

<b>SINTEF</b>	RAPPORTNUMMER
	STF44 F79031
DISTRIBUSJON	
RAPPORT:	Oppdragsgiver
TITTELSIDE:	Oppdragsgiver

ELEKTRONIKKLABORATORIET VED NTH - TILSLUTTET SINTEF  
UNIVERSITETET I TRONDHEIM - NORGES TEKNISKE HØGSKOLE

POSTADR.:  
ELAB, O. S. BRAGSTADS PL. 4  
7034 TRONDHEIM-NTH

TELEFON NAT: (075) 93000  
TELEFON INT: 4775 93000  
TELEX: 55552 ELAB N

PRIS:

ISBN NR.:

TITTEL	DATE
HØYTTALERANLEGG OSLO SENTRALSTASJON	Mai 1979
	ANTALL SIDER 14
SAKSBEARBEIDER/FORFATTER	PROSJEKTANSVARLIG NTH
A. Krokstad, S. Sørdsdal	<i>A. Krokstad</i> A. Krokstad
SEKSJON	PROSJEKTNUMMER
Akustisk Laboratorium	441437.01
OPPDAGSGIVER	OPPDAGSGIVERS REF.
Norges Statsbaner, Plankontoret for Oslo S	H. Seierstad

SAMMENDRAG
<p>Et løsningsforslag presenteres. Beregning av oppfattbarhet er vist. Det er vist oppbygging og data for høyttalere som kan tilfredsstille de kravene som er stilt.</p>

STIKKORD
Høyttaleranlegg
Akustikk
Jernbanestasjon

PROSJEKTANSVARLIG ELAB

*J. Trampe Broch*  
J. Trampe Broch

## 1. BAKGRUNN OG BEGRENSNINGER

Denne rapport gir et grunnlag for anbudsspesifikasjon av høytaleranlegg for fordelingshall og sentralhall ved Oslo Sentralstasjon. Det forutsettes at byggets arkitekt på bakgrunn av vårt forslag angir nøyaktig plassering av høyttalerne og den elektrotekniske konsulent klargjør kabelføring o.l. For å sikre mot misforståelser, vil laboratoriet be om at de ferdig utarbeidede forslag oversendes oss til kommentar før de går ut til utførende firmaer.

De sentrale funksjonsmessige krav til høyttalere og effektforsterkere er gitt, men det er akseptert at visse tilpasninger kan gjøres i kontakt med aktuell leverandør.

Våre krav er basert på at anlegget skal gi meget god oppfattbarhet for tale. I praksis vil dette også bero på den daglige bruk av anlegget. Det er derfor gitt noen anbefalinger av tiltak som kan sikre at informasjon over anlegget går ut med den styrke og tydelighet som er nødvendig.

## 2. PLASSERING AV HØYTTALERE

Lyddekning er basert på høyttalere som stråler ned mot publikum.

I fordelingshall og den høye del av sentralhallen er det forutsatt at høyttalerne henger 6 m over gulvplan, omtrent i høyde med underkant dragere.

Over og under mezzanin og i områder hvor takhøyden er mindre enn 6 m forutsettes høyttalerne montert i himling.

Fritthengende høyttalere monteres med innbyrdes avstand lik 8.10 m (avstanden mellom dragerne). Avstand og høyde skal sammen sikre at publikum befinner seg innenfor en sektor på  $45^{\circ}$  ut fra høyttalernes akser.

For områder hvor høyden er mindre enn 6 m innebærer dette at høyttalerne må plasseres tettere. Over og under mezzanin må en som utgangspunkt regne avstander mellom høyttalerne på 4.05 m. En viss tilpasning vil her kunne gjøres når egenskapene ved høyttalerne er kjent i detalj.

Arkitekt og øvrige konsulenter må innarbeide den detaljerte plassering av høyttalerne. I den foreløbige plan kan høyttalerne regnes å ha diameter på maksimum 30 cm. De fritthengende kan antas å ha form av sylindre med maksimal høyde 60 cm. De som monteres i himling vil kunne stikke noe ned for himlingen, maksimalt 10 cm.

### 3. KRAV TIL HØYTTALERNES RETNINGSEGENSKAPER

Høy taleøppfattbarhet og naturlighet ved dette anlegget vil bero meget på egenskapene ved høyttalerne, først og fremst deres retningsegenskaper over det frekvensområdet som har betydning for tale (ca. 90-7000 Hz). Som hovedprinsipp er lyddekning basert på at høyttalerne gir en mest mulig uniform retningsfordeling av akustisk effekt innen en sektor ut til  $45^\circ$  fra aksene og at minst mulig effekt stråles ut utenfor denne sektor.

