



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

R49:1972

**Förenklad mätning
av ljudisolering —
skottmetoden**

**Stig Ingemansson
Sten Ljunggren**

Byggforskningen



Förenklad mätning av luftljudsisolering – skottmetoden

Stig Ingemansson & Sten Ljunggren

I rapport R49:1972 redogörs för en förenklad mätmetod för bestämning av isoleringen mot luftljud. Metoden är främst avsedd att användas i fält. Förenklingen jämfört med den traditionella mätmetoden ytrar sig främst i väsentligt mindre instrumentuppbåd – utrustningen kan utan vidare medtagas vid flygresor – i ett betydligt snabbare mätförfarande samt i vissa fall även snabbare utvärdering.

Metoden uppfyller dock inte de normer och rekommendationer som i dag gäller för ljudisoleringsmätningar. Den är därför främst användbar för grovkontroller när avsevärda brister i ljudisoleringen misstänks samt när uppgift om ljudisolering krävs av rent tekniska skäl.

Skilnaden i uppmätt isolering enligt skottmetoden relativt den traditionella metoden bedöms vara tämligen liten; utmärkta resultat har erhållits vid kontrollmätningar.

Skottmetoden bygger på att sändarrummet exciteras med en impuls (ett pistolskott). Impulsvaren i sändar- och mottagarrum filtreras och integreras. I rapporten visas att de kvantiteter som därvid erhålles under vissa förutsättningar är analoga med de storheter som mätes vid den traditionella mätmetoden. Samma värden på ljudisoleringen bör därför erhållas enligt de båda metoderna förutsatt att mätningen sker på i övrigt jämförbart sätt.

Den utrustning som krävs i fält vid mätningar enligt skottmetoden utgörs av en kondensatormikrofon med strömförsörjningsaggregat, en indikeringsenhet, en bandspelare samt en startskottpistol. Denna utrustning är avsevärt mindre omfattande än vad som krävs vid konventionella mätningar, se FIG. 1 och 2.

FIG. 1. Fältutrustning vid skottmätningar.

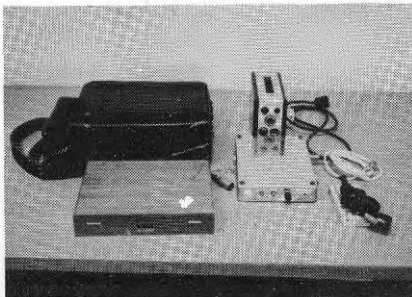


FIG. 2. Fältutrustning vid traditionella mätningar.

Själva isoleringsmätningen tillgår på följande sätt. Först skjutes ett provskott i sändarrummet. Med hjälp av en speciell indikeringsenhet och en dämpsats som är inbyggd i denna ställes signalen in till en lagom nivå för bandspelaren. Därefter skjutes 5 skott i sändarrummet och nivåerna där registreras på bandspelaren. Mikrofonutrustningen och bandspelaren överflyttas därpå till mottagarrummet och mottagarrumsnivåerna registreras vid ytterligare 5 skott i sändarrummet. Därvid är ett speciellt filter inkopplat så att signaler med approximativt samma nivå matas till bandspelaren både vid registrering i sändar- och mottagarrum. Slutligen skjutes 3 skott i mottagarrummet för registrering av efterklangsförloppen. Denna procedur går avsevärt fortare än traditionell mätning.

Utvärderingen av mätresultaten sker lämpligast på en s.k. parallellanalysator, som samtidigt filtrerar och integrerar signalerna. Det är dock möjligt att använda en sedvanlig våganalysator och en lämplig likriktarenhet, exempelvis en s.k. bullerdosimeter. Utvärderingen av efterklangstiden har inte närmare studerats i detta arbete. Den kan ske på sedvanligt sätt med nivåskrivare eller med hjälp av någon av de automatiska metoder som framtagits under senare år.

Det har inte varit möjligt att inom den ekonomiska ram som gällt för detta arbete, göra en ingående analys av de avvikelser i uppmätt isolering som erhålles med skottmetoden relativt den konventionella metoden. En uppskattning av noggrannheten har dock gjorts; med 95 % säkerhet torde avvikelserna ligga

Byggforskningen Sammanfattningar

R49:1972

Nyckelord:

luftljudsisolering, mätmetod (skottmetod), grovkontroll

Rapport R49:1972 avser anslag C102:2 från Statens råd för byggnadsforskning till Ingemanssons Ingenjörbyrå AB, Göteborg.

UDK 534.833.522

699.844

SfB A

ISBN 91-540-2084-0

Sammanfattning av:

Ingemansson, S & Ljunggren, S, 1972, *Förenklad mätning av luftljudsisolering – skottmetoden*. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R49:1972, 50 s., ill. 15 kr.

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

inom ± 3 dB för den totala isoleringen i form av isoleringsindex e.d. Den största delen av avvikelsen härstammar från variationer i skottens utteffekt.

Några jämförande fältmätningar har utförts enligt de båda metoderna. Resultaten framgår ur FIG. 3–6. Avvikelserna är vid högre frekvenser synnerligen

små, och även vid låga frekvenser acceptabla med tanke på den låga reproducerbarhet som då råder oberoende av vilken metod som används.

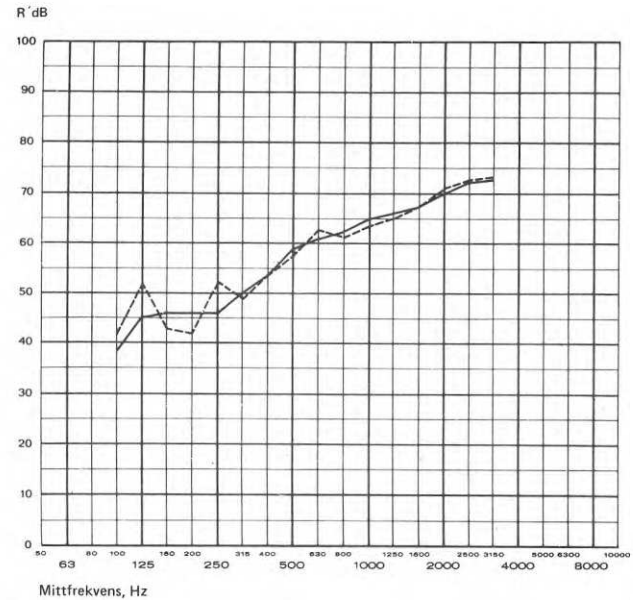
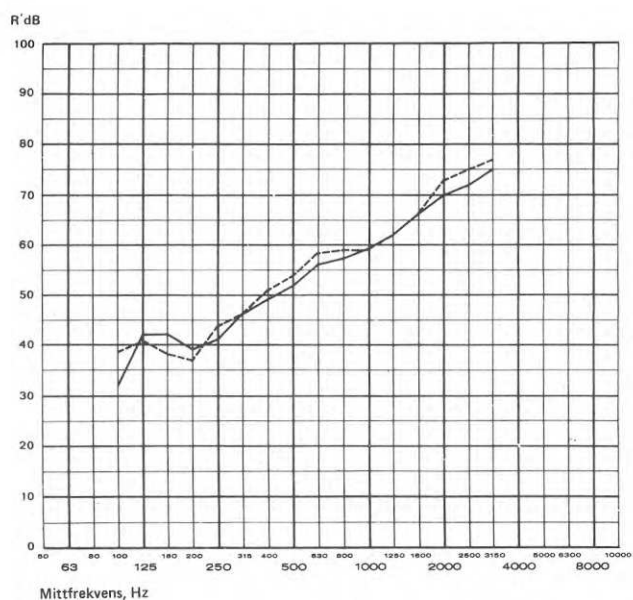
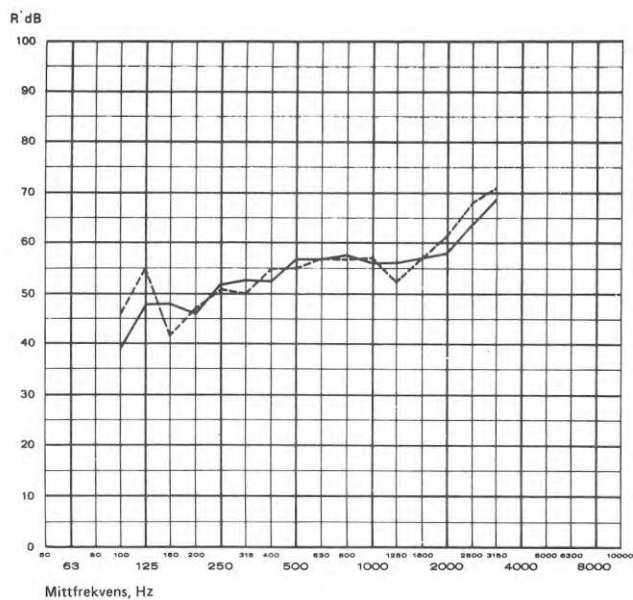
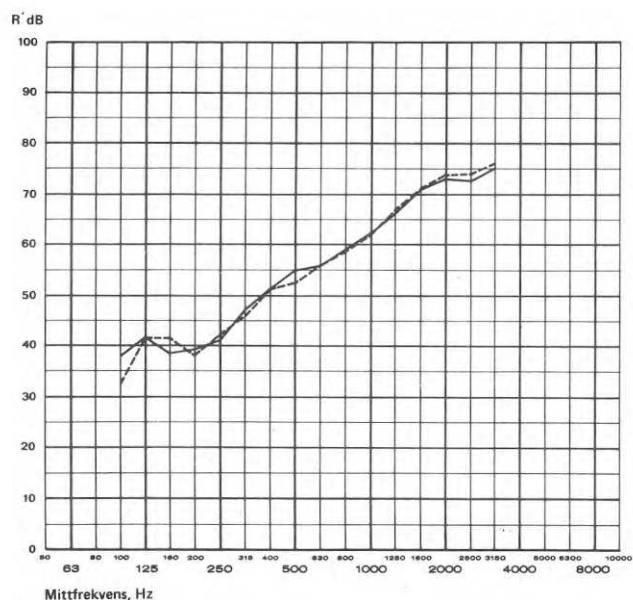


FIG. 3–6. Exempel på uppmätta fältreduktionstal med skottmetod (—) resp. traditionell metod (---).

Simplified method of measuring sound insulation – pistol shot method

Stig Ingemansson & Sten Ljunggren

This report describes a simplified method for measuring the airborne sound insulation. This method is primarily intended for field measurement. The simplification lies mainly in the radically diminished instrumentation (transportation of equipment by air presents certain problems), in a much more rapid measuring procedure and also in certain cases in more rapid assessment of results.

The method does not, however, comply with current standards and recommendations regarding measurement of sound insulation. It is therefore primarily suitable for conducting rough checks in cases where serious deficiencies in sound insulation are suspected and in cases where data on sound insulation are required for purely technical reasons.

The difference in results obtained by this method as compared to those obtained by the conventional method is slight; excellent results have been obtained from test runs.

The method is based on excitation of the transmission chamber by an impulse (a pistol shot). The responses to this shot in the transmission and receiving chambers are then filtered and integrated. The report demonstrates how the results obtained are analogous with those obtained using the conventional method of measurement. It is thus true to say that approximately the same values will be obtained on measurement of sound insulation whichever method is used, provided that the measurement procedure is also comparable in other respects.

Instrumentation for field measurement using the pistol shot method consists of a condenser microphone equipped with power supply unit, an indicator, a tape recorder and a starter pistol. This is much less equipment than that required

FIG. 1. Equipment for field measurement of sound level using the pistol shot method.

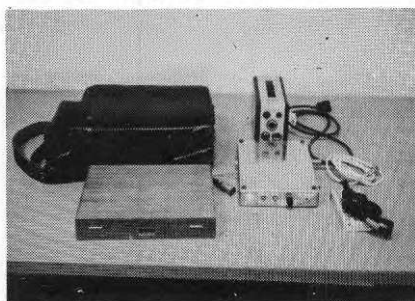


FIG. 2. Equipment for field measurement of sound insulation using the conventional method.

when using the conventional method (see FIGS. 1 and 2).

The procedure for measuring sound insulation is as follows. A test shot is fired in the transmission room. The sound level of this signal is adjusted to a sound level suitable for recording on tape with the aid of a special indicator and attenuation unit. Five more shots are then fired in the source room and their sound levels are recorded on tape. The microphones and tape recorder are then moved to the receiving room and sound levels here are registered by firing a further five shots in the source chamber. At this point, a special filter is introduced to permit signals having approximately the same sound level to be fed into the tape recorder both when registering sound level in the source and receiving room. Finally, three shots are fired in the receiving room in order to record the reverberation times. This procedure is considerably less time-consuming than the conventional procedure.

The instrument most suited for evaluation of results is a real time analyzer which also filters and integrates the signals. Alternatively, an ordinary frequency analyzer plus the appropriate rectifier, e.g. a noise dosimeter, can be used. No special study has been devoted to assessment of the reverberation time during this particular project. This can either be done in the usual way using a sound level recorder or with the aid of some of the automatic equipment which has been developed in recent years.

Financial resources did not permit detailed analysis of deviations in the insulation levels recorded using the pistol shot method compared to the usual method. An estimate of the degree of accuracy achieved showed that the deviation will be in the region of ± 3 dB for the total insulation in the form of an

National Swedish Building Research Summaries

R49:1972

Key words:

air-borne sound insulation, method of measurement (pistol shot method), rough controls

Report R49:1972 has been supported by Grant C 102:2 from the Swedish Council for Building Research to Ingemanssons Ingenjörbyrå AB, Gothenburg.

UDC 534.833.522

699.844

SfB A

ISBN 91-540-2084-0

Summary of:

Ingemansson, S & Ljunggren, S, 1972, *Förenklad mätning av luftljudsisolering – skottmetoden*. Simplified method of measuring sound insulation – pistol shot method. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R49:1972, 50 p., ill. 15 Sw.Kr.

The report is in Swedish with Swedish and English summaries.

Distribution:

Svensk Byggtjänst
Box 1403, S-111 84 Stockholm
Sweden

insulation index or similar. Most of the deviation found derives from variations in the power level of the shot being fired.

A number of comparative field mea-

surements have been undertaken using both methods, the results of which are shown in FIGS. 3-6. At higher frequencies, deviations are extremely slight, and

even at lower frequencies acceptable in view of the low reproduction potential then prevailing regardless of the method used.

