

Rettelser

Fatal: Find ud af at lave det i matlab!!!! LS	8
Fatal: inkluder simulering i figuren. Derudover ville lidt teori om frekvenskarakteristikken for et lukket kabinet være lækkert, inden vi kaster os ud i målinger. Også så vi kan sammenholde teori med praksis -AB	18
Fatal: Vi behøver vel ikke korrigere? Vi skal bare holde 1m afstand-måling sammen med 1m afstand, og tæt afstand med tæt afstand	19
Fatal: ift hvad? - AB	19
Fatal: ref? - AB	19
Fatal: Men netop de lavere frekvenser burde vel være ligeglade, da der her ikke spiller direktivitet ind (fjederstyret område) - AB	19

INGENIØRHØJSKOLEN AARHUS

E6BAC - FORPROJEKT

FORBEDRING AF BAS-GENGIVELSE V. PLACERING AF RESONANS-RØR

Rapport

GRUPPE 1

Navn	Studienummer
Alexander Dahl Bennedsen(E)	201310498
Lasse Stenhøj Kofoed(E)	201407500
Thomas Skovgaard Rasmussen(E)	201406754

DATO: 30. MAJ 2017

Indholdsfortegnelse

Indholdsfortegnelse	3
Kapitel 1 Projektformulering	5
Kapitel 2 Teori	6
2.1 Højtaler	6
2.2 Kabinet	9
Kapitel 3 Simuleringer	10
3.1 Højtaleren i Lukket Kabinet	10
3.2 Højtaleren i Basrefleks-kabinet	10
Volumenhastighed Front:	10
Volumenhastighed Port:	11
Beregning af samlet lydtryk:	11
Resultater	11
Kort port - 3.5 cm	11
Mellemlangt port - 7 cm	11
Langt port - 15 cm	11
3.3 Bidrag fra refleksion	12
3.4 Samlet Frekvensrespons	14
3.5 Rum	15
Kapitel 4 Målinger	16
4.1 CLIO Pocket	16
4.2 Konfigurationer af højtalerkabinettet	17
Lukket kabinet	18
4.3 Rummets karakteristik	19
Kapitel 5 Konklusion	20
Litteratur	21

Resume

For at undgå akustisk kortslutning af en højtalerenhed, har man gennem historien fundet forskellige metoder til at modvirke dette fysiske fænomen. Den akustiske kortslutning forekommer ved de laveste frekvenser, hvor bølgelængden er meget stor ift. højtalerenhedens overfladeareal, og dermed er enheden ikke i stand til at danne differens i lufttrykket mellem enhedens for- og bagside.

Ved at sætte enheden i et kabinet, kan man undgå denne akustiske kortslutning i høj grad, og ydermere udnytte kabinetets egen-resonans til at forbedre højtalerenhedens gengivelse af de lavere frekvenser.

Denne resonans er beskrevet som det princip man kalder for ventileret kabinet, eller "basreflex-kabinet"; Et princip der benytter et rør i kabinettet som, ved korrekt afstemning, kan give en forstærkning ved resonans og dermed opnå et højere gain ved de laveste frekvenser. En billigere løsning end slave-kabinettet og mere effektiv løsning end det lukkede kabinet.

Dette projekt har, foruden at designe et sådan kabinet, gået på at eksperimentere med at opnå et yderligere gain ved de laveste frekvenser ud fra placering af røret i kabinettet, samt positivt refleksionsbidrag fra nærtliggende overflader.

Projektformulering

1

Formålet med projektet er, at ramme et afstandsmæssigt "sweet-spot", hvor røret danner yderligere konstruktiv interferens med overfladen den er i nærheden af, og dermed giver mulighed for at forstærke basgengivelsen yderligere.

Vores projekt vil, foruden at designe et sådan kabinet, gå på at eksperimentere med at opnå et yderligere gain ved de laveste frekvenser ud fra placering af røret i kabinettet, samt refleksion fra nærtliggende overflader.

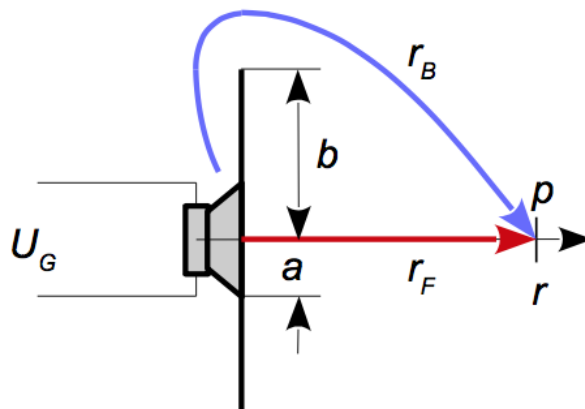
Hertil ønskes en konklusion på, hvorvidt disse parametre vil gøre en psyko-akustisk forskel for brugeren.

Baggrunden for at bygge et kabinet til en højttalerenhed, ligger i det fysiske fænomen som man kalder akustisk kortslutning.

Da højttalerenhed forsøger at skabe en forskel i lydtrykket omkring den luft som den skubber til på forsiden, vil et tilsvarende negativt tryk opstå på den modsatte side, når bølgelængden er meget stor ift enhedens overfladeareal. Det betyder at højttaleren ikke vil kunne gengive de laveste frekvenser som den egentlig er designet til, da trykket udligner sig selv næsten øjeblikkeligt.

En løsning for dette, kan være at indsætte enheden i en meget stor baffel, for at adskille trykket på forsiden af enheden fra bagsiden. Dette betyder midlertidigt også at højttaleren vil skulle installeres fast i denne position, hvilket ikke vil være optimalt for de flestes private brug.

Løsningen her, bliver dermed at installere enheden i et kabinet.