Våre tallkrav er knyttet til data som kan finnes av retningsdiagrammer for høyttalerne målt med 1/3-oktav støysignal. Av retningsdiagrammene finnes:

- maksimumnivå innen en sektor til  $45^\circ$  ut av aksene -  $L_{\text{front maks}}$
- minimumsnivå innen samme sektor -  $L_{\text{front min}}$
- nivå hvis effekten var utstrålt likt i alle retninger -  $L_{\text{rund}}$

Disse data brukes til å beregne:

$$\text{Front-middelnivå: } L_{\text{front}} = \frac{L_{\text{front maks}} + L_{\text{front min}}}{2}$$

$$\text{Frontvariasjon : } \Delta L_{\text{front}} = L_{\text{front maks}} - L_{\text{front min}}$$

$$\text{Direktivitetsindeks: } d = L_{\text{front}} - L_{\text{rund}}$$

For alle høyttalere stilles følgende krav:

$$\Delta L_{\text{front}} \begin{cases} \leq 3 \text{ dB for 1/3-oktavene } 160-1250 \text{ Hz} \\ \leq 6 \text{ dB for 1/3-oktavene } 1600-6300 \text{ Hz} \end{cases}$$

$$d \begin{cases} \geq 4 \text{ dB for } 1/3\text{-oktavene } 160\text{-}1250 \text{ Hz} \\ \geq 5 \text{ dB for } 1/3\text{-oktavene } 1600\text{-}6300 \text{ Hz} \end{cases}$$

Hvert av kravene tillates overskredet i ett frekvensbånd.

Appendix 2 viser resultater av undersøkelser som er utført for å sikre at kravene til høyttalerne er realistiske. Det må ikke oppfattes som anbefaling av en spesiell høyttaler eller høyttalerprodusent.

Et overslag viser behov for ca. 42 fritthengende høyttalereenheter og ca. 66 himlingsmonterte for å dekke fordelingshall, sentralhall samt over og under mezzanin. I tillegg kommer høyttalere for avlukkede rom.

For første byggetrinn er behovene i fordelingshallen ca. 12 fritthengende og 12 himlingsmonterte enheter.

#### 4. KRAV TIL HØYTTALERE OG EFFEKTFORSTERKERE MED HENSYN TIL NIVÅER OG RESPONSER

##### 4.1. Lydnivå

Høytteren skal over frekvensområdet tilsvarende 1/3-oktavene 125-6300 Hz kunne gi et frontmiddelnivå i avstand 3 meter på 86 dB uten ødeleggelse av høyttalerne eller en ulineær forvrengning som er sjenerende for tale. I praksis innebærer dette at klirrfaktoren for høyttalerne ligger under 5% for frekvenser opp til 2500 Hz og at forsterkerne ikke overstyres.

Forsterkerne må dimensjoneres ut fra kravet til lydnivå og høyttalernes virkningsgrad, og med hensyntagen til effekttap i kabler og eventuelle transformatorer.

##### 4.2. Responser

Høyttalerne sammen med eventuelle elektriske korreksjoner i forsterkerne skal gi en frekvensrespons (1/3-oktav støy) for front-middelnivået som er konstant innen  $\pm 1$  dB over 1/3-oktavene 250-6400 Hz, innen  $+1$ ,  $-6$  dB over 1/3-oktavene 100-8000 Hz. Responsen skal kunne tilpasses etter montasje med variasjonsmuligheter minst tilsvarende ordinære bass- og diskantkontroller (maks  $\pm 6$  dB/oktav). Et basskuttefilter 6 dB/oktav og valgbar grensefrekvens vil være nødvendig hvis høyttalerne har høy respons og liten effektkapasitet i bassen.

Det vil bli krevet dokumentasjon ut fra måledata for høyttalere, overføringer og forsterkere som viser at ansvarlig entreprenør kan fylle kravene.

## 5. FORSLAG TIL HJELPEMIDLER SOM SIKRER RIGKTIG BRUK AV ET HØYTTALERANLEGG

Våre beregninger viser at det selv ved full tilfredsstillende av de krav som er stillet til teknisk realisering ikke vil være store marginer ved den aktuelle utnyttelse av anlegget før oppfattbarheten i praksis vil bli redusert. Selv om det ligger utenfor den prosjektramme som er bearbeidet, vil vi nevne momenter som kan være av nytte for å sikre at alle meldinger over anlegget blir gitt med forutsatt nivå og tydelighet.

