområdet vid 7,5 cm lättbetongplank:

frekvens	10 - 200 Hz	200 - 1000 Hz
	<p>admittansen i hög grad bestämd av lokala resonanser; förutberäkning av nivåer kan ej ske med större noggrannhet än $\pm 10-15$ dB; dämpningen i konstruktionen är starkt begränsad; resonansförstärkningar om 20-25 dB kan riskeras $\eta \approx 0,05$</p>	<p>admittansen överensstämmer medelvärdesmässigt med den som kan beräknas för stora och ligger kring 65 dB; spridningen kring detta värde är av storleksordningen $\pm 5-8$ dB främst orsakad av högre övertoner i väggpartierna.</p>

Tyngre storkällor med vikter över säg 10 kg kan endast med svårighet isoleras från lättbetongväggar i frekvensintervallet under 200 Hz på grund av de svåra resonansgenombrotten.

Betongväggar 20 och 35 cm

Då endast mätning av vibrationshastigheten skett på drivsidan domineras admittansbilden i hög grad av den lokala elasticiteten under drivbrickan. Diagram 5.15 och 5.17. Denna dominans finner man för frekvenser över 250 Hz.

De väggar som studerats är vertikalt genomgående och bör alltså leda bort böjvågsenergin ganska effektivt. Man observerar, liksom på de stora betongbjälklagen mycket litet av resonanser även i lågfrekvensområdet.

De slutsatser som dragits för betongbjälklagen bör kunna tillämpas även för betongväggar av samma tjockleksklass. Se därför beträffande punktdmittansen avsnitten 5.31 och 5.33.

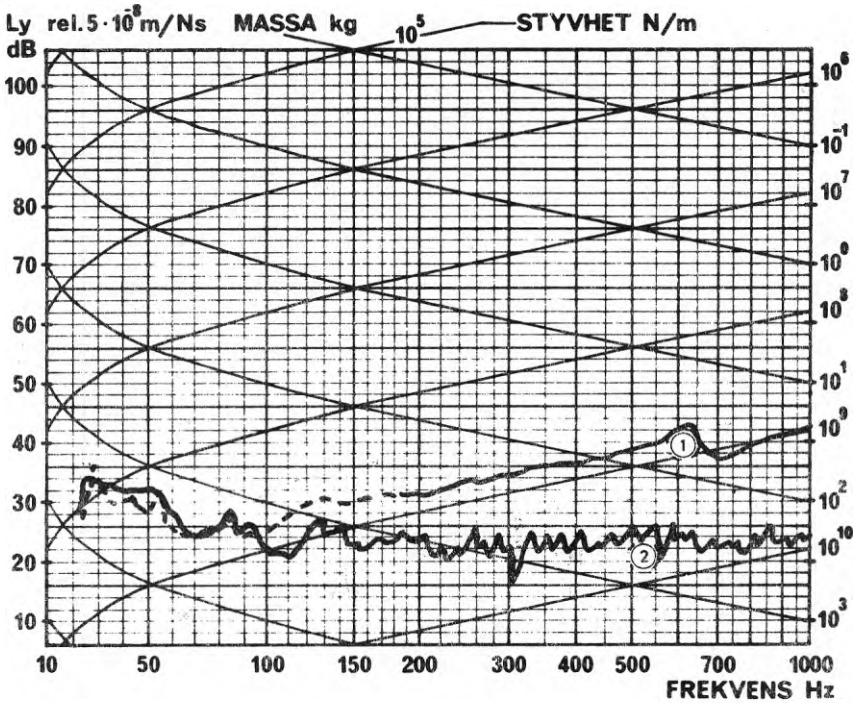


Diagram: 5.1

Punktadmittansmätning
Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 01 centralt mellan figur 4.1-4.3
4 pelare

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida

Byggnad: Kv. Primus, Lilla Essingen

L(Y _i ;i)	i	i	L(Y _i ;i)	i	i
våning	3	3	våning	3	3
delyta	01	01	delyta	01	01
punkt	01	01	punkt	01	01
riktn.	+3	+3	riktn.	+3	-3

(Betr. symbolsystem se 5.0)

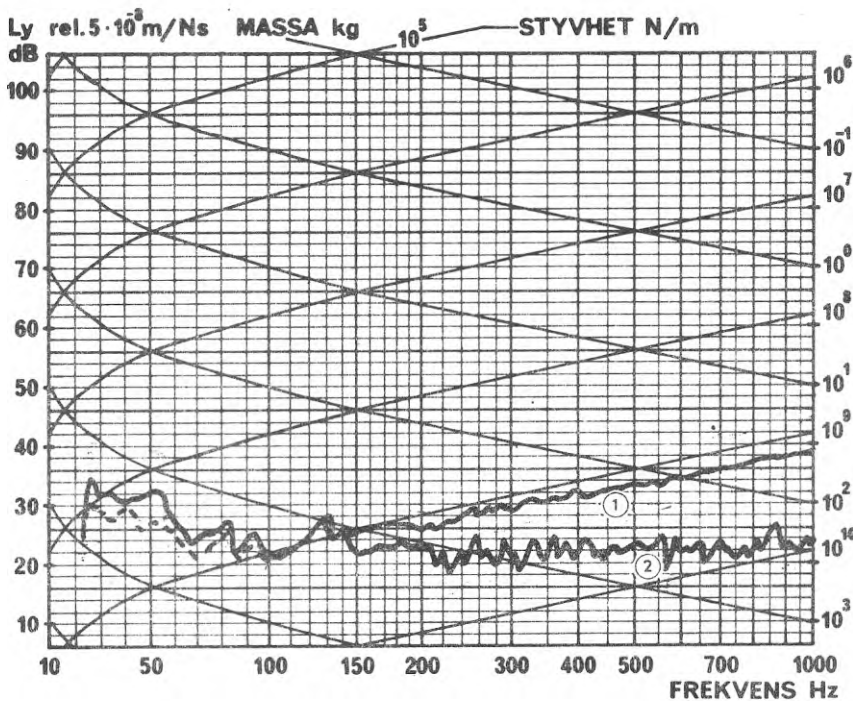


Diagram: 5.2

Punktadmittansmätning

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 60 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 600 g

Drivpunkt: Pkt 01 centralt mellan figur 4.1-4.3
4 pelare

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " " "

Byggnad: Kv. Primus, Lilla Essingen

L(Y _{ii})	i	i	L(Y _{ii})	i	i
våning	3	3	våning	3	3
delyta	01	01	delyta	01	01
punkt	01	01	punkt	01	01
riktn.	+3	+3	riktn.	+3	-3

(Betr. symbolsystem se 5.0)

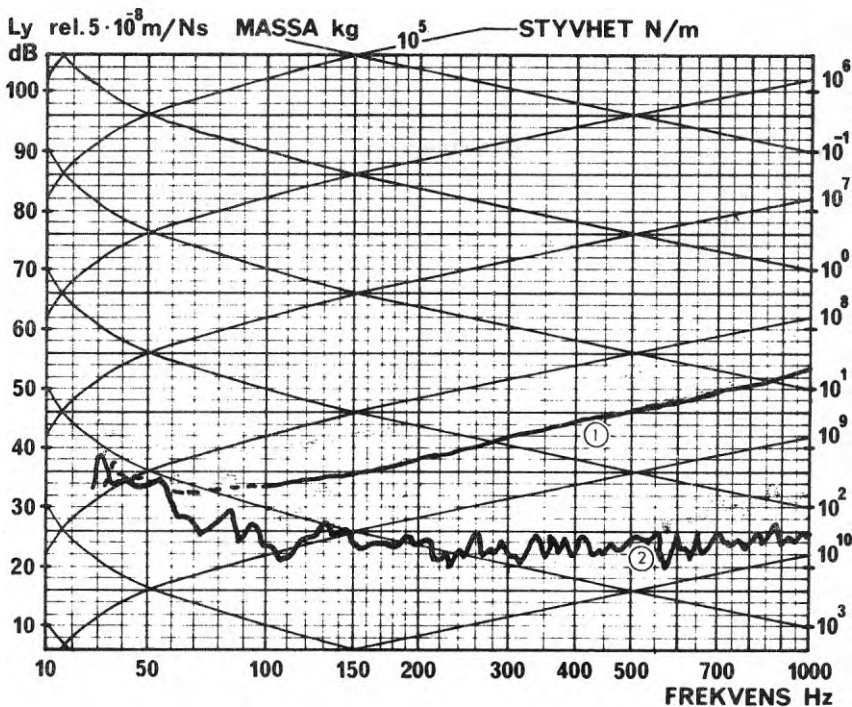


Diagram: 5.3

Punktadmittansmätning

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 11.3 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 200 g

Drivpunkt: pkt 01 centralt mellan figur 4.1-4.3
4 pelare

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " "

Byggnad: Kv. Primus, Lilla Essingen

$L(Y_{ij})$	i	j	$L(Y_{ij})$	i	j
våning	3	3	våning	3	3
delyta	01	01	delyta	01	01
punkt	01	01	punkt	01	01
riktn.	+3	+3	riktn.	+3	-3

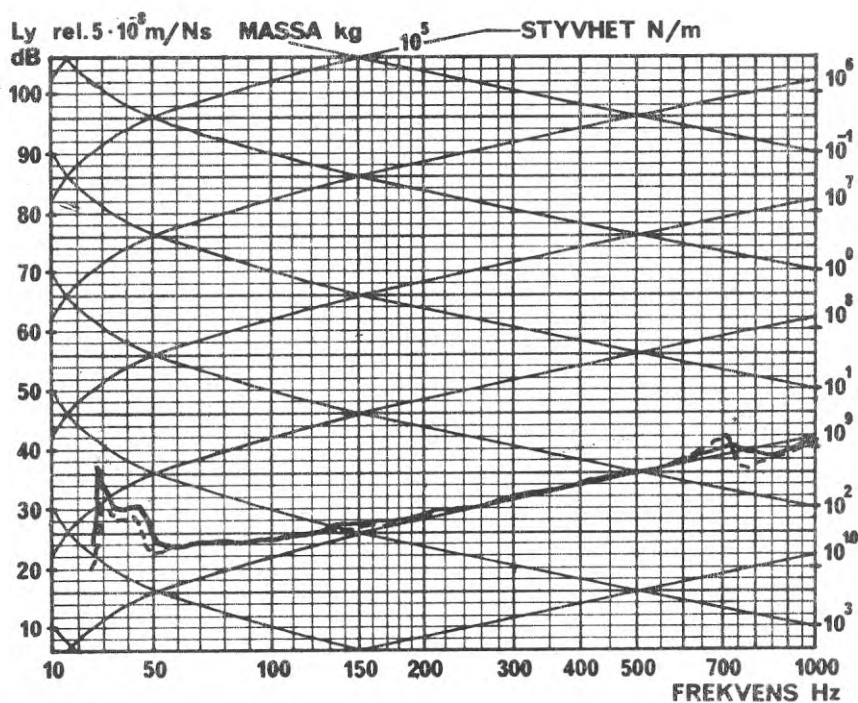


Diagram: 5.4

Punktadmittansmätning

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 02 över pelare figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " "

Byggnad: Kv. Primus, Lilla Essingen

$L(Y_{ij})$	i	i
våning	3	3
delyta	02	02
punkt	02	02
riktn.	+3	+3

Anm. 2 vibratormontage

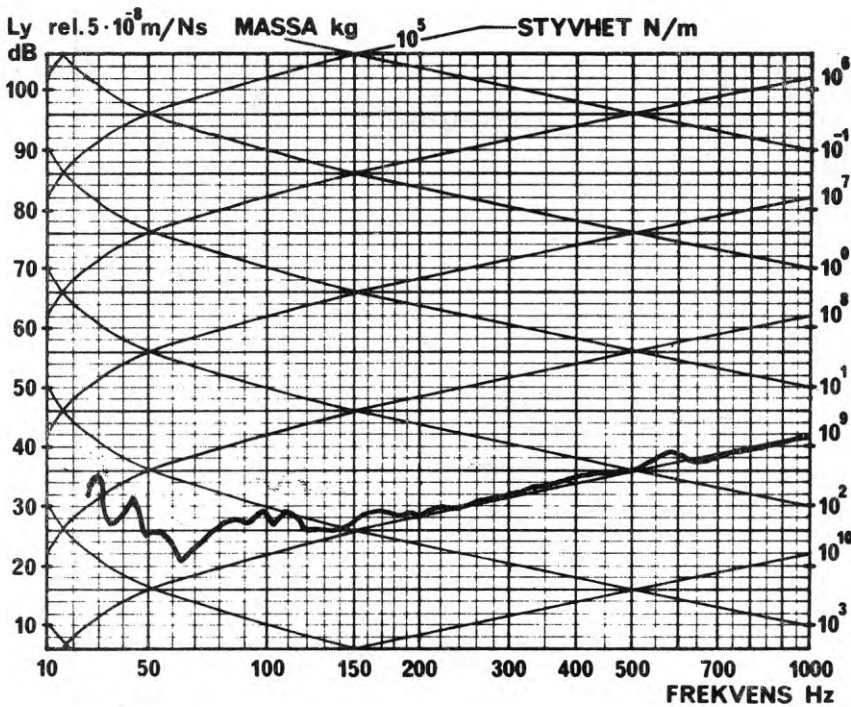


Diagram: 5.5

Punktadmittansmätning
Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 03 centralt mellan pelare figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida

Byggnad: Kv. Primus, Lilla Essingen

L(Y _j)	i	i
våning	3	3
delyta	01	01
punkt	03	03
riktn.	+3	+3

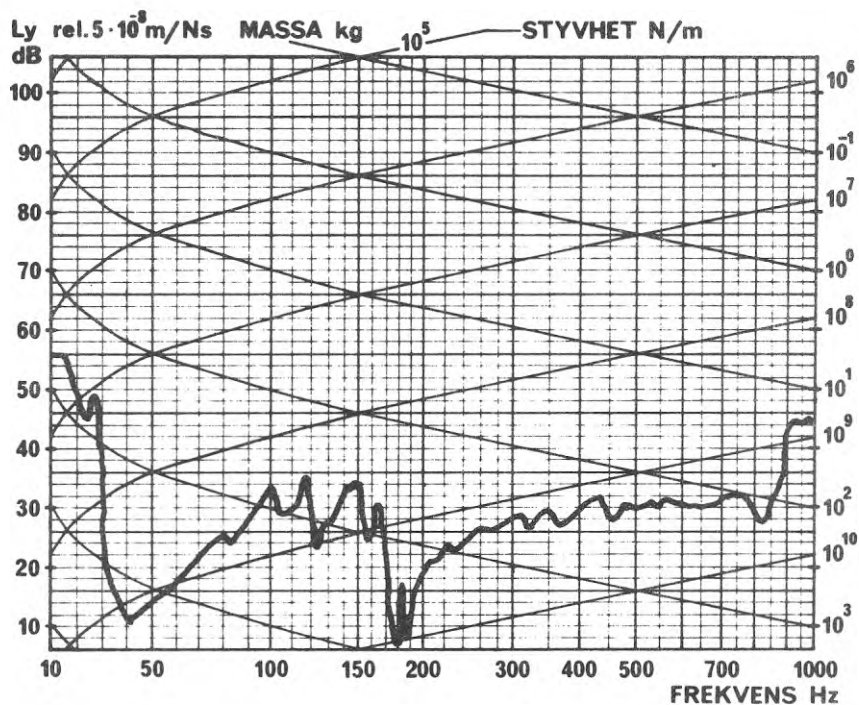


Diagram: 5.6

Punktadmittansmätning
Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 01 vertikalt figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): hissfundament

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " "

Byggnad: Kv. Linjalen

$L(Y_{ij})$	i	j
våning	7	7
delyta	01	01
punkt	01	01
riktn.	+3	+3

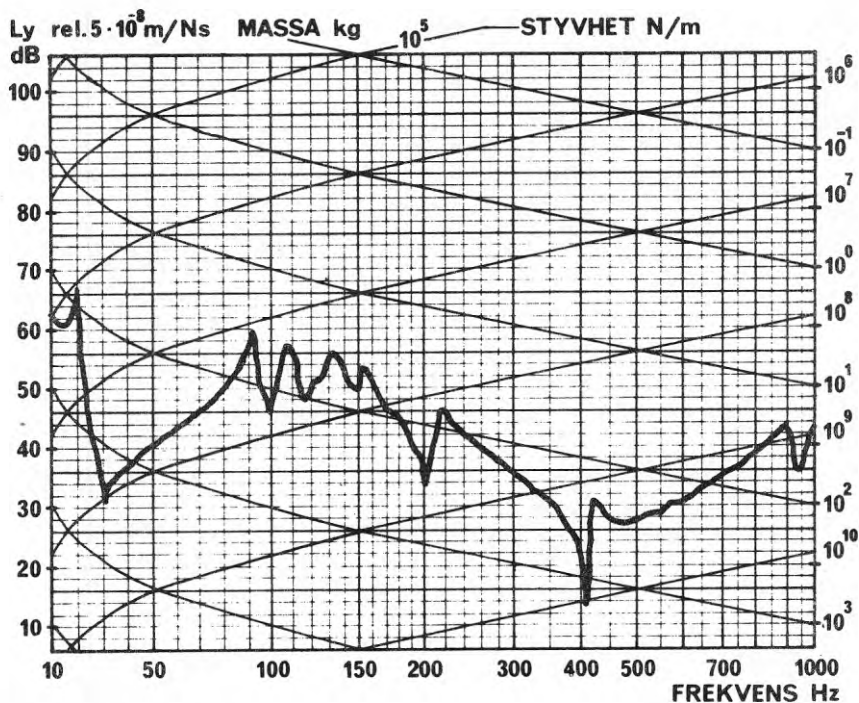


Diagram: 5.7

Punktadmittansmätning
Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 02 horisontellt figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): hissfundament

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " "

Byggnad: Kv. Linjalen

$L(Y_{ij})$	i	j
våning	7	7
delyta	02	02
punkt	02	02
riktn.	+1	+1

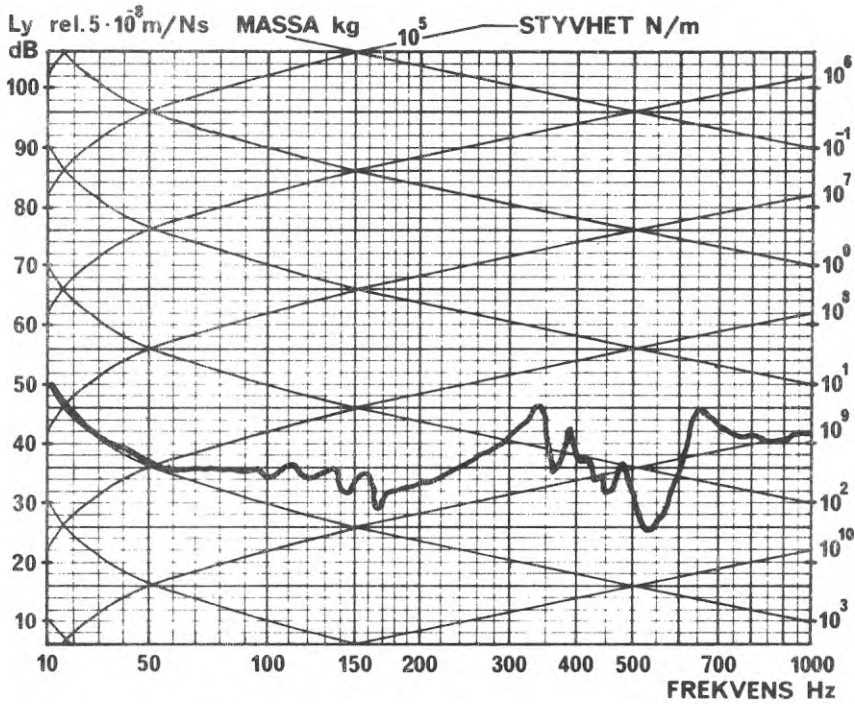


Diagram: 5.8

Punktadmittansmätning
Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 03 vertikalt figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): hissrum, 15 cm betong

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " "

Byggnad: Kv. Linjalen

$L(Y_{i,j})$	i	j
våning	7	7
delyta	03	03
punkt	03	03
riktn.	+3	+3

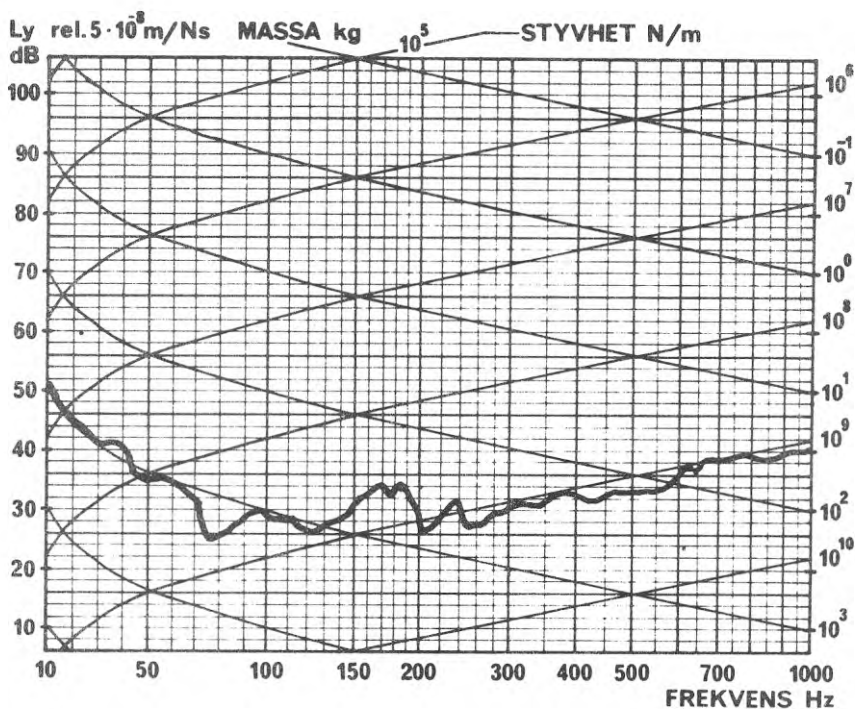


Diagram: 5.10

Punktadmittansmätning

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 05 vertikalt figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): vind, 15 cm betong

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida

Byggnad: Kv. Linjalen

$L(Y_{i,j})$	i	j
våning	7	7
delyta	05	05
punkt	05	05
riktn.	+3	+3

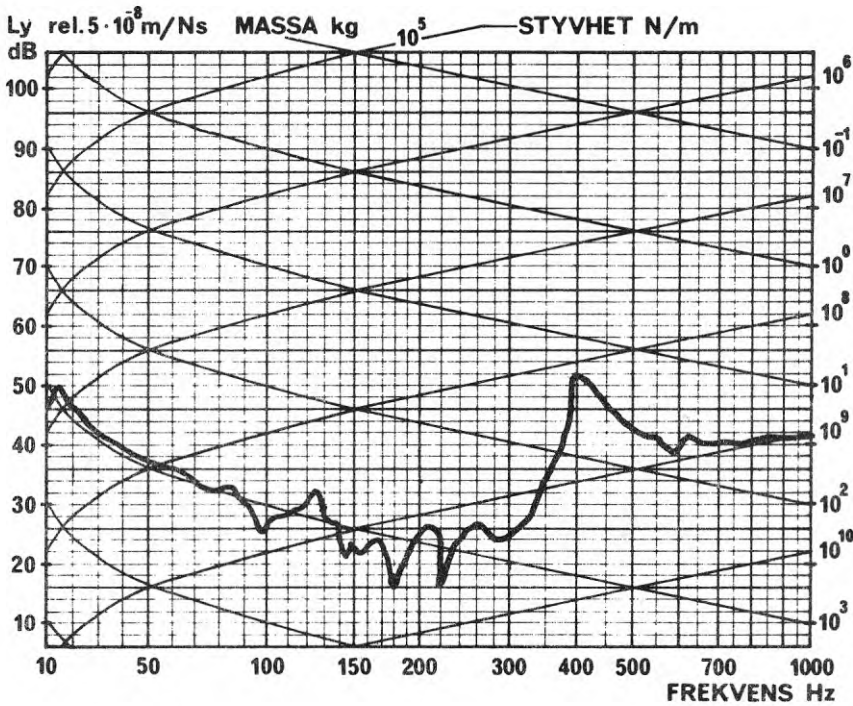


Diagram: 5.11

Punktadmittansmätning

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 06 vertikalt figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): badrum, vån 6, 20 cm betong

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida

Byggnad: Kv. Linjalen

L(Y _{i,j})	i	j
våning	6	6
delyta	36	36
punkt	06	06
riktn.	+3	+3

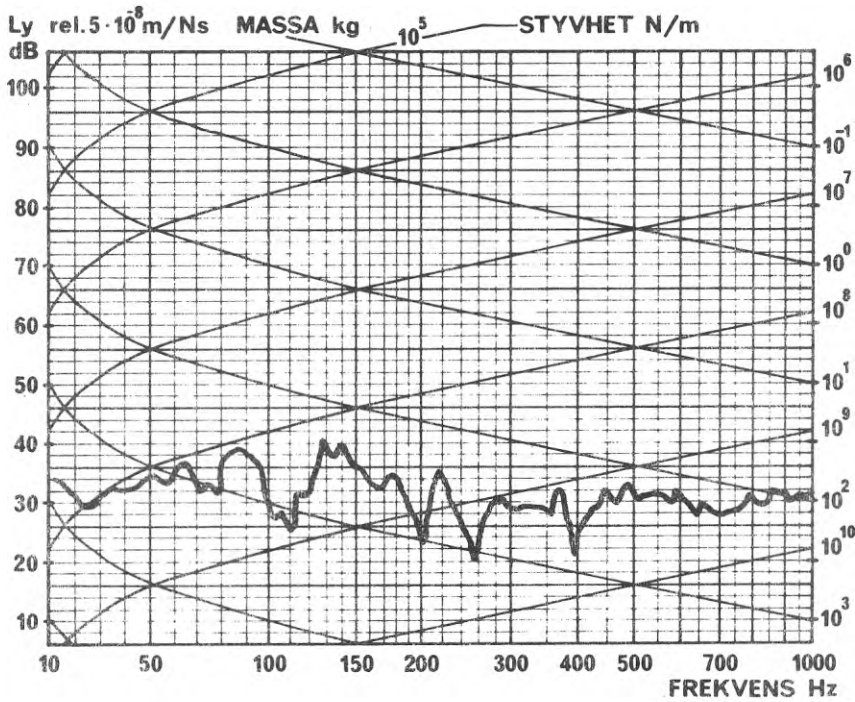


Diagram: 5.12

Punktadmittansmätning

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 07 vertikalt figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): badrum, vån 6, 20 cm betong

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " "

Byggnad: Kv. Linjalen

$L(Y_{ij})$	i	j
våning	6	6
delyta	36	36
punkt	06	06
riktn.	+3	-3

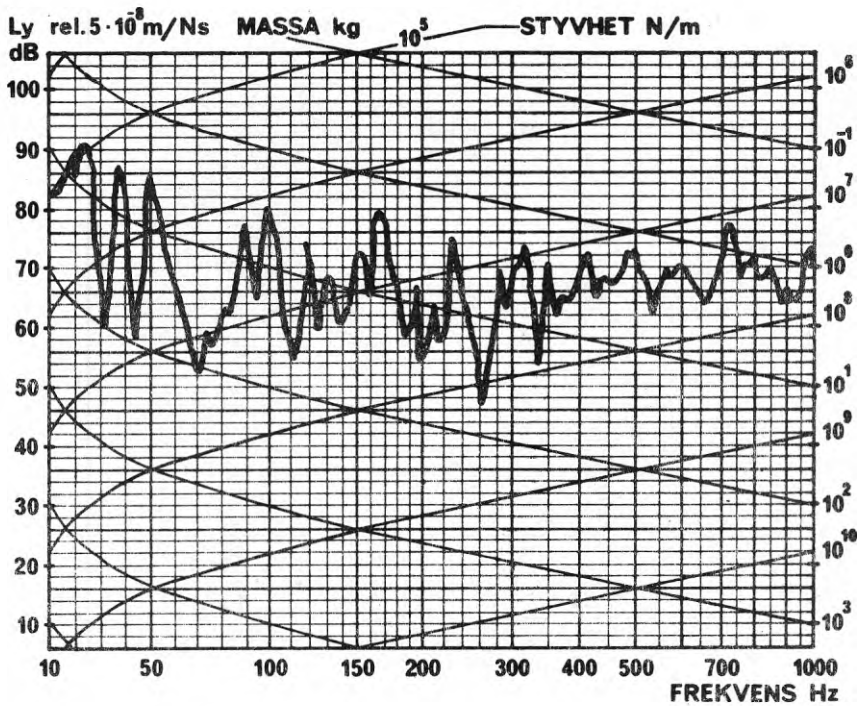


Diagram: 5.13

Punktadmittansmätning

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 33 mm

Material i drivbrickan : järn

Massa under kraftgivare: 190 g

Drivpunkt: pkt 08 horisontellt figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): lättbetongvägg, badrum, vån 6, 7.5 cm

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " "

Byggnad: Kv. Linjalen

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	6
delyta	32	32
punkt	08	08
riktn.	+2	+2

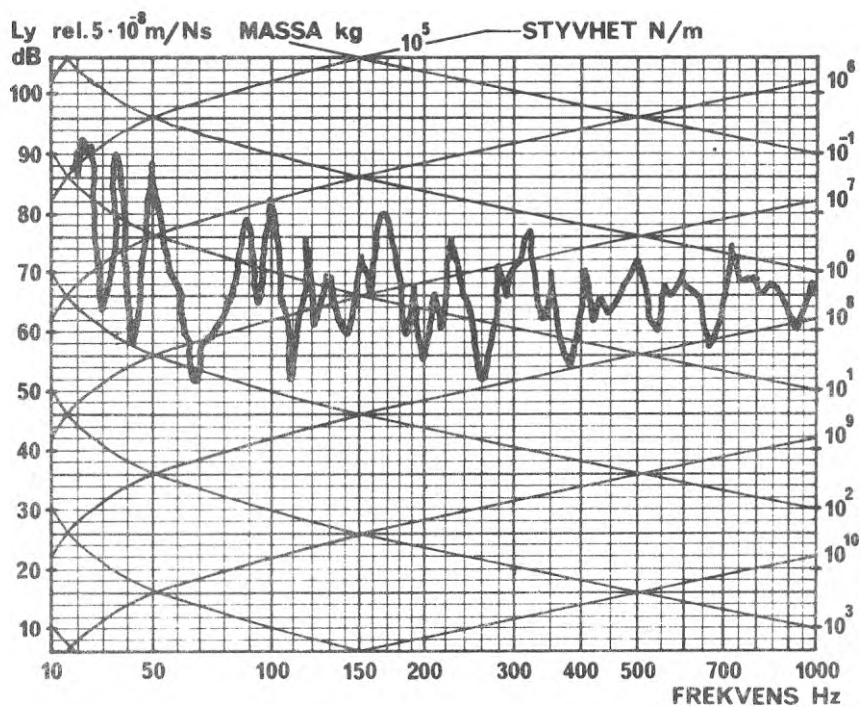


Diagram: 5.14

Punktadmittansmätning
Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 33 mm

Material i drivbrickan : järn

Massa under kraftgivare: 190 g

Drivpunkt: pkt 08 horisontellt figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): lättbetongvägg, badrum, vån 6, 7.5 cm

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " "

Byggnad: Kv. Linjalen

L(Y _{i,j})	i	j
våning	6	6
delyta	32	32
punkt	08	08
riktn.	+2	-2

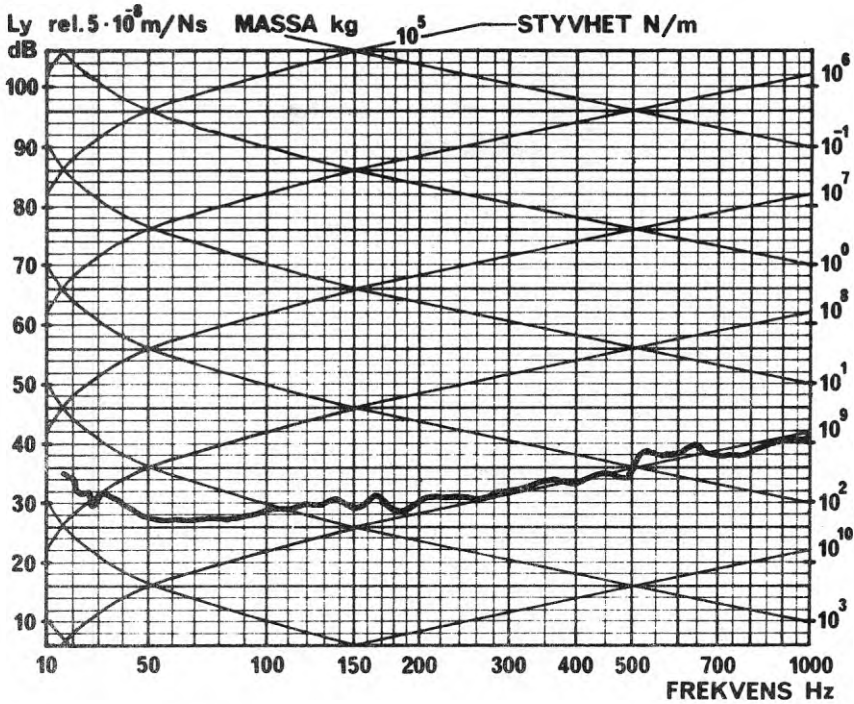


Diagram: 5.15

Punktadmittansmätning
Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 09 horisontellt figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): lägenhetsskiljande vägg, badrum, vån 6, 35 cm betong

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " "

Byggnad: Kv. Linjalen

$L(Y_{ij})$	i	j
våning	6	6
delyta	33	33
punkt	09	09
riktn.	+1	+1

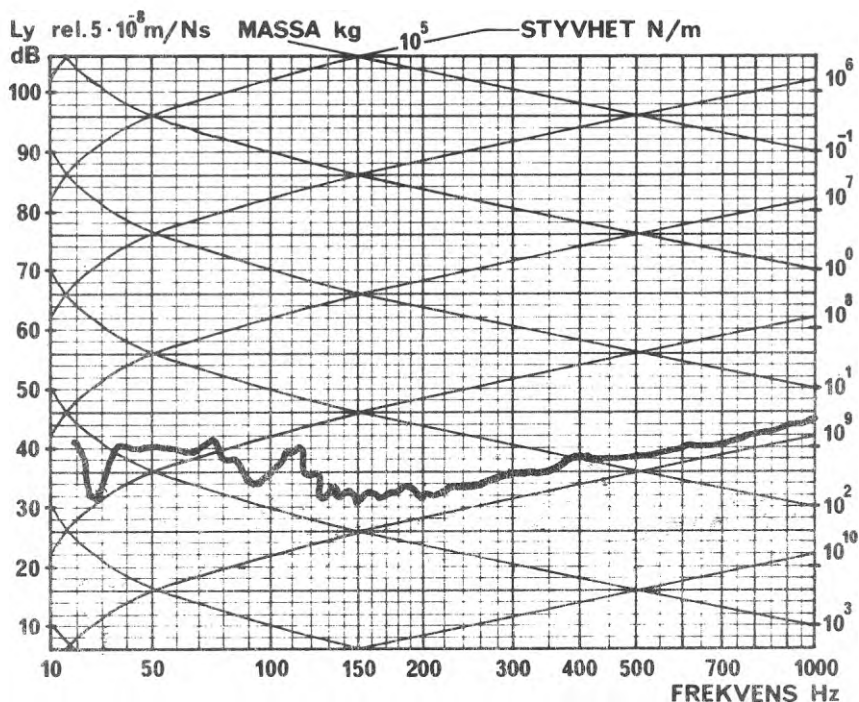


Diagram: 5.16

Punktadmittansmätning

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 06 vertikalt figur 4.4- 4.11

Bjälklag (vägg): badrum, vån 6, 20 cm betong, sandfyllning på
bjälklag cirka 4 cm

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida

Byggnad: Kv. Linjalen

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	6
delyta	36	36
punkt	07	07
riktn.	+3	+3

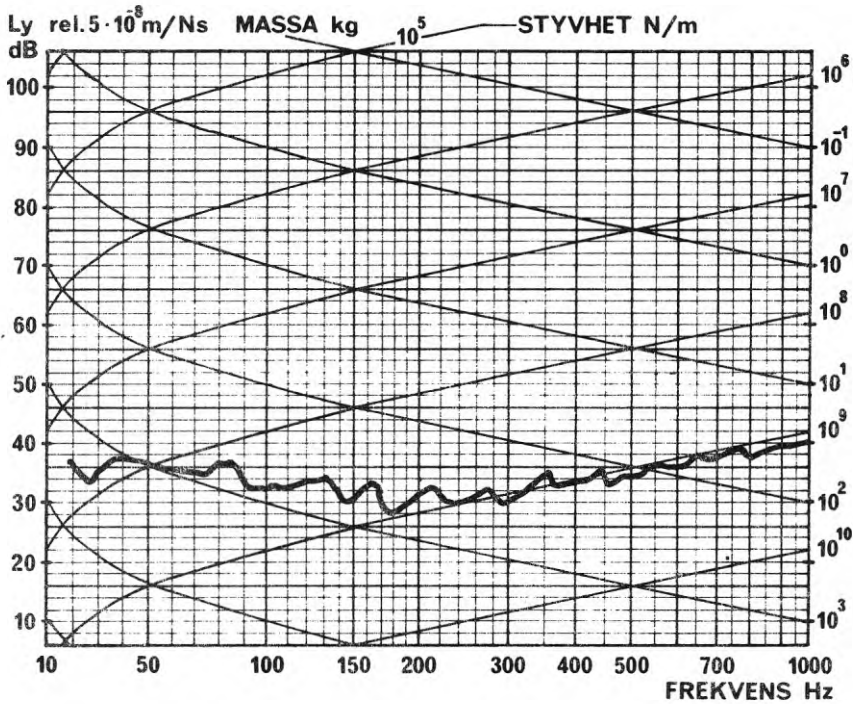


Diagram: 5.17

Punktadmittansmätning
Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: punkt 09, horisontellt figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): Lägenhetsskiljande vägg, badrum, vån. 6,
35 cm betong. Sandfyllning på bjälklagen

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " "

Byggnad: kv. Linjalen

$L(Y_{ij})$	i	i
våning	6	6
delyta	33	33
punkt	09	09
riktn.	+1	+1

6. EXPERIMENTELLT BESTÄMDA ÖVERFÖRINGSADMITTANSER ¹⁾

6.0 Allmänt. Hur skall mätresultatet praktiskt utnyttjas?

Beträffande utnyttjad symbolik, se avsnitt 5.0. Resultaten från genomförda mätningar redovisas i form av diagram över "Överföringsadmittansmätning".

Vid studiet av överföringsadmittansen i lagerbyggnad redovisas endast mätning med sinuston. Diagram 6.1-6.34. Detta sammanhänger bl a med svårigheten att hålla uppe signal/störförhållandet vid mätning på tunga bjälklag.

Sinusexcitering redovisas också för drivning av hissfundament i boningshus, diagram 6.35-6.37. Alla dessa diagram innehåller en relativt finstrukturerad frekvensinformation.

De flesta transmissionsmätningar som redovisas för bostadsbyggnaden, kv Linjalen, är genomförda med brusexcitering. Diagram 6.38-6.75. Endast tersbandsnivåer är angivna, varför närvaro av enstaka resonanser ej kan spåras lika lätt.

Överföringsadmittanserna har väsentligen bestämts för de lokaliseringar av störkällan som genomgått under avsnittet 5, d v s både punktadmittanser och överföringsadmittanser har bestämts vid samma mätning.

Den katalogformade redovisning av överföringsadmittanserna som redovisats i diagrammen 6.1-6.75 kan praktiskt utnyttjas på följande sätt:

Problem

Vibrationshastighetsnivån normalt mot viss delyta i viss mottagarpunkt j sökes för en kraftexcitering $F[N]$ vid frekvensen $f[Hz]$ i viss sändarpunkt i .

1. Uppsök diagrammet över $L(Y_{ij})$

2. Gå in i diagrammet för angiven frekvens. Avläs värdet för $L(Y_{ij})$ Hastighetsnivån L_v re $5 \cdot 10^{-8}$ m/s i mottagarpunkten (recipienten) blir då:

$$L_v = L(Y_{ij}) + 20 \log F \quad (6.1)$$

1) Eller: svarshastigheter för IN drivkraft

I avsnitt 1.3 har reciprocitetsteoremet berörts. Konsekvenserna av detta teorem är att för alla de samhörande par i, j vars transmissionsfunktion experimentellt studerats i aktuella byggnader kan hastighetsnivån för punkt i beräknas om störkraften F i stället tänkes insatt i punkt j .

Man har nämligen att:

$$L(Y_{ji}) = L(Y_{ij}) \quad (6.2)$$

Detta innebär att verkan av störkrafter angripande ute i byggnaden kan beräknas till sin verkan i de sändarpunkter som utnyttjats för bestämningen av transmissionsfunktionerna. Det praktiska utnyttjandet av denna konsekvens redovisas i exempel 2 nedan.

Exempel 1 En kontaktor är uppställd på betongbjälklaget i hissrummet i pkt 03 (FIG. 4.8) i bostadshuset kv Linjalén. Kontaktorn beräknas i vertikalled ge en störkraft mot bjälklaget vid 500 Hz av 5 N. Sök hastighetsnivåerna på golven i sovrummen i våningsplan 6 och 4. (FIG. 4.10).

Lösning: I diagram 6.41 återfinns man resultaten från sändning i punkt 03 till delyta 16, som utgör gemensamt golv och tak för samtliga våningsplanen. Riktning -3 innebär att givaren placerats på undersidan av resp bjälklagsyta. Bjälklaget i plan 6 (se FIG. 4.4) motsvaras alltså av $j = / 6,16, -3 /$, dvs av näst översta diagrammet i diagram 6.41 medan bjälklaget i plan 4 motsvaras av $j = / 4,16, -3 /$ dvs av det understa.

Man finner för dessa båda fall att

$$L(Y_{i6}) = 18 \text{ dB} \quad L(Y_{i4}) = 13 \text{ dB}$$

dvs hastighetsnivåerna på sovrumsgolven blir enligt 6.1:

$$L_{V6} = 18 + 20 \log 5 = 32 \text{ dB} \quad L_{V4} = 13 + 20 \log 5 = 27 \text{ dB}$$

re $5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ re $5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

Indirekt framgår alltså att utbredningsdämpningen sänker nivån mellan bjälklag 6 och bjälklag 4 med $18 - 13 = 5 \text{ dB}$ vid 500 Hz.

Exempel 2 I den undersökta lagerbyggnaden kommer på plan 2 en maskin att uppställas i punkt 17 (se FIG. 4.2) som ger en obalanskraft mot bjälklaget i vertikalled av 30 N vid 200 Hz. Beräkna den hastighetsnivå som uppstår på plan 3 i punkt 01 från denna kraftkomponent.

Lösning: Reciprocitetsteoremet utnyttjas. I diagram 6.15 visas transmissionsfunktionen för den använda utbredningsriktningen. Man finner för $i = / 3,01,+3 /$, $j = / 2,17,+3 /$ att:

$$L(Y_{ij}) = 6 \text{ dB vid } 200 \text{ Hz}$$

d v s för hastighetsnivån i punkt 01 på plan 3 fås

$$L_v | 3,01,+3 | = 6 + 20 \log 30 = 36 \text{ dB re } 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$$

Hade maskinen i stället ställts upp på våningsplan 1 i samma punkt 17 hade man enligt diagram 6.20 haft $L(Y_{ij}) = -16 \text{ dB}$ och fått

$$L_v | 3,01,+3 | = +16 + 30 = +46 \text{ dB}$$

d v s en förflyttning ett plan neråt av störkällan hade vid denna medelhöga frekvens reducerat vibrationsnivån med 22 dB på plan 1.

De genomgångna exemplen får illustrera det sätt på vilket det insamlade experimentella underlaget kan utnyttjas. Man bör dock ha i minnet att där recipienten är definierad av en yta, vilket t ex är aktuellt för bostadsbyggnaden i kv Linjalen är de bestämda hastighetsnivåerna på mottagarsidan medelvärden av 3 - 9 mätpunkter per delyta. Mätvärdena sprider mellan olika punkter. Reciprocitetlagen kan endast utnyttjas med den osäkerhet som denna spridning medför.

I TAB. 6.1 antyds variationsområdet för några karakteristiska ytor som funktion av sändarfrekvensen. Vid brusexcitering rör sig variationsintervallet normalt inom 1 - 4 dB men kan i extremfall gå upp till 15 dB över respektive delyta i de fall en eller ett par enstaka moder dominerar svängningsbilden.

TAB. 6.1 Variationsområde för enskilda mätpunkter på delytor i sovrum, lägenhet 2 våning 6, vid excitering av hissrumsbjälklag (Brus-excitering)

	<u>Delyta 13</u>		<u>Delyta 21</u>		<u>Delyta 26</u>	
	ΔL_v	$\hat{\Delta} L_v$	ΔL_v	$\hat{\Delta} L_v$	ΔL_v	$\hat{\Delta} L_v$
20						
25	2,7	2,9	6,9	4,7	3,3	9,6
31,5	2,5	2,9	6,6	5,0	2,6	11,2
40	1,7	1,5	6,8	4,9	2,3	9,5
50	0,2	0,6	1,1	1,3	0,7	0,9
63	3,3	3,6	6,4	2,6	1,2	10,5
80	3,0	5,2	2,4	4,0	3,7	6,1
100	2,2	1,4	1,5	1,3	2,2	7,6
125	1,8	1,6	2,3	1,2	2,3	7,9
160	1,0	0,8	0,9	1,8	0,4	6,3
200	2,3	2,7	0,9	1,4	0,7	9,1
250	3,9	3,7	5,0	2,2	0,5	8,4
315	12,3	4,1	2,0	0,6	1,6	12,4
400	1,8	2,6	14,5	3,1	1,3	10,3
500	2,5	0,7	11,1	5,5	4,8	10,2
630	2,8	4,0	2,6	3,6	2,6	9,0
800	3,0	2,8	2,3	1,3	2,2	9,4
1K	5,0	3,9	5,5	2,5	5,5	9,7
1,25	2,8	4,4	3,1	4,5	1,9	8,1
1,6	2,3	1,3	6,5	4,5	0,4	11,2
2K	1,4	2,4	3,4	3,6	2,0	11,0
2,5	0,4	0,8	2,1	1,5	1,4	9,6
3,15	0,8	2,2	3,0	2,8	1,8	10,0

6.1 Närmare genomgång av mätresultatet

6.1.1 Lagerbyggnad. Överföringsadmittans mellan olika punkter på 28 cm bjälklag

Studier har dels gjorts av vibrationsöverföringen i närfältet från excitering centralt mellan pelare (02) dels till vibrationsöverföringen på längre avstånd. Se TAB. 6.2.

TAB. 6.2 Översiktstabell över föreliggande mätresultat på samma plan (svepande ton)

Drivpunkt	"Närfältstransmission"		"Fjärrfältstransmission"	
	mätpunkt	diagram	mätpunkt	diagram
01 (mellan pelare)	15	6.1-6.4	18 - 23	6.6-6.10
	02,24,25	6.5		
02 (över pelare)	24,25	6.21-6.22	18 - 20,22	6.23-6.26

Punkt 15 ligger 1 m från den centralt mellan pelarna valda drivpunkten 01, medan punkt 02 ligger rakt över närmaste pelare. Punkterna 24 och 25 återfinns på gränsen till den "modul" av pelargittret där excitering skett.

Punkterna 18 - 23 representerar ett från drivpunkten successivt ökande avstånd och ligger alla på en rät linje. Avstånden till drivpunkten går från 7 m till 27 m eller räknat i antalet pelarmoduler om 7 m från 1 modul till ca 5 moduler.

6.1.2 Lagerbyggnad. Transmission mellan olika plan

Redovisning lämnas för två drivpunkter, nämligen pkt 01 mitt mellan pelare, och pkt 02 rakt över pelare, med mottagarpunkter i planen 1 och 2.

TAB. 6.3 Översiktstabell över föreliggande mätresultat på transmission till plan 1 och 2. (svepande ton)

Plan 3, drivpunkt	Plan 2, närmast drivplanet	Plan 1, markplanet
01, mellan pelare	mät punkt diagram 11-14, 17-18 6.11-6.18 20, 22	mät punkt diagram 13, 17 6.19-6.20
02, över pelare	11,13,14,17 6.27-6.32 18, 22	13, 17 6.83,6.34

Med den tillgängliga driveffekt som stått till disposition har det ej varit möjligt att få tillräckligt signalbrusförhållande i plan 1 för frekvenser under 400 - 500 Hz. Informationen om transmissionen hos "seriekopplade" tunga bjälklag är alltså högst ofullständig.

6.13 Bostadsbyggnad. Transmission från hissfundament och hissars bjälklag

TAB. 6.4 Översiktstabell över mätresultat på transmission från hissfundament (svepande ton)

Drivpunkt, plan 7	Plan 7, hissrummets golv, delyta 03	
01, vertikalt	mät punkt	diagram
	1 - 3	6.35-6.37

Drivning har skett direkt mot hissfundamentets överyta vertikalt. Nivå på betongbjälklaget som understödjer hissfundamentet har bestämts.

Överföringen från hissrummets golv av vibrationer till underliggande utrymmen redovisas i diagram angivna i TAB. 6.5.

TAB. 6.5 Mätresultat som visar transmission från 15 cm betongbjälklag i våningsplan 7, (hissrum) till underliggande utrymmen (Brusexcitering)

Drivpunkt	delyta	plan	diagram
03, plan 7,	05	6	6.46
delyta 03,	11	3-6	6.38
vertikalt	12	3,5,6	6.39
	13	3-6	6.43
	13	4,6	6.47
	14,15	3-6	6.40
	16	4-6	6.41
	21	3-6	6.45
	22	4-6	6.44
	24	3-6	6.42
	26	4-6	6.46

Samtliga mätningar utom de som redovisas i diagram 6.47 är gjorda innan sand lagts in på bjälklagen.

6.14 Bostadsbyggnad. Transmission från 15 cm och 20 cm betongbjälklag

Förutom de mätresultat som redovisats för punktexcitering under 6.13 föreligger mätresultat från vertikal punktexcitering i våningsplan 6 och 7 till byggnadsdelarna under och i samma plan.

TAB. 6.6 Översiktstabell över mätresultat från 15 och 20 cm betongbjälklag (Brusexcitering)

drivpunkt	delyta	plan	diagram
	05	6	6.60
05, plan 7,	32	3-6	6.56
vertikalt	46	3-6	6.57
(15 cm betong	51	3-6	6.59
intill fläktrum)	54	3-6	6.58
	56	3-6	6.60
06, plan 6,	32	3-6	6.63
vertikalt	43	3-6	6.62
(20 cm badrums-	41	3-6	6.61
bjälklag)	46	6	6.64
	51	3-6	6.66
	54	3-6	6.65
	56	3-6	6.67

6.15 Bostadsbyggnad. Transmission från flytande golv i fläktrum

Överföringen från en relativt centralt belägen punkt på ett 5 cm flytande betonggolv har studerats. Liksom vid de flesta övriga mätningar som genomförts vid aktuellt objekt har kraftexciteringen varit av bruskaraktär varför resonansgenomgångar orsakade av enskilda plattresonanser i lågfrekvensområdet ej blir markant framträdande.

De i TAB. 6.7 angivna kombinationerna återfinns i diagram 6.48 - 6.52.