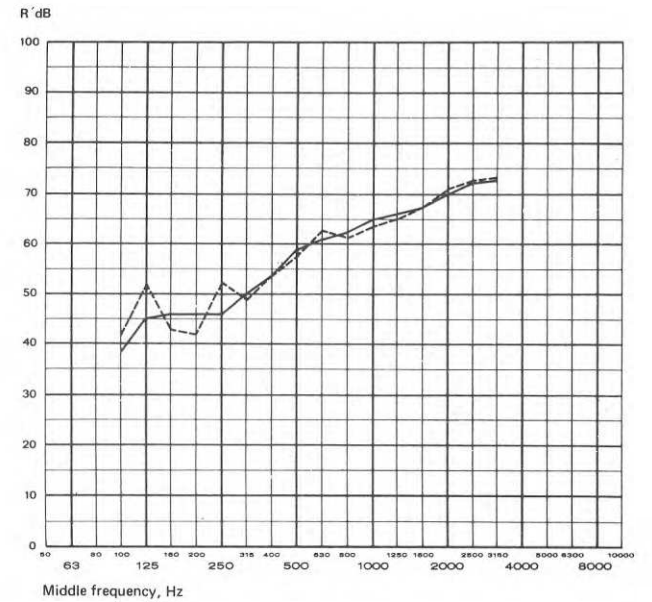
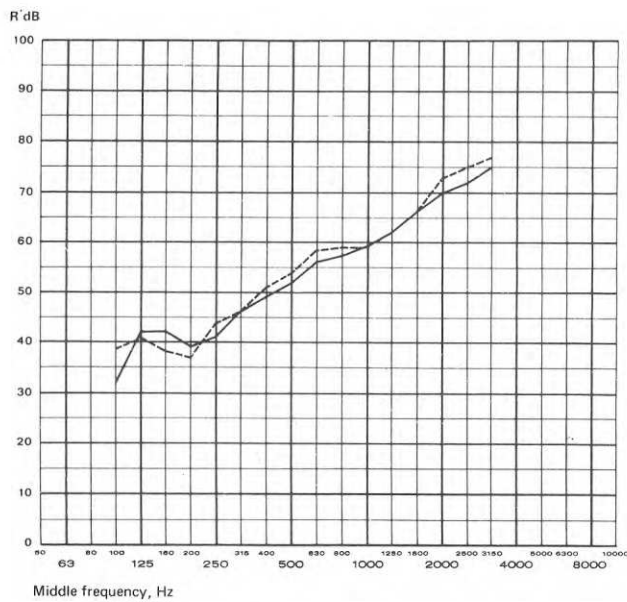
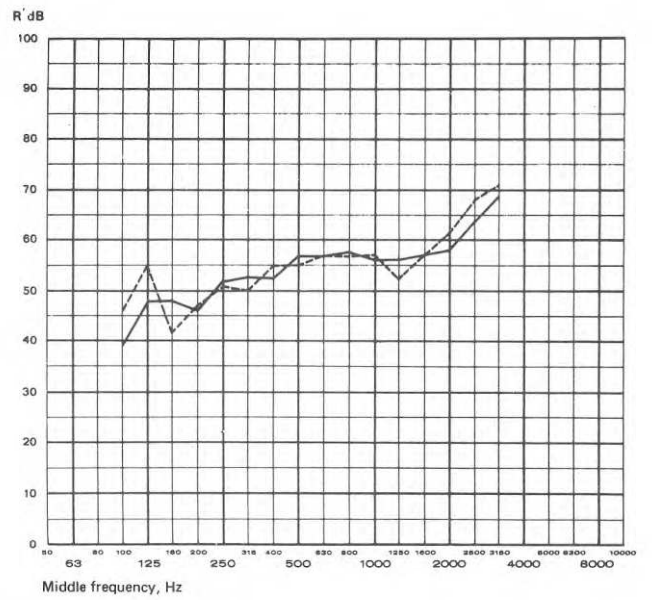
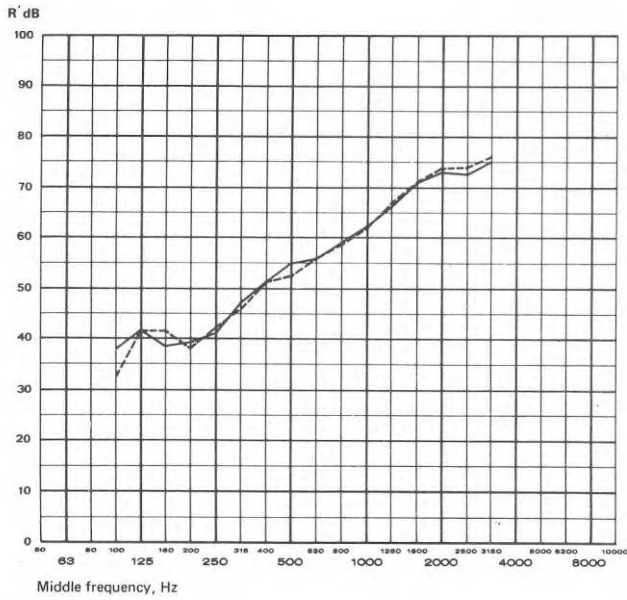


FIG. 3-6. Examples of reduction indices using the pistol shot method (—) and the conventional method (---).

Rapport R49:1972

FÖRENKLAD MÄTNING AV LUFTLJUDSISOLERING -
SKOTTMETODEN

SIMPLIFIED METHOD OF MEASURING SOUND
INSULATION - PISTOL SHOT METHOD

av Stig Ingemansson & Sten Ljunggren

Rapporten avser anslag C 102:2 från Statens råd för byggnadsforskning till Ingemanssons ingenjörbyrå AB, Göteborg. Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.

Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm
ISBN 91-540-2084-0
Rotobekman Stockholm 1972

FÖRORD

Föreliggande arbete påbörjades 1962 av Ingemansson och redovisades till sin första del i mars 1963. Vid denna tidpunkt kvarstod en hel del problem, dels på instrumentsidan (mikrofon och likriktare) och dels rörande metodens teoretiska bakgrund. Arbetet återupptogs och slutfördes år 1971 då instrumentproblemen var lösta och Ljunggren funnit en angreppspunkt för den teoretiska behandlingen.

Detta långa tidsintervall har bl a medfört vissa anakronistiska inslag i den byggda mätutrustningen. Det torde dock inte vara svårt att ombestycka utrustningen med moderna komponenter.

Under arbetets gång har många av medarbetarna vid Chalmers Tekniska Högskola, institutionen för byggnadsakustik och vid Ingemanssons Ingenjörbyrå AB varit inkopplade. Författarna vill speciellt tacka ingenjör Sven-Erik Albèrt, civ.ing. Sven-Olof Benjegård, civ.ing. Jarl Olofsson samt civ.ing. Jörgen Svensson för nedlagt intresse och arbete.

Arbetet har ekonomiskt stötts av Statens råd för byggnadsforskning.

INNEHÅLL

INLEDNING	6
DEL I STUDIER AV METODENS FÖRUTSÄTTNINGAR.	10
1 TEORI	10
1.1 Förenklat betraktelsesätt	10
1.2 Noggrannare analys.	13
1.21 Sändarrummets överföringsfunktion	13
1.22 Mottagarrummets överföringsfunktion	14
1.23 Exciterande signal.	15
1.24 Integrerade utsignaler.	16
1.25 Jämförelse med traditionell metod	19
2 LABORATORIEMÄTNINGAR.	21
2.1 Ljudkällans egenskaper.	21
2.2 Ljudisoleringsmätningar	23
2.3 Diskussion av förutsättningarna	23
DEL II PRAKTISK TILLÄMPNING AV METODEN.	28
1 APPARATUR	28
1.1 Mikrofon.	28
1.2 Bandspelare	28
1.3 Indikatorenhet.	28
1.4 Integreringsenhet	31
2 FÄLTMÄTNINGAR	33
3 DISKUSSION AV METODENS ANVÄNDBARHET	33
LITTERATUR.	37
FIGURER	39

INLEDNING

En mätning av ljudisolering mot luftljud syftar primärt till en bestämning av reduktionstalet R' (fältreduktionstalet) mellan två rum i en byggnad. För denna bestämning har en metod rekommenderats internationellt (ISO R 140, 1960); metoden har även standardiserats i Sverige (SIS 025251, 1963) liksom i många andra länder.

Enligt denna metod uppmättes skillnaden i ljudtrycksnivå i tersband mellan de båda rummen vid stationär luftljudsexcitering av det ena rummet. Ljudnivåskillnaden korrigeras sedan med en faktor som bl a beror på mottagarrummets absorption och skiljeväggens area. Denna korrektion avses att minska inflytandet av rummens egenskaper på det erhållna värdet, så att det uppmätta reduktionstalet skall kunna gälla som ett mått på skiljekonstruktionens egenskaper.

Detta standardiserade mätförfarande kräver en skrymmande, tung, ömtålig och dyrbar instrumentuppsättning. Instrumenten kräver tillgång till nätspänning och måste handhas av en kvalificerad mättekniker. Själva mätförfarandet är vidare ganska tidsödande. Dessa faktorer medför att mätningarna är dyrbara att utföra och dessutom måste planeras noga och i god tid på grund av det stora instrumentuppbådet. Följaktligen är det i praktiken inte möjligt att använda denna metod för att snabbt och ekonomiskt göra en ljudisoleringskontroll exempelvis då defekter misstänkes.

Det ligger således nära till hands att försöka komplettera det traditionella mätförfarandet med ett enklare. Ett visst avkall på mätnoggrannheten bör därvid kunna accepteras.

En hel del förslag till sådana förenklingar har också givits framför allt under senare år. Man kan därvid urskilja fyra huvudlinjer för dessa arbeten:

- 1 Automatisering av nuvarande metod
- 2 Mätningar som direkt hänför sig till skiljekonstruktionens egenskaper (utan omvägen över ljudfältet i mottagarrummet).
- 3 Mätningar av frekvensvägda ljudnivåer i sändar- och mottagarrum eventuellt kombinerat med förenklat mätsystem för bestämning av mottagarrummets absorption.
- 4 Impulsljudmetod (skottmetod)

Automatisering av den nuvarande metoden har föreslagits upprepade gånger (se exempelvis Kihlman, 1970 och Benjengård, 1971). På detta sätt erhålles stora tidsbesparingar framför allt vid mätning i laboratorium. De hittills föreslagna modifieringarna ger dock mindre påtagliga fördelar vid fältmätningar.

En mätmetod som endast kontrollerar skiljekonstruktionens egenskaper har föreslagits av Raës (1963) och Burd (1968). Raës använder därvid en impulsljudkälla och Burd en korrelationsteknik. För båda metoderna gäller att den kvantitet som uppmätes är principiellt skild från den som erhålles vid traditionell mätning. Vid båda metoderna uppstår dessutom problem vid mätning i tersband; en begränsning till oktavband synes vara nödvändig i praktiken.

För snabb bestämning av den totala isoleringen i form av ett I_a -värde eller liknande har Gösele (1965) föreslagit

en förenklad metod. Denna bygger på en bredbandig excitering av sändarrummet och uppmätning av de A-vägda ljudnivåerna i sändar- och mottagarrum. Metoden är dock ganska osäker och synes vara bäst ägnad för seriemätningar på likartade objekt där grova fel skall upptäckas (Westerberg, 1970).

Återstår så impulsljudmetoderna. Metoden att integrera impulssvaren föreslogs första gången i en delrapport till BFR rörande detta arbete (Ingemansson, 1963). Hilz föreslog år 1968 samma mätförfarande, men gav ingen analys av metodens förutsättningar.

Ingen av dessa förenklade mätmetoder står i överensstämmelse med gällande normer och rekommendationer. Med det automatiserade förfarandet och med impulsmetoden erhåller man dock en isoleringskurva som uttrycker den verkliga isoleringen; avvikelserna från resultatet vid standardiserad mätning beror främst på vissa detaljerade föreskrifter hos densenare som tillkommit av rent praktiska skäl. Båda metoderna är därför realistiska alternativ.

Föreliggande arbete har främst haft till syfte att utarbeta en mätmetod för fältbruk. Metoden med integrerade impulssvar, skottmetoden, är då av rent praktiska skäl såsom mindre skrymmande apparatur, lägre vikt etc överlägsen den automatiserade metoden. Arbetet har därför från början inriktats på skottmetoden.

Den använda utrustningen vid mätningarna enligt skottmetoden består av lösskotpistol, mikrofon, indikeringsenhet och bandspelare. Mätningarna tänkes försiggå på följande sätt. Föst skjutes ett provskott i sändar-

rummet med mikrofonen också i sändarrummet. Med indikeringsenheten kontrolleras att signalen från mikrofonen styr ut bandspelaren till lagom nivå. Är inte så fallet kan utstyrningen varieras med hjälp av en dämpsats som är inbyggd i indikeringsenheten. Därefter skjutes 5 skott vid varierande mikrofonpositioner och sändarrumsnivåerna registreras på bandspelaren.

Mikrofonen flyttas därefter till mottagarrummet, och en speciell frekvensberoende dämpning (dämpsatsen inbyggd i indikeringsenheten) kopplas in. 5 skott registreras så i mottagarrummet på bandspelaren. Slutligen skjutes några skott i mottagarrummet för bestämning av efterklangstiden.

Vid utvärderingen av mätningen integreras i tersband varje skott för sig och tillhörande nivåer beräknas. Därefter sker utvärderingen helt på konventionellt sätt.

DEL I STUDIER AV METODENS FÖRUTSÄTTNINGAR

1 TEORI

1.1 Förenklat betraktelsesätt

För beskrivning av ett lineärt system användes ofta systemets pulssvar, $h(t)$, se exempelvis Bendat & Piersol (1966). Denna funktion kan användas för att beskriva svaret $y(t)$ vid godtycklig excitering $x(t)$. Sålunda gäller för ett passivt, lineärt system med i tiden konstanta parametrar:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\theta) x(t-\theta) d\theta \quad (1)$$

Ett system av denna typ kan se ut på många sätt; här skall vi betrakta ljudfältet i ett rum exciterat av en högtalare placerad enligt föreskrifterna för mätning av ljudisolering. Som "ingångssignal" väljer vi den utmatade effekten från högtalaren och som systemets svar kvadraten på ljudtrycket i en punkt i samma rum som högtalaren. Vi skall hela tiden betrakta förhållandena inom ett frekvensband med mittfrekvensen f_0 och vidare betrakta förhållandena relativt denna mittfrekvens.

