



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**

**R64:1979**

A 675

# **Reflexionsfaktorns vinkelberoende**

**Inverkan på ljudabsorbenters  
funktion i stora rum — mät-  
metodik och tillämpningar**

**Jan-Inge Gustafsson  
Jörgen Svensson**

**Byggforskningen**

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND  
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET

R64:1979

REFLEXIONSAKTORN S VINKELBEROENDE

Inverkan på ljudabsorbenters funktion i  
stora rum - mätmetodik och tillämpningar

Jan-Inge Gustafsson  
Jörgen Svensson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
750526-0 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Ingemanssons Ingenjörbyrå AB, Göteborg.

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

R64:1979

ISBN 91-540-3019-6  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1979 954289

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid</u>
Beteckningar och definitioner	4
Förord	5
Inledning	7
 Mätförfarande	 10
PN-metoden	10
Integrerad puls-respons	11
Ljudutbredningsmätning med brus	13
Efterklangstidsmätning	14
Instrumentförteckning	15
 Mätresultat, utvärdering, jämförelser	 16
Jämförelse $\alpha_{\theta}$ (PN) - $\alpha_{\theta}$ (puls)	18
Ljudutbredningsdämpning som funktion av $\alpha_{\theta}$ (PN)	18
Efterklangstid	20
Tydlighet (Deutlichkeit)	22
 Beräkning av artikulationsindex	 24
 Kommentarer	 28
 Dimensioneringsregler för landskapsundertak	 30
 Litteraturförteckning	 33
 Figur 14-49	

## BETECKNINGAR OCH DEFINITIONER

AI	Artikulationsindex	
a	Avstånd ljudkälla - skärm	m
b	Avstånd skärm - mikrofon	m
$d_1$	Avstånd ljudkälla - tak för takreflex	m
$d_2$	Avstånd tak - mikrofon för takreflex	m
D	Tydlighet (Deutlichkeit)	
H	Takhöjd	m
$h_s$	Skärmhöjd	m
$L_1$	Dosbidrag (rel. 1 sek) för takreflexer	dB
$L_h$	Ljudtrycksnivå (1 sek) 2 m från högtalare för en sinusperiod	dB
$L_w$	Ljudeffekt från högtalare, kontinuerligt rosa brus	dB
p	Ljudtryck	Pa
$p_i$	Ljudtryck för infallande ljud	Pa
$p_r$	Ljudtryck för reflekterat ljud	Pa
r	Avstånd ljudkälla - mikrofon	m
R	Reflexionsfaktor	
$\alpha$	Absorptionsfaktor	
$\alpha_\theta$	Absorptionsfaktor för infallsvinkeln mot normalen	
$\alpha_\theta$ (PN)	$\alpha_\theta$ mätt med PN-signaler (Pseudo Noise)	
$\alpha_\theta$ (puls)	$\alpha_\theta$ mätt med pulsresponse	
$\Delta E$	Integralsprång för takreflex	skalenheter
$\Delta L_{\text{tak}}$	Takdämpning för sinusperiod	dB
$\Delta L_{\text{tot}}$	Utbredningsdämpning för kontinuerligt rosa brus rel. 1 m från högtalaren	dB

## FÖRORD

För reglering av akustiken i arbetslokaler med öppen planlösning, typ kontorslandskap eller fabrikslokaler med låg takhöjd, används oftast absorberande undertak. Syftet därmed är att ljudreflexen via undertaket skall dämpas så att tal eller maskinbuller från andra arbetsplatser ej stör mottagaren. Med andra ord är en låg reflexionsfaktor önskvärd. För vissa undertaksprodukter kan en ökande reflexionsfaktor mot flacka infallsvinklar misstänkas. Detta kan få följderna att störningar erhålles mellan arbetsplatser på stort avstånd från varandra. Störande reflexer kan också erhållas via i undertaket inlagda belysningsarmaturer, bärverk, elkanaler och dylikt. I detta projekt har problematiken studerats under följande målsättningar:

- 1 Vinna kännedom om vilken betydelse absorptionens (reflexionsfaktorns) vinkelberoende har för ljudutbredningen i stora rum.
- 2 Erhålla dimensioneringsregler för applikation av absorbenter med hänsyn till ljudets infallsvinkel.
- 3 Utveckla en metod för bestämning av reflexionsfaktorn vid olika infallsvinklar.

Projektet har genomförts i samarbete mellan Ingemanssons Ingenjörbyrå och Institutionen för informationsteori vid Chalmers tekniska högskola. Ekonomiska bidrag och assistans i projektuppläggningsarbetet har lämnats av Gullfiber AB och Rockwool AB. Huvuddelen av projektanslaget hänförs sig till Statens råd för byggnadsforskning projektnummer 750526-0 (IIAB) resp. 750465-5 (CTH). Arbetet vid CTH har främst gällt punkt 3 ovan och redovisas i en separat rapport från institutionen, ref. (1).

Medverkande i projektet har utöver författarna varit

diplomingenjör Nils-Åke Andersson, Gullfiber AB  
civilingenjör Ralf Friberg, Rockwool AB  
universitetslektor Ingvar Jönsson och civil-  
ingenjör Gunnar Wilson, Inst. för informations-  
teori, Chalmers tekniska högskola.

Till dessa framföres ett varmt tack.

Göteborg 1978-12-08

  
Jan-Ingge Gustafsson

  
Jörgen Svensson



## INLEDNING

Ett vanligt förekommande akustiskt problem är att bestämma de akustiska egenskaperna hos ett visst rum så att ljudnivån i en godtycklig punkt i rummet kan beräknas utgående från en given ljudkälla.

Sabine definierade efterklangstiden som den tid det tar för ljudtrycksnivån att avta 60 dB. Detta är ett av sätten att beskriva rumsakustiken. Ur mätningar av efterklangstiden då ett material placeras i ett "ljudhårt" rum bestämmas materialets absorptionsfaktor utifrån statistisk rumsakustik enl. Sabine eller Eyring. Dessa absorptionsvärden utgör härvid medelvärden på absorptionen för ljud med olika och slumpmässigt fördelade infallsvinklar (diffust ljud).

Med hjälp av  $\alpha$ -värdena kan sedan ljudnivån och efterklangstiden i en lokal med olika material på begränsningsytorna bestämmas.

Den statistiska rumsakustiken har begränsningar då den ej tar hänsyn till rumsformen och ytornas olika placering. I och med datortekniken möjliggöres alltmer detaljerade beräkningar ex.vis då ljudnivå och efterklang beräknas utifrån ett stort antal strålar. Varje gång en stråle träffar en viss yta reflekteras den i större eller mindre grad. Den s.k. reflektionsfaktorn  $R$  är motsatsen till absorptionsfaktorn enl. följande:

$$(R)^2 = 1 - \alpha$$

$$\text{där } R = \frac{P_r}{P_i}$$

$$\text{dvs } \alpha = 1 - \left( \frac{P_r}{P_i} \right)^2$$

$P_r$  = ljudtrycket för reflekterad våg

$P_i$  = ljudtrycket för infallande våg

Då ljudet beräknas utifrån distinkta strålar fordras alltså kännedom om ljudreflexionen eller om man så vill ljudabsorptionen ( $\alpha_\theta$ ) för olika infallsvinklar. Med impedansrör

har ljudabsorptionen sedan länge mätts för vinkelrätt infall. Senare mätmetoder gör det nu möjligt att mäta ljudabsorptionen för nästan alla vinklar. Målsättningen med detta projekt har varit att dels utveckla en av dessa mätmetoder, den s.k. PN-metoden, för praktiskt bruk, dels undersöka det praktiska värdet av att erhålla reflektionsfaktorn för olika vinklar. De mätningar som utförts har bl.a. inriktats på att ge svar på i vilken grad kraftigt reflekterande mindre ytor tillsammans med ljudabsorbenter ger distinkta reflexer. Ur dessa mätningar har det vidare varit önskvärt att få fram vissa dimensioneringsregler för undertak i rum av landskaps-typer, med inriktning på avskildheten mellan arbetsplatserna.

Det finns två problemfall där kunskap om absorptionsfaktorn för olika infallsvinklar är särskilt intressant. Det ena är konsert/samlingssalen där ofta så hög reflexionsfaktor som möjligt är önskvärd på en stor del av begränsningsytorna. Man vill här kunna konstruera reflektorer som sprider ljudet åt bestämda håll. Det andra fallet är kontorslandskapet där man normalt önskar åstadkomma hög ljudutbredningsdämpning så att god avskildhet mellan olika arbetsplatser erhålles. Här måste absorptionsfaktorn vara så hög som möjligt. Särskilt gäller detta i samband med skärmar vars effekt kraftigt kan reduceras p.g.a. reflexer från taket. Vid större avstånd mellan arbetsplatserna får ej heller ljudutbredningen öka p.g.a. att undertakets absorption försämras vid flacka infallsvinklar. Samma tillämpningar förekommer även inom den lätta industrin vid fabrikslokaler med låg takhöjd.

Det är den senare problemställningen som här studerats. Efter att ha vidareutvecklat absorptionsmätmetoden med PN-(pseudo noise) signaler för praktiskt bruk uppmättes  $\alpha_0$  i fyra olika kontorslandskap dels under ren absorbent dels under armatur eller elrädda. Dessa mätningar

finns redovisade i delrapport, ref. (1). På samma plåtsor har därefter mätningar utförts av  $\alpha_0$  enligt pulsresponsemetoden, ljudutbredning med puls resp. brus, samt tydlighet D och efterklangstid. Då tillämpningen med skärm ställer högre krav på ljudabsorptionen, har 1,5 eller 2 m skärm använts vid flertalet mätningar. Härmed har det även varit lättare att skilja på direktljud och reflekterat ljud.

Ett undertak i ett kontorslandskap skall ofta svara för ett stort antal funktioner, såsom hög ljudabsorption, el-kanalisation, belysning, vägganslutningsmöjlighet (då även ljudisolering), ventilation och ibland även kyla. Vissa ljudreflekterande ytor kan härvid knappast undvikas och det är konsekvenserna av dessa som vi velat undersöka närmare.

Som ett mått på avskildhet har artikulationsindex (AI) använts och beräknats för några fall med de landskapsundertak på vilka mätningarna utförts. Ett lågt AI, innebärande dålig taluppfattbarhet, har alltså eftersträvats.

I projektet har även ingått framtagande av litteratur som behandlar ämnet. Redovisningen av projektet avslutas därför med en litteraturförteckning.

## MÄTFÖRFARANDE

Då något entydigt mätförfarande saknas för bestämning av reflexionsfaktorns inverkan på den totala akustiska miljön har i detta projekt flera metoder jämförts. Metoderna besitter väsentliga skillnader i fråga om förmåga att beskriva enskilda delytors egenskaper å ena sidan, den samlade effekten av alla reflekterande ytor å andra sidan. Genom att kombinera resultaten av de olika mätserierna kan de rumsakustiska förhållandena kartläggas relativt väl. Särskilt har då inverkan av reflexionsfaktorns infallsvinkelberoende hos undertak studerats. Följande metoder har använts.

### I PN-metoden

Metoden har utvecklats vid institutionen för informationsteori vid Chalmers tekniska högskola och beskrives i ref. (2). Ref (1) utgör redovisning av ena halvan av detta projekt. I rapporten redovisas de mätningar som utförts av institutionen i de fyra aktuella objekten. I korthet fungerar metoden så att en pseudobrussignal riktas via högtalare mot undertaket och den reflekterade signalen mottages av en mikrofon. Utsänd signal korreleras med mottagen signal och ur korskorrelationsfunktionens maximivärde avläses undertakets reflexionsfaktor vid den aktuella infallsvinkeln. Mätsignalen ges en bandbredd av 1 oktav och centerfrekvensen varieras, här har valts frekvenserna 500, 1000, 2000 och 4000 Hz. Genom den väldefinierade signalen kan en hög grad av störfrihet från ovidkommande signaler erhållas. Upplösningen i tid blir relativt god och reflexer med annan löptid än den intressanta kan lätt urskiljas. Genom att metoden förutsätter att korrelationsvärdet härrörande från direktvågen utsläckes blir emellertid inställningen av avstånden högtalare-provyta-mikrofon ganska tidsödande. Inom projektet har dock inställningsförfarandet ut-

vecklats så att mätningarna underlättas betydligt.

Storleken hos den effektiva provytan bestämmes av våglängden, avståndet från högtalare resp. mikrofon samt högtalarens och mikrofonens riktkarakteristik.

## II Integrerad puls-respons

Via en rundstrålande högtalare bestående av 11 st 5"-högtalare i dodekaederkonfiguration sände vi en period sinusvåg av frekvensen 500, 1000, 2000 eller 4000 Hz. Se fig. 14 och 3. De reflekterade ljudvågorna, varav vi i första hand intresserade oss för takreflexen, gav via en 1"-mikrofon en mät-signal som oktavbandsfiltrerades kring sinusperiodens frekvens och registrerades via en kvardröjande integrator på ett minnesoscilloskop. Den filtrerade signalens ideala tidsförlopp och frekvensspektrum framgår av fig. 15. Integralen av ljudtryckskvadraten blev på så sätt proportionell mot uppsamlad ljud-energi varvid kraftiga reflexer gav tydliga språng i integralfunktionen. Se figur 1.

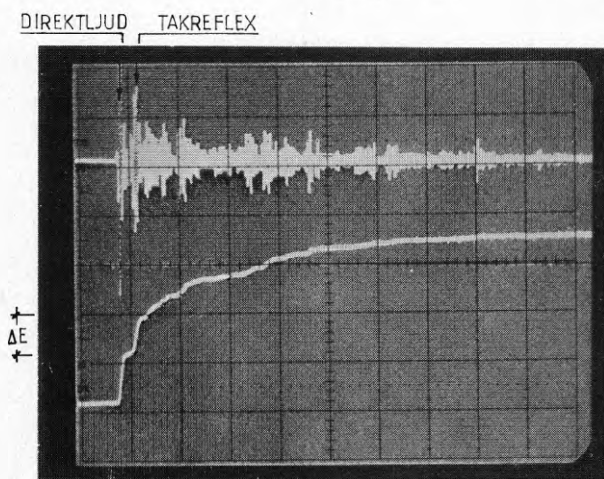


Fig. 1. Exempel på registrering med pulsresponsmetoden.

Den integrerade utrustningen är beskriven i ref. (26).

- a) Ur integralsprånget  $\Delta E$  vid tidpunkten  $t$ , som definierar takreflexen kunde en "deldos" i dB relaterad till 1 sekund beräknas enligt

$$L_{\perp} = 10 \cdot \log \frac{\Delta E}{\Delta E_{kal}} + 94 \text{ dB}$$

där  $\Delta E_{kal}$  utgjorde det värde integralen av en kontinuerlig kalibreringston 94 dB rms vid 1000 Hz ökade per sekund, med korrektion för skalfaktorer.

- b) Ur integralens slutvärde kunde på motsvarande sätt den totalt mottagna ljudenergin bestämmas.
- c) Ur integralens värde vid 50 ms efter direktvågen kunde begreppet Tydlighet (Deutlichkeit),  $D$  beräknas enligt

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

Begreppet förklaras närmare bl.a. i ref. (27)

Dämpningen hos takreflexen p.g.a. absorption har beräknats sedan den utsända pulsens energi som funktion av riktningen från högtalaren uppmätts i ekofritt rum. Se fig. 2. Signalnivå och filttering identiska med mätförhållandena vid 2 m avstånd från högtalarens centrum.

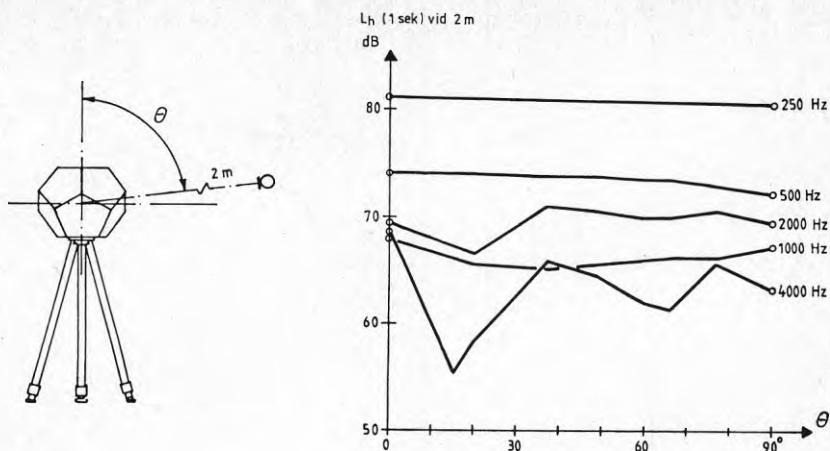


Fig. 2. Uppmätt ljudtrycksnivå som funktion av vinkeln  $\theta$  för en sinusperiod. 2 m från högtalarcentrum, integreringstid 1 sekund.

Med hänsyn till avståndsdämpningen har takdämpningen beräknats enligt

$$\Delta L_{\text{tak}} = L_h - 20 \cdot \log \frac{d_1 + d_2}{2} - L_1$$

Se fig. 3

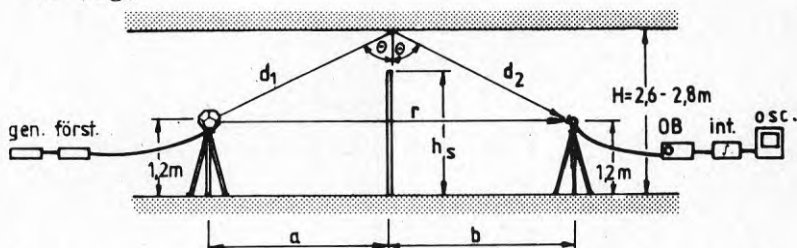


FIG. 3. MÄTUPPSTÄLLNING VID PULSRESPONSMETODEN

Samtidigt har utrustningens läge noterats varur infallsvinkeln  $\theta$  beräknats.

### III Ljudutbredningsmätning med brus

Med samma mätuppställning har sinusperioden utbytt mot kontinuerligt rosa brus, vilket oktavbandsfilterats på mikrofonens sida. Sedan högtalarens utsända ljudeffekt  $L_w$  uppmätts med samma signal

i efterklangsrum, se fig. 4, har den totala utbredningsdämpningen rel. 1 m avstånd från högtalaren beräknats ur

$$\Delta L_{\text{tot}} = L_w - L_{\text{mik}} - 20 \cdot \log \frac{1}{0,28}$$

Detta värde kan jämföras med utbredningsdämpningen för puls varvid från  $L_1$  enligt IIa subtraheras värdena i fig. 2 omräknade till 1 m avstånd.

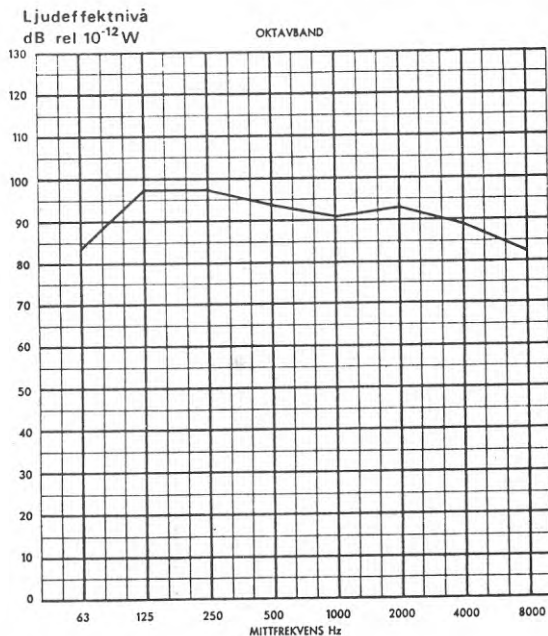


Fig. 4. Uppmätt ljudeffekt  $L_w$  från högtalare, rosa brus.

Mätningarna enligt punkt II, III har utförts såväl utan skärm som med 1.5 resp. 2 m hög skärm.

#### IV. Efterklangstidsmätning

Efterklangstiden i de olika lokalerna har uppmätts med skottmetoden på konventionellt sätt.



Instrumentförteckning

Vågformsgenerator Exact 507

Brusgenerator Rogers typ A

Effektförstärkare Audex TR 120

Rundstrålande högtalare 11 x Isophon BPSL 130-7 (eget  
fabrikat)

Precisionsimpulsljudnivåmätare Brüel & Kjaer 2209

Oktavbandsfilter Brüel & Kjaer 1613

D-ε-mätare, integrerande (eget fabrikat, CTH 1969)

Minnesoscilloskop Tektronix T 912

Polaroidkamera CR-9

Universalinstrument Metrix 202 B

## MÄTRESULTAT, UTVÄRDERING, JÄMFÖRELSE

De ovan beskrivna mätningarna har utförts i fyra olika lokaler med olika typer av landskapsundertak. Två av lokalerna var matsalar, de övriga två kontorslandskap/storrum.

Förutom  $\alpha_0$  (PN)-mätningarna har flertalet mätningar gjorts med skärmar för att reducera direktljudet och därmed underlätta utvärderingen av takreflexerna. Det är också i samband med skärmar som betydelsen av undertakets reflektionsfaktor är som störst.

Skärmhöjden har i flertalet fall varit 2,0 m men i några fall har mätningar utförts även med 1,45 m skärmhöjd. Skärmarna har varit dubbelsidigt absorberande. Ljudisoleringen hos skärmarna har legat väl över skärmdämpningen och skärmarna har tätats mot golv. Skärmarnas utsträckning i sida har varit tillräcklig för att man skall kunna bortse från diffraktionen i sidled. De har placerats dels mitt under den rena ljudabsorbenten i ett undertak, dels under en ljudreflekterande elränna eller belysningsarmatur. Mätning av  $\alpha_0$  med PN-metoden resp. pulsresponsmetoden har utförts på exakt samma ytor med vissa undantag vid SKF. Bord och stolar har vid mätningarna varit undanplockade i sådan grad att den direkta ljudutbredningen ej påverkats av dessa.

De fyra kontorslandskapen och mätplaceringen beskrivs på figurerna 16-21.

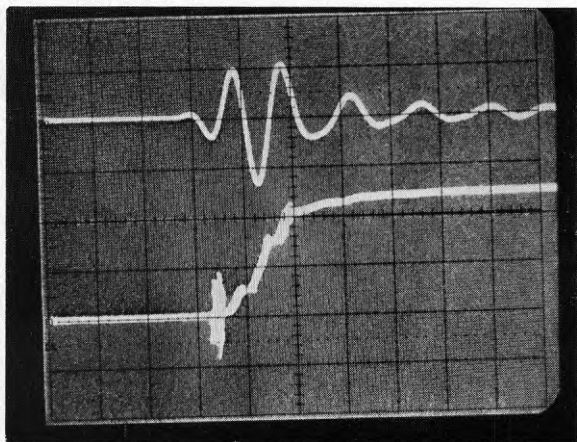


Fig. 5. Exempel på registrering 2 m framför högtalare i ekofritt rum. 5 ms/div. 500 Hz.