TAB. 6.7 Mätresultat visande transmission från flytande golv (Brusexcitering)

drivpunkt	delyta	plan	diagram
04, plan 7,	32	3-6	6.48
vertikalt	41	3-6	6.54
	43	3-6	6.55
	46	4-6	6.49
	51	3-6	6.51
	54	3-6	6.50
	56	3-6	6.52

x) Samtliga mätningar utom de som redovisas i diagram 6.53, 6.68 är gjorda innan sand lagts in på bjälklagen.

I diagrammen 6.54-6.55 har inlagts överföringsadmittansen både från drivpunkt 04 och 05 varför jämförelse kan göras av transmissionen från ett rent "bjälklag" och från ett flytande golv.

6.16 Bostadsbyggnad. Transmission från 35 cm lägenhetsskiljande vägg i badrum

TAB. 6.8 Mätresultat visande transmission från lägenhetsskiljande vägg (Brusexcitering)

drivpunkt	delyta	plan	diagram
08, plan 6,	05	6	6.64
vägg 33,	32	3-6	6.63
horisontellt	41	3-6	6.61
	43	3-6	6.62
	46	3-6	6.64

I diagrammen 6.62-6.64 har överföringsadmittanserna både från badrumsgolv 20 cm betong och badrumsvägg, 35 cm betong, inlagts parallellt för att en jämförelse skall underlättas.

6.17 Bostadsbyggnad. Transmission från 7 cm lättbetongvägg

Studiet av överföringsadmittansen från en lättbetongvägg kan vara av intresse ur två aspekter.

Den ena är att ljudövergången från en lätt vägg till en tung stomme, kan vara värdefull att känna. Kan vara aktuellt om lättare störkällor appliceras på väggen som t ex strömbrytare, kranar, fläktar.

Den andra aspekten är att övergången från stomljud i den tunga stommen till de lätta väggarna indirekt bestäms med aktuell mätning (reciprocitetsteoremet). En viss skattning av den luftljudsexcitering som orsakas av vibrationer längre bort i byggnaden och vilka kan återföras på vibrationer i lätta väggar kan härigenom göras.

TAB. 6.9 Mätresultat visande transmission från lättbetongvägg till tung stomme (Brusexcitering)

drivpunkt	delyta	plan	diagram
07, plan 6,	05	3-6	6.72 o. 6.75
vägg 32,	41	3-6	6.69
horisontellt	43	3-6	6.70
	46	3-6	6.72
	51	3-6	6.74
	54	3-6	6.73
	56	3-6	6.75

Dessutom redovisas i diagram 6.71 transmissionen från punktexcitering av lättbetongvägg till lätt stomme.

Samtliga mätningar utom de som redovisas i diagram 6.68 är gjorda innan sand lagts in på bjälklagen.

6.2 Kommentarer till mätresultaten

6.20 Allmänt

Vibrationstransmissionen i en sammansatt struktur är svår att förutberäkna. Helt kort skall erinras om vilka faktorer som påverkar ljudutbredningen.

1. Vid punktexcitering på en stor plan platta, ex vis bjälklag, sker en utbredning som närmast har karaktären av ett cylindriskt vågfält. Den nivå som uppbyggs på plattan bestäms av ljudbortledningen i anslutande väggar och pelare och de förluster som uppstår på grund av inre mekaniskt arbete i fogar och byggnadsmaterial. På ändliga plattor med kraftiga randreflexer uppstår ett efterklangsfält, vilket innebär att nivån ej nämnvärt faller med ökat avstånd till drivpunkten.

2. Vid övergång mellan olika strukturella element, t ex i fogar mellan bjälklag och väggar eller pelare uppstår vid ljudutbredningen reflexer som för vissa enkla fall kan teoretiskt förutberäknas, i de fall antalet frihetsgrader (frekvensen) är tillräckligt högt. Reflexionskoefficienterna beräknas eller bestäms enklast för det fall att de strukturella elementen är reflexfritt avslutade eller antas ha oändlig utsträckning bortom knutpunkten.

Reflexerna i knutpunkter bestäms av transformationer av typen böjvågor / böjvågor, böjvågor / longitudinalvågor, longitudinalvågor / böjvågor. En vågtyp som betyder mycket för ljudavstrålningen och därmed luftljudnivån är böjvågorna. I knutpunkter sker t ex i räta hörn vid ökande frekvens en transmission som leder till reducerad böjvågsandel i förhållande till longitudinalvågsandel. I andra fall. t ex vid symmetriska knutpunktsarrangemang kan transmissionen vara frekvensoberoende.

Härtill kommer att det böjvågsfält som existerar på en sluten platta transmitteras olika lätt beroende på hur böjvågens front är orienterad relativt i randen tillstödande väggar eller andra begränsningsytor. Effekten leder ej sällan till att böjvågornas övergång försvåras vid högre frekvenser. Jfr t ex Cremer/Heckl /13/ sid 405, fig V/39.

3. De vibrationsnivåer som vid viss frekvens uppbyggs i de olika byggelementen bestäms av jämvikten mellan energiinmatningen längs randen från närliggande element och energiflödet bort från elementet genom anslutande element och de inre förlusterna i elementet. Ju högre antalet frihetsgrader (egenmoder) d v s ju större linjära dimensioner elementet har, desto större total vibrationsenergi lagras i elementet. Ju större förlustfaktorn i elementet är, desto lägre stationär vibrationsnivå utbildas.

4. Vid låga frekvenser bestäms vibrationerna på en begränsad bjälklagsväggplatta eller i en pelare i hög grad av ett fåtal egensvängningsformer. De nivåer som erhålles blir därför starkt beroende av exciteringspunktens läge relativt randen eller andra begränsningar i form av pelare e.d, samt av mätpunktens läge. Nivån i mottagarpunkten beror starkt av om man mäter eller exciterar i en svängningsbuk eller -nod. För många betongelement i 15 - 20 cm klassen ligger lägsta böjmoderna i frekvensområdet 15 - 25 Hz och de första övertonerna återfinns alltså under 50 Hz, vilket man bör erinra sig vid studiet av erhållna transmissionsresultat.

De resultat som redovisats kan i vissa fall förklaras och anses rimliga. I andra fall kan ingen enkel teoretisk modell skapas som förklarar de experimentellt bestämda resultaten. Rent fenomenologiskt kan dock de empiriska resultaten, oberoende av all bakomliggande teori, beskrivas av enkla teoretiska modeller. Sådana modeller, syftar endast till att i sluten form beskriva huvuddragen av vunna erfarenheter. Att genom induktiv härledning söka tillämpa resultaten på parameterkombinationer som ej experimentellt studerats måste man dock i detta fall varna för eftersom modellerna endast gäller för de kombinationer av material och geometri som varit föremål för studium.

6.21 Lagerbyggnad. Överföringsadmittans mellan olika punkter på 28 cm bjälklag

Av det icke redovisade primärmaterialet framgår att överföringsadmittansen ej påverkas av exciteringsytans storlek inom de gränser som här utnyttjats, nämligen från ϕ 11 till ϕ 60 mm. Det finns skäl att antaga att detta gäller upp till ganska stora drivyor.

Vidare kan konstateras att några signifikanta skillnader ej uppmätts vid bestämning av bjälklagshastigheten (och därmed admittansen) på över- respektive undersida, om man bortser från en punkt ca 1 m från exciteringspunkten kring 500 Hz.

Vid excitering över pelare är utmatad effekt i plattan ca 10 dB lägre i frekvensområdet 30-2000 Hz än vid excitering på fri bjälklagsyta. Slutsatsen ligger nära till hands, nämligen att vid drivningen i detta fall en större andel av den inmatade effekten avledes genom pelaren. Återmatning av effekt inmatad i pelare till det exciterande planet via andra plan och pelare kan icke påvisas relativt den primärt via samma plan överförda vibrationen.

Utbredningsdämpningen på det exciterade planet är i mellanfrekvensområdet större då excitering sker över pelare än då excitering sker på fri bjälklagsyta.

Närfältet (1 - 4 m). Excitering mellan pelare.

Det kan konstateras att vid den drivning med singelton som utnyttjats för studium av lagerbyggnaden är spridningen i admittansnivå i närfältet på plattan (ca 1 m:s avstånd) ca \pm 4 dB i praktiskt taget hela frekvensområdet 30-1000 Hz.

Admittansnivån sjunker långsamt med frekvensen, approximativt med ca 2 dB/oktav. Se diagram 6.1.

Vid mätning över pelare och excitering av bjälklaget mellan dessa, diagram 6.5, kan också ett svagt fall med frekvensen konstateras. Resonans- och antiresonansgenombrott är dock betydligt mer markerade i mellanfrekvensområdet 250 - 1000 Hz, vilket eventuellt kan

återföras på longitudinalresonanser i pelarna. I den lägre delen av frekvensområdet uppstår dessa resonanser sannolikt vid kombination av pelarelasticiteterna med de effektiva medsvängande punktmassorna i bjälklagsplanen. Detta har diskuterats under punkt 5.31. Första longitudinalvågsresonansen i en 3 m-hög pelare ligger vid 500 - 600 Hz, för två seriekopplade 3 m-pelare vid 250 - 500 Hz.

Differensen i admittansnivå vid resonans- resp. antiresonanser rör sig vid pelare om ca 20 dB totalt varför inga säkra prognoser kan ställas om de vibrationsnivåer som uppstår mot pelarna vid sinusformad excitering av ett bjälklag av denna typ utan att en detaljerad genomräkning görs av hela strukturen!

Närfältet. Excitering på pelare

Resultaten redovisade i diagram 6.21 och 6.22 visar att admittansnivån på plattan ca 1 m från exciteringspunkten praktiskt taget är konstant: i hela frekvensområdet 30 - 400 Hz. Avvikelserna rör sig endast om ± 2 dB kring medelvärdet. Strukturen verkar alltså praktiskt taget som en resistans i detta område. De utgående vågorna dominera tydligen också helt. Man skulle kanske med ledning av punktadmittansmätningarna, t ex diagram 6.21, väntat sig en med frekvensen sjunkande, vibrationsnivå i intervallet 25-70 Hz d v s också en sjunkande överföringsadmittans upp till 70 Hz.

Den lägre överföringsadmittansen kring 550 - 600 Hz kan eventuellt hänföras till den antiresonanseffekt som pelaren mellan plan 2 och 3 ger vid sin första longitudinalresonans och som tidigare antytts.

Fjärrfältet. Excitering mellan pelare

Diagram 6.6-6.10. Överföringsadmittanserna som ligger på avstånd $7,5 + n \cdot 3,5$ m ($n = 0, 1, 2, 3, 4$) från drivpunkten återges i dessa diagram.

Admittanserna kännetecknas på de kortaste avstånden av en med frekvensen sjunkande nivå i intervallet 30 - 125 Hz och därefter av en nivå vars medelvärde ligger relativt konstant men med markanta resonans- och antiresonanseffekter under 1000 Hz. "Dynamiken" rör sig också här om upp till 20 dB varför noggranna prognoser vid sinusexcitering ej synes möjligt att genomföra.

Vibrationsnivåns beroende av avståndet till drivpunkten skall särskilt diskuteras under punkt 8 "Utbredningsdämpning". Man konstaterar en med frekvensen svagt ökande dämpning. Markanta dämpningar inträffar dock först över 5000 Hz vilka mätningar ej redovisats i våra tidigare primärdiagram.

Fjärrfältet. Excitering över pelare.

Diagram 6.23-6.26. Nivåerna i fjärrfältet är betydligt lägre vid excitering över pelare än vid excitering mellan pelarna. Skillnaden syns röra sig om ca 10 dB.

Det förefaller alltså som om, man önskar skydda sig för höga ljudnivåer på samma bjälklag, man bör montera störande maskiner över pelarna i stället för att lägga stödpunkterna mellan dessa. Möjligheten att förbättra den lokala isoleringen genom att punktmittansens skulle bli lägre över pelarna är begränsad såsom visats under avsnitt 5.

Även i detta fall är resonans- och antiresonanseffekterna markanta. En dynamik på 10 - 20 dB är typisk upp till 1000 Hz. Hur stark utjämning som kan erhållas vid medelvärdesbildning över flera mät-punkter har ej studerats, men kan när det gäller luftljudavstråling vara värdefullt att känna.

6.22 Lagerbyggnad. Transmission mellan bjälklagen.

Excitering mellan pelare.

Diagram 6.11-6.20.

Nivåerna på underliggande plan 2, vilket förenas via pelare är förbundet med det drivna planet, skiljer sig från nivåerna på det exciterade planet genom att dessa successivt sjunker med ökande frekvens. Fallet rör sig i det närmaste om 6 dB / fördubblad frekvens, och skulle dynamiskt kunna förklaras av en koncentrerad massa inkopplad mellan planen. "Nivåomfånget" rör sig dock om 20 dB och resonans-topparna ligger tätt.

Det successiva fallet i vibrationsnivå med frekvensen underlättar givetvis stomljudisoleringen mellan våningsplanen i t ex industribyggnader som innehåller störkällor med höga frekvenser. För luftljudgets del bör man dock ej glömma att för våningsplanet under bestäms luftljudnivån både av ljudavstrålningen från tak och golv. Normalt kommer alltså takets ljudbidrag att kraftigt dominera. En jämförelse mellan t ex diagrammen 6.8 (plan 3, pkt 20) och 6.17 (plan 2, pkt 20) visar nivåskillnader i "fjärrfältet" ungefär enl nedan

	f	125	250	500	1 K	Hz
pkt 20	plan 3 -	12	12	16	20	dB
	plan 2					
pkt 22	plan 3 -	11	17	20	24	dB
	plan 2					
	Medelvärde	12	15	18	22	dB

vilket innebär att om ett avstrålningskydd med reduktionstal enl tabellen ovan utnyttjas för taket kommer tak och golv på plan 2 att ge approximativt samma bidrag till luftljudget i plan 2 (Kan vara aktuellt vid rumsseparering med lätta, isolerade mellanväggar)

För "närfältet" finns endast material för jämförelse mellan punkterna 16 och 17 (diagram 6.1 resp 6.15).

	f	63	125	250	500	1 K	
ΔL :plan 3-plan 2		12	13	14	14	11	dB

Nivåskillnaden är här relativt konstant, oberoende av frekvensen. Nivån lokalt under drivpunkten ligger minst 10 dB högre än i fjärrfältet. Nivåsenkningskravet i närfältet är alltså extra starkt. Genom att golvnivån ligger minst 12 dB under taknivån måste även i detta fall insatsen först göras på taksidan om man skall reducera luftljudget.

För plan 1 är nivån ytterligare reducerad (Diagram 6.19 och 6.20). Mätbara värden har endast erhållits för frekvenser över 200 - 300 Hz. Man kan i området rakt under exciteringspunkten på plan 3 punkt 17 konstatera nivåer som ligger ytterligare ca 20 dB under den i plan 2. Att nivån på plan 1 är så relativt låg kan orsakas, dels av att plattjockleken här är 90 cm i stället för 28 cm i bjälklagen 2 och 3 samt att plattan ligger direkt på mark, varför dämpningen i form av utgående vågor och inre förluster blir kraftigare. Den senare effekten förefaller dock av diagram 6.20 att vara begränsad eftersom nivåomfånget mellan resonans- och antiresonanser rör sig om 10 - 15 dB. Inskränker man sig till att se vad den lägre admittansen enligt (5.4) ger för samma inmatad störfkraft skulle den lägre admittansen på plan 1 ge tillskott i nivåsenkning av storleksordningen:

$$\Delta L_Y = 20 \log \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{90}{28} \right)^2 = 20 \text{ dB}$$

Hur stor övergången från plan 2 till plan 1 därjämte borde ge kan ej skattas utan ytterligare kalkyler. Att nivån minst borde ligga 20 dB lägre på plan 1 i mellan- och högfrekvensområdet bör alltså kunna ha sin teoretiska förklaring.

Excitering över pelare

Diagram 6.21 - 6.34.

Resonans- och antiresonanseffekter får anses utpräglade i hela frekvensintervallet 60 - 1000 Hz. "Nivåomfånget" rör sig om 20 dB.

För plan 2, närmast under det exciterade planet lägger man märke till ett successivt fall med frekvensen för de punkter som relativt drivpunkten ligger horisontellt kraftigt förskjutna (pkt 11, 22). medan för de punkter som ligger närmast under drivpunkten (13,14,17) nivån tycks närma sig till ett konstant värde över ca 300 Hz. Reduktionen vid högre frekvenser för ökat avstånd till den "drivande pelaren" skulle kunna förklaras av att ljudtransporten genom pelarna från platta 2 underlättas ju högre frekvensen är genom större andel "longitudinalvågsenergi i pelare" / "böjvågsenergi i platta". Motsvarande tendens har återfunnits vid drivning på plan 1 (diagram 6.24-6.26). Såsom tänkbar förklaring angavs dock här att strukturen i drivpunkten närmast hade karaktären av

koncentrerad massa och att tröghetskrafterna från denna skulle reducera nivån med 6 dB vid dubbel ökning av drivfrekvensen. På plan 2 kan knappast denna förklaring tas till eftersom nivån i närfältspunkterna kring den drivna pelaren ej faller markant med ökande frekvens.

Med ledning av mätresultaten på plan 2 kan man misstänka att tidigare förklaring till nivåerna på drivplanet 3 ej är säkert underbyggd. En bidragande förklaring till nivåfallet vid högre frekvenser kan alltså även för plan 1 vara ökad avledning genom pelarna.

Nivådifferensen L mellan plan 3 och plan 2 vid drivning över pelare kan finnas skäl att se närmare på (diagram 6.23, 6.26 resp. 6.31, 6.32; punkterna 18 och 22).

L	$f=63$	125	250	500	1 K	Hz
$L 3/18^1)$	12	9	6	4	2-3	
$L 2/18$	8	1	- 4	- 4	- 5	
$L 3/2$	4	8	10	8	8	dB
$L 3/22$		8	0	- 7	- 3	
$L 2/22$		- 3	- 9	-14	-14	
$L 3/2$		11	9	7	11	dB
Medelvärde	4	10	10	8	10	dB
$L 3/2$						

Man kan konstatera att vid särskilt låga frekvenser (63 Hz) är nivådifferensen obetydlig. För högre frekvenser närmar sig differensen till värdet 10 dB och ökar alltså ej med frekvensen, vilket var fallet då drivningen ägde rum mellan pelarna. Det är med andra ord lättare att fortplanta höga frekvenser till andra bjälklagsplan om excitering sker över pelare. Detta svarar mot att en större del av svängningsenergin söker sig ner i pelarna än ut till den bjälklagsplatta där drivningen sker. Är de höga frekvenserna kritiska får man alltså om man har valmöjlighet bestämma sig för vilket plan man vill "skydda" mest. Gäller det att klara luftljudsnivån i ett våningsplan direkt under det aktuella störplanet för rumsenheter som ligger något åt sidan är det givet att placering över pelare väljs eftersom det direktdrivna planet har den absolut sett högsta nivån. För det understa planet finner man att nivån vid drivning över pelare är 5 - 8 dB högre än vid drivning mellan pelare på översta planet.

1) Det förkortade skrivsättet $L 3/18$ avser här differensen mellan punkt 3 och punkt 18.

Sammanfattning: Ljudutbredningen mellan planen i samma byggnad är underkastade stora fluktuationer i frekvensområdet under 1000 Hz beroende på det begränsade antalet egenmoder i aktuella strukturelement.

Medelvärdesmässigt sjunker nivån vid övergång från plan 3 till plan 2 obetydligt för frekvenser under 63 Hz, men ligger vid drivning över pelare från 125 Hz och uppåt ca 10 dB lägre på plan 2 än plan 3. Vid drivning mellan pelare försvåras transmissionen till plan 2 med ökande frekvens. Differensen mellan plan 2 och 3 i motsvarande punkter utgör i detta fall omkring 20 dB vid 1000 Hz.

Med hänsyn till de luftljudsnivåer som uppbygges i ett våningsplan under en stomljudsexciterad platta är det vid förbättring av miljön rimligt att tänka sig ett avstrålningsskydd av direkt exciterad bjälklagsplatta. Avstrålningen från denna platta blir då med gängse utformning av ungefär samma storlek som från golvet i våningsplanet under. På plan 1, 90 cm tjock grundläggningsplatta, ligger nivån ytterligare 20 dB lägre än på plan 2, i det frekvensområde som kunnat analyseras. En sådan platta kan därför vid de flesta tillämpningar antas ge helt försumbara luftljudbidrag, och är också, med hänsyn till reciprociteten i ljudutbredningen, en överlägsen ort för placering av tunga vibrerande maskiner.

Kraftexcitering (maskinfotsplacering) över pelare i stället för mellan dessa reducerar vibrationsnivån på den drivna bjälklagsplattan med ca 10 dB men ökar i stället problemen, framförallt vid högre frekvenser, på över och underliggande bjälklagsplattor.

6.23 Bostadsbyggnad. Transmission från 15 och 20 cm betongbjälklag
Diagram 6.38 - 6.47, 6.56 - 6.67.

Samtliga följande diskuterade resultat har baserats på brusexcitering varför verkan av singelresonanser ej kan tas med. Se i övrigt pkt 6.13.

Betraktas ett typiskt diagram över överföringsadmittansen L_Y , t ex diagram 6.43, som visar vibrationsöverföringen till en vertikal lägenhetsskiljande betongvägg för våningsplanen 3 - 6 vid drivning på 15 cm betonggolvet i plan 7 finner man en överföring som snabbt sjunker med frekvensen upp till en karakteristisk frekvens f' som därefter är relativt frekvensoberoende.

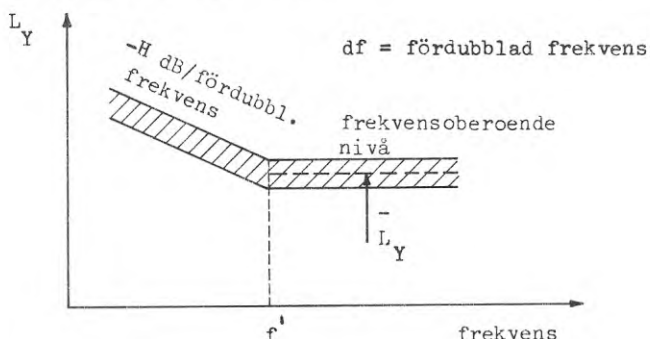


FIG 6.1 Schablonkurva för överföringsadmittans

Fallet vid låga frekvenser, H dB / dubblad frekvens, varierar från drivpunkt till drivpunkt liksom f' . Värdet av L_Y varierar med mottagarpunktens läge. För t ex drivpunkt 03, på 15 cm betongbjälklag i hissrum och alldeles ovanför och intill en undertill anslutande vägg finner man att för samtliga väggar och bjälklag inuti fastigheten gäller approx. $H = -12$ dB/df, för fasadväggen -6 dB/df.

	H	f'
interna väggar och bjälklag	-12 dB	125 - 250 Hz
fasadvägg	-6 dB	≥ 2000 Hz

I andra fall då drivning skett mitt på en betongplatta, pkt 05, diagram 6.56 och 6.58 är lågfrekvensreduktionen även för interna väggar och golv långsammare och man finner $H \approx 6$ dB/df. I det studerade frekvensområdet återfinns man därvid ofta ingen plattå \bar{L}_Y .

Hur nivån faller vertikalt genom våningsplanen får man en uppfattning om genom jämförande studium av frekvenskurvorna på samma diagramblad.

För t ex drivpunkt 03 i hissrum är nivåfallet ofta 2-3 dB/våningsplan, vilket motsvarar en reduktion av \bar{L}_y i FIG. med detta belopp. Värdet 4 - 6 dB / våning är vanligt för andra drivpunkter, jämför t ex drivning på plan 7, pkt 05. Se vidare kapitel 8.

Transmissionskurvorna är trots brusexcitering relativt "taggiga" varför man kan misstänka markanta resonans- och antiresonanseffekter åtminstone upp till 1000 Hz. Admittanskurvorna kan dock grovt approximeras med band med en nivåhöjd av ca 10 dB, vilket ger en uppfattning om den prognosnoggrannhet som kan påräknas.

6.24 Bostadsbyggnad. Transmission från flytande golv i fläktrum
Diagram 6.48 - 6.55.

Admittansnivån sjunker i medeltal med 6 - 7 dB per fördubblad frekvens i intervallet 31,5 - 2000 Hz.

Nivåfallet från våningsplan till våningsplan under det flytande golvet är ej entydigt. Det förekommer linjer längs vilka fallet är ca 5 dB / våningsplan men tendensen kan brytas.

Man kan notera några besvärande resonansgenombrott i lågfrekvensbanden vilka anges i tabellen nedan:

TAB. 6.10 Exempel på resonansgenombrott från flytande golv vilka underlättar transmissionen

medelfrekvens [Hz]	delyta	diagram
50	32	6.48
31,5 50	46	6.49
25, 80	54	6.50
100	43	6.53

Det finns alltså orsak att kvantitativt kontrollera stomljuds-
transmissionen även relativt högt upp i frekvens om man har arrangerat ett flytande golv för maskininstallationer.

En direkt jämförelse mellan excitering på rent 15 cm btg-bjälklag, drivpunkt 05, och excitering på flytande golv kan man få genom att studera vibrationsnivåerna i vägg 43, som ligger mitt mellan de båda bjälklagsytorna 04 och 05. I diagram 6.55 är jämförelsen gjord. Man konstaterar i våningsplanet närmast under det drivna planet, plan 6 en tydlig förbättring av högfrekvensdämpningen från 200 - 2000 Hz med flytande golv. Förbättringen rör sig om 10 - 15 dB. Även i planet under detta, plan 5, har man i högfrekvensområdet ett resultat av 8 - 10 dB. För våningsplan som ligger längre ner i byggnaden faller nivåerna dock samman. Någon enkel förklaring härtill saknas.

Av diagram 6.54 framgår, att för väggar som ligger förskjutna en rumsenhet åt sidan räknat från ett drivet bjälklag blir nivån från ett rent bjälklag ungefär jämförbar med nivån från ett flytande golvarrangemang som ligger omedelbart över.

Liksom vid alla mätningar på flytande golv måste man vara försiktig med att dra generella slutsatser eftersom resultatet så starkt kan bero på okända ljudbryggor vilka ej är möjliga att fastlägga. För säker kunskap om ljudtransmissionen från flytande golv fordras säkert mätningar på 10 - 20 enheter vars tillstånd är väl känt. De visade resultaten från diagram 6.48 - 6.55 får tas som stickprov ur en större kollektion.

6.25 Bostadsbyggnad. Transmission från 7 cm lättbetongvägg

Diagram 6.69 - 6.75.

Något enkelt mönster för transmissionen saknas. En långsam reduktion av hastighetsnivån med frekvensen säg 3 - 6 dB / fördubblad frekvens kan skönjas. Mycket kraftiga resonans- och antiresonansfenomen observeras dock framförallt under 300 - 400 Hz. Mellan resonansstopparna och antiresonansbottnarna finner man nivåskillnader på upp till 20 dB. En korrekt prognos för transmissionen av en punktkraft torde därför ej gå att få fram ur materialet mer än för just det studerade fallet.

En jämförelse av överföringen mellan drivning på lägenhetsskiljande tung betongvägg och på lättbetongvägg har gjorts i diagram 6.68 för den lägenhetsskiljande väggen 43 mellan våning 2 och 3. Man finner ingen nämnvärd skillnad i transmission. Kraften överförs ungefär lika bra. Vid lättbetongväggen torde den goda överföringen bero på att för given inkraft utbildas betydligt större nivå på lättbetongväggen än på betongväggen och detta motverkar den sämre transmissionen i fogen mellan lättbetong och betong.

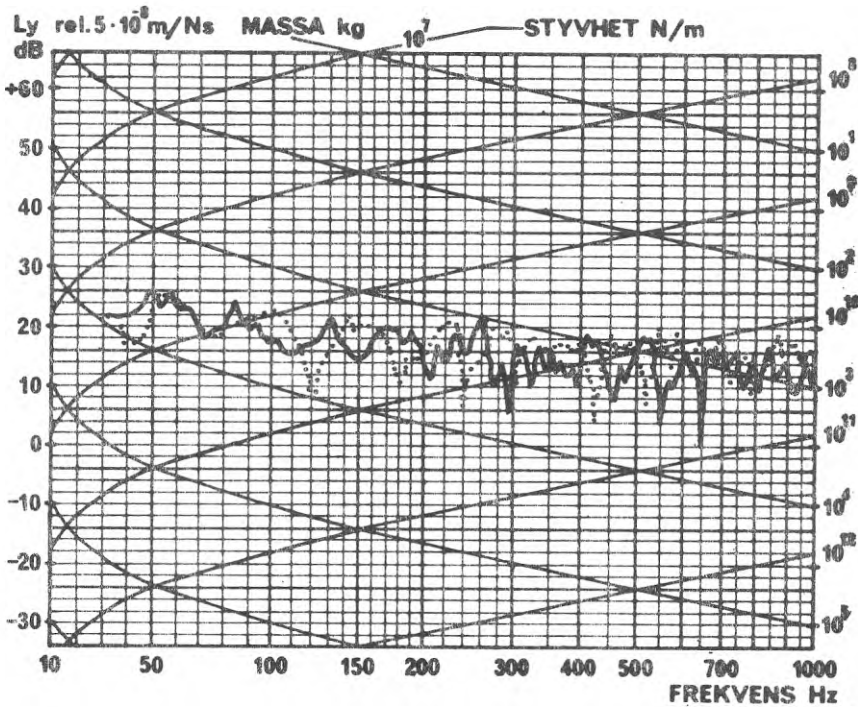


Diagram: 6.1

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton
Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 01 centralt mellan 4 pelare Figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " "

Byggnad: Kv. Primus, Lilla Essingen

L(Y _{ij})	i	j	L(Y _{ij})	i	j
våning	3	3	våning	3	3
delyta	01	01	delyta	01	01
punkt	01	15	punkt	01	16
riktn.	+3	+3	riktn.	+3	+3

(Betr. symbolsystem se 5.0)

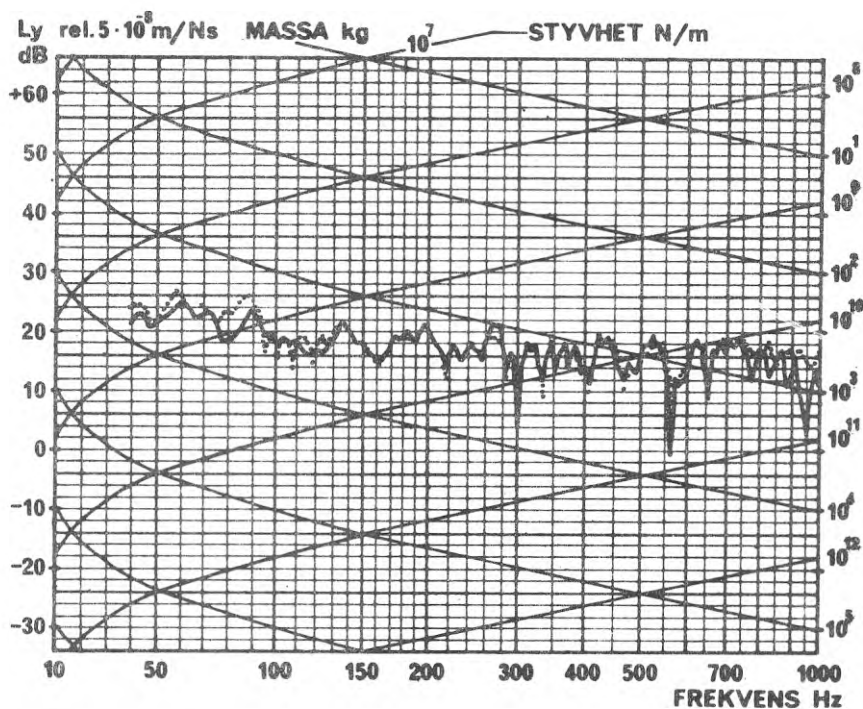


Diagram: 6.3

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 11,3mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 200 g

Drivpunkt: pkt 01 centralt mellan Figur 4.1-4.3
4 pelare. Excitering 2

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida

Byggnad: Kv. Primus, Lilla Essingen

L(Y _{ij})	i	j	L(Y _{ij})	i	j
våning	3	3	våning	3	3
delyta	01	01	delyta	01	01
punkt	01	15	punkt	01	15
riktn.	+3	-3	riktn.	+3	+3

Anm. Två vibratormontage

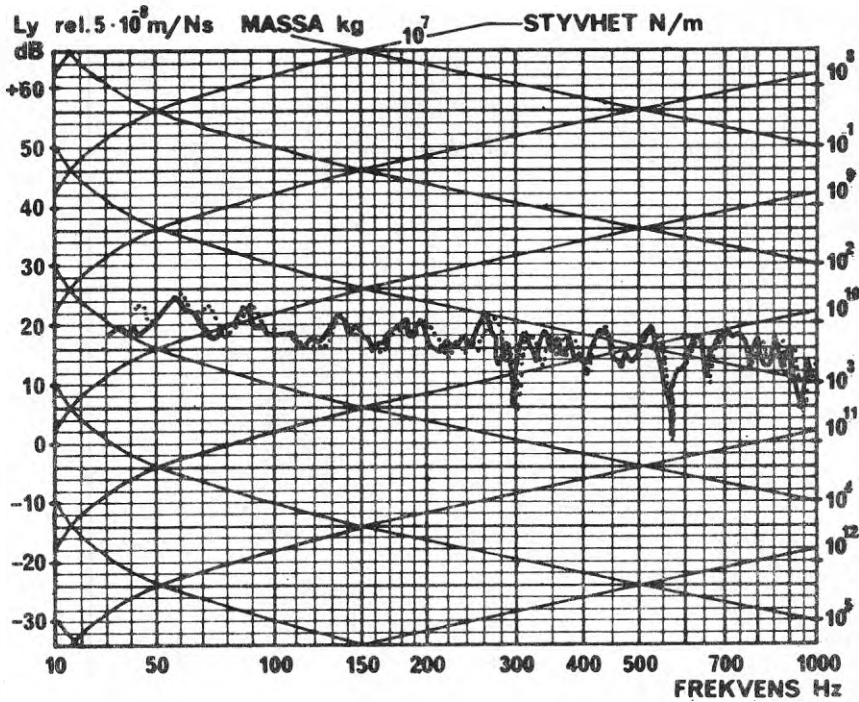


Diagram: 6.4

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 60,11,3 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare : 600,200 g

Drivpunkt: pkt 01 centralt mellan Figur 4.1-4.3
4 pelare. Excitering 2 o. 3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " "

Byggnad: Kv. Primus, Lilla Essingen

L(Y _i j)	i	j
våning	3	3
delyta	01	01
punkt	01	15
riktn.	+3	-3

———— Excitering 2, 60 mm drivbricka
 Excitering 3, 11,3 mm -"-

Jämförelse mellan excitering 2 o.3 vid två vibratormontage.

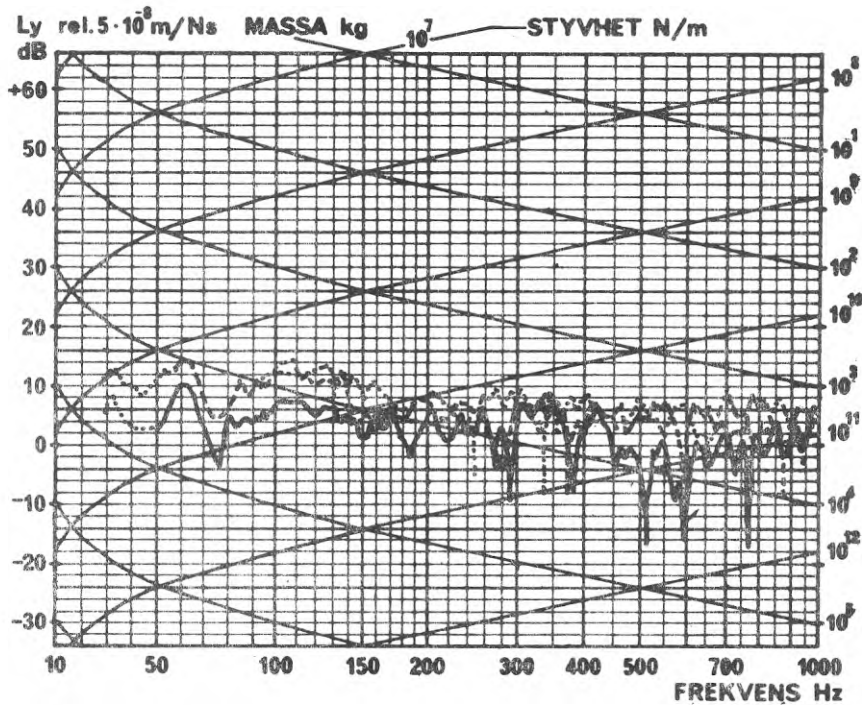


Diagram: 6.5

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 60 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 600 g

Drivpunkt: pkt 01 centralt mellan 4 pelare Figur 4.1-4,3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida

Byggnad: Kv. Primus, Lilla Essingen

L(Y _{i,j})	i	j	i	j	i	j
våning	3	3	3	3	3	3
delyta	01	02	01	02	01	02
punkt	01	02	01	04	01	05
riktn.	+3	+3	+3	+3	+3	+3

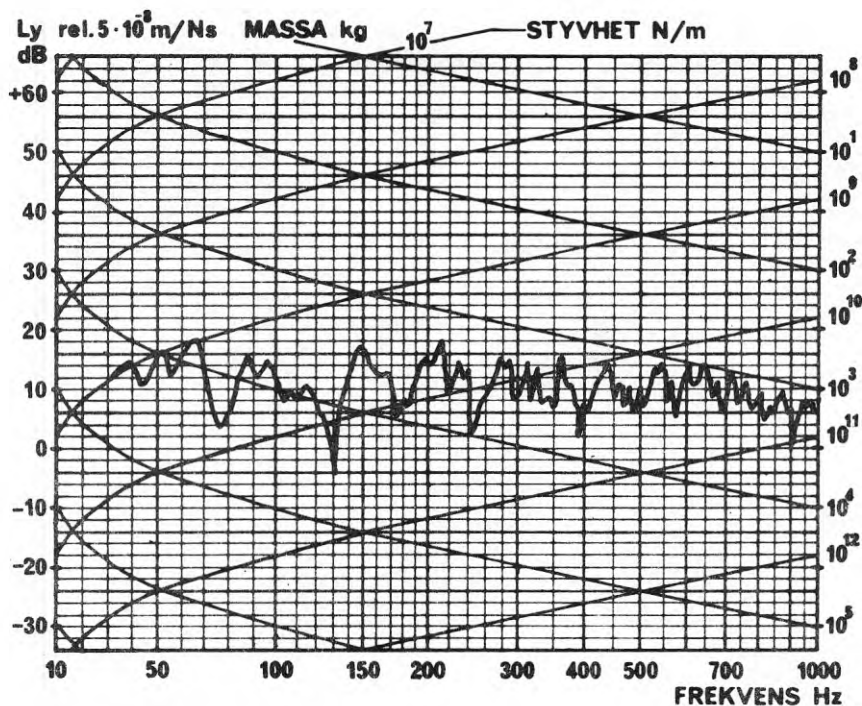


Diagram: 6.8

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 01 centralt mellan Figur 4.1-4.3

4 pelare

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " "

Byggnad: Kv. Primus , Lilla Essingen

L(Y _{ij})	i	j
våning	3	3
delyta	01	01
punkt	01	20
riktn.	+3	+3

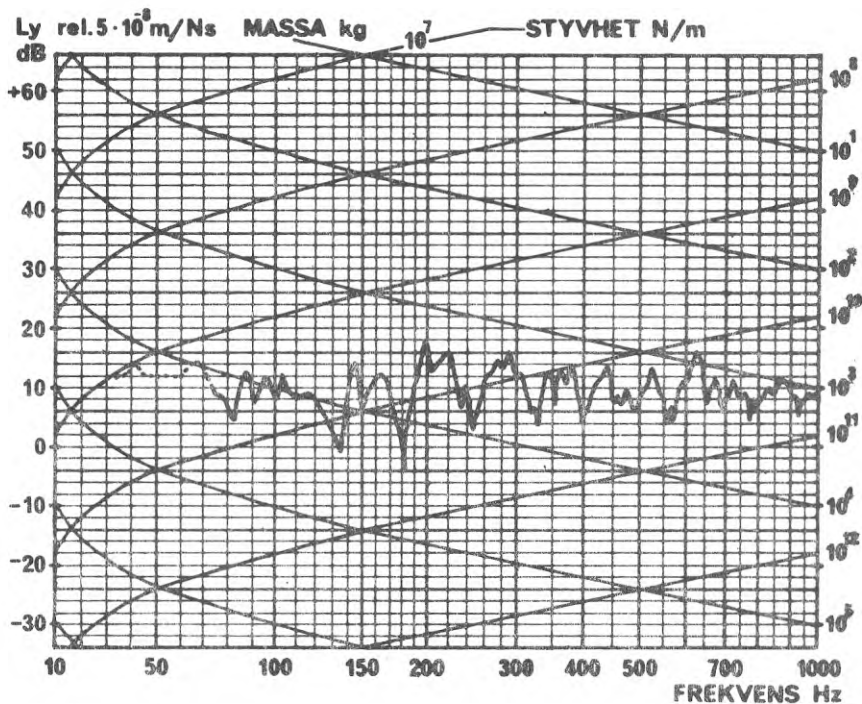


Diagram: 6.9

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 01 centralt mellan 4 pelare Figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samra sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida

Byggnad: Kv. Primus , Lilla Essingen

L(Y _{ij})	i	j
våning	3	3
delyta	01	01
punkt	01	02
riktn.	+3	+3

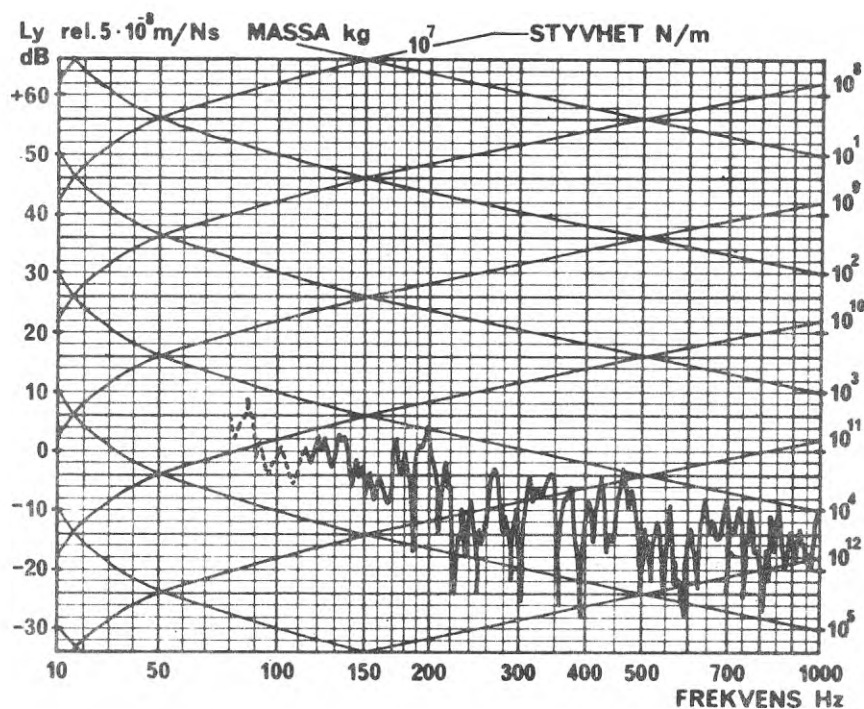


Diagram: 6.11

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 01 centralt mellan 4 pelare Figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " " " "
 ett plan ned, plan 2

Byggnad: Kv. Primus , Lilla Essingen

L(Y _{i,j})	i	j
våning	3	2
delyta	01	01
punkt	01	11
riktn.	+3	+3

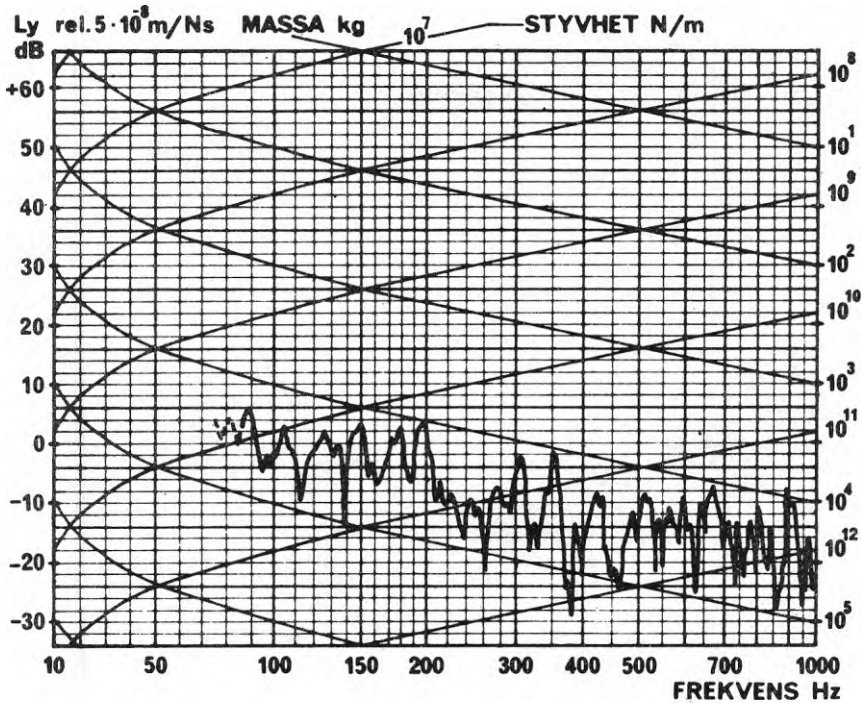


Diagram: 6.12

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 01 centralt mellan 4 pelare Figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida ett plan ned, plan 2

Byggnad: Kv. Primus, Lilla Essingen

L(Y _{ij})	i	j
våning	3	2
delyta	01	01
punkt	01	12
riktn.	+3	+3

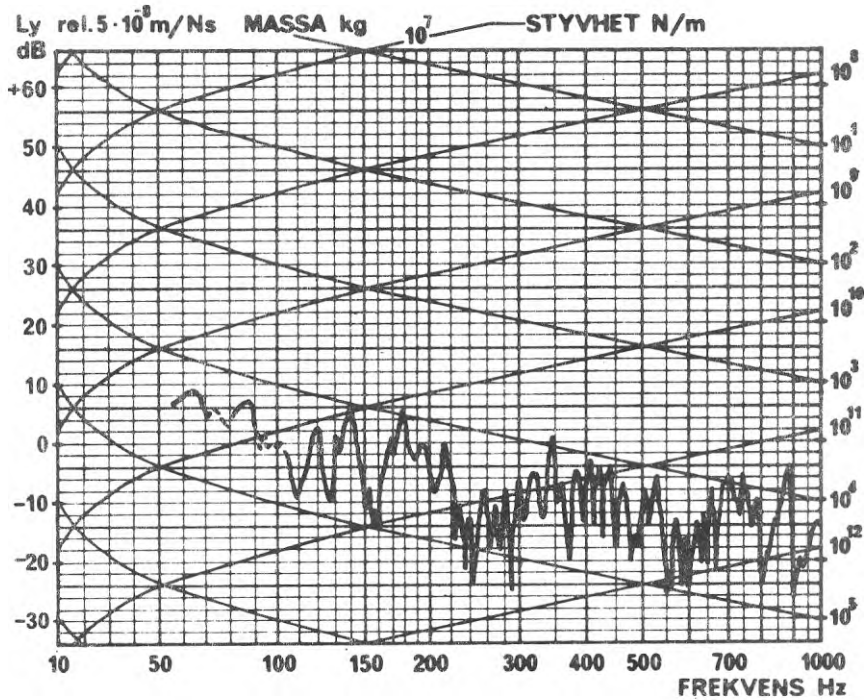


Diagram: 6.13

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 01 centralt mellan Figur 4.1-4.3
4 pelare

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " " " " " "
 ett plan ned, plan 2

Byggnad: Kv. Primus , Lilla Essingen

I(Y _{i,j})	i	j
våning	3	2
delyta	01	01
punkt	01	13
riktn.	+3	+3

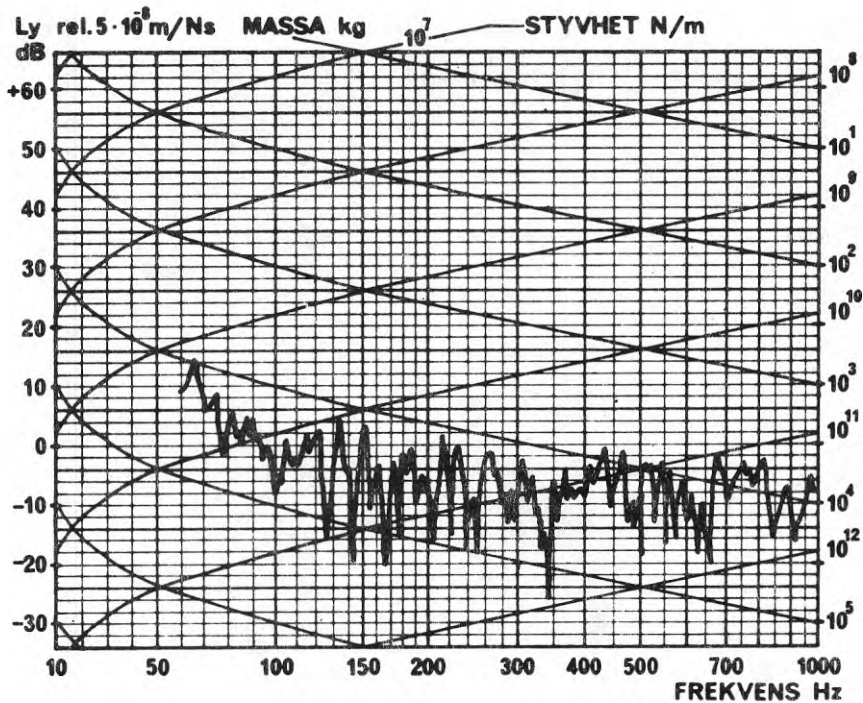


Diagram: 6.14

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton
 Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 01 centralt mellan 4 pelare Figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " " " "
 ett plan ned, plan 2

Byggnad: Kv. Primus , Lilla Essingen

L(Y _{ij})	i	j
våning	3	2
delvta	01	03
nunkt	01	14
riktn.	+3	+3

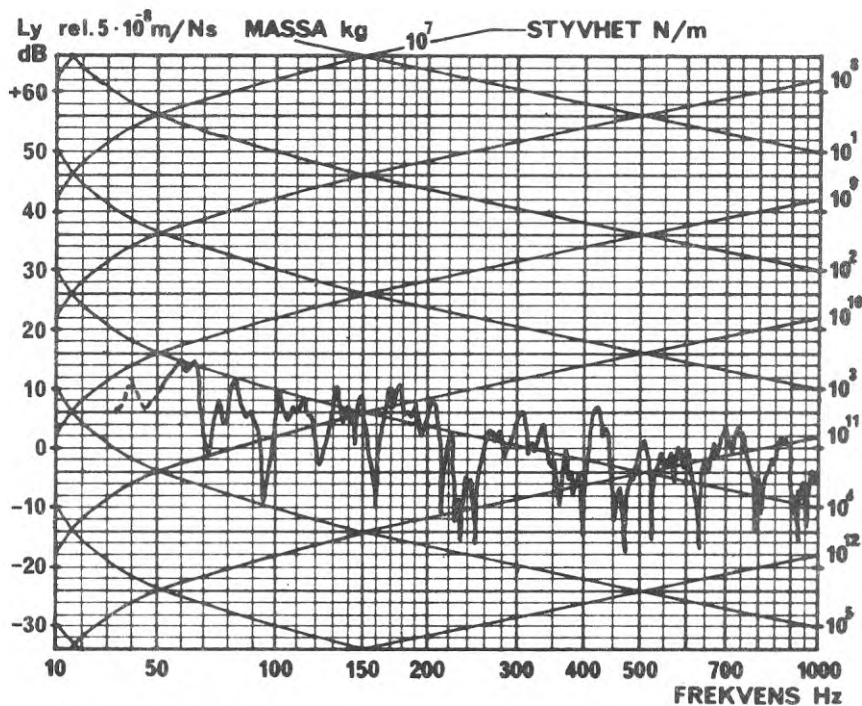


Diagram: 6.15

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton
Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 01 centralt mellan 4 pelare **Figur 4.1-4.3**

