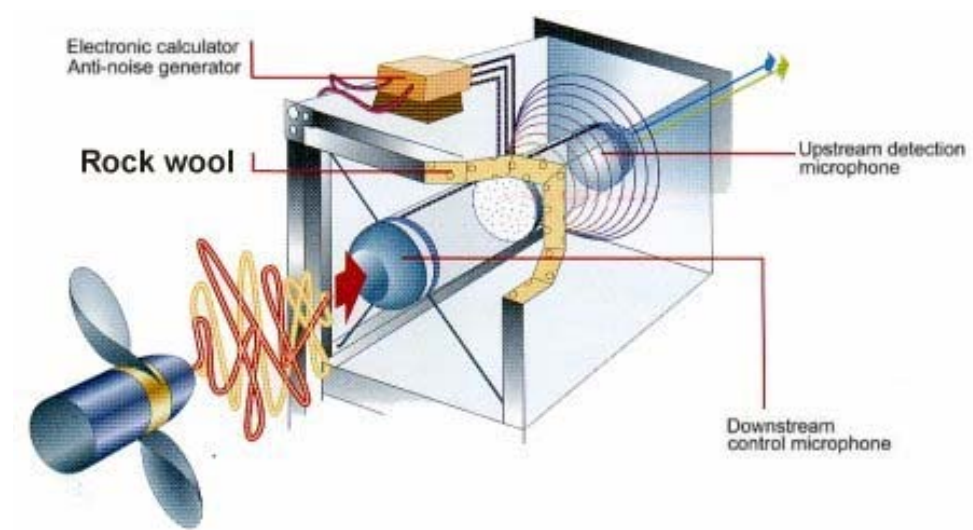


AKTIV BULLERDÄMPNING I VENTILATIONSSYSTEM



Examensarbete på programmet
Telekommunikationsingenjör
Vårterminen 2003

Tomas Bengtsson
Fredrik Tibblin

Handledare: Lars Håkansson, Sven Johansson
Examinator: Lars Håkansson



Abstract

Active headsets have been on the market for years and now it is time for something else to enter the stage. The technology of active noise reduction can for example also be used in ventilation systems for reducing ventilation noise. An active control system principally consists of four important components, namely the downstream error microphone, the upstream detection or reference microphone, the digital signal processor (DSP) and a loudspeaker.

The upstream reference microphone listens to the primary ventilation noise and sends it to the DSP which makes a phase shift to the signal and sends it to the loudspeaker. The loudspeaker sends out the opposite waveform of the incoming one and reduces the primary ventilation noise. To adjust the sound radiated from the loudspeaker so that a low residual sound level is obtained, a downstream error microphone is used. The residual sound is a sum of the primary ventilation noise and the secondary sound generated by the loudspeaker.

In noise reduction systems today there are not many systems that use the active technology. Passive silencers have low noise attenuation at low frequencies, approximately under 250 Hz, and that is why the active technology should be used. The aim with a silencer based on active noise control is to improve the reduction of the low frequency noise below 250 Hz.

In this project we also have a passive component that reduces the higher frequencies. The active control system should make the system better in the low frequency range. The use of both active and passive noise reduction at the same time makes an even better system and the goal with this work was to implement a system with high performance at a low cost.

Innehållsförteckning

<u>Innehåll</u>	<u>Sida</u>
Inledning	3
Bakgrund	4
Historik	4
Olika användningsområden	5
Vår uppställning	6
Labbkonstruktion	6
Det aktiva systemets konstruktion och uppbyggnad	6
Det aktiva systemets funktion	7
Olika labbuppställningar	9
Högtalarkonstruktion	10
Befintligt system	10
Konstruktion	10
Högtalarelement	11
Beräkningar	12
Mikrofonval	13
Bakgrund	13
Mätningar	13
Resultat	14
Högtalarkvalité	18
Resultat	18
Konfiguration 1	20
Mätningar	20
Resultat	20
Konfiguration 2	25
Mätningar	25
Resultat	25
Befintligt system	30
Technofirst	30
Produkten	30
Mätningar	31
Resultat	31
Jämförelse	32
Problem	33
Framtiden	35
Slutsats	36
Referenser	37
Bilagor	38



Inledning

Vissa delar i rapporten är borttagna p.g.a. sekretess.

Detta examensarbete drivs av Avdelningen för Signalbehandling (ASB) vid Blekinge Tekniska Högskola (BTH) i samarbete med Lindab Ventilation AB i Båstad. Detta arbete är en vidareutveckling av tidigare examensarbete vid avdelningen.

Buller finns nästan överallt i det dagliga livet. På senare tid har intresset ökat för att dämpa buller. Då gäller det inte bara buller som är skadligt för hörseln, utan även störande buller som enligt forskning påverkar oss människor negativt, t.ex. reducerar koncentrationsförmågan samt ger trötthet.

På bullerdämpningsmarknaden idag används till största delen passiva ljuddämpare som dämpar högfrekvent buller. Med passiv dämpning menas till exempel att man dämpar med hjälp av isolerande material, t.ex. glasfiberull. Det lågfrekventa bullret dämpas däremot inte i lika stor utsträckning av de passiva ljuddämparna, därför behövs den aktiva bullerdämpningen. Den aktiva tekniken använder sig av motljudsteknik för att dämpa buller. De aktiva system som finns idag är relativt dyra och dämpningen inte så bra.

Idén är att ta fram ett aktivt system som har bra prestanda till ett billigt pris. För att åstadkomma detta används vanliga produkter som finns i stor skala på marknaden. Bland annat har billiga högtalarelement och mikrofoner testats i olika konstruktioner. Innan mikrofonerna monterats har de genomgått en rad tester där resultatet jämförts med resultat erhållna av en referensmikrofon med goda egenskaper vad gäller känslighet och frekvensegenskaper. Tester och jämförelser av ett befintligt system tillverkat av Technofirst i Frankrike kommer också att presenteras.

Bakgrund

Historik

Buller är ett begrepp som det talas mer och mer om. För 100 år sedan när den gamla sortens smedjor och stenhuggeri fanns talades det inte om att skydda sig från buller. De allra flesta som jobbade under dessa förhållanden blev i stort sett totalt döva. Det är framförallt på senare tid som man ställt högre och högre krav på ljudmiljön vi vistas i t.ex. på arbetsplatser, men även i våra bostäder. Det enklaste sättet att dämpa buller är att använda sig av ”passiv” teknik. Exempel på passiv teknik är ljudreflekterande väggar eller skärmar och ljudabsorberande material t.ex. isolering. I de flesta hus och lägenheter som byggs idag finns det isolering. Den främsta uppgiften den har är att ”isolera”, det vill säga behålla värmen, men det finns även en annan uppgift som är att dämpa ljud. Genom att öka väggarnas tjocklek kan vi även dämpa ljudet.

Den passiva tekniken fungerar alldeles utmärkt för höga frekvenser. För frekvenser över 400 Hz börjar ljudvågorna bli korta så att de absorberas i exempelvis isolering. Däremot frekvenser som ligger under 400 Hz har större ljudvågor och dessa har ingen möjlighet att absorberas på samma sätt med passiv teknik. Ett bra exempel på detta är om musik spelas i ett rum som omges av isoleringsmaterial så hörs endast bastonerna om man lyssnar utanför rummet. Detta beror på att bastonerna har frekvenser under 400 Hz. Sången och gitarren har däremot frekvenser över 400 Hz och dessa dämpas av isoleringen. För att få bort de lågfrekventa signalerna behövs tjockare väggar och isolering.

Det är inte alltid musik som ska dämpas utan kanske ljudet från en maskin, ett flygplan eller ett ventilationssystem. Här kanske det inte är lämpligt att använda sig av alltför tjock isolering samtidigt som det blir skrymmande och dyrt. En annan teknik som börjar få mer och mer fäste på marknaden är den så kallade ”aktiv” bullerdämpning.

Principen bygger på att man lyssnar på det buller som finns sedan vänder man fasen på detta buller och skickar ut ett motljud, samma buller fast med omvänd fas. När buller och ”motljud” möts släcker de ut varandra till viss del. En jämförelse är en våg på havet. Skickas en likadan våg, fast med omvänd fas, mot den andra vågen släcks dessa ut.

Ett aktivt bullerdämpningssystem lämpar sig främst till att dämpa lågfrekvent buller. Detta på grund av att stor precision krävs vilket är enklare vid längre ljudvågor eftersom dessa ljudvågor inte förändras i samma utsträckning som kortare ljudvågor.

Det ljud eller buller som uppstår i ett fläktsystem kan tekniskt sett liknas vid musik. Det innehåller både låga och höga frekvenser. Det buller som har frekvenser under 200 Hz i ett fläktsystem dämpas obetydligt med passiv teknik och det är här fördelen med den aktiva tekniken kommer in.

Idén att använda aktiv bullerdämpning i fläktsystem är inte ny utan det finns redan produkter på marknaden som fungerar tillfredställande. Nackdelarna med dessa befintliga system är ganska många varför de inte fått något stort genomslag. En av de största nackdelarna är att de

har dålig prestanda till högt pris. Andra nackdelar är att luftflödet bromsas upp samt att de är klumpiga. [1]

Olika användningsområden

Fler och fler börjar få upp ögonen för denna teknik som är relativt ny. Det finns en rad olika användningsområden inte bara i ventilationssystem där den kan appliceras. Ofta härstammar ny teknik från militären, så är det även till viss del inom den aktiva tekniken och det är här den främst används idag. Piloter och även stridsvagnsförare använder idag aktiva headset.

Buller finns nästan överallt om man bara tänker efter, t.ex. i flygplan. De flesta har säkert någon gång åkt ett flygplan. I vissa flygplan är det nästan omöjligt att prata med normal nivå på rösten för att bli hörd på grund av propellrarnas buller. Därför pågår forskning med att dämpa detta buller med aktiv teknik. Högtalare och mikrofoner placeras ut i kabinen på flygplanet. Ett system som Ultra Electronics utvecklat använder sig av 37 högtalare och 72 mikrofoner och finns bl.a. installerat i flygplanstypen Saab 2000. Saab 2000 är ett turbopropellerplan för ca 50 passagerare. Dessa flygplan är bullriga och med hjälp av den aktiva tekniken reduceras bullret med ca 8 dBA. Vilket är en markant ändring!

Ett annat område där den aktiva tekniken sannolikt kan få stor betydelse är inom den skärande verkstadsindustrin. När man använder en skärande maskin, exempelvis en svarv, uppstår vibrationer i materialet man skär i. Dessa vibrationer gör så att smalbandigt buller skapas. När materialet vibrerar blir ytan där man svarvar räfflig och ojämn. Med hjälp av aktiv teknik kan detta fenomen reduceras markant vilket leder till jämnare yta på materialet och dämpning av ljudet.

Mobiltelefoner används idag i stor utsträckning. Mobiltelefoni och bilkörning talas det mycket om idag på grund av olycksrisken. Användandet av handsfreesystem har därför blivit intressantare, men även här finns problemet med buller från bilen. Forskning bedrivs för att reducera kupébullret dels för att få bättre talkvalité samt för att minska kupébullret för att öka ljudkomforten i bilen.

Ovan ges några tillämpningsområden för den aktiva tekniken, men det finns även andra t.ex. dämpning av buller i fläktsystem. Det är inte bara bullerskador som den aktiva tekniken ska förebygga. I svarvmaskinen kommer tekniken att leda till en bättre produkt kan tillverkas. Ett fläktsystem har sällan bullernivåer som är skadliga för örat, men brummet är störande samt finns bevis på att människor påverkas negativt av lågfrekvent buller.

Experimentuppställning

Labbkonstruktion

För att komma så nära verkligheten som möjligt har ett riktigt fläktsystem använts. Bullret från fläkten och luftflödet utbreder sig i ett ca 15 meter långt rör med en rad 90 graders krökar. Rören har cirkulärt tvärsnitt och diametern är 31,5 cm. Den fläkt som används är en kanalfläkt och finns väl utbredd på marknaden (fig.1). För att kunna reglera och ställa in luftflödet finns ett spjäll monterat efter fläkten. Maximal strömningshastighet på luften genom röret är ca 6m/s. Med denna uppställning kommer man i stort sett så nära verkligheten som möjligt. Tanken är att den aktiva dämpningen appliceras i slutändan på röret, men under arbetets gång har olika placeringar testats (fig. 2).



Fig. 1 Fläkten i början av systemet



Fig. 2 Slutändan på systemet

Det aktiva systemets konstruktion och uppbyggnad

Det aktiva bullerdämpningssystemet består av en referensmikrofon, en felmikrofon och högtalare som genererar motbuller. Dessa är i sin tur kopplade till en dator utrustad med en signalprocessor (DSP – Digital Signal Processor) som utför beräkningarna samt styr systemet.

