



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**

**R39:1978**

# **Rumsakustiska problem**

## **Taluppfattbarhet och modulationsdämpning**

**Tor Kihlman**

**Jakub Kirszenstein**

**Mendel Kleiner**

**Byggforskningen**

**TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND  
SEKTIONEN FÖR VÄG- OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET**

R39:1978

RUMSAKUSTISKA PROBLEM

Taluppfattbarhet och modulationsdämpning

Tor Kihlman  
Jakub Kirszenstein  
Mendel Kleiner

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 720462-3 från Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen för byggnadsakustik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg

TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND  
SEKTIONEN FÖR VÄG- OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET

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

Nyckelord:

ljud  
rumsakustik  
hørsalar  
taluppfattbarhet

UDK 534.8

R39:1978

ISBN 91-540-2848-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1978 852657

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Inledning .....	5
2	Akustisk planering av teatrar .....	6
3	Göteborgs Stadsteater .....	11
4	Inledande försök .....	13
4.1	Mätningar .....	13
4.2	Resultat .....	13
4.3	Diskussion .....	14
5	Taluppfattbarhetsförsök i teatern .....	15
5.1	Listor .....	15
5.2	Artificiell talare och lyssnare .....	15
5.3	Försöksserie I: direkt avlyssning .....	16
5.4	Försöksserie II: indirekt avlyssning .....	16
5.5	Resultat .....	17
5.6	Bearbetning och kommentarer .....	17
6	Modulationsdämpningsmättet .....	19
6.1	Definitioner .....	19
6.2	Mätning av modulationsdämpning .....	20
6.3	Modulationsgrad och modulationsdämpning hos testsignalen .....	21
6.4	Modulationsdämpning hos rena impulssignaler .....	22
6.5	Val av puls/pulslucka .....	23
6.6	Förbättring av instrumentering för mätning av $M_D$ -signaler .....	24
6.7	Resultat och diskussion .....	25
7	Samvariation mellan taluppfattbarhet och modulationsdämpning .....	26
8	Artificiellt lyssnarhuvud .....	27
8.1	Problem .....	27
8.2	Konstruktion .....	28
9	Sammanfattning .....	30
	Tabeller .....	33
	Figurer .....	53
	Referenser .....	99



## 1. INLEDNING

Denna rapport utgör en redovisning av det arbete som utförts med hjälp av resurser som ställts till förfogande av CTH och BFR (BFR-anslag nr 7204623).

Tor Kihlman har lett arbetet som i huvudsak har utförts av Mendel Kleiner och Jakob Kirszenstein. Leif Rydén har medverkat vid genomförandet av experimentserien och vid bearbetningen av resultaten.

I en tidigare BFR-rapport "Taluppfattbarhet i hörsalar" har det givits en redogörelse för olika rumsakustiska faktorerers inverkan på taluppfattbarhet och taluppfattbarhetsmått. De i den ovan nämnda rapporten studerade rummen hade relativt enkla former och det var vid dessa försök möjligt att inom relativt vida gränser variera rumsegenskaperna och därmed taluppfattbarheten.

Detta är emellertid sällan möjligt i en befintlig lokal vars akustik man önskar förbättra, ett fall som ofta förekommer. Med de fysikaliska mätmetoder som berörs i den ovan nämnda rapporten var det möjligt att särskilja de olika lokaltillstånden då dessa skilde sig kraftigt från varandra. I en befintlig lokal kan de mätta variationerna vara små trots att den akustiska kvalitén hos de olika platserna subjektivt kan upplevas som stor. Ett fortsatt studium av vilka faktorer som påverkar taluppfattbarhetsmåttan är därför nödvändigt så att dessa kan göras känsligare för de intressanta storheterna.

Som en lämplig "befintlig" lokal att studera ovan nämnda samband valde vi Göteborgs stadsteaters stora scen. Denna lokals akustiska egenskaper har ofta rönt kritik. Representanter för teatern hade också tidigare uttryckt önskemål om att få teaterns egenskaper undersökta och förbättrade.

I denna rapport presenteras resultat av studier av lokalens objektiva akustiska egenskaper och också resultaten från taluppfattbarhetsförsök i teatern. De fysikaliska måtten på taluppfattbarheten har undersökts med avseende på de olika parametrarna i mätsignalen, liksom också samvariationen mellan måtten av taluppfattbarheten för ett stort antal platser i lokalen. Taluppfattbarheten har mätts dels vid direkt lyssning, dels vid indirekt via sk artificiellt lyssnarhuvud. Vidare har den elektroakustiska överföringskedjan förbättrats och likaså mätutrustningen för modulationsdämpningsmätningarna.

Rapporten består av tre delar. En allmän del om akustiska problem i teatrar, en om taluppfattbarhetsmätningarna och en om modulationsdämpningsmätningarna.

## 2. AKUSTISK PLANERING AV TEATRAR

I en teater baseras sinnesupplevelsen på både syn och hörselintryck. Trots detta finner man i teatersammanhang ofta en total nonchalans av akustiken som kvalitetsfaktor utan bedömningen grundar sig på synfält, belysning, dekor etc. Detta förhållande är ännu märkbart även i modern teaterlitteratur [1], [2]. I [1] kan man exempelvis läsa (i samband med antika grekiska amfiteatrar) att: "Two more aspects of Greek theatres remain to be noted: their high acoustic quality and the beauty of their settings. The first seems largely the result of accident. A semi-circle hollowed into the side of a hill and lined with marble happens to conduct sound in a particularly satisfactory way, and even in the largest Greek theatres the voice does not need to be unduly raised for it to be audible a hundred yards or so from the stage. Greek engineers had no way of understanding this. The science of acoustics is still fifty per cent guesswork, as some unhappy modern experiments are enough to prove".

Teaterlokalens form har varit föremål för många studier, men utgångspunkten för dessa har nästan alltid varit den visuella upplevelsen av teaterrummet. Ganska få studier har gjorts av teaterrummets akustik. En stor del av dessa [5], [6], [7] har sysselsatt sig med den antika grekiska teatern, som genom århundradena haft rykte om sig att ha utomordentligt goda akustiska egenskaper. Denna svaghet för det efterklangsfria idealet hade till och med spridit sig till synen på den ideala musiklokalen, konserthuset, operan m m åtminstone för några decennier sedan. I en av antikens teatrar liksom även i ett hårt dämpat rum (kort efterklangstid) är ljudnivån monotont avtagande med avståndet från ljudkällan. Det ljud som når lyssnaren bestäms av den direkta gångvägen från talaren, reflexer från scengolvet och väggen bakom detta samt av ljud som reflekteras spritt, slumpartat från publiken (scatter). Vidare karakteriseras amfiteatern av relativ frihet från ekon (åtminstone för publiken), efterklang och på sin tid (för 2000 år sedan) av en tyst omgivning. Genom frånvaron av maskerande ljud kunde därför taluppfattbarheten vara ganska hög trots att avståndet publik - talare kan uppgå till mer än 50 m. En av de största och mest kända är Epidaurus (350 f kr.) i Grekland som har kapaciteten ca 14000 personer. På grund av



att teatern getts en cirkulär form för bästa synintryck kan kraftiga ekon av en speciell typ höras på scengolvet om publiken är fåtalig. Ett studium av taluppfattbarhetsförhållandena visar att vinkelberoendet hos isokurvorna för taluppfattbarhet i stort sett överensstämmer med en talares riktkarakteristik [7]. Se figur 1 och 2. Epidaurus-teatern skiljer sig från andra klassiska teatrar i att lutningen ökar ju längre ut man kommer mot periferin. Detta har gett den markant bättre taluppfattbarhetsegenskapen än andra. Ett exempel på en modern amfiteater med goda akustiska egenskaper är friluftsteatern i Berlin (1936), se figur 3. En analys av de nödvändiga geometriska relationerna för goda synförhållanden [10] ger, se figur 4, att om synvinkeln  $\gamma$  skall vara konstant ges höjden  $H_1$  av relationen

$$H_1 = \gamma \cdot s \left( n \ln \frac{n}{m} - (n - m) \right)$$

där  $s$  är avståndet mellan bänkraderna (horisontellt)

och  $m$  resp  $n$  är avstånd definierade i figuren.

Denna på optiska grundval härledda minimihöjning är emellertid inte tillräcklig om vinkeln  $\gamma$  är liten, även om den naturligtvis har en gynnsam inverkan. Anledningen till detta är, att det ljud som kommer in flackt mot publiken ("strykande infall") reflekteras på ett sådant sätt att det släcker ut det ljud som kommer direkt från källan med nästan samma vinkel. I praktiken visar sig detta som om ljudet skulle "sugas" in i publikytan, avståndsberoendet ljudtrycket  $\sim \frac{1}{\text{avståndet}}$  gäller ej längre utan ljudnivån avtar mycket snabbare [16].

I [16] redogörs för resultaten från försök med ljudutbredning ovan en yta av bänkrader med resp utan publik. Det visar sig att utbredningsegenskaperna varierar mycket litet för dessa två fall, i varje fall med stolar med täta ryggar. I frekvensområdet 100 - 500 Hz får man en kraftig dämpning med vanliga storleksförhållanden (rygghöjd, radavstånd, bänkförande, lyssnarposition, talarposition etc). Jämför figur 5 där det vanliga avståndsberoendet borträknats. Det är först när ljudets infallsvinkel mot publikytan  $\geq 30^\circ$  som denna interferenseffekt försvinner. I en antik teater är ofta lutningen på publikytan så stor eller större och detta medför att taluppfattbarheten kan hållas hög även på långa avstånd till talaren, om inte lutningen vore tillräcklig skulle taluppfattbarheten avta snabbt med avståndet speciellt i de riktningar som inte ligger rakt framför talaren och som därför mister de höga frekvenserna i talet, dvs konsonan-

terna. Konsonanterna ger ju det största bidraget till talets redundans ur informations-synpunkt. I en antik teater finns emellertid inga bänkar och det frekvensområde som blir extra dämpat har förmodligen högre frekvenser och påverkar konsonanterna mera.

Den första kända studien av en teaters akustik gjordes av Vitruvius [8] ca 25 år f Kr. Den kännetecknas av en god förståelse för de grundläggande problemen. Århundradena efter det romerska väldets fall, medeltiden fram till femtonhundratalet, kännetecknas av att inga teaterlokaler existerade, det var först i början av femtonhundratalet som intresset för den klassiska teatern kom tillbaka. De första teatrarna som då byggdes var baserade på Vitruvius tankar och liknade de klassiska teatrarna men de var i allmänhet täckta. En berömd sådan teater är Teatro Olimpico, Vincenza 1585. Endast ett halvt sekel senare hade teatern utvecklats till att få ett proscenium, en ram kring bilden, Teatro Farnese i Parma 1628, se figur 6. Denna teater var emellertid endast till för aristokratin, men skapandet av teatrar för allmänheten vid denna tidpunkt kom åter anspråken på att teaterlokalen skulle rymma så stor publik som möjligt. I slutet av 1600-talet hade redan den teaterform utvecklats som man finner i planen över Göteborgs Stadsteater. Jämför figur 7 och 8. Några exempel på de vanligast förekommande teatertyperna visas i figur 9.

I och med att teaterlokalen blev sluten blev inverkan av lufttemperatur och luftrörelser försumbar och vanligen också buller från omgivningen. I stället har andra problem som t ex efterklang, ekon, internt buller tillkommit. En tidig analys av dessa fenomenets inverkan gjordes av Sabine [9] omkring 1900, han studerade bl a med hjälp av modeller och schlierenfotografi ljudutbredningar i några lokaler. Den analysmetod han använde kallas numera geometrisk rumsakustik. Den kan användas under förutsättning att de reflekterande ytorna är stora jämfört med ljudets våglängd, deras ytstruktur sådan att ojämnheter är små jämförda med ljudets våglängd. För tal är det intressantaste frekvensområdet 150 - 6000 Hz med området 400 - 1000 Hz som viktigast [28], i detta område är ljudvåglängderna ca 0,8 - 0,3 m. Detta innebär att många ytor i en lokal kan reflektera enligt den geometriska rumsakustikens tanke. Några exempel på sådan reflektion visas i figur 10 [26]. Metoden är därför lämplig för studium av akustiska förhållan den redan på "ritbordsstadiet".

Schematiskt kan tidsförloppet för det ljud som når lyssnaren från en ljudkälla i ett rum åskådliggöras på det sätt som visas i figur 11.

De mycket tidiga reflexerna (med tidsskillnad  $\tau_1$ ) bidrar till att höja den hörda nivån och taluppfattbarheten. De påverkar kraftigt klangfärgen i ljudet. De reflexer som kommer in senare än ca 40 - 60 ms kan vara störande om de har tillräckligt hög nivå. Undersökningar av detta har gjorts av bl a Haas, Lochner & Burger m fl [28]. Dessa har närmare berörts i en annan BFR-rapport [27].

Så småningom har det utsända ljudet reflekterats många gånger och reflexerna följer varandra allt tätare så att de inte kan särskiljas, vi har fått efterklang. Idealt är efterklangen lika överallt i lokalen, men i allmänhet visar sig ganska stora variationer från plats till plats. Tidsförloppet i efterklangen är av särskilt intresse. Eftersom efterklangen från ett ord maskerar det följande, sätter efterklangstiden T en begränsning gjord på talhastigheten i en lokal, ju längre T desto färre stavelser/tidsenhet. Naturligtvis påverkas känsligheten för ekon av efterklangstider. Förhållandena blir alltså mycket komplicerade i en sluten lokal. Rent principiellt ökar taluppfattbarheten ju kortare efterklangstiden T blir, åtminstone så länge direktljudet är tillräckligt starkt [27]. Detta är emellertid ogörligt i praktiken eftersom både publik och skådespelare önskar en viss efterklangstid. Publiken är van vid att ett rum "låter" på ett visst sätt och uppfattar miljön i ett rum med kort efterklangstid som "tryckande". För att talet skall ha en naturlig klangfärg fordras också en viss efterklangstid, man förväntar sig också av en lokal med en viss "synlig volym" en viss efterklangstid. En vanlig relation (empirisk) för efterklangstid kontra rumsvolym ges av figur 12 [15]. Knudsen [14] har empiriskt studerat efterklangstidens och talnivåns betydelse för taluppfattbarheten och sammanfattat sina resultat på det sätt som visas i figur 13.

Knudsens hypotes är att taluppfattbarheten TU kan skrivas som

$$TU = 96 \cdot k_T \cdot k_L \cdot k_N \quad \%$$

där  $k_T$ ,  $k_L$  och  $k_N$  är oberoende konstanter som beror av parametrarna

T	(efterklangstiden)
L	(nivån vid lyssningsplatsen)
N	(bakgrundsnivån).

Enligt Knudsen finns det alltså inget att vinna ifråga om taluppfattbarhet genom att minska efterklangstiden något som alltså kan visas vara fel. Det är naturligtvis också tveklaktigt att de olika faktorerna skulle vara oberoende av varandra. Som en grov uppskattning av vilka egenskaper en plats i en lokal kan ha är ansatsen av värde.

I en prosceniumteater tillkommer ytterligare problem i samband med efterklängen. Förenklat kan teatern som består av scenutrymme och salong betraktas som en enhet, en närmare analys av förhållandena visar att det är korrektare att analysera förhållandena utgående från antagandet om två rum och en kopplingsyta, se figur 18. Detta innebär att scenutrymme och salong kan ha olika efterklangstid som dessutom kan variera beroende på kopplingsytans transmissionsförmåga och förluster. Eftersom aktörerna oftast befinner sig i närheten av gränsytan kommer båda rummen att exciteras likadant. Detta medför problem om scenens efterklangstid är markant längre än salongens, eftersom energi från scenens efterklängsfält kommer att maskera talet.

Detta är allvarligare än om salongens efterklangstid haft detta värde, eftersom efterklängsenergin från scenen når publiken på ungefär samma sätt som direktljudet och inte som salongens efterklang från en stor rymdvinkel. Detta medför att man går miste om förmågan att skilja mellan direktljud och efterklang.

Efterklangens tidsförlopp är sällan rent exponentiellt avtagande utan energitäthetens minskning ändras vid olika tidpunkter. Detta medför ytterligare problem vid bedömningen av vad som är optimala förhållanden.

Förutom efterklängen har naturligtvis bakgrundsbullret i form av ventilationsbuller, utifrån kommande buller, publikens eget buller, mm en kraftig negativ inverkan på taluppfattbarheten, speciellt gäller detta icke normalhörande. Praktisk erfarenhet har visat att bakgrunds-nivån i den tomma lokalen bör ej överstiga 20 - 25 dB(A). Publikens bulleralstring är visserligen sådan att nivån normalt håller sig omkring 30 - 40 dB(A) men i exempelvis en dramatisk höjdpunkt kan nivån komma ner mot den ovan nämnda bakgrunds-nivån. En närmare undersökning av publikens roll som bullerkälla är planerad.

### 3. GÖTEBORGS STADSTEATER

Teatern färdigställdes år 1934. Arkitekt var Carl G Bergsten, byggnadsråd i Kungliga byggnadsstyrelsen. Byggnaden rymmer två scener: stora scenen resp studion. Vi har i vårt arbete endast studerat stora scenen. Dess utformning framgår av bifogade planer och sektioner, se figur 14 - 15.

#### Salong

Salongen är hästskoformad (se figur 15 och 16) och har en parkett och två rader. Den rymmer 570 personer på parkett, 178 på den första raden och 248 på den andra raden. Volymen är ca  $5000 \text{ m}^3$ . Öppningen mot scenen är  $12 \times 7,5 \text{ m}^2$ . Väggarna i salongen är av 7,5 cm betong, och taket liksom också balkongerna består av betongplattor. Golvet i salongen består av furuplank på träbjälkar som i sin tur vilar på en betongkonstruktion. Balustraderna är träkonstruktioner. Väggar och balustrader i salongen är klädda med sammet. Taket och undersidorna av balkongerna är putsade och målade med kalkfärg. Dörrarna till salongen är tunga och klädda med trä. Golvet är klätt med en linoleum-matta. Stolarna är på parketten och första raden klädda med sammet (utom sitsarnas undersida som är av galon). Stolarna på andra raden är helt klädda med galon.

#### Scenen

Scenen har en golvyta om ca  $350 \text{ m}^2$  och volymen ca  $7500 \text{ m}^3$ . Takhöjden är 21 m. Alla väggarna utom en består av 7,5 cm betong och är målade med kalkfärg. En rörlig vägg om  $9 \times 9 \text{ m}^2$  gränsande mot ett förrådsutrymme (se figur 16) utgörs av korrugerad plåt. Taket är gjort av I-balkar av järn. Golvet består av  $1 \frac{1}{2}$ " träplank på en stålkonstruktion. Mellan prosceniet och rundhorisonten är det demonterbart. Proscenieriet består av snedställda skivor av plywood vinklade enligt figur 17.

Teatern är alltså en typisk prosceniumteater, med en hästskoformad salong. Med hjälp av geometrisk akustik kan man studera utbredningsförhållandena för direktljud och tidiga reflexer, på det sätt som är gjort i figurerna 18 - 20.

Som framgår av figurerna får den främre hälften av salongen inga tidiga reflexer, det får däremot den bakre delen. På grund av salongens hästskoform kan man också

höra ekon (fokuserade reflexer) speciellt på platserna på första radens sidor, vilket också framgår av figurerna. Med talaren i position A är förhållandena bättre än när talaren står längre bak på scenen dvs position B. I många moderna uppsättningar utnyttjas bara den allra främsta delen av scenen som visas i figur 21, varför A är mera representativt. Om skådespelaren emellertid talar vänd åt sidan försvinner på grund av talets direktivitet mycket av de höga frekvenser som kan reflekteras av tak och sidoväggar. Delar av scenuppsättning kan reflektera ljud men i allmänhet består den av väv eller genombruten plast med låg reflektionskoefficient de är dessutom knappast tillräckligt stora eller lämpligt riktade för att ha någon positiv effekt för publiken. Jämför figur 22. För talaren ger de däremot ett visst akustiskt stöd. Prosceniet är ej lämpligt utformat för att ge tidiga reflexer. Direktljud och tidiga reflexer har alltså relativt låga nivåer. Efterklangstiden i salongen bestäms i huvudsak av väggarnas och publikens/stolarnas absorption. Stolarna som är klädda med sammet har även i tomt skick hög absorption över ett stort frekvensområde. Med publik är efterklangstiden något kortare (ca 10 %) än när lokalen är tom, vilket är gynnsamt. Efterklangstiden är betydligt längre än vad som betraktas som optimalt för tal i lokaler av denna storlek och kunde ur taluppfattbarhetssynpunkt göras betydligt kortare. Bakgrundsnyvån från fläktsystemet är ca 30 dB(A) vilket är betydligt högre än vad som är lämpligt (ca 20 dB(A)).

Scenutrymmet är dämpat av de kulisser som hänger från taket. När rundhorisonten inte används är den dold av ett draperi, den kan i annat fall ge upphov till fokuserad ekon. Ekon kommer också från I-balkarna i taket, eftersom takhöjden är så stor som 21 m. Detta upplevs ofta som störande av skådespelarna, men med uppsättningar där endast den allra främsta delen av scenen kommer till användning är detta inget större problem. I teatrar och prosceniumtyp kan som tidigare nämnts problem uppkomma när scenutrymmet har en avsevärt längre efterklangstid än salongen. Efterklangstiden i salongen med brandväggen nedfälld resp uppdragen framgår av figur 23. Vid denna mätning fanns en scenuppsättning enligt figur 18. Det är intressant att notera hur mycket de olika utrymmena påverkar varandra trots scenuppsättningen. Efterklangstiden i salongen har blivit markant längre. (Jämför med sid 10).

## 4. INLEDANDE FÖRSÖK

### 4.1 Mätningar

För att få en uppfattning om de akustiska förhållandena och för att kunna planera de senare försöken gjorde vi en mätning av lokalens efterklangstid dels med, dels utan publik. Vid det tillfälle då publiken var tillgänglig mättes också modulationsdämpningen (MD).

Teaterledningen medverkade till att försök kunde göras vid en skolteaterföreställning, då lokalen var fullsatt (publikmängden var ca 1000 personer).

Vid försöken sändes brus ut från en kraftig högtalare ställd vid scenens högra kant, riktad ut mot salongen (figur 24). Bruset var i förväg inspelat på band i form av pulser om 30 sekunders brus och 30 sekunders paus, med ett sådant spektrum att nivåerna skulle bli tillräckligt höga i hela det aktuella frekvensområdet. MD-signalerna bestod av brus med samma spektrum och varade ca 10 sekunder för varje variant. Sex olika användes med pulslängd respektive lucka enligt nedan:

105 - 105, 150, 150, 180 - 180, 35 - 100, 35 - 180, 35 - 250 ms.

Mätningarna i lokalen skedde på följande sätt: I ett antal punkter i lokalen, märkta 1, 2, 3, 4 i planen i figur 24 hölls mikrofoner på en höjd av ca 1,5 - 2 m över golvet av några funktionärer och några ur publiken. Signalerna från mikrofonerna registrerades med hjälp av ett antal bandspelare och utvärderades senare vid institutionen. Detta förfaringssätt medför att det tillgängliga dynamiska området blir litet, vilket gör efterklangstidsvärdena mindre säkra i vissa fall, men detta var den enda praktiskt genomförbara metoden med tanke på att publiken inte fick störas mer än absolut nödvändigt. På grund härav kunde mätning av bakgrundsnivån med publik närvarande (och tysta skådespelare) endast ske på en plats markerad med 5 i planen i figur 24. Nivån mättes direkt med hjälp av bullermätare.

### 4.2 Resultat

Av figur 25 framgår medelvärde och spridning för efterklangstiden med tom respektive fullsatt lokal vid detta försök. Variationen i T över frekvensområdet är relativt liten,

beroende på att lokalens utformning och inredning är sådan att absorptionen är ganska hög även utan publik. Efterklangstiderna är inte särskilt goda, men man kan inte direkt ur dem dra några slutsatser om lokalens förment dåliga taluppfattbarhetsegenskaper.

Resultatet av bakgrundsivåmätningen med publik framgår av figur 26. MD-mätningarna gav i dessa försök inga distinkta utslag som kunde knytas till taluppfattbarheten.

#### 4.3 Diskussion

På grund av resultaten från dessa försök beslöt vi att inga tillsatsabsorbenter skulle användas vid de följande avlyssningsproven. I och för sig kunde en "syntetisk" publik ha använts, på det sätt som tidigare redogjorts för [27 ], men med tanke på lokalens publikyta var detta inte särskilt tilltalande vare sig ur ekonomisk eller tidsmässig synpunkt. Dessutom är den publik som tidigare använts utprovad under andra akustiska förhållanden (hårda stolar, annan publiktäthet) vilket skulle medföra att en helt ny typ av syntetisk publik skulle behöva utvecklas för att vara användbar i detta fall. Då detta inte var möjligt inom de givna ramarna och då resultaten från efterklangstidsmätningarna ändå var gynnsamma användes ingen sådan publik vid de följande försöken. Användandet av en lämpligt utformad sådan publik skulle i och för sig ha gett ett korrektare ljudfält i rummet. Vi skulle då ha haft ungefär samma diffraktion som man har från omkringsittande publik vid en verklig föreställning.

En noggrannare undersökning om bakgrundsbuller i hörsalar är planerad. Vid våra försök har inget tillsatsbuller använts, eftersom det inte bedömdes som praktiskt genomförbart att åstadkomma en jämn bakgrundsivå, av den typ som alstras av en publik i salongen, i en så stor lokal. Därför har försöken ägt rum med enbart den naturliga bakgrundsivån från omgivningen i lokalen. Denna var ca 30 dB(A), men vid några tillfällen förekom högre nivåer på grund av förbipasserande fordon. Försöken har alltså genomförts under goda förhållanden eftersom det buller som kommer från publiken under en vanlig föreställning ej funnits. För fallet med indirekt lyssning är det ju emellertid möjligt att addera önskat bakgrundsbuller elektriskt, vilket i princip ger "oändliga" möjligheter. Samvariationen mellan direkt lyssnande och indirekt är dock ej känd för dåliga lyssningsförhållanden.



## 5. TALUPPFATTBARHETSFÖRSÖK I TEATERN

### 5.1 Listor

De listor som kom till användning lästes in på nytt i ett ekofritt rum av två skådespelare från teatern. Tjugo listor spelades in, lika många av en man som av en kvinna för att undersöka vilken verkan talarens diktion och spektrum hade på resultaten. Liksom vid tidigare inspelning av listorna fick uppläsarna utnyttja en liten bullermätare för att kontrollera att de läste med konstant nivå. De hundra nonsensorden i varje lista inleddes med försatser av typen "ni hör nu", "jag säger" osv före varje ord. Originalbanden utnyttjades senare direkt för att inte signal-brusförhållandet skulle bli för lågt på grund av omkopieringar. Vid våra försök kom endast sexton av listorna till användning.

### 5.2 Artificiell talare och lyssnare

I våra försök har vi använt en ny högtalare typ SINUS 1007 som artificiell talare. Den har volymen 7 liter och består av två högtalarelement med liten diameter. Högtalarens frekvenskaraktistik i fritt fält framgår av figur 27, och dess riktningsskaraktistik i horisontal resp vertikalplanen i figurerna 28 - 30. Som jämförelse har motsvarande data ritats in för mänsklig talare. Överensstämmelsen är relativt god, högtalaren har emellertid mera markerad riktverkan, speciellt gäller detta vid höga frekvenser. Detta beror på att membranen är för stora. Eftersom varje människa har ett speciellt talpektrum är inte exakt frekvenslinearitet nödvändig. Lyssnaren är den som använts vid tidigare försök, se [27].

Den elektroakustiska överföringskedjan visas schematiskt i figur 31. Från bandspelaren matas signalen till förstärkaren som i sin tur driver högtalaren. Spänningen vid högtalaren från en på bandet inspelad referenston har tjänat som kontroll på att nivån hållits konstant.

Från mikrofonerna i det konstgjorda huvudet matas signalerna via förlängningskablar till katodföljarna som driver instrumentförstärkarna. Via balanseringstransformatörer matas sedan den tvåkanaliga bandspelaren.

Testsignalens nivå som motsvarar full utstyrning av bandspelaren (1 % distorsion vid 1 kHz) var 78 dB 1 meter framför högtalaren i fritt fält. Talets medelnivå var ca 65 - 70 dB(A). Brusnivån (från bandet) var ca 20 dB(A).