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " " ett plan ned, plan 2

Byggnad: Kv. Primus , Lilla Essingen

L(Y _{ij})	i	j
våning	3	2
delyta	01	03
punkt	01	17
riktn.	+3	+3

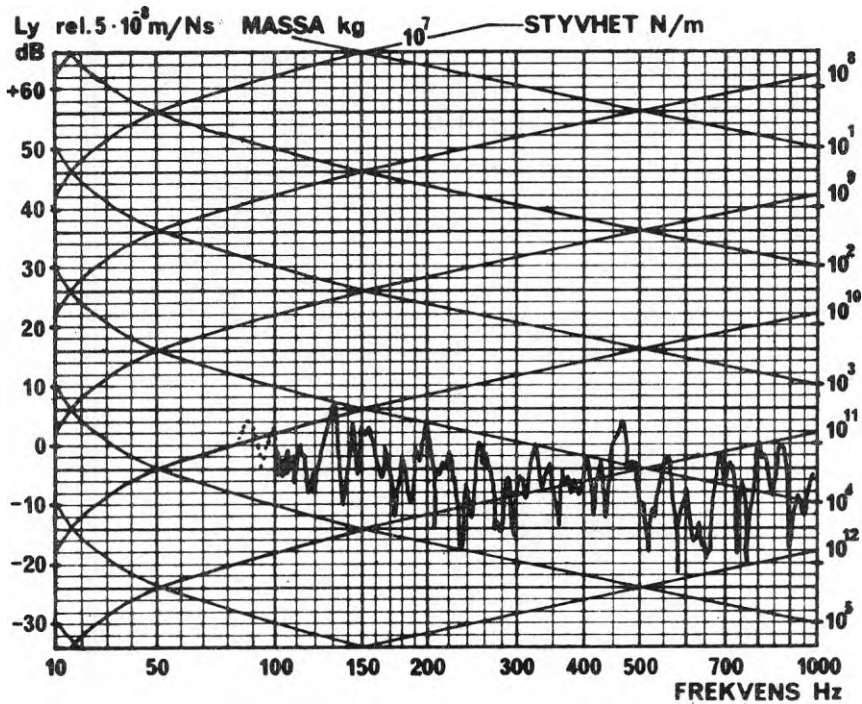


Diagram: 6.16

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 01 centralt mellan 4 pelare Figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " " " "
 ett plan ned, plan 2

Byggnad: Kv. Primus , Lilla Essingen

L(Y _{ij})	i	j
våning	3	2
delyta	01	03
punkt	01	18
riktn.	+3	+3

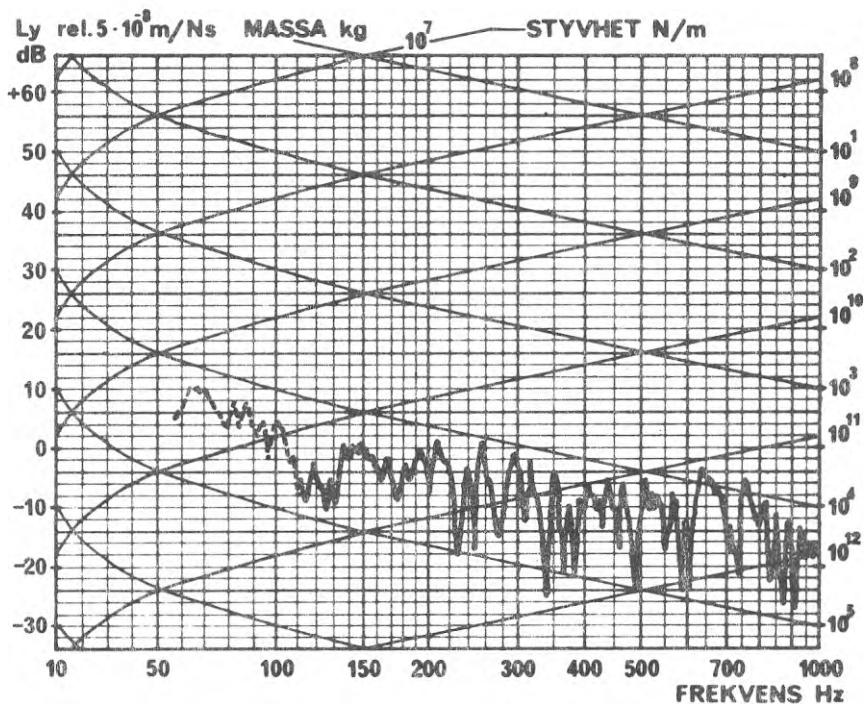


Diagram: 6.17

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton
Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 01 centralt mellan Figur 4.1-4.3
4 pelare

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " " " "
 ett plan ned, plan 2

Byggnad: Kv. Primus , Lilla Essingen

L(Y _{i,j})	i	j
våning	3	2
delyta	01	03
punkt	01	20
riktn.	+3	+3

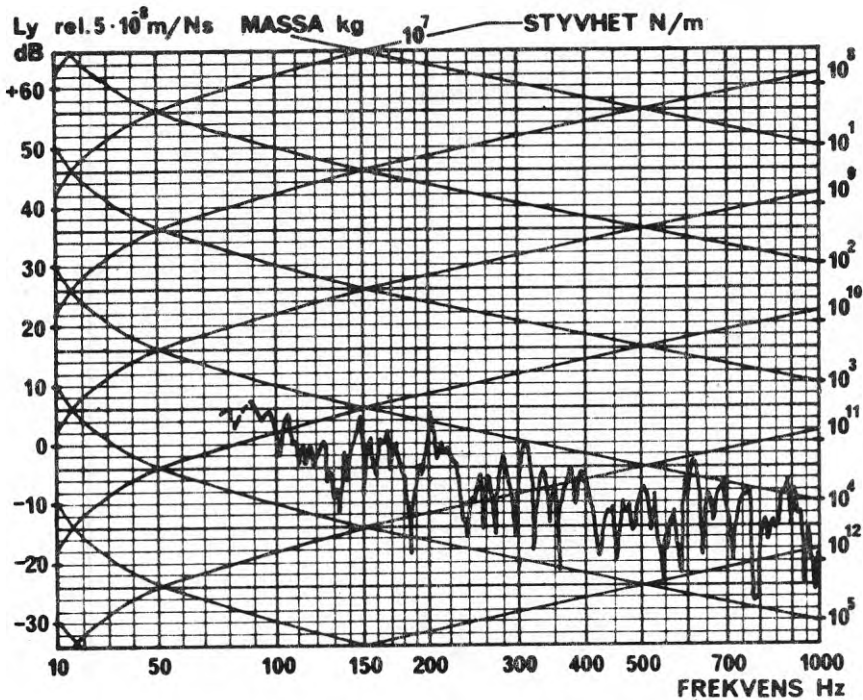


Diagram: 6.18

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 01 centralt mellan 4 pelare Figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida
ett plan ned, plan 2

Byggnad: Kv. Primus, Lilla Essingen

L(Y _{i,j})	i	j
våning	3	2
delyta	01	01
punkt	01	22
riktn.	+3	+3

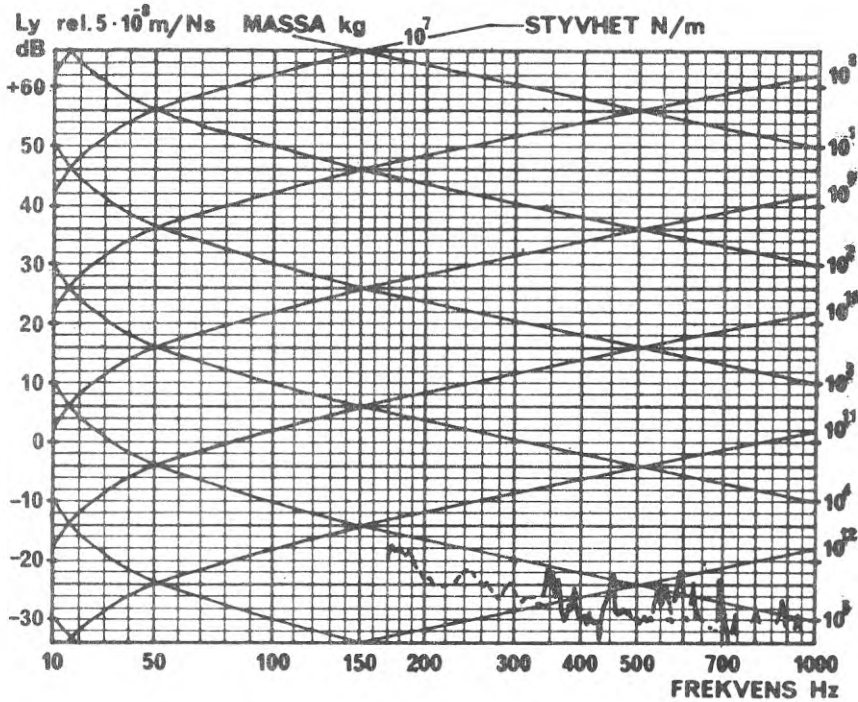


Diagram: 6.19

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton
Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 01 centralt mellan 4 pelare Figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " " " "
 två plan ned, plan 1

Byggnad: Kv. Primus, Lilla Essingen

$I_i(Y_{ij})$	i	j
våning	3	1
delyta	01	04
punkt	01	13
riktn.	+3	+3

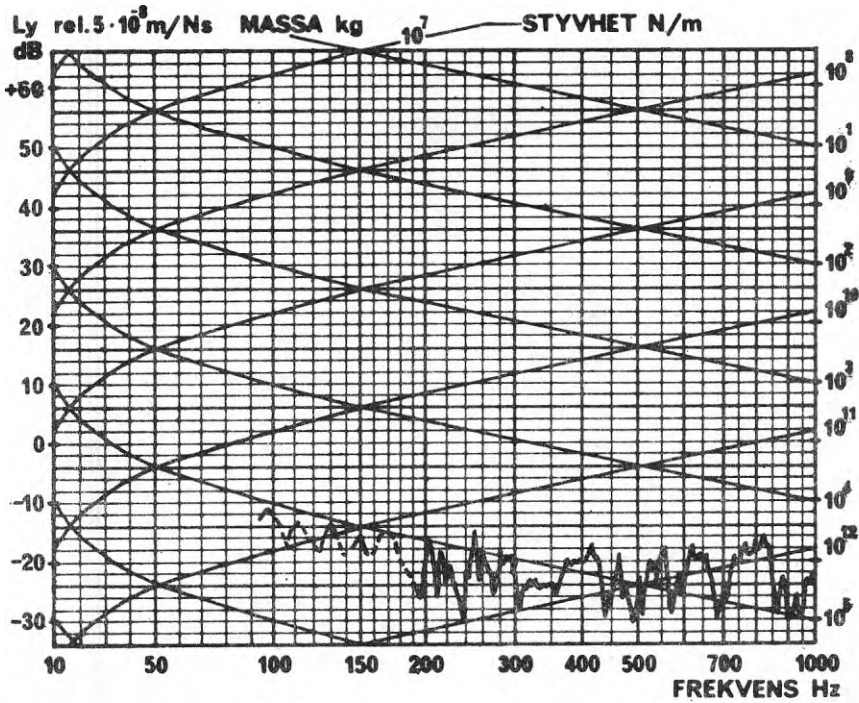


Diagram: 6.20

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton
Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 01 centralt mellan Figur 4.1-4.3
4 pelare

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida
 två plan ned, plan 1

Byggnad: Kv. Primus, Lilla Essingen

L(Y _{ij})	i	j
våning	3	1
delyta	01	04
punkt	01	17
riktn.	+3	+3

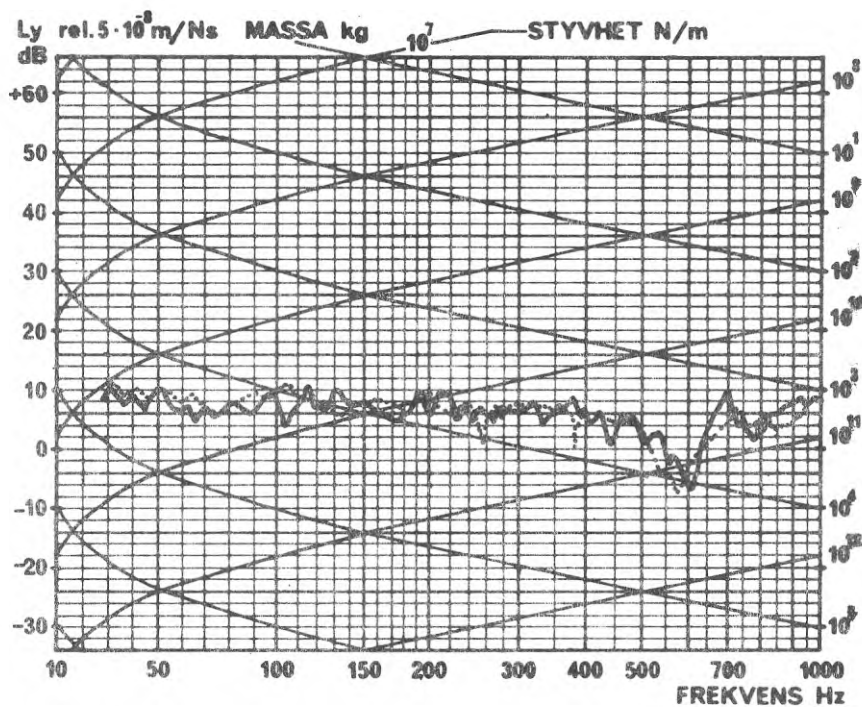


Diagram: 6.21

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 02 över pelare Figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida

Byggnad: Kv. Primus, Lilla Essingen

L(Y _{i,j})	i	j	L(Y _{i,j})	i	j
våning	3	3	våning	3	3
delyta	02	02	delyta	02	02
punkt	02	24	punkt	02	25
riktn.	+3	+3	riktn.	+3	+3

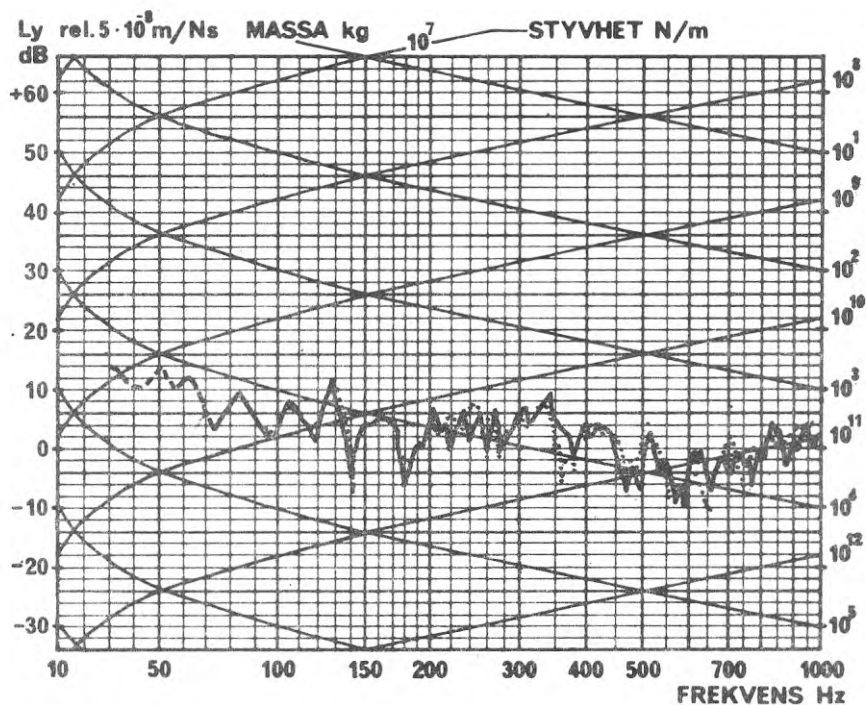


Diagram: 6.23

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton

Diameter på drivbrickan: 40 mm

Material i drivbrickan stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 02 över pelare Figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " " "

Byggnad: Kv. Primus, Lilla Essingen

L(Y _{i,j})	i	j	L(Y _{i,j})	i	j
våning	3	3	våning	3	3
delyta	02	01	delyta	02	01
punkt	02	18	punkt	02	18
riktn.	+3	+3	riktn.	+3	-3

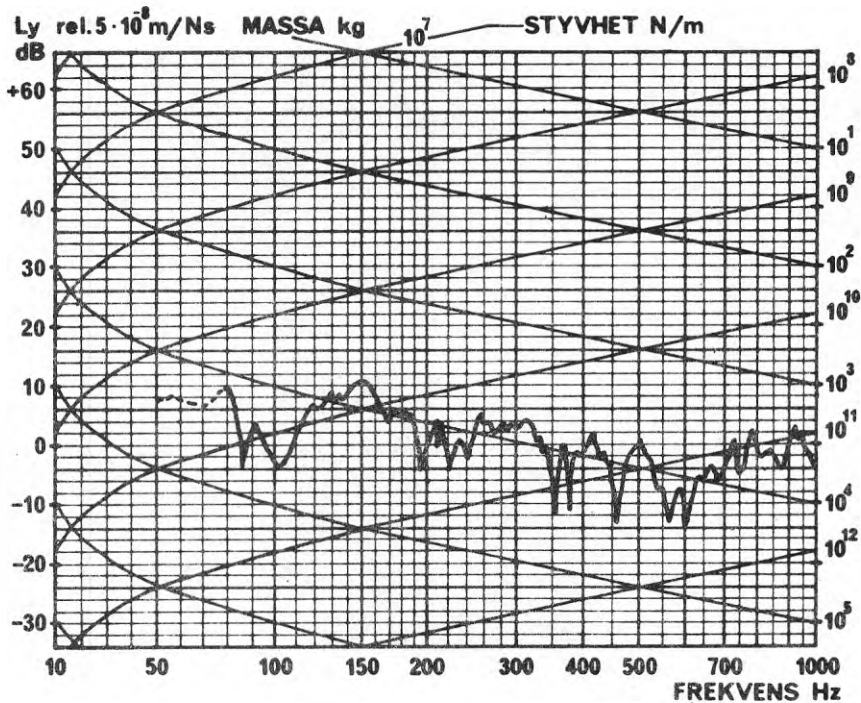


Diagram: 6.24

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 02 över pelare Figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " "

Byggnad: Kv. Primus , Lilla Essingen

L(Y _{ij})	i	j
våning	3	3
delyta	02	01
punkt	02	19
riktn.	+3	+3

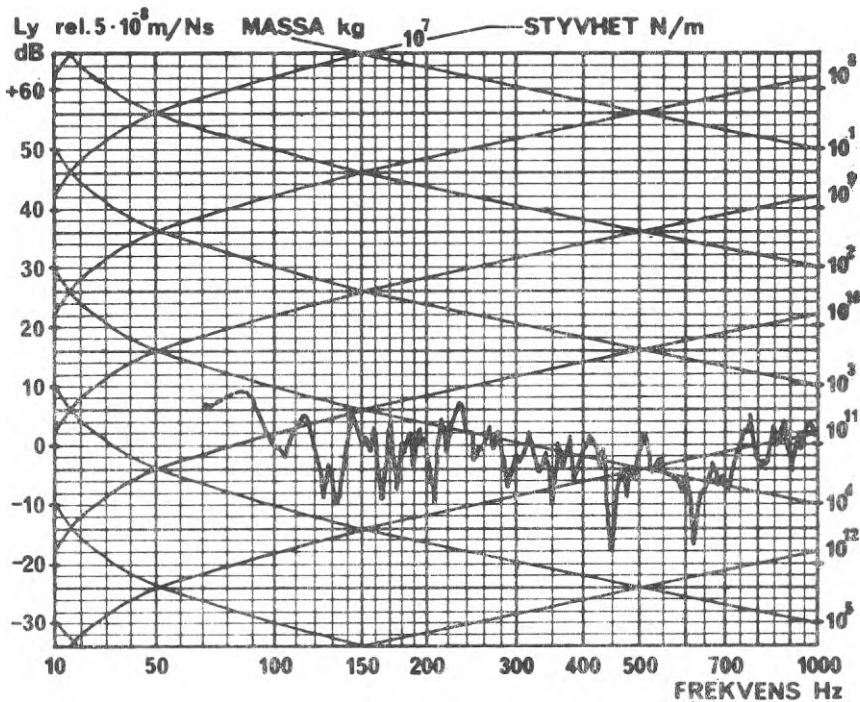


Diagram: 6.25

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 02 över pelare Figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida

Byggnad: Kv. Primus , Lilla Essingen

L(Y _{i,j})	i	j
våning	3	3
delyta	02	01
punkt	02	20
riktn.	+3	+3

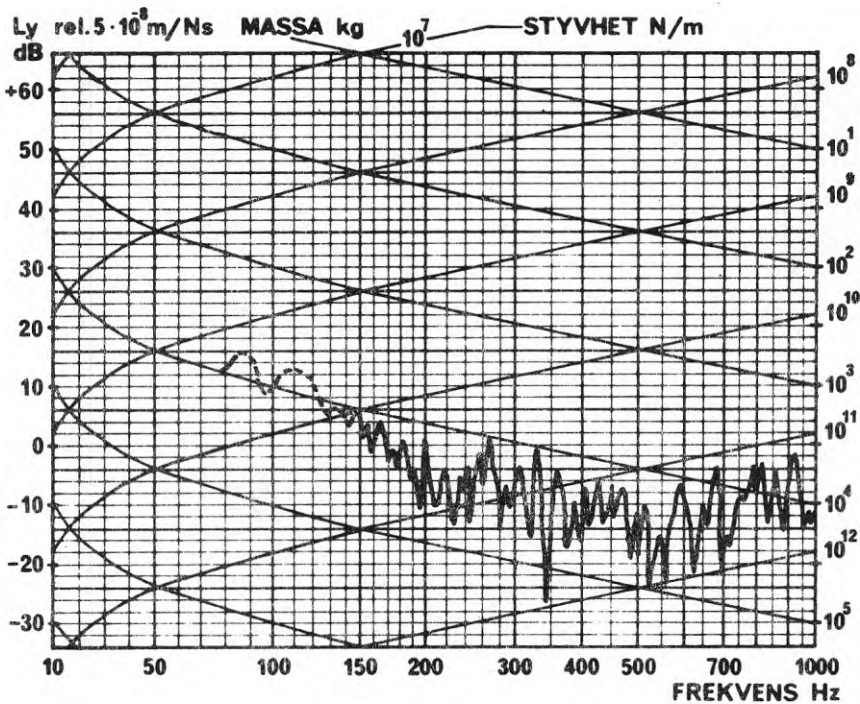


Diagram: 6.26

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 02 över pelare Figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida

Byggnad: Kv. Primus , Lilla Essingen

L(Y _{i,j})	i	j
våning	3	3
delyta	02	01
punkt	02	22
riktn.	+3	+3

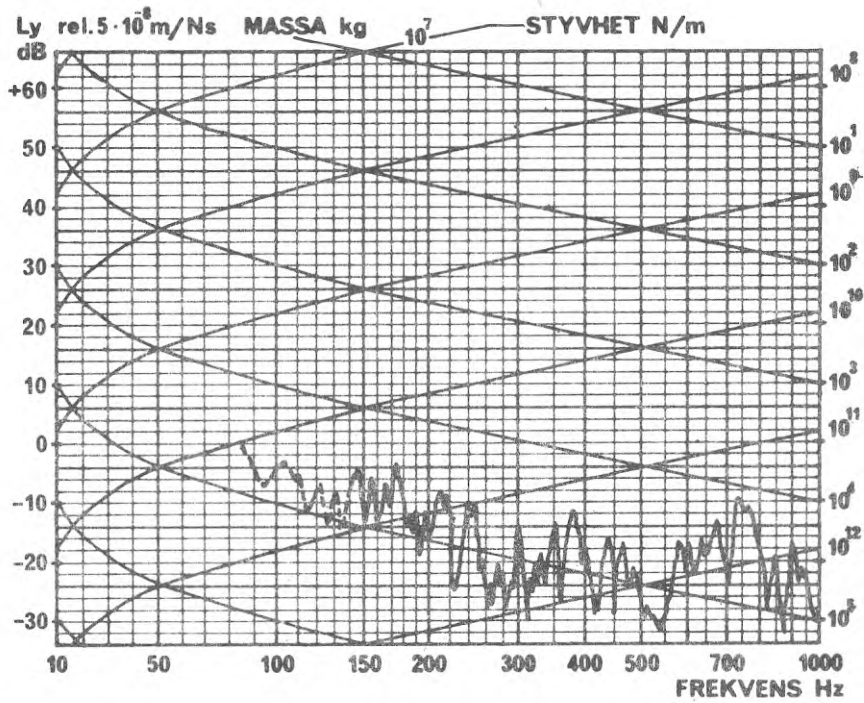


Diagram: 6.27

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton
Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 02 över pelare Figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " " " "
 ett plan ned, plan 2

Byggnad: Kv. Primus , Lilla Essingen

L(Y _{i,j})	i	j
våning	3	2
delyta	02	03
punkt	02	11
riktn.	+3	+3

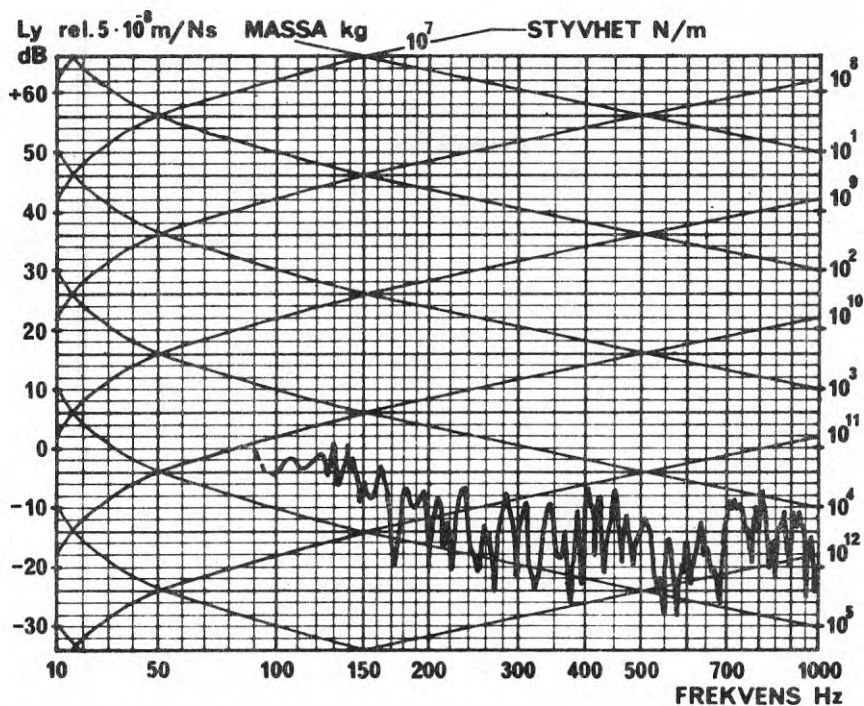


Diagram: 6.28

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton
Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 02 över pelare Figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida
ett plan ned, plan 2

Byggnad: Kv. Primus, Lilla Essingen

L(Y _{ij})	i	j
våning	3	2
delyta	02	03
punkt	02	13
riktn.	+3	+3

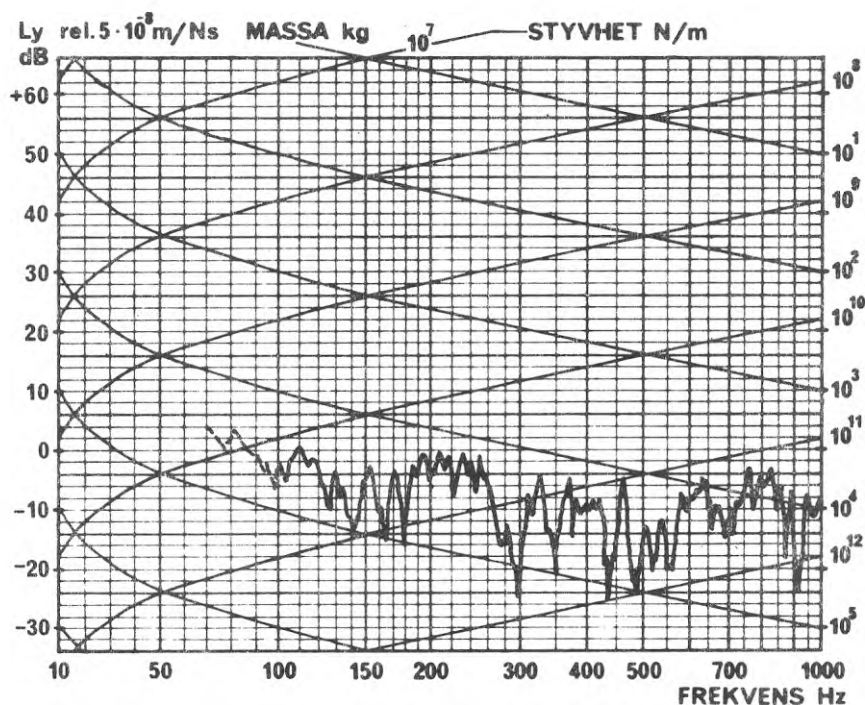


Diagram: 6.29

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton
Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 02 över pelare Figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida
ett plan ned, plan 2

Byggnad: Kv. Primus, Lilla Essingen

L(Y _i j)	i	j
våning	3	2
delyta	02	03
punkt	02	14
riktn.	+3	+3

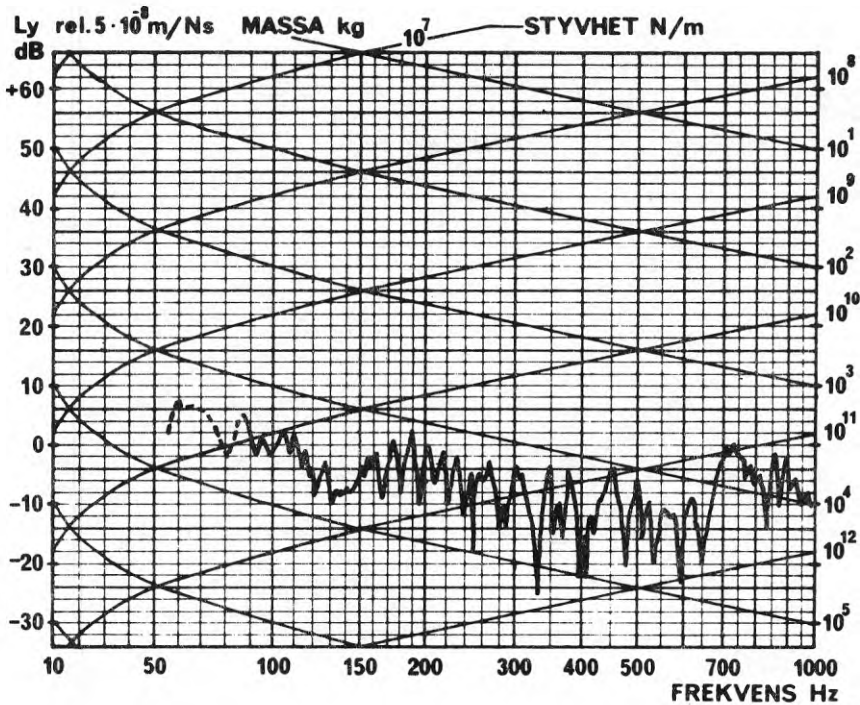


Diagram: 6.30

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton

Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 02 över pelare Figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " " " " " "
 ett plan ned, plan 2

Byggnad: Kv. Primus Lilla Essingen

L(Yi,j)	i	j
våning	3	2
delyta	02	03
punkt	02	17
riktn.	+3	+3

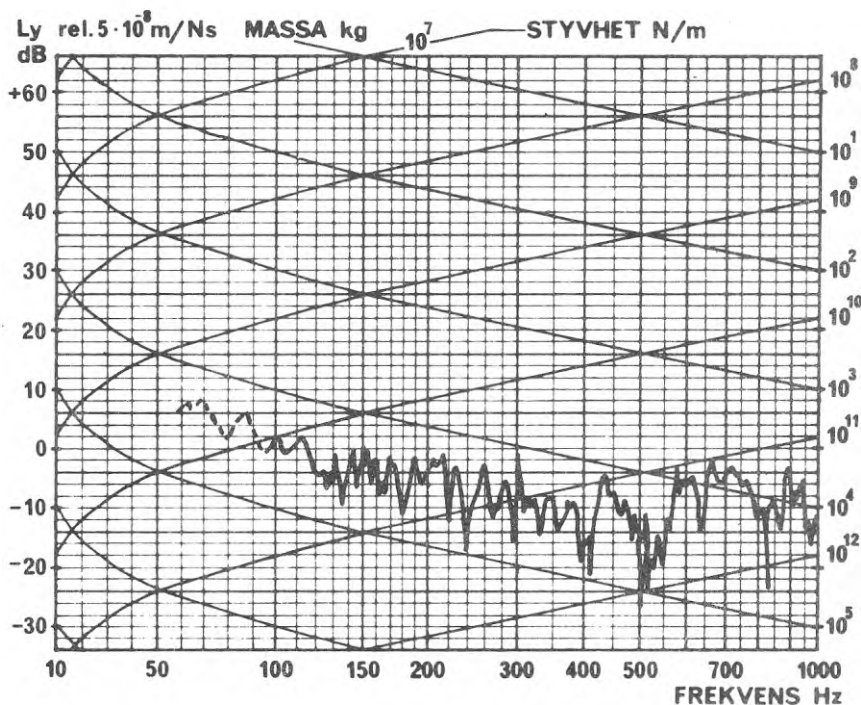


Diagram: 6.31

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton
Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 02 över pelare Figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " " " " " "
 ett plan ned, plan 2

Byggnad: Kv. Primus, Lilla Essingen

L(Yij)	i	j
våning	3	2
delyta	02	03
punkt	02	18
riktn.	+3	+3

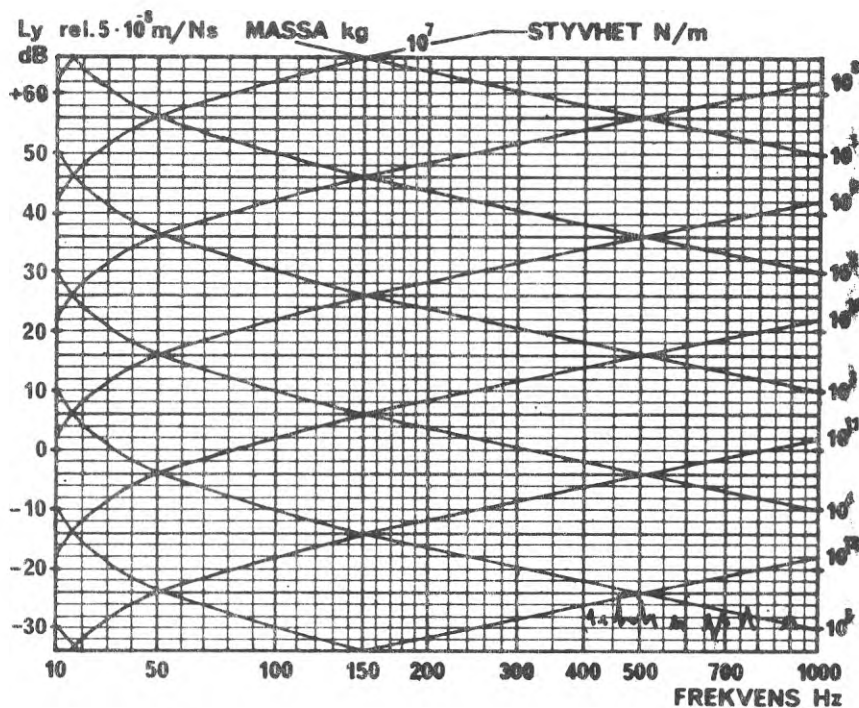


Diagram: 6.33

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton
Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 02 över pelare Figur 4.1-4.3

Bjälklag (vägg): 28 cm betong, plan 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida " " " "
 två plan ned, plan 1

Byggnad: Kv. Primus, Lilla Essingen

L(Y _{i,j})	i	j
våning	3	1
delyta	02	04
punkt	02	13
riktn.	+3	+3

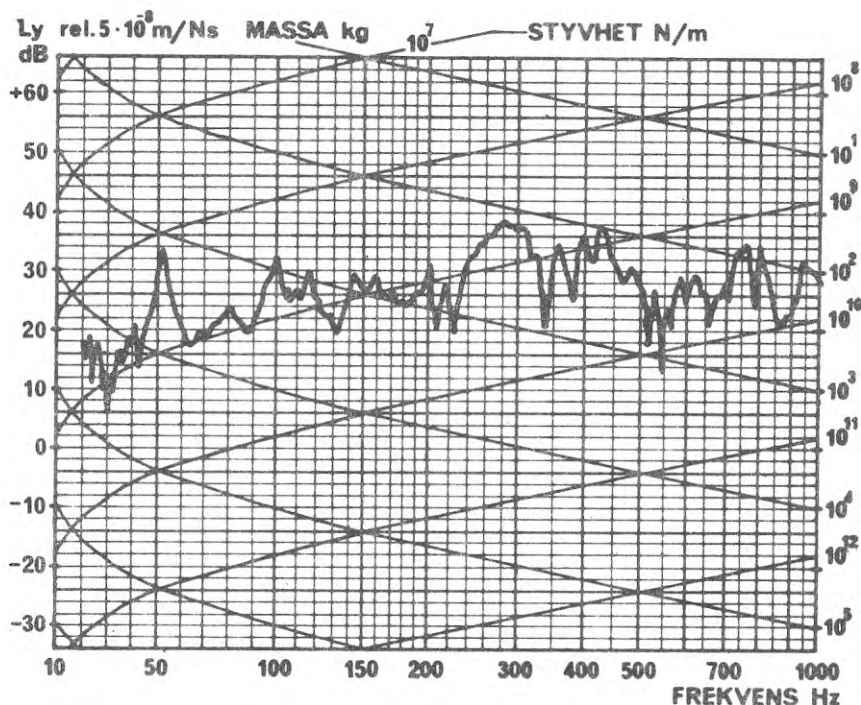


Diagram: 6.35

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton
Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 01 vertikalt Figur 4.4-4.6

Bjälklag (vägg): hissrum, mätpunkt 1

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida

Byggnad: Kv. Linjalen

$L(Y_{ij})$	i	j
våning	7	7
delyta	01	03
nunkt.	01	1
riktn.	+3	+3

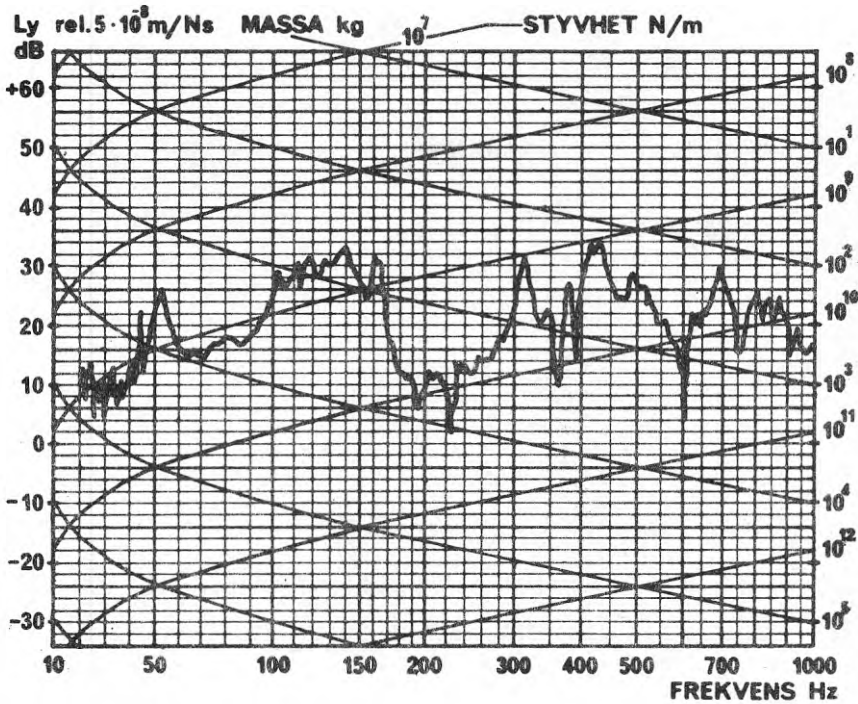


Diagram: 6.36

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton
Diameter på drivbrickan : 40 mm

Material i drivbrickan : stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 01 vertikalt Figur 4.4-4.6

Bjälklag (vägg): hissrum, mätpunkt 2 = drivpunkt 03

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida

Byggnad: Kv. Linjalen

L(Y _{i,j})	i	j
våning	7	7
delyta	01	03
punkt	01	?
riktn.	+3	+3

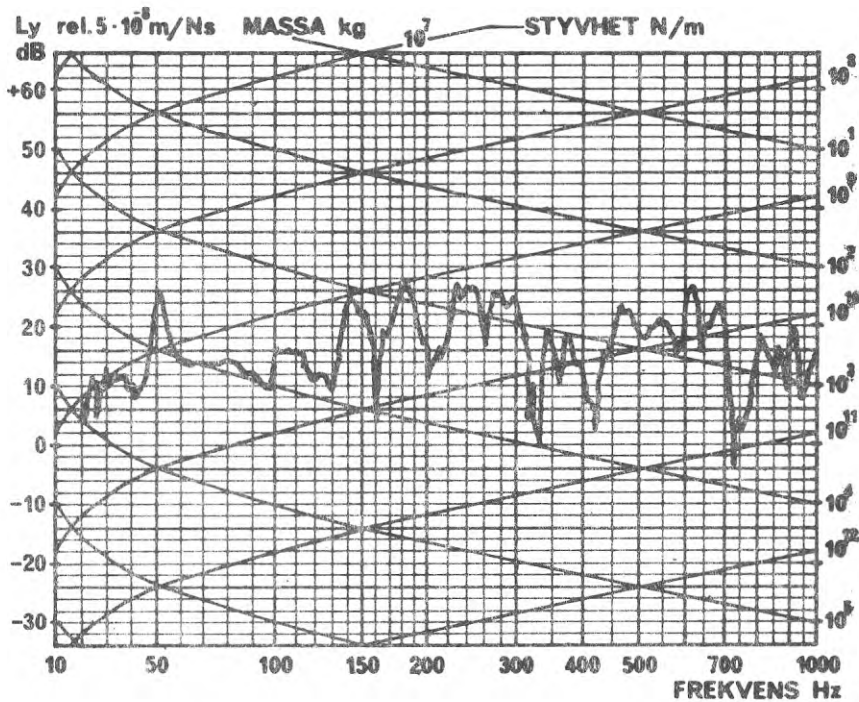


Diagram: 6.37

Överföringsadmittansmätning:

Svepande ton
Diameter på drivbrickan: 40 mm

Material i drivbrickan stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: pkt 01 vertikalt Figur 4.4-4.6

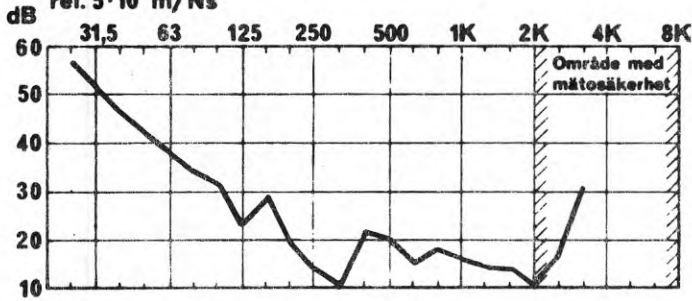
Bjälklag (vägg): hissrum, mätpunkt 3

Punkt för hastighetsmätning samma sida av bjälklag (vägg) som drivbricka
 motsatt sida

Byggnad: Kv. Linjalen

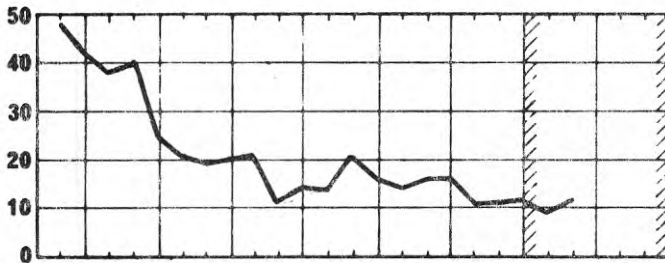
L(Vi,j)	i	j
våning	7	7
delyta	01	03
punkt	01	?
riktn.	+3	+3

ÖVERFÖRINGSADMITTANSNIVÅ

rel. $5 \cdot 10^8$ m/NsSÄNDARE (i)
RECIPIENT (j)

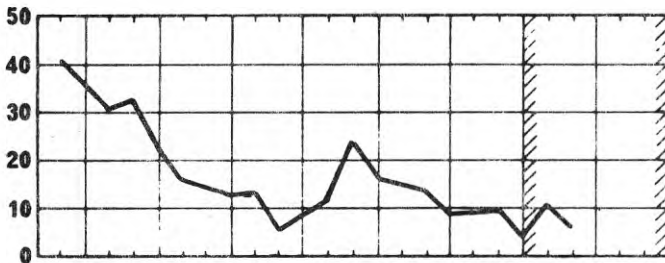
LÄGENHET 1

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	6
delyta	03	11
punkt	03	MV
riktn.	+3	-1



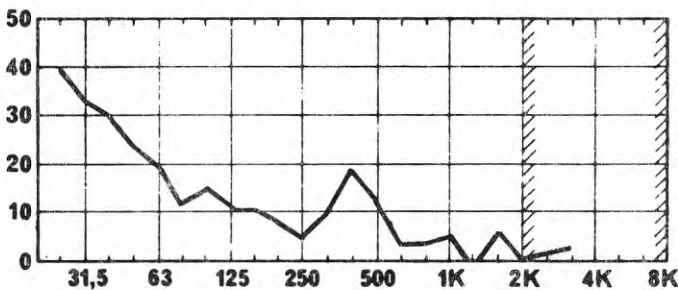
LÄGENHET 1

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	5
delyta	03	11
punkt	03	MV
riktn.	+3	-1



LÄGENHET 1

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	4
delyta	03	11
punkt	03	MV
riktn.	+3	-1



LÄGENHET 1

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	3
delyta	03	11
punkt	03	MV
riktn.	+3	-1

FREKVENNS Hz

Diagram: 6.38

(Betr. utnyttjat symbolsystem
se 5.0 samt FIG. 4.4 - 4.11)

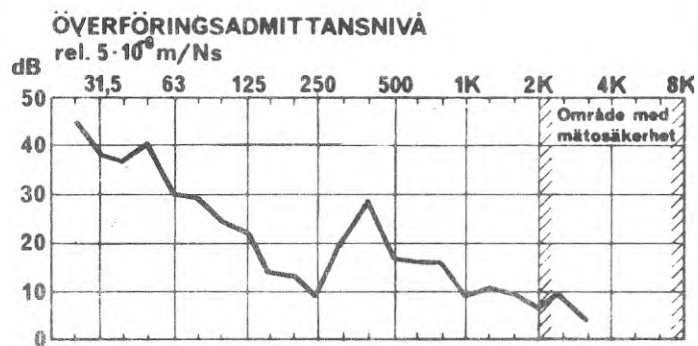
Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 03

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): hissrum, 15 cm betong

Byggnad: Kv. Linjalen

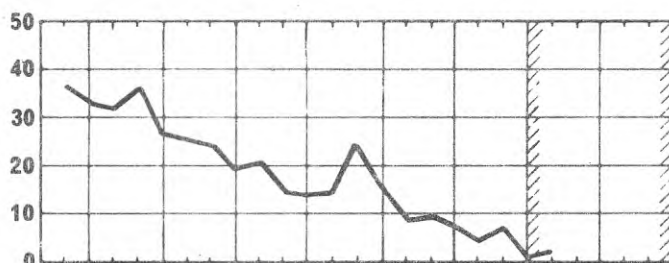


SÄNDARE (i)

RECIPIENT (j)

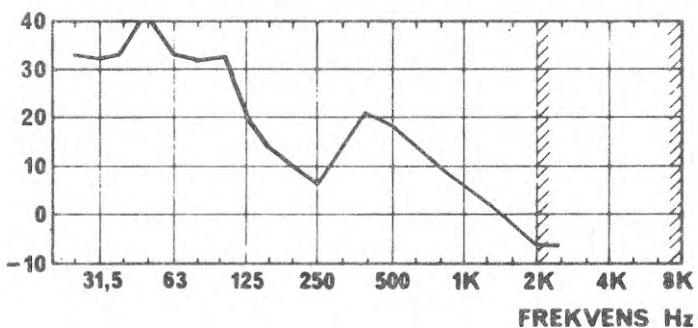
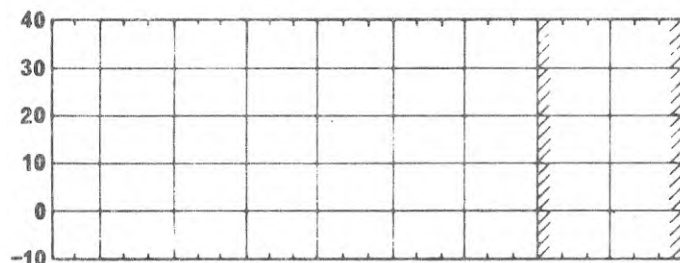
LÄGENHET 1