Referensmikrofonen placeras i slutet av fläktsystemet några meter framför motljushögtalaren. Dess uppgift är att plocka upp bullret från fläkten. Placeringen av denna mikrofon är mycket viktig för att få så bra resultat som möjligt. Resultat för olika placeringar av referensmikrofonen redovisas senare i rapporten. Efter motljushögtalaren placeras en felmikrofon som lyssnar på summan av buller och motbuller. Denna signal används för att ställa in systemet och skickas i sin tur tillbaka till DSP:n som utför beräkningar för att nå den bästa dämpningen (fig.3a). Styrkan med konstruktionen på detta system är att det är adaptivt d.v.s. systemet är självinställande. I praktiken innebär detta att om bullrets karaktär förändras sig ställer systemet in sig automatiskt efter förändringen.

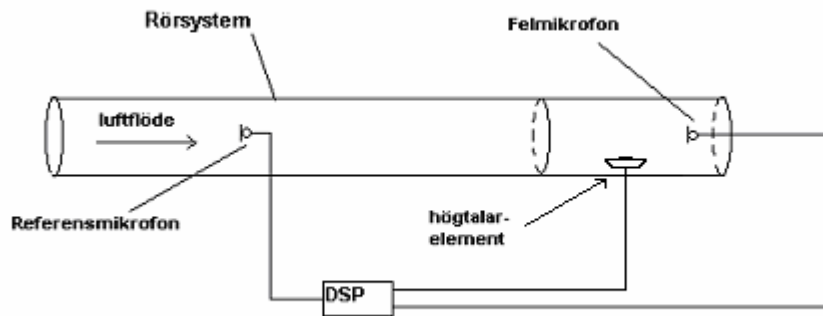


Fig. 3a Generell konstruktion av det aktiva systemet

Det aktiva systemets funktion

Tanken är att inte ge en fullständig inblick hur systemets olika delar och algoritmer fungerar utan ge grundläggande begrepp hur de ska implementeras. För de som är intresserade finns utförligare beskrivning [2][3].

Den algoritmen som systemet använder sig av heter filtered-x LMS (Least Mean Squares) algoritmen [2]. Denna algoritmen är i stort sett samma som en standard LMS-algoritmen. Denna algoritmen kan ses som hjärnan i systemet. Ett blockschema för det aktiva systemet ges i fig. 3b. Signalen $x(n)$ är signalen från referensmikrofonen, $y(n)$ är signalen till högtalaren, $y_c(n)$ är motljudet vid mikrofonen, $d(n)$ är odämpad buller, $e(n)$ är felmikrofon signalen. I figuren symboliserar C överföringsfunktionen mellan högtalare och felmikrofon samt C^* är en uppmätt skattning av motsvarande överföring.

Det som händer i praktiken är att felet multipliceras med insignalvektorn och steglängden. Tecknet och storleken på felsignalen gör att filterkoefficienterna närmar sig ett optimum. Steglängden styr hur snabbt algoritmen konvergerar.

Filtered-x LMS algoritmen ges av ekvationerna: (fig. 3b)

$$y(n) = w_n^T x(n)$$

$$e(n) = d(n) + y_c(n)$$

$$w_{n+1} = w_n - \mu e(n) x_c^*(n)$$

$$x_c^*(n) = [x_c^*(n), \dots, x_c^*(n-I+1)]^T$$

$$x_c^*(n) = \sum c_i^* x(n-i) \quad \text{då } 0 < i < I-1$$

Där $x(n)$ är insignalvektorn, $e(n)$ är felsignalen mellan den skattade signalen och den önskad, w_n är koefficientvektor och μ är steglängden. $x_c^*(n)$ är den filtrerade referenssignalvektorn, och den erhålls genom att referenssignalen filtreras med estimatet av överföringsfunktionen mellan högtalaren och felmikrofonen.

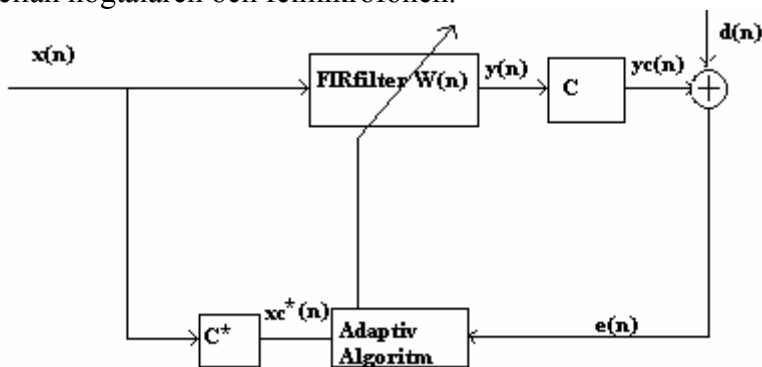


Fig. 3b. Modell av aktivt system där filtered-x LMS algoritmen används

När ljudet färdas genom fläktsystemet förändras det beroende på hur rörkonstruktionen ser ut, man kan säga att ljudet filtreras. För att få det aktiva systemet att fungera måste denna filtrering skattas i förväg, alltså hur mycket ljudet förändras från referensmikrofonen till högtalaren. Samma gäller för felmikrofonen.

Själva tekniken går ut på att man exciterar systemet med en känd insignal och sedan mäter utsignalen. Skillnaden mellan dessa jämförs vilket då ger systemets överföringsfunktion eller impulssvar. Detta kan även kallas skattning eller systemidentifiering. Ett bra sätt att göra en skattning är att använda ett adaptivt filter. Fördelen med denna är att om överföringsfunktionen skulle ändras kan enkelt en ny skattning utföras. En annan fördel är att om bullret förändrar sig så ställer systemet om sig automatiskt för att utföra maximal dämpning.

För att filtered-x algoritmen ska fungera korrekt måste en skattning göras både för kanalen mellan högtalaren och felmikrofonen samt högtalaren och referensmikrofonen. Skattningen i fläktsystemet görs genom att man sänder ut vitt brus, som är filtrerat genom ett lågpasfilter, ur motljudshögtalaren. Lågpasfiltren används som antivikningsfilter eftersom samplade signaler används i beräkningarna.

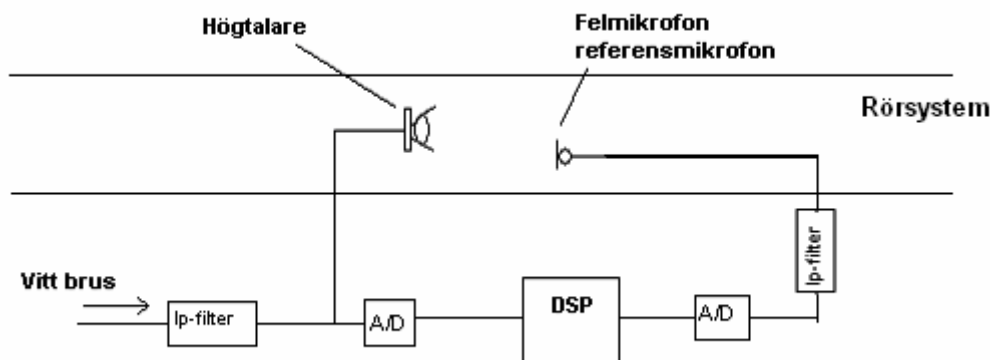


Fig. 4 Systemidentifiering av fläktsystemet

För att nå ett bra dämpningsresultat krävs att koherensen mellan det odämpade bullret vid felmikrofonen, signalen $d(n)$ och referenssignalen $x(n)$ ligger på rimlig nivå, vilket tydligt syns i resultaten senare i arbetet. Koherensen är ett mått på linjäriteten mellan dessa signaler. Då koherensen är ett, är det linjära förhållandet mellan signalerna perfekt och om koherensen är noll existerar ingen linjäritet. En teoretisk dämpning av bullret $d(n)$ vid frekvensen f kan beräknas med hjälp av följande ekvation.

$$A(f) = -10 \log_{10}[1 - \gamma_{dx}^2(f)] \text{ dB}$$

Där $\gamma_{dx}^2(f)$ är koherensen mellan det odämpade bullret vid felmikrofonen, signalen $d(n)$, och referenssignalen $x(n)$. Exempelvis en koherens $\gamma_{dx}^2(f) = 0.9$ ger en dämpning på 10 dB.

Olika labbuppställningar

De mål som legat i fokus vid designen av de aktiva dämparna har dels varit att reducera kostnaderna, samt att undvika att påverka luftflödet, men inte på bekostnad av sämre prestanda.

Olika sorters konstruktioner har gjorts där en passiv ljuddämpare placerats på olika ställen på fläktsystemet och även där det aktiva systemet flyttats.

Mikrofoner, billigare och dyrare, samt egna konstruktioner av högtalare har implementerats. Även kvalitetsmätningar på denna utrustning har genomförts. Genom att göra förändringar i rörsystemet kommer resultatet från olika mätningar visa hur detta påverkar de akustiska egenskaperna, som i sin tur påverkar resultatet. Mätningar på ett befintligt aktivt system som finns på marknaden idag har utförts i samma miljö som det här systemet. De olika labbuppställningarna kommer att presenteras i nästa avsnitt.

Högtalarkonstruktion

Befintligt system

Det system som fanns uppbyggt från tidigare examensarbete [3] använde sig av en högtalare av det dyrare slaget, samt var placerad så att luftflödet bromsades upp till viss del. För att få fram en billigare variant till motljudshögtalare bör vanliga produkter användas som finns i stor skala på marknaden.

Istället för att ha en separat högtalare integreras istället högtalaren in i rörsystemet.

Detta leder till enklare placering av motljudshögtalaren på fläktsystemet. En annan fördel är att luftflödet inte påverkas nämnvärt. Många av de aktiva bullerdämpningssystem som finns på marknaden idag har en betydande bromsande effekt på luftflödet.[1]

Konstruktion

Konstruktionen av högtalarsystemet som togs fram i examensarbetet består av ett högtalarelement och en högtalarlåda. Högtalarlådan består av samma typ av material som hela systemet. Det är ett cylindriskt rör med en viss längd för att få fram den specifika volymen för det valda elementet. Det är viktigt att rätt volym räknas ut för att få en effektiv högtalare. I den ena änden på det cylindriska röret sitter högtalarelementet och den andra sidan är helt sluten och tätad med silikon.

Högtalarelement

På marknaden finns det många olika sorters högtalarelement, både dyrare och billigare. Frekvensområdet för det aktiva systemet är mellan 30–400Hz. Viktiga egenskaper vid val av högtalarelement är att elementet är linjärt i detta område, att det inte genererar betydande övertoner samt att högtalaren kan återge det ljudtryck som krävs.

I detta system har två olika sorters element använts. Dessa element har goda egenskaper i det aktuella frekvensområdet i förhållande till priset. Kvalitetsmätningar på högtalarna redovisas senare.

För att beräkna den optimala volymen på högtalarlådorna behövs en rad parametrar som är specifika för varje högtalarelement.

Följande parametrar är viktiga att känna till vid design av högtalarlådorna:

Vb: Högtalarlådans volym i liter. Vid design av högtalarlådor är det denna volym som söks.

Vas: Vas kallas också ekvivalent volym och mäts i liter. Detta är ett värde som anger hur stor lådvolym högtalaren motsvarar eller kan liknas vid. Det är upphängningens hårdhet i förhållande till elementets storlek som styr Vas. Är elementet mjukt upphängt blir Vas stort och är elementet hårt upphängt blir Vas lågt.

Q: Hur benäget något är att självsvänga kallas Q-värde, ju högre Q-värde desto mer resonansbenäget är elementet. De flesta högtalare har Q-värden under 1. Detta värde skall vara helst runt 0,7 för optimalt system.

Qms: Mekaniskt Q värde, betecknas med Qms. Detta värde är det Q-värde membranet och upphängningen visar vid resonansfrekvensen.

Qes: Högtalarens elektriska Q-värde beror på de elektriska komponenterna i högtalaren t.ex. spole, kondensator och resistorer. Dessa komponenter bildar en elektrisk resonanskrets som påverkar karakteristiken hos högtalaren.

Qb: I slutna system som används i dessa konstruktioner är detta värde fördefinierat till 0,707 men kan ligga mellan 0,5-1. Detta värde påverkar elementets frekvensgång. Ett högt värde ger en snabb och snärtig bas medan ett lågt värde ger en djup och fyllig bas.

Qts: är en sammanslagning av Qms och Qes enligt $Q_{ts} = Q_{ms} Q_{es} / (Q_{ms} + Q_{es})$

Beräkningar

Det finns många olika sorters konstruktioner på högtalarlådor man kan använda sig av. Varje enskild konstruktion har sina speciella egenskaper. För detta ändamål lämpar sig den slutna konstruktionen bäst på grund av att den är enkel att bygga. Detta leder i sin tur till att komplexiteten och tillverkningskostnaden hålls nere. Sluten konstruktion hörs nästan på namnet vad det innebär. Det menas med att lådan är helt sluten.

