



---

# **Aktiv bullerdämpning i ventilationssystem**

**Jimmy Johansson  
Erica Nilsson  
Jessica Tang**

Denna avhandling ingår som en del av dataingenjörutbildningen på kandidatnivå

Blekinge Tekniska Högskola

December 2004

---

**Dataingenjörsprogrammet  
Blekinge Tekniska Högskola  
Sektionen för Teknik**

**Examinator/Handledare: Lars Håkansson, Tekn. Dr och Sven Johansson, Tekn. Dr**

# Innehållsförteckning

1. Förord	sid. 4
2. Inledning	sid. 5
3. Sammanfattning	sid. 6
4. Akustiska vågor	sid. 7
4.1 Interferens	sid. 7
4.2. Stående vågor och reflektioner	sid. 8
5. Materiel	sid. 9
5.1. Allmän systembeskrivning	sid. 9
5.2. Fläkt	sid. 10
5.3. Passiva dämpare	sid. 10
5.4. Högtalare	sid. 11
5.5. Mikrofoner	sid. 11
6. Beskrivning av det aktiva systemet för dämpning av ventilationsbuller	sid. 12
7. Adaptiva algoritmer	sid. 13
7.1. LMS (Least Mean Square)	sid. 14
7.2. NLMS (Normalized Least Mean Square)	sid. 15
7.3. LLMS (Leaky Least Mean Square)	sid. 15
7.4. Filtered-x LMS-algoritmen	sid. 16
7.5. Systemidentifiering	sid. 17
8. Experiment med olika konfigurationer	sid. 19
8.1. Olika längder på det adaptiva FIR-filtrets koefficientvektor	sid. 19
8.1.1. Systemidentifiering	sid. 19
8.1.2. Bullerundertryckning	sid. 21
8.1.3. Resultat	sid. 21
8.2. Olika längder på ventilationskanal efter felmikrofonen	sid. 22
8.2.1. De olika längderna	sid. 22
8.2.2. Förändringar vid systemidentifiering	sid. 23
8.2.3. Bullerundertryckning	sid. 27
8.2.4. Resultat	sid. 27
8.3. Olika temperaturer vid experiment	sid. 28
8.3.1. Utförande	sid. 28
8.3.2. Systemidentifiering	sid. 29
8.3.3. Bullerundertryckning	sid. 30
8.3.4. Resultat	sid. 31
8.4. Olika flödes hastigheter	sid. 32
8.4.1. Utförande	sid. 33
8.4.2. Bullerundertryckning	sid. 34
8.4.3. Resultat	sid. 34
8.5. Olika diametrar på ventilationskanal vid felmikrofonen	sid. 35
8.5.1. Utförande	sid. 35
8.5.2. Bullerundertryckning	sid. 36
8.5.3. Resultat	sid. 37
8.6. En eller två ref.mikrofoner, samt olika placeringar av dessa	sid. 38
8.6.1. Utförande	sid. 38
8.6.2. Bullerundertryckning	sid. 38
8.6.3. Resultat	sid. 38
9. Slutsats	sid. 39

10. Referenser	sid. 40
11. Källförteckning	sid. 41
12. Appendix A	sid. 42
13. Appendix B	sid. 48

# 1. Förord

Examensarbetet utfördes i samarbete med Blekinge Tekniska Högskola och Lindab AB i Båstad och omfattar 10 poäng på C-nivå. Syftet med arbetet är att med hjälp av olika adaptiva algoritmer kunna dämpa buller i ventilationskanaler så effektivt som möjligt. Vi har gjort omfattande mätningar på olika konfigurationer för att se hur systemets prestanda förändras. Tanken var inte att konstruera en färdig produkt, då tidsbristen har varit ett faktum. Istället är vår förhoppning att man i framtiden med hjälp av våra resultat, forska vidare i detta ämne för att få fram en bra produkt

Vi vill tacka våra handledare/examinatorer Lars Håkansson och Sven Johansson på BTH, för all hjälp och rådgivning som vi har fått under arbetets gång. Vi vill även tacka Lars-Åke Mattson på Lindab AB för förfogandet av ventilationsutrustning.

## 2. Inledning

För att undertrycka buller i t.ex. fläkttrummor, används i dagsläget nästan enbart passiva dämpare, d.v.s. dämpare med dämpande material som absorberar buller. Eftersom dessa dämpare endast undertrycker buller effektivt ner till ca 300 Hz, och de aktiva fungerar upp till ca. 400 Hz, blir en kombination av dessa dämpare en mer komplett lösning.

Idag används aktiv bullerundertryckning bl.a. i två av Saabs flygplansmodeller, Saab 340 och Saab 2000. I Saab 2000 är den aktiva bullerdämpningen uppbyggd av 36 högtalare och 72 mikrofoner för att dämpa propellerbullret så effektivt som möjligt inne i flygplanskabinen. Tekniken börjar även användas alltmer inom andra områden som t.ex. i fläkttrummor och bilar.

Examensarbetet är indelat i två delar; en teoretisk del som är förstudien till själva examensarbetet och en praktisk del där vi utför mätningar på olika konfigurationer. Syftet med förstudien är att få en ökad förståelse och bättre hantering av algoritmerna, med vilka vi använder oss av i den praktiska delen där vi ska dämpa bullret. Efter varje konfiguration finns en kort summering av våra mätresultat och slutsatser.

I Appendix A finns källkoden för den läsare som vill veta mer ingående om hur vi har implementerat algoritmerna.

### 3. Sammanfattning

Examensarbetet utfördes på Avdelningen för signalbehandling vid Blekinge Tekniska Högskola i samarbete med företaget Lindab AB i Båstad. Arbetet är en vidareutveckling av tidigare examensarbete på institutionen.

Intresset för bullerdämpning har ökat dramatiskt på senare tid, då forskning visat bullrets negativa inverkan på folk. Buller är inte bara skadligt för hörseln, utan kan även vara psykiskt påfrestande och ger upphov till trötthet och huvudvärk.

För att undertrycka buller i t.ex. ventilationskanaler, används i dagsläget nästan enbart passiva dämpare, d.v.s. dämpare med poröst material som absorberar buller. Problemet med dessa dämpare är att de endast dämpar effektivt ner till ca 300 Hz. Eftersom våglängderna under denna frekvens är längre än en meter, skulle det krävas väldigt stora dämpare för att kunna absorbera buller i detta frekvensområde. Det aktiva systemet fungerar bra upp till ca 400 Hz, vilket gör att en kombination av dessa dämpare skulle vara en mer komplett lösning.

Principen för aktiv bullerdämpning är att dämpa buller med hjälp av ”motbuller”. En eller ett antal referensmikrofoner, placerade på lämpliga ställen, används för att mäta ljudet. Dessa mätvärden behandlas i signalprocessorer, varefter motljud alstras i en eller flera strategiskt placerade högtalare. Ju mer exakt motbuller vi kan alstra, desto bättre blir effekten och desto tystare blir det. Till hjälp att ställa in ”motljudet” används en eller flera felmikrofoner, runt vilka en ljuddämpning erhålles.

Tekniken börjar användas alltmer inom områden som t.ex. i fläkttrummor och bilar. Men för att tekniken ska slå igenom, krävs det bättre prestanda till ett bättre pris. Tidigare examensarbetare har lyckats få en bra dämpning med relativt billiga komponenter genom att placera det aktiva systemet precis vid mynningen innan luften går ut i rummet. En vindavledare har tillverkats m.h.a. ett cigarrfodral, vilket resulterade i att en billig mikrofon med egentillverkad vindavledare gav systemet minst lika bra prestanda som en dyr, kalibrerad mikrofon.

Vårt examensarbete har främst varit inriktad på experiment med olika konfigurationer - att komma fram till vilken uppställning eller inställning som ger systemet bäst prestanda. Vi undersökte bl.a. hur nära böjen kunde vara, efter felmikrofonen, utan att påverka systemets prestanda. Våra mätningar visade att ju kortare längd efter felmikrofonen, desto bättre dämpning. Tester gjordes även på olika längder på det adaptiva FIR-filtrets koefficientvektor, där en koefficientlängd på 128 var den mest gynnsamma i våra experiment. Vi reglerade både temperaturen i rummet och flödes hastigheter i ventilationskanalen för att se om det påverkade dämpningen av systemet. När det var 15°C i rummet fördröjdes impulssvaret i systemet en aning i förhållandet till impulssvaret vid 30°C i rummet. Dock förändrades dämpningen marginellt. Vad gäller flödes hastigheter så undertrycktes bullret bäst när flödes hastigheten i ventilationskanalen var på 2.8 m/s. Ytterligare en referensmikrofon infördes för att undvika eventuella stående vågor. Dock fick vi snarlika resultat som om vi bara hade haft en referensmikrofon. I sista experimentet varierades ventilationskanalens diameter runt felmikrofonen. Detta gjordes för att undvika ev. turbulens runt mikrofonen. Bäst prestanda fick vi när ventilationskanalens diameter vid felmikrofonen var 40 cm. Det övriga systemet hade en diameter på ca 30 cm.

## 4. Akustiska vågor

Ljud innebär inte endast akustiska vågrörelser i luften som vi kan uppfatta med hörseln, utan ljud är även frekvenser utanför vårt hörselområde (t.ex. infra- och ultraljud). Skillnaden mellan ljud och buller kan vara hårfin. Definitionen för buller är ”icke önskvärt ljud”, vilket olika människor kan ha olika uppfattning om var gränsen går. Det som är ljud (t.ex. musik) för vissa, kan vara buller för andra.

Lågfrekvent buller (0-400Hz) är i många sammanhang ett stort problem, eftersom det finns nästan överallt och kan orsaka symptom så som huvudvärk och illamående hos människor. Dessutom kan personer som ofta vistas i miljöer där de utsätts för lågfrekvent buller bli så vana vid det att de inte hör det längre. Det är först när bullret stängs av som de reagerar på tystnaden.

För att förstå hur buller kan undertryckas med hjälp av ”motbuller”, och varför införande av två referensmikrofoner skulle kunna tänkas förbättra systemets prestanda, går vi i detta kapitel igenom interferens, reflektion, samt stående vågor.

### 4.1. Interferens

Varför en utsläckning fås genom att skicka ”motbuller” bygger på fenomenet interferens, se Fig. 4.1.1. Då två vågor har samma frekvens och ligger i fas, så att vågtoppar sammanfaller med toppar, förstärker de varandra och ett ”dubbelberg” uppstår (konstruktiv interferens). Är det två dalar som möts, blir resultatet en dubbelt så djup dal. Däremot om vågorna är i motfas, så att toppar sammanfaller med dalar, tar de ut varandra helt eller delvis och utsläckning sker (destruktiv interferens).

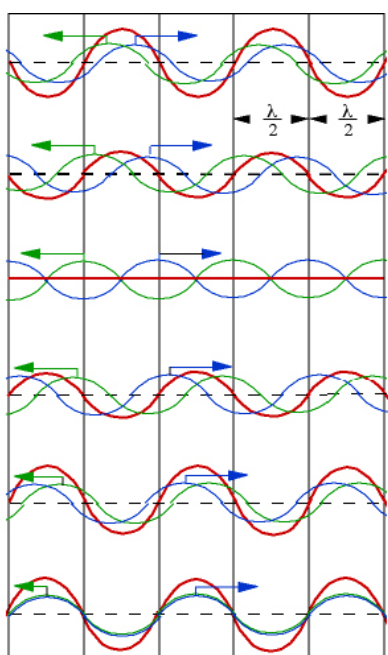


Fig. 4.1.1 illustrerar fenomenet interferens.

## 4.2. Stående vågor och reflektioner

Då en våg utbreder sig i ett medium, t.ex. luft, och möter en förändring i mediet, t.ex. en vägg, bildas en reflekterande våg. Är skiljeytan inte stel så transmittas även en del av vågen vidare genom skiljeytan in i det nya mediet. Om både infallande och reflekterande våg har samma frekvens samt att skiljeytan är vinkelrät mot den infallande vågens utbredningsriktning, så bildar den infallande vågen tillsammans med den reflekterande vågen en stående våg. Därmed bildar den infallande vågen tillsammans med den reflekterande vågen tryckbukar och trycknoder längs vågutbredningsriktningen med fasta positioner. Om en referensmikrofon är placerad vid en nod (där ljudtrycket är lågt), får man vid mätning en dålig koherens som kan medföra till en sämre dämpning av bullret.

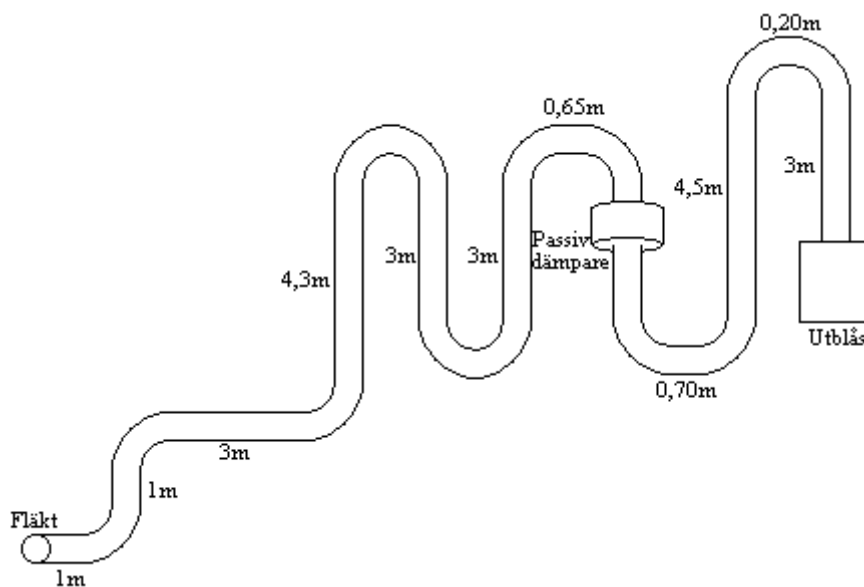


## 5. Materiel

I detta kapitel går vi igenom materielen som vi har använt oss av till examensarbetet. Vi beskriver kortfattat dess egenskaper samt utformning.

### 5.1. Allmän systembeskrivning

Ett ventilationssystem var uppbyggt i forskningslabbet av tidigare examensarbetare, se fig. 5.1.1. Systemets början består av en fläkt som genererar buller ut i en ventilationskanal. På olika ställen i rörsystemet placerades en referensmikrofon, en passiv dämpare, en högtalare och en felmikrofon. Avståndet mellan referensmikrofonen och högtalaren är fem meter, vilket tidigare examensarbetare kommit fram till att vara en fördelaktig placering med avseende på aktiv bullerreglering. I slutet av rörsystemet sitter ett utblås, som fungerar som en impedanstransformator för ventilations buller. Den gör så att impedansövergången för ventilations bullret inte blir lika dramatisk.



Figur 5.1.1 illustrerar uppställningen av vårt system.

## 5.2. Fläkt

Fläkten som vi har använt oss av är av typen CK315 och har ett maximalt varvtal på 2370 varv/min, se fig. 5.2.1. Den kunde regleras både med spjäll och med en frekvensomriktare. Spjället kunde antingen vara öppet eller stängt. Med ett öppet spjäll och frekvensomriktaren på max, medgavs en flödes hastighet på 5.9 m/s. Var det stängt blev resultatet 2.8 m/s. Fläkten omgavs av glasfiberull för att hindra fläktljudet från att propagera ut i rummet och därmed störa mätningarna.



