

## **Impulsstøy på personell fra NSM**

Morten Huseby

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI)

5. oktober 2011

FFI-rapport 2011/01803

3728A1

P: ISBN 978-82-464-1963-3

E: ISBN 978-82-464-1964-0

## **Emneord**

Måling

Lydtrykk

Missil

NSM

HMS

## **Godkjent av**

Eirik Svinsås

Prosjektleder

Jan Ivar Botnan

Avdelingssjef

## Sammendrag

Kongsberg Defence & Aerospace (KDA) videreutvikler NSM (Naval Strike Missile) til nye våpenplattformer. Denne rapporten inneholder testresultater for impulsstøy på personell ved avfiring.

Det ble gjort tre missilfyringer:

1. Fra lastebil på Andøya
2. Fra lastebil på Point Mugu i USA
3. Fra fregattrampe på Point Mugu i USA

MIL-STD-1474D er en amerikansk militær standard som inneholder en del krav til maksimalt nivå for impulsstøy knyttet opp mot antall skudd og hva slag hørselsvern som skal benyttes. Fokus er på beskyttelse mot hørselsskader, men grensesetting av impulsstøy vil også begrense faren for helseskader andre steder i kroppen.

Konklusjonen i rapporten kan i hovedsak sees i Figur 3.1–3.3. I følge MIL-STD-1474D kan man utføre opp til 100 fyringer hver dag med enkle hørselsvern (propper eller hørselsvern) i alle posisjoner vi har målt, bortsett fra rett under missilbanen. Det er usikkerhet knyttet til målingen under missilbanen. Dermed må man utføre en ny måling dersom man skulle ha behov for å ha personell der.

Konklusjonene gjelder for posisjonene der det er målt. Gitt rutiner for avfiring av NSM bør KDA og brukerne gjøre en vurdering av impulsstøynivået på de stedene personell skal oppholde seg. Denne rapporten burde være til hjelp i en slik vurdering.

## English summary

Kongsberg Defence & Aerospace (KDA) continues to develop Naval Strike Missile (NSM) for new weapon platforms. This report contains test results for impulse noise for personnel firing the missile.

Three missiles were launched:

1. From truck at Andøya
2. From truck at Point Mugu, USA
3. From frigate ramp at Point Mugu, USA

MIL-STD-1474D is an American military standard that sets maximum levels for impulse noise related to number of shots fired and hearing protection used. We have examined the impulse noise levels at different positions for personnel firing the missile.

The results can be seen in Figure 3.1–3.3. According to MIL-STD-1474D one may launch 100 missiles a day using either plugs or muffs at all positions we have measured, except directly under the missile path.



# Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Måleoppsett</b>	<b>8</b>
2.1	Lastebil	8
2.2	Fregattrampe	8
2.3	Mikrofoninnretting	8
2.4	Værdata	9
<b>3</b>	<b>Impulsstøymiljøet</b>	<b>9</b>
3.1	MIL-STD-1474D	9
3.2	Måleresultat	10
3.3	Validitet av trykkdata	11
3.3.1	Sensor 2 på Andøya	12
3.3.2	Sensor 3 foran fregattrampe	12
<b>4</b>	<b>Oppsummering</b>	<b>12</b>
4.1	Anbefaling angående hørselsvern	13
	<b>Appendix A Måleutstyr</b>	<b>14</b>
	<b>Appendix B Tidsserier for trykket</b>	<b>15</b>
	<b>Appendix C Spekter C-vektet sound exposure level</b>	<b>18</b>
	<b>Appendix D Bilder Andøya</b>	<b>21</b>
	<b>Appendix E Bilder USA</b>	<b>24</b>



## 1 Innledning

Kongsberg Defence & Aerospace (KDA) utvikler og selger Naval Strike Missile (NSM). Missilet skal brukes blant annet fra Forsvaret sine fregatter. KDA er også i gang med leveranse av et mobilt kystforsvar til Polen der missilene avfyres fra ombygde lastebiler. En videreutvikling av NSM skal føre frem til JSM (Joint Strike Missile) som vil kunne avfyres fra F35.

Som en av mange tester ønsket KDA å få gjort en innledende vurdering av arbeidsmiljøet i forhold til impulsstøy for personell som avfyrer missilet. KDA har selv anskaffet måleutstyr og utført målingene. FFI har bidratt med rådgivning ved anskaffelse av måleutstyr og planlegging av målingene, og har utført analysen av måleresultatene som er presentert i denne rapporten

Testene ble utført på to steder. På Andøya 4. mai 2011 ble det utført målinger under avfiring fra lastebil. På Point Mugu i USA ble det utført målinger fra fregattrampe 16. juni 2011 og fra lastebil 27. juni 2011.



Figur 1.1 Avfiring fra lastebil på Point Mugu i USA. Nede til høyre ser vi sensor nr. 3.

MIL-STD-1474D [1] inneholder krav til hva slags hørselsvern som skal benyttes for en gitt impulsstøybelastning. Det er også gitt begrensninger i antall skudd som kan avfyres hver dag med enkelt eller dobbelt hørselsvern. Fokus er på beskyttelse mot hørselsskader, men grensesetting av impulsstøy vil også begrense faren for helseskader andre steder i kroppen.

Støyen vil som oftest være høyere jo nærmere man befinner seg støykilden. En “vanlig” måling etter

MIL-STD-1474D innebærer å plassere sensorer der hodet til en operatør ville vært. Siden vi ikke har noen fullgod beskrivelse av hvor personell vil befinne seg ved avfiring er dette ikke mulig. Vi har derfor i stedet plassert sensorene ved posisjoner der vi antar at det kan være aktuelt å oppholde seg. Sensorposisjonene er også valgt i håp om at de kunne antyde en grense mellom hvor det er greit å oppholde seg og hvor det ikke er det.

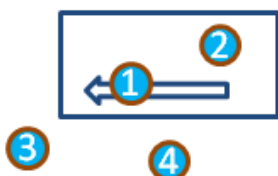
Når missilet anskaffes av Forsvaret, og det er fastlagt hvordan det skal anvendes, kan det være nødvendig gjøre en ny vurdering for å forsikre seg om at sluttproduktet overholder grensene for impulsstøy. Denne rapporten burde kunne gi en god indikasjon på utfallet av en slik vurdering.