För att nå den optimala konstruktionen för högtalarlådan måste en rad ekvationer användas som baseras på högtalarens parametrar.

Högtalarlådans volym V_b beräknas fram genom följande ekvationer:

$$Q_r = (1/Q_{ts}) / (1/Q_b - 0.1)$$

Q_r är ett förhållande mellan Q_b och Q_{ts}

$$V_r = Q_r^2 - 1$$

V_r är ett förhållande mellan V_b och V_{as}

$$V_b = V_{as} / V_r$$

Resultatet på beräkningarna finns dokumenterade i bilaga A.

Mikrofonval

Bakgrund

Vid inledningen av examensarbetet fanns en färdig uppställning av systemet och komponenterna i det systemet är för dyra och ej lämpade för en eventuell produkt i framtiden. Mikrofonen som satt i systemet från början är väldigt dyr och målet är att minska den kostnaden till en så låg summa som möjligt. Till att börja med användes två stycken olika enkla mikrofoner. Därefter konstruerades liknande uppställningar för båda två, så de går att jämföra med varandra. Uppställningen syns på figur 8. Till en början användes en väldigt dyr referensmikrofon, den var bara till för att få en uppfattning om hur bra de två andra mikrofonerna egentligen var. De två enkla mikrofonerna som inhandlades var betydligt billigare. Mer om mikrofonernas karaktär i bilaga B.

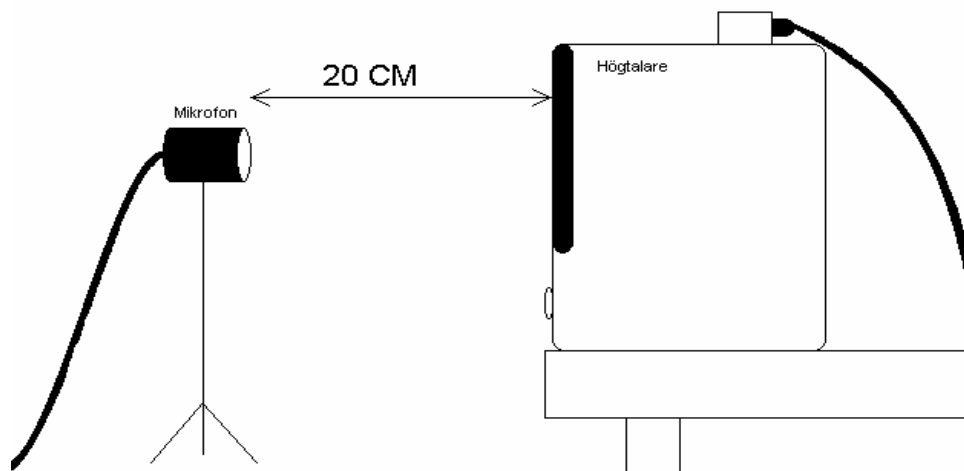


Fig. 8 THD-mätning

Mätningar

De första mätningarna gjordes med referensmikrofonen och en standardhögtalare som användes i nästan alla mätningar som gjorts under examensarbetets gång. De sorters mätningar som utfördes på mikrofonerna var THD-mätningar respektive koherensmätningar. THD står för Total Harmonic Distorsion och är ett mått på hur mycket en signal förvrängs i procent.

$$\%THD = \frac{\sqrt{H_2^2 + H_3^2 + \dots + H_N^2}}{\sqrt{H_1^2 + H_2^2 + H_3^2 + \dots + H_N^2}} \times 100$$

Där H_1^2 är grundtonseffekten och H_h^2 $h=2, 3, \dots, N$, är effekten hos övertonerna. Formeln anger hur mycket av den totala effekten som ligger i övertonerna.

Denna mätning gjordes för grundtonen samt de två första övertonerna, alltså $N=3$. Resultat från dessa mätningar visas i figurerna 9-11. Det man kan se i figur 9-11 är effekten hos de två första övertonerna. Övertoner som högtalaren genererar, Genom figurerna får man ett mått på hur bra våra mikrofoner uppfattar dessa övertoner jämfört med referensmikrofonen.

Med hjälp av THD kan man inse ungefär hur linjära mikrofonerna är och alltså ungefär hur bra kvalitet det är på dem. Koherensen mättes mellan dels referensmikrofonen och mikrofon 1, figur 13, samt referensmikrofonen och mikrofon 2, figur 14. Med koherens menas

överensstämmelsen mellan de uppfattade tonerna hos de båda mikrofonerna, detta är en mycket effektiv mätning och ger ett mått på hur bra våra billiga mikrofoner uppfattar signalerna.

Resultat

Resultatet var lite förvånade, ett par billiga mikrofoner var i princip lika bra som referensmikrofonen. Det blev inte så stor skillnad på referensmikrofonens kvalitet i jämförelse med de billiga mikrofonerna i det aktuella spektrat. I figur 9 ser man hur linjär referensmikrofonen är. Jämförs sedan detta med resultaten från de två övriga mikrofonerna inser man ganska snabbt att de inköpta mikrofonerna är tillräckligt effektiva för denna uppställning. Den största skillnaden ser man i koherensmätningarna, man förstår här att mikrofon 1 är den som kommer att användas för fortsatt utveckling.

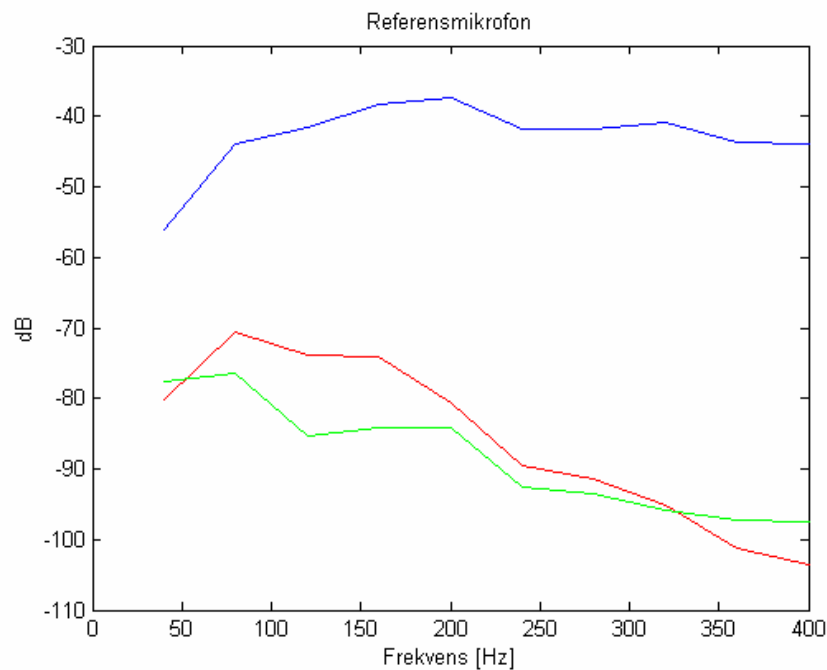


Fig. 9

Den blå kurvan är grundtonens THD, den röda är första övertonen och den gröna den andra övertonen.

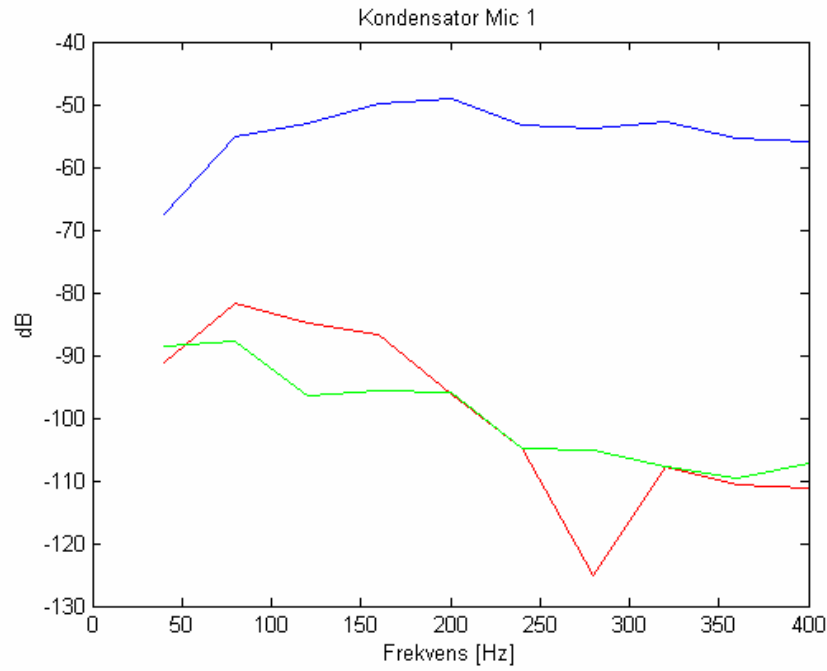


Fig. 10
Man ser en undertryckning av 280 Hz tonens första överton.

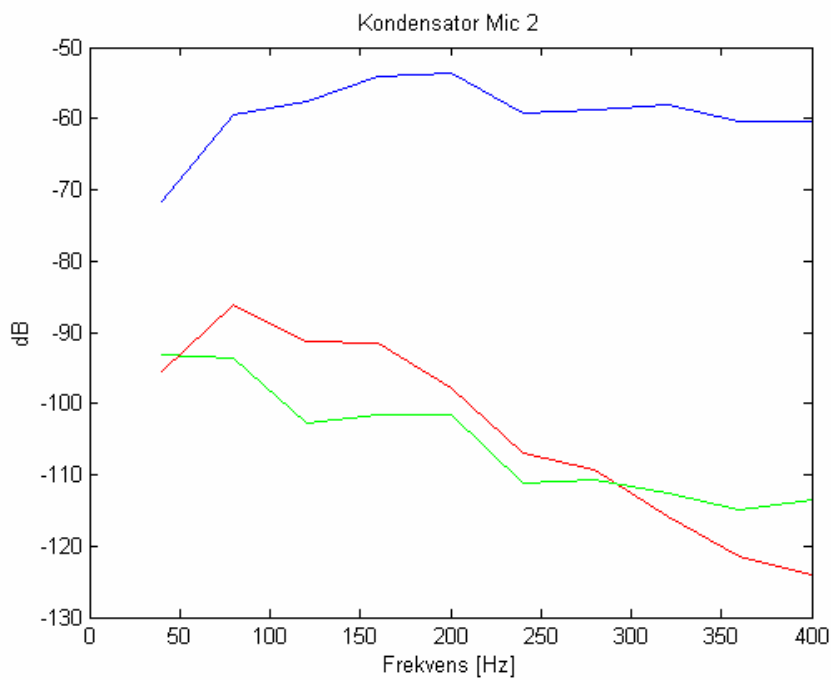


Fig. 11
Här inser man att mikrofon 2 inte uppfattar signalstyrkan lika bra som mikrofon 1, mikrofon 1 ligger i genomsnitt ca. 5 - 8 dB högre än mikrofon 2.