*Figur 5.2.1 Fläkten av typ CK315*

## 5.3. Passiva dämpare

Den passiva dämparen som ingår i vårt system är en cirkulär ljuddämpare av typen absorptionsljuddämpare SLU100, se fig. 5.3.1. Dämparens yttermantel är en spiralfalsad ventilationskanal och innermanteln är av perforerad plåt. Mellan ytter- och innermanteln finns mineralull. För att förhindra fibermedtryckning från isoleringsmaterialet i kanalen, finns det en fiberduk mellan den perforerade stålplåten och mineralullen.

Den passiva dämparen klarar endast att undertrycka buller ner till 300 Hz, eftersom våglängderna under denna frekvens är för långa för att kunna absorberas. Tanken är därför att det aktiva systemet ska ta hand om det som den passiva dämparen inte klarar av att dämpa.



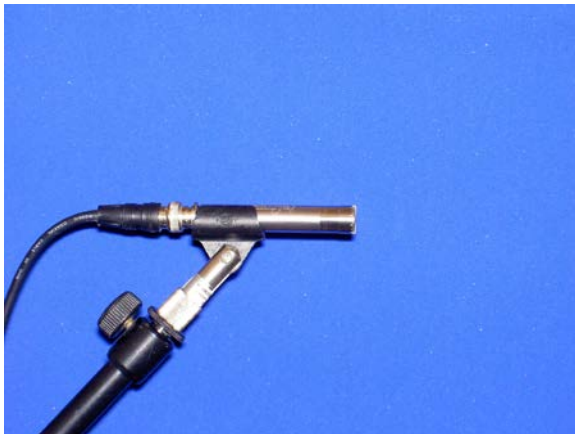
*Figur 5.3.1 Passiv dämpare*

## 5.4. Högtalare

Högtalaren som vi har använt oss av är en standard högtalare, som egentligen är anpassad för bilinstallation och behöver därför inte lika stor lådkonstruktion. Detta är smidigt och bra då det annars finns risk att rörsystemet vippas över med för stora högtalarlådor. Den använda högtalaren ger samma lågfrekvenssegenskaper med en mindre volym jämfört med en vanlig Elfa-högtalare. Nackdelen är dock att den är dubbelt så dyr som en vanlig högtalare inköpt från Elfa.

## 5.5. Mikrofoner

De mikrofoner som vi har gjort mätningar med är enkla vanliga standard mikrofoner, samt en kalibrerad mikrofon av typen G.R.A.S 40 AE med förstärkaren 26CA. Mikrofonen som mätte dämpningen i rummet var av sistnämnda typen och användes med en ”skumplastmuff” som vindavledare. Inuti ventilationsrören användes enkla standard mikrofoner med ett cigarrör som vindavledare. Detta är en uppfinning som de föregående examensarbetarna konstruerade för att slippa att använda t.ex. en skumplastmuff som eventuellt skulle hindra luftflödet. Rörets utformning och konstruktion gör att ljudtrycket propagerar in i röret medan blåsten hålls utanför. Tack vare denna konstruktion dämpar billiga mikrofoner minst lika bra som de dyrare varianterna.



a



b

*Figur 5.5.1. a) Mikrofon av typen G.R.A.S 40 AE. b) Mikrofon av typen G.R.A.S 40 AE med en ”skumplastmuff” som vindavledare.*

## 6. Beskrivning av det aktiva systemet för dämpning av ventilationsbuller.

Det aktiva dämpningssystemet, som ska undertrycka ventilationsbullret, består i princip av två mikrofoner, en motbullerhögtalare och filtered-x LMS algoritmen som är implementerad i en DSP med tillhörande anti-viknings- och rekonstruktionsfilter, se fig. 6.1.1. Den ena mikrofonen, referensmikrofonen, är monterad uppströms i förhållande till motbullerhögtalaren och den andra mikrofonen, felmikrofonen, är monterad nedströms i förhållande till motbullerhögtalaren. Referensmikrofonen registrerar ventilationsbullret och bildar därmed referenssignal till filtered-x LMS algoritmen vars utsignal driver motbullerhögtalaren. Med hjälp av felmikrofonsignalen och referenssignalen justerar filtered-x LMS algoritmen sitt adaptiva filter så att motbullerhögtalaren producerar anti-buller vid felmikrofonen. Varvid ljudtrycksnivån vid felmikrofonen minimeras.

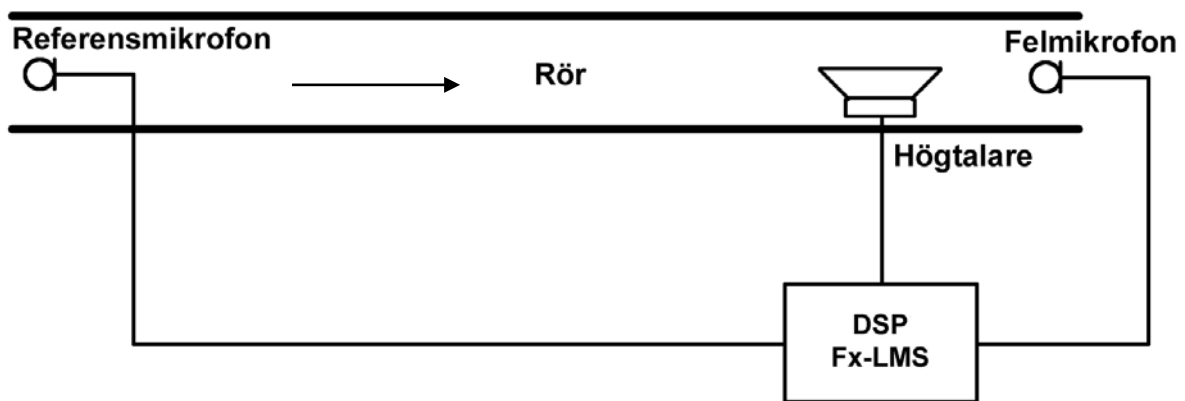


Fig. 6.1.1 Schematisk beskrivning av det aktiva systemet, där pilen visar luftflödets riktning.

## 7. Adaptiva algoritmer

Adaptiva filter har fått betydlig uppmärksamhet av många forskare de senaste 25 åren. Det är under denna tidsperiod som många adaptiva filterstrukturer och algoritmer har utvecklats. Trots att färdiga adaptiva algoritmer redan finns, valde vi ändå att - som förstudie - själva implementera de olika algoritmerna, d.v.s. LMS- och filtered-x LMS-algoritmen med både "leakage" och steglängdsnormalisering. Detta för att få en djupare förståelse och förhoppningsvis därmed en bättre hantering av dem.

## 7.1. LMS (Least Mean Square)

LMS-algoritmen är en så kallad stokastisk gradient-algoritm som är enkel och robust med låg beräkningskomplexitet. Den utvecklades på 1960-talet av Bernard Widrow och baseras på den så kallade "Steepest descent" algoritmen. Men problemet med den sistnämnda algoritmen är att man måste ha kunskap om den sanna gradientvektorn i varje iteration, vilket man inte har. LMS-algoritmen har sin bas i Wiener-filter teorin och idén bakom denna algoritm är att iterativt justera t.ex. ett FIR-filters koefficienter mot dess Wienerlösning baserat på direkta gradientskattningar. Fig. 7.1.1 visar principen för adaptiv filtrering.

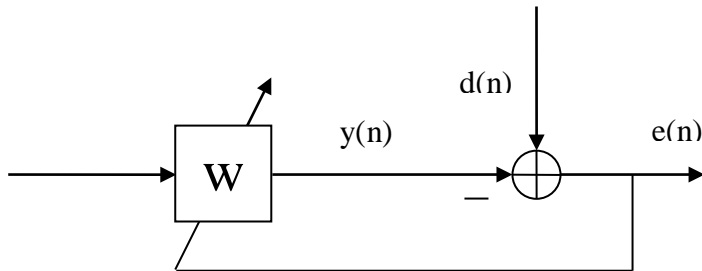


Fig. 7.1.1. Signalmodell för adaptiv filtrering.

I figuren ovan är  $x(n)$  referenssignal,  $d(n)$  önskad utsignal,  $y(n)$  skattad utsignal och  $e(n)$  felsignal. Det adaptiva filtret kan med fördel styras av LMS algoritmen som ges av [1]:

$$\begin{aligned} y(n) &= \mathbf{w}_n^T \mathbf{x}(n) \\ e(n) &= d(n) - y(n) \\ \mathbf{w}_{n+1} &= \mathbf{w}_n + \mu e(n) \mathbf{x}(n) \end{aligned} \quad (7.1)$$

Där  $\mathbf{w}_n = [w_n(0), \dots, w_n(P)]^T$  är det adaptiva filtrets koefficientvektor,

$\mathbf{x}(n) = [x(n), \dots, x(n-P)]^T$  är referenssignalvektorn och  $\mu$  är steglängden.

För att LMS-algoritmen ska konvergera i medelkvadratmening rekommenderas att steglängden  $\mu$  uppfyller följande olikhet [1]:

$$0 < \mu < \frac{2}{(P+1)E[x^2(n)]} \quad (7.2)$$

Varvid medelvärdet av koefficientvektorn konvergerar mot Wienerfilter-lösningen, således [1]:

$$E[\mathbf{w}_\infty] = R_{xx}^{-1} \mathbf{r}_{dx} \quad (7.3)$$

Där  $R_{xx}$  är autokorrelationsmatrisen för insignalen och  $\mathbf{r}_{dx}$  korskorrelationsvektorn mellan den önskvärda signalen och referenssignalen.

## 7.2. NLMS (Normalized Least Mean Square)

I icke stationära miljöer, d.v.s. där det förekommer stora variationer i signaleffekten, kan det vara lämpligt att införa NLMS. Denna algoritm normerar steglängden med avseende på insignalens styrka. Om effekten är stor i insignalen, blir steglängden liten och vice versa. Ersätts LMS-algorithmens koefficientjusteringsalgoritm i ekvation 7.1 med

$$\mathbf{w}_{n+1} = \mathbf{w}_n + \frac{\beta}{\varepsilon + \|\mathbf{x}(n)\|^2} e(n)\mathbf{x}(n) \quad (7.4)$$

erhålls den normaliserade LMS-algoritmen (NLMS) [1]. Där  $\beta$  är den normaliserade steglängden och  $\|\bullet\|$  betecknar den euklidiska normen.  $\varepsilon$  (litet positivt tal) införs för att undvika problem som kan uppkomma när  $\|\mathbf{x}(n)\|$  är liten. För att NLMS algoritmen ska konvergera i medelkvadratmening rekommenderas att normaliserade steglängden  $\beta$  uppfyller olikheten [1]:

$$0 < \beta < 2$$

## 7.3. LLMS (Leaky Least Mean Square)

Vid implementering av LMS-algoritm i begränsad numerisk upplösning medger icke exciterade moder i dess referenssignals autokorrelationsstruktur att filterkoefficienterna kan växa utan begränsning. Detta kan resultera i "overflow" under uppdateringsprocessen.

För att stabilisera LMS-algoritm införs en leaky-faktor i koefficientjusteringsalgoritmen. Ersätts LMS-algorithmens koefficientjusteringsalgoritm i ekvation 7.1 med

$$\mathbf{w}_{n+1} = (1 - \mu\gamma)\mathbf{w}_n + \mu\mathbf{x}(n)e(n) \quad (7.5)$$

erhålls Leaky LMS-algoritmen (LLMS) [1]. Där  $(1 - \mu\gamma)$  är en leakyfaktor som uppfyller:

$$0 < (1 - \mu\gamma) < 1.$$

Eftersom Leaky LMS drar ned de icke exciterade moderna till noll, så konvergerar filterkoefficienterna. Förutom att den förhindrar att vikterna växer till "oändligheten", begränsar den även utsignalens effekt. Nackdelen med algoritmen är dock att en bias fås i koefficientvektorn, då algoritmen beter sig som om det vore brus på ingången. Om t.ex. felsignalen och/eller insignalen blir noll eller om de antar mycket små värden drar Leaky LMS-algoritmen ner filterkoefficienterna till noll.

## 7.4. Filtered-x LMS-algoritmen

Adaptiva filter är normalt definierade för problem som elektrisk bullerundertryckning, där filtrets utsignal är ett estimat av den önskade signalen. I detta fall kan estimatet (antivibrationer eller antiljud) ses som en utsignal från ett dynamiskt system, s.k. framkanal. Eftersom systemet mellan filtrets utsignal och estimat är ett dynamiskt system, bör valet av adaptiva filteralgoritmer noga övervägas. En algoritm som t.ex. LMS blir med största sannolikhet instabil i en applikation som denna, där framkanalen bl.a. medför fas förändring (fördröjning). Den välkända filtered-x LMS-algoritm är en adaptiv filteralgoritm som används för aktiva reglerings applikationer. Algoritmen är en vidareutveckling av LMS, där modellen för ett dynamiskt system mellan filtrets utsignal och estimat, d.v.s. framkanalen, är introducerad mellan insignalen och algoritmen för adaptering av koefficientvektorn.

Fig. 7.4.1 visar ett aktivt reglersystem med en framkanal.

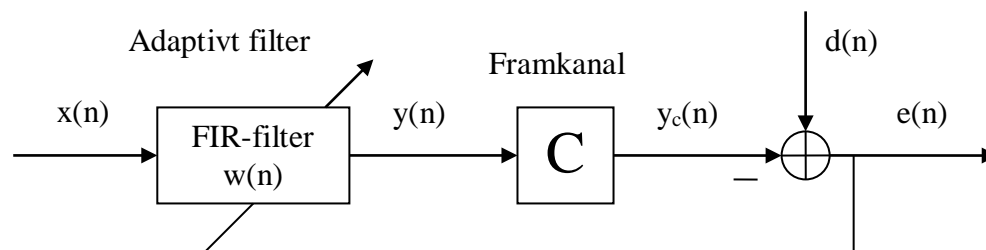


Fig. 7.4.1. Ett aktivt reglersystem.

I figuren ovan är  $x(n)$  referenssignalen,  $y(n)$  det adaptiva filtrets utsignal,  $y_c(n)$  framkanalens utsignal (ett estimat av den önskade utsignalen),  $d(n)$  önskad utsignal, och  $e(n)$  felsignal.



I fig. 7.4.2. visas ett blockdiagram av ett aktivt regelsystem baserat på filtered-x LMS-algoritmen.

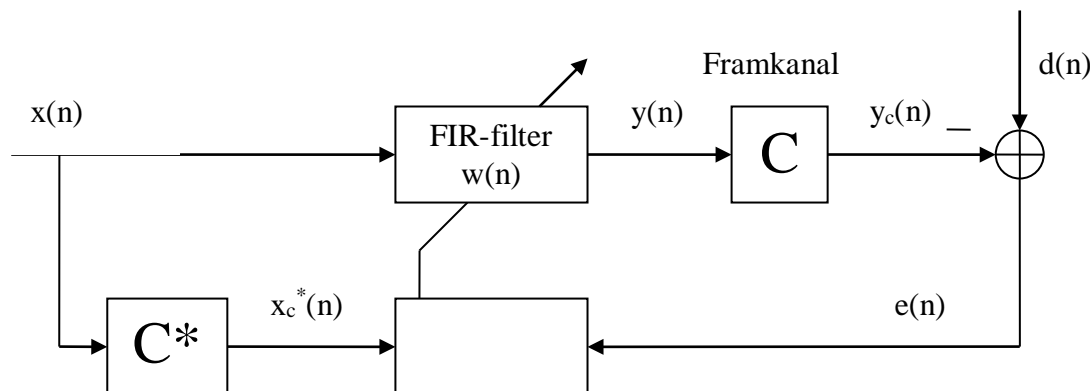


Fig. 7.4.2. Aktivt regelsystem som är baserat på filtered-x LMS-algoritmen.