Vid det konventionella mätförfarandet avger högtalaren tersbandsfiltrerat brus och ljudtrycket mätes när jämviktstillstånd har nåtts. Om vi antar att signalen matats ut från högtalaren från tiden $t = 0$ kan vi skriva denna signal som

$$x_s^t(t) = p\sigma(t) \quad (2)$$

där $\sigma(t)$ betecknar stegfunktionen

$$\sigma(t) = \begin{cases} 0 & \text{för } t < 0 \\ 1/2 & \text{för } t = 0 \\ 1 & \text{för } t > 0 \end{cases} \quad (3)$$

och P avgiven effekt.

I ekvation (2) och i fortsättningen anger undre index sändarrum (s) resp mottagarrum (m) och övre index traditionell metod (t) resp skottmetod (s).

Systemets svar, $y_s^t(t)$ fås då som

$$y_s^t(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h_s(\theta) P \sigma(t-\theta) d\theta \quad (4)$$

Vid ljudisoleringsmätningar söker man ljudtryckets kvadrat vid jämviktstillstånd, dvs

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y_s^t(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \int_{-\infty}^{+\infty} h_s(\theta) P \sigma(t-\theta) d\theta \quad (5)$$

Alternativt kan vi tänka oss att högtalaren avger en brussignal $x_s^s(t)$ av mycket kort varaktighet, vid tiden $t \approx 0$, dvs

$$x_s^s(t) = W \delta(t) \quad (6)$$

där

$$\delta(t) = \frac{\delta}{\delta t} \sigma(t) \quad (7)$$

och W pulsens energi samt att impulssvaret integreras.

Det integrerade svaret kan skrivas

$$y_s^s(t) = \int_0^t \int_{-\infty}^{+\infty} h_s(\theta) W \delta(t-\theta) d\theta \quad (8a)$$

Eftersom integranden är en kontinuerlig funktion kan integrationsordningen bytas och vi får

$$y_s^s(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h_s(\theta) \int_0^t W \delta(t-\theta) dt d\theta = \int_{-\infty}^{+\infty} h_s(\theta) W \sigma(t-\theta) d\theta \quad (8b)$$

Om integrationen utsträcker över lång tid blir

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t y_s^S(t) dt = \lim_{t \rightarrow \infty} \int_{-\infty}^{+\infty} h_s(\theta) W \sigma(t-\theta) d\theta \quad (9)$$

Som synes får vi här ett uttryck av exakt samma form som vid den traditionella metoden (ekv 5); enda skillnaden består i att uttrycket för den inmatade energin W ingår i det senare och uttrycket för effekten P i det förra.

Förhållandena blir helt analoga om vi som utgångssignal betraktar ljudtryckets kvadrat i en punkt i ett mottagarrum. Vi kan då definiera ett impulssvar $h_m(t)$ och får för den traditionella metoden

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y_m^t(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \int_{-\infty}^{+\infty} h_m(\theta) P \sigma(t-\theta) d\theta \quad (10)$$

och för skottmetoden

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t y_m^S(t) dt = \lim_{t \rightarrow \infty} \int_{-\infty}^{+\infty} h_m(\theta) W \sigma(t-\theta) d\theta \quad (11)$$

Den kvantitet som primärt sökes är förhållandet mellan ljudtryckets kvadrat i de båda rummen. Vi ser här att

$$\frac{\lim_{t \rightarrow \infty} y_m^t(t)}{\lim_{t \rightarrow \infty} y_s^t(t)} = \frac{\lim_{t \rightarrow \infty} \int_{-\infty}^{+\infty} h_m(\theta) \sigma(t-\theta) d\theta}{\lim_{t \rightarrow \infty} \int_{-\infty}^{+\infty} h_s(\theta) \sigma(t-\theta) d\theta} = \frac{\lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t y_m^S(t) dt}{\lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t y_s^S(t) dt} \quad (12)$$

Vid excitering med brus av mycket kort varaktighet mäter man således exakt samma kvantitet som vid den traditionella metoden förutsatt att förhållandena i övrigt är lika.

I praktiken vill vi dock inte med den förenklade metoden mäta med en kort brussignal som är svår att realisera fysikaliskt utan med ett pistolskott. Denna signal är med god approximation δ -formad i tiden förutsatt att ingen filtrering sker. Vid filtrering däremot - och filtrering måste förutsättas vid isoleringsmätningar - blir skottsignalen långt ifrån δ -formad, och det är därför nödvändigt med en noggrannare analys av metodens förutsättningar.

1.2 Noggrannare analys

1.2.1 Sändarrummets överföringsfunktion

Som bekant förlöper efterklangsförloppet i en punkt i ett rum approximativt exponentiellt med tiden vid avbruten stationär excitering, dvs kvadraten på ljudtrycket $p_e^2(t)$, kan skrivas på formen

$$p_e^2(t) \approx p_0^2 e^{-t/\tau} \quad (13)$$

där τ är en tidskonstant, nära relaterad till efterklangstiden T

$$\tau = \frac{T}{6 \ln 10} \quad (14)$$

och p_0^2 betecknar en referenskvantitet.

Vi betraktar nu samma system som tidigare, dvs ett system där insignalen utgörs av högtalarens akustiska effekt och utsignalen av ljudtryckets kvadrat i en punkt i rummet, samt antar att ekvation (13) gäller exakt. Man kan då med hjälp av välkända satser visa, att systemets överföringsfunktion $H_s(s, \bar{r}_h, \bar{r}_s)$ i komplexa frekvensplanet kan skrivas på formen

$$H_S(s, \bar{r}_h, \bar{r}_s) = \frac{A}{\tau(s + \frac{1}{\tau})} \quad (15)$$

$$H_S(s, \bar{r}_h, \bar{r}_s) = \int_0^{\infty} e^{-st} h_S(t, \bar{r}_h, \bar{r}_s) dt \quad (16)$$

$h_S(t, \bar{r}_h, \bar{r}_s)$ betecknar impulssvaret i sändarrummet, \bar{r}_h Ortsvektorn för högtalaren, \bar{r}_s Ortsvektorn för den punkt i rummet där utsignalen betraktas.

A är en kopplingsfaktor som inte behöver närmare diskuteras. Faktorerna A och τ är båda funktioner av \bar{r}_h och \bar{r}_s .

Vi försummar här och i fortsättningen tidsförskjutningen mellan in- och utsignal. En sådan tidsförskjutning kan lätt införas genom en exponentialterm, men leder till tämligen ohanterliga uttryck. Eftersom vi i ena fallet integrerar utsignalen och i andra betraktar signalen efter insvängning, är dock tidsförskjutningen utan betydelse.

1.22 Mottagarrummets överföringsfunktion

Vi betraktar först ett system, där insignalen liksom tidigare utgörs av högtalarens akustiska effekt och utsignalen av kvadraten på ljudtrycket i en punkt omedelbart intill en av sändarrummets väggar. Denna överföringsfunktion kan enligt ovan skrivas

$$H_1(s, \bar{r}_h, \bar{r}_1) = \frac{A_1}{\tau_1(s + \frac{1}{\tau_1})} \quad (17)$$

där \bar{r}_1 definieras analogt med \bar{r}_s , se FIG 1, och A_1 är en kopplingsfaktor.

För efterklangsförloppet hos en vägg gäller analogt med rumsfallet, att det med god approximation kan sägas förlöpa exponentiellt med tiden. Vi kan därför skriva väggarnas överföringsfunktion för transversal hastighetens kvadrat vid excitering i en punkt \bar{r}_1 på samma

vägg som

$$H_V^i(s, \bar{r}_1, \bar{r}_2) = \frac{A_2}{\tau_2(s + \frac{1}{\tau_2})} \quad (18)$$

där \bar{r}_2 är Ortsvektorn för en annan punkt på väggen.

Överföringen av ljudenergi från ett rum till ett annat sker inte enbart via den direktskiljande väggen utan också via flankerande byggnadsdelar, se exempelvis Ljunggren (1971). För att riktig hänsyn skall tas till denna överföring via kopplade byggnadsdelar måste den överföringsfunktion som relaterar svängningshastigheten i en punkt i någon av mottagarrummets väggar, \bar{r}_3 , skrivas som en produkt av ett antal termer av samma typ som ekv (18).

Överföringsfunktionen mellan högtalarens akustiska ut-effekt och svängningshastigheten i en punkt i en mottagarrumsvägg fås nu genom multiplikation av ett ändligt antal, k , funktioner av typen (17) och (18) och integrering över alla sändarrummets begränsningsytor, S_s ,

$$H_V(s, \bar{r}_h, \bar{r}_3) = \int_{S_s} \prod_{n=1}^k \frac{A_n}{\tau_n(s + \frac{1}{\tau_n})} dS_s \quad (19)$$

På helt analogt sätt fås överföringsfunktionen för systemet med ljudtryckets kvadrat i en punkt i mottagarrummet som utsignal och insignal enligt ovan:

$$H_m(s, \bar{r}_h, \bar{r}_m) = \int_{S_m} \int_{S_s} \prod_{n=1}^{\ell} \frac{A_n}{\tau_n(s + \frac{1}{\tau_n})} dS_s dS_m \quad (20)$$

där $\ell > k$

1.23 Exciterande signal

Den exciterande signalen, pistolskottet, är en puls av mycket kort varaktighet, dvs mycket nära δ -formad. Vid den tidigare delen av analysen har vi emellertid konsekvent betraktat förhållandena inom ett tämligen smalt frekvensband, och den exciterande signalen måste naturligtvis också hänföras till samma domän. Detta

kan vi approximativt göra genom att filtrera signalens effekt genom ett ideellt filter och sedan betrakta tidsberoendet hos resultatet relativt filtrets mittfrekvens.

För pulsens fouriertransform, $\Delta(f)$ gäller

$$\Delta(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} W\delta(t) e^{-j2\pi ft} dt = W \quad (21)$$

där W är energin i pulsen.

Pulsen tänkes filtrerad genom ett filter $G(f)$ enligt

$$G(f) = \begin{cases} 1 & f_0 - \frac{\Delta f}{2} < f < f_0 + \frac{\Delta f}{2} \\ 0 & f < f_0 - \frac{\Delta f}{2}, \quad f > f_0 + \frac{\Delta f}{2} \end{cases} \quad (22)$$

varefter den kan skrivas

$$\begin{aligned} Y(t) &= 2 \int_0^{\infty} G(f)\Delta(f) e^{j2\pi ft} df = \\ &= \frac{W}{2\pi t} \sin(\pi\Delta ft) e^{j2\pi f_0 t} \end{aligned} \quad (23)$$

Den sökta signalen är således

$$X^S(t) = \frac{W}{2\pi t} \sin(\pi\Delta ft) \quad (24)$$

1.24 Integrerade utsignaler

Sändarrummets överföringsfunktion kan enligt ovan skrivas

$$H_S(s, \bar{r}_h, \bar{r}_s) = \frac{A_1}{\tau_1(s + \frac{1}{\tau_1})} \quad (15)$$

Motsvarande impulssvar blir då (se exempelvis Abramowitz & Stegun, 1965)

$$h(t, \bar{r}_h, \bar{r}_s) = \frac{A_1}{\tau_1} e^{-\frac{t}{\tau_1}} \quad (25)$$

Ljudtryckets kvadrat i punkten med Ortsvektorn \bar{r}_s , $y_s^S(t)$, fås nu enligt faltningssatsen som

$$\begin{aligned} y_s^S(t) &= h(t, \bar{r}_h, \bar{r}_s) * x^S(t) = \\ &= \int_0^t \frac{A_1}{\tau_1} e^{-\frac{(t-x)}{\tau_1}} 2\Delta f W \frac{\sin(\pi\Delta f x)}{\pi\Delta f x} dx = \\ &= \frac{2A_1 W}{\pi\tau_1} e^{-\frac{t}{\tau_1}} \int_0^t e^{-\frac{x}{\tau_1}} \frac{1}{x} \sin(\pi\Delta f x) dx; \end{aligned} \quad (26)$$

Med variabelsubstitutionen

$$z = \frac{x}{t} \quad (27)$$

fås omedelbart

$$y_s^S(t) = \frac{2A_1 W}{\pi\tau_1} e^{-\frac{t}{\tau_1}} \int_0^1 e^{-\frac{zt}{\tau_1}} \frac{1}{z} \sin(\pi\Delta f z t) dz; \quad (28)$$

Nu avser vi att integrera utsignalerna, dvs vi söker

$$\int_0^\infty y_s^S(t) dt = \int_0^\infty \frac{2A_1 W}{\pi\tau_1} e^{-\frac{zt}{\tau_1}} \frac{1}{z} \sin(\pi\Delta f z t) dz dt \quad (29)$$

Eftersom integranden är en kontinuerlig funktion av både z och t kan integrationsordning bytas och integrationen lätt utföras:

$$\begin{aligned}
\int_0^{\infty} y_S^S(t) dt &= \frac{2A_1 W}{\pi \tau_1} \int_0^{\infty} e^{-t(\frac{1}{\tau_1} - \frac{z}{\tau_1})} \frac{1}{z} \sin(\pi \Delta f z t) dt = \\
&= \frac{2A_1 W}{\pi \tau_1} \int_0^1 \frac{\pi \Delta f}{(\frac{1}{\tau} - \frac{z}{\tau})^2 + (\pi \Delta f z)^2} dz = \\
&= \frac{2A_1 W}{\pi} (\arctg(\pi \Delta f \tau) - \arctg(\frac{-1}{\pi \Delta f \tau})) = A_1 W \quad (30)
\end{aligned}$$

För överföringsfunktionen i mottagarrummet gäller enligt ovan

$$H_m(s, \bar{r}_h, \bar{r}_m) = \iint_{S_S} \iint_{S_m} \prod_{n=1}^l \frac{A_n}{\tau_n (s + \frac{1}{\tau_n})} dS_S dS_m \quad (20)$$

Impulssvaret kan då enligt Heavisides expansionssteorem skrivas

$$h_m(t, \bar{r}_h, \bar{r}_m) = \iint_{S_S} \iint_{S_m} \prod_{n=1}^l \frac{A_n}{\tau_n} \sum_{n=1}^l \frac{e^{-\frac{t}{\tau_n}}}{q'(-\frac{1}{\tau_n})} dS_S dS_m \quad (31)$$

där

$$q(s) = \prod_{n=1}^l (s + \frac{1}{\tau_n}) \quad (32a)$$

$$\text{och } q'(s) = \frac{d}{ds}(q(s)) \quad (32b)$$

Den integrerade utsignalen fås därför som

$$\begin{aligned}
\int_0^{\infty} y_m^S(t) dt &= \int_0^{\infty} h_m(t, \bar{r}_h, \bar{r}_m) * x^S(t) dt = \\
&= \int_0^t \iint_{S_S} \iint_{S_m} \prod_{n=1}^l \frac{A_n}{\tau_n} \sum_{n=1}^l \frac{e^{-\frac{t-x}{\tau_n}}}{q'(-\frac{1}{\tau_n})} 2\Delta f W \frac{\sin(\pi \Delta f x)}{\pi \Delta f x} dS_S dS_m dx dt \quad (33)
\end{aligned}$$

Byte av integrationsordning är uppenbarligen tillåtet, och vi får därför analogt med det tidigare

$$\int_0^{\infty} y_m^s(t) dt = \iint_{S_s} \iint_{S_m} \left(\prod_{n=1}^l \frac{A_n}{\tau_n} \right) \sum \frac{\tau_n}{q'(-\frac{1}{\tau_n})} dS_s dS_m \quad (34)$$

1.25 Jämförelse med traditionell metod

Vid mätning enligt traditionell metod tillföres högtalaren tersbandsbegränsat, stationärt brus, och ljudtrycksnivåerna i sändar- och mottagarrum bestämmas när stationärt tillstånd inträtt.