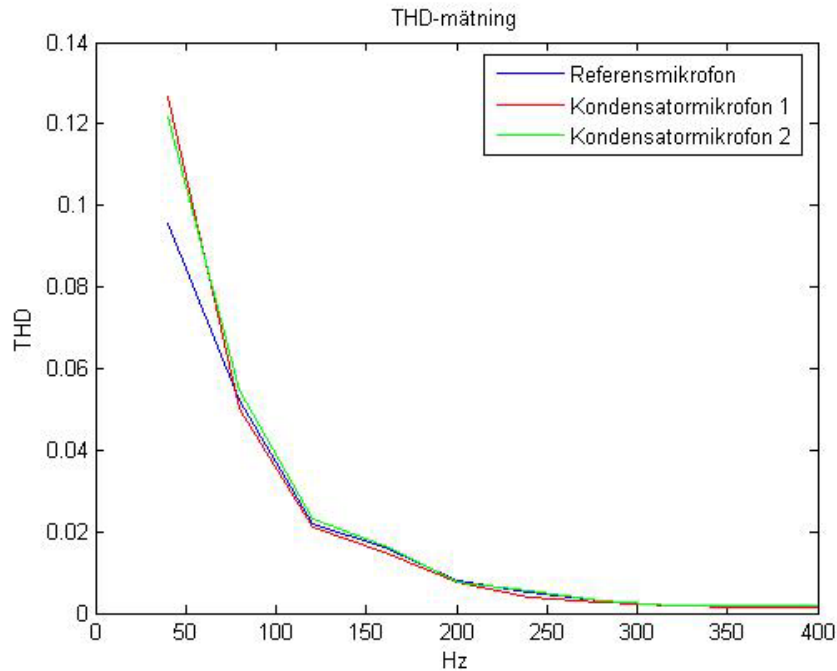
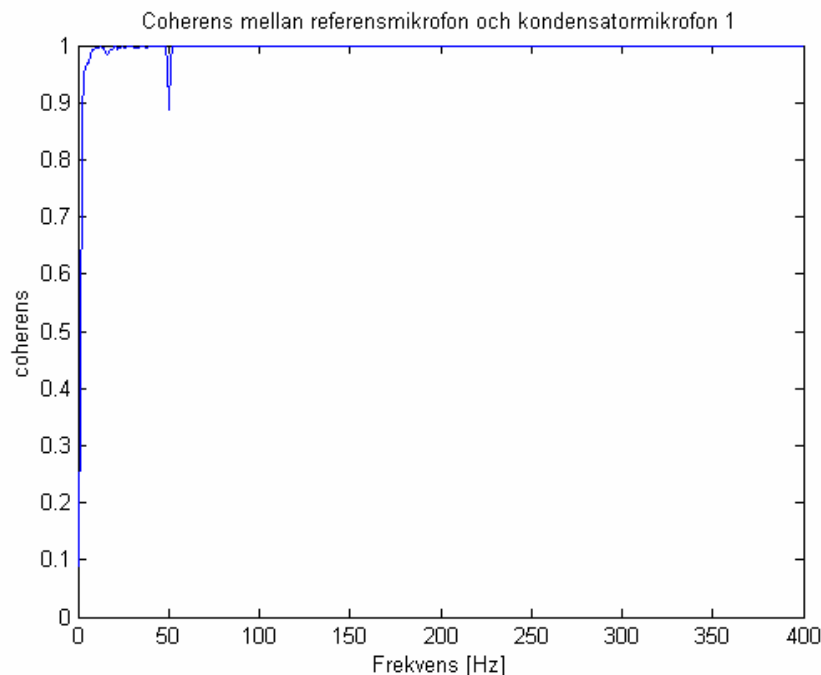


Fig. 12

THD plottat med avseende på frekvensen. Ex. 0.08 på THD axeln står för 8% THD.

Ovan ser man ett diagram med THD som funktion av frekvensen och ur detta diagram ser man att det endast är vid 40 Hz som de billiga mikrofonerna inte är lika bra som referensmikrofonen. Ur plottarna 10 och 11 ser man att mikrofon 2 inte är lika känslig som mikrofon 1. Nivåerna för mikrofon 1 ligger i genomsnitt ca 5 - 8 dB högre än för mikrofon 2. Resultatet på THD-mätningarna var inte avgörande för vilken mikrofon som senare visade sig vara bäst för ändamålet. Men man inser ändå att förutom vid 280 Hz-tonen så uppfattar mikrofon 1 signalen betydligt bättre än mikrofon 2. Koherensmätningarna visar tydligare varför just valet blev mikrofon 1. Koherensmätningarna visas i figur 13 och figur 14.



Figur 13

Förutom en liten dipp vid ca 50 Hz så är koherensen nästintill perfekt.

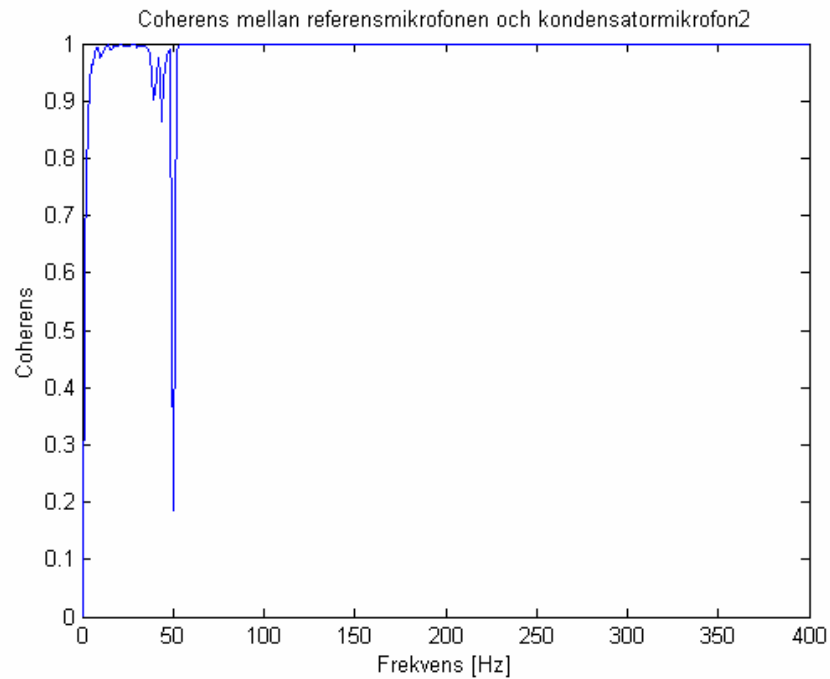


Fig. 14

Här visas en klart tydligare dipp upp än vid föregående försök.

Beslutet blev efter dessa övertygande mätningar att låta mikrofon 1 vara den som skulle användas flitigast, men även göra några mätningar med mikrofon 2 för att se om den kanske passade bättre in i systemet. Ytterligare en fördel med mikrofon 1 var att den var fukttålig och därför kan sitta i en lufttrumma som kanske då och då får in väldigt fuktig luft.

Högtalarkvalité

Resultat

Både den stora och den lilla högtalaren användes men inga större optimeringar angående uppställningen gjordes i övrigt. Den passiva dämparen sitter i dem här mätningarna före alla de aktiva komponenterna, mer om just detta på sidan 20. Till en början så anade man att den stora högtalaren skulle kunna dämpa det lågfrekventa bullret bättre än den lilla och den gissningen visade sig helt riktig. Resultaten med den egna konstruerade högtalaren var minst lika bra som med högtalaren för 3000 kr. Man ser tydligt i figur 16 och figur 17 att den lilla högtalaren dämpar betydligt sämre än den stora.

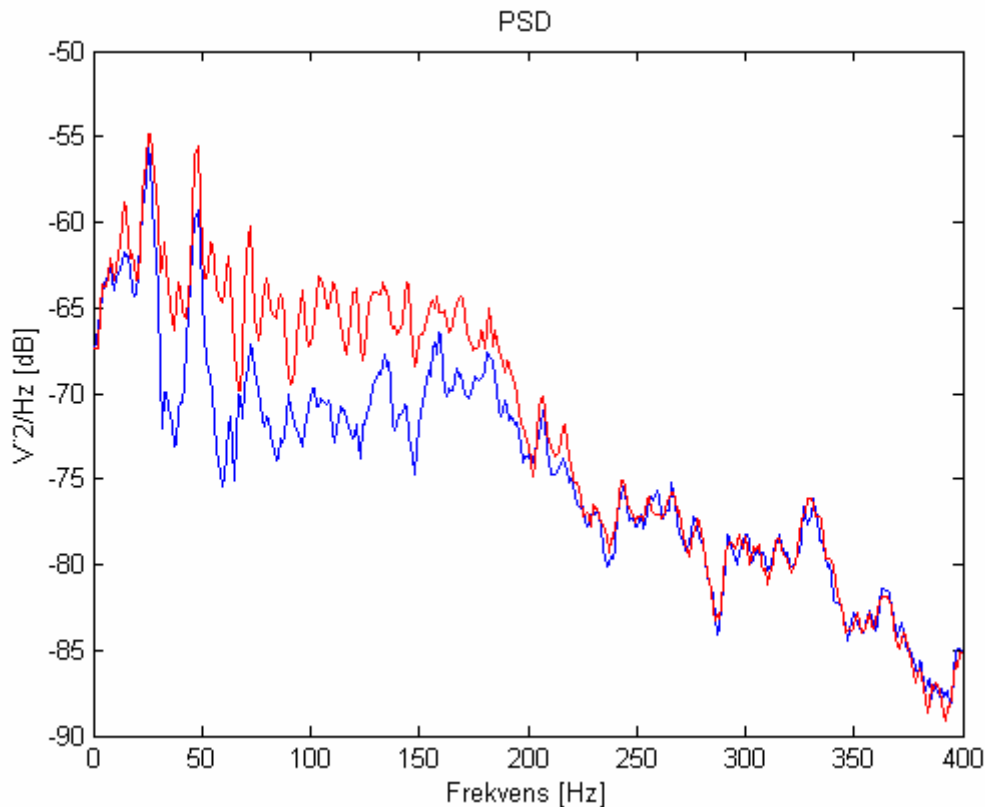


Fig. 16
Här ser man hur bra den lilla högtalaren tar bort buller.

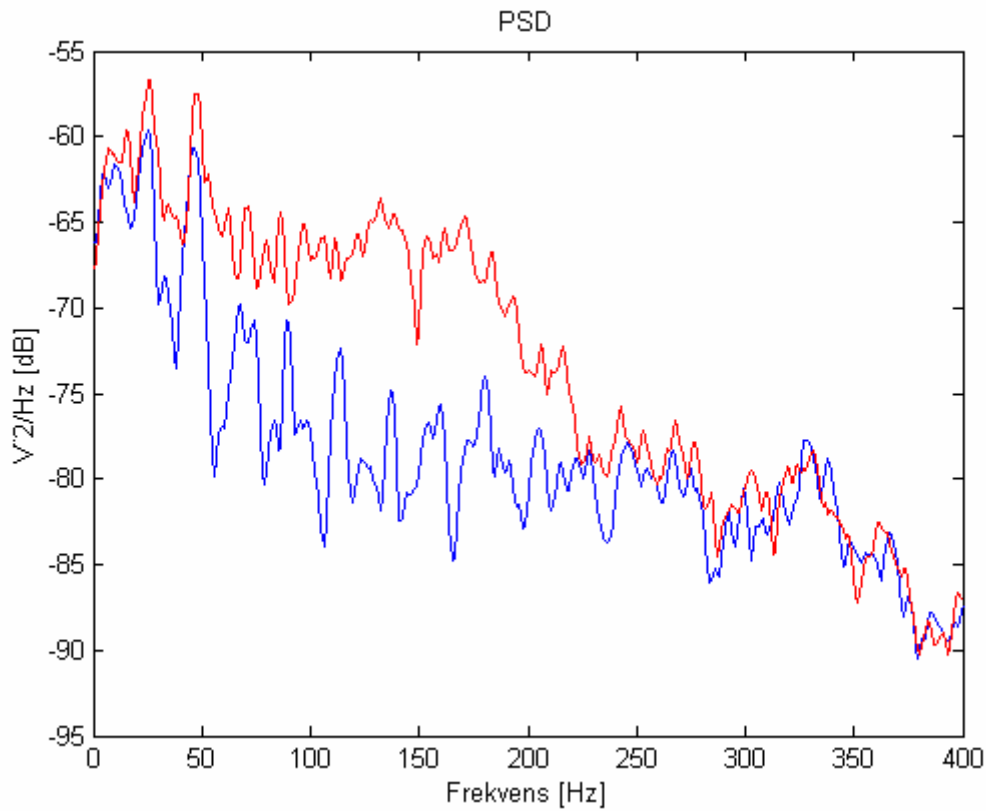


Fig. 17
Här ser man hur bra den stora högtalaren tar bort buller.

Konfiguration 1

Mätningar

Mätningarna gick till på följande sätt: den passiva dämparen satt cirka 15 meter ifrån felmikrofonen och referensmikrofonens avstånd ifrån felmikrofonen varierades. Mätningarna utfördes på avstånden 10m, 7,50m, 5,80m och 4,30m mellan referens- och felmikrofonerna. Den bakre av dessa två mikrofoner, den så kallade referensmikrofonen flyttades fram i systemet så att avståndet mellan mikrofonerna minskade. Det gjordes även en massa koherensmätningar mellan dessa mikrofoner. Små ändringar gjordes i systemet under tiden som mätningarna utfördes, till exempel byttes mikrofonerna till de billigare varianterna och byte skedde även mellan stor och liten högtalare.

Resultat

Till att börja med så var referensmikrofonen ca 10m ifrån felmikrofonen. De dyra mikrofonerna placerades in i röret och en ytterligare mikrofon placerades vid rörmynningen för att mäta upp hur mycket dämpning systemet klarar av och även för att mäta grundnivån när det aktiva systemet inte är igång. Högtalaren som användes var vår egna stora högtalare. Resultatet ser man nedan i figur 19.