- mikrofonene må være av høyeste kvalitet og plassert slik at taler står i gunstig posisjon
- de romakustiske forhold rundt mikrofonene må være utprøvet
- et toppvisende utstyringsmeter (IEC) må være godt synlig for den som bruker mikrofonen
- utstyret må omfatte en kompressor med lang utreguleringstid samt begrensning justert til nivåer som sikrer mot overstyring av forsterkere og ødeleggelse av høyttalerne
- en elektroakustisk kontrollkjede bør vurderes innført, med mikrofon plassert i publikumsområdet, fortrinnsvis på et sted hvor støy kan være et problem. Til mikrofonene knyttes et toppvisende utstyringsmeter med frekvensveiekurve A. Dette meteret vil vise både bakgrunnsstøy i publikumsområdet og det aktive talenivå. Til samme mikrofon kan også knyttes en båndopptaker med båndsløyfe, som umiddelbart etter alle meldinger er avsluttet gir en kontrollavspilling av talesignalet slik det blir oppfanget i publikumsområdet. Foruten å gi en sikker etterprøving av talekvaliteten og anleggets funksjonsmessige tilstand, vil en også kontrollere at det ikke har vært tilfeldig bakgrunnsstøy som har ødelagt mulighetene for å oppfatte meldingen
- det må minst være tre separate effektforsterkere som gjensidig sikrer mot svikt. Alle utganger må kontrolleres med enkle utstyringsmetre.

APPENDIX 1Beregninger

Disse beregninger gjelder sentralhall og fordelingshall i prosjektert endelig utførelse. Ved bruk av Robertson-plater med perforert steg og absorberent forutsettes det at en i første utbyggingstrinn oppnår akustiske forhold som er gunstigere for taleoppfattbarheten enn etter tilknytning av sentralhallen.

Det vil ha stor betydning for oppnåelig oppfattbarhet at etterklangstidene er så korte som praktisk mulig; at det plasseres gode akustiske absorberer på alle disponible flater.

Fra tilgjengelig informasjon estimeres etterklangstiden i det viktigste frekvensområde for tale å være:

$$T = \begin{cases} 2.0 \text{ sek. i ugunstigste tilfelle} \\ 1.4 \text{ sek. i gunstigste tilfelle} \end{cases}$$

Ugunstigste estimat er basert på en midlere effektiv takhøyde på 7 m og 50% av takflaten absorberende med absorpsjonsfaktor  $> 0.7$ .

Det forutsettes at det brukes absorberer av tykkelse 7 cm eller mer og at således etterklangstiden ved andre frekvenser ikke vesentlig overskrider disse estimater.

Den viktigste beregnede størrelse er forholdet mellom avstand fra tilhører til nærmeste høyttaler  $r$  og direktelydavstanden  $r_d$  for høyttaleren:

$$j = \frac{r}{r_d}$$

Det benyttes empiriske data (fra Peutz) for å estimere reduksjonen i oppfattbarhet av konsonanter ut fra dette forhold og etterklangstiden.



Liten verdi for  $j$  indikerer høyt nivå av direktelyd relativt nivå av reflektert lyd.

$$\text{Etterklangstiden: } T = \frac{0.163 \cdot V}{A}$$

$V$  - romvolumet i  $m^3$

$A$  - samlet absorpsjonsareal i  $m^2$

$$\text{Romradien: } r_h = \sqrt{\frac{A}{16\pi}}$$

$$\text{Direktelydavstanden: } r_d = r_h \cdot \sqrt{\frac{Q_H}{n}} \cdot D_H$$

$Q_H = 10^{d/10}$  - direktivitetsfaktoren for høyttaleren

$d$  - direktivitetsindeksen for høyttaleren (i dB)

$n$  - antall høyttalere som bidrar til lyd i området

$D_H = 10^{-\Delta L_{\text{front}}/40}$ , retningsfaktor for høyttaler, relativt front-middeltrykk

Ved høyttalerne 6 m over gulv og plassert i rutenett med avstander 8.10 m vil største avstand til høyttaler bli 7 m i en vinkel fra høyttalerens akse på  $54^\circ$ . Vi regner en gjennomsnittlig ørehøyde over gulv på 1,50 m. I det indre av områdene vil vi i disse posisjoner ha lyddekning fra 4 høyttalere. Alle data er regnet ut for det ugunstigste estimat for etterklangstiden på 2 sek., og det gunstigste på 1.4 sek.