Den Laplace-transformerade ingångssignalen kan således skrivas

$$X^t(s) = \frac{P}{s} \quad (33)$$

där P är högtalarens akustiska effekt.

Sändarrummets utsignal fås således som

$$\begin{aligned} y^t(t) &= L^{-1} (x^t(s) \cdot H_s(s, \bar{r}_h, \bar{r}_s)) = \\ &= L^{-1} \left(\frac{P}{2} \frac{A_1}{\tau_1 (s + \frac{1}{\tau_1})} \right) = PA_1 (1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}) \end{aligned} \quad (36)$$

Vi söker här utsignalen efter insvängning, dvs

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y_s^t(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} PA_1 (1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}) = PA_1 \quad (37)$$

För mottagarrummet får vi analogt

$$\begin{aligned} y_m^t(t) &= L^{-1} \left(\frac{P}{s} \iint_{S_s} \iint_{S_m} \prod_{n=1}^l \frac{A_n}{\tau_n (s + \frac{1}{\tau_n})} dS_s dS_m \right) = \\ &= \int_0^t P \iint_{S_s} \iint_{S_m} \left(\prod_{n=1}^l \frac{A_n}{\tau_n} \right) \sum \frac{e^{-\frac{t}{\tau_n}}}{q'(-\frac{1}{\tau_n})} dS_s dS_m = \\ &= P \iint_{S_s} \iint_{S_m} \left(\prod_{n=1}^l \frac{A_n}{\tau_n} \right) \sum \frac{\tau_n (1 - e^{-\frac{t}{\tau_n}})}{q'(-\frac{1}{\tau_n})} dS_s dS_m \end{aligned} \quad (38)$$

Även här söker vi utsignalen efter insvängning, dvs

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y_m^t(t) = P \int_{S_s} \int_{S_m} \left(\prod_{n=1}^l \frac{A_n}{\tau_n} \right) \sum \frac{\tau_n}{q'(-\frac{1}{\tau_n})} dS_s dS_m \quad (39)$$

och vi ser omedelbart att

$$\frac{\int_0^{\infty} y_m^s(t) dt}{\int_0^{\infty} y_s^s(t) dt} = \frac{\int_{S_s} \int_{S_m} \left(\prod_{n=1}^l \frac{A_n}{\tau_n} \right) \sum \frac{\tau_n}{q'(-\frac{1}{\tau_n})} dS_s dS_m}{A_1} =$$

$$= \frac{\lim_{t \rightarrow \infty} y_m^t(t)}{\lim_{t \rightarrow \infty} y_s^t(t)} \quad (40)$$

Ekvation (40) säger, att om högtalare- och mikrofonpositionerna inte ändras så mäter man samma kvantitet med skottmetoden som med den traditionella metoden.

Det skall dock observeras, att en speciell filtrering har måst förutsättas för skottsignalen. Skillnaden mellan denna filtrering och den konventionella tros dock ej vara av avgörande betydelse.

2 LABORATORIEMÄTNINGAR

2.1 Ljudkällans egenskaper

I den akustiska litteraturen har redovisats många olika lösskottsordningar, alltifrån avsågade gevär med specialammunition till signalkanoner. Vid Ingemanssons Ingenjörbyrå AB har tidigare olika typer av "startpistoler" provats som ljudkälla vid efterklangsmätningar. En tysk pistol av fabrikat NHM visade sig härvid särskilt lämplig genom att ge såväl hög akustisk uteffekt som god spektralfördelning.

För att närmare undersöka reproducerbarhet och frekvensfördelning gjordes en mätserie i ett efterklangsrum. Därvid sköts 20 skott och de till den integrerade ljudtryckskvadraten hörande nivåerna L_{int}

$$L_{int} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_T 10^{\frac{L(t)}{10}} dt \right) \text{ dB} \quad (41)$$

där

$L(t)$ = momentana ljudnivån

T = betraktat tidsintervall

uppmätts med en s k parallellanalysator (fabrikat General Radio). Ljudkällepositionen ändrades inte under mätningen.

I FIG 2 redovisas medelvärdet av de erhållna nivåerna L_{int} , korrigerade till 10 m^2 absorption. Variationerna mellan de olika tersbanden är tillräckligt små för att det skall vara möjligt att registrera signalerna på en bandspelare, utan att dynamiken hos denna influerar resultatet vid integreringen.

För samma mätserie har också standardavvikelsen s i L_{int} beräknats, se FIG 3.

TABELL 1

Mätning med båda dörrarna öppna (stor flanktransmission).
 L_s = genomsnittlig sändarrumsnivå, L_m = genomsnittlig mottagarrumsnivå

Skottmetoden				Traditionell metod	
f Hz	$L_s - L_m$ dB	s_m^s dB	s_m^s dB	$L_s - L_m$ dB	σ_{tot}^t dB
100	21,6	4,0	3,8	21,0	4,8
125	28,0	2,1	2,2	23,2	4,3
160	30,9	2,6	2,8	30,5	3,8
200	28,5	2,2	2,9	27,0	3,3
250	28,9	1,7	2,3	28,1	2,9
315	30,4	1,6	2,7	30,2	2,4
400	30,0	1,8	2,7	29,3	2,0
500	31,5	2,4	1,8	29,2	1,7
630	31,4	1,8	2,4	30,1	1,4
800	31,7	1,0	2,4	32,3	1,2
1000	32,0	1,9	2,2	30,4	1,1
2150	32,3	1,6	2,7	30,8	1,1
1600	32,8	1,6	2,5	32,3	1,0
2000	32,5	1,5	2,8	32,9	1,0
2500	33,6	1,5	2,3	32,5	1,0
3150	33,6	1,5	1,9	32,4	1,0

TABELL 2

Mätning med dörren till sändarrummet stängd och till mottagarrummet öppen. L_s =genomsnittlig sändarrumsnivå, L_m =genomsnittlig mottagarrumsnivå.

Skottmetoden				Traditionell metod	
f Hz	$L_s - L_m$ dB	s_s^s dB	s_m^s dB	$L_s - L_m$ dB	σ_{tot}^t dB
100	38,6	4,0	2,0	34,7	4,8
125	41,3	2,1	1,5	39,3	4,3
160	43,0	2,6	2,2	43,7	3,8
200	44,0	2,2	1,6	41,9	3,3
250	45,4	1,7	1,6	43,5	2,9
315	46,3	1,6	1,3	46,3	2,4
400	47,3	1,8	1,3	46,2	2,0
500	49,3	2,4	1,5	47,2	1,7
630	49,1	1,8	1,2	48,0	1,4
800	50,1	1,0	0,9	49,8	1,2
1000	50,0	1,9	0,8	49,5	1,1
1250	50,2	1,6	0,6	49,8	1,1
1600	49,9	1,6	1,2	49,4	1,0
2000	49,1	1,5	1,1	50,3	1,0
2500	49,3	1,5	1,1	50,4	1,0
3150	50,6	1,5	0,9	51,6	1,0

Den använda parallellanalysatorn är inte helt idealisk för denna typ av mätningar. Integrationstiden är valbar i diskreta steg inom ganska vida gränser. Av praktiska skäl var det nödvändigt att välja 8 sekunders integrationstid. Vid denna integrationstid arbetar den digitalt uppbyggda analysatorn med en samplingsfrekvens om genomsnittligt ca 130 Hz. Detta medför en bristande reproducerbarhet om maximalt $\pm 0,3$ dB vid en efterklangstid av 1 s. Felet är dock av liten betydelse i detta sammanhang eftersom de uppmätta standardavvikelserna är väsentligt större.

2.2 Ljudisoleringsmätningar

I laboratorium har några ljudisoleringsmätningar utförts, dels enligt traditionell metod och dels enligt skottmetoden. Mätobjektet var därvid en fönsterkonstruktion. Utanför mätrummen finns en passage med dörrar till vardera rummet, se FIG 4. Genom att öppna antingen den ena eller båda av dessa dörrar kunde varierande grad av flanktransmission med lång gångtid åstadkommas. Resultaten av dessa mätningar framgår ur TAB 1-3 och FIG 5-7.

Vid skottmätningarna registrerades ljudtrycksnivåerna i 20 positioner i vardera av sändar- och mottagarrummet, vid de traditionella mätningarna i 5 positioner i varje rum.

2.3 Diskussion av förutsättningarna

Den teoretiska analysen visar att samma värde på isoleringen skall erhållas om samma positioner för ljudkälla och mikrofoner användes. Högtalaren skall enligt föreskrifterna placeras i ett av sändarrummets hörn. Denna position är rent praktiskt mindre lämplig vid skottmätningarna. Pistolen har i stället befunnit sig mitt inne i rummet och i olika läge för varje skott. Kihlman (1964) har tidigare funnit att olika högtalarpositioner ger signifikanta skillnader i uppmätt ljudisolering varför signifikant skillnad även bör finnas

TABELL 3

Mätning med båda dörrarna stängda. L_s =genomsnittlig sändarrumsnivå, L_m =genomsnittlig mottagarrumsnivå.

f Hz	Skottmetoden			Traditionell metod	
	$L_s - L_m$ dB	s_s^s dB	s_m^s dB	$L_s - L_m$ dB	σ_{tot}^t dB
100	34,3	2,6	2,9	37,8	4,8
125	39,1	2,7	2,4	38,1	4,3
160	43,6	2,8	2,1	38,8	3,8
200	43,7	1,8	2,0	43,9	3,3
250	45,8	1,3	1,6	46,2	2,9
315	46,2	2,5	1,8	48,8	2,4
400	46,9	1,4	1,0	48,2	2,0
500	46,7	1,7	1,4	48,9	1,7
630	49,3	1,4	1,0	50,5	1,4
800	50,3	1,7	1,3	51,1	1,2
1000	50,7	1,3	1,3	51,9	1,1
1250	52,0	1,5	1,0	52,8	1,1
1600	51,5	1,2	1,3	52,7	1,0
2000	51,9	1,4	0,8	52,7	1,0
2500	51,7	1,2	1,4	52,3	1,0
3150	51,8	2,1	1,2	53,0	1,0

TABELL 4

Mätning med båda dörrarna öppna

f Hz	Δ dB	σ^{s-t} dB	$ \Delta/\sigma^{s-t} $	Signifikans	
				5%>p>1%	1%>p
100	0,6	2,5	0,2		
125	4,8	2,9	2,4	x	
160	0,4	1,9	0,2		
200	1,5	1,7	0,9		
250	0,7	1,4	0,5		
315	0,2	1,3	0,1		
400	0,7	1,2	0,6		
500	2,3	1,0	2,3	x	
630	1,3	0,9	1,4		
800	0,6	0,8	0,8		
1000	1,6	0,8	2,0	x	
1250	1,5	0,9	1,7		
1600	0,5	0,8	0,6		
2000	-0,4	0,8	0,5		
2500	1,1	0,8	1,4		
3150	1,2	0,7	1,7		

mellan traditionell metod och skottmetoden.

För att närmare undersöka skillnaderna i uppmätt ljudisolerering har värdena bearbetats statistiskt. Därvid har följande värden använts för den totala standardavvikelsen σ_{tot}^t vid traditionell mätning (normförslag SEN 59 01 22), se TAB 1-3.

Ur de uppmätta värdena på standardavvikelserna i sändarrum s_s^s resp mottagarum s_m^s vid skottmätningar har en total standardavvikelse s_{tot}^s beräknats enligt

$$s_{tot}^s = \sqrt{(s_s^s)^2 + (s_m^s)^2} \quad (42)$$

De uppmätta standardavvikelserna har som tidigare nämnts erhållits ur mätserier med 20 mikrofonpositioner i vardera rummet. s_{tot}^s bör därför vara en god uppskattning av den verkliga standardavvikelsen σ_{tot}^s . Under vissa förutsättningar kan vi då approximativt beräkna standardavvikelsen σ^{s-t} för skillnaden i ljudisolerering uppmätt enligt skottmetoden resp traditionell metod enligt

$$\sigma^{s-t} = \sqrt{\frac{(\sigma_{tot}^t)^2}{n_t} + \frac{(s_{tot}^s)^2}{n_s}} \quad (43)$$

där n_t betecknar antalet mikrofonpositioner vid mätning enligt traditionell metod och n_s antalet vid skottmetoden.

I TAB 4-6 framgår vidare kvoten mellan uppmätt differens mellan de båda metoderna, Δ , och σ^{s-t} , samt om differensen är signifikant.

Som väntat är differensen i några tersband signifikant.

TABELL 5

Mätning med dörren till sändarrummet stängd och till mottagarrummet öppen

f Hz	Δ dB	σ^{s-t} dB	$ \Delta/\sigma^{s-t} $	Signifikans	
				5%>p>1%	1%>p
100	3,9	2,4	1,6		
125	2,0	2,0	1,0		
160	-0,7	1,9	0,4		
200	2,1	1,6	1,3		
250	1,9	1,4	1,4		
315	0	1,2	0		
400	1,1	1,0	1,1		
500	2,1	1,0	2,1	x	
630	1,1	0,8	1,4		
800	0,3	0,6	0,5		
1000	0,5	0,7	0,7		
1250	0,4	0,6	0,7		
1600	0,5	0,6	0,8		
2000	-1,2	0,5	2,0	x	
2500	-1,1	0,6	1,8		
3150	-1,0	0,6	1,7		

TABELL 6

Mätning med båda dörrarna stängda

f Hz	Δ dB	σ^{s-t} dB	$ \Delta/\sigma^{s-t} $	Signifikans	
				5%>p>1%	1%>p
100	-3,5	2,3	1,5		
125	1,0	2,1	0,5		
160	4,8	1,9	2,5	x	
200	0,8	1,6	0,5		
250	-0,4	1,4	3,0		
315	-2,2	1,3	1,7		
400	-1,3	1,0	1,3		
500	-2,2	0,9	2,4	x	
630	-1,2	0,7	1,7		
800	-0,8	0,7	1,1		
1000	-1,2	0,6	2,0	x	
1250	-0,8	0,6	1,3		
1600	-1,2	0,6	2,0	x	
2000	-0,8	0,6	1,3		
2500	-0,6	0,6	1,0		
3150	-1,2	0,7	1,7		

Den äremellertid signifikant endast på 5%-nivån, och endast vid genomsnittligt 9 mätningar av totalt 48.

