



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**

**R61:1973**

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND  
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET

**Taluppfattbarhet i  
hørsalar**

**Tor Kihlman & Lars Nordlund**

**Byggforskningen**

# Taluppfattbarhet i hörsalar

Tor Kihlman & Lars Nordlund

*Det har förekommit olika sätt att med fysikaliska mått ange en lokals egenskaper från akustisk synpunkt. En metod för att erhålla ett objektivt, reproducerbart mått på taluppfattbarheten har utarbetats och redovisas i rapport. Metoden har vid praktiska försök visat sig ge möjligheter att särskilja effekterna av små förändringar i en lokals rumsakustiska egenskaper, och den kan användas för en jämförelse mellan olika lokaler.*

*Inverkan på taluppfattbarheten av efterklangstid, bakgrundsbuller och takhöjd över podiet har bl.a studerats.*

I rapporten diskuteras lokaler som huvudsakligen används för talkommunikation. Kunskaperna om vilka faktorer som påverkar lyssnarkomforten i en hörsal är för närvarande otillräckliga. Även om väsentliga akustiska synpunkter beaktats vid projekteringen, kan det föreligga så stora kvalitetsmässiga skillnader att en lokal subjektivt kan upplevas vara en annan lokal klart överlägsen.

En hörsals huvuduppgift är att utgöra en effektiv överföringskanal för talad information. Förmågan att uppfatta tal bör således utgöra ett fundamentalt mått på lokalens funktionsduglighet.

Den metod som redovisas i rapporten har tidigare beskrivits i en artikel i "The Journal of the Acoustical Society of America" (vol. 44) samt i "Byggforskning 68" från Statens råd för byggnadsforskning.

I lokalens överföringskedja har talare och lyssnare ersatts med elektroakustisk utrustning. Stor vikt har lagts vid att ge talaren en normal nivå samt vid att hålla korrekt nivå vid avlyssningen via hörtelefoner. Ordmaterialen, som utgörs av nonsensord, spelas upp via en artificiell talare och spelas sedan in stereofoniskt via ett lyssnarhuvud. De inspelade listorna avlyssnas sedan av försökspersoner vilka vid samtliga lyssningsprov kan sitta i en och samma miljö och avlyssna listor inspelade i olika lokaler.

Metoden har vid praktiska försök visat sig vara mycket användbar och ger möjlighet att särskilja effekterna av ganska små förändringar i lokalens rumsakustiska egenskaper. Inom anslaget har också tillverkats apparatur för bestämning av två fysikaliska mått vars korre-

lation med taluppfattbarhetsmättet undersökts. De två storheterna är integrationskvot (ty. Deutlichkeit) enligt Meyer<sup>1</sup> samt modulationsdämpning enligt ett eget förslag.

Båda dessa mått uppvisar en viss samvariation med taluppfattbarheten. I de prov vi gjort ger modulationsdämpningen en högre korrelationskoefficient med taluppfattbarheten än vad integrationskvoten gör. Skillnaden är emellertid ej signifikant. Däremot ger modulationsdämpningen en korrelationskoefficient som signifikant (95 %) avviker från 0, vilket ej gäller för integrationskvoten. Korrelationen mellan de båda fysikaliska måtten är mycket låg, vilket visar att mätresultaten påverkas av olika egenskaper hos rummet.

Metoden för taluppfattbarhetstest har tillämpats vid två större försöksserier samt i mindre serier av pilotkaraktär. Dessa senare har i flera fall utförts som seminarieuppgifter. Bl.a. har följande resultat och erfarenheter erhållits.

Efterklangstiden varierades i en lokal som enligt i dag gängse kriterier skulle ha en optimal efterklangstid på cirka 0,75 s. Maximal taluppfattbarhet erhöles emellertid ej vid denna efterklangstid. Väsentligt högre uppfattbarhet erhöles vid en efterklangstid på 0,35 s. Möjligt kan ett ännu gynnsammare resultat erhållas vid en efterklangstid mellan dessa båda värden eller vid ännu kortare efterklangstid. En så lång efterklangstid som 1,2 s ger en mycket markant sänkning av uppfattbarheten. En väsentlig förlängning av efterklangstiden enbart vid låga frekvenser synes ej inverka negativt på taluppfattbarheten. (Om elektroakustiska hjälpmedel används är det



Artificiellt lyssnarhuvud

## Byggforskningen Sammanfattningar

R61:1973

Nyckelord:

akustik, hörsalar, projekteringsunderlag, mätmetoder

Rapport R61:1973 hänför sig till anslag C 266 från Statens råd för byggnadsforskning till Svensk Akustikplanering AB, Göteborg.

UDK 534.84  
SfB A  
ISBN 91-540-2189-8

Sammanfattning av:

Kihlman, T & Nordlund, L, 1973, *Taluppfattbarhet i hörsalar*. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R61:1973, 73 s., ill. 18 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: byggnadsprojektering

<sup>1</sup>) Meyer, E, 1954, Definition and Diffusion in Rooms. JASA, vol. 26, nr 5, s. 630.

emellertid olämpligt med en dylik förlängning av efterklangstiden i lågfrekvensområdet.)

Bakgrundsbullret har en mycket markant inverkan. Även en så ringa bakgrundsnivå som 30 dB(A) ger signifikant lägre taluppfattbarhet än ett bakgrundsbuller om cirka 20 dB(A). Det lönar sig att även i lokaler av måttlig storlek pressa ner bakgrundsnivån så långt som det är praktiskt möjligt med tanke på det buller som publiken alstrar. Våra erfarenheter av forskningsarbetet är att det i hörsalar är mycket väsentligt med en låg bakgrundsnivå därför att det

ger en omedelbar höjning av taluppfattbarheten.

Vad gäller lokalernas geometriska form kommer de akustiska kraven i konflikt med önskemål om en projektiionsyta för film- eller diavidsvisning på främre väggen. Det är därför väsentligt att inte låta önskemål om projektiionsytan ensamt bli bestämmande för takhöjden. En låg takhöjd i främre delen av lokalen gör den mer lättarbetad för en talare. Samtidigt kan, vid en lämplig avvägning mellan "stödrelexer" åt talaren och reflexer ut mot publiken, den låga takhöjden bidra till en signifikant högre

uppfattbarhet för delar av hörsalen. Den fördelaktigaste formen på takreflektorn torde vara en plan yta i lämplig vinkel förr än en kontinuerlig välvd yta.

Under ogynnsamma förhållanden har en kraftig nedsättning av taluppfattbarheten visat sig drabba personer med även mycket begränsade hörselskador, medan normalhörande fortfarande nått en mycket hög taluppfattbarhet. Det är därför väsentligt att alltid skapa gynnsamma förutsättningar för god taluppfattbarhet i lokaler för undervisning, föredrag och liknande.

# The intelligibility of speech in auditoriums

Tor Kihlman & Lars Nordlund

*A number of methods have been used to specify the acoustic characteristics of an auditorium in terms of physical units. A method whereby the intelligibility of speech can be defined in terms of an objective and reproducible unit has been worked out and is presented in report R61:1973. It has been found in practical tests that the effects of small changes in the acoustic characteristics of an auditorium can be distinguished by means of this method, and that it can be used for comparisons between different auditoriums.*

*The influence on the intelligibility of speech of the reverberation time, background noise and ceiling height above the stage has been studied.*

This report discusses premises which are mainly used for speech communication. There is at present insufficient knowledge of the factors which influence listener comfort in an auditorium. Even if the essential acoustic aspects have been taken into consideration during design, there may be such large qualitative differences that one auditorium may be subjectively perceived as being clearly superior to another auditorium.

The principal task of an auditorium is to serve as an effective transmission channel for spoken information. The intelligibility of speech should therefore be a fundamental measure of the serviceability of the premises.

The method which is discussed in this report has been previously described in an article in the *Journal of the Acoustical Society of America* and in "Byggnadsforskning 68" published by the Swedish Council for Building Research.

In the transmission chain of the auditorium, the speaker and listener have been replaced by electroacoustic equipment. Great care has been taken to give the speaker a normal level and to maintain the correct level when the sound is listened to through earphones. The word material which consists of prerecorded nonsense words is transmitted by an artificial speaker and is then recorded binaurally by means of an artificial listener. The recorded lists are then listened to by test subjects who can sit in one and the same environment during all listening tests and listen to lists recorded in different premises.

The method has been found in practical tests to be very useful and to enable a distinction to be made between the effects of quite small changes in the acoustic characteristics of the premises.

Apparatus has also been designed for

the determination of two physical units whose correlation with the measure of the intelligibility of speech it was endeavoured to establish. The two quantities are definition according to Meyer<sup>1</sup> and modulation damping according to a proposal put forward by the authors.

Both these units exhibit some covariation with the intelligibility of speech. In tests which the authors carried out, modulation damping gives a higher correlation coefficient with speech intelligibility than does definition. The difference is not significant, however. On the other hand, modulation damping produces a correlation coefficient which is significantly (95 %) different from zero which is not the case for definition. Correlation between these two physical units is very low, which shows that the results are affected by different characteristics of the room.

The speech intelligibility test method has been applied in two large test series and in smaller series of a pilot character. The latter have in many cases been done as training college projects. The following are some of the results and experiences obtained.

The reverberation time was varied in an auditorium which, according to current criteria, should have an optimum reverberation time of about 0.75 s. Maximum speech intelligibility was however not achieved at this reverberation time, intelligibility being much higher at a reverberation time of 0.35 s. It is possible that even more favourable results can be obtained at reverberation times between these two values or at even shorter reverberation times. A reverberation time as long as 1.2 s very markedly reduces intelligibility. Considerable increase of the reverberation time only at low frequencies does not seem to have a negative effect on intelligibility. (If,



Artificial listener

## National Swedish Building Research Summaries

R61:1973

Key words:

acoustics, lecture halls, design base, methods of measurement

Report R61:1973 refers to Grant C 266 from the Swedish Council for Building Research to Svensk Akustikplanering AB, Göteborg.

UDC 534.84  
SfB A  
ISBN 91-540-2189-8

Summary of:

Kihlman, T & Nordlund, L, 1973, *Taluppfattbarhet i hörsalar*. The intelligibility of speech in auditoriums. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R61:1973, 73 p., ill. 18 Sw.Kr.

The report is in Swedish with Swedish and English summaries.

Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403, S-111 84 Stockholm  
Sweden

<sup>1</sup>) Meyer, E, 1954, Definition and Diffusion in Rooms. *JASA*, vol. 26, no. 5, p. 630.

however, electroacoustic aids are used then such an increase of the reverberation time in the low frequency range is unsuitable.)

Background noise has a very pronounced effect. Even a background level as low as 30 dB(A) produces a significantly lower speech intelligibility than one of about 20 dB(A). Reduction of the background noise to such a low level as is practicable in view of the noise caused by the public is therefore worth while even in premises of moderate size. Our experience in the course of this research project indicates that a low background level in auditoriums is very important

since it produces an immediate increase in speech intelligibility.

As regards the geometrical shape of the premises, the acoustic demands conflict with the requirement that the front wall should have a projection surface for films or slides. It is therefore very important not to let demands for projection surfaces only determine the ceiling height. A low ceiling height in the front part of the hall makes the task of the speaker much easier, and at the same time, by a suitable balance between reinforcing reflections for the speaker and reflections directed at the audience, the low ceiling height may make intelligibili-

ty of speech considerably higher in parts of the auditorium. The most advantageous form of ceiling reflector appears to be a flat surface at a suitable angle, rather than a continuously curved one.

It has been found that, under unfavourable conditions, a marked reduction in speech intelligibility is experienced by people who have only a very limited impairment of hearing, while to those of normal hearing intelligibility of speech is still very high. It is therefore important that favourable conditions with regard to intelligibility of speech should always be provided in premises for teaching, lectures and similar purposes.

R61:1973

TALUPPFATTBARHET I HÖRSALAR

THE INTELLIGIBILITY OF SPEECH IN AUDITORIUMS

av Tor Kihlman & Lars Nordlund

Rapport R61:1973 hänför sig till anslag C 266 från Statens råd för byggnadsforskning till Svensk Akustikplanering AB, Göteborg. Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.

Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm  
ISBN 91-540-2189-8

Rotobekman AB, Stockholm 1973



## Förord

Föreliggande rapport innehåller förutom redovisning av sista anslagsperiodens arbete även hänvisningar till och sammanfattning av arbetet under tidigare anslagsperioder.

Under första anslagsperioden leddes arbetet av Tor Kihlman och Bertil Nordlund. Den andra anslagsperioden ledde Tor Kihlman arbetet.

Sven Lindblad har under såväl första som andra anslagsperioden aktivt medverkat.

Under sista anslagsperioden har arbetet letts av Tor Kihlman. Bearbetningen av resultaten har genomförts av Lars Nordlund.

## INNEHÅLL

FÖRSÖKSMETODER . . . . .	5
Inledning . . . . .	5
Modell av ett informationsöverförande system . . . . .	5
Mätmetod för bestämning av taluppfattbarhet . . . . .	7
Fysikaliska mätmetoder . . . . .	13
GENOMFÖRDA FÖRSÖKSSERIER . . . . .	16
Taluppfattbarhetsförsök i en lokal vars akustiska egen- skaper varierats . . . . .	16
Försöksmetodik . . . . .	18
Försökens utförande . . . . .	20
Resultat . . . . .	21
Bearbetning och kommentarer . . . . .	21
Taluppfattbarhetsförsök i två stora hörsalar . . . . .	23
Försökens utförande . . . . .	23
Resultat och bearbetning . . . . .	26
Kommentarer . . . . .	29
Fysikaliska mätmetoderna . . . . .	30
DISKUSSION AV RESULTAT SAMT SYNPUNKTER PÅ LOKALUT- FORMNING . . . . .	33
APPENDIX: Kort sammanfattning av litteraturgenomgång . . . . .	39
REFERENSER . . . . .	42
TABELLBLAD 1 - 11	
FIGURBLAD 1 - 6	
KURVBLAD 1 - 13	

## Försöksmetoder

### Inledning

Hörsalars godhet blir ofta föremål för en subjektiv bedömning. En åhörare kan uppleva en hörsal som mer eller mindre tröttande. Denna skillnad kan föreligga mellan två hörsalar, som båda ger nära nog 100 %-ig uppfattbarhet vid test med satser. Trots att lokalerna ger samma taluppfattbarhet måste skillnaden bero på att den ena lokalen akustiskt är bättre än den andra och att det därför krävs en mindre ansträngning för att uppnå den höga taluppfattbarhet som krävs för att man skall kunna tillgodogöra sig den genom talet överförda informationen.

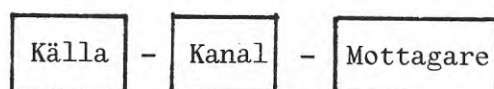
Det kan alltså föreligga en skillnad i akustisk godhet, som för normala lokaler ej är direkt mätbar vid överföring av normala satser. Det har givetvis ett stort intresse att, i första hand, utveckla en metod som ger ett objektiva mått på en lokals lämplighet såsom länk i en överföringskedja och att, i andra hand, med hjälp av denna metod undersöka dels vilka faktorer som har störst betydelse för taluppfattbarheten i olika lokaler, dels möjligheterna att med enkla fysikaliska mätningar få en uppfattning om lokalens godhet.

De viktigaste kraven som måste ställas på mätmetoden är god reproducerbarhet, god upplösningsförmåga samt känslighet endast för akustiska parametrar.

Det internationella intresset för utveckling av en sådan mätmetod är för närvarande stort. De elektroakustiska problemen anses emellertid därvid allmänt vara svåra att bemästra.

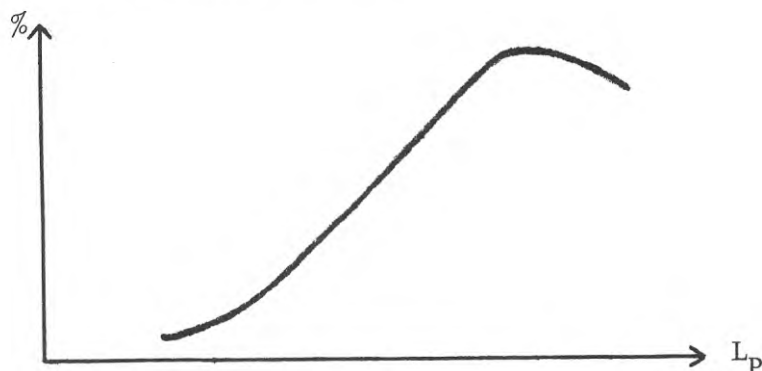
### Modell av ett informationsöverförande system

Ett informationsöverförande system kan skisseras enligt följande:



Den akustiska kanalen i rummet skall alltså kunna testas. Vi använder oss av en talare som läser upp ett ordmaterial och lyssnare som skriver ner dessa ord. För att uppnå den önskade goda reproducerbarheten skall talare och lyssnare vara lika från ett tillfälle till ett annat. Genom att tala in ordmaterialet på band och spela upp det över en lämplig högtalare kan god reproducerbarhet på talarsidan erhållas vid olika tillfällen.

Metoden skall ge en tillräcklig differentiell känslighet i lokaler där uppfattbarheten för vanliga satser under normala betingelser alltid når upp till nästan 100 %. Taluppfattbarheten i en lokal som funktion av talarens effektnivå har följande principiella utseende.



Figur 1: Exempel på en lokals taluppfattbarhet (procent rätt uppfattade ord i lokalen) som funktion av talarens ljudeffektnivå.

Det är önskvärt att vid användning av metoden befinna sig på den rätlinjiga delen av kurvan.

Om satser används blir uppfattbarheten för hög och den rätlinjiga delen av kurvan brant. Metodens upplösning minskar.

Uppfattbarheten sänks och kurvan blir mindre brant om ett material med stort informationsinnehåll används (försökspersonerna skall helst inte kunna gissa vilket ord de hört). I denna metod används därför ordlistor med nonsensord.

Lyssnarsidan måste alltid innehålla ett mänskligt led, men man önskar minska inverkan av t.ex. andra inflytelser än rent akustiska samt ge möjlighet till avlyssning utan att lyssnaren känner till något om den testade lokalen. Alla lyssnarprov bör således utföras i samma miljö. För att ernå detta görs vid uppspelning i lokalen inte direktavlyssning utan en stereofonisk inspelning med hjälp av ett lyssnarhuvud försett med mikrofoner på öronens plats.

Vi bygger upp en testkanal, som sträcker sig från nonsensordlistan till de avlyssnade och nedskrivna orden. Avsikten är att den del av kedjan som är av intresse i detta sammanhang, nämligen den undersökta lokalen blir den enda komponent som ändras från tillfälle till tillfälle.

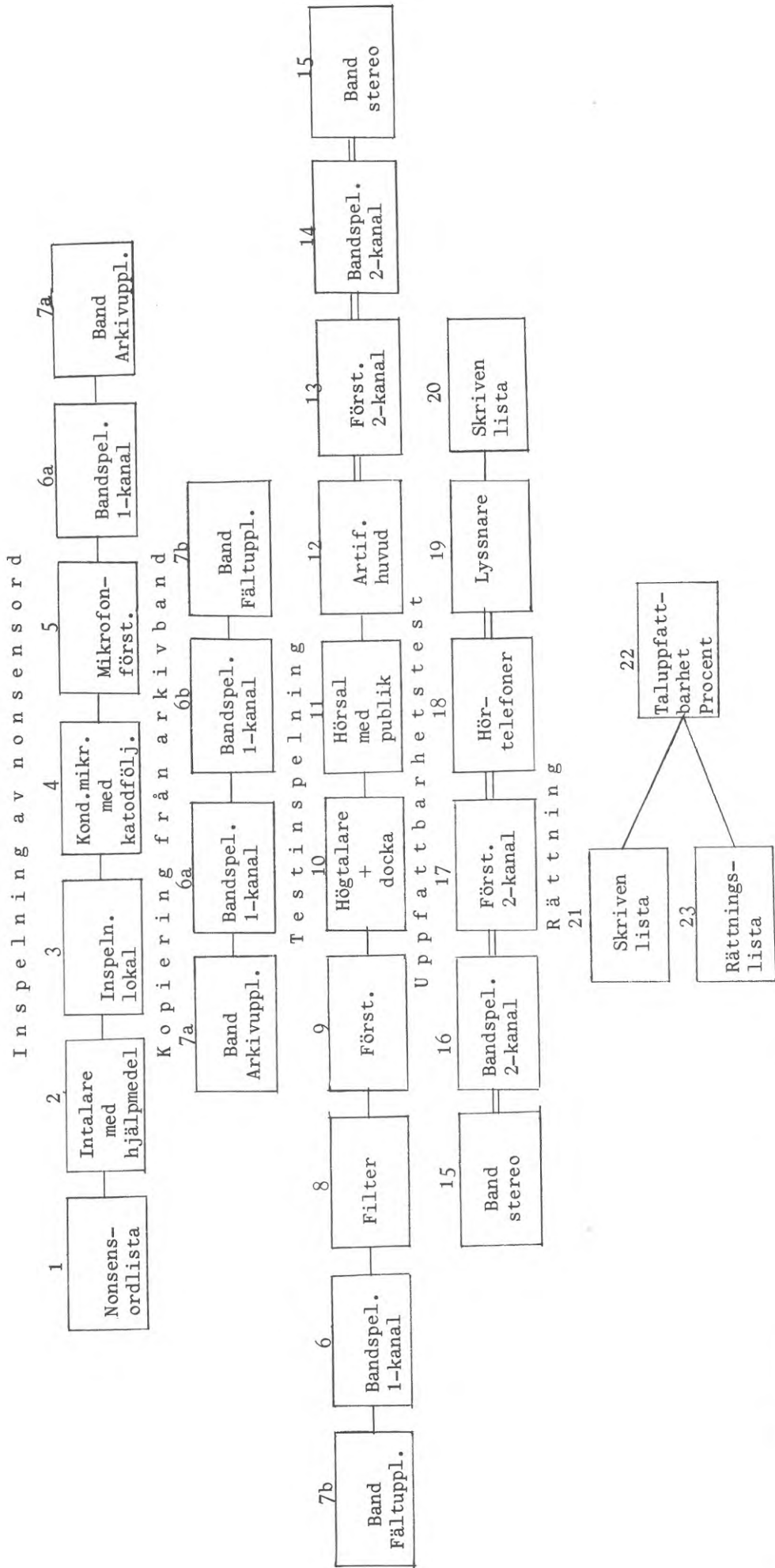
#### Mätmetod för bestämning av taluppfattbarhet

Metoden har beskrivits i en artikel i JASA [16] samt mera översiktligt i en artikel i "Byggforskning 68".