Vi regner for 3 posisjoner:

- 1) I høyttalerens akse
- 2)  $54^\circ$  ut av aksen og dekning ved bare en høyttaler
- 3)  $54^\circ$  ut av aksen og dekning ved 4 høyttalere.

Under alle beregninger brukes følgende verdier for romradien:

$$r_h \text{ ugunstig} = 8 \text{ m}$$

$$r_h \text{ gunstig} = 9.6 \text{ m}$$

Direktivitetsindeksen  $d = 5$  dB, hvilket tilsvarer  $Q_H = 3.2$  og vi regner  $n = 50$ , at 50 høyttalere bidrar til samlet refleksjonslyd i det sammenbundne publikumsområdet. Vi ser da bort fra områdene over og under mezzanin hvor takhøyden er lav.

1) I høyttalernes akser ( $r = 4.5$  m,  $D_H = 1.4$ )

$$r_d \text{ ugunstig} = 8 \cdot \sqrt{\frac{3.2}{50}} \cdot 1.4 = 2.8 \text{ m}$$

$$r_d \text{ gunstig} = 9.6 \cdot \sqrt{\frac{3.2}{50}} \cdot 1.4 = 3.36 \text{ m}$$

Ugunstigste estimat:  $j = 1.6$ , som ved etterklangstid 2 sekunder gir et oppfattbarhetstap som er mindre enn 5% og helt ut tilfredsstillende forhold.

2)  $54^\circ$  ut av aksen ( $r = 7$  m,  $D_H = 0.5$ )

(Vi regner en retningsfaktor noe mindre enn det forutsatte krav innen  $45^\circ$  ut av aksen).

Ugunstigste estimat:  $j = 7$ , som ved etterklangstid 2 sekunder gir et oppfattbarhetstap for konsonanter på 18%.

Gunstigste estimat:  $j = 5.8$  som gir omtrentlig samme tap.

Beregnet oppfattbarhet i slike posisjoner er lavere enn ønsket, og det bør ved den detaljerte plassering av høyttalerne tas hensyn til at avstander og vinkler bør forsøkes redusert.

3)  $54^\circ$  ut av aksen, direktelyd fra fire høyttalere.

Ugunstigste estimat:  $j = 3.5$  som ved 2 sek. etterklangstid gir et beregnet oppfattbarhetstap på 16%, som ikke helt ut er tilfredsstillende.

Gunstigste estimat:  $j = 2.9$  som ved 1.4 sek. etterklangstid gir oppfattbarhetstap på 7%, som er tilfredsstillende.

Beregningene viser at fullt ut tilfredsstillende lyddekning betinger at etterklangstiden ikke bør overskride 1.4 sek., at kravene til høyttalernes retningsegenskaper må tilfredsstilles med margin og at det må vises omtenkksomhet ved den detaljerte plassering av høyttalerne.

APPENDIX 2Undersøkelse av høyttalere

Kravene til høyttalerne er i denne rapporten stilt i form av front-middelnivå, frontvariasjon og direktivitetsindeks. Disse dataene ligger nær opp til det som er bestemmende for oppfattbarheten og er enkle å beregne fra polardiagrammer, men finnes vanligvis ikke som tall i leverandørens datablader. Vi har derfor undersøkt en aktuell kommersiell høyttaler og en høyttaler som er utviklet ved laboratoriet for å sikre at våre krav er realistiske.

Philips-høyttaleren LBC 3002/01 er en av de få tilgjengelige enhetene hvor det er lagt vekt på høy direktivitetsindeks i hele frekvensområdet. Høyttaleren har tilnærmet kuleform som vist på fig. 1a. Den veier 1.2 kg. Måleresultater for høyttaleren er vist på fig. 2a. Den øverste kurven viser front-middelnivå omregnet til 1 watt nominell effekt (41 volt i 1667 ohm) i 1 meters avstand. (Målingene ble gjort med 20 volt i 3 meters avstand). Den mellomste kurven viser direktivitetsindeksen og den nederste viser frontvariasjon.