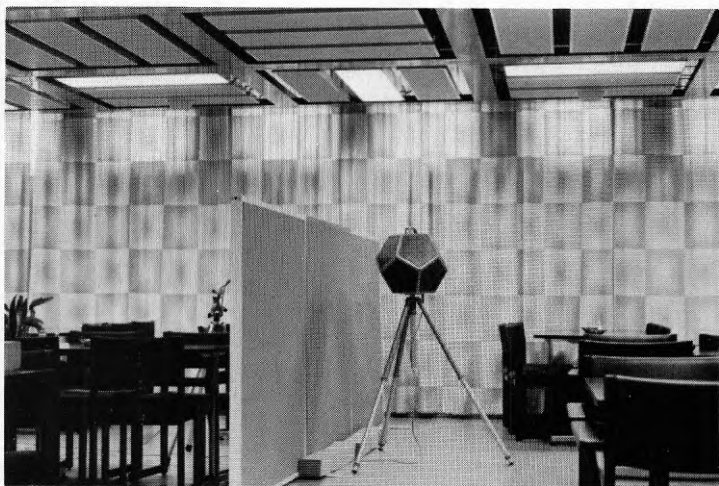


Fig. 6. Mätuppställning i ASEA's matsal, med 1,5 m skärm.

### Jämförelse $\alpha_0$ (PN) - $\alpha_0$ (puls)

De med PN-metoden uppmätta  $\alpha_0$  -värdena vid Wikings och SKF redovisas i sin helhet i ref. 1, som utgör delrapport. De med pulsresponsmetoden uppmätta  $\alpha_0$  -värdena har för jämförelsens skull lagts in på diagrambladen med  $\alpha_0$  (PN), se fig. 20-34. Här redovisas även  $\alpha_0$  (PN)-värdena för Asea och Pripps.

Överensstämmelsen mellan de med olika metoder uppmätta  $\alpha_0$  -värdena är i vissa fall god, i några fall mindre god. Noggrannheten hos puls-responsmetoden kan emellertid ej bli densamma som hos PN-metoden. Utvärderingen vid puls-responsmetoden försvåras ex.vis p.g.a. den filtrerade högtalarpulsens längd, se fig. 5. Takreflexen kan därvid vara svår att skilja från direktljud och övriga reflexer. Vid lägre  $\alpha$ -värden innebär en liten felavläsning ett ganska stort fel i uträknat  $\alpha$ .

I de fall reflexytor förekommer i undertaken blir mätresultatet även beroende av mätavståndet. Detta framgår av diskontinuiteten hos  $\alpha_0$  (PN)-värdena vid byte av avståndet högtalare-mik från 1 m till 3 m och främst vid högre frekvenser där den reflekterande ytan är stor relativt våglängden.

Reflexytor kan även ge ökad direktivitet i den reflekterade ljudvågen, vilket innebär  $\alpha$ -värden som är mindre än 0, se ref. (19).

### Ljudutbredningsdämpning som funktion av $\alpha_0$ (PN)

De ljudutbredningsmätningar som utförts i de fyra lokalerna kan alla anses vara representativa för ordinarie storrums. Mätningarna är således på intet sätt idealiserade och inverkan av störande reflexytor i form av väggar, bord (fanns ej i mätriktningen) etc. är med i resultatet. Syftet har således varit att under normala betingelser undersöka betydelsen av  $\alpha_0$  hos undertaket för ljudutbredningsdämpningen.

Mätningarna som gjorts med dels puls, dels brus, i frekvenserna 0.5, 1, 2, 4 kHz redovisas i diagram på

figurerna 37-45. Värdena avser ljudutbredningsdämpningen relativt 1 m avstånd samt utan skärm. Spridningen vid detta avstånd ligger här inom  $\pm 0,5$  dB i de olika lokalerna.

I varje lokal har mätningen utförts med skärmarna i två olika positioner. De inringade punkterna i diagrammen avser mätningar med en reflekterande yta (elrännna, armatur) i undertaket alldeles ovanför skärm.

I fig. 46 och 47 redovisas även för några fall den andel av ljudenergin vid puls som härrör från undertaket uttryckt i % av den totala energin. Helt naturligt gäller vid högt värde på takabsorptionen att ljudtrycksnivån endast i mindre grad byggs upp av takreflexen. För att i dessa fall kunna utnyttja en ännu högre takabsorption fordras att även övriga ytor, väggar, golv etc, göres ljudabsorberande.

Som framgår av diagrammen råder ett klart samband mellan ljudutbredningsdämpningen vid skärmar och  $\alpha_0$  (PN) för ytan ovan skärm. Detta gäller särskilt vid 2 m skärmen. Vid en belysningsarmatur som med PN-metoden indikeras genom ett lågt  $\alpha_0$ -värde (10-20%) erhålles här storleksordningen 5 dB lägre utbredningsdämpning. Detta gäller å andra sidan främst vid ungefär lika avstånd mellan sändare-skärm och mottagarskärm. Vid olika avstånd ex. 0,5 resp. 1,5 m blir takreflexen skärmad och dämpvärdet något mindre beroende av  $\alpha_0$ . Den egentliga reflexen i taket behöver dessutom inte hamna i reflexytan eftersom denna är ganska begränsad. Detta gäller även tak-golvreflexen som i den nämnda mätplaceringen ej är skärmad. Vid mätposition 0,5 resp. 1,5 m kan man sannolikt också finna andra lägen på skärmen relativt reflexytan i taket där det nedsatta ljudabsorptionen får större konsekvenser på ljudutbredningsdämpningen än vad som här uppmätts.

Att ganska låga dämpvärden förekommer i samband med höga  $\alpha_\theta$ -värden beror sannolikt på inverkan av närliggande reflekterande väggytor. Takreflexens andel är som synes fortfarande låg.

Kontorslandskapet hos Wikings bör ha minsta inverkan av väggytor p.g.a. större dimensioner och visar heller inga diskontinuiteter bland dämpvärdena.

I några enstaka fall förekommer lägre ljudutbredningsdämpning i samband med reflexytorna utan att för den skull  $\alpha_\theta$  (PN) har mätts nämnvärt lägre.

Vid ljudutbredningsmätningar på  $> 3$  m mellan sändare och mottagare skiljer sig mätavståndet från det vid  $\alpha_\theta$  (PN)-mätningen använda mätavståndet. Det är här rimligt att inverkan av en reflektoryta på ljudutbredningsdämpningen blir mindre än vad  $\alpha_\theta$ -värdet indikerar, vilket mätningarna också visar.

För den lägre skärnhöjden (1,5 m) är reflektorytans inverkan mindre än vid 2 m-skärmen. Någon skärmning av takreflexen förekommer emellertid ej här.

#### Efterklangstid

Den uppmätta efterklangstiden i oktavband redovisas för de fyra lokalerna på fig. 7. Mätningar är gjorda med den 2 m höga och 4,5 m breda dubbelabsorberande skärmen utplacerad.

Något klart samband mellan efterklangstiden och uppmätta  $\alpha_\theta$  (PN)-värden för undertaket kan knappast skönjas. Golv, inredning etc. ger ett avsevärt bidrag till ljudabsorptionen.

De lokala reflexytorna har givetvis ingen inverkan på efterklangstiden. Däremot är den senare intressant som direkt jämförelse till uppmätt ljudutbredning och Tydlighet samt för korrektion av beräknade AI-värden.

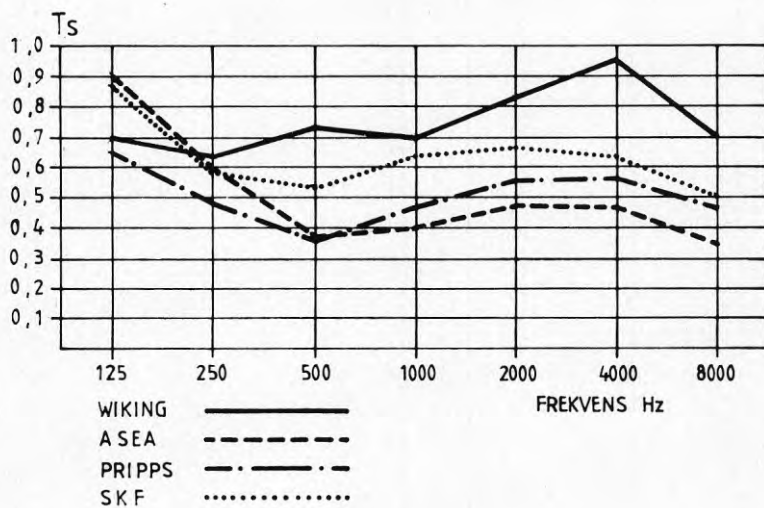


Fig. 7. Uppmätt efterklangstid i resp. lokal inkl. inverkan av dubbelsidig absorberande skärm ( $2 \times 4,5 \text{ m}^2$ ).

### Tydlighet (Deutlichkeit, D)

I tabell 1 redovisas uppmätt Deutlichkeit för olika lokaler och några olika geometriska situationer (beteckningar enligt tidigare). D-värdena är intressanta att studera med hänsyn till uppmätt  $\alpha_\theta$  för taket, olika skärmhöjd och avstånd samt uppmätt efterklangstid.

Ett intressant samband som kan skönjas av uppmätta D-värden är att vid 2 m skärmhöjd ökar D vid minskat  $\alpha_\theta$ , exempelvis under reflektorer. Likaledes är här D högt vid längre efterklangstid. Detta förhållande som är tvärtemot det normala gäller endast i samband med hög skärmverkan. Med hög skärm blir ljudnivån inom 50 ms i hög grad beroende av takreflexen. Då skärmhöjden minskar, ökar D och blir mindre beroende av  $\alpha_\theta$  för taket. Vidare finns en tendens till lägre D på större avstånd. I samtliga fall är emellertid D tillräckligt högt för att inte nämnvärt påverka taluppfattbarheten, se fig. 8 och 9.

Fig. 8.

Samband mellan taluppfattbarhetsförlust i procent och tydlighetsvärdet. enl. ref. 28.

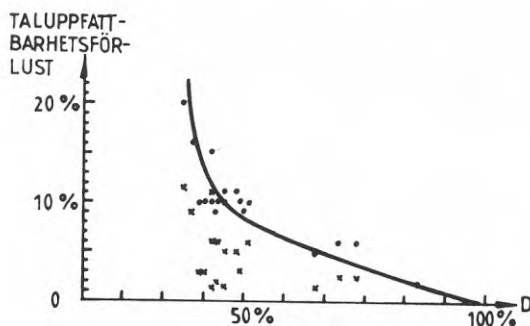
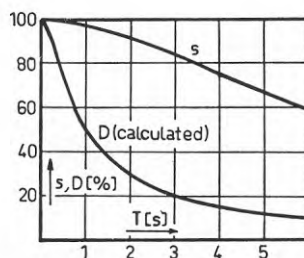


Fig. 9.

Samband mellan taluppfattbarhet (syllable articulation), Tydlighet, D och efterklangstid, T. enl. ref. 27.





Tabell 1. Uppmätta Tydlighetsvärden under abs. tak/under reflexyta  
(armatur, elränna etc)

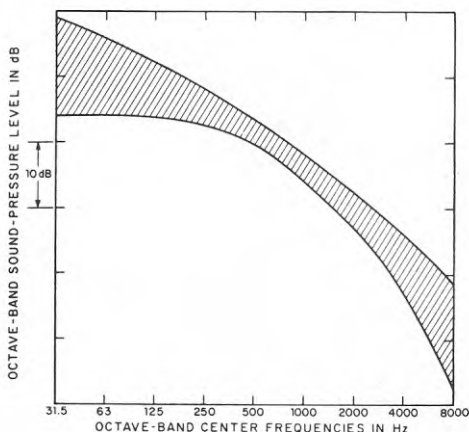
Objekt	a	b	h <sub>s</sub>	D % för oktavband mittfrekvens Hz			
				500	1000	2000	4000
Wiking	0,5	1,5	2	86/	86/	86/	93/
	"	"	1,5	94/	97/	93/	86/
Asea	0,5	1,5	2	93/73	70/77	86/73	78/87
	"	"	1,5	25/90	81/86	93/91	88/96
Pripps	0,5	1,5	2	66/98	67/96	83/89	76/98
SKF	0,5	1,5	2	85/98	52/97	73/85	73/93
Wiking	1,5	1,5	2	91/92	92/96	93/96	94/94
	"	"	1,5	86/94	94/96	92/88	96/87
Asea	1,5	1,5	2	76/70	69/88	89/79	83/88
			1,5	85/70	83/87	91/93	90/90
Pripps	1,5	1,5	2	78/98	69/96	66/93	70/96
SKF	1,5	1,5	2	67/99	84/90	83/90	86/95
Wiking	3	3	2	60/46	65/69	51/97	60/73
	3	3	1,5	85/73	76/72	76/94	79/91
Asea	3	3	2	76/53	80/84	76/83	77/81
			1,5	87/77	89/83	85/83	85/89
Pripps	3	3	2	63/98	67/96	91/94	89/98
SKF	3	3	2	92/92	78/97	80/97	86/99

## BERÄKNING AV ARTIKULATIONSINDEX

Ett av huvudsyftena med undertak och skärmar i ett kontorslandskap är att ge tillräcklig akustisk avskiljning mellan arbetsplatser. En maskering och dämpning av talljud är önskvärd i olika hög grad. T.o.m. rena sekretesskrav kan förekomma ex. mellan konferenshörna och väntplats för besökare. Med hänsyn till dessa krav är det naturligt att undersöka inverkan av undertakets reflektionsfaktor på taluppfattbarheten. Denna kan bestämmas med hjälp av taluppfattbarhetsundersökningar, vilka dock kräver flera försökspersoner och gott om tid. Ett annat och enklare sätt är att beräkna artikulationsindex, AI, def. enl. ref (19). Från en given talpreferensnivå beräknas härvid ljudnivån i mottagarpunkten, varefter signalbrusförhållandet rel. bakgrundsbullernivån kan bestämmas. Beräkningen göres inom oktavbanden 250-4000 Hz och med hjälp av olika vägningsfaktorer för resp. oktavband bestämmes därefter artikulationsindex. Beräkningen kan även göras i tersband. För utförandet av dessa beräkningar har ett dataprogram tagits fram. Programmet beräknar ljudnivån hos talljudet m.h.t. de gångvägar, som visas i fig. 11.

Bakgrundsnivån har satts till 45 och i några fall 35 dB(A) med frekvensspektrum enligt fig. 10, vilket är avpassat för att ge god maskering av talljud, se ref. (38).

Fig. 10. Rekommenderat frekvensspektrum för maskeringsbuller i kontorslandskap enl. ref. (38).



Vid högre skärmar erhålles förutom bättre skärmverkan även avskärmning av antingen takreflexen eller takgolv-reflexen, vilket i hög grad påverkar AI. Beräkningarna har genomförts för undertak i de lokaler, vilka studerats, genom inmatning av resp.  $\alpha_{\theta}$  (PN)-värden. Då mätvärden saknas vid 250 och 500 Hz har ljudabsorptionen antagits till följande värden.

	250 Hz	500 Hz
Wiking, tak	0,5	0,7
armatur	0,2	0,15
Asea, tak	0,5	0,7-0,8
elränna	0,5	0,7
Pripps, tak	0,5	0,8
elränna	0,5	0,6
SKF, tak	0,4-0,55	0,5-0,7
armatur	0,3	0,2-0,3

Normalt skall beräknat AI justeras med hänsyn till efterklangstiden. Denna korrektion som är negativ, har ej utförts här då den dels är relativt liten beroende på kort efterklangstid, dels kompenseras av att flera, men mindre betydelsefulla, gångvägar utelämnats.

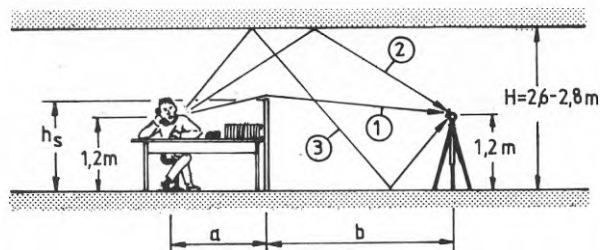


Fig. 11. Beteckningar och gångvägar vid beräkning av AI.

Tabell 2. Beräknat AI för de fyra olika lokalerna. Beteckningar enl. fig.

Bakgrund dB(A)	a(m)	b(m)	$h_s$ (m)	Wiking landsk.		ASEA matsal		Pripps storrum		SKF matsal	
				tak	armatur	tak	elrännå	tak	elrännå	tak	armatur
45	0,5	0,5	2	0,50	0,64						
	0,5	1,5	2	0,37	0,50	0,29	0,39	0,27	0,43	0,26	0,50
	1,5	1,5	2	0,42	0,59	0,27	0,44	0,32	0,44	0,26	0,51
	1,5	3	2	0,39	0,57	0,28	0,42	0,35	0,44	0,28	0,47
	3	3	2	0,26	0,46	0,19	0,30	0,29	0,35	0,13	0,33
	3	6	2	0,29	0,43						
	6	6	2	0,13							
	0,5	1,5	1,5	0,52	0,66	0,44	0,56	0,45	0,59	0,42	0,63
	1,5	1,5	1,5	0,48	0,63	0,38	0,55	0,42	0,47	0,40	0,58
	1,5	3	1,5	0,42	0,58	0,32	0,44	0,38	0,45	0,35	0,48
3	3	1,5	0,32	0,48	0,26	0,36	0,33	0,38	0,24	0,42	
35	0,5	0,5	2	0,83	0,96						
	0,5	1,5	2	0,68	0,83						
	1,5	1,5	2	0,76	0,92						
	0,5	0,5	1,5	0,90	0,98						
	0,5	1,5	1,5	0,84	0,97						
	1,5	1,5	1,5	0,81	0,95						

Exempel på vilket bidrag till AI som erhålles från resp. gångväg, samt frekvensfördelning, redovisas i tabell 3.

Tabell 3. Exempel på beräknat AI för resp. delväg och frekvens. Bakgrunds nivå: 45 dB(A).

Objekt	AI/gångväg			AI	AI/oktavband					
	1	2	3		250	500	1000	2000	4000	
Wiking, tak										
$h_s = 2,0$ m										
a=0,5 b=1,5	0,04	0,16	0,29	0,35	0,04	0,07	0,08	0,06	0,10	
a=1,5 b=1,5	0,04	0,41	0,02	0,42	0,05	0,07	0,08	0,11	0,12	
a=1,5 b=3	0,03	0,33	0,23	0,39	0,04	0,07	0,08	0,10	0,11	
Wiking, armatur										
$h_s = 2,0$ m										
a=0,5 b=1,5	0,04	0,33	0,43	0,50	0,05	0,09	0,12	0,14	0,11	
a=1,5 b=1,5	0,04	0,58	0,07	0,59	0,05	0,09	0,13	0,18	0,14	
a=1,5 b=3	0,03	0,51	0,40	0,57	0,05	0,09	0,12	0,17	0,13	

I diagram i fig. 46, 47 visas absorptionsfaktorns inverkan på AI för några givna geometriska förhållanden. Takhöjd 2,7 m. Här förutsattes  $\alpha$  oberoende av infallsvinkel och frekvens.

## KOMMENTARER

De  $\alpha_\theta$ -mätningar som utförts med pulsresponse-metoden har närmast varit avsedda som kontroll av de uppmätta  $\alpha_\theta$  (PN)-värdena samt som ren mätteknisk jämförelse till PN-metoden. Trots vissa avvikelser framkommer härvid inget som ger skäl till att ifrågasätta  $\alpha_\theta$  (PN)-värdena. Enda egentliga problemet med PN-metoden är den variation som erhålles vid olika mätavstånd från en reflekterande yta. Med en obruten porös absorbent är givetvis detta inga problem. En av fördelarna med metoden är emellertid just att kunna få ett användbart mått på ljudreflektionen från en störande reflexyta i ex. ett undertak. Det skulle här vara önskvärt med en standardisering av mätavstånden samt riktkarakteristiken för högtalare resp. mikrofon.

De mätningar av ljudutbredningsdämpningen som här företagits ger oss en uppfattning om hur  $\alpha_\theta$  (PN)-värdena skall tolkas. En kraftig lokal försämring av ljudabsorptionen ger en klar försämring av ljudutbredningsdämpningen i vissa punkter. Eftersträvas en hög ljudutbredningsdämpning och skall en hög skärmdämpning utnyttjas fordras således av undertaket att absorptionen är hög och att inga sådana lokala försämringar förekommer. Å andra sidan kan ljudutbredningsdämpningen försämrans i lika hög grad p.g.a. närbelägna reflekterande väggytor.

Med mycket hög ljudabsorptionskoefficient i undertaket samt stora avstånd till reflekterande väggytor är det möjligt att med hög skärm och relativt hög men acceptabel bakgrundsnivå åstadkomma låg taluppfattbarhet även på ganska korta avstånd. Därmed kan vissa krav på sekretess uppfyllas även i ett kontorslandskap. Det finns å andra sidan i marknaden inga färdiga kompletta undertak som uppfyller dessa höga krav på ljudabsorption.

Då förhållandena här idealiserats en del vid beräkning av AI skiljer sig resultatet i någon mån från utförda ljudutbredningsmätningar. Ytterligare gångvägar samt reflexer från väggytor påverkar det verkliga resultatet. Beräkningarna visar emellertid möjligt AI där avståndet till väggar är stort eller där dessa är effektivt ljudabsorberande. Vidare framgår betydelsen av skärnhöjden. Den är som synes väsentligast på kortare avstånd. Särskilt gynnsamt är t.ex. avstånden 0,5/1,5 m där även takreflexen är skärmad vid skärnhöjden 2,0 m. Då avståndet ökar något mellan sändare och skärm ex. 1,5/1,5 m försämras utbredningsdämpningen och AI ökar. Vid ytterligare ökning av avståndet mellan mottagare och sändare ökar utbredningsdämpningen åter pga ökad avståndsdämpning och AI sjunker åter.