En översiktlig beskrivning ges i det följande. Metoden sammanfattas i blockschemat på sidan 8. Siffrorna i texten nedan refererar till blockens numrering.

1. Nonsensord, enstaviga ord utan betydelse fanns inte att tillgå tidigare. 20 ordlistor om 100 enstaviga ord har framtagits under glam och støj genom att smärre ändringar gjorts i svenska ord och stavelser.

Dessa ord innehåller därmed många för svenska språket karakteristiska kombinationer. Ordmateriallet skulle ha kunnat gjorts svårare. I sin nuvarande utformning är endast en mindre del av orden verksamma när prov göres i goda lokaler. Fel förekommer nästan enbart i de konsonantrika orden. Konsonanter är nämligen energifattigare än vokaler. Avsikten har varit att göra ordlistorna lika svåra. Detta har ej helt uppnåtts.



Figur 2 Blockschema för metod för bestämning av taluppfattbarhet

2. För intalningen på band har vi valt att använda en person, som läser in samtliga ord. Denna intalare var van vid typen av inläsning och hade till sin hjälp en ljudnivåmätare för att kunna kontrollera ljudnivån vid intalningen. Inläsningen gjordes med jämn ljudnivå och lika avstånd mellan orden. Nio av ordlistorna har försetts med försatser som "Jag säger", "Nu kommer", "Säger jag" och "Ni hör". Dessa nio ordlistor har använts vid huvudförsöksserierna.
3. Inspelningen gjordes i en hårt dämpad lokal med låg bakgrundsnivå.
- 6b Bandspelarna har justerats. Det är ändå lämpligast att spela in och av på samma bandspelare. Kopieringen har därför gjorts genom överspelning från Nagra-bandspelaren till en Ampex 601, som sedan använts vid fältförsöken.
7. Block 7 markerar slutet på den första delen av testkanalen. I och med färdigställandet av 7 b, kopierade band, är vi framme vid uppspelning och inspelning i den lokal som skall undersökas.
8. Genom att filtrera talet vid uppspelningen i den betraktade lokalen kan om så önskas lokalens uppfattbarhet sänkas till en lämplig nivå. Filter kan också användas om man önskar testa lokalen i olika frekvensområden. Dessa möjligheter har dock ännu ej utnyttjats.
9. Förförstärkare och en effektförstärkare. Effektförstärkaren är såsom varande en rent elektronisk enhet inget problem utan har en mycket rak frekvensgång upp till 20 kHz.
10. Högtalaren skall ersätta en mänsklig talare och bör därför ha speciella egenskaper. Vid val av högtalare bör följande beaktas. Högtalaren bör ha en ljudutstrålningskaraktistik, som så väl som möjligt överensstämmer med den från en talande

människa. Högtalaren och dess membran ska därför vara små. Efter att ha undersökt marknaden fann vi ett högtalarsystem av fabrikat Goodman, typ Maxim, som vi ansåg borde ha möjligheter att fylla våra krav på uppspelningshögtalare. Detta högtalarsystem består av en helt sluten låda fylld med glasull och försedd med två högtalare med diametrarna 70 mm respektive 50 mm och lådmått 136 x 176 x 263 mm<sup>3</sup>. Rikt-karakteristiken redovisas i artikeln i JASA [16]. Dockan som även ingår i block 10 utgör ett stativ för högtalaren, utfört av trä men uppbyggt med hjälp av skumplast till ett slags torso, som klätts i kavaj och skjorta. Denna docka har tillkommit för att göra förhållandena för högtalaren så lika en verklig talare som möjligt. Detaljutförandet har dock säkerligen mycket ringa betydelse.

11 Detta block kallas hörsal med publik. Det är hörsalen som skall undersökas. Publiken är emellertid en komponent, som kan påverka och ha betydelse för taluppfattbarheten. Då bakgrunds-nivån måste vara kontrollerbar vid överspelningarna och inget behov av närvarande lyssnare föreligger görs överspelningarna utan levande publik. Absorptionsbortfallet måste då kompenseras. Absorptionsförhållandena i lokalen bör så noga som möjligt efterlikna de normala. Därför har ett slags mycket enkla dockor eller dummies tillverkats, vars absorption väl överensstämmer med absorptionen hos publik. Dessa dummies har utformats så att man även försökt efterlikna diffraktionsförhållandena kring publikens "huvuden".

12 För att efterlikna förhållandena för en verklig lyssnare så mycket som möjligt göres en stereofonisk inspelning med mikrofonerna placerade i ett lyssnarhuvud med ytteröron av plast.

13 Utgångsspänningen från katodföljarna, som är inbyggda i lyssnarhuvudet,

14 räcker i vissa fall till att försörja bandspelaren, som är



av fabrikat Tandberg, med ingångsspänning. Vid vissa lokaler blir det emellertid nödvändigt att använda förförstärkare för att fullt utnyttja bandspelarens dynamik.

- 15 Vi är nu framme vid de inspelade stereobanden, som är ett resultat av överspelning i den lokal vi vill testa. Banden går vidare till lyssnarproven.
- 16 Bandspelaren, som används för avlyssningen vid uppfattbarhets-test kan,
- 17 vara densamma som används för inspelning eller en annan, som är justerad enligt samma standard. Efter bandspelaren kan man eventuellt använda en förstärkare, speciellt om man vill göra avlyssning med ett flertal hörtelefoner samtidigt.
- 18 Vi använder oss av hörtelefoner av Beyers fabrikat typ DT 48. För att förbättra återgivningen har dessutom konstruerats ett korrektionsfilter.
- 19 Lyssnaren är slutet på den akustiska komponentkedjan. Hörseln hos de deltagande försökspersonerna måste vara känd och kontrollerad genom audiometerprov.
- 20,21 Slutprodukten vid avlyssnandet är en skriven lista som sedan rättas mot en
- 23 rättningslista, varefter vi får slutprodukten
- 22 taluppfattbarheten i procent.

Särskild uppmärksamhet bör riktas mot principerna för rättningen. Önskvärt vore, att försökspersonerna skrev ner nonsensorden med fonetiska tecken. Eftersom detta är svårgenomförbart kan rättningen utgöra en felkälla i metoden. Denna felkälla torde emellertid kunna så gott som helt elimineras antingen genom att försökspersonerna ges tillräckligt noggranna instruktioner eller genom att försökspersonerna själva får rätta sina listor.

Denna metod uppfyller i stort sett de krav som vi inledningsvis ställde. Den har emellertid även en del nackdelar. Metoden innehåller inte den gynnsamma effekten av att en tränad talare kan anpassa sig till akustiken i olika rum. Det mått vi får på lokalens uppfattbarhet gäller därmed utan "extra ansträngning" från talaren. Detta kan inte enbart betraktas som en nackdel då en god lokal skall möjliggöra god uppfattbarhet utan att talaren därför skall behöva anstränga sig.

Den största tekniska svårigheten ligger i att tillverka ett idealt lyssnarhuvud. Ett bra lyssnarhuvud (till lyssnarhuvudet räknas i detta sammanhang även avlyssningen via hörtelefoner) bör ge möjlighet till

1. Lokalisation utanför huvudet.
2. Känsla av närvaro i det rum där lyssnarhuvudet befinner sig.
3. Rikttningsbestämning i vertikalplanet och horisontalplanet.  
Av dessa är rikttningsbestämningen i vertikalplanet utslagsgivande ty rikttningsbestämningen i horisontalplanet erhålles utan problem.
4. Avståndsbedömning (korrekt nivå viktig).
5. Källans volym (även här är den korrekta nivån viktig, avståndsbedömningen och volymen hänger i viss mån ihop med varandra).
6. Klangfärg (bl.a. en fråga om frekvensgång).

En kontroll av vårt lyssnarhuvud på dessa punkter ger vid handen att det är av god kvalitet men ej helt enligt önskemålen.

Det är mycket svårt att tillverka ett lyssnarhuvud som är helt tillfredsställande på alla punkter. Problemen har även påpekats av andra som konstruerat lyssnarhuvuden i samma syfte.

De brister som ännu föreligger hos lyssnarhuvudet torde ha haft ringa effekt på resultaten från de försöksserier som genomförts. De intressanta storheterna vid dessa försök utgörs hela tiden av skillnader i taluppfattbarhet mellan olika platser.

#### Fysikaliska mätmetoder

Ett rum kan akustiskt beskrivas genom att ange rumsform samt akustiska data för rummets olika delytor. Den samlade inverkan av alla dessa ytor visar sig i efterklangstiden. Begreppet efterklangstid är därför mycket viktigt och mätning av efterklangstid en normal akustisk mätning. Hittills har vid konstruktion av små lokaler endast efterklangstiden beaktats och först vid större lokaler har ljudreflektionen studerats i detalj. De reflektionsförhållanden som har betydelse för överföringen av information från en punkt till en annan i en lokal måste undersökas med någon mätmetod knuten till dessa två punkter, vilket inte mätning genom efterklangstid gör. Reflektionsegenskaper kan studeras på oscilloskop med korta ljudpulser, men önskvärt är att även få fram siffervärden vid överföring mellan olika platser inom en viss lokal, eftersom siffervärden gör en jämförelse mellan olika lokaler enklare.

Andra fysikaliska mätmetoder har föreslagits som komplement till mätning av efterklangstid. Dessa mätmetoder går ut på att särskilja ljud som kommer fram till lyssnarpositionen tidigt från det som kommer fram sent. Begreppet integrationskvot (ty. Deutlichkeit) föreslogs av Meyer och är kvoten mellan den ljudenergi från en kort ljudpuls i talarpositionen som når lyssnarpositionen inom 50 ms efter direktljudet och den totala energin som når lyssnarpositionen.

$$D = \frac{\int_0^{50 \text{ ms}} p^2 dt}{\int_0^{\infty} p^2 dt}$$

där  $D$  = integrationskvot

$p$  = ljudtrycket

Andra forskare har modifierat metoden vad avser integrations-tider och den tvära övergången mellan nyttigt och onyttigt ljud.

För detta arbete har vi byggt mätapparat för uppmätning av integrationskvot enligt Meyer. Denna mätapparat har delvis använts vid fältförsöken.

Med de integrationstider som nämnts för det nyttiga ljudet har man försökt ansluta till vad som är känt om örats och hörselns integrationsegenskaper. Vid överföring av tal är det emellertid inte enstaka ljudpulser utan en följd av ljudpulser som skall överföras. Man kan också uttrycka det så att den varierande effekten från talaren inom en mängd olika frekvensband söker modulera rummets energi. I ett rum med efterklang uppstår under flytande tal en medelnivå på grund av efterklngen som inte kan innehålla information, medan den informativa delen av rumsljudet kan betraktas som en modulering omkring denna medelnivå. Förhållandena vid överföring av tal skulle kunna efterliknas med överföring av pulsat vitt brus. Ett mått på lyssnarpositionens godhet fås genom mätning av hur det vita brusets amplitudmodulering avtagit. En anordning för sådana mätningar har konstruerats inom ramen för detta arbete. Måttet har benämnts modulationsdämpning.

Utrustningen för mätning av modulationsdämpning framgår av figurblad 1. Den består av en brusälla kombinerad med ett filter, där man kan åstadkomma vägning av brusets eller oktavbandsfiltrering, varigenom rummets reflektionsegenskaper för olika frekvenser kan undersökas. Genom en enkel multiplivibrator

och modulator hackas bruset till pulser. Genom att variera multivibratorns perioddelar kan pulslängd och pulslucka varieras. Signalen matas ut i lokalen över samma högtalare samt spelas in via samma lyssnarhuvud som används i uppfattbarhetsproven. Detta är en stor fördel hos metoden då därigenom riktningsskarakteristiken vid talarpositionen och lyssnarpositionen motsvarar de verkliga förhållandena vid överföring av tal i lokalen.

På mottagarsidan har så långt som möjligt tillgängliga instrument utnyttjats. Ljudnivåmätare I används som mikrofonförstärkare och mottagarfilter samt indikator för totaleffekten. Till denna ljudnivåmätare ansluts en enveloppedemulator, varifrån man får en signal med modulationens frekvens, vilken via adapter matas in i en annan ljudnivåmätare.

Modulationsgraden mäts genom att jämföra utslagen på de två ljudnivåmätarna. Vid mätning i ett rum gör efterklngen att modulationsgraden blir mindre än vid direkt elektrisk anslutning av den pulsade brussignalen till ljudnivåmätare I. Kalibrering utförs så att det pulsade bruset tillförs ljudnivåmätare I direkt elektriskt via en adapter. Modulationsdämpningen är då definitionsmässigt 0 dB och utslagen på de två ljudnivåmätarna liksom inställningen av dämpningsrattarna på ljudnivåmätare II noteras. Dämpningsinställningen på ljudnivåmätare I inverkar på totalsignalen.

Vid mätning av en pulsad brussignal, som passerat ett rum, verkar efterklngen minskande på modulationen och skillnaden i utslag på de två ljudnivåmätarna blir större än vid kalibrering. Vid stark modulationsdämpning kan skillnaden i utslag bli så stor att inställningen av rattarna på ljudnivåmätare II måste ändras för att få utslag. För bekvämlighets skull kan man vid kalibreringen justera förstärkningen i ljudnivåmätare II så att visarutslagen är lika vid en viss inställning av dämpsatserna på ljudnivåmätare II. Vid mätning blir då modulationsdämpning lika med (utslag på ljudnivåmätare I) - (utslag på ljudnivåmätare II) + (ändring av dämpsatserna på ljudnivåmätare II).

### Genomförda försöksserier

Metoden för bestämning av taluppfattbarhet samt de fysikaliska mätmetoderna har använts i två större försöksserier samt i mindre serier av pilotkaraktär. Dessa senare har i flera fall utförts som seminarieuppgifter.

I denna rapport lämnas en redogörelse för de två större försöksserierna. Det förekommer en del skiljaktigheter i utförande mellan dessa försöksserier. Detta gäller bl.a. den statistiska bearbetningen. Skillnaderna beror främst på de erfarenheter som gjorts under den första försöksserien.

### Taluppfattbarhetsförsök i en lokal vars akustiska egenskaper varierats

Serien utfördes i en experimentsal vars volym är  $400 \text{ m}^3$  och takhöjd 3,65 m. Planen framgår av figurblad 2. Åhörarplatserna och fördelning av absorptionspublik visas även på detta figurblad.

Vid akustikreglering av en lokal med experimenthöralsalens storlek torde enligt nu gängse metoder en efterklangstid på ca 0,75 s med så små variationer som möjligt inom området 100 Hz - 3500 Hz normalt eftersträvas. Vid utplacerandet av absorbenter tar man också normalt hänsyn till att vissa ytor, som t.ex. en del av taket, bör vara reflekterande. Vid akustikreglering av en hör-sal uppstår naturligt en del frågeställningar, som kan ha att göra med svårigheten att få in tillräckligt mycket absorbenter, t.ex. om man kan tillåta en något längre efterklangstid utan att få någon nämnvärd försämring av taluppfattbarhet. I vissa lokaltyper blir det nödvändigt med tämligen komplicerade absorbentfördelningar för att åstadkomma en jämn efterklangskurva även i lågfrekvensområdet. Man frågar sig hur stor betydelse en viss förlängning av efterklangstiden i lågfrekvensområdet har. Ur dessa frågeställningar har 4 olika efterklangskurvor (=efterklangstid som funktion av frekvensen) valts, nämligen

för det första vad som kan kallas normal efterklangstid, 0,75 s. frekvensoberoende inom tersbanden 100 - 3150 Hz. Betydelsen av en viss förlängning undersöktes genom en efterklangskurva som var frekvensoberoende och ca 1,2 s. En förlängning av efterklangstiden vid låga frekvenser testades med en efterklangskurva, som från 500 Hz och uppåt överensstämde med den normala kurvan, 0,75 s men som mot lägre frekvenser steg kraftigt. Av intresse är också att prova om den normala efterklangstiden 0,75 s är optimal med avseende taluppfattbarheten eller om kortare efterklangstid höjer taluppfattbarheten. Försök med salen inreglerad till 0,35 s efterklangstid avsågs ge svar på denna fråga.

Betydelsen av olika absorberingsplaceringar har undersökts med varianter som ger samma efterklangstid. På grund av efterklangstidens inverkan måste denna inreglering vara tämligen noggrann. Vid 0,75 s efterklangstid studerades tre alternativ. En placering bör man enligt dagens teknik kunna kalla normal, nämligen reflekterande tak, med en viss lågfrekvensabsorption. Denna åstadkoms dock genom absorberare utefter sidorna så att mitten av taket var helt reflekterande. Bakre väggen i lokalen var absorberande. Nästa variant med samma efterklangstid hade helt reflekterande bakre vägg, vilket syftade till att klarlägga om reflektioner från denna kunde verka störande så att taluppfattbarheten minskades. En tredje variant hade absorberare i hela taket och fortfarande hård bakvägg. Försöket syftade till att klarlägga om bristen på nyttiga reflexer från taket kunde minska uppfattbarheten. Vid 0,75 s efterklangstid provades alltså tre varianter. Vid 1,2 s efterklangstid provades i princip effekten av reflekterande bakre vägg i förhållande till normal absorberingsplacering d.v.s. två varianter. Efterklangstiden 0,35 s och 0,75 s med förlängning vid låga frekvenser provades endast med en variant.

Försöksserien kompletterades med tre olika talarplaceringar vid normal absorbentplacering och normal efterklangstid (0,75 s). Talaren vändes således från publiken samt mot publiken med två olika höjder motsvarande stående och sittande. I övriga fall användes endast en talarposition, nämligen mot publiken och den större höjden som svarar mot stående talare. Försöksserien omfattade således 9 olika fall enligt följande tabell:

- |       |   |
|-------|---|
| 1 a 1 | 0,75 s, normal absorbentplacering, talare vänd från publiken. |
| 1 a 2 | Upprepning, talare vänd mot publik, stående.                  |
| 1 a 3 | Upprepning, talare mot publik, sittande.                      |
| 1 b   | 0,75 s, absorberande tak.                                     |
| 1 c   | 0,75 s, reflekterande bakre vägg.                             |
| 2 a   | 1,2 s, normal absorbentplacering.                             |
| 2 b   | 1,2 s, reflekterande bakre vägg.                              |
| 3     | 0,35 s, så mycket takreflexer som möjligt.                    |
| 4     | 1,2 s, med väsentlig förlängning under 500 Hz.                |

Bakgrundsbullret kan påverka optimeringen av efterklangstid och absorbentplacering. Varje fall provades därför med två olika bakgrundsbuller. Bullret i en hörsal kan vara av många olika typer, som publikens eget buller, trafikbuller och buller från husets installation som t.ex. fläktbuller. I dessa försök användes fläktbuller. Två olika effekter användes och bullret producerades via högtalare. Bullereffekterna valdes så att ljudnivån blev 35 dB(A) respektive 45 dB(A) vid fall 1 a. Genom den varierande absorptionen erhöles andra nivåer i övriga fall. De två nivåerna för varje fall särskiljs dock med beteckningarna bakgrund 35 dB(A) respektive 45 dB(A).

#### Försöksmetodik

De beskrivna akustiska fallen testades med taluppfattbarhetsförsök enligt ovan beskriven metod. Parallellt med inspelningarna för taluppfattbarhetsprov gjordes även mätningar av modulationsdämpning.



För taluppfattbarhetsproven utnyttjades 9 olika listor om vardera 100 nonsensord. För varje tillstånd (18 st med båda buller-effektnivåerna) har alltså överspelats 9 listor. Lyssnarhuvudet har placerats i 9 olika positioner, som framgår av planen över åhörarplatser på figurblad 2. Användningen av olika platser för inspelningen avser inte att klarlägga skillnader mellan olika åhörarplatser utan att undvika att speciella egenskaper hos en viss åhörarplats ger utslag i resultaten. Inspelningshuvudet flyttades därför samtidigt som ordlista skiftades (Samma nummer på lista och plats).

Försökspersonerna i lyssningsförsöken hade samtliga mindre än 5 dB höjning av hörtröskeln enligt audiometerprov med tonaudiometer i frekvensområdet 125 Hz - 8000 Hz. Försökspersonerna konfronterades för första gången med ordmaterialet. För en försöksserie med en bakgrundseffektnivå och de 9 olika fallen utnyttjades 36 personer som sammanfördes i 9 grupper om 4 personer. Genom utnyttjande av de 9 listorna för 9 fall kunde försöken göras som en romersk kvadrat med permuteringar på ett sådant sätt att en grupp endast hörde varje lista en gång och samtliga överspelade listor kom till användning på vardera fallet.

Fysikaliska mätningar av modulationsdämpning utfördes med mätmikrofon placerad i det artificiella lyssnarhuvudet. Mätningar gjordes på åhörarplatserna 11, 17 och 19 (se figurblad 2). Mätning av modulationsdämpningen gjordes för vardera vänster och höger öra på varje position d.v.s. för varje fall sex olika mätningar. För jämförelse med taluppfattbarhetsresultaten användes medelvärden av dessa sex mätningar.