Laboratoriets prototyp-høyttaler har sylinderform som vist på fig. 1b. Den veier ca. 5.7 kg. Detaljene i utseendet er ikke gjennomarbeidet, men konstruksjonen er optimalisert med tanke på jevnt høy direktivitetsindeks og jevnt lav frontvariasjon. Måleresultatene er vist på fig. 2b. Front-middelnivået er også her omregnet til 1 W nominell effekt (2.8 volt i 8 ohm) i 1 meters avstand. (Målingene ble gjort med 1 volt i 3 meters avstand).

Sammenlignet med Philips LBC 3002/01 har prototyp-høyttaleren lavere maksimal frontvariasjon i diskantområdet og noe høyere direktivitetsindeks i bassområdet. Den vil også være lettere å utjevne nivåmessig og den vil kunne gi større lydnivå etter frekvenskorrigering.

Detaljer fra konstruksjonen av prototyp-høyttaleren er vist i fig. 3 a-c.

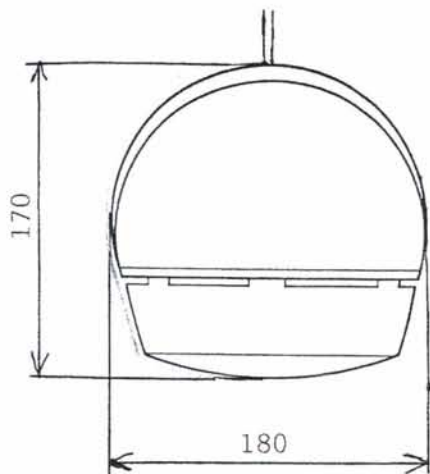


Fig. 1a. Philips LBC 3002/01  
hengende. Mål i mm.

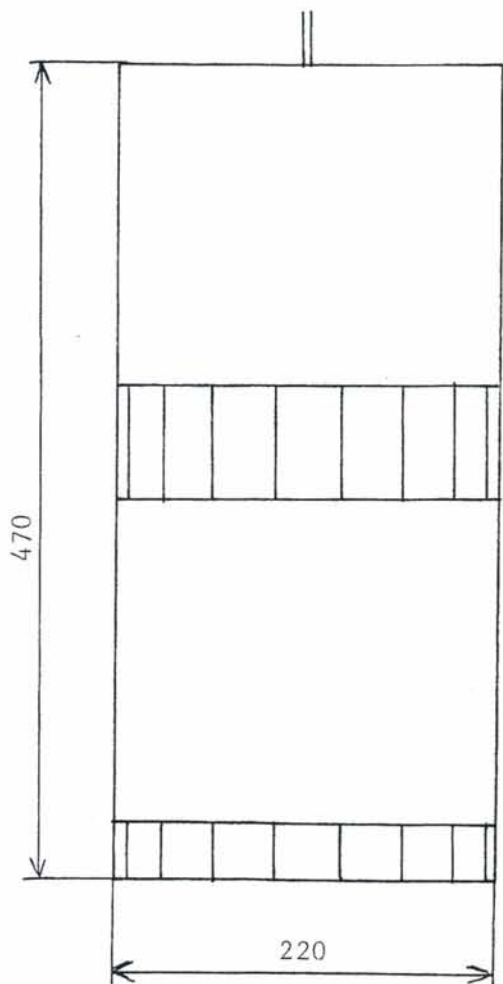


Fig. 1b. Prototyp høytaler.  
Mål i mm.

Wå:		<b>ELAB</b> AKUSTISK LABORATORIUM UNIVERSITETET I TRONDHEIM NORGES TEKNISKE HØGSKOLE 7034 Trondheim-NTH	Oppdr. nr.:
egn.	S. Sc		Tegn. nr.:
rac			Arkiv nr.:
odkj			