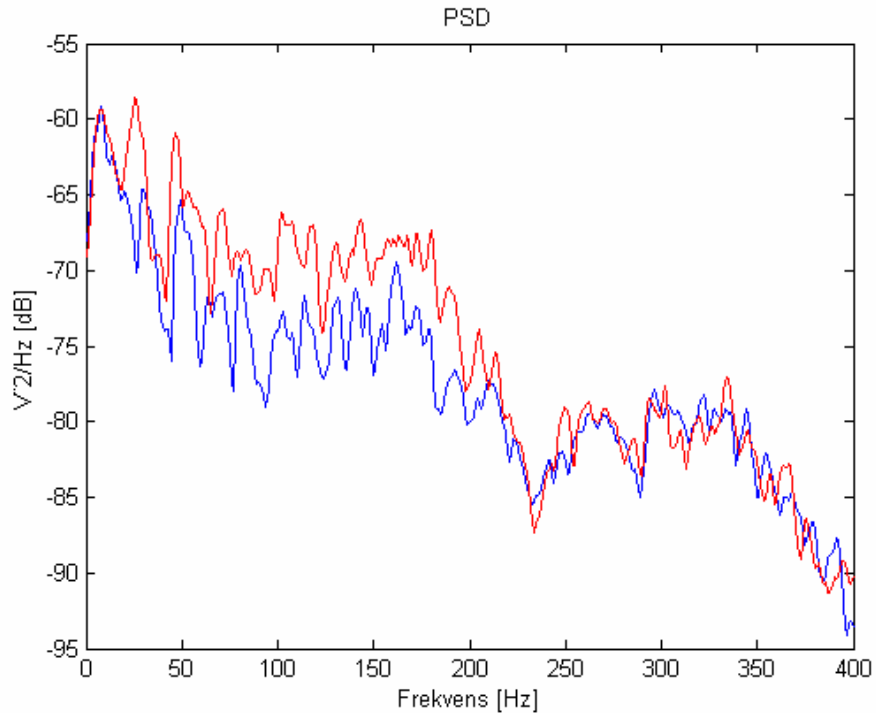


Fig. 19

Resultatet i den första mätningen var inte bra. Det blev väldigt dålig dämpning, endast cirka 5 dB. Efter detta började genast undersökningen till varför dämpningen blev så pass dålig och det visade sig att detta berodde på det långa avståndet mellan referens- och felmikrofon. Koherensen var absolut för dålig för fortsatta mätningar på 10m. Därför beslutades att minska avståndet till cirka 7,50m. Koherensmätningar utfördes mellan mikrofonerna och gav följande resultat, se figur 20.

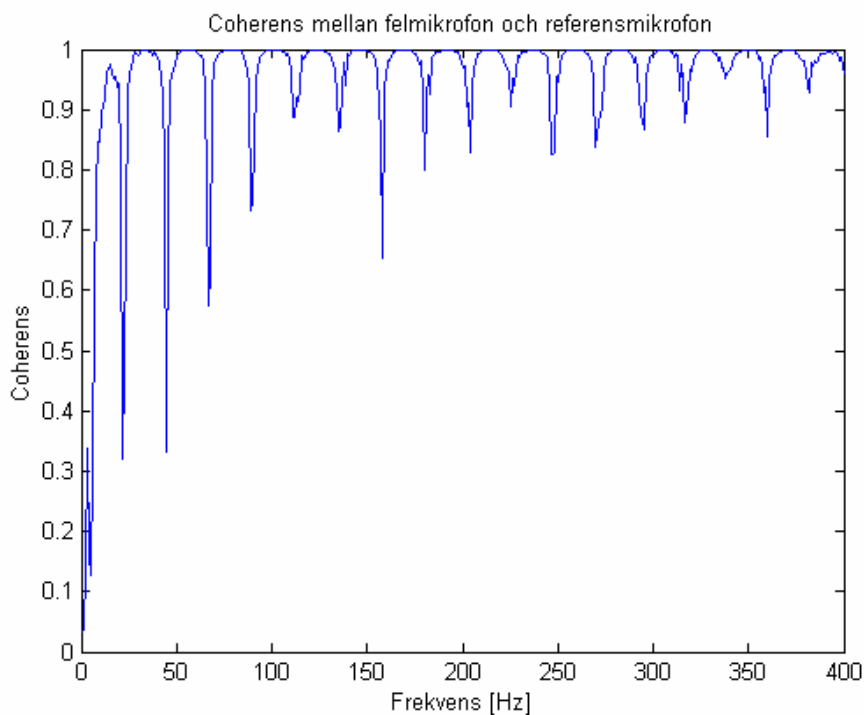


Fig. 20

Man ser tydligt hur det är en ljudvåg som reflekteras i röret, vilket ger upphov till en våg som propagerar mot strömningsriktningen. När ljudvågen medströms och motströms interfererar med varandra erhålles ett så kallat stående våg mönster i röret med tryckbukar och trycknoder. Då en mikrofon hamnar i en trycknod så är mikrofonsignal liten för motsvarande. I det här fallet är det stora dippar i koherensen med ekvidistanta avstånd på ungefär 23 Hz, vilket reducerar dämpningen vid dessa frekvenser. Eftersom koherensen blev så dålig på detta avstånd bestämdes att minska det ännu mer och avståndet minskades så långt som till 4m 30cm. Då blev koherensen följande, se figur 21

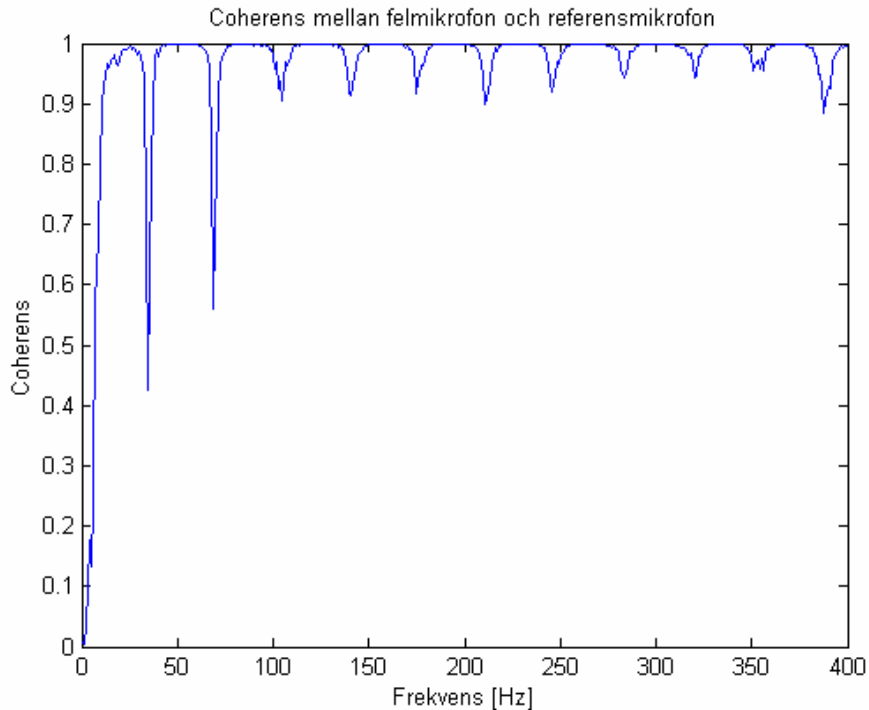


Fig. 21

Nu ser man koherenser minskar för frekvenser med det ekvidistanta avståndet på ca 34 Hz. Men den här koherensen är bättre än den som mätningarna gav på 7m 50cm. Därför utfördes en riktig mätning med den stora högtalaren, de dyra mikrofonerna samt med och utan bakkanalskompensering.

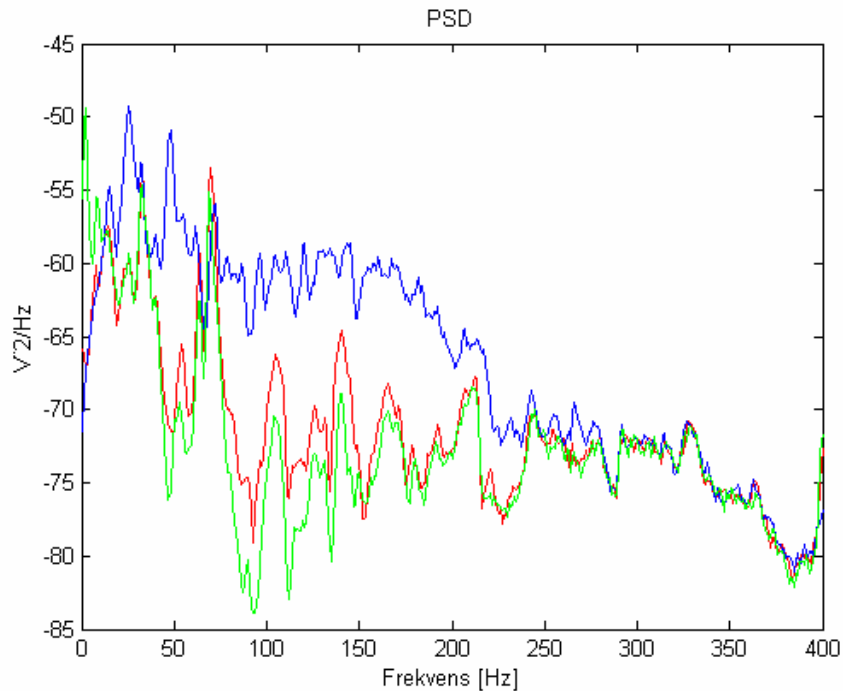


Fig.22

Den blåa kurvan är helt utan aktiv dämpning, den röda är med aktiv dämpning och den gröna är med aktiv dämpning och bakkanalskompensering. Resultatet i det här försöket är relativt bra. Dämpning med mellan 10 och 20 dB över nästan hela det intressanta frekvensområdet, helt godkänt. Den sista mätningen som gjordes med den passiva dämparen före det aktiva systemet var liknande de andra mätningarna men de dyra mikrofonerna byttes ut mot de billiga mikrofonerna och därefter utfördes både koherens- och dämpningsmätningar. Resultaten visas i figur 23 och figur 24.

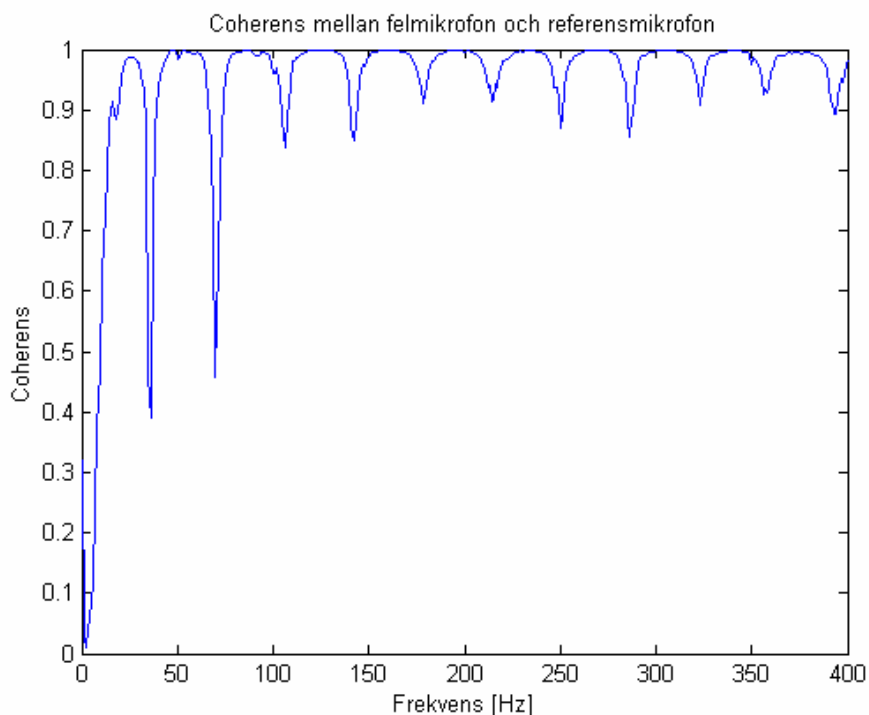


Fig. 23

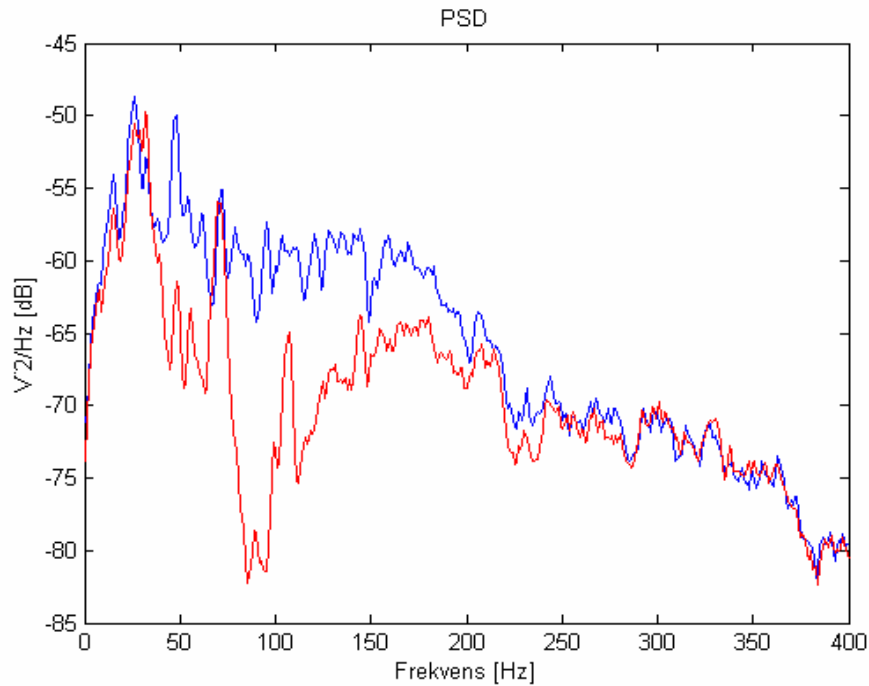


Fig. 24

Resultatet med de billiga mikrofonerna blev överraskande bra, detta innebar att i fortsättningen gjordes mätningar med enbart dessa mikrofoner. I figur 24 ser man att dämpningen ligger någonstans mellan 10 och 20 dB i det frekvensområde där intresset är störst, d.v.s. mellan 50-200 Hz. Vilket är jämförbart med den dämpningen som uppmättes med de dyra referensmikrofonerna och i figur 23 ser man att koherensen är snarlik den koherens som mätningarna med de dyra mikrofonerna. Detta var ett mycket bra resultat.