## 2 Måleoppsett

Målingene ble utført i to målekampanjer. På Andøya ble det gjort en avfiring fra lastebil. I USA ble det gjort en avfiring fra lastebil og en fra fregattrampe. Det ble benyttet 4 sensorer. Totalt har vi altså 12 tidsserier for trykket. Datainnsamlingssystemet er beskrevet i Appendix A. Noen ekstra bilder av måleoppsettet er gitt i Appendix D og Appendix E.

### 2.1 Lastebil

Ved avfiring fra lastebil sto to av sensorene ute og to av sensorene inne i bilen. Sensor 1 sto i tilnærmet hodehøyde i førersetet. Sensor 2 sto i setet til operatøren. Begge disse mikrofonene sto i hodehøyde. To mikrofoner sto utenfor bilen, 10 m fra nærmeste punkt på lastebilen (Figur 2.1). Plasseringen av mikrofonene ved avfiring fra lastebil var lik på Andøya og i USA.



Figur 2.1 Plassering av mikrofonene ved avfiring fra lastebil.

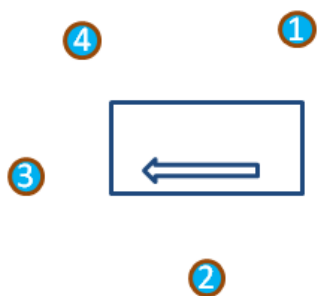
### 2.2 Fregattrampe

Figur 2.2 gir en oversikt over plasseringen av sensorene ved avfiring fra fregattrampe. Alle sensorene sto 10 m fra nærmeste punkt på rampa.

### 2.3 Mikrofoninnretting

Mikrofonene ble plassert slik at membranet lå i planet gjennom raketbanen (nær utskyting), se bilder i Appendix E. Dette planet er noe forskjellig fra horisontalplanet. Dette gjøres delvis fordi vi da får samme respons i mikrofonen langs banen, og delvis fordi det reduserer faren for målefeil.

Vi ser fra Figur E.8 at sensor 3 under avfiringen fra fregattrampen ikke var innrettet på samme måte



Figur 2.2 Plassering av mikrofonene ved avfyring fra fregattrampe.

som de andre sensorene. Det er mulig at dette førte til at sensoren gikk i metning (se også Avsnitt 3.3.2).

## 2.4 Værdata

Værdata ble logget av KDA ved launch pad med værstasjon. Under avfyring fra Lastebil på Andøya var det 2.6 m/s vind, 1015 hPa lufttrykk, 3 grader Celsius og 58 % luftfuktighet. Under avfyring fra fregatt på Point Mugu var det 2.5 m/s vind, 1009 hPa lufttrykk, 17 grader Celsius og 83 % luftfuktighet. Under avfyring fra lastebil på Point Mugu var det 2.4 m/s vind, 1010 hPa lufttrykk, 18 grader Celsius og 81 % luftfuktighet.

## 3 Impulsstøymiljøet

I Appendix B har vi plottet de 12 tidsseriene til trykket. De røde punktene refererer til verdier man finner i prosedyren i MIL-STD-1474D. Alle tidsseriene som vises i denne rapporten er lavpassfiltrert i henhold til kravet i standarden.

### 3.1 MIL-STD-1474D

MIL-STD-1474D knytter makstrykk og B-durasjon opp mot kurver som antyder belastningen. Vi har funnet makstrykk og beregnet B-durasjon i følge standarden. Tidsseriene av trykket (Appendix B) er lavpassfiltrert (i matlab) gjennom et Bessel-filter av orden 8 med kuttfrekvens 40 kHz. B-durasjon er litt forenklet omtrent den tiden impulsstøynivået er over et nivå som er 20 dB lavere enn makstrykket. B-durasjon indikerer altså varigheten av impulsstøyen.

Det vil kunne være forskjellige oppfatninger om hvilke krav som bør benyttes for å forsikre seg om at impulsstøyen er akseptabel. Det er rimelig å spørre hvorfor man benytter akkurat MIL-STD-1474D. Mange ønsker å utføre forskning for å skaffe seg et mer nyansert og mer generelt kriterium for hva som er skadelig. Foreløpig er det imidlertid vår vurdering at MIL-STD-1474D er det beste vi har.

Det finnes våpen i Forsvaret der en viss bruk kan føre til at man ikke overholder MIL-STD-1474D. Som vi vil se er imidlertid dette langt i fra tilfellet for NSM. Dermed kan man si at NSM gir en

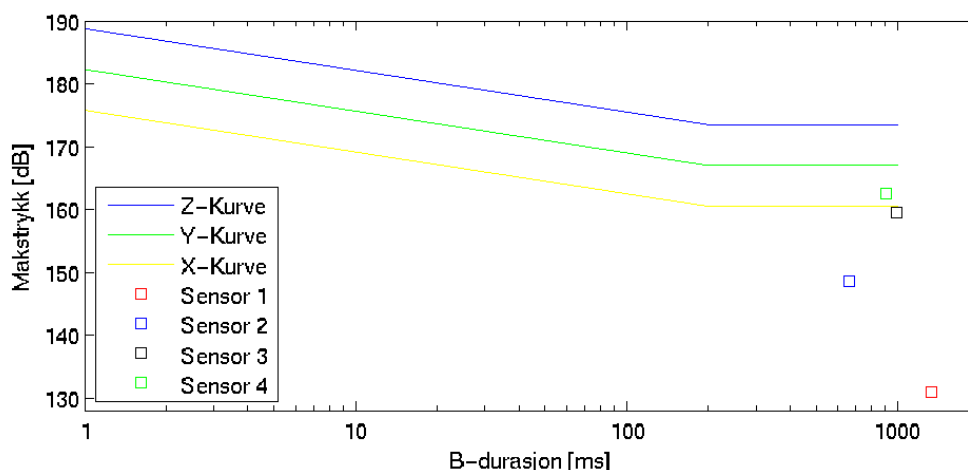
støybelastning som er vesentlig mindre enn flere av de andre våpnene i Forsvaret. Samtidig er det slik at varigheten av impulsen er så pass lang for NSM (omtrent 1 s) at man nærmer seg utkanten av gyldighetsområdet til standarden.