Fig. 1

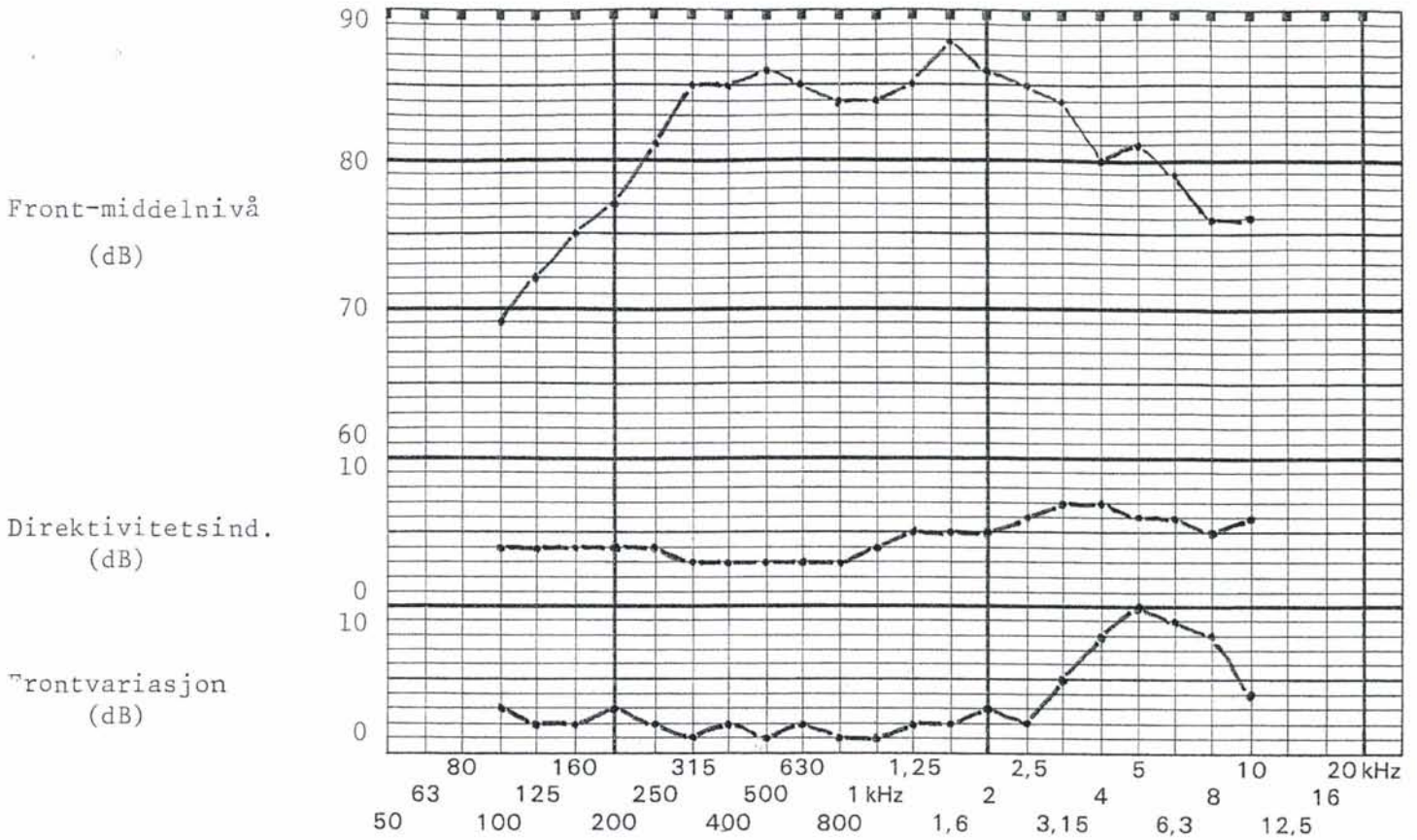


Fig. 2a. Måleresultater for Philips LBC 3002/01.