Den artificiella publiken (absorptionsdummies) placerades ut på åhörarplatser enligt figurblad 2 varvid samtliga platser, som inte upptogs av inspelningshuvudet besattes förutsatt att detta var möjligt för ernående av den uppställda efterklangstiden. Vid förlängd efterklangstid (1,2 s) användes mindre publik. Alla angivna efterklangstider avser efterklangstider med publik.

### Försökens utförande

Att ernå de i programmet uppställda efterklangstiderna med de önskade absorberfördelningarna visar sig kräva ett flertal olika kombinationer av flerskiktsabsorbenter. Högfrequensabsorption åstadkoms genom mineralullsskivor direkt mot hård vägg. En ökning av mellanfrekvensabsorptionen kan erhållas genom att placera skivorna i högre regelverk så att man får luft bakom och därmed klarar hög mellanfrekvensabsorption. Lågfrequensabsorptionen kan åstadkommas med absorbenter bestående av tätt skikt med dämpande mineralull bakom. Stor absorption erhålles emellertid endast inom ett område omkring resonansfrekvensen för dessa absorbenter, varför skikt med olika ytskikt användes. De lättaste täta ytskikten utgjordes av ett eller flera lager tjockt papper. För absorptionstopp vid något lägre frekvens användes hård träfiber och vid ännu lägre frekvens användes gipsskivor. De sålunda uppbyggda absorbenterna med deras placering och resulterande efterklangstid framgår av perspektivskisser och kurvor på kurvblad 1 - 7. De önskade egenskaperna hos efterklangskurvorna har uppnåtts med god noggrannhet. Framförallt bör observeras att de olika varianterna som skulle ha samma efterklangstid överensstämmer väl.

Effekten till högtalaren ställdes in så att ca 65 dB(A) erhöles på 1 meters avstånd (i fall 1 a 2). Effekten till högtalaren hölls sedan konstant under hela försöksserien genom inställning av spänningen till högtalaren vid kalibreringston.

Avlyssningen av de inspelade stereobanden skedde i ett ljuddött rum där en grupp om fyra personer lyssnade samtidigt. Listorna 11 - 19 som inspelats var och en på plats med samma nummer, valdes ur tillstånden 1 - 9 och genom cyklisk permutation lyssnade en viss grupp endast en gång till varje lista och en gång för varje tillstånd. Genom att alltid låta grupperna starta på lista 11 erhöles ett systematiskt fel genom uppövning av förmågan, men detta gäller enbart listorna och platserna och undviks för de olika tillstånden, vilket är väsentligt då det är dessa som skall jämföras.

Mätningarna av modulationsdämpning och totaleffekt skedde med samma effekt till talaren i samtliga fall. Det artificiella huvudet för stereoinspelningarna utnyttjades även vid mätning av modulationsdämpning varvid mätningarna skedde med en mikrofon i taget. Signalen, som matades ut via högtalaren, var brus med pulstid 20 ms och pulslucka 140 ms. Medeleffekt och modulationsdämpning mättes oktavbandsvis. Kalibrering skedde oktavbandsvis.

### Resultat

Primärresultaten från taluppfattbarhetslyssningarna är för varje lyssnare antalet rätt av 100 avlyssnade ord för varje testfall. Varje kombination av lista - plats och fall avlyssnas av en grupp på 4 personer. Permutationsschema för grupperna framgår av tabellblad 1. Gruppresultaten (% rätt av 400 ord) framgår av tabellblad 2 och 3. För några fall har differenser personvis beräknats direkt ur % rätt för 100 ord som framgår av tabellblad 4.

Resultaten från mätningarna av modulationsdämpning framgår av tabellblad 6 liksom medelvärden för oktavband 125 Hz - 4 kHz samt för band 500 Hz - 2 kHz.

### Bearbetning och kommentarer

Försökens syfte har dels varit att få fram skillnader i taluppfattbarhet för olika väldefinierade akustiktillstånd. Dessutom är syftet att undersöka hur modulationsdämpningsresultaten samvarierar med taluppfattbarhetsresultaten.

Standardavvikelsen och medelvärde för gruppresultat (400 ord) har införts på tabellblad 2 och 3 liksom konfidensintervall (95 %) för medelvärdena. För att kunna fastställa skillnaderna mellan de olika fallen har differenser mellan medelvärdena och konfidensintervall för dessa beräknats enligt tabellblad nr 5. Signifikant skillnad föreligger om differenserna är större än konfidensintervallen. Dessa värden är understrukna. Differenserna

är genomgående större vid den högre bullernivån. Differensernas signifikans gäller för samma fall utom (4 - 2 b) där endast 45 dB(A) ger signifikant differens. Medelvärdena skiljer sig inte vid de olika fallen 1 a 1, 1 a 2 och 1 a 3 signifikant från varandra. Akustiktillståndet 1 b och 1 c och 4 skiljer sig inte heller signifikant från 1-försöken. Akustiktillstånd 3 ger signifikant större taluppfattbarhet än samtliga övriga. Såväl 2 a som 2 b ger signifikant sämre taluppfattbarhet än 1 a-försöken.

Det är bl.a. skillnaden mellan uppfattbarhet för olika personer som gör att akustiktillstånd med ungefär samma uppfattbarhet inte skiljs signifikant. Man kan emellertid eliminera spridningen mellan olika personer och istället studera medelvärdet för differensen mellan två tillstånd taget person för person.

Man studerar då om ett visst tillstånd i medeltal för en person är bättre än ett annat tillstånd, i stället för att som ovan undersöka om medelpersonen uppfattar testorden bättre i ett tillstånd än i ett annat. Metoden att ta differenser person för person har utnyttjats i tidigare rapporter med mindre testmaterial. Här kan det framförallt vara intressant att göra det i ett par fall där medelvärdena inte signifikant avvek från varandra.

Av tabellblad 4 framgår differenserna person för person mellan fallen 1 a 1 och 1 a 2 d.v.s. med talare vänd mot respektive från publiken, samt fallen 1 a 2 och 1 b d.v.s. förändringen från gynnsam absorbering till absorberande tak. Denna förändring är av den storleksordningen att den kan vara signifikant i medeltal för en person men inte är det för medelperson. Ur standardavvikelsen har för differensen även konfidsintervallen (95 %  $\pm$ ) beräknats.

Höjning av bakgrundsnivån sänker taluppfattbarheten i samtliga fall.

Samvariationen för taluppfattbarhet och modulationsdämpning kan studeras på kurvblad nr 8 och 9. Dämpningsvärdena är medelvärden för dämpning inom de uppmätta oktavbanden.

I diagrammens fördelning av observationernas punkter finns en grupp resultat i centrum som är speciellt väl samlade för 45-dB(A)-försöket. Dessa punkter är medelvärden som inte signifikant åtskiljs med taluppfattbarhetsproven. Mellan dessa punkter och modulationsdämpning kan inte heller skönjas någon samvariation. Punkten 1 b har större modulationsdämpning än den nämnda gruppen och även signifikant lägre uppfattbarhet. Punkten 3 och 2 a skiljer sig med avseende på medelvärdena signifikant från den centrala gruppen.

En tänkt kurva genom punkterna 2 a och 1 b, 1 a 2 och 3 ger en uppfattning om samvariationen för tillstånd som givit signifikanta skillnader i uppfattbarhet. Modulationsdämpningsvärdet i försök 2 b synes vara behäftat med ett fel eftersom inget talar för denna stora skillnad och punkterna ligger nära varandra med avseende på taluppfattbarhet.

### Taluppfattbarhetsförsök i två stora hörsalar

#### Försökens utförande

De hörsalar som undersökts är salarna FA och H4 på Chalmers Tekniska Högskola. Efterklangstiderna för båda dessa lokaler (kurvblad 10) överensstämmer ganska väl med vad som anses vara en tillfredsställande efterklangstid vid de aktuella rumsvolymer.

H4-salen upplevs av en del talare som mycket arbetsam. Eventuellt kan detta bero på den stora takhöjden och bredden i lokalens främre del. Dessa problem var upp till diskussion vid projekteringen men någon takreflektor kom ej till utförande.

Sal H4 har vid försöken studerats dels i befintligt skick dels med takreflektor (betecknad H 4') och slutligen, med både takreflektor och sidoreflektorer (betecknad H 4"). Reflektorerna utgjordes av 10 mm spånskivor med mått och placering enligt figurblad nr 3. H4-salen har 222 platser och en volym på ca 850 m<sup>3</sup>. Bakväggen och främre delen av sidoväggarna utgöres av kantställd 78-håls tegel med bakomliggande mineralull samt enkelresonatorer av Helmholtztyp. En stor del av dessa enkelresonatorer är emellertid ej korrekt utförda, vilket ger en förlängning av efterklangstiden i lågfrekvensdelen.

FA-salen har 244 platser och en volym på ca 1 200 m<sup>3</sup> (figurblad nr 4). Väggarna består delvis av slitsade skivor med bakomliggande mineralull. (FA-salens något längre efterklangstid i högfrequensen, jämfört med H4-salen, beror på att absorptionen i högfrequensen faller snabbare med detta täckskikt). I taket finns lågfrekvensabsorbenter i form av Helmholtzresonatorer. Karakteristiskt för lokalen är den geometriska utformningen med det välvda reflekterande taket.

Hörsalarna har till 2/3 fyllts med artificiell publik. Utplaceringen av publikabsorbenterna bestämdes i första hand av att vi önskade symmetri i sidled.

I varje hörsal har fyra olika områden studerats. I avsikt att erhålla ett resultat som är knutet till ett delområde av hörsalens publikyta i stället för till en specifik plats har lyssnarhuvudet flyttats mellan varje ordlista. För varje område har nio ordlistor på 100 nonsensord utnyttjats. Lyssnarpositionerna vid överspelning av de olika ordlistorna framgår av figurblad nr 3 och 4. Ordlistornas beteckningar är 11 - 19. Av figurbladen framgår också att de fyra "platsgrupper" som undersöktes är

#### Beteckning

- A Mitt i bänkraden, något in på bakre halvan
- B Vid sidogången, något in på bakre halvan
- C Vid sidogången, längst bak
- D Mitt i bänkraden, längst bak

Då full symmetri råder (även för publikplaceringen) skiljer vi inte mellan hörsalarnas höger- och vänstersida.

Talarens nivå ställdes in så att konstant ljudeffektnivå lämnas av talaren. I avsikt att dels sänka taluppfattbarhetsnivån till ett område med större upplösning dels maskera för respektive hörsal karakteristiska bakgrundsljud spelades fläktbuller upp via sex högtalare. Detta bakgrundsbuller reglerades också till en konstant effektnivå. Genom att både talarens nivå och bakgrundsbullrets nivå kalibrerats med avseende på den avlämnade effekten har jämförelse mellan hörsalarna skett vid samma signal-brusförhållande. Det artificiella fläktbullret gav en bakgrundsnivå på ca 50 dB(A).

Avlyssningen har skett i ekofria rummet på Institutionen för Byggnadsakustik vid Chalmers Tekniska Högskola. Vi valde ut normalhörande försökspersoner genom audiometerprov. Endast ca 50 % av de testade personerna, som var i 20 - 25 års åldern, låg inom de 10 dB från normalhörtröskeln som vi ställt som krav. 18 lyssnargrupper om fyra personer utvaldes. Försökspersonerna fick skriva ner ordlistorna på blanketter för senare rättning och bearbetning. Arbetet delades upp i två försöksserier, vardera enligt försöksplan romersk kvadrat (se även beskrivningen av försöksplaneringen i föregående försöksserie). I vardera serien ingår nio lokaltillstånd och därmed även nio lyssnargrupper. Permutationsschema för avlyssningarna enligt tabellblad nr 1. För att eliminera inverkan av upplärningseffekter fick alla lyssnargrupper starta med samma lista (11) och därigenom olika lokaltillstånd.

Serie A	Serie B
A1 Referenstillstånd	B1 FA:B
A2 FA:A	B2 FA:C
A3 FA:D	B3 H4:B
A4 H4:A	B4 H4:C
A5 H4:D	B5 H4:D
A6 H4':A	B6 H4':B
A7 H4':D	B7 H4':C
A8 H4":A	B8 H4":B
A9 H4":D	B9 H4":C

Med H4:C avses "platsgrupp" C (enligt beteckningen ovan) i sal H4.

I samband med överspelningen av listorna gjordes följande fysikaliska mätningar. Dessa mätningar gjordes vid den aktuella publikmängden.

Efterklangstid

Modulationsdämpning (20 ms puls 140 ms lucka)

Integrationskvot

Integrationskvoten mättes med två olika instrument dels ett som gjorts som examensarbete vid CTH och dels det vi själva tillverkat. Den för respektive mätning aktuella ljudkällan spelades in via lyssnarhuvudet vid tre platser i varje "platsgrupp". Vid mätning av modulationsdämpning och integrationskvot dB(A)-vägdes signalen, då i den föregående försöksserien ingenting tydde på att vi skulle erhålla ytterligare information genom att göra analysen i oktavband.

### Resultat och bearbetning

Gruppresultaten i procent rätta ord framgår av tabellblad 7 och 8.



Standardavvikelsen och det 95-procentiga konfidensintervallet avser inte gruppresultaten utan de individuella försökspersonernas resultat, d.v.s. 36 observationer för varje tillstånd.

Medelst variansanalys undersöker vi inverkan av de olika faktorerna. Vi testar följande hypoteser på 5 % nivå.

$H_1$  : De olika lokaltillstånden kan ge samma medelvärden.

Varianskvoterna blir:

Serie A: 25,03

Serie B; 18,70

$F_{8,56}(2,12) = 0,95$

(Med de aktuella frihetsgraderna skulle hypotesen inte kunna förkastas på denna nivå om varianskvoten varit mindre än 2,12)

Vi förkastar alltså hypotesen  $H_1$  på denna nivå.

$H_2$  : Försökspersonerna saknar effekt på resultatet.

Varianskvoterna:

Serie A: 4,37

Serie B: 4,64

$F_{8,56}(2,12) = 0,95$

Vi måste även förkasta denna hypotes.

$H_3$  : Listorna har ingen effekt på resultaten.

Varianskvoterna:

Serie A: 2,07

Serie B: 6,67

$F_{8,56}(2,12) = 0,95$

Vi kan förkasta hypotesen  $H_3$  för serie B, men kan för serie A ej förkasta hypotesen att listorna ej inverkar på resultatet.

Vi har som synes ej lyckats undgå inverkan av försökspersoner eller listor. Detta kan möjligen bero på att försöksserierna är för långa och försökspersonernas skärpa avtar i olika omfattning. Den upplärningseffekt som fås påverkar även variansanalysen.

Det något negativa resultatet av variansanalysen bör tydas så att det är ofantligt svårt att i sådana här försök helt komma ifrån påverkan av ej önskvärda faktorer.

Vi kan emellertid, något oegentligt, säga att variationerna beroende på lokaltillstånden dominerar. (Se varianskvoterna.)

Vi har även sammanställt skillnaderna i taluppfattbarhet mellan de olika hörsalarna, mellan motsvarande platser i olika hörsalar samt mellan olika platser i samma hörsal. Vi har antagit att de observerade värdena på taluppfattbarheten på respektive plats är normalfördelade med samma standardavvikelse. Skillnaden mellan medelvärden är en väntevärdesriktig punkt-skattning av skillnaden mellan variablernas väntevärden.

$$\mu_1 - \mu_2 = \bar{x} - \bar{y} \pm x_s \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m}}$$

(t-fördelning med  $n + m - 2$  frihetsgrader)

$n$  = antal observationer av ena variabeln

$m$  = antal observationer av andra variabeln

$\bar{x}$  och  $\bar{y}$  är respektive medelvärden

$S_{1,2}$  standardavvikelseerna för respektive variabler

$$s^2 = \frac{(n-1)S_1^2 + (m-1)S_2^2}{(n + m - 2)} = \text{den sammanvägda variansen}$$

$x$  ges av den önskade konfidensgraden.

Då  $\bar{x} - \bar{y}$  är större än  $x_s \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m}}$  för en viss konfidensgrad anser vi skillnaden vara signifikant på samma nivå.

Skillnaderna och markering av signifikansnivån för signifikanta skillnader redovisas på tabellblad 9 och 10.

#### Kommentarer

De mest anmärkningsvärda resultaten av jämförelsen mellan olika platser i samma hörsal är att man i FA-salen får en högre uppfattbarhet längst bak än mitt i lokalen. Detta beror på att spridningen av takreflexerna varierar mycket då talaren förflyttar sig i lokalens längsled. Med den talarplacering som använts vid försöken träffas de bakre bänkraderna av mera takreflexer än lokalens mittparti. De mesta reflexerna träffar emellertid de främsta bänkraderna.

En gynnsammare fördelning av reflexerna erhålles då talaren befinner sig närmare väggen, såsom då "svarta tavlan" utnyttjas. Den vid försöken använda talarplaceringen är emellertid representativ för övriga talaraktiviteter då tavlan ej utnyttjas såsom vid t.ex. användning av overheadprojektor. Skillnaden i spridning av det reflekterade ljudet framgår av figurblad 5.

Jämförelsen mellan de olika lokalerna visar till att börja med att uppfattbarheten i FA-salen är markant lägre än i H4. Skillnaden är störst för platserna mitt i lokalerna. Till en del kan skillnaderna förklaras med den längre efterklangstiden i FA-salen. Enligt de tidigare försöken kan detta inte vara enda anledningen. Den dåliga taluppfattbarheten i FA-salen torde även kunna förklaras av det dåliga utnyttjandet av takreflexerna.

Införande av en takreflektor i H4-salen ger för de flesta platserna en ökning av taluppfattbarheten. Störst var förbättringen utåt sidorna för de mellersta bänkraderna. Sidoreflektorerna ger ingen entydig påverkan på taluppfattbarheten för de platser i lokalen som använts.

I samband med detta arbete har vi flera gånger tagit upp frågeställningen hur talaren upplever lokalen. Det har ej varit möjligt att inom anslaget ram göra någon systematisk undersökning, men vi har funnit frågan så angelägen att vi gjort en del rent subjektiva jämförelser. I samband med överspelningarna av ordlistor i de olika lokalerna, noterades den subjektiva uppfattningen om lokalernas godhet såsom den uppfattades av en talare.

FA-salen uppfattades som ganska arbetssam att tala i, främst beroende på den stora volymen men även på grund av det dåliga "stöd" talaren känner i en lokal med stor takhöjd.

I H4-salen blev förbättringen uppenbar då takreflektorn tillkom. Talaren känner ett bättre stöd. Då känner talaren även en större säkerhet och upplever lokalen som lättarbetad. Sidoreflektorerna gav i detta avseende ingen ytterligare förbättring.

En intressant iakttagelse är att talarens upplevelse av lokalen samvarierar med taluppfattbarheten. För de lokaler som använts i denna försöksserie tycks alltså lokalens feed-back till talaren ge en antydning om godheten hos talinformationsöverföringskedjan.

#### Fysikaliska mätmetoderna

Resultaten redovisas i tabellblad 11. Mätresultaten som funktioner av taluppfattbarheten framgår av kurvblad 11 - 13. Korrelationskoefficienten mellan dessa resultat och taluppfattbarhetstestens resultat samt mellan resultaten från de olika fysikaliska mätningarna framgår av tabellblad 10. Då linjär regression sannolikt ej föreligger mellan de fysikaliska måtten och taluppfattbarheten bör övre gränsen för korrelationskoefficienterna förväntas något understiga 1,00.

Korrelationskoefficienterna 0,487 och 0,594 tyder alltså på en samvariation med taluppfattbarheten. Vi antar att vi har att göra med tvådimensionella normalfördelade stokastiska variabler. Vi testar om korrelationskoefficienterna med 95-procentig signifikans avviker från noll.

$r$  = korrelationskoefficienten

$n$  = antal observationer

$$\xi = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \text{ är approximativt}$$

$t$  - fördelad med  $n - 2$  frihetsgrader

$$\begin{cases} n = 16 \\ r = 0,377 \end{cases} \text{ ger } \xi_1 \approx 1,53$$

$$\begin{cases} n = 16 \\ r = 0,487 \end{cases} \text{ ger } \xi_2 \approx 2,10$$

$$\begin{cases} n = 16 \\ r = 0,594 \end{cases} \text{ ger } \xi_3 \approx 2,73$$

$$F(\xi) = 0,975 \Rightarrow \xi = 2,14$$

Korrelationskoefficienten modulationsdämpning - taluppfattbarhet (-0,594) avviker signifikant från noll (95 %).

$$\frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r} \text{ är approximativt normalfördelad } N\left(\frac{1}{2} \ln \frac{1+\rho}{1-\rho}, \sqrt{\frac{1}{n-3}}\right),$$

där

$\rho$  = "sann korrelationskoefficient".

Detta kan användas dels till att testa om signifikant skillnad mellan korrelationskoefficienterna föreligger dels för att erhålla ett konfidensintervall för den "sanna korrelationskoefficienten".

Vi testar först om skillnaden mellan  $r_1 = 0,594$  och  $r_2 = 0,377$  är signifikant (95 %). Om så är fallet skall olikheten

$$\frac{1}{2} \ln \frac{1+r_1}{1-r_1} - \frac{1}{2} \ln \frac{1+r_2}{1-r_2} \geq 1,96 \sqrt{\frac{2}{n-3}}$$

vara uppfylld.

$$\frac{1}{2} \ln \frac{1,594 \cdot 0,623}{0,406 \cdot 1,377} \geq 1,96 \sqrt{\frac{2}{13}}$$

$$\frac{1}{2} \ln 1,78 \geq 0,77$$

$$0,29 \geq 0,77$$

Olikheten gäller ej varför skillnaden ej är signifikant.