Ekvationen till filtered-x LMS algoritmen lyder [2]:

$$\begin{aligned} y(n) &= \mathbf{w}_n^T \mathbf{x}(n) \\ e(n) &= d(n) - y_c(n) \end{aligned} \quad (7.6)$$

$$\mathbf{w}_{n+1} = \mathbf{w}_n + \mu \mathbf{x}_c^*(n) e(n)$$

Där  $\mathbf{w}_n = [w_n(0), \dots, w_n(P)]^T$  är det adaptiva filtrets koefficientvektor,

$\mathbf{x}(n) = [x(n), \dots, x(n-P)]^T$  är referenssignalvektorn,

$\mathbf{x}_c^*(n) = [\sum_{i=0}^{L-1} c^*(i)x(n-i), \dots, \sum_{i=0}^{L-1} c^*(i)x(n-i-P)]^T$  är den filtrerade referenssignalvektorn och  $\mu$  är steglängden. För att filtered-x LMS-algoritmen ska konvergera bör steglängden  $\mu$  uppfylla följande olikhet:

$$\mu < \frac{2}{ME[x^2(n)]}$$

## 7.5. Systemidentifiering

Vid aktiv bullerdämpning baserad på filtered-x LMS-algoritmen behövs ett FIR-filterestimat av systemets framkanal. Systemets framkanal är den kanal som går fr.o.m. motljudshögtalaren fram t.o.m. mikrofonen, som genererar felsignalen  $e(n)$ . Ett FIR-filterestimat av framkanalen erfordras i filtered-x LMS-algoritmen för att medge dess koefficientjusteringsalgoritm att producera vettiga gradientestimat. Med hjälp av signalanalysator kan korskorrelations- och frekvensfunktions skattningar samt koherensfunktionsskattningar utföras mellan in- och utsignal till framkanalen. Detta medger skattningar av både framkanalens impulssvar och frekvensfunktion samt till vilken omfattning framkanalens utsignal kan förklaras linjärt ur dess insignal. Antag att framkanalen är ett linjärt tidsinvariant system, då kan impulsvaret för framkanalen erhållas med hjälp av korskorrelationsfunktionen mellan in- och utsignalen för framkanalen [3], enligt:

$$r_{yx}(\tau) = E[x(t)y(t - \tau)] = \sigma_x^2 c(\tau) \quad (7.7)$$

Där  $x(t)$  är insignalen till motbullenhögtalaren,  $y(t)$  är signalen från mikrofonen,  $\tau$  är tidsdifferensen mellan signalerna,  $c(\tau)$  är framkanalens impulssvar samt  $\sigma_x^2$  är variansen hos  $x(t)$ .

Vid systemidentifieringen använde vi oss utav LMS för att skatta impulssvaret mellan motljushögtalaren och felmikrofonen. Uppställningen såg ut enligt fig. 7.5.1 nedan. Med hjälp av LP- och HP-filter begränsar vi insignalen  $x(n)$  till frekvenser mellan 100 och 400Hz, eftersom vi endast är intresserade av lågfrekvent buller. Vi mäter signalen  $d(n)$  med felmikrofonen. LMS-algoritmen använder båda signalerna enligt kap. 7.1 för att skapa ett estimat utav framkanalen  $C$ .

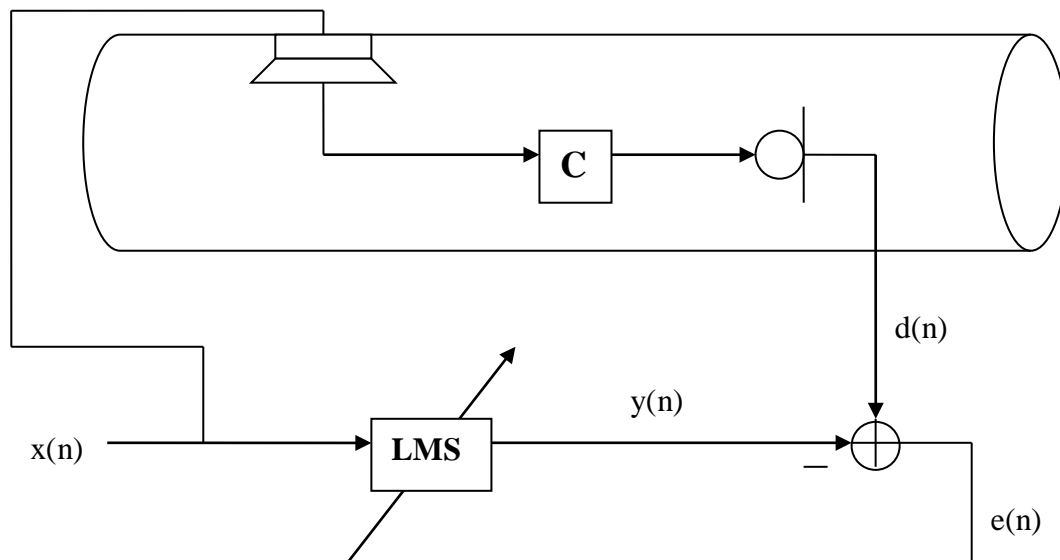


Fig. 7.5.1 illustrerar uppställningen vid systemidentifieringen med hjälp av LMS-algoritmen.

## 8. Experiment på hur olika konfigurationer påverkar systemets prestanda

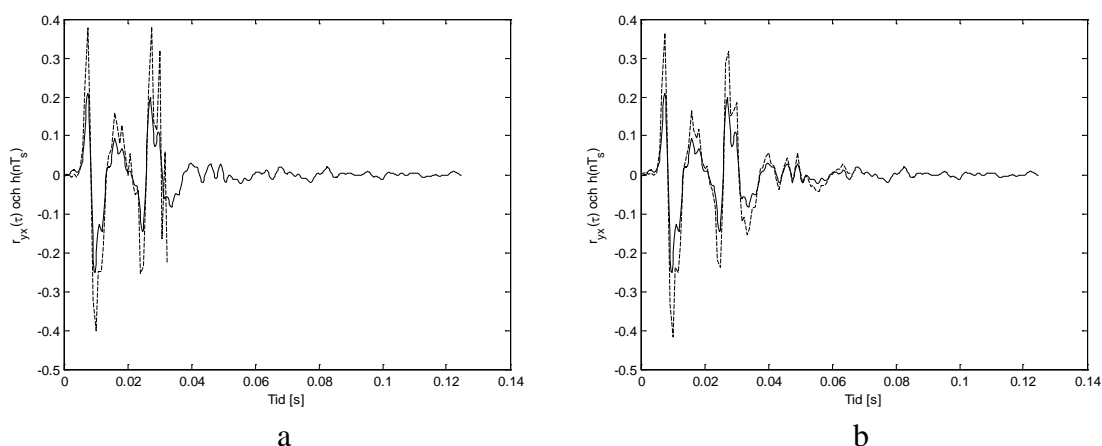
### 8.1. Olika längder på det adaptiva FIR-filtrets koefficientvektor

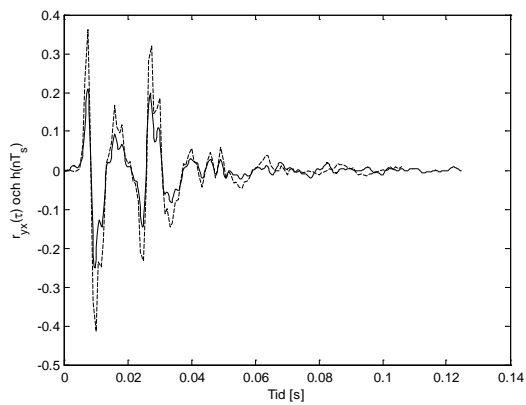
Efter att vi fått systemet att fungera så beslutade vi oss för att undersöka vilken filterlängd som gav bäst prestanda. Filterlängden varieras i källkoden och den bestämmer antalet koefficienter i det adaptiva FIR-filtret för både framkanalsestimatet och bullerundertryckningen. Det finns dock begränsningar i DSP:n gällande längden. Om filtret är för långt så hinner inte DSP:n utföra alla beräkningar mellan samplen. Detta experiment går ut på att finna den filterlängd som ger bäst systemidentifiering och högst bullerundertryckning. För att beräkningstiden mellan samplen skulle bli längre minskade vi samplingsfrekvensen med hjälp av inställningar på DSP:n och decimering. Under experimentet använde vi oss utav en samplingsfrekvens på 1200Hz. Då ligger vi fortfarande med bred marginal över Nyquist teoremets gräns: Två gånger den högsta frekvens som är intressant i vårt fall. Eftersom vi bara var intresserade av frekvenser upp till ca 300 Hz satte vi gränsfrekvensen på anti-viknings och rekonstruktionsfilter till 400 Hz.

#### 8.1.1. Systemidentifiering

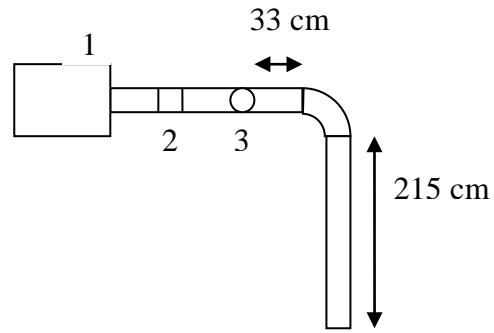
Systemidentifiering utfördes enligt kapitel 4.6 med olika längder på koefficientvektorn. De olika längderna vi använde var 40, 80, 128, 150 och 256 tappar. Konfigurationen med 256 koefficienter gav inget användbart resultat eftersom det blev alltför beräkningskrävande för DSP:n. En filterlängd på 150 tappar fungerade ibland och en framkanalsskattning erhöles vid dessa tillfällen. Däremot var LMS-baserad systemidentifiering med 40, 80 och 128 koefficienters FIR-filter inom processorns beräkningskapacitet varför vi redovisar resultaten med 40, 80 och 128 koefficienter.

Figuren nedan visar en jämförelse av våra resultat. Den heldragna kurvan visar korskorrelationen mellan motljudshögtalaren och felmikrofonen. Den kurvan får vi från signalanalysatorn och det är den som vi använder som facit när vi bestämmer om vårt LMS-baserade FIR-filterestimat av framkanalen är tillräckligt bra.





c



d

Fig. 8.1.1 a,b och c visar korskorrelationskattning mellan framkanalens in- och utsignal (heldragen kurva) och FIR-filterskattning av framkanalen baserad på LMS algoritmen (streckad kurva). a) 40 koefficienter b) 80 koefficienter c) 128 koefficienter.

Fig. 8.1.1 d beskriver rörkonfigurationen vid korskorrelationskattningen där 1) är den passiva dämparen, 2) "motbuller"-högtalaren och 3) felmikrofonen.

### 8.1.2. Bullerundertryckning

På motsvarande sätt som vid systemidentifieringen så begränsades antalet koefficienter i filterad-x LMS-algorithmens adaptiva FIR-filter av signalprocessorns beräkningskapacitet. Maximalt 128 filterkoefficienter användes i den adaptiva regulatoren. Figuren nedan visar filterlängdens betydelse vid bullerundertryckningen. Vi har valt att bara visa resultatet från två inställningar, 40 och 128 koefficienter, eftersom de tydligt visar utgången.

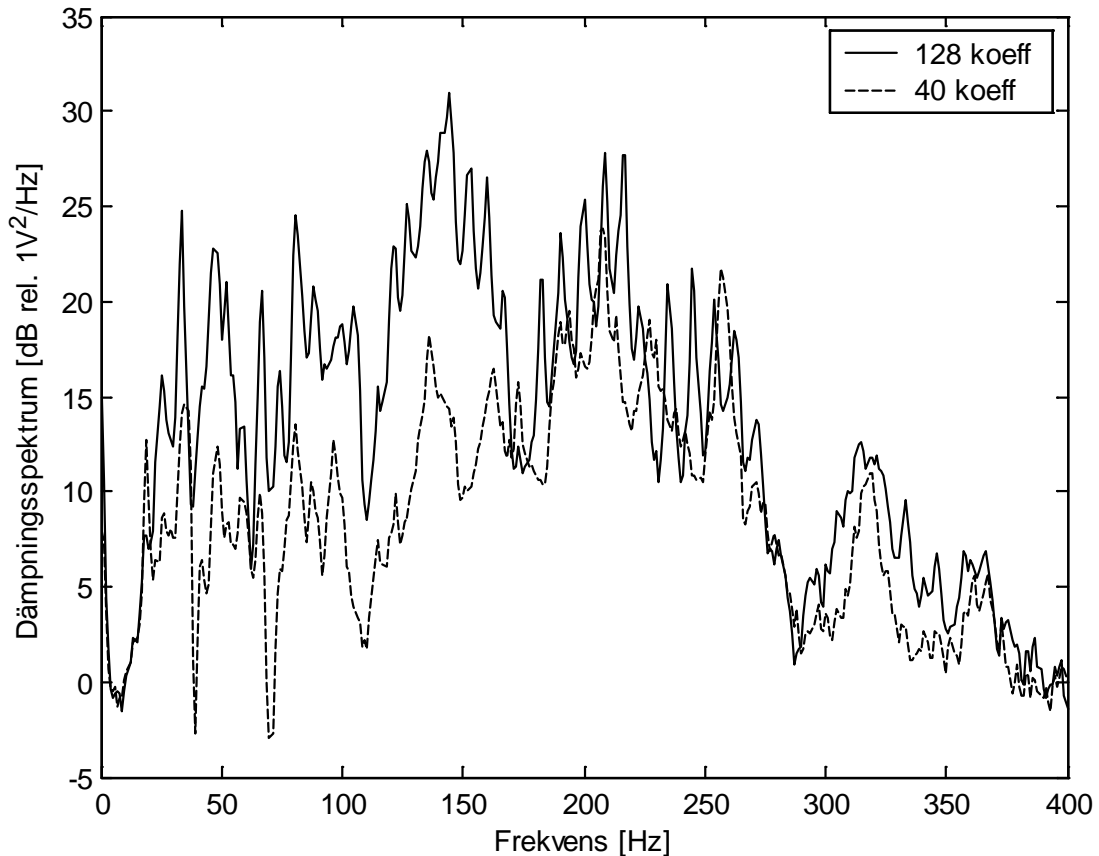


Fig. 8.1.2. Dämpningsspektrum för dämpningen vid felmikrofonen med 128- (heldragen linje) resp. 40-koefficienter (streckad linje). Vid experimentet användes samma konfiguration som i fig. 8.1.1 d.

### 8.1.3. Resultat

Skillnaden mellan korskorrelationsskattningen, vårt facit, och den FIR-filter baserade framkanalsskattningen minskar ju fler filterkoefficienter som används, förutsatt att DSP:n klarar av det. En bättre systemidentifiering påverkar även bullerundertryckningen positivt eftersom den senare används i filterad-x LMS-algoritmen, se kapitel 7.4. En kombination av ett mer snarlikt framkanalsestimat och mer information om det oönskade bullret ger en bättre dämpning, vilket ni kan se i fig. 8.1.2. Av detta utläser vi att ju fler filterkoefficienter, i den mån DSP:n hinner med, desto bättre dämpning. I vårt fall ger en filterlängd på 128 koefficienter högst prestanda.