Bakkanalskompensering är ett digitalt filter som har en dämpande effekt på ljudet som kommer från motljudshögtalaren, vilket leder till att "rundgång" i systemet minimeras [3, 4, 5].

Konfiguration 2

Mätningar

Mätningarna gick till på följande sätt. Referensmikrofonens avstånd ifrån felmikrofonen valdes konstant till 5,80m, en av mätningarna utfördes på avståndet 5,20m. Därefter ersattes en efter en av komponenterna i systemet, med början av högtalaren. Efter det implementerades mikrofonerna och till slut kördes alltihop med de billiga komponenterna. Mätningarna som utfördes var i huvudsak bullermätningar med och utan bakkanalskompensering, men mätningar gjordes även när det aktiva systemet var avstängt. Detta på grund av att man ska få en utgångsnivå på hur högt bullret är ifrån början. Det utfördes även några koherensmätningar på mikrofonerna och dessa blev naturligtvis bättre än de med de dominerande stående våg förhållandena i föregående avsnitt.

Resultat

Till att börja med så var referensmikrofonen 5,20m ifrån felmikrofonen. Användandet av de konstruerade högtalarna och mikrofonerna ökade och resultaten blev överraskande bra. Den första mätningen var en koherensmätning mellan de fukttåliga mikrofonerna. Resultatet från koherensmätningarna kan ses i figur 26.

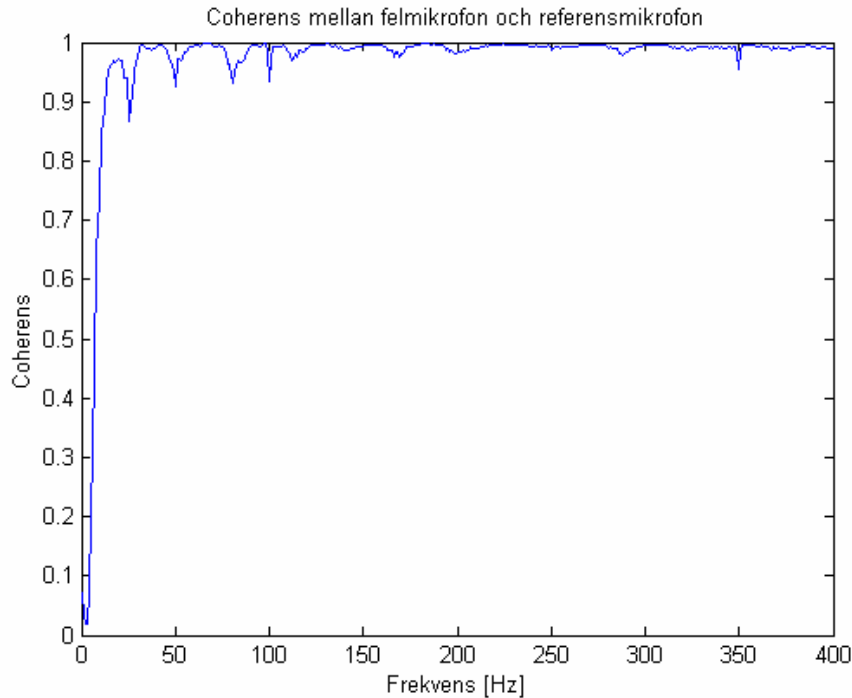


Fig. 26

Resultatet är bra och koherensen är definitivt bättre än i det fallet när den passiva dämparen låg framför de båda mikrofonerna. Efter koherensmätningen utfördes mätningar på det fullständiga systemet som tagits fram med installation och körning av våra komponenter i en riktig miljö. Resultatet blev att bullret som fanns ifrån början nästintill försvann och kunde knappt uppfattas med ett mänskligt öra. Nedan ser man hur bra dämpningen egentligen blev, mellan 15 och 25 dB dämpning i frekvensområdet 40-300 Hz.

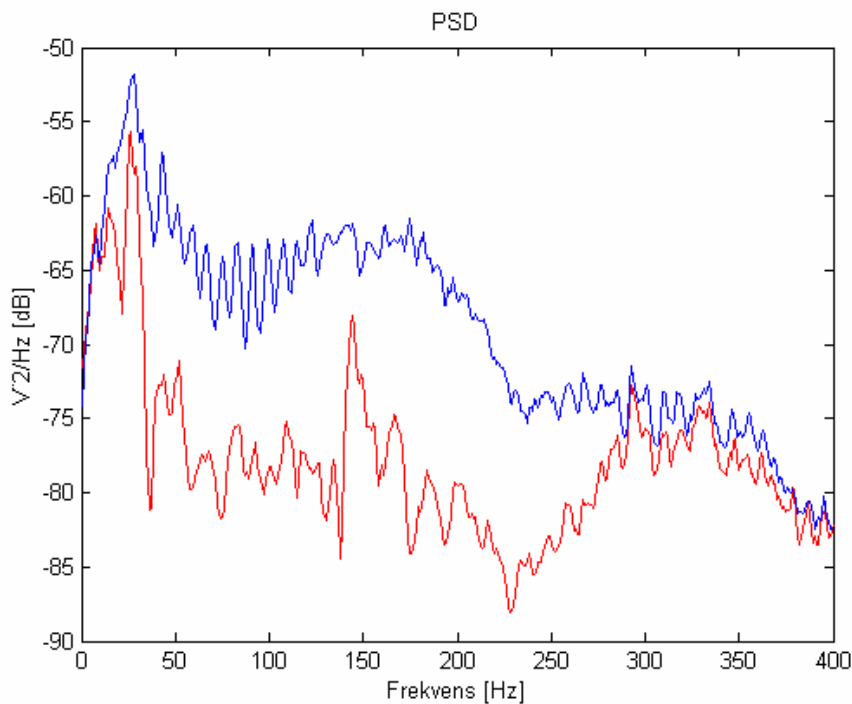


Fig. 27

I nästa mätning användes avståndet 5,80m och mätningarna gick till på liknande sätt. Först uppmättes koherensen, se figur 28, sen buller utan aktiv dämpning och sist med den aktiva dämpningen påslagen. För övrigt användes bakkanalskompensering i den här mätningen.

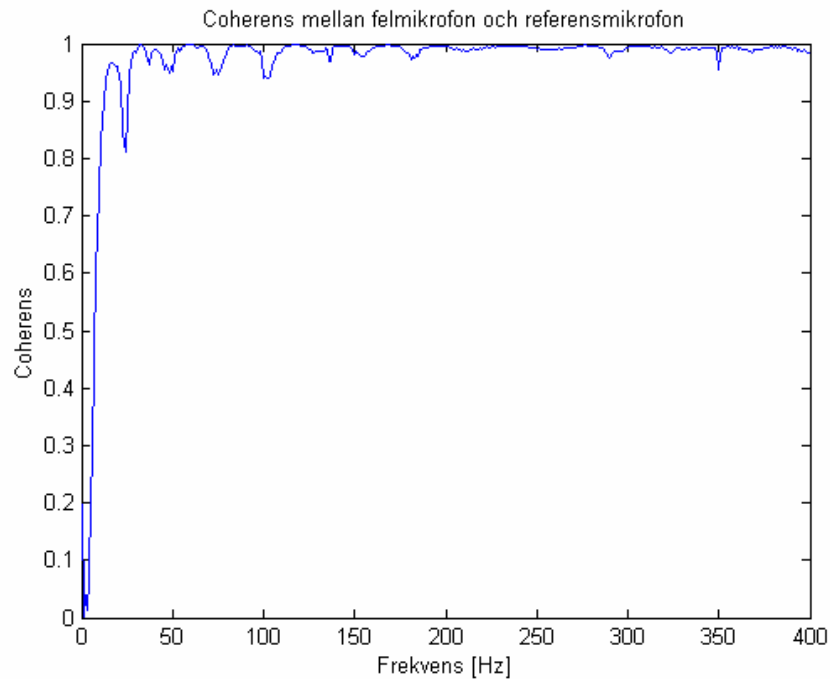


Fig. 28

Koherensen har inte ändrat sig så mycket om man jämför med 5,20m fallet. Se figur 26. Mätningarna som utfördes senare i projektet mättes på avståndet 5,80m. I figur 29 ser man nu tydligt och klart hur mycket det aktiva systemet dämpar det lågfrekventa bullret, bullernivåerna är betydligt lägre och även en mätning med bakkanalskompensering är utförd och resultatet härifrån redovisar vi med en grön kurva i figur 29.

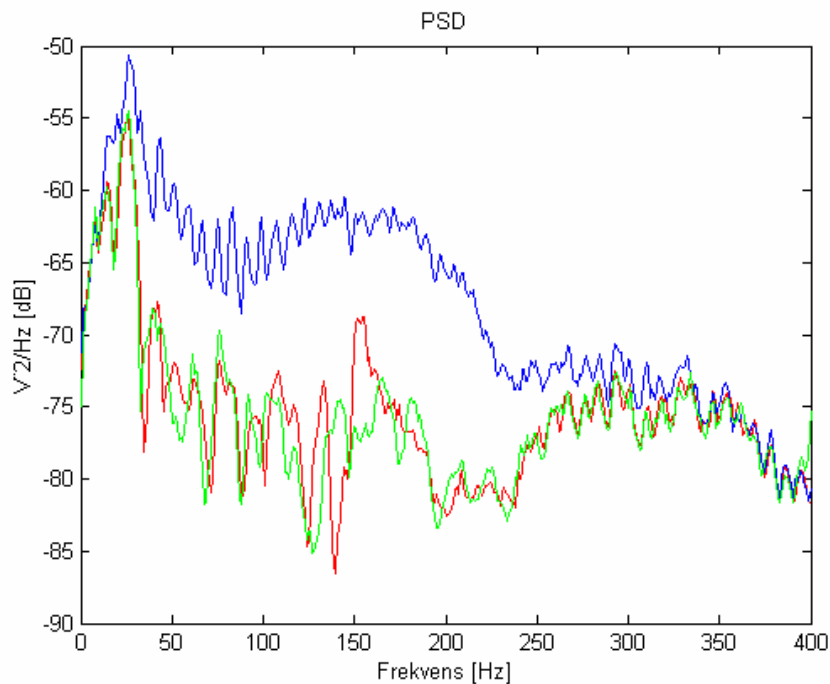


Fig. 29

Efter dessa mätningar beslöts det att öka luftflödet till max, 6m/s, och se hur bra systemet fungerar då. Hela bullernivån är lägre i denna mätning på grund av att fläkten som användes inte genererar så mycket buller, 30-400 Hz, när man har fullt luftflöde och därmed för mycket ljud över 400 Hz. I figur 30 kan man klart och tydligt se att dämpningen blev sämre men att systemet ändå klarar av att dämpa bättre än systemet som redan finns på marknaden. Jämför figur 30 med figur 37 senare i rapporten.

