

Hans Habberstad, Fredrik Kullander

Fältförsök med akustiska och seismiska givare för fordonsdetektion

TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Sensorteknik

Box 1165

581 11 Linköping

FOI-R--0703--SE

December 2002

ISSN 1650-1942

Metodrapport

Hans Habberstad, Fredrik Kullander

Fältförsök med akustiska och seismiska givare för fordonsdetektion

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--0703--SE	Klassificering Metodrapport
	Forskningsområde 4. Spaning och ledning	
	Månad, år December 2002	Projektnummer E 7036
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde 42 Spaningssensorer	
Författare/redaktör Hans Habberstad Fredrik Kullander	Projektledare Martin Holmberg	
	Godkänd av Svante Ödman	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarmakten	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Författarna	
Rapportens titel Fältförsök med akustiska och seismiska givare för fordonsdetektion		
Sammanfattning (högst 200 ord) I juni 2002 genomfördes inledande fältförsök inom ramen för projektet "Interaktiva adaptiva marksensormät" (IAM). Härefter redovisas hur försöken gick till och vilken utrustning som användes samt kortfattat några exempel på hur insamlad mätdata kommer att användas. Mätningarna syftade till att samla in akustiska och seismiska signaler av hög kvalitet uppmätta vid passager av olika militära fordon kring sensorerna.		
Nyckelord akustik, seismologi, marksensor, mikrofon, geofon, accelerometer		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 25 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Sensor Technology P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--0703--SE	Report type Methodology report
	Research area code 4. C4ISR	
	Month year December 2002	Project no. E 7036
	Customers code 5. Commissioned Research	
	Sub area code 42 Surveillance Sensors	
Author/s (editor/s) Hans Habberstad Fredrik Kullander	Project manager Martin Holmberg	
	Approved by Svante Ödman	
	Sponsoring agency Swedish Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible The Authors	
Report title (In translation) Field-tests with acoustical and seismological sensors for vehicle detection		
Abstract (not more than 200 words) Initial field tests within the FOI project Interactive Adaptive Ground Sensor Networks (IAM) were undertaken in June 2002. We report here how the tests were performed and what equipment that was used. Furthermore, some examples of how the acquired data will be used are given. The aim of the measurements was to collect high quality acoustical and seismological data measured during the passage of various kinds of military vehicles.		
Keywords acoustics, seismology, ground sensor, microphone, geophone, accelerometer		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 25 p.	
	Price acc. to pricelist	

1	Inledning	5
1.1	Bakgrund.....	5
1.2	Mål och syfte.....	5
1.3	Genomförande.....	5
1.3.1	Sammanfattning, utrustning.....	7
1.3.2	Sammanfattning av vad som hände	7
2	Mätutrustning.....	8
2.1	Akustik.....	8
2.1.1	Mikrofoner	9
2.1.2	Förförstärkare.....	10
2.1.3	Kabel	11
2.1.4	Mikrofonförstärkare.....	11
2.1.5	A/D-omvandlare	12
2.2	Seismik.....	12
2.3	Placering	13
3	Referensmätningar.....	13
3.1	GPS	13
3.2	DV-kamera.....	13
3.3	Väderstation	13
3.4	Kalibreringar	13
4	Delresultat.....	14
4.1	Riktningsbestämning.....	14
4.2	Impulsanalys	17
4.3	Signalkälla i rörelse.....	18
4.4	Akustiska parametrar	21
5	Kommande mätningar.....	24
6	Referenser	25

1 Inledning

Inom ramen för IAM projektet har vi på ett relativt tidigt stadium genomfört mätningar med akustiska och seismiska givare mot fordon i fält. Mätningarna genomfördes utanför Skövde vid Lövsjötorp i mitten av juni. Vi redovisar här hur mätningarna gick till och visar några exempel på resultat.

1.1 Bakgrund

Marksensornät ses som en potentiellt viktig del i det nya nätverksbaserade försvaret. Sensorenheter placeras på strategiska ställen för att bevaka områden, från delar av passager till större områden. De ersätter då till stor del personal som annars skulle erfordras för spaning. En nätverksenhet innefattar såväl sensor, processor och en kommunikationsdel. Sensordelen kan t. ex. utgöras av mikrofoner och geofoner som levererar signaler till processorn. Processorn gör beräkningar och tar fram parametrar i form av objektklass, riktning och position. Redan i det lokala marksensornätverket kan data fusioneras och processas så att exempelvis ointressant information gallras bort innan nätverksdata kommuniceras vidare.

1.2 Mål och syfte

Målet för fältmätningarna var att samla in högkvalitativ rådata från stridsfordonspassager med triangelformade sensorkonfigurationer.

Syftet var att få en första uppfattning om vad som går att göra med den här typen av akustiska och seismiska data, vilken kvalitet och vilken bandbredd som generellt sett är erforderlig vad avser detektion, objektklassifiering, riktningsbestämning och positionering av enskilda fordon i ett nätverk. Konfigurationen med tre givare i hörnen av en liksidig triangel i horisontalplanet valdes därför att den ger möjlighet att bestämma riktningen till signalkällan med minsta möjliga antal givare.