### 5.3 Försöksserie I: Direkt avlyssning

Vid försöken med direkt avlyssning utnyttjades sexton platser i salongen. (Se figur 32). Dessa hade valts jämnt fördelade i lokalen, men ej randomiserat av praktiska skäl. Som försökspersoner utnyttjades lika många personer vilkas hörsel hade kontrollerats med audiometer. Kravet på normalhörande dvs  $\pm 5$  dB avvikelse kunde på grund av problem med att finna lämpliga försökspersoner ej hållas. På grund härav har samvariationen mellan audiometertestresultat och individuella taluppfattbarhetsresultat undersökts. Den är mycket låg, jämför figur 33. Personerna permuterades mellan varje lista så att alla skulle ha lyssnat till samtliga listor och en gång på varje plats. Genomlyssningen tog ca 5 timmar i anspråk och var fördelad till två tillfällen. "Talaren" ställdes i två positioner A resp B i figur 32. Position A, som är mycket gynnsam, karakteriseras av att scenutrymmet inte får speciellt mycket ljud, utan det mesta strålar ut direkt mot lyssnarna. Med denna uppställning är platserna 171, 357 och 538 teoretiskt gynnsammast eftersom dessa får full övertonshalt i ljudet (jämför figur 30).

I position B är det i huvudsak platserna 55 och 145 som är gynnsammast belägna medan platserna 44, 1 - 14, 2 - 14 har dåligt med direktljud.

Dessa två positioner utgör var försig extrempositionerna. Skådespelarna befinner sig oftast mellan dessa. Pilarna markerar talarens inriktning. För listorna 1 - 4 och 11 - 14 stod talaren i position A och för listorna 6 - 9 och 16 - 19 i position B. Bakgrundsnivån i lokalen vid dessa försök var låg, se figur 34.

### 5.4 Försöksserie II: Indirekt avlyssning

Vid dessa försök utnyttjades instrumentering enligt figur 31. Denna instrumentering hade den svagheten att signal/brusförhållandet begränsas av mätförstärkaren och ej av bandspelaren som vanligen är den mest kritiska länken. Lyssnarhuvudet placerades i samma sexton positioner som de som förekom i försöksserie I och i varje position spelades samtliga listor upp. Talaren flyttades mellan positionerna A och B på samma

sätt som i försöksserie I. På varje plats inleddes inspelningen med en testsekvens bestående av först en referenston, så att nivån kunde hållas konstant vid högtalaren under den vecka inspelningarna pågick, därefter tre bruspulser om 30 s och 30 s lucka och sist 6 MD-signaler enligt samma mönster som vid de inledande försöken. För att i möjligaste mån undvika inverkan av inlärningseffekter redigerades banden så att försökspersonerna hörde listorna i samma ordning och på samma plats som motsvarande försöksperson på teatern. För lyssnarna gäller vad som ovan sagts i samband med försöksserie I. Vid avlyssningen utnyttjades bandspelare av typen Revox A77 och typ Sennheiser HD414. Dessa är tillräckligt bra för att kunna användas utan korrektionsnät. Se figur 35. Frekvenssvaret varierar inte särskilt mycket. Med hjälp av referenssignalen ställdes korrekt nivå in vid örat. Kurvan visar att nivån sjunker mot lägre frekvenser. Detta beror på akustiskt läckage vid mätningen och är ej fallet vid lyssning. De mätförstärkare som användes vid inspelningen visade sig begränsa signal-brusförhållandet så att bakgrundsnivån vid avlyssningen genom hörlurar blev högre än vad bakgrundsnivån var för de personer som lyssnade direkt i teatern, speciellt vid höga frekvenser. Hörlurarna HD 414 har speciellt goda egenskaper ur bakgrundsnivåhänseende genom att de ljud som alstras då försökspersonerna utför små huvudrörelser är betydligt mindre än vid de tidigare använda Beyer DT 48 speciellt vid låga frekvenser.

### 5.5 Resultat

Försökspersonerna permuterades enligt tabell 1. Av tabell 2 framgår resultaten för försök I i form av antalet rätt uppfattade ord per lista om 100 ord personvis och i tabell 3 platsvis. Motsvarande data för försök II framgår av tabell 4 resp 5. I tabell 6 och 7 har resultaten sammanställts med avseende enbart på platserna. Jämför även figurerna 55 - 58.

### 5.6 Bearbetning och kommentarer

På grund av det lilla försöksmaterialet kan vanliga statistiska metoder ej användas och det förda resonemanget måste därför bli av kvalitativ natur. Resultaten har jämförts platsvis (medelv.), se figurerna 36 - 37, man ser att antalet fel i medeltal är något högre för indirekt lyssning än för direkt trots de goda försöksbetingelserna. Detta kan bero på bakgrundsnivån vid avlyssning med hörlurar var högre än vid direkt

lyssning. Det är intressant att istället för att betrakta medelvärden, följa "personpar" som alltså lyssnat i försök I resp II på samma plats, samma lista i samma följd. Några exempel på sådana samband visas i figurerna 38 - 41. Något entydigt samband mellan de två lyssningsmetoderna låter sig alltså inte finnas. Genom att undersökningen är utförd med så få försökspersoner är det svårt att generalisera resultaten till andra grupper. Spridningen i resultat för de olika platserna är också stor, se figur 42.

Platserna 1 - 14 och 2 - 14, som är långt ut på ena sidan nära scenen, har betydligt sämre resultat än de övriga. Detta beror dels på kraftiga reflexer från salongens motsida, se figur 43, dels på att "talarens" riktkarakteristik är sådan att de högre frekvenserna i talet ej strålas ut mot de ifrågavarande platserna. Man bör i detta sammanhang notera att högtalaren har kraftigare riktverkan än ett människohuvud.

Trots de goda omständigheterna med låg bakgrundsnivå erhålles alltså dåliga resultat på vissa platser. I en tidigare rapport har bakgrundsnivåns betydelse poängterats. Under normala omständigheter med högre bakgrundsnivåer är därför taluppfattbarheten låg på dessa platser.

En närmare undersökning i detta avseende skulle som tidigare skisserats kunna ske genom att addera störningar till de inspelade listorna. Då skulle även olika talnivåer kunna undersökas.

Resultaten visar dock på att platserna i allmänhet har goda egenskaper under de givna betingelserna. En viss differentiering av de enskilda platserna kan ske men osäkerheten är stor. I figur 44 visas ett tänkt samband mellan taluppfattbarhet och någon "lokalegenskap".

Om vi enbart önskar klassificera de olika platsernas godhet är det alltså fördelaktigt att befinna sig i området B på kurvan. Vid våra försök har vi befunnit oss över B. Detta är emellertid ogörligt att förutsäga vid försöksplaneringen.

Vid bedömningen av lokalens kvalitét för normalt bruk kan man inte dra några absoluta slutsatser ur resultaten. Publiken på parkett kommer att få en minskning av direktljudet på grund av interferenser och vidare är troligen bakgrundsnivån ca 40 dB(A). Som tidigare beskrivits är emellertid utbredningsförhållandena för ljud med låg frek-

vens och vid strykande infall i stort sett oberoende av om publiken är närvarande eller ej [16]. En annan faktor som påverkar lyssnandet är talarnas spektrum och talsätt. Dessutom tillkommer den optiska kontakten mellan publik och skådespelare, vilken bidrar till att höja taluppfattbarheten. Vanligt tal är dessutom redundant.

## 6. MODULATIONS DÄMPNINGSMÅTTET

### 6.1 Definitioner

Till skillnad från andra mått och i synnerhet det där måttet definieras som förhållandet mellan ljudenergimängden i direktljudet och tidiga reflexer i ett begränsat tidsintervall och totala ljudenergimängden under hela efterklangsförloppet, måttet "Deutlichkeit", tar modulationsdämpningen också hänsyn till de förändringar i ljudintensitetsnivån som förekommer i talets modulation.

Deutlichkeit (D) = tydlighet definieras som

$$D = \frac{\int_0^t p^2 \cdot dt}{\int_0^\infty p^2 \cdot dt}$$

Tiden  $t = 50$  m/s är vald med hänsyn till örats integrationsegenskaper.

Modulationsdämpning definieras som

$$M_D = -10 \lg M_{gr}$$

där  $M_{gr}$  - modulationsgrad (modulationsdjup)

$$M_{gr} = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T p_{dm}^2 \cdot dt}{\frac{1}{T} \int_0^T p_m^2 \cdot dt} = \frac{I_{dm}}{I_m}$$

$t$  = puls och pulsluckans tid

$p_m^2$  = modulerade signalens intensitet ( $p \sim I$ )

$p_{dm}^2$  = demodulerade signalens intensitet.

- a) modulerad bärvågssignal (bredbandig eller smalbandig)  
 b) modulerad impulssignal som består av direkt impulssignal, efterklang och reflex.  
 Jämför figur 45.

Mätmetoden baserar alltså på ändringar i modulationsdjupet. Så t ex minskar modulationsdjupet, om intensitetsnivån - som beror på efterklangen och sena reflexer - stiger eller om nivån beroende på direktljudet och tidiga reflexer minskar ( $p_{dm}^2$  minskar och samtidigt stiger  $p_m^2$  eller är konstant).

Vid undersökningar användes modulerat brus, bestående av bredbandigt vitt brus, som avbröts i bestämda tidsintervall. Pulstid och pulslucka varierades från några tiotal till några hundratal ms på det sätt som tidigare beskrivits.

I figur 47 visas signalens olika beståndsdelar. Vid mätningen mäts rms-värdet för ljudtrycksnivån för den modulerade och demodulerade signalen, ur vilket modulationsgraden och modulationsdämpningen kan beräknas. Modulationsdämpningen varierar mellan olika platser beroende på avståndet till ljudkällan, reflexernas utbredning, efterklangstiden och bakgrunds- och signalnivån. Med stigande modulationsgrad minskar modulationsdämpningen och taluppfattbarheten stiger.

## 6.2 Mätning av modulationsdämpning

Testsignalen som strålas ut i salen från högtalaren når varje plats tillsammans med olika reflexer och efterklang.

Direktljudets intensitet beror framför allt på avståndet till ljudkällan och på dennas riktkaraktär.

$$I_{\text{dir}} = \frac{P}{4 \pi R_d^2} \cdot k_{\phi} \cdot k_r$$

Den komplicerade publikreflexen med ofta i stort sett samma gångtid gör det svårt att tillämpa detta uttryck direkt. Efterklangens intensitet beror på salens totala akustiska absorption.

$$I_{\text{eft.}} = \frac{4 P}{A}$$

Reflexernas intensitet beror på avståndet, ljudkällans riktkarakteristik och ytornas reflexionsegenskaper. Jämför tabell 11, 12 och 13.

$$I_{\text{refl}} = \frac{P}{4 \pi R^2} \cdot k_{\varphi} \cdot k_{\gamma} \cdot k_r$$

där  $P$  = ljudkällans effekt

$R$  = avstånd

$A$  = salens totala absorption

$k_{\varphi}$  = ljudkällans direktivitet

$k_{\gamma}$  = ytans reflexionskoefficient

$k_r$  = speciella utbredningsförluster.

Det tal som strålas ut från ljudkällan är en komplicerat modulerad signal.

Tidsintervallen vid moduleringen beror på talets hastighet och ligger på 3 - 7 ord/sek (330 - 150 ms/ord). Under den här tiden varierar ljudeffekten beroende på ordens karaktär. Till åhöraren kommer samma ljud men i modifierad form, som alltså beror på bl a salens och ljudkällans egenskaper.

I den komplexa signal, som kommer till åhöraren, varierar hela tiden intensitetens maximum och minimum. Samtidigt ändrar sig modulationsdjupet och modulationsgraden. Dessutom når signalens olika beståndsdelar (direktljud, efterklang och reflexer) åhöraren med olika tidsförskjutning.

För att få resultaten oberoende av mätinstrumentets känslighet och inställning, mättes samtidigt modulationsgraden hos en testsignal enbart bestående av rena rektangulära pulser (bredbandigt brus, som avbröts under bestämda tidsintervall). Frekvensområdet ändrades med ett bandpassfilter.

### 6.3 Modulationsgrad och modulationsdämpning hos testsignalen

$$M_{\text{gr}} = \frac{I_{\text{dm t}}}{I_{\text{m t}}} = \text{konst.} \quad \text{"t"} = \text{testsignal}$$

$$M_{\text{D t}} = -10 \lg M_{\text{gr}} = L_{\text{m t}} - L_{\text{dm t}}$$

Modulationsgraden och dämpningen i salen

$$M_{gr} = \frac{I_{dm\ s}}{I_{m\ s}} \quad \text{"s" = signal i salen}$$

$$M_{D_s} = -10 \lg M_{gr} = L_{m_s} - L_{dm_s}$$

$$M_D = M_{D_s} - M_{D_t} = (L_{m_s} - L_{dm_s}) - (L_{m_t} - L_{dm_t})$$

#### 6.4 Modulationsdämpning hos rena impulssignaler

Som tidigare beskrivits, ligger ordens tidsintervall mellan 150 och 330 msek. För att bestämma påverkan på resultatet av puls och pulslucka, undersöktes rena rektangulära impulssignaler som erhöles från en impulsgenerator. Resultatet kontrollerades på oscilloskop och registrerades på nivåskrivare. Se figur 46.

För fyrkantssignaler är den modulerade signalens effektivvärde (jämför figur 47):

$$U_{m\ eff}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) \cdot dt = U_{max}^2 \cdot \frac{t}{T}$$

Den demodulerade signalens effektivvärde är:

$$U_{dm\ eff}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) \cdot dt - \bar{U}^2$$

där  $\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) \cdot dt = U_{max} \cdot \frac{t_1}{T}$  (medelvärde för demod. sign.)

$$U_{dm\ eff}^2 = U_{max}^2 \cdot \frac{t}{T} - U_{max}^2 \cdot \frac{t^2}{T^2} = U_{max}^2 \cdot \frac{t_1(T - t_1)}{T^2}$$

Modulationsgraden för en rektangulär signal är:

$$M_{gr} = \frac{U_{dm\ eff}^2}{U_{m\ eff}^2} = \frac{U_{dm\ eff}^2}{U_{m\ eff}^2} - \frac{T - t_1}{T} = \frac{T - t_1}{T}$$



Modulationsdämpningen:

$$M_D = -10 \lg M_{gr} = -10 \lg \frac{T - t_1}{T} \text{ dB}$$

Resultatet av beräkningarna redovisas på bifogade kurvblad.

Dessa beräkningar stämmer med undersökningar gjorda med användandet av test-signaler vid olika frekvenser (tone-burst) i området 50 - 10.000 Hz, och med användande av demodulator med övre gränsfrekvens 30 Hz för den demodulerade signalen.

Resultatet visar att vid rena signaler med tidsförhållande som ligger mellan  $\frac{t}{T} = 0,1 - 0,5$  ändrar sig modulationsdämpningen linjärt. Vid  $\frac{t}{T} > 0,5$  stiger  $M_D$  snabbt till ett maximum.

Val av  $T$  och tidsförhållandet  $\frac{t_1}{T}$  ger 3 principiella möjligheter. Se figur 48.

1)  $t < T$

Om en störande reflex med varaktigheten  $t_1$  kommer efter tiden  $\tau$ , stiger  $I_m$  medan  $I_{dm}$  minskar, vilket medför att modulationsdämpningen stiger.

2)  $t = T$

3)  $t > T$

Om  $\tau < t$  kan både  $I_m$  och  $I_{dm}$  öka. Förhållandet är inte klart på grund av korrelationen mellan den direkta och de reflekterade signalerna.

Analysen kompliceras när den störande signalen kommer med tiden  $t_1 > T$  eller i ett rum med efterklangstid  $T_{rum} \gg T$ .

### 6.5 Val av puls/pulslucka

Det visar sig (se ovan) att de bästa egenskaperna uppnås när  $t < T/2$ .  $T$  valdes ur analys av ordhastighet dvs 330 - 140 msek.

Mätning av modulationsdämpningen i salar med ändringar hos de akustiska parametrarna kan i detta stadium belysa problemet, men endast på ett jämförelsevis grovt sätt.

För undersökningar användes följande impulssignaler

Nr	puls msek	pulslucka msek	tidsintervall msek	mod.frekvens Hz
1	100	100	200	5
2	150	150	300	3.3
3	180	180	360	2.75
4	35	100	135	7.4
5	35	180	215	4.65

Testsignalens nivå på avståndet 1 m från ljudkällan var 78 dB. Signalerna filtrerades genom ett bandpassfilter och registrerades på en nivåskrivare. Filtret hade flankbrantheten 24 dB/oktav.

Undersökta frekvensintervall var: 125 - 500 Hz, 500 - 2000 Hz, 2000 - 4000 Hz, 4000 - 8000 Hz och 20 - 20.000 Hz (dvs ingen filtrering).

#### 6.6 Förbättring av instrumentering för mätning av $M_D$ -signaler

Vid våra inledande försök visade det sig att den tidigare använda demodulatorn [27] hade ett dåligt dynamiskt omfång, dvs den demodulerade signalen visade avvikelser från den modulerade signalens envelopp. Genom att konstruera en ny demodulator enligt figur 49 har dessa problem lösts. Ett allvarigare problem med den tidigare metoden var att avläsningen skedde med hjälp av visarinstrumenten på bullermätarna. Vid våra mätningar har vi utnyttjat oss av instrumentförstärkare, bandpassfilter och skrivare, enligt figur 51. Detta har medgett en mera konsekvent avläsning av  $MD$ -värdena.

Mätsystemet har alltså ändrats jämfört med det som beskrivits i [27]. Alla signaler utvärderades med hjälp av nivåskrivare, vilket medger bättre mätnoggrannhet och med hjälp av dubbelstråleoscilloskop kontrollerades att den demodulerade signalen ej avvek från den modulerade signalens envelopp.

På skrivarna registrerades den modulerade och demodulerade signalens nivå.

Demodulatorens består av ett lågpassfilter med övre gränshfrekvensen 30 Hz. På grund av de låga frekvenserna, användes mätinstrument med undre gränshfrekvens 2 Hz. Ur de erhållna värdena beräknades modulationsdämpningen enligt

$$M_{D_s} = L_m - L_{dm} \text{ (okorrigerat)}$$

resp

$$M_D = (L_{m_s} - L_{dm_s}) - (L_{m_t} - L_{dm_t}) \text{ (korrigerat)}$$

### 6.7 Resultat och diskussion

Se tabellerna 14 - 15 och figurerna 59 - 68.

Ur resultaten ser man att de platser där taluppfattbarheten är låg är modulationsdämpningen hög. T ex på platserna 1 - 14 och 2 - 14, som är obetydligt sämre än de andra, minskar taluppfattbarheten till 82 och 86.5 % med högtalare i position B och 89 % med högtalare i position A. Samtidigt stiger  $M_D$  ( $t = 35$  msek,  $T = 140$  msek, 2000 - 4000 Hz och 4000 - 8000 Hz om 4 - 5 dB jämfört med de flesta bättre platserna.

Det finns platser t ex 60, 145, 171, 329, 514 och 527, som oberoende av ljudkällans riktning, har högre taluppfattbarhet än andra. På de platserna minskar också modulationsdämpningen. Beroende på salens egenskaper, har det inte varit möjligt att bestämma sambandet "taluppfattbarhet p modulationsdämpning" inom ett större intervall.

Vid t ex stort tidsintervall mellan direktljud och reflex, när reflexen kommer med tidsintervallet  $\approx$  impulstiden.

$$\tau = t \text{ och } \tau > 50 \text{ msek}$$

minskar taluppfattbarheten men modulationsgraden stiger, dvs modulationsdämpningen minskar, se figur 50.

Vid okorrelerade signaler är intensiteten hos de modulerade signalerna (1) och (2) konstant, men i de demodulerade signalerna stiger intensiteten när  $\tau_2 = T > \tau_1$ , modulationsgraden stiger och  $M_D$  minskar.

## 7. SAMVARIATION MELLAN TALUPPFATTBARHET OCH MODULATIONS DÄMPNING

För att undersöka samvariationen mellan taluppfattbarhet och modulationsdämpning har vi beräknat korrelationskoefficienten  $r$  för varje plats enligt

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n - 1) \cdot s_x \cdot s_y}$$

där  $x_i$  är taluppfattbarhetsresultaten i % vid direkt lyssning i Stadsteatern (medelvärde för samtliga personer) och  $y_i$  är motsvarande MD-värde i dB.  $s_x$  och  $s_y$  är standardavvikelse för resp variabel.

Korrelationskoefficienten beskriver hur väl värdena anpassar sig till ett direkt samband av typen  $y_i = \alpha + \beta x_i$  där  $\alpha$  resp  $\beta$  är konstanter.

Jämförelsen har gjorts för 5 av de använda MD-signalerna och med 5 olika filter med passband 20 - 20.000, 125 - 500, 500 - 2000, 2000 - 4000 resp 4000 - 8000 Hz.

Ur tabellerna 8 - 10 framgår  $r$ -värdena för de olika testsignalerna och filtervarianterna. Ur materialet framgår bl a att man med högtalaren i position A får en hög korrelation för alla signaltyperna i frekvensområdena 2 - 4 kHz, 4 - 8 kHz, där i huvudsak redundant talinformation förekommer. I svåra lyssningssituationer är det denna redundanta information som tas i anspråk för tydningen av det hörda. En hög korrelationskoefficient med dessa filter betyder alltså att signalen har goda mät-egenskaper i detta avseende. Block I har å andra sidan höga korrelationskoefficienter i hela det område som är aktuellt för talinformation, dvs 500 Hz - 8 kHz.

På motsvarande sätt fås med högtalaren i position B, blockbildningarna III, IV, V. Vi ser återigen att även i detta fall är signalernas egenskaper ej särskilt kritiska i frekvensområdena 2 - 4 kHz resp 4 - 8 kHz. För denna högtalarposition får vi emellertid två block med goda egenskaper, nämligen för signalerna 4 resp 5.

I inget av fallen fås någon relevant information ur bandet 125 - 500 Hz annat än att rumsegenskaperna i detta frekvensområde ej är särskilt väl korrelerade med taluppfattbarheten. Detta innebär att utbredningsförhållandena över publikytan inte har särskilt stor betydelse. En anledning till att den "gynnsammare" högtalarpositionen

A ej gett högre korrelation än B kan vara att sambandet TU (%) - MD (dB) ej är av den linjära form som korrelationsanalysen förutsätter. För att undersöka detta skulle man exempelvis kunna transformera MD-värdena med någon lämplig funktion för att få högre r-värden.

Valet av testsignal är emellertid ej entydigt bundet till r-värdena. Det dynamiska omfånget i dB spelar också in. Det är nu ur mätsynpunkt bättre att välja en dB-signal som varierar mycket än en som varierar litet om r-värdena för dem är lika, eftersom det är lättare att mäta den förra korrekt.

För att undersöka detta har det totala spridningsområdet för MD-signalerna tabellerats på samma sätt som r-värdena. Se tabell 10.

En jämförelse mellan tabellerna 9 och 10 visar att ifråga om omgång är signalerna 4 och 5 bäst. Signal 4 har både högsta korrelation och totalt spridningsområde. Dessa två är med säkerhet kopplade genom att mätmetoden inte har medgivit tillräckligt hög upplösning.

För framtida försök bör alltså signaler med relativt hög repetitionsfrekvens användas, signal 4 har den högsta frekvensen (7.1 Hz) av de utnyttjade. Man ser ibland stavelsefrekvensen för tal angiven till ca 5 Hz vilket ligger närmare signalerna 1 resp 5. Det skulle vara värdefullt att undersöka stavelsefrekvensen i de använda listorna.

## 8. ARTIFICIELLT LYSSNARHUVUD

### 8.1 Problem

Vid användningen av det av Svensk Akustikplanering konstruerade lyssnarhuvudet under inspelningen, visade det sig att det var ett relativt komplicerat och otympligt system.

Det var också svårt att få tillfredsställande kontakt vid de anslutningar som förbinder katodföljarna med mikrofonkapslarna. Dessutom var det i vissa fall nödvändigt att ha tillgång till nätspänning 220 V för att driva enheterna. Vid så omfattande försök som dessa bidrog mängden av apparatur till att systemets felfrekvens blev hög.

För att komma ifrån de ovan nämnda olägenheterna beslöt vi oss för att konstruera ett nytt lyssnarhuvud som var mera praktiskt att använda.

Vi ställde då följande villkor:

- 1) batteridrift alternativt drift från batteridriven bandspelare
- 2) signalutgång av typ balanserad linje impedans 600 ohm
- 3) signal brusförhållande sådant att brusnivån bestäms av bakgrunds-nivån i lokalen.

För lyssnarhuvuden brukar man dessutom ställa följande villkor:

- 1) Ingen lokalisering av ljudkällor inom huvudet.
- 2) Det skall vara möjligt att avgöra om en ljudkälla ligger bakom huvudet eller framför.
- 3) Korrekt avståndsintryck.
- 4) Korrekt efterklangsintryck.
- 5) God överensstämmelse med originalljudfältet.

## 8.2 Konstruktion

Mikrofoner, som är av typen AKG C2, är en tryckkännande kondensatormikrofonkapsel. Den kännetecknas av goda egenskaper speciellt vad gäller åldring och temperaturberoende. Den sitter monterad i en kavitet som är ansluten till ytterörat via en akustisk resistans och en gång med diametern 7.5 mm och längden 22 mm. Kavitetens volym (inklusive kapselns ekvivalenta volym) är ca  $0,6 \text{ cm}^3$ . Denna konstruktion innebär att man simulerar öronkanalen och trumhinnan samt deras inverkan på ljudfältet i närheten av ytterörat åtminstone för frekvenser upp till några kHz. Mikrofonen känner nu av trycket vid hörselgångens öppning men via en akustisk krets som ger en rad resonanser i frekvensspektrat. Dessa resonanser måste justeras bort med hjälp av elektriska filter senare i överföringskedjan. Mikrofonkapseln är så konstruerad att den ger frekvensoberoende utsignal inom området 20 Hz - 20 kHz för en plan, vinkelrätt mot kapseln infallande våg med konstant tryck inom detta frekvensområde. I en kavitet kommer emellertid återgivningen att minska kraftigt mot höga frekvenser. Denna tendens måste alltså kompenseras. Emellertid är den elektroakustiska överföringskedjan såpass obestämd vad avser uppspelningsutrustningens frekvensgång att det är lämpligast att göra en hörtröskelundersökning (i exempelvis fritt fält) för några försökspersoner

dels direkt dels indirekt. Därefter kan det sammansatta systemets frekvensgång justeras. Några sådana försök har emellertid ej gjorts ännu på grund av tidsbrist.

För att möjliggöra batteridrift har mikrofonförstärkarna transistoriserats. Brusnivån från förstärkarna är ca  $3 \mu$  V dB(A) vägt. Detta motsvarar en ljudtrycksnivå i fritt fält av ca 23 dB(A). Eftersom ljudtrycket på grund av ytterörats resonanser är ca 5 - 10 dB högre än frifältsvärdet (vid frekvenser ovanför 500 Hz) vid den inbyggda mikrofonen svarar brusnivån alltså mot ca 15 - 20 dB(A) akustisk bakgrundsnivå i lokalen, vilket i regel är helt tillfredsställande. Om man utnyttjar en B & K mikrofonkapsel exempelvis 4144 som ger ca 12 dB högre utnivå kan alltså den ekvivalenta bullernivån bli ca 5 - 10 dB(A) vilket möjliggör mätningar vid så låga nivåer att bakgrundsnivån i den studerade lokalen blir bestämmande för den totala bullernivån för bandspelaren.

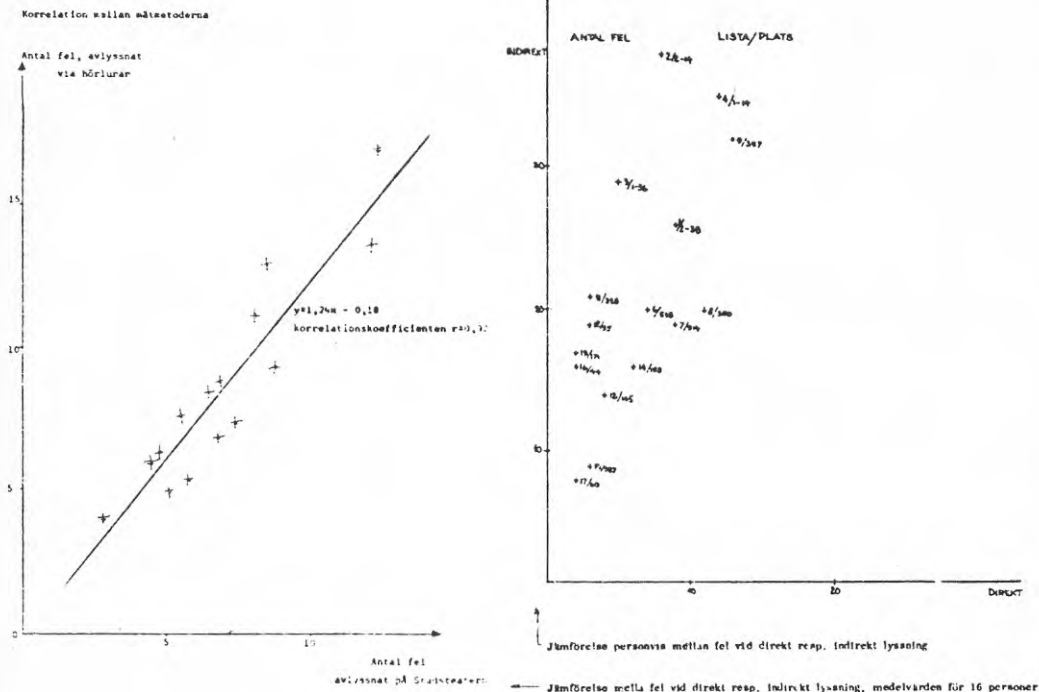
Genom att mikrofonen är kopplad till en balanserad lågohmig linje kan den anslutas direkt till NAGRA-bandspelaren även över kabelsträckor upp till flera hundra meter vilket gör systemet flexibelt.