Efterklangstiden har i detta projekt endast varit av sekundärt intresse. Utav det som framkommit tycks dock inte efterklangstiden spela någon avgörande roll för funktionen i ett storrum/landskap. En viss inverkan av efterklangstiden på tydligheten, "D" tycks föreligga men å andra sidan håller denna sig i allmänhet inom området för god hörbarhet. På så vis är även Deutlichkeit-begreppet av mindre intresse i storrum/landskap eftersom inverkan av en kontinuerlig, hög bakgrundsnivå inte ingår i detta koncept på samma sätt som vid AI-bestämning.

För rena porösa takabsorbenter erhålles i allmänhet absorptionsfaktorer som är tämligen oberoende av infallsvinkeln. Kravet på ljudabsorption kan därför väl uttryckas som  $\alpha$  (diffust ljudfält mätt enligt rumsmetoden) för sådana undertak. Vinkelberoendet kan däremot bli stort för undertak där den porösa absorbenten täckes av ett perforerat skikt med viss tjocklek eller ett gallerverk. Figurerna 12 och 13 visar det beräkningsmässiga kravet på  $\alpha_0$  för olika avstånd sändare - mottagare för att AI skall understiga 15%.

## DIMENSIONERINGSREGLER FÖR LANDSKAPSUNDERTAK

Vilka krav som bör ställas på ett undertak i ett kontorslandskap beror i hög grad av vilken skärmhöjd man önskar utnyttja. Valet av skärmhöjd styrs förutom av kravet på ljudavskiljning ofta av andra krav såsom visuell avskiljning - kommunikation mellan arbetsplatser. I många fall vill man undvika högre skärmar därför att de anses förta flera av landskapets fördelar - öppen överskådlig yta, vilket förenklar belysning och ventilation. Som vi sett påverkas ljudavskiljningen väsentligt av hur hög bakgrundsbullernivå man kan acceptera från ex. luftbehandlingsinstallationer. Skärmar kan å andra sidan vara nödvändiga för att reducera bakgrundsnivån från ex. kontorsmaskiner. Sammanfattningsvis kan vi knyta ljudabsorptionskravet i undertak till följande olika skärmfall:

- a - inga skärmar
- b - låga skärmar, max 1,5 m
- c - höga skärmar, 1,8 à 2 m, hög ljudavskiljning
- d - höga eller låga skärmar, sekretesskrav,  $AI \leq 0,15$

Det vore önskvärt att ljudabsorptionskravet kunde uttryckas som  $\alpha_{\theta}$  för att eliminera effekter av randabsorption. Eftersom mätmetod för  $\alpha_{\theta}$  ej är standardiserad och mätdata i allmänhet saknas får ännu så länge kraven också uttryckas i  $\alpha$  (diffust fält, mätning enligt rumsmetod ISO R354).

Det är endast skärmfallet d som uttrycker en klar upplevelsebar gränsdragning i fråga om avskiljning d.v.s. den gräns vid vilken normalt samtal ej kan uppfattas.

Övriga skärmfall är mer diffusa betr. graden av avskildhet. Bakgrundsnivån p.g.a. luftbehandlingsanläggningen måste ofta maximeras vid ca 45 dB(A) där den för många börjar bli störande. Å andra sidan blir det vid lägre bakgrundsnivåer knappast möjligt att innehålla  $AI < 0,15$  på rimliga avstånd.



För skärmfallen a, b, c redovisas i det följande krav på  $\alpha$  och  $\alpha_\theta$  med hänsyn till den ljudutbredningsdämpning/skärm-dämpning som bör erhållas i resp. fall. Till  $\alpha_\theta$ -kravet anges max. tillåten bredd på reflektoryta.

Skärmfall	Min $\alpha$ inom tersband 400-5000 Hz	Min $\alpha_\theta$ (PN) inom oktavband 500-4000 Hz	Max tillåten bredd på reflektor m.h.t. $\alpha_\theta$ -kravet
a	0,8		
b	0,9	0,7	150 mm
c	0,9	0,9	50 mm

Behovet av väggabsorbenter är närmast avhängigt av aktuell layout, men är ofta nödvändigt i mindre storrum för att skärmarna skall nyttiggöras.

För skärmfall d redovisas nedan erforderligt  $\alpha_\theta$  för att  $AI < 0,15$  skall innehållas, som funktion av avståndet mellan skärm och mottagare (b). Avstånd sändare - skärm: 1.5 och 3 m.

I diagrammen fig. 11 och 12 har även ungefärlig infallsvinkel  $\theta$  för den flackaste reflexen lagts in (påverkas något av skärmhöjden). Ett erforderligt högt krav på  $\alpha_\theta$  för mindre infallsvinklar kan således kombineras med ett något lägre krav vid större infallsvinklar ( $\theta$ ).

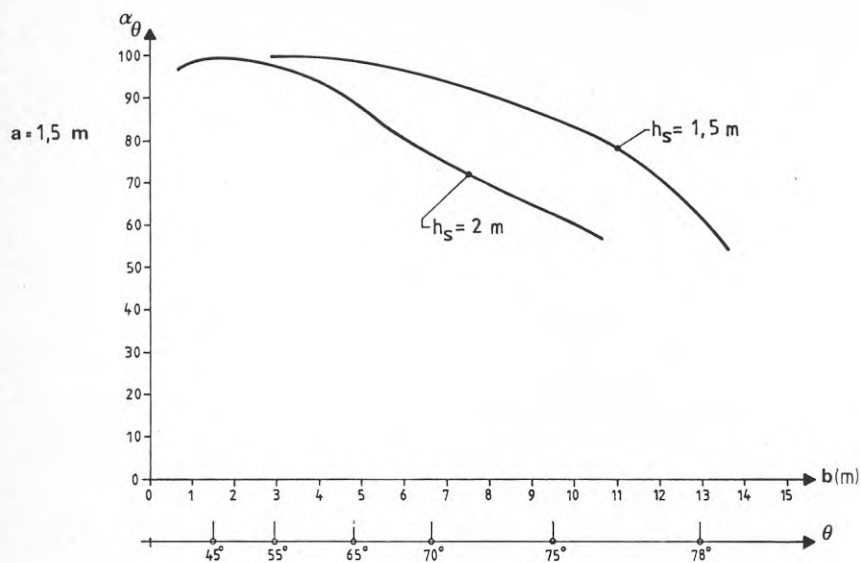


Fig. 11. Erforderligt  $\alpha_\theta$  för  $AI \leq 0,15$  som funktion av avståndet mellan skärm och mottagare ( $b$ ). Mottagar- och sändarhöjd 1,2 m,  $A = 1,5$  m.

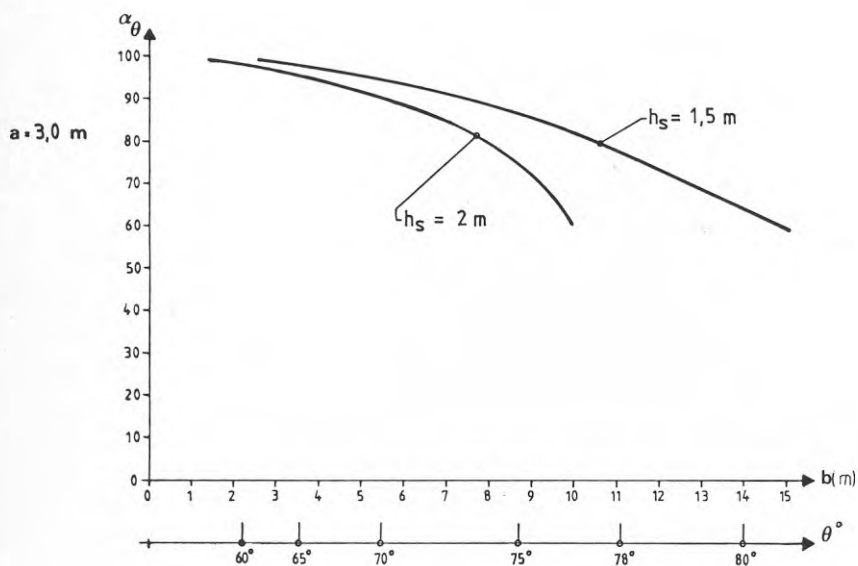


Fig. 12. Erforderligt  $\alpha_\theta$  för  $AI \leq 0,15$  som funktion av avståndet mellan skärm och mottagare ( $b$ ). Mottagar- och sändarhöjd 1,2 m,  $a = 3$  m.

## LITTERATURFÖRTECKNING

Mätning av absorptions/reflektionsfaktor. Metoder och resultat

1. Gunnar Wilson. Absorptionsmätningar med PN-metoden, CTH, Inst. för informationsteori, sept. 1977.
2. I. Jönsson. En ny korrelationsmetod för bestämning av akustisk impedans. Absorbentmätningar med PN-signaler. CTH, Inst. för informationsteknik, STU-rapport 73-4794, jan. 1975.
3. U. Ingård, R.H. Bolt. Field method of measuring the absorption coefficient of acoustic materials. JASA, vol. 23, nr 5, sept. 1951.
4. Y. Hirata. Measurement of absorption coefficient by an electrical cancelling method. Acustica vol. 27, no 1, 1972.
5. A. Cops, H. Myncke. Determination of sound absorption coefficients using a tone-burst technique. Acustica, vol. 29, 1973.
6. Mutsushige Yuzawa. A method of obtaining the oblique incident sound absorption coefficient through an on-the-spot measurement. Applied Acoustics, Vol. 8, no 1, jan. -75.
7. R. Mult, M. Pérulli. Measure d'impédance acoustique en incidence oblique. Acustica, vol. 34, 1975.
8. K.A. Hollin, M.H. Jones. The measurement of sound absorption coefficient in situ by a correlation technique. Acustica, vol. 37, 1977, p. 103.
9. F.K. Schröder. Der Schallschluckgrad als Funktion des Schalleinfallswinkels. Acustica, vol. 3, 1953.

10. A.N. Rivin. Determination of the absorption coefficient for various angles of wave incidence. Sov. Phys. Acoust., vol. 20, No 5, 1975.
11. H. Dekker. Edge effect measurements in a reverberation room. J. Sound & Vibr. (1974) 32(2).
12. W. Kuhl. Der einfluss der Kanten auf die Schallabsorption poröser materialen. Acustica, vol. 10, 1960, p. 264.
13. Y. Ando. Effect of cloth covers on sound absorption of glass fiber. JASA, vol. 45, 1969, p. 1563.
14. S. Mariano. Shock tube technique for testing acoustic materials at very high sound amplitudes. J. Sound Vibr. (1971) 14(2).

Absorption/reflektion, diffraktion

15. U. Ingaard. On the reflection of a spherical sound wave from an infinite plane. JASA, vol. 23, no 3, 1951.
16. W.K. van Moorkem. Reflection of a spherical wave from a plane surface. J. Sound Vibr., 1975 42(2).
17. A. de Bruijn. A mathematical analysis concerning the edge effect of sound absorbing materials. Acustica, vol. 28, 1973.
18. Z. Maekawa. Diffraction by screens. Applied Acoustics, July, 1968.
19. S. Lindblad. Vägtrafikbuller. Rekommendationer för mikrofonplacering vid mätning. Statens Naturvårdsverk PM 1063. Augusti 1978.

Kriterier, störmått - metoder för bestämning och mätning

20. ANSI S 3.5, 1969. Methods for the calculation of the articulation index.

21. ISO/DP 4870. Acoustics - recommended methods for the construction and calibration of speech intelligibility tests. Aug. 1976.
22. K.O. Kryter. Methods for the calculation and use of the articulation index. JASA, vol. 34, no 11, 1962.
23. U.M.A. Peutz. Articulation loss of consonants as a criterium for speech transmission in a room. Journal of the Audio Eng. Soc., vol. 19, nr 11, 1971.
24. T. Kihlman, L. Nordlund. Studier av vilka faktorer som är väsentliga för god taluppfattbarhet i olika lokaler. Rapport L-452-D, Sv. Akust.plan., Göteborg.
25. N.T. Bowman. The articulation index and its application to room acoustics design. J. Sound Vibr. (1974) 32 (1).
26. B. Artelius, J. Svensson. Mätning av Tydlighet och Ekograd. Ex.arb. CTH, Inst. för byggnadsakustik, 1969.
27. W. Falkenbach, J. Hermansen. Construction and Test of a "Deutlichkeit" Measuring Equipment. E-1-1, Reports of the 6th International Congress on Acoustics, Tokyo, 1968.
28. H. Niese. Die Prüfung des raumakustischen "Echograd-Kriteriums" mit Hilfe von Silberverständlichkeitsmessungen. Hochfrequenztechnik und Elektroakustik. Band 66, 1957, p. 70.

#### Kontorslandskap

29. A.C.C. Warnock. Acoustical privacy in the landscaped office. JASA, vol. 53, no 6, june 1973.
30. M. West. The sound attenuation in an open-plan office. Applied Acoustics, (6) 1973.

31. M. West, P.H. Parkin. The effect of furniture and boundary conditions on the sound attenuation in a landscaped office, part 1. Applied Acoustics (8) 1975.
  32. A.C.C. Warnock. Acoustical studies in open-plan offices. Summary report. Nat. Research Council of Canada (Build. res.) Technical Note, no 567, Aug 1972.
  33. L.W. Hegvold. Acoustical design of open-planned offices. Nat. Research Council of Canada, Canadian Building Digest, July 1971.
  34. Herbert T. Chaniere. Evaluating open-plan acoustics. Journal of the Audio Engineering Soc., vol. 24, no 6, 1976.
  35. Bo Egerborg. Mätetal för akustiska egenskaper hos undertak i storrum. Nordisk Akustisk Møde, Köpenhamn, 1970.
  36. R.A. Waller. Office acoustics - effects of background noise. Applied Acoustics (2), 1969.
  37. Rein Pirn. Acoustical variables in open planning. JASA, vol. 49, no 5, part 1, 1971.
  38. L. Beranek. PNC Curves and their application to rooms. JASA, vol. 50, no 5, part 1, 1971.
- Konertsalar/samlingssalar - ljudreflexer/absorption
39. Z. Maekawa. Problems of sound reflection in rooms. Applied Acoustics (8) 1975.
  40. J.M. Berman, R.V. Leedham. Sound transients in a two boundary system and their relation to the theory of auditorium acoustics. J. Sound Vibr. (1969) 10 (3).
  41. A.M. Marshall. Levels of reflection masking in concert halls. J. Sound Vibr. (1968) 7 (1).
  42. R. Lamerai. Etude des grandes salles sur ordinateur. Acustica, vol. 32, no 3, 1975.

43. A. Krokstad, S. Strøm, S. Sørsdal. Calculating the acoustical room response by the use of a ray tracory technique. *J. Sound Vibr.* (1968) 8 (1).
44. S. Strøm. Acoustical design of the multi purpose purpose hall "Hjertnes" in Sandefjord. *NAS, Sandefjord* 25-27 aug, 1976.
45. H. Kuttruff, P. Damaske, V. Teubner. Kohärenzgradmessungen für Schallsignale unterschiedlicher Einfallsrückungen in einem Hallraum. *Acustica*, vol. 25 (1971).
46. M. Barron. The subjective effects of first reflexions in concert halls. The need for lateral reflections. *J. Sound Vibr.*, (1971) 15 (4).
47. H. Haas. The influence of a single echo on the audibility of speech. *Journal of the Audio Engineering Soc.*, 1972, vol. 20, no 2.
48. V.V. Furdnev. Audience sound absorption. Research methods and results. *Sov. Phys. acoustics*, vol. 16, No 3, 1971.
49. W. Reichardt, O. Abdel Alim, W. Schmidt. Definition und Messgrundlage einer Objektiven Masses zur Ermittlung der Grenze zwischen brauchbarer und unbrauchbarer Durchsichtigkeit bei Musikdarbeitung. *Acustica*, vol. 32, 1975.
50. M. Banon. Growth and decay of sound intensity in rooms according to some formulae of geometric acoustic theory. *J. Sound Vibr.* (1973) 27 (2).
51. A.F. Newell, G.D. Hartnell. A time delay for speech-sound localization experiments. *J. Sound Vibr.*, (1975) 39 (2).

INGEMANSSONS  
INGENJÖRSBYRÅ AB  
GÖTEBORG  
STOCKHOLM MALMÖ  
ÖRNSKÖLDSVIK

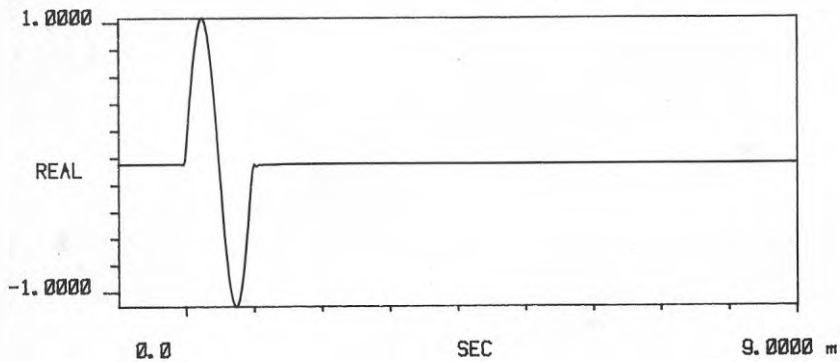
Pulsform vid pulsresponsmätningarna.  
Utseende efter vågformsgeneratorn.  
Centerfrekvens 1 kHz i exemplet.

Fig. 14

TIDSFÖRLOPP

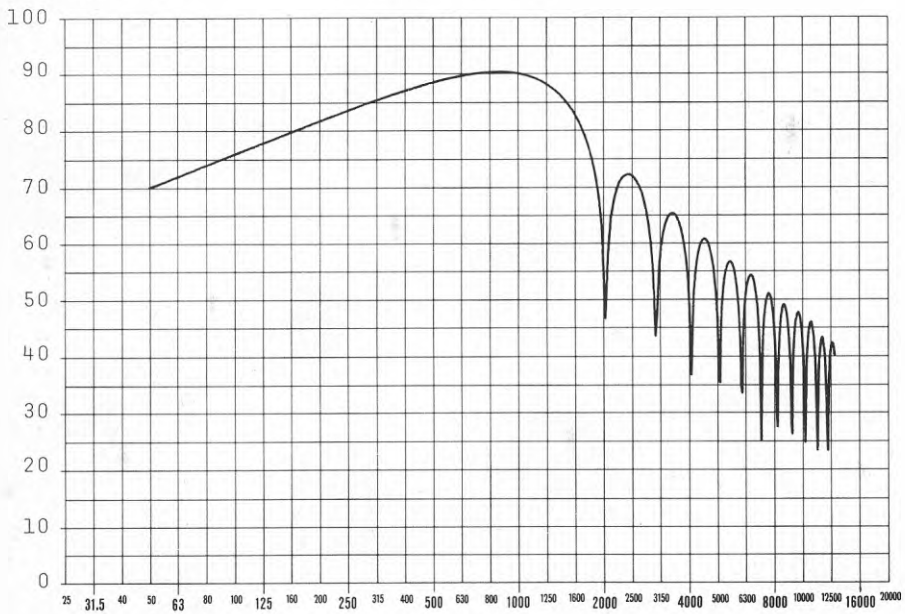
TI AVG 1

#A<sub>x</sub> 5



Rel. nivå dB

SPEKTRALTÄTHET



Frekvens, Hz



INGEMANSSONS  
INGENJÖRSBYRÅ AB  
GÖTEBORG  
STOCKHOLM MALMÖ  
ÖRNSKÖLDSVIK

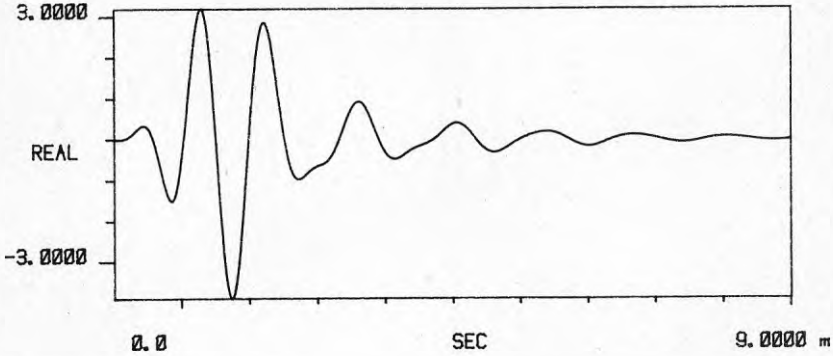
Pulsform vid pulsresponsmätningarna.  
Idealt utseende efter oktavbands-  
filtrering på mottagarsidan.  
Centerfrekvens 1 kHz i exemplet.