## 8.2. Olika längder på ventilationskanal efter felmikrofonen

Det aktiva systemet, som är beskrivet i kapitel 6, innehåller bl.a. referensmikrofon, motbullerhögtalare och felmikrofon. Vi ska i detta avsnitt behandla hur vidare böjen, fig. 8.2.1., efter felmikrofonen påverkar systemets prestanda.

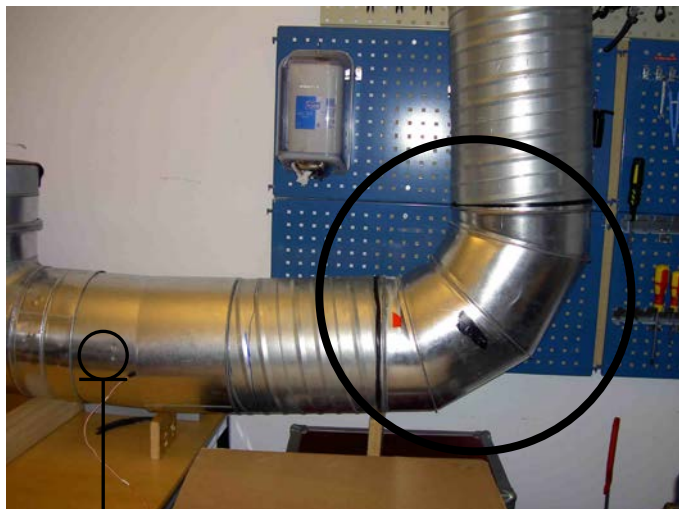


Fig. 8.2.1 visar rörsystemets utformning från motjudshögtalaren och fram till böjen (inuti cirkeln). Symbolen till vänster i figuren föreställer felmikrofonens placering i ventilationskanalen.

Man har i tidigare examensarbete upplevt att systemets prestanda försämras om ventilationskanalen, mellan felmikrofonen och böjen, minskar i längd. En av förklaringarna till det är att böjen genererar en viss turbulens och därmed påverkar felmikrofonen negativt.

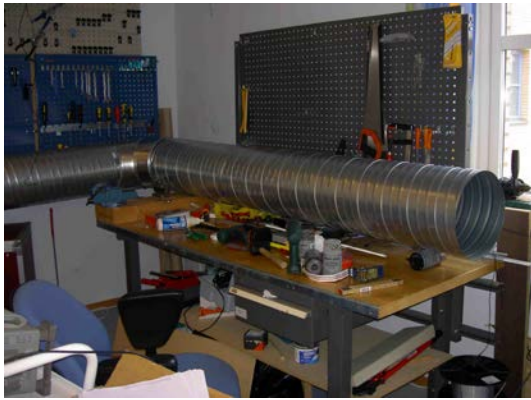
Vi valde att variera längden mellan felmikrofonen och böjen för att se hur det påverkar systemet. Laborationssalens utformning begränsade dock längdvariationen. Den maximala längden, med hela systemet inkopplat, var 1.80m.

### 8.2.1. De olika längderna

De längder vi använde oss utav bestämdes dels av tillgången av rörlängder och dels av rummets utformning. Vårt mål var att få så stora längdvariationer som möjligt. Vi utförde mätningar både med och utan frånlufts-don (se figur 8.2.2.). För båda alternativen använde vi oss av tre olika längder, se tabell nedan, för att undersöka hur prestandan påverkas.

Konfiguration	Avstånd [m]	Avstånd [m]	Avstånd [m]
Med frånlufts-don	0.42	0.90	1.80
Utan frånlufts-don	0.33	0.90	1.50

Tabell 8.2.1 beskriver vilka rörlängder som användes vid experimentet för de två konfigurationerna, med eller utan frånlufts-don.



a

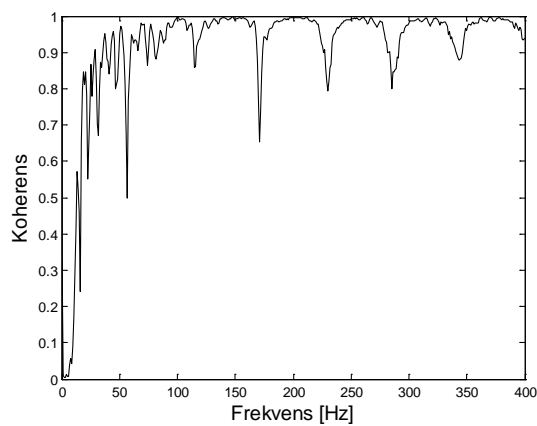


b

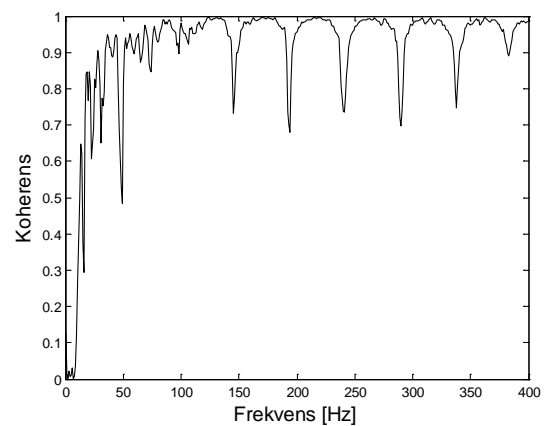
Fig. 8.2.2. a) visar ventilationssystemet med enbart en 2.15m lång ventilationskanal efter böjen och fritt utblås. b) är en bild av frånlufts-donet när hela systemet är inkopplat.

### 8.2.2. Förändringar vid systemidentifiering

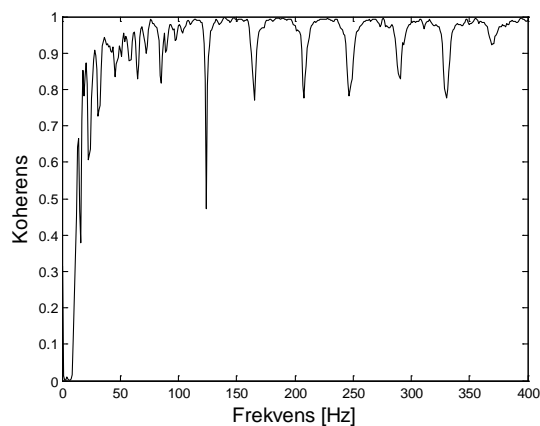
Vid systemidentifieringen förändras både koherensen (fig. 8.2.3) och korskorrelationen (fig. 8.2.4) mellan felmikrofonen och motljudshögtalaren beroende på avståndet till böjen.



a



b



c

Fig. 8.2.3. a) Koherensen mellan felmikrofon och motljudshögtalare vid ett avstånd på 0.33m b) Koherensen med ett avstånd på 0.90m c) Koherensen vid 1.50m. Utan frånlufts-don.

Följande inställningar på signalanalysatorn användes vid koherensskattningen:

Analys typ	Frekvensområde	Upplösning	Fönster	Antal medelvärde
FFT	0-800 Hz	800 linjer	Hanning	100 st

Tabell 8.2.2 visar inställningarna på signalanalysatorn vid koherensskattning.

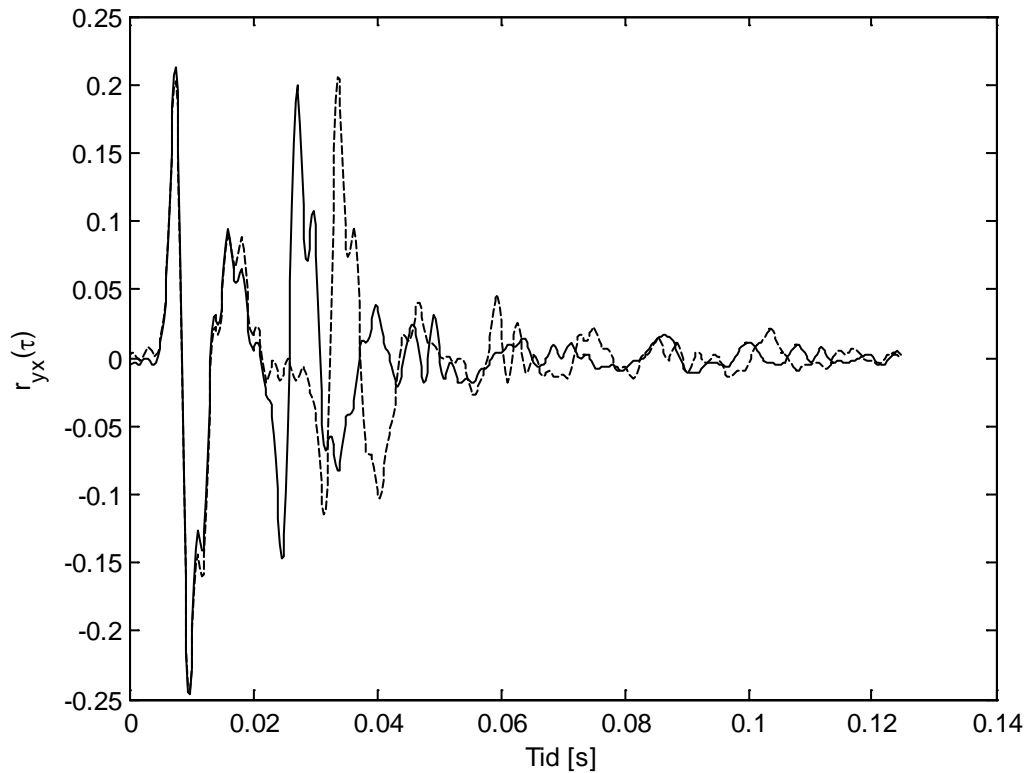
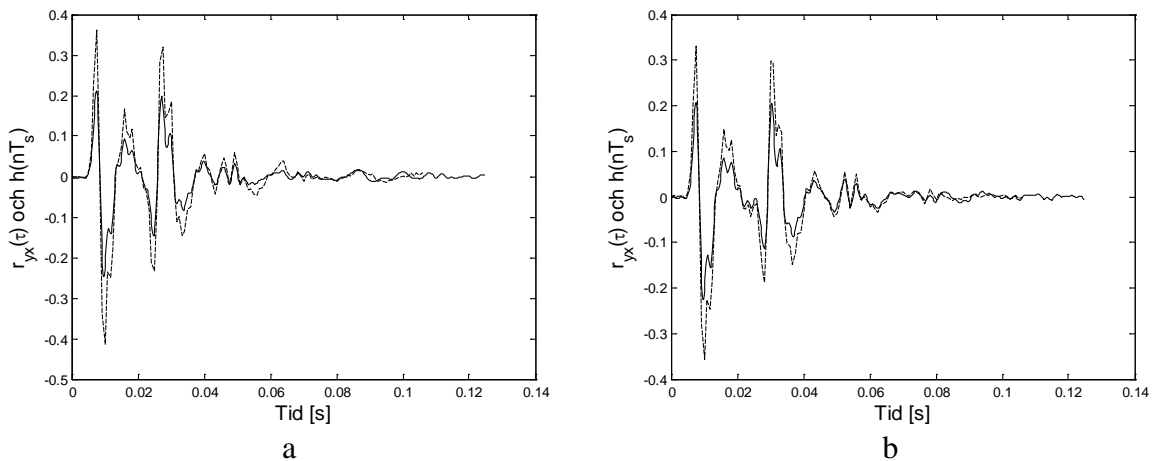


Fig. 8.2.4. Korskorrelationskattning, mellan framkanalens in- och utsignal, med 0.33m (heldragen kurva) resp. 1.50m (streckad kurva) mellan felmikrofon och böj. Utan frånluftsdon.

Förändringarna påverkar däremot inte det slutgiltiga resultatet eftersom vi gör en ny systemidentifiering för var uppställning. I figur 8.2.5 ser ni jämförelser mellan de verkliga framkanalerna och våra estimat.





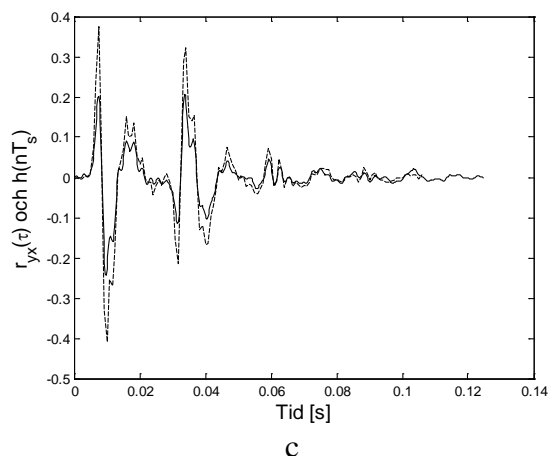


Fig. 8.2.5. Korskorrelationskattning mellan framkanalens in- och utsignal (heldragen kurva) och FIR-filterskattning av framkanalen baserad på LMS algoritmen (streckad kurva). a) visar resultatet med längden 0.33m. b) visar resultatet med längden 0.90m. c) visar resultatet med längden 1.50m. Utan frånlufts-don.

Vid korskorrelationskattning mellan framkanalens in- och utsignal användes inställningar enligt tabell 8.2.3 nedan på signalanalystorn.

Analystyp	Inspelningstid	Blockstorlek	Fönster	Antal medelvärde
Korrelation	250 ms	1024	Zeropad	100 st

Tabell 8.2.3. Inställningar på signalanalystorn vid korskorrelationskattning

Inställningarna för FIR-filterskattningen av framkanalen visas i tabellen nedan.

Algoritm	$\mu$	Frekvensområde	Antal koefficienter
LMS	1e-12	0-400 Hz	128 st

Tabell 8.2.4. Inställningarna för FIR-filterskattningen av framkanalen.

De resultat som hittills har presenterats i detta kapitel kommer från mätningar med 2.15m lång ventilationskanal efter böjen och fritt utblås, se figur 8.2.2.a). Mätningarna med hela ventilationssystemet, se figur 8.2.2.b), inkopplat gav ett snarlikt resultat gällande koherensen mellan felmikrofon och motljushögtalare. Korskorrelationskattningen, mellan framkanalens in- och utsignal, påverkades på samma sätt av längdvariationerna som vid experimentet med 2.15m lång ventilationskanal efter böjen och fritt utblås (se figur 8.2.6). Utseendet av korskorrelationen ändrades däremot, vilket ni kan se i figur 8.2.7.