För att alstra den nödvändiga högspänningen till mikrofonförstärkarna har en likspänningsomvandlare konstruerats. Denna är monterad på den docka som huvudet sitter på. Huvudet har skurits i massivt trä, öronen är av kiselgummi. Hela konstruktionen är lätt bärbar. Se figuren 52 - 54.

## 9. SAMMANFATTNING

Många hörsalar, teatrar m fl lokaler med en publikkapacitet av ca 500 - 1000 personer har ofta dåliga taluppfattbarhetsegenskaper. I denna rapport redogörs för studier av en medelstor teaterlokal, Göteborgs stads-teaters stora scen. Studierna har främst gällt taluppfattbarheten på olika platser i salongen, och taluppfattbarhetens samvariation vid direkt lyssnande i salongen och vid indirekt lyssnande via artificiellt lyssnarhuvud och hörlurar. Likaså har samvariationen med modulationsdämpningsmättet studerats för några olika parametrar.

Samvariationen mellan direkt och indirekt lyssning visar stora variationer för enskilda lyssnare, men vid medelvärdesbildning över ett stort antal lyssnarresultat blir värdena likartade. Den indirekta metoden ger dock nästan alltid fler felaktigt uppfattade ord, dvs sämre taluppfattbarhetsresultat. Jämför figurerna nedan. Försöken har vidare visat att spridningen i resultaten är så stor att några statistiskt säkra slutsatser knappast kan dras ur det begränsade försöksmaterial som står till förfogande. Anledningen till detta är den alltför ringa dynamiken i försöksmetoden.





Modulationsdämpningsmättet som är en fysikalisk mätmetod visar i dessa försök en samvariation med taluppfattbarhetsresultaten. Detta gäller speciellt för frekvenser i området 2 - 8 kHz. Lämplig modulationsfrekvens har visat sig vara ca 7 Hz, men det är troligt att ännu högre modulationsfrekvenser hade varit än bättre.

I tabellen nedan visas korrelationskoefficienter för några olika filtervarianter och modulationsfrekvenser

Signal	4	5	1	2	3
Filter	35/105 ms 7,1 Hz	35/180 ms 4,65 Hz	105/105 ms 4,8 Hz	150/150 ms 3,3 Hz	180/180 ms 2,8 Hz
125 - 500	- 0,078	0,011	- 0,114	- 0,086	- 0,348
500 - 2000 III	- 0,888	- 0,818	- 0,590	- 0,459	- 0,575
2000 - 4000	- 0,788	- 0,671	- 0,578	- 0,643	- 0,714 IV
4000 - 8000	- 0,791	- 0,701	- 0,826	- 0,639	- 0,668
20 - 20000	- 0,786	- 0,800	- 0,302	- 0,273	- 0,357

Korrelationskoefficienter mellan taluppfattbarhetsresultat vid direkt lyssning res. modulationsdämpning

Vidare har ett nytt lyssnarhuvud färdigställt, och mätutrustningen för modulationsdämpningsmätningar har förbättrats.



Tabell 1.

## Permutationsschema (siffrorna i schemat avser personer)

Plats/Lista	1	2	3	4	6	7	8	9	11	12	13	14	16	17	18	19
44	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2
55	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
60	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1
145	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4	5
150	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3
171	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4
329	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4	5	6
350	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4	5	6	7	8
357	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4	5	6	7
514	10	11	12	1	14	15	16	5	2	3	4	9	6	7	8	13
527	12	1	2	3	16	5	6	7	4	9	10	11	8	13	14	15
538	11	12	1	2	15	16	5	6	3	4	9	10	7	8	13	14
1 - 14	14	13	16	15	2	1	3	4	6	5	8	7	10	9	12	11
1 - 36	13	14	15	16	1	2	4	3	5	6	7	8	9	10	11	12
2 - 14	16	15	14	13	4	3	2	1	8	7	6	5	12	11	10	9
2 - 38	15	16	13	14	3	4	1	2	7	8	5	6	11	12	9	10

talare:	talare I				talare II			
placering:	pos A (mitten)		pos B (sidan)		pos A (mitten)		pos B (sidan)	

Tabell 2.

Individuella taluppfattbarhetsresultat vid direkt lyssning i stadsteatern

= antal rätt uppfattade ord.

Varje lista består av 100 ord

Person/Lista nr	1	2	3	4	6	7	8	9	11	12	13	14	16	17	18	19
1	89	96	94	97	97	87	92	81	97	97	99	99	99	100	95	98
2	94	95	93	94	86	92	77	87	96	99	96	98	99	98	95	96
3	91	95	92	90	90	73	71	74	92	98	88	94	95	98	94	97
4	87	82	88	88	75	89	77	85	97	98	98	93	99	98	98	97
5	85	85	93	98	90	94	88	85	93	91	89	83	95	94	95	98
6	93	95	96	94	97	97	97	91	92	97	96	93	100	96	97	98
7	91	95	98	95	84	97	94	92	93	98	90	94	100	99	94	97
8	90	93	96	96	88	86	98	93	95	97	98	90	99	93	96	96
9	90	90	96	94	93	90	83	92	83	96	96	95	95	92	88	85
10	82	93	90	90	95	93	84	84	97	100	96	95	92	93	84	88
11	79	87	93	89	97	90	92	86	93	99	95	90	97	85	87	87
12	91	95	99	97	97	100	99	98	99	98	98	99	98	96	92	97
13	90	83	88	91	85	90	94	93	97	95	90	96	91	94	93	92
14	91	92	97	92	94	93	90	87	96	98	92	95	100	99	95	96
15	91	92	95	88	93	91	89	87	97	96	98	94	98	98	97	97
16	92	89	90	93	95	94	98	91	99	96	91	97	99	98	100	97

Tabell 3.

Taluppfattbarhetsresultat platsvis vid lyssning direkt i stadsteatern

= antal rätt uppfattade ord. Varje lista består av 100 ord.

Plats/Lista	1	2	3	4	6	7	8	9	11	12	13	14	16	17	18	19
44	91	92	93	94	84	86	83	84	93	98	90	95	98	98	95	96
55	89	95	92	98	90	97	94	93	93	100	95	99	91	99	97	97
60	94	95	98	98	97	97	98	92	97	99	98	96	100	98	100	98
145	93	95	96	94	95	90	99	93	96	96	91	99	99	98	98	98
150	97	85	96	95	88	90	84	96	99	95	98	94	99	100	95	97
171	85	95	98	96	93	93	92	98	97	98	98	97	99	98	94	97
329	91	93	96	90	97	100	94	87	97	96	99	98	95	98	95	98
350	90	93	93	97	85	93	89	91	97	99	88	93	95	96	94	96
357	90	90	90	89	97	90	90	87	99	97	96	94	99	94	97	97
514	82	87	99	97	94	91	98	85	94	98	98	95	100	99	96	92
527	91	96	93	90	95	94	97	92	97	96	96	90	99	94	95	97
538	79	95	94	94	93	94	88	91	92	98	96	95	100	93	93	96
1 - 14	91	83	90	88	86	87	71	85	92	91	90	90	92	92	92	87
1 - 36	90	92	95	93	97	92	77	74	93	97	98	94	95	93	83	97
2 - 14	92	92	97	91	75	73	77	81	95	98	96	83	98	85	84	85
2 - 38	91	89	88	92	90	89	92	87	93	97	89	93	97	96	88	88
talare					talare 1				talare 2							
placering	pos A mitten				pos B sidan				pos A mitten				pos B sidan			

Tabell 4.

Individuella taluppfattbarhetsresultat vid indirekt lyssning

= antal rätt uppfattade ord

Varje lista består av 100 ord

Person/Lista nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	93	95	87	92	94	88	93	86	90	90	86	84	85	79	75	89
2	95	96	95	93	98	92	95	95	96	93	92	95	83	87	63	88
3	94	93	97	99	98	98	99	94	99	98	92	97	89	97	72	94
4	87	92	87	95	97	96	94	94	91	91	91	97	91	89	66	88
6	84	79	92	78	98	99	86	90	94	98	93	99	89	96	81	96
7	72	79	83	88	97	98	95	84	92	95	94	96	81	79	82	94
8	83	62	79	86	96	90	97	92	89	87	88	94	91	83	81	92
9	56	82	78	74	93	90	97	96	90	70	85	95	90	90	69	87
11	89	95	97	92	95	95	95	92	95	94	89	94	95	94	80	94
12	96	92	95	92	94	96	95	97	97	96	95	95	96	96	87	96
13	94	94	92	98	94	95	95	92	94	92	89	96	94	92	84	95
14	91	96	96	93	96	99	97	94	94	94	89	95	96	94	85	90
16	96	99	94	91	95	98	99	95	97	89	91	90	98	96	85	97
17	95	94	98	97	98	100	97	95	93	94	68	98	92	96	93	94
18	92	98	98	97	90	97	95	97	95	89	90	92	95	93	82	98
19	96	90	95	99	90	95	97	96	88	97	82	96	99	97	92	100

Tabell 5.

Taluppfattbarhetsresultat vid lyssning indirekt, via hörlurar

= antal rätt uppfattade ord. Varje lista består av 100 ord.

Plats/Lista	1	2	3	4	6	7	8	9	11	12	13	14	16	17	18	19
44	87	93	98	83	86	84	89	70	89	95	94	94	85	94	92	90
55	93	96	97	95	98	98	97	96	95	96	89	95	98	96	82	100
60	95	95	99	97	99	95	92	100	94	95	96	96	96	93	98	96
145	88	95	94	91	98	94	94	90	94	87	95	91	99	98	97	100
158	92	98	94	94	90	92	87	85	94	96	92	85	97	95	98	95
171	94	95	99	94	94	95	88	95	95	96	84	90	96	94	98	99
329	93	95	99	91	93	96	91	90	80	96	94	96	94	97	100	95
350	90	93	92	97	89	79	81	87	89	92	92	93	95	100	95	96
357	86	96	98	91	99	81	83	69	94	96	94	96	91	98	97	97
514	90	92	97	96	96	82	92	97	95	95	98	94	98	97	97	99
527	84	92	93	87	96	97	90	97	92	97	92	89	95	92	93	92
538	86	95	98	92	81	94	96	90	93	92	94	94	99	95	95	97
1 - 14	79	83	94	88	79	72	79	74	95	94	95	94	89	93	92	82
1 - 36	85	87	72	66	84	79	86	78	95	96	92	97	97	94	90	96
2 - 14	89	63	97	91	78	83	62	54	92	95	95	96	90	68	89	88
2 - 38	75	88	89	89	92	88	83	82	95	97	94	99	91	98	95	97

talare	talare I		talare II	
	pos A (mitten)	pos B (sidan)	pos A (mitten)	pos B (sidan)
placering				

Tabell 6.

Taluppfattbarhet i % för de olika platserna. Direkt lyssning.

Försöksserie

 $\bar{x}$  = medelvärde  $\sigma$  = standardavvikelse

Plats nr	talare i pos A (mitten)		talare i pos B (sidan)	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
44	93	2,5	90,5	6,8
55	95	3,7	95	3,2
60	97	1,7	97,5	2,5
145	95	2,4	96	3,3
158	93	4,7	92	6,2
171	95,5	4,4	95,5	2,8
329	95	3,3	95,5	4,0
350	94	3,7	92	3,9
357	93	3,9	94	4,4
514	94	6,1	94	5,0
527	94	3,0	95	2,2
538	93	5,9	93,5	3,5
1 - 14	89	2,8	86,5	6,9
1 - 36	94	2,6	89	9,0
2 - 14	93	2,9	82	7,9
2 - 38	91,5	2,9	91	3,8



Tabell 7.

Taluppfattbarhet i % för de olika platserna. Indirekt lyssning.

Försöksserie

$\bar{x}$  = medelvärde     $\sigma$  = standardavvikelse

Plats nr	talare i pos A (mitten)		talare i pos B (sidan)	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
44	92	4,8	86	7,4
55	94,5	2,5	96	5,6
60	96	1,6	96	2,8
145	92	4,1	96	3,7
158	93	3,8	92	4,6
171	93	4,5	95	3,3
329	93	5,8	94,5	3,2
350	92	2,4	90	7,6
357	94	3,8	89	10,8
514	95	2,6	95	5,5
527	91	4,0	94	2,6
538	93	3,4	94	5,6
1 - 14	90	6,2	82,5	7,9
1 - 36	86	11,6	88	7,4
2 - 14	90	11,1	76,5	13,7
2 - 38	91	7,5	91	6

Tabell 8.

Korrelationskoefficienter för sambandet taluppfattbarhetsresultat vid direkt lyssning  
modulationsdämpning (platsvis)

## Högtalaren i position A

Signal	1	2	3	4	5
Filter					
125 - 500	0,311	0,366	0,480	0,148	0,241
500 - 2000	- 0,482	- 0,266	- 0,407	- 0,695	- 0,498
2000 - 4000	- 0,675	- 0,698	- 0,748	- 0,699	- 0,714
4000 - 8000	- 0,687	- 0,708	- 0,681	- 0,689	- 0,706
20 - 20000	- 0,314	- 0,177	- 0,147	- 0,606	- 0,486

## Korrelationskoefficienter

## Högtalaren i position B

Signal	1	2	3	4	5
Filter					
125 - 500	- 0,114	- 0,006	- 0,348	- 0,078	0,011
500 - 2000	- 0,590	- 0,459	- 0,575	- 0,888	- 0,818
2000 - 4000	- 0,578	- 0,643	- 0,714	- 0,785	- 0,671
4000 - 8000	- 0,826	- 0,639	- 0,668	- 0,791	- 0,701
20 - 20000	- 0,302	- 0,273	- 0,357	- 0,786	- 0,800

signal 1 105 - 105 ms 4,8 Hz

signal 2 150 - 150 ms 3,3 Hz

signal 3 180 - 180 ms 2,8 Hz

signal 4 35 - 105 ms 7,1 Hz

signal 5 35 - 180 ms 4,65 Hz

Tabell 9.

Korrelationskoefficienter (enligt tabell 8) ordnade efter pulsfrekvens.

## Högtalaren i position A

Signal	4	5	1	2	3
Filter	35/105 ms 7,1 Hz	35/180 ms 4,65 Hz	105/105 ms 4,8 Hz	150/150 ms 3,3 Hz	180/180 ms 2,8 Hz
125 - 500	0,148	0,241	0,311	0,366	0,480
500 - 2000	I - 0,695	- 0,498	- 0,482	- 0,266	- 0,407
2000 - 4000	- 0,699	- 0,714	- 0,675	- 0,698	- 0,748
4000 - 8000	- 0,689	- 0,706	- 0,687	- 0,708	- 0,681
20 - 20000	- 0,606	- 0,486	- 0,314	- 0,177	- 0,147

## Högtalaren i position B

Signal	4	5	1	2	3
Filter	35/105 ms 7,1 Hz	35/180 ms 4,65 Hz	105/105 ms 4,8 Hz	150/150 ms 3,3 Hz	180/180 ms 2,8 Hz
125 - 500	- 0,078	0,011	- 0,114	- 0,086	- 0,348
500 - 2000	III - 0,888	- 0,818	- 0,590	- 0,459	- 0,575
2000 - 4000	- 0,788	- 0,671	- 0,578	- 0,643	- 0,714
4000 - 8000	- 0,791	- 0,701	- 0,826	- 0,639	- 0,668
20 - 20000	- 0,786	- 0,800	- 0,302	- 0,273	- 0,357

Tabell 10.

Spridningsområde. Spridning i dB hos modulationsdämpningsmätningarna.

## Högtalaren i position A

Signal	4	5	1	2	3
Filter					
125 - 500	3,5 - 8,5/5	1,5 - 6,5/5	4,5 - 8,7/4,2	5 - 8,7/3,7	3,5 - 8 /4,5
500 - 2000	3,7 -12,3/8,6	2,5 - 7,5/5	5,5 - 10 /3,5	5,5 - 9/3,5	4,7 - 8,5/3,8
2000 - 4000	2 -13,5/11,5	1 - 8,3/7,3	4 -11,5/7,5	4 -10/6	4 - 9/5
4000 - 8000	2 -13,3/11,3	1,2 - 8/6,8	3,7 -10,6/6,9	4 -9,5/5,5	4,2 - 8,5/4,3
20 - 20000	5 -14/9	1,5 - 7,5/6	6 -9,5/4,5	6 - 8,5/2,5	6 - 9/3

## Högtalaren i position B

Signal	4	5	1	2	3
Filter					
125 - 500	4 - 8,5/4,5	3 - 8/5	5 - 9,5/4,5	5,2 - 9/3,8	4,7 - 7,8/3,1
500 - 2000	4 - 12/8	2,5 - 7,2/4,7	5,5 - 11/5,5	5,2 - 11/5,8	5 - 9/4
2000 - 4000	3 - 9,5/6,5	1,5 - 6,8/5,3	4,5 - 9,3/4,8	4,2 - 8,8/4,6	4,5 - 8/3,5
4000 - 8000	2,7 - 8/5,3	1 - 5,7/4,7	4,3 - 9/4,7	4,3 - 7,7/3,4	4,2 - 7,2/3
20 - 20000	4 - 9/5	1 - 6/5	6 - 8,5/2,5	6 - 8/2	6 - 8/2

Tabell 11.

Intensitetsvariation hos direktljudet på grund av avståndsdämpningen, övriga utbredningsförluster försummade.

$K = -20 \log r$      $r =$  avstånd lyssnare - talare

Plats nr	talare pos r (m)	(mitten) K (dB)	talare pos r (m)	(sidan) K (dB)
44	8,5	- 19	9	- 19
55	7	- 17	10,5	- 20
60	6	- 16	8,5	- 19
145	12	- 22	15	- 24
158	10	- 20	12	- 22
171	10	- 20	12	22
329	16	- 24	20	- 26
350	15	- 24	17	- 25
357	15	- 24	18	- 25
514	21	- 26	22	- 27
527	20	- 26	23	- 27
538	20	- 26	22	- 27
1 - 14	16	- 24	17	- 25
1 - 36	19	- 26	22	- 27
2 - 14	18	- 25	19	- 26
2 - 38	20	- 26	23	- 27

Tabell 12.

Inverkan av högtalarens riktkarakteristik för direktljudet till de enskilda platserna.  
Korrektion i dB relativt mitt fram för högtalaren.

a) högtalaren i position A (i mitten, rakt fram)

Plats	vinkel	1	2	3	4	6	8	kHz
44	50	-1,5	-3,5	-2,0	-4,0	-2,3	-2,0	
55	-31	-0,5	-1,5	-0,4	+0,8	-1,0	-1,0	
60	17	-0	-0,5	-0	+0,5	-1,3	-0,4	
145	-42	-0,5	-2,5	-0,5	0	-2,0	-2,0	
158	23	0	-1,0	-0,2	0	-1,4	-0,5	
171	-4	0	0	0	0	0	0	
329	-33	-0,5	-1,7	-0,5	0	-1,2	-1,3	
350	13	0	-0,3	0	+0,5	-0,7	-0,5	
357	-5	0	0	0	0	0	0	
514	21	0	-0,8	-0,2	+0,4	-1,4	-0,4	
527	-10	0	0	0	0	-0,4	-0,3	
538	2	0	0	0	0	0	0	
1 - 14	28	-0,5	-1,5	-0,5	-1,0	-1,5	-1,0	
1 - 36	9	0	0	0	+0,3	-0,5	-0,3	
2 - 14	29	-0,5	-1,5	-0,5	-1,0	-1,5	-1,0	
2 - 38	10	0	0	0	+0,3	-0,5	-0,3	

Tabell 13.

Inverkan av högtalarens riktkarakteristik för direktljudet till de enskilda platserna.  
Korrektion i dB relativt mitt fram för högtalaren.

b) högtalaren i position B (vid sidan, snett framåt)

Plats	vinkel	1	2	3	4	6	8	kHz
44	77				- 6,9	- 6,9	- 11,0	
55	13	0	- 0,2	0	+ 0,5	- 1,0	- 0,3	
60	44	- 1,0	- 2,6	- 1,7	- 3,4	- 1,4	- 1,7	
145	8	0	0	0	+ 0,3	- 0,4	- 0,3	
158	57	- 2,0	- 4,0	- 2,7	- 5,4	- 3,5	- 2,3	
171	35	- 1,0	- 2,0	- 1,0	- 1,5	- 1,0	- 1,5	
329	15	0	- 0,5	0	+ 0,4	- 1,0	- 0,3	
350	53	- 1,6	- 3,7	- 2,5	- 4,9	- 2,9	- 2,0	
357	38	- 0,9	- 2,5	- 1,2	- 2,4	- 1,0	- 1,5	
514	63	- 2,7	- 4,5	- 3,5	- 6,0	- 4,7	- 3,5	
527	35	- 1,0	- 2,0	- 1,0	- 1,5	- 1,0	- 1,5	
538	56	- 2,0	- 4,0	- 2,7	- 5,3	- 3,4	- 2,3	
1 - 14	66	- 2,8	- 4,8	- 4,0	- 6,3	- 5,5	- 4,0	
1 - 36	51	- 1,6	- 3,6	- 2,4	- 4,6	- 2,4	- 2,0	
2 - 14	67	- 2,8	- 4,8	- 4,0	- 6,4	- 5,5	- 4,1	
2 - 38	52	- 1,6	- 3,6	- 2,5	- 4,7	- 2,6	- 2,0	

Tabell 14.

Resultat av modulationsdämpningsmätningarna. Talare i position A (mitten).

Plats/Signal	125 - 500 Hz					500 - 2000 Hz					2000 - 4000 Hz					4000 - 8000 Hz					20 - 20000 Hz				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
44	7,5	6,5	5,3	7,5	8	8,5	8,2	6	6,8	6	6,8	6,3	4,5	6	4,5	3,5	3	2,7	2,5	2	5	2	3,5	4	2
55	6,7	6,2	5,6	7,2	8,5	6,3	5,5	4,3	4,2	4	4,2	3,2	3,2	3,5	3	3,5	3	2	2,5	1,5	4	3	3	2,5	2
60	6	6,2	5	5,7	6,3	5	4,5	4	4	3	3,3	2,5	2,2	3	2	2,3	1,5	1	1,3	2,5	2,5	2	2,5	2	1
145	5	5,2	4,6	5,7	5	4,5	4	3,5	4	3,5	4	3,5	2,7	3	3	1,8	1,3	0,9	1,2	0	3,5	1	2,5	2,5	1,5
158	6	6,5	5,3	6,7	7,7	6,5	6,2	5	5,5	4,8	5,3	4,5	3,5	4,5	3,5	3	2	1,7	1,8	1,3	3	2,5	4	4	2
171	5,7	5,5	5,1	6,4	7	5	4,4	3,5	6	3,7	4,5	4,2	3,5	4	3,2	2,5	2	1,7	2,2	1	3,5	2,5	3	3	1,5
329	5	5,2	4,5	6,8	5	3	2,4	1,8	3	2	2	3,7	1,5	2	1	2,5	2,5	1,8	2,2	1	2,5	1	1,5	1,5	1
350	4,5	4	4,3	5,7	5,5	7	6,7	4,5	6,8	4,5	5,5	5	3,7	7,2	5	5	4,2	3,9	4,5	2,7	4	3,5	4	6	3
357	4	3	3,8	4,7	4,5	5,7	4,7	3,8	6,8	3,5	5	4,8	3,8	6	4,3	4	3,5	3	4	2	5	3,5	4	5,5	2
514	5,2	4,5	3,3	5,2	4,5	5,5	4,7	3,5	6	3,3	5,2	4,5	3,2	5,3	4,3	4	3,5	3	4,2	2,5	4	1,5	2	5	2
527	3	2,7	2,5	4,2	3	3	2,5	2	3	3,2	2	1,5	2,2	1,5	3	3	2,4	2,5	1,5	2,5	2	2	0		
538	4,3	4	4,3	5	5	4	3,2	2,5	5	2,5	3,2	2,7	2,2	3,8	2	3,5	2,5	1,9	3,5	1,8	2,5	1,5	2	3,5	1,5
1-14	6	6	5,6	7	6,7	6,9	5,7	4,5	8,3	5,5	6,8	6	5	8,5	6	6,5	4,7	3,7	6,5	4,7	4	2	2,5	6,5	5
1-36	5	4,5	4,3	4,7	4	6,2	5,2	5,7	7,5	5,5	5,5	4,3	3,5	6,8	6,3	5,3	3,7	3,3	5,7	3,8	3,5	3	3,5	6	3
2-14	5,5	5	6,2	5,5	7	5,7	5,2	11	6,7	5	5,2	4,5	7,3	4,5	5,5	3,5	3,2	5,8	3,5	2,5	3,5	7	3,5		
2-38	3	2	4,2	2,7	2,5	6	5,4	3,9	8	5,3	5,5	4,7	3,7	7,7	5	5,6	4,5	2,9	6,3	4	4	2,5	3,5	7	3



Resultat av modulationsdämpningsmätningarna. Talare i position B (sidan).

Plats/Signal	125 - 500 Hz					500 - 2000 Hz					2000 - 4000 Hz					4000 - 8000 Hz					20 - 20000 Hz				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
44	6,7	6,2	4	5,7	5,5	4,5	4,2	3,5	3,7	3	3,7	3	2,5	2,8	2,3	2,5	2,2	1,7	1,7	1	2,5	1,5	2	3	1,5
55	6	5	5,3	6,2	5,5	6,2	5,9	3,7	3,8	4	4	3,7	3,2	3,5	2,7	3,5	2,7	2,7	2,3	2	4,5	3,5	4	3	2
60	6	4,8	4,3	4,7	5	3	2,7	2,4	2,7	2,2	1,5	1,5	1	0,5	1,2	1	0,9	0,5	0,2	4,5	3	4,5	4	2	
145	4	3,7	3,8	5,4	4,5	5,5	4,7	4	5,2	3,5	3,5	3	2,3	2,5	2	2,5	2	1,7	2,1	1	3	1,5	2	3	1
158	4	3,5	4,3	4,5	4,7	4,5	3,9	3,3	3,5	2,7	3,5	3	2,4	3	2,5	2	1,5	1	1,2	1	3	2,5	3	3	2
171	6,3	5,8	5,8	6,7	6	5	4,8	4	4,7	3,8	3,5	3,3	3,2	3,5	2	2,5	1,7	1,7	1,5	1	3,5	3	3,5	3	1,5
329	5	4,7	5,3	6,7	5,3	4	3,7	3	3,3	3	3	3	2,5	3,5	2,8	4,3	3	2,6	3,5	2,5	3	2,5	3	3	1
350	6,5	5	3	6,2	6,5	4,8	3,9	3,7	4,7	3,6	3,4	3,7	3	3,9	2,8	2	1,5	0,9	1,8	2,8	2,5	2	3	3	2
357	6,5	5	4,3	7,2	6,5	5,5	4,5	4	6	4	4	4	3,5	4,5	3,3	5	4,4	3,9	4,7	5,7	3,5	1,5	2	3,5	2
514	3,7	2,9	2,5	4,7	4,3	4	3,4	3	4,8	3,2	3,5	3,5	2,7	4,5	3	2,8	2,2	2,1	2,7	1,8	3	2,5	3	3	1
527	4	5	4,8	6,7	5	4	3,5	2,8	4,7	2	3,5	3,5	3	3,5	2,5	3,5	2	2	3	2	3,5	1,5	2	3	2
538	3,5	3,3	3,2	5,2	3,7	3,5	2,9	2,7	3,5	2,2	3	3	2,5	3,5	2,5	4,7	3,5	2,9	3,8	2,8	2,5	1	2	3	0,5
1-14	5	4	4,5	6,4	5,5	7,5	5,7	5,5	11,3	7	9	7	6	12	7,28	6,5	5,2	11,5	7	6	4	5	12	6,5	
1-36	4,5	3,5	3,3	4,7	5	5,5	5,3	4	6	4,5	3,9	3,8	3	4,2	3,3	4,2	3,7	3	3,2	3	3,5	3	3	4,5	2
2-14	2,5	2,5	2,5	2,2	1,5	7,5	6,8	5	10	6,5	8,5	7,5	5	12,5	7,8	8,1	6	4,7	11,8	6,7	6	4	4,5	10,5	6
2-38	2,5	3,5	1,3	2,7	2,5	6	4,4	4	6,5	5	5,5	5	4	6,3	4,5	7,6	4,3	3,5	5,5	4,3	4,5	3,5	4	6	2

Tabell 16.