Fig. 15

TIDSFÖRLOPP

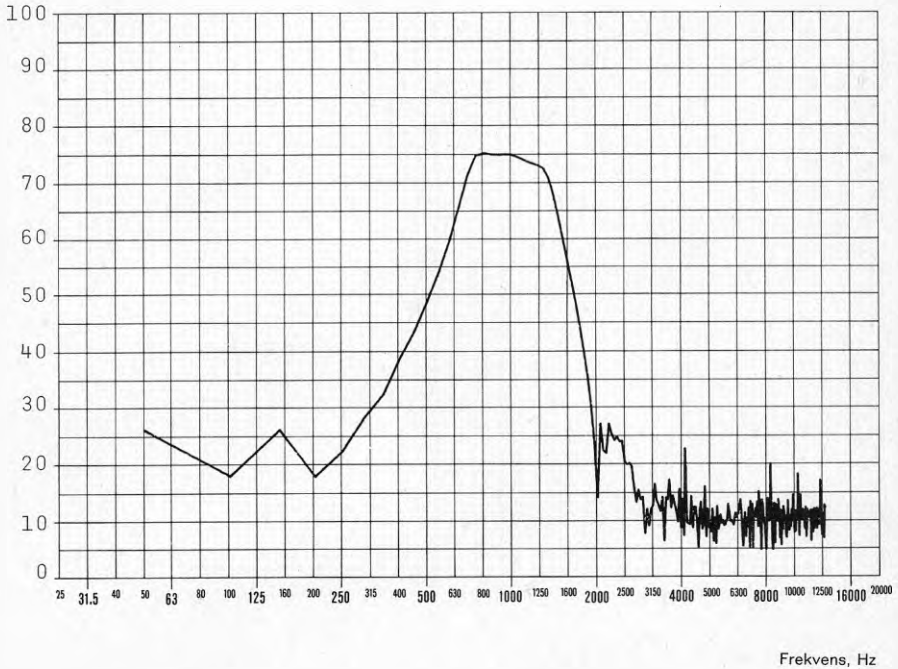
TI AVG 1

#A: 5



Rel. nivå dB

SPEKTRALTÄTHET

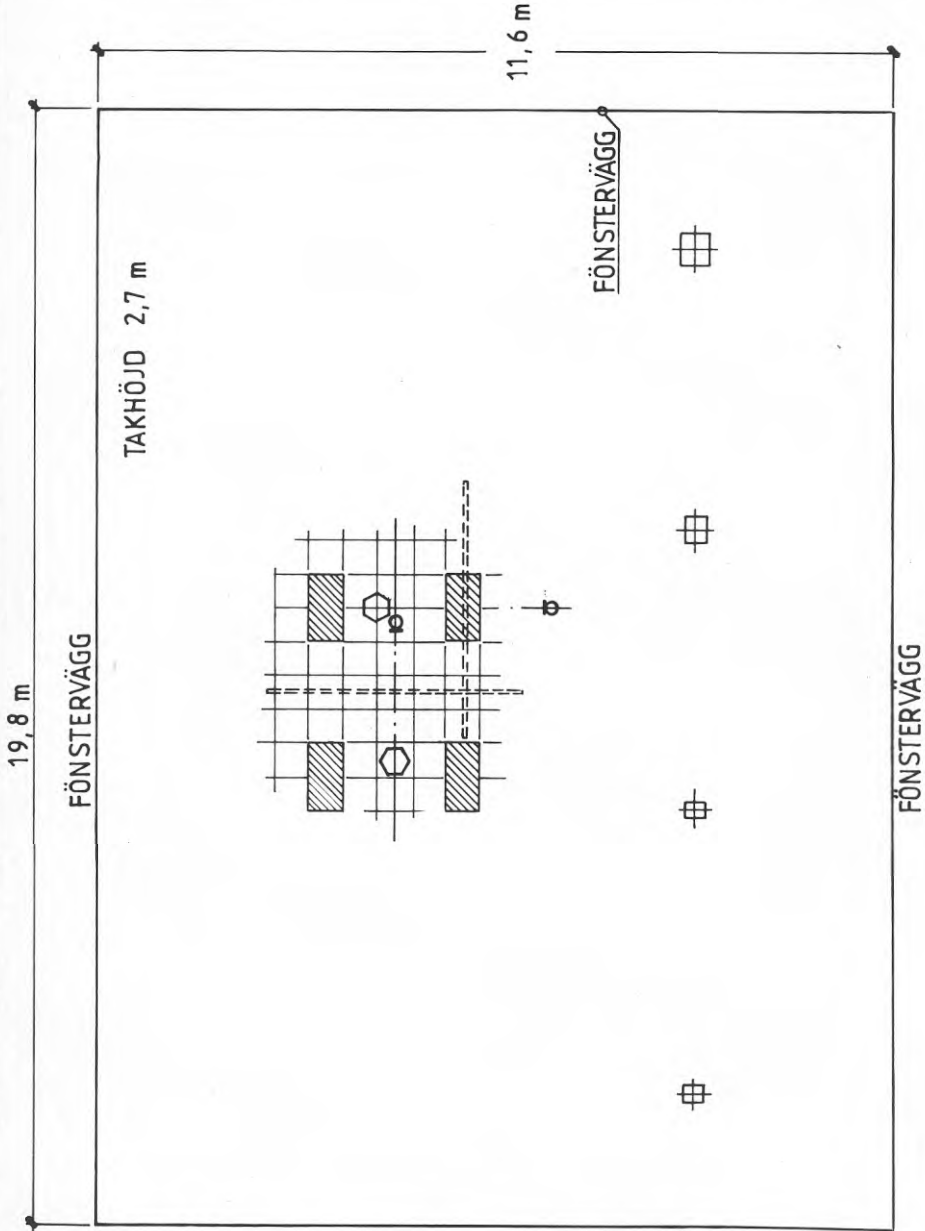


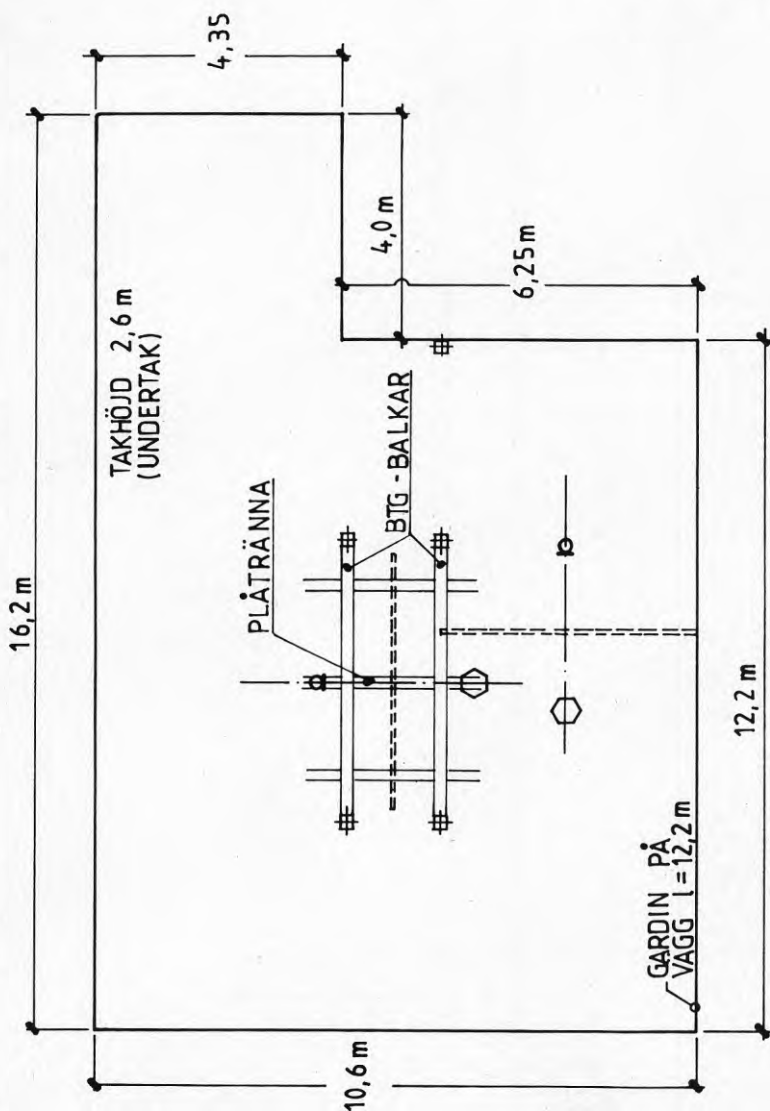
INGEMANSSONS  
INGENJÖRSBYRÅ AB  
GÖTEBORG  
STOCKHOLM MALMÖ  
ÖRNSKÖLDSVIK

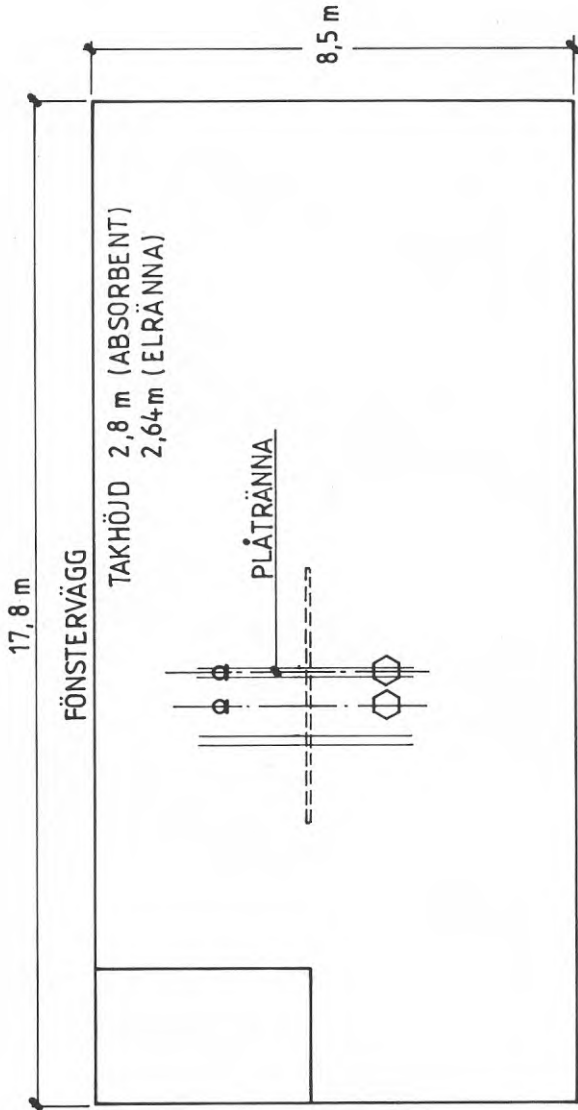
Wikings Mekaniska Verkstad  
Kontorslandskap  
Mätupställning

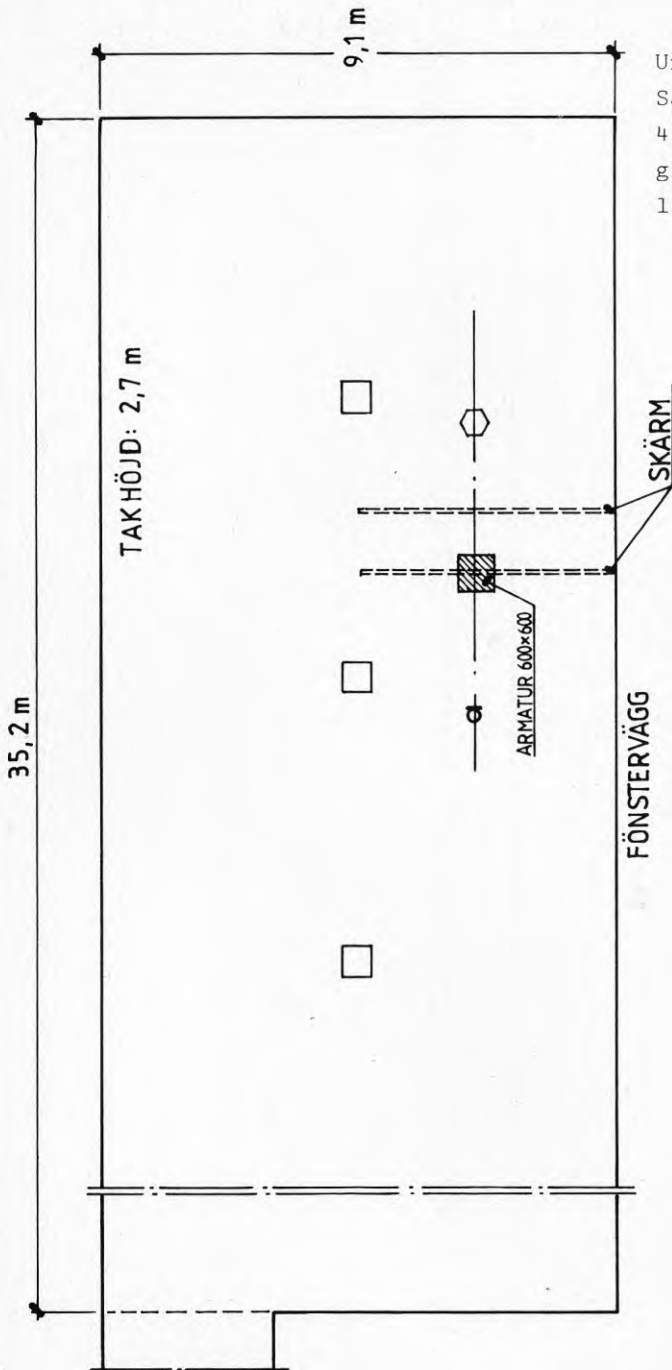
Fig 16

Undertak. Alvex (Gullfiber) perf. plåtkassetter med min.ull.









Undertak. Akutex  
Sabin (Gulfiber),  
40 mm. Glasull med  
glasfiberväv, i syn-  
ligt bärverk.

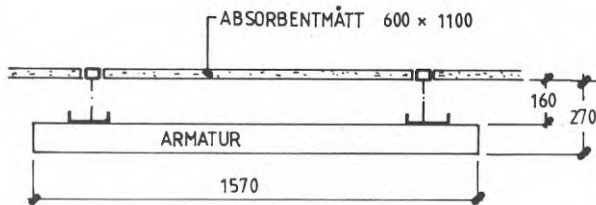
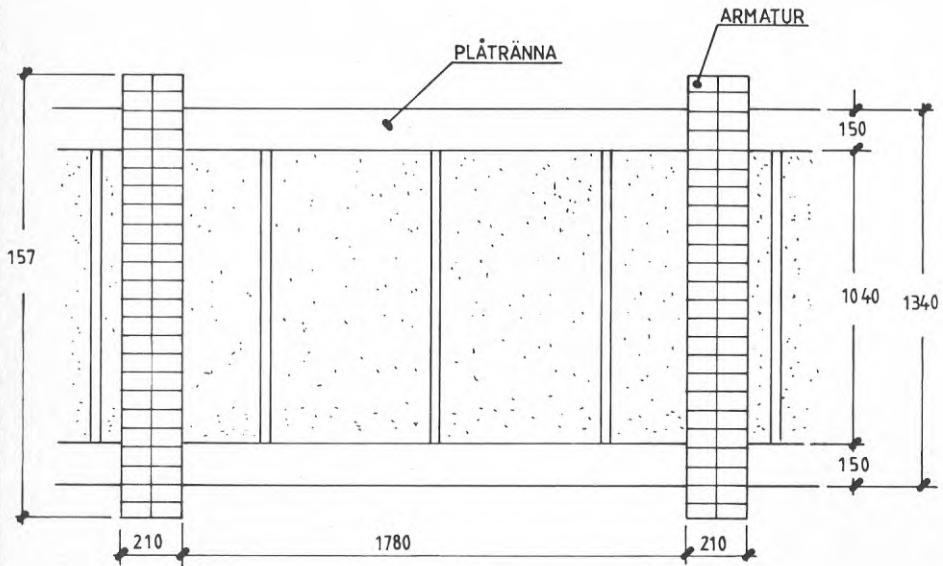
INGEMANSSONS  
INGENJÖRSBYRÅ AB

GÖTEBORG  
STOCKHOLM MALMÖ  
ÖRNSKÖLDBYK

Pripps, Göteborg. Storum.  
Undertak

Absorbent: Rockwool Fibral 40 mm  
min.ull  $\gamma = 70 \text{ kg/m}^3$  med stapelfiber

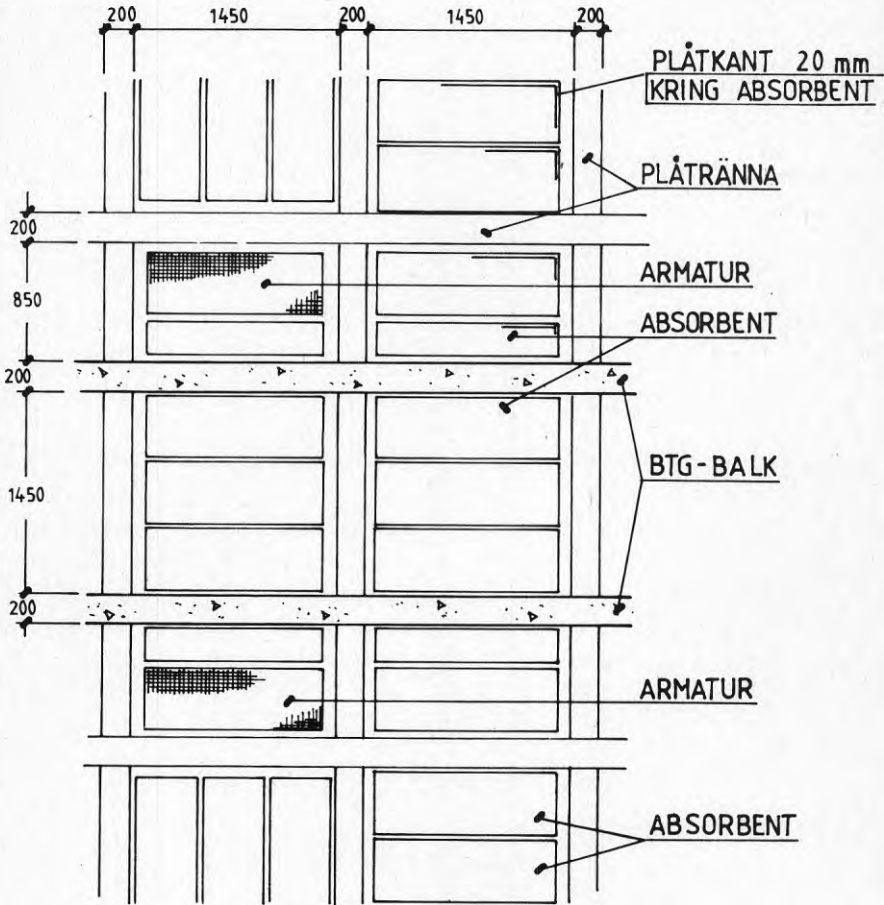
Fig. 20



INGEMANSSONS  
INGENJÖRSBYRÅ AB  
GÖTEBORG  
STOCKHOLM MALMÖ  
ÖRNSKÖLDSVIK

ASEA, Göteborg. Matsal.  
Undertak  
Absorbent: 50 mm mineralull med  
stapelfiber (Rockwool)

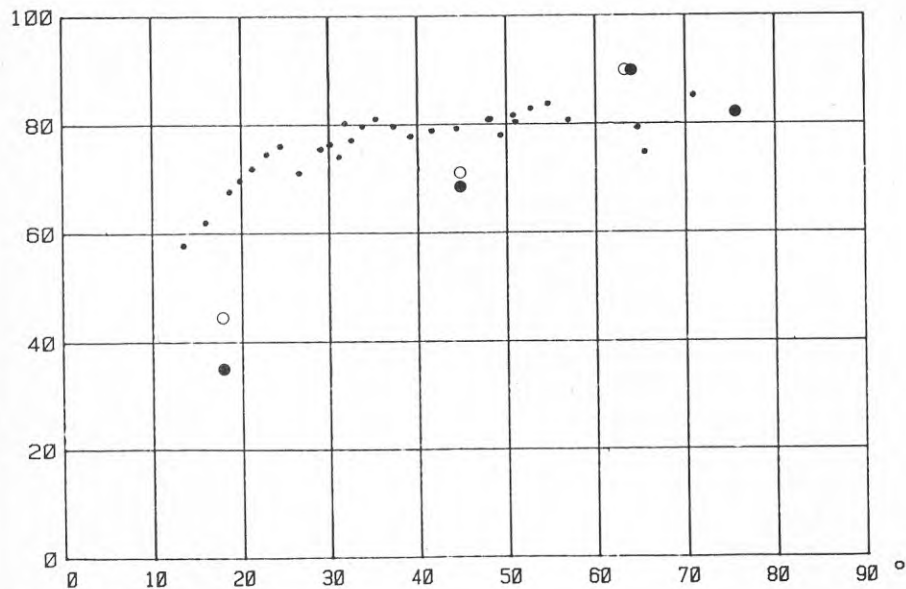
Fig. 21



- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 2 m skärm
- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 1,5 m skärm
- $\alpha_\theta$  (PN)

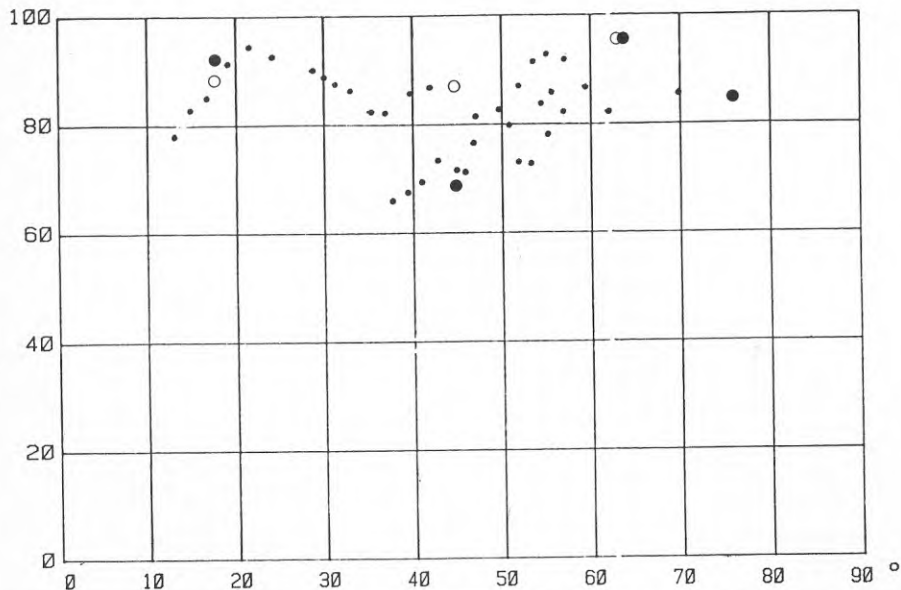
WIKINGS, TAK, 1 kHz

ABSORPTIONSFAKTOR % SOM FUNKTION AV INFALLSVINKELN



WIKINGS, TAK, 2 kHz

ABSORPTIONSFAKTOR % SOM FUNKTION AV INFALLSVINKELN

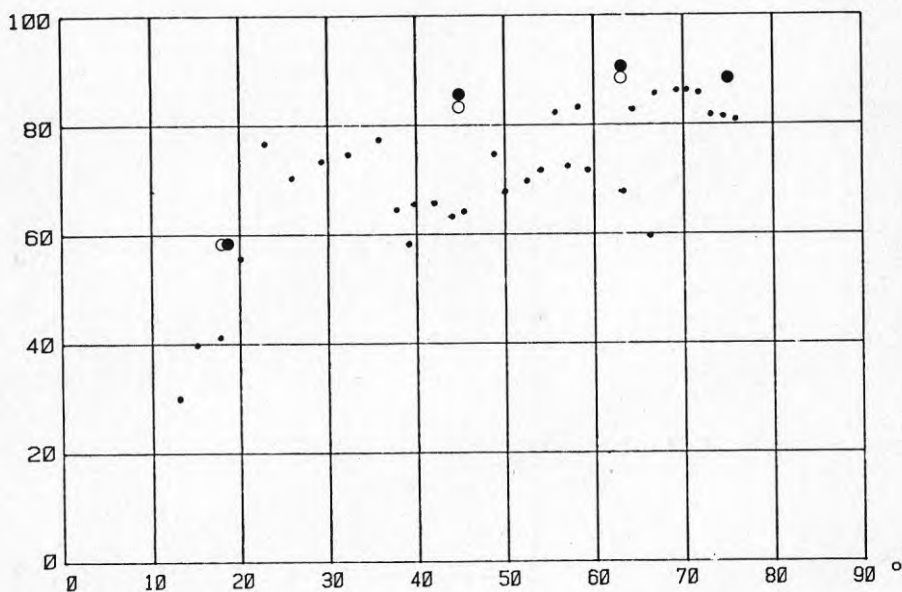




- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 2 m skärm
- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 1,5 m skärm
- $\alpha_\theta$  (PN)