Figur 2.1. Akustisk Kortslutning for en højttaler, fig. 2.25 - TAS, Elektroakustik

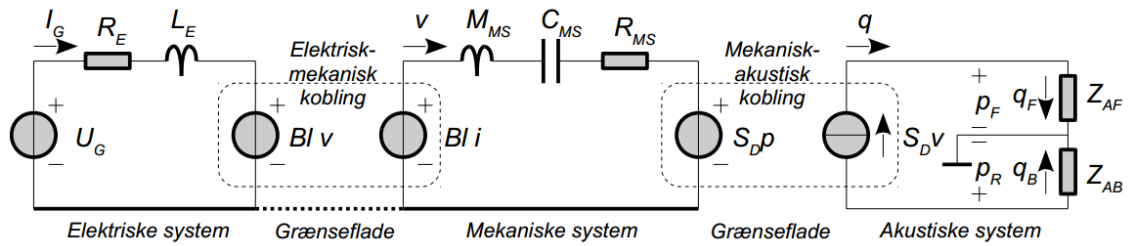
2.1 Højttaler

En elektrodynamisk højttaler omsætter elektrisk energi til akustisk energi vha en svingspole som sætter højttalerens membran i svingninger som dermed frembringer lyd. Som model taler man oftest om en elektrisk model for selve svingspolens kobbermodstand og selvinduktion, en mekanisk model for membranens masse og udsvingets begrænsning, samt en akustisk model for lydens udstråling. De tre modeller har en stor kobling idét der udveksles energi på tværs af modellerne. Dermed kan den impedansen for den elektriske model afspejle de andre modelleres indvirkning på højttalerens Thiele-Small-parametre beskrevet i tabel 2.1.

Højtalerens elektrisk-mekaniske impedans er interessant, da man ud fra den kan sige noget om højtalerens frekvenskarakteristik. Impedansen vil have sit maksimum ved højtalerens resonansfrekvens, givet ved svingspolens selvinduktion samt højtalermembranens styr. For en basshøjtaler er resonansfrekvensen interessant, da man ved denne frekvens kan øge lydstyrken ved lave frekvenser, og dermed give lyden mere dybde og fylde.

Højtaleren der benyttes til projektet er en 6.5"mellemtone elektrodynamisk højtaler af mærket FW168[1] fra firmaet Fountek [2].

På figur 2.1 ses den komplette model for højtalerens elektriske, mekaniske og akustiske model.[3] Komponentværdierne og forklaringen af disse, kan ses i tabel 2.1.



Figur 2.2. Komplet model for højtalerens elektrisk, mekaniske- og akustiske system.

Omregner man modellen til en komplet elektrisk model, kan man udregne den elektriske impedans Z_E for modellen. Denne impedans har et toppunkt ved højtalerens resonansfrekvens, og en minimumsværdi ved svingspolens R_E -værdi.

Med værdierne fra tabel 2.1, som er opgivet i højtalerens datablad[1], opsættes en ligning for den elektriske impedans som funktion af frekvensen i ligning 2.1

$$Z_E(s) = R_E + sL_E + \frac{Bl^2}{\omega_s M_{MS}} \frac{\omega_s s}{s^2 + \frac{1}{Q_{MS}} \omega_s s + \omega_s^2} \quad (2.1)$$

Thiele-Small parameter	Symbol	Værdi for FW168
Svingspolens DC modstand	R_E	7.2Ω
Svingspolens selvinduktion	L_E	$1mH$
Elektrisk godhed	Q_{ES}	0.452
Masse af bevægeligt system	M_{MS}	$14.7g$
Eftergivelse af styr	C_{MS}	$0.821mm/N$
Mekanisk godhed	Q_{MS}	3.246
Mekanisk tabsmodstand	R_{MS}	$\frac{1}{Q_{MS}} \sqrt{\frac{M_{MS}}{C_{MS}}} = 1.304Ns/m$
Resonansfrekvens	f_s	$\frac{1}{2\pi\sqrt{M_{MS}C_{MS}}} = 45.813Hz$
Ækvivalent volumen	V_{AS}	$16.5L = 0.017m^3$
Kraftfaktor	Bl	$8.2Tm$
Membranens effektive areal	S_D	$119cm^2$
Maksimal lineær bevægelse	X_{MAX}	$4.6mm \pm$

$$= 7.2\Omega + s \cdot 1mH + \frac{(8.2Tm)^2}{287.8Hz \cdot 14.7gm} \frac{287.8Hz \cdot s}{s^2 + \frac{1}{3.246}287.8Hz \cdot s + (287.8Hz)^2} \quad (2.2)$$

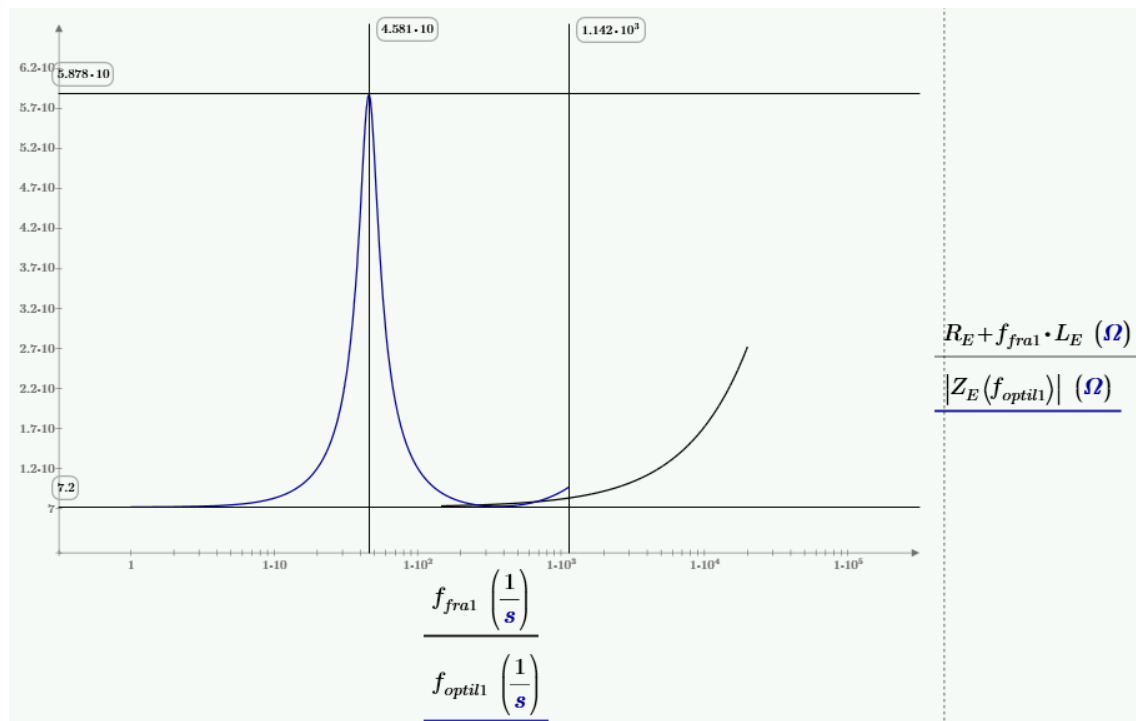
Impedansen vil være størst ved højtalerensresonansfrekvens f_s , som beregnes i ligning 2.3. Dette toppunkts maksimumværdi er givet ved ligning 2.4