L(Y _{i,j})	i	j
våning	7	6
delyta	03	12
punkt	03	2
riktn.	+3	+2



LÄGENHET 1

L(Y _{i,j})	i	j
våning	7	5
delyta	03	12
punkt	03	2
riktn.	+3	+2



LÄGENHET 1

L(Y _{i,j})	i	j
våning	7	3
delyta	03	12
punkt	03	2
riktn.	+3	+2

Diagram: 6.39

Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 03

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): hissrum, 15 cm betong

Byggnad: Kv. Linjalen

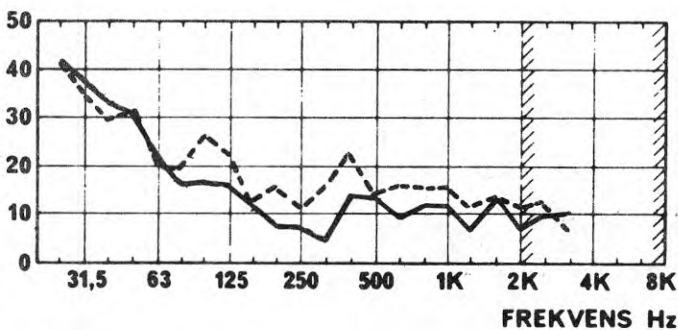
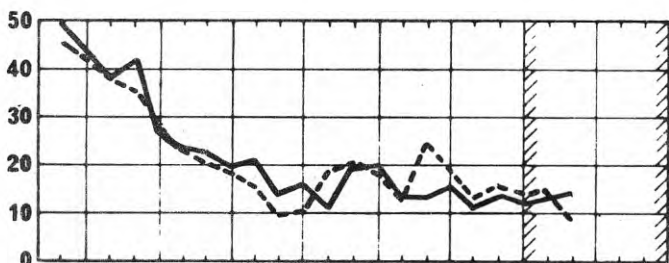
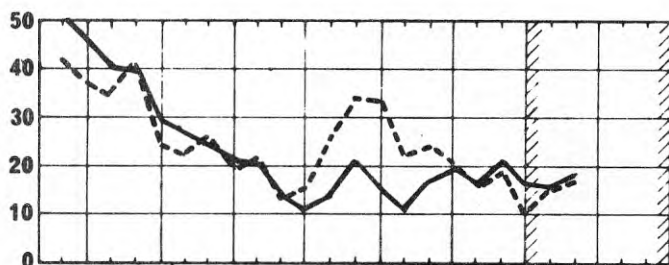
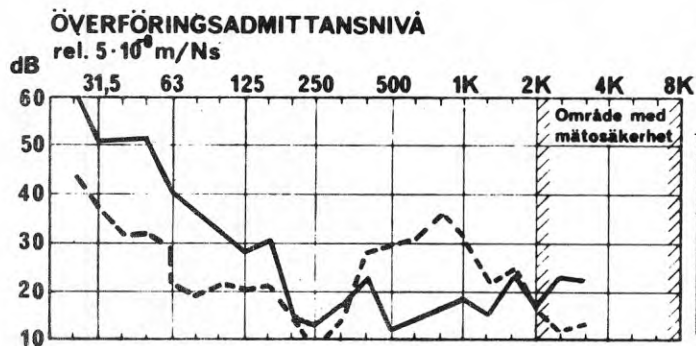


Diagram: 6.40

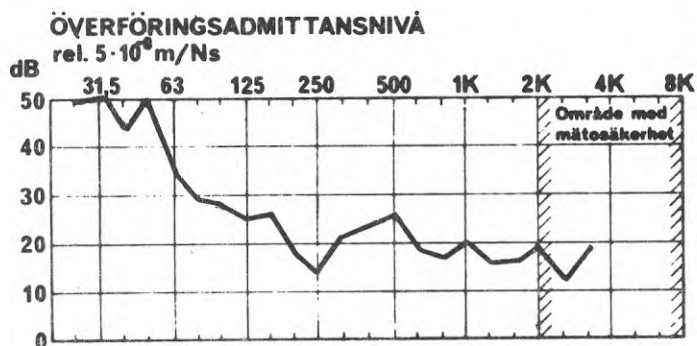
Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 03

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): hissrum, 15 cm betong

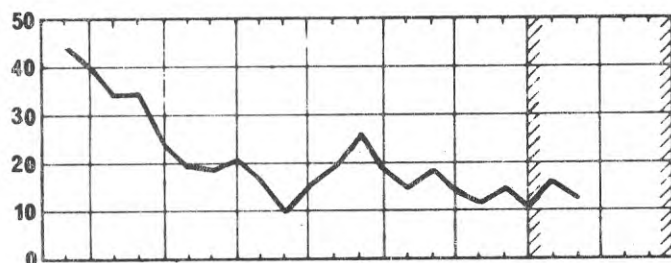
Byggnad: Kv. Linjalen



SÄNDARE (i)
RECIPIENT (j)

LÄGENHET 1

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	6
delyta	03	05
punkt	03	MV
riktn.	+3	-3



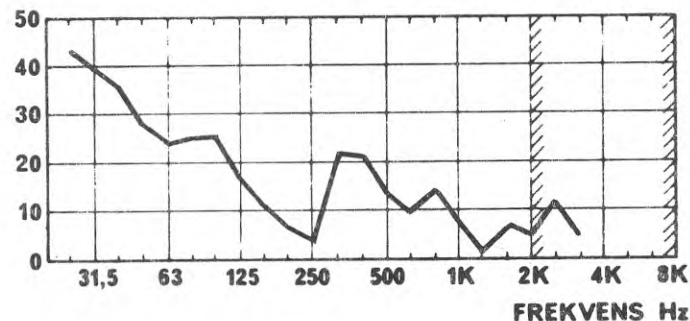
LÄGENHET 1

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	6
delyta	03	16
punkt	03	MV
riktn.	+3	-3



LÄGENHET 1

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	5
delyta	03	16
punkt	03	MV
riktn.	+3	-3



LÄGENHET 1

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	4
delyta	03	16
punkt	03	MV
riktn.	+3	-3

Diagram: 6.41

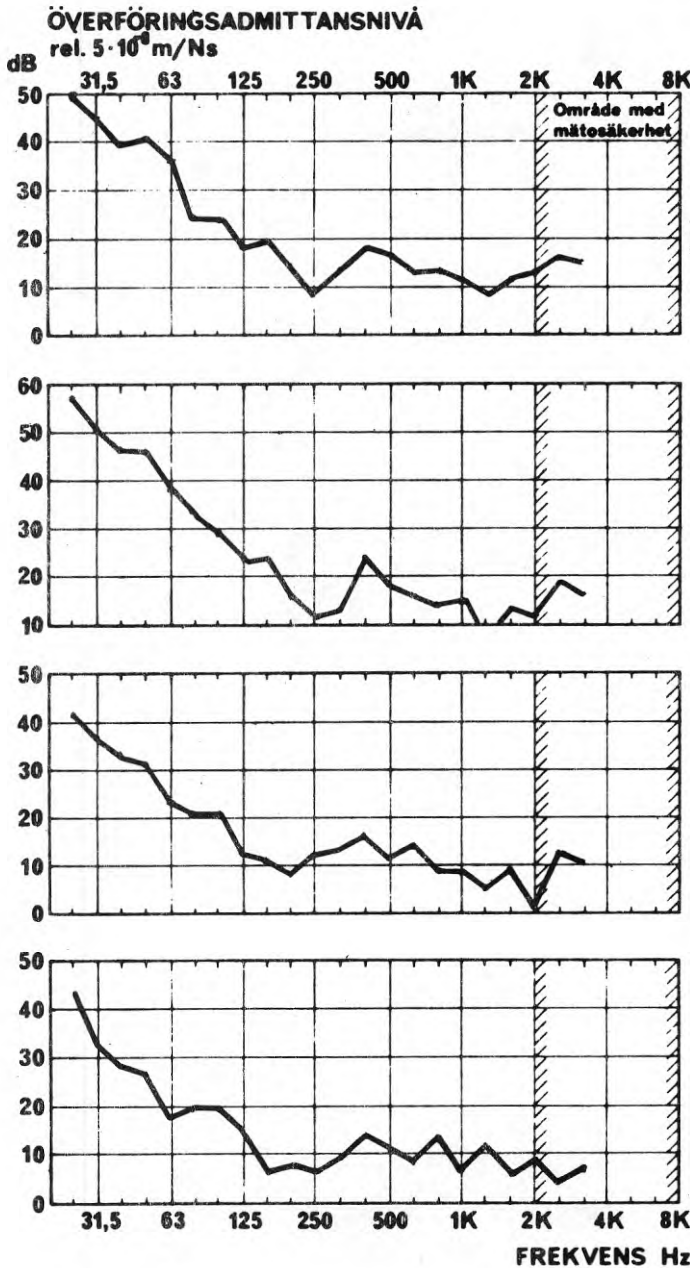
Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 03

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): hissrum, 15 cm betong

Byggnad: kv. Linjalen



SÄNDARE (i)

RECIPIENT (j)

LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	6
delyta	03	24
punkt	03	MV
riktn.	+3	-2

LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	5
delyta	03	24
punkt	03	MV
riktn.	+3	-2

LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	4
delyta	03	24
punkt	03	MV
riktn.	+3	-2

LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	3
delyta	03	24
punkt	03	MV
riktn.	+3	-2

Diagram: 6.42

Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 03

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): hissrum, 15 cm betong

Byggnad: Kv. Linjalen

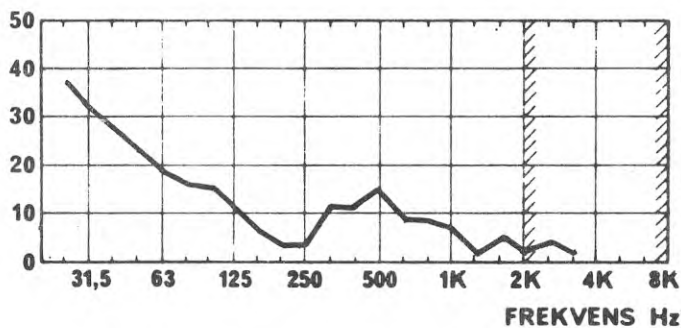
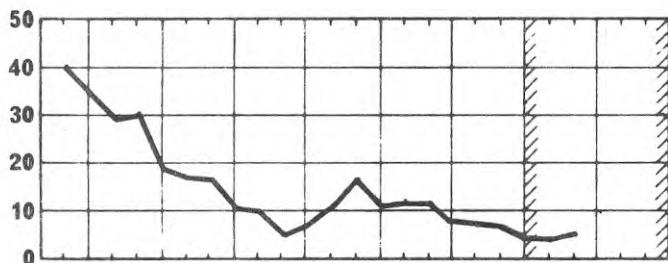
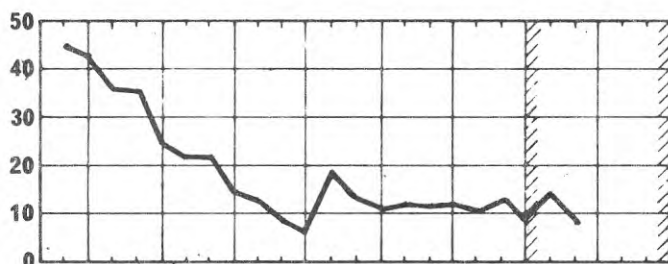
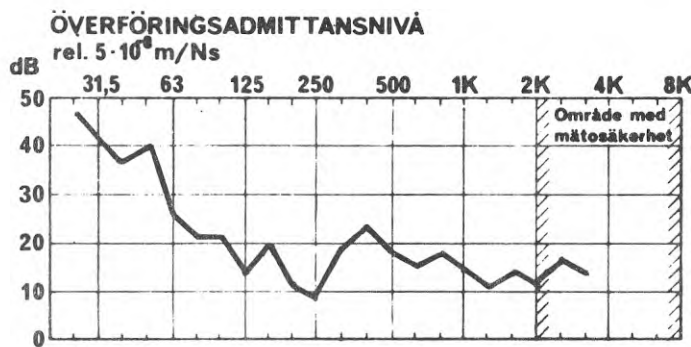


Diagram: 6.43

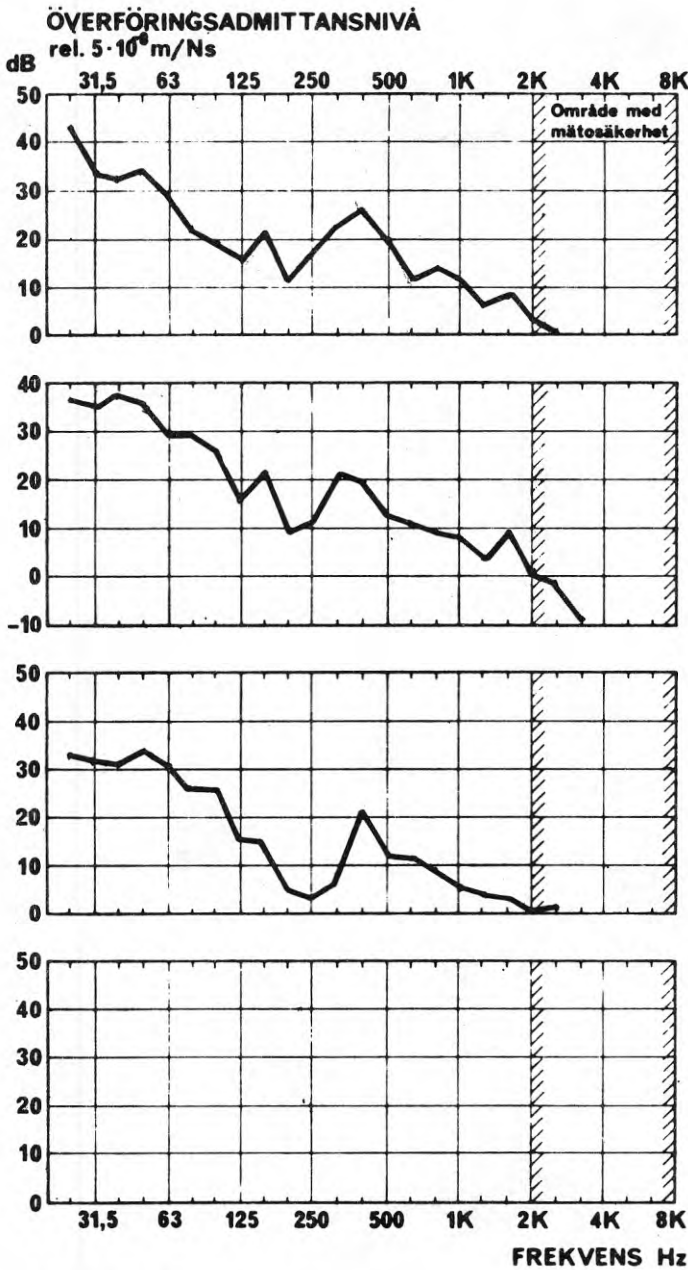
Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 03

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): hissrum, 15 cm betong

Byggnad: Kv. Linjalen



SÄNDARE (i)

RECIPIENT (j)

LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	6
delyta	03	22
punkt	03	2
riktn.	+3	+2

LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	5
delyta	03	22
punkt	03	2
riktn.	+3	+2

LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	4
delyta	03	22
punkt	03	2
riktn.	+3	+2

LÄGENHET
VÅNING

Diagram: 6.44

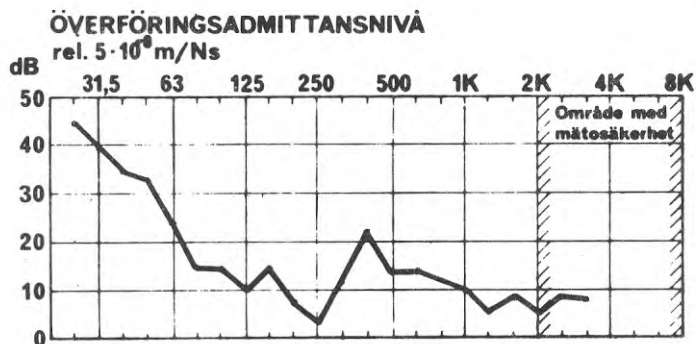
Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 03

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): hissrum, 15 cm betong

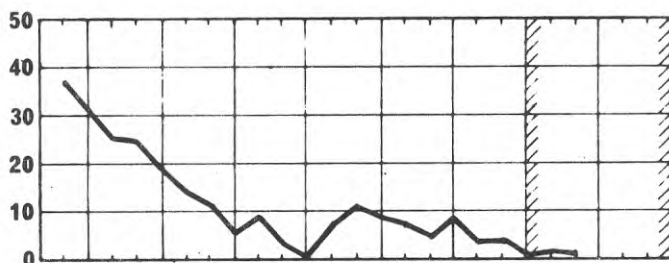
Byggnad: Kv. Linjalen



SÄNDARE (i)
RECIPIENT (j)

LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	6
delyta	03	21
punkt	03	MV
riktn.	+3	+1



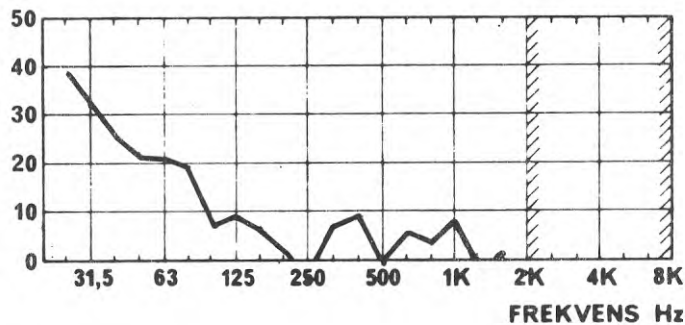
LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	5
delyta	03	21
punkt	03	MV
riktn.	+3	+1



LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	4
delyta	03	21
punkt	03	MV
riktn.	+3	+1



LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	3
delyta	03	21
punkt	03	MV
riktn.	+3	+1

Diagram: 6.45

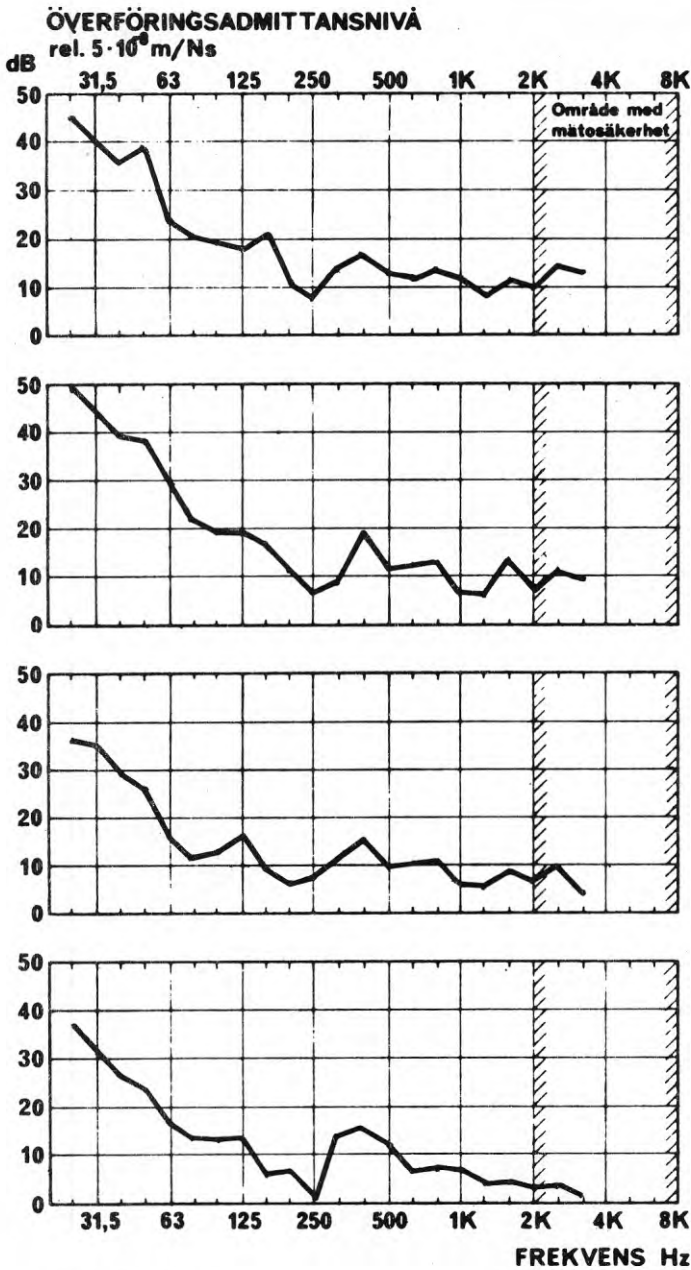
Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 03

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): hissrum, 15 cm betong

Byggnad: Kv. Linjalen



SÄNDARE (i)
RECIPIENT (j)

LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	6
delyta	03	05
punkt	03	MV
riktn.	+3	-3

LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	6
delyta	03	26
punkt	03	MV
riktn.	+3	+3

LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	5
delyta	03	26
punkt	03	MV
riktn.	+3	+3

LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	4
delyta	03	26
punkt	03	MV
riktn.	+3	+3

Diagram: 6.46

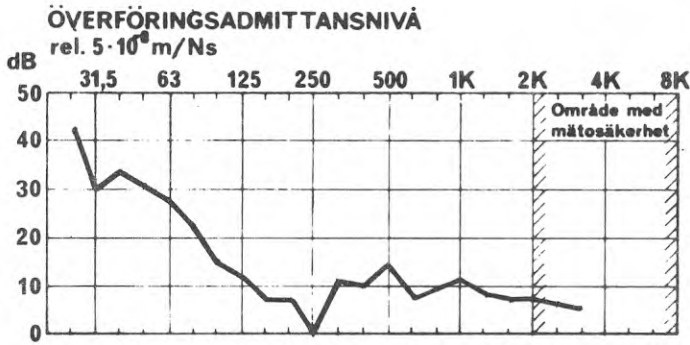
Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 03

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): hissrum, 15 cm betong

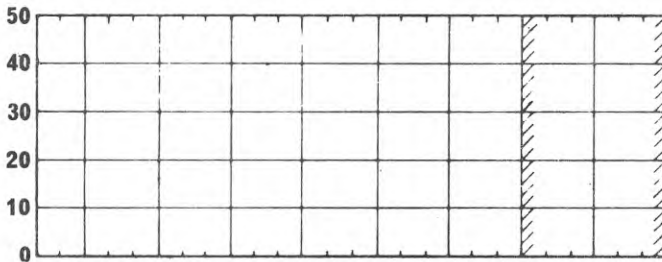
Byggnad: Kv. Linjalen

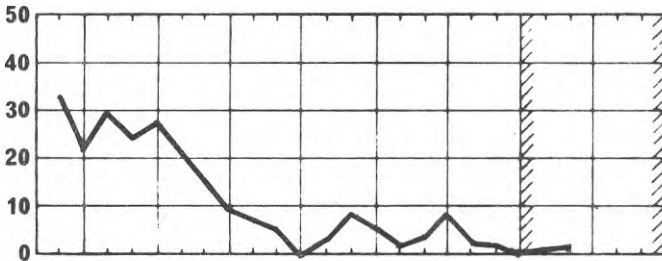


SÄNDARE (i)
RECIPIENT (j)

LÄGENHET 2

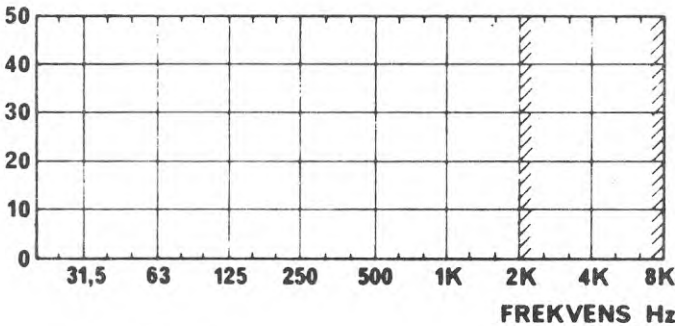
L(Y _{ij})	i	j
våning	7	6
delyta	03	13
punkt	03	MV
riktn.	+3	-1





LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	4
delyta	03	13
punkt	03	MV
riktn.	+3	-1



LÄGENHET
VÅNING

Diagram: 6.47

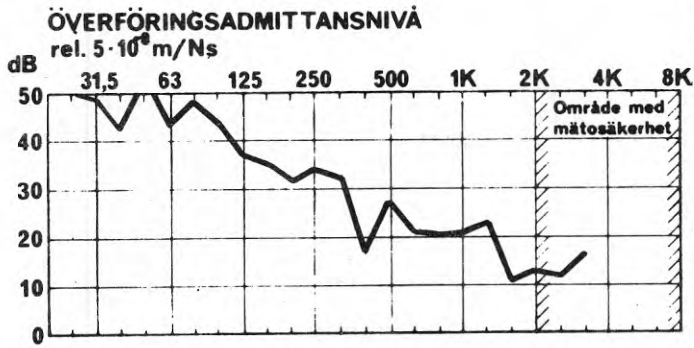
Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 03 Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): hissrum, 15 cm betong

Byggnad: Kv. Linjalen

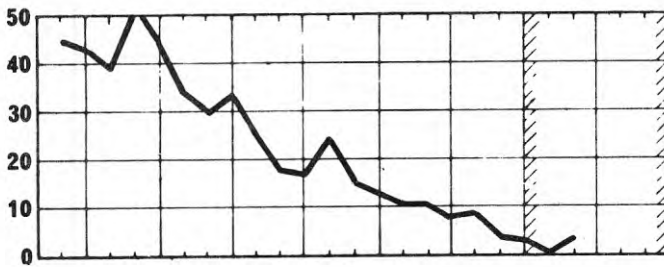
Anm. sand inlagd på samtliga lägenhetsbjälklag



SÄNDARE (i)
RECIPIENT (j)

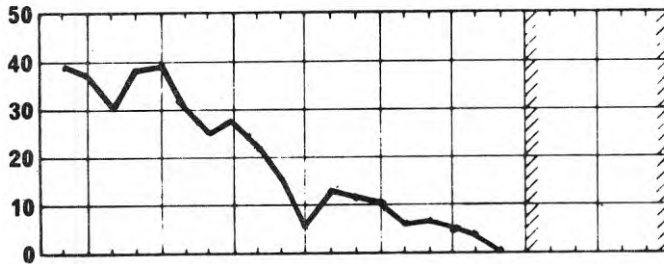
LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	6
delyta	04	32
punkt	04	MV
riktn.	+3	-2



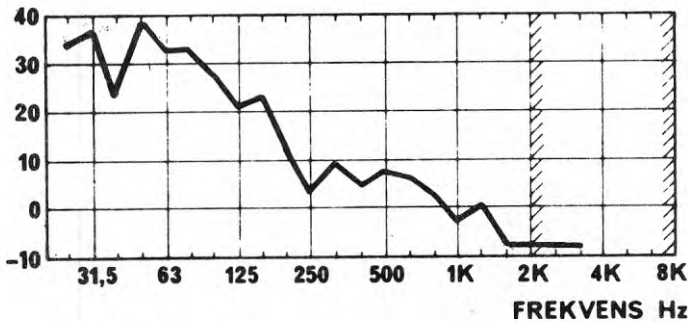
LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	5
delyta	04	32
punkt	04	MV
riktn.	+3	-2



LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	4
delyta	04	32
punkt	04	MV
riktn.	+3	-2



LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	3
delyta	04	32
punkt	04	MV
riktn.	+3	-2

Diagram: 6.48

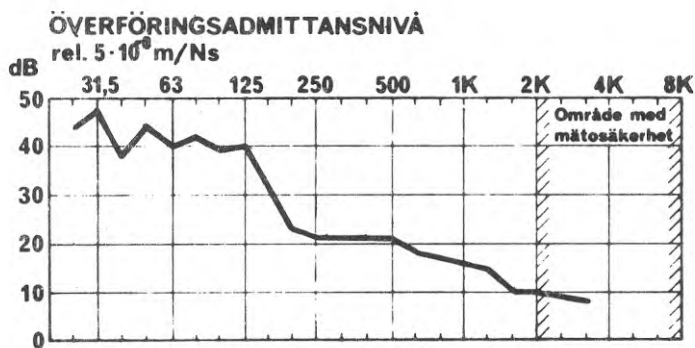
Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 04

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): fläktrum, flytande golv 5 cm betong på 2 x 7 cm mineralull på bjälklag 15 cm betong

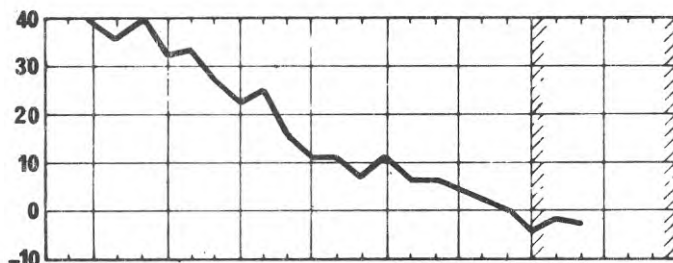
Byggnad: Kv. Linjalen



SÄNDARE (i)
RECIPIENT (j)

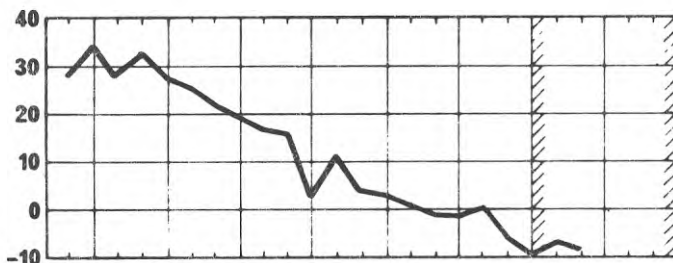
LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	6
delyta	04	05
punkt	04	MV
riktn.	+3	-3



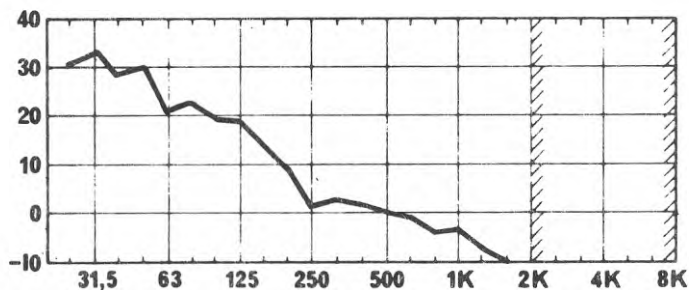
LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	6
delyta	04	46
punkt	04	MV
riktn.	+3	+3



LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	5
delyta	04	46
punkt	04	MV
riktn.	+3	+3



LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	4
delyta	04	46
punkt	04	MV
riktn.	+3	+3

FREKVENS Hz

Diagram: 6.49

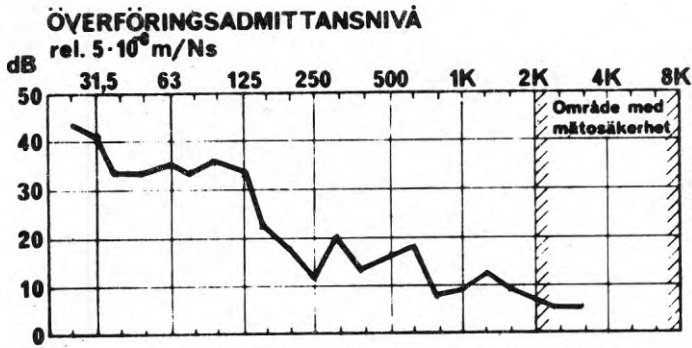
Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 04

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): fläktrum, flytande golv 5 cm betong på 2 x 7 cm mineralull på bjälklag 15 cm betong

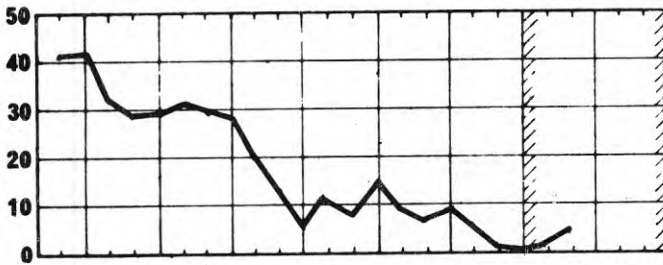
Byggnad: Kv. Linjalen



SÄNDARE (i)
RECIPIENT (j)

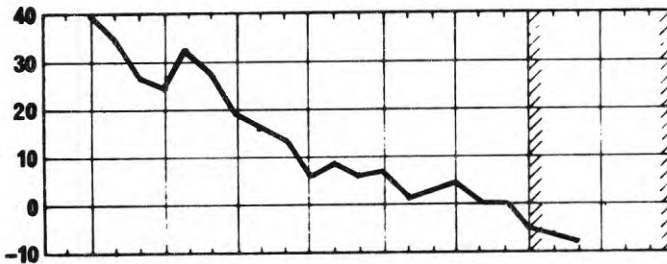
LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	6
delyta	04	54
punkt	04	MV
riktn.	+3	-2



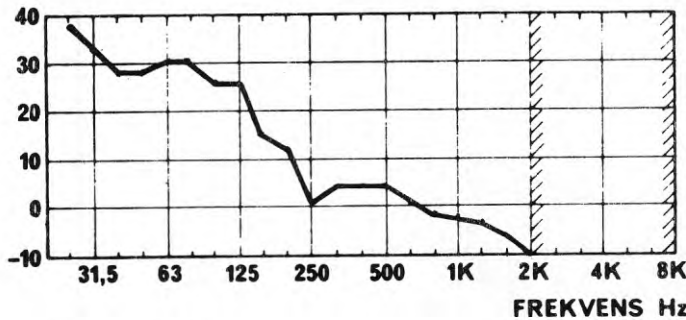
LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	5
delyta	04	54
punkt	04	MV
riktn.	+3	-2



LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	4
delyta	04	54
punkt	04	MV
riktn.	+3	-2



LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	3
delyta	04	54
punkt	04	MV
riktn.	+3	-2

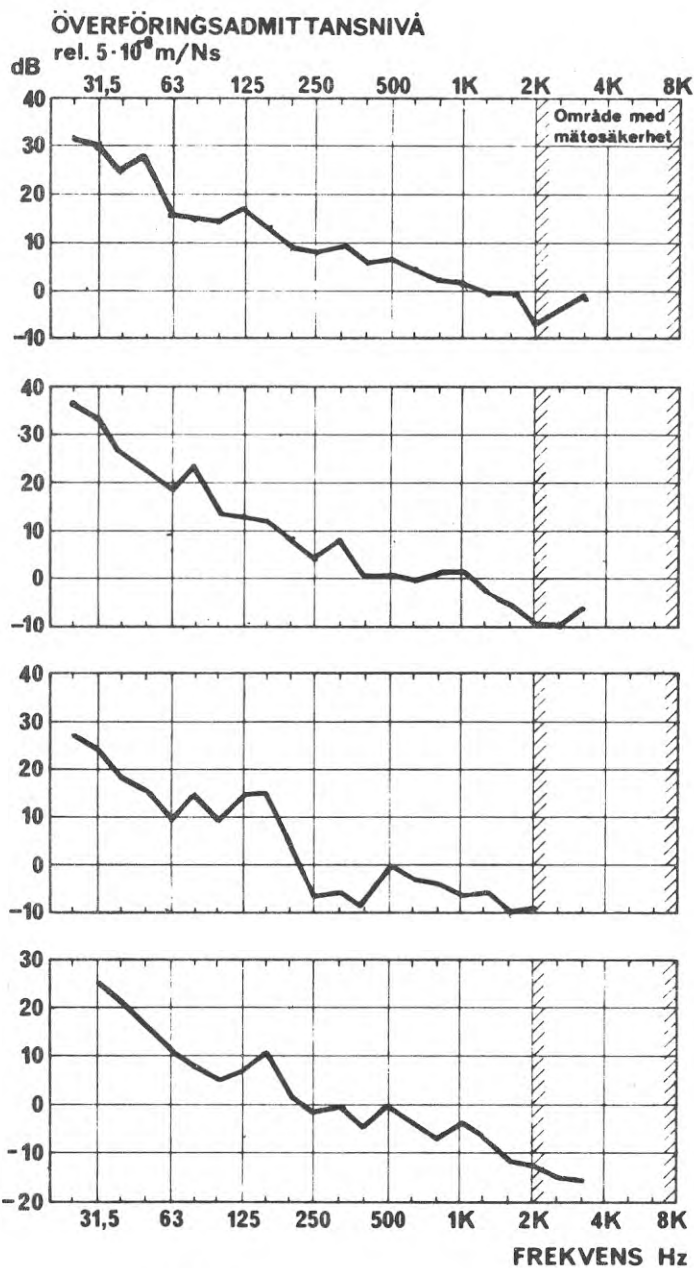
Diagram: 6.50

Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 04 Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): fläktrum, flytande golv 5 cm betong på 2 x 7 cm mineralull på bjälklag 15 cm betong

Byggnad: Kv. Linjalen



SÄNDARE (i)
RECIPIENT (j)

LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	6
delyta	04	51
punkt	04	MV
riktn.	+3	+1

LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	5
delyta	04	51
punkt	04	MV
riktn.	+3	+1

LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	4
delyta	04	51
punkt	04	MV
riktn.	+3	+1

LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	3
delyta	04	51
punkt	04	MV
riktn.	+3	+1

Diagram: 6.51

Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 04

Figur 4.4-4.11

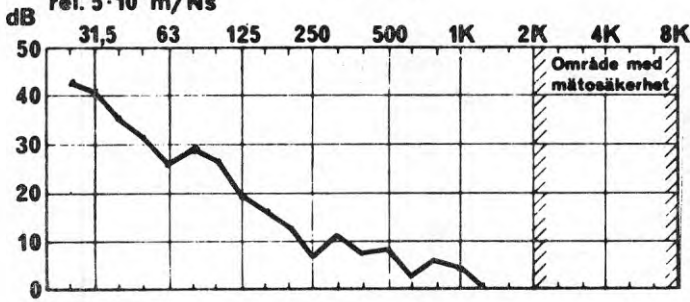
Bjälklag (vägg): fläktrum, flytande golv, 5 cm betong på 2 x 7 cm mineralull på bjälklag 15 cm betong

Byggnad: Kv. Linjalen

ÖVERFÖRINGSADMITTANSNIVÅ
rel. $5 \cdot 10^0$ m/Ns

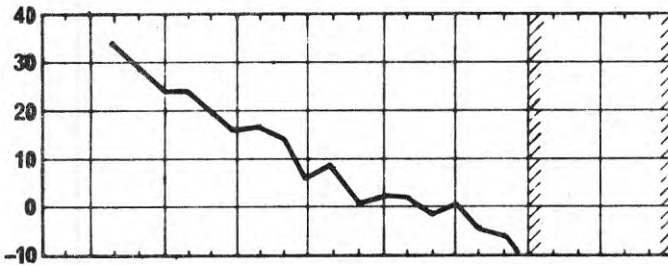
SÄNDARE (i)

RECIPIENT (j)



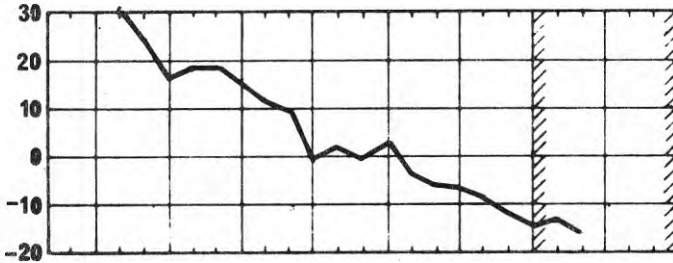
LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	6
delyta	04	56
punkt	04	MV
riktn.	+3	+3



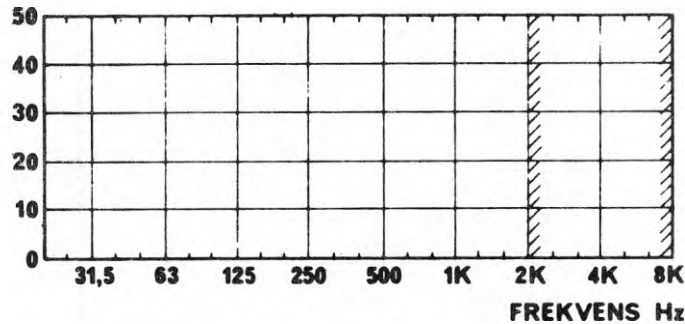
LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	5
delyta	04	56
punkt	04	MV
riktn.	+3	+3



LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	4
delyta	04	56
punkt	04	MV
riktn.	+3	+3



FREKVENS Hz

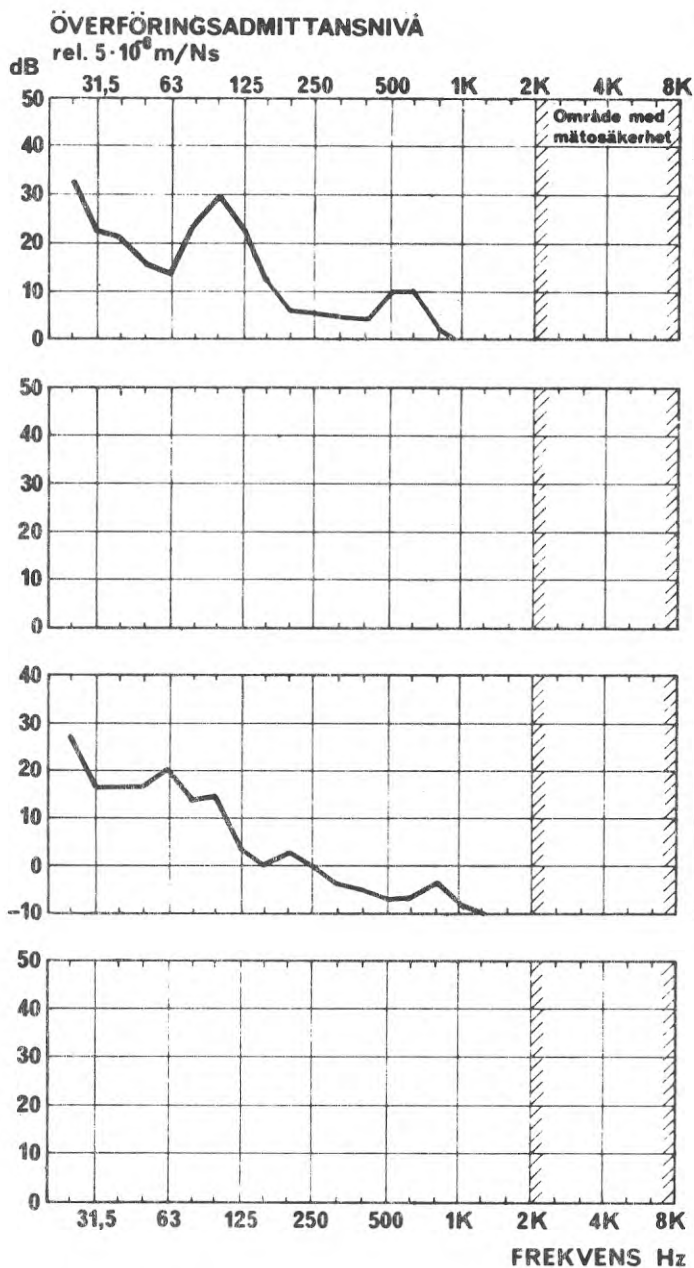
Diagram: 6.52

Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 04 Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): fläktrum, flytande golv, 5 cm betong på 2 x 7 cm mineralull på bjälklag 15 cm betong

Byggnad: Kv. Linjalen



SÄNDARE (i)
RECIPIENT (j)

LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	6
delyta	04	43
punkt	04	MV
riktn.	+3	+1

LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	7	4
delyta	04	43
punkt	04	MV
riktn.	+3	+1

Diagram: 6.53

Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 04

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): fläktrum, flytande golv, 5 cm betong på 2 x 7 cm mineralull på bjälklag 15 cm betong

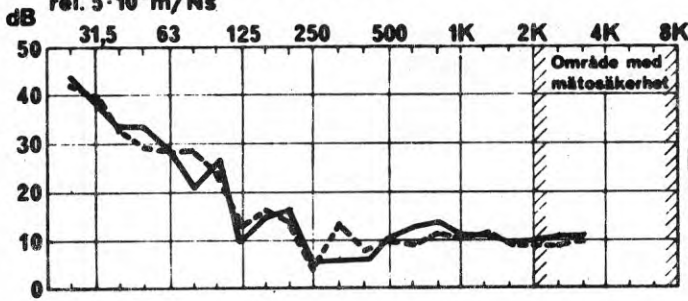
Byggnad: Kv. Linjalen

Anm. sand inlagd på samtliga lägenhetsbjälklag

ÖVERFÖRINGSADMITTANSNIVÅ
rel. $5 \cdot 10^6$ m/Ns

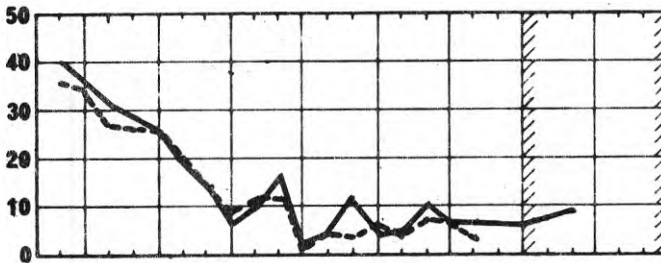
SÄNDARE (i)

RECIPIENT (j)



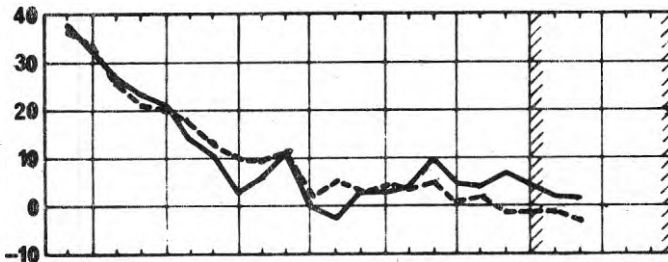
LÄGENHET 2

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	7	7	6
delyta	05	04	41
punkt	05	04	MV
riktn.	+3	+3	-1



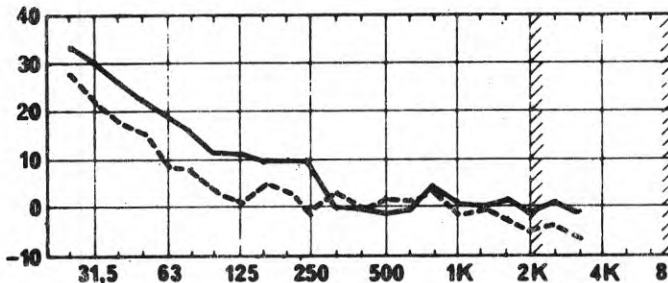
LÄGENHET 2

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	7	7	5
delyta	05	04	41
punkt	05	04	MV
riktn.	+3	+3	-1



LÄGENHET 2

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	7	7	4
delyta	05	04	41
punkt	05	04	MV
riktn.	+3	+3	-1



LÄGENHET 2

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	7	7	3
delyta	05	04	41
punkt	05	04	MV
riktn.	+3	+3	+1

FREKVENS Hz

Diagram: 6.54

Överföringsadmittans

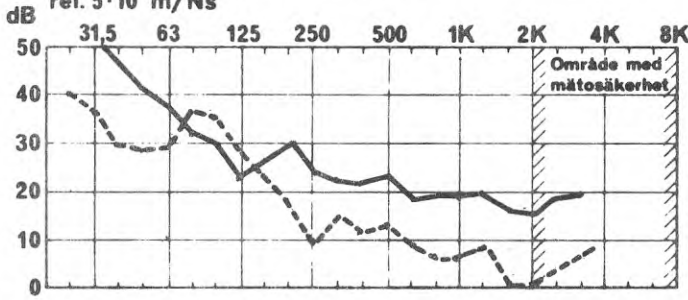
Drivpunkt: punkt 05 ———
punkt 04 - - - - -

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): intill fläktrum 15 cm betong ———
fläktrum, flytande golv, 5 cm betong på 2 x 7 cm - - - - -
mineralull på bjälklag 15 cm betong

Byggnad: Kv. Linjalen

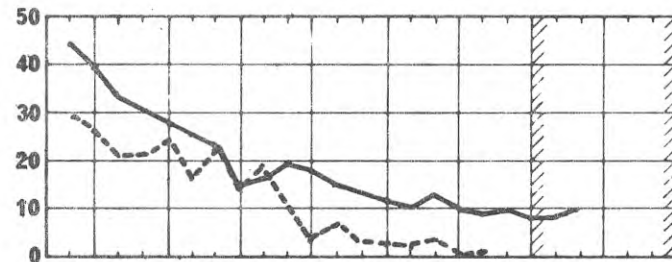
ÖVERFÖRINGSADMITTANSNIVÅ
rel. $5 \cdot 10^6$ m/Ns



SÄNDARE (i)
RECIPIENT (j)

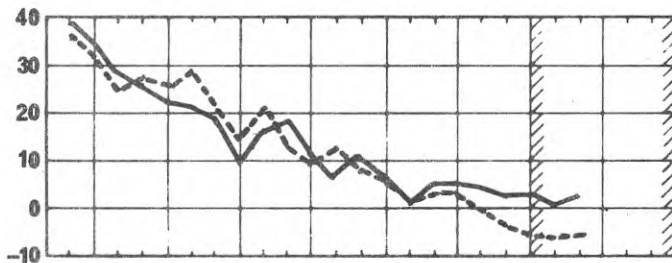
LÄGENHET 2

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	7	7	6
delyta	05	04	43
punkt	05	04	MV
riktn.	+3	+3	+1



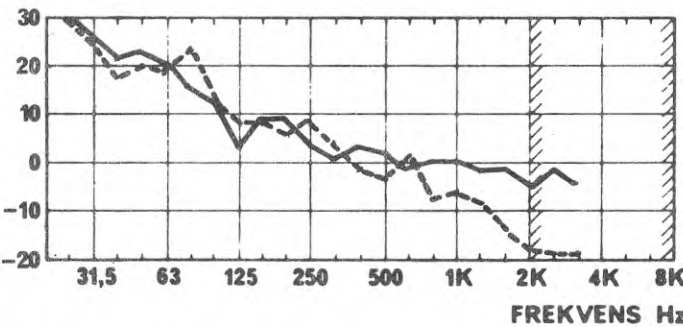
LÄGENHET 2

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	7	7	5
delyta	05	04	43
punkt	05	04	MV
riktn.	+3	+3	+1



LÄGENHET 2

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	7	7	4
delyta	05	04	43
punkt	05	04	MV
riktn.	+3	+3	+1



LÄGENHET 2

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	7	7	3
delyta	05	04	43
punkt	05	04	MV
riktn.	+3	+3	+1

Diagram: 6.55

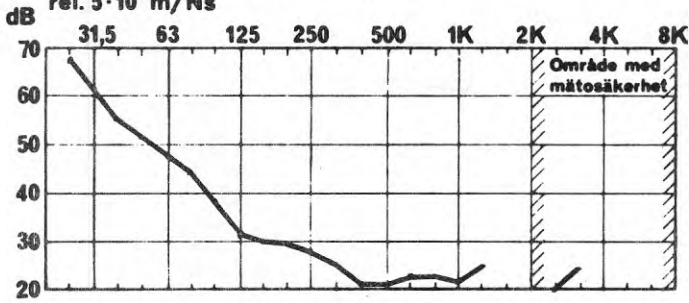
Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 05 —————
punkt 04 - - - - - Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): intill fläktrum, 15 cm betong
fläktrum, flytande golv, 5 cm betong på 2 x 7 cm
mineralull på bjälklag 15 cm betong

Byggnad: Kv. Linjalen

ÖVERFÖRINGSADMITTANSNIVÅ

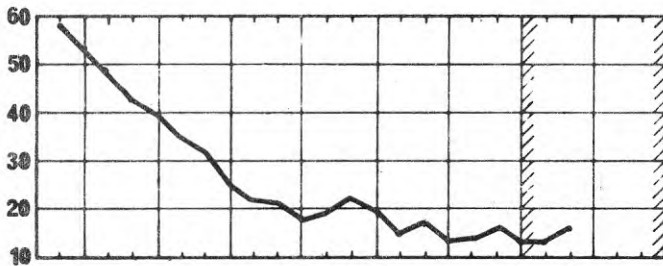
rel. $5 \cdot 10^6$ m/Ns

SÄNDARE (i)

RECIPIENT (j)