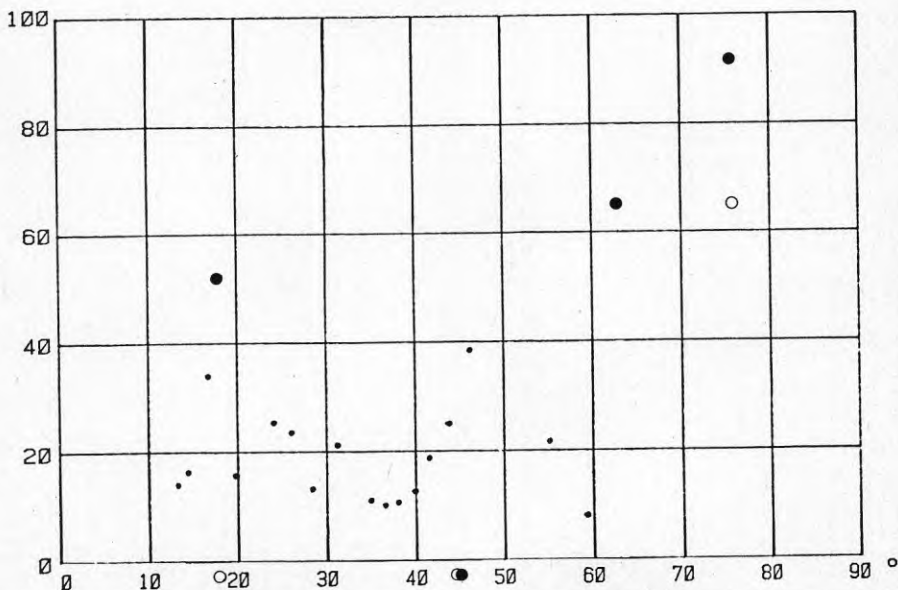
WIKINGS, TAK, 4 kHz

ABSORPTIONSFAKTOR % SOM FUNKTION AV INFALLSVINKELN



WIKINGS, ARMATUR, 1 kHz

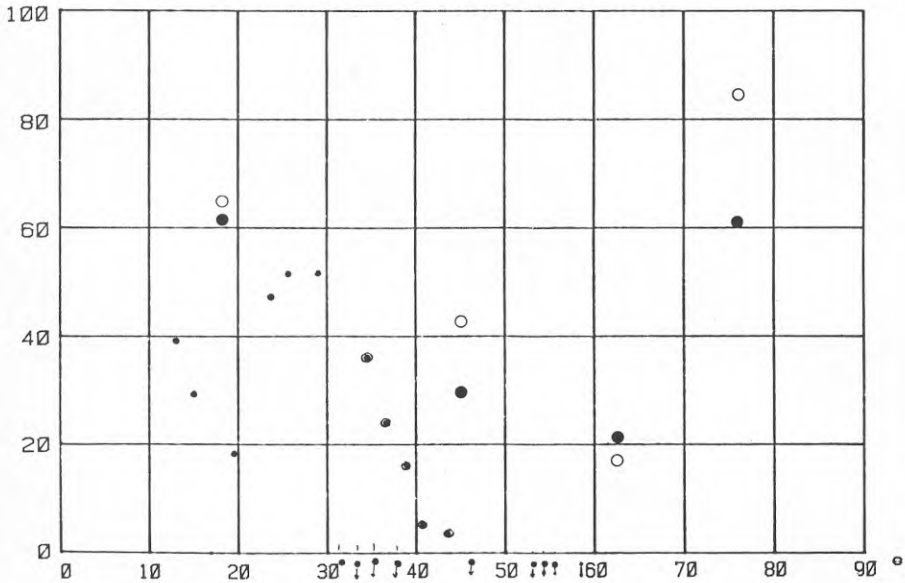
ABSORPTIONSFAKTOR % SOM FUNKTION AV INFALLSVINKELN



- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 2 m skärm
- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 1,5 m skärm
- $\alpha_\theta$  (PN)

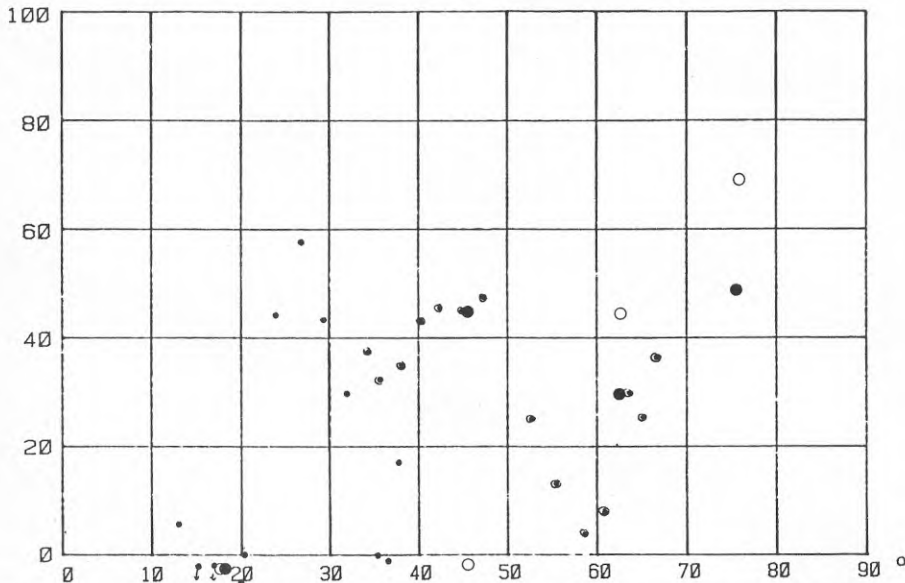
WIKINGS, ARMATUR, 2 kHz

ABSORPTIONSFAKTOR % SOM FUNKTION AV INFALLSVINKELN



WIKINGS, ARMATUR, 4 kHz

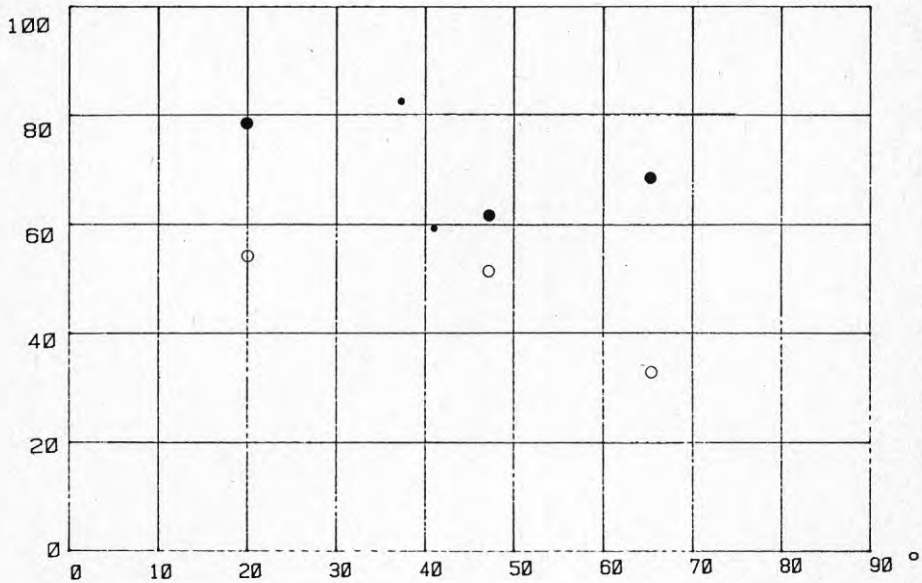
ABSORPTIONSFAKTOR % SOM FUNKTION AV INFALLSVINKELN



- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 2 m skärm
- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 1,5 m skärm
- $\alpha_\theta$  (PN)

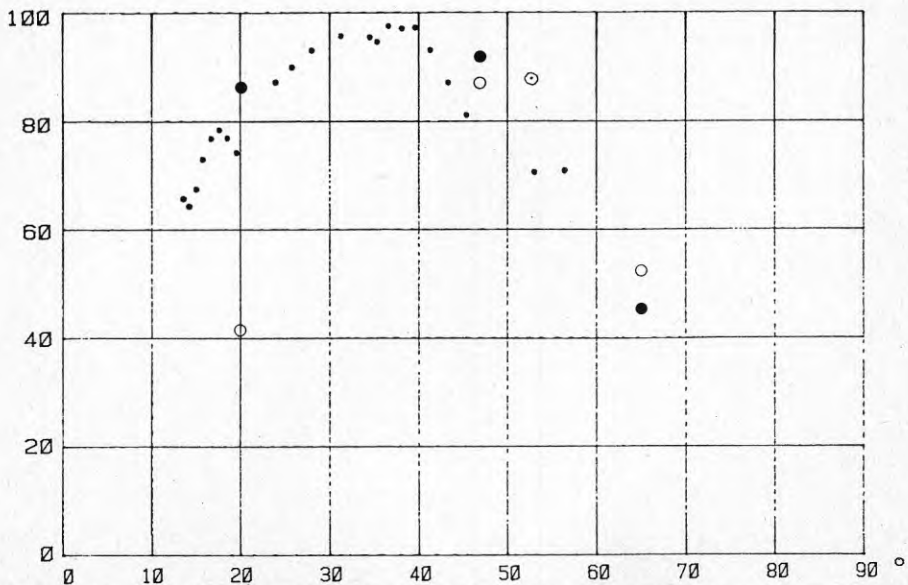
ASEA, TAK, 500 Hz

ABSORPTIONSFAKTOR % SOM FUNKTION AV INFALLSVINKELN



ASEA, TAK, 1 kHz

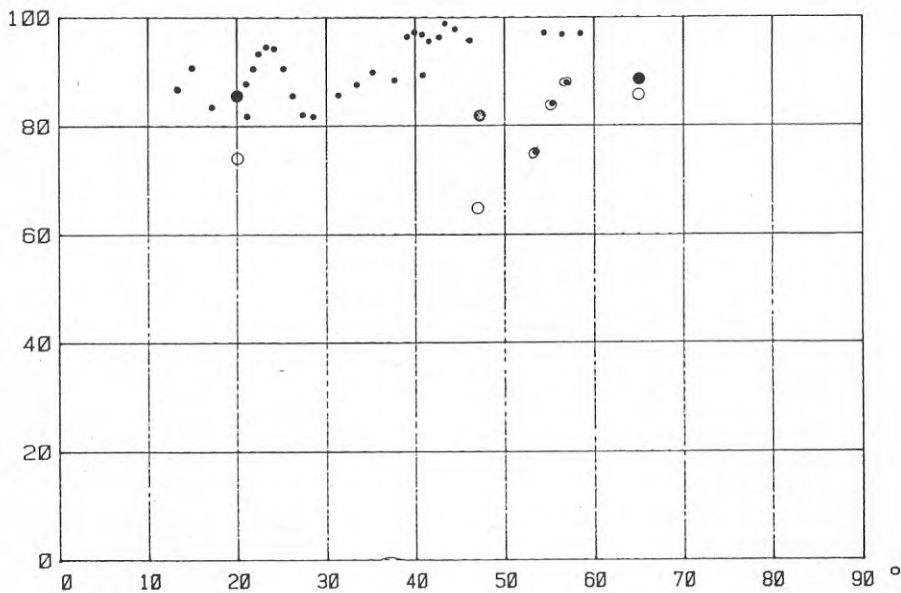
%



- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 2 m skärm
- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 1,5 m skärm
- $\alpha_\theta$  (PN)

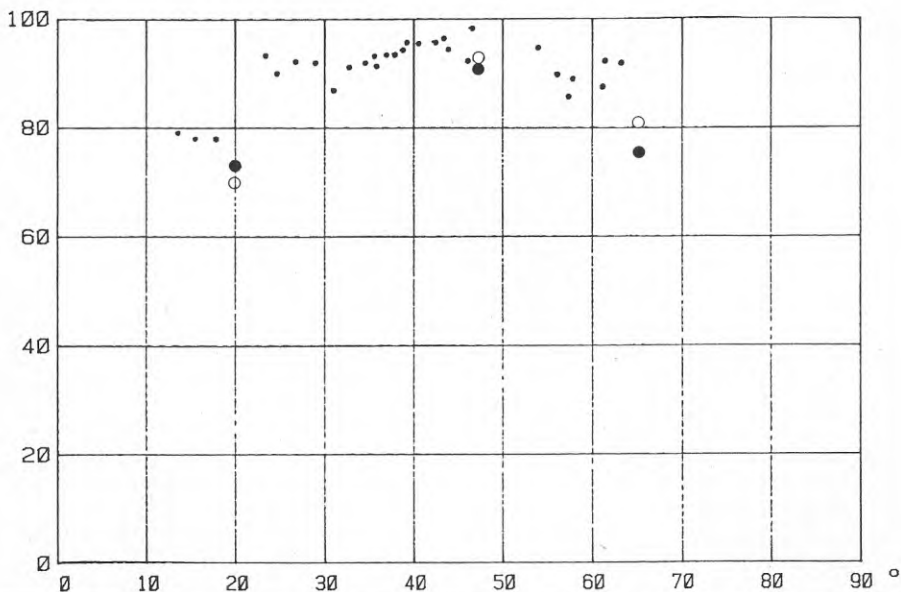
ASEA, TAK, 2 kHz

%



ASEA, TAK, 4 kHz

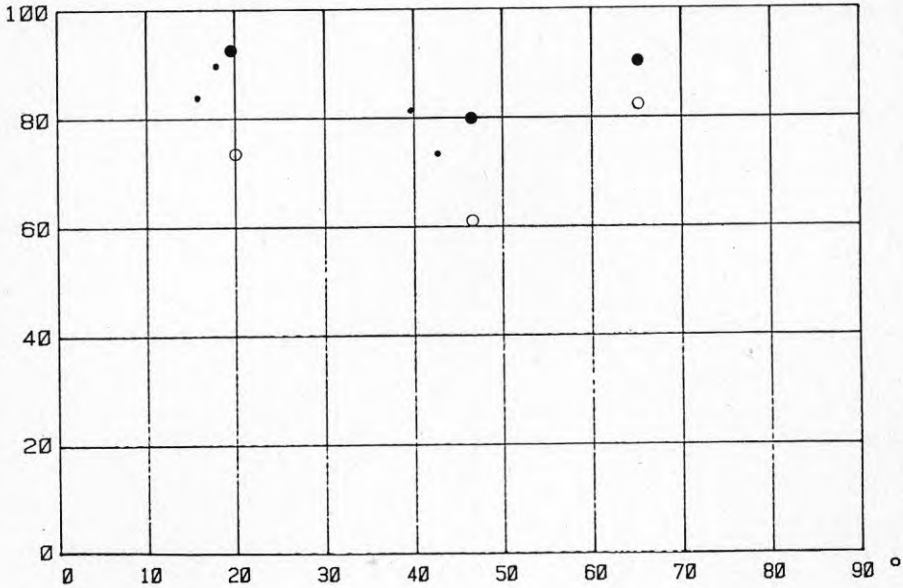
%



- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 2 m skärm
- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 1,5 m skärm
- $\alpha_\theta$  (PN)

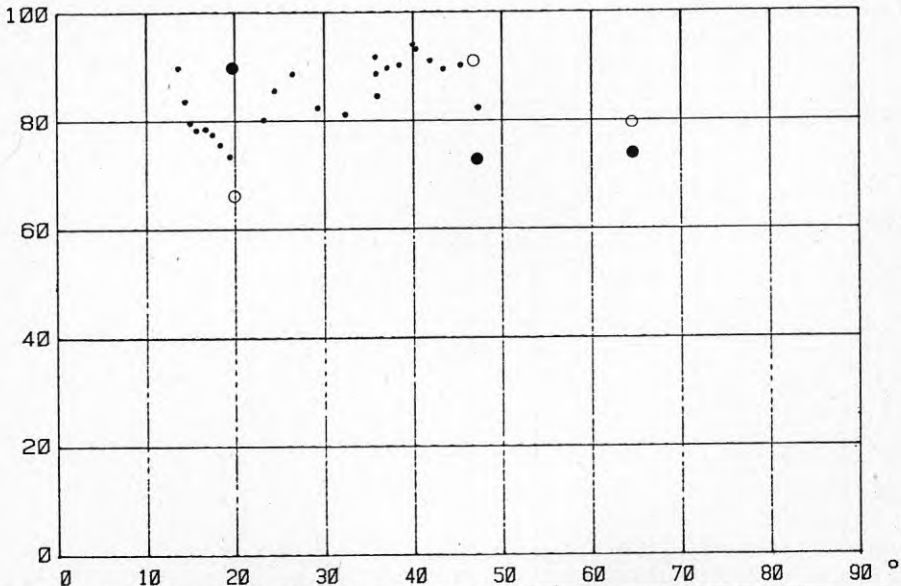
ASEA, ELRÄNNA, 500 Hz

%



ASEA, ELRÄNNA, 1 kHz

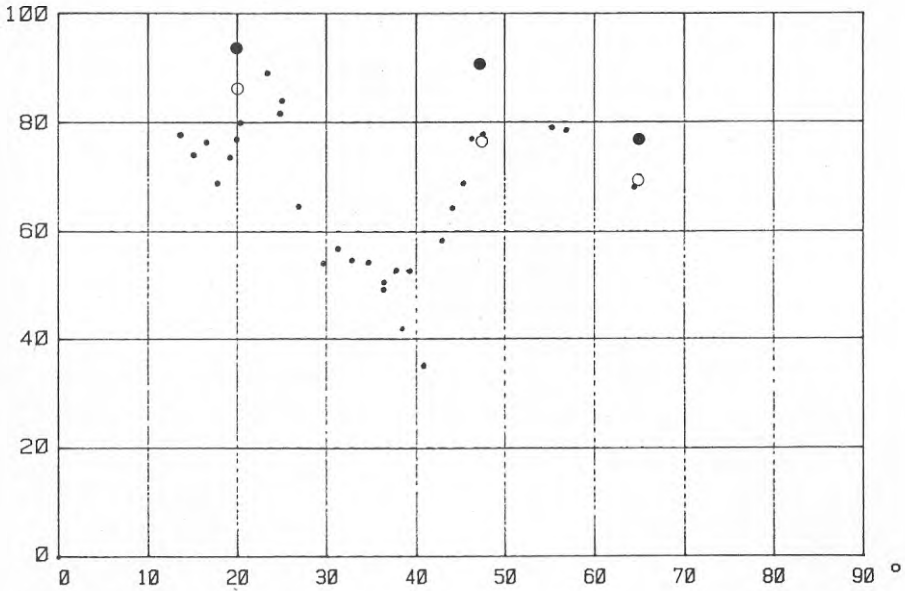
%



- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 2 m skärm
- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 1,5 m skärm
- $\alpha_\theta$  (PN)

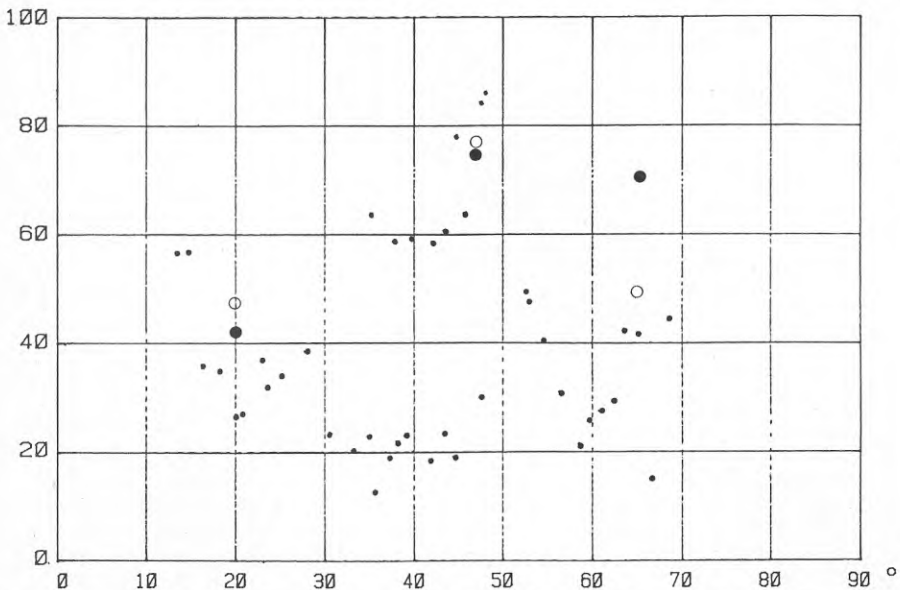
ASEA, ELRÄNNA, 2 kHz

%



ASEA, ELRÄNNA, 4 kHz

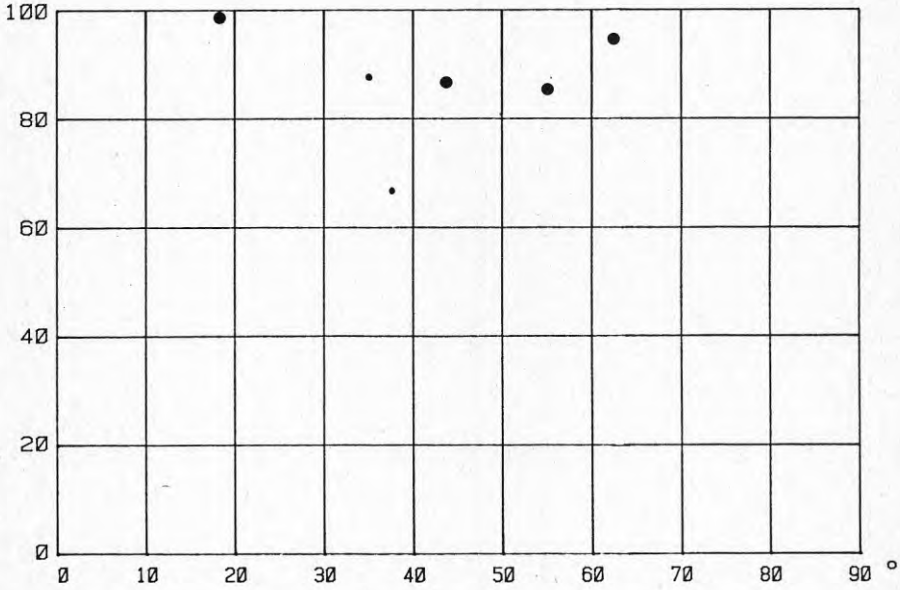
%



- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 2 m skärm
- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 1,5 m skärm
- $\alpha_\theta$  (PN)