Medelvärde av differensen vid de 48 mätpunkterna är 0,3 dB; de högre nivåskillnaderna uppmättes med skottmetoden.

Förutom de skilda tidsfunktionerna, kan även frekvensfördelningen hos det exciterande bruset tänkas inverka på den uppmätta ljudisoleringen. Vid mätning med skottmetoden sker exciteringen med ett bredbandigt brus och vid en isolering med kraftiga dalar och toppar vid olika frekvenser kan överhörning mellan intilliggande frekvensband äga rum. Denna faktor har inte undersökts närmare i detta sammanhang, men tros i allmänhet vara av mindre betydelse i praktiken. Undantag från denna regel kan dock uppträda vid bestämning av I_a -värde på grund av den s k 8-decibelsregeln. Vid kraftiga "dippar" hos isoleringskurvan blir dessa delvis utjämnade vid mätning enligt skottmetoden.

DEL II PRAKTISK TILLÄMPNING AV METODEN

1 APPARATUR

1.1 Mikrofon

Vid skottexciteringen av sändarrummet uppträder momentant mycket höga ljudtrycksnivåer, 155 - 160 dB har uppmätts. Dessa höga nivåer medför att vanliga standardmikrofoner inte kan användas. Vid de mätningar som redovisas i denna rapport har därför en 1/2" kondensatormikrofon (Brüel & Kjaer, typ 4134) använts. Denna mikrofon har enligt fabrikanten en distorsion om 4 % vid 160 dB, och är därför användbar.

Som förstärkare har använts Brüel & Kjaer typ 2613. Mikrofonen anslöts till förförstärkaren via en adapter, Brüel & Kjaer UA 0035.

Mikrofonen och katodföljaren har drivits av ett nätanslutet strömförsörjningsaggregat. I detta aggregat ingår också en transformator, så att utimpedansen kan väljas till 200 Ω . Batteridrivna enheter finns emellertid nu också kommersiellt tillgängliga. Dess har i allmänhet en högvarig utgång. En speciell impedansomvandlare har därför byggts så att anpassning till indikatornheten är möjligt även vid batteridrift, se FIG 8 och 9.

1.2 Bandspelare

För en inspelning av signalerna krävs en bandspelare med mycket hög dynamik, så att inte brus och brum från denna påverkar integreringen av signalen. Vid försöken har använts en bandspelare av fabrikat Kudelski, typ Nagra IV BL. Dynamiken hos denna är mycket hög; uppmätta värden framgår ur FIG 10.

1.3 Indikatornhet

Variationerna i integrerade ljudtrycksnivåer är vid fältmätningar ganska stora. I FIG 11 visas högsta

och lägsta tersnivåer erhållna i 17 slumpvis valda boningsrum med varierande storlek och möblering (vardagsrum och sovrum). Maximala spridningsområdet är 17 dB.

På analogt sätt har högsta och lägsta tersnivåer bestämts i 17 mottagarrum, se FIG 12. Utöver variationerna i volym och absorption i rummen påverkas nivåerna av den frekvensberoende isoleringen. Fältreduktions-talet låg här omkring $I_a = 52$; spridningen i uppmätt isolering (traditionell metod) framgår av FIG 13. Man får därför en mycket stor skillnad mellan högsta och lägsta nivå i mottagarrummen.

För att komma till rätta med dessa svårigheter har en speciell indikatorenhet konstruerats. Denna består dels av en toppvärdeskännande indikator och dels av ett vägningsfilter och dämpsats. Blockschema för enheten framgår ur FIG 14, fullständigt schema ur FIG 15. För den mekaniska uppbyggnaden, se FIG 16 och 17.

Den toppvärdesindikerande kretsen är inkopplad vid mätning av sändarrumsnivåerna. Är nivån därvid för hög tänds en lampa betecknad minska. Genom en potentiometer på utgången till bandspelaren kan nivån justeras så att tändning sker när bandspelaren ligger på gränsen till överstyrning.

En annan lampa, betecknad öka, tänds vid en 10 dB lägre nivå.

Genom en dämpsats på enhetens ingångssida kan insignalen dämpas eller förstärkas 10 dB relativt normalläget. Vid mätning av sändarrumsnivåerna är dessutom en frekvensoberoende dämpning om 60 dB inkopplad.

Vid mätning av mottagarrumsnivåer är en fast frekvensberoende dämpning inkopplad. Dämpningen är ca 25 dB vid 100 Hz och sjunker med ca 6 dB/oktav, se TAB 7. På detta sätt minskas skillnaden mellan högsta och lägsta registrerade mottagarrumsnivåer högst avsevärt; för de

TABELL 7

Indikatorenhet

Dämpning hos dämpsats för sändarrum minus dämpningen
hos dämpsats för mottagarrum.

f Hz	Dämpning dB
100	35,5
125	37,0
160	39,5
200	41,0
250	44,0
315	46,0
400	47,5
500	49,5
630	51,0
800	52,5
1000	55,0
1250	56,0
1600	58,0
2000	59,5
2500	61,0
3150	62,5

17 mottagarrummen från 50 dB till 22 dB.

Totaldämpningen hos dämpsatsen för mottagarrummet har valts så att ungefär samma tersbandsnivåer skall erhållas på utgången av indikatornheten både vid mätning i sändar- och mottagarrum förutsatt att isoleringsindex är 53.

Förväntas isoleringen vara väsentligt lägre än $I_a = 53$ bör dämpningen i indikatornhetens ingång om möjligt ökas, så att inte mottagarrumsnivåerna överstyr bandspelaren.

1.4 Integreringsenhet

En speciell enhet har utvecklats för integrering av signalerna. Denna enhet har beskrivits i en tidigare rapport (Ingemansson, 1963). Försök har gjorts att förbättra denna; således har den ursprungligen använda medelvärdeslikriktaren utbytt mot en effektivvärdeslikriktare. Denna var dock inte helt tillfredsställande på grund av begränsad dynamik.

Under senare år har emellertid integratorenheter utvecklats i andra sammanhang. Vid laboratoriemätningarna användes en parallellanalysator, dvs ett instrument som filtrerar och integrerar alla tersbanden samtidigt. Detta instrument är synnerligen lämpligt för dessa mätningar, utvärderingen sker på några minuter.

Parallellanalysatorer är emellertid mycket dyrbara. Prov har därför gjorts med ett enklare instrument: en bullerdosimeter. Sedan Benjegård (1969) ursprungligen redovisade konstruktionen hos detta instrument har omfattande förbättringar skett, så att instrumentet nu är sant effektivvärdeslikriktande (Benjegård, 1971).

TABELL 8

Objekt 1. Konstruktionen framgår ur figur 18.

Skottmetoden			Traditionell metod	
f	R'	T	R'	T
Hz	dB	s	dB	s
100	38,0	0,65	33,1	0,70
125	42,0	0,55	41,7	0,75
160	38,7	0,60	40,8	0,80
200	39,5	0,65	37,8	0,75
250	41,4	0,70	42,7	0,85
315	46,6	0,90	45,6	1,0
400	51,3	0,95	51,0	1,0
500	55,2	1,0	53,0	1,1
630	55,7	1,0	55,7	1,1
800	58,8	1,0	58,3	1,1
1000	62,7	0,95	62,3	1,0
1250	65,9	0,90	66,6	0,90
1600	71,3	0,80	71,2	0,85
2000	72,9	0,75	73,7	0,80
2500	72,7	0,75	73,8	0,75
3150	75,1	0,70	75,5	0,80

$I_a = 56$ $I_a = 55$

TABELL 9

Objekt 2. Konstruktionen framgår ur figur 19.

Skottmetoden			Traditionell metod	
f	R'	T	R'	T
Hz	dB	s	dB	s
100	38,8	0,65	45,5	0,65
125	48,4	0,55	55,0	0,70
160	48,2	0,50	41,2	0,70
200	46,3	0,70	47,0	0,60
250	51,5	0,70	51,0	0,90
315	52,5	0,70	50,3	0,90
400	53,4	0,80	55,4	0,85
500	56,7	0,75	55,2	0,85
630	56,7	0,65	57,0	0,80
800	57,7	0,80	57,3	0,90
1000	55,7	0,80	56,7	0,90
1250	55,5	0,75	53,3	0,85
1600	57,3	0,70	57,3	0,90
2000	57,9	0,70	61,5	0,90
2500	64,0	0,60	67,5	0,90
3150	68,8	0,55	70,7	0,85

$I_a = 58$ $I_a = 57$

Det är denna modifierade version som tillsammans med en konventionell våganalysator har använts vid utvärderingen av fältmätningarna.

2 FÄLTMÄTNINGAR

Tidigare i denna rapport har visats att skottmetoden är ett realistiskt alternativ till den traditionella mätmetoden. Syftet med de fältmätningar som företagits har därför enbart varit att kontrollera funktionen hos använd apparatur; inte att kontrollera metoden i sig eller att erhålla ett statistiskt underlag för bedömning av de differenser som uppträder mellan de båda metoderna. Denna senare uppgift är naturligtvis också viktig, men har inte bedömts ligga inom ramen för föreliggande arbete.

Fältmätningar enligt de båda metoderna har utförts på fyra objekt. Konstruktionen och uppmätta reduktions-tal framgår ur FIG 18-21 och TAB 8-11. Vid mätning enligt traditionell metod mättes efterklangstiden med tersbrus, vid skottmätningar med skott. Efterklangstiderna blir därigenom något olika, se TAB 8-11. Vid utvärderingen enligt skottmetoden har korrektion gjorts för den person som befinner sig i mottagarrummet (normförslag SEN 59 01 22).

Ur TAB 8-11 framgår också beräknad isoleringsindex för luftljud, I_a . I två fall erhöles samma värde enligt båda metoderna; i två fall erhöles en enhet högre värde enligt skottmetoden. I dessa båda fall var det den s k 8-decibelsregeln (se SBN 67) som fällde utslaget vid den traditionella mätningen. Samma I_a -värden skulle erhållits i samtliga fall om endast summaavvikelsen varit avgörande.

3 DISKUSSION AV METODENS ANVÄNDBARHET

Skottmetoden skiljer sig från den traditionella metoden främst av följande skäl:

- a) Ljudkällan är av impulstyp
- b) Ljudkällan ger bredbandig excitering

TABELL 10

Objekt 3. Konstruktionen framgår ur figur 20.

f Hz	Skottmetoden		Traditionell metod	
	R' dB	T s	R' dB	T s
100	32,0	0,50	37,9	0,85
125	42,5	0,45	40,5	0,70
160	42,1	0,60	37,6	0,75
200	39,2	0,65	37,1	0,75
250	41,2	0,75	44,2	0,85
315	45,7	0,95	46,3	0,95
400	49,2	1,0	50,7	1,0
500	52,3	1,0	53,8	1,0
630	56,2	1,1	57,6	1,1
800	57,1	1,0	58,5	1,0
1000	59,0	0,95	58,9	1,0
1250	61,6	0,95	61,9	0,95
1600	65,7	0,80	65,6	0,90
2000	70,1	0,80	73,4	0,85
2500	72,2	0,70	74,9	0,85
3100	74,5	0,75	76,9	0,80

$I_a = 55$ $I_a = 55$

TABELL 11

Objekt 4. Konstruktionen framgår ur figur 21.

f Hz	Skottmetoden		Traditionell metod	
	R' dB	T s	R' dB	T s
100	38,4	0,45	42,3	0,60
125	45,1	0,55	52,0	0,65
160	46,3	0,45	42,8	0,70
200	46,1	0,65	42,4	0,60
250	46,3	0,65	52,5	0,55
315	49,8	0,65	49,1	0,75
400	54,3	0,75	54,3	0,75
500	59,2	0,75	58,1	0,80
630	60,9	0,65	62,8	0,70
800	62,3	0,75	61,4	0,85
1000	65,1	0,75	63,6	0,90
1250	65,7	0,75	65,0	0,85
1600	67,4	0,70	67,4	0,85
2000	70,3	0,70	70,6	0,90
2500	72,7	0,65	73,1	0,90
3150	73,2	0,60	73,5	0,85

$I_a = 60$ $I_a = 60$

- c) Ljudkällans egenskaper inte exakt reproducerbara
- d) Ljudkällan placerad mitt i sändarrummet

Detta medför otvetydigt att skottmetoden inte står i samklang med de normer och rekommendationer som nu gäller för ljudisoleringsmätning. Metoden är därför inget alternativ till den traditionella metoden när det gäller att exempelvis fastställa om en konstruktion möter myndigheternas krav.

Syftet bakom metoden har emellertid inte varit detta, utan i stället att få fram en metod som avsevärt snabbare och enklare än den konventionella metoden ger ett acceptabelt resultat som kan användas för att fastställa eventuella felaktigheter i arbetsutförande o dyl.

Man kan t ex tänka sig, att byggnadsinspektörer alltid medför fältutrustningen. Då de befarar brister i ljudisoleringen kan de omedelbart och snabbt göra skottregistreringar. Om utvärderingen vid hemkomsten bekräftar misstanken om brister, kan noggrann kontroll med konventionell metod beordras.

Är då skottmetoden snabbare och enklare än den traditionella metoden? Svaret på den frågan framgår enligt vår mening ganska klart ut FIG 22 och 23. Här framgår den utrustning som måste medtagas i fält vid mätning enl resp metod. Vikten på utrustningen rör sig vid skottmätningarna om ca 15 kg, vid traditionella mätningar ca 120 kg. Tidsvinsten vid mätningarna är också avsevärd; sker dessutom utvärderingen av skottmätningarna med hjälp av en parallellanalysator går även denna snabbare vid skottmetoden.

Någon ingående statistisk studie av de skillnader i uppmätt isolering som uppträder mellan de båda metoderna har inte företagits; ett sådant arbete är synnerligen arbetskrävande och med tanke på kostnaderna inte rimligt att utföra i dagens läge. En viss indikation kan emellertid erhållas ur de utförda mätningarna.