Nivå på de olika platserna (vid lyssnarens öra)  
(Testsignal - 78 dB(A) vid högtalare)

Plats nr	Talare i position A (mitten)							dB(A)
	125	250	500	1000	2000	4000	6300	
44	56	50	59	49	62	64	50	72
55	62	54	57	48	60	59	47	69
60	58	53	60	52	66	66	60	76
145	60	50	56	50	60	60	48	71
158	58	50	56	51	63	65	55	73
171	57	53	58	50	63	62	54	72
329	55	48	54	46	59	59	48	68
350	56	48	54	48	60	61	50	68
357	55	49	53	47	59	60	52	69
514	53	48	51	43	57	58	46	67
527	55	47	55	46	55	50	41	63
538	61	51	52	46	60	58	47	69
1-14	54	48	52	43	55	56	43	65
1-36	56	49	55	47	60	58	44	67
2-14	55	50	52	44	56	56	44	65
2-38*	-	-	-	-	-	-	-	-
testsignal vid högtal. med 1" mikrofon i fritt fält	75	67.5	70	58	66	67	65	78

\*fel i det inspelade materialet

Tabell 17.

Nivå på de olika platserna (vid lyssnarens öra)

(Testsignal - 78 dB(A) vid högtalare)

Plats nr	Talare i position B (sidan)							dB(A)
	125	250	500	1000	2000	4000	6300	
44	52	46	53	44	58	57	46	67
55	54	50	55	47	60	60	50	69
60	54	48	54	47	60	63	50	70
145	57	48	53	48	60	60	52	69
158	52	48	54	46	59	61	47	69
171	55	48	53	47	61	62	48	69
329	50	44	51	45	59	57	48	67
350	53	46	51	45	57	56	46	65
357	55	47	51	45	57	59	46	67
514	48	46	51	41	54	54	43	64
527	55	47	51	46	60	60	46	69,5
538	50	45	47	43	57	56	44	66
1-14	50	47	50	43	54	54	41	62
1-36	52	48	51	43	55	56	41	64
2-14*	-	-	-	-	-	-	-	-
2-38	53	49	51	46	57	55	45	65
testsignal vid högtal. med 1" mikrofon i fritt fält	75	67.5	70	58	66	67	65	78

\* fel i det inspelade materialet

Tabell 18.

Nivåvariationer mellan olika platser

Testsignal -  $L_{dir} = 78$  dB(A) på 1 m avstånd från högtalare

Plats nr	Talare position A (mitten)					Talare position B (sidan)				
	frekvens Hz									
	125-500	500-2000	2000-4000	4000-8000	20-20000	125-500	500-2000	2000-4000	4000-8000	20-20000
44	65	66	69	64	72	60	62	63	60	67
55	66	64	66	63	69	62	63	65	62	68
60	66	69	72	70	75	63	64	66	64	70
145	65	65	68	63	71	62	63	64	64	69
158	65	67	69	67	73	61	63	64	63	69
171	65	67	68	66	72	63	64	65	63	69
329	62	63	63	61	68	58	62	63	60	67
350	62	64	65	64	69	60	60	62	58	65
357	62	64	65	63	69	62	62	63	60	67
514	62	60	63	60	66	59	58	60	57	64
527	60	60	57	63	63	62	62	66	63	68
538	65	63	65	62	69	60	60	63	58	66
1-14	60	59	60	56	64	59	58	59	56	63
1-36	63	62	64	59	67	60	59	61	57	65
2-14	64	60	61	58	65	59	58	57	53	62
2-38						63	61	61	57	65
test- signal	80	75	72	72	83					

Tabell 19.

Ändringar i frekvensgång på varje plats

Plats nr	Högtalare vid sidan							dB(A)
	125	250	500	1000	2000	4000	6300	
44	23	21.5	17	14	8	10	19	11
55	21	17.5	15	11	6	7	15	9
60	21	19.5	16	11	6	4	15	8
145	18	19.5	17	10	6	7	13	9
158	23	19.5	16	12	7	6	18	9
171	20	19.5	17	11	5	5	17	9
329	25	23.5	19	13	7	10	17	11
350	22	21.5	19	13	9	11	19	13
357	20	20.5	19	13	9	8	19	11
514	27	21.5	19	17	12	13	22	14
527	20	20.5	19	12	6	7	19	8.5
538	25	22.5	23	15	9	11	21	12
1-14	25	20.5	20	15	12	13	24	16
1-36	23	19.5	19	15	11	11	24	14
2-14 *	-	-	-	-	-	-	-	-
2-38	22	18.5	19	12	9	12	20	13

$$\Delta L = L_{\text{test}} - L_{\text{plats}} \text{ dB}$$

\* fel i det inspelade materialet



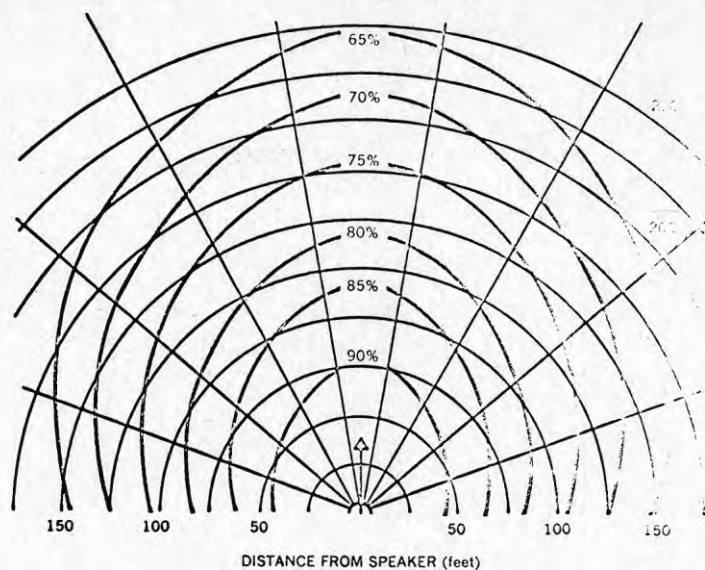


Fig 1. Medelvärden vid taluppfattbarhetsförsök i friluftsteatrar i Grekland /7/

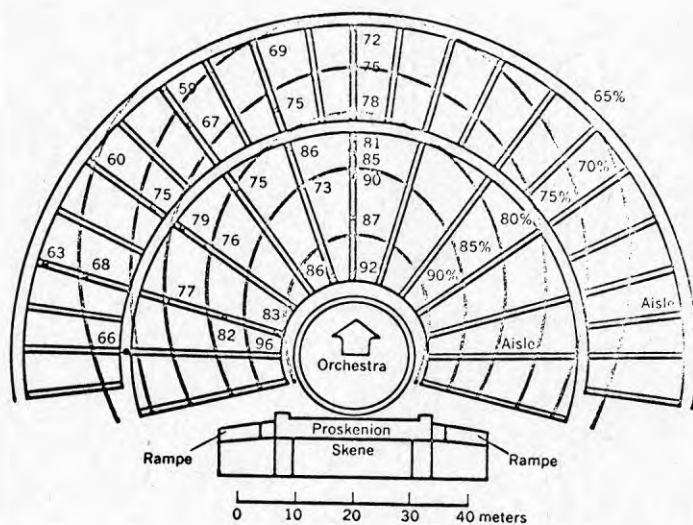
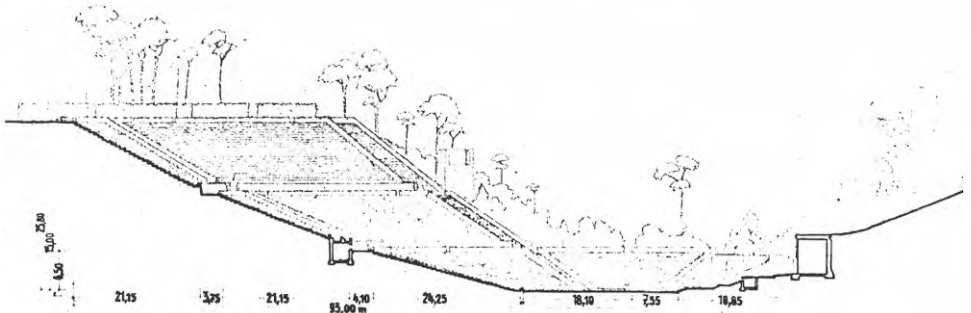


Fig 2. Resultat från taluppfattbarhetsförsök i Epidauros-teatern /7/



b. 54. Profil der großen Freilichtbühne bei Berlin (Entwurf Werner March)

Fig 3. Exempel på modern amfiteater /10/

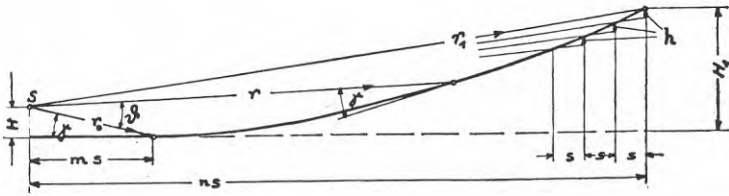


Fig 4. Beräkningsmodell för publikytans stigning /10/

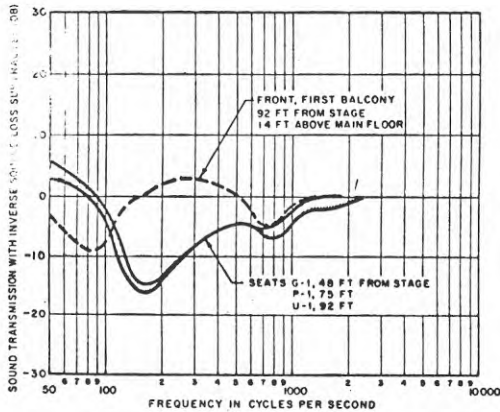


Fig 5. Transmission characteristic of the direct sound for several seat positions on the main floor and for one position at the front of the first balcony of La Grande Salle, Montréal. The curves for all three seats on the main floor fall within the shaded area. Very little attenuation is noticeable in the 100- to 500-cps region for the balcony position; the "dip" has moved to a lower frequency and is much less severe.

Fig 5. Exempel på dämpning vid flack ljudutbredning över publikyta /16/



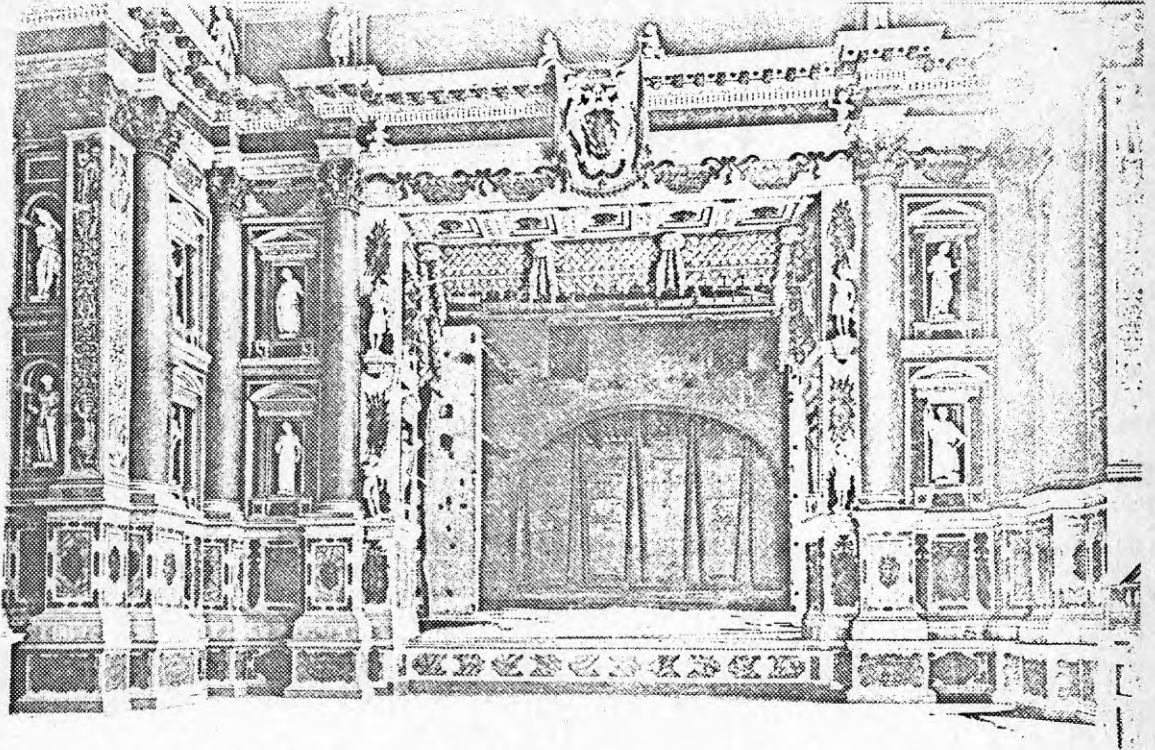


Fig 6. Tidig typ av proscenium. Teatro Farnese (1617) /1/

The seventeenth-century architects of public theatres were faced with a variety of new problems—problems of sight-lines, acoustics, seating, circulation, proportion, style. The solutions achieved by Carlo Fontana in the second Teatro Tor di Nona, Rome, in 1671, may be said to mark the beginning of the modern theatre. Notice the horseshoe-shaped auditorium, the two staircases in the corners, the box divisions angled towards the stage and the single columns of the proscenium arch.

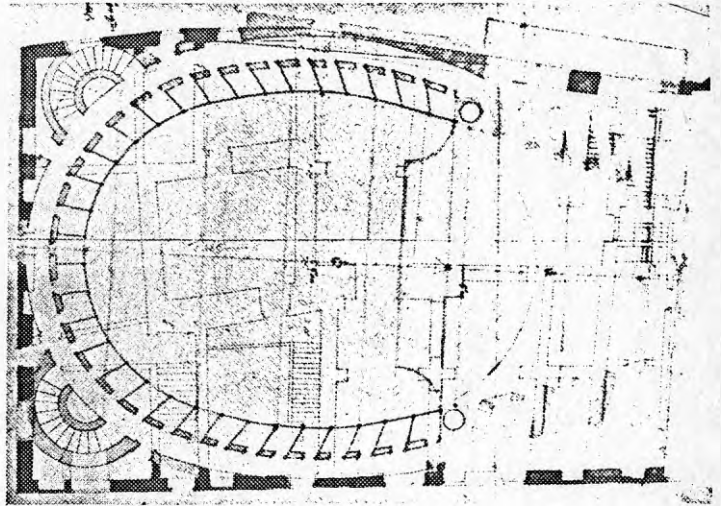


Fig 7. Tidig typ av "hästskoformad" salong (1671) /1/

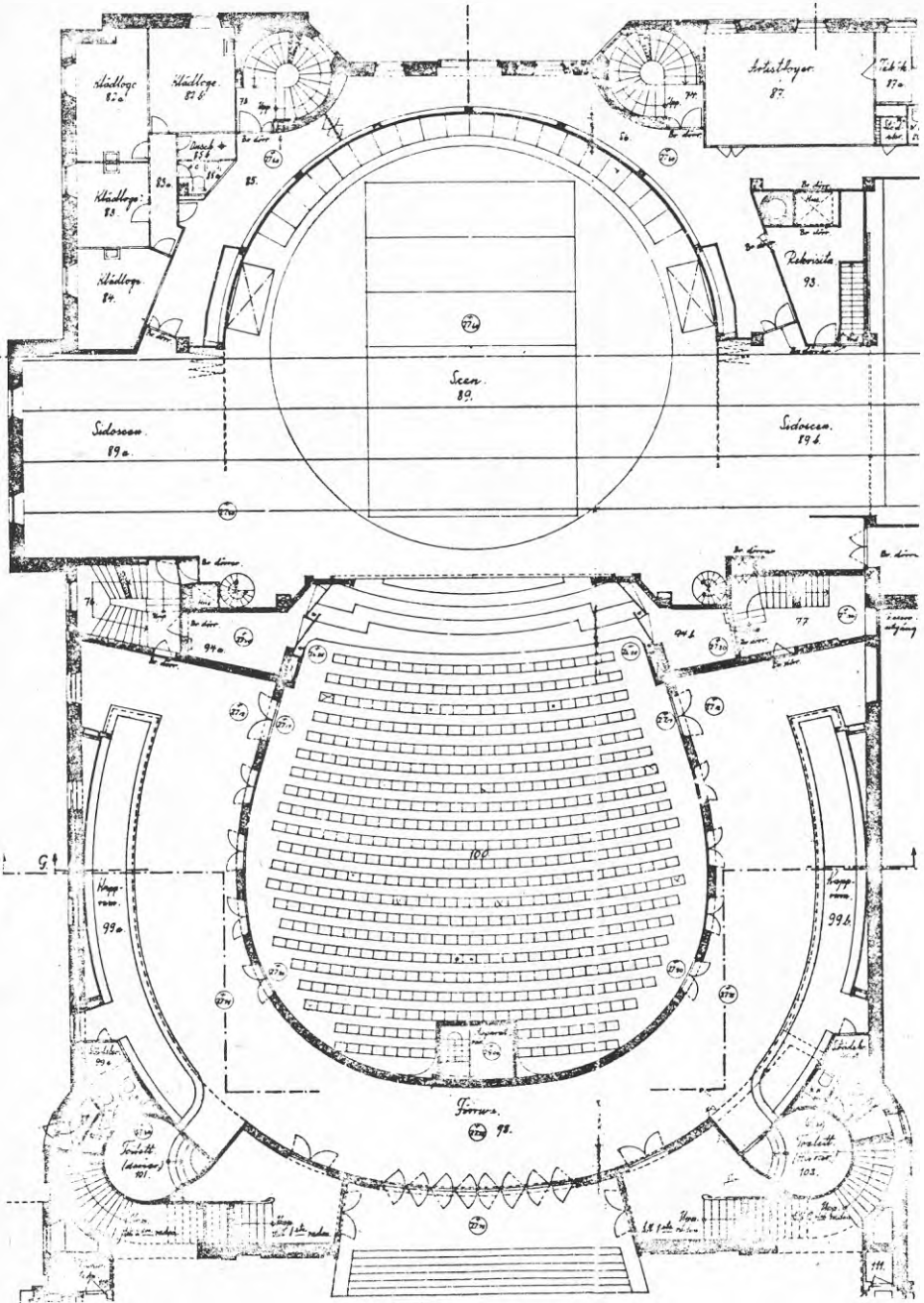


Fig 8. Göteborgs stadsteater, stora salen, plan över scen och salong.

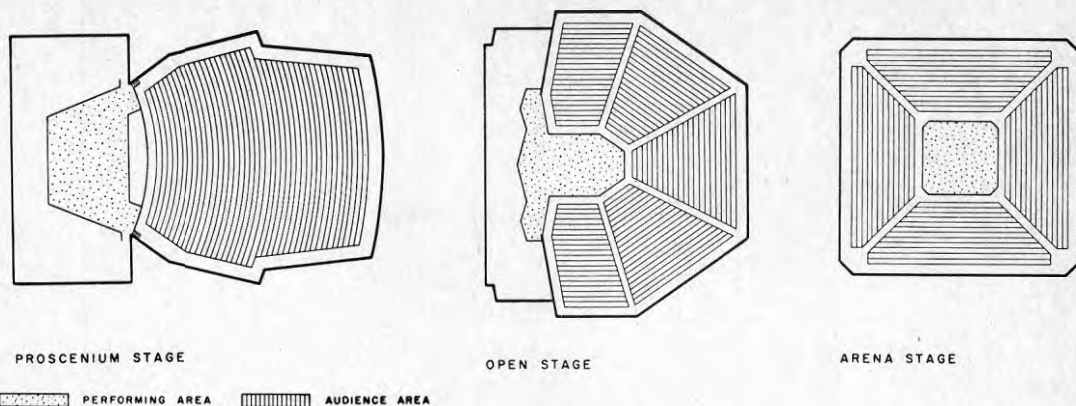


Fig 9. Grundläggande scenformer /26/

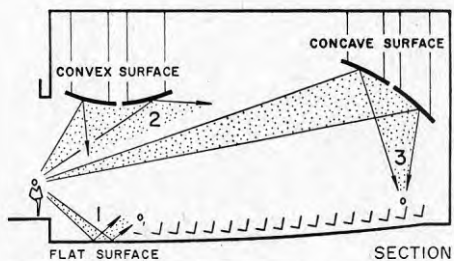


Fig. 4.2 Sound reflection from differently shaped surfaces: (1) uniform reflection; (2) sound dispersion; (3) sound concentration.

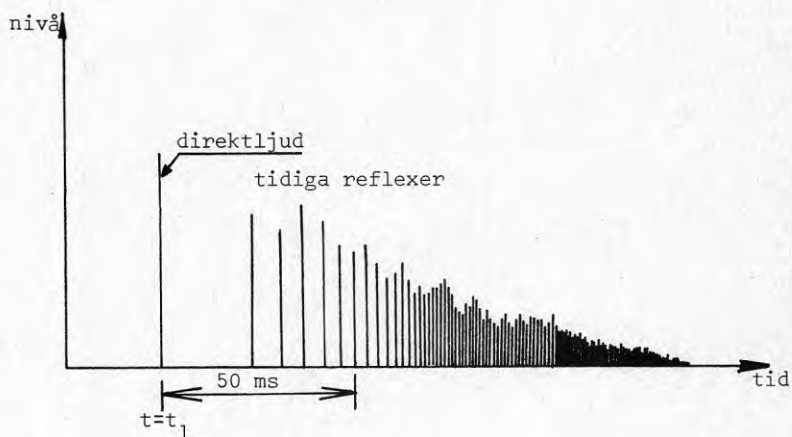
Fig 10. Geometrisk rumsakustik  
Exempel på reflektion /26/

Fig 11. Principiellt tidsförlopp för hur ljudet når en lyssnare i ett rum

Abb. 75  
 Optimale Nachhallzeit  $T$   
 für verschiedene Raum-  
 volumina bei 1000 Hz.  
 A Sprache; B mittlerer  
 Bereich für Musik;  
 C<sub>1</sub> optimaler Wert für  
 klassische und moderne  
 Musik; C<sub>2</sub> optimaler Wert  
 für romantische Musik.

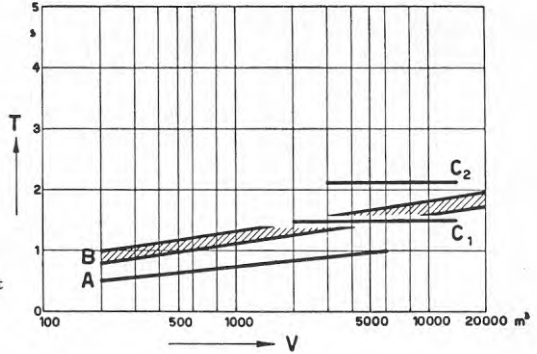
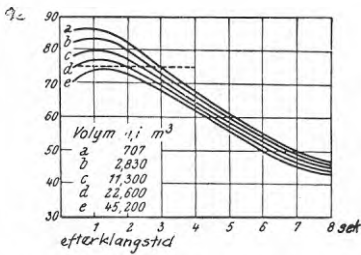
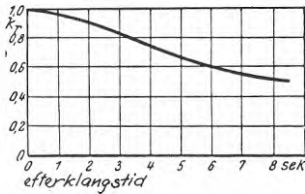


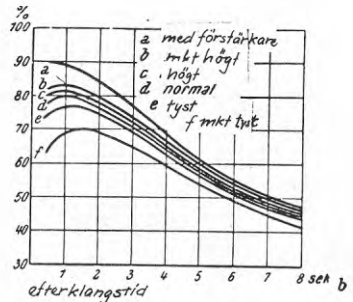
Fig 12. Samband mellan rumsvolym och efterklangtid /15/



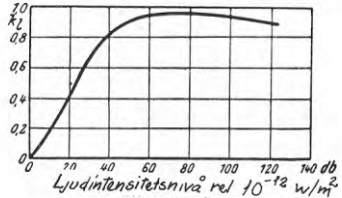
Taluppfattbarhetens principiella beroende av efterklangstiden som funktion av rumsvolymen



K<sub>r</sub>:s beroende av efterklangstiden



Taluppfattbarhetens principiella beroende av efterklangstiden som funktion av talarens röststyrka