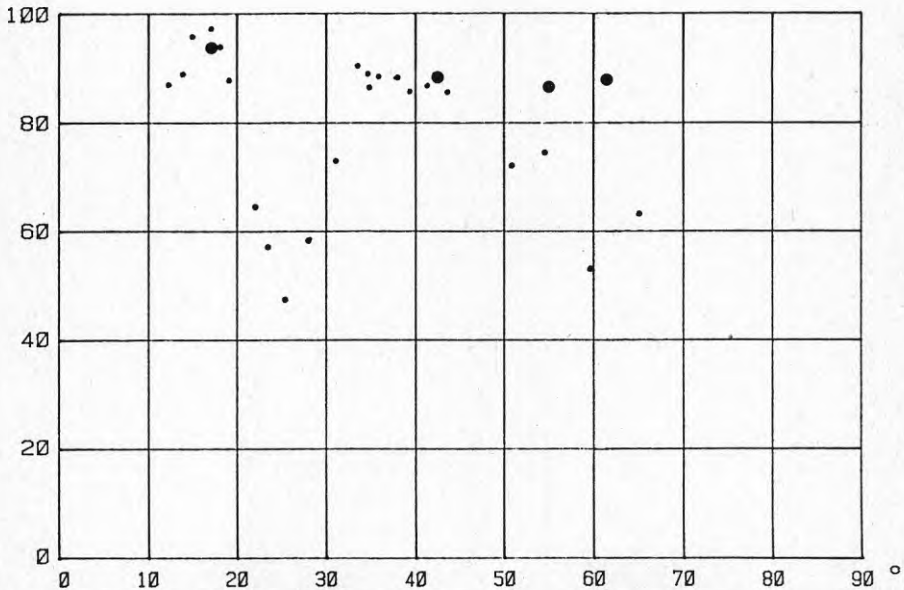
PRIPPS, TAK, 500 Hz

%



PRIPPS, TAK, 1 kHz

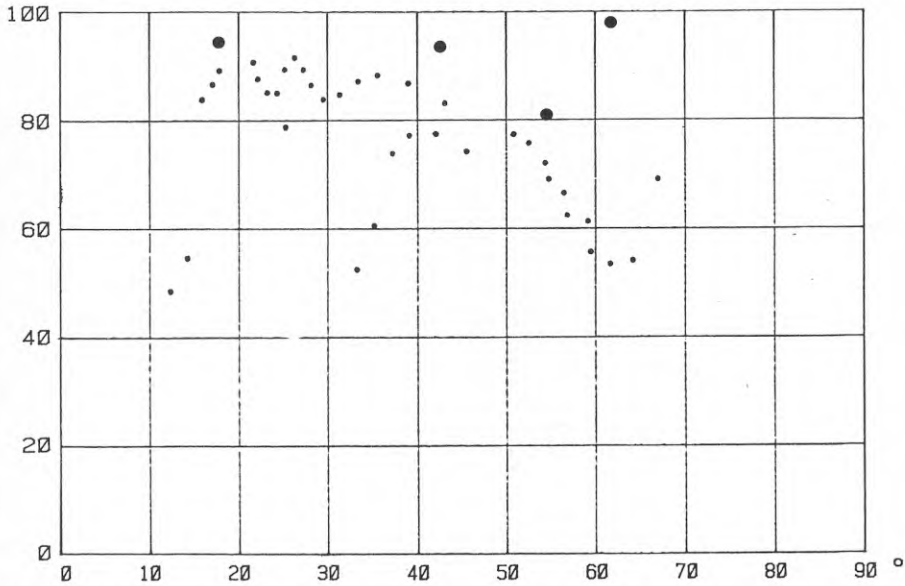
%



- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 2 m skärm
- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 1,5 m skärm
- $\alpha_\theta$  (PN)

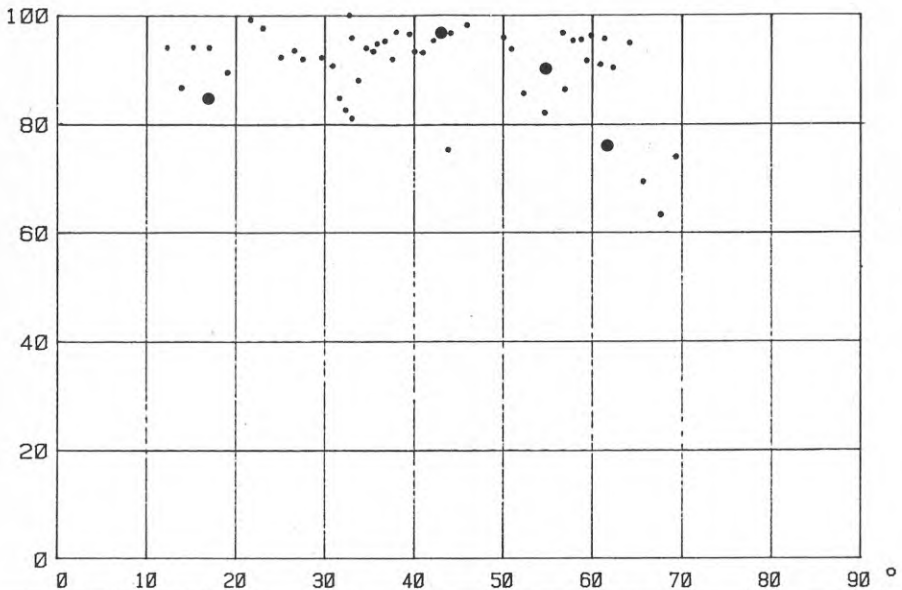
PRIPPS, TAK, 2 kHz

%



PRIPPS, TAK, 4 kHz

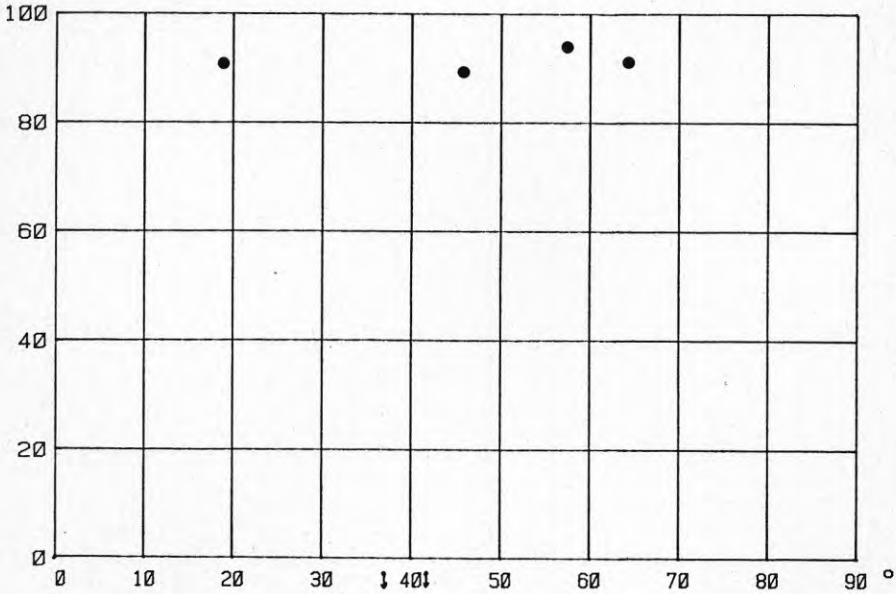
%



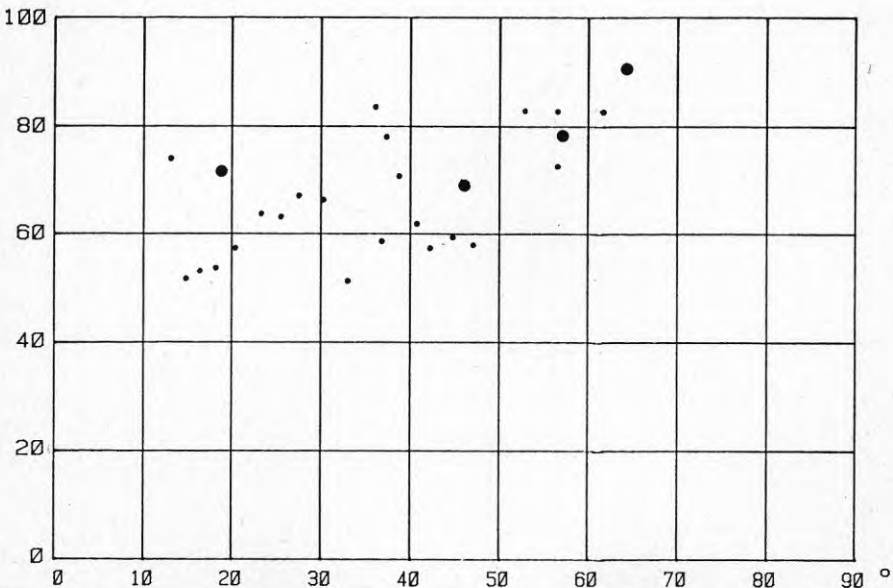


- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 2 m skärm
- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 1,5 m skärm
- $\alpha_\theta$  (PN)

PRIPPS, ELRÄNNA, 500 Hz  
%

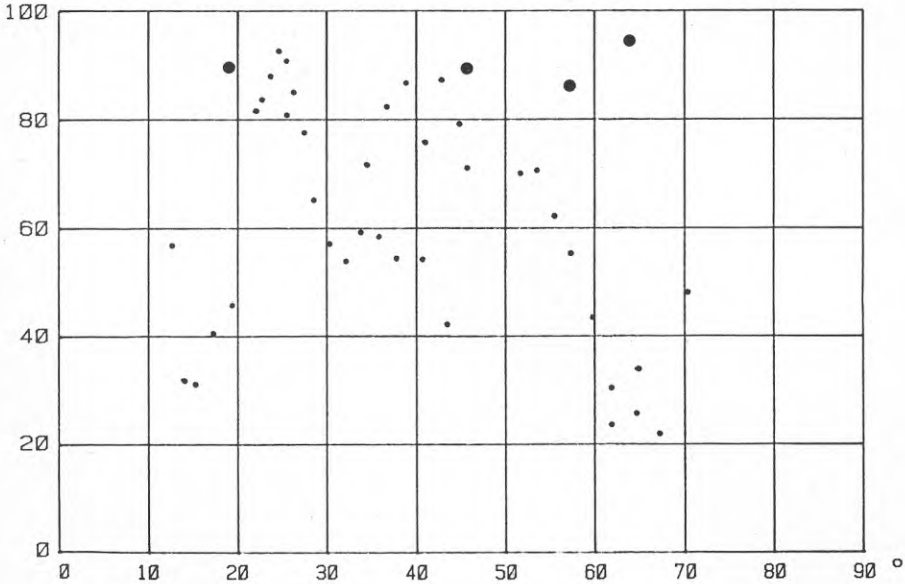


PRIPPS, ELRÄNNA, 1 kHz  
%

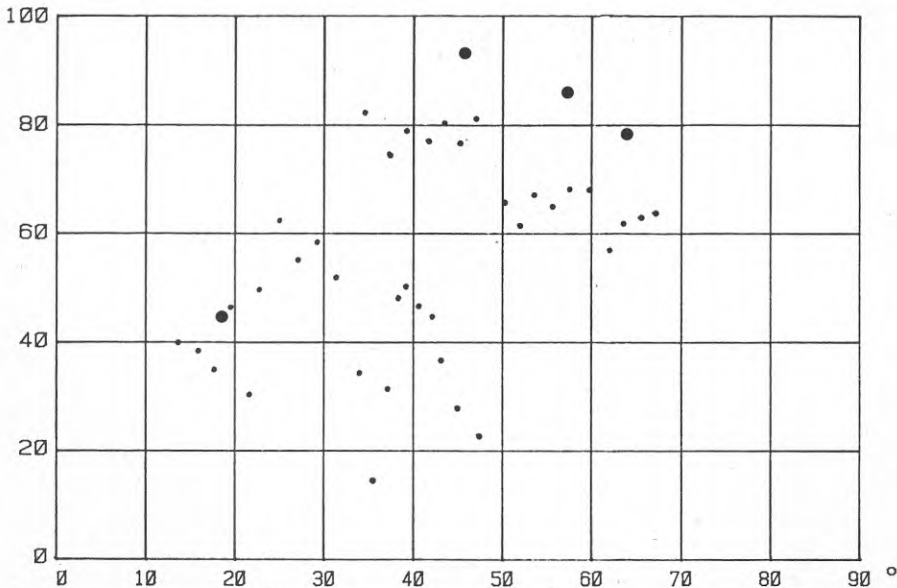


- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 2 m skärm
- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 1,5 m skärm
- $\alpha_\theta$  (PN)

PRIPPS, ELRÄNNA, 2 kHz  
%



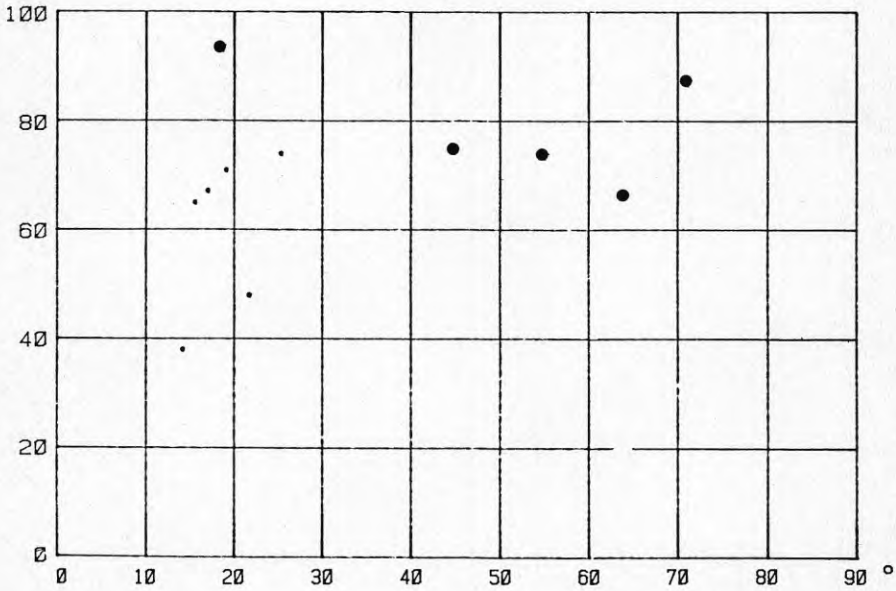
PRIPPS, ELRÄNNA, 4 kHz  
%



- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 2 m skärm
- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 1,5 m skärm
- $\alpha_\theta$  (PN)

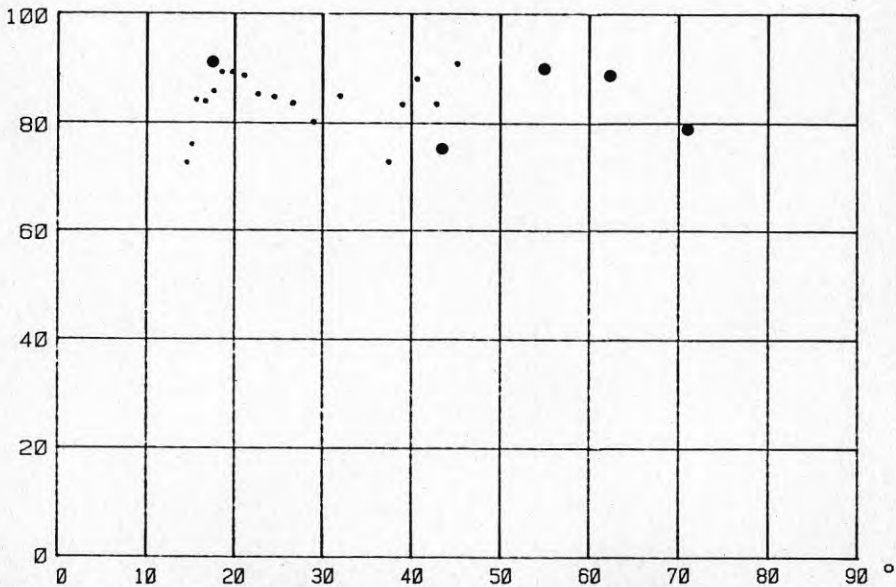
SKF, TAK, 500 Hz

‰



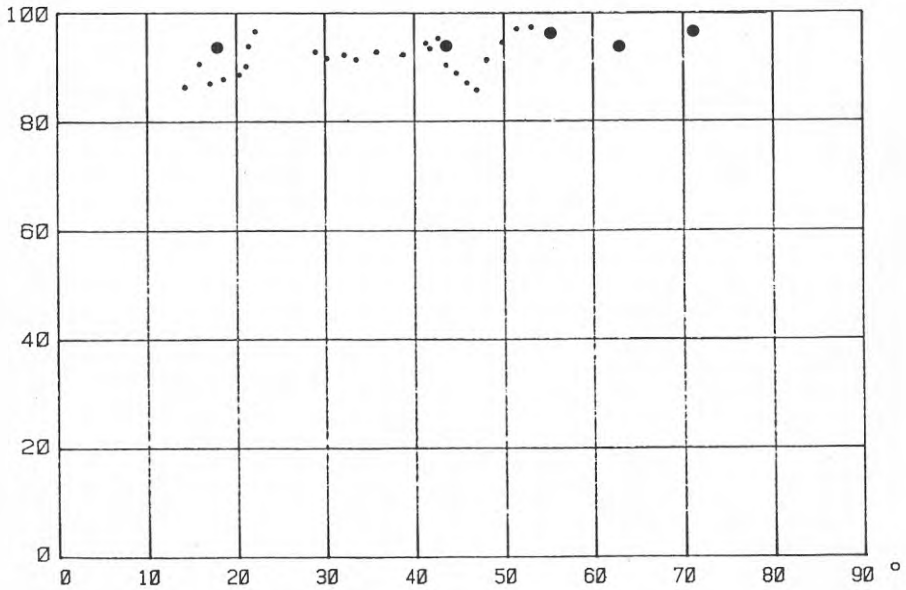
SKF, TAK, 1 kHz

‰

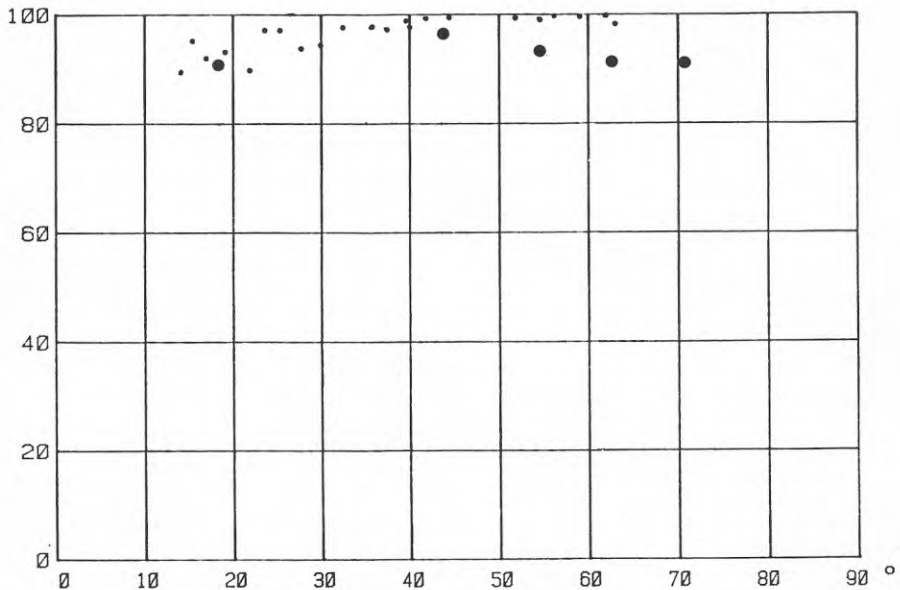


- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 2 m skärm
- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 1,5 m skärm
- $\alpha_\theta$  (PN)

SKF, TAK, 2 kHz  
%



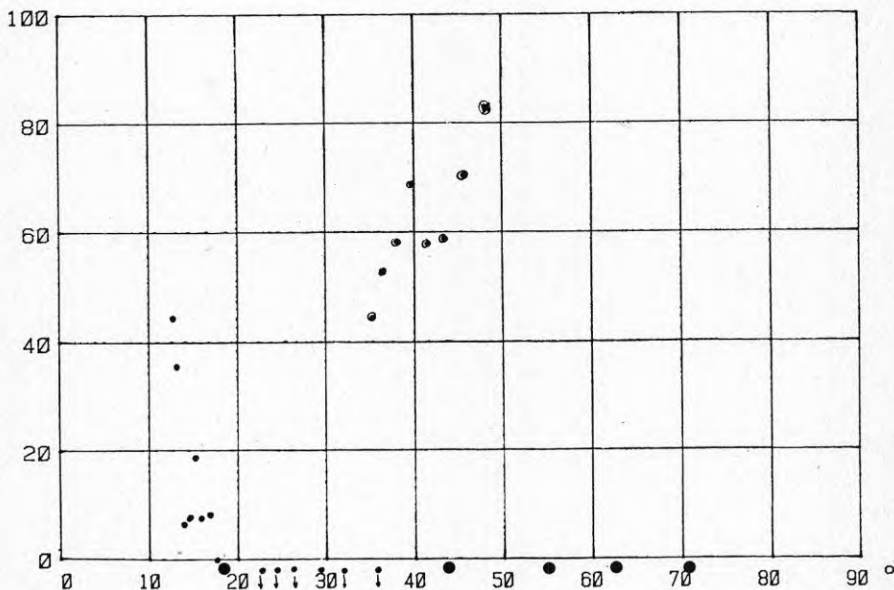
SKF, TAK, 4 kHz  
%



- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 2 m skärm
- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 1,5 m skärm
- $\alpha_\theta$  (PN)