Når vi bedømmer støy fra f.eks. en kanon vil vi ha et makstrykk helt i starten av tidsserien for trykket. Prosedyren i standarden tar utgangspunkt i å beregne varigheten av impulsstøyen etter dette makstrykket. For et missil vil vi få et mer komplisert bilde, avhengig av hvor vi står. Dersom vi for eksempel står rett ved siden av missilet vil vi først få støy på et noe lavere nivå (fra åpningen bak) før missilet forlater utskyttingsrampen og vi får makstrykket. Belastningen på personell vil antagelig ikke være vesentlig forskjellig dersom impulsstøyen kommer før makstrykket i stedet for etter. Derfor har vi også tatt med dette i B-durasjonen, i tillegg til det som er oppgitt i standarden. Vi har da regnet oss tilbake i tid fra tidspunktet for makstrykk, og brukt samme prosedyre som standarden beskriver for å finne varigheten etter tidspunktet for makstrykk. Antagelsen over gir en mer konservativ bedømming for impulsstøy med B-durasjon under 200 ms. For impulsstøy av lenger varighet, slik som for NSM, så vil ikke denne antagelsen ha innvirkning på resultatet.

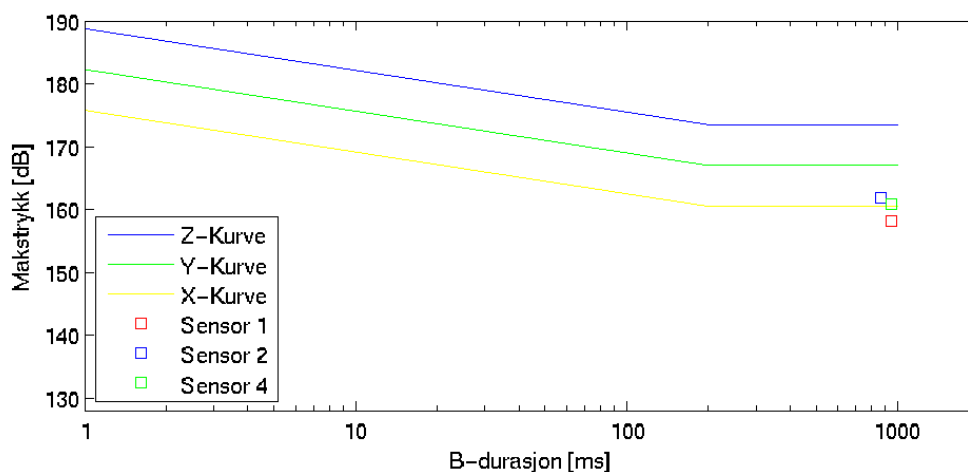
### 3.2 Måleresultat

I Figur 3.1–3.3 ser vi resultatene fra målingene. Tabell 3.1 inneholder datapunktene fra de tre plottene. For skudd under Z-kurven (blå) kan det avfyres 5 skudd med enkelt og 100 skudd med dobbelt hørselsvern per dag. For skudd under Y-kurven (grønn) kan det avfyres 100 skudd med enkelt og 2000 skudd med dobbelt hørselsvern.

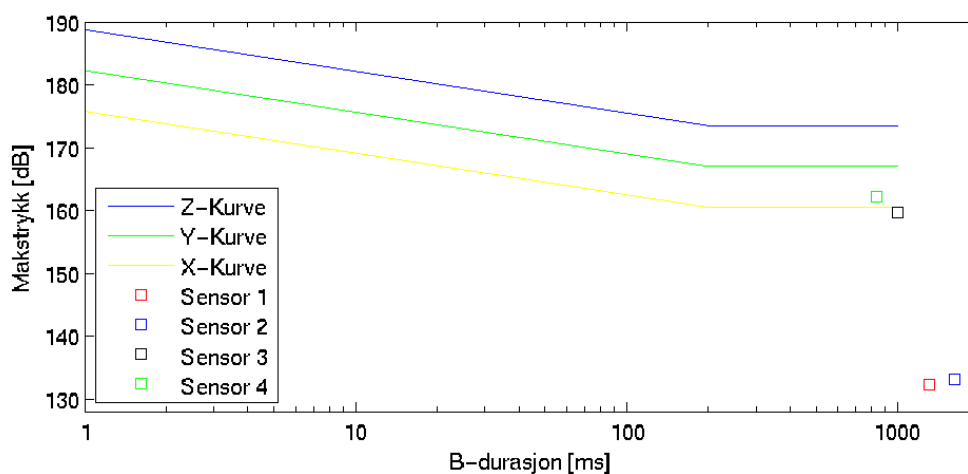
Vi ser at samtlige målinger ligger under både Z- og Y-kurven. Det vil altså si at personell med enkelt hørselsvern kan utføre 100 avfyringer hver dag fra de målte posisjonene.



Figur 3.1 Impulsstøy ved avfyring fra lastebil på Andøya. Sensor 1 og 2 er inne i bilen.



Figur 3.2 Impulsstøy ved avfyring fra rampe i USA. Sensor 3 er ikke tatt med.



Figur 3.3 Impulsstøy ved avfyring fra lastebil i USA. Sensor 1 og 2 er inne i bilen.

### 3.3 Validitet av trykkdata

To av de 12 tidsseriene ser ut som det kan være noe feil med dem. Begge målingene har oppførsel som ikke er likt det vi erfaringsmessig ville forventet. Denne oppførselen kan ha ført til at vi for disse

Sensor-nummer	Andøya		USA			
	Lastebil		Fregatt		Lastebil	
	Peak	B-dur.	Peak	B-dur.	Peak	B-dur.
1	131 dB	1336 ms	158 dB	944 ms	132 dB	1303 ms
2	149 dB	664 ms	162 dB	869 ms	133 dB	1618 ms
3	159 dB	995 ms	metning	metning	160 dB	996 ms
4	163 dB	908 ms	161 dB	947 ms	162 dB	836 ms

Tabell 3.1 Makstrykk og B-durasjon.

sensorene fikk noe høyere verdier. Dette kan imidlertid ikke bekreftes uten å gjøre nye målinger, slik at det eneste vi kan gjøre er å se bort fra disse målingene på grunn av den tvilen som er til stede. Den ene tvilsomme målingen fra Andøya er imidlertid gjentatt i USA, med et resultat som virker mer rimelig.