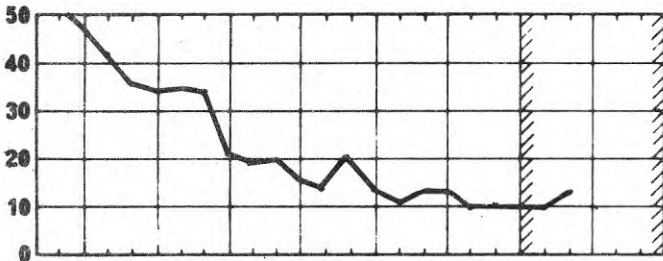
LÄGENHET 2

L(Y _{i;j})	i	j
våning	7	6
delyta	05	32
punkt	05	MV
riktn.	+3	-2



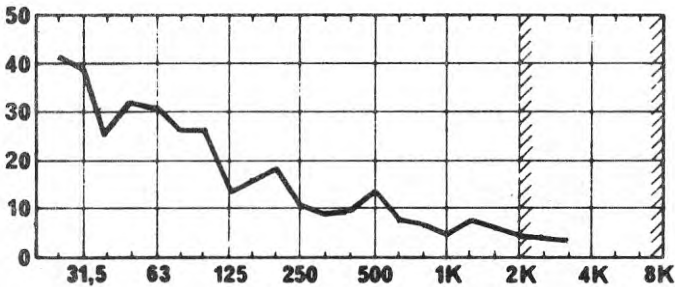
LÄGENHET 2

L(Y _{i;j})	i	j
våning	7	5
delyta	05	32
punkt	05	MV
riktn.	+3	-2



LÄGENHET 2

L(Y _{i;j})	i	j
våning	7	4
delyta	05	32
punkt	05	MV
riktn.	+3	-2



LÄGENHET 2

L(Y _{i;j})	i	j
våning	7	3
delyta	05	32
punkt	05	MV
riktn.	+3	-2

FREKVENNS Hz

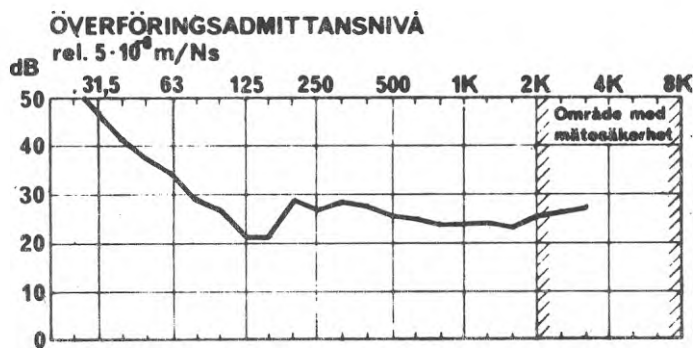
Diagram: 6.56

Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 05 Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): intill fläktrum, 15 cm betong

Byggnad: Kv. Linjalen



SÄNDARE (i)
RECIPIENT (j)

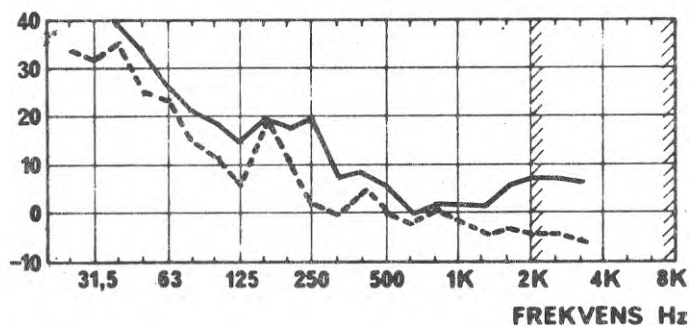
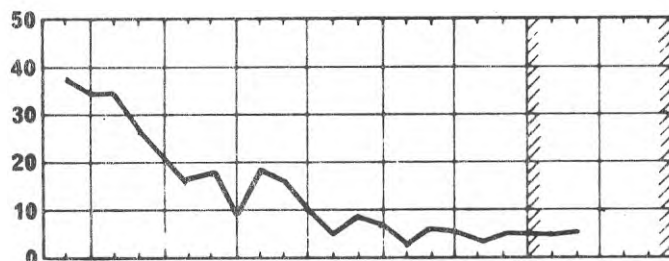
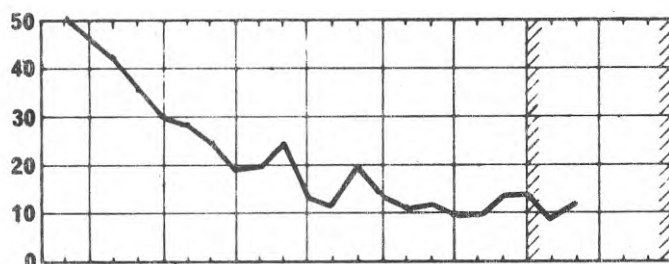


Diagram: 6.57

Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 05 Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): intill fläktrum, 15 cm betong

Byggnad: Kv. Linjalen

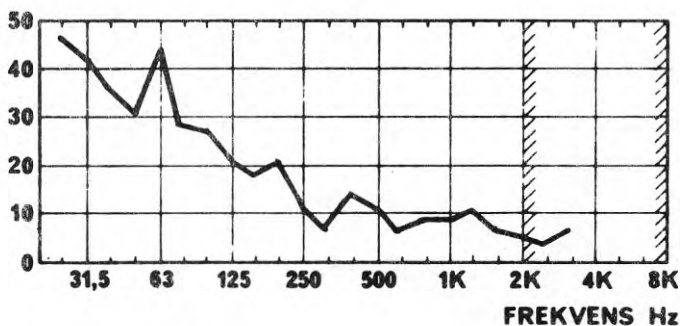
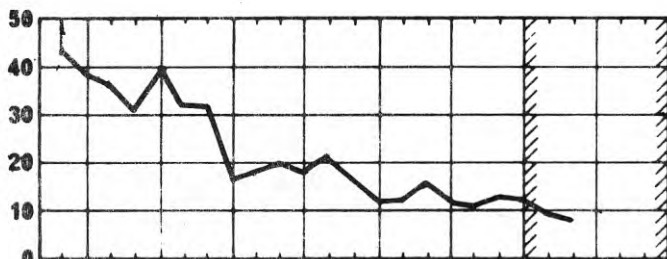
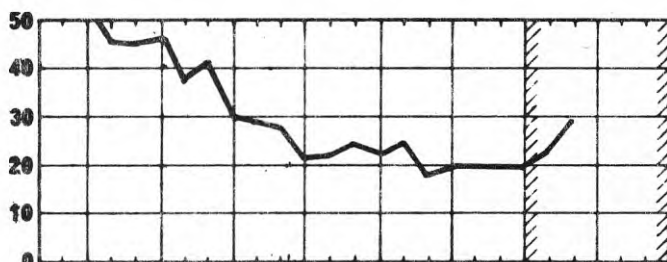
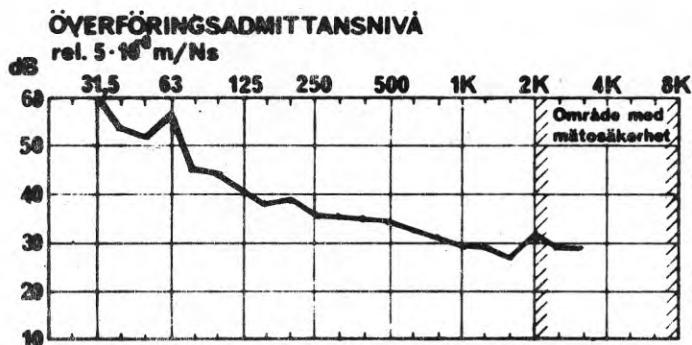


Diagram: 6.58

Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 05

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): intill fläktrum, 15 cm betong

Byggnad: Kv. Linjalen

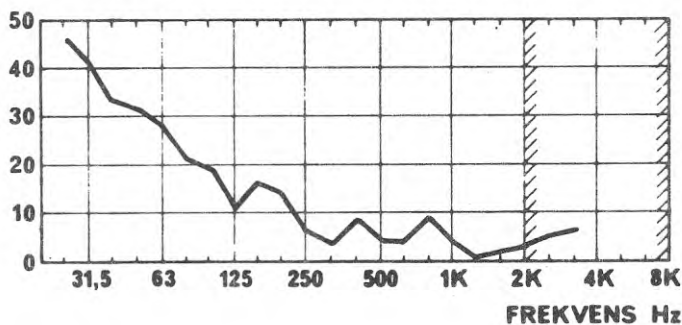
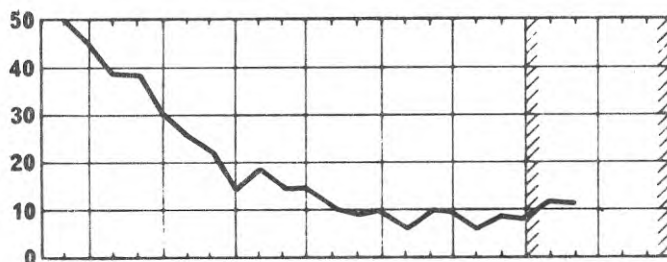
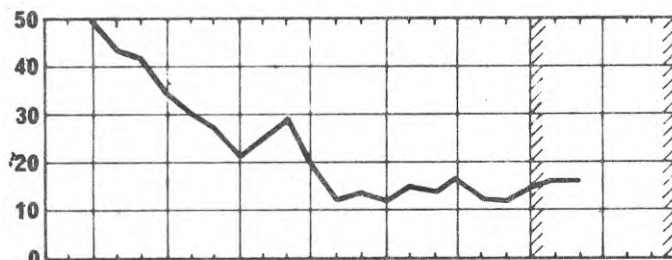
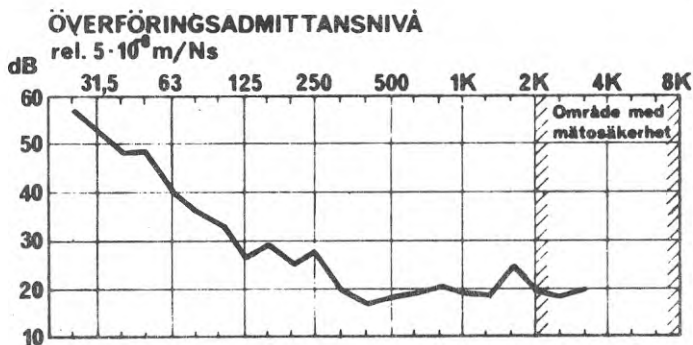


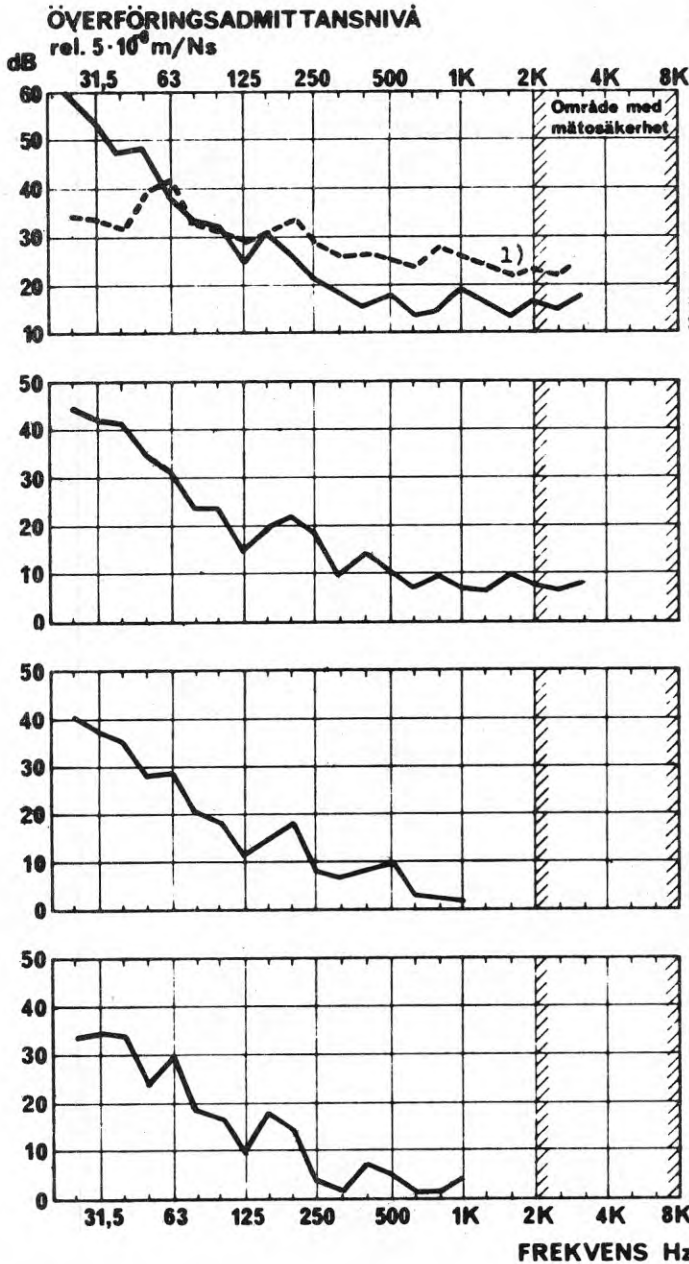
Diagram: 6.59

Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 05 Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): in till fläktrum, 15 cm betong

Byggnad: Kv. Linjalen



SÄNDARE (i)

RECIPIENT (j)

LÄGENHET 3 1)

L(Y _{ij})	i	j	j
våning	7	6	6
delyta	05	56	05
punkt	05	MV	MV
riktn.	+3	+3	-3

LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	j	j
våning	7	5	
delyta	05	56	
punkt	05	MV	
riktn.	+3	+3	

LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	j	j
våning	7	4	
delyta	05	56	
punkt	05	MV	
riktn.	+3	+3	

LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	j	j
våning	7	3	
delyta	05	56	
punkt	05	MV	
riktn.	+3	+3	

Diagram: 6.60

Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 05

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): intill fläktrum, 15 cm betong

Byggnad: Kv. Linjalen

Ann. 1) mätning i tak, utförd med BPA:s tryckkammare

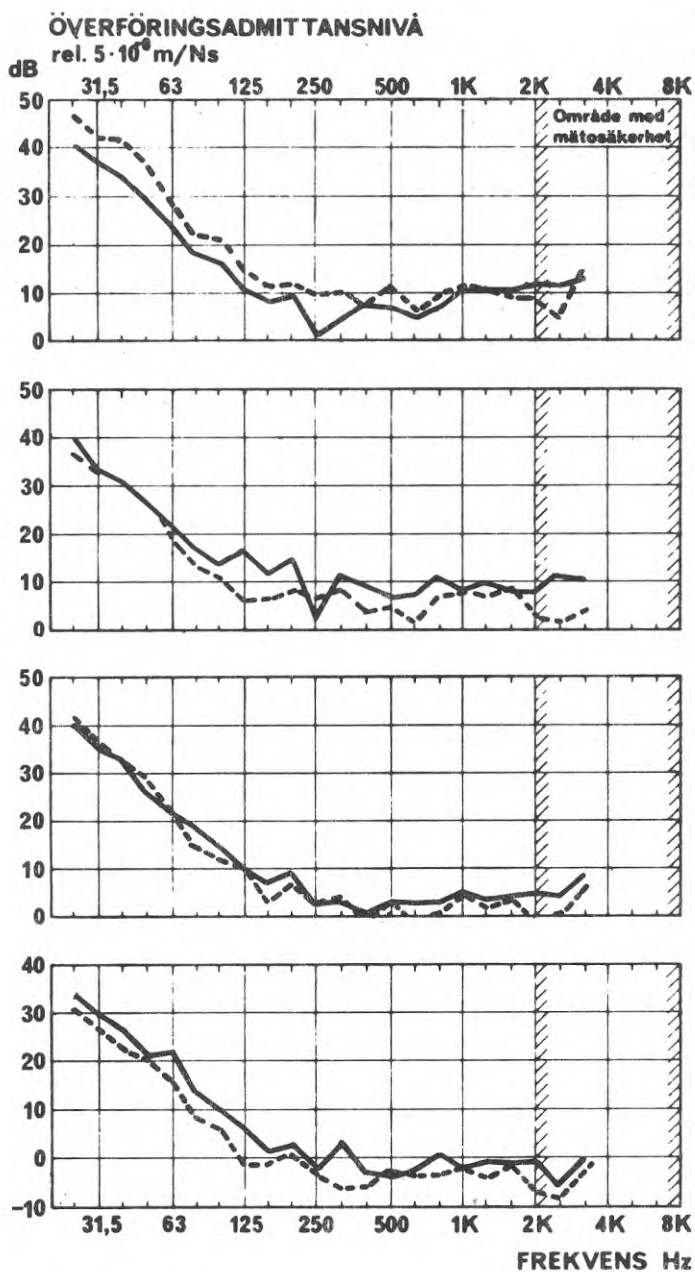


Diagram: 6.61

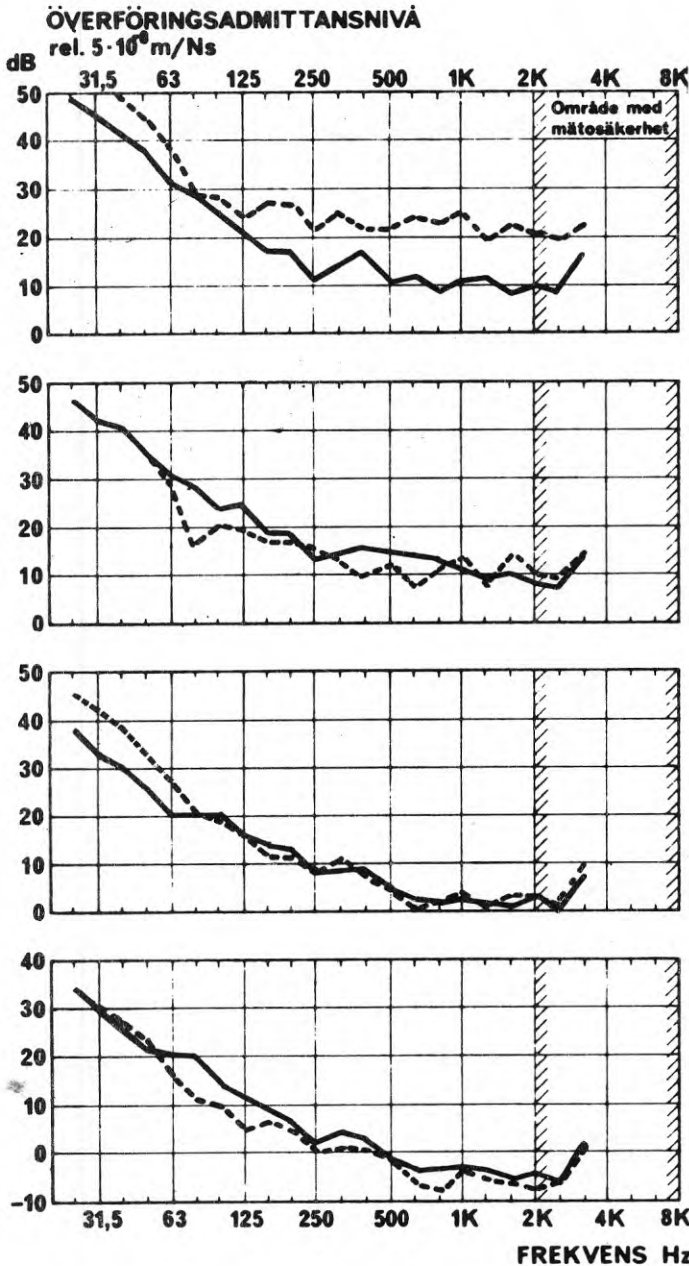
Överföringsadmittans

punkt 06 ———
Drivpunkt: punkt 08 - - - -

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): badrumsbjälklag, 20 cm betong ———
lägenhetsskiljande vägg, badrum, 35 cm betong med inladda rör - - - - -

Byggnad: Kv. Linjalen



SÄNDARE (i)

RECIPIENT (j)

LÄGENHET 2

L(Y _{i;j})	i	i	j
våning	6	6	6
delyta	36	33	43
punkt	06	08	MV
riktn.	+3	+1	+1

LÄGENHET 2

L(Y _{i;j})	i	i	j
våning	6	6	5
delyta	36	33	43
punkt	06	08	MV
riktn.	+3	+1	+1

LÄGENHET 2

L(Y _{i;j})	i	i	j
våning	6	6	4
delyta	36	33	43
punkt	06	08	MV
riktn.	+3	+1	+1

LÄGENHET 2

L(Y _{i;j})	i	i	j
våning	6	6	3
delyta	36	33	43
punkt	06	08	MV
riktn.	+3	+1	+1

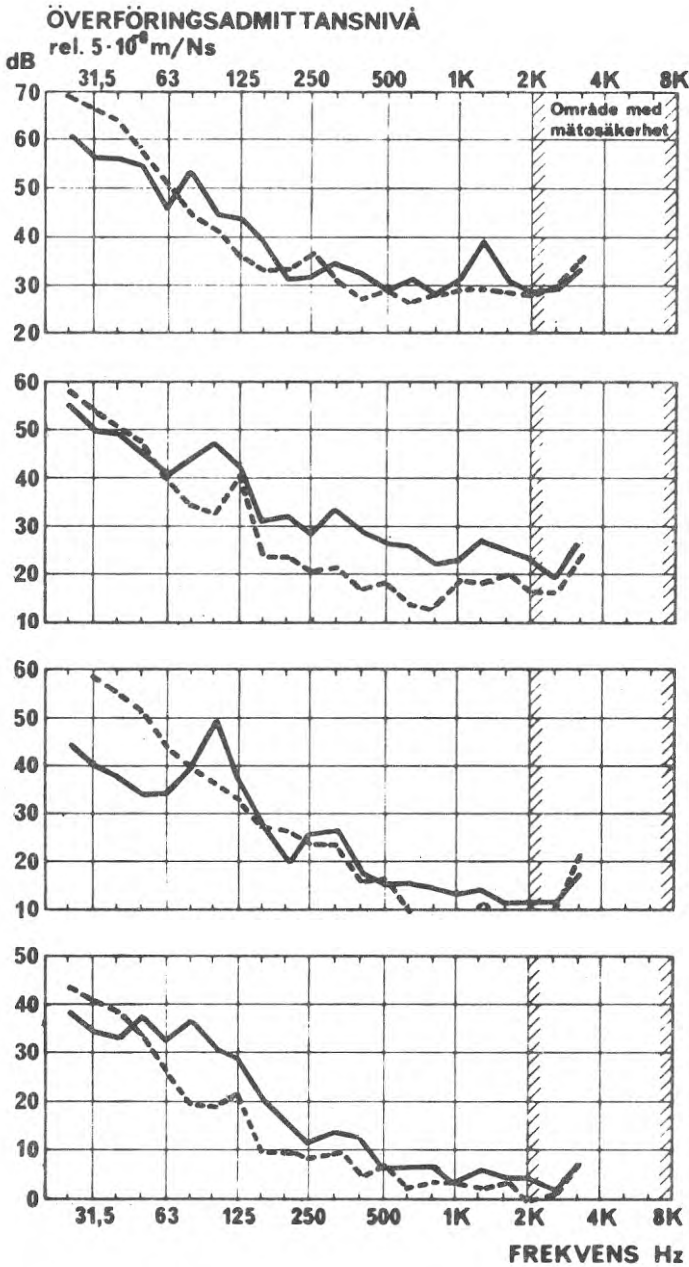
Diagram: 6.62

Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 06 ———— Figur 4.4-4.11
 punkt 08 - - - - -

Bjälklag (vägg): badrumsbjälklag, 20 cm betong
 lägenhetsskiljande vägg, badrum, 35 cm betong
 med inlagda rör

Byggnad: kv Linjalen



SÄNDARE (i)
RECIPIENT (j)

LÄGENHET 2

$L(Y_{ij})$	i	i	j
våning	6	6	6
delyta	36	33	32
punkt	06	08	MV
riktn.	+3	+1	-2

LÄGENHET 2

$L(Y_{ij})$	i	i	j
våning	6	6	5
delyta	36	33	32
punkt	06	08	MV
riktn.	+3	+1	-2

LÄGENHET 2

$L(Y_{ij})$	i	i	j
våning	6	6	4
delyta	36	33	32
punkt	06	08	MV
riktn.	+3	+1	-2

LÄGENHET 2

$L(Y_{ij})$	i	i	j
våning	6	6	3
delyta	36	33	32
punkt	06	08	MV
riktn.	+3	+1	-2

Diagram: 6.63

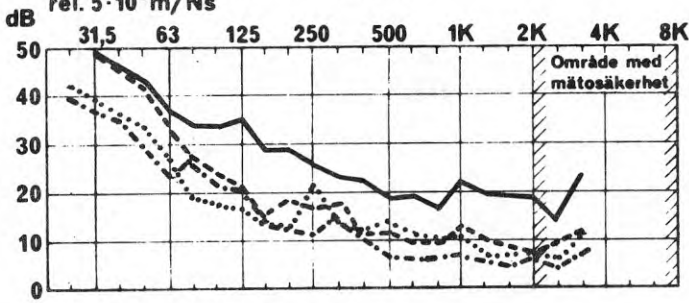
Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 06 ———
punkt 08 - - - - -

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): badrumsbjälklag, 20 cm betong
lägenhetsskiljande vägg, badrum, 35 cm betong
med inlagda rör

Byggnad: Kv. Linjalen

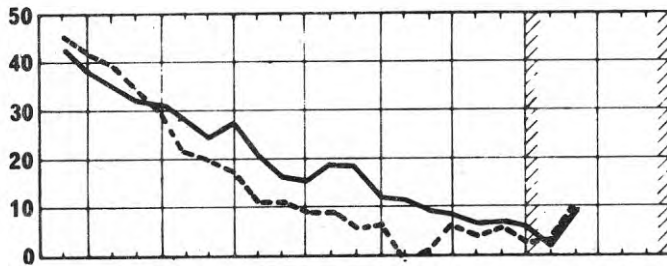
ÖVERFÖRINGSADMITTANSNIVÅ
 rel. $5 \cdot 10^{-8}$ m/Ns


SÄNDARE (i)

RECIPIENT (j)

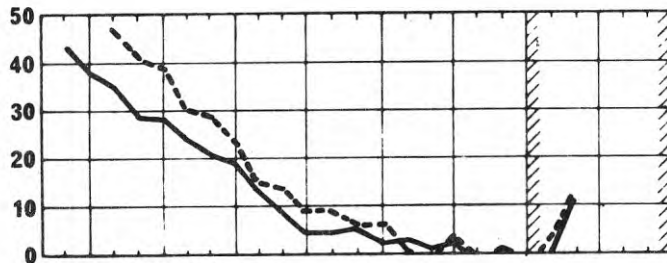
LÄGENHET 2

L(Y _{i,j})	i	j	j
våning	6	6	6
delyta	36	05	46
punkt	06	MV	MV
riktn.	+3	-3	+3



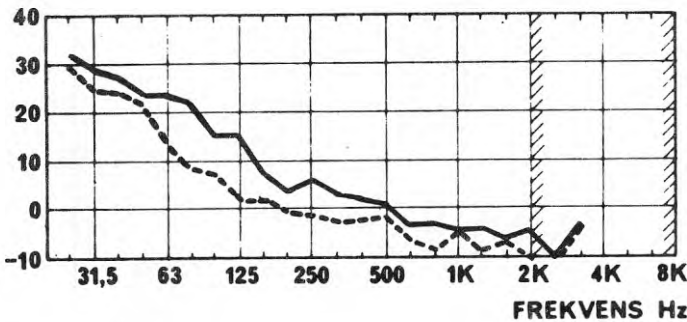
LÄGENHET 2

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	6	6	5
delyta	36	33	46
punkt	06	08	MV
riktn.	+3	+1	+3



LÄGENHET 2

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	6	6	4
delyta	36	33	46
punkt	06	08	MV
riktn.	+3	+1	+3



LÄGENHET 2

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	6	6	3
delyta	36	33	46
punkt	06	08	MV
riktn.	+3	+1	+3

Diagram: 6.64

Överföringsadmittans

 Drivpunkt: punkt 06 ——— Figur 4.4-4.11
 punkt 08 - - - - -

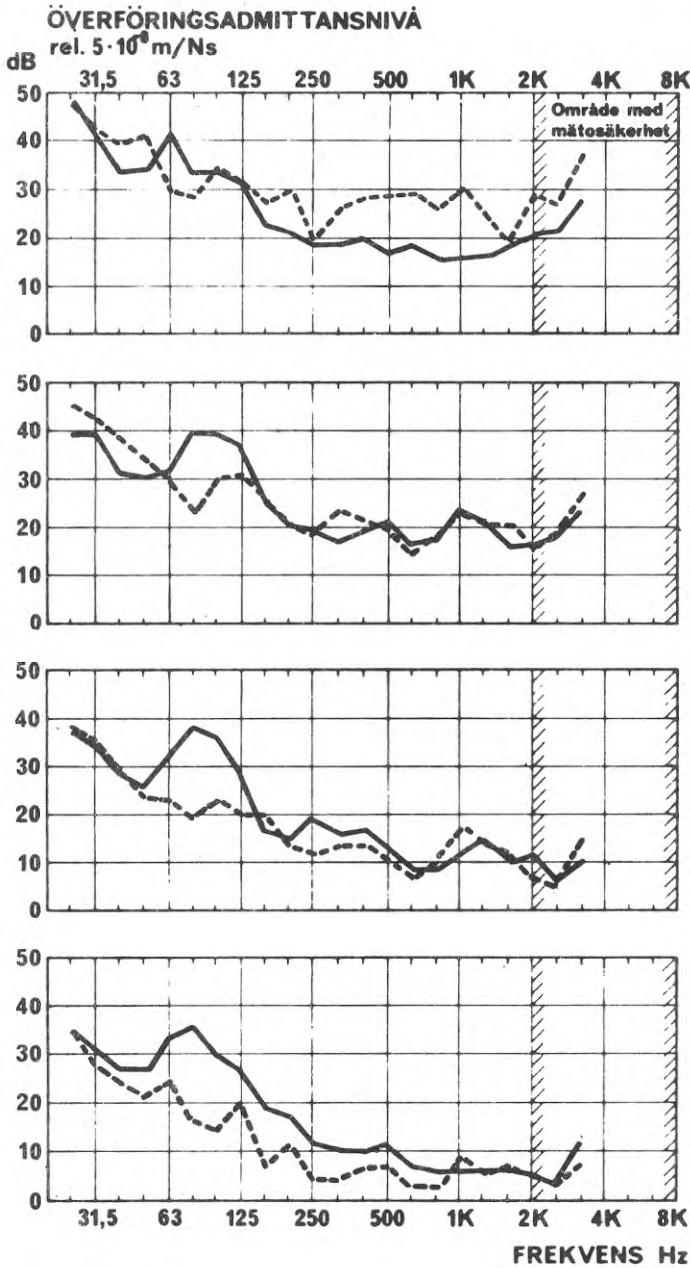
Bjälklag (vägg): badrumsbjälklag, 20 cm betong ———

lägenhetsskiljande vägg, badrum, 35 cm betong - - - - -
med inlagda rör

Byggnad: Kv. Linjalen

1) LÄGENHET 2

L(Y _{i,j})	i	j	j
våning	6	6	6
delyta	33	05	46
punkt	08	MV	MV
riktn.	+1	-3	+3



SÄNDARE (i)
RECIPIENT (j)

LÄGENHET 3

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	6	6	6
delyta	36	33	54
punkt	06	08	MV
riktn.	+3	+1	-2

LÄGENHET 3

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	6	6	5
delyta	36	33	54
punkt	06	08	MV
riktn.	+3	+1	-2

LÄGENHET 3

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	6	6	4
delyta	36	33	54
punkt	06	08	MV
riktn.	+3	+1	-2

LÄGENHET 3

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	6	6	3
delyta	36	33	54
punkt	06	08	MV
riktn.	+3	+1	+2

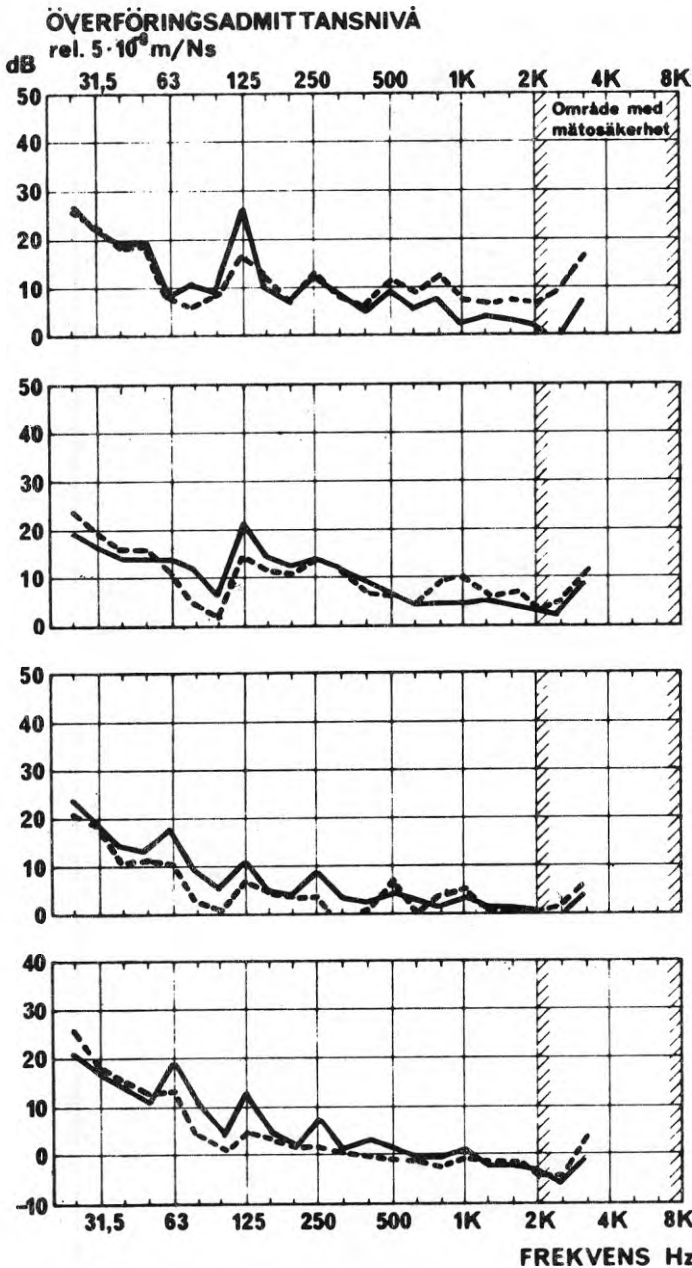
Diagram: 6.65

Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 06 ———
punkt 08 - - - - - **Figur 4.4-4.11**

Bjälklag (vägg): badrumsbjälklag, 20 cm betong
lägenhetsskiljande vägg, badrum, 35 cm betong
med inlagda rör

Byggnad: Kv. Linjalen



SÄNDARE (i)

RECIPIENT (j)

LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	i	j
våning	6	6	6
delyta	36	33	51
punkt	06	08	MV
riktn.	+3	+1	+1

LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	i	j
våning	6	6	5
delyta	36	33	51
punkt	06	08	MV
riktn.	+3	+1	+1

LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	i	j
våning	6	6	4
delyta	36	33	51
punkt	06	08	MV
riktn.	+3	+1	+1

LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	i	j
våning	6	6	3
delyta	36	33	51
punkt	06	08	MV
riktn.	+3	+1	+1

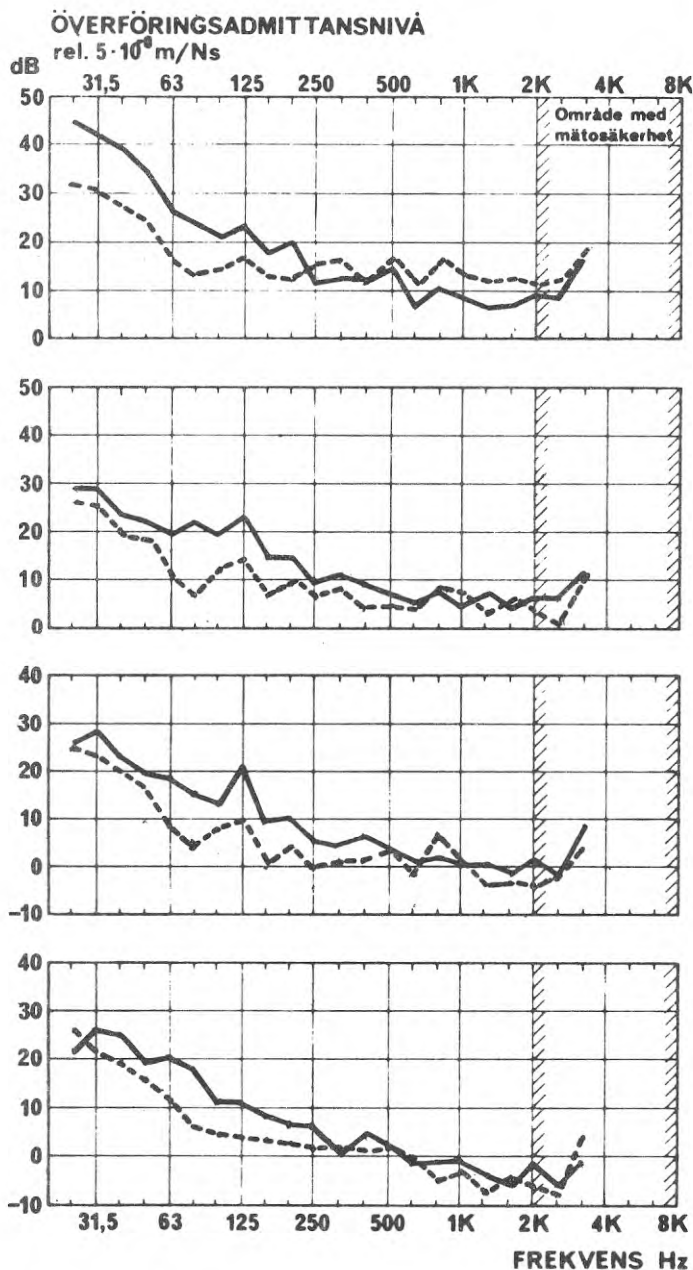
Diagram: 6.66

Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 06 ———— Figur 4.4-4.11
 punkt 08 - - - - -

Bjälklag (vägg): badrumsbjälklag, 20 cm betong
 lägenhetsskiljande vägg, badrum, 35 cm betong med
 inlagda rör

Byggnad: Kv. Linjalen



SÄNDARE (i)

RECIPIENT (j)

LÄGENHET 3

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	6	6	6
delyta	36	33	56
punkt	06	08	IV
riktn.	+3	+1	+3

LÄGENHET 3

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	6	6	5
delyta	36	33	56
punkt	06	08	IV
riktn.	+3	+1	+3

LÄGENHET 3

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	6	6	4
delyta	36	33	56
punkt	06	08	IV
riktn.	+3	+1	+3

LÄGENHET 3

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	6	6	3
delyta	36	33	56
punkt	06	08	IV
riktn.	+3	+1	+3

Diagram: 6.67

Överföringsadmittans

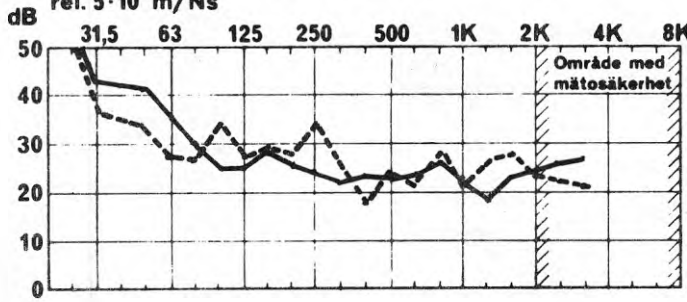
Drivpunkt: punkt 06 ———
punkt 08 - - - -

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): badrumsbjälklag, 20 cm betong
lägenhetsskiljande vägg, badrum, 35 cm betong
med inlagda rör

Byggnad: Kv. Linjalen

ÖVERFÖRINGSADMITTANSNIVÅ

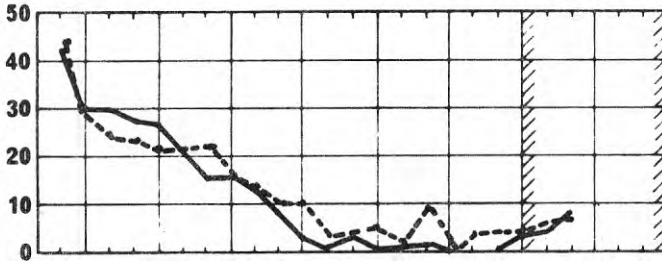
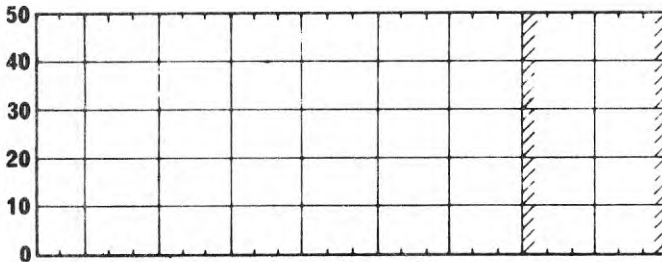
rel. $5 \cdot 10^6$ m/Ns

SÄNDARE (i)

RECIPIENT (j)

LÄGENHET 2

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	6	6	6
delyta	33	32	43
punkt	08	07	MV
riktn.	+1	+2	+1



LÄGENHET 2

L(Y _{i,j})	i	i	j
våning	6	6	4
delyta	33	32	43
punkt	08	07	MV
riktn.	+1	+2	+1

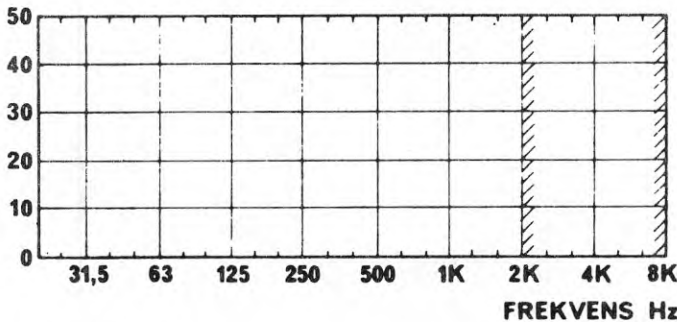


Diagram: 6.68

Överföringsadmittans

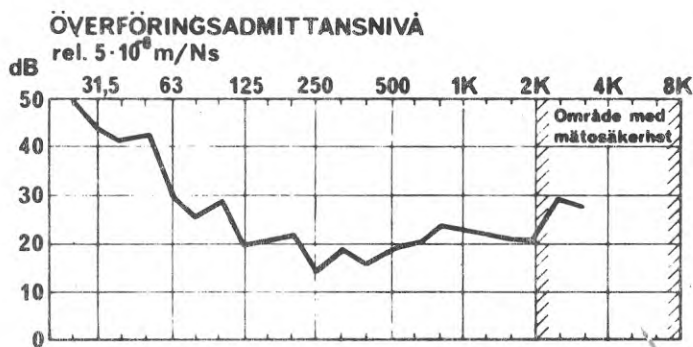
Drivpunkt: punkt 08 — Figur 4.4-4.11
 punkt 07 ----

Bjälklag (vägg): lägenhetsskiljande vägg, badrum, 36 cm —
 betong med inlagda rör

lätbetongvägg, badrum, 7 cm lätbetongplank 50 cm:s bredd - - - -

Byggnad: Kv. Linjalen

Anm. sand inlagd på samtliga lägenhetsbjälklag

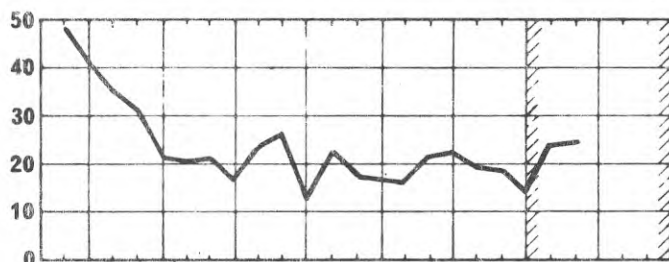


SÄNDARE (i)

RECIPIENT (j)

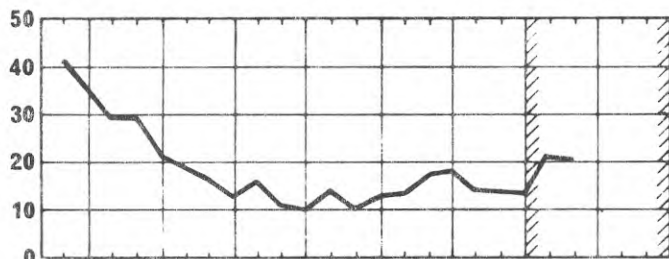
LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	6
delyta	32	41
punkt	07	MV
riktn.	+2	-1



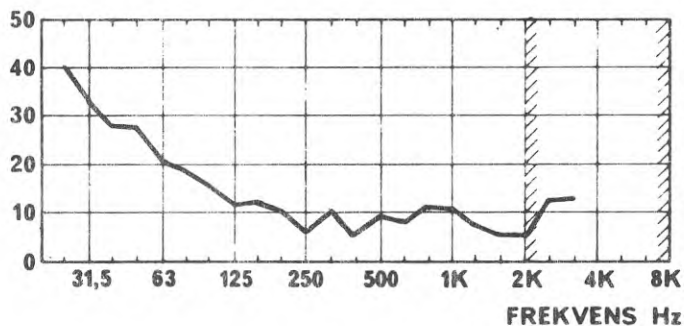
LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	5
delyta	32	41
punkt	07	MV
riktn.	+2	-1



LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	4
delyta	32	41
punkt	07	MV
riktn.	+2	-1



LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	3
delyta	32	41
punkt	07	MV
riktn.	+2	-1

Diagram: 6.69

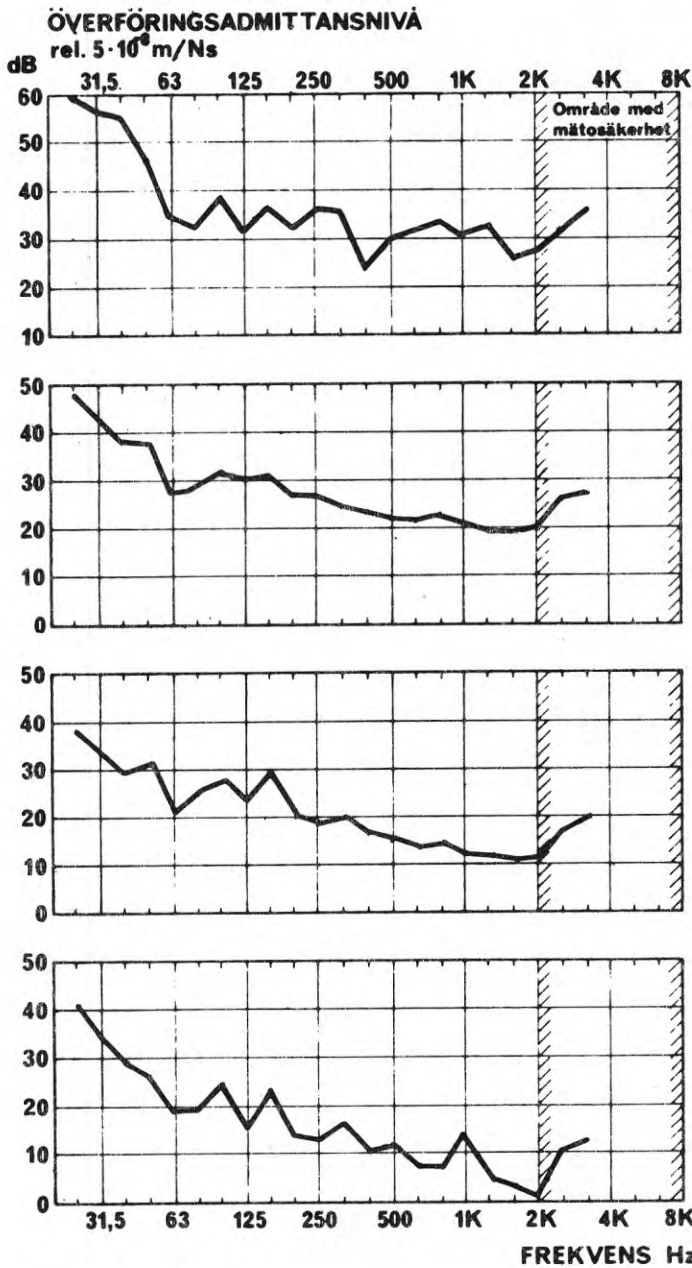
Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 07

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): lättbetong, badrum, 7 cm lättbetongplank
50 cm:s bredd

Byggnad: Kv. Linjalen



SÄNDARE (i)
RECIPIENT (j)

LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	6
delyta	32	43
punkt	07	MV
riktn.	+2	+1

LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	5
delyta	32	43
punkt	07	MV
riktn.	+2	+1

LÄGENHET 2
LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	4
delyta	32	43
punkt	07	MV
riktn.	+2	+1

LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	3
delyta	32	43
punkt	07	MV
riktn.	+2	+1

Diagram: 6.70

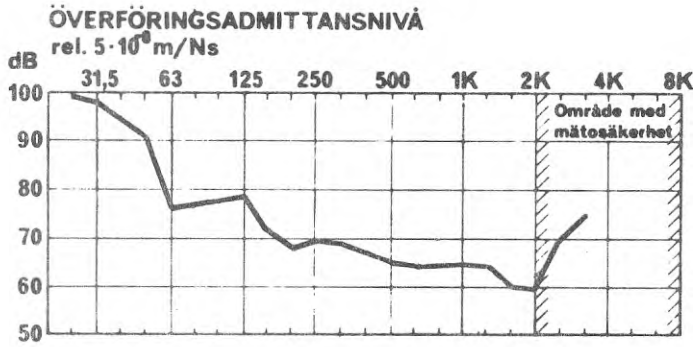
Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 07

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): lättbetong, badrum, 7 cm lättbetongplank
50 cm:s bredd

Byggnad: Kv. Linjalen

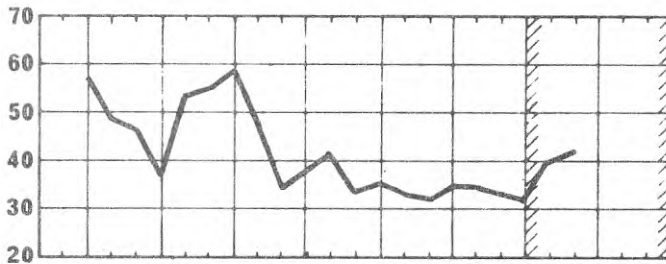


SÄNDARE (i)

RECIPIENT (j)

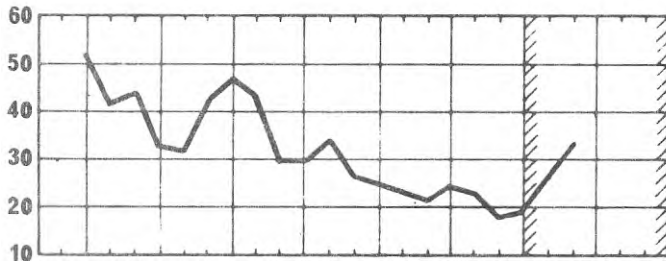
LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	6
delyta	32	32
punkt	07	MV
riktn.	+2	-2