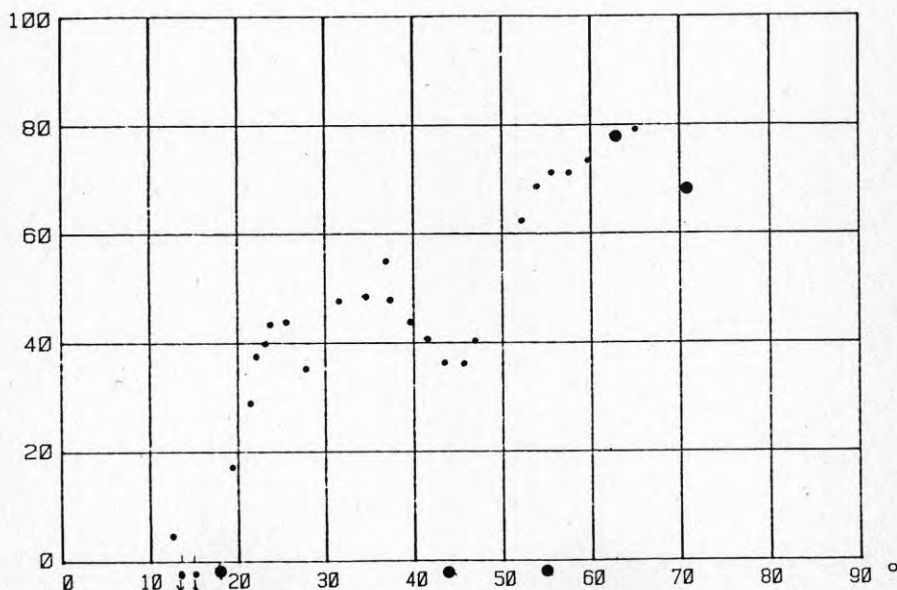
SKF, ARMATUR, 1 kHz

%



SKF, ARMATUR, 2 kHz

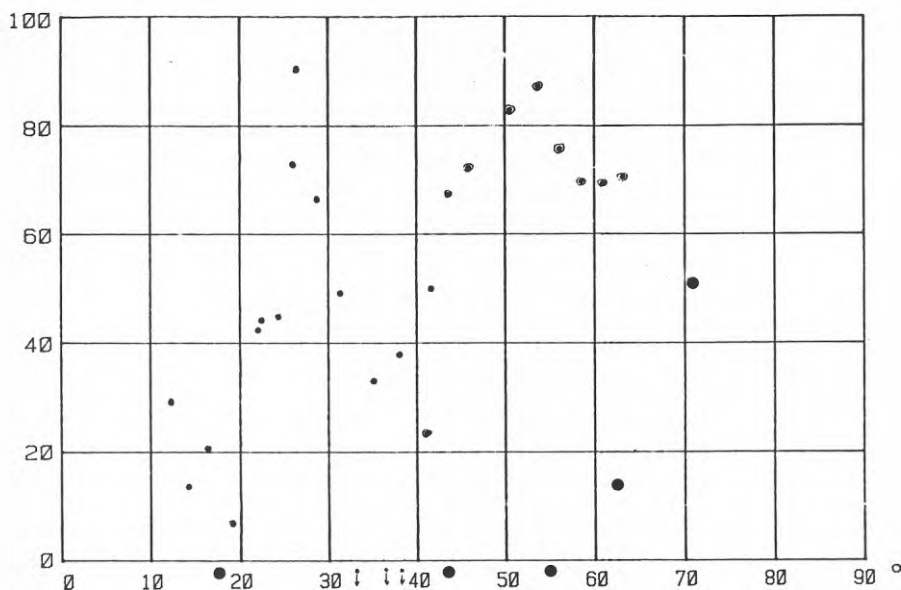
%

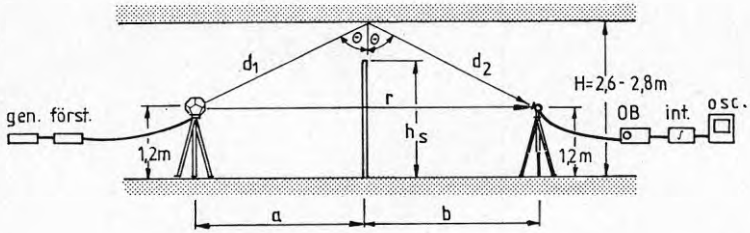


- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 2 m skärm
- $\alpha_\theta$  (puls) mätt med 1,5 m skärm
- $\alpha_\theta$  (PN)

SKF, ARMATUR, 4 kHz

%





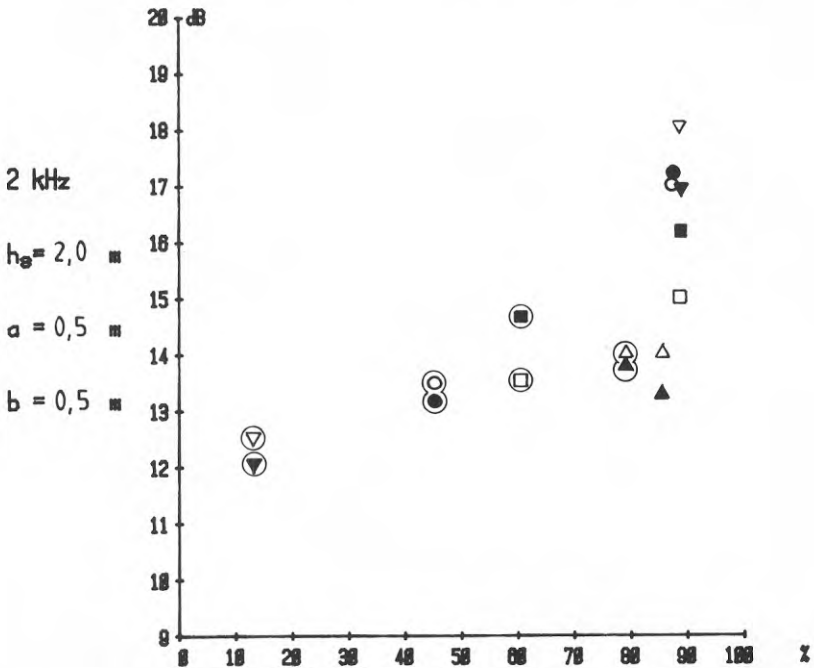
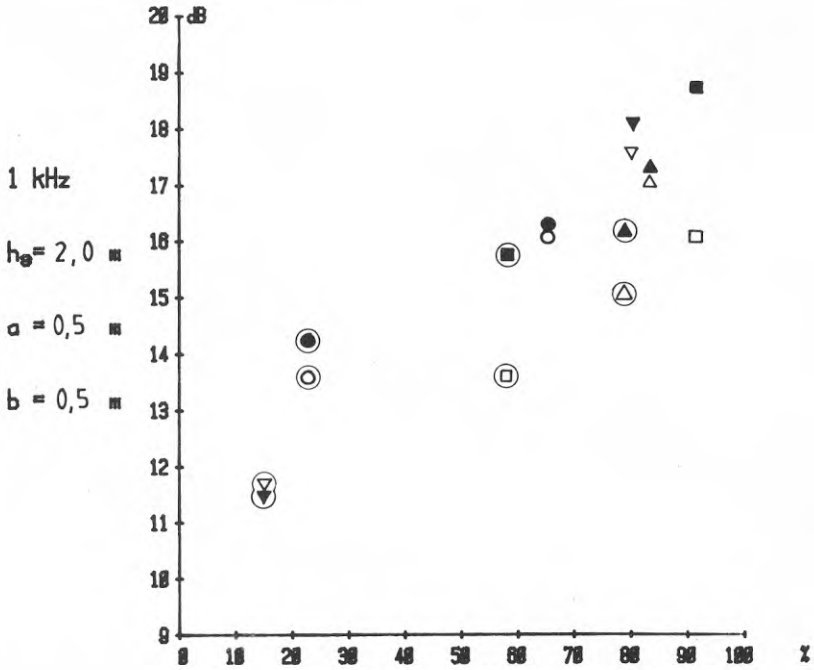
MÄTUPPSTÄLLNING VID PULSRESPONSMETODEN

Ljudutbredningsdämpning rel. 1 m fritt avstånd  
avseende rosa brus resp. puls.

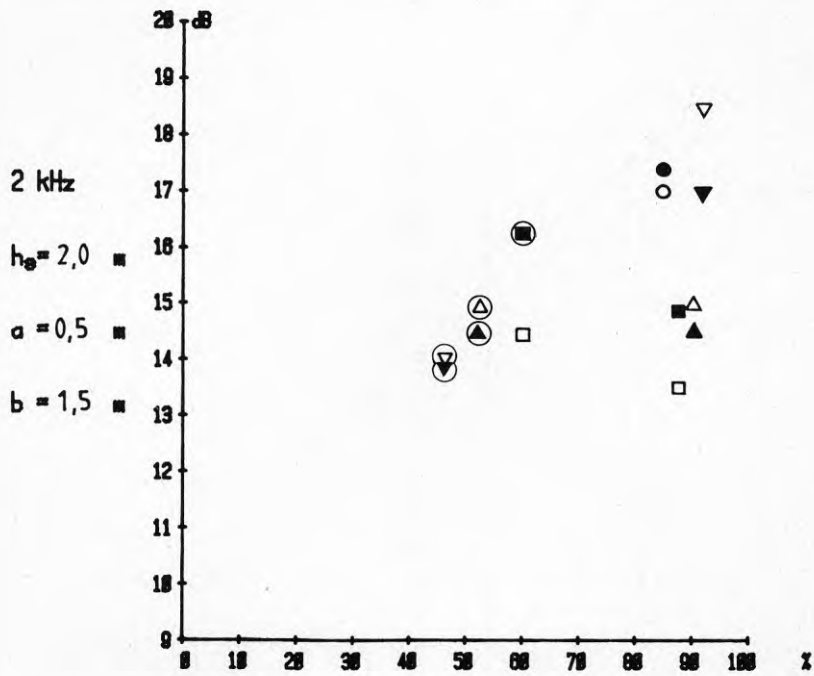
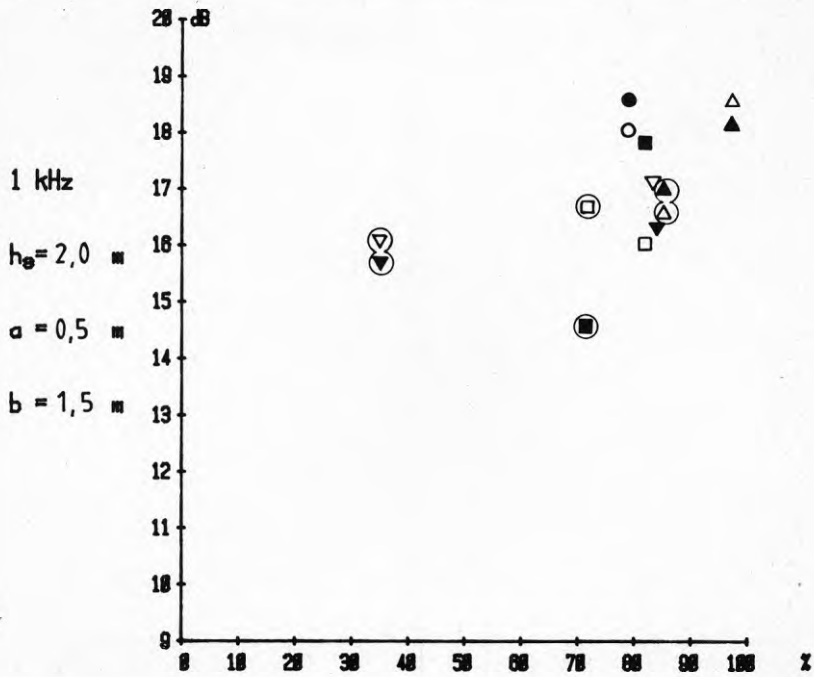
brus puls

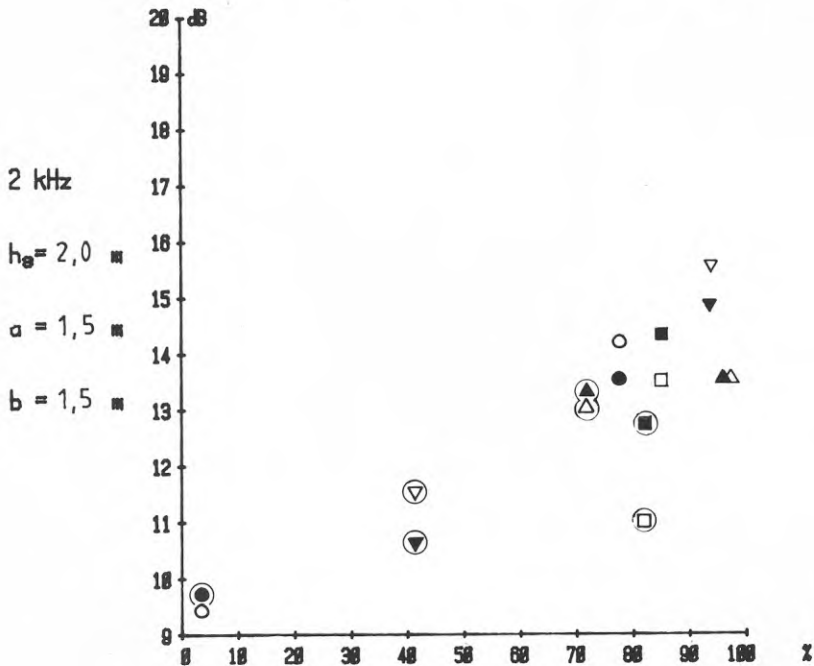
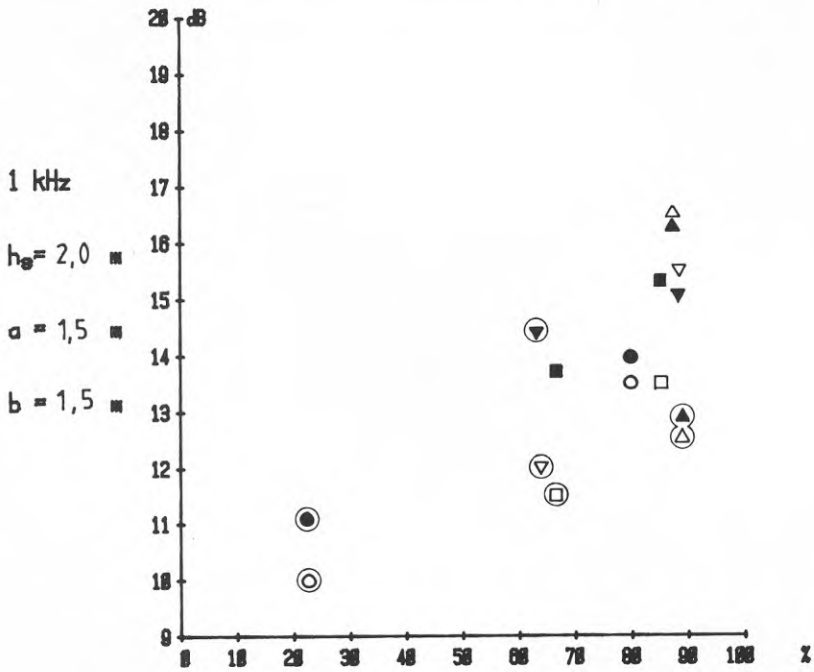
- |   |   |                   |
|---|---|-------------------|
| ○ | ● | Wikings, landskap |
| △ | ▲ | ASEA, matsal      |
| □ | ■ | Pripps, storrums  |
| ▽ | ▼ | SKF, matsal       |

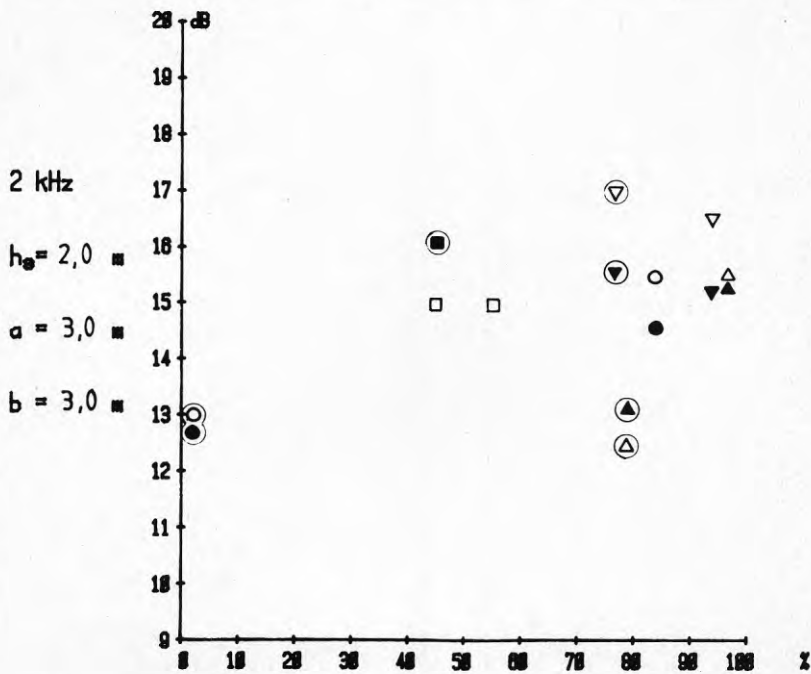
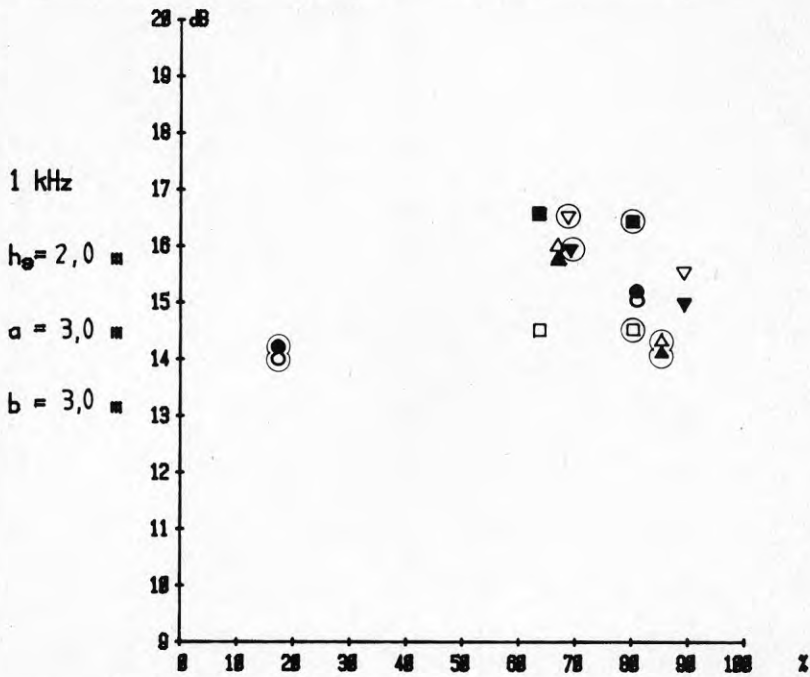
- ◎ Värden med ring avser mätning under reflektor  
(elränna, armatur)

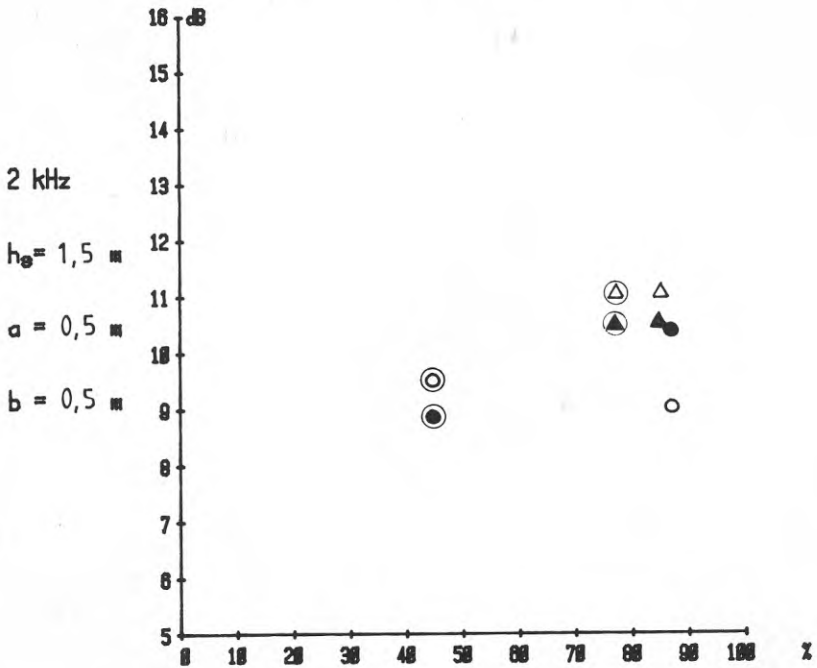
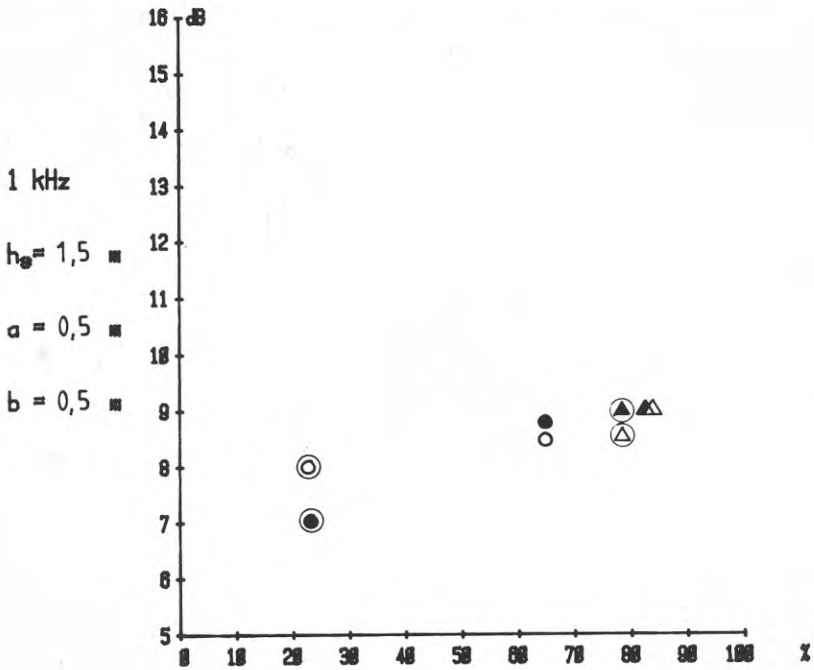