K<sub>l</sub>:s beroende av ljudtrycksnivån/14/

Fig 13./14/

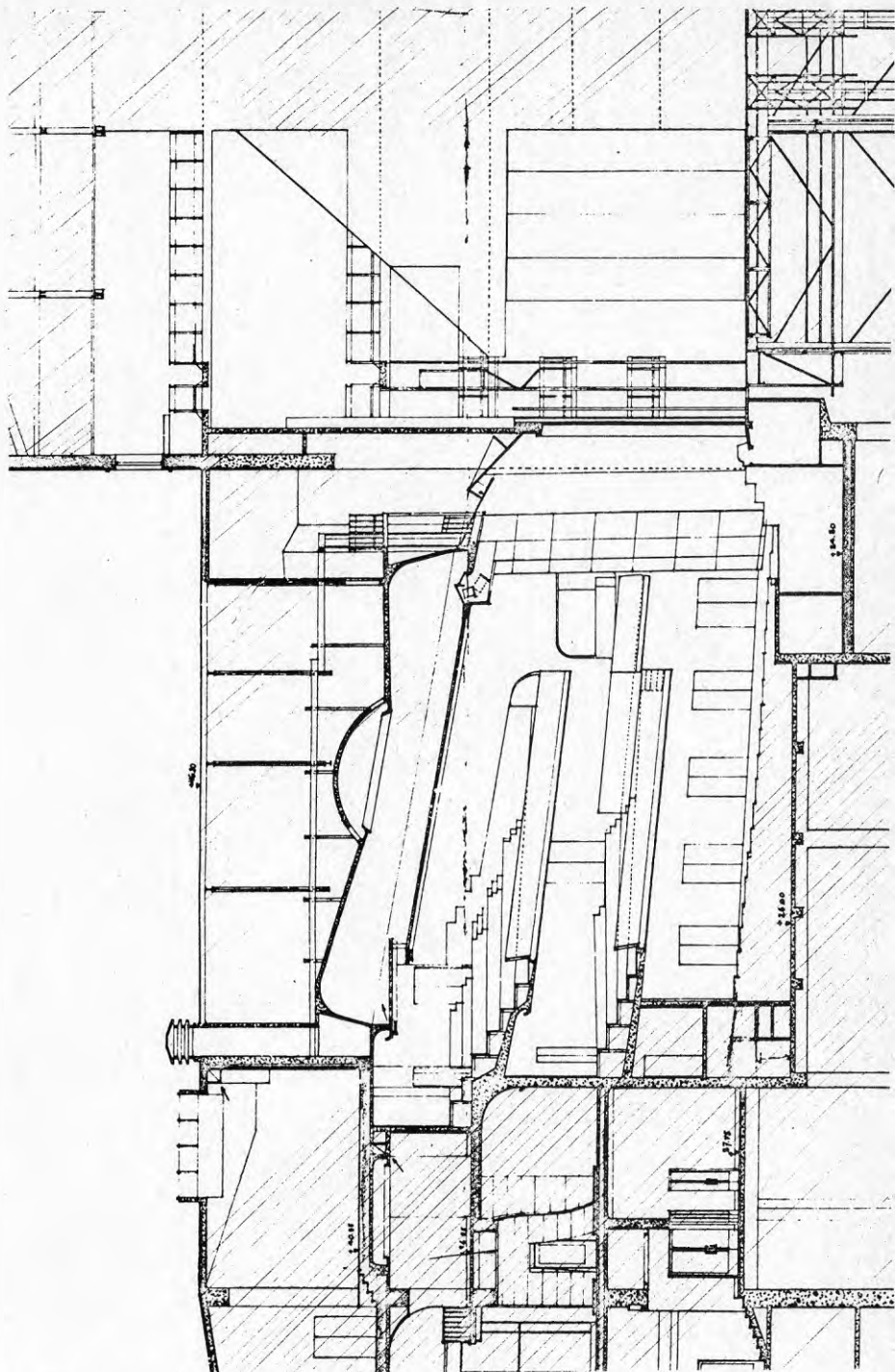


Fig 14. Göteborgs Stadsteater, stora salen, sektion

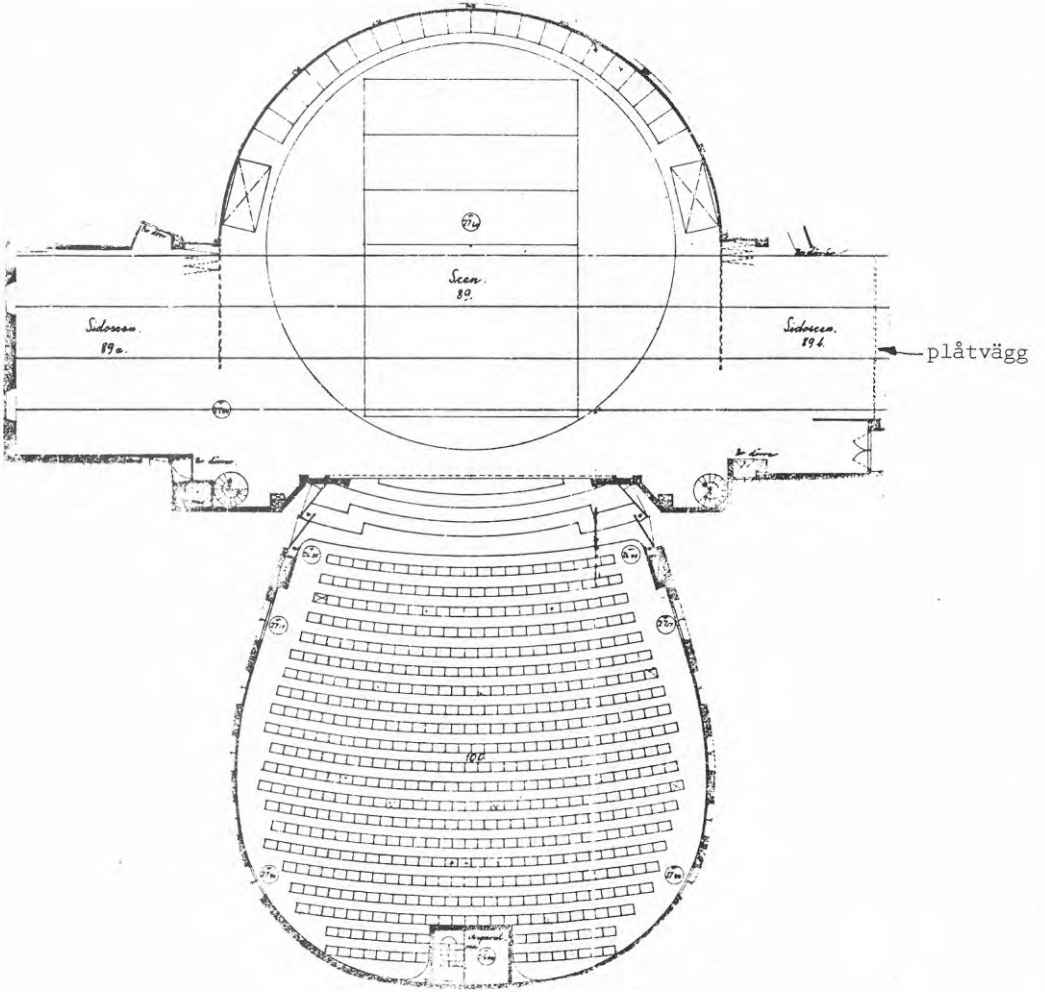


Fig 15. Göteborgs Stadsteater, stora salen, plan

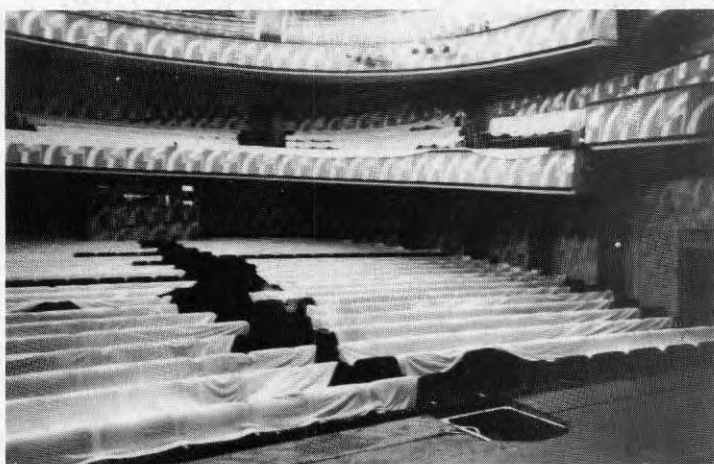


Fig 6 Göteborgs Stadsteaters salong

Fig 17.  
Proscenium

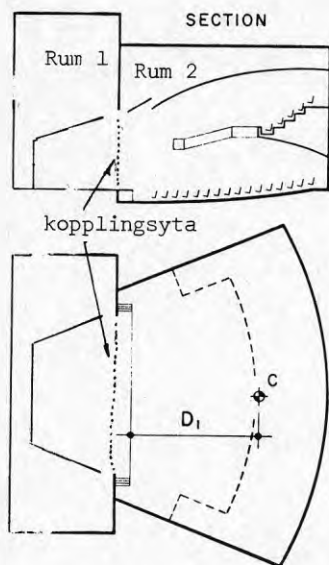
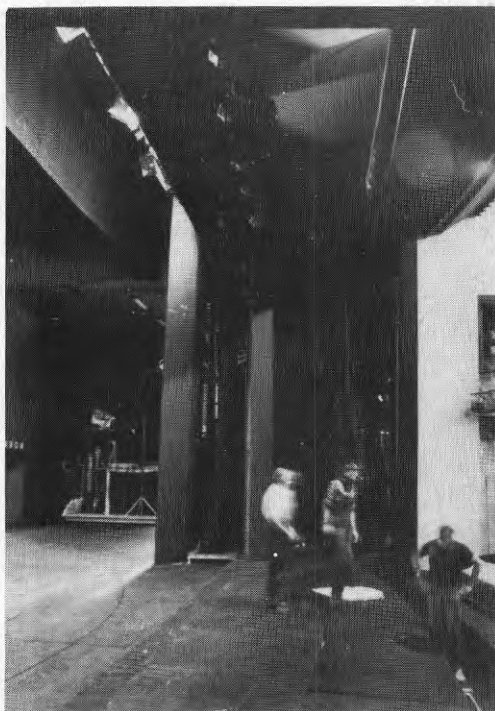


Fig 18 Exempel på kopplade rum

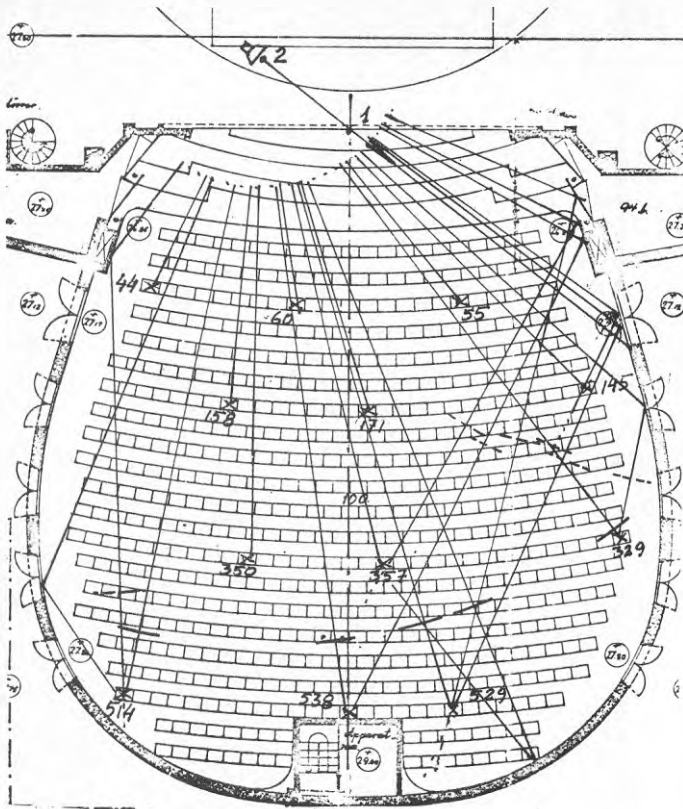


Fig 19a.

Ljudvågornas utbredning  
Högtalare vid sidan.  
(Göteborgs Stadsteater)  
Plan.

Vågornas front efter  
60 msek  
Tidsintervall  $< 50$  msek.

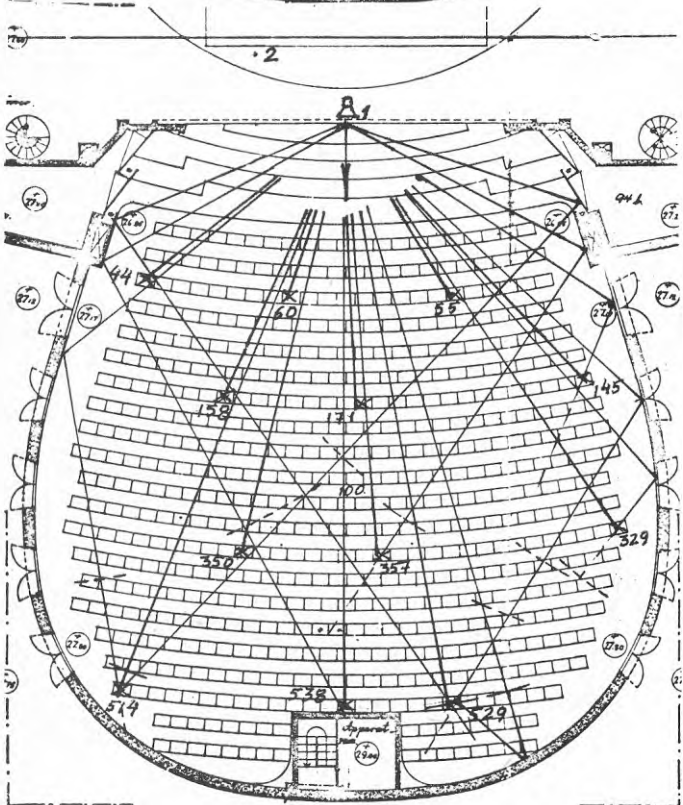


Fig 19b.

Exempel på de direkta och  
reflekterade vågor (tidiga  
reflexer) som kommer till  
varje mätposition från  
punkt 1 med tidsintervall  
 $< 50$  msek. Högtalare i  
mitten. (Göteborgs Stads-  
teater) Plan.

Vågornas front efter 60  
msek  
Tidsintervall  $< 50$  msek.



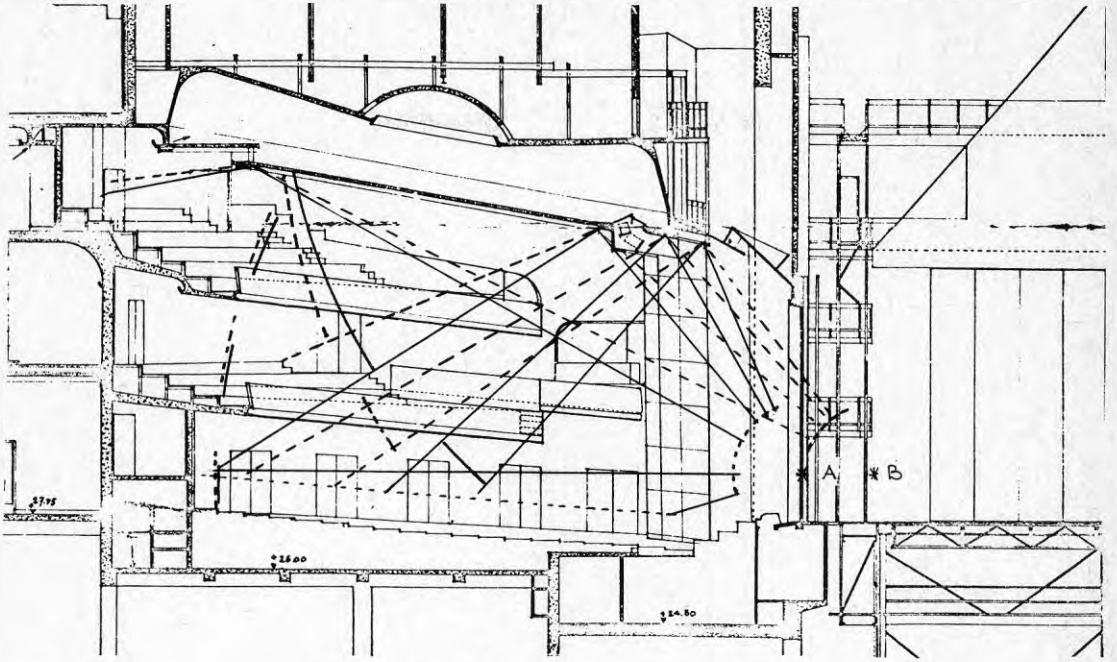


Fig 20 Strålgång tidsintervall 50 ms



Fig 21.

Scenuppsättning invid proscenium

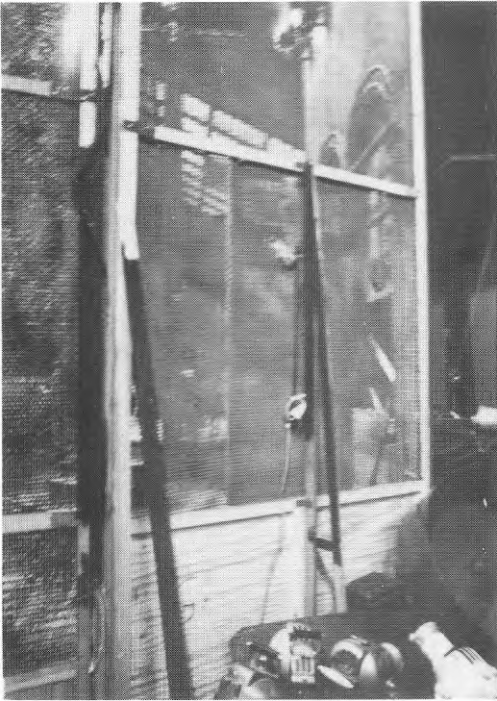


Fig 22.

Exempel på perforerad scenuppsättning

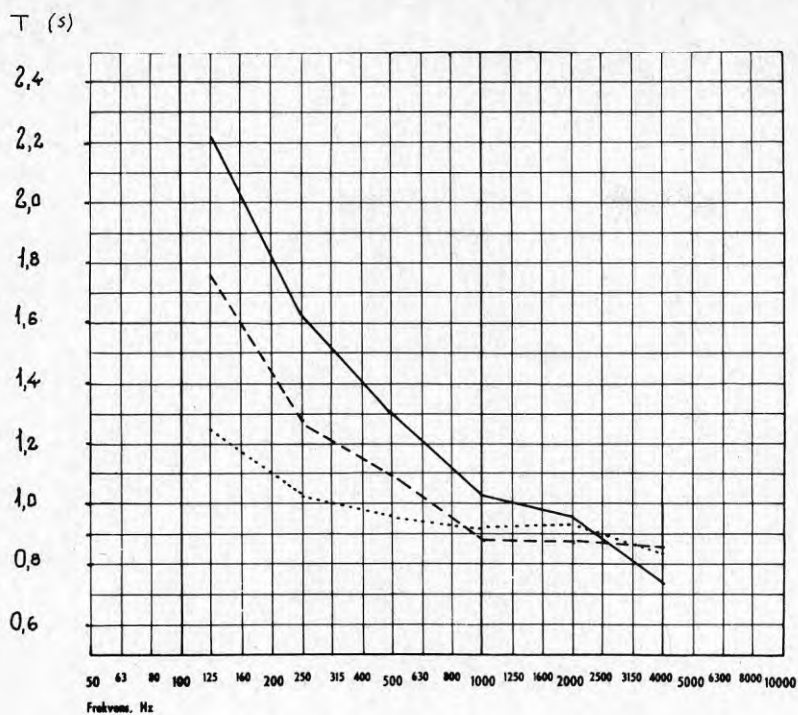


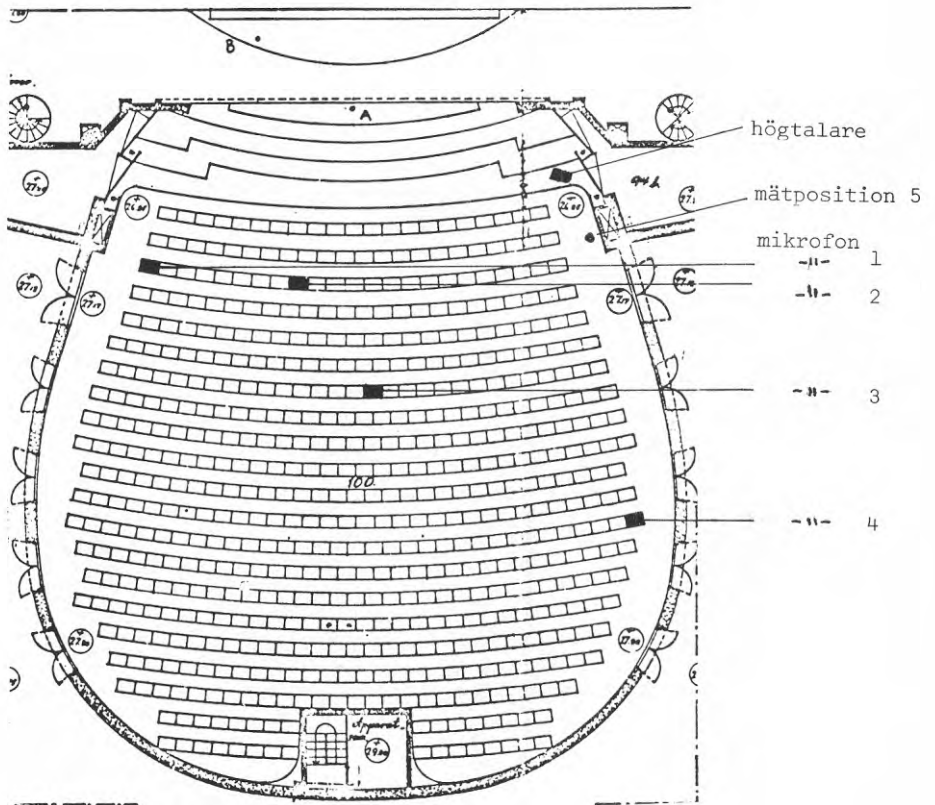
Fig 23

Efterklangstider: Göteborgs Stadsteater utan publik

- nedfälld järnridå, scenutrymme
- ..... nedfälld järnridå, salong
- uppdragen järnridå, salong  
(skottmetoden)

Fig 24.

Mikrofonpositioner vid mätning utan/med publik



———— utan publik  
 - - - - - med publik

frekvens Hz	$\bar{x}/\sigma$ utan publik s	$\bar{x}/\sigma$ med publik s
125	1,05/0,49	0,92/0,35
250	0,93/0,13	0,91/0,15
500	0,92/0,03	0,83/0,10
1000	0,81/0,30	0,72/0,29
2000	1,00/0,15	0,88/0,15
4000	1,13/0,23	0,96/0,21

T (s)

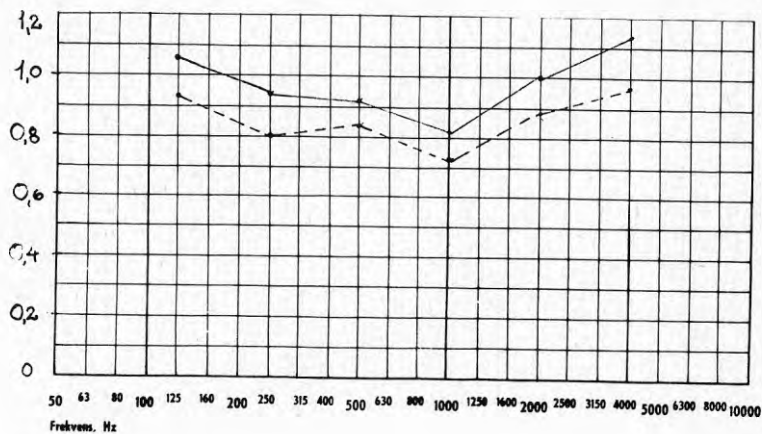


Fig 25. Efterklangstiden med resp utan publik. Mätssignal: bruspulser

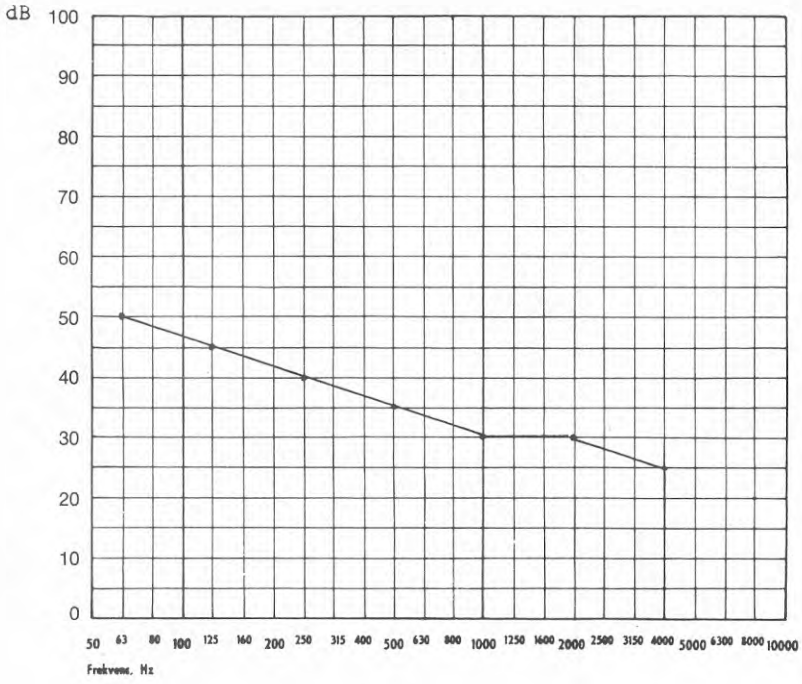
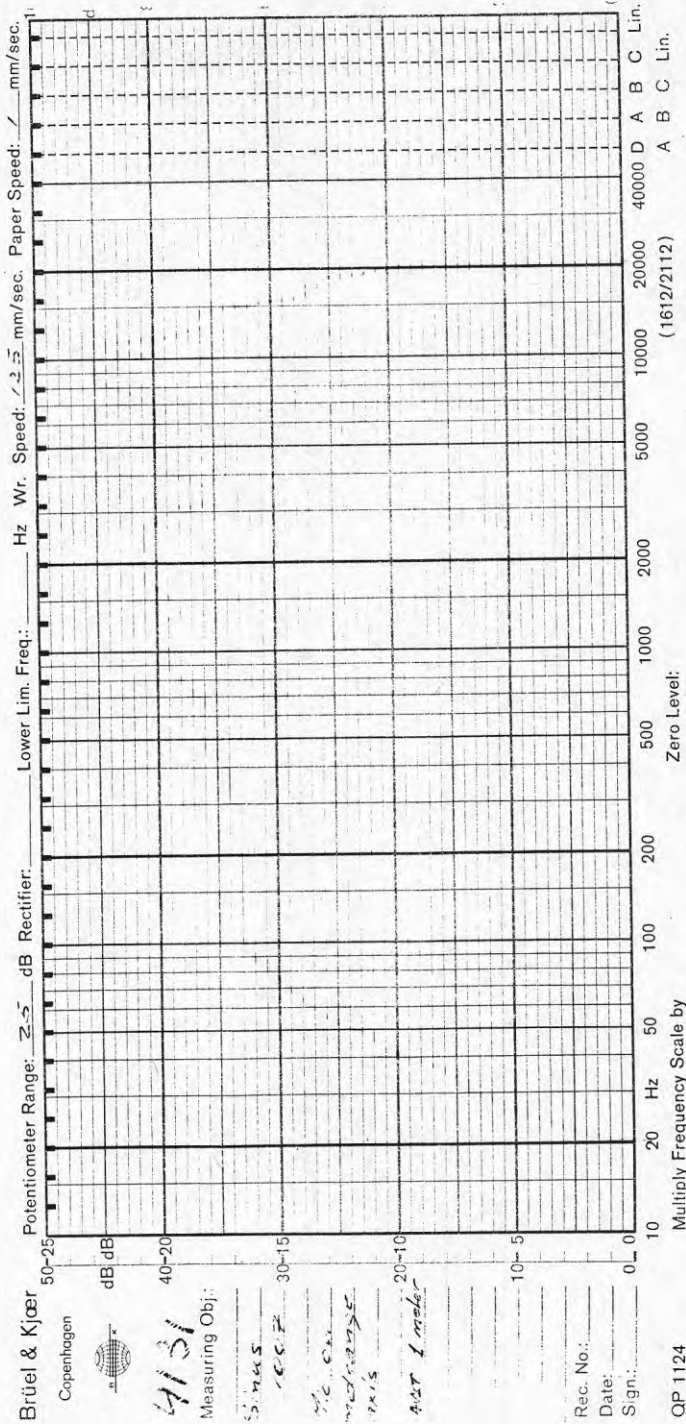
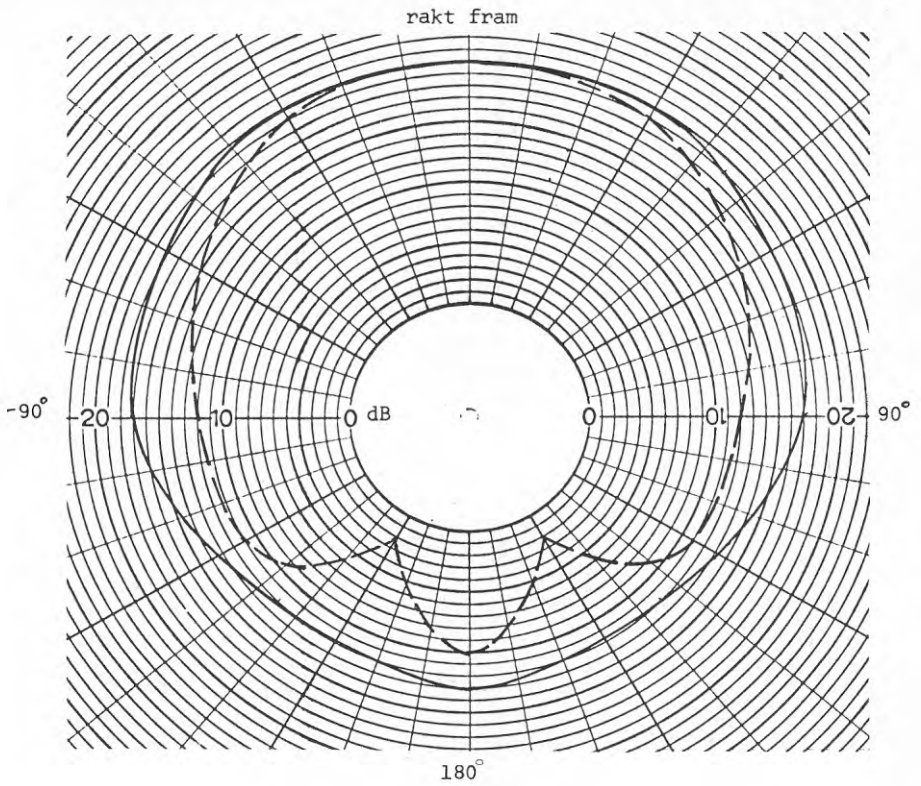
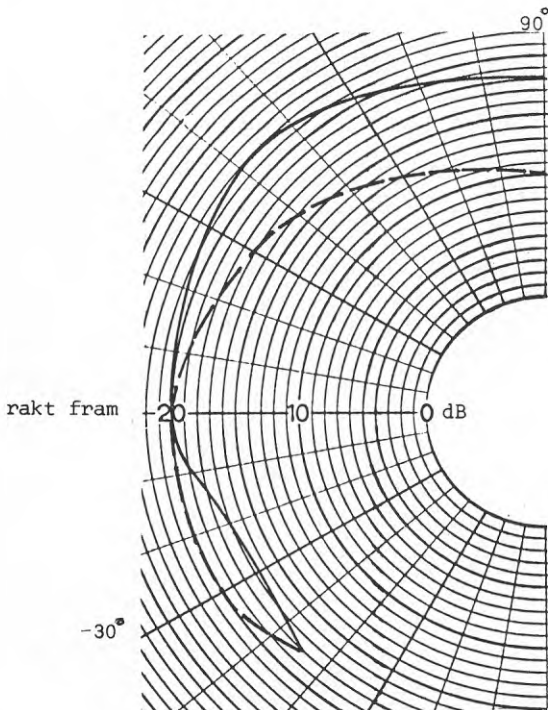


Fig 26. Bakgrundsniå med publik. 39 dB(A)





Horisontellt polärddiagram



Vertikalt polärddiagram

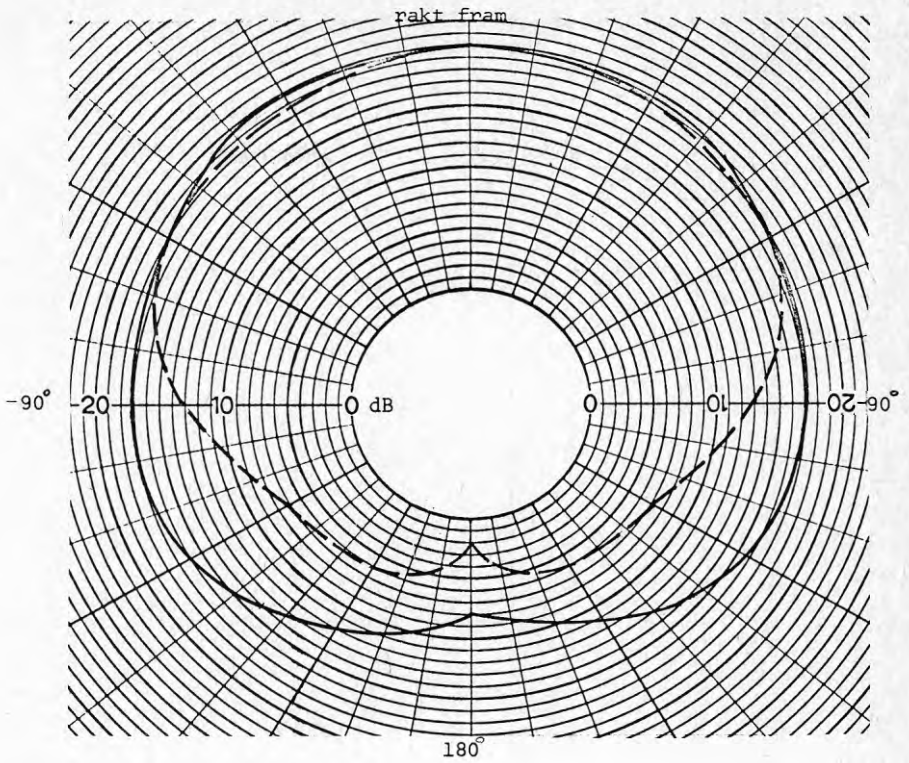
Fig 28.