Konfidensintervallen för de sanna korrelationskoefficienterna erhålles som

$$r \pm 1,96 \frac{1}{\sqrt{13}} \quad (95 \%)$$

$$r \pm 0,543$$

$$r_{(D_{CTH})} \in (-0,166, 0,920) \quad (95 \%)$$

$$r_{(D_{SAP})} \in (-0,056, 1,00) \quad (95 \%)$$

$$r_{(\text{mod.dämpn})} \in (0,051, 1,00) \quad (95 \%)$$

Vi erhåller alltså samma resultat som i det ovanstående nämligen att endast korrelationskoefficienten mellan modulationsdämpning och taluppfattbarhet signifikant skiljer sig från noll.

### Diskussion av resultat samt synpunkter på lokalutformning

En lokal utgör en länk i en akustisk överföringskanal. För en informationsöverförande kanal gäller allmänt att överföringen teoretiskt kan göras felfri om överföringshastigheten understiger en för kanalen karakteristisk storhet, kanalkapaciteten. Överföringshastigheter nära kanalkapaciteten medför praktiska svårigheter att nå felfri informationsöverföring.

Om man applicerar detta på begreppet taluppfattbarhet innebär det att man i alla lokaler kan nå god taluppfattbarhet, men att man under dåliga betingelser måste sänka talhastigheten. De praktiska svårigheterna vid överföringshastigheter nära "kanalkapaciteten" kan sägas motsvaras av den ökade svårigheten att uppfatta vad som sägs.

Även vid mycket dåliga förutsättningar, exempelvis såsom vi ibland kan uppleva situationer på större järnvägsstationer med bristfälligt högtalarsystem, kan man alltså uppnå en god taluppfattbarhet genom att på något sätt minska överförd informationsmängd per tidsenhet t.ex. långsamt tal eller genom upprepningar av sändningsföljderna.

Goda akustiska egenskaper är ett krav i undervisningslokaler, för att lyssnarna vid normal talhastighet skall kunna nå en taluppfattbarhet på upp mot 100 % utan att behöva anstränga sig i alltför hög grad. Lyssnarnas hela energi skall inte tas i anspråk för att de skall kunna rätt uppfatta den talade informationen. Huvudparten av lyssnarnas resurser bör i stället finnas tillgänglig för bearbetning av informationen.

Det är denna skillnad i svårighet att uppfatta tal för olika lokaler som i normaltillstånd har en taluppfattbarhet för satsar på upp emot 100 % som vi önskat få indikerad. Enligt beskrivningen ovan har detta skett genom att nonsensord använts och bakgrundsbuller tillsatts så att taluppfattbarheten hamnat i ett område med större diskrepans för olika akustiska miljöer.

Något mått kan ej ges på de ansträngningar som lyssnarna i olika lokaler måste göra sig för att kunna tillgodogöra sig undervisningen eller motsvarande. Det är också svårt att ge något objektivt mått på vad en ökning i taluppfattbarhet med en viss procent i praktiken innebär. Vår subjektiva uppfattning från genomförda försöksserier är emellertid att de skillnader i taluppfattbarhet som sedermera visat sig vara signifikanta även inneburit en påtaglig skillnad i komfort för lyssnaren.

Väsentligheten av att göra stora ansträngningar för att underlätta hörandet understrykes av resultat från uppfattbarhetsprov som gjorts med personer som haft hörselnedsättningar<sup>\*)</sup>. Det visade sig nämligen att vid försämrade lyssnarförhållanden kunde de normalhörande uppnå överraskande goda resultat medan personer med hörselnedsättningar nådde en mycket låg uppfattbarhet. Detta trots att de hade endast mycket begränsade hörselnedsättningar och i normala lokaler nådde resultat som var jämförbara med de normalhörandes. Skillnaden vid de sämre förhållandena var så stor att den torde medföra avsevärt sämre möjligheter för de hörselskadade att effektivt tillgodogöra sig den talade informationen.

De synpunkter på lokalutformning som framföres nedan grundar sig på resultat och erfarenheter under försöksserierna samt alla förstudier som utförts med den utvecklade metoden för taluppfattbarhetstest.

Helt naturligt ökar taluppfattbarheten med talarens nivå inom det område där den av talaren angivna ljudeffektnivån normalt befinner sig.

I normala hörsalar är inverkan av nivåförändringar eller snarare förändringar i förhållandet mellan talarnivå och bakgrundsnivå påtaglig även vid stort signal-störförhållande. Om en låg bakgrundsnivå göres ännu lägre ger det utslag i en ökad taluppfattbarhet.

\*) Dessa resultat är ej redovisade i denna rapport.



De hittills gjorda försöken tyder även på att försämringar beroende på ogynnsamma faktorer av annat slag (ex. lång efterklangstid, dåligt utnyttjande av reflexer) accentueras om man samtidigt har en hög bakgrundsnivå i lokalen.

Även en så ringa bakgrundsnivå som 30 dB(A) gav signifikant lägre taluppfattbarhet än ett bakgrundsbuller om ca 20 dB(A). I många praktiska fall neutraliseras visserligen denna effekt av att publikens närvaro och aktivitet medför en tämligen hög bakgrundsnivå, men resultatet antyder värdet av mycket intensiv bullerbekämpning i hörsalar. En låg bakgrundsnivå kan vara av större värde än en kort efterklangstid. (Effekterna är ej entydiga, då en förlängning av efterklangstiden vid konstant talhastighet medför en höjning av den reella bakgrundsnivån.)

Det finns således skäl att diskutera om ej de gränser för högsta tillåtna bakgrundsnivå i undervisningslokaler som ges i KBS-anvisningar och i SBN 67 är för liberala.

Detta skulle naturligtvis medföra hårdare krav på lokalernas ljudisolering vilket kan medföra byggnadstekniska och byggnadsakustiska problem.

Två större hörsalar ( $850 \text{ m}^3$  respektive  $1200 \text{ m}^3$ ) har studerats noggrant. I dessa inte alltför stora lokaler uppstår stora skillnader i taluppfattbarhet mellan olika platser. Dessa variationer stämmer väl överens med resultaten av en geometrisk studie av lokalen. (Se figurblad 5.)

Resultaten från taluppfattbarhetsproven poängterar betydelsen av att takreflexerna ges en jämn spridning över lokalen. Taket bör ej utföras så att det ger bra reflexer endast vid en talarplacering såsom var fallet i den ena av de undersökta lokalerna. God taluppfattbarhet måste kunna uppnås vid samtliga aktiviteter (ex. muntlig framställning med eller utan användandet av "svarta tavlan", användande av overheadprojektor). Då olika talaraktiviteter ofta medför olika talarplaceringar måste en ev. takreflektor

utföras så att den fyller sin funktion för samtliga dessa placeringar.

Tidiga takreflexer ger förutom höjd uppfattbarhet även en för talaren positiv upplevelse av lokalen varvid den framstår som mer lättarbetad. Det är emellertid viktigt att lokalens feedback till talaren överensstämmer med publikens upplevelse av lokalen. Detta var fallet i den lokal med stor takhöjd vid talaren som studerats där en takreflektor ökade både taluppfattbarheten och talarens känsla av säkerhet, enligt egen subjektiv bedömning. Man får emellertid se upp så att talaren ej frestas att sänka rösten vid det bättre stöd han får av takreflektorn. Därigenom skulle den förbättring av taluppfattbarheten som takreflektorn ger kunna spolieras.

Vid en lämplig avvägning mellan ökningen av verksam ljudeffekt ut till åhörarna och stödreflexer till talaren bör emellertid både talare och lyssnare kunna notera en förbättring.

Önskemålen från akustisk synpunkt kommer emellertid här ofta i konflikt med önskemål om att kunna använda främre väggen som projektduk. Det lämpligaste utförandet måste vara en kompromiss mellan dessa önskemål. Projektörerna måste emellertid ha klart för sig att de akustiska synpunkterna på lokalutformningen är mycket viktiga.

I den mindre lokalen ( $12 \times 9 \times 3,65 \text{ m}^3$ ) varierades bl.a. absorberbentplaceringen vid konstant efterklangstid. Mellan- och högfrekvensabsorption i taket nedsätter där uppfattbarheten jämfört med helt reflekterande tak trots att avståndet mellan talare och bortesta lyssnarpositionen understeg 8 m. Däremot erhöles vid denna lokalstorlek ingen signifikant skillnad mellan helt reflekterande och absorberande bakvägg.

Maximal taluppfattbarhet har inte erhållits vid den efterklangstid som enligt tidigare undersökningar skulle varit den optimala i den mindre lokalen, nämligen ca 0,75 s utan för en väsentligt kortare efterklangstid 0,35 s. Det är möjligt att ett ännu gynnsammare resultat kunnat ernås vid en efterklangstid mellan dessa båda värden eller med ännu kortare efterklangstid.

En så lång efterklangstid som 1,2 s ger en mycket markant sänkning av uppfattbarheten. Om efterklangstiden däremot är lång enbart vid låga frekvenser, synes detta inte vara någon större nackdel ur uppfattbarhetssynpunkt. En förlängning av efterklangstiden i lågfrekvensområdet är emellertid olämplig om elektroakustiska hjälpmedel avses att användas i lokalen.

Vid konstant efterklangstid har ganska små variationer iakttagits, när absorberterna givits olika placeringar, eller tälaren placerats på olika sätt så länge taket bidrar med tidiga reflexer.

De värden på storheten integrationskvot som erhållits med de båda använda apparaterna (en tillverkad särskilt till detta arbete samt ett examensarbete från CTH) har inbördes en mycket god korrelation.

De korrelerar även i viss utsträckning med taluppfattbarhetsmättet. Resultatet från modulationsdämpningsmätningarna korrelerar emellertid bättre med uppfattbarheten. Denna korrelationskoefficient är den enda korrelationskoefficient mellan uppfattbarhetsmättet och en fysikalisk mätning som ger en korrelation som signifikant avviker från noll på nivån 95 %. Detta tyder alltså på att modulationsdämpningen kan vara det något bättre måttet. Det föreligger emellertid ingen signifikant skillnad. Våra försök tyder alltså på att integrationskvoten inte är någotsärskilt relevant mått på en lokals akustiska godhet ur taluppfattbarhetssynpunkt.

Erfarenhetsmaterialet är emellertid än så länge litet. Det kan även nämnas att modulationsdämpningsmätning har varit en god hjälp vid intrimning av högtalaranläggningar i större arenor, bl.a. i Scandinavium i Göteborg.

Mätvärdena vid mätning av modulationsdämpning och integrationskvot tycks påverkas av helt olika faktorer. De till varje tillstånd hörande mätvärdena uppvisar nämligen en mycket låg korrelation inbördes.

Mot båda metoderna kan anmärkas att, trots att ganska stora skillnader i uppfattbarhet förekommit under försöken, resultatens dynamik med tanke på mätnoggrannheten måste sägas vara liten. I synnerhet vad gäller modulationsdämpningen bör denna kunna förbättras, t.ex. genom modifiering av förhållandet mellan pulslängd och pulslucka och viktning av frekvensområdena.

I den form som de fysikaliska mätmetoderna här använts tycks de innebära en något för grov approximering av de komplicerade förlopp av variabler som styr taluppfattbarheten.

## Appendix

### Kort sammanfattning av litteraturgenomgång

En genomgång av litteratur över taluppfattbarhetsstudier har genomförts och redovisats i en tidigare delrapport. Här skall endast några mycket korta hänvisningar göras.

Hirsch [1] har studerat taluppfattbarheten som funktion av nivå och visar hur denna kurvas branthet varierar med olika typer av ordmaterial.

Lochner och Burger [2] anger att uppfattbarheten som funktion av nivån är monotont stigande om störnivån är konstant. Om i stället signal - störförhållandet är konstant erhålles ett maximum mellan 80 och 90 dB.

Försök har tidigare gjorts att uppskatta de olika frekvensavsnittens bidrag till taluppfattbarheten. French och Steinberg [3] beskriver resultaten av olika försök samt det ur dessa framarbetade måttet "articulation index" (A I). Man använder sig av lyssningsprov med nonsensord. Om man delar upp spektrum i en lågfrekvent del och en högfrekvent del så att dessa områden gränsar till varandra och ger lika stor uppfattbarhet ger båda mer än 50 % uppfattbarhet. Gränsen mellan dem hamnar vid ca 1700 Hz för engelska.

På 50-talet försökte man utveckla en mätmetod som skulle kunna ge ett karakteristiskt mått på rummet som del i en överföringskedja. En kort ljudpuls skickades ut och man mätte integrerat ljud under olika tidsintervall på olika punkter i en lokal.

Försök rörande örats integrationstid gav vid handen att ljud som kom in inom 50 ms kunde betraktas som nyttigt ljud. Allt ljud som kommer in senare än efter 50 ms betraktas som störning enligt Meyers förslag till kvoten D, (integrationskvot, ty. Deutlichkeit).

Meyer [4] påpekar emellertid själv senare att det är skillnad på den störning som åstadkommes av ett enstaka sent eko jämfört med efterklangsförloppet. Om man till exempel har ett sent eko som ger stor störning och mellan det ursprungliga ljudet och detta ekot placerar in ytterligare ett eko kan störningsgraden minska väsentligt. Niese [5] har arbetat vidare på denna linje och betraktar enbart enstaka reflexer som ger högre nivå än det exponentiella efterklangsförloppet som störande. Niese använde dessutom andra tidsgränser. I stället för integration av enstaka pulser skulle modulationsmätning med modulerad sinus- eller brus-signal kunna användas. En metod med pulsad sinussignal användes för modellrumsförsök och beskrivs av Jordan i hans avhandling [15]

Meyer och Thiele [14] redovisar mätningar med beskrivna fysikaliska metoder i stora lokaler.

Att enbart knyta den fysikaliska mätmetoden till örats integrationstid, då även talhastigheten har betydelse för uppfattbarheten i en lokal med tämligen lång efterklangstid är ofullständigt. Haas [6] försök belyser betydelsen av talhastighet.

Då man försöker sammanställa alla vunna erfarenheter till en metod som tar hänsyn till alla olika fenomen som t.ex. spektrums utseende (AI) [3], rumsdynamiken (Meyer [4], Lochner och Burger [2]), skillnaden mellan efterklangsljud och ekon (Niese [5]), genom att sammanlagra metoderna (Janssen [7]) finner man en hel del diskrepanser mellan olika forskares resultat.

En dansk utredning på skolakustikens område, (Ingerslev et.al. [8]), vilken även har avläggare i svenska rekommendationer anger hur man kan ernå en viss efterklangstid i sådana lokaler. Det rekommenderas även hur absorbenter skall placeras, t.ex. att vissa takreflexer bör behållas och att bakväggen skall utnyttjas för absorbenter. I Sverige finns rekommendationer från Statens Institut för Byggnadsforskning [17] som anger efterklangstid och rekommenderar absorbentplacering. Ett symposium rörande skolakustik

anordnat av Acoustical Society of America finns i sammandrag i referens [9]. Vid symposiet 1960 framlade D'Eustachio resultat från uppfattbarhetsprov i rum av moderat storlek [10].

Till grund för rekommenderade efterklangstider ligger dels allmän erfarenhet, dels direkta uppfattbarhetsprov. Békésy [11] påpekar att uppfattbarhetsprov ger god information rörande lämplig efterklangstid för salar som enbart skall användas till hörsalar. Han utreder närmare hur man reagerar för olika avklingningsförlopp. Koncentrationen på ett visst förlopp förefaller att kunna hållas i ungefär 0,8 sekunder. Ett förlopp av efterklangskaraktär bör därför inte upplevas under längre tid, då man uppfattar det som störande att det inte kommer nytt förlopp efter denna tid. Det påpekas även att för normal talhastighet innebär 0,8 sekunder fyra stavelser.

Försök avsedda att klarlägga hur ofta olika ljud uppfattas rätt eller fel även beroende av deras ställning i de olika orden har utförts av Ormestad [12]. Försöken är utförda i en hörsal och ansluter därför till detta arbete. Ormestads intresse har framför allt gällt hur olika norska dialekter uppfattas, men många intressanta mera allmänna resultat, när det gäller uppfattbarhetsprov anges. Bl.a. har arbetet resulterat i matriser över hur ett språkljud uppfattas, s.k. förväxlingsmatriser.

Ormestad gjorde i sina försök uppfattbarhetsprov på en mängd olika platser i den sal han använde. Han presenterar resultatet bl.a. som kurvor över lika uppfattbarhet s.k. isokatalepter. Några akustiska ändringar i salen har han däremot inte gjort. Han refererar emellertid till undersökningar av Berg och Holtsmark som har gjort prov med stora reflektorer i hörsalar [13].

Referenser

- [ 1 ] Hirsch I J  
The Measurement on Hearing  
Mc Graw-Hill Book Company New York (1952)
- [ 2 ] Lochner J P A Burger J F  
The intelligibility of speech under reverberant conditions  
Acustica 11 (1961) p. 195
- [ 3 ] French N R, Steinberg I C  
Factors Governing the Intelligibility of Speech Sounds  
JASA 19 (1947) p 90
- [ 4 ] Meyer E, Schodder G R  
Über den einfluss von Schallrückwürfen auf Richtungslokalisation und Lautstärke bei Sprache  
Nachrichten der Akademie der Wissenschaften i Göttingen  
IIa (1952) Nr 6, p 31
- [ 5 ] Niese H  
Vorschlag für die Definition und Messung der Deutlichkeit nach subjektiven Grundlagen  
Hochfrequenztechn. und Elektroakustik, Bd 65 (1956) Heft 1, p 4
- [ 6 ] Haas H  
Über den Einfluss des Einfachechos auf die Hörsamkeit von Sprache  
Acustica 1 (1951) p 49
- [ 7 ] Janssen J H  
A method for the calculation of speech intelligibility under conditions of reverberation and noise  
Acustica 7 (1957) p 305
- [ 8 ] Ingerslev F, Petersen I, Kristensen I  
Akustiske problemer i skolebygninger  
Statens Byggeforskningsinstitut Rapport nr 23 (1957)



- [ 9 ]           Symposium on School Acoustics  
JASA 34 (1962) p 726
- [ 10 ]           D'Eustachio  
Articulation testing in moderate sized rooms  
ASA Sixtieth meeting U 10, U 11  
JASA 32 (1960) p 1525
- [ 11 ]           von Békésy G  
Experiments in Hearing  
Mc Graw-Hill, New York (1960)
- [ 12 ]           Ormestad H  
Höreskarphet og taletydighet og forståeligheten av de  
norskse språklyder  
Akademisk forlag, Oslo (1955)
- [ 13 ]           Berg R, Holtsmark J  
D.K.N.V.S. Forh., 13, 65 (1940)
- [ 14 ]           von Meyer E, Thiele R  
Raumakustische Untersuchungen in zahlreichen Konzertsälen  
und Rundfunkstudios under Anwendung neuerer Messverfahren  
Acustica 6 (1956) p 425
- [ 15 ]           Jordan V L  
Elektroakustiske Undersøgelser af Materialer og Modeller  
Reitzels Forlag, Köpenhamn (1941)
- [ 16 ]           Nordlund B, Kihlman T, Lindblad S  
Use of Articulation Test in Auditorium Acoustics  
JASA 44 (1968) p 148
- [ 17 ]           Statens Institut för Byggnadsforskning  
Akustisk Planering av klass- och grupprum  
1965:8 Byggnadsforskningens Informationsblad

1 Permutationsschema

Lista och plats nr

Permutation: Cyklisk med start på 11.