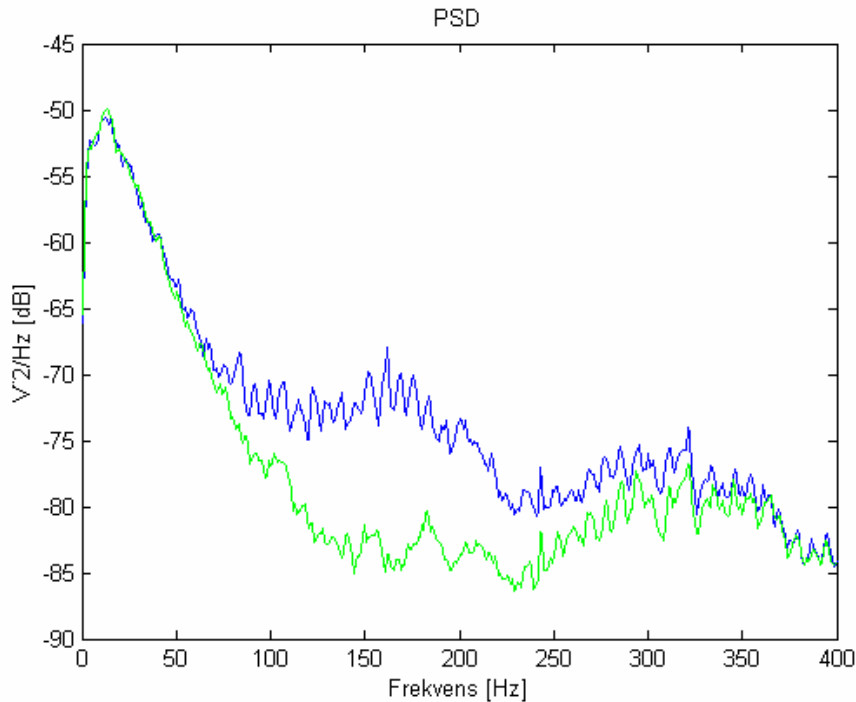


Fig. 30

Den sista mätningen som gjordes var med det fullständiga systemet så som det kommer att se ut när allt är inställt optimalt. Resultatet kan ses nedan i figur 31. Det är alltså detta resultat som hela examensarbetet resulterat i och man måste säga att det är ett mycket bra bullerdämpande system som tagits fram till ett så lågt pris.

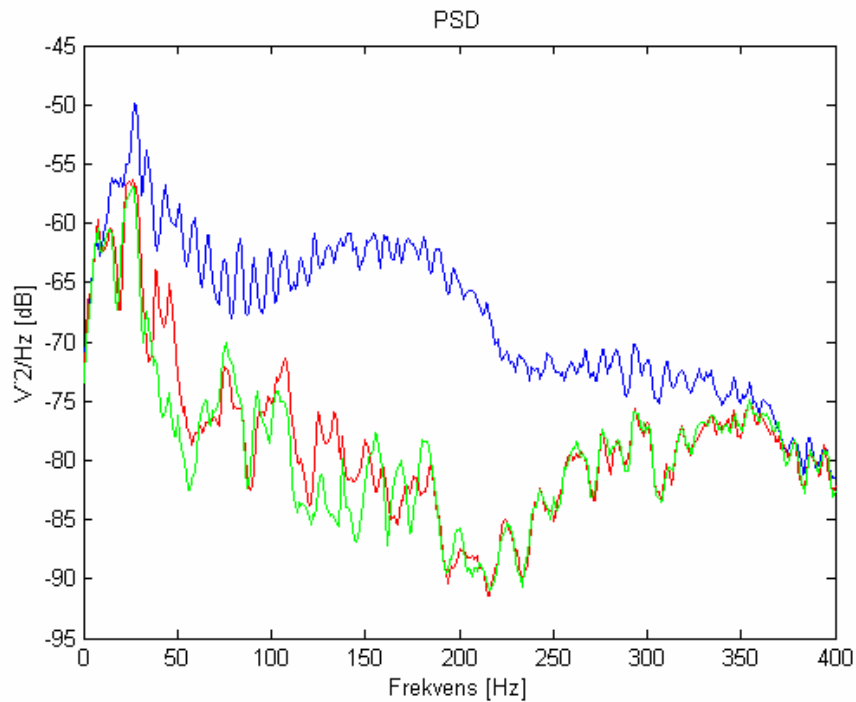


Fig. 31

Skillnaden om man jämför med figur 29 är inte så stor men små justeringar i ett så pass känsligt system gav lite bättre dämpning. De sakerna som ändrades var bland annat nya batterier i mikrofonerna och lite mer tätning i högtalarkonstruktionen.

Dämpning med upp till 27 dB är ett riktigt bra resultat. Det är även positivt att dämpningen är så pass jämn över spektrat.

Befintligt system som finns på marknaden

Technofirst

Det befintliga system som fanns tillgängligt var utvecklat av ett franskt företag som heter Technofirst, det är ett ledande företag inom aktiv bullerreglering. [5] Huvudkontoret ligger i närheten av Marseille och grundades 1990 av Christian Carne. Den första produkten som Technofirst skapade var ett aktivt headset. Efter denna produkt blev företaget en av de världsledande inom området och har idag vunnit ett antal priser för sin uppfinningsrikedom. Varje år ökar omsättningen med mellan 65 och 120 %. Företaget är också vida utspritt över hela världen, kontor i Frankrike, USA, England och Australien. Några av sakerna de håller på att utveckla idag är aktiv bullerdämpning i flygplansstolar och aktiv dämpare för avgasutblåset på lastbilar.

Produkten

Technofirst produkt kallas ACTA och är i huvudsak en bullerdämpande del i ett stort ventilationssystem. I dagens läge används den relativt flitigt och är då ett substitut mot den vanliga passiva dämparen som är standardutrustning i ventilationssystem. ACTA använder sig av två teknologier, aktiv och passiv dämpning, och har en dämpning över ett större frekvensområde än den vanliga passiva dämparen. Så ACTA använder alltså aktiv teknik för att dämpa låga frekvenser, d.v.s. motljud som tar bort ljud, och passiv teknik för de övriga frekvenserna. Passiv dämpning sker oftast med hjälp av glasfiberull. I figur 31 ser man hur systemet fungerar och hur det är uppbyggt och i figur 32 hur en verklig produkt från Technofirst ser ut. Det är denna produkt som testats. ACTA kan antingen ha fyrkantigt eller cirkulärt tvärsnitt.

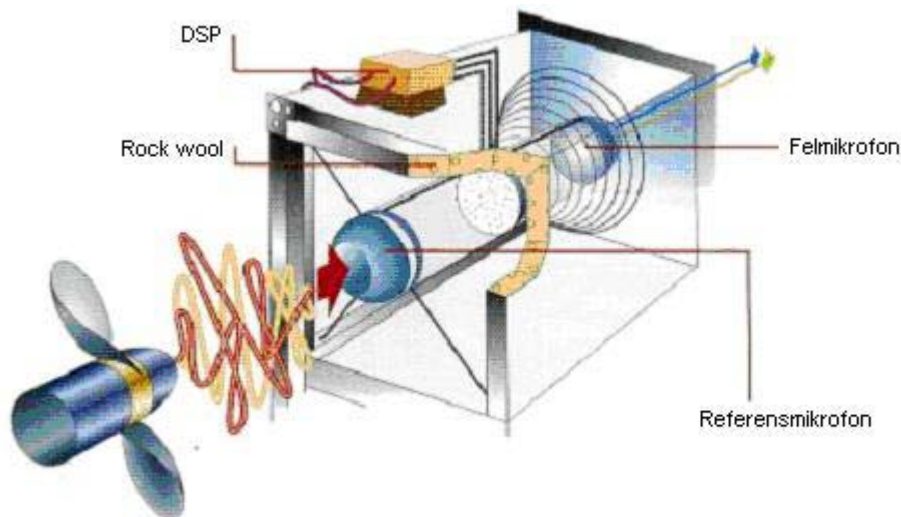


Fig. 31

Hur en aktiv dämpare fungerar och hur den är uppbyggd.



Fig. 32

En bild på hur Technofirst produkt ser ut i verkligheten.

Mätningar

Mätupställningen var relativt enkel. Hela det aktiva systemet, ACTA, sattes in där den passiva dämparen suttit. Man plockade bort alla mikrofoner och högtalare. Mätningarna gick till så att vi placerade en mikrofon vid rörmynningen som avläsare för bullret, precis som vi mätte i vårt system. Detta för att få samma typ av avläsning åt båda systemen så det blir en rättvis jämförelse. Det gjordes endast två mätningar med Technofirst produkt, ACTA. Den första var att mäta bullret som kom ut då man inte hade igång ACTA utan bara använde sig utav deras passiva dämpardel. Den andra mätningen gjordes med systemet igång och en inställningstid för systemet på ca 1 minut, högsta luftflödet, 6 m/s, användes i båda mätningarna.

Resultat

Det man inser när man går igenom grafen som syns i figur 33 är att systemet verkar inte dämpa något alls innan 100 Hz och att det har en rätt så dålig dämpning fram till ca 140 Hz, endast 5 dB. Mellan 140 och 290 Hz ligger dämpningen i snitt på ca 10 dB och efter 290 Hz antas att den passiva dämparen klarar av att hjälpa till för här blir dämpningen bra och är så pass bra som 20 dB. Man ser dock en avklingande effekt i slutet av kurvorna som beror på att den passiva dämpningen helt tagit över och den aktiva inte har någon dämpande effekt på bullret området över 400 Hz.

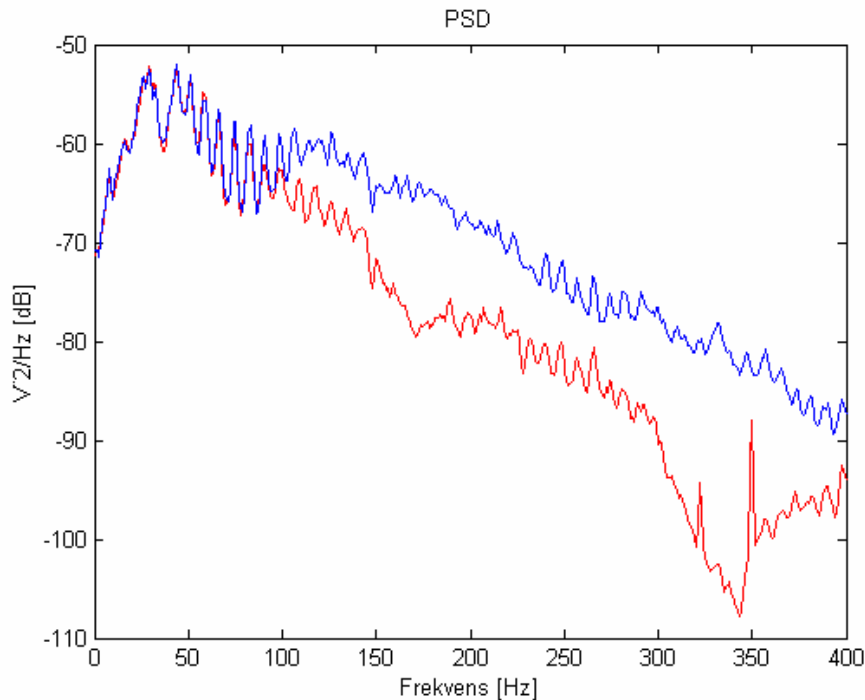


Fig. 33

Den blå kurvan är mätningen utan och den röda med ACTA påslaget.

Jämförelse

Man förstår genom denna mätning att en förbättring av systemets lågfrekventa dämpning under ca 150 Hz är önskvärt. Detta nya system, alltså det billiga aktiva system som det här examensjobbet bygger på, har en klart bättre dämpning över hela frekvensområdet än vad ACTA dämparen har. Förutom vid 300-350 Hz då det ligger i paritet med dämpningen erhållet med ACTA dämparen. ACTA är något lättare att implementera än den produkten som tagits fram i examensarbetet, men siktar på att produkten ska bli precis lika enkel att implementera, bara sätta i kontakten i uttaget och starta ventilationen. En fördel med detta system är att det går att sätta in precis var som helst, detta aktiva system har samma diameter på röret det sitter i som det övriga ventilationssystemet. En ytterligare fördel för systemet är att vikten är låg om man jämför med vikten på ACTA dämparen. Även ekonomin ser lovande ut, tror att vårt system kommer bli någon hundralapp billigare att tillverka än ACTA. Men det ska tilläggas att detta är bara spekulationer och inga fasta beräkningar. Så de största fördelarna för det framtagna aktiva systemet ligger i dämpningen och portabiliteten. Fördelar med ACTA systemet är att dämparen är lättimplementerad och att den finns i en variant för fyrkantiga kanaler, men de fördelarna kan skapas i det utvecklade systemet också.