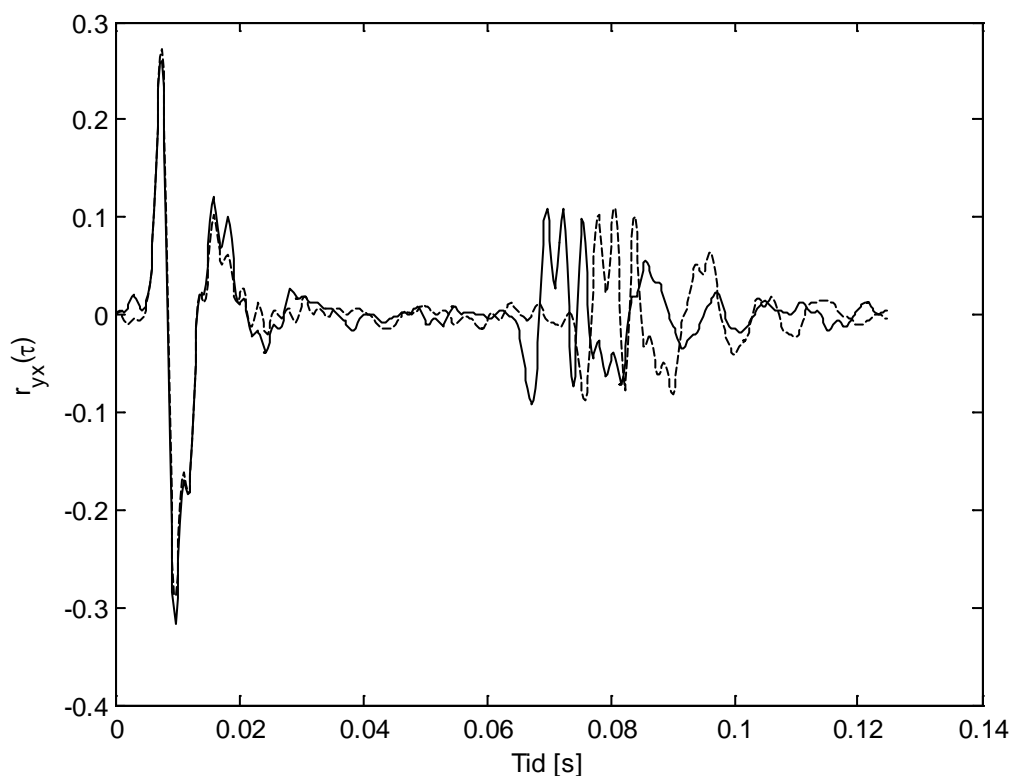


Fig. 8.2.6. Korskorrelationskattning, mellan framkanalens in- och utsignal, med 0.42m (heldragen kurva) resp. 1.80m (streckad kurva) mellan felmikrofon och böj. Hela systemet inkopplat.

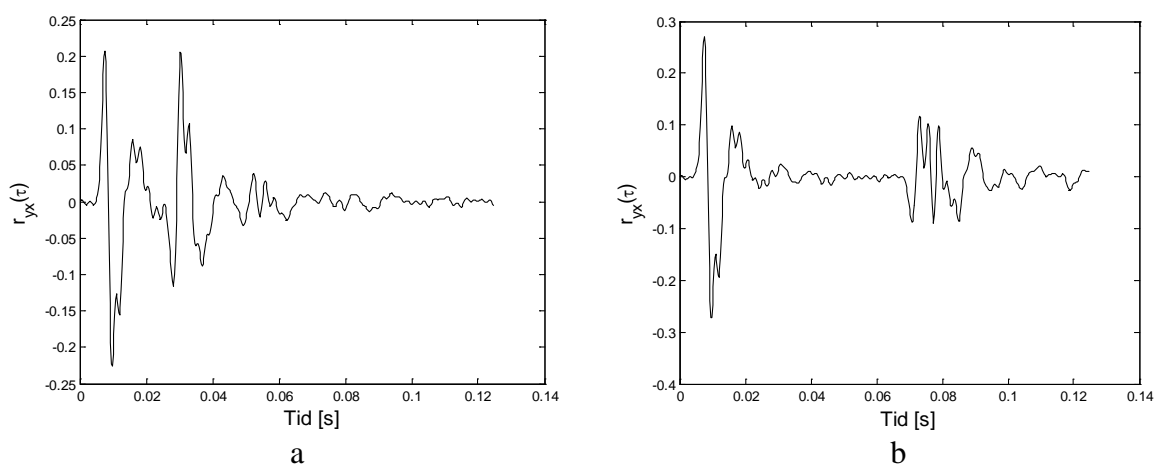


Fig. 8.2.7. Korskorrelationskattning, mellan framkanalens in- och utsignal med ett avstånd på 0.90m mellan felmikrofon och böj. a) representerar korskorrelationen med 2.15m lång ventilationskanal efter böjen och fritt utblås. b) visar korskorrelationen med hela ventilationssystemet inkopplat.

### 8.2.3. Bullerundertryckning

För att undersöka hur rörlängden mellan felmikrofon och böjen påverkar prestandan uppmätte vi ljudnivån, i rummet och vid felmikrofon, med och utan det aktiva reglersystemet inkopplat. För varje ny rörkonfiguration utfördes en ny systemidentifiering. Figuren 8.2.8. beskriver skillnaden i prestanda för de olika konfigurationerna.

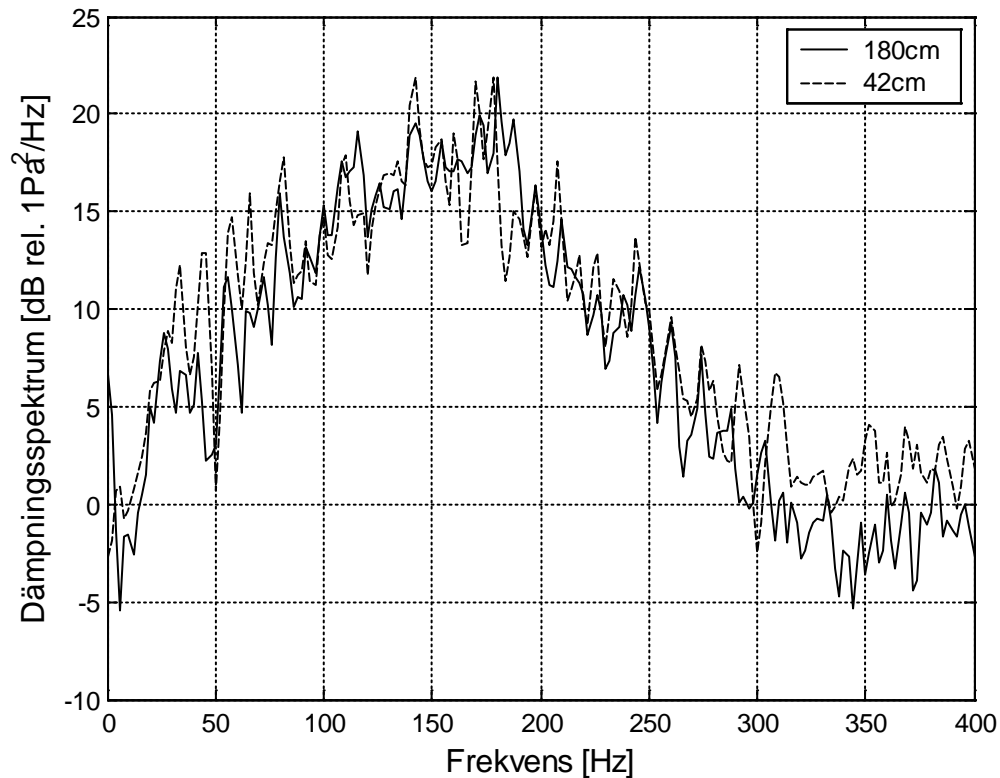


Fig. 8.2.8 visar ett dämpningspektrum för bullerundertryckningen i rummet vid en rörlängd, mellan felmikrofon och böj, på 180 cm (heldragen kurva) respektive 42 cm (streckad kurva). Med frånlufts-don inkopplat.

### 8.2.4. Resultat

Prestandan för vårt system blev mot förmodan nästintill oförändrad när vi varierade längden mellan felmikrofon och böj. Vilket ni kan se i figur 8.2.8. Det skiljer i genomsnitt mindre än två dB mellan kurvorna. Vad som kan tilläggas är att det krävdes en kortare steglängd i den adaptiva algoritmen, för att undvika att systemet blir instabilt, när rörlängden minskades.

### **8.3. Olika temperaturer vid experiment**

I samband med framkanalskattning är det av intresse att veta huruvida olika temperaturer kan påverka systemet. Detta för att veta hur ofta man behöver göra om en ny framkanalskattning om det skulle visa sig att olika temperaturförhållanden skulle påverka dämpningen. I tidigare examensarbeten har man förutsatt att temperaturen alltid är konstant och därmed inte tagit hänsyn till att temperaturförändringar kan förekomma. Vi ska i detta experiment undersöka vad det egentligen kan ha för betydelse.

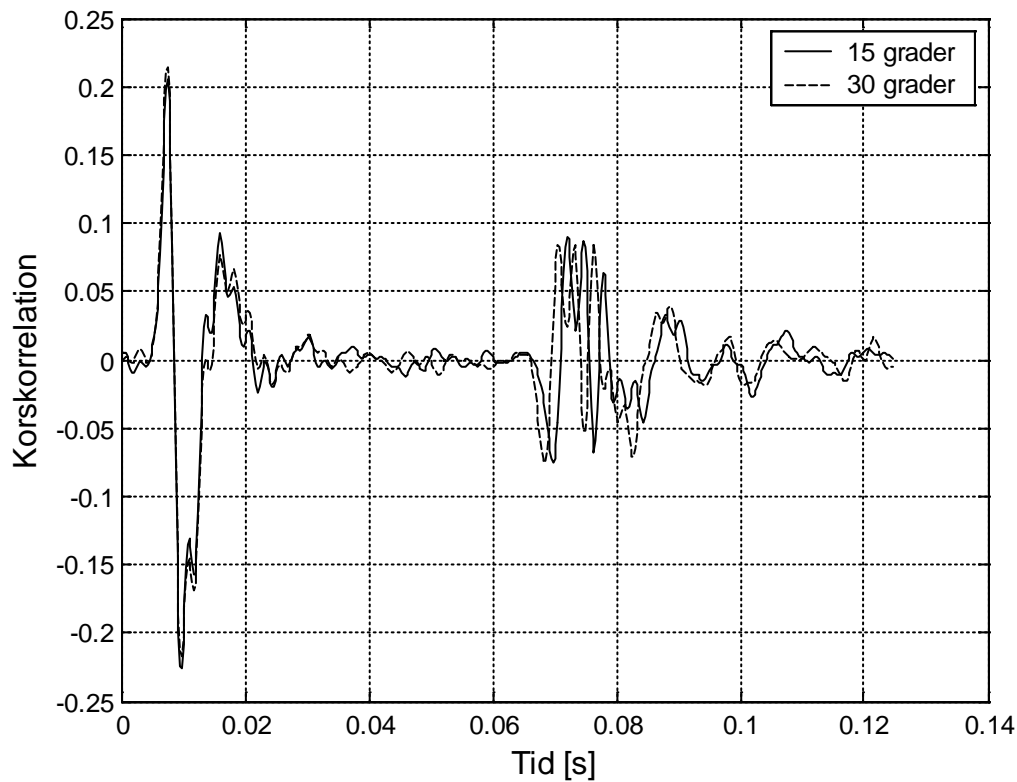
#### **8.3.1. Utförande**

För att få så stora temperaturskillnader som möjligt i laboratoriet fick vi kyla ned resp. värma upp rummet. Genom att sätta ned rummets termostat på maximal kyla, samt att öppna upp alla fönster, fick vi tillslut ned rummets temperatur till 15°C. Mellan varje mätning fick vi dock stänga fönstren igen, detta för att undvika störningar utifrån.

Vid uppvärmning av rummet var tillvägagångssättet att samla ihop alla värmeelement på institutionen för signalbehandling. Med alla element, och rummets termostat, på maximal värme lyckades vi efter ett par timmar få upp temperaturen till 30°C både i rummet och i ventilationskanalerna. Under mätningarna fick vi även här stänga av elementen för att undvika störningarna från dem.

### 8.3.2. Systemidentifiering

Systemidentifiering utfördes både då rummet var kallt ( $15^{\circ}\text{C}$ ) resp. varmt ( $30^{\circ}\text{C}$ ). Figuren nedan visar systemets impulssvar för de olika temperaturerna. En jämförelse mellan kurvorna visar att det är en liten förskjutning av impulsvaret i tiden vid den kallare mätningen. Förklaringen är att luftens densitet är tätare i kall miljö än i varm, vilket medför att ljudet färdas något långsammare. Eftersom det var svårt att hålla temperaturerna vid de två ytterligheterna en längre tid gjorde vi bara mätningar med hela systemet inkopplat.



*Fig. 8.3.1. Systemets impulssvar för de olika temperaturerna. Den heldragna kurvan visar impulsvaret, då rummet är  $15^{\circ}\text{C}$  och den något förskjutna, streckade kurvan visar impulsvaret med en rumstemperatur på  $30^{\circ}\text{C}$ . Med frånlufts-don inkopplat.*

### 8.3.3. Bullerundertryckning

Vid jämförelse av de olika dämpningsspektra, ser man ingen märkbar skillnad i dämpning med de olika temperaturerna. Det dämpar alltså lika bra oavsett temperatur, i intervallet 15-30°C, under förutsättning att man även har gjort framkanalskattningen under de temperaturförhållandena. (Se fig. 8.3.2).

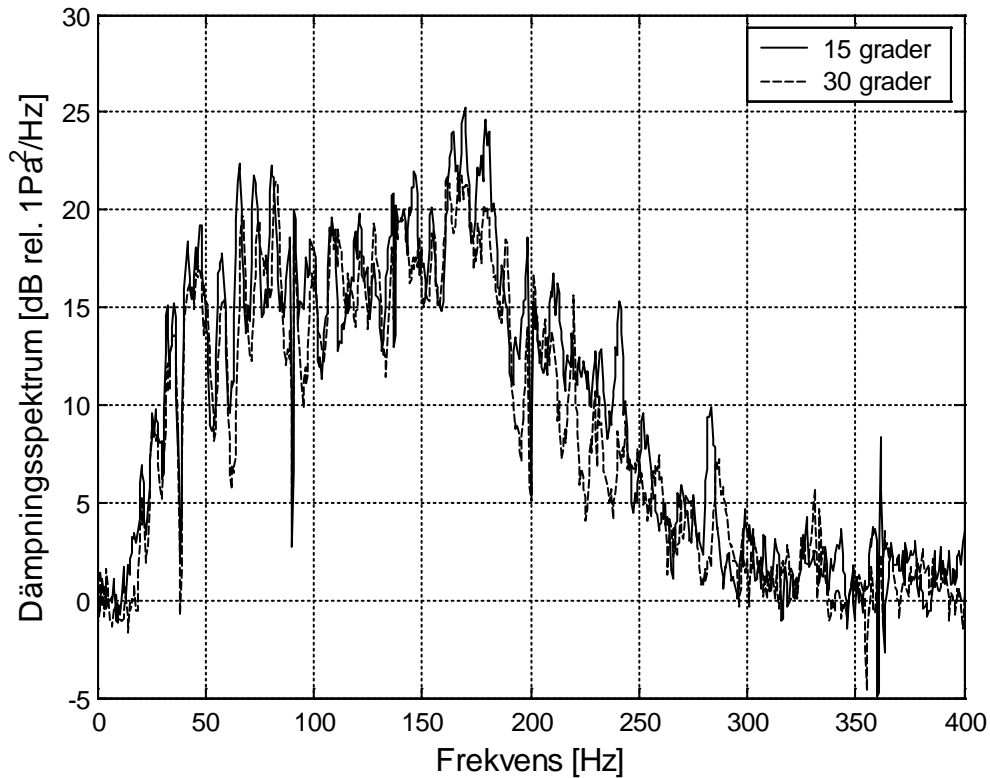


Fig. 8.3.2. Dämpningsspektrum i rummet med en rumstemperatur på 15°C (heldragen kurva) resp. 30°C (streckad kurva). Med frånlufts-don inkopplat.