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{M_{MS}C_{MS}}} = 45.813Hz \quad (2.3)$$

$$Z_{max} = R_E + \frac{Bl^2}{RMS} = 58.781\Omega \quad (2.4)$$

På figur 2.1¹ ses plottet af ligning 2.1 med værdierne for højtaleren. Kurveforløbet stemmer overens med det beregnede toppunkt f_s og minimumsværdien R_E . Kurveforløbet stemmer ligeledes overens med det opgivne i databladet [1].

Ved frekvenser lavere end f_s - det såkaldte fjederstyrede område - er impedansen domineret af svingspolens elektriske modstand, da membranens masse her er høj og styrernes eftergivlighed lav. Ved frekvenser højere end f_s - det massestyrede område - er impedansen domineret af membranens masse som her er lav og svingspolens selvinduktion. Ved f_s går den mekaniske masse og styr i resonans.



Figur 2.3. Den elektriske impedans Z_E som funktion af frekvensen

¹FiXme Fatal: Find ud af at lave det i matlab!!!! LS

Fra frekvensen f_1 bestemmes impedansen primært af svingspolens selvinduktion. f_1 er beregnet i ligning 2.5

$$f_1 = \frac{L_E}{2\pi R_E} = 1142Hz \quad (2.5)$$

Det er altså ved de 45Hz som er højtalerens resonsnfrekvens, at vi vil forsøge at give et boost af lydniveauet.

2.2 Kabinet

Ting og sager...

Simuleringer 3

Formålet med dette afsnit, er at eftervise den teoretiske afhandling fra kapitel 2. Ved sammenhold mellem disse simuleringer og de reelle målinger, som ses i kapitel 4

3.1 Højttaleren i Lukket Kabinet

3.2 Højttaleren i Basrefleks-kabinet

For at kunne sammenligne teori og praksis, kan højttaler-dataen fra tabel 2.1 benyttes til at udformere et simuleret frekvensrespons, for de forskellige portlængder på basrefleksen.

Ved at beregne volumenhastigheden for den elektriske impedans, ud fra teorien behandlet i afsnit 2, kan man opdele bidraget fra fronten af højttaleren og for porten, for til sidst at lave det samlede lydtryk til en ønsket afstand r .

Volumenhastighed Front:

Ud fra impedansen af det samlede system, kan volumenhastigheden for højttalerenheden i kabinettet beregnes. Dette er hastigheden af det volumen af luft som skubbes foran højttaleren.

$$qF = \frac{F_A}{R_{AE} + s * M_{AS} + \frac{1}{s * C_{AS}} + Ras + \frac{1}{(s * C_{AB} + \frac{1}{s * M_{AP}})}}$$

Hvor

$$M_{AP} = \frac{(\rho)}{S_P} * (L_P + 1.46 * \sqrt{\frac{S_P}{\pi}} \quad \text{Luftmassen i den Akustiske Port}$$

Det ses her, at M_{AP} er afhængig af længden på porten L_P . For at opnå en korrekt afstemning af porten ift. højttalerenhedens resonansfrekvens, beregnes denne portlængde som følger:

$$\begin{aligned} r_P &= 0.025m && \text{Portens Radius} \\ S_P &= \pi * r_P^2 = \pi * 0.025^2 = 0.0020m^2 && \text{Portens overfladeareal} \\ L_P &= \frac{\gamma * P_0}{\rho * (2 * \pi * f_P)^2 * V_B} - 1.46 \sqrt{\frac{S_P}{\pi}} && \text{Længden på porten} \end{aligned}$$

$$\gamma \approx 1.4 \text{ \& } P_0 = 100 * 10^3)$$

Dermed får vi den optimale portlængde:

$$L_P = \frac{1.4 \cdot 100 \cdot 10^3}{1.18 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 44)^2 \cdot 16.5 \cdot 10^{-3}} - 1.46 \sqrt{\frac{0.0020}{\pi}} = 15 \text{ cm}$$

Volumenhastighed Port:

Tilsvarende beregnes bidraget fra porten ud fra følgende formel:

$$qP = -qF * \frac{\frac{1}{s * C_{AB}}}{\frac{1}{s * C_{AB}} + s * M_{AP}} \quad [3]$$

Beregning af samlet lydtryk:

For at omregne de to volumenhastigheder til et lydtryk i afstanden r med enheden dB SPL, benyttes følgende formel:

$$L = 20 * \log_{10} \left(\frac{\rho * f}{r} * (qF + qP) \right) \text{ dB SPL}$$

hvor referencetrykket $p_{Ref} = 10 \mu Pa$

Resultater

Ved beregningen i Matlab, kan der simuleres et plot for frekvenskarakteristikken af bidraget fra højttalerenheden, porten og det samlede bidrag.