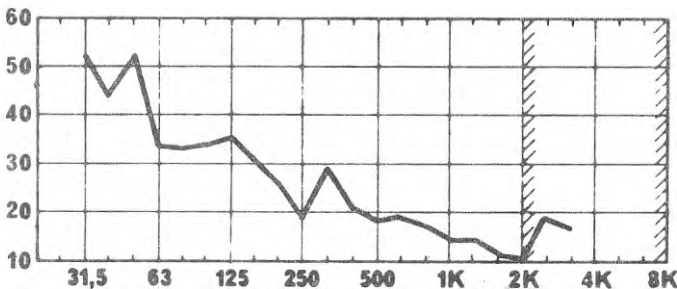
LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	5
delyta	32	32
punkt	07	MV
riktn.	+2	-2



LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	4
delyta	32	32
punkt	07	MV
riktn.	+2	-2



LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	3
delyta	32	32
punkt	07	MV
riktn.	+2	-2

FREKVENNS Hz

Diagram: 6.71

Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 07

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): lättbetong, badrum, 7 cm lättbetongplank
50 cm:s bredd

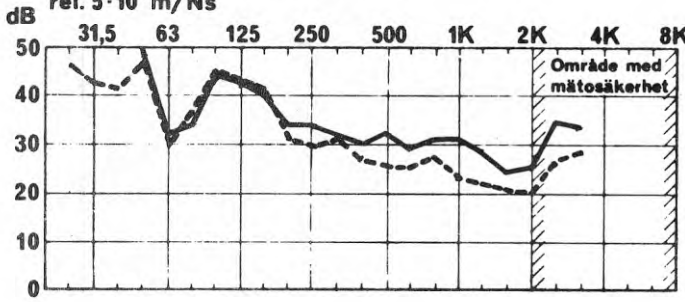
Byggnad: Kv. Linjalen

SÄNDARE (i)

RECIPIENT (j)

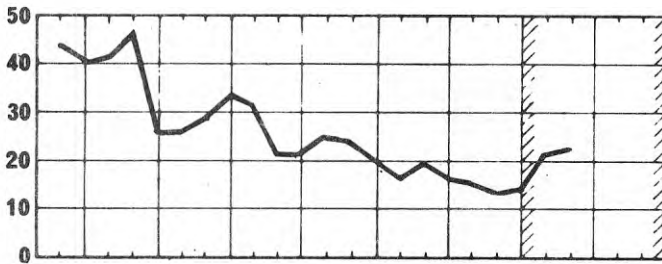
ÖVERFÖRINGSADMITTANSNIVÅ

rel. $5 \cdot 10^6$ m/Ns



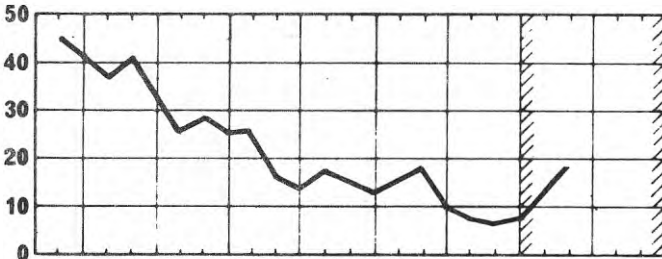
LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j	i
våning	6	6	6
delyta	32	46	05
punkt	07	MV	MV
riktn.	+2	+3	-3



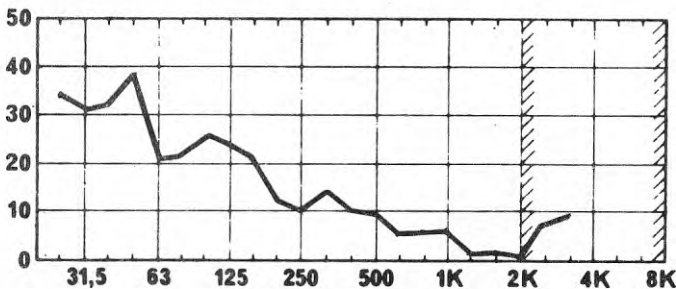
LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	5
delyta	32	46
punkt	07	MV
riktn.	+2	+3



LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	4
delyta	32	46
punkt	07	MV
riktn.	+2	+3



LÄGENHET 2

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	3
delyta	32	46
punkt	07	MV
riktn.	+2	+3

FREKVENS Hz

Diagram: 6.72

Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 07

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): lättbetongvägg, badrum, 7 cm lättbetongplank,

Byggnad: Kv. Linjalen

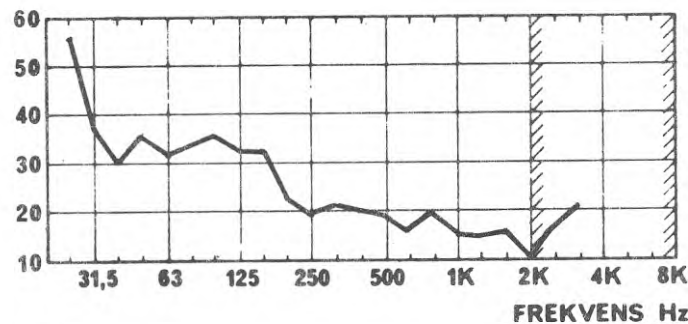
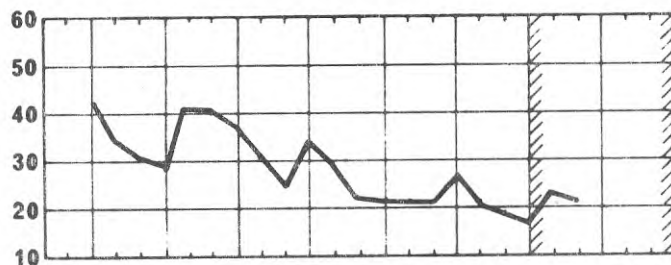
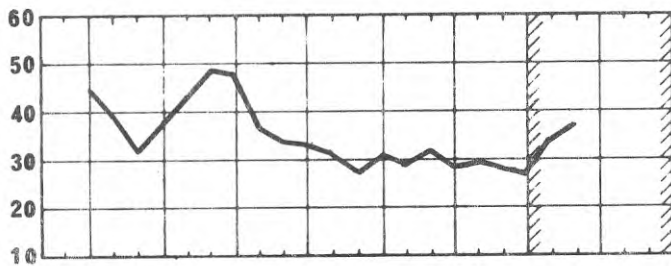
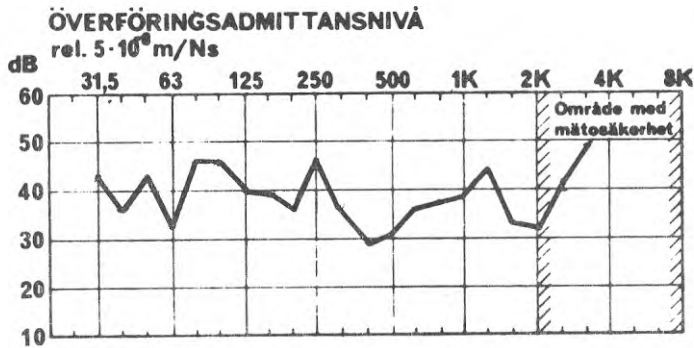


Diagram: 6.73

Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 07

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg):

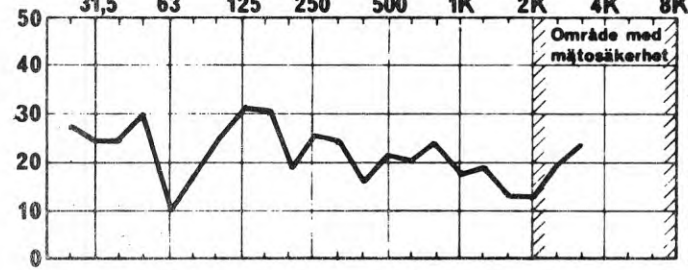
lätbetongvägg, badrum, 7 cm lätbetongplank
50 cm:s bredd

Byggnad:

Kv. Linjalen

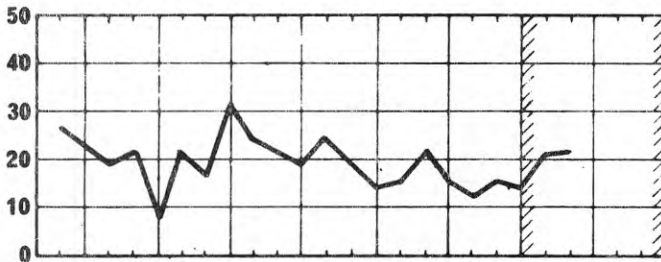
ÖVERFÖRINGSADMITTANSNIVÅ
rel. $5 \cdot 10^0$ m/Ns

SÄNDARE (i)
RECIPIENT (j)



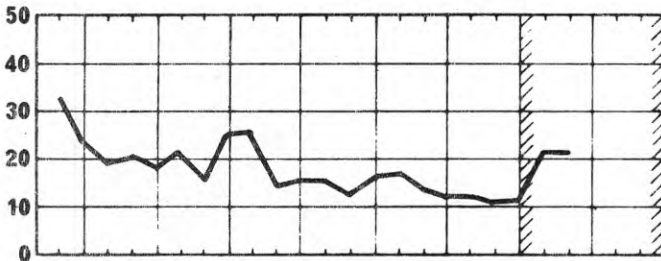
LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	6
delyta	32	51
punkt	07	MV
riktn.	+2	+1



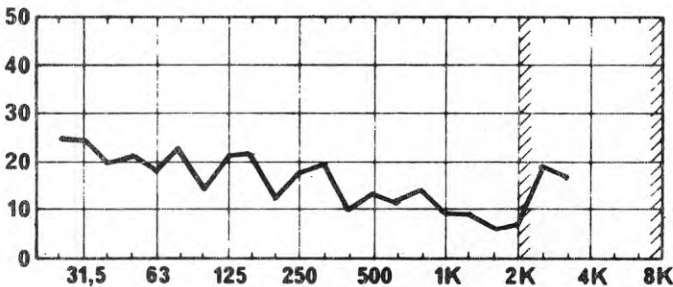
LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	5
delyta	32	51
punkt	07	MV
riktn.	+2	+1



LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	4
delyta	32	51
punkt	07	MV
riktn.	+2	+1



LÄGENHET 3

L(Y _{ij})	i	j
våning	6	3
delyta	32	51
punkt	07	MV
riktn.	+2	+1

FREKVENNS Hz

Diagram: 6.74

Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 07

Figur 4.4-4.11

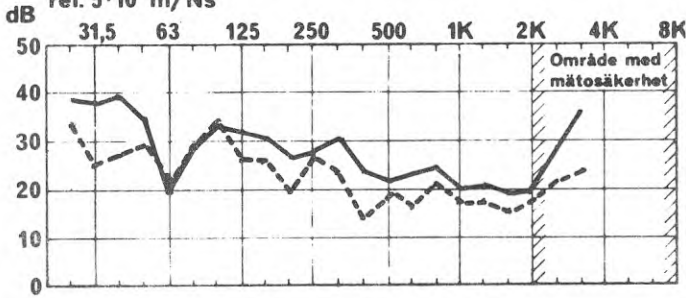
Bjälklag (vägg): lättbetongvägg, badrum, 7 cm lättbetongplank,
50 cm:s betong

Byggnad: Kv. Linjalen

SÄNDARE (i)

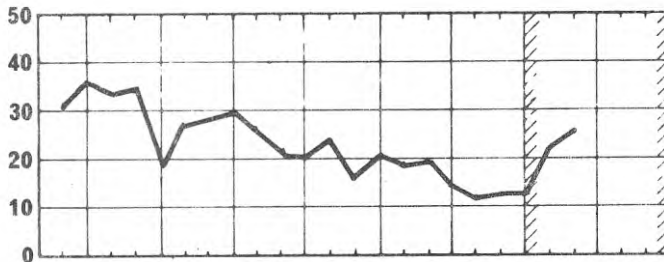
RECIPIENT (j)

ÖVERFÖRINGSADMITTANSNIVÅ
rel. $5 \cdot 10^6$ m/Ns



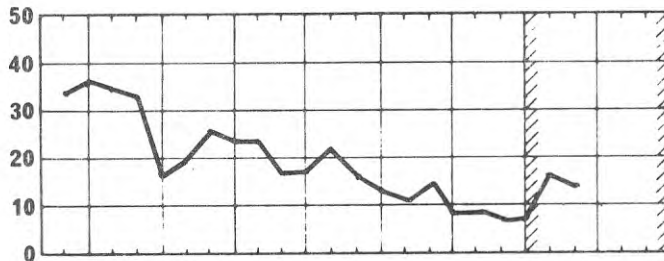
LÄGENHET 3

L(Y _{i,j})	i	j	j
våning	6	6	6
delyta	32	56	05
punkt	07	MV	MV
riktn.	+2	+3	-3



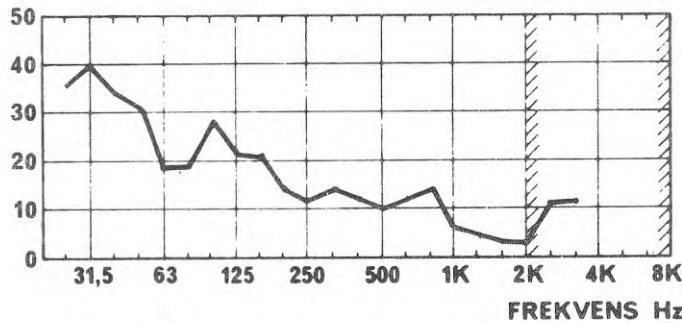
LÄGENHET 3

L(Y _{i,j})	i	j
våning	6	5
delyta	32	56
punkt	07	MV
riktn.	+2	+3



LÄGENHET 3

L(Y _{i,j})	i	j
våning	6	4
delyta	32	56
punkt	07	MV
riktn.	+2	+3



LÄGENHET 3

L(Y _{i,j})	i	j
våning	6	3
delyta	32	56
punkt	07	MV
riktn.	+2	+3

FREKVENNS Hz

Diagram: 6.75

Överföringsadmittans

Drivpunkt: punkt 07

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): lättbetongvägg, badrum, 7 cm lättbetongplank, 50 cm:s bredd

Byggnad: Kv. Linjalen

7. LUFTLJUDSNIVÅ I RUM VID STOMLJUDSEXCITERING MED BRUS

7.0 Allmänt

I samband med överföringsadmittansmätningarna genomfördes några luftljuds- och efterklangsmätningar i aktuella rum. Ljudtrycksnivåerna har i ett par fall jämförts med de värden på luftljuds-nivåer som kan beräknas ur vibrationshastigheterna på väggar, tak och golv.

7.1 Mätmetodik

Excitering har såsom vid impedansmätningarna skett punktformigt med elektromekanisk vibrator. Vibratorn har drivits med bredbandig brussignal.

Ljudtrycksnivån i rummen har registrerats på bandspelare varvid en bullermätare typ Brüel & Kjaer 2203 har använts som mikrofon. Fem mikrofonpositioner med olika höjd har utnyttjats i varje rum. Efterklangsmätning har utförts med pistol.

Analys av de inspelade kraft- och ljudtrycksnivåerna har utförts i tersband på parallellanalysator typ Brüel & Kjaer 3347. Efterklangstid i oktavband har bestämts med filter och nivåskrivare typ Brüel & Kjaer.

7.2 Genomförda mätningar. Mätresultat

Ljudtrycksnivåerna i rummen har korrigerats till konstant exciteringskraft 1 N i tersband och till en rumsabsorption på 10 m^2 . De nivåer som på så sätt erhållits redovisas i diagramform. En sammanställning av genomförda mätningar visas i TAB. 7.1 nedan.

TAB. 7.1 Sammanställning av genomförda luftljudsmätningar

drivpunkt ¹⁾	mottagarrum	plan	diagram
03, 15 cm btg	S1	3 - 6	7.1
hissrum	S2	3 - 6	7.2

drivpunkt ¹⁾	mottagarrum	plan	diagram
05, 15 cm btg intill fläktrum	V2 V3	3 - 6 3 - 6	7.3 7.5
04, 5 cm flytande golv i fläktrum	V2 V3	3 - 6 3 - 6	7.3 7.5
06, 20 cm btg- bjälklag, badrum	V2 V3	3 - 6 3 - 6	7.6 7.7
08, 35 cm btg, lägenhetsskilj. vägg	V3	5 - 6	7.7
07, 7 cm lättbtg, badrum	V2 V3	3 - 6 3 - 6	7.8 7.9

(1 Samtliga bjälklag har drivits i vertikal riktning, väggar i normalens riktning)

I diagram 7.3-7.5 har överföring direkt från rent betonggolv resp. från flytande golv jämförts. Man bör observera att värdena för samma mottagarrum avser drivning från två rum som ligger vid sidan av varandra. Det framgår av diagram 7.3 att ett flytande golv lagt i visst rum ger minst den dämpning av ljudet i rummet under som en sidoförskjutning av drivkraften en rumsenhet motsvarar. I diagram 7.4 framgår bättre inverkan av ett flytande golv, eftersom rum V2 och V3 ungefär motsvarar varandra relativt drivpunkten.

7.3 Kommentarer till mätresultaten

7.3.1 Ljudtrycksnivå vid godtycklig kraft och rumsabsorption

De ljudnivåer L_p' som redovisats i diagrammen 7.1-7.9 kan utnyttjas för ljudtrycksnivåbestämning för en godtycklig drivkraft F och godtycklig absorption A_S i mottagarrummet under utnyttjande av formeln:

$$L_p = L_p' + 20 \log F + 10 \log \left(\frac{A_S}{10} \right) \quad (7.1)$$

förutsatt att absorbenten ej är alltför ojämnt placerad i rummet.

Om drivning i stället äger rum samtidigt i N drivpunkter med brus med nivån F per tersband skall i mellan- och högfrekvensområdet värdet L_p i (7.1) höjas med $10 \log N$.

7.32 Betr luftljudtrycknivåns belopp

Jämfört med överföringsadmittanserna visar luftljudet ett betydligt långsammare fall med frekvensen. För rum som ligger i omedelbar anslutning till vägg eller bjälklag där drivpunkten är anbragt är nivån påfallande frekvensoberoende. Se t ex diagram 7.1, rum S1, plan 6; diagram 7.6, rum V2, plan 6 eller diagram 7.8, rum V2, plan 6.

För rum som ligger på visst avstånd från drivpunkten tillkommer sannolikt ökade knutpunktsreflexer vid snett infall av högfrekventa böjvågor och man får därför en luftljudnivå som faller mer mot höga frekvenser.

Det kan vara intressant att se på den hastighetsnivå som erhålles vid punktexcitering av en bjälklagsplatta eller ett väggelement som är utsatt för så stora reflexer i randen av den kan betraktas som ändlig. Teoretiskt får man för det kvadratiske medelvärdet över plattan (Jfr t ex Cremer/Heckl s. 288) vid brusexcitering:

$$\langle v^2 \rangle \approx \frac{F^2 k_d^2}{8\omega^2 m^2 A \cdot \eta} \quad (7.2)$$

$$\text{där} \quad k_d = \frac{2\pi}{\lambda_B} = \frac{\omega}{c_B} = \sqrt{\omega} \cdot \sqrt{\frac{4}{B'}}$$

m = plattans vikt/y.e.

B' = böjmotståndet

A = plattans yta

η = effektiv förlustfaktor

Spec. homogen platta med tjockleken h , tätheten ρ ger $B' = Eh^3/12(1-\nu^2)$

$$\begin{aligned} \langle v^2 \rangle &= \frac{F^2 \cdot \omega}{8\omega^2 m^2 \cdot A \cdot \eta} \cdot \sqrt{\frac{m}{B'}} \\ &\approx \frac{F^2}{8\omega \cdot \rho^2 h^2 \cdot A \cdot \eta} \cdot \sqrt{\frac{gh \cdot 12 \cdot 0.91}{E h^3}} = \end{aligned}$$

$$\langle v^2 \rangle = \frac{F^2}{2,4 \cdot \omega \cdot \rho^2 \cdot h^3} \cdot \frac{1}{c_L} \cdot \frac{1}{\eta} \quad (7.3)$$

Ex. Betong $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$ $h = 0,15 \text{ m}$ $c_L = 3500 \text{ m/s}$ ger:

$$\frac{\langle v^2 \rangle}{F^2} = \frac{1}{2,4 \cdot 3500 \cdot 2,4^2 \cdot 10^6 \cdot 0,15^3} \cdot \frac{1}{\omega \eta S}$$

$$= 0,61 \cdot 10^{-8} / \omega \eta S$$

$$\therefore L_v = 10 \log \langle V^2 \rangle / (5 \cdot 10^{-8})^2 = 64 - 10 \log \omega \eta A \quad (7.4)$$

Ser man på en särskild, experimentellt studerad punkt och några frekvenser finner man t ex av diagram 6.60, drivpunkt 05, bjälklagsyta ca. 13 m^2 följande experimentella värden:

f	63	125	250	500	1K	2K	
$L_{v_{\text{exp}}}$	= 41	30	29	25	25	22	dB

För att experimenten skall överensstämma med formel (7.4) ford-
ras, med reservation för spridningen:

$$\eta = 0,5 \quad 0,3 \quad 0,5 \quad 0,4 \quad 0,8 \quad 0,8 \quad \text{dB}$$

Dessa värden är minst 10 - 20 ggr högre än vad som kan beräknas för slutna betongkonstruktioner och tyder alltså på att energiavledningen via randen är kraftig. (Nivån skulle med $\eta = 0,05$ i stället vara ca. 10 dB högre än de ovan experimentellt redovisade värdena). Fallet 3 dB per fördubblad frekvens motsvarar ungefär det experimentellt funna, redovisad i diagram 6.60.

Med ledning av transmissionsfunktionerna $L_v (F/p)$ kan för godtyckligt störspektrum $F(f_1)$ ljudtrycksnivån och därmed dB(A)-nivån i ett aktuellt mottagarrum bestämmas. För fallet att störkraften är frekvensoberoende d v s

$$F(f) = F = \text{konstant}$$

har dB(A)-nivån beräknats för några studerade exciteringspunkter. (Är störkällans impedans Z_s mycket låg i förhållande till underlagets impedans Z_b motsvarar detta enligt ekvation (2.16) att också den mot underlaget i drivpunkten framkallade hastigheten är konstant).

Resultaten av dessa beräkningar framgår av TAB. 7.2.

TAB. 7.2 I angränsande rum utbildad dB(A)-nivå vid kraftexcitering med vitt brus $F(f) = \text{konstant} = 1 \text{ Newton/ters}$

Kv Linjalen

Vån	Rum	Excit.punkt hissrum 15 cm btg-bjälklag i = 7/03/03		Rum	Excit.punkt i fläkt- rum 15 cm flytande golv 7/04/04		Rum	Excit.punkt intill fläktrum 15 cm btg- bjälklag 7/05/05	
		31,5 - 2000 Hz	31,5 - 8000 Hz		31,5 - 2000 Hz	31,5 - 8000 Hz		31,5 - 2000 Hz	31,5 - 8000 Hz
		6	S1		46 dB(A)	47 dB(A)		V2	44 dB(A)
5	"	44 "	46 "	"	35 "	35 "	"	39 "	40 "
4	"	41 "	42 "	"	32 "	33 "	"	36 "	36 "
3	"	38 "	39 "	"	31 "	32 "	"	34 "	35 "
6	S2	43 dB(A)	44 dB(A)	V3	36 dB(A)	37 dB(A)	V3	56 dB(A)	56 dB(A)
5	"	39 "	40 "	"	33 "	34 "	"	45 "	45 "
4	"	38 "	39 "	"	31 "	32 "	"	37 "	37 "
3	"	35 "	37 "	"	30 "	32 "	"	35 "	36 "

Vid excitering på hissrumsbjälklaget är bidragen under 500 Hz till dB(A)-nivån praktiskt taget försumbara. Detta kan hänga samman med att drivningen i punkt 03 är vald alldeles intill en bärande understödjande vägg. Man ser också hur i detta fall nivåreduktionen nedåt genom våningarna är betydligt mindre än för de övriga drivpunkterna 04 och 05 vilka ägt rum på flytande golv, respektive mitt på rent 15 cm betong-bjälklag.

Vid drivning på flytande golv, punkt 04, blir dB(A)-bidragen avsevärda ända ner till 125 Hz. För drivpunkt 05 räcker det att räkna frekvensbidragen ner till 250 Hz.

De rum som ligger mitt under drivpunkterna framgår av nedanstående tabell:

drivpunkt	03	04	05
rum	S1	V2	V3

Önskar man göra en direkt jämförelse av hur drivpunktens läge påverkar nivån bör alltså dessa tre rum inbördes jämföras. Man ser av TAB. 7.2 att nivåerna för dessa rum (om man inskränker sig till frekvensintervallet 31,5 - 2000 Hz) blir:

Drivpunkt	03	04	05
Rum	S1	V2	V3
Vån 6	46	44	56 dB(A)
5	44	35	45 "
4	41	32	37 "
3	38	31	35 "

d v s nivån i rum V3 dominerar klart i planet närmast under drivpunkten, men differensen sjunker i de undre planen. Vid excitering på hissrumsbjälklaget, punkt 03, är nivån längre ner i byggnaden större än vid drivning i punkt 05, sannolikt beroende på den goda nedledningen genom närheten till det vertikala hisschaket. Det är också iögonfallande att det flytande golvet förbättrar situationen med storleksordningen 10 dB(A) på de närmaste våningsplanen under drivpunkten. För störkällor med dominerande lågfrekvensstörningar är bilden dock betydligt ogynnsammare. Det kan räcka med att ange de A-vägda oktavbandsnivåerna i rummen V2 och V3 vid excitering på flytande golv respektive på rent bjälklag för att visa detta. Se TAB. 7.3.

TAB. 7.3

A-vägda oktavbandsnivåer vid brusexcitering med 1N/tersband i rum V2 under flytande golv (punkt 04) respektive i rum V3 under rent bjälklag (drivpunkt 05).

Vån.	Rum	f = 31,5	63	125	250 Hz
6	V2	12	24	34	35 "dB(A)"/oktav
	V3	12	34	39	49
5	V2	5	18	25	28
	V3	5	25	29	37
4	V2	6	16	24	27
	V3	1	21	23	29
3	V2	1	19	24	23
	V3	0	18	23	29

Här återfinns fördelar för alternativet med flytande golv (V2) jämfört med excitering direkt på bjälklaget (V3), endast för frekvenserna 63, 125 och 250 Hz i de båda våningsplanen närmast under drivpunkten. Två - tre våningar ner i byggnaden är t o m förhållandena sämre vid flytande golv sannolikt beroende på de plattresonanser som tidigare redovisats. Ett flytande golvarrangemang avsett att isolera för maskinvibrationer har alltså i det aktuella fallet ej visat sig fungera mer än i begränsad omfattning.

En annan faktor som kan noteras är att ljudnivån vid dessa låga frekvenser praktiskt taget är konstant även om 2, 3 eller 4 bjälklag ligger mellan drivpunkten och mottagarrummet. Det stående vågmönster som utbildas är tydligen förbundet med mycket låga inre förluster.

Låt oss till sist se på vilka nivåer man får om kraftingreppet äger rum mot en lättbetongvägg. Exempel på utbildade luftljudnivåer finner man i diagram 7.8.

Man lägger först märke till att nivåerna i rum i anslutning till lättbetongväggen ligger betydligt högre än om samma kraft angriper på en tung stomkomponent av betong. Diagram 7.8, vån. 6, rum V2. Den exciterade lättbetongväggen ingår som delyta i rummet. Här får man luftljuds nivåer i hela frekvensområdet 63 - 1000 Hz på omkring 70 dB/ters. Nivåerna vid excitering av bjälklagsytan, punkt 05, vån. 6, rum V3, ger i motsvarande fall värden som ligger omkring 45 dB/ters. Den högre nivån bibehålles också ner genom våningsplanen även om differensen sjunker från 70 - 45 = 25 dB till ner mot 10 dB på några våningsplan under. Det är alltså betydligt allvarligare att med en konstant kraftkälla driva stommen på ett eftergivligt plattelement än att driva stommen på en styvare platta! Detta enkla konstaterande kan direkt utläsas av sambandet (2.21) som visar storleken på den i en struktur från en konstant kraftkälla inmatade vibrationseffekten. För större plattor är realdelen av admittansen bestämd av:

$$G \approx \frac{1}{h^2} \cdot \frac{1}{(\varrho E)^{1/2}} \quad (7.5)$$

Jämför man t ex 15 cm betong (G_b) och 7 cm lättbetong (G_{1b}) finner man

$$\frac{G_{1b}}{G_b} \approx \left(\frac{15}{7} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{2,3 \cdot 3 \cdot 10^{11}}{0,6 \cdot 2,2 \cdot 10^{10}}} \approx 31$$

Inmatad energi till byggnadens stomme borde alltså i lättbetongfallet enligt (2.21) vid stora plattor ökas med beloppet:

$$L = 10 \log 31 \approx 15 \text{ dB} \quad (7.6)$$

Siffrorna antyder att man får en betydligt bättre energiupptagning till stomelementet vid lättbetong. Man måste dock göra klart för sig att vad vi i detta avsnitt jämför är luftljuds nivåerna och dessa är också starkt beroende av de lokala vibrationsnivåerna och avstrålningsfaktorerna på de vibrerande ytorna. För de vägtyper som studerats har följande antagande gjorts beträffande avstrålningsfaktorn ($10 \log s_i$).

Väggtyp	100	125	160	200	250	315 Hz
Betong 15 cm	0	0	0	0	0	0
Gips 2x13 mm	-16	-15	-14	-13	-12	-10
Lättbtg 7 cm	-15	-13	-11	-9	-7	-5

Väggtyp	400	500	730	800	1000	1250 Hz
Betong 15 cm	0	0	0	0	0	0
Gips 2x13 mm	-9,5	-9,0	-7	-5	-3	-0
Lättbtg 7 cm	-3	-1	-0	-0	-0	-0

Under 315 Hz försvåras alltså avstrålningen från lättbetongelementet. På en driven lättbetongvägg är dock reflexfaktorerna i randen mot de tunga anslutande betongelementen betydligt större än för en bjälklagsplatta av betong varför en högre nivåskillnad än vad (7.6) antyder kommer att lokalt utbildas.

En känd konsekvens är att rörledningar anslutna till strypventiler, WC-stolar, badkar o s v ej bör klamras till lätta väggar då risken för luftljudsupbyggnad starkt ökar i de rum som inkluderar dessa väggar.

Reflexfaktorn verkar emellertid för rum intill exciteringsplatsen i motsatt riktning varför, trots den högre energiupbyggnaden i lättbetongplattan luftljudnivån approximativt blir lika stor som vid drivning på betong. Se 6.25.

7.33 Jämförelse mellan uppmätta luftljudnivåer och de som kan kalkyleras ur vibrationsnivåerna

En kontroll har gjorts av hur noggrant man ur uppmätta vibrationsnivåer på delytorna kan bestämma i de olika rummen utbildat luftljud.

Beräkningen har inskränkts till våningsplan 6 och 4 vid excitering av hissrumsbjälklag, fläktrumsbjälklag och badrumsbjälklag.

Utstrålningen från i:te väggen (eller bjälklaget) i mottagarrummet har bestämts enligt nedanstående formler:

Utstrålad ljudeffekt W_i från delyta S_i med uppmätt kvadratisk hastighet $\langle v_i \rangle^2$ och avstrålningsfaktor s_i :

$$W_i = \rho_0 \cdot c_0 \cdot s_i \cdot S_i \cdot \langle v_i \rangle^2 \quad (7.7)$$

I diffust ljudfält gäller för ljudtrycket p_i

$$\langle P_i \rangle^2 = 4 \cdot \rho_0 \cdot c_0 \cdot \frac{W_i}{A_S} \quad (7.8)$$

där A_S är rumsabsorptionen, $\rho_0 c_0$ är luftens karakteristiska impedans = 406 Ns/m.

Mellan luftljudsnivån L_p och hastighetsnivån L_v gäller alltså:

$$L_{p_i} = L_{v_i} + 10 \log S_i + 10 \log s_i - 10 \log A_S + 20 \log 2 \quad (7.9)$$

Ljudtrycksnivån i rummet kommer alltså att uppbyggas av bidragen från de olika delytorna i och blir:

$$L_p = \sum_i L_{p_i} \quad (7.10)$$

Den rumsabsorption A_S som uppmätts i de olika rummen framgår av TAB. 7.4.

TAB. 7.4

Rumsabsorption A_S (m^2) för aktuella rum

Rum	Volym	50	100	200	400	800	1600	3150	6300	Hz
S1	30 m ³	4,3	3,1	2,7	2,7	3,0	3,7	5,3	6,4	m ²
S2	28 "	3,3	1,9	1,7	2,0	2,6	2,9	3,6	5,1	"
V2	50 "	3,6	3,7	3,8	3,9	4,3	5,2	6,5	10,0	"
V3	50 "	3,7	3,9	3,9	3,8	4,1	4,7	6,2	9,8	"

För frekvenser mellan de angivna har värdena interpolerats. De vid beräkningarna utnyttjade avstrålningsfaktorerna s_1 framgår av avsnitt 7.32.

Resultatet av beräkningarna återfinns i TAB. 7.5 - 7.7. Differensen mellan teoretiskt och experimentellt uppmätta luftljudnivåer för sig om 1 - 2 dB beräknat som standardavvikelse. Största avvikelserna förekommer vid 100 Hz respektive 3150 Hz där 5 - 10 dB nivååddifferens kan förekomma. Delytornas bidrag till den totala avstrålningen framgår av tabellen.

I diagram 7.10-7.12 redovisas beräknad och uppmätt ljudtrycksnivå för de aktuella fallen.

Av den genomförda jämförelsen bör slutsatsen kunna dras att sambandet mellan luftljudsnivå och vibrationshastighet kan acceptabelt bestämmas för aktuella typer av excitering med det antal mätpunkter på delytorna som utnyttjats i denna studie. För frekvenser under 125 Hz blir dock osäkerheten stor.

De i denna rapport via överföringsadmittanser redovisade vibrationshastighetsnivåerna bör alltså utan större fel kunna utnyttjas även för bestämning av luftljudsnivåerna i de rum där luftljudet ej uppmätts, liksom för prognos av luftljudsnivåer i byggnader som ur stomljudstransmissionssynpunkt likna här studerade.

	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1K	1.25K	1.6K	2K	2.5K	3.15K Hz
Vägg 24	37.0	31.6	33.5	28.5	22.1	26.6	30.6	29.4	26.5	25.6	23.3	19.8	23.7	24.6	26.2	25.2
Vägg 13	33.1	25.7	31.5	24.0	21.0	30.2	35.0	29.7	25.5	27.9	24.5	21.4	23.9	21.8	25.5	23.2
Vägg 21	24.4	20.2	25.0	18.0	13.6	21.4	31.9	23.1	22.0	20.0	19.0	13.9	16.4	13.7	15.9	15.0
Tak	23.0	31.5	34.9	24.8	22.0	26.9	30.4	26.0	23.9	25.7	24.2	19.8	23.2	22.0	25.3	23.9
Golv	22.8	32.6	30.7	25.3	20.9	21.5	32.0	25.7	24.7	25.2	19.1	17.9	25.0	19.4	22.3	20.5
Vägg 22	15.5	13.0	20.4	12.0	17.0	23.9	31.3	22.6	16.0	19.6	19.6	17.4	18.3	13.5	10.0	5.0
L _p tot	39.0	37.0	39.0	31.3	28.0	34.0	40.0	34.8	32.0	32.6	30.3	26.7	30.5	28.5	31.0	29.0
L _p mätt	34.0	32	36	28	26	32.5	40.6	35.0	34.4	33.8	30.6	27.3	31.6	27.2	30.5	27.0
																42,5 dB(A)
Vägg 24	33.9	25.9	24.6	21.5	25.6	26.0	29.5	24.6	26.0	20.6	20.0	17.0	19.9	12.1	23.0	20.5
Vägg 13	28.9	22.7	22.5	17.5	19.3	22.6	28.0	23.2	22.5	22.5	18.0	17.6	16.4	15.0	13.5	14.2
Vägg 21	26.0	23.0	24.6	19.6	14.3	15.8	16.6	14.8	13.2	15.8	10.6	8.8	13.1	8.7	11.0	13.2
Tak	26.6	29.8	23.5	20	21.7	25.3	28.7	23.3	22.5	22.9	19.7	17.7	20.2	18.8	20.7	15.5
Golv	27.2	26.6	20.3	20.6	15.3	27.1	28.9	25.7	19.1	19.7	29.9	16.0	16.2	15.4	14.3	12.9
Vägg 22	21.9	13.2	14.0	5.4	4.4	7.9	26.3	15.4	15.6	15.6	13.4	15.2	13.3	11.3	11.2	8.4
L _p tot	36.5	33.5	30.8	26.8	28.1	31.7	35.5	30.4	29.3	28.1	25.9	23.5	24.8	22.5	25.8	23.3
L _p mätt	30.0	28.6	29.6	27.2	25.4	30.4	37.8	30.4	30.0	27.8	27	23.5	25.4	20.2	22.5	19.5
																38,1 dB(A)

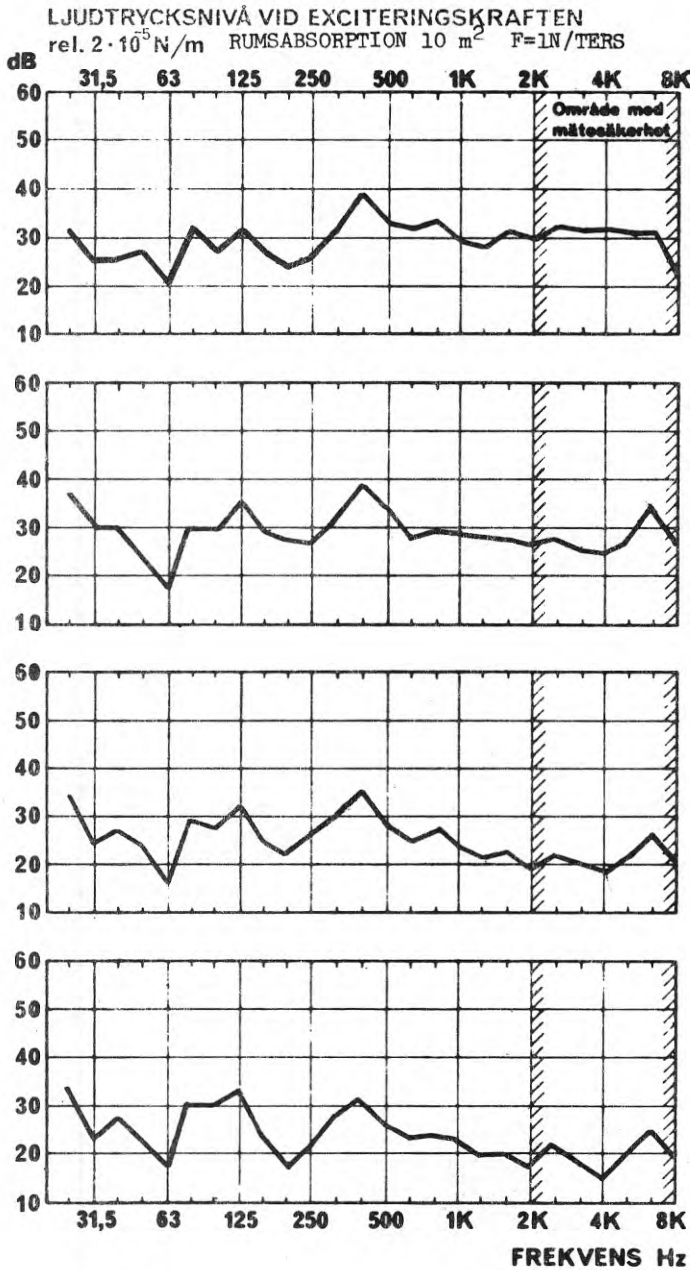
TAB. 7.5 Beräkning av ljudtrycksnivåbidrag från enskilda deltytor i rum S2, vän 6 resp. vän 4, vid excitering av hissrumsbjälklag. Jämförelse med experimentellt uppmätta ljudtrycksnivåer. Grafisk framställning, se diagram 7.9

	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1K	1.25	1.6	2K	2.5	3.15 Hz
Vägg 51	25.1	27.4	23.6	19.1	18.4	20.0	16.3	17.1	15.1	12.9	11.9	9.5	9.0	3.2	4.8	6.8
Vägg 43	47.0	39.7	34.9	29.6	21.3	26.1	23.4	24.8	20.0	18.2	17.6	19.1	11.5	11.6	13.4	15.5
Tak	39.5	36.6	29.5	33.0	27.0	32.0	28.5	29.5	24.0	27.0	25.0	20.5	18.0	16.5	20.0	17.5
	0	+4	0	+7	+7	+8-10										Vån 6
Golv	39.6	32.6	29.3	26.0	20.1	24.2	20.4	21.4	15.8	18.7	17.2	12.7	9.7	8.3	13.0	14.8
Vägg 54	29.3	28.7	20.4	17.7	13.7	23.9	18.7	24.3	26.5	15.9	17.6	20.3	17.2	15.0	12.2	11.8
L _p tot	48.0	42.0	37.5	35.0	29.0	34.0	30.5	32.0	29.5	28.5	27.0	25.2	21.5	19.7	22.0	21.0
beräkn.																
L _p mätt	37.6	39.6	36.8	33.6	28.2	31.6	26.8	30.8	30.6	27.6	24.4	24.9	21.0	16.6	14.5	14.9
																35,5 dB(A)
Vägg 51	20.3	25.7	25.8	14.4	5.0	5.2	1.5	10.3	7.4	6.8	4.4	3.1	0.2	0.4	-4.7	-1.2
Vägg 43	32.0	27.0	32.2	24.6	20.6	24.6	19.4	17.3	12.6	14.4	14.9	10.3	7.2	5.0	3.4	4.0
Tak	32.5	29.2	29.5	27.1	19.0	21.6	13.6	15.4	14.7	11.3	13.2	8.0	6.5	0	0	0
Golv	32.0	28.8	25.5	22.5	13.0	15.5	12.6	16.0	9.1	7.3	6.4	4.4	0	-0.1	1.0	-4.4
Vägg 54	21.3	15.7	13.6	13.0	7.7	12.3	12.0	15.3	10.5	11.9	13.2	8.3	8.2	3.0	1.2	0
L _p tot	37.3	34	35.1	30.0	23.5	26.9	21.5	22.0	18.7	17.9	19.0	14.3	12.2	7.9	7.5	7.0
beräkn.																
L _p mätt	37.2	29.2	33	31	23.2	25.6	23.8	24.4	23.2	19.2	19.2	18.5	15.6	10	4.5	2.5
																30,5dB(A)

TAB. 7.6 Beräkning av ljudtrycksnivåbidrag från enskilda delytor i rum V3, vån.6 resp. vån.4 vid exit av flytande golv i fiäkrum. Jämförelse med experimentellt uppmätta ljudtrycksnivåer. Grafisk framställning, se diagram 7.10.

	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1K	1.25K	1.6K	2K	2.5K	3..15K Hz
Vägg 51	19.5	36.2	20.6	18.0	22.7	19.5	15.6	19.5	15.8	17.8	12.7	13.5	13.0	12.0	7.2	15.1
Vägg 43	36.8	32.8	28.7	28.5	23.3	25.7	28.3	21.9	23.0	19.5	21.6	21.5	18.9	20.0	17.7	25.7
Tak	21.6	20.7	13.8	8.3	6.2	7.5	8.5	7.3	5.3	3.0	7.2	7.5	6.0	7.3	-1.2	7.6
Golv	33.7	35.9	30.1	32.5	25.0	26.0	25.5	26.1	19.2	23.0	21.1	18.7	19.5	21.6	19.4	26.8
Vägg 54	27.0	27.0	20.2	20.0	20.0	22.3	25.3	24.3	27.2	23.8	24.0	24.0	26.8	28.1	28.1	34.2
Vägg 52																
L _p tot beräkn.	38.6	49.2	33.0	34.3	29.0	29.5	31.5	29.5	29.0	27.7	27.0	27.0	28.3	29.6	29.1	35.4
L _p mätt	36.0	46.0	40.0	36.0	31.6	30.6	32.9	28.4	29.4	26.0	27.8	27.5	26.6	27.0	25.0	26.1
																38 dB(A)
Vägg 51	16.1	21.1	16.1	15.3	19.0	14.0	13.3	14.8	13.0	11.5	13.5	10.9	11.0	10.4	7.6	12.0
Vägg 43	31.8	28.8	26.1	25.0	19.8	20.4	20.7	16.9	13.7	13.5	14.0	12.5	11.5	13.5	9.3	17.0
Tak	32.2	35.6	27.8	27.4	22.8	24.3	22.2	19.2	17.9	20.2	17.6	19.7	17.1	18.5	17.0	22.8
Golv	26.2	33.3	22.5	22.7	18.3	18.0	19.7	15.6	14.5	15.0	13.1	12.7	11.1	14.1	9.5	19.8
Vägg 54	29.4	23.7	14.4	14.7	20.5	19.3	22.7	20.5	17.0	16.3	20.0	22.5	17.8	19.1	13.1	17.0
Vägg 52																
L _p tot beräkn.	36.3	38.5	30.9	30.5	27.3	27.3	27.5	24.9	23.0	23.2	23.3	25.0	21.6	22.8	19.2	25.8
L _p mätt	34.6	33.2	29.0	27.0	28.8	28.6	30.9	28.8	23.8	22.8	24.4	22.0	20.2	19.2	16.0	18.0
																33.8 dB (A)

TAB. 7.7 Beräkning av ljudtrycksnivåbidrag från enskilda delar i rum V3, vän. 6 resp. vän. 4, vid exitering av badrumstjälklag. Jämförelse med experimentellt uppmätta ljudtrycksnivåer. Grafisk framställning, se diagram 7.11.