När vi däremot gjorde en framkanalskattning när rumstemperaturen var på 15°C och inte började dämpa systemet förrän rummet blivit 30°C, blev resultatet något sämre (i snitt 2 dB sämre).

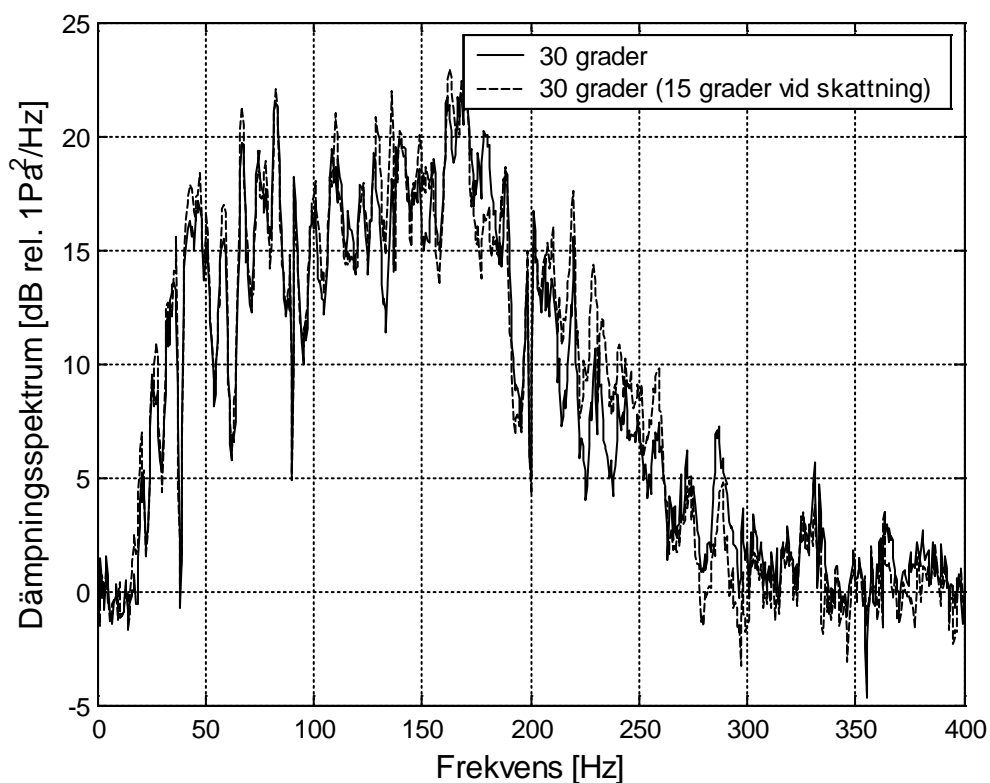


Fig. 8.3.3. Den heldragna kurvan beskriver dämpningsspektrumet för ljudnivån i rummet när framkanalskattningen och dämpningen gjordes när rummet var 15°C. Den streckade kurvan visar ett dämpningsspektrum för ljudnivån i rummet när framkanalskattningen gjordes vid en rumstemperatur på 15°C, men dämpningen gjordes när rummet hade blivit 30°C.

#### 8.3.4. Resultat

Vid experiment har vi kommit fram till att så länge rumstemperaturen varierar i intervallet mellan 15-30°C, behöver inga nya framkanalsskattningar göras om. Givetvis blir resultatet mer exakt om dämpningen görs i samma temperatur som framkanalskattningen, men även om det skiljer 15°C, som i vårt experiment, så är skillnaden marginell.

## 8.4. Olika flödes hastigheter

Detta experiment går ut på att undersöka hur bra systemet lyckas dämpa olika flödes hastigheter i ventilationsrören. Fläkten kan, som beskrivet i kap 6.2, regleras dels med frekvensomriktaren och dels med spjället. Till en början skattade vi effekttäthetsspektrum ventilationsbuller i rummet för tre olika flödes hastigheterna utan det aktiva systemet inkopplat. Se figur 8.4.1. Vid mätningarna var hela systemet inkopplat.

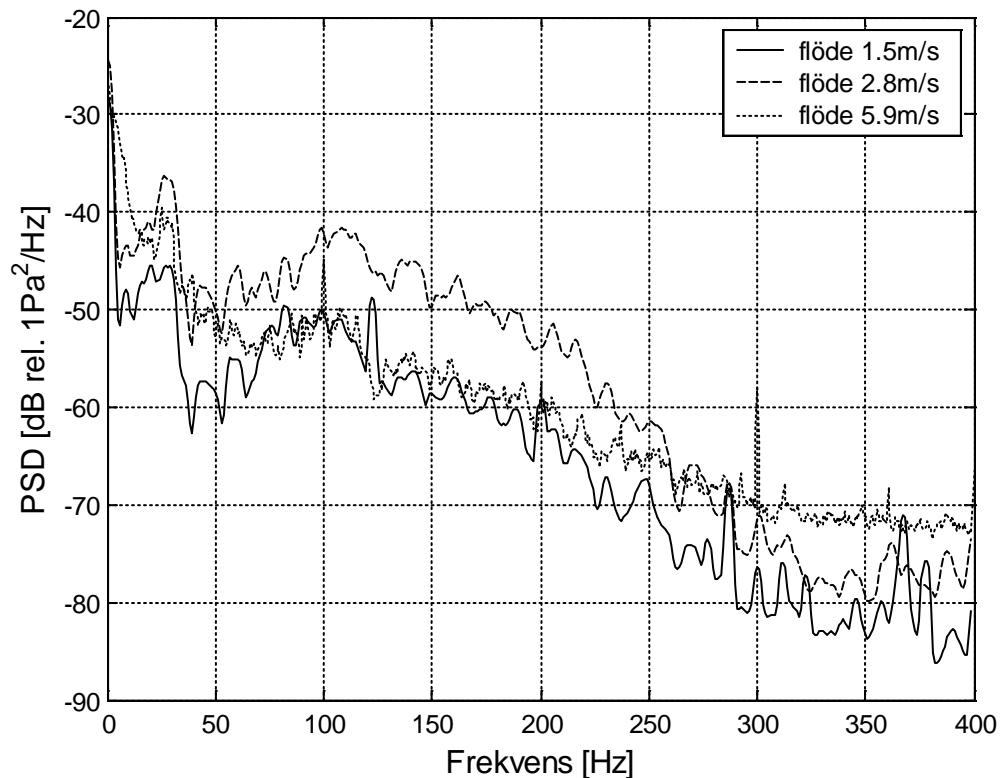


Fig. 8.4.1. Diagrammet visar effekttäthetsspektrum för ventilationsbuller i rummet vid tre olika flödes hastigheter. Heldragen kurva flödes hastighet 1.5 m/s, streckad kurva flödes hastighet 2.8 m/s och prickad kurva flödes hastighet 5.9 m/s.

Ljudnivån ökar vid ökat varvtal på fläkten. Att ljudnivån är som lägst vid den högsta flödes hastigheten har sin förklaring i att spjället var helt öppet vid den mätningen, till skillnad från mätningarna på 1.5 m/s resp. 2.8 m/s då spjället var halvöppet. Hastigheten på fläkten är den samma för flödena 2.8 och 5.9 m/s, det är endast spjället som regleras för att flödes hastigheten ska ändras. Ett flöde utan motstånd resulterar naturligtvis i mindre ljudalstring än ett flöde med ett spjäll som motstånd.



### 8.4.1. Utförande

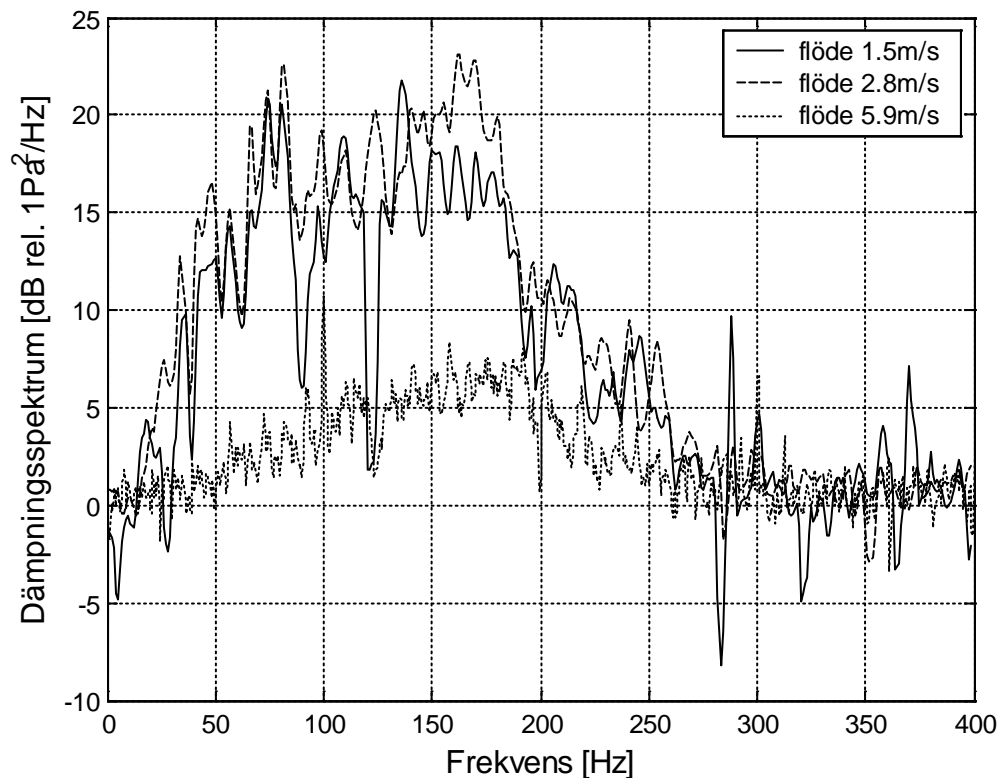
För ett lyckat experiment, krävs det att man testar med så olika värden som möjligt. Vi började därför först att ställa in fläkten så att den genererade minsta möjliga flödeshastighet. Med spjället halvöppet och frekvensomriktaren på minimum, fick vi en flödeshastighet på 1.5 m/s. För maximal flödeshastighet fick vi öppna upp spjället, samt ställa in frekvensomriktaren på maximalt läge. Hastigheten landade på 5.9 m/s. Ett mellanting mellan dessa värden uppnåddes då vi bibehöll frekvensomriktarens läge på max och istället ställde in spjället på halvöppet. Flödeshastigheten blev då 2.8 m/s. Se tabell 8.4.1. som visar inställningarna vi hade vid mätningarna för de olika flödeshastigheterna.

Flödeshastighet i ventilationsrören	Frekvensomriktarens läge	Spjällets läge
1.5 m/s	min	halvöppet
2.8 m/s	max	halvöppet
5.9 m/s	max	öppet

Tabell 8.4.1 visar inställningarna vi hade vid mätningarna för de olika flödeshastigheterna.

### 8.4.2. Bullerundertryckning

Efter mätningarna av ventilationsbuller utan aktiv reglering utfördes mätningar av ventilationsbuller med aktiv reglering vid de tre olika flödes hastigheterna. Resultaten behandlades i Matlab, och därefter plottades en dämpningskurva ut för varje flödes hastighet. Vid jämförelse av dessa kurvor i ett dämpningsspektrum, som visar hur många dB som dämpas vid varje frekvens, kan det konstateras att ingen märkbar skillnad syns. Systemet dämpar dock något bättre om fläkten genererar en flödes hastighet på 2.8 m/s än andra värden som vi testat med. Mätningarna är gjorda med hela systemet inkopplat.



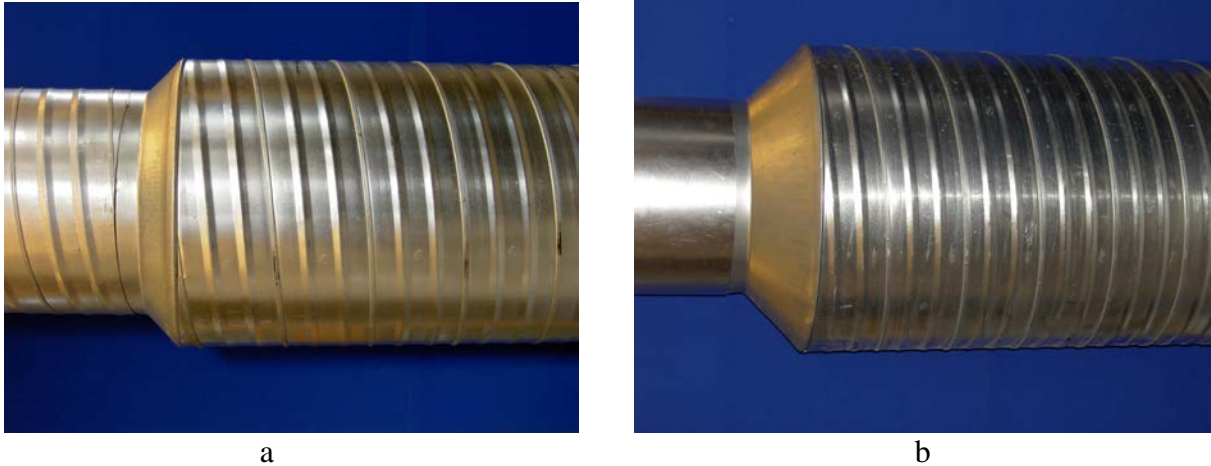
Figur 8.4.2. Ett dämpningsspektrum på systemet med olika flödes hastigheter. Helledragen kurva beskriver bullerundertryckningen vid 1.5 m/s, streckad kurva 2.8 m/s och prickad kurva 5.9 m/s. Hela systemet inkopplat.

### 8.4.3. Resultat

Enligt våra experiment med olika flödes hastigheter, har vi kommit fram till att flödes hastigheten i ventilationssystemen kan ha en viss inverkan på dämpningen. Ju högre täthetseffekt det är från början, desto bättre resultat kan det aktiva systemet uppnå. I vårt experiment har vi dock fått rätt så snarlika resultat. Men vid analys av kurvorna i Matlab ger flödes hastigheten på 2.8 m/s det bästa dämpningsresultatet av de värden som vi har testat.

## 8.5. Olika diametrar på ventilationskanal vid felmikrofonen

Till samtliga mätningar som vi hittills har gjort har vi använt oss av en ventilationskanal med en diameter på 32 cm vid felmikrofonen. Detta experiment gick ut på att vi skulle variera ventilationskanalens diameter vid felmikrofonen för att undersöka hur turbulensen kring felmikrofonen förändrades. Vår förhoppning var att en eventuell turbulens skulle minska om tvärsnittsarean kring felmikrofonen ökade.