### 3.3.1 Sensor 2 på Andøya

Her sto mikrofonen i setet til operatøren inne i lastebilen (Figur D.6). Vi ser at vi har et plutselig sprang ved ca. 550 ms (Figur B.1). Vi ser også at størrelsen på trykket er større enn i setet til føreren av lastebilen (sensor 1). Av Figur C.1 ser vi at forskjellen mellom sensor 1 og 2 hovedsakelig ligger på de lave frekvensene.

Når vi sammenligner med spekteret for sensor 3 og 4 utenfor bilen (Figur C.1) ser vi at de lavfrekvente komponentene er kraftigere for sensor 2 inne i bilen enn for sensor 3 og 4 utenfor bilen. Normalt vil trykket bli dempet av førerhytta på alle frekvenser. Man kan tenke seg at man for eksempel gjennom å slå i taket kan skape slik lavfrekvent støy. For ikke å ha demping må imidlertid denne støygenereringen være så effektiv at trykket inne i førerhytta er likt eller høyere enn det som trykker på taket. Selv om dette er teoretisk mulig bør det i så fall bekreftes med et større antall nye målinger før man kan feste lit til målingen fra denne sensoren.

### 3.3.2 Sensor 3 foran fregatrampe

Sensor 3 sto rett under missilbanen 10 m foran fregatrampe. I tidsserien fra denne sensoren var det 8 datapunkter som var satt til samme høye verdi ( $8 \cdot 10^{15}$ ). Vi tror dette er en verdi som indikerer metning av sensoren. I plottet har vi justert ned disse 8 punktene til en fiktiv, men stor verdi. Som nevnt i Avsnitt 2.3 kan innretningen av sensoren ha ført til at vi fikk uriktig store makstrykk i det trykkbølgene vil treffe membranen og reflekteres, avhengig av bølgelengde.

Vi ser av Figur C.2 at total SEL (sound exposure level [2, 3]) er omtrent lik for de fire sensorene og at spektrene også er tilnærmet like. Dette indikerer at trykket på sensor 3 ville vært omtrent det samme som de andre sensorene, dersom den hadde vært innrettet på samme måte. Det vil selvfølgelig være nødvendig med nye målinger for å bekrefte denne hypotesen. I og med at sensoren gikk i metning må vi i denne rapporten anta at trykket var høyere enn det som er akseptabelt i posisjonen til sensor 3, rett under missilbanen.

## 4 Oppsummering

Alle makstrykk er mindre eller lik 163 dB, bortsett fra sensoren under missilbanen. Dermed ligger vi under både Z-kurven og Y-kurven. Det betyr at man kan utføre 100 avfyringer hver dag med enkle hørselsvern.

Inne i lastebilen er nivået lavere. Sannsynligvis er nivået under 140 dB, slik at MIL-STD-1474D ikke påbyr hørselsvern. Sensor 2 fra målingen på Andøya lå på 149 dB, men det knytter seg noe



usikkerhet til denne målingen.

#### **4.1 Anbefaling angående hørselsvern**

Konklusjonen i følge MIL-STD-1474D er altså at man kan utføre 100 avfyringer hver dag med enkle hørselsvern (enten øreplugg eller hørselsvern) i alle posisjoner der det er utført målinger, bortsett fra rett under missilbanen.

Målingen under missilbanen er usikker. Dermed vil det være behov for nye målinger dersom man ønsker å oppholde seg der. Dersom personell skal befinne seg i andre posisjoner enn der det er målt må det gjøres en vurdering av impulsstøyen i disse posisjonene.