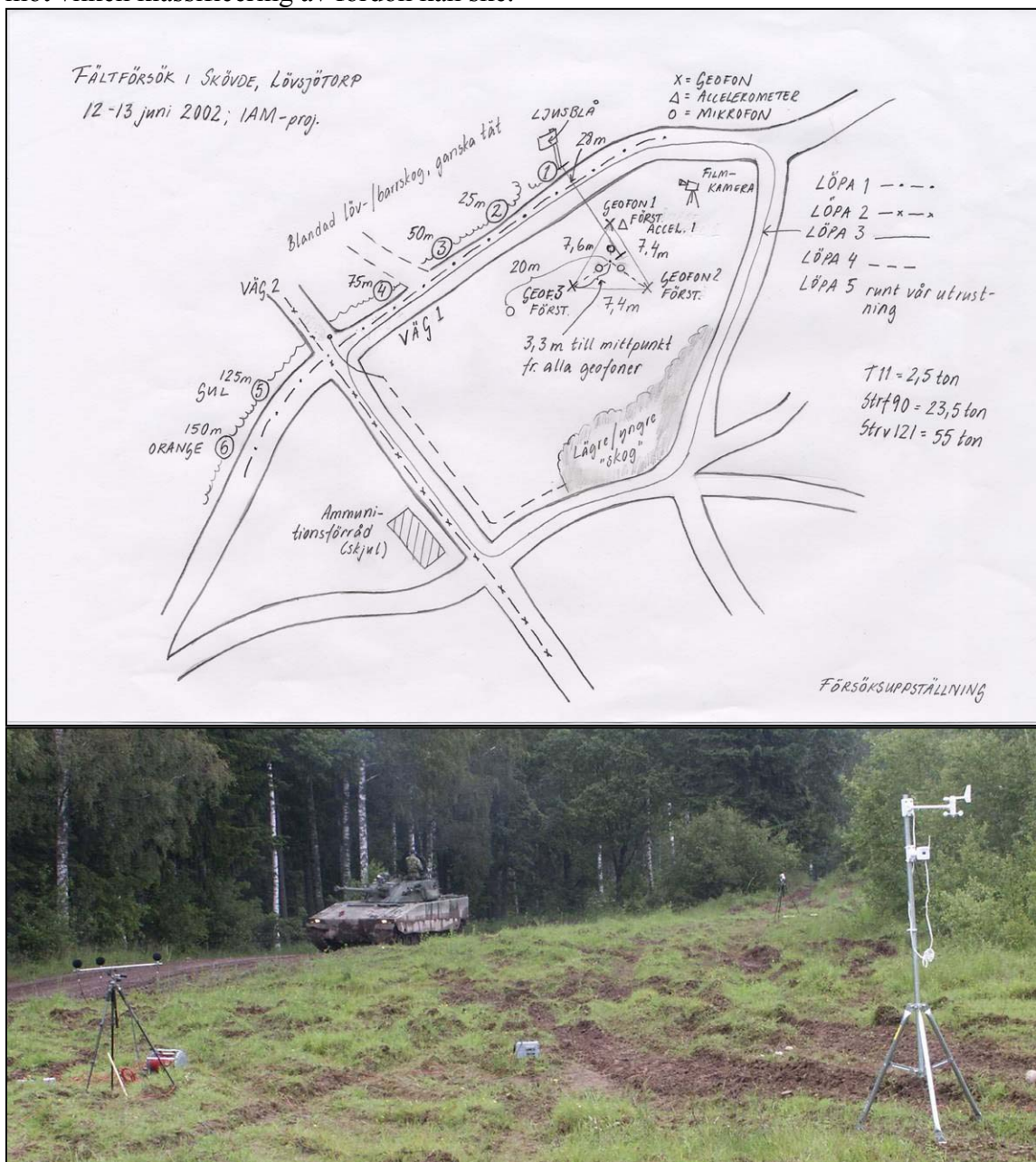
1.3 Genomförande

Mätningarna genomfördes i samband med förbandsövningar på platsen. Vi höll till i ett område i anslutning till övningarna men hade, så vitt vi kunde bedöma, oftast begränsad störning från annan verksamhet. Ett stridsfordonskompani från FB6 i Kvarn övade i området. Fordon avdelades för vår räkning i kortare etapper den 23 och 24/6. Terrängbil 11 (hjul), stridsfordon 90 (band) och stridsvagn 121 (band) medverkade och körde längs med olika löpor som vi i förväg bestämt. Huvudlöpan (väg 1 enligt kartan i figur 1) kunde möjligen betecknas som en väg men bestod snarare av ett uppkört spår i lerig terräng. Fordonen körde även fram och tillbaka längs med andra löpor, Löpa 2 sträckte sig längs väg 2, löpa 3 längs med de närmaste vägarna kring vår utrustning, löpa 4 vid sidan av vägen och i en böj, löpa 5 runt vår utrustning i terrängen. Förutom vår grupp medverkade även företaget Exensor samt personal från FOI lasersystem som passade på att genomföra vibrationsmätningar med ett koherent laserradarsystem. Deltagarna var;

- **IAM**, Hans Habberstad, Fredrik Kullander, Cecilia During Åhs, Ron Lennartsson, Matts Gustavsson (begränsad tid)
- **Exensor**, Fredrik Frisk, Kenneth Wester, David Josefsson
- **Laserradar**, Thomas Carlsson, Markus Henricsson

- **FB 6, Markstridsskolan i Kvarn, Löjtnant Magnus Andersson m fl.**

Exensor placerade sin utrustning en bit sydväst ifrån oss vid sidan av väg 1 (ungefär där väg 1 markerats i kartan). Den koherenta laserradarn ställdes upp cirka 50 meter söder om oss. Exensor gjorde mätningar med sitt mätsystem benämnt "Umra" som används för att detektera fordonspassager längs med väg. Systemet innefattar mikrofoner, geofoner och magnetfältssensorer. Deras syfte var att samla in data för att bygga upp en databas mot vilken klassificering av fordon kan ske.



Figur 1. Karta över mätplatsen samt foto taget från mätplatsen i riktning norrut. Till vänster syns mikrofonstativet med tre mikrofoner. Geofonerna och en accelerometer sitter i marken runt omkring. Till höger står en väderstation. En bit bort, strax vänster om väderstationen står videokameran på ett stativ. Stridsfordon 90 är på väg mot sydväst.

Mätningarna med det koherenta laserradarsystemet skedde för att få data som kan jämföras med akustiska signaler. I övrigt hade dessa mätningar inget att göra med våra. För att hålla reda på när, var och hur fordonen körde användes videoinspelning med referensmätpunkter samt en GPS logger som monterades på fordonen innan de började köra längs löporna. Längs med väg 1 placerades flaggor med 25 meters avstånd ut till 125 meter i sydvästlig riktning längs väg 1. En ljusblå flagga markerade positionen på vägen mitt för vår mätuppställning. Filmkameran ställdes upp nordost och riktades mot väg 1. GPS loggern registrerade kontinuerligt fordonens position i 30 minuter. Data från GPS:n lästes efter varje tagning in till dator.

1.3.1 Sammanfattning, utrustning

- 4 mikrofoner, 1 accelerometer, 3 geofoner
- Gruppering i trianglar vid sidan av stridsvagnsstråk, 1 extra mikrofon längre vid sidan av (20m) huvudgruppering
- GPS på fordon, Väderstation, Komradiosystem.

1.3.2 Sammanfattning av vad som hände

Totalt gjordes 58 inspelningar med fordon som dominerande ljudkälla.

- Stridsvagn 121, 8 inspelningar
- Terrängbil 11, 19 inspelningar [1]
- Stridsfordon 90, 31 inspelningar.

I huvudsak gjordes mätningarna då fordonen körde längs löporna med olika hastighet men även då de stod uppställda med motorn på framför mätplatsen. Under de dagar som vi avsatte för mätningarna skedde:

- Onsdag den 12:e, förberedelser och mätning mot T11
- Torsdag den 13:e, mätningar mot samtliga fordon [1]
- Fredag den 14:e, reservdag som ej utnyttjades.

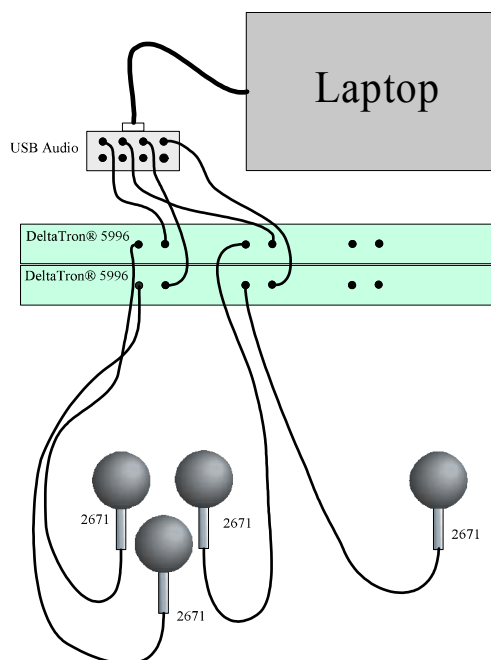
2 Mätutrustning



Figur 2. Foto från mättältet. Insamlingsutrustningen står till vänster, seismikutrustningen ovanpå akustikutrustningen.

2.1 Akustik

Det akustiska systemet bestod av fyra stycken mikrofoner av typ Brüel & Kjær 4188 med förförstärkare typ Brüel & Kjær 2671, 30 meters kablar anslutna till mikrofonförstärkare av typ Deltatron 5996 samt ett fyra kanalers 16 bitars A/D omvandlingskort via USB interface kopplat till en bärbar PC.



Figur 3. Akustiskt insamlingssystem.

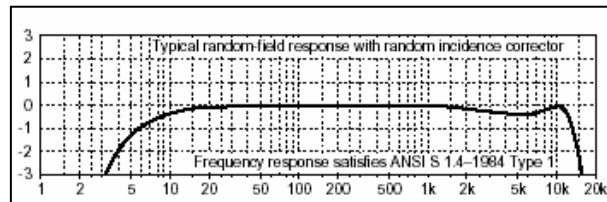
2.1.1 Mikrofoner

Valet av mikrofontyp baseras på det ljudfält som ett fordon avger i en öppen terräng. För mätningar med relativt stora avstånd till reflekterande ytor och god omgivande dämpning ligger valet på en mikrofon med goda frifältsegenskaper. Ett problem med frifältsmikrofoner är att de ska riktas mot ljudkällan för att bibehålla en rak frekvensrespons. I detta fall passerar ljudkällan förbi mikrofonuppställningen, se figur 1, där mikrofonerna placerats i en triangel med membranen uppåt för att uppnå en likartad distribuering av ljudfältet vid olika infallsvinklar. För att kompensera infallsvinkeln på cirka 90 grader vid den nämnda uppställningen användes en så kallad korrektionsgrid, denna verkar till att en rak frekvensgång erhålls, se figur 5.