Jämförelse mellan direktio-  
naliteter vid 1 kHz

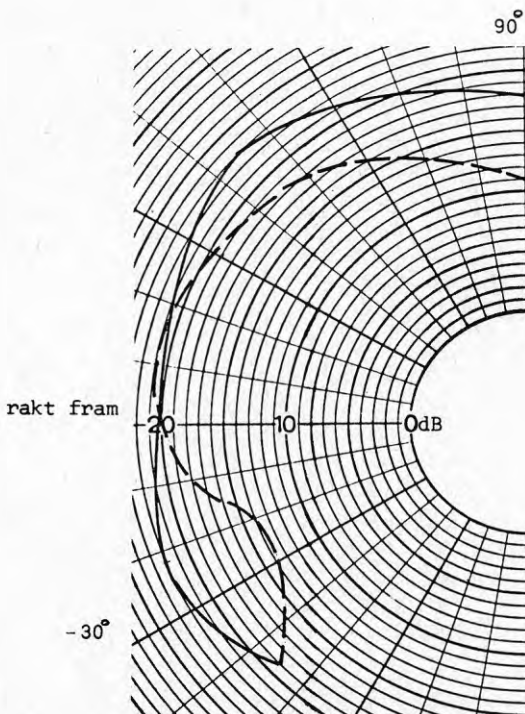
— mänsklig talare

- - högtalare





Horisontellt polär diagram



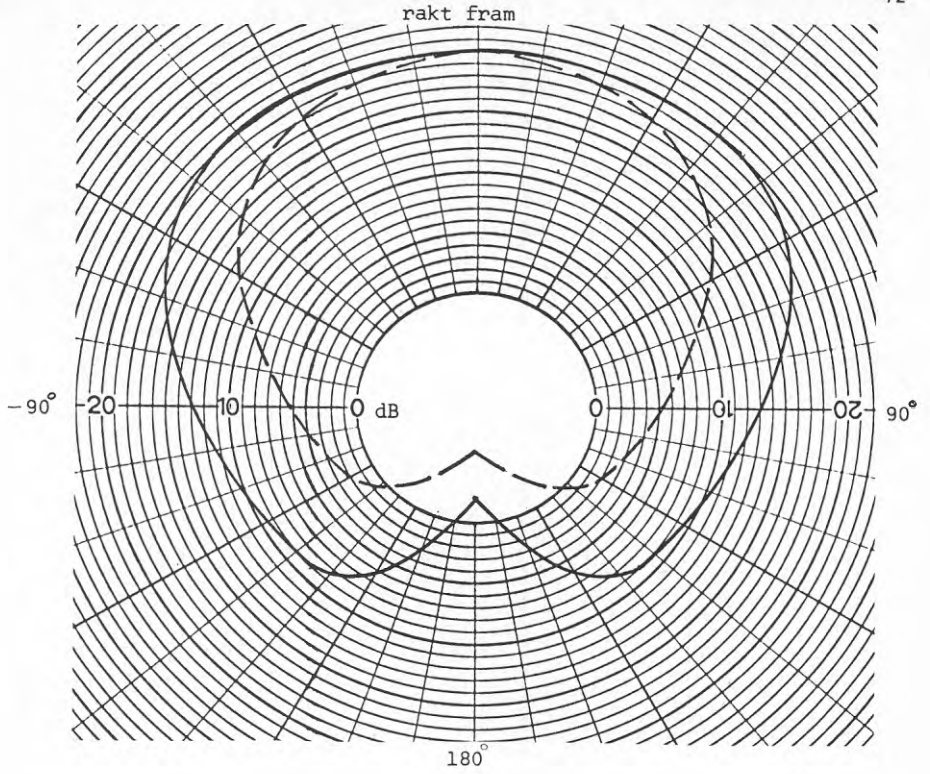
Vertikalt polär diagram

Fig 29.

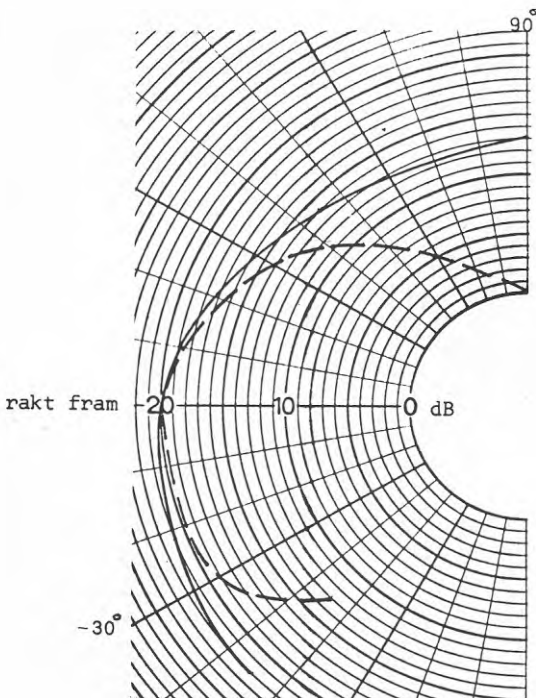
Jämförelse mellan direktio-  
naliteter vid 3 kHz

— mänsklig talare

- - - högtalare



Horisontellt polärddiagram



Vertikalt polärddiagram

Fig 30.

Jämförelse mellan direktio-  
naliteter vid 6 kHz

— mänsklig talare

- - - högtalare

Fig 31.

Elektroakustisk överföringskedja

## UPPSPELNING

Bandspelare (Telefunken M 24)

↓

Förstärkare (Quad 303)

↓

Högtalare (Sinus 1007)

## INSPELNING

Mikrofoner i lyssnarhuvud (B&amp;K 4145 med katodföljare B&amp;K 2612)

↓

Mätförstärkare (B&amp;K 2606)

↓

Linjetransformator (60 k $\Omega$  - 200  $\Omega$  balanserad)

↓

100 m kabel

↓

Bandspelare (NAGRA IV SL)

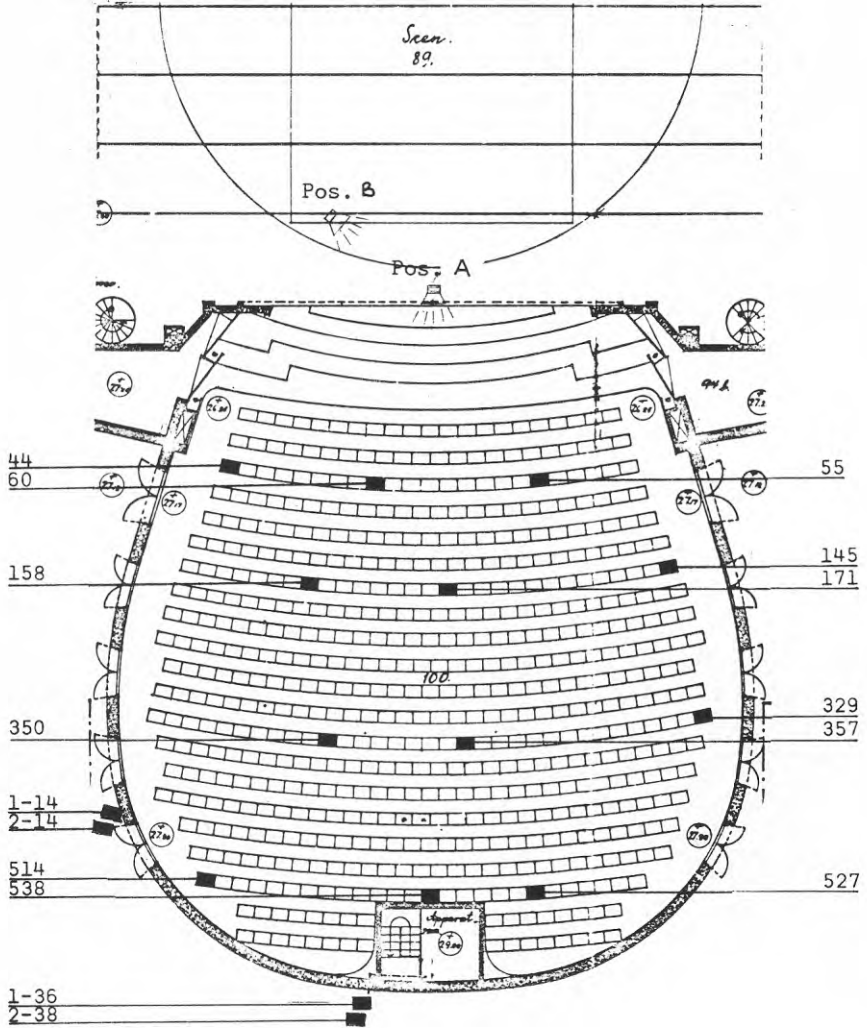
## UPPSPELNING

Bandspelare (REVOX A77)

↓

Hörlurar (Sennheiser HD 414)

Fig 32.



Högtalare- och lyssnarepositioner på  
Stadsteatern

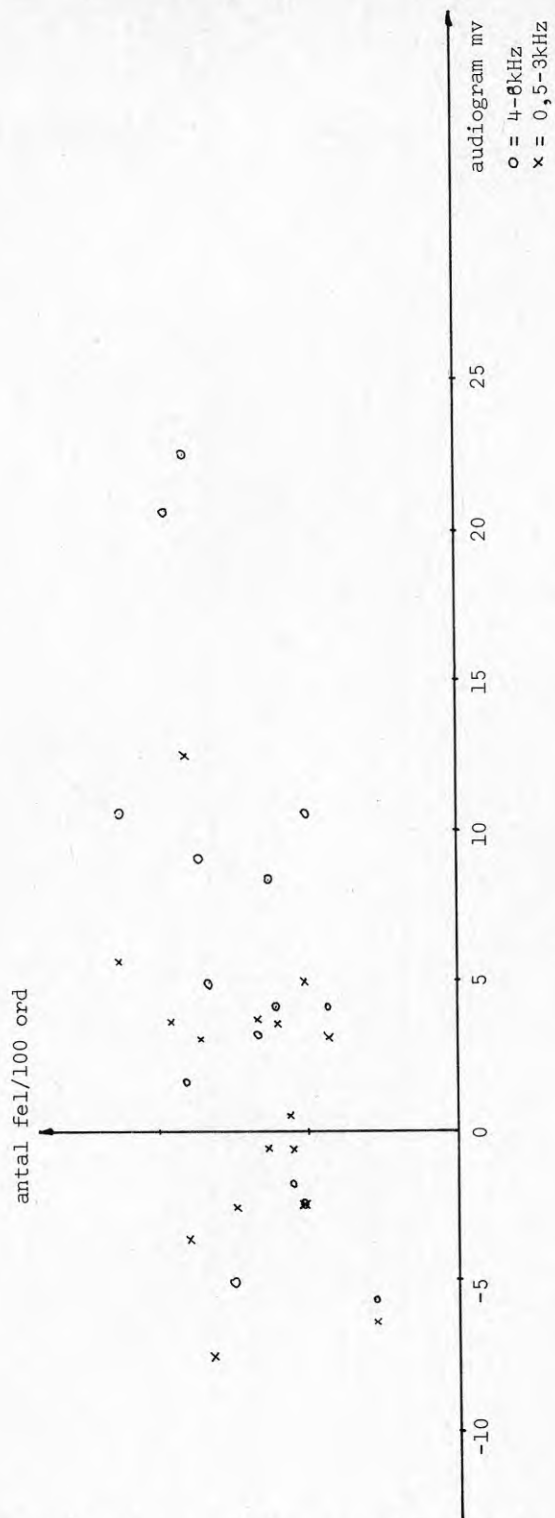


Fig 33. Antal fel/100 ord som funktion av audiogramvärden (mv) vid olika frekvenser.

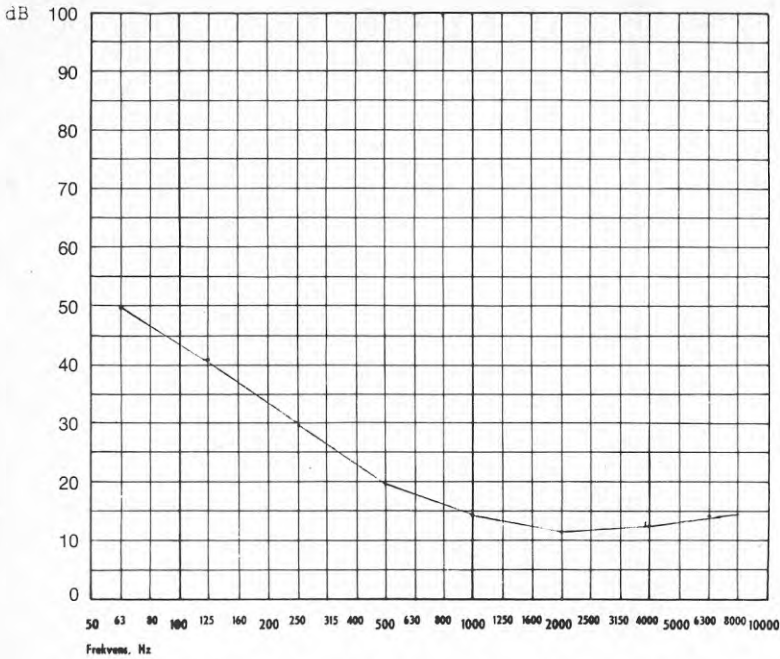


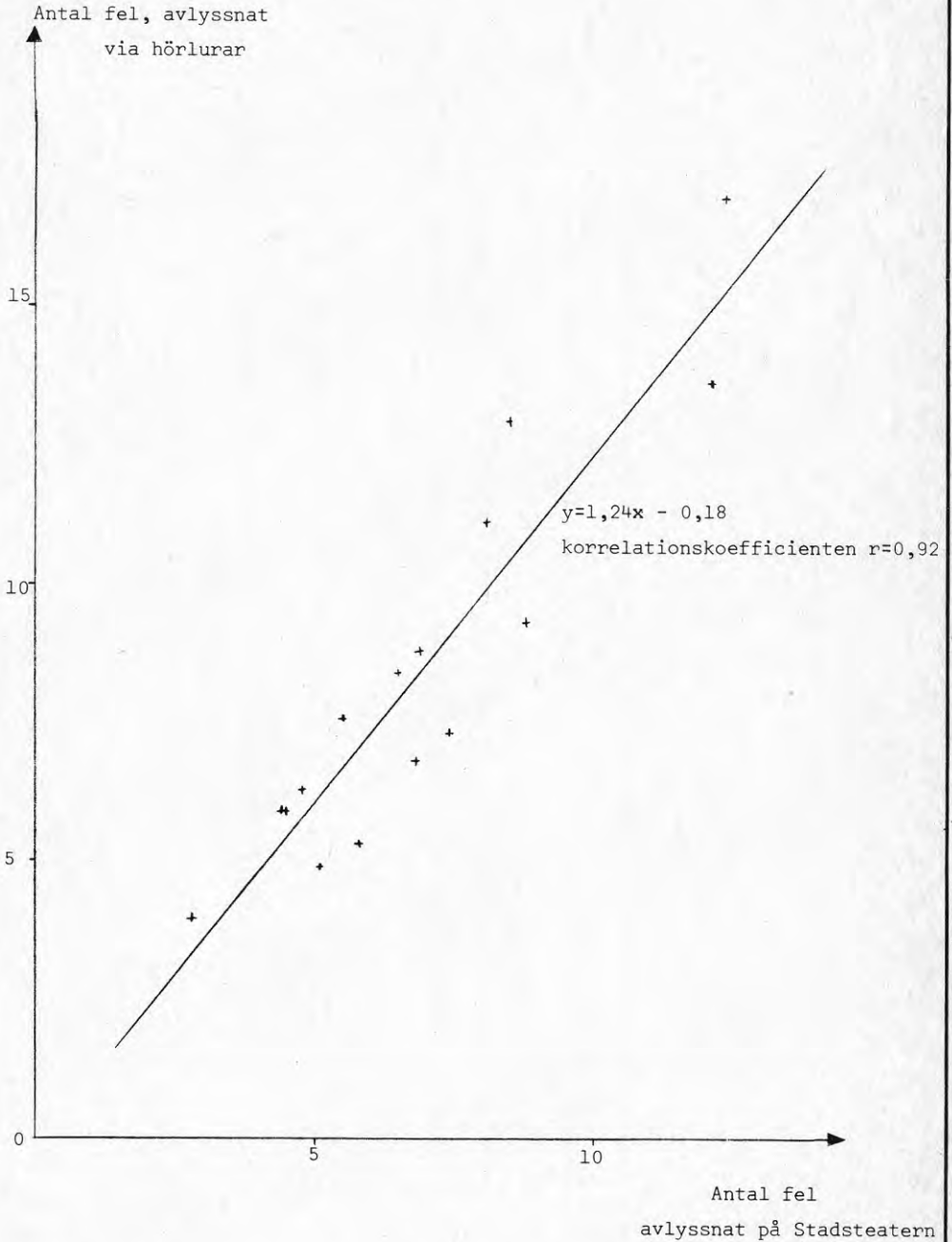
Fig 34.

Bakgrundsnivå (oktavband)  
vid taluppfattbarhetsför-  
söken i teatern



Fig 35. Ex på frekvensgång i örat (concha) för hörlur typ Sennheiser HD 414

Korrelation mellan mätmetoderna



— avlyssnat på Stadsteatern  
- - - - - avlyssnat i ekofritt rum

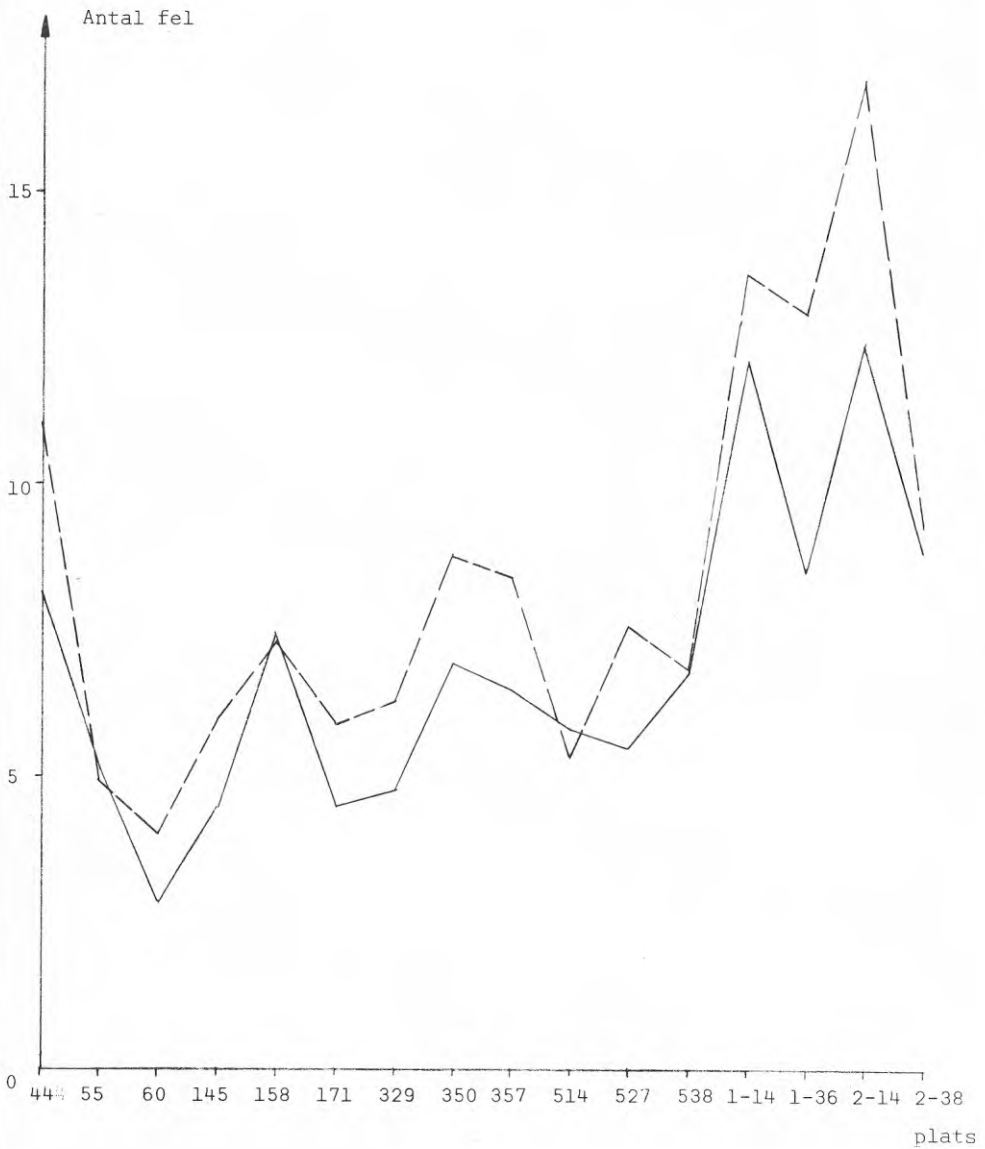




Fig 38.

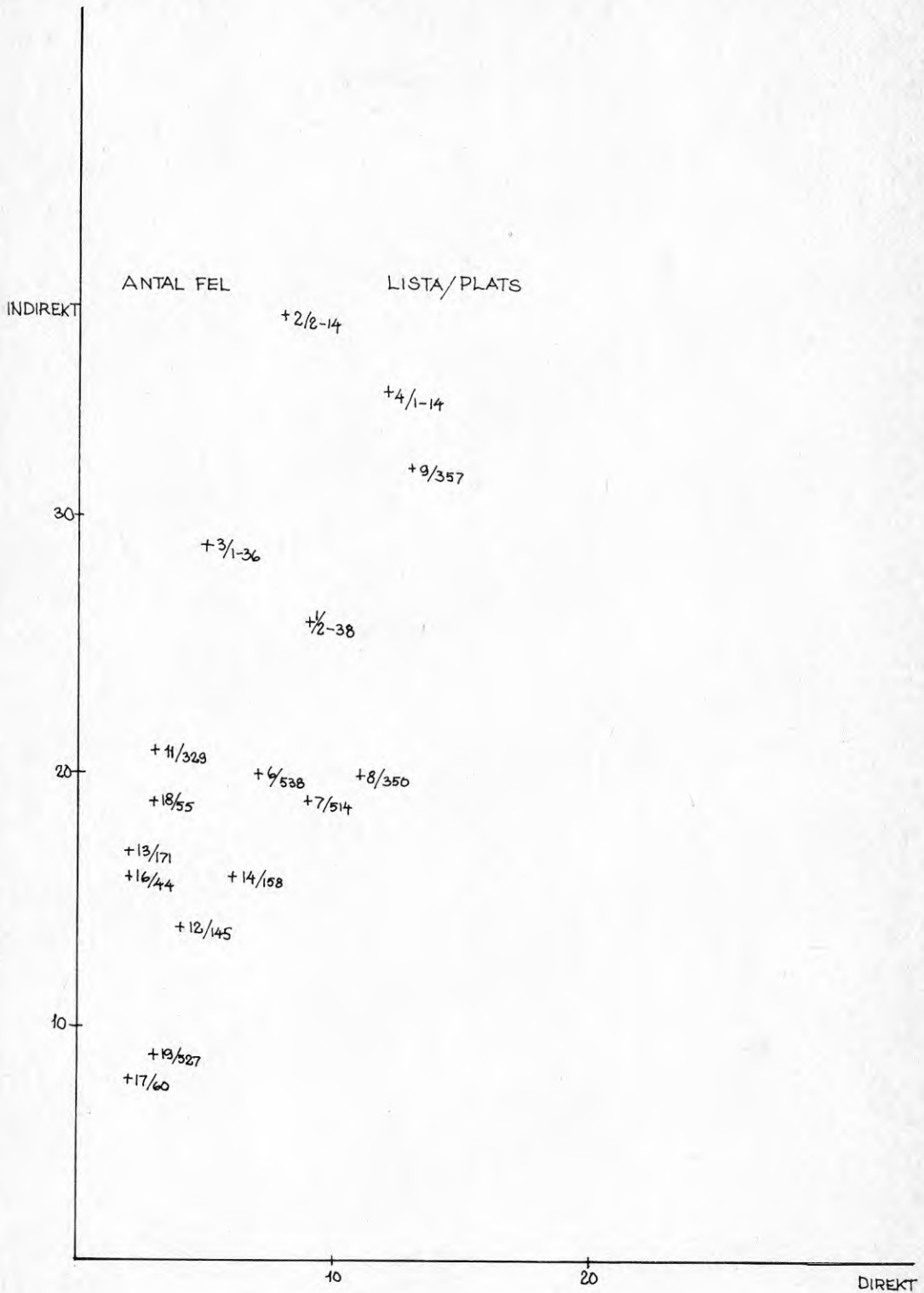


Fig 39.