For at eftervise at det 15cm lange rør er den optimale længde for basreflexen i projektets kabinet, er der ligeledes lavet simuleringer med de to andre test-størrelser som var fysisk til rådighed: 7cm og 3.5cm.

Kort port - 3.5 cm

Ved brug af en portlængde på 3.5 cm, fås frekvensresponset som ses på figur 3.1.

Det fremgår af figuren at portens resonansfrekvens f_p er helt oppe på 71 Hz, hvilket er over 2/3 højere end højttalerenhedens resonans. Dermed er porten ikke ordentligt afstemt, og de 24dB/oktav's fald under f_p koster betydeligt på de lavere frekvenser.

Mellemlangt port - 7 cm

Ved brug af en portlængde på 7 cm, fås frekvensresponset som ses på figur 3.2.

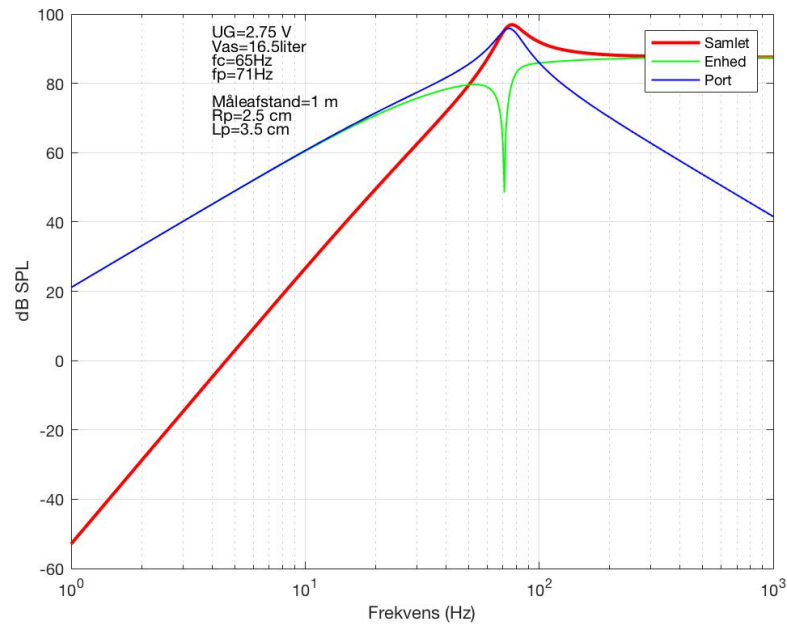
Det ses nu, at portens resonansfrekvens er rykket længere ned og nu resonerer ved 58 Hz. Dette er væsentligt tættere på at være afstemt med højttalerenhedens opgivne 45 Hz resonans, men er endnu ikke nede og give et korrekt bidrag for at løfte de lavere frekvenser.

Det er ligeledes værd at notere, at det generelle gain som er opnået, er lavere for den mellemlange port end for den korte port.

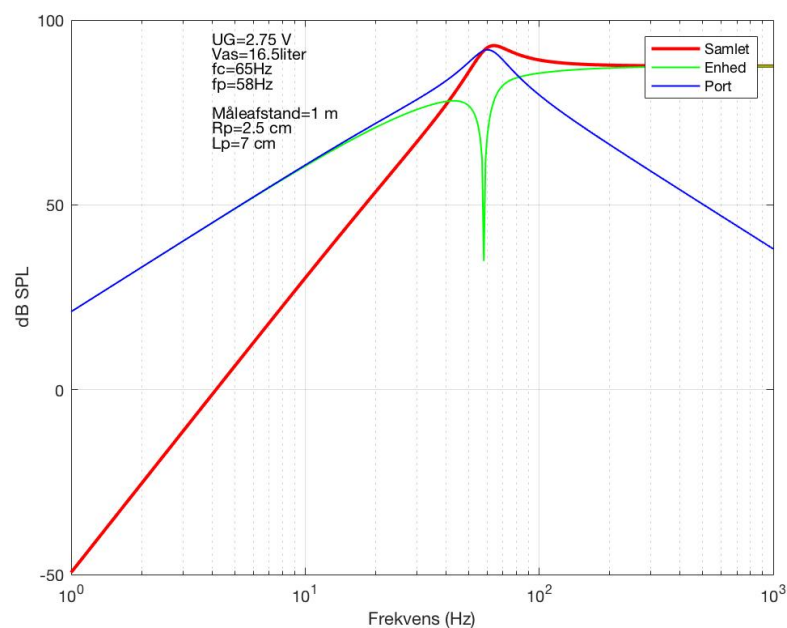
Langt port - 15 cm

Ved brug af en portlængde på 15 cm, fås frekvensresponset som ses på figur 3.3.

Denne længde er den teoretisk optimale, som det blev beregnet ovenfor i sektion 3.2, og resonerer nu i 44 Hz, så port og højttaler er korrekt afstemt. Der opretholdes dermed en højere gengivelse af de lavere frekvenser end det var muligt før og teorien stammer dermed overens med simuleringen.