Tillstånd	1 o 10	2 o 11	3 o 12	4 o 13	5 o 14	6 o 15	7 o 16	8 o 17	9 o 18
1 a 1	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1 a 2	12	13	14	15	16	17	18	19	11
1 a 3	13	14	15	16	17	18	19	11	12
1 b	14	15	16	17	18	19	11	12	13
1 c	15	16	17	18	19	11	12	13	14
2 a	16	17	18	19	11	12	13	14	15
2 b	17	18	19	11	12	13	14	15	16
3	18	19	11	12	13	14	15	16	17
4	19	11	12	13	14	15	16	17	18

2 Gruppresultat %

Bakgrund 35 dB(A)

Tillstånd	Grupp nr									Medel- värde	Stand. avvik- else	95 % konfidens- intervall
	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
1 a 1	82,8	78,8	81,8	84,8	85,8	84,5	86,5	84,8	86,8	84,1	5,0	3,9
1 a 2	83,3	88,5	81,5	86,0	86,0	82,8	87,5	90,0	83,5	85,5	4,9	3,8
1 a 3	82,0	86,0	84,0	84,0	88,3	79,8	89,0	89,0	87,8	85,6	5,1	4,0
1 b	82,8	81,3	90,3	85,0	82,5	72,3	81,5	80,5	88,5	82,7	6,1	4,7
1 c	89,0	86,0	84,0	87,8	86,8	81,3	87,3	84,8	87,5	86,1	3,8	2,9
2 a	76,5	79,5	79,5	73,0	83,5	70,3	78,3	72,0	76,8	76,6	6,0	4,6
2 b	71,5	77,8	83,5	81,8	81,5	73,5	79,0	72,8	73,0	77,2	6,6	5,1
3	92,8	90,5	89,8	94,0	95,3	86,3	92,5	89,8	93,8	91,6	3,9	3,0
4	77,0	82,5	79,5	83,5	87,5	81,0	81,5	84,5	88,3	82,8	5,4	4,2

3 Gruppresultat %

Bakgrund 45 dB(A)

Tillstånd	Grupp nr									Medel- värde	Stand. avvik- else	95 % konfidens- intervall
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
1 a 1	82,5	78,5	79,5	78,5	78,5	76,0	80,0	77,3	75,8	78,5	4,9	3,8
1 a 2	80,5	81,3	80,3	74,3	78,3	77,8	87,5	86,0	74,5	80,1	5,6	4,3
1 a 3	73,3	83,3	71,5	76,8	80,3	76,0	85,3	82,3	75,5	78,3	6,4	4,9
1 b	79,0	77,0	80,3	72,8	70,3	67,5	77,8	77,3	75,5	75,3	6,4	4,9
1 c	85,3	84,3	76,5	79,5	81,5	77,8	86,3	78,5	75,0	80,5	5,3	4,1
2 a	67,3	74,3	71,3	68,8	66,0	73,3	70,3	61,5	59,0	68,0	7,2	5,5
2 b	70,0	77,8	75,8	66,8	64,8	69,3	73,8	65,3	60,3	69,3	7,0	5,4
3	89,0	91,5	80,5	88,5	85,8	78,8	88,8	89,8	84,0	86,3	5,1	3,9
4	74,3	81,8	77,5	80,8	80,3	75,8	77,8	81,0	77,5	78,5	4,4	3,4

Differenser personvis för % uppfattbarhet vid  
bakgrund 35 dB(A)

---

(1 a 2) - (1 a 1)	(1 a 2) - (1 b)
- 6	+ 1
+ 6	+ 3
- 4	- 10
+ 6	+ 8
+ 13	+ 4
+ 9	+ 7
+ 13	+ 8
+ 4	+ 10
- 6	- 13
- 2	- 7
+ 2	- 13
+ 5	- 2
+ 9 $\bar{x} = 1,4$	- 2 $\bar{x} = 2,7$
- 2 $s = 5,6$	- 1 $s = 7,5$
- 3 $\text{Konf.int. (95 \% } \pm) =$	$\pm 0$ $\text{Konf.int. (95 \% } \pm) =$
+ 1 $= 0,93$	+ 7 $= 1,3$
- 1 $Mv = 1,4 \pm 0,9$	+ 3 $Mv = 2,7 \pm 1,3$
$\pm 0$	+ 2
+ 1	+ 4
+ 1	+ 5
+ 1	+ 15
+ 4	+ 17
- 12	+ 3
$\pm 0$	+ 7
+ 6	+ 9
+ 1	+ 8
- 2	+ 2
- 1	+ 5
+ 3	+ 6
+ 4	+ 5
+ 11	+ 12
+ 3	+ 15
$\pm 0$	- 11
- 3	- 4
- 8	- 6
- 2	+ 1

Differenser mellan medelvärden med konfidensintervall (95 %,  $\pm$ )

45 dB(A)

	1 a 1	1 a 2	1 a 3	1 b	1 c	2 a	2 b	3	4	Konfidensintervall
1 a 1		5,2	5,7	5,7	5,1	6,1	6,0	5,0	4,6	
1 a 2 - 1,6			6,0	6,0	5,4	6,4	6,3	5,3	5,0	
1 a 3 + 0,2 + 1,8				6,4	5,8	6,7	6,6	5,7	5,4	
1 b + 3,2 + 4,8 + 3,0					5,8	6,7	6,6	5,7	5,4	
1 c - 2,0 - 0,4 - 2,2 - 5,2						6,3	6,1	5,1	4,8	
2 a + <u>10,5</u> + <u>12,1</u> + <u>10,3</u> + <u>7,3</u> + <u>12,5</u>							7,0	6,2	5,9	
2 b + <u>9,2</u> + <u>10,8</u> + <u>9,0</u> + 6,0 + <u>11,2</u> - 1,3								6,1	5,8	
3 - <u>7,8</u> - <u>6,2</u> - <u>8,0</u> - <u>11,0</u> - <u>5,8</u> - <u>18,3</u> - <u>17,0</u>									4,7	
4 $\pm$ 0 + 1,6 - 0,2 - 3,2 + 2,0 - <u>10,5</u> - <u>9,2</u> + <u>7,8</u>										

Medelvårdens differenser

35 dB(A)

	1 a 1	1 a 2	1 a 3	1 b	1 c	2 a	2 b	3	4	Konfidensintervall
1 a 1		4,9	5,0	5,5	4,4	5,5	5,8	4,4	5,2	
1 a 2 - 1,4			5,0	5,5	4,4	5,4	5,8	4,4	5,1	
1 a 3 - 1,5 - 0,1				5,6	4,5	5,5	5,8	4,5	5,2	
1 b + 1,4 + 2,8 + 2,9					5,0	6,0	6,3	5,1	5,7	
1 c - 2,0 - 0,6 - 0,5 - 3,4						5,0	5,3	3,8	4,6	
2 a + <u>7,5</u> + <u>8,9</u> + <u>9,0</u> + <u>6,1</u> + <u>9,5</u>							6,2	5,0	5,6	
2 b + <u>6,9</u> + <u>8,3</u> + <u>8,4</u> + 5,5 + <u>8,9</u> - 0,6								5,4	6,0	
3 - <u>7,5</u> - <u>6,1</u> - <u>6,0</u> - <u>8,9</u> - <u>5,5</u> - <u>15,0</u> - <u>14,4</u>									4,6	
4 + 1,3 + 2,7 + 2,8 - 0,1 + 3,3 - <u>6,2</u> - 5,6 + <u>8,8</u>										

Medelvårdens differenser

		<i>Mittfrekvens i Hz. Oktavband.</i>										
		1)	2)	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
1	1a1 Talare mot vägg	8,0	9,1			4,0	6,9	7,5	9,7	9,8	7,7	
2	1a2 " " publik	7,8	8,6			4,6	7,5	8,0	9,0	8,6	7,9	
3	1a3 " sittande	7,8	8,7			4,0	6,3	7,8	9,0	9,2	8,4	
4	1b	8,8	9,9			5,3	6,8	7,9	9,6	11,4	9,2	
5	1c	8,1	8,9			4,1	6,9	8,0	8,6	9,8	9,2	
6	2a	9,6	10,2			5,1	7,4	8,5	10,1	11,4	11,6	
7	2b	7,8	8,2			3,3	5,4	6,6	8,0	9,5	10,3	
8	3	5,9	6,2			4,4	6,2	5,9	6,9	5,8	5,4	
9	4	7,9	8,6			5,1	7,1	8,0	9,0	8,6	8,4	
10												
11												
12												
13												
14												
15												

1) Lin. medelvärde för oktaverna 125 - 4000 Hz

2) " " " " 500 - 2000 Hz

## 7 Gruppresultat %

## Serie A

Tillstånd	grupp nr									Medel- värde	Stand. avvik- else	95 % konfidens- intervall
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
A 1	81,2	69,8	71,2	75,8	76,5	68,5	75,2	70,0	76,0	73,8	5,3	1,8
A 2	64,8	61,2	68,2	66,2	54,8	50,8	55,0	53,2	64,0	59,8	8,2	2,8
A 3	68,5	57,2	67,5	66,5	61,8	56,8	65,2	57,5	63,8	62,7	6,5	2,2
A 4	80,2	80,2	72,5	75,8	74,5	76,0	77,5	74,8	69,8	75,6	6,4	2,2
A 5	79,8	73,2	72,2	70,4	71,0	68,8	74,8	65,8	68,0	71,5	6,5	2,2
A 6	85,5	72,8	75,5	78,0	79,5	73,8	77,5	79,2	84,0	78,4	6,4	2,2
A 7	76,2	71,0	73,8	68,2	68,2	67,8	74,0	77,0	68,2	71,6	6,5	2,2
A 8	76,8	76,0	76,0	83,0	75,2	72,0	81,8	71,0	75,5	76,4	7,0	2,4
A 9	76,2	72,6	72,0	74,2	70,0	83,8	76,2	63,2	72,4	73,4	7,6	2,6

## 8 Gruppresultat %

## Serie B

Tillstånd	Grupp nr									Medel- värde	Stand. avik- else	95 % Konfidens- intervall
	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
B 1	56,8	58,5	49,2	52,8	55,8	55,0	55,2	45,7	58,5	54,2	6,1	2,1
B 2	65,8	67,0	65,8	71,8	60,8	60,8	58,4	58,0	65,8	63,8	6,8	2,3
B 3	52,5	71,2	75,5	63,8	67,5	73,0	71,0	55,8	56,0	65,1	8,8	3,0
B 4	60,8	75,0	65,0	68,5	64,1	74,8	63,8	60,8	57,8	65,6	7,1	2,4
B 5	74,8	72,2	73,8	69,0	67,8	67,5	76,2	65,2	68,0	70,5	5,6	1,9
B 6	68,2	73,2	72,0	74,5	66,2	69,2	62,0	70,5	77,2	70,4	6,7	2,3
B 7	67,2	72,2	70,8	63,5	72,5	70,0	67,8	73,0	67,0	69,3	5,5	1,9
B 8	67,9	74,8	67,2	73,0	63,2	71,2	76,5	66,2	68,2	69,8	6,0	2,0
B 9	62,0	72,5	73,2	62,5	64,8	73,0	67,8	63,0	67,6	67,4	6,5	2,2

Medelvärde av taluppfattbarhet (i procent rätt uppfattade ord)  
i de fyra lokalerna

FA	60,1 %
H4	69,7 %
H4'	72,4 %
H4''	71,8 %

Skillnader i uppfattbarhet (i procent) mellan de olika lokalerna

	H4	H4'	H4''
H4'	<u>+ 2,7</u>		
H4''	+ 2,1	- 0,6	
FA	<u>- 9,6</u>	<u>- 12,3</u>	<u>- 11,7</u>

Skillnader i uppfattbarhet (i procent) mellan olika platser  
i samma hörsal.

H4				H4'			
Plats	A	B	C	Plats	A	B	C
B	<u>- 10,5</u>			B	<u>- 8,0</u>		
C	<u>- 10,0</u>	+ 0,5		C	<u>- 9,1</u>	- 1,1	
D	<u>- 4,1</u>	<u>+ 5,4</u>	<u>+ 4,9</u>	D	<u>- 6,8</u>	+ 1,2	+ 2,3
H4''				FA			
Plats	A	B	C	Plats	A	B	C
B	<u>- 6,6</u>			B	<u>- 5,6</u>		
C	<u>- 9,0</u>			C	<u>+ 4,0</u>	<u>+ 9,6</u>	
D	<u>- 3,0</u>	<u>+ 3,6</u>	<u>+ 6,0</u>	D	<u>+ 2,9</u>	<u>+ 8,5</u>	- 1,1

Dubbel understrykning	Skillnaden signifikant	(99 %)
Enkel understrykning	Skillnaden signifikant	(95 %)
Streckad understrykning	Skillnaden signifikant	(90 %)

Exempel: Uppfattbarhet H4 plats D - H4 plats B = 5,4 %  
Skillnaden är signifikant (99 %)

Skillnader i uppfattbarhet (i procent) mellan motsvarande platser i olika hörsalar.

Plats A				Plats B			
Hörsal	H4	H4'	H4''	Hörsal	H4	H4'	H4''
H4'	+ 2,8			H4'	+ 5,3		
H4''	+ 0,8	- 2,0		H4''	+ 4,7	- 0,6	
FA	- 15,8	- 18,6	- 16,6	FA	- 10,9	- 16,2	- 15,6

Plats C				Plats D			
Hörsal	H4	H4'	H4''	Hörsal	H4	H4'	H4''
H4'	+ 3,7			H4'	+ 0,1		
H4''	+ 1,8	- 1,9		H4''	+ 1,9	+ 1,8	
FA	- 1,8	- 5,5	- 3,6	FA	- 8,8	- 8,9	- 10,7

Dubbel understrykning	Skillnaden signifikant	( 99 %)
Enkel understrykning	Skillnaden signifikant	( 95 %)
Streckad understrykning	Skillnaden signifikant	( 90 %)

Exempel: Uppfattbarhet H4' plats C - H4 plats C = 3,7 %  
Skillnaden är signifikant (95 %)

Korrelationskoefficienter

	Uppfattbarhet	M	D <sub>CTH</sub>
M	- 0,594		
D <sub>CTH</sub>	0,377	0,075	
D <sub>SAP</sub>	0,487	0,080	0,928

M = Modulationsdämpning

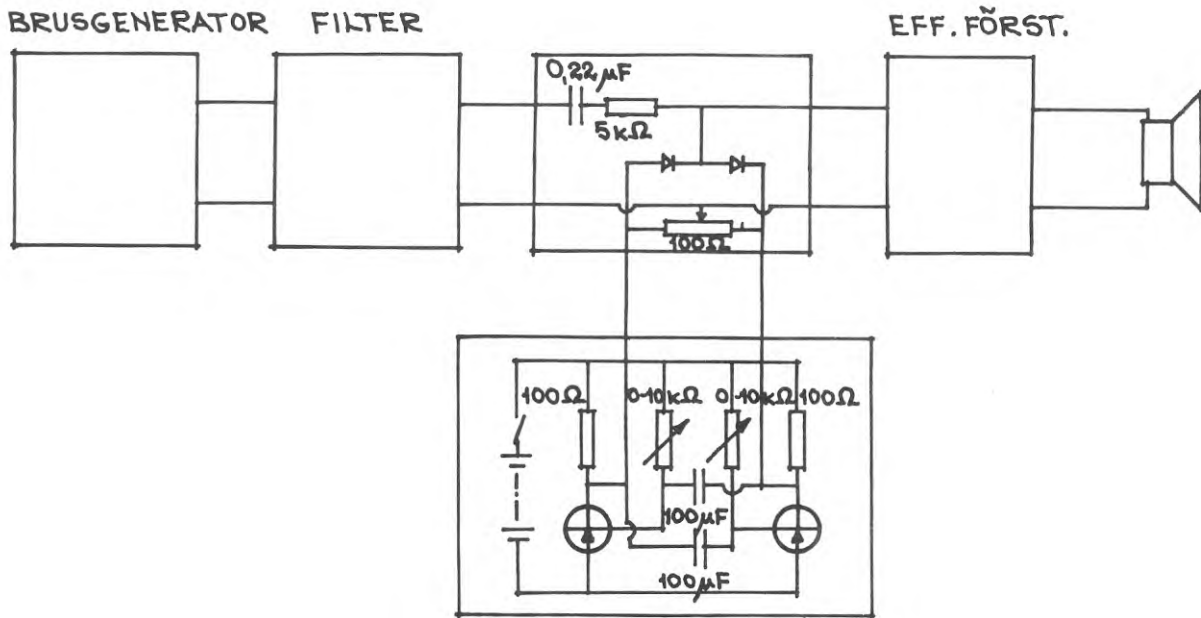
D<sub>CTH</sub> = Integrationskvot mätt med instrument från CTH

D<sub>SAP</sub> = - " - - " - " - " - " - Svensk Akustik-  
planering AB

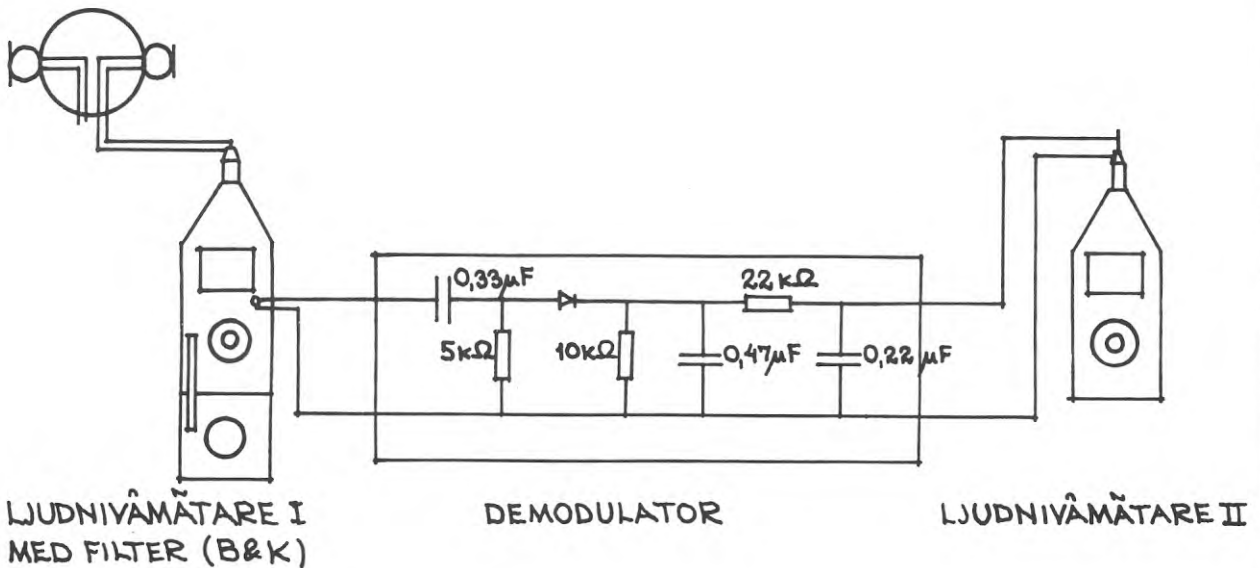


Resultat av fysikaliska mätningar + taluppfattbarheten i procent  
rätta ord

Plats	Modulationsdämpn. dB	Integrationskvot		Taluppfattbarhet %
		Instr. från CTH	Eget instr.	
FA:A	6,5	0,29	0,28	59,8
:B	10,8	0,37	0,32	54,2
:C	5,2	0,34	0,31	63,8
:C	7,2	0,32	0,30	62,7
H4:A	6,3	0,35	0,34	75,6
:B	8,7	0,41	0,39	65,1
:C	9,5	0,38	0,35	65,6
:D	8,5	0,38	0,37	71,0
H4':A	5,7	0,39	0,36	78,4
:B	5,0	0,39	0,36	70,4
:C	7,8	0,43	0,38	69,3
:D	5,8	0,42	0,39	71,6
H4'':A	5,3	0,37	0,34	76,4
:B	5,2	0,41	0,35	69,8
:C	7,7	0,42	0,38	67,4
:C	5,8	0,39	0,35	73,4