Av de 4 faktorerna uppräknade ovan torde ljudkällans begränsade reproducerbarhet vara viktigast. Standardavvikelsen är här genomsnittligt ca 1.5 dB, se FIG 3. Vid 5 skott i sändar- resp mottagartrum fås då en standardavvikelse för ljudnivåskillnaden σ_{S-M}^S om

$$\sigma_{S-M}^S = \sqrt{\frac{1,5^2}{5} + \frac{1,5^2}{5}} \approx 0,95 \text{ dB}$$

Denna standardavvikelse gäller genomsnittligt för varje tersband. Vore nu avvikelserna i två tersband okorrelerade till varandra, skulle en onoggrannhet av denna typ vara av mindre betydelse för den totala ljudisoleringen i form av isoleringsindex eller medelreduktionstal. De utförda reproducerbarhetsmätningarna visar emellertid att detta inte alltid är fallet; vid högre nivå än genomsnittligt inom etttersband är i allmänhet nivåerna i angränsande band också högre än genomsnittligt och vice versa. Detta medför att standardavvikelsen i isoleringsindex på grund av ljudkällans bristande reproducerbarhet måste skattas till närmare 1 dB.

Jämfört härmed torde övriga felkällor vara små så länge ett ljudisoleringsmått av typen isoleringsindex betraktas. Vi kan därför skatta noggrannheten till drygt ± 2 dB relativt "rätt värde" för 95 % konfidens. För den traditionella metoden har noggrannheten skattats till ± 1 dB (enligt uppgift från Statens planverk), varför skillnaden i total isolering mellan de båda metoderna med 95 % konfidens bör ligga inom ± 3 dB.

I vissa fall bestäms I_a -värdet av isoleringen i ett tersband genom den sk 8-decibelsregeln. I sådana fall blir naturligtvis osäkerheten betydligt större.

Härtill kommer också den breddning av eventuella dalar i isoleringskurvan som kan uppstå på grund av överhörning mellan intilliggande frekvensband vid skottmetoden.

LITTERATUR

Abramovitz, M & Stegun, I, 1965, Handbook of mathematical functions. (Dover) New York.

Bendat, J, S & Pierson, A, G, 1966, Measurement and analysis of random data. (John Wiley & Sons). New York, London, Sydney.

Benjegård, S-O, 1969, Bullerdosimetern. (Statens institut för byggnadsforskning). Rapport 51/69.

Benjegård, S-O, 1971, Digital mätutrustning för byggnadsakustiska mätningar. (Ingemanssons Ingenjörbyrå AB). Rapport H-2931-A.

Burd, A, N, 1968, The measurement of sound insulation in the presence of flanking paths. J. Sound Vib. 7 (1968) p 13-26.

Hilz, E, 1968, Ein vereinfachtes Messverfahren für bauakustische Messungen. Acustica 19 (1967/68) p 178-181.

Ingemansson, S, 1963, Ljudisoleringsmätning med skott. (Ingemanssons Ingenjörbyrå AB). Rapport H-891-A.

ISO R 140, Field and laboratory measurements of airborne and impact sound transmission, 1960.

Kihlman, T, 1964, Mätfel vid mätning av isolering mot luftljud. (Statens råd för byggnadsforskning). Arbetsrapport nr 3:1964.

Kihlman, T, 1970, Användning av parallellanalysator med dator on-line. Ingår i Ljudklimat (Statens institut för byggnadsforskning). Rapport R36:1970, s 179-182.

Ljunggren, S, 1971, Beräkning av ljudisolering i en byggnad. (Statens institut för byggnadsforskning). Rapport R 25:1971.

Raës, A, 1963, Static and dynamic transmission loss of partitions. J. ac. Soc. Am. 35 (1963) p 1178-1182.

SEN 59 01 22, Bestämning av ljudisolering i byggnader. Fältmätning. 1 maj 1970, normförslag.

SIS 02 52 51, Bestämning av ljudisolering. 1963 01 15.

FIGURER

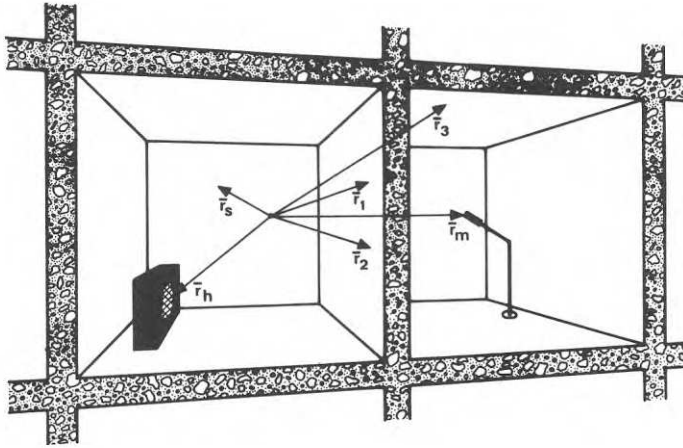


FIG. 1

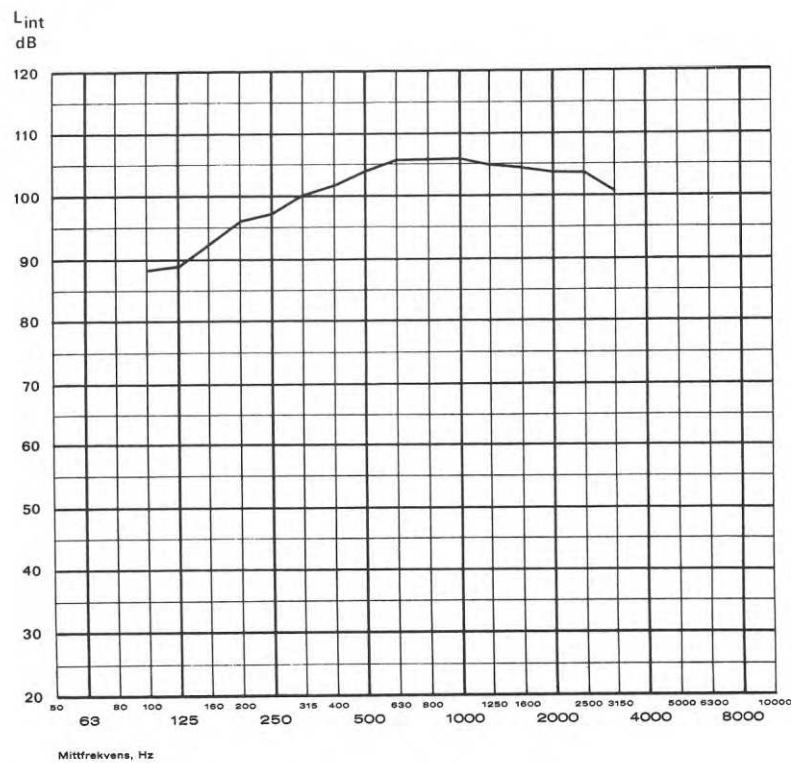


FIG. 2

FIG. 1. Definition av Ortsvektorer.
Definition of space vectors.

FIG. 2. Medelvärde av L_{int} , refererat till 10 m^2 absorption.
20 skott, integrationstid 8 sekunder.
Mean of L_{int} , related to 10 m^2 absorption. 20 shots.
Integration time, 8 seconds.

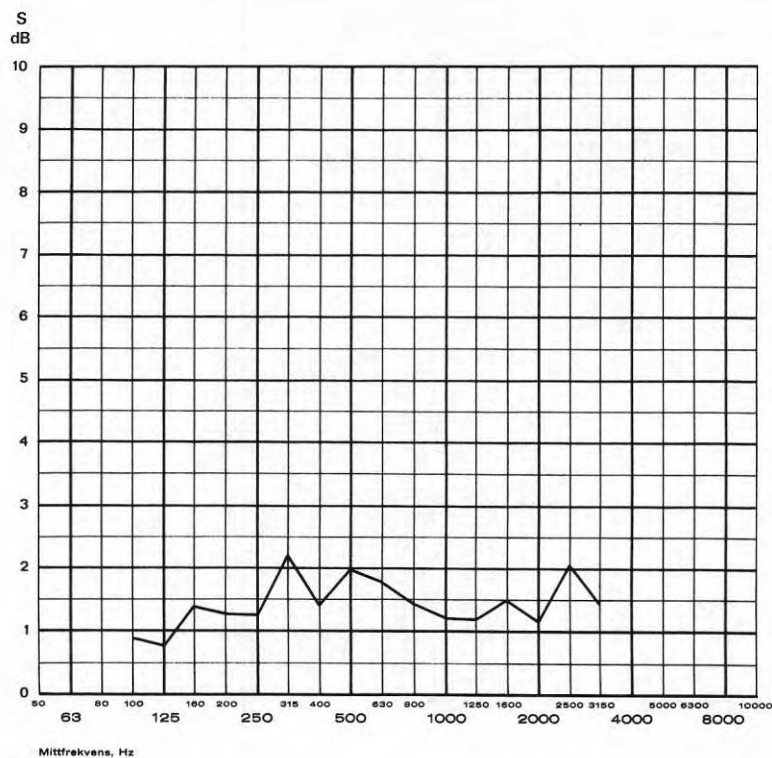


FIG. 3

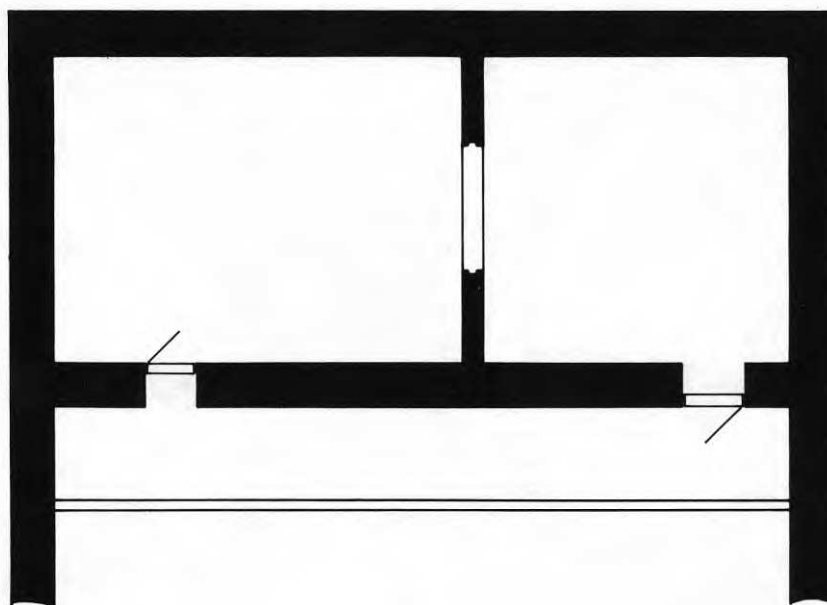


FIG. 4

FIG. 3. Uppmätt standardavvikelse i L_{int} . 20 skott, integrations-tid 8 sekunder.

Standard deviation recorded in terms of L_{int} . 20 shots.
Integration time, 8 seconds.

FIG. 4. Plan över laboratorium med mätrum och passage.

Plan of laboratory showing measurement chamber and
corridor.

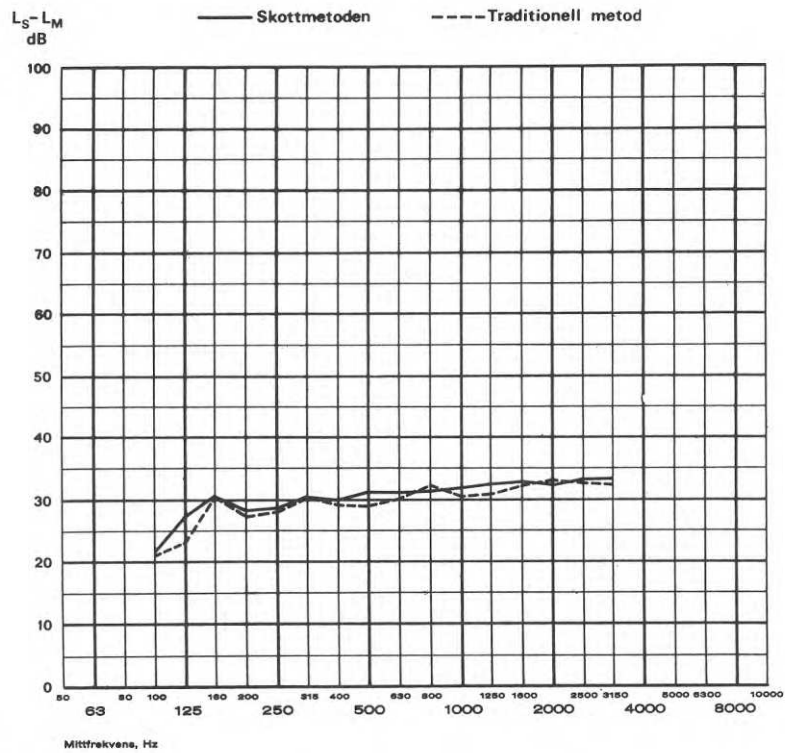


FIG. 5

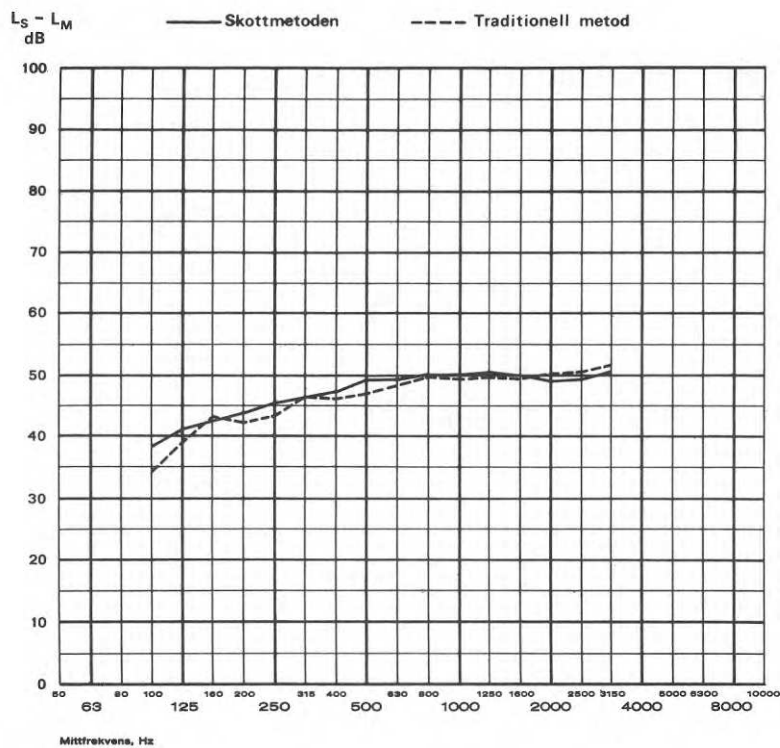


FIG. 6

FIG. 5. Uppmätt reduktionstal med båda dörrarna till passagen öppna.

