

Målinger av lydtrykket nær CV90, AGL, 12.7, Rena

Morten Huseby, Bjørn Hugsted og Anne Cathrine Wiencke

Forsvarets forskningsinstitutt

19. februar 2007

FFI-rapport 2006/01657

1034

ISBN 978-82-464-1123-1

Emneord

Skytefelt

Støy

Våpen

Måling

Trykk

Godkjent av

Jan Ivar Botnan

Avdelingssjef/Director

Sammendrag

Denne rapporten er del av et pågående arbeid for å forbedre Forsvarsbygg sin evne til å evaluere støynivået rundt skytefelt. Her dokumenterer vi målinger som ble gjort på Rena 11. mai 2006. Der ble det målt tidsserier for trykket for 30 mm kanonen på CV90, 12.7 mm maskingevær og Heckler & Koch 40 mm AGL (Automatic Grenade Launcher). Denne rapporten er en i en serie med hensikt å skaffe data for forskjellige typer våpen under forskjellige forhold. Ved FFI utvikler vi for tiden metoder for å beregne lydtrykket nær munningen på et våpen. Målingene som er dokumentert her vil senere kunne benyttes til å teste gyldigheten av beregningsmetodene mot målte verdier. De analyserte dataene kan også benyttes som utgangspunkt for å beregne emissjonsdata til bruk i Forsvarsbygg sitt støyanalyseprogram MILSTØY II.

English summary

This report is part of an ongoing effort to improve the ability of the Norwegian Defence Estates Agency to assess noise pollution from firing ranges. Here we provide documentation of measurements done at Rena 11. May 2006, to capture time series of the sound pressure of the 30 mm chain gun on the CV90, 12.7 mm machine gun and the Heckler & Koch 40 mm AGL (Automatic Grenade Launcher). This report is one in a series, to provide data for different types of weapons under different conditions. At the FFI we are currently developing methods to theoretically predict the sound pressure near the muzzle of a weapon. The measurements reported here can later be used to check the validity of the theoretical methods against measured values. The analyzed results of the measurements reported here can also be used as a starting point to calculate emission data for MILSTØY II, the noise analysis program used by Norwegian Defence Estates Agency

INNHold

1	Bakgrunn	7
2	Innledning	8
3	Våpen og ammunisjon	9
3.1	CV90	9
3.2	AGL	9
3.3	12.7 mm NM218	11
3.4	AG3	13
4	Måleoppsett	14
4.1	Standplass	14
4.2	Sensorplassering	16
4.3	Bakkeprofil	16
4.4	Vær	18
4.5	Skuddtider	18
5	Datainnsamling	19
5.1	Sensorer	19
5.1.1	PCB sensor på 2 m	19
5.1.2	PCB sensor på 20 m	19
5.1.3	Brüel & Kjær mikrofon på 20 m	20
5.2	Forsterkere	20
5.3	AD-konvertering	22
5.4	Postprosessering av data	23
6	Måleresultater 20 m fra munningen	23
6.1	1/3-oktav SEL-spekter	23
6.2	Ankomsttider for prosjektilsmell	23
6.2.1	Form på tidsserien AGL	27
7	Målte verdier 20 m, 1/3-oktav SEL-spekter, alle våpen	27

8	Oppsummering	32
A	Tidsserier trykk 20 m fra munningen, alle våpen	34
B	Tidsserier trykk 2 m fra munningen, alle våpen	38
C	Variasjon fra skudd til skudd	42
D	Sammenligning av AG3 målt på Rena og Terningmoen	48

1 Bakgrunn

Denne rapporten er en del av et pågående arbeid ved Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) for å forbedre Forsvarsbygg (FB) sin evne til å estimere støynivået rundt Forsvarets skytefelt [1, 2, 3]. Dette er viktig for å kunne holde et så begrenset som mulig støynivå hos naboene i nærheten av skytefelt. Det er også viktig i forhold til å maksimere Forsvarets muligheter for trening innenfor de rammer for støy som er gitt i konsesjonene for skytefeltene. FFI sitt arbeid er en del av et samarbeidsprosjekt med FB som oppdragsgiver, der prosjektgruppen består av FFI, SINTEF og NGI (Norges Geotekniske Institutt).