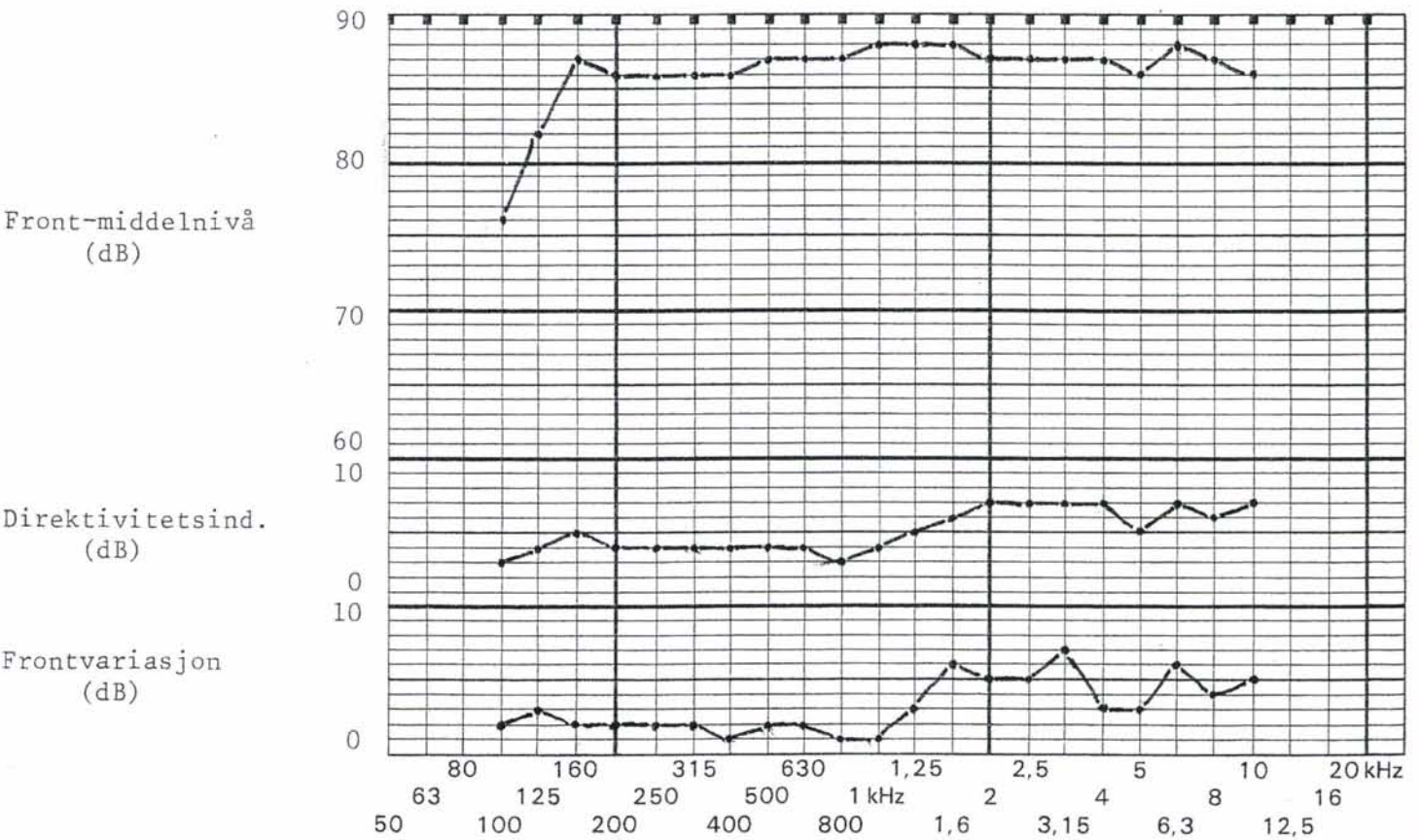


Fig. 2b. Måleresultater for prototyp høyttaler.

Mål		<b>ELAB</b> AKUSTISK LABORATORIUM UNIVERSITETET I TRONDHEIM NORGES TEKNISKE HØGSKOLE 7034 Trondheim-NTH	Oppdr. nr.:
Tegn	S. Sc		Tegn. nr.:
Trac			Arkiv nr.:
Godkj.			

Fig. 2

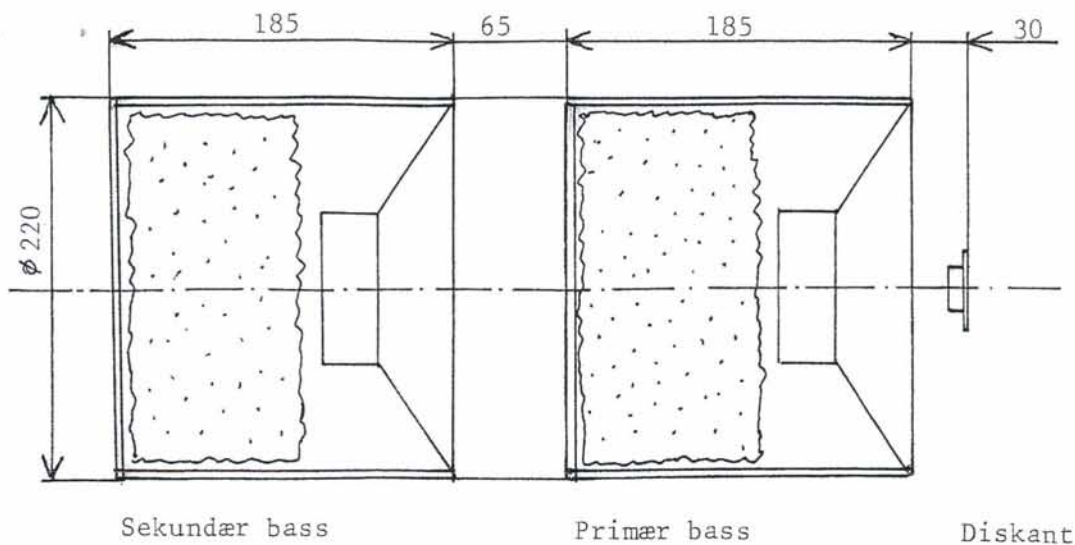


Fig. 3a. Prototyp-høytaler. Målskisse. Mål i mm.