Figur 3.1. Simuleret frekvensrespons ved $L_P=3.5$ cm

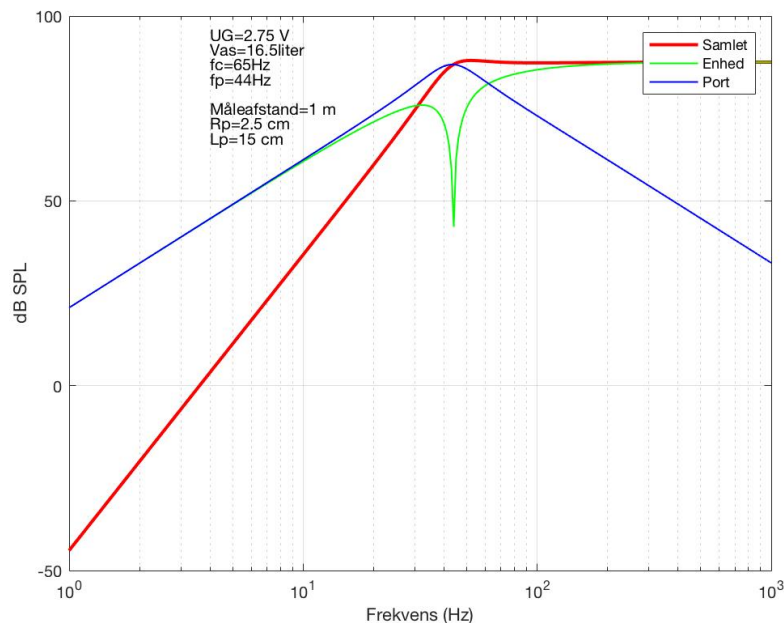


Figur 3.2. Simuleret frekvensrespons ved $L_P=7$ cm

3.3 Bidrag fra refleksion

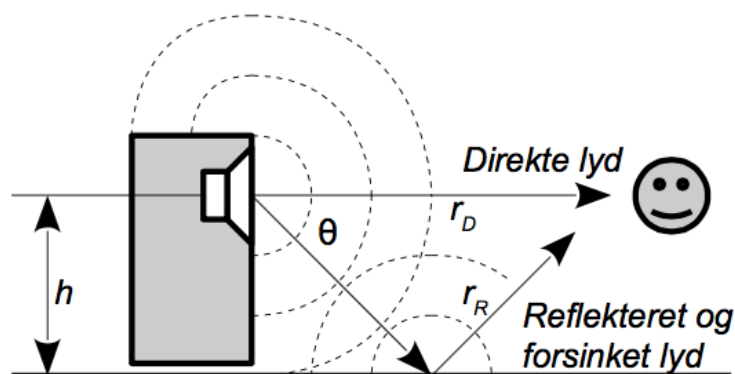
Foruden at skabe den bedst mulige gengivelse af de laveste frekvenser muligt vha. et afstemt basreflex-kabinet, fokuserer dette projekt på at forsøge at skabe et yderligere bidrag i bassen ved hjælp af et refleksionsbidrag fra nærliggende overflader.

Teorien beror sig på et fokus for refleksion ved en højttaler placeret i en vis højde fra gulvet. Her tages der dog ikke forbehold for kabinet-typen, betydende at positionen af



Figur 3.3. Simuleret frekvensrespons ved $L_P=15\text{cm}$

basrefleks-porten heller ikke tages i betragtning. Dette er dog et fokuspunkt for målingen, hvor simuleringen alene anvender den teori som er afbilledet i bogen (figur 3.4 [3])



Figur 3.4. Afbildning af teorien bag reflekteret lyd (Elektro-akustik, TAS, fig 1.20)

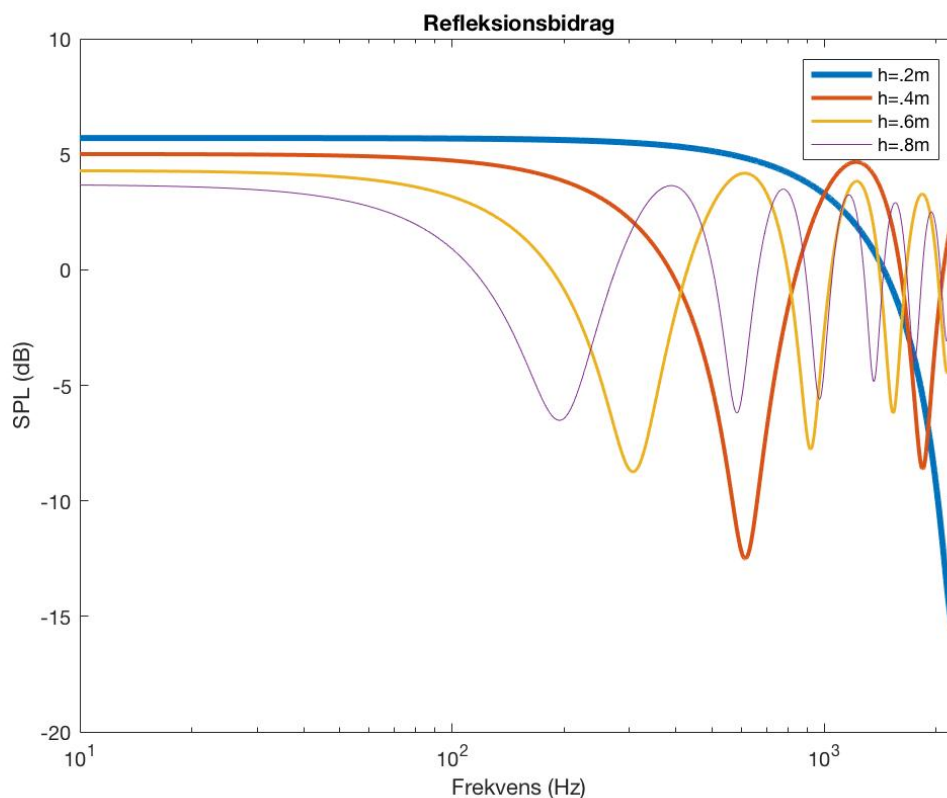
I jagten på et positivt bidrag i de lave frekvenser, vil man dog kunne forvente en destruktiv interferens, når højttaleren har en afstand til den reflekterede overflade på en halv bølglængde. Herefter, vil frekvensresponsen være temmeligt irregulært, før disse forstyrrelser dør ud i takt med at direktiviteten bliver mere betydende ved høje frekvenser. Dette trade-off skal man kunne leve med, for at refleksionsbidraget vil give mening.

Denne frekvens f_R , også beskrevet som det første minimum, beregnes ved:

$$f_R = \frac{c}{2(r_R - r_D)}$$

$$r_R = \sqrt{r_D^2 + 4h^2} \quad \text{Den reflekterede længde}$$

Ved højtalers øgede højder fra gulvet, kan det ses på figur 3.5 at frekvensen for det første minimum falder længere og længere ned. Så ud fra den simple betragtning af denne figur, kan det konkluderes at det må give det højeste stabile bidrag, op imod de højeste frekvenser, ved at sætte højtaleren så tæt på den reflektive overflade som muligt.