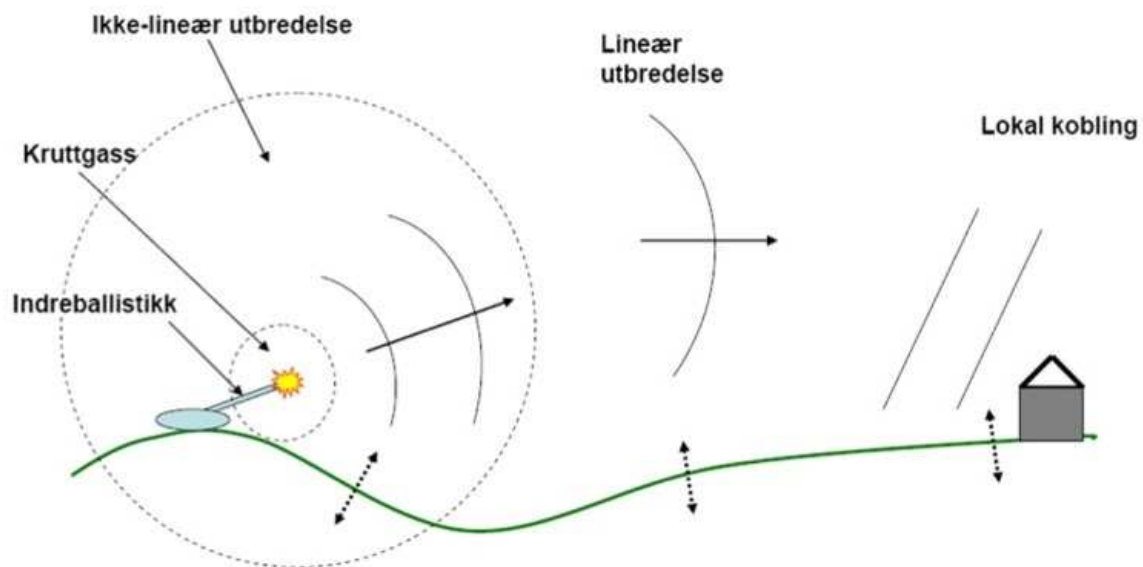
For å estimere støynivået benytter FB seg av programmet MILSTØY II. Som inngangsdata benytter MILSTØY II en kildedatabase for lydtrykket forholdsvis nær det valgte våpenet, omtrent 10 m for et håndvåpen. Det er ønskelig å utvide og forbedre denne databasen. Denne rapporten beskriver målinger som ble gjort på Rena 11. mai 2006. Formålet med målingene var i første rekke å kvantifisere støynivået for tre spesifiserte nyere norske våpen, på en slik måte at målingene senere kan benyttes, direkte eller indirekte, som grunnlag for å utvide MILSTØY II sin database av våpen. De tre våpnene var spesifisert av Forsvarsbygg.

Som en del av arbeidet med kildedata har FFI satt i gang forskning på å benytte beregningsprogrammer [4] til å generere kildedata til MILSTØY II. Trykkforløpet skal beregnes fra inne i løpet og ut til starten av det lineære området der MILSTØY II tar sine inngangsdata (Figur 1.1). Her benyttes først IBHVG2 (Interior Ballistics of High Velocity Guns) [5] til å beregne trykk og hastighetsfeltet inne i løpet før prosjektilet kommer ut av munningen. Deretter benyttes fluidkoden Autodyn [6] til å beregne trykkfeltet videre utover til lydbølgen forplanter seg bort fra den ekspanderende kruttgassen, innenfor 80 cm fra munningen for et håndvåpen. Det arbeides videre på FFI med å regne seg gjennom den ikke-lineære sonen frem til starten av den lineære sonen.

For å verifisere resultatene etter beregningene med IBHVG og Autodyn arbeides det parallelt med å fremskaffe egnede måledata nær våpenet. Resultatene i denne rapporten vil senere, sammen med andre målinger (f.eks. [7, 8]), kunne benyttes til å verifisere beregningene som er gjort ved FFI. Et eksempel på en slik sammenligning er gitt i [4].