SÄNDARE (i)
RECIPIENT (j)

LÄGENHET 1

Lp _k	i	j
våning	7	6
delyta	03	S1
punkt	03	
riktn.	+3	

LÄGENHET 1

Lp _k	i	j
våning	7	5
delyta	03	S1
punkt	03	
riktn.	+3	

LÄGENHET 1

Lp _k	i	j
våning	7	4
delyta	03	S1
punkt	03	
riktn.	+3	

LÄGENHET 1

Lp _k	i	j
våning	7	3
delyta	03	S1
punkt	03	
riktn.	+3	

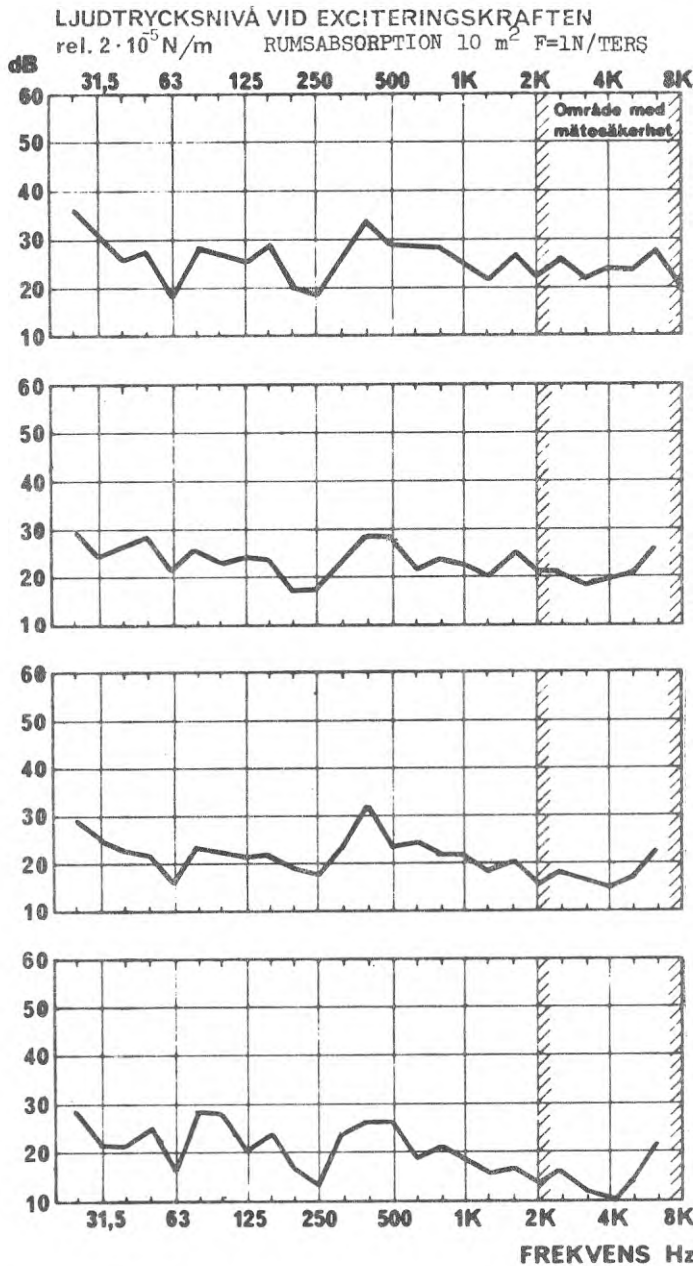
Diagram: 7.1

Ljudtrycksnivå:

Drivpunkt: punkt 03 Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): hissrum, 15 cm betong
S1 = sovrum våning 1, Se Fig, 4,4

Byggnad: Kv Linjalen



SÄNDARE (i)
RECIPIENT (j)

LÄGENHET 2

Lp _k	i	j
våning	7	6
delyta	03	S2
punkt	03	
riktn.	+3	

LÄGENHET 2

Lp _k	i	j
våning	7	5
delyta	03	S2
punkt	03	
riktn.	+3	

LÄGENHET 2

Lp _k	i	j
våning	7	4
delyta	03	S2
punkt	03	
riktn.	+3	

LÄGENHET 2

Lp _k	i	j
våning	7	3
delyta	03	S2
punkt	03	
riktn.	+3	

Diagram: 7.2

Ljudtrycksnivå:

Drivpunkt: punkt 03 Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): hissrum, 15 cm betong

S2 = sovrum våning 2, Se Fig. 4.4

Byggnad: Kv. Linjalen

LJUDTRYCKSNIVÅ VID EXCITERINGSKRAFTEN
rel. $2 \cdot 10^{-5}$ N/m RUMSABSORPTION 10 m^2 $F=1\text{N/TERS}$

SÄNDARE (i)

RECIPIENT (j)

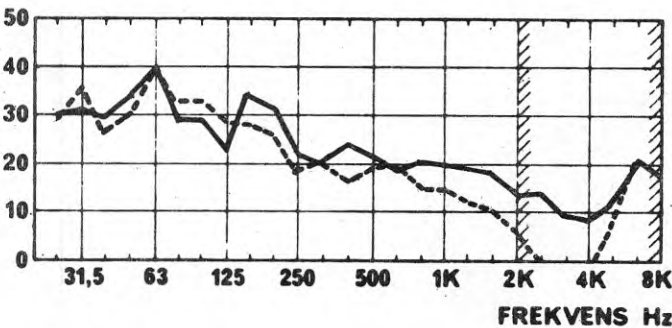
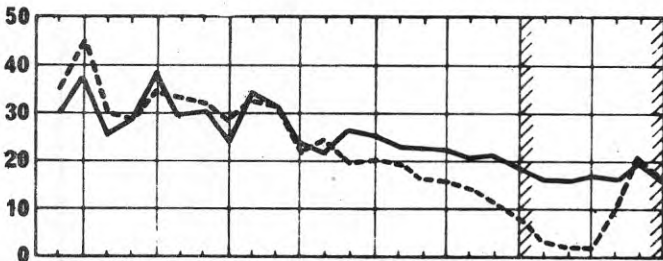
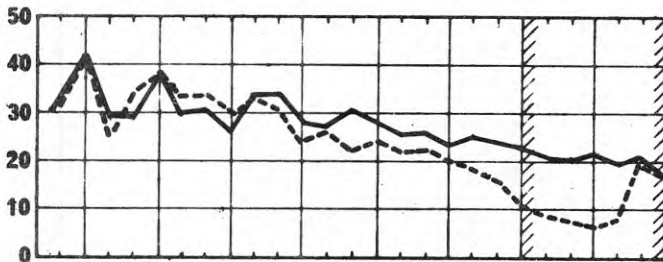
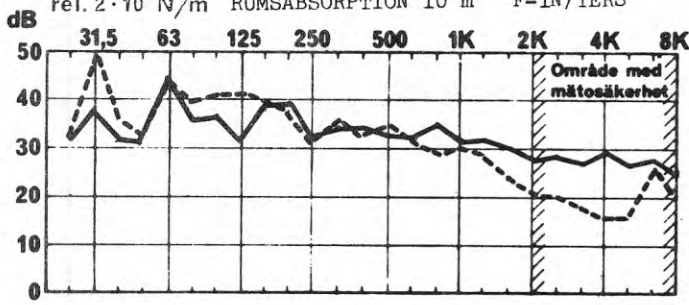


Diagram: 7.3

Ljudtrycksnivå:

punkt 05 ——— Figur 4.4-4.11

Drivpunkt: punkt 04 - - - - V2 = vardagsrum våning 2, Se Figur 4.4,
vertikalt under det flytande golvet (pkt 04)

Bjälklag (vägg): intill fläktrum, 15 cm betong

fläktrum, flytande golv, 5 cm betong på 2 x 7 cm

mineralull på bjälklag 15 cm betong

Byggnad: kv Linjalen

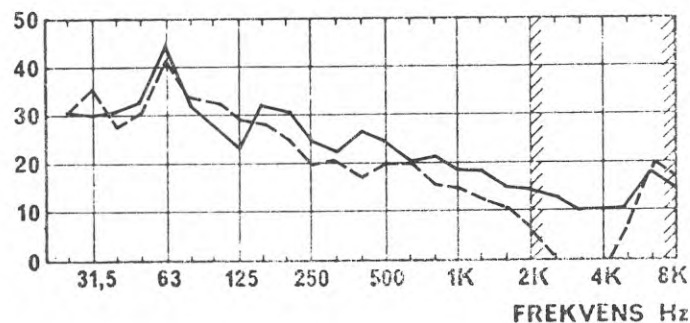
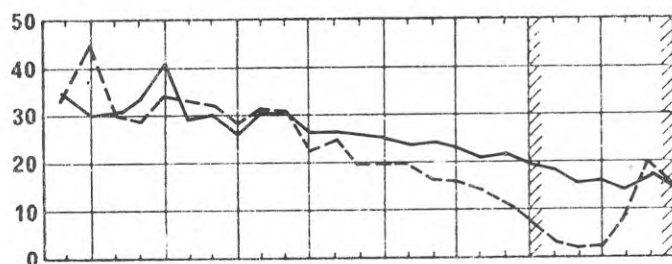
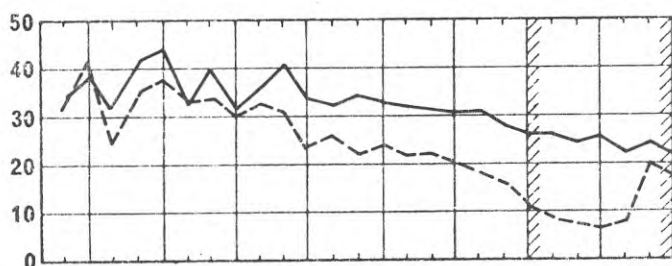
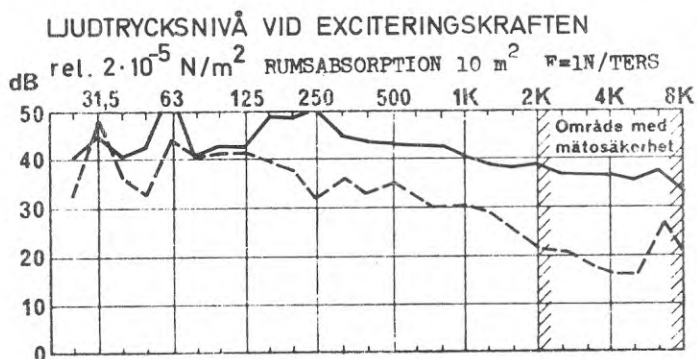


Diagram: 7.4

Ljudtrycksnivå:

Drivpunkt: punkt 05 ———
punkt 04 - - - - -

Figur 4.4-4.11

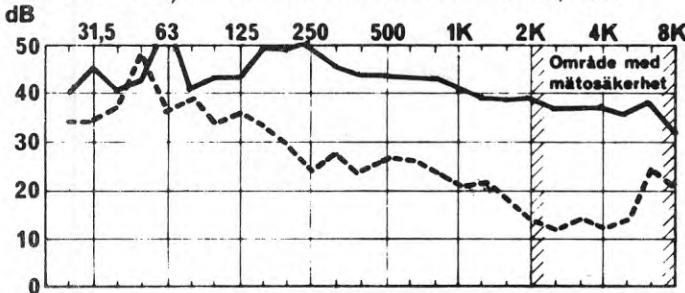
Bjälklag (vägg): intill fläktrum, 15 cm betong ———
fläktrum, flytande golv, 5 cm betong på 2 x 7 cm - - - - -
mineralull på bjälklag 15 cm betong

Byggnad: Kv. Linjalen

SÄNDARE (i)

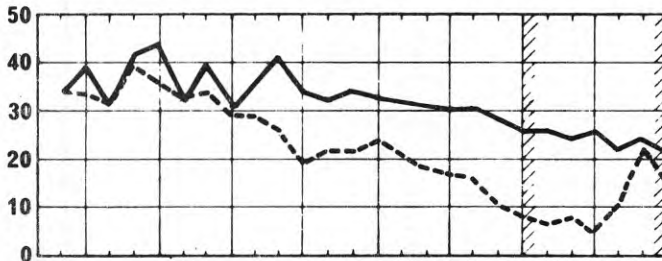
RECIPIENT (j)

LJUDTRYCKSNIVÅ VID EXCITERINGSKRAFTEN
rel. $2 \cdot 10^{-5}$ N/m RUMSABSORPTION 10 m^2 $F=1N/TERS$



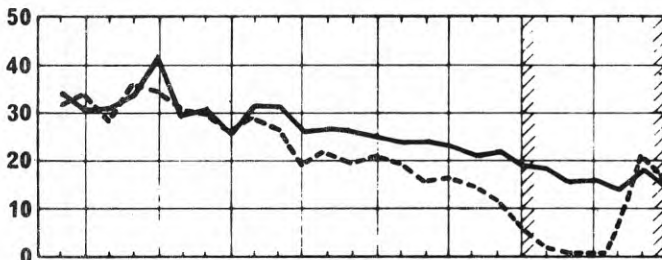
LÄGENHET 3

L_{pk}	i	i	j
våning	7	7	6
delyta	05	04	V3
punkt	05	04	
riktn.	+3	+3	



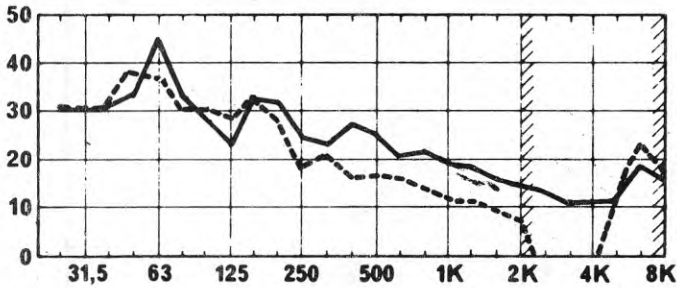
LÄGENHET 3

L_{pk}	i	i	j
våning	7	7	5
delyta	05	04	V3
punkt	05	04	
riktn.	+3	+3	



LÄGENHET 3

L_{pk}	i	i	j
våning	7	7	4
delyta	05	04	V3
punkt	05	04	
riktn.	+3	+3	



LÄGENHET 3

L_{pk}	i	i	j
våning	7	7	3
delyta	05	04	V3
punkt	05	04	
riktn.	+3	+3	

FREKVENNS Hz

Diagram: 7.5

Ljudtrycksnivå:

Drivpunkt: punkt 05 ———
punkt 04 - - - -

V3 = vardagsrum våning 3, Se Fig. 4.4
vertikalt under det rena bjälklaget (pkt 05)

Figur 4.4-4.11

Bjälklag (vägg): intill fläktrum, 15 cm betong
fläktrum, flytande golv, 5 cm betong på 2 x 7 cm
mineralull på bjälklag 15 cm betong

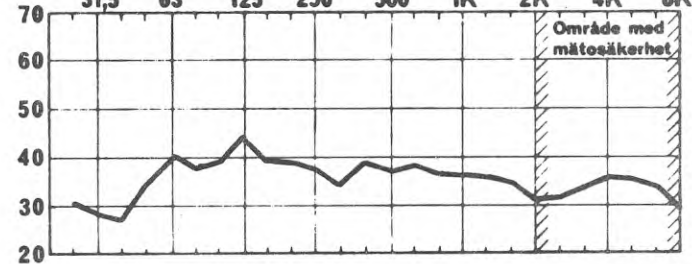
Byggnad: Kv. Linjalen

SÄNDARE (i)

RECIPIENT (j)

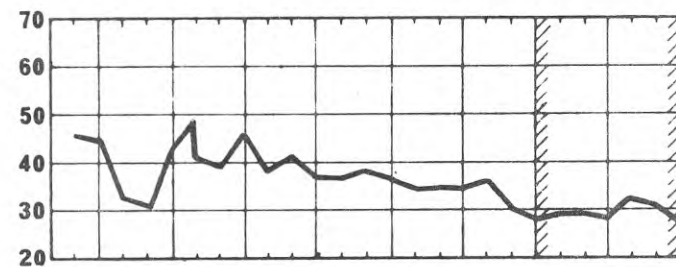
LJUDTRYCKSNIVÅ VID EXCITERINGSKRAFTEN
 rel. $2 \cdot 10^{-5}$ N/m RUMSABSORPTION 10 m^2 $F=1\text{N/TERS}$

dB



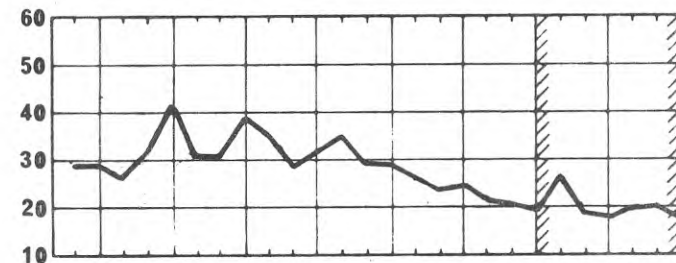
LÄGENHET 2

Lp _k	i	j
våning	6	6
delyta	36	V2
punkt	06	
riktn.	+3	



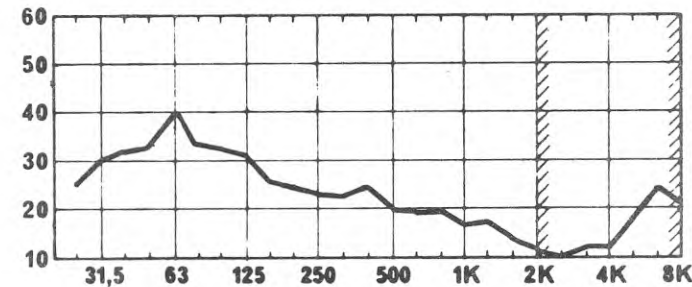
LÄGENHET 2

Lp _k	i	j
våning	6	5
delyta	36	V2
punkt	06	
riktn.	+3	



LÄGENHET 2

Lp _k	i	j
våning	6	4
delyta	36	V2
punkt	06	
riktn.	+	



LÄGENHET 2

Lp _k	i	j
våning	6	3
delyta	36	V2
punkt	06	
riktn.	+3	

FREKVENS Hz

Diagram: 7.6

V2 = vardagsrum våning 2, Se Fig. 4.4

Ljudtrycksnivå:

Figur 4.4-4.11

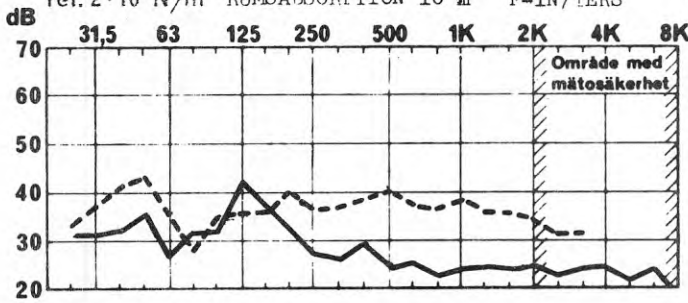
Drivpunkt: punkt 06

Bjälkiag (vägg): badrum 20 cm betong

Byggnad: kv Linjalen

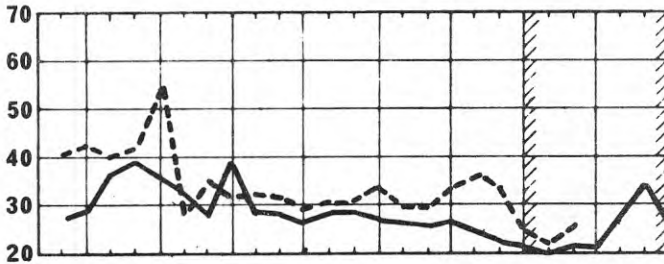
LJUDTRYCKSNIVÅ VID EXCITERINGSKRAFTEN
rel. $2 \cdot 10^{-5}$ N/m RUMSABSORPTION 10 m^2 $F=1N/TERS$

SÄNDARE (i)
RECIPIENT (j)



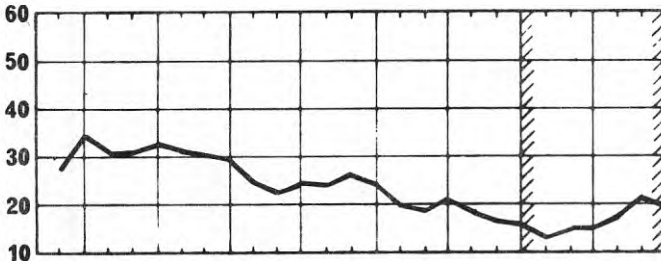
LÄGENHET 3

L_{pk}	i	i	j
våning	7	6	6
delyta	36	33	V3
punkt	06	08	
riktn.	+3	+1	



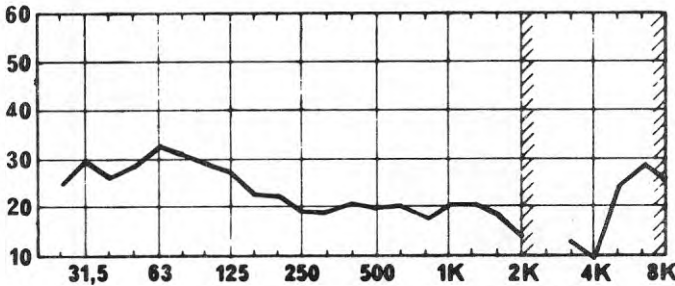
LÄGENHET 3

L_{pk}	i	i	j
våning	6	6	5
delyta	36	33	V3
punkt	06	08	
riktn.	+3	+1	



LÄGENHET 3

L_{pk}	i	j
våning	6	4
delyta	36	V3
punkt	06	
riktn.	+3	



LÄGENHET 3

L_{pk}	i	j
våning	6	3
delyta	36	V3
punkt	06	
riktn.	+3	

FREKVENS Hz

Diagram: 7.7

V3 = vardagsrum våning 3, Se Fig. 4.4

Ljudtrycksnivå:

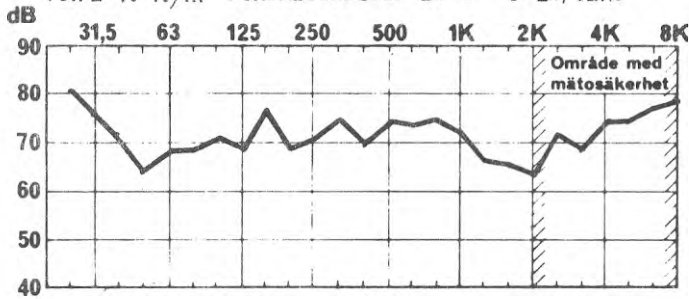
Figur 4.4-4.11

Drivpunkt: punkt 06 ———
punkt 08 - - - -

Bjälklag (vägg): badrumsbjälklag, 20 cm betong
lägenhetsskiljande vägg, badrum, 35 cm betong
med inlagda rör

Byggnad: Kv. Linjalen

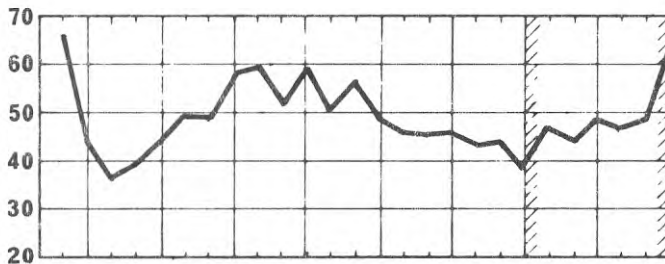
LJUDTRYCKSNIVÅ VID EXCITERINGSKRAFTEN
 ref. $2 \cdot 10^{-5}$ N/m RUMSABSORPTION 10 m^2 F=1N/TERS



SÄNDARE (i)
 RECIPIENT (j)

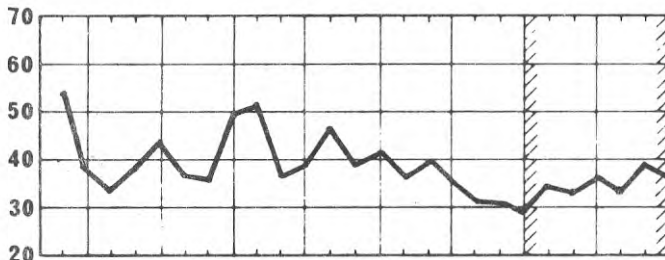
LÄGENHET 2

Lp _k	i	j
våning	6	6
delyta	32	V2
punkt	07	
riktn.	+2	



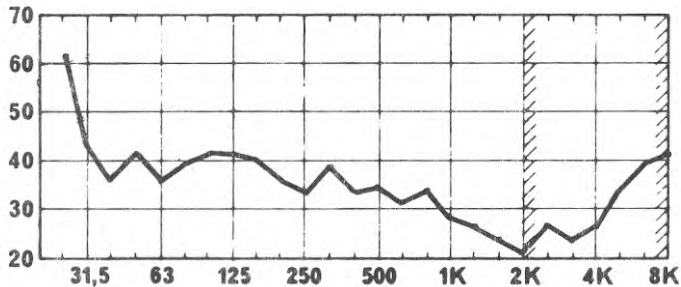
LÄGENHET 2

Lp _k	i	j
våning	6	5
delyta	32	V2
punkt	07	
riktn.	+2	



LÄGENHET 2

Lp _k	i	j
våning	6	4
delyta	32	V2
punkt	07	
riktn.	+2	



LÄGENHET 2

Lp _k	i	j
våning	6	3
delyta	32	V2
punkt	07	
riktn.	+2	

FREKVENNS Hz

Diagram: 7.8

V2 = vardagsrum våning 2, Se Fig. 4.4

Ljudtrycksnivå:

Figur 4.4-4.11

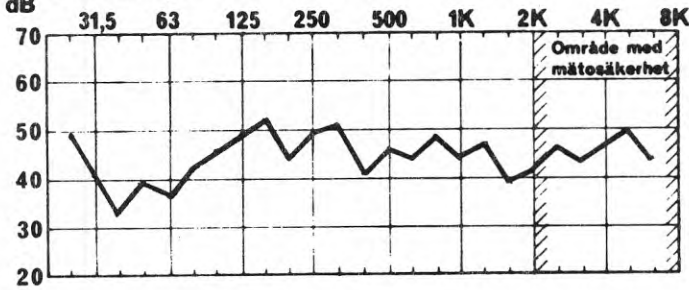
Drivpunkt: punkt 07

Bjälklag (vägg): lättbetongvägg, badrum, 7 cm lättbetongplank
 50 cm bredd

Byggnad: Kv. Linjalen

LJUDTRYCKSNIVÅ VID EXCITERINGSKRAFTEN
rel. $2 \cdot 10^{-5}$ N/m RUMSABSORPTION 10 m^2 $F=1\text{N/TERS}$

SÄNDARE (i)
RECIPIENT (j)



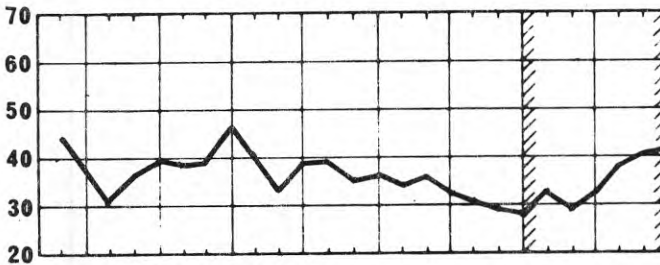
LÄGENHET 3

Lpk	i	j
våning	6	6
delyta	32	V3
punkt	07	
riktn.	+2	



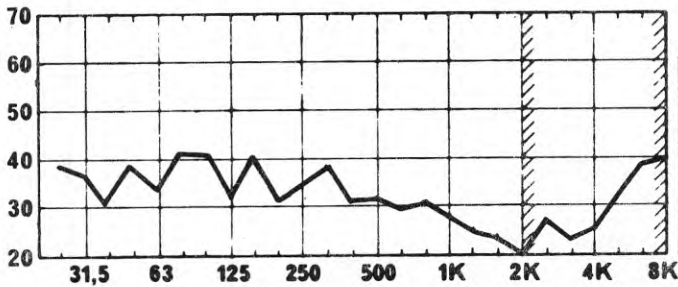
LÄGENHET 3

Lpk	i	j
våning	6	5
delyta	32	V3
punkt	07	
riktn.	+2	



LÄGENHET 3

Lpk	i	j
våning	6	4
delyta	32	V3
punkt	07	
riktn.	+2	



LÄGENHET 3

Lpk	i	j
våning	6	3
delyta	32	V3
punkt	07	
riktn.	+2	

FREKVENS Hz

Diagram: 7.9

V3 = vardagsrum våning 3, Fig. 4.4

Ljudtrycksnivå:

Figur 4.4-4.11

Drivpunkt: punkt 07

Bjälklag (vägg): lättbetongvägg, badrum, 7 cm lättbetongplank,
50 cm:s bredd

Byggnad: Kv. Linjalen

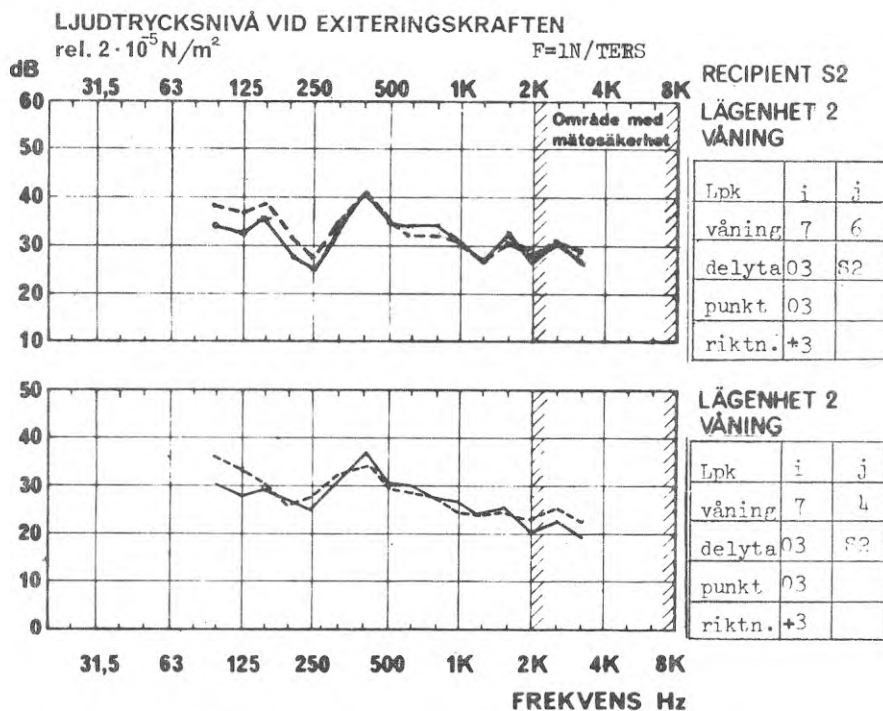


Diagram: 7.10

Ljudtrycksnivå: Sovrum lägenhet 2

Figur 4.4-4.11

Drivpunkt: Punkt 03

Bjälklag (vägg): hissrum, 15 cm betong

—— Uppmätt

----- Beräknad

Byggnad: Kv. Linjalen

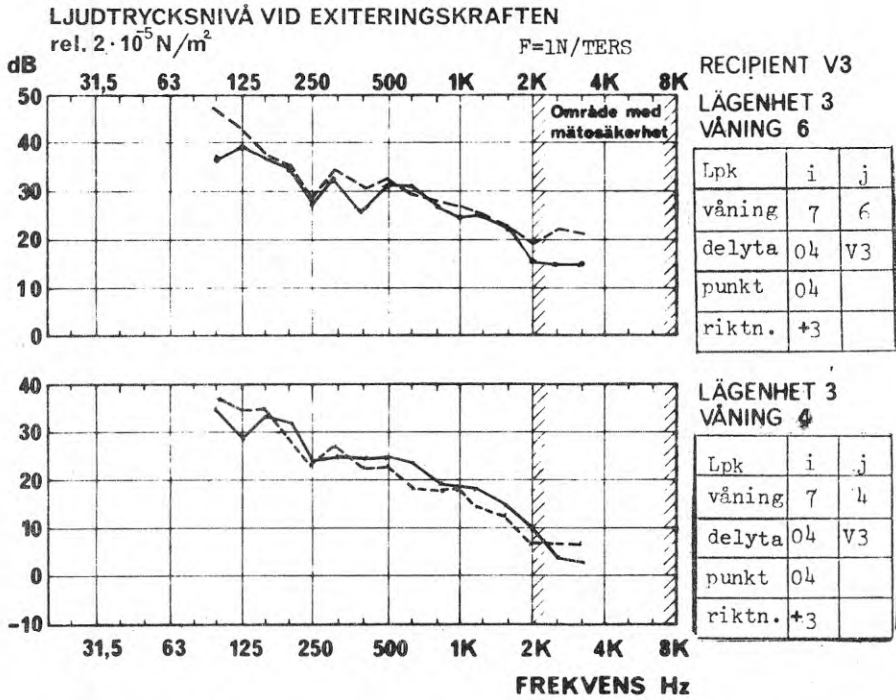


Diagram: 7.11

Figur 4.4-4.11

Ljudtrycksnivå: Vardagsrum lägenhet 3

Drivpunkt: punkt 04

Bjälklag (vägg): Fläktrum, flytande golv, 5 cm betong på 2 x 7 cm mineralull
på bjälklag 15 cm betong— Uppmätt
- - - Beräknad

Byggnad: Kv. Linjalen

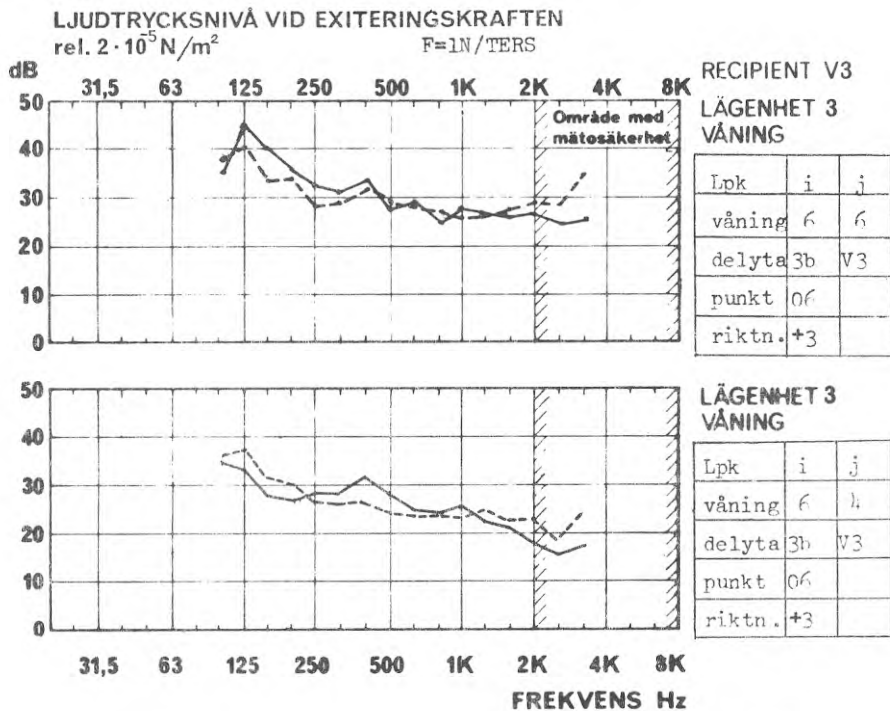


Diagram: 7.12

Figur 4.4-4.11

Ljudtrycksnivå: Vardagsrum lägenhet 3

Drivpunkt: punkt 06

Bjälklag (vägg): Badrumsbjälklag 20 cm betong

——— Uppmätt

----- Beräknad

Byggnad: Kv. Linjalen

8. EXPERIMENTELLT BESTÄMD UTBREDNINGSDÄMPNING

8.0 Allmänt

Under avsnitt 3.4, mätning av utbredningsdämpning har dämpningen D definierats som:

$$D = 20 \log \frac{V'}{V} \text{ dB} \quad (8.1)$$

där V' är vibrationshastigheten i punkt r' och

V'' är vibrationshastigheten i punkt r''

räknat från exciteringspunkten. Utbredningsdämpningen mellan två punkter 1 och 2 kan formellt skrivas som differensen av överföringsadmittansnivån L_Y till punkterna, d v s:

$$D = L_{Yi1} - L_{Yi2} \quad (8.2)$$

Med ledning av de värden för L_Y som redovisats under kapitel 6 kan sålunda ett stort antal utbredningsdämpningar beräknas. Förutsättningen är givetvis att endast de L_Y -värden jämföras som härletts från samma punktexcitering.

I detta avsnitt redovisas endast en bråkdel av de utbredningsdämpningar som kan sammanställas med hjälp av avsnitt 6. Tyngdpunkten läggs på utbredningen i industribyggnad, betongbjälklag på pelare. I några få fall redovisas utbredningsdämpningen även för mätobjekt 2, bostadshus, och i vertikal riktning genom våningsplanen vid punktexcitering.

Betr. utnyttjad mätteknik se avsnitt 3.4.

8.1 Redovisning av mätresultat

8.11 Mätobjekt 1. Lagerbyggnad

Vissa sammanställningar av dämpningar och nivåskillnader återfinns i diagrammen 8.1 - 8.11.

8.12 Mätobjekt 2. Bostadshus.

Utbredningsdämpning vid excitering på 15 cm betongbjälklag redovisas i diagrammen 8.12 - 8.16.

8.13 Inverkan av exciteringsform på mätresultatet

I diagrammen 3.9 och 3.10 visas hur nivå-differensen på ett exciterat 28 cm betongbjälklag varierar med exciteringstypen.

8.2 Kommentarer till resultaten

8.21 Exciteringsformens betydelse

Drivning med vibrator respektive med hammarapparat visar sig ge relativt överensstämmande värden på utbredningsdämpningen vid excitering på fri bjälklagsyta och en integrering föregår registrering av stegljudet. Då hammarapparaten placeras över pelare syns dock hammarradens längd och därmed exciteringsvillkoret för olika hammare medföra avvikelser gentemot vibratorexciteringen.

8.22 Mätobjekt. Lagerbyggnad

I diagrammen 8.1 och 8.2 har utbredningsdämpningen redovisats vid excitering mellan pelare respektive över pelare, som funktion av avståndet till drivpunkten.

Frekvensområdet 30 - 8000 Hz kan grovt sett uppdelas i tre områden där olika utbredningslagar gäller. Det lägsta frekvensområdet omfattar 30 - 80 Hz. På grund av svårigheten att erhålla tillräcklig dynamik innehåller mätresultaten begränsad information i detta band. Inom en radie av 1 - 10 m förefaller vibrationsnivån att vara relativt konstant om excitering sker över pelare. På större avstånd än 10 m avtar vibrationsnivån.

Om excitering sker centralt mellan pelare blir nivån konstant bara inom 1 - 3,5 m varefter den avtar närmast som vid cylindrisk vågutbredning.

I båda fallen är således vibrationsnivån approximativt konstant inom en zon begränsad av närmaste stödpunkter och en tänkt sammanbindningslinje mellan dessa.

I mellanfrekvensområdet, 200 - 1600 Hz, utbildas vid drivning centralt mellan pelare, från och med närmast angränsande fria bjälklagsyta en konstant vibrationsnivå som är cirka 5 dB lägre

är nivån i referenspunkten 1 m från drivpunkten. Vid drivning över pelare har i detta frekvensområde uppmätts en dämpning närmast motsvarande cylindrisk utbredningsdämpning.

Vid höga frekvenser, 3000 - 5000 Hz, kan longitudinalvågorna antas svara för en stor del av energitransporten. Här avtar vibrationsnivån med 40 å 50 log r/r_0 där $r_0 = 3 - 4$ m.

8.23 Mätobjekt. Bostadsbyggnad

Utbredningsdämpningen i studerad bostadsbyggnad har i allmänna ordalag berörts redan i kap. 6. I detta avsnitt skall endast den genom byggnaden vertikala dämpningen redovisas som logaritmiska medelvärden över

lågfrekvensområdet	31,5 - 125 Hz
mellanfrekvensområdet	125 - 500 Hz
högfrekvensområdet	500 - 2000 Hz

för att en allmän bild skall fås av dämpningens frekvensberoende. De tre fall för excitering som utnyttjats är:

DRP 7/03 excitering av 15 cm bjälklag i hissrum

DRP 7/04 excitering av 5 cm flytande golv i fläktrum

DRP 7/05 excitering av 15 cm betongbjälklag intill fläktrum

Som referensnivå har för dämpningsberäkningen valts vibrationshastighetsnivån i drivpunkten. Dämpningen har beräknats dels på horisontella ytor (tak/golv) liggande vertikalt under exciterad huskroppssektion, dels på vertikala betongväggar liggande närmast under exciterad bjälklagsyta.

TAB. 8.1 Förteckning över diagram visande den bredbandiga dämpningen vid vertikalutbredning.

excitering	tak/golv 16	vägg 13	luftljud i rum
DRP 7/03	8.1		8.2
DRP 7/04	8.3	8.4	8.5
DRP 7/05	8.6	8.7	8.8

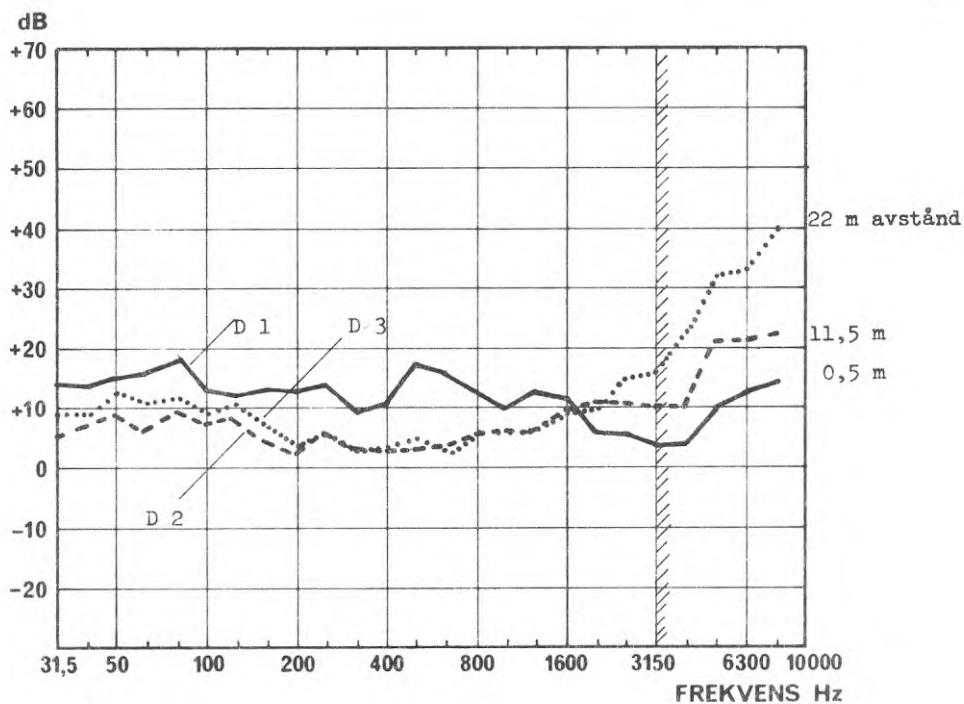


Diagram 8.1 Utbredningsdämpningens frekvensberoende på

plan 3. Drivning mellan pelare

Diameter på drivbricka: 40 mm

Material i drivbricka: stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: punkt 0: FIG. 4.1 - 4.3

Bjälklag: 28 cm betong, plan 3

Referenspunkt: 1 m från drivpunkt

Byggnad: kv Primus , Lilla Essingen

D ₁	i	j	D ₂	i	j	D ₃	i	j
våning	3	3		3	3		3	3
delyta	01	02		01	01		01	01
punkt	15	24		15	19		15	22
riktn.	+3	+3		+3	+3		+3	+3

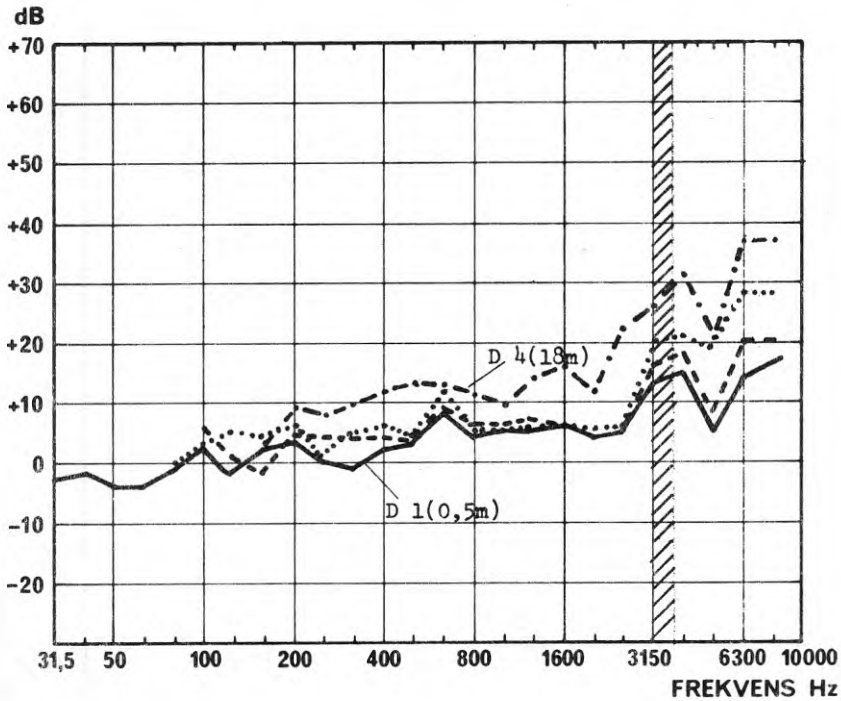


Diagram 8.2 Utbredningsdämpningarnas frekvensberoende på plan 3. Drivning över pelare

Diameter på drivbricka: 40 mm

Material i drivbricka: stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: punkt 02 FIG. 4.1 - 4.3

Bjälklag: 28 cm betong, plan 3

Referenspunkt: 1 m från drivpunkt

Byggnad: kv Primus , Lilla Essingen

	D ₁		D ₂		D ₃		D ₄	
	i	j	i	j	i	j	i	j
våning	3	3	3	3	3	3	3	3
delyta	02	01	02	01	02	01	02	01
punkt	02	18	02	19	02	20	02	22
riktn.	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3

0,5m

0,8m

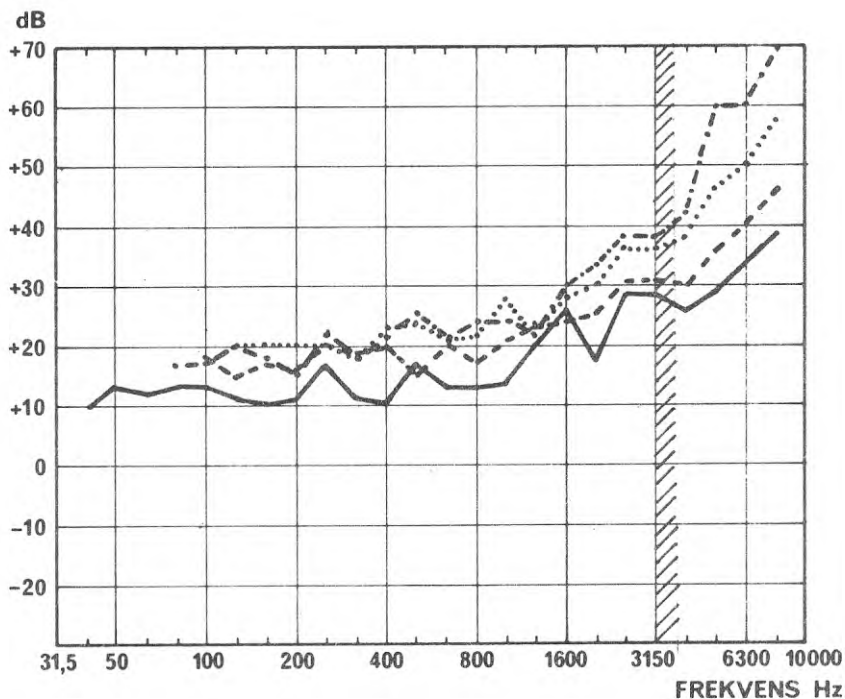


Diagram 8.3 Utbredningsdämpningens frekvensberoende på plan 2. Drivning mellan pelare på planet över.

Diameter på drivbricka: 40 mm
 Material i drivbricka: stål
 Massa under kraftgivare: 240 g
 Drivpunkt: punkt 01 FIG. 4.1 - 4.3
 Bjälklag: 28 cm betong, plan 3
 Referenspunkt: 1 m från drivpunkt

Byggnad: kv Primus , Lilla Essingen

D ₁	i	j	D ₂	i	j	D ₃	i	j	D ₄	i	j
våning	3	2		3	2		3	2		3	2
delyta	01	01		01	01		01	01		01	01
punkt	01	17		01	18		01	20		01	22
riktn.	-3	-3		-3	-3		-3	-3		-3	-3

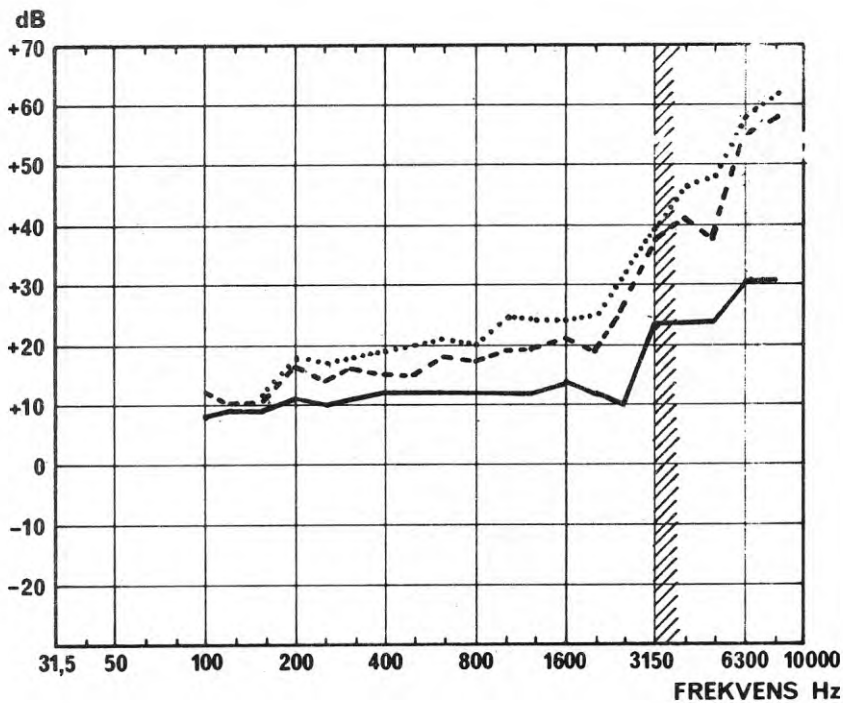


Diagram 8.4 Utbredningsdämpningens frekvensberoende på plan 2. Drivning över pelare på planet över.

Diameter på drivbricka: 40 mm

Material i drivbricka: stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: punkt 02 FIG. 4.1 - 4.3

Bjälklag: 28 cm betong, plan 3

Referenspunkt: 1 m från drivpunkt

Byggnad: kv Primus , Lilla Essingen

D_1	i	j	D_2	i	j	D_3	i	j
våning	3	2		3	2		3	2
delyta	02	01		02	01		02	01
punkt	02	18		02	20		02	22
riktn.	+3	+3		+3	+3		+3	+3

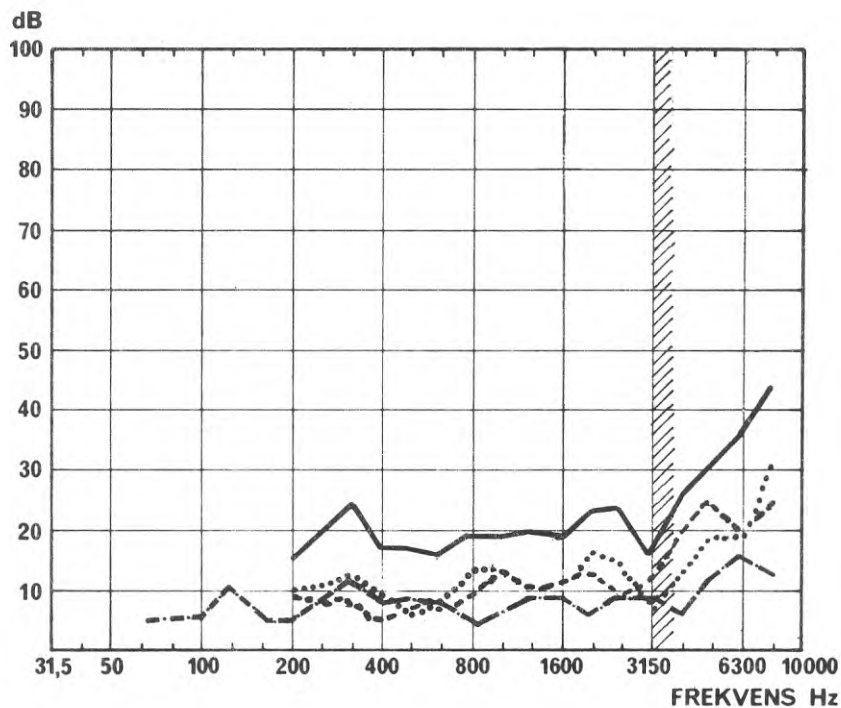


Diagram 8.5

Nivåskillnad mellan planen. Drivning över pelare.

Diameter på drivbricka: 40 mm

Material i drivbricka: stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: punkt 02 FIG. 4.1 - 4.3

Bjälklag: 28 cm betong, plan 3

Byggnad: kv Primus , Lilla Essingen

D ₁	i	j	D ₂	i	j	D ₃	i	j	D ₄	i	j
våning	3	1		2	1		3	2		3	2
delsta	01	04		01	04		01	03		01	03
punkt	18	17		18	17		22	22		18	18
riktning	+3	+3		+3	+3		+3	+3		+3	+3

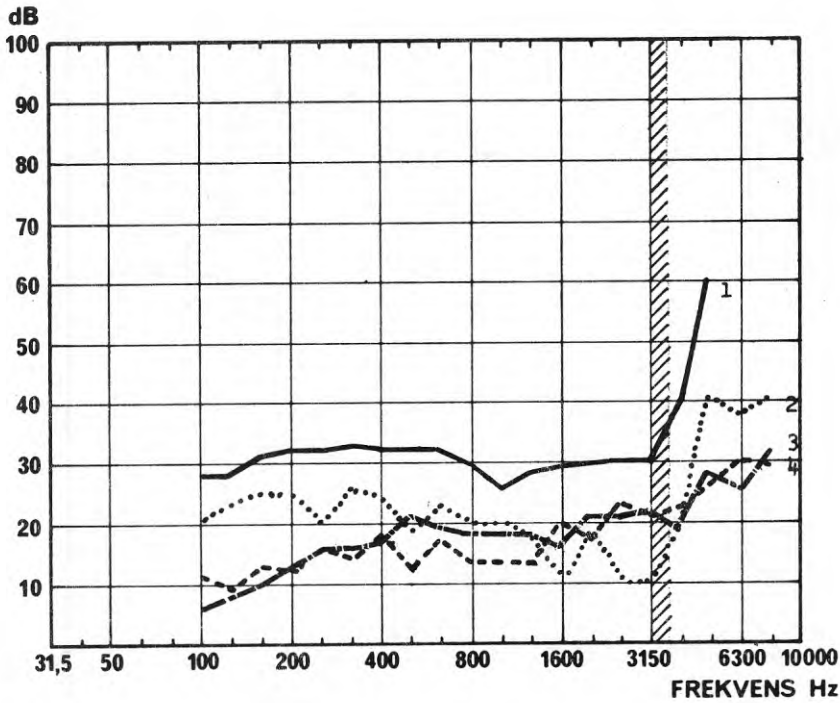


Diagram 8.6

Nivåskillnad mellan planen. Drivning mellan pelare.