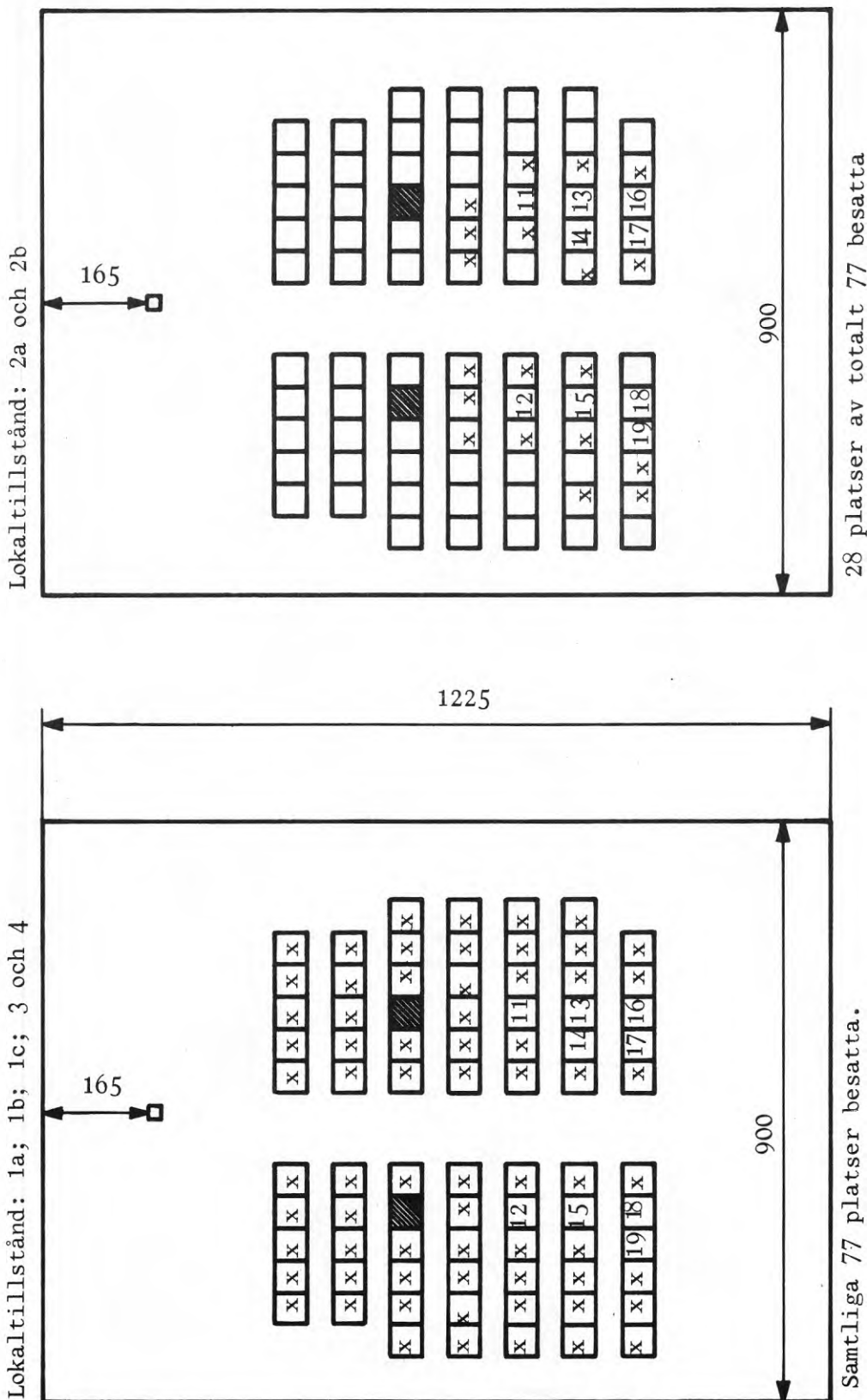


BRUSPULSSÄNDNING

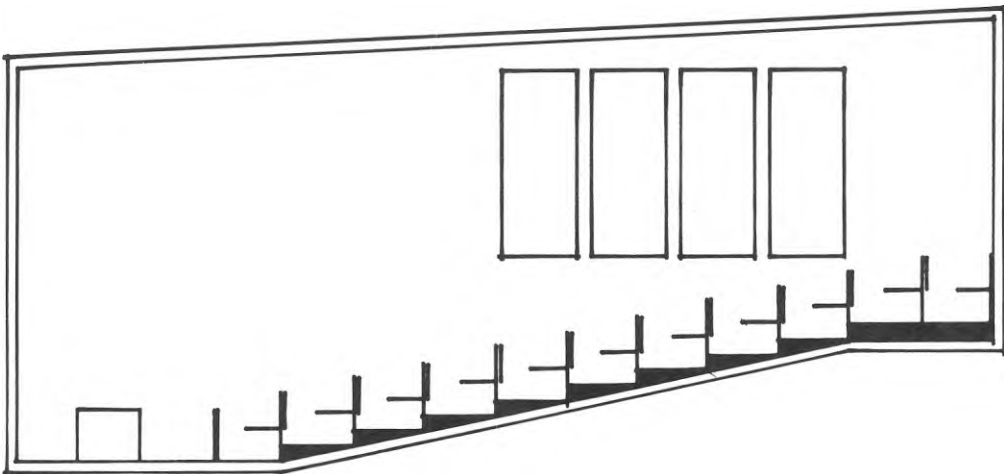
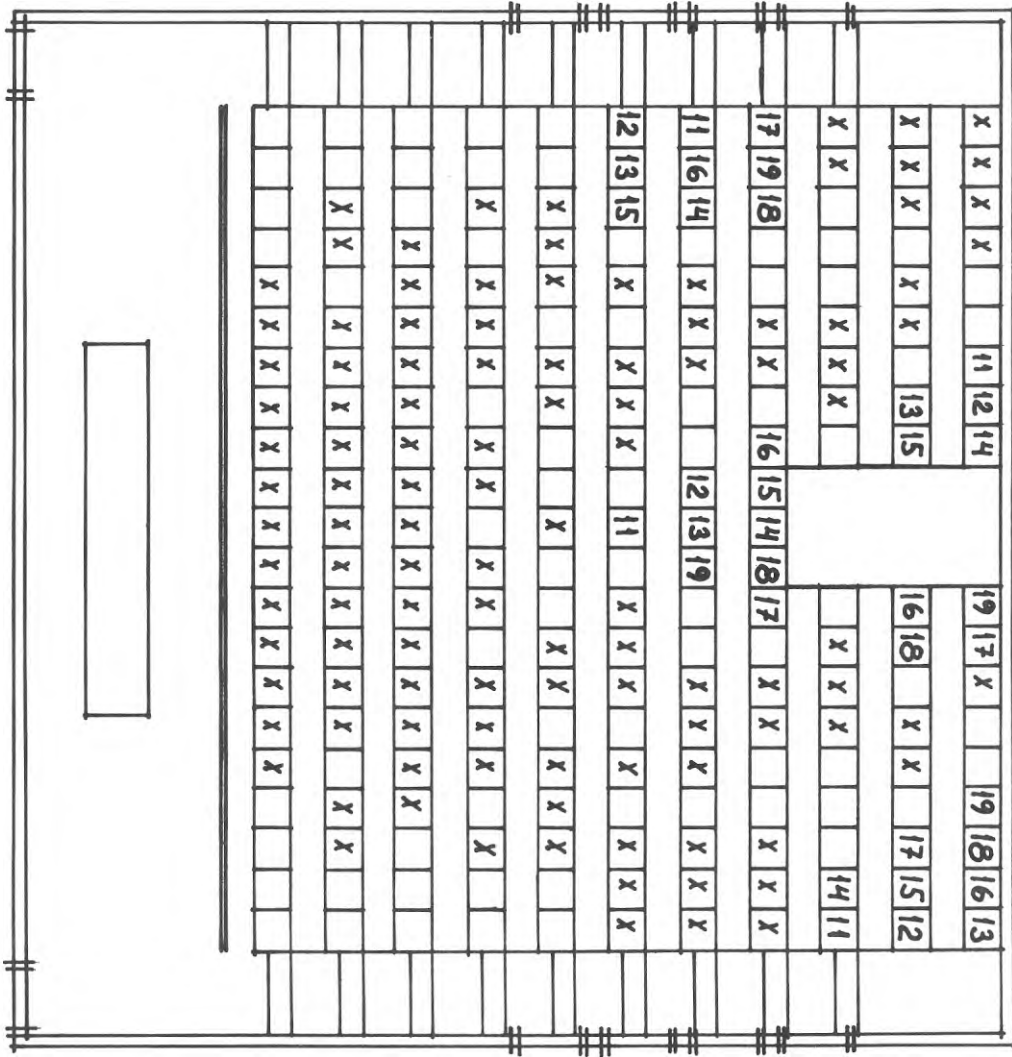


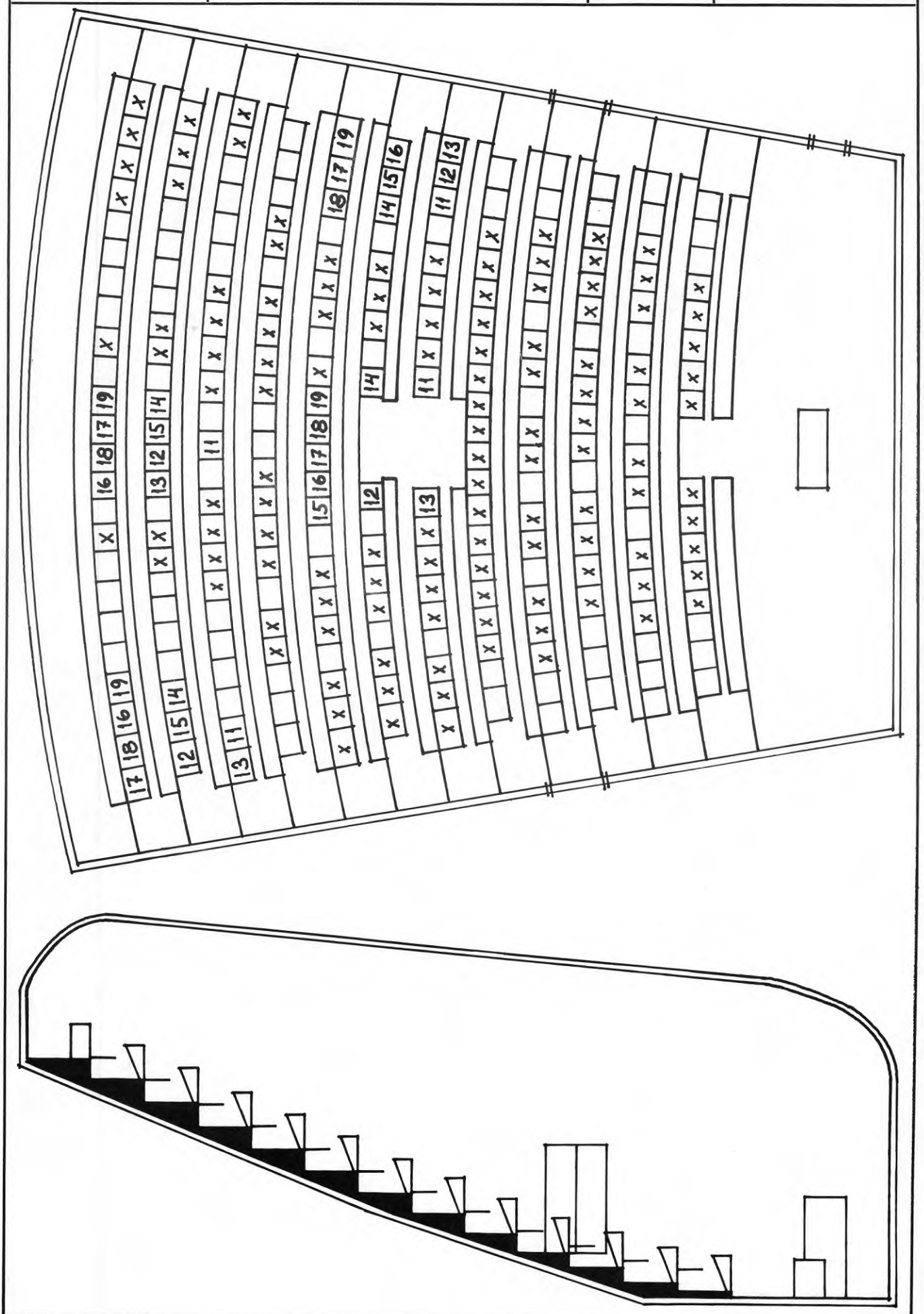
BRUSPULSDEMODULERING

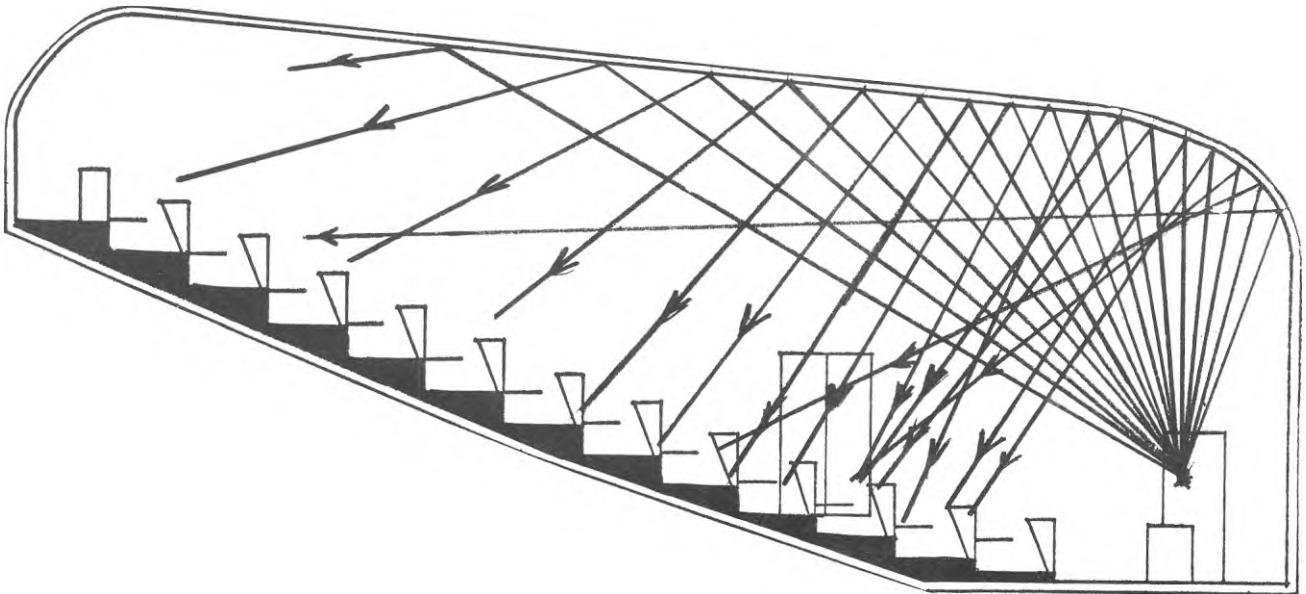
Skala 1:100 Mått i cm



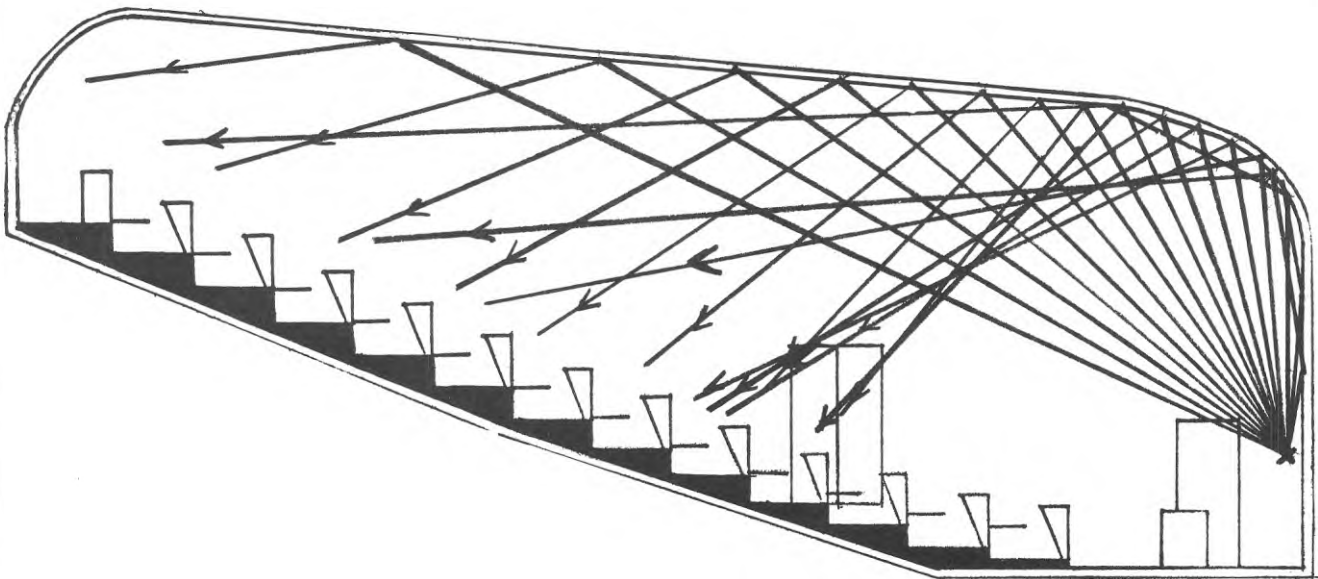
Rutor med x visar platser besatta med absalon. Rutor med nummer visar inspelningsplatsernas lägen. Streckad ruta betyder pelare. T = talare





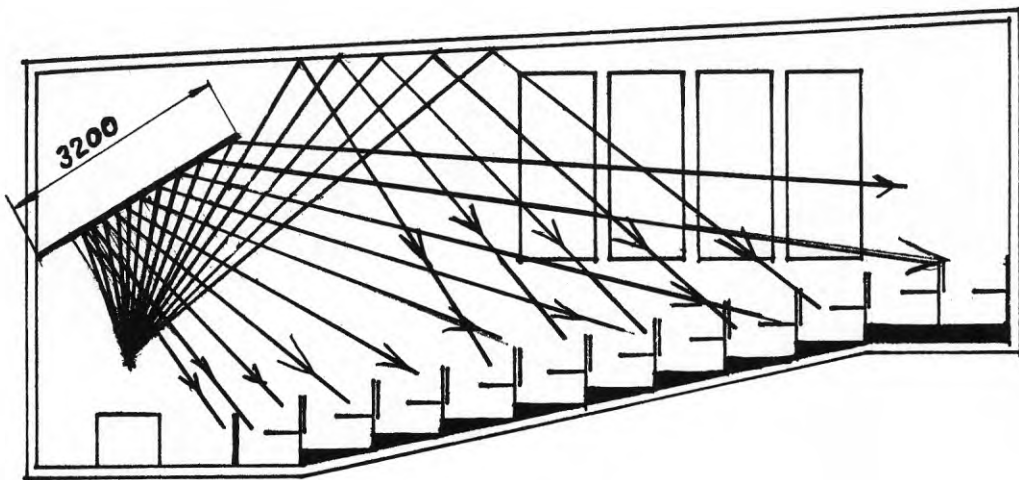
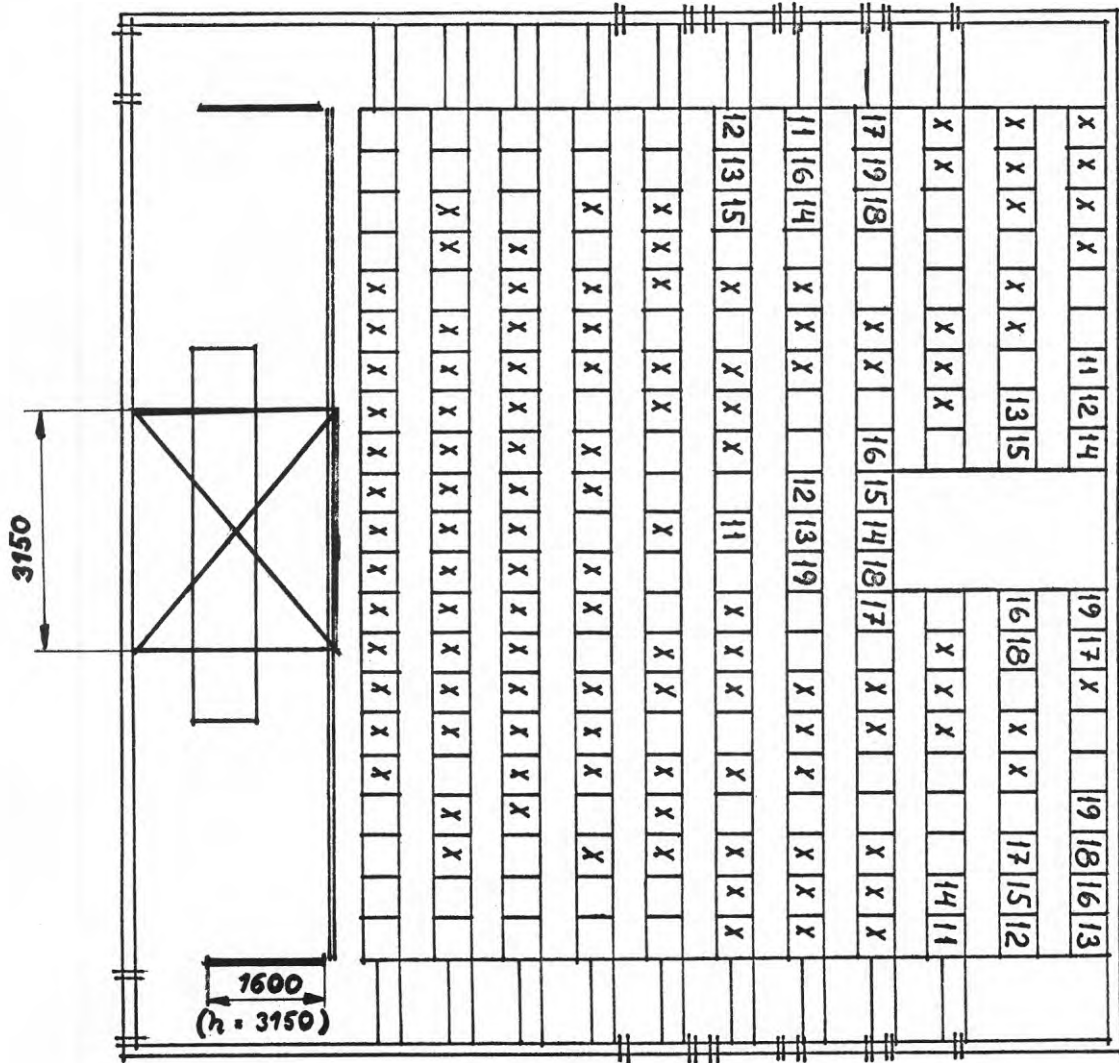


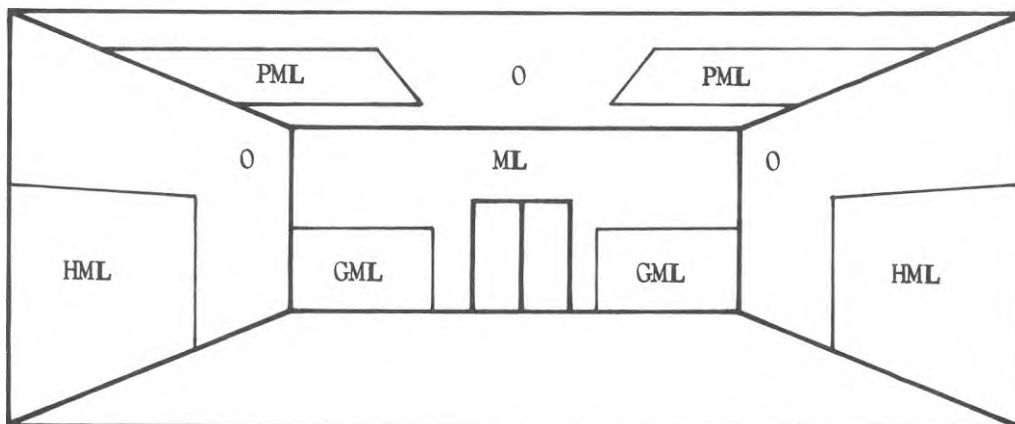
Vanlig talarplacering då "svarta tavlan" ej används. Denna talarplacering användes i uppfattbarhetstesten. Mycket "glesa reflexer" i lokalens bakre halva och mitt.



Talaren vid "svarta tavlan". En mycket bättre spridning av takreflexerna än ovan.

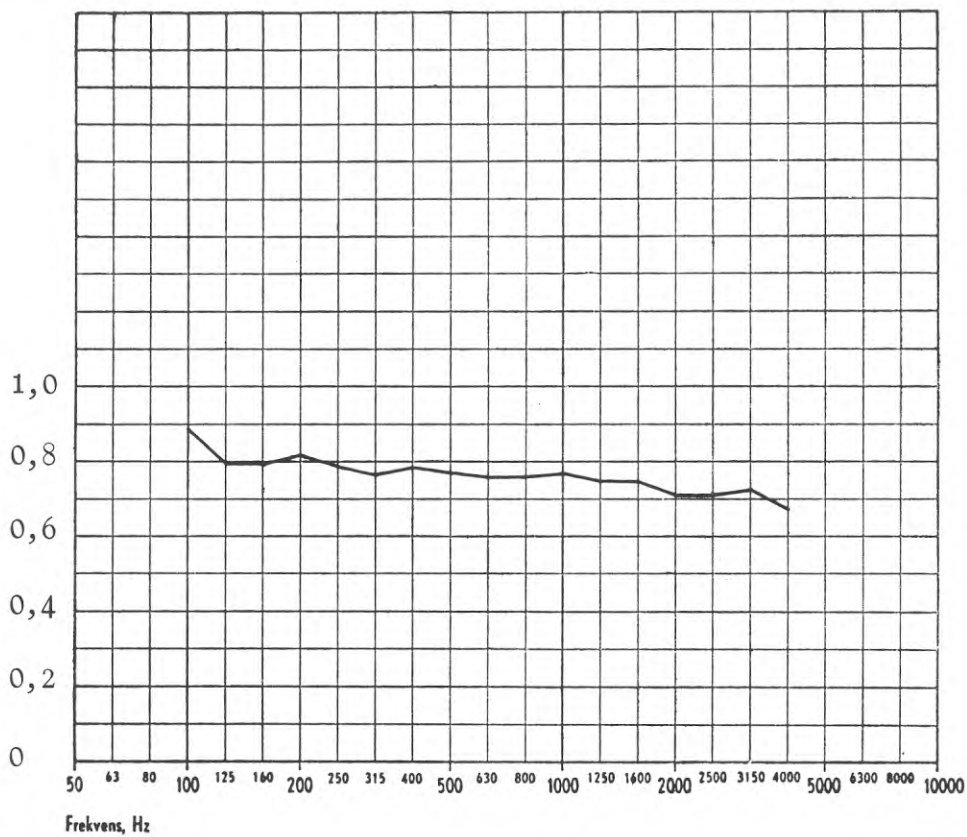
Reflektorplaceringar samt illustration av den ganska goda spridning av reflexerna som erhålles.