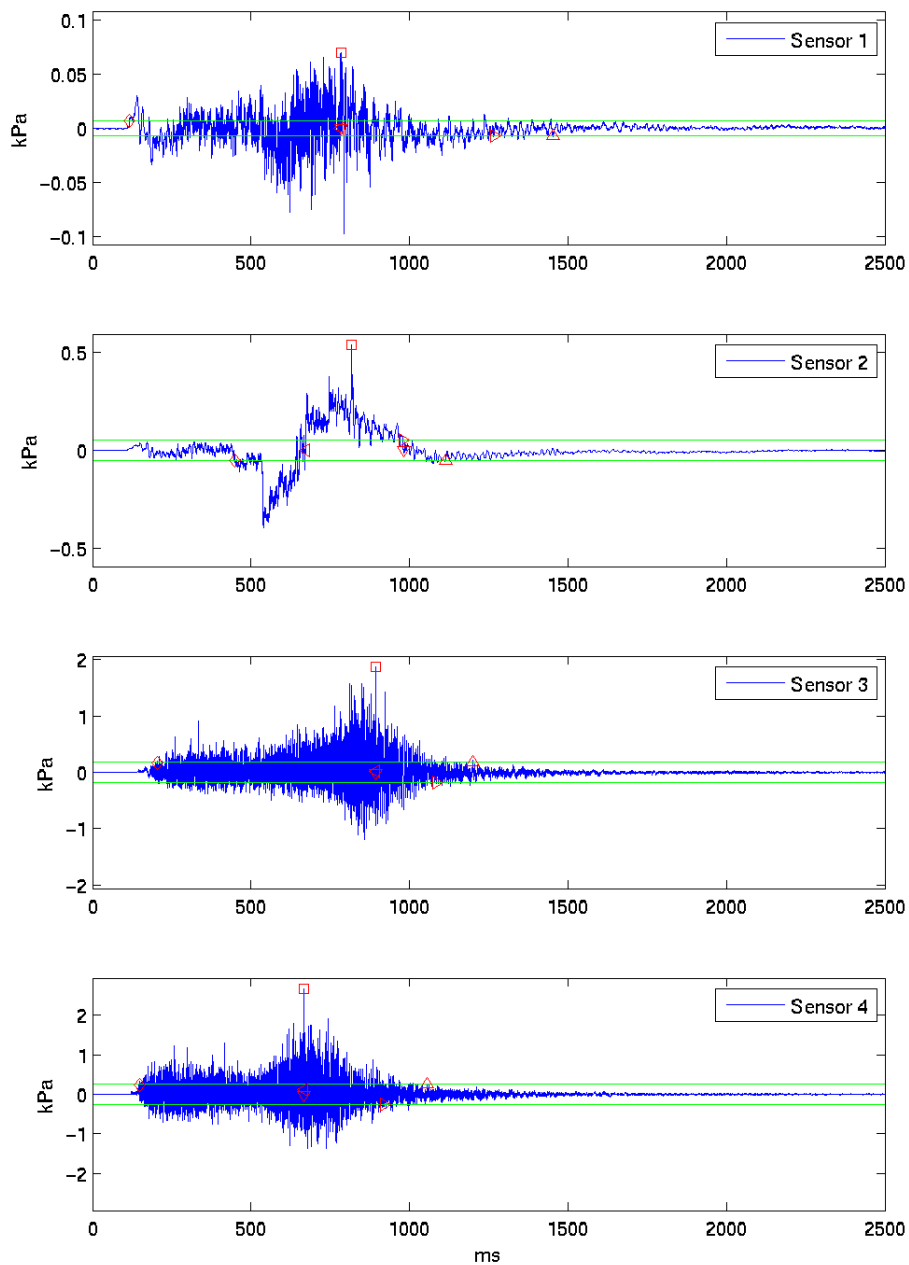
## Appendix A Måleutstyr

Det ble logget tidsserier av trykket med fire mikrofoner. Mikrofonene var av typen Brüel & Kjær 4938 med forforsterker NOR1207/BNC koblet til via G.R.A.S. RA0019 adapter. Disse ble garantert av leverandøren å kunne måle trykk opp til 173 dB.

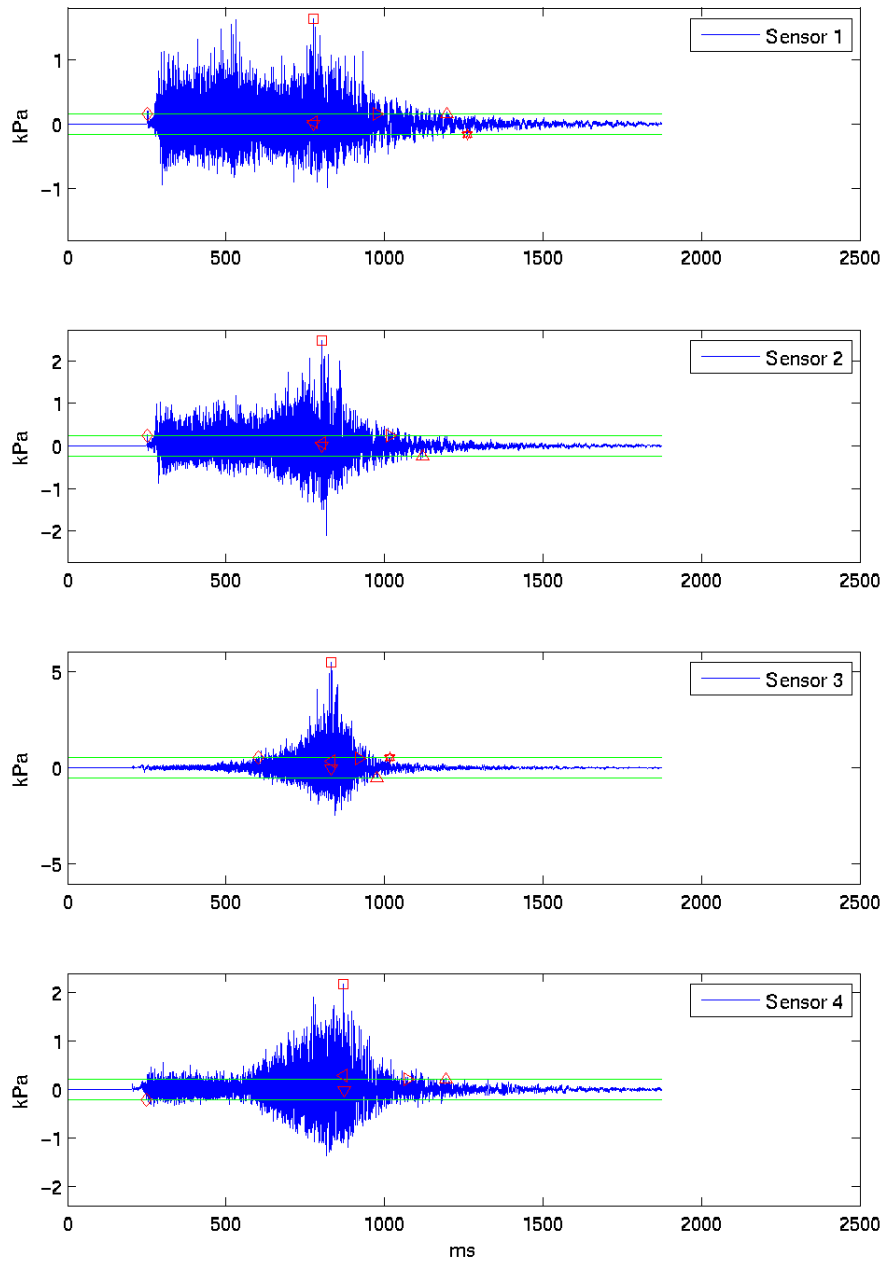
Data ble logget med to HBM Quantum MX410. Samplingshastighet var 192 kHz per kanal. HBM oppgir at det ikke er noe anti-aliasing lavpassfilter i loggeren, men tester som KDA har gjort tyder på at det er et hardware filter på ca 81-82 kHz. Det ble logget 24-bit data.