Figur 3.5. Refleksionsbidrag fra nærmeste hårde, reflekterende overflade til forskellige højder for højtaleren

3.4 Samlet Frekvensrespons

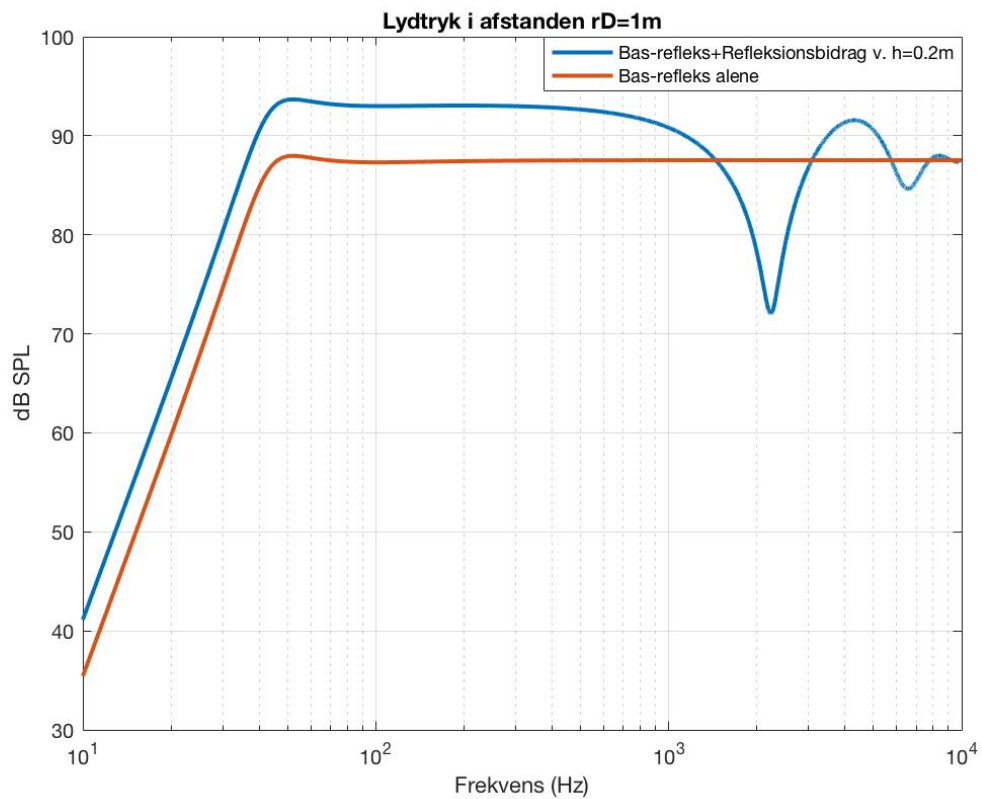
Ved at kombinere bas-reflex kabinettets frekvensrespons, med det lavfrekvente gain for refleksionen ved nærtliggende overflader, opnås et frekvensrespons som kan ses i figur 3.6.

Af figuren fremgår det, at der er skabt et stabilt gain omkring 6dB i de lavere frekvenser under højtalers resonansfrekvens, som bringer tidligere uhørbare frekvenser op i et lydtryk, hvor de rent faktisk kan opfattes af det menneskelige ører. Derudover, er de frekvenser som tidligere lå lige på grænsen af denne hørbarhed, løftet til et niveau hvor det burde være væsentligt lettere at høre.

Ulempen er desværre netop den destruktive interferens som skabes fra refleksionen, som ses på den blå kurve, tidligere omtalt i afsnit 3.3.

Dette må dermed være et trade-off, imellem forstærkningen i de lave frekvenser og irregulariteten i de højere frekvenser.

Det kan ydermere betragtes, at kurven aftager med 24dB/oktav under højttalerens resonansfrekvens, netop som teorien beskrev.[3]



Figur 3.6. Frekvensrespons for Basreflex-kabinettet med vs uden refleksionsbidraget

3.5 Rum

Ting og sager...

Målinger 4

Dette kapitel omhandler brugen af CLIO Pocket til, at måle på højtalerkabinettets karakteristike samt lytteoplevelsen i et rum.

4.1 CLIO Pocket

Til selve målingerne blev der brugt en såkaldt **CLIO Pocket**. Dette er et værktøj som er i stand til, at måle både frekvenskarakteristikker og impulsresponsen.

Selve modulet har en indgang som sluttes til en mikrofon og en udgang som sluttes til en højttaler. Derudover findes der en USB-forbindelse til tilslutning til en computer.

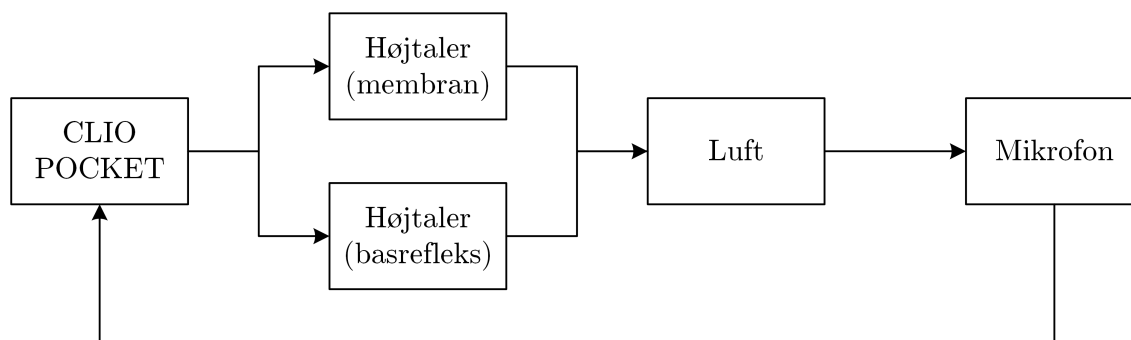
Værktøjet måler en frekvenskarakteristik ved, at udsende to frekvenschirps efter hinanden gennem højttaleren som så måles igen af mikrofonen. Disse måleresultater bruges så til, at udarbejde en frekvenskarakteristik i området fra 10 Hz til 20 kHz.