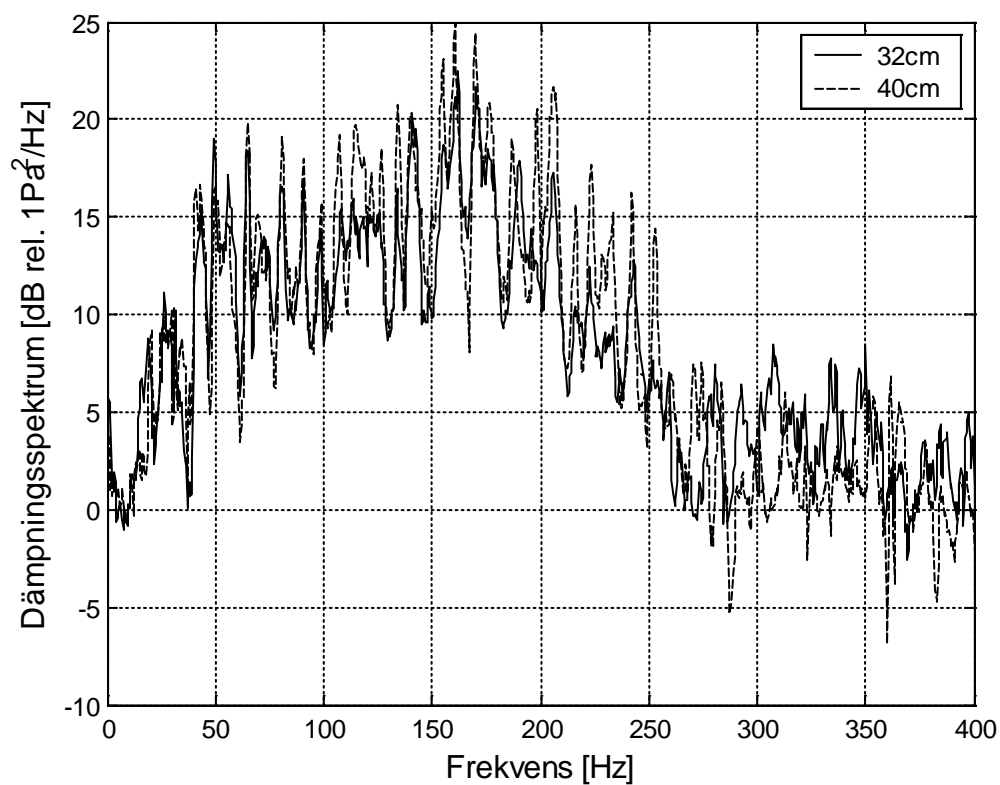
*Fig. 8.5.1 visar ventilationskanal på (a) 40 cm resp. (b) 50 cm i diameter.*

### 8.5.1. Utförande

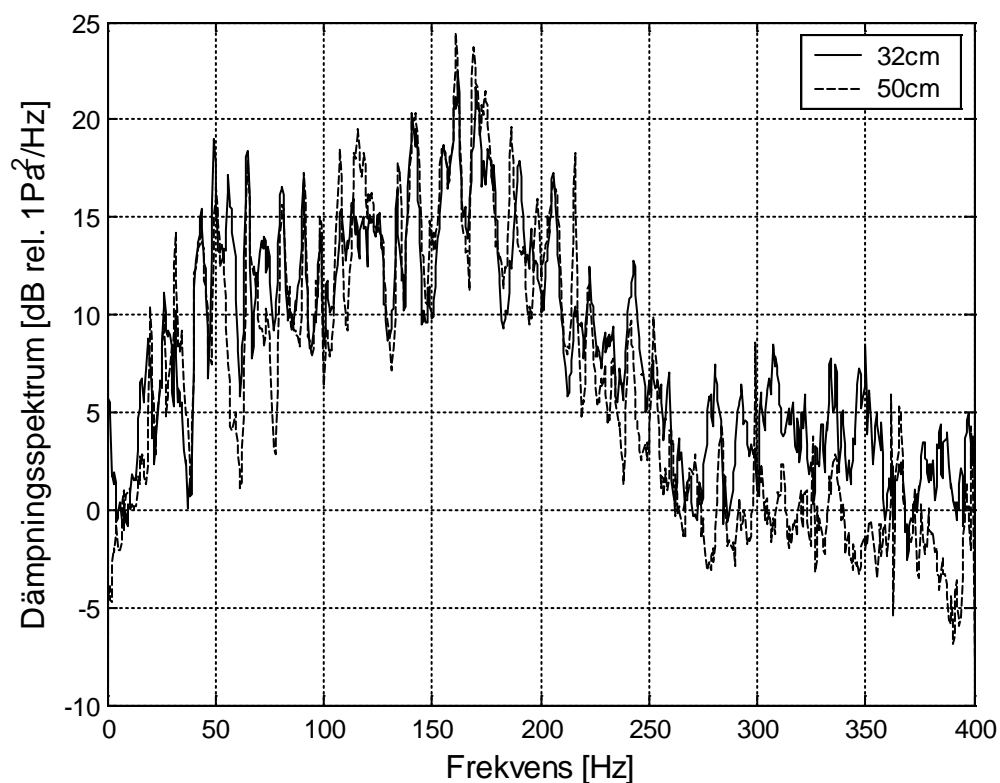
Vi utförde mätningar på tre olika diametrar; 32 cm, 40 cm, samt 50 cm. Det rekommenderades av Lindab AB att ha en längd på ventilationskanalen som minst motsvarade den dubbla diametern. Förklaringen var att det var denna längd som det tog för turbulensen att lägga sig från övergången mellan de olika ventilationskanalernas diameter. Vi valde en längd på 95 cm, vilket var det som fick plats i laborationsrummet. Vid samtliga mätningar var flödes hastigheten inställd på 2.8 m/s och frånlufts-donet inkopplat.

### 8.5.2. Bullerundertryckning

Vid jämförelse av dessa dämpningskurvor som vi fick fram med de olika diametrarna, visade det sig att en ventilationskanal med en diameter på 40 cm gav bäst resultat. Sämst dämpning fick vi med den största ventilationskanalen på 50 cm i diameter.



*Fig. 8.5.2. Ett dämpningsspektrum för systemet med olika diameter på ventilationskanalen vid felmikrofonen. Helledragen kurva beskriver bullerundertryckningen för en ventilationskanal med en diameter på 32 och streckad kurva diametern 40 cm. Med frånluft-don inkopplat.*



*Fig. 8.5.3. Ett dämpningspektrum för systemet med olika diameter på ventilationskanalen vid felmikrofonen. Helderagen kurva beskriver bullerundertryckningen för en ventilationskanal med en diameter på 32 och streckad kurva diametern 50 cm. Med frånluft-don inkopplat.*

### 8.5.3. Resultat

Med en flödes hastighet på 2.8 m/s förbättrades prestandan för systemet när vi ökade ventilationskanalens storlek till 40 cm i diameter. Att prestandan inte förbättrades ytterligare när vi ökade upp diametern till 50 cm, kan bero på att avståndet från övergången till felmikrofonen är för kort. Men på grund av laborationssalens storlek, så fanns det inte utrymme för längre rör till vårt experiment.

## **8.6. En eller två ref.mikrofoner, samt olika placeringar av dessa**

Genom att införa ytterligare en referensmikrofon i våra mätningar, kunde vi undvika att den ordinarie referensmikrofonen hamnar i en trycknod. Detta gör att vi kan få bättre information om bullret som vi vill dämpa.

### **8.6.1. Utförande**

Den nya referenssensorn bestod av två likvärdiga mikrofoner. Men den nya mikrofonen dämpade i viss omfattning sämre än den gamla mikrofonen som vi brukade använda oss av - trots att det var samma artikelnummer på dem. Vi valde att byta ut den gamla mikrofonen mot två nya, även om prestandan försämrades något, just för att få två likvärdiga mikrofoner. Även två nya vindavledare fick tillverkas för detta experiment (se kap. 6.5).

Vi gjorde ett flertal mätningar med två referensmikrofoner med varierande avstånd mellan dem. Med formeln  $\lambda=340/f$  kunde vi räkna ut att en våglängd ungefär var på mellan 100-300 cm. Genom att variera avstånden mellan dem minimerar vi risken att båda mikrofonerna råkar hamna i nollställena. Avstånden mellan dem hölls på 30 cm, 60 cm, 150 cm samt 300 cm.

### **8.6.2. Bullerundertryckning**

Oavsett vilket avstånd som hölls mellan referensmikrofonerna så gav det lika bra resultat som om vi bara hade haft en referensmikrofon. Vi fick alltså inte mer information om bullret med hjälp av två referensmikrofoner som vi hade hoppats på. Detta beror på att koherensen inte förbättras när vi inför en extra mikrofon. I appendix B kan den intresserade se resultat från de olika uppställningarna.

### **8.6.3. Resultat**

I våra mätningar fick vi lika bra dämpning med en referensmikrofon som med två, med olika avstånd mellan dem. Vi hade tur att den ena mikrofonen aldrig hamnade i ett nollställe, så det kan ändå rekommenderas att använda sig av två stycken eftersom extrakostnaden är obefintlig. Till detta experiment har vi haft en flödes hastighet på 2.8 m/s i ventilationsrören.

## 9. Slutsats

Våra mätningar visade att ju kortare längd efter felmikrofonen, desto bättre dämpning. Tester gjordes även på olika längder på det adaptiva FIR-filtrets koefficientvektor, där en koefficientlängd på 128 var den mest gynnsamma i våra experiment. Vi reglerade både temperaturen i rummet och flödes hastigheter i ventilationskanalen för att se om det påverkade dämpningen av systemet. När det var 15°C i rummet fördröjdes impulssvaret i systemet en aning i förhållandet till impulssvaret vid 30°C i rummet. Dock förändrades dämpningen marginellt. Vad gäller flödes hastigheter så undertrycktes bullret bäst när flödes hastigheten i ventilationskanalen var på 2.8 m/s. Ytterligare en referensmikrofon infördes för att reducera effekten av eventuella stående vågor. Dock fick vi snarlika resultat som om vi bara hade haft en referensmikrofon. I sista experimentet varierades ventilationskanalens diameter runt felmikrofonen. Detta gjordes för att undvika ev. turbulens runt mikrofonen. Bästa prestanda fick vi när ventilationskanalens diameter vid felmikrofonen var 40 cm.

## 10. Referenser

- [1] Statistical Digital Signal Processing And Modeling, Monson H. Hayes, John Wileys Sons, 1996
- [2] Filtered-x LMS-algoritm, Lars Håkansson, BTH
- [3] Ljud- och vibrationsanalys 1, Anders Brandt, BTH



## 11. Källförteckning

- Föreläsninganteckningar i adaptiv signalbehandling, Lars Håkansson, BTH vt 2004
- Filtered-x LMS-algoritm, Lars Håkansson, BTH
- Statistical Digital Signal Processing And Modeling, Monson H. Hayes, John Wileys Sons, 1996
- Active Noise Control Systems, Sean M. Kuo and Dennis R. Morgon, John Wileys Sons, 1996
- Ljud- och vibrationsanalys 1, Anders Brandt, Saven EduTech AB och BTH, 2000
- Advances in Network and Acoustic Echo Cancellation, Benesty, Gänslar, Morgan, Sondhi, Gay, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001
- Adaptive Digital Filters and Signal Analysis, Bellanger, Marcel Dekker inc, 1987

## 12. Appendix A Källkod

```
#include <hkr32.h> /* Processor specific */
#include <lsiio.h> /* LSI I/O specific */
#include <ensigdsp.h> /* Interrupt routine declaration */
void c_int01();

long l_Index =0;
long l_DacOn =1;
int i_Function =0;
float f_SampleRate =6; /* lägsta möjliga sampelfrekvens */

#define no_coeffs 128 /* Antalet filterkoefficienter */

/*****/

int new_sample =0;
int skattning =1;
int skatt_klar =0;
int decimering =0;

float y_skatt =0; /* y(n) vid framkanalskattningen */
float d =0; /* d(n) vid framkanalskattningen */
float x =0; /* x(n) vid framkanalskattningen */
float e =0; /* e(n) */

float inputA =0; /* Mikrofonen */
float inputB =0; /* Insignalen (signal gen.) */
float outputC =0;
float outputD =0;

float c_array[no_coeffs]; /* den skattade framkanalen */
float c_my =1e-12; /* konvergensfaktorn vid sytemidentifiering */
float *c_workspace;
int status =0;

float w[no_coeffs];
float my =1e-12; /* konvergensfaktorn vid dämpning */

float xc[no_coeffs];
float output =0;
float y =0;
float xc_out =0;
float *xc_workspace;
float *y_workspace;

int i =0;
int n =0;
int speaker_on =0;
int reset =0;
int my_plus =0;
int my_minus =0;
int start =0;
int ny_skatt =0;
int tecken =0;

float leaky =0.9999945; /*leaky = (1 - my * gamma)*/
float B =3.00e-5; /*beta*/
```

```

int      B_minus      =0;
int      B_plus       =0;

int      LMS_on       =0;          /*=1 för vanlig FXLMS*/
int      leaky_on     =0;          /*=1 för Leaky FXLMS*/
int      norm_on      =0;          /*=1 för Normaliserad FXLMS*/
int      norm_leaky_on=1;          /*=1 för Leaky och Normaliserad FXLMS*/
                                          /*av dessa 4 variabler så får bara en vara =1*/

float    input_array[no_coefs];
float    input_power  =0;

/*****/

main()
{
    ReleaseSemaphore();          /* Make sure the semaphore is released*/
    SetISR(_INT0,c_int01);      /* Set the interrupt service routine*/
    SetDmASpace(_SPACE4);       /* Set Amelia A address space*/
    SetupBurrBrownDM(f_SampleRate,_SITE_A); /* Setup AMELIA A for BB, 5,5 kHz*/

/*****/

    for(i=0 ; i<no_coefs ; i++)
    {
        c_array[i]=0;
        w[i]=0;
        xc[i]=0;
        input_array[i]=0;
    }

    InitLms(&c_workspace, no_coefs);
    InitFir(&xc_workspace, no_coefs);
    InitFir(&y_workspace, no_coefs);

/*****//

    EnableInterrupts(_INT0);     /* Enable interrupts and Go...*/

    for(;;)
    {

        /* DpManager returns TRUE if data has been copied to or from the PC.*/
        /*Use this to clear the count index after data samples have been*/
        /*copied to the PC.*/
        if( DpManager() )
        {
            if (i_Function==1)
            {
                i_Function = 0;
            }
        }
    }

/*****/

```

```

if((new_sample==1) && (skattning==0))
{
    for( i=(no_coeffs-1) ; i>0 ; i--)
    {
        xc[i] = xc[i-1];
        input_array[i] = input_array[i-1];
    }

    Fir1(&xc_out, x, c_array, no_coeffs, &xc_workspace);

    input_array[0] = x*x;
    xc[0] = xc_out;

```

/\*\*\*/

```

if(LMS_on==1)
{
    for(n=0;n<no_coeffs;n++)
    {
        w[n] = w[n] + my * e * xc[n];
    }
}

```

/\*\*\*/

```

if(leaky_on==1)
{
    for(n=0;n<no_coeffs;n++)
    {
        w[n] = leaky * w[n] + my * e * xc[n];
    }
}

```

/\*\*\*/

```

if(norm_on==1)
{
    for(n=0;n<no_coeffs;n++)
    {
        input_power = input_power + input_array[n];
    }

    input_power = (input_power / no_coeffs);

    for(n=0;n<no_coeffs;n++)
    {
        w[n] = w[n] + ((B*e* xc[n]) / (input_power ));
    }
}

```

/\*\*\*/

```

        if(norm_leaky_on==1)
        {
            for(n=0;n<no_coefs;n++)
            {
                input_power = input_power + input_array[n];
            }

            input_power = (input_power / no_coefs);

            for(n=0;n<no_coefs;n++)
            {
                w[n]=leaky*w[n]+((B*e*xc[n])/(input_power));
            }
        }
        new_sample=0;
/*****

    }
    if(B_minus==1)
    {
        B=(B-0.000001);
        B_minus=0;
    }

    if(B_plus==1)
    {
        B=(B+0.000001);
        B_plus=0;
    }

    if(reset==1)
    {
        for(i=0 ; i<no_coefs ; i++)
        {
            w[i]=0;
            xc[i]=0;
        }
        reset=0;
    }

    if(my_plus==1)
    {
        my=my*1.5;
        my_plus=0;
    }

    if(my_minus==1)
    {
        my=my/1.5;
        my_minus=0;
    }