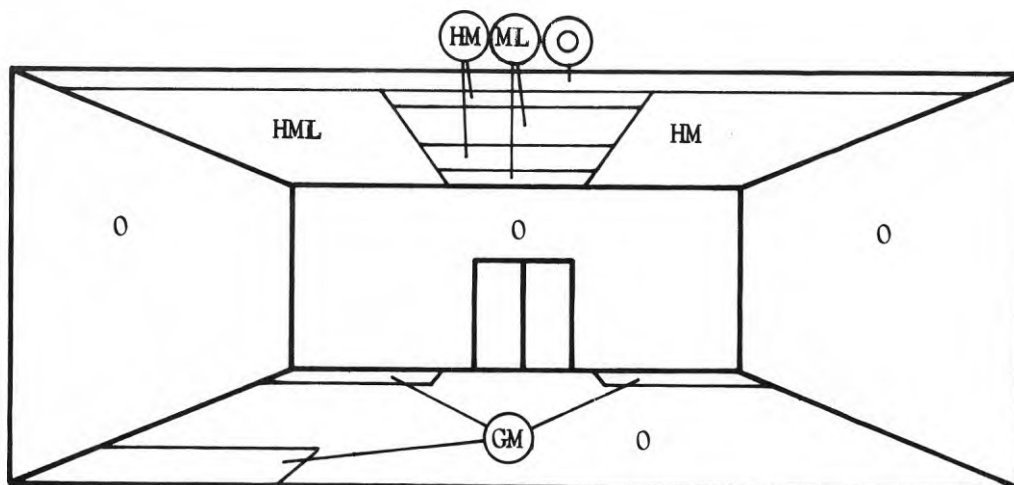


- G = gipsskiva
- H = hård träfiberskiva
- M = mineralull
- P = papper
- L = luft
- 0 = ingen absorbent

EKT s

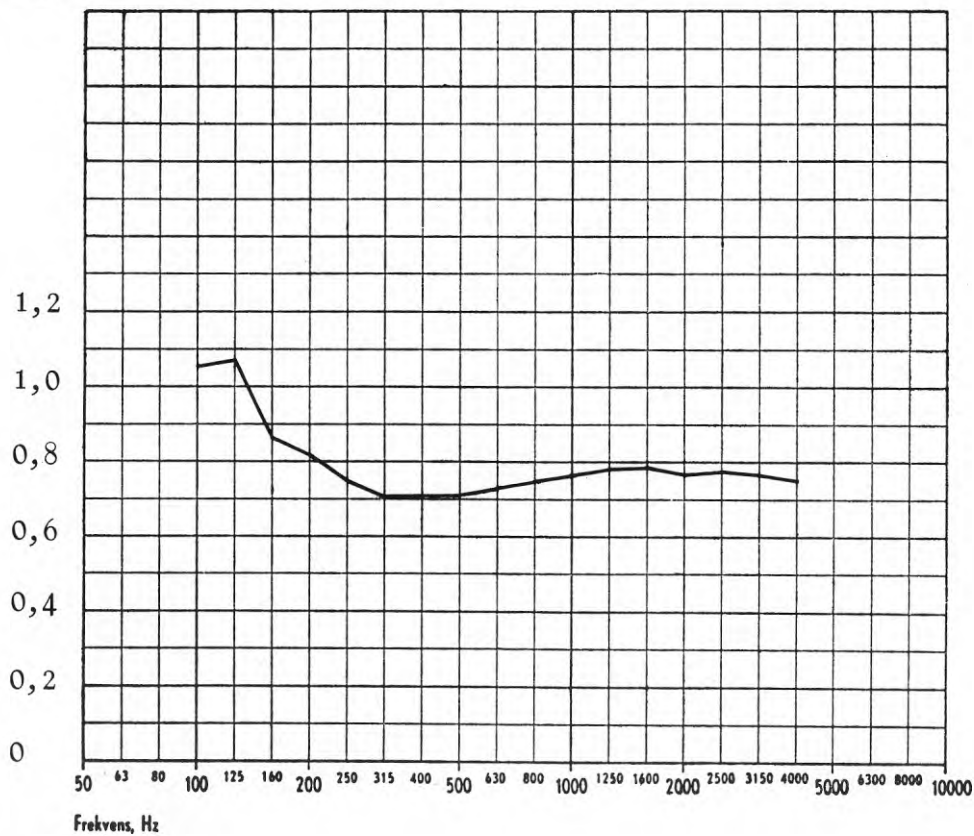


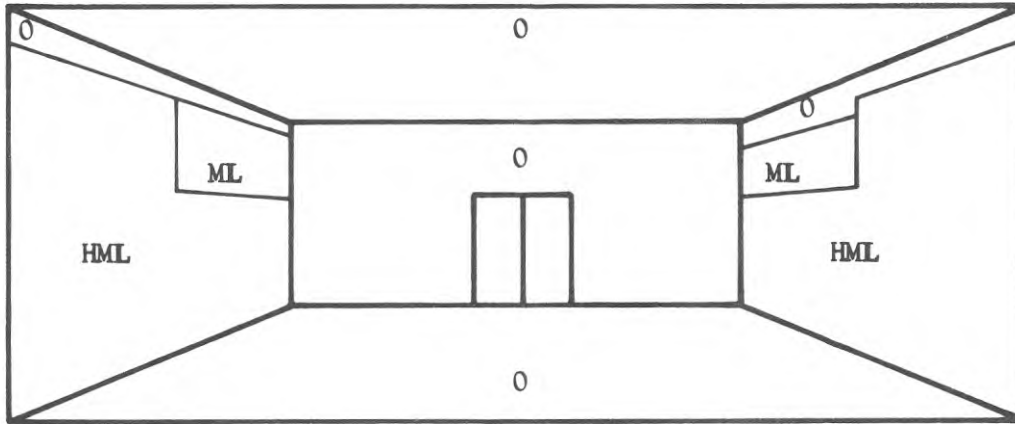




- G = gipsskiva  
H = hård träfiberskiva  
M = mineralull  
L = luft  
0 = ingen absorbent

EKT s





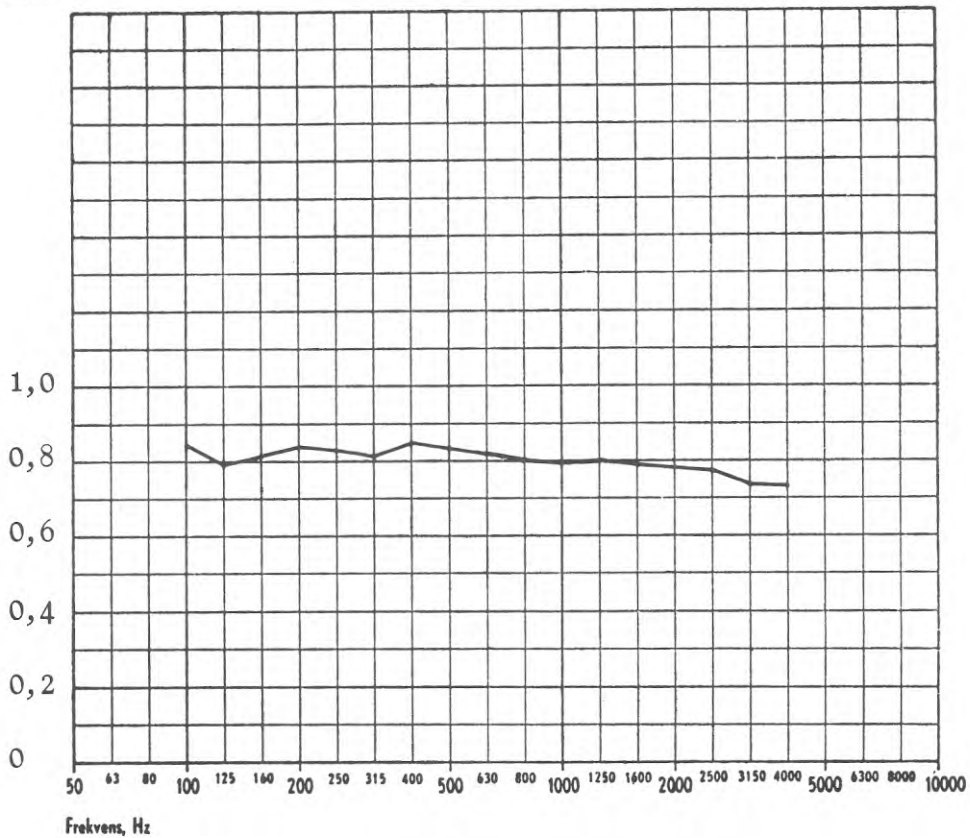
H = hård träfiberskiva

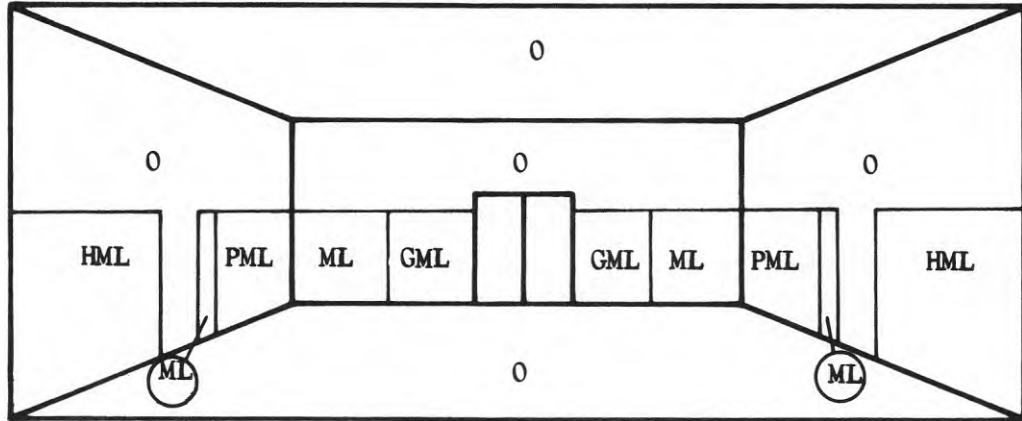
M = mineralull

L = luft

0 = ingen absorbent

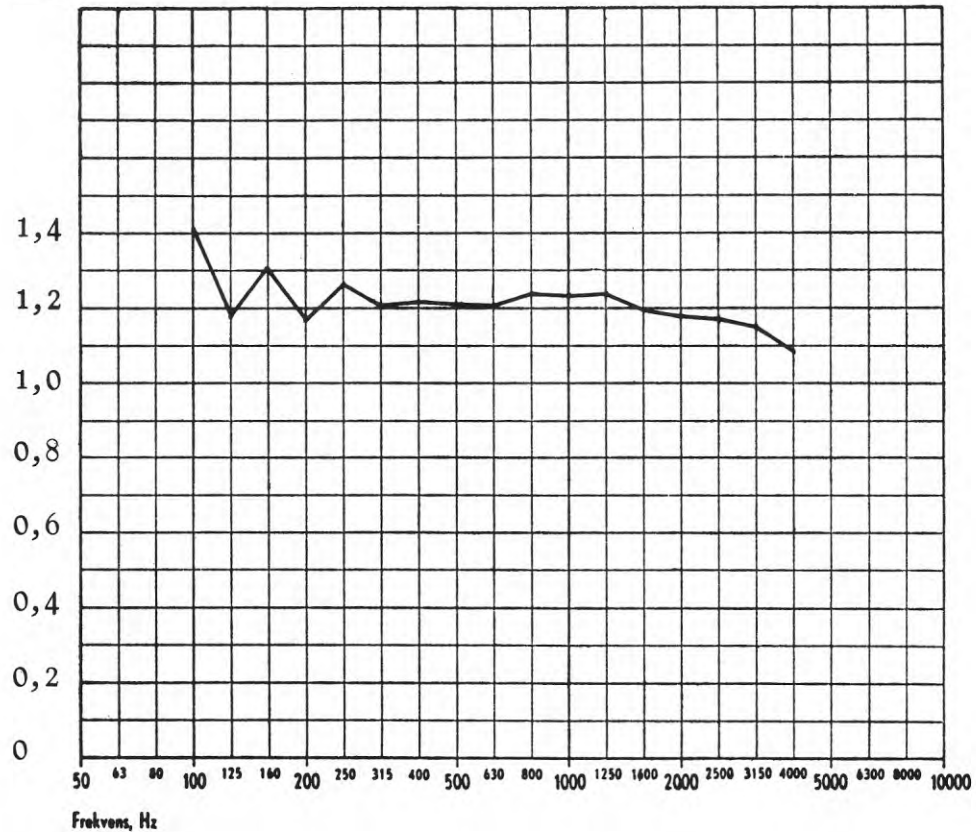
EKT s

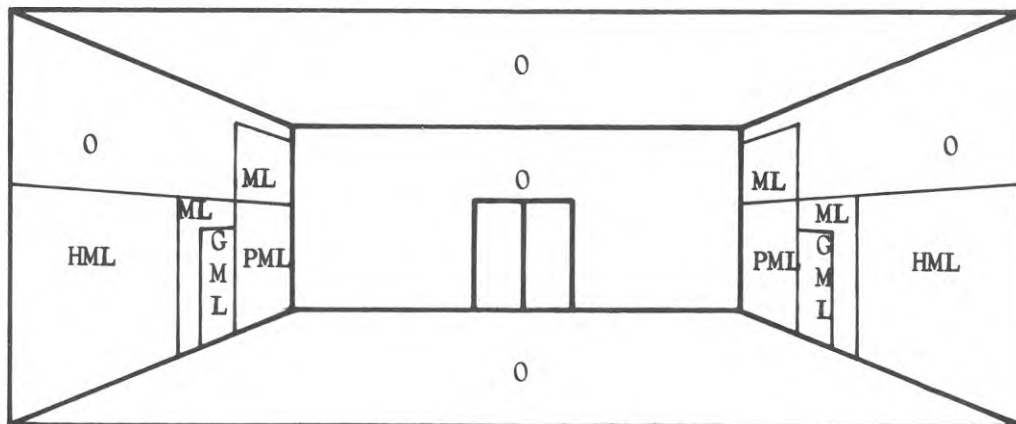




- H = hård träfiberskiva
- M = mineralull
- P = papper
- L = luft
- 0 = ingen absorbent
- G = gipsskiva

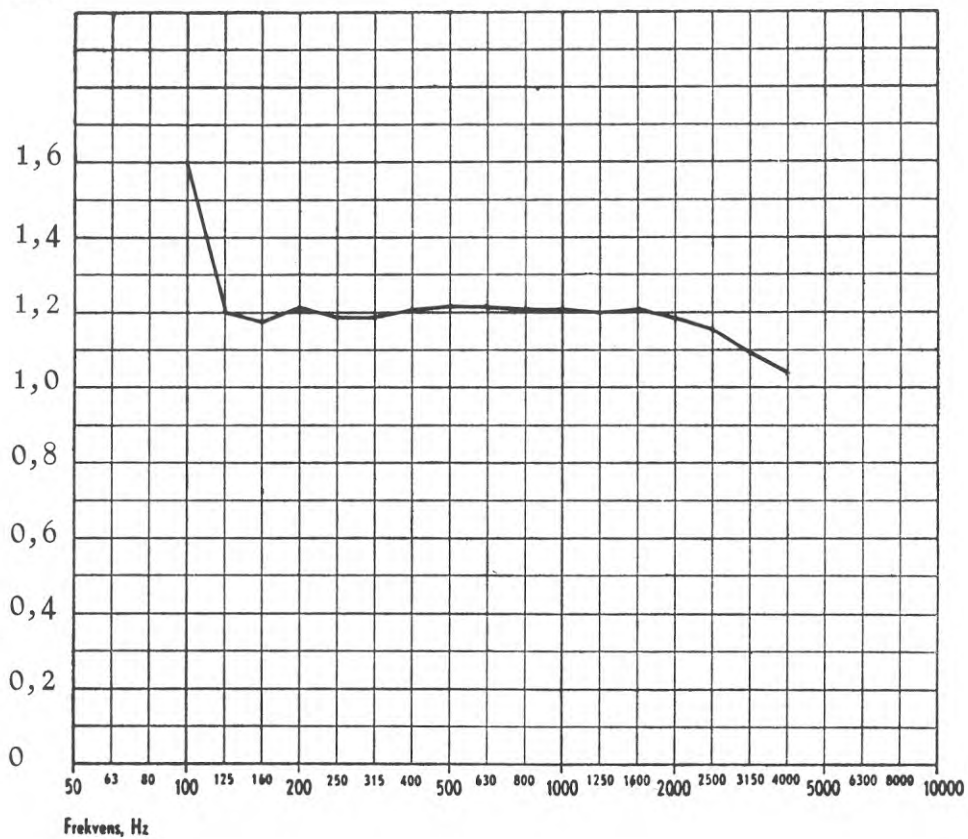
EKT s

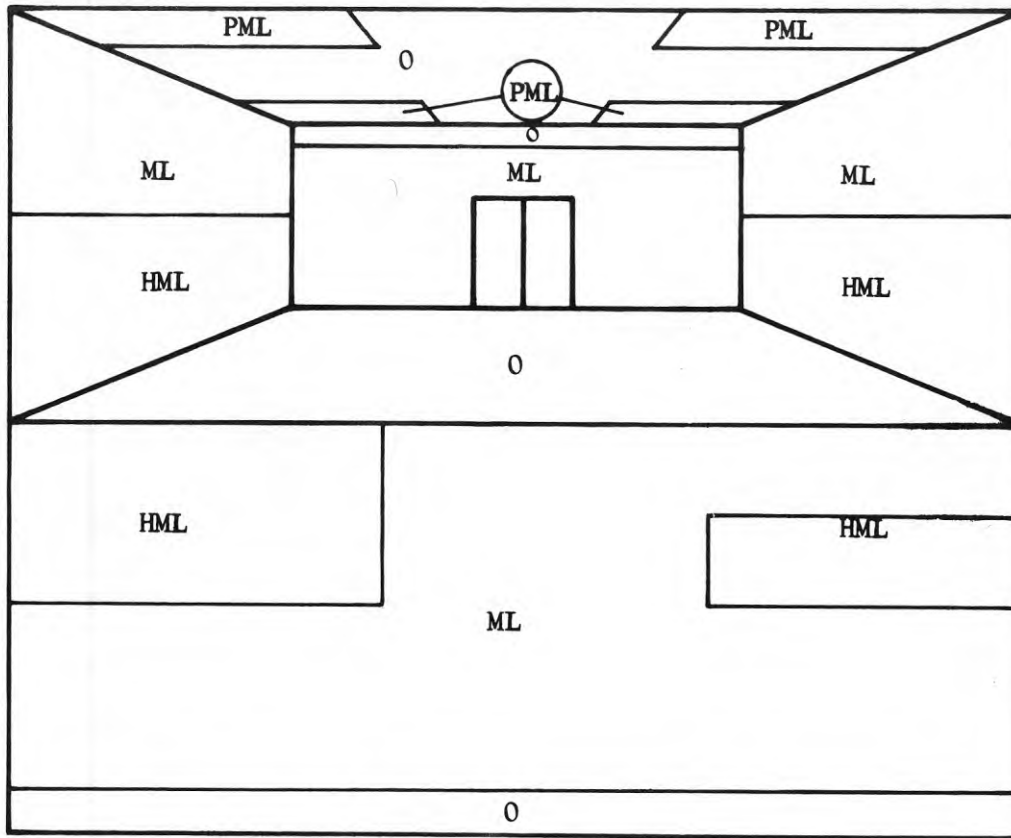




- G = gipsskiva
- H = hård träfiberskiva
- M = mineralull
- P = papper
- L = luft
- 0 = ingen absorbent