Valet föll på mikrofonen 4188 från Brüel & Kjær som uppfyller applikationskraven och är relativt kostnadseffektiv.



Figur 4. Mikrofonkapsel typ 4188



Figur 5. Frekvensrespons med korrektion

Prepolarized Condenser Microphone Cartridge Type 4188

Serial No.: 1740259

Open-circuit Pressure Sensitivity at 1013 hPa 23°C and 50% RH:

-30.2 dB re 1 V/Pa or 30.9 mV/Pa

Frequency: 1000Hz Capacitance: 12pF (typical)

Polarization Voltage (external): 0V

Date: 1. July 1993 Signature: N.G.



Brüel & Kjær



Caution: Static electricity discharge directly on the centre terminal may damage the prepolarization of the cartridge. Therefore, ensure that the housing of the cartridge makes contact before the centre terminal.

Sensitivity: The loaded sensitivity is typically 0.05 dB lower than the sensitivity stated. The random-field sensitivity is the same as the pressure sensitivity. The free-field sensitivity at 1000Hz is 0.15 dB higher than the pressure sensitivity.

Free-field calibration with Sound Level Calibrators at 1000Hz: Adjust the Sound Level Meter, or other measurement equipment, to indicate 0.15dB lower SPL than the actual SPL produced by the calibrator.

The two grooves means "prepolarized", i.e. 0V external polarization voltage.

Refer to the 4188 Product Data for further information.

See also rear side.

BC0211-11

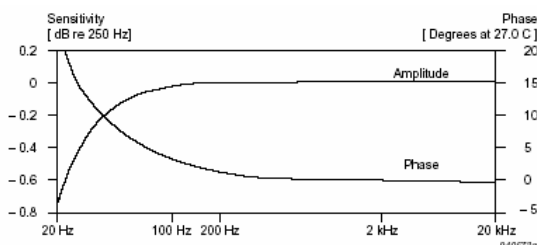
Figur 6. Mikrofonspecifikationer

2.1.2 Förförstärkare

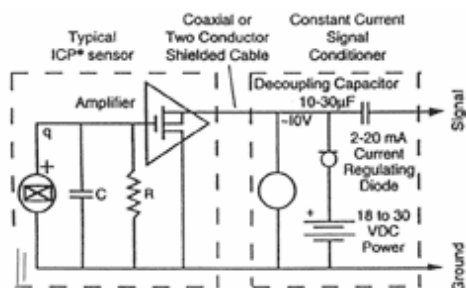
Förförstärkaren är av typen DeltaTron® från Brüel & Kjær. Strömförsörjning till förförstärkaren sker via mikrofonförstärkardelen där en ICP® baserad strömgenerator finns inbyggd.



Figur 8. Mikrofon enhet 2671+ 4188



Figur 7. Frekvensrespons för 2671



Figur 9. Blockschema för ICP

ICP® är en standard utarbetad för att försörja sensorer av olika slag med en konstant ström på 2-20mA, beroende på applikation.

(ICP är ett varumärke från PCB Piezotronics, Inc.)

Specifications - 2671

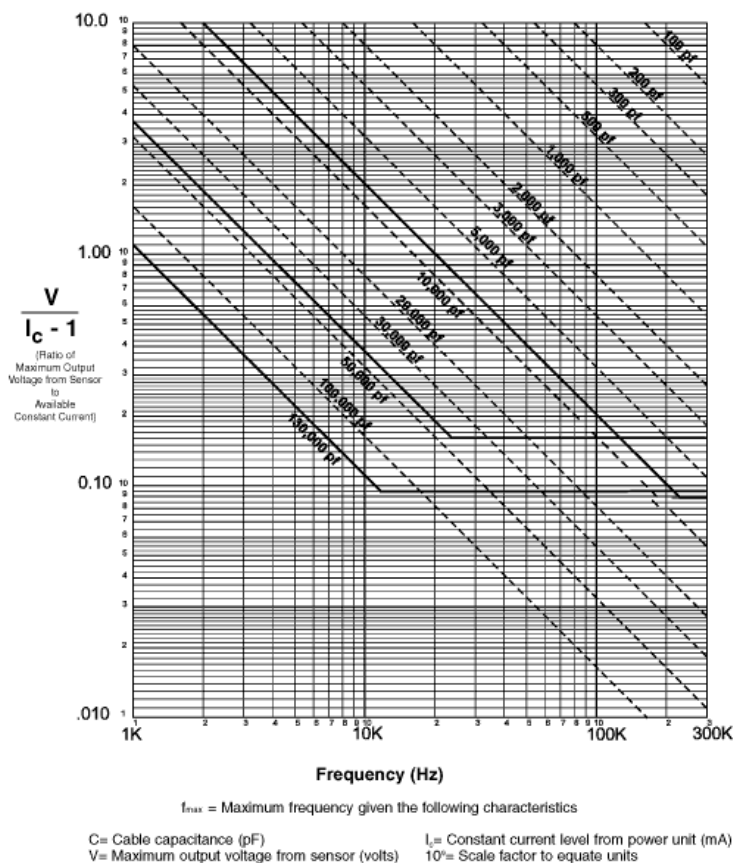
Frequency Response (re 250 Hz)
 200 Hz to 20 kHz, +0.2 dB, -0.2 dB
 20 Hz to 50 kHz, +0.2 dB, -2 dB
 Lower -3dB limit at <12 Hz
 Upper -0.5dB limit at >50 kHz
 Attenuation: -0.3 dB (typical)
 Gain Matching: 200 Hz to 10 kHz, 0.1 dB
 Phase Linearity:
 1 kHz to 10 kHz, $\pm 1^\circ$
 100 Hz to 20 kHz, $\pm 3^\circ$, $\pm 10^\circ$
 Phase Matching:
 5° at 50 Hz
 2° at 100 Hz
 Input Impedance: $1.5 G\Omega \parallel <0.4 pF$
 Output Impedance: $<50 \Omega$
 Max. Output Current:
 At 4 mA supply, 3 mA (peak)
 At 20 mA supply, 19 mA (peak)
 Max. Output Voltage:
 7 V peak for $f < 20 kHz$
 Corresponding to:
 141 dB SPL for microphone sens. of 30 mV/Pa
 138 dB SPL for microphone sens. of 50 mV/Pa
 Max. DC Output Level: $12 V \pm 2 V$ over the specified operating temperature range
 Distortion (THD):
 $< -70 dB$ at $1.0 V_{out}$, 1 kHz
 $< -60 dB$ at $1.0 V_{out}$, 10 kHz
 Output Slew Rate: $2 V/\mu s$ (typical)
 Noise:
 $< 4 \mu V$ A-weighted
 $< 15 \mu V$ Lin., 22.4 Hz to 22.4 kHz
 Start-up Time: Signal within 0.1 dB within $< 10 s$
 Power Requirements: DeltaTron® supply, 2 to 20 mA, Nominal 4 mA
 Connector Type: BNC socket
 Dimensions: $\varnothing 12.7 mm \times 85 mm$ ($\varnothing 1/2" \times 3.3"$) (including connector)

Figur 10. Specifikationer

2.1.3 Kabel

Mikrofonenheterna är kopplade via koaxialkablage typ RG58 med 50ohms impedans vilka bestyckats med BNC-kontakter. Kabellängden till sensorerna är 30m vilket inte innebär någon begränsning i frekvensområdet i denna applikationen enligt följande graf.