Alle mikrofoner ble testet med kalibrator (114 dB, 1000 Hz) både før og etter at målingene var utført. For målingene fra Andøya har FFI brukt en kalibreringsfaktor basert på kalibreringsdata. For målingene fra Point Mugu var dette alt gjort fra KDA sin side. Hele måle- og analysekjeden er testet mot kalibreringsdata før og etter måling. Driften i følsomheten til målekjeden er mindre enn  $\pm 0.2$  dB.

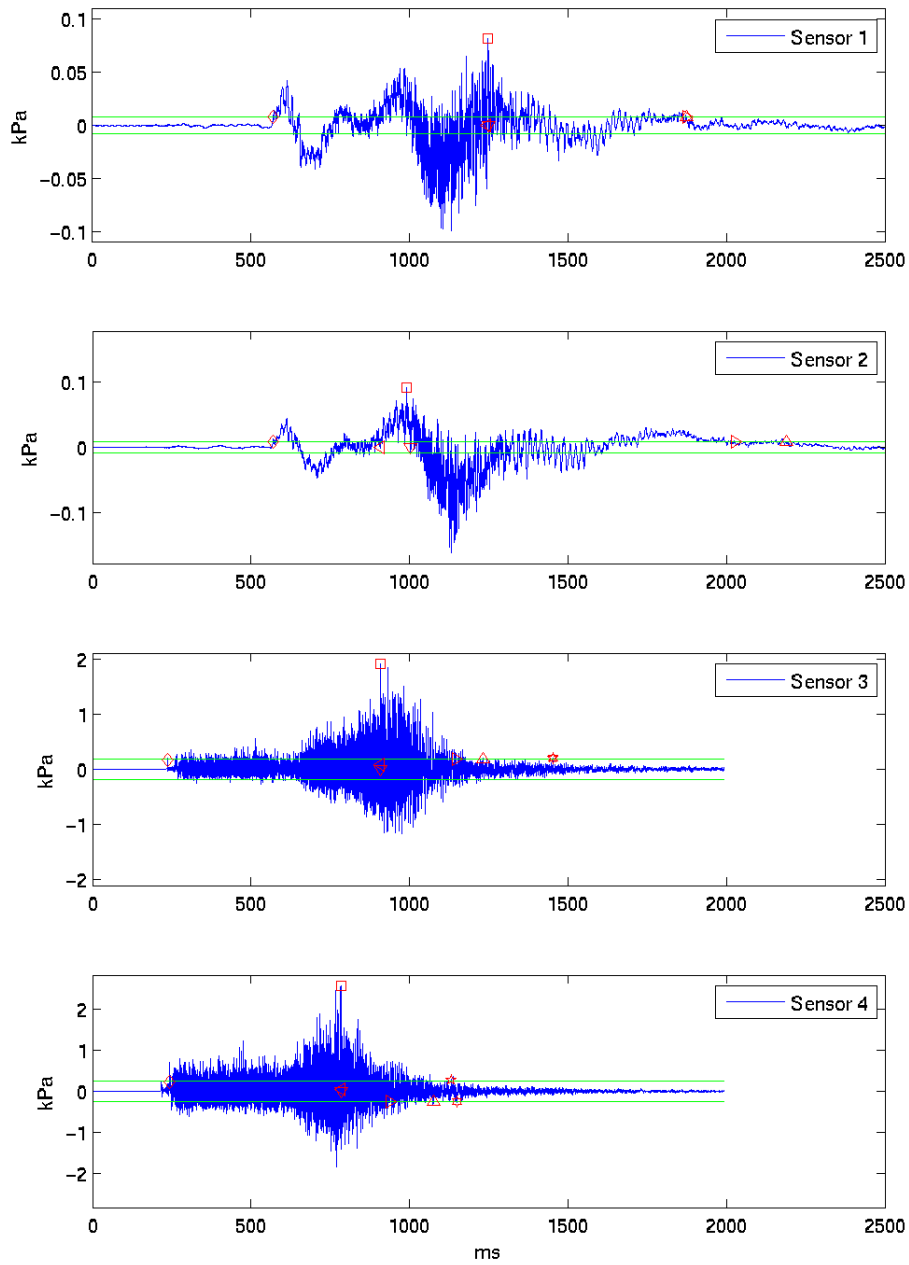
## Appendix B Tidsserier for trykket



Figur B.1 Tidsserier (lavpassfiltrert) for trykket for firing fra lastebil på Andøya. De røde punktene refererer til punkter man finner i prosedyren i MIL-STD-1474D.