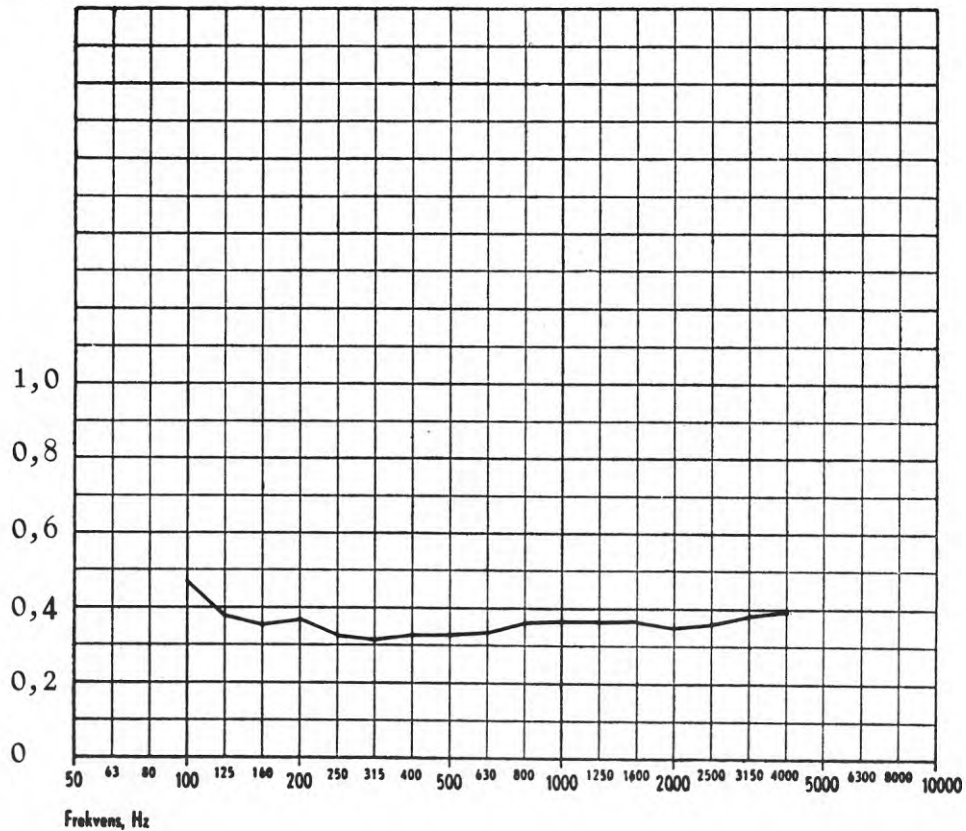
EKT s

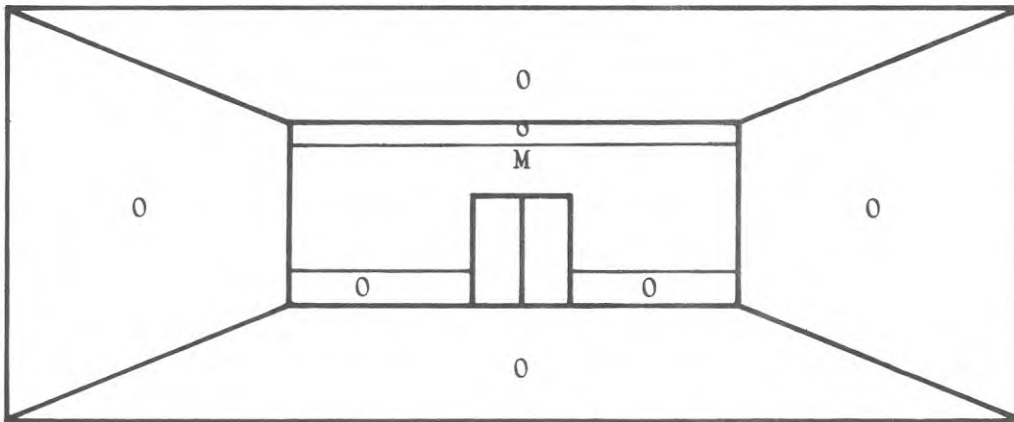




H = hård träfi-  
berskiva  
M = mineralull  
P = papper  
L = luft  
0 = ingen absor-  
bent

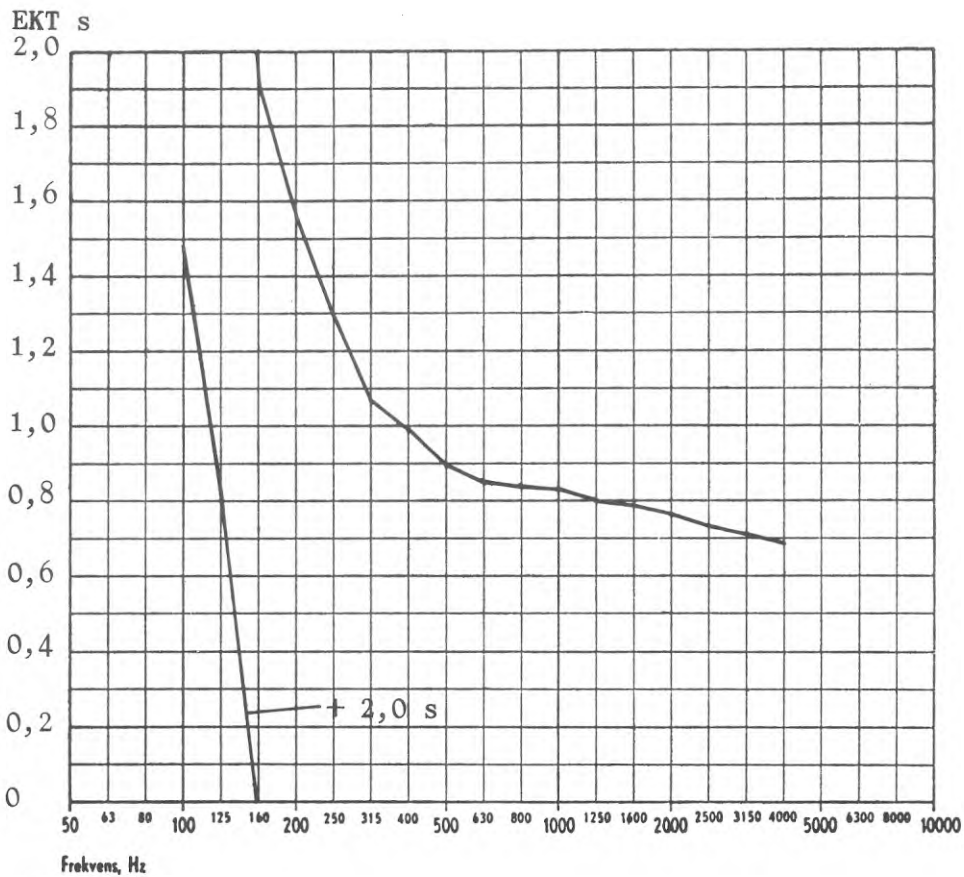
EKT s

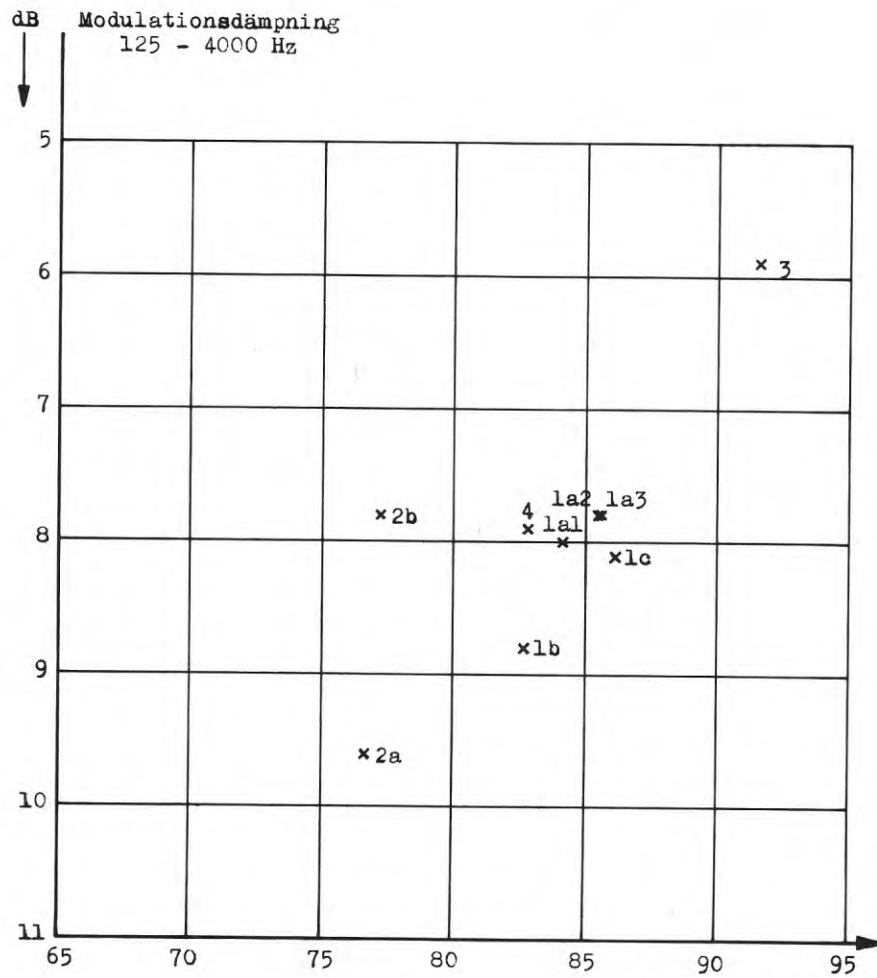




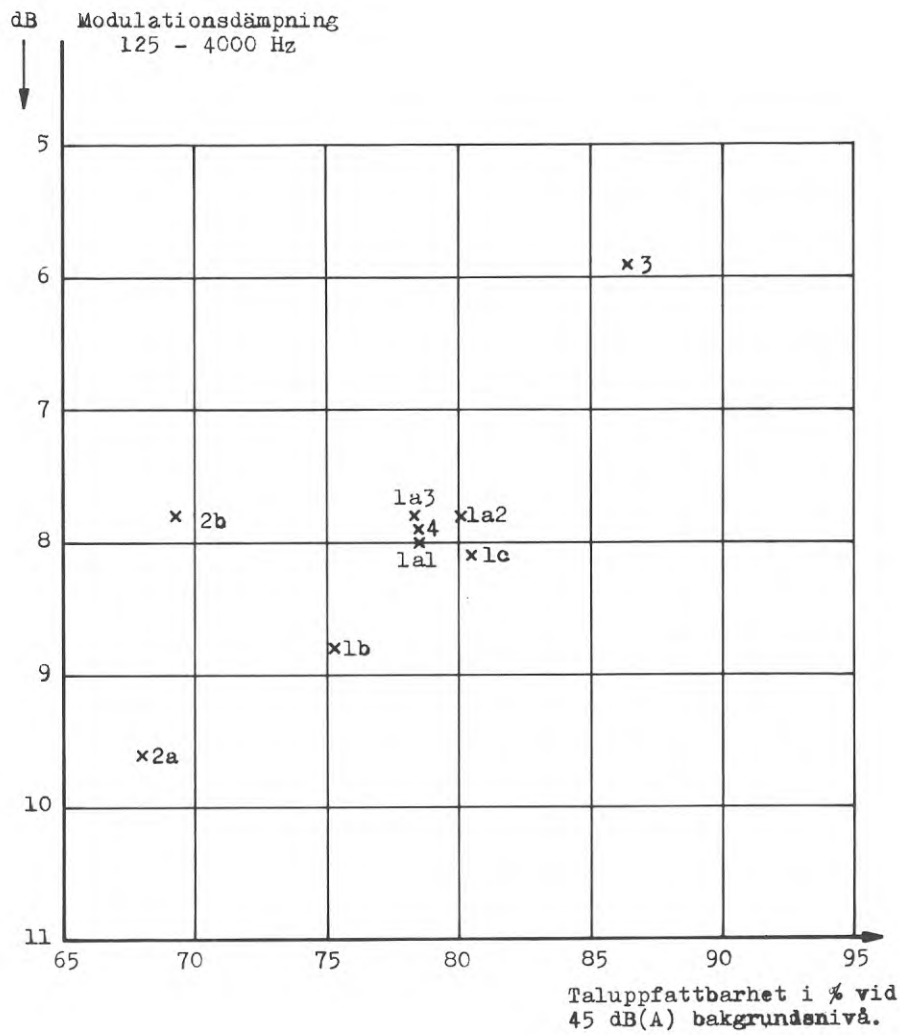
M = mineralull

0 = ingen absorbent



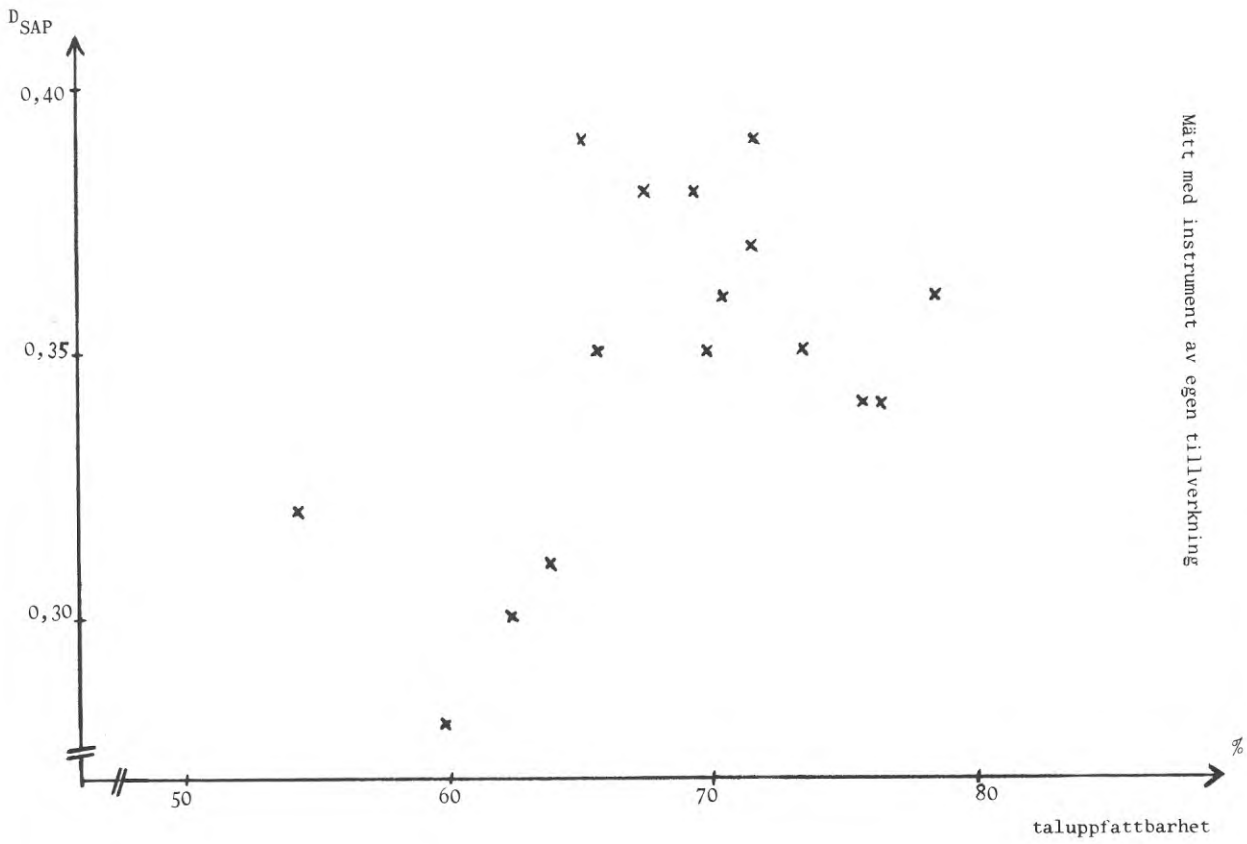


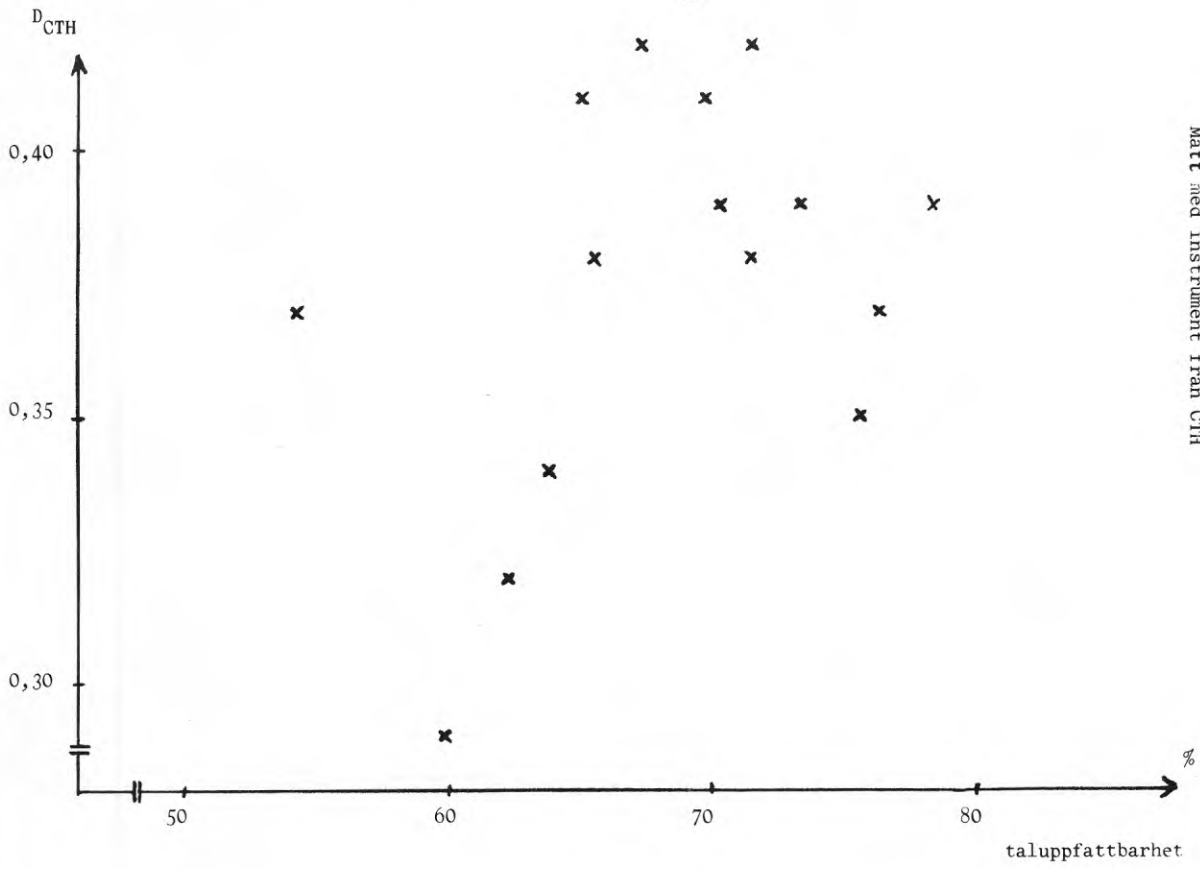
Taluppfattbarhet i % vid  
35 dB(A) bakgrundsnivå.

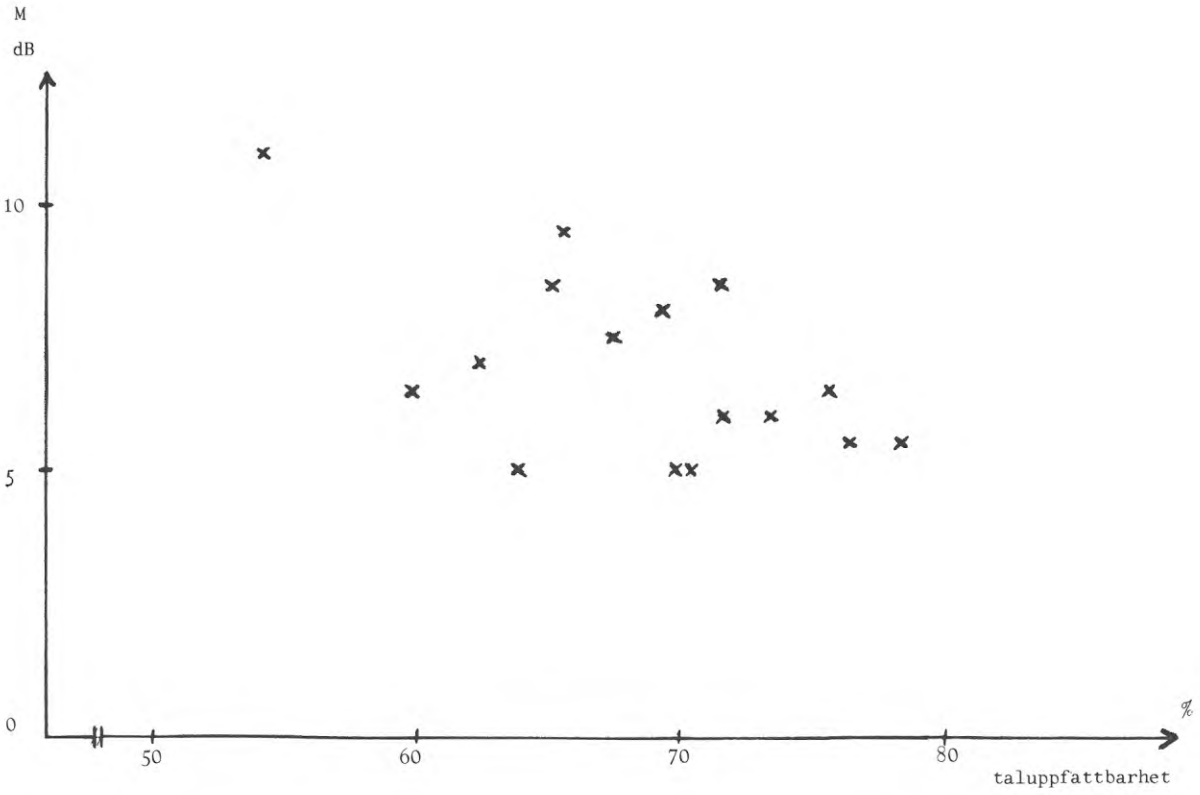
















**R61: 1973**

**Denna rapport avser anslag C 266 från Statens råd för byggnadsforskning till Svensk Akustikplanering AB, Göteborg.**

**Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.**

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

**Grupp: byggnadsprojektering**

**Pris: 17 kronor**