Typiskt kapacitansvärde för RG58 är 101pF/m vilket ger 3030pF för använd längd (C) och utspänning på 3.5 volt motsvarar ca:135dB (SPL) i kombinationen 4188 och 2671. Matningsströmmen 3mA ger en övre gränsfrekvens på 30kHz vilket motsvarar två gånger erforderlig bandbredd.



Figur 11. Audio prestanda vid ICP-matning

2.1.4 Mikrofonförstärkare

Som mikrofonförstärkare användes två DeltaTron® 5996 med vardera 3 kanaler. 5996 innehåller konstantströms generatorer av typen ICP. Förstärkningen är fast på 30dB vilket ger en maximal ljudtrycksbegränsning på 100dB (SPL), detta ljudtryck uppnåddes dock bara på ett fåtal mätningar och påverkade inte slutresultatet märkbart.

2.1.5 A/D-omvandlare

Ett ljudkort baserat på USB-teknik valdes för att möjliggöra användning av en bärbar dator i kombinationen med insamling av fyra kanaler synkront.

Specifikationer:

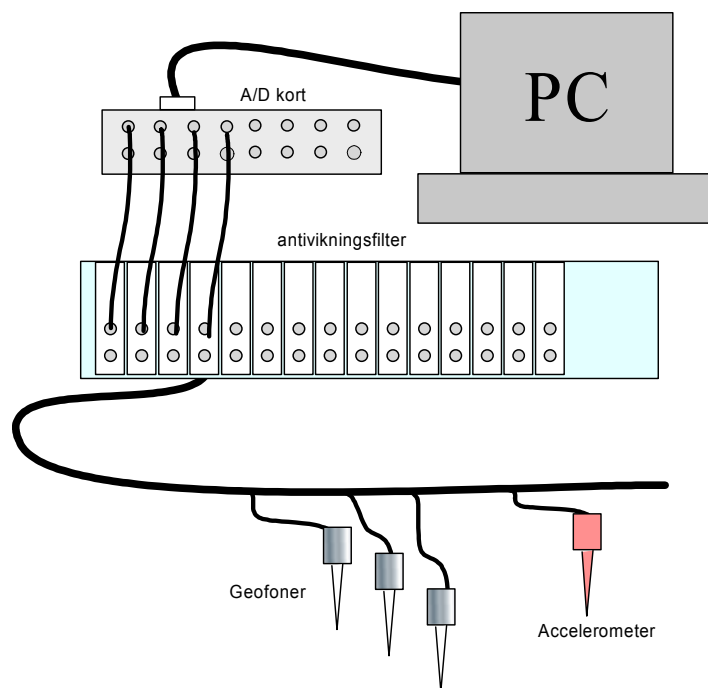
- Dynamiskt omfång: 105dB
- THD+N (distorsion): <0.002%



Figur 12. M-audio, USB-audio interface

2.2 Seismik

Det seismiska systemet bestod av 3 geofoner och en accelerometer med förstärkare i anslutning till givarna byggda på FOI. Signalerna från förstärkarboxarna kopplades via en flertråds kabel till separata antivikningsfilterkort för varje kanal och vidare till ett 16 kanalers A/D omvandlarkort. De fyra akustiska signalerna parallellkopplades även till detta system via filterkorten. Således spelades 8 kanaler in varav fyra seismiska.



Figur 13. Seismiskt insamlingssystem.

2.3 Placering

Mikrofoner och geofoner placerades i liksidiga trianglar med centrumavstånd på 0.47 m och 4.33 m med ett gemensamt centrum 28 meter från löpan. Triangeldimensioneringen baserades på uppskattade ljudhastigheter i luft och mark. Kravet på upplösning och den fysiska storleken bestämmer i detta fall samplingsfrekvensen. Vi valde att sampla med 48 kHz och 16 bitar då detta är ett standardformat och enkelt att hantera vid efterbearbetningen. Samplingsfrekvensen i denna konfiguration gav en vinkelupplösning på ca. 0.5 grader vilket troligen är en högre upplösning än vad som kommer att krävas i framtida nätverksapplikationer. Avståndet på 28 meter till ljudkällan valdes med hänsyn till den stora skillnaden i ljudtryck mellan terrängbil 11 och stridsvagn 121 och insamlingssystemets dynamik och prestanda.

3 Referensmätningar

3.1 GPS

En handhållen GPS typ "Garmin, GPS III plus, personal navigator" användes för att registrera fordonens aktuella position. GPS:n monterades på fordonen och sattes på 30 minuters loggning. Registreringen skedde med en tidsupplösning ned till 1 sekund beroende på hur GPS koordinaterna ändrar sig. Utifrån dessa data kan vi rekonstruera fordonsrörelserna under mätningarna och bestämma hastighet och bana för respektive löpa. Datafilerna kommer att behandlas i ett senare skede då de akustiska och seismiska givarnas positioneringsangivelser skall verifieras.

3.2 DV-kamera

Varje fordonslöpa finns inspelad på digital video med ljud. Fyra 60 minuters DV band spelades in. Videoinspelningarna syftade dels till att dokumentera mätningarna och dels till att komplettera GPS mätningen för positionering av fordonen.

3.3 Väderstation

Väderstationen hade vi med framförallt för att mäta vind. Det blåste dock inte under mätningarna varför vindangivelsen genomgående var 0. Däremot regnade det mycket vilket kan framgå av ljudfilerna. Väderstationen gav dock inte regninformation. Övriga väderdata registrerades ej. Temperaturen under mättdagen var cirka 10 grader och det var mulet och regnväder. Marken, särskilt där fordonen körde, var våt och lerig.

3.4 Kalibreringar

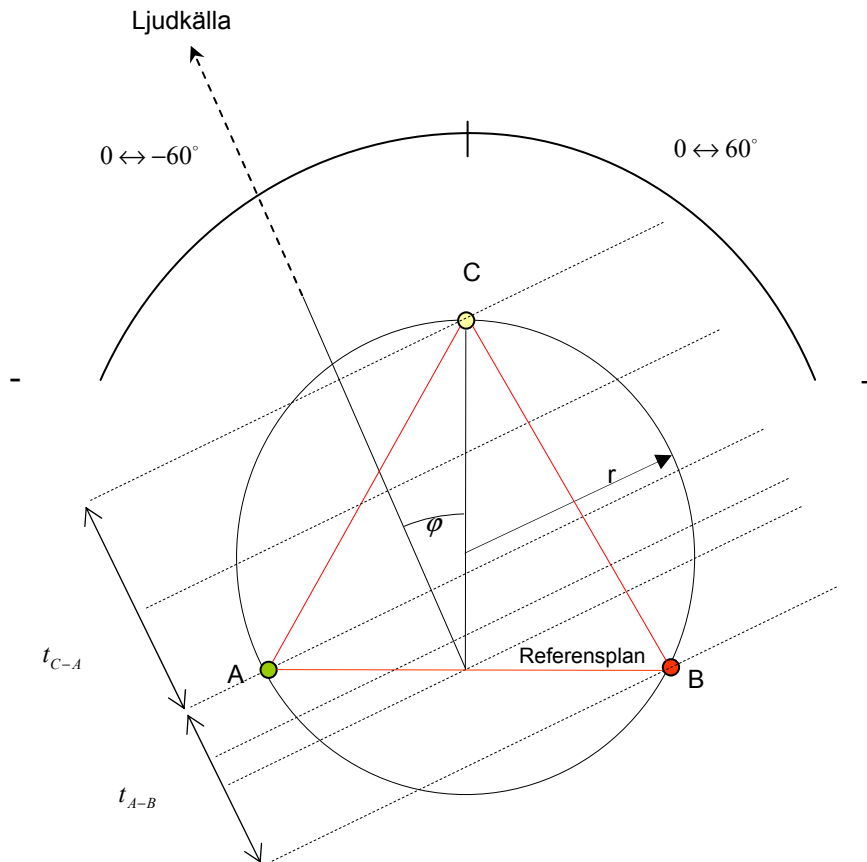
En mikrofonkalibrator av typen Brüel & Kjær modell 423 användes för att få en referensnivå in i insamlingssystemet. Kalibratoren genererar ett ljudtryck på 0 dB Pa direkt på mikrofonmembranet, nivån 0 dB Pa motsvarar 94 dB SPL. Ett knallskott användes för att kalibrera geofonerna genom att avläsa tidsfördröjningen mellan sensorerna och därmed beräkna utbredningshastigheten i marken.