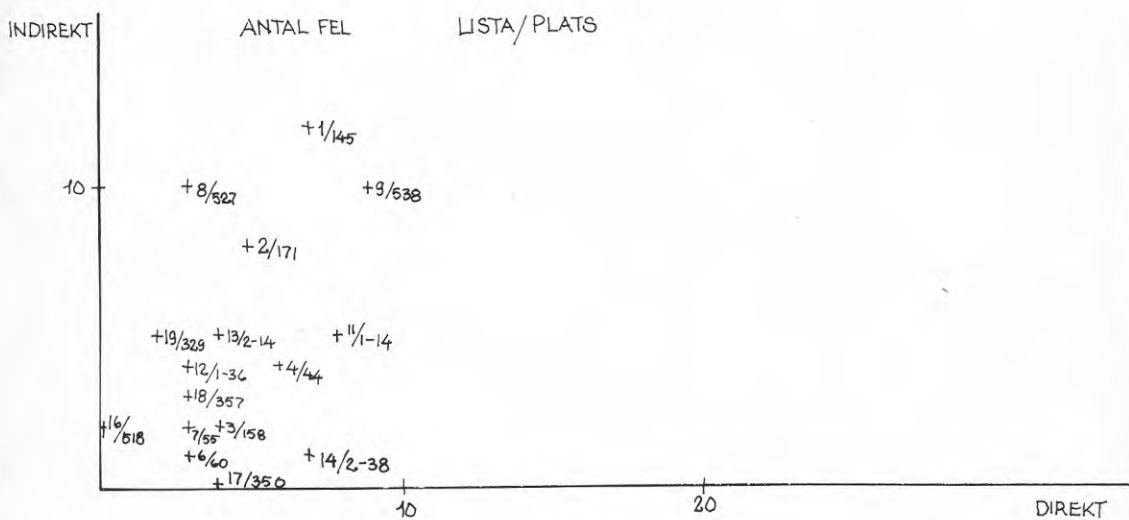


Fig 40

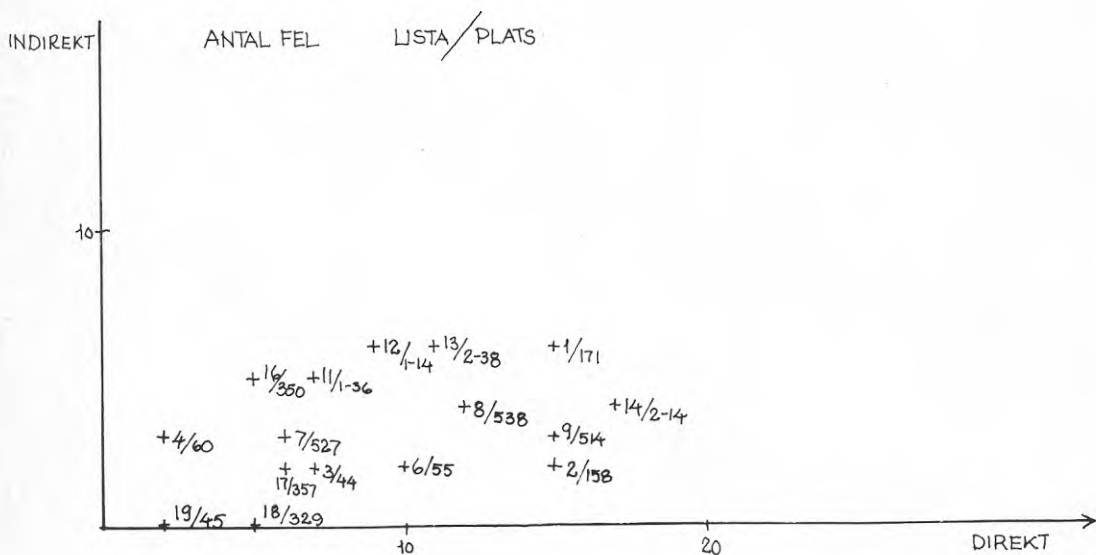
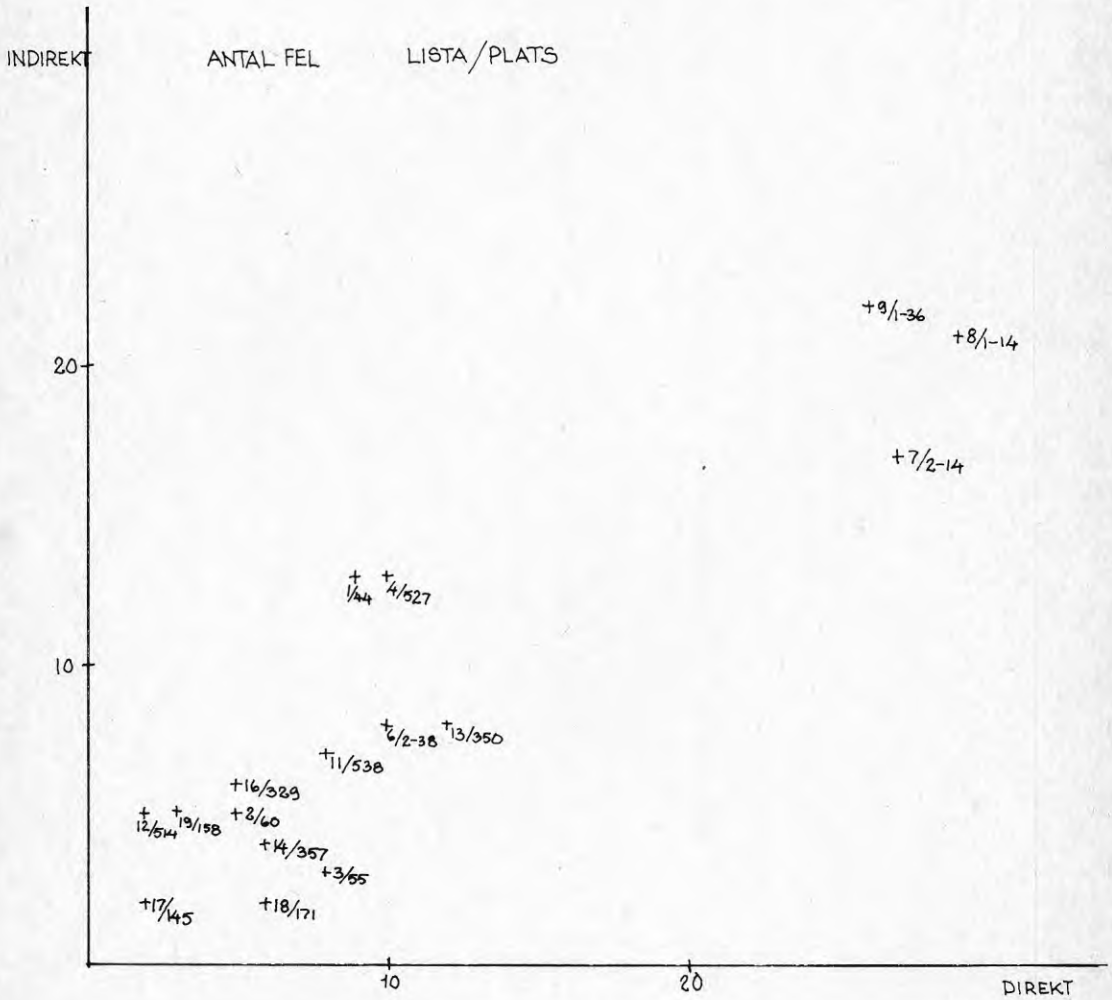
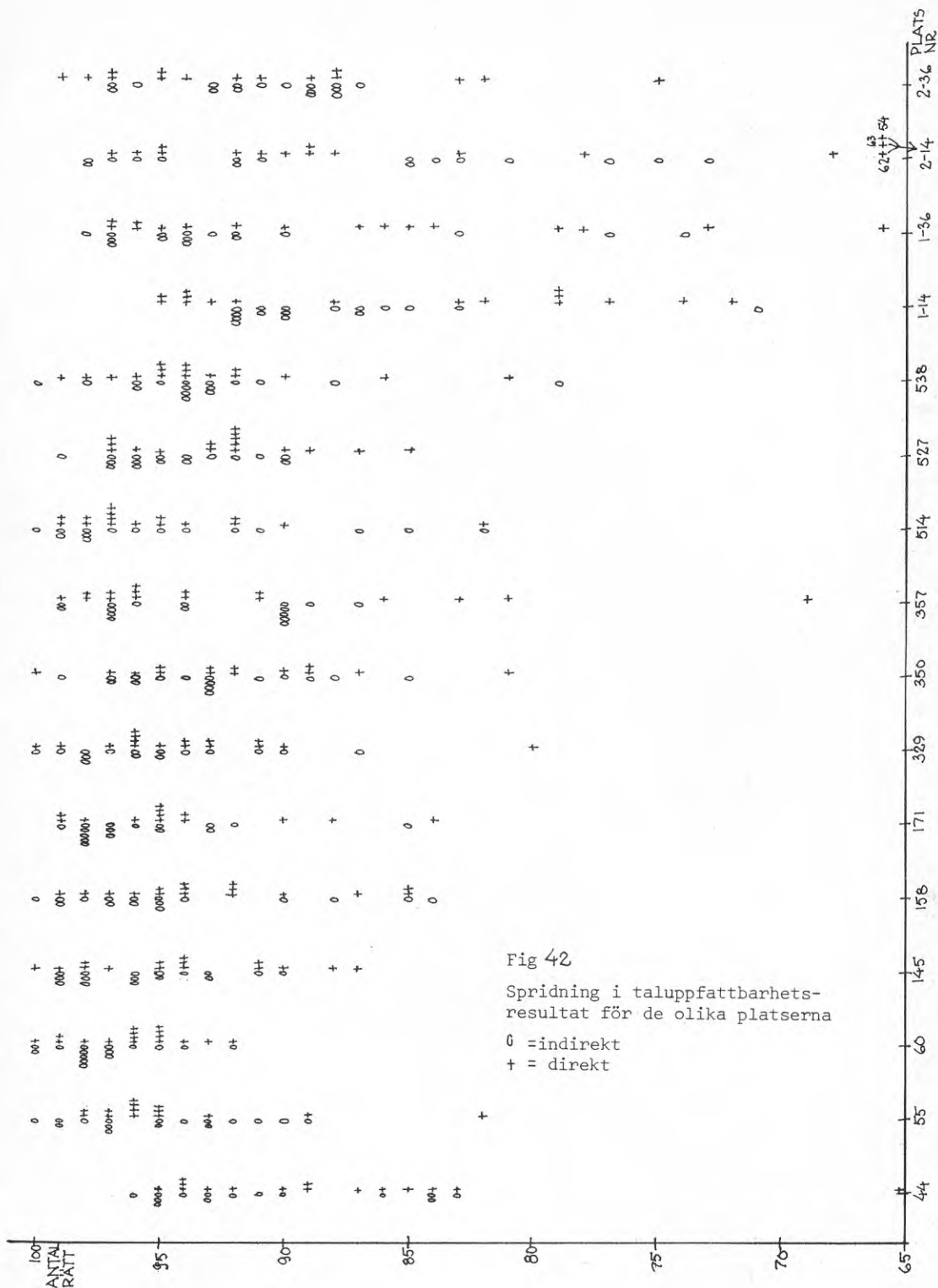


Fig 41.





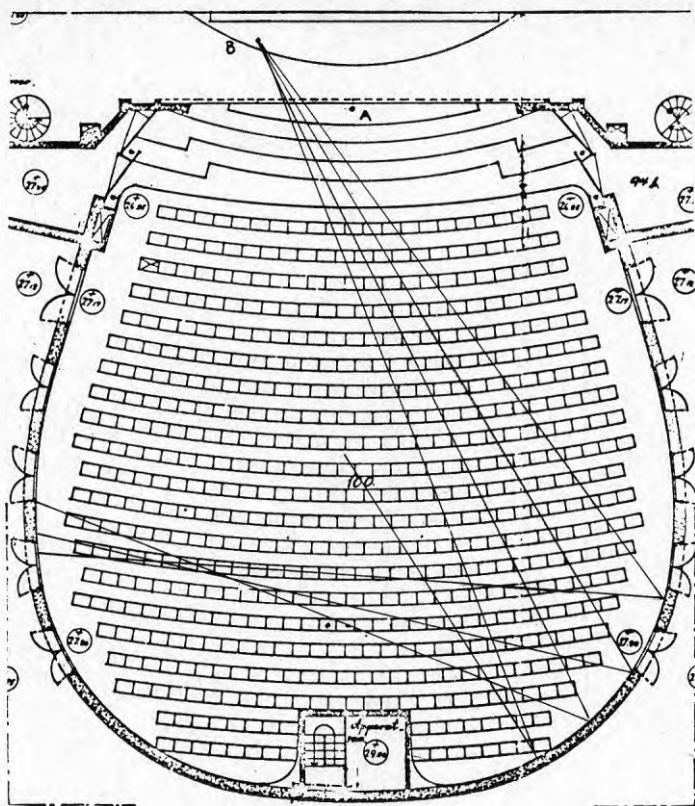


Fig 43 Approximativ strålgång för fokuserade reflexer mot platserna 1-14 och 2-14.

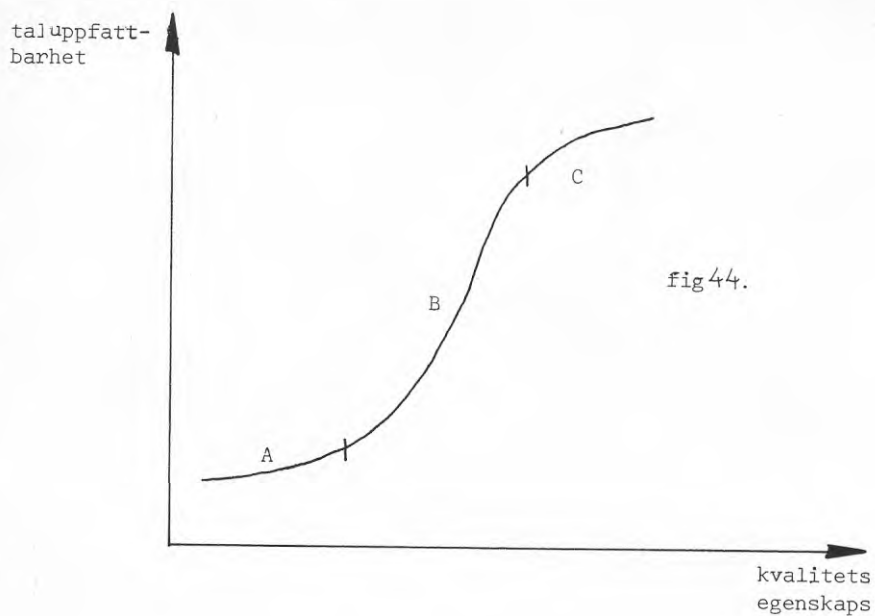
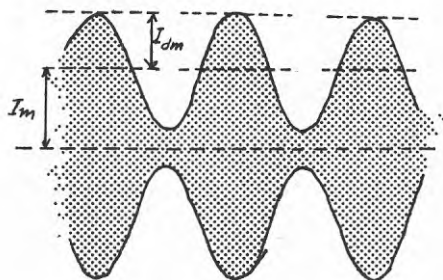
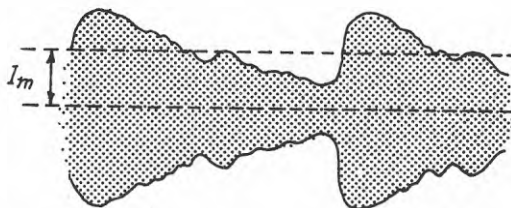


Fig 45.

Sinusmodulerad signal



Signal modulerad  
p g a blandning  
melan direktljud,  
reflexer, efter-  
klang



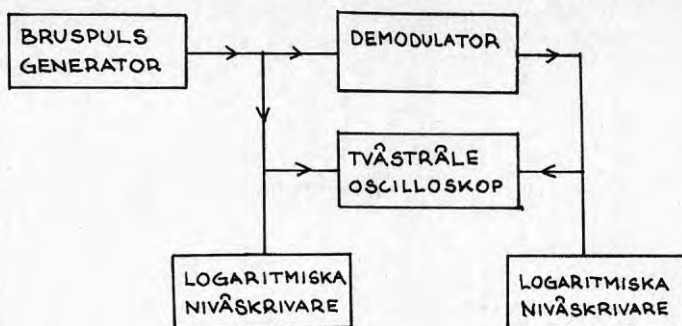


Fig46. Undersökning av förhållandet mellan modulerad och demodulerad signal som funktion av puls och pulslucka

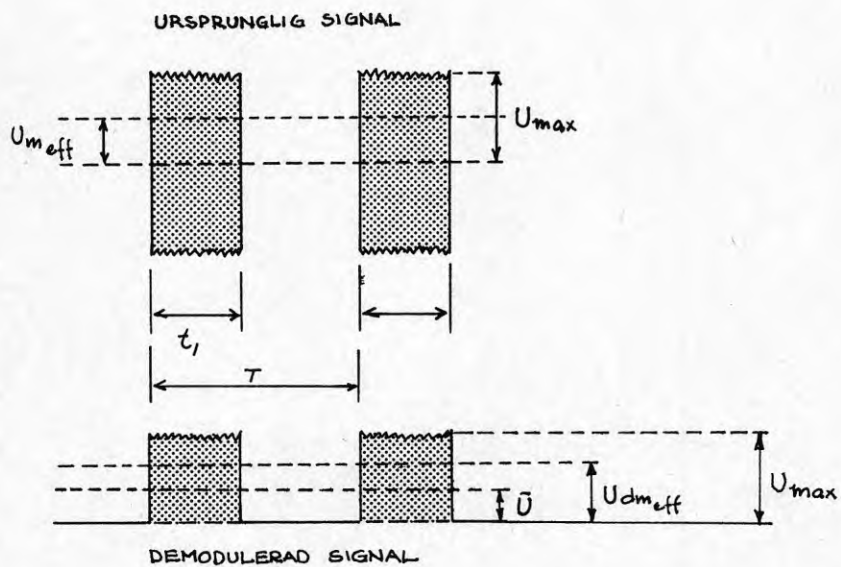


Fig47

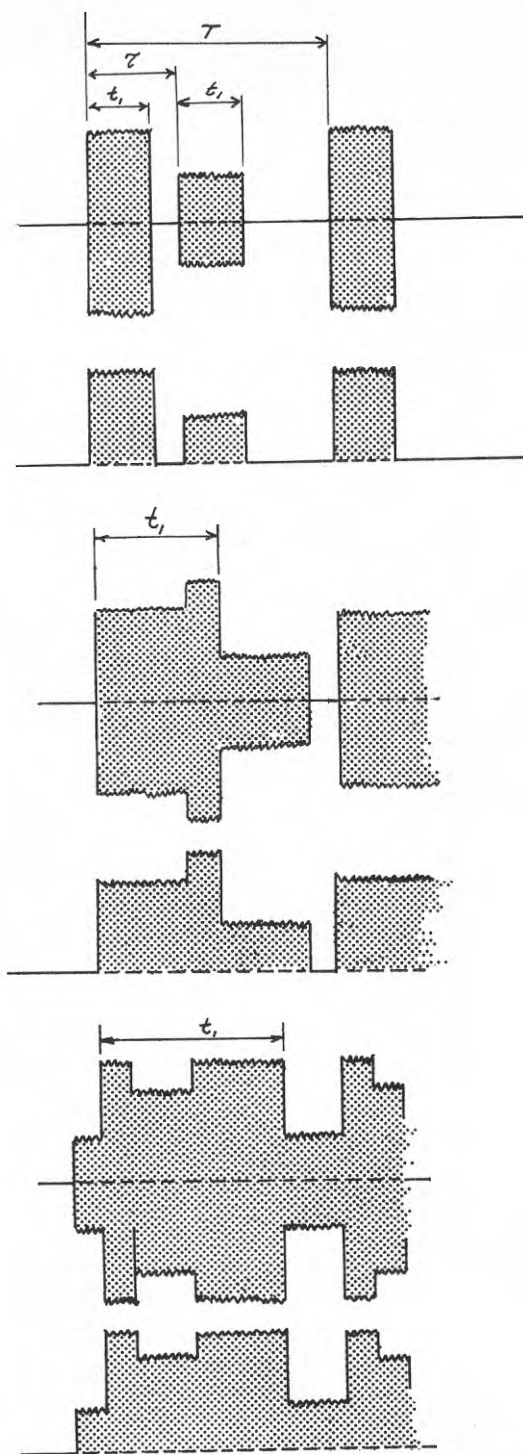
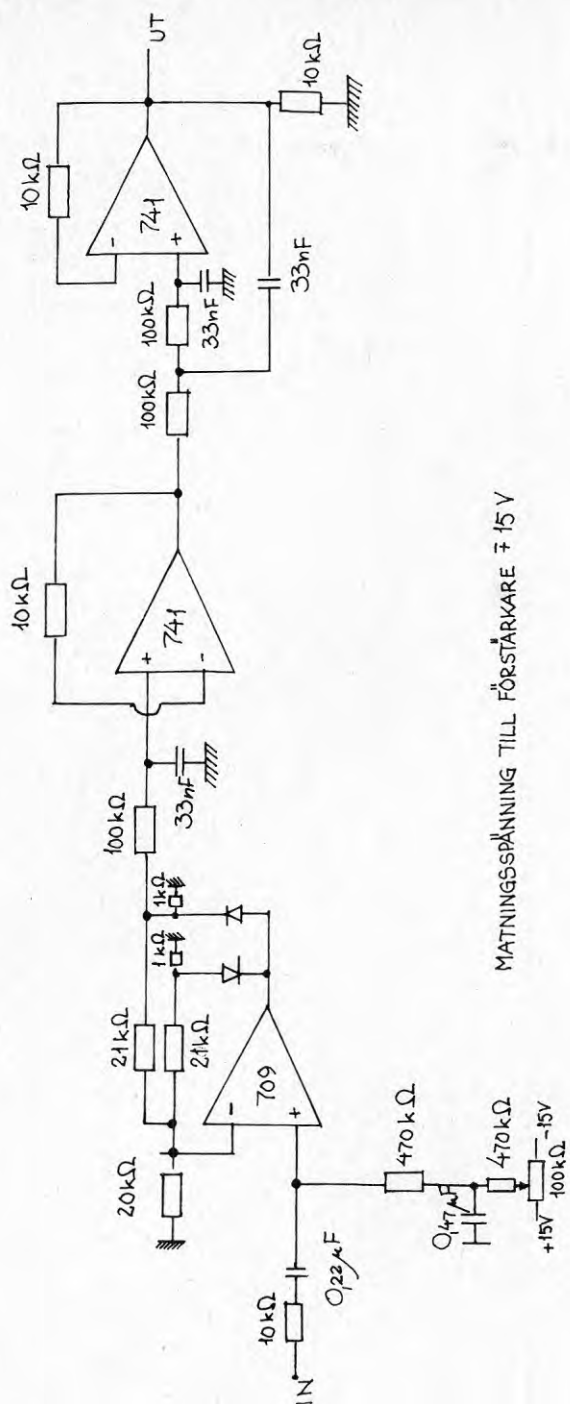


Fig 48. Analys av inverkan av bruspulsens längd.