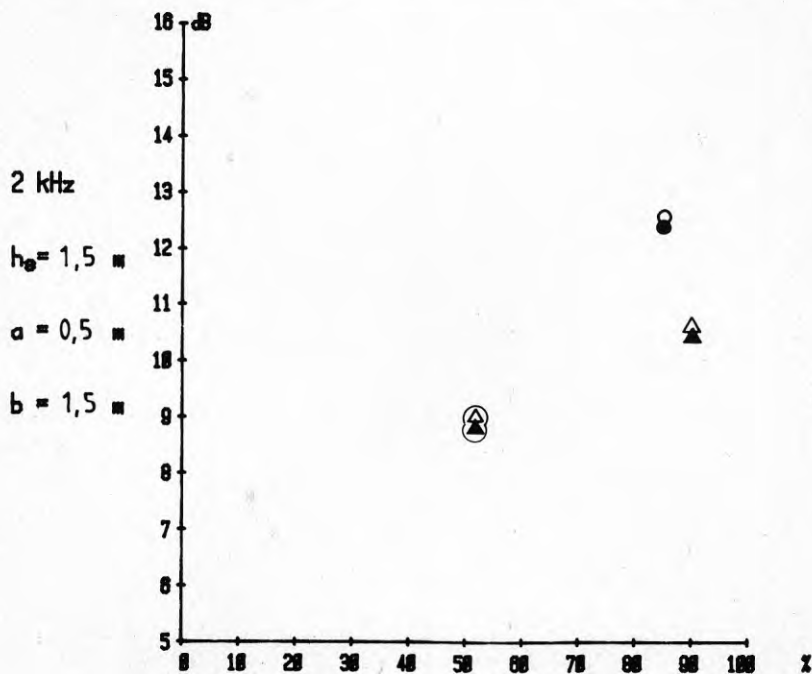
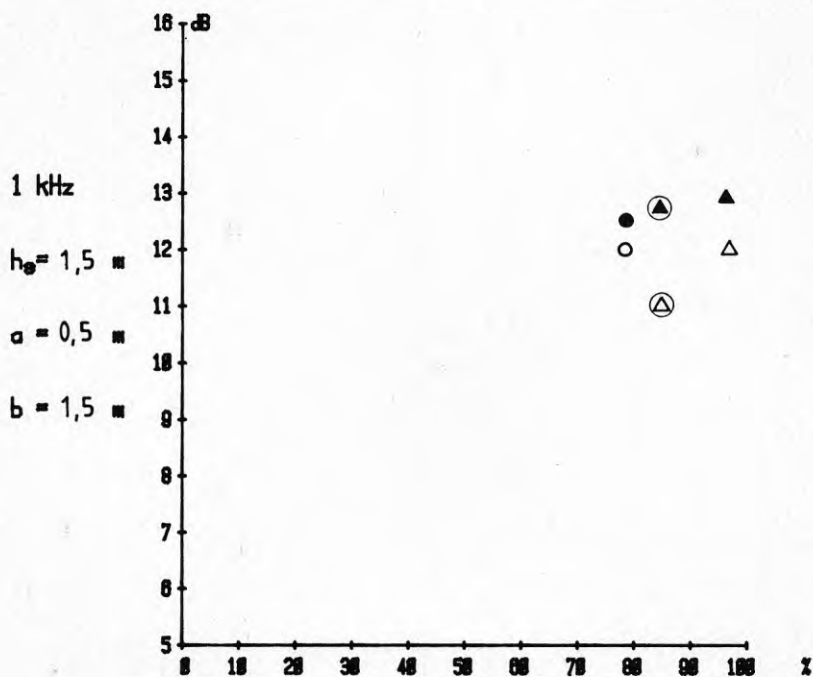


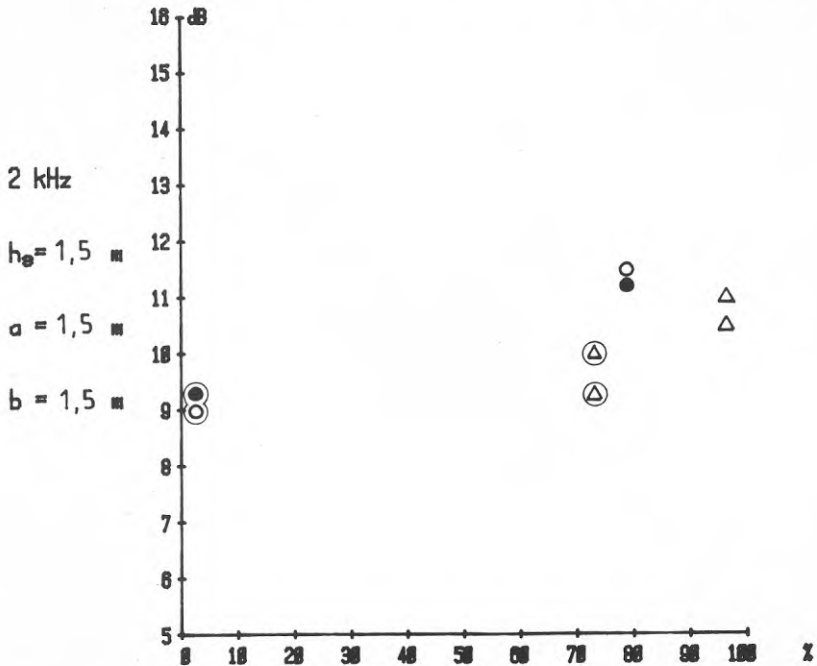
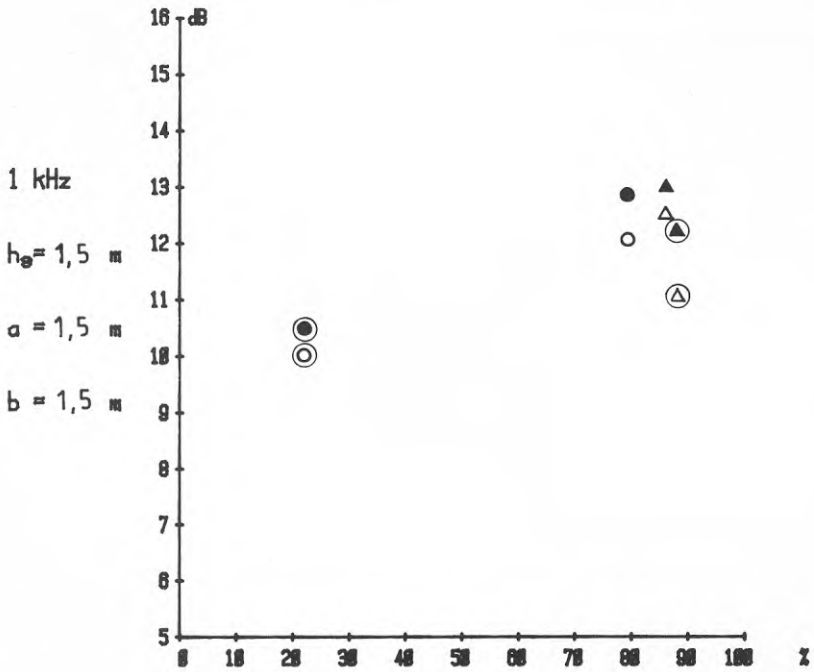


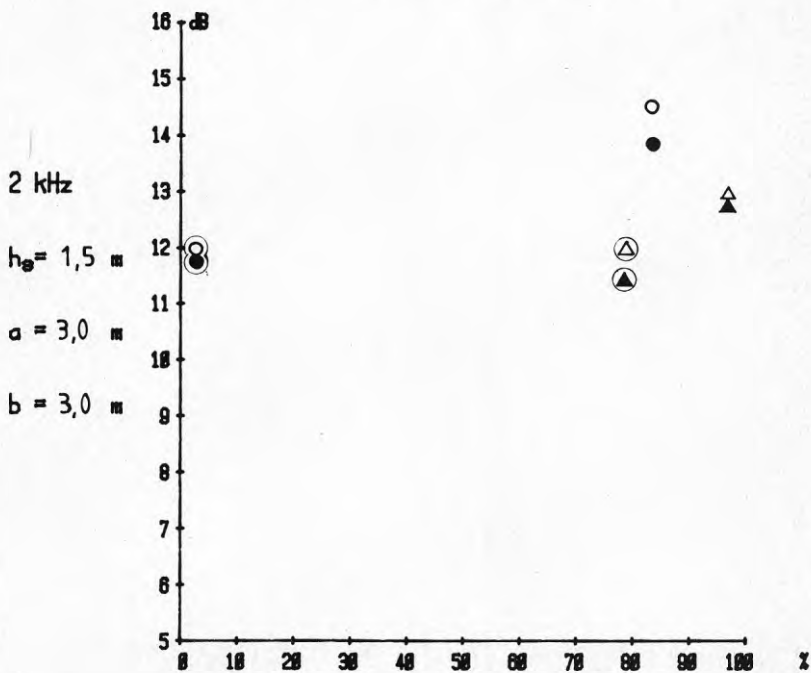
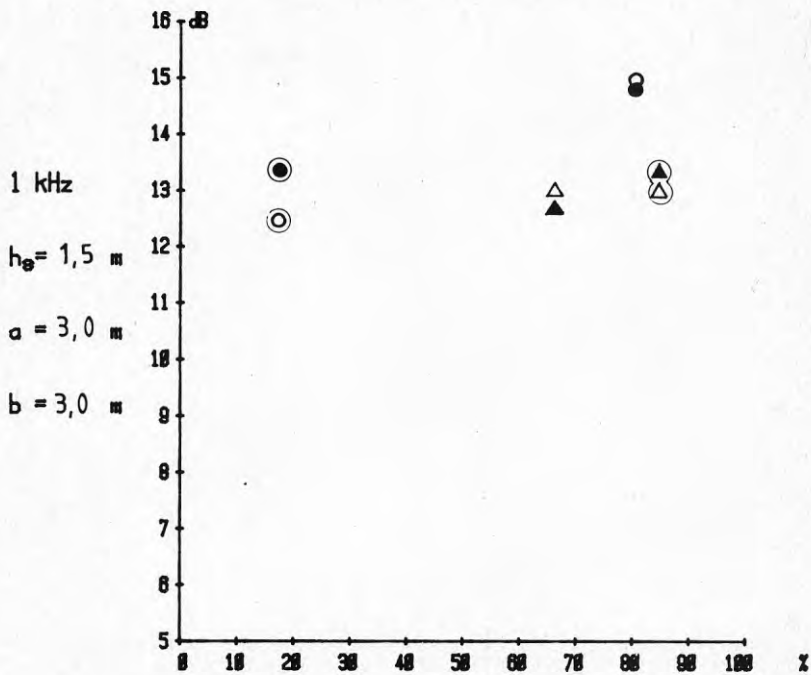


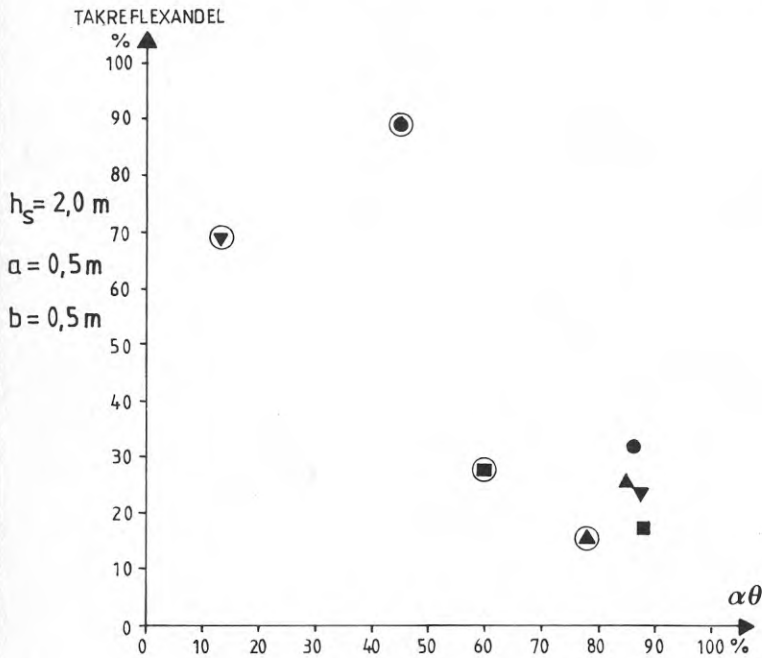
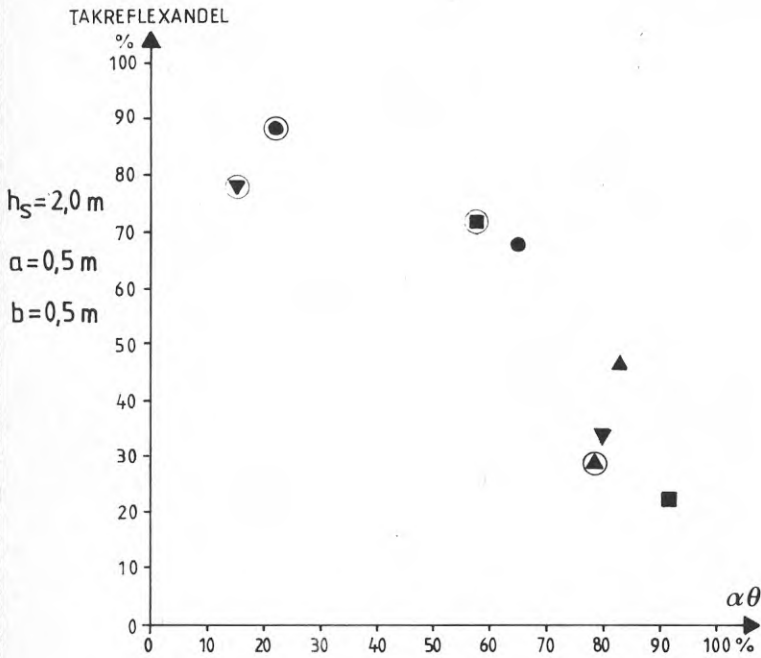




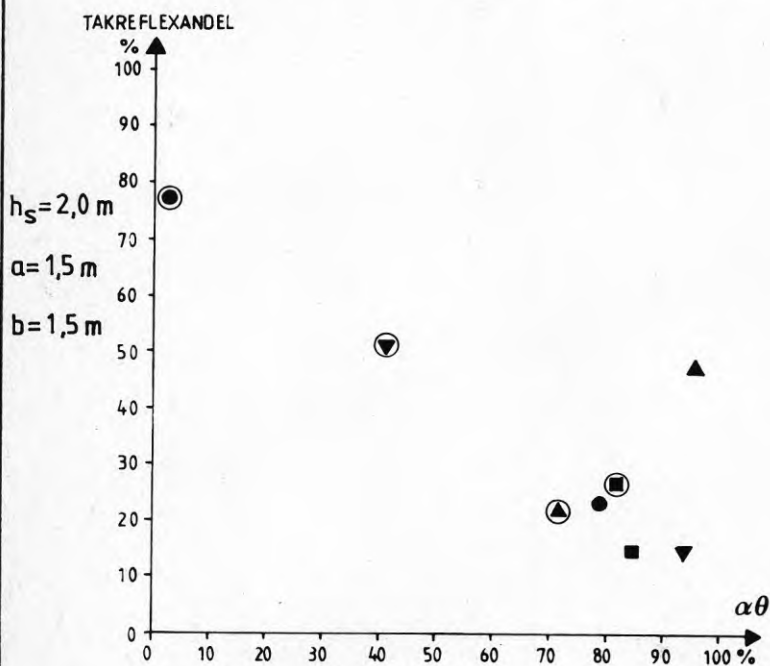
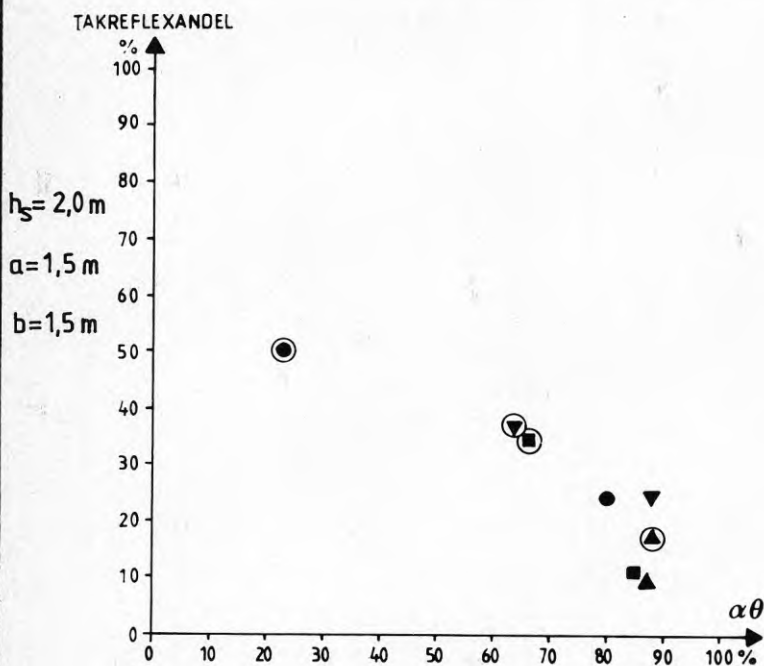


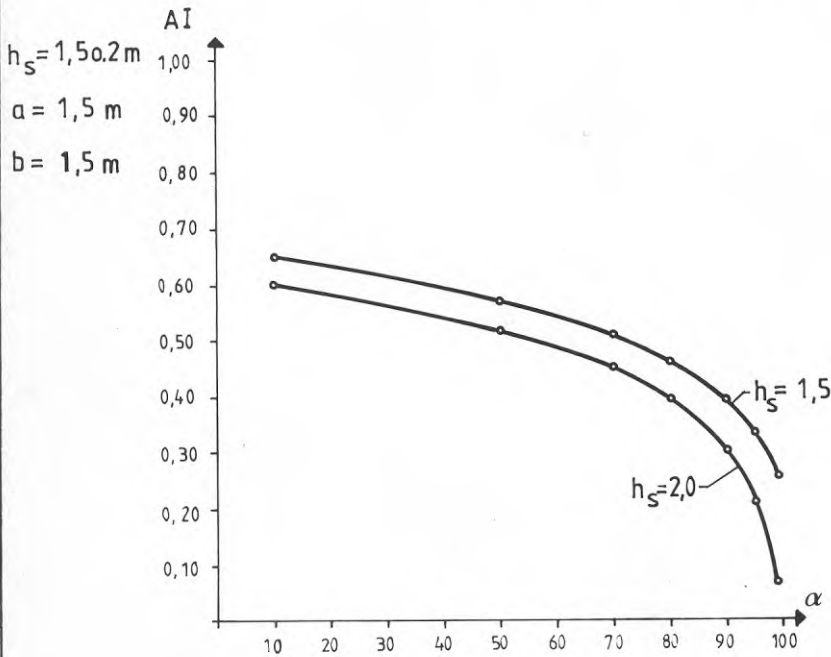
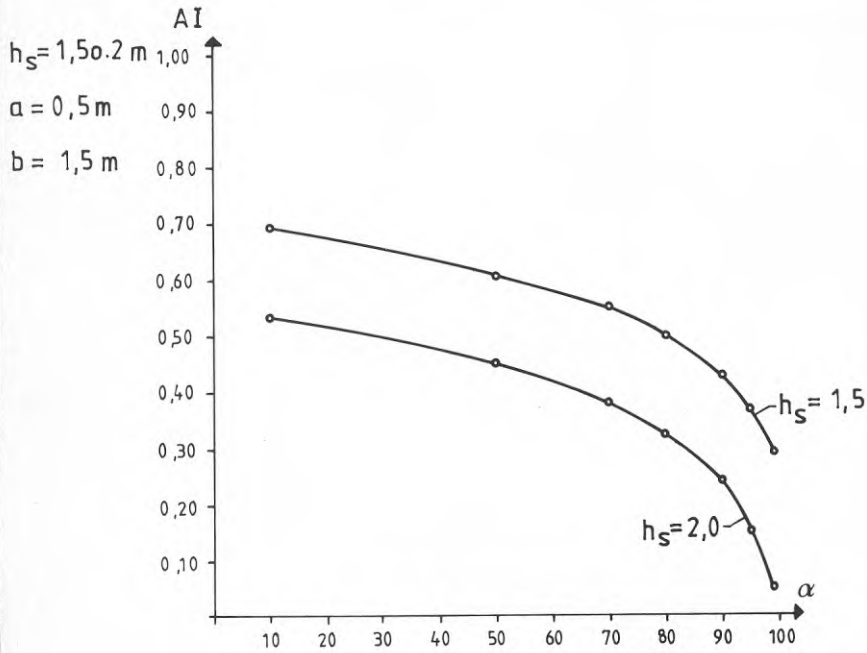


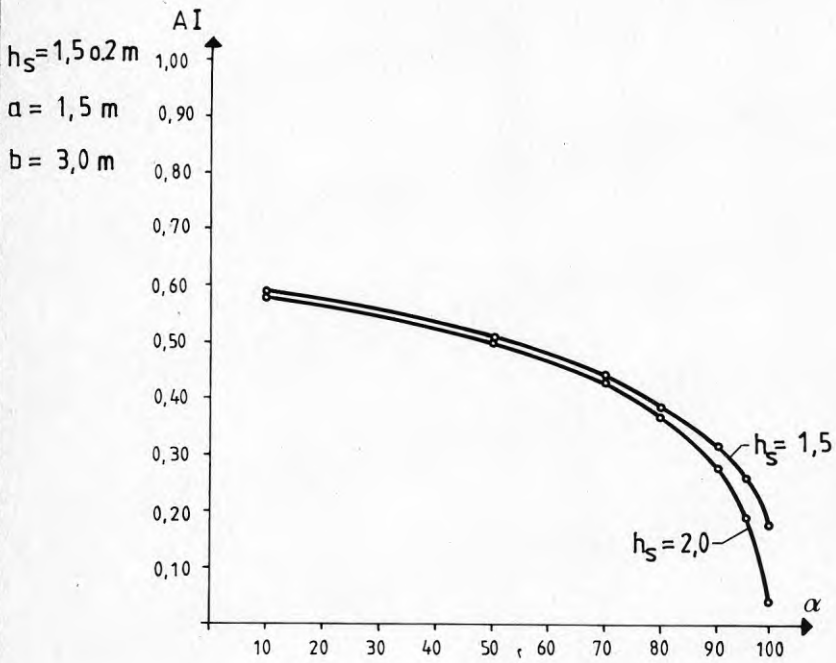




























**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750526-0 från  
Statens råd för byggnadsforskning till Ingemanssons  
Ingenjörbyrå AB, Göteborg**

**R64:1979**

**ISBN 91-540-3019-6**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6600964**

**Abonnemangsgrupp:  
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirka pris: 30 kr exkl moms**