Den målemetode som CLIO Pocket benytter sig af kan derfor beskrives gennem en simpel feedback-løkke svarende til det, som er vist på diagrammet nedenfor.



Figur 4.1. CLIO Pocket

Som vist på diagrammet, så vil højttalerens udformning (membran og refleks), rummets udformning og mikrofonens karakteristika alle have en betydning for det målte frekvensrespons. I de målinger der fremkommer i denne report er det dog blevet antaget, at mikrofonens karakteristika kun har en minimal betydning.

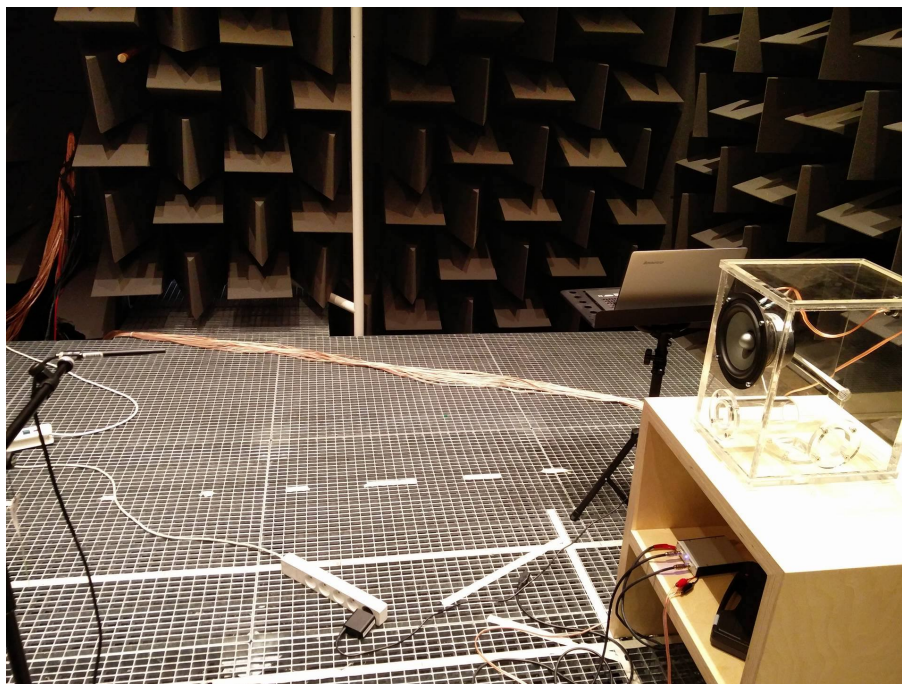


Figur 4.2. CLIO Pocket målemetode

4.2 Konfigurationer af højtalerkabinettet

I dette afsnit vil der blive set på hvordan forskellige konfigurationer af højtalerkabinettet påvirker dets frekvenskarakteristik. Idet det udelukkende er kabinettets egen karakteristika der er interessant i denne sammenhæng, så er det altså ikke ønskeligt, at rummets udformning spiller nogen større rolle i den samlede frekvenskarakteristik.

For at minimere rummets betydning for den samlede frekvenskarakteristik så blev højtaleren placeret i det lyddøde rum på IHA. Herved blev eventuelle refleksioner (ekkoer) dæmpet og det samme blev deres indvirkning på det samlede frekvensrespons.



Figur 4.3. Typisk måleopstilling i det lyddøde rum

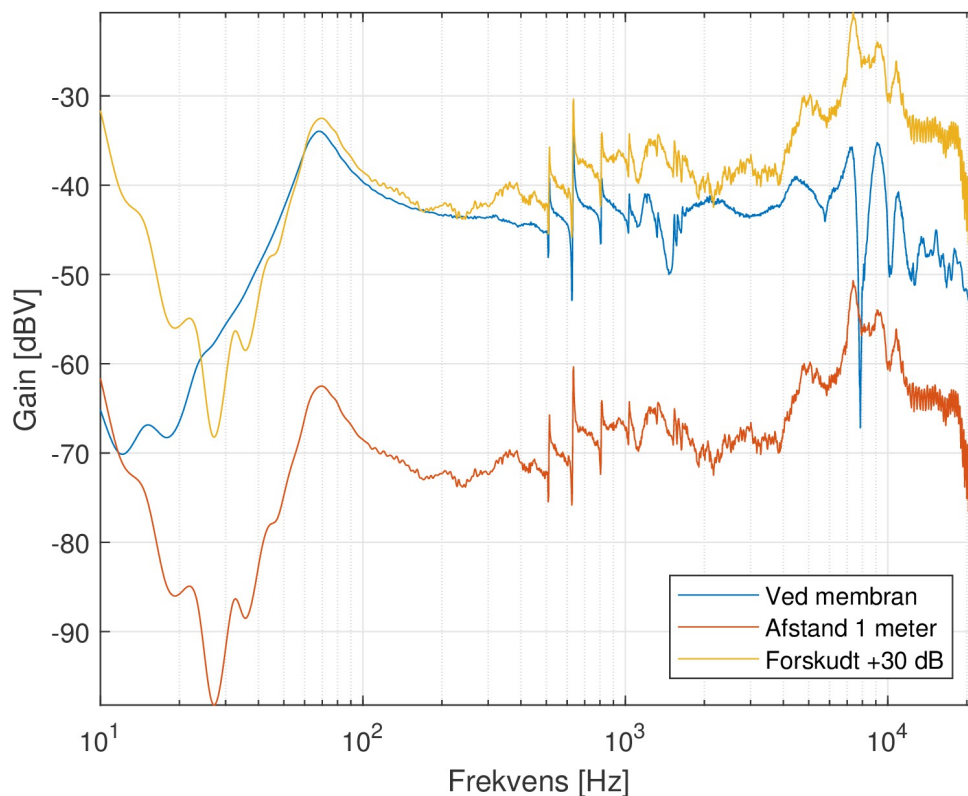
Højtalerkabinettet er lavet til, at kunne konfigureres med forskellige længder basrefleksrør som kan placeres forskellige steder. De forskellige rørlængder der er blevet undersøgt i denne report er: 3,5 cm, 7,0 cm og 15,0 cm. De vil efterfølgende, meget naturligt, blive referet til som Kort, Medium og Lang basrefleks.