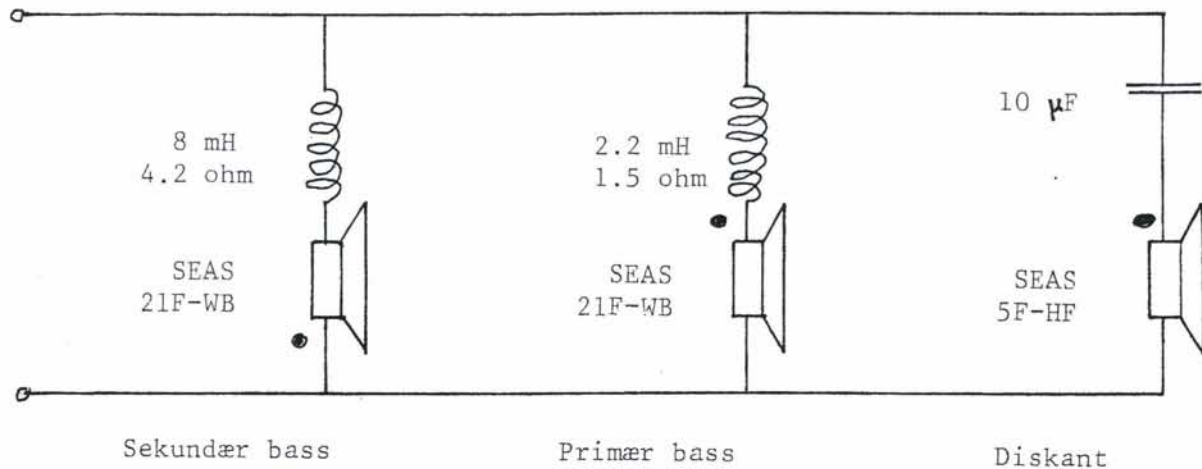


Fig. 3b. Prototyp-høytaler. Delefilter.

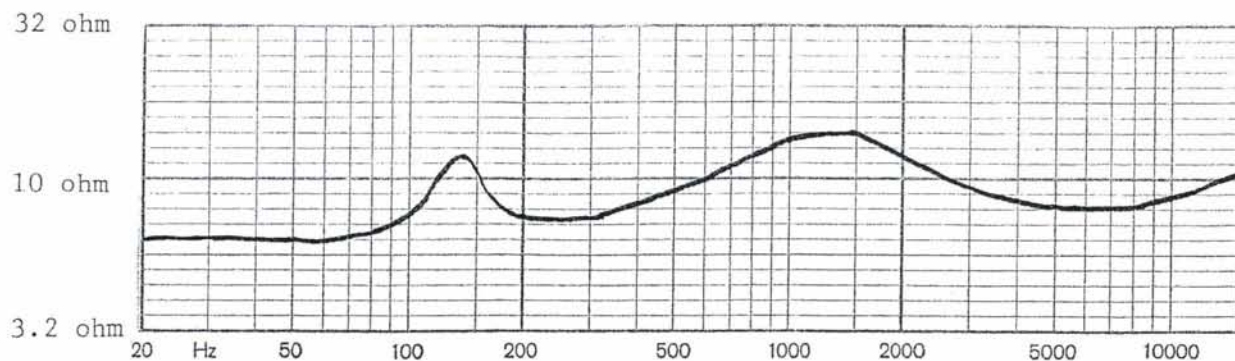


Fig. 3c. Prototyp-høytaler. Impedansmodul.

A41		<b>ELAB</b> AKUSTISK LABORATORIUM UNIVERSITETET I TRONDHEIM NORGES TEKNISKE HØGSKOLE 7034 Trondheim-NTH		Oppdr. nr.:
egn	S. Sør		Tagt. nr.:	
rbc			Arkiv nr.:	
odkj				

Fig. 3