Problem

Vissa problem har uppstått under arbetet. Några av dem har varit lätta att rätta till medan andra har varit mer tidskrävande. Ofta är det de enkla felen som är de mest tidskrävande att hitta och rätta till. Problemen har varit allt mellan urladdade batterier till stående vågor.

UDL

UDL är ett program som styr hela den aktiva tekniken, man kan säga att det är hjärnan i systemet. UDL tillsammans med DSP:n utgör grunden i det aktiva systemets struktur. UDL kan även ses som ett gränssnitt till DSP. Detta program har en rad brister, vissa finns det knep för att undvika medan vissa är helt omöjliga. Ofta låser sig programmet vilket är mycket tidskrävande då även omstart av datorn gjorts.

Efter en tid när man fått mer erfarenhet av programmet lärde man sig undvika vissa av problemen, men vissa av problemen gick inte att lösa. Ett vanligt förekommande fel var att programmet inte kunde hitta filerna det använder sig av. Den enda lösningen på detta problem var att ta bort filerna samt mappen där de låg lagrade och lägga tillbaka dem igen.

Bakkanalskompensering

Detta är ett digitalt filter som ska filtrera bort motljudet, dvs. ljudet som genereras av högtalaren, som upptas av referensmikrofonen.

Problem har uppstått vid vissa mätningar varför bakkanalskompensering inte alltid finns med. Mycket tid har lagts ned för att lösa problemet, men då problemen uppträtt asynkront har det varit svårt att lösa dem. En avgörande felkälla är UDL:s instabilitet.

Stående vågor

Vid mynningen av rörsystemet ”studsar” en del av ljudet tillbaka in i röret, en reflekterande ljudvåg in i röret. Då infallande och reflekterad våg interfererar med varandra uppstår det stående vågor i röret. Fenomenet innebär att vi får områden med högt ljudtryck (bukar) och områden med lågt ljudtryck (noder). Områdenas läge är beroende av frekvensen. Placeras en mikrofon i en nod där ljudtrycket är lågt medför det svårigheter att mäta motsvarande frekvenser. För att dämpa detta fenomen placerades en passiv ljuddämpare mellan referens- och felmikrofonen vilket ledde till mycket bättre resultat.

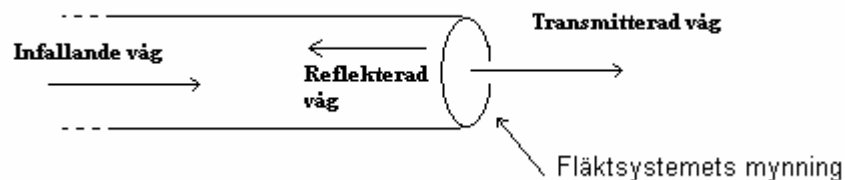


Fig. 34 Frekvensreflektion

Mikrofonfel

Mikrofonerna som implementerades i systemet var inte kompletta utan fick monteras ihop. En av dessa var olinjär. Mikrofonen var en kondensatormikrofon. Detta fel var mycket svårt att hitta då mikrofonerna kontrollerades mycket noga innan de implementerades i systemet. När resultaten på mätningarna betedde sig konstigt misstänktes inte det vara ett mikrofonfel utan problem med UDL. Med hjälp av många omkopplingar samt byte av mikrofoner upptäcktes felet.

Mikrofonen hade gått sönder under monteringen då den inte tålde värmen från lödkolven.

Ett annat problem som var relaterat till mikrofonerna berodde på att dessa matades med konstant spänning från batterier. Då batterierna började bli dåliga förlorade mikrofonerna sin linjäritet och resultatet blev dåligt.

50 Hz brum

I de flesta mätningar som gjorts och redovisats syns tydligt 50Hz signal. Denna signalen härstammar inte från bullret i fläktsystemet.

Denna ton kommer från utrustningen som använts. Nätspänningen som driver denna utrustning har frekvensen 50Hz och denna signal slår igenom all utrustning. Försök har gjorts med att undertrycka denna signal men utan större resultat. Istället lades mer vikt vid att få bättre koherens mellan mikrofonerna. Det är viktigare att dämpningen är bättre över ett större frekvensband. Den 50Hz signal som genereras är knappt hörbar för det mänskliga örat då dess styrka är ganska svag.

Leakyfaktorn

Principen för hur det aktiva systemet fungerar är att referensmikrofonen lyssnar på det buller som uppstår i fläktsystemet. När den aktiva dämpningen sätts ingång tar det en stund innan systemet har ställt in sig. Denna tid det tar för systemet att ställa in sig blir också ett mått på systemets förändringsförmåga då ett varierande buller finns, exempelvis om hastigheten på fläkten ökas eller minskas. Om denna leakyfaktor är för liten, det vill säga att systemet reagerar snabbare blir det känsligare för andra ljud som inte beror på luftflöde. Det kan vara att en dörr slås igen. Då faktorn är på denna nivå och ett oönskat ljud uppstår slutar den aktiva dämpningen att fungera. Om leakyfaktorn är för stor reagerar systemet saktare vilket medför sämre dämpning vid förändringar i luftflödet. Därför är det viktigt att denna faktor sätts till rätt nivå.

Problem med avstånd

Placeringen av referensmikrofonen i fläktsystemet har stor betydelse. De beräkningar och omvandlingar som sker med signalen från referensmikrofonen tar en viss tid. Därför är det viktigt att placeringen av referensmikrofonen sitter en bit framför motljudshögtalaren. Även här är det viktigt att man finner en balans. Om placeringen av denna mikrofon sitter för nära högtalaren blir resultatet dåligt på grund av att motljudet genereras för sent. Sitter däremot mikrofonen för långt bort filtrerar röret bullret som ger en dålig koherens mellan referens- och felmikrofon vilket leder till sämre resultat. Detta leder till att avståndet till referensmikrofonen har betydande roll för systemets prestanda.

Framtiden

Det främsta målet med detta examensarbete är att få ner kostnaderna hos de olika delarna i det aktiva bullerdämpningssystemet. Till stor del har detta uppfyllts, med billigare mikrofoner och högtalare. Ett annat mål som var viktigt att hålla var att inte prestandan på systemet skulle bli sämre. De resultat som redovisas i detta arbete visar på bättre resultat mot tidigare mätningar som gjorts.

Däremot den andra utrustningen som använts t.ex. kemofilter och dator kan också ersättas med billigare produkter. Funderingar kring detta har uppkommit under arbetets gång, vilket lett till mycket intressanta diskussioner. Om dessa produkter ersätts med billigare komponenter sjunker priset ytterligare för det aktiva systemet. Idag finns ett företag som heter Technofirst som tillverkar liknande aktiva system för att dämpa ventilationsbuller. Förgäves har timmar lagts på att försöka få fram information om priset på deras produkter vilket hade varit intressant att veta.

En av orsakerna till att den aktiva tekniken inte fått något betydande genomslag beror delvis på att produkterna är relativt dyra. En annan viktig faktor främst inom ventilationssystem beror på att systemen är ganska klumpiga.

Ett annat sätt att eventuellt öka prestandan kan vara att konstruera andra sorters högtalare. Istället för att använda T-rör för att montera in högtalarelement i kan andra typer av rör användas vid inmonteringen. I det system som här arbetats fram har bara använt sig av en högtalare. Funderingar har också varit att konstruera så att två högtalare jobbar parallellt. Fast i övrigt ser systemet likadant ut som det som beskrivits i arbetet.

Det är ett mycket intressant område och funderingar på att fortsätta utveckla denna tekniken mera ligger nu till hands.

Andra områden

Ventilationssystem är endast ett område som har nytta av aktiv bullerdämpningsteknik. Låter man fantasin flöda kommer fler användningsområden upp. På en tillverkningsindustri idag finns det många maskiner som genererar ett lågfrekvent buller. Även om nivåerna inte alla gånger är skadliga för hörseln har forskning visat att människor som vistas i detta buller mår sämre än de som inte vistas i det. I början på arbetet nämndes olika områden som aktiv teknik används för att dämpa buller. Ett annat område som fått upp ögonen för denna teknik är bilindustrin. Idag är det dock främst forskning som bedrivs här inom bullerdämpning i kupén. Idag läggs stora pengar på att få tyst i kupén med passiv teknik, men det lågfrekventa bullret är svårt att få bort. Detta leder till att aktiva tekniken blir mer attraktiv.

”Smygetekniken” som framförallt militären intresserat sig av, har blivit populär. Tekniken innebär att båtar inte ska synas på radar. En tanke kan kanske också vara att göra båtar, som använder sig av smygeteknik, blir mera tystgående än vad de är idag. En motor i en militärbåt alstrar mycket lågfrekvent buller som sprids långt i luften och i vattnet, vilket innebär att båten kan avslöjas på långt avstånd.

Låter man bara fantasin flöda tycks bara fler och fler användningsområden dyka upp.

Slutsats

Tekniken aktiv bullerdämpning anses idag bara vara i startskedet. Det finns en lång rad tillämpningar som man kan använda denna teknik till. Ett område har tydligt berörts i detta examensarbete nämligen aktiv bullerdämpning i ventilationssystem. Målet med arbetet var att skapa ett billigare system där prestandan inte skulle försämrats. Resultatet som redovisats var över förväntningarna samt visar att detta var fullt möjligt.

Olika placeringar av mikrofoner samt olika rörkonfigurationer har lett fram till bättre och bättre resultat som resulterat i finare egenskaper än ljuddämparen tillverkad av Technofirst. Framstegen som presenterats i arbetet visar tydligt att steget i produktutvecklingen av en aktiv ljuddämpare kommit till en ny nivå.

Området är mycket intressant och den ena lösningen är inte den andra lik. De konstruktioner som använts till motljudshögtalarna har utvecklats under arbetets gång. Konstruktionerna visade sig vara av bra kvalitet, men kan säkert förbättras mera. Samma gäller för placeringen av dessa högtalare.

Problemen som uppstått under arbetets gång har varit besvärliga men samtidigt har dessa lett till mer kunskap och insikt om hur utrustning och egenskaperna kring ljudets utbredning fungerar.

Funderingar har inletts till att fortsätta bygga på detta examensarbete främst med att byta ut utrustning som har använts bl.a. kemo-filtren och DSP:n.

Vi hoppas detta arbete gett mer insikt och kunskaper i den aktiva bullerdämpningens intressanta värld.

Referenser

[1]

[1.1] www.technofirst.com

[1.2] sekretess

[1.3] www.ljudia.se

[1.4] www.brl.se

[2] Johan G. Proakis & Dimitris G. Manolakis, Digital signal processing, Prentice Hall (1996)

[3] G. Danielsson & A. Johansson, Examensarbete: BEE03:02 Aktiv bullerundertryckning i ventilationssystem, Avdelningen för Signalbehandling Blekinge Tekniska Högskola (2002)

[4] Sen M. Kuo & Dennis R. Morgan, Active Noise Control: A tutorial review, Proceedings of the IEEE s.943-973, (6 juni 1999)

[5] D. Horstmarks, Examensarbete: 2002:87 Aktiv bullerdämpning i ventilationssystem, Institutionen för Telekommunikation och Signalbehandling Blekinge Tekniska Högskola (2002)

[6] Anders Brandt, Ljud & vibrationsanalys 1, Saven Edu Tech AB, Täby(2000)

[7] H. Bodén & HP Wallin, Ljud och Vibrationer, MWL, Norstedts, Stockholm(2001)

[8] Bill McFadden, Speaker Design Equations 3.6, (1993)

Bilaga A

Beräkning av högtarlådor.

Högtarlåda 1.

För att beräkna volymen V_b för högtarlådan där elementet används behövs en rad parametrar, dessa erhålls i bilaga B.

$$Q_{ts} = 0,49$$

$$V_{as} = 4,7$$

$$Q_b = 0,707 \text{ (optimalt värde)}$$

Formler för beräkning av volymen:

$$Q_r = (1/Q_{ts}) / (1/Q_b - 0.1)$$

$$V_r = Q_r^2 - 1$$

$$V_b = V_{as} / V_r$$

Resultat:

$$V_b = 3,33 \text{ liter}$$

Högtarlåda 2.

För att beräkna volymen V_b för högtarlådan där elementet används behövs samma parametrar som i föregående beräkning, se bilaga.

$$Q_{ts} = 0,41$$

$$V_{as} = 10,9$$

$$Q_b = 0,707 \text{ (optimalt värde)}$$

Resultat:

$$V_b = 4,46 \text{ liter}$$

V_b anger hur många liter högtarlådan ska vara. När högtalarelementet implementeras med högtarlådan försvinner en viss del av volymen V_b p.g.a. att högtalarelementet tar upp en del av denna. Därför behöver den totala högtalarvolymen kompletteras med detta bortfall.



Bilaga B

Sekretessbelagd