4 Delresultat

En inledande analys med målet att på enklast möjliga sätt riktningsbestämma och klassificera en ljudkälla har genomförts. Vi har hittills endast behandlat de akustiska signalerna och redovisar ett fåtal exempel på signalbehandlingsresultat. De seismiska resultaten uteblir beroende på att det konstaterades att det förekom stora variationer av utbredningshastigheten inom geofontriangeln. Riktningsbestämningen baseras på tidsskillnaden mellan mikrofonsignalerna i en array. Klassificeringen kommer att ske enligt ett tidigare utgivet dokument. [2]

4.1 Riktningsbestämning

För att bestämma riktningen till en ljudkälla används i detta fall en sensor med tre mikrofoner monterade i en cirkulär array med radien 47 cm i 120 graders mellanrum, se figur 14. Valet av radie baserades på det estimerade frekvensinnehållet hos ljudkällan. Vi antog därvid att energin från fordonen i huvudsak ligger under 200 Hz.



Figur 14. Cirkulär array med mikrofonerna placerade i punkterna A, B, C. Azimutvinkeln mot ljudkällan anges som φ med 0 graders referens i nordlig riktning. Tidsskillnaden mellan mikrofonerna anges som t_{C-A} , t_{A-B} samt t_{B-C} .

Mikrofontriangeln var konfigurerad så att mikrofonen "C" var placerad i rakt nordlig kompassriktning i ett vågrätt plan. Med data från de tre mikrofonerna kan tidsskillnader extraheras med utnyttjande av korskorrelationerna,

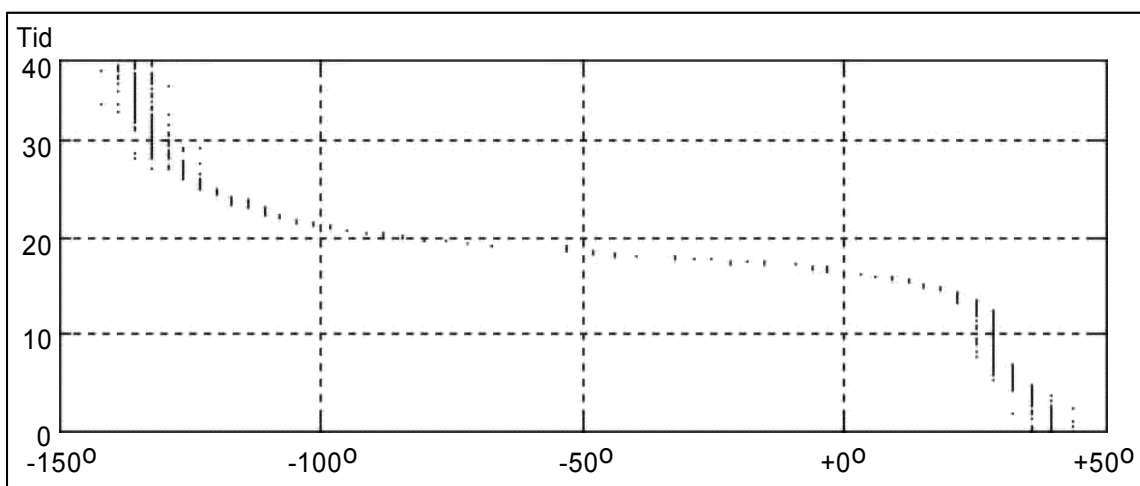
$$\begin{aligned} C_{A-B}(k) &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_A(n) x_B(n-k) \\ C_{A-C}(k) &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_A(n) x_C(n-k) . \\ C_{B-C}(k) &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_B(n) x_C(n-k) \end{aligned} \quad [2, 3]$$

Korrelationerna görs över bestämda längder av signalerna, där N anger blocklängden i antal sampel. Tidsskillnaden, kT , där $T=2.1 \cdot 10^{-5}$ s ges av det värde på k för vilket korskorrelationen antar sitt maximum.

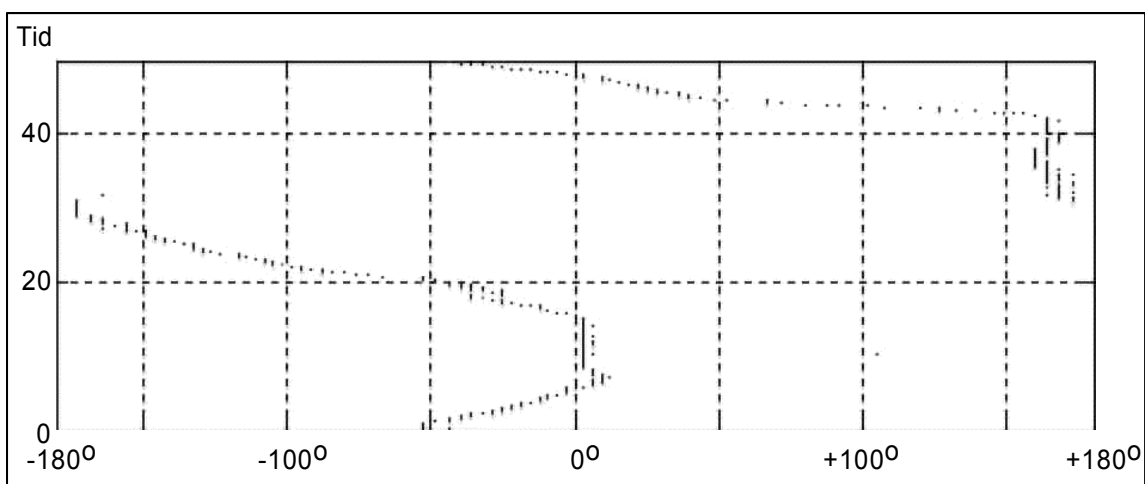
Det paret mikrofoner vars normalplan bildar minst vinkel mot ljudkällan, dvs. det paret för vilket tidsskillnaden är minst, används för beräkning av den så kallade azimuthvinkeln enligt

$$\varphi = \arcsin \left(\frac{\Delta T_{\text{referens}} \times V}{2r \cos\left(\frac{\pi}{6}\right)} \right)$$

Variabeln $\Delta T_{\text{referens}}$ motsvarar den tidsskillnad som korrelationen utgör vid referensplanet. Med V avses ljudets utbredningshastighet. Radien på triangeln anges som r , enligt figur 14.



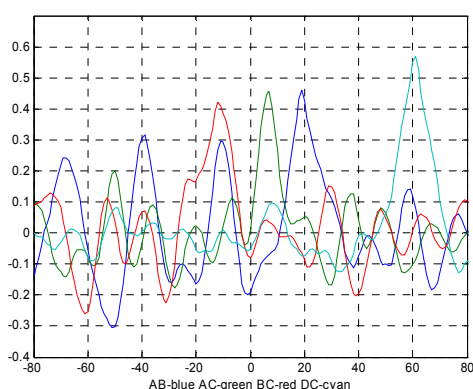
Figur 15. Beräkningsresultat för stridsfordon 90 i vänsterpassage (från höger till vänster i grafen) med en hastighet på 50km/h.