```

```

if(ny_skatt==1)
{
    skattning=1;

    for(i=0 ; i<no_coeffs ; i++)
    {
        c_array[i]=0;
        w[i]=0;
        xc[i]=0;
    }
    ny_skatt=0;
}

if(skatt_klar==1)
{
    skattning=0;
    skatt_klar=0;

}

if(tecken==1)
{
    my=my*(-1);

    tecken=0;

}

```

```

/*****

```

```

}
}

```

```

void c_int01()
{

```

```

    GetAmeliaAIntStatus();    /* Read and clear the AMELIA interrupt flag */

```

```

    SetAmeliaACh1( 0 );

```

```

    if(decimering == 0)
    {

```

```

        if(skattning == 0)
        {
            inputA = GetAmeliaACh0();    /* Read A/D data Channel 0 (mikrofonen)*/
            inputB = GetAmeliaACh1();    /* Read A/D data Channel 1 (insignalen)*/

```

```

            e=inputA;
            x=inputB;

```

```

Fir1(&y, x, w, no_coefs, &y_workspace);

    if(speaker_on==1)
    {
        SetAmeliaACh0( -y ); /*Copy input to output, ch 1*/
    }
    else
    {
        SetAmeliaACh0( 0 ); /* Copy input to output, ch 1*/
    }

    SetAmeliaACh1( 1000000 );

    new_sample=1;
}

if(skattning == 1)
{
inputA = GetAmeliaACh(0); /*Read A/D data Channel 0 (mikrofonen)*/
inputB = GetAmeliaACh(1); /* Read A/D data Channel 1 (insignalen)*/

d=inputA;
x=inputB;

SetAmeliaACh0( x );

Lms1(&y_skatt, x, d, c_array, no_coefs, my , &c_workspace);

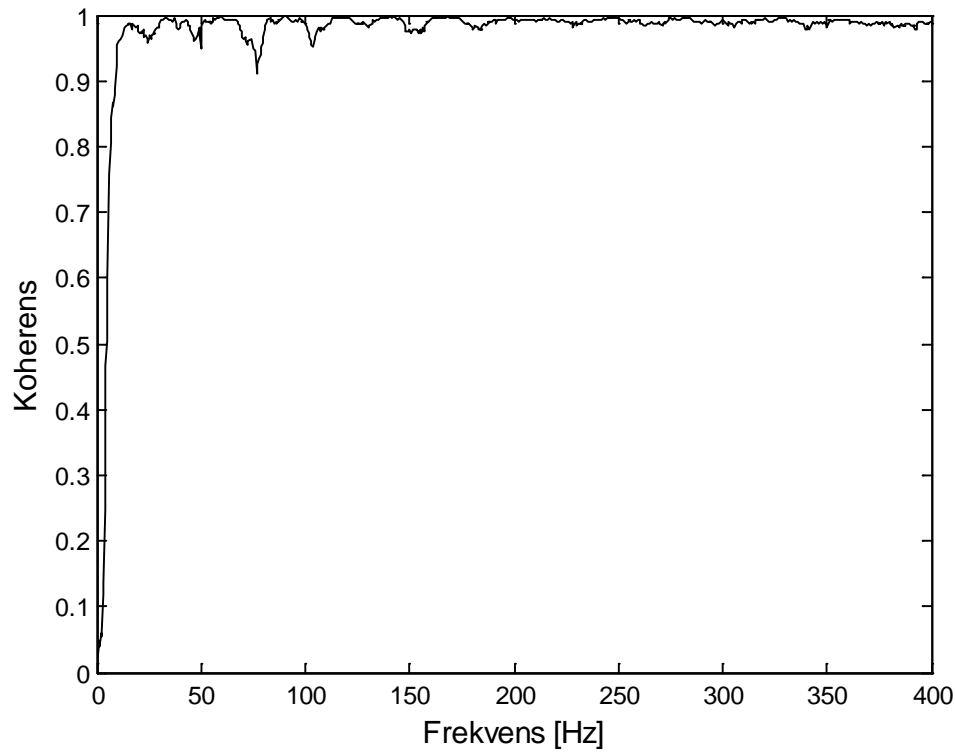
SetAmeliaACh1( 1000000 );
}
}
decimering++;

if(decimering==5)
{
    decimering=0;
}

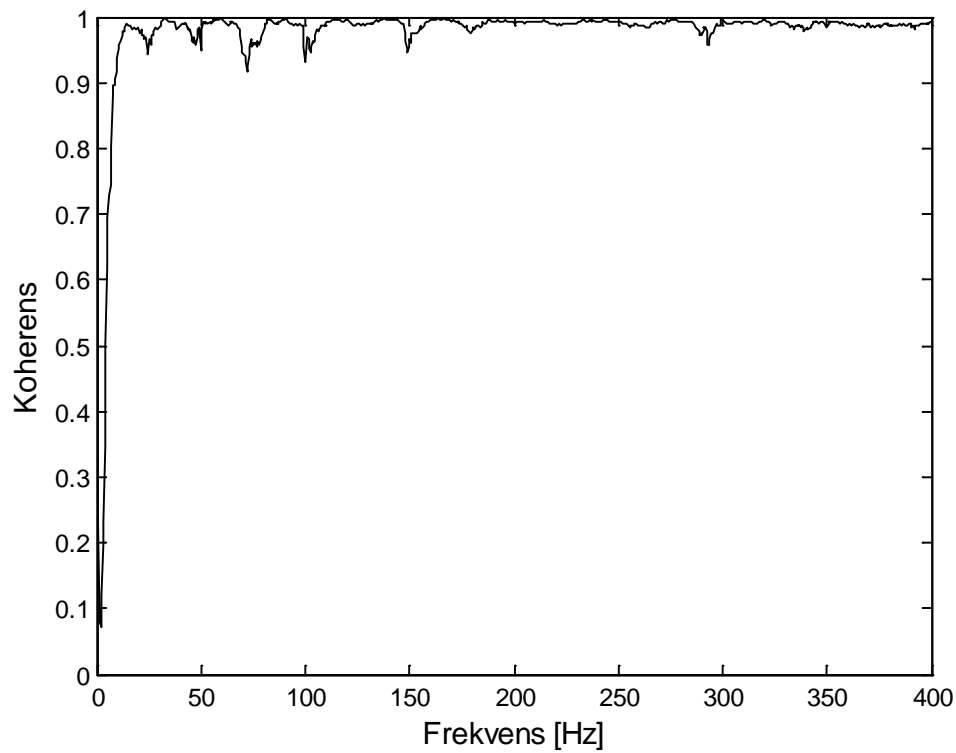
ClearInterruptFlag(_INT0); /* Clear the TMS interrupt flag (IF) register */
}

```

### 13. Appendix B Koherenskurvor



*Fig. 12.1 illustrerar koherensen mellan referens- och felmikrofon.*



*Fig. 12.2 illustrerar koherensen mellan felmikrofonen och summan av referensmikrofon 1 och referensmikrofon 2 (30 cm bort).*



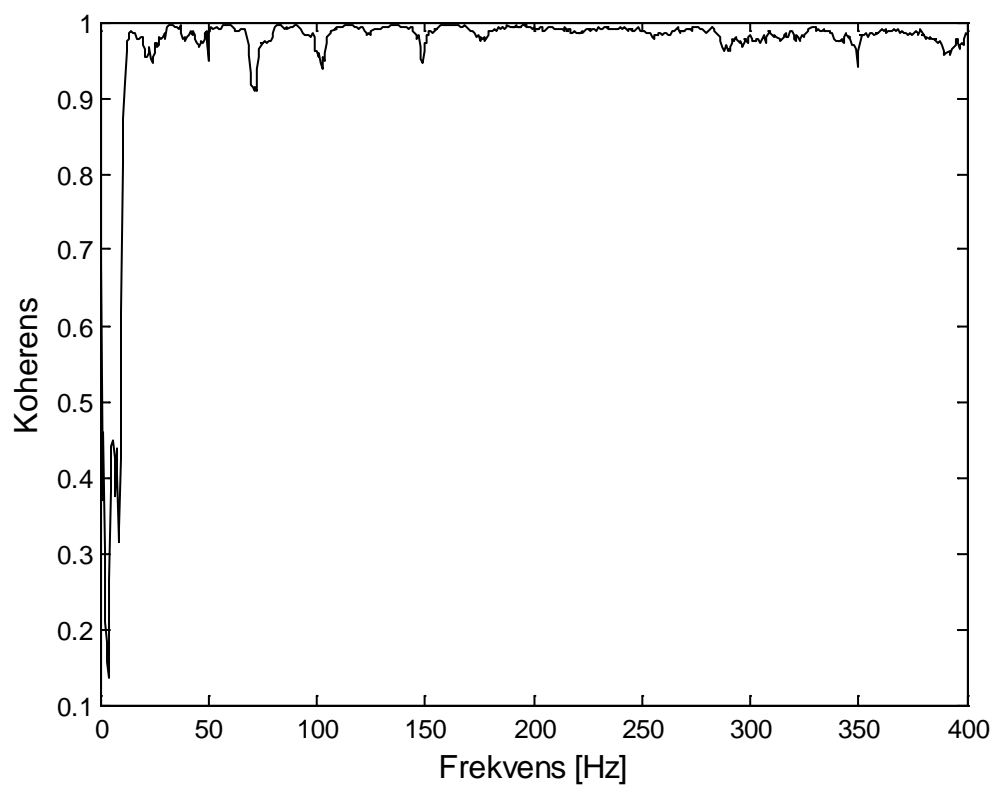


Fig. 12.3 illustrerar koherensen mellan felmikrofonen och summan av referensmikrofon 1 och referensmikrofon 2 (60 cm bort).

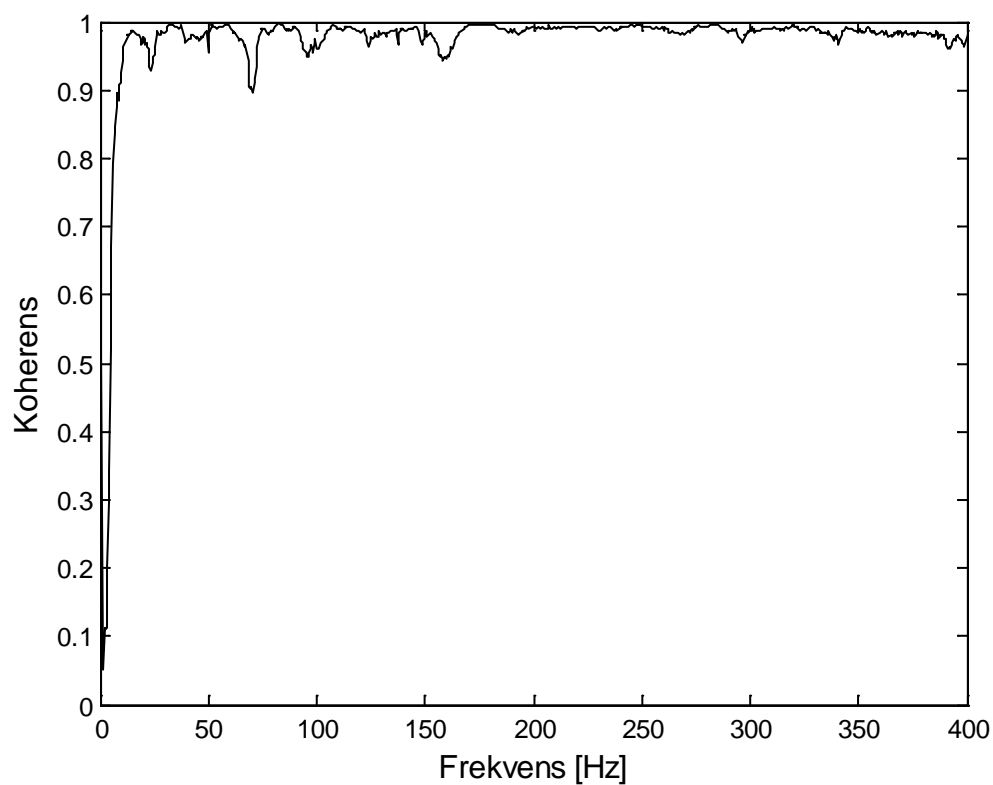
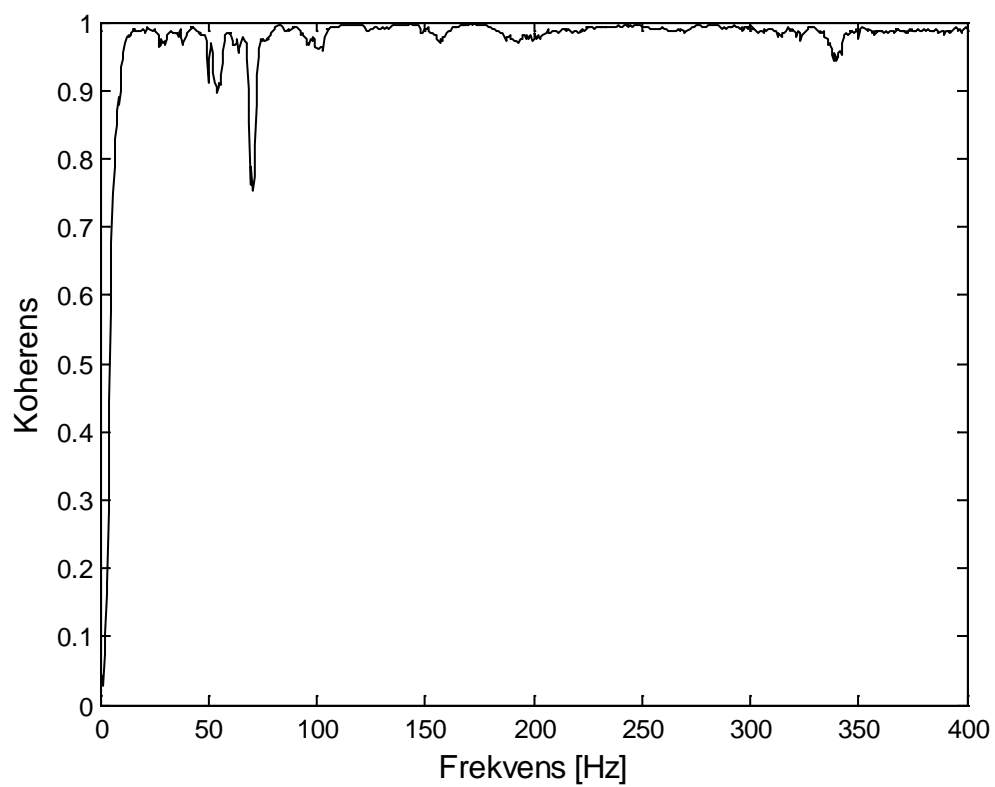


Fig. 12.4 illustrerar koherensen mellan felmikrofonen och summan av referensmikrofon 1 och referensmikrofon 2 (150 cm bort).



*Fig. 12.5 illustrerar koherensen mellan felmikrofonen och summan av referensmikrofon 1 och referensmikrofon 2 (300 cm bort).*