Basreflekserne kan som sagt placeres forskellige steder på højtalerkabinettet: Foran under membranen, på siden i samme højde som basrefleksen foran og under bunden. De vil på de efterfølgende sider blive refereret til som Forside, Side og Bund.

I undersøgelserne vil der kun blive placeret et basrefleksrør i kabinettet ad gangen og alle andre huller vil blive forseglet med en lufttæt prop. Disse propper kan også bruges til, at lave et helt forseglet kabinet - som også vil blive undersøgt på de følgende sider.

Lukket kabinet

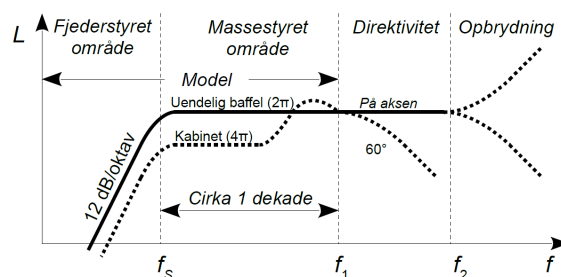
Der blev først og fremmest set på karakteristikken for et helt lukket kabinet. Det vil altså sige, at alle propper blev sat over basreflekshullerne. Frekvenskarakteristikken blev herefter målt med CLIO Pocket lige foran membranen og i 1 m afstand foran membranen. Resultatet af disse målinger ses på figuren nedenfor.¹



Figur 4.4. Målinger på et lukket kabinet

Disse måleresultater udtaler sig som sagt ikke om hvordan basrefleksen påvirker frekvenskarakteristikken - men de vil blive brugt som referencemålinger i mange af de følgende måleopstillinger og resultater.

På figuren ovenfor optræder nogenlunde den type karakteristik vi forventer. Det er især resonansfrekvensen f_s ved 70 Hz som er meget interessant idet denne frekvens adskiller det **fjederstyrede område** fra det **massestyrede område**. Derudover er der blevet målt en hældning på kurven svarende til omkring +18 dB/oktav i det fjederstyrede område - altså en smule mere end den teoretiske stigning.



Figur 4.5. Teoretisk frekvenskarakteristik

¹FiXme Fatal: inkluder simulering i figuren. Derudover ville lidt teori om frekvenskarakteristikken for et lukket kabinet være lækkert, inden vi kaster os ud i målinger. Også så vi kan sammenholde teori med praksis -AB

Hvis det, som omtalt i teorien, også antages at frekvensen f_1 ligger en dekade over f_s , så svarer denne frekvens altså til 700 Hz. Herefter vil direktiviteten begynde at spille en stor rolle på frekvenskarakteristikken.

På grafen ses det også, at når CLIO-mikrofonen flyttes længere væk fra membranen, så bevarer karakteristikken nogenlunde sin form i det massestyrede område og et godt stykke ind i både området over og under i frekvensspektret. Den største forskel er dog, at karakteristikken er blevet dæmpet med omkring -30 dB. Derfor er den ovenstående kurve målt i 1 meters afstand også blevet korrigeret med +30 dB for at vise dette.²

For at eftervise at dette er korrekt, så ses der på den nedenstående formel der giver en sammenhæng mellem lydtryk og afstand fra lyd giveren:

$$L_2 = L_1 - \left| 20 \cdot \log \left(\frac{r_1}{r_2} \right) \right| \quad (4.1)$$

Hvor værdierne L_1 og L_2 er lydtryksniveauet målt i afstandene r_1 og r_2 . Hvis der ses peaken omkring den første resonansfrekvens f_s , så ligger denne ved omkring -34 dB når der måles tæt på højttaleren og -62,5 dB, når der måles i 1 meters afstand. Hvis disse værdier indsættes i den førnævnte formel, så findes der følgende:

$$-62,5 \text{ dB} = -34 \text{ dB} - \left| 20 \cdot \log \left(\frac{r_1}{1,00 \text{ m}} \right) \right| \Rightarrow r_1 \cong 3 \text{ cm} \quad (4.2)$$

Hvilket altså vil sige, at CLIO-mikrofonen har været placeret omkring 3 cm fra højttaleren. Dette virker også meget sandsynligt.

Grunden til afvigelsen i det fjederstyrede område³ kan skyldes, at dæmpningsfaktoren i luft er meget anderledes ved lave frekvenser⁴. Afvigelsen ved de højere frekvenser skyldes at direktiviten spiller ind. Det kan derfor sagtens tænkes, at CLIO-mikrofonen ikke har stået præcist vinkelret ind på højttalerens midte.⁵

4.3 Rummets karakteristik

²FiXme Fatal: Vi behøver vel ikke korrigerer? Vi skal bare holde 1m afstand-måling sammen med 1m afstand, og tæt afstand med tæt afstand

³FiXme Fatal: ift hvad? - AB

⁴FiXme Fatal: ref? - AB

⁵FiXme Fatal: Men netop de lavere frekvenser burde vel være ligeglade, da der her ikke spiller direktivitet ind (fjederstyret område) - AB

Konklusion 5

Her skal der stå noget meget klogt

Litteratur

- [1] Fountek. *FW168 Midwoofer Datasheet*, 2017.
- [2] Fountek Electronic Co. Ltd. Fountek. URL <https://www.fountek.net>. Last Visited d. 24/05-2017.
- [3] Tore Arne Skogberg. *Elektroakustik*. 2016. Bilag: Elektroakustik.pdf.