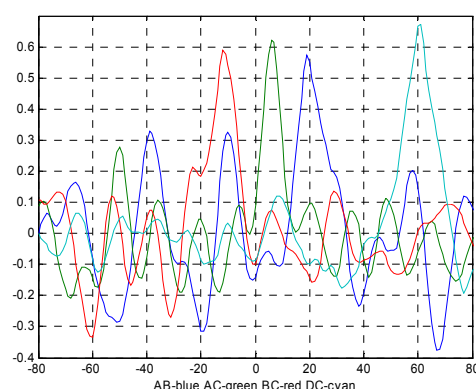
Figur 16. Beräkningsresultat för terrängbil 11 som kört runt sensorn.

4.2 Impulsanalys

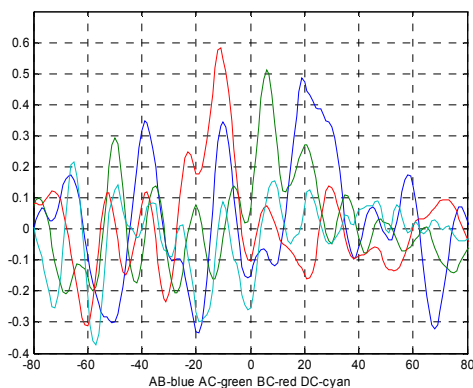
Med ett militärt ”knallskott” skapades en impuls. Signalen användes för att mäta ljudhastigheten i marken men kunde även användas som en referenssignal för riktningsbestämning. I graferna nedan visas korskorrelationsspektra mellan de fyra sensorerna enligt placeringsbeskrivningen. Genom att ändra blocklängden, N , för korskorrelationen kan en viss optimering åstadkommas. I figurerna nedan ser vi exempel på att korrelationsgraden beror av blocklängden. Givetvis beror detta på signalernas temporala karaktäristik. I figur 19 till exempel hamnar själva impulsen på den fjärde mikrofonen, D, utanför blocket och vi erhåller ingen distinkt topp för D-C korrelationen. Signalernas spektrala innehåll inom blocket har dock även betydelse.



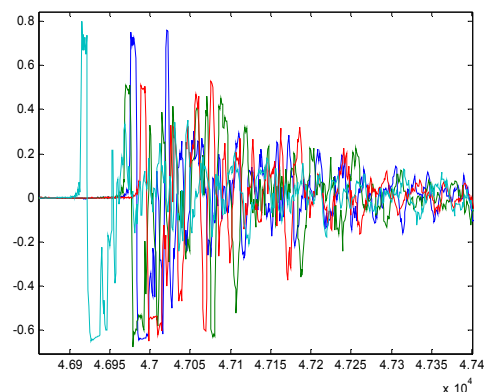
Figur 17
Korrelation av impuls, 8192 sampel



Figur 18
Korrelation av impuls, 1024 sampel



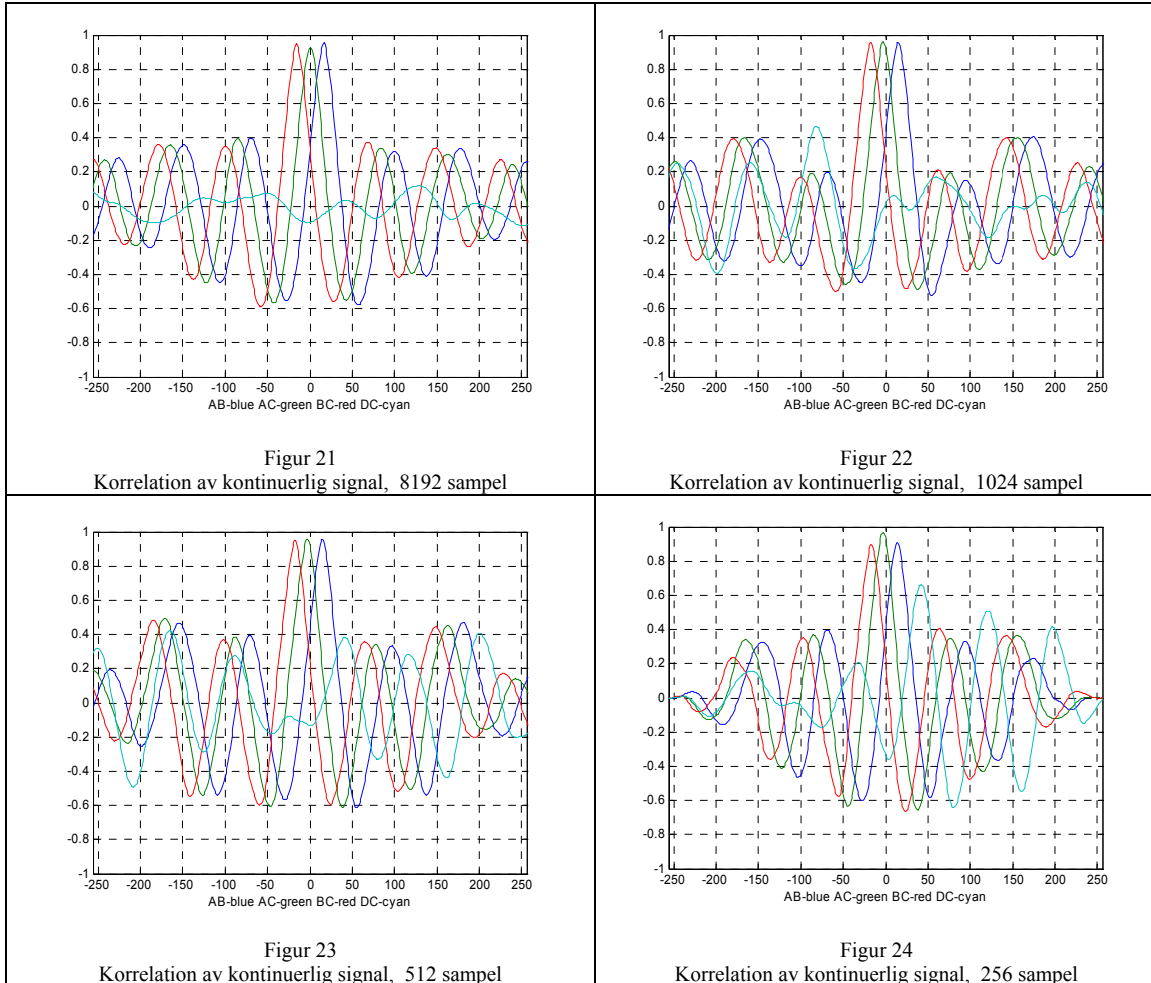
Figur 19
Korrelation av impuls, 256 sampel