Reduction index with both doors to the corridor open.

FIG. 6. Uppmätt reduktionstal med dörr mellan sändarrum och passage stängd och dörr mellan mottagarrum och passage öppen.

Reduction index with the door between the transmission room and the corridor closed and the door between the receiving room and the corridor open.

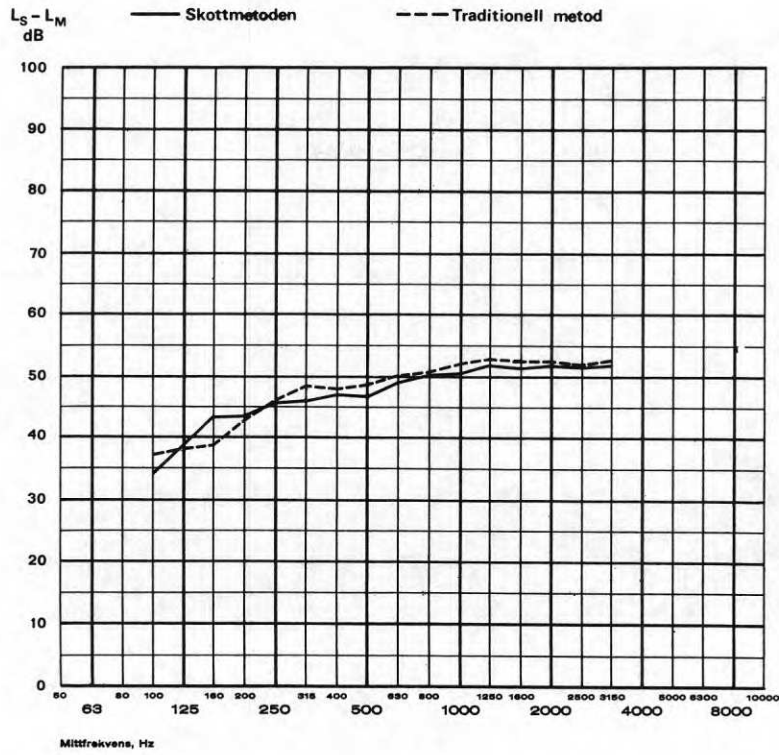


FIG. 7

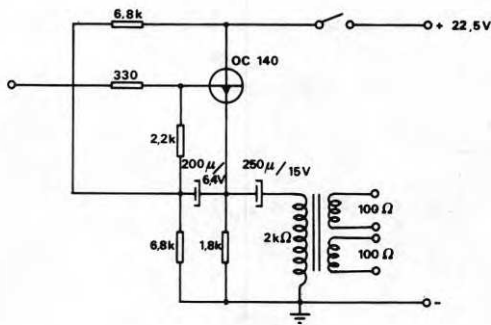


FIG. 8

FIG. 7. Uppmätt reduktionstal med båda dörrarna till passagen stängda.

Reduction index with both doors to the corridor closed.

FIG. 8. Schema över impedansomvandlare.

Chart showing impedance transformer.

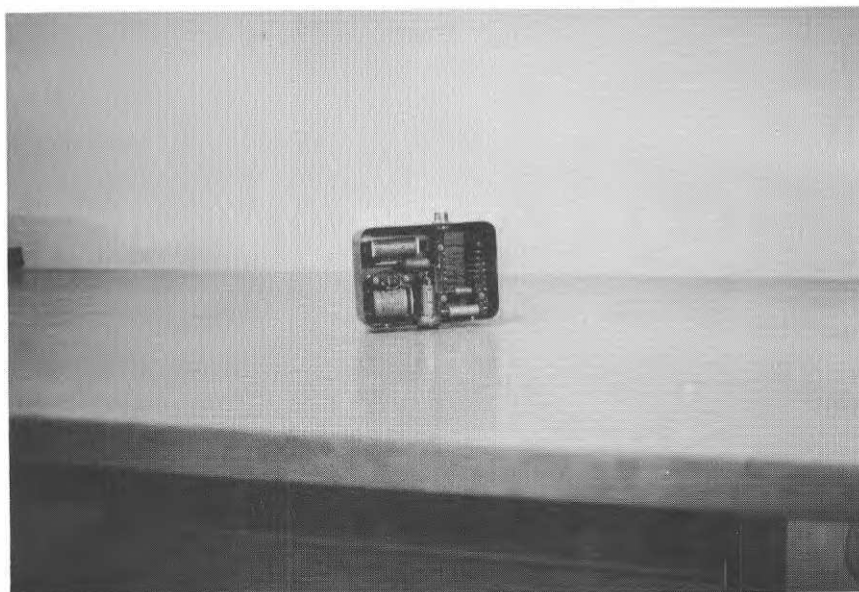


FIG. 9

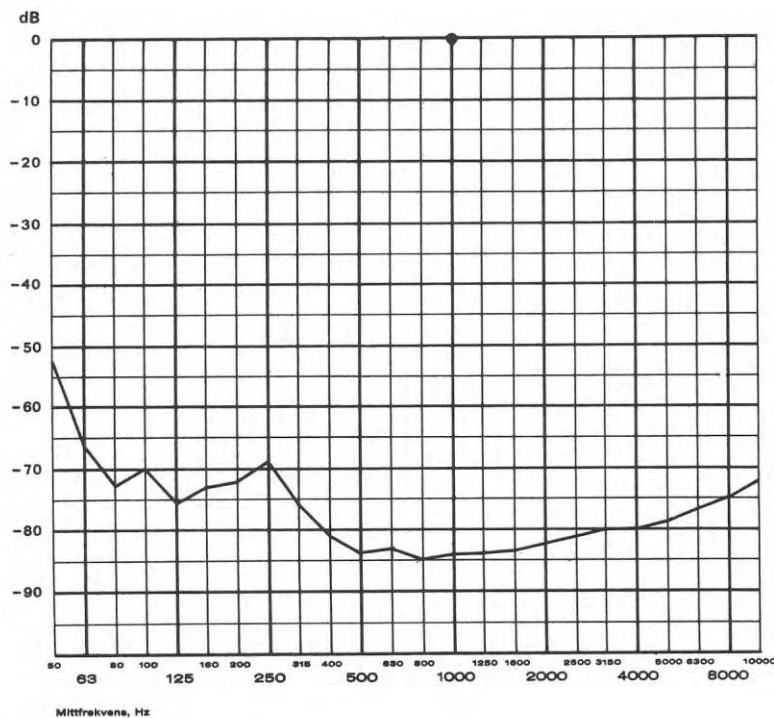


FIG. 10

FIG. 9. Impedansomvandlarens mekaniska uppbyggnad.

Mechanical details of the impedance transformer.

FIG. 10. Uppmätt dynamik hos använd bandspelare (Kudelski typ Nagra IV BL). Referens: sinussignal, 1 kHz, utstyrd till 0 dB på bandspelarens visarinstrument. Tredjetonsdistorsionen var härvid 0,3 %. Tonband: Scotch 202.

Signal-to-noise ratio of the tape recorder used (Kudelski Model Nagra IV BL). Reference: sine voltage, 1 kHz modulated to 0 dB on the tape recorder VU-meter.

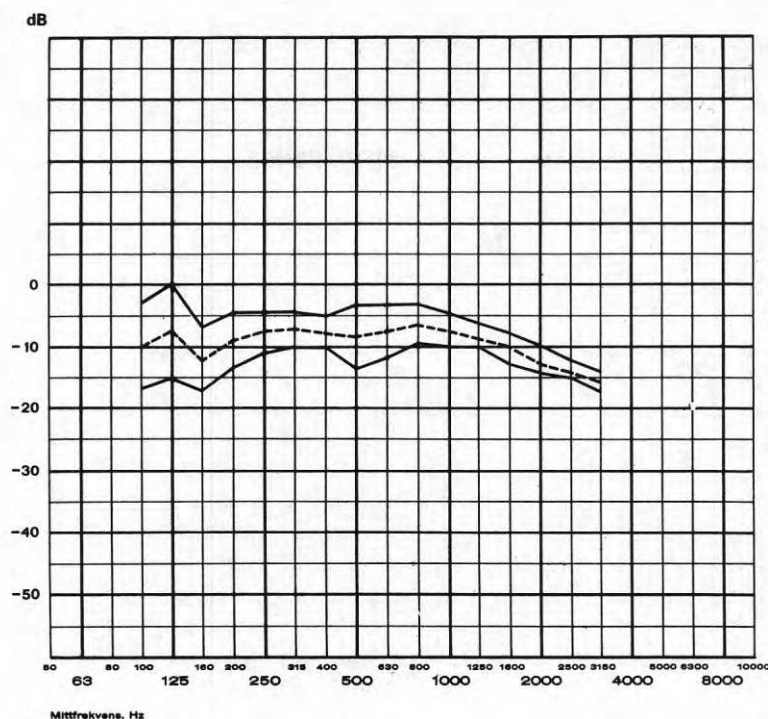


FIG. 11

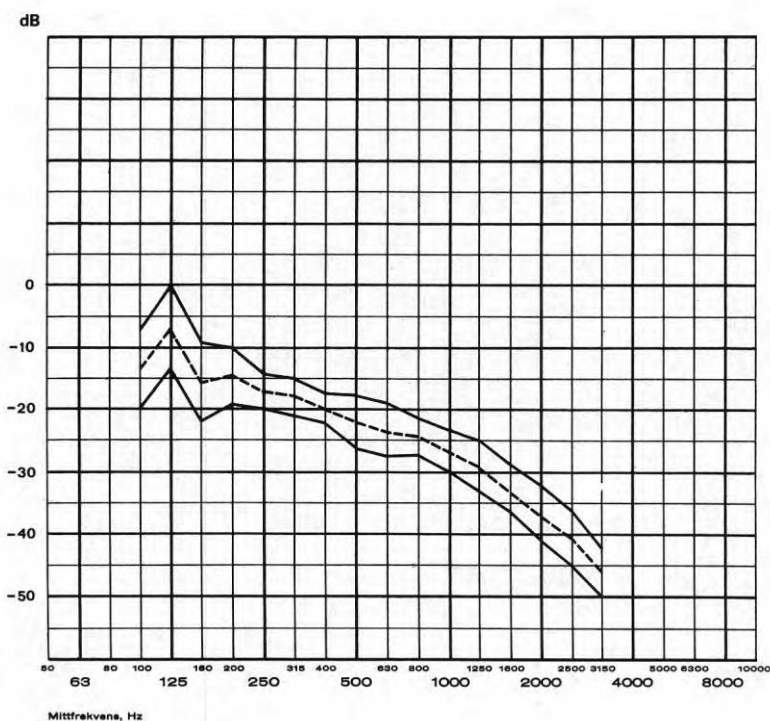


FIG. 12

FIG. 11. Variationer i L_{int} i 17 slumpvis valda boningsrum (sändar- rum).

Variations in L_{int} in 17 rooms (source rooms) chosen at random from residential premises.

FIG. 12. Variationer i L_{int} i 17 slumpvis valda boningsrum (mot- tagarrum).

Variations in L_{int} in 17 rooms (receiving rooms) chosen at random from residential premises.

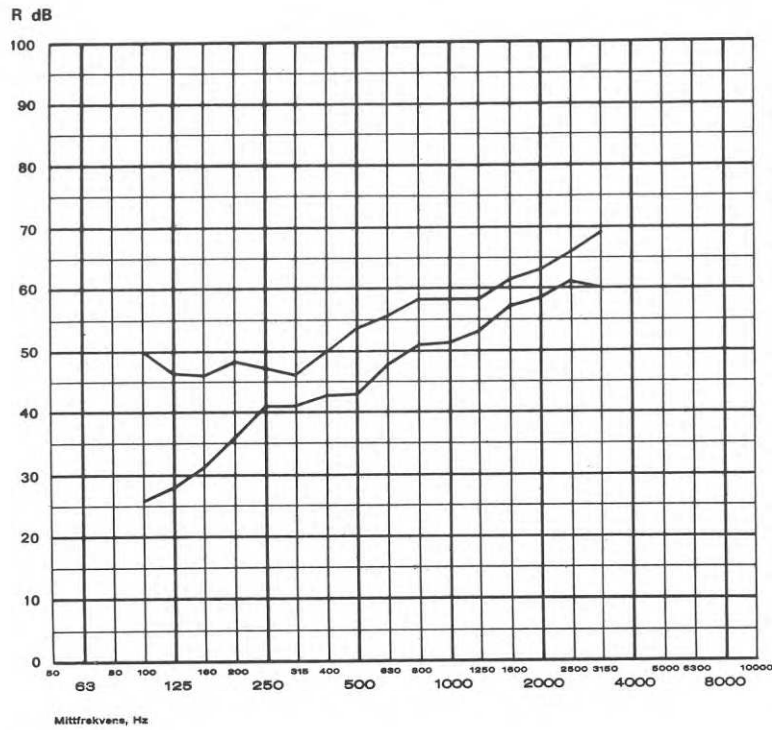


FIG. 13

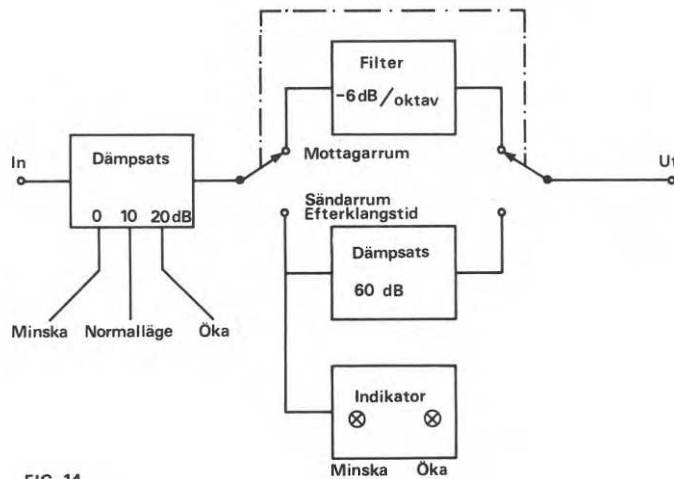


FIG. 14

FIG. 13. Maximal spridning i uppmätt fältreduktionstal för samma objekt som FIG. 12.