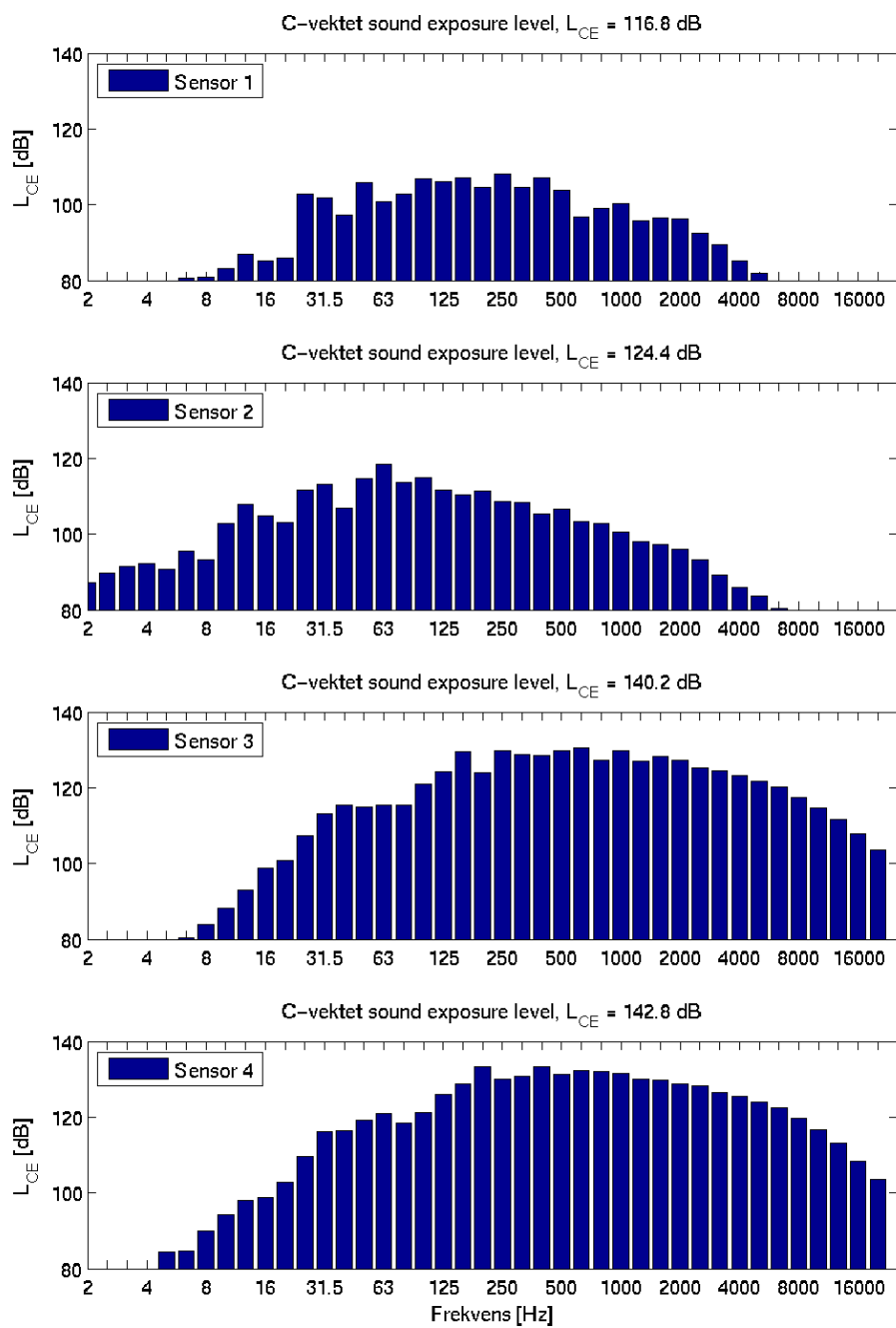


Figur B.2 Tidsserier for trykket for fyring fra fregattrampe i USA. Sensor 3 gikk i metning i 8 punkter. Disse er blitt justert til ca. 5 kPa.

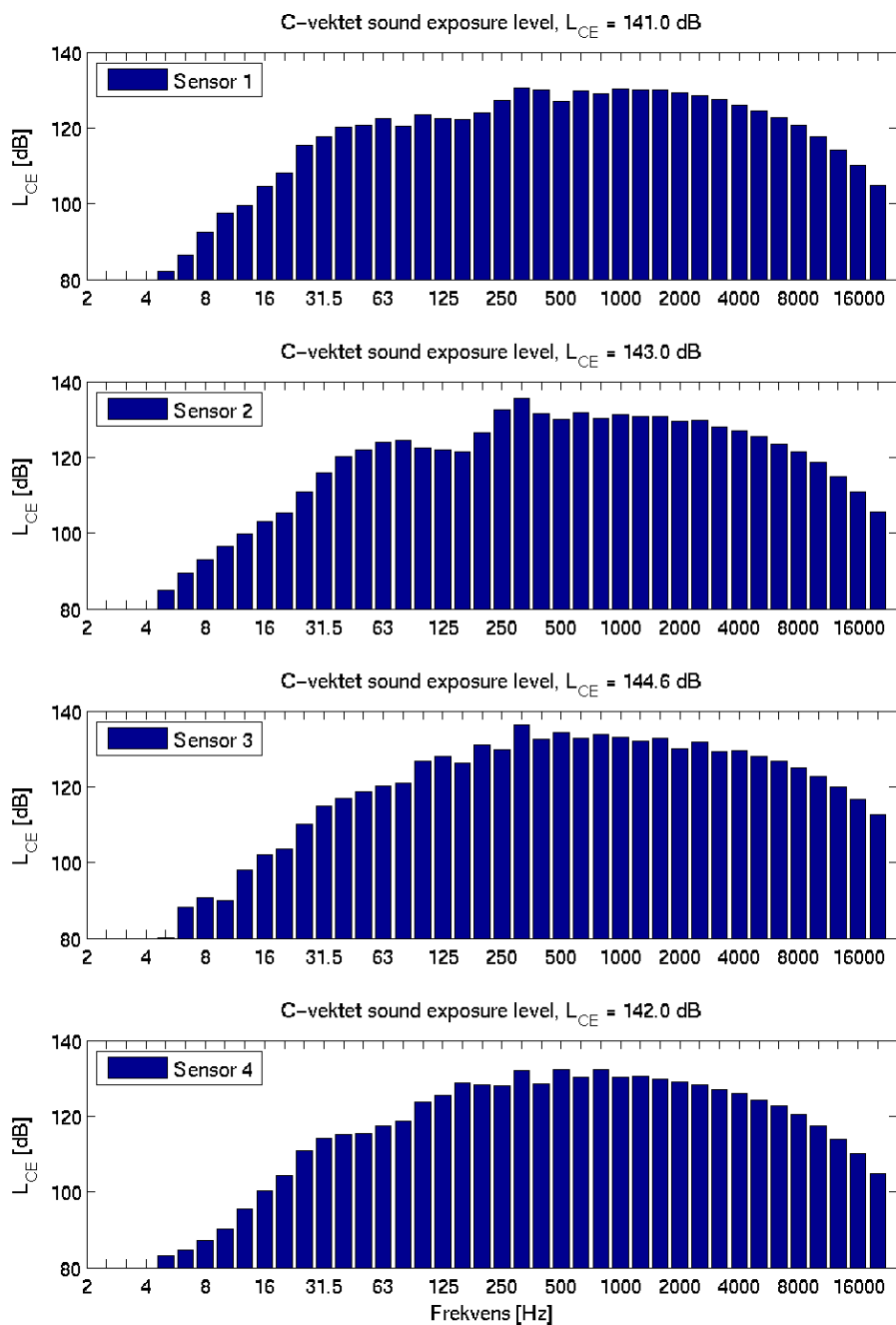


Figur B.3 Tidsserier for trykket for firing fra lastebil i USA.