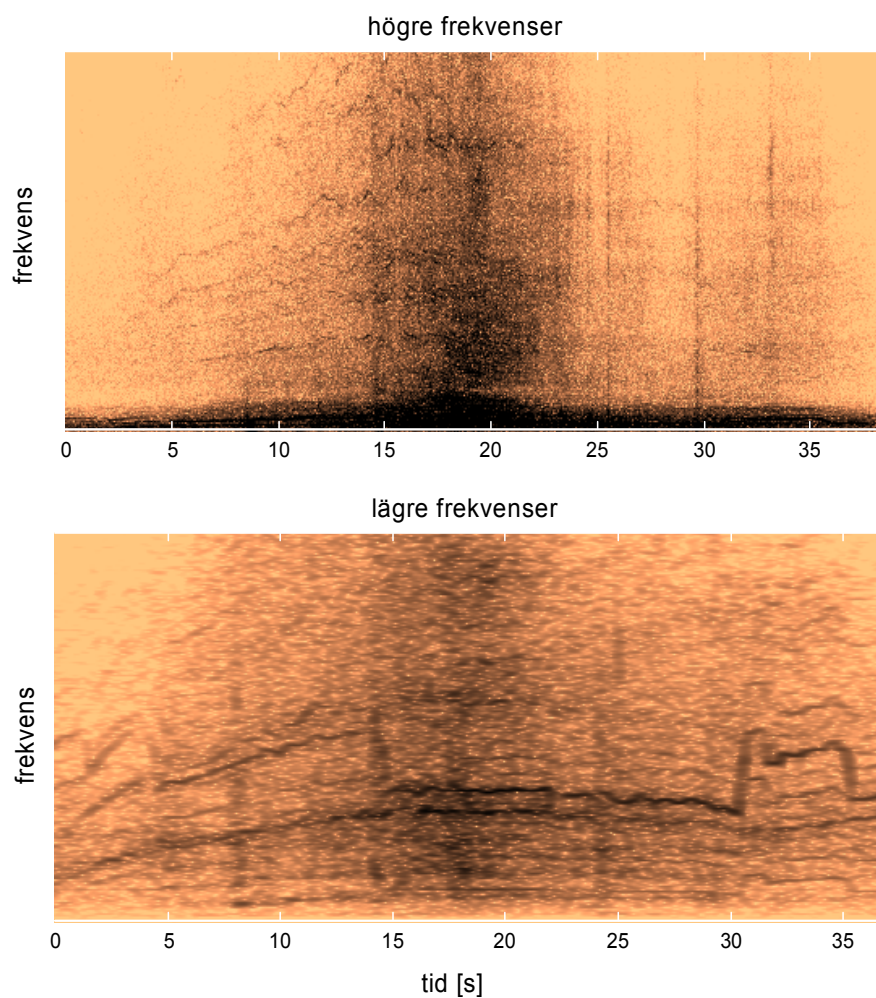
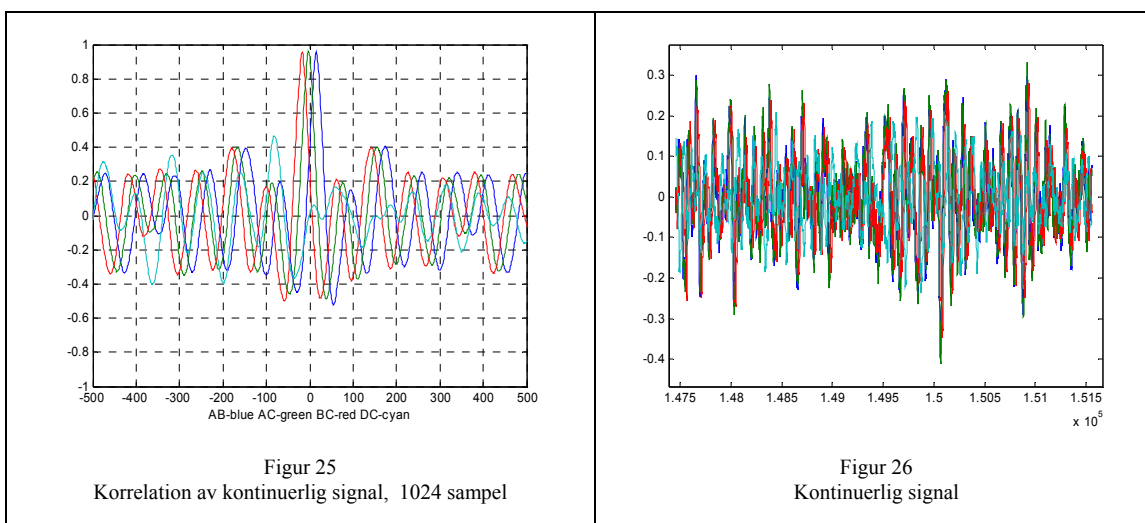
Figur 20
Impulssignal

4.3 Signalkälla i rörelse

Data från stridsfordon 90 vid en vänsterpassage med hastigheten 50km/h har använts för att exemplifiera korrelationsresultaten från fordonen. Korrelationerna har beräknats med olika blockstorlekar. Signalblocken är centrerade kring samma tidpunkt. När korrelationen utförs med för stora intervall i förhållande till vinkelhastigheten går upplösningen i vinkelangivelsen ner. Om figur 21 jämförs med figur 22-24 vad avser tidsskillnaden mellan A och C (den gröna kurvan) ser man att de har lite olika värden, i figur 21 är den noll men vi ett litet negativt tidsskift i figur 22-24.



Korrelationsgraden mellan D och C mikrofonerna är överlag lägre. Eftersom mikrofon ”D” är placerad på cirka 20 meters avstånd från arrayen med tre mikrofoner kan vi förvänta oss en lägre korrelationsgrad eftersom ljudfältet bör se olika ut på olika platser. I figur 23 ser vi att korrelationsgraden är mindre än hälften av den mellan de centralt placerade mikrofonerna. I figur 17 och 18 i impulsanalysdelen är motsvarande korrelation starkare vilket kan bero dels på att vi har en punktförmig ljudkälla och en mindre tidsskillnad.



Figur 27. Spektrogram för ett fordon vid en vänsterpassage med hastigheten 50 km/h. Färgskalan går i koppar. Mörkare färg anger högre signalstyrka.

Med hjälp av et spektrogram, se figur 27, vilket anger frekvensinnehållet vid olika tidpunkter under passagen kan man konstatera att högre frekvenser över ett par kHz är mycket dämpade i förhållande till det lägre frekvensområdet. Det mesta av den akustiska energin ligger i ett lägre frekvensområde. Det högre området tillför endast begränsad information om fordonet för såväl rikttnings- som klassificeringsanalys vid längre avstånd. Då fordonet är nära, mellan 10 och 25 sekunder i diagrammet, kan det högre frekvensområdet dock tillföra information om fordonet. Den distinkta ökningen av ljudtryck kring 15 sekunder förklaras troligen av att ljud från fordonets akterparti ökar i intensitet. I det lägre frekvensområdet syns spektrala linjer som kan kopplas till motorns varvtal samt till fordonets transmissionssystem. Frekvensvariationerna med tiden för vissa av linjerna beror av att fordonet ändrar hastighet och växlar.

4.4 Akustiska parametrar

Vid beräkningar av akustiska egenskaper för mikrofoner i ett nätverk under fältmässiga förhållanden bör hänsyn tas till de parametrar som påverkar räckvidden:

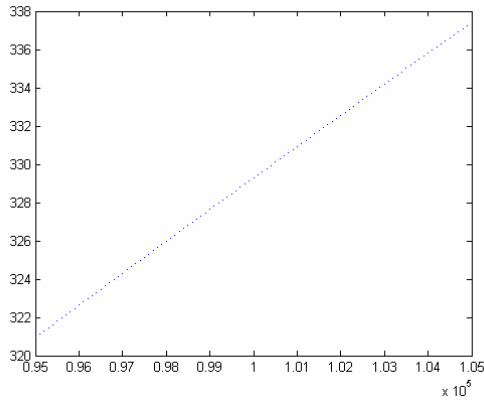
- Terrängförhållanden: topologi, vegetation, underlag
- Sensorernas dynamiska omfång
- Fordons hastighet och avstånd i förhållande till sensorn
- Väderförhållanden: temperatur, vindhastighet, lufttryck, nederbörd
- Störningar: buller från annan verksamhet, elektriska störningar (EMC, EMP), kommunikationsstörningar

Vid mättillfället valdes en sträckning med relativt öppen terräng för att undvika reflekterande ytor som till exempel byggnader, skymmande skogspartier och kuperad terräng vilka skulle påverka ljudutbredningen och försvåra den inledande analysen av fordonspassager.

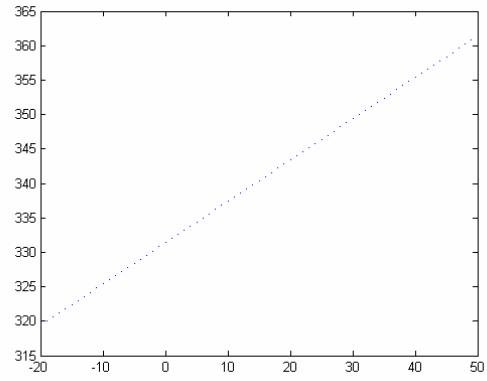
För att undvika problem med låga ljudtryck i förhållande till insamlingssystemets dynamik valdes en relativ hög förstärkning på 30 dB, vilket begränsade det mätbara ljudtrycket till omkring 100 dB SPL. Det visade sig dock vara lämpligt vid detta tillfälle.