Maximum variation in reduction indices recorded for the same units as in FIG. 12.

FIG. 14. Blockschema för indikatornhet.

Block diagram of indicator.

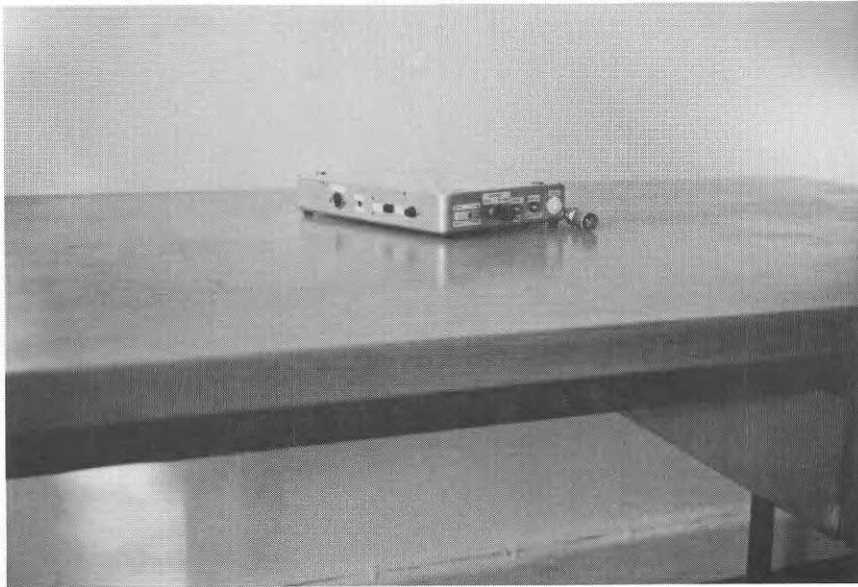


FIG. 16

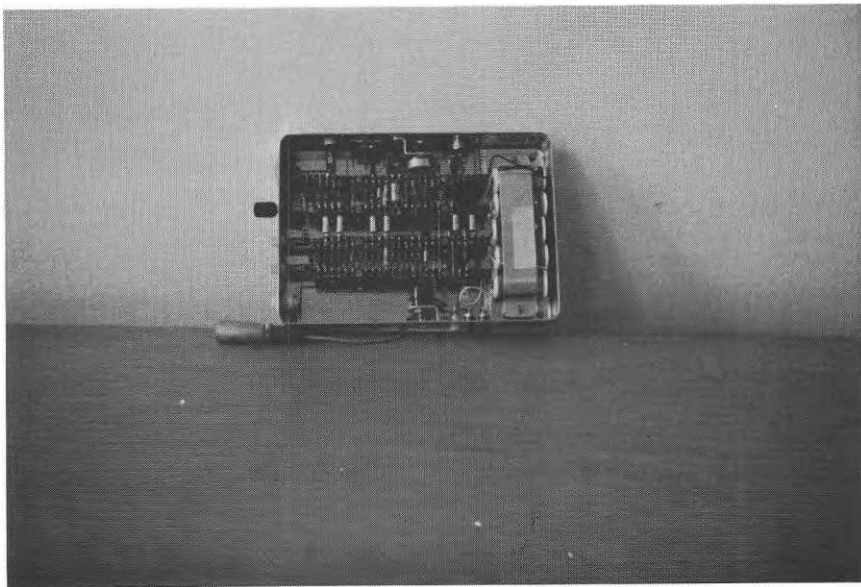


FIG. 17

FIG. 16. Indikatorenhet.
Indicator.

FIG. 17. Mekaniska uppbyggnaden av indikatorenheten.
Interior parts of the indicator.

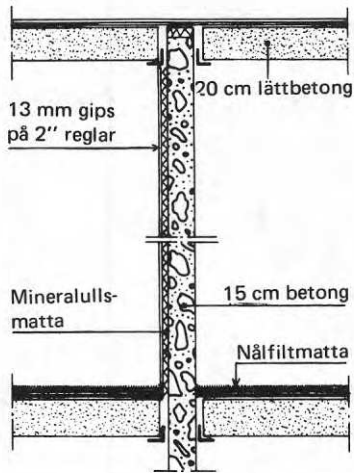


FIG. 18

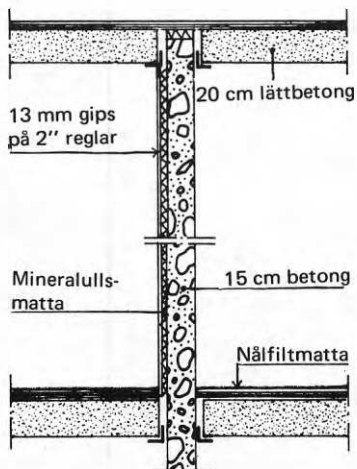
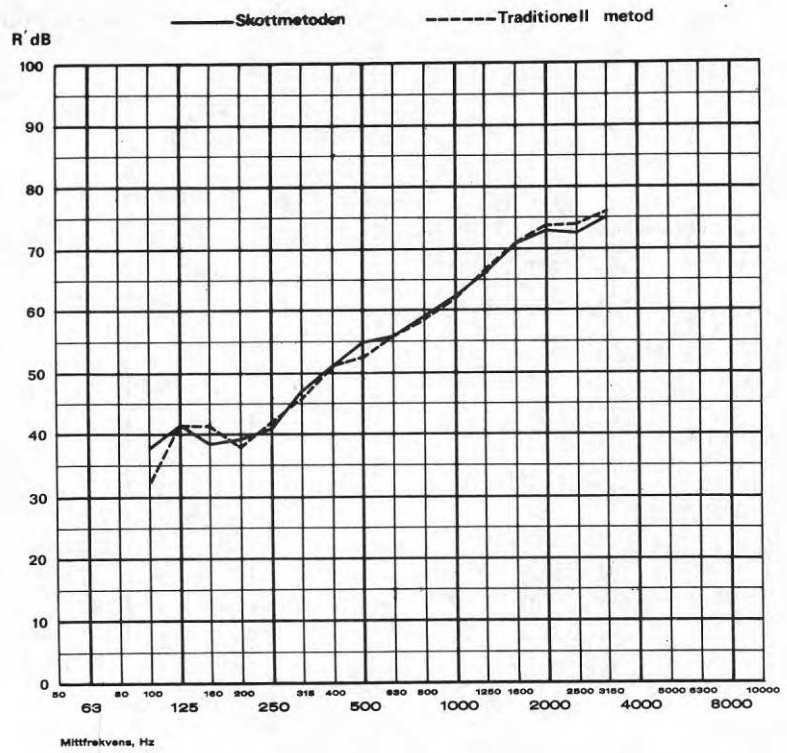


FIG. 19

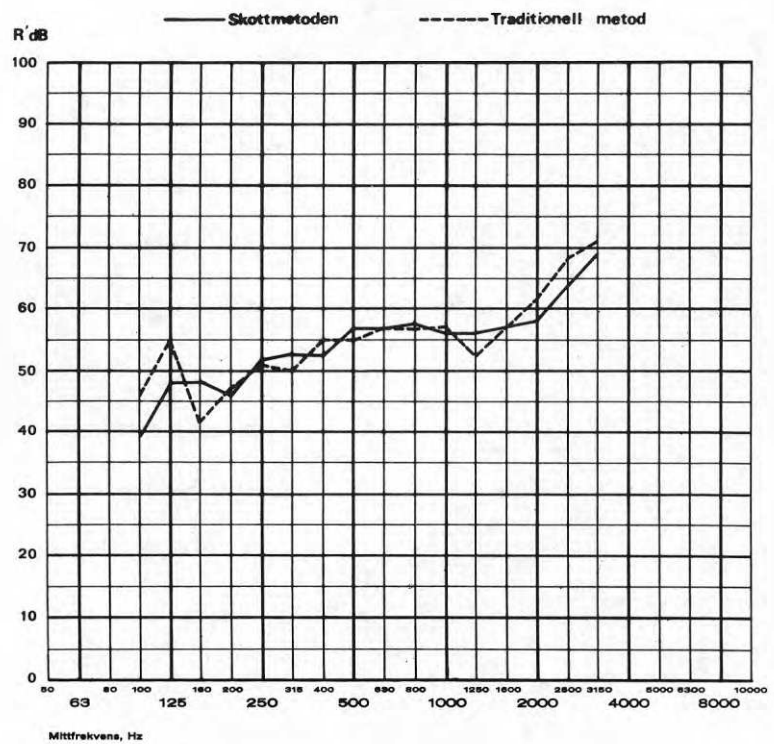


FIG. 18. Uppmätt fältreduktionstal mellan två radhus.

. Reduction index recorded between two town houses.

FIG. 19. Uppmätt fältreduktionstal mellan två radhus.

Reduction index recorded between two town houses.

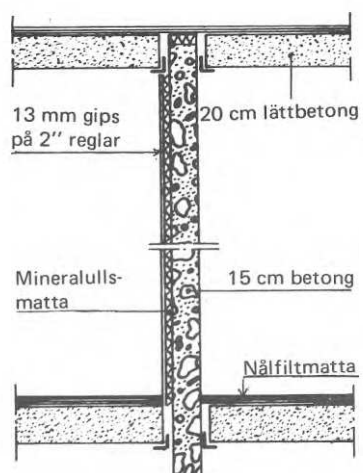


FIG. 20

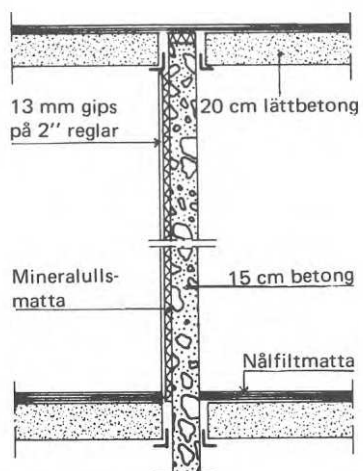
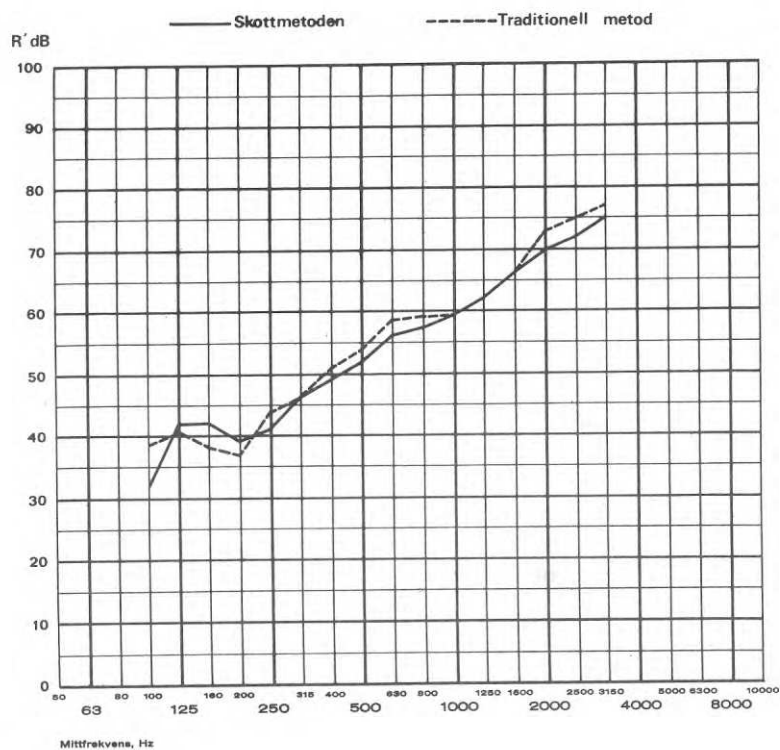


FIG. 21

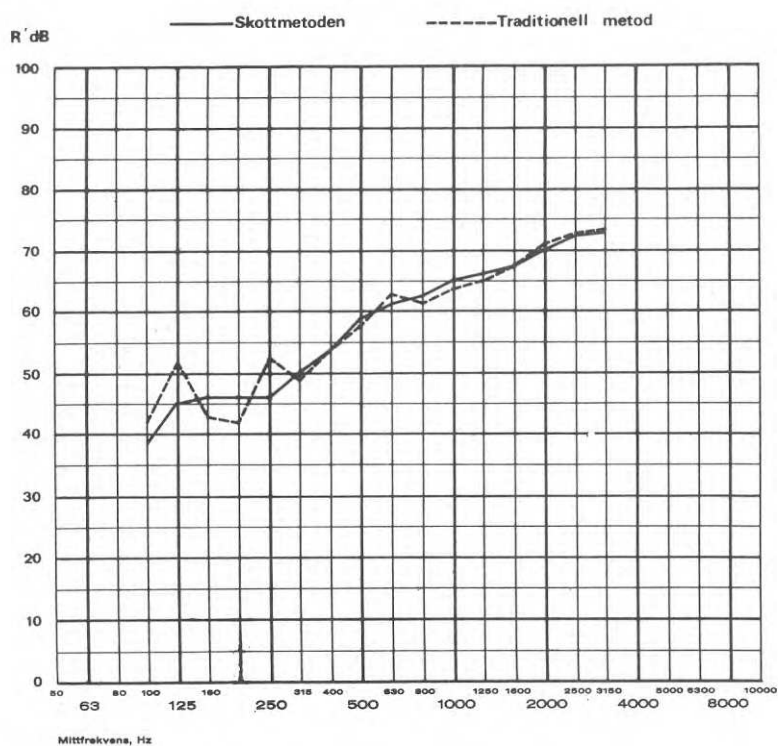


FIG. 20. Uppmätt fältreduktionstal mellan två radhus.

Reduction index recorded between two town houses.

FIG. 21. Uppmätt fältreduktionstal mellan två radhus.

Reduction index recorded between two town houses.



FIG. 22



FIG. 23

FIG. 22. Fältutrustning vid skottmätningar.

Equipment for measurement by means of the pistol shot method.

FIG. 23. Fältutrustning vid traditionella mätningar.

Equipment for measurement by means of the conventional method.

R49: 1972

Denna rapport avser anslag C 102:2 från Statens råd för byggnadsforskning till Ingemanssons Ingenjörbyrå AB, Göteborg.

Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.

Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm

Grupp: konstruktion

Pris: 15 kronor

TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FÖR VÄG- OCH VÄTEN
BIBLIOTEKET