MATNINGSPÄNNING TILL FÖRSTÄRKARE  $\pm 15\text{ V}$

Fig 49. Demodulator

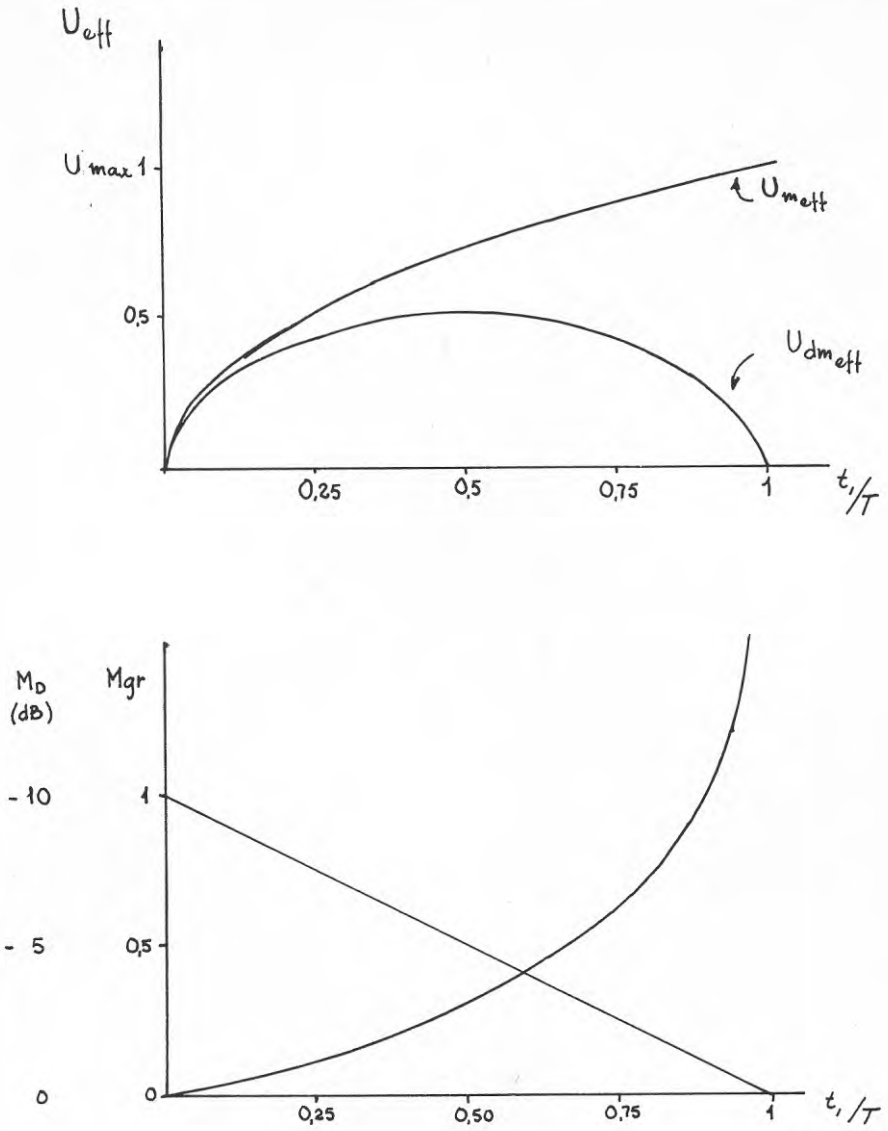


Fig50. Modulationsdämpningen principiellt beroende av förhållandet  $t_1/T$

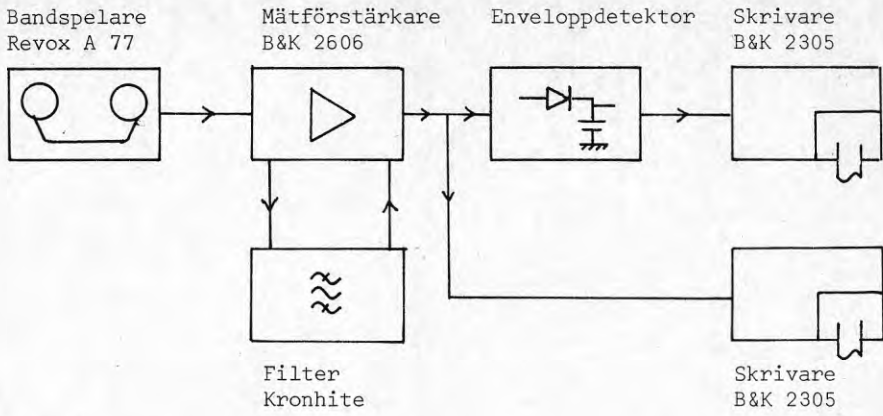


Fig 51.  
Analyssystem för  $M_D$ -mätningar

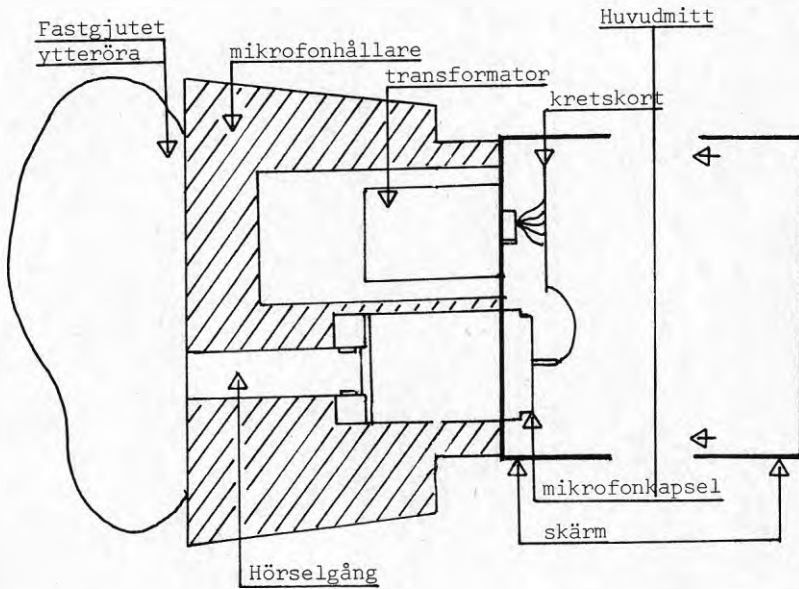


Fig 52. öroninsats



Fig 53. Lyssnarhuvud



Fig 54. Lyssnare

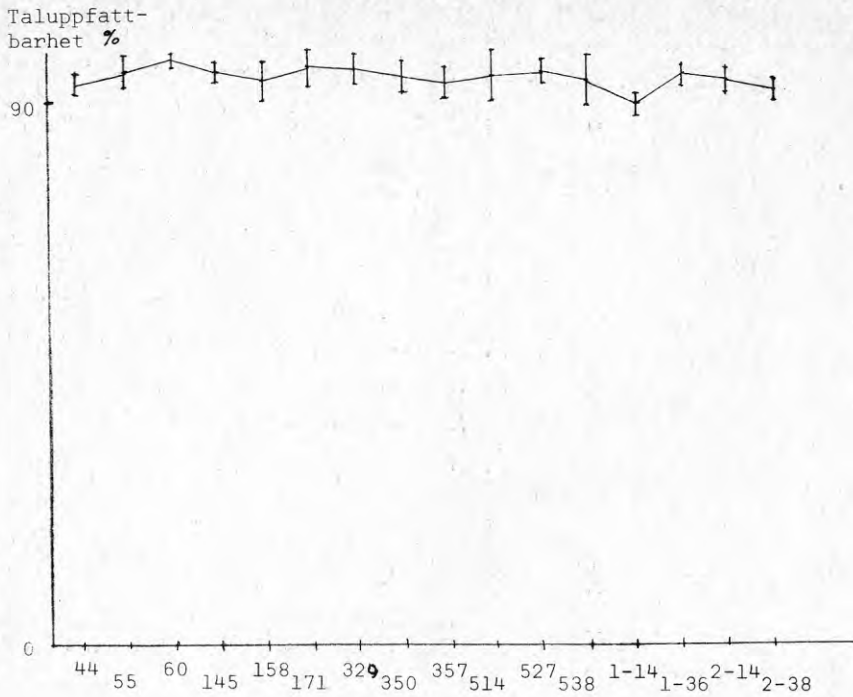


Fig 55. Talare i pos A, direkt lyssning. Jfr tabell 6

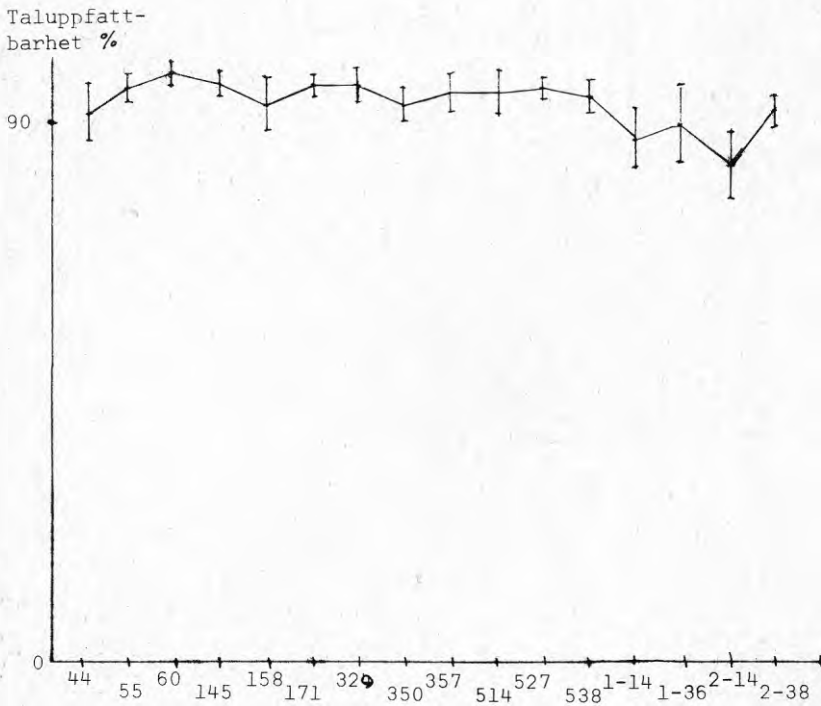


Fig 56. Talare i pos B, direkt lyssning. Jfr tabell 6

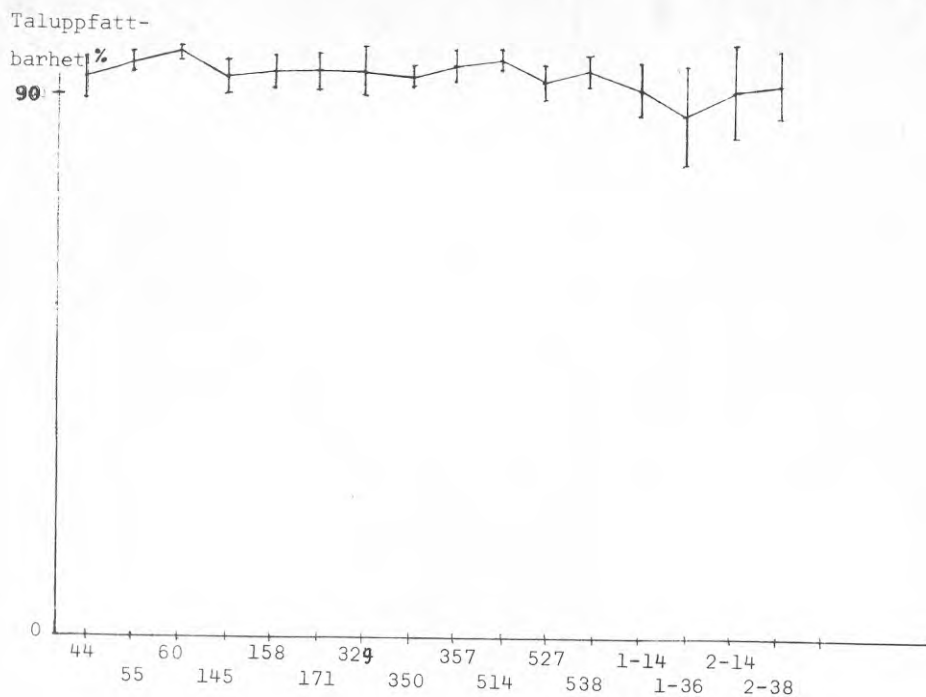


Fig 57. Talare i pos A, indirekt lyssning. Jfr tabell 6

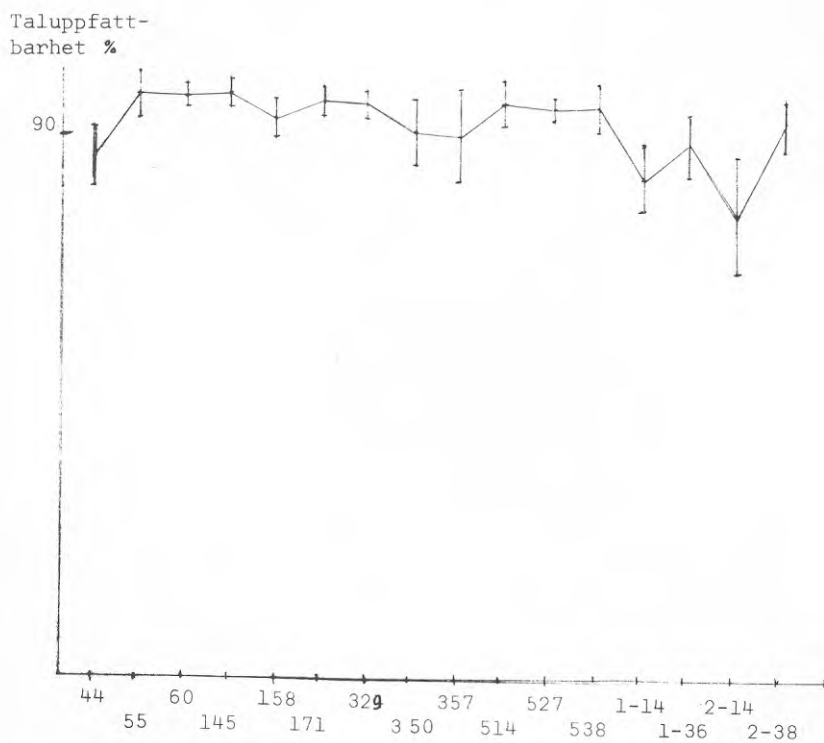


Fig 58. Talare i pos B, indirekt lyssning. Jfr tabell 7

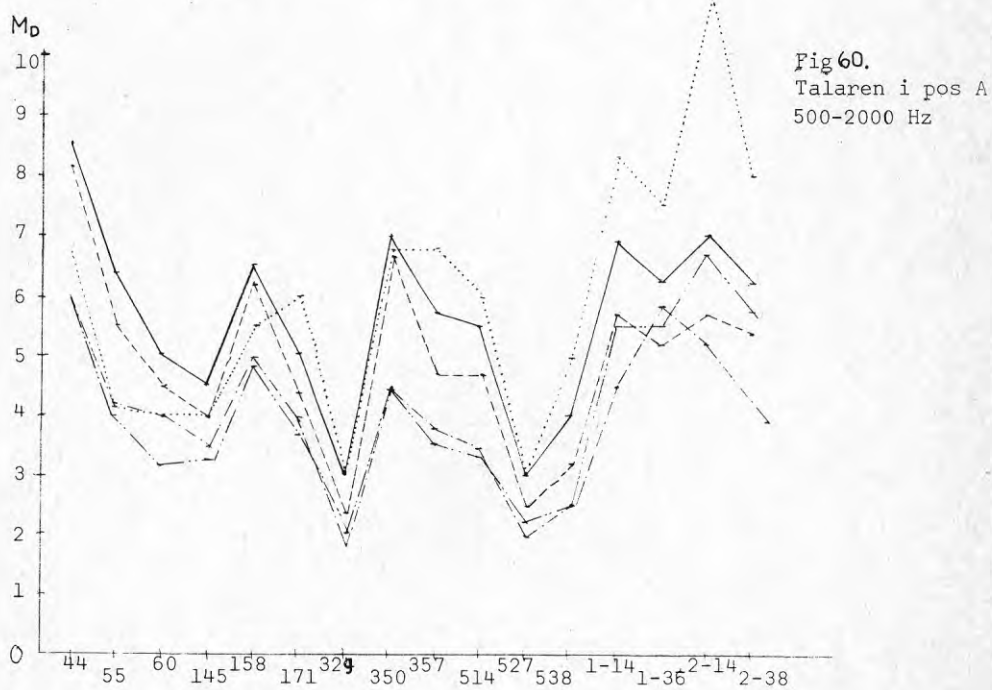
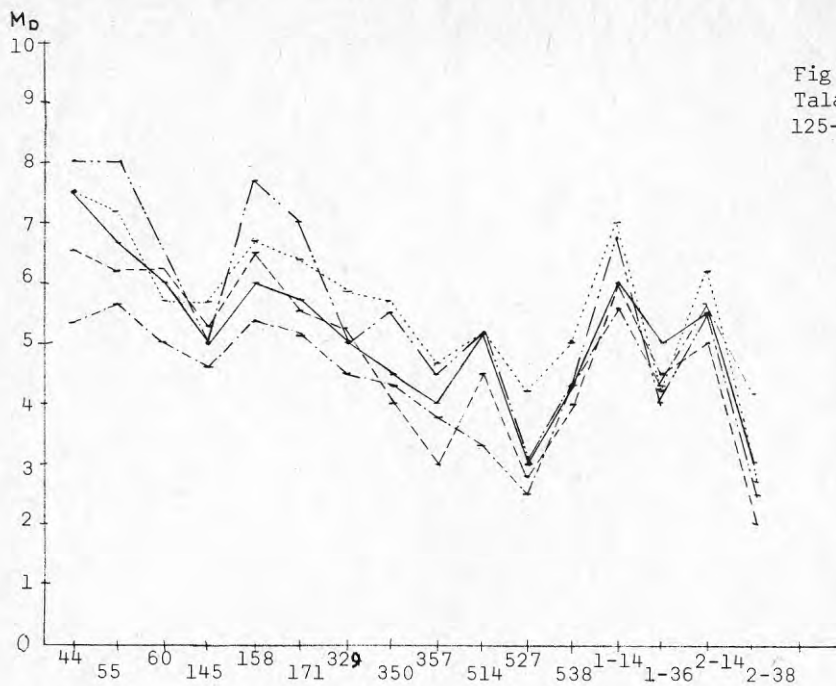


Fig 61.  
Talaren i pos A  
2-4 kHz

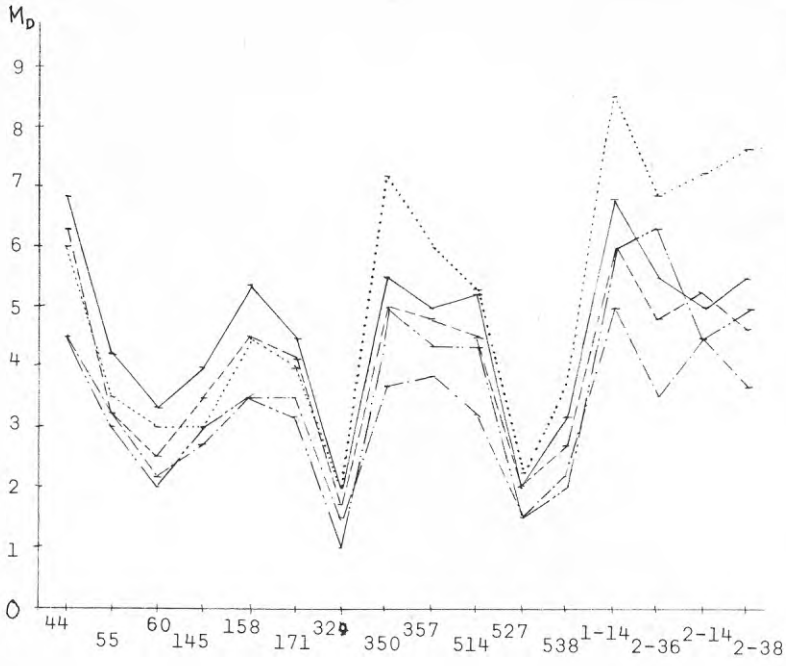
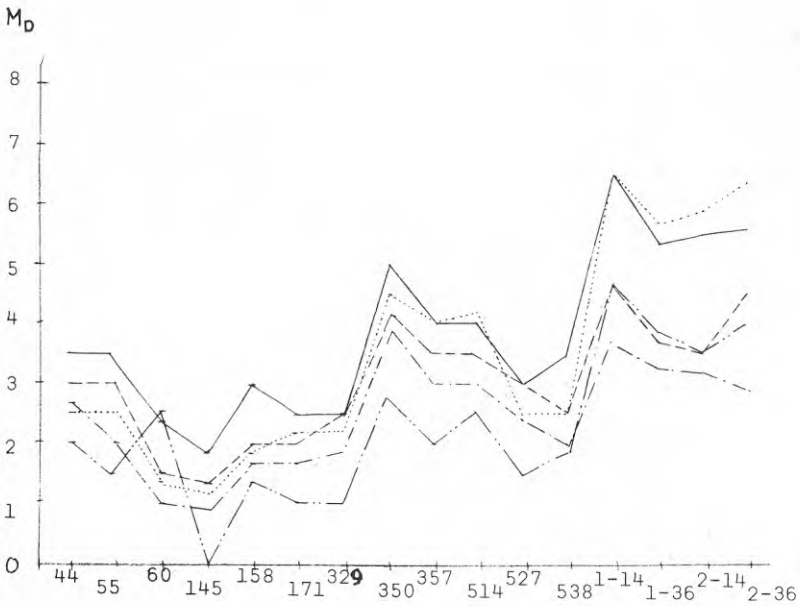
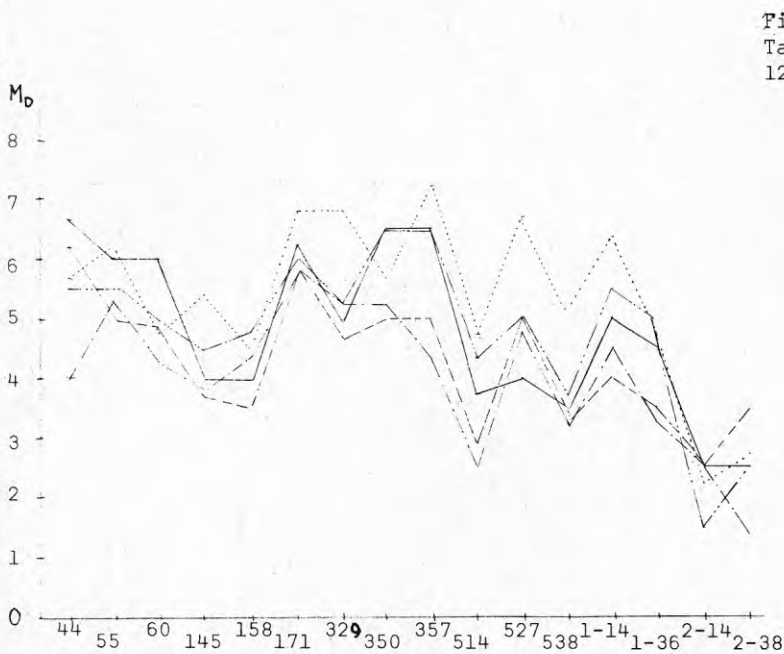
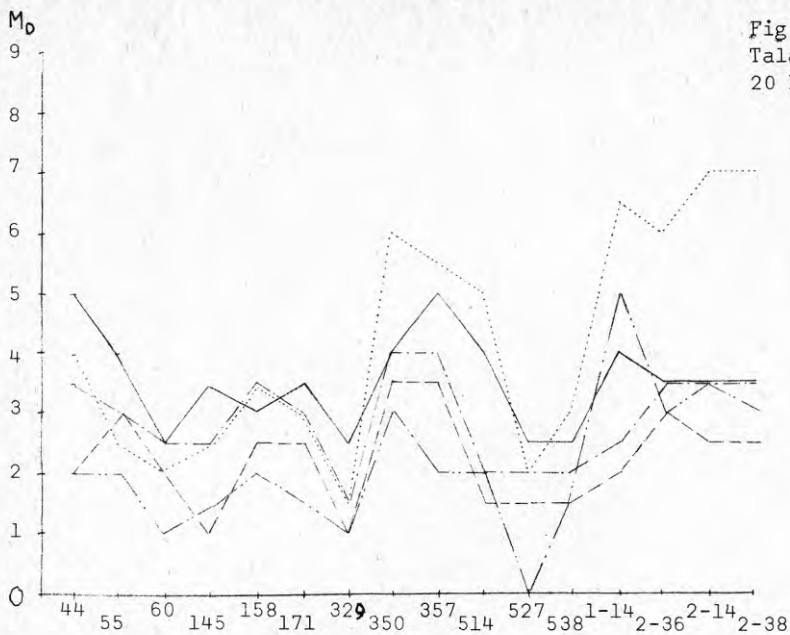
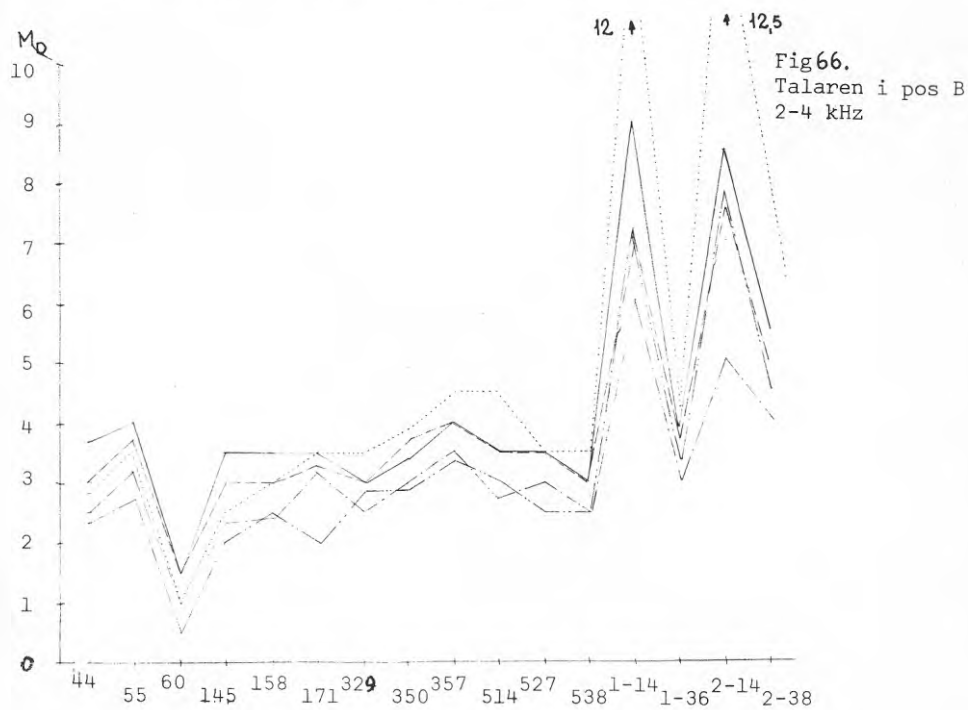
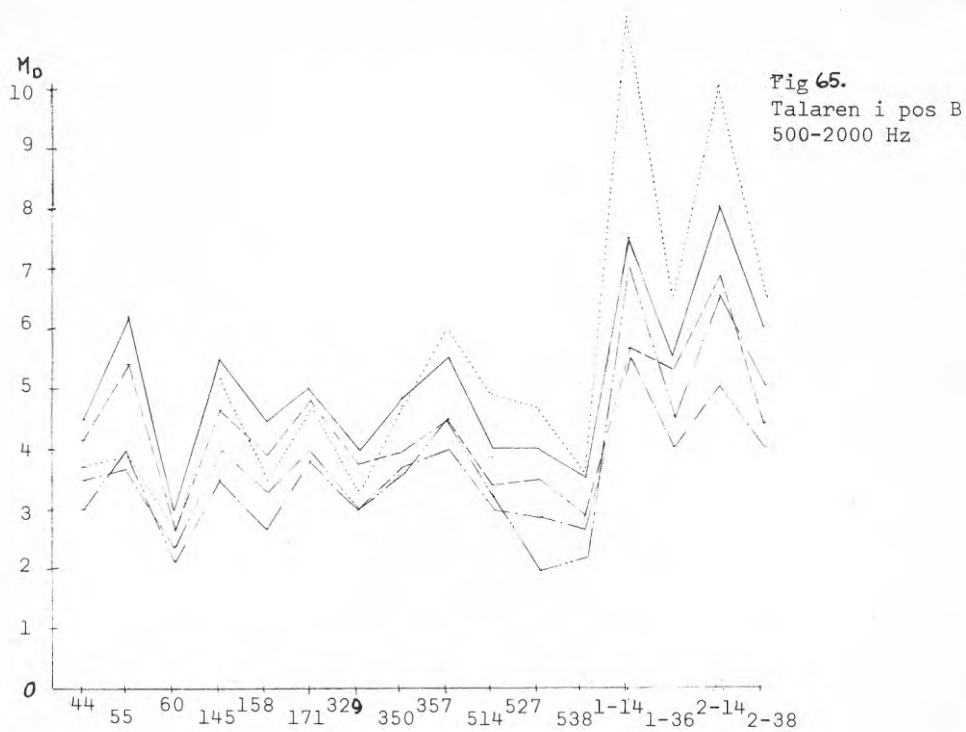


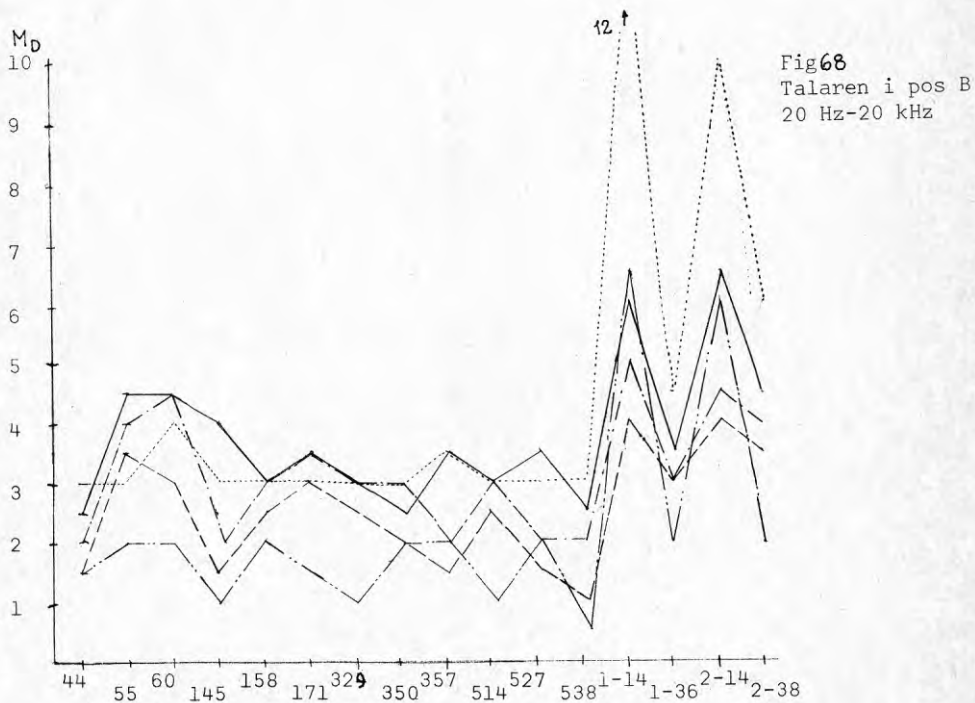
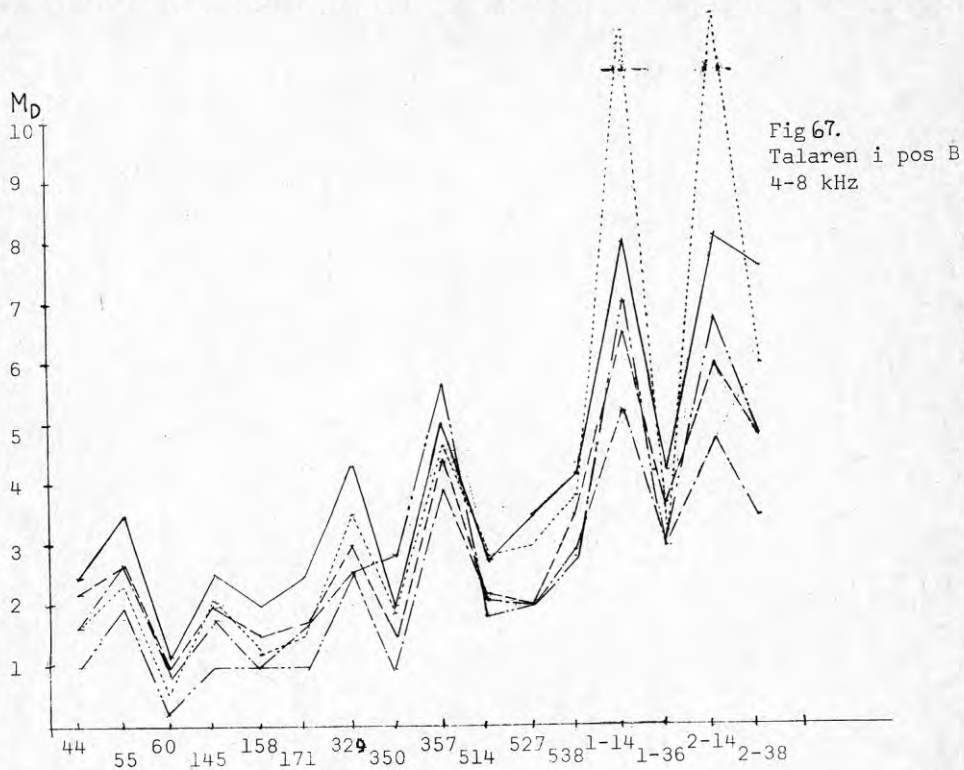
Fig 62.  
Talaren i pos A  
4-8 kHz













Referenser

- [1] TIDWORTH, S., Theatres, an illustrated history. Pall Mall Press, London, 1973.
- [2] JOSEPH, S., New theatre forms. Pitman & Sons, London, 1968.
- [3] HAM, R., (Ed.), Theatre planning. Architectural Press, London, 1972.
- [4] GRAUBNER, G., Theaterbau - Aufgabe & Planung. Callwey, München, 1968.
- [5] PAPATHANASSOPOULOS, B., Über die Akustik des griechischen Theaters. Proc. of the 5th ICA, s 962 - 966, 1965.
- [6] CANAC, F., L'Acoustique des Théâtres Antiques. Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris 1967.
- [7] SHANKLAND, R.S., Acoustics of Greek theatres. Physics today. Nr 9, s 30 - 35, 1973.
- [8] VITRUVIUS, De Architectura. ("Ten books of architecture"). Dover, New York.
- [9] SABINE, W.C., Collected papers on acoustics. Dover, New York, 1964.
- [10] CREMER, L., Geometrische Raumakustik. Hirzel Verlag, Stuttgart 1948.
- [11] MEYER, E. & KUHL, W., Bemerkungen zur Geometrischen Raumakustik. Acustica, s 77 - 83, 1952.
- [12] KNUDSEN, V.O. & HARRIS, C.M., Acoustical designing in Architecture. Wiley, New York, 1950.
- [13] CREMER, L., Statistische Raumakustik. Hirzel Verlag, Stuttgart, 1961.
- [14] KNUDSEN, V.O., Architectural Acoustics. Wiley, New York, 1932.
- [15] FURRER, W., Raum und Bauakustik, Lärmabwehr. Birkhäuser Verlag, Basel 1972.
- [16] SCHULTZ, T.J. & WATTERS, B.G., Propagation of sound across audience seating. JASA, vol 36, nr 5, 1964.
- [17] OLSSON, H.F., Passive and active acoustics in architectural enclosures. JAES, vol 13, nr 4, 1965.
- [18] JORDAN, V.L., Acoustical considerations concerning the New York State theater. JAES, vol 13, nr 3, 1965.
- [19] KLEPPER, D.L., Behind the actors back. JAES, vol 14, nr 3, 1966.

- [20] TARNOCZY, T., Raumakustische verbesserung des Budapester Stadttheaters. *Acustica*, vol 4, s 665 - 671, 1954.
- [21] TANNER, Acoustical design and performance of the Stratford (Ontario) Festival Theatre. *JASA*, vol 32, nr 2, 1960.
- [22] SCHODDER, G.R. et al, Verbesserung der Hörsamkeit eines Theaters durch eine schallverzögernde Leisesprechanlage. *Acustica*. Akustische Beihefte, s 116, 1952.
- [23] FLETCHER, *Speech and hearing in communication*.
- [24] BEKESY, G.V., *Experiments in hearing*.
- [25] DOELLE, Acoustical design of the Quebec Academy Auditorium. *Proc. of the 4th ICA*, 1962.
- [26] DOELLE, *Environmental acoustics*. McGraw-Hill, New York, 1972.
- [27] KIHLMAN, T. & NORDLUND, L., Taluppfattbarhet i hörsalar. BFR-rapport R 61:1973.
- [28] LOCHNER, J.P.A. & BURGER, J.F., The influence of reflections on auditorium acoustics. *J.S.V.*, vol 1, nr 4, 1964.











**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 720462-3 från  
Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen för byggnads-  
akustik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg**

**R39:1978**

**ISBN 91-540-2848-5**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6600739**

**Abonnemangsgrupp:**

**Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:**

**Svensk Byggtjänst, Box 1403**

**111 84 Stockholm**

**Cirkapris: 30 kr exkl moms**