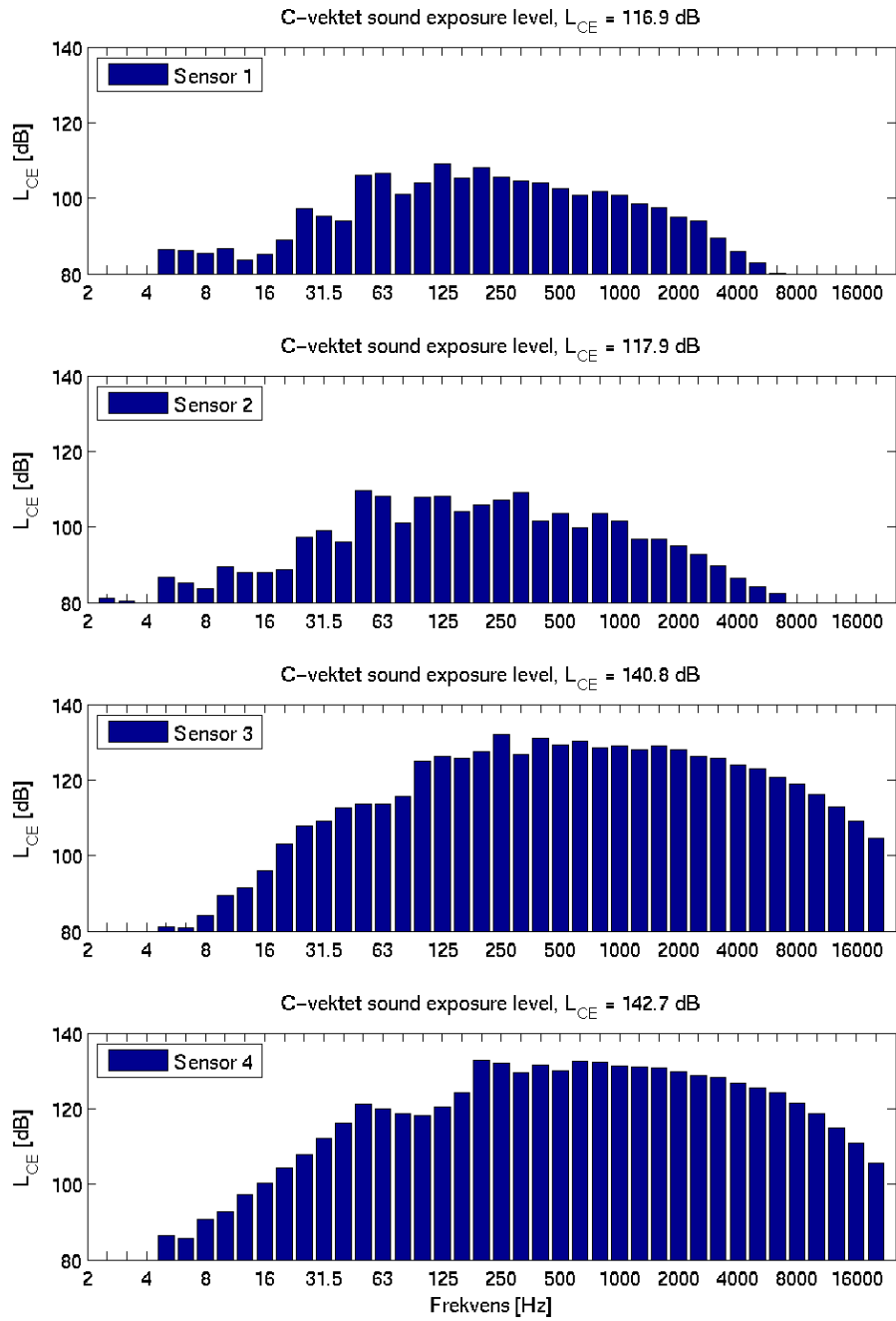
## Appendix C Spekter C-vektet sound exposure level



Figur C.1 1/3-oktav spekter av sound exposure level for fyring fra lastebil på Andøya.



Figur C.2 Fyring fra fregatrampe i USA.



Figur C.3 Fyring fra lastebil i USA.



## Appendix D Bilder Andøya



*Figur D.1* Missilet ble avfyrt noe til venstre for den store bygningen til høyre.



*Figur D.2* Avfyring fra lastebil på Andøya rakettsenter.



*Figur D.3 Avfyring fra lastebil på Andøya.*



*Figur D.4 Avfyring fra lastebil på Andøya.*





*Figur D.5 Avfyring fra lastebil på Andøya. Sensor 1 i hodeposisjon for føreren.*



*Figur D.6 Avfyring fra lastebil på Andøya. Sensor 2 i hodeposisjon for operatøren.*

## Appendix E Bilder USA



*Figur E.1 Avfyring fra lastebil i USA. Sensor 3 og 4. Sensor 4 er nærmest.*





*Figur E.2 Avfyring fra lastebil i USA. Sensor 2.*





*Figur E.3 Avfyring fra lastebil i USA. Sensor 3.*





*Figur E.4 Avfyring fra lastebil i USA. Sensor 4.*





*Figur E.5 Avfyring fra fregattrampe i USA.*



*Figur E.6 Avfyring fra fregattrampe i USA. Sensor 1.*





*Figur E.7 Avfyring fra fregatrampe i USA. Sensor 2.*





*Figur E.8 Avfyring fra fregattrampe i USA. Sensor 3. Som vi ser er mikrofonen orientert med membranet vendt mot missilbanen.*





*Figur E.9 Avfyring fra fregatrampe i USA. Sensor 4.*

## Referanser

- [1] MIL-STD-1474D, Department of Defense . Design criteria standard - Noise limits, 12 February 1997.
- [2] IEC 61672-1. Electroacoustics – sound level meters – part 1: Specifications, 2002.
- [3] ISO/DIS 17201-2. Acoustics – noise from shooting ranges – part 2: Estimation of source data for muzzle blast and projectile noise, 2004.