En samplingsfrekvens på 48 kHz utnyttjades för att kunna inhämta så mycket data vid en fordonspassage som möjligt. Vid beräkningarna gjordes en omsampling av data till 8 kHz för att reducera datamängden då bedömningen gjorts att frekvenser över 4 kHz inte påverkar beräkningsresultaten. Den akustiska sensorns placering i förhållande till löpan valdes med tanke dels på ljudtrycksnivåer men till största delen med tanke på att få en så plan infallande ljudvåg från ljudkällan som möjligt och då bättre kunna utnyttja tidsdifferensen vid riktningsbestämningen. Andra viktiga faktorer att ta hänsyn till är förändringar i karaktären hos ett fordon när det passerar, dels med tanke på dopplereffekten och strålverkan från hjul/band –basen, motorljuden från avgassystem och motorupphängning.

För att kompensera för väderförhållanden tar man hänsyn till ljudhastigheten vid olika lufttryck och temperatur, se figur 28 och 29. Stabila väderförhållanden rådde vid insamlingstillfället och bidrog till att stabila riktningsuppskattningar kunde göras. Under sämre väderleksförhållanden kan dock temperatur och tryckvariationer ge upphov till väsentliga variationer i ljudhastigheten som då måste beaktas.

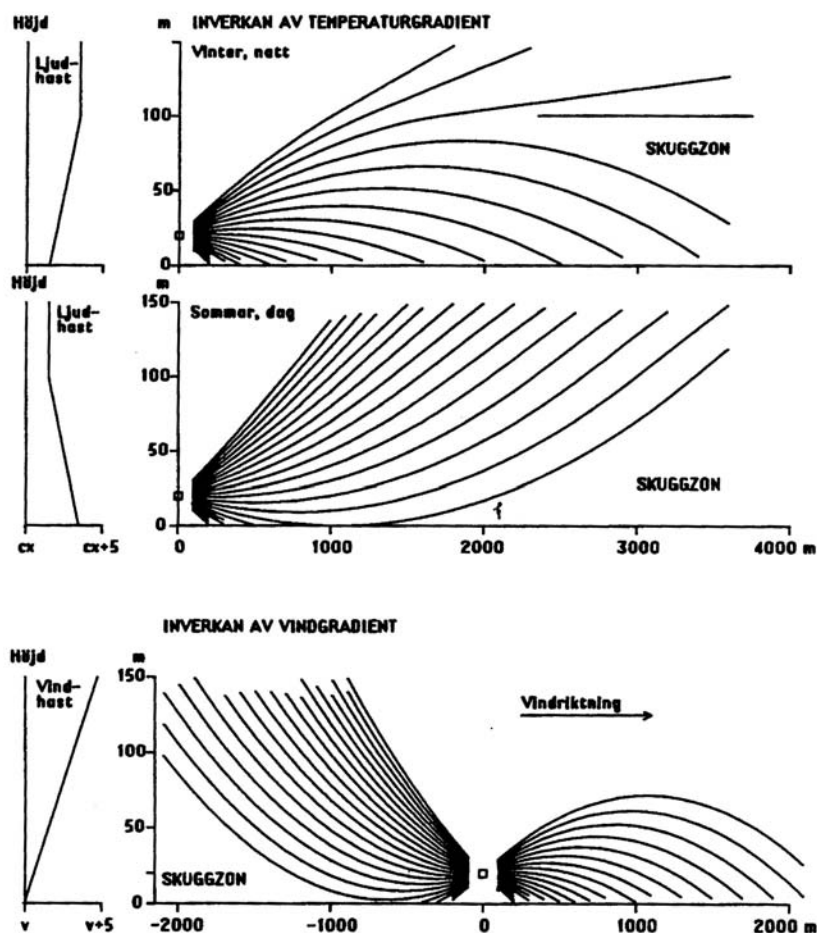


Figur 28. Ljudhastighet som funktion av lufttryck vid 0 °C.



Figur 29. Ljudhastighet som funktion av temperatur vid $1,01 \cdot 10^5$ Pa.

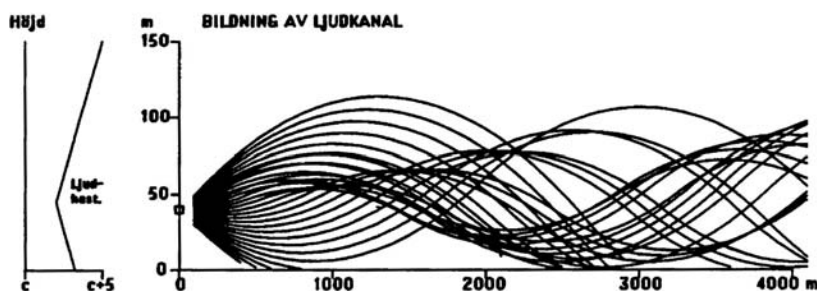
Refraktion i luften kan påverka räckvidden för sensorerna, se figur 30. Vid detta tillfälle påverkades utbredningen troligen endast marginellt av refraktion eftersom vi hade mulet väder och jämn temperatur.



[4]

Figur 30. Övre bilden visar refraktion av ljud beroende på en temperaturökning med stigande höjd medan mellanbilden visar motsvarande refraktion vid sjunkande temperatur. Nedre bilden visar refractionen beroende på tilltagande vindhastighet vid stigande höjd över marken.

Vindgradienter kan ha en liknande inverkan som refraktion. Vanligtvis böjer ljudvågorna uppåt i motvind och nedåt i medvind på grund av att vindhastigheten ökar med höjden över marken, se figur 30. Vindens inverkan blir särskilt märkbar vid detektion av flygande objekt. I övre luftlager kan även ljudkanaler bildas med räckviddspåverkan som följd, se figur 31.



[4]

Figur 31. Ljudutbredning vid bildning av ljudkanal

Vid de aktuella mätningarna uppmättes ett bakgrundsbuller från motorvägen och övrig militär verksamhet på området till ca: 50 dB SPL (ovägt). Det visar sig att det inte har någon inverkan på detektionen av tyngre fordon på upp till 150 meters avstånd men maskerar i vissa fall små stillastående fordon på tomgång.

5 Kommande mätningar

Innan den här rapporten färdigställdes hann vi med ytterligare en mättag (13/11) i Skövde arrangerad av Exensor. Vi deltog i en del av deras mätningar. Vid detta tillfälle mätte vi mot sex olika fordon som passerade längs en skogsväg. Vi gjorde sammanlagt 92 inspelningar. Inspelningarna gjordes i huvudsak med fyra mikrofoner placerade i hörnen av en kvadrat med 5 meters sida. Vi provade även en midre triangelkonfiguration med 20 cm:s sida. Samtliga mätningar skedde med fordonen körandes i olika hastigheter längs vägen. Insamlade data kommer att analyseras under det kommande året bland annat för att testa våra klassificeringsalgoritmer.

Nästa mätning inom IAM projektet planeras ske under våren 2003. Vi upphandlar för närvarande insamlingsutrustning och givare för ett 32 kanalers system med synkron datainsamling från flera sensornoder. Mätningen kommer troligen att äga rum vid Kvarns skjutfält.

6 Referenser

- [1] Ljuddata, FOI, 02-H504
- [2] Ron K Lennartsson & Mikael Brännström "Signalbehandlingsprinciper i interaktiva adaptiva marksensornät", 02-2390
- [3] Sophocles J. Orfanidis "OPTIMUM SIGNAL PROCESSING", ISBN 0-02-389380-X
- [4] Johan Liljencrants "ELEKTROAKUSTIK", Talöverföring och musikakustik, ISSN 0280-9850