Diameter på drivbricka: 40 mm

Material i drivbricka: stål

Massa under kraftgivare: 240 g

Drivpunkt: punkt 01 FIG. 4.1 - 4.3

Bjälklag: 28 cm betong, plan 3

Byggnad: kv Primus , Lilla Essingen

	D ₁	i	j	D ₂	i	j	D ₃	i	j	D ₄	i	j
våning	3	1		2	1		3	2		3	2	
delyta	01	04		03	04		01	03		01	03	
punkt	18	17		17	17		20	20		18	18	
riktn.	+3	+3		+3	+3		+3	+3		+3	+3	

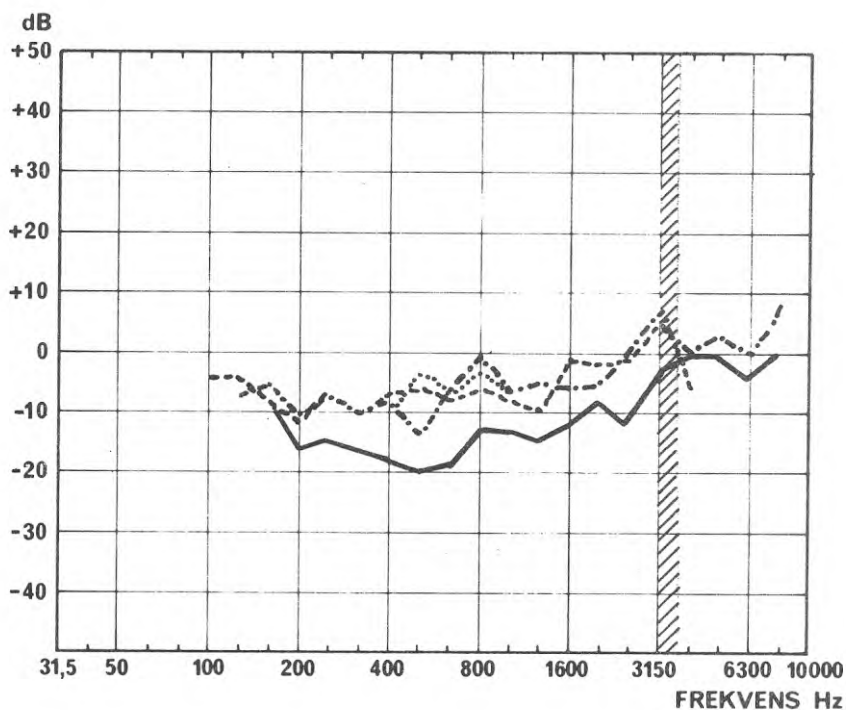


Diagram 8.7

Förhållande mellan vibrationshastigheter i vissa mätpunkter vid excitering över pelare (02) relativt excitering mellan pelare (01). Fjärrområdet.

Diameter på drivbricka: 40 mm
 Material i drivbricka: stål
 Massa under kraftgivare: 240 g
 Drivpunkt: punkt 02
 punkt 01 **FIG. 4.1 - 4.3**

Bjälklag: 28 cm betong, plan 3

Byggnad: kv Primus , Lilla Essingen

D_1	i	i	j	D_2	i	i	j	D_3	i	i	j	D_4	i	i	j
våning	3	3	3		3	3	2		3	3	1		3	3	2
delyta	02	01	01		02	01	01		02	01	01		02	01	01
punkt	02	01	22		02	01	22		02	01	13		02	01	11
riktn.	+3	+3	+3		+3	+3	+3		+3	+3	+3		+3	+3	+3

Ly RELATIVNIVÅ
dB rel. $5 \cdot 10^{-8}$ m/Ns

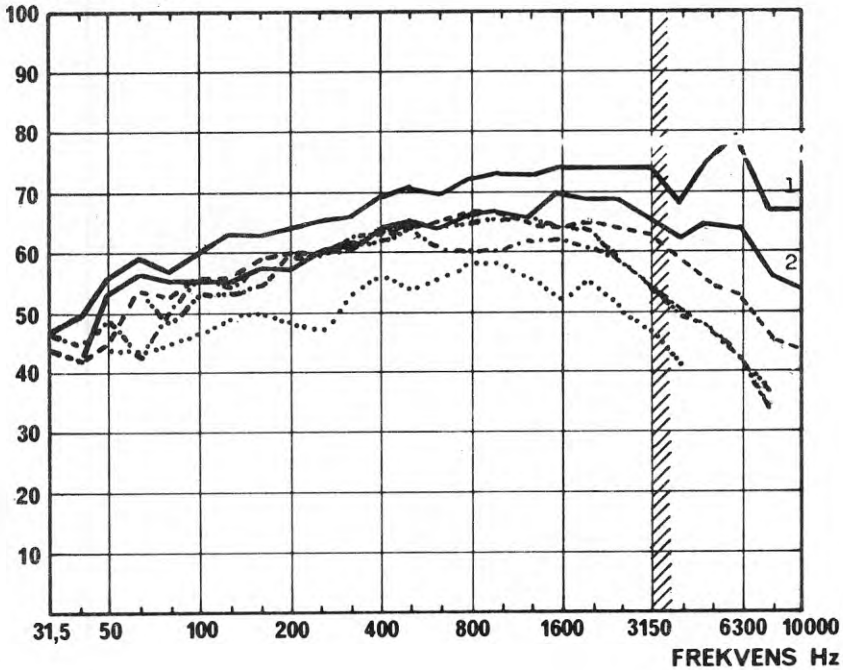


Diagram 8.8

Utbredningsmätning med hammarapparat, uppställd på plastmatta.
Analys utförd med integrator före nivåskrivaren

Drivpunkt: punkt 01 FIG. 4.1 - 4.3

Bjälklag: 28 cm betong, plan 3

Byggnad: kv Primus, Lilla Essingen

Lu1	i	j	Lu2	i	j	Lu3	i	j
våning	3	3	3	3		3	3	
delyta	01	01	01	01		01	01	
punkt	01	16	01	18		01	20	
riktn.	+3	+3	+3	+3		+3	+3	

1

2

Lu4	i	j	Lu5	i	j	Lu6	i	j
våning	3	3	3	3		3	2	
delyta	01	01	01	01		01	03	
punkt	01	22	01	23		01	17	
riktn.	+3	+3	+3	+3		+3	+3	

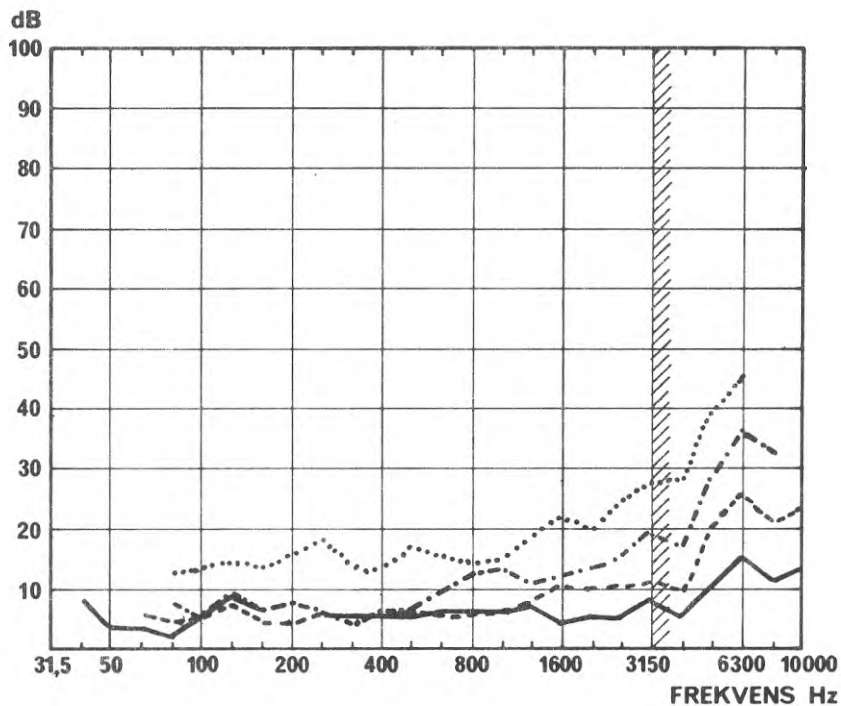


Diagram 8.9
Utbredningsdämpning från diagram 8.8

Drivpunkt: punkt 01 FIG. 4.1 - 4.3

Bjälklag: 28 cm betong, plan 3

Byggnad: kv Primus , Lilla Essingen

D1	i	j	D2	i	j	D3	i	j	D4	i	j
våning	3	3		3	3		3	3		3	2
delyta	01	01		01	01		01	01		01	03
punkt	16	18		16	20		16	23		16	17
riktn.	+3	+3		+3	+3		+3	+3		+3	+3

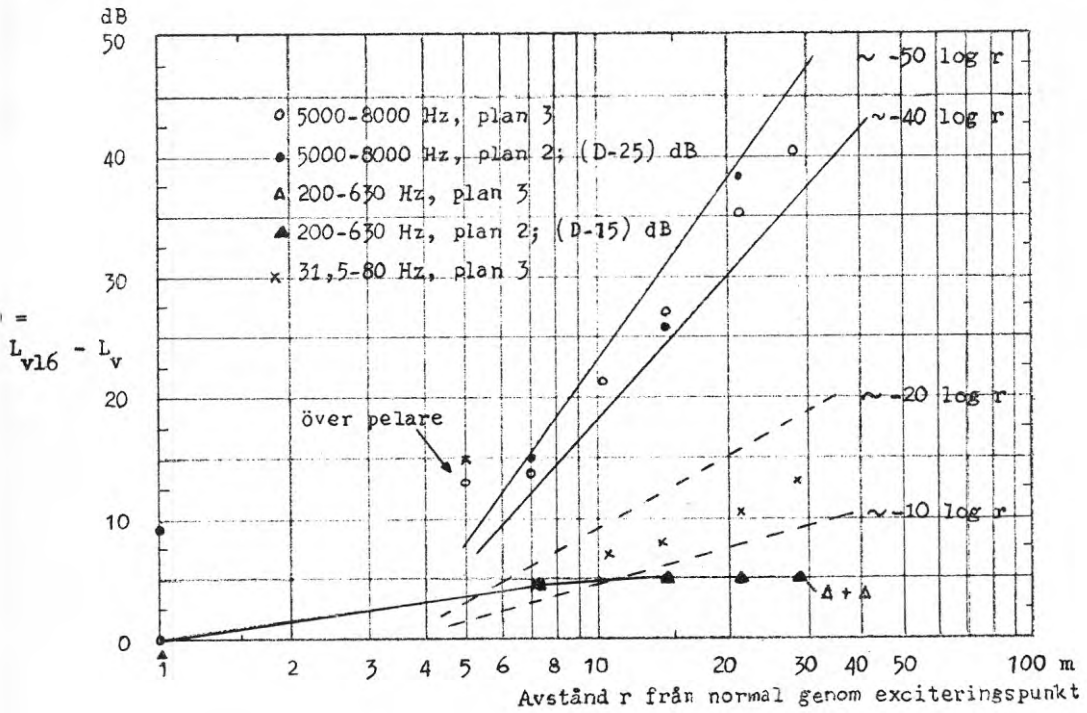


Diagram 8.10

Utbredningsdämpning på bjälklag vid excitering i punkt 01, centralt mellan 4 pelare. (Referenspunkt för samtliga plan är punkt 16)

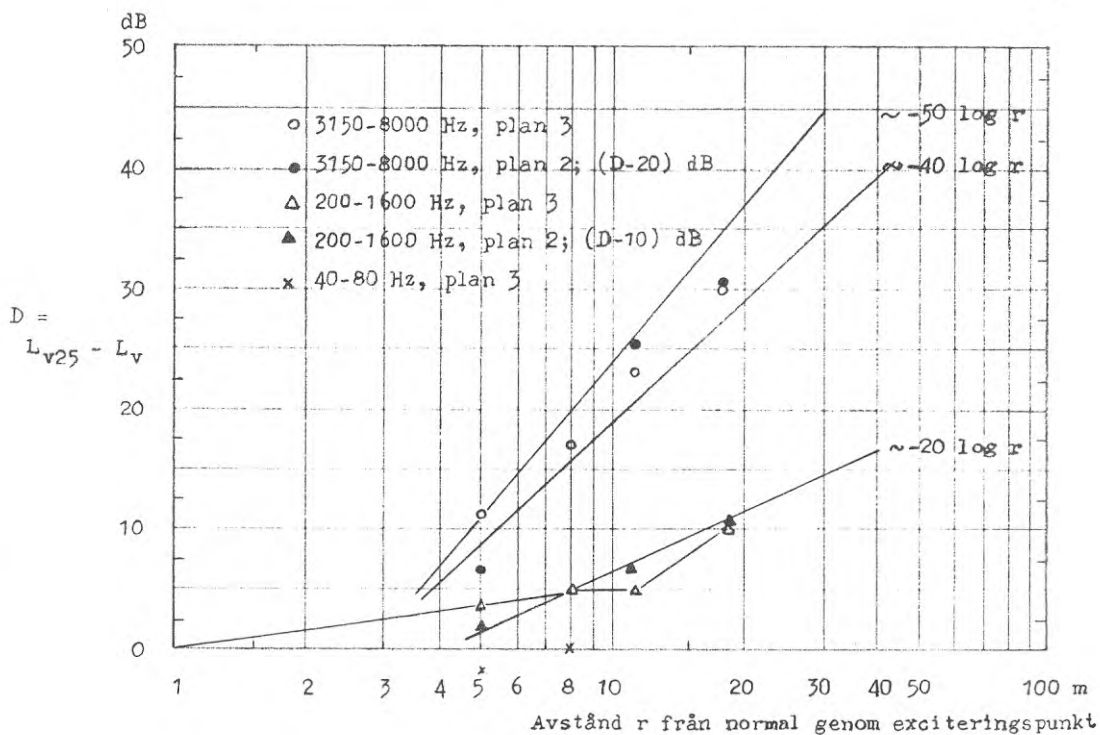


Diagram 8.11

Utbredningsdämpning på bjälklag vid excitering i punkt 02, över pelare. (Referenspunkt för samtliga plan är punkt 25)

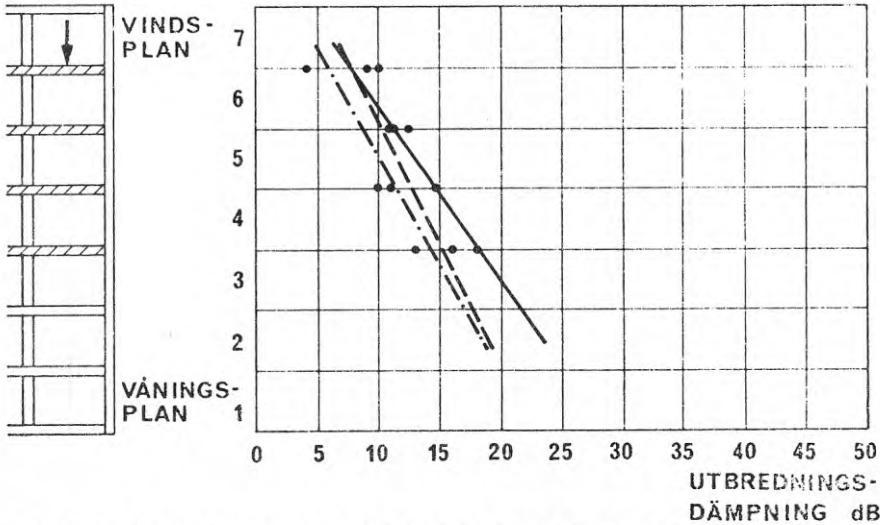


Diagram 8.12 Excitering av 15 cm betongbjälklag i hissrum DRP 7/03
Vibrationshastighetsnivåns fall på bjälklagsytorna
under den exciterade bjälklagsytan.

.....	31.5-125 Hz	- 2 dB/våningsplan
-----	125 -500 Hz	- 2 dB/våningsplan
————	500 -2000 Hz	- 3 dB/våningsplan

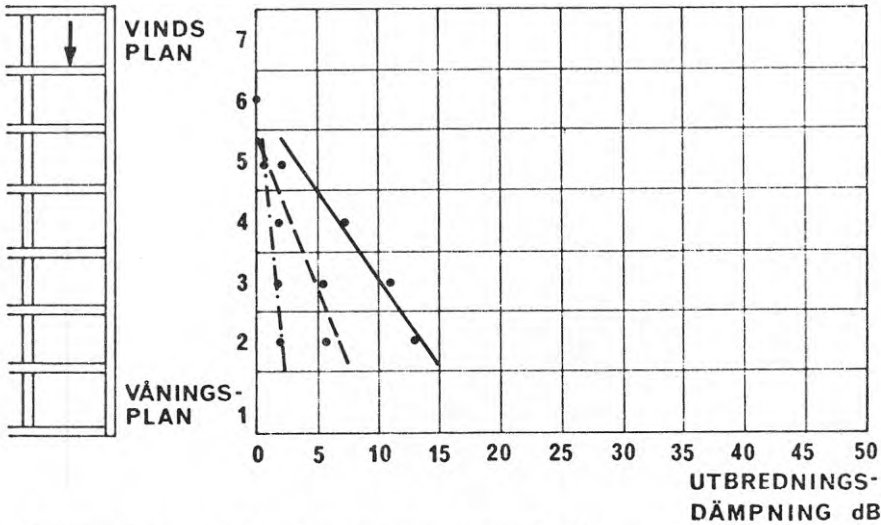


Diagram 8.13 Excitering av 15 cm betongbjälklag i hissrum DRP 7/03
Ljudtrycksnivåns fall i våningsplanen under den exciterade bjälklagsytan.

.....	31.5-125 Hz	- 1 dB/våningsplan
-----	125 -500 Hz	- 2 dB/våningsplan
————	500 -2000 Hz	- 3 dB/våningsplan

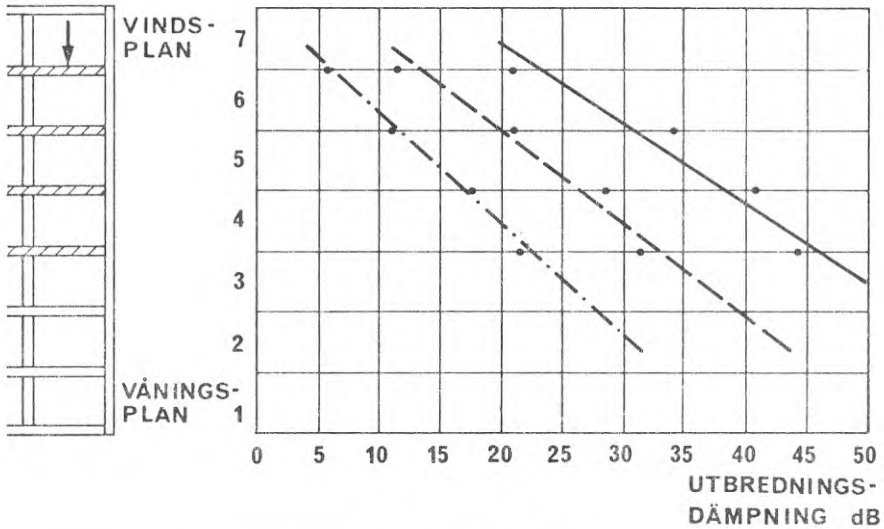


Diagram 8.14 Excitering av fläktrumshjärlag, 5 cm betong på 2x7 cm mineralull DRP 7/04. Vibrationshastighetsnivåns fall på bjälklagsytorna under den exciterade bjälklagsytan.

.....	31.5-125 Hz	- 5 dB/våningsplan
-----	125-500 Hz	- 7 dB/våningsplan
—————	500-2000 Hz	- 8 dB/våningsplan

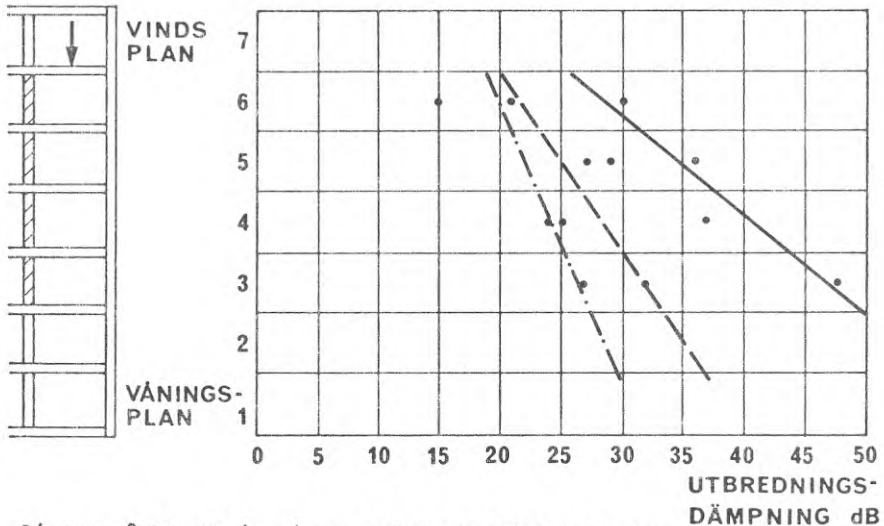


Diagram 8.15 Excitering av fläktrumshjärlag, 5 cm betong på 2x7 cm mineralull. DRP 7/04. Vibrationshastighetsnivåns fall på väggytorna under den exciterade bjälklagsytan.

.....	31.5-125 Hz	- 2 dB/våningsplan
-----	125-500 Hz	- 3 dB/våningsplan
—————	500-2000 Hz	- 6 dB/våningsplan

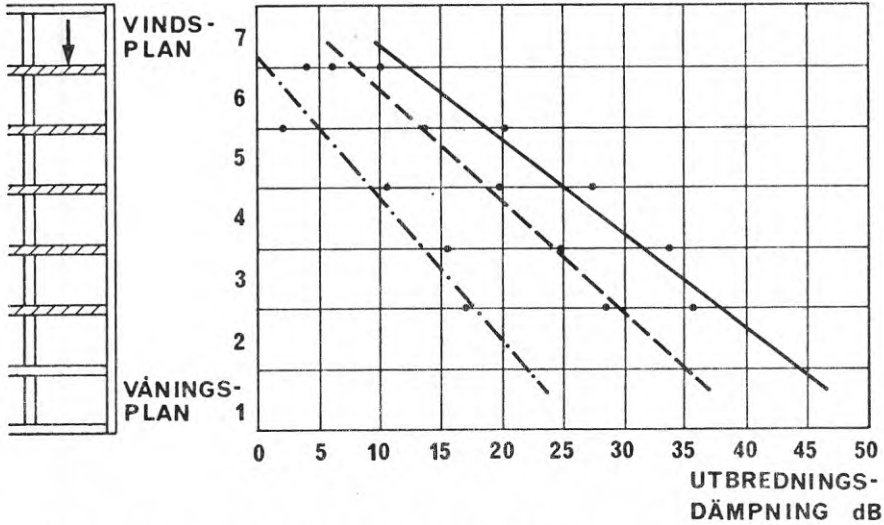


Diagram 8.16 Excitering av 15 cm vindsbjälklag intill fläktrum, DRP 7/05. Vibrationshastighetsnivåns fall på bjälklagsytorna under den exciterade bjälklagsytan.

- · · · · · 31.5-125 Hz - 2 dB/våningsplan
 - - - - - 125 -500 Hz - 2 dB/våningsplan
 ————— 500 -2000 Hz - 3 dB/våningsplan

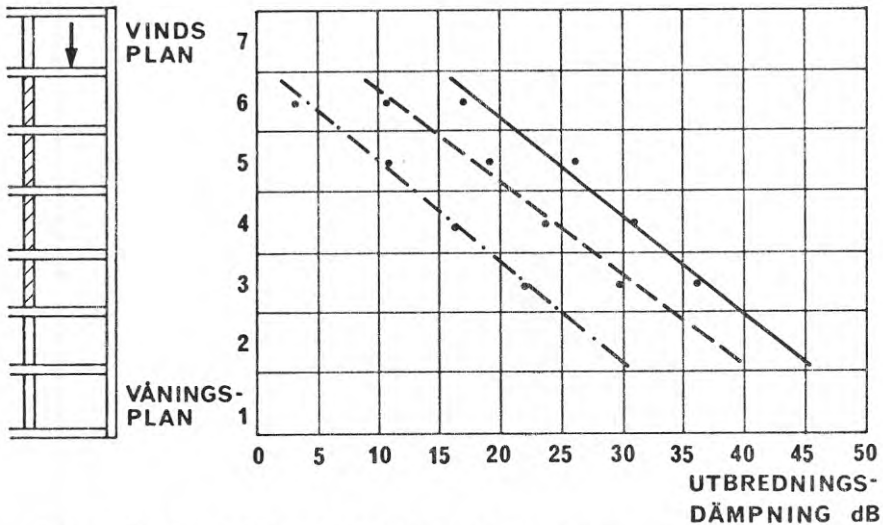


Diagram 8.17 Excitering av 15 cm vindsbjälklag, intill fläktrum DRP 7/05. Vibrationshastighetsnivåns fall på vägg-tytor under den exciterade bjälklagsytan.

- · · · · · 31.5-125 Hz - 6 dB/våningsplan
 - - - - - 125 -500 Hz - 6 dB/våningsplan
 ————— 500 -2000 Hz - 6 dB/våningsplan

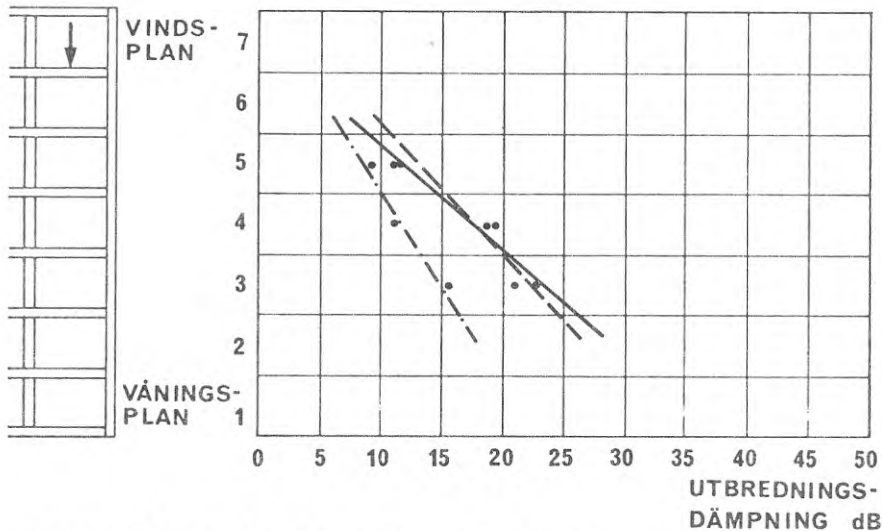


Diagram 8.18 Excitering av 15 cm vindshjäklag, intill fläktrum, DRP 7/05. Ljudtrycksnivåns fall i våningsplanen under den exciterade hjäklagsytan.

.....	31.5-125 Hz	- 3 dB/våningsplan
----	125 -500 Hz	- 5 dB/våningsplan
————	500 -2000 Hz	-66 dB/våningsplan

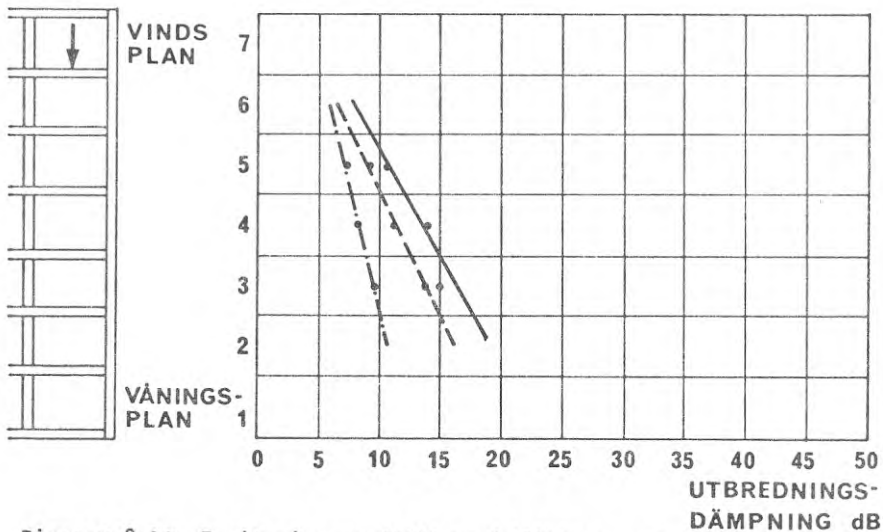


Diagram 8.10 Excitering av fläktrumsbjälklag, 5 cm betong på 2x7 cm mineralull DRP 7/04. Ljudtrycksnivåns fall i våningsplanen under den exciterade hjäklagsytan.

.....	31.5-125 Hz	- 1 dB/våningsplan
----	125 -500 Hz	- 3 dB/våningsplan
————	500 -2000 Hz	- 3 dB/våningsplan

De beräknade medelvärdena för stomljudsnivåns fall diagrammen 8.1, 8.2 och 8.4, 8.5 visar reduktioner av storleksordningen 5 - 8 dB/våningsplan för de högre frekvenserna men företrädesvis dämpningar i intervallet 2 - 5 dB/våningsplan för frekvensintervallet 31,5 - 125 Hz.

Såsom redan tidigare påpekats är dock spridningen från frekvens till frekvens mycket stor vilket klart framgår av nedanstående diagram.

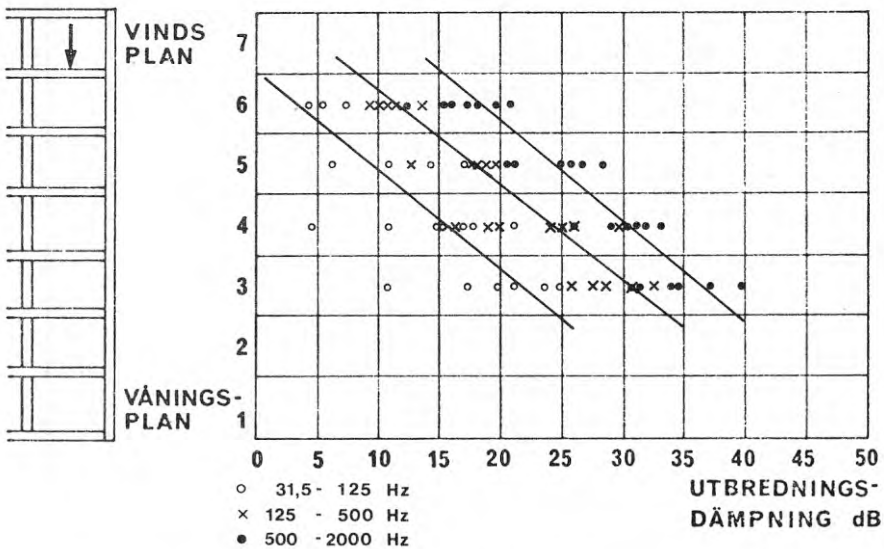


Diagram visande den spridning i dämpning som erhålles vid tersbandsfiltrering.

Även om allmänna tendenser kan utläsas i medelvärdesbilden blir prognosmöjligheterna starkt beskurna om man ej har mycket bredbandiga störkällor med ganska jämn störnivå över säg 1 - 2 oktaver.

9. EXEMPEL PÅ KARAKTERISTISKA STÖRNIVÅER PÅ I BOSTADSBYGGNAD INRYMDA INSTALLATIONSKOMPONENTER

9.1 Allmänt

För att viss uppfattning skall erhållas om de vibrationsnivåer och luftljudnivåer som är aktuella i huskroppar från vanliga installationskomponenter har några stickprov tagits på mätobjekt 2, bostadshus.

De störkomponenter som studerats har varit	diagram
hissmotoranläggning inkl linor, block, hisskorg	9.2
fläkt, 2 st. Bahco typ FLB 71-2, 3 hk, 300 kg	9.3-9.4
badrumsarmatur	9.5-9.6

Vibrationsnivåerna har bestämts nattetid då huset varit utrymt. I byggnaden från mindre, ej identifierbara storkällor, befintlig bakgrunds nivå har registrerats, på våning 4 och 6, diagram 9.1.

9.2 Mätmetod

Hastighetsnivåerna är uppmätta i en punkt på aktuell delyta enligt tidigare redovisat förfarande. Luftljudsnivån är bestämd i en punkt av aktuellt rum.

9.3 Kommentar

De företagna mätningarna är exempel på nivåer som utbildas i en byggnad. Med hjälp av överföringsadmittanserna redovisade i kap. 6 bör man få en grov uppfattning om vibrationsöverföringen från studerad delyta till övriga ytelement i byggnaden.

Det som skiljer exciteringen i aktuellt fall från tidigare studerad punktexcitering är att drivningen av stommen sker över flera simultana överföringsled och över flera riktningar. I fläktfallet tillkommer en möjlig luftljudsexciteringsdel vars belopp man måste skatta innan överföringsfunktionerna från punktexciterad stomme kan utnyttjas i detta fall (En separering som normalt är enkel att genomföra).

Det bör vid fortsatta studier inom stomljuddstransmissionens område vara en uppgift att söka härleda i vilken omfattning man kan förenkla sammansatta störkällor till ekvivalenta punktkällor, av t ex konstant hastighetskälla eller typ konstant kraftkälla och att söka separera moment- och translationsandelarna.

För att ej betunga framställningen med en komplicerad formell apparatur av typen matrisframställning enligt t ex nedan:

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Y_{11} & - & - & - & - & Y_{16} \\ - & Y_{22} & & & & - \\ - & & Y_{33} & & & - \\ - & & & - & & - \\ - & & & & - & - \\ Y_{61} & & & & & Y_{66} \end{bmatrix}$$

där $v_1, v_2 \dots v_6$ är vibrationshastigheter och vinkelhastigheter i mottagarpunkten, $F_1 - F_6$ är generaliserade krafter och $Y_{11} - Y_{66}$ är överföringsmatrisen, har, i avvaktan på den experimentella teknikens utveckling, denna rapport endast sysslat med excitering utefter en koordinataxel. Det kan emellertid antas, vilket erfarenheterna från maskintekniken ger vid handen, att i mellan- och högfrekvensområdena är vibrationsbidragen relativt jämt fördelade över alla tre axelriktningarna och ganska jämt fördelade över samtliga kontaktpunkter mellan störande maskin och underlag.

Känner man alltså störhastigheten från en maskinfot i en riktning ger en energisumming över samtliga koordinatriktningar och kontaktpunkter en jämförelsevis korrekt uppfattning om den totalt transmitterade energin i olika frekvensband. I lågfrekvensområdet, där den ömsesidiga kopplingen mellan kontaktpunkterna också måste beaktas, är givetvis en så långt driven förenkling ej möjlig.

Utnyttjas den enkla modellen att det i underlaget utbildade vibrationshastighetsmönstret är omvänt proportionellt mot underlagets admittans Y_b i kontaktpunkten och en ekvivalent störkraft F_{ekv} ,

$$V = F_{ekv} \cdot Y_b$$

kan ett värde erhållas på F_{ekv} ur uppmätta storheter.

Detta är möjligt om störkällans admittans är hög i förhållande till underlagets. Eftersom Y_b kommer att variera med exciteringsriktningen måste för Y_b väljas den rörelseform som svarar mot dominerande eftergivlighet vilket för t ex en större bjälklagsplatta eller vägg exciterad ett stycke från randen, åtminstone vid högre frekvenser, normalt är translationsadmittansen normalt mot plattan.

En sådan beräkning har med uppmätta värden på plattadmittansen genomförts för några av de studerade störkällorna. Inga allvarliga försök har gjorts att kontrollera om inimpedanserna i störkällorna är låga i förhållande till underlagets impedans. Diagram 9.7. För hissmotorn bör sannolikt den undre streckade kurvan utnyttjas eftersom denna svarar mot horisontell drivning på hissfundamentet och denna visat sig ge största eftergivligheten.

Man ser att ekvivalenta störkraften för t ex badrumsarmaturer i mellanfrekvensområdet ligger kring 0,2 - 0,3 N/ters eller närmare 0,5 N/oktav.

Alltför stor betydelse bör ej fästas vid de på detta sätt framräknade ekvivalenta krafterna då det är betydligt enklare och är en säkrare metod att gå direkt på de i stommen utbildade hastighetsnivåerna. Storleksordningen på de krafter som är med i spelet bör dock komma fram med hjälp av en överslagsberäkning enligt ovan. Metoden är givetvis framförallt tillämplig på små plattor med kraftiga randreflexer för vilka vibrationshastigheten håller sig relativt konstant över ytan.

VIBRATIONSFASTIGHETSNIWA/TERS

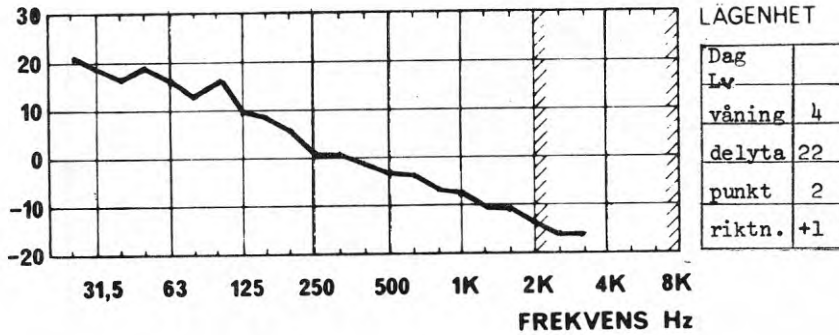
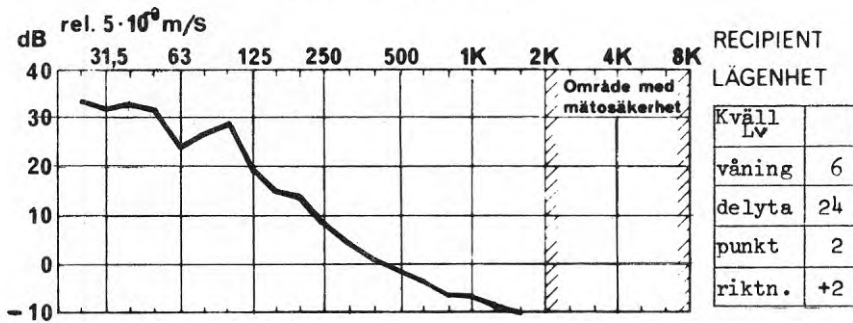


Diagram: 9.1

Vibrationshastighet
Grundbrus, dag- och kvällstid

Byggnad: Kv. Linjalen

VIBRATIONSFASTIGHETSSTÄRLEK

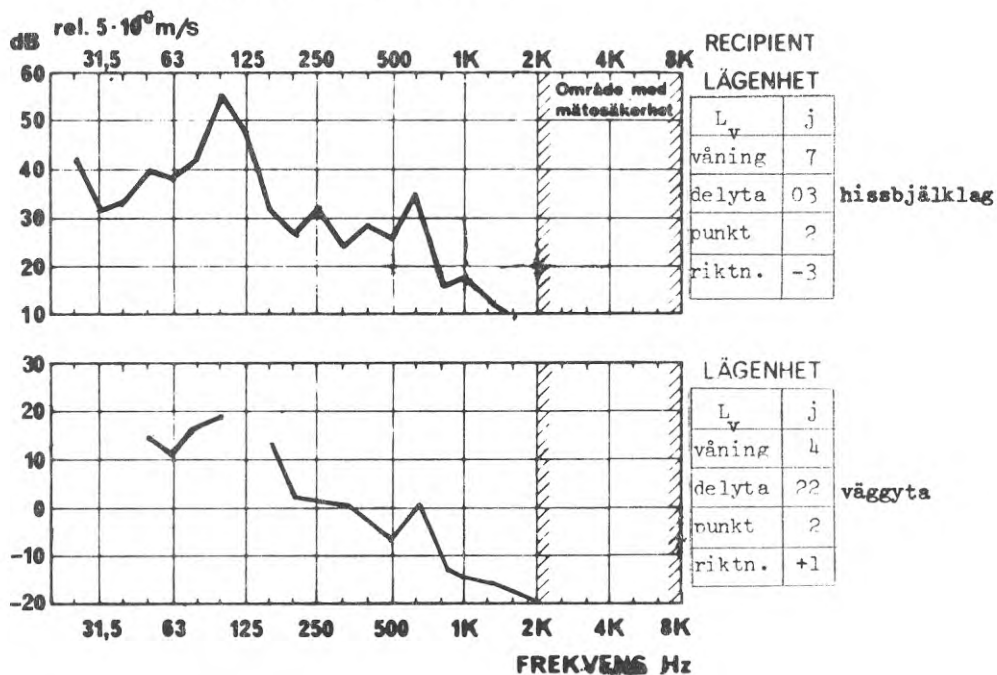


Diagram: 9.2

Vibrationshastighet

Primärstörning på bjälklag, hissrum vid körning

med hiss i schakt

Byggnad: Kv. Linjalen

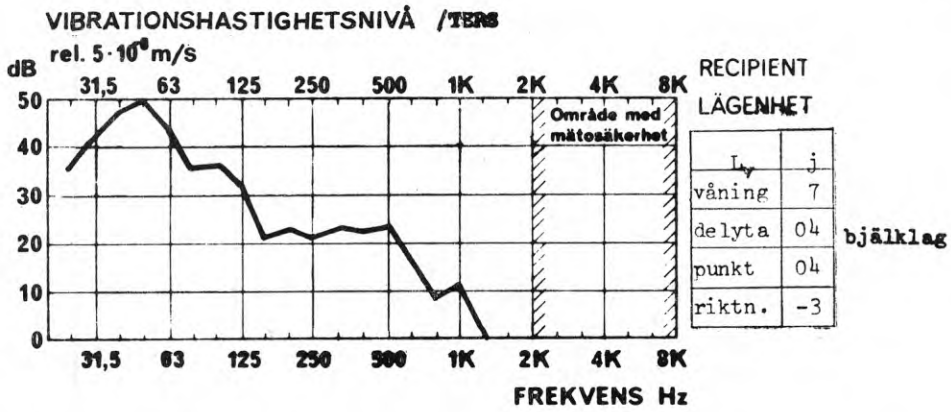


Diagram: 9.3

Vibrationshastighet
Primärstörning, fläktrum. En fläkt i drift

Byggnad: Kv. Linjalen

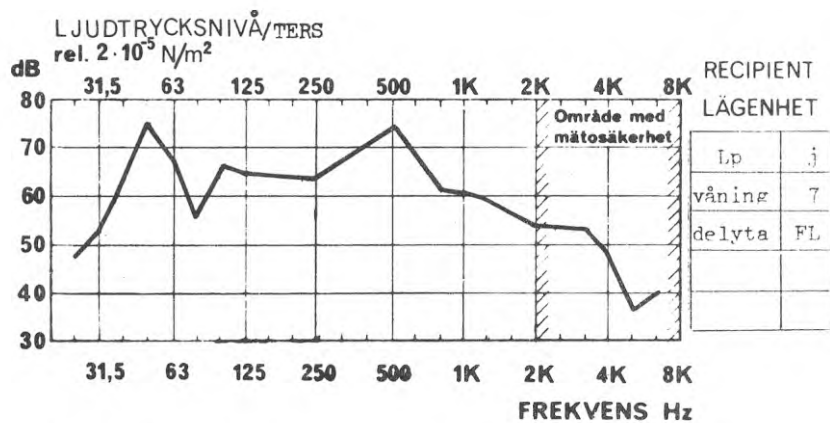


Diagram: 9.4

Ljudtryck

Primärstörning, fläktrum. En fläkt i drift

Byggnad: Kv. Linjalen

VIBRATIONSHASTIGHETSNIVÅ/TERS

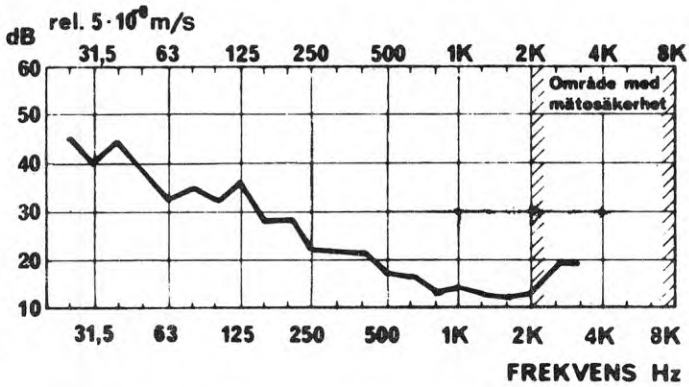


Diagram: 9.5

Vibrationshastighet

Primärstörning från armatur monterad

på lägenhetsskiljande vägg, badrum. Normal spolning.

Mätning på lägenhetsskiljande vägg, 35 cm betong

Byggnad: Kv. Linjalen

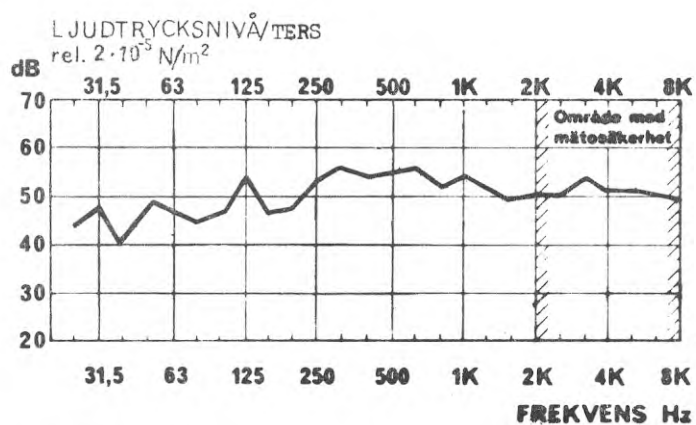


Diagram: 9.6

Ljudtryck

Primärstörning från armatur monterad på

lägenhetsskiljande vägg, badrum. Normal spolning

Ljudtrycksnivå i badrum

Byggnad: Kv. Linjalen

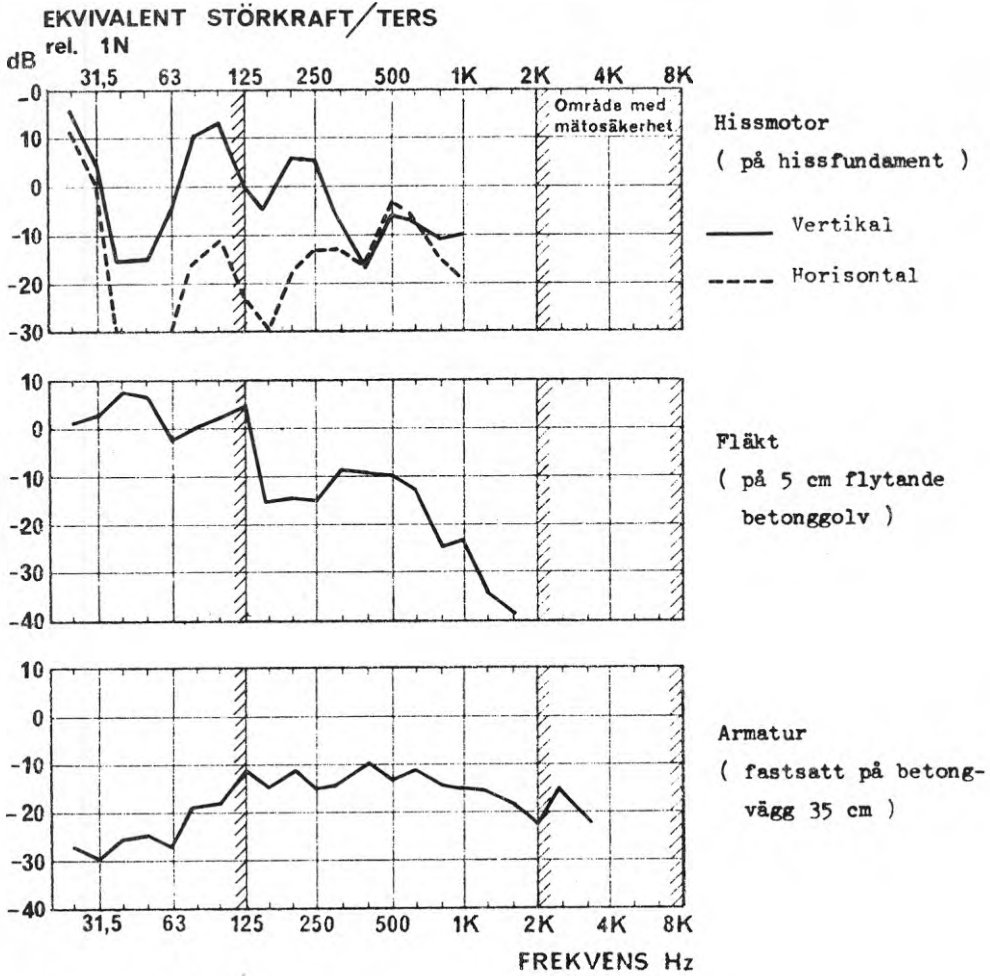


Diagram: 9.7

Ekvivalent translatorisk störfkraft från karakteristiska störfkällor beräknade med hjälp av uppmätt vibrations hastighet och impedans i underlaget.

Byggnad: Kv Linjalen

REFERENSER

- /1/ Byggeforsknings informationsblad 1962=63 "De boende bedömer ljudisoleringen - referat av engelska undersökningar". Ref. Sven Thiberg
- /2/ Stat. Inst. för Byggeforskning. Blad 1965=21 "Bo och bedöma: Hyreslägenheter i Stockholm. 2. Bostad och buller". Carin Boalt
- /3/ Statens Byggeforskningsinstitut SBI-anvisning 79. 1970. "Støj fra installationer". Jørgen Kristensen, Kaj Oveson. Köpenhamn.
- /4/ Teknologisk Institut. 1965 "Forsøg vedrørende Lydfortplantning i Huse" Medd. nr 9 - Köpenhamn. F Larris - B Ernstrup.
- /5/ D V Wright. Dec. 1958. "Impedance Analysis of Distributed Mechanical Systems" ASME Colloquium on Mechanical Impedance Methods.
- /6/ K Gösele - C A Voigtsberger. Ber. aus der Bauforschung. 1968. "Geräuschstörungen durch Körperschallanregung der Wände, wie z.B. Töranschlagen, Schalterknipsen" Heft 56. Berlin
- /7/ W Westphal. 1957 "Ausbreitung von Körperschall in Gebäuden" Acustica. Akust. Beihefte s. 335.
- /8/ L Cremer. 1953 "The propagation of structure-borne sound" Department of Scientific and Industrial Research Report No 1 (serie B) s. 317. Se Acustica 3.
- /9/ K Gösele. 1968 "Untersuchungen zur Schall-Längsleitung in Bauten" Ber. aus der Bauforschung. Heft 56. W Ernst & Son.

- /10/ A Eisenberg. 1958 "Versuche zur Körperschalldämmung in Gebäuden" Forsch. ber. der Wirtschafts- o. Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen. nr 651.
- /11/ H D Carden - W H Mayes. April 1970. "Measured vibration response characteristics of four residential structures excited by mechanical and acoustical loadings". NASA Techn. Note D-5776
- /12/ D U Noiseux - E B Meyer. Aug. 1968. "Application of impedance theory and measurements to structural vibration" Techn. Rep. AFFDL-TR-67-182
- /13/ L Cremer - M Heckl. 1967. "Körperschall. Physikalische Grundlagen v. Technische Anwendungen" J Springer Berlin s. 498.
- /14/ J Robinson 1966 "Structural Matrix Analysis for the engineer" J Wiley & Sons N.Y.
- /15/ J S Przemieniccki 1968 "Theory of matrix structural analysis, Mc Graw Hill N.Y.
- /16/ R Plunkett Dec. 1958 "Mechanical Impedance Methods" Colloquium on ASME Annual Meeting. ASME N.Y.
- /17/ T Kihlman 1970 "Sound transmission in building structures of concrete" Journal of Sound and Vibration. Vol 11 nr 4 pp 435 - 445.
- /18/ T Kihlman 1967 "Transmission of Structure-Borne Sound in Buildings" Rapport från Byggeforskningen 9/1967.
- /19/ Wright D V Dec. 1958 "Impedance Analysis of Distributed Mechanical Impedance Methods" ASME Colloquium on Mechanical Impedance Methods.

R52: 1974

**Denna rapport avser anslag C 186 från Statens råd för
byggnadsforskning till Akustikbyrån AB, Stockholm.
Försäljningsrättigheterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.**

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

Pris: 37 kronor + moms