I denne rapporten dokumenterer vi målinger både i starten og slutten av den ikke-lineære sonen (Figur 1.1). Hensikten med målingene er todelt:

1. Det ble gjort målinger 20 m fra munningen på våpenet. Dette kan gå inn i MILSTØY II sin kildedatabase, etter en bearbeiding av måledata.
2. Målingene som er gjort kan benyttes til å verifisere det pågående modelleringsarbeidet ved FFI. I tillegg til målingene på 20 m er det utført målinger på 2 m. Vi har da data som kan benyttes til å verifisere beregningene som er utført i denne sonen (ut til 2 m).



Figur 1.1: Oversiktsbilde over de forskjellige sonene for lydpropagasjon rundt et våpen.

2 Innledning

Hovedhensikten med denne rapporten er å dokumentere målingene som ble gjort på en slik måte at de senere er et godt utgangspunkt for videre analyse. Målingene ble gjennomført som et samarbeid mellom FFI og FLO Test & Verifikasjon (FLO T&V) ved Anne Cathrine Wiencke. FLO T&V stod for det praktiske oppsettet oppe på Rena. FFI stod for utforming av måleoppsettet, gjennomføring av målingene og analyse av måledata. Vi fikk hjelp til rigging av utstyr av Erling Andreassen og Svein Solli fra Forsvarsbygg. Målingene ble gjennomført 11. mai 2006 på bane C–E på Rødsmoen skytefelt på Regionsfelt Østlandet.

Å gjennomføre slike målinger er forholdsvis kostbart og krevende i forhold til koordinering. Standplass skal være ledig, sensorer skal leies inn, det må gjøres avtaler med personell som betjener våpen, ammunisjon må taes ut, en god del mennesker må være ledige til å utføre det praktiske arbeidet og sist men ikke minst må været være bra akkurat på det tidspunktet målingene er planlagt. Det siste punktet holdt denne gangen på å sette stopper for gjennomføringen av målingene. Været forut for den planlagte målekampanjen hadde vært svært godt. Dagen før målingen viste det seg at det var innført generelt skyteforbud i hele Regionsfelt Østlandet på grunn av skogbrannfare. Det lyktes likevel å gjennomføre målingene da FLO T&V klarte å få tak i brannvesenet som var villig til å la seg leie for en hel dag for å være i beredskap i tilfelle brann (Figur 3.2).

I Kapittel 3 beskrives våpnene som benyttes i målingene. Måleoppsettet beskrives i Kapittel 4. Sensorer og datainnsamlingssystem omtales i Kapittel 5. En kortfattet oversikt over måleresultater gis i Kapittel 6. I Kapittel 7 er det tabulert SEL-verdier for rådata. Ved å korrigere for bakkevirkingen kan disse tabellene benyttes som inngangsdata til MILSTØY II. Dette vil bli gjort i en egen rap-

port senere. For hurtig oppslag under arbeidet med beregningsprogrammer er typiske tidsserier for trykket plottet i Appendiks A og B. Vi har også sett litt på repeterbarheten til målingene i Appendiks C og D.

3 Våpen og ammunisjon

Forsøkene ble gjort for å måle emisjonsdata for tre våpen. Målet var å få gjort 10 gode målinger for hvert våpen. Telemarksbataljonen og HJK (Hærens jegerkommando) var til stede for å skyte for oss. Wiencke fra FLO T&V tok ut ammunisjon til våpnene. Alle de tre våpnene var plassert på kjøretøy. Tabell 3.1 inneholder en del parametere som vi bruker som inngangsdata for beregningene med IBHVG og Autodyn.

3.1 CV90

Det ble skutt med CV90 (mer presist en CV9030N). Dette er et lettere pansret beltekjøretøy med en Bushmaster II 30 mm kanon montert (Figur 3.1 og 3.2). Kanonen veier 153,1 kg og kan skyte opp til 200 skudd i minuttet. Munningen på våpenet kan sees i Figur 3.3 og 3.4. Ammunisjonen som ble brukt er NM219, 30x173 mm TP-T (øving, sporlys), link BMII, katalognummer 1305-25-147-7357, lot 03-RA-05.



Figur 3.1: CV90

3.2 AGL

HJK sin Heckler & koch AGL (Automatic Grenade Launcher) 40 mm bombekaster ble målt. Også denne montert oppe på bil (Figur 3.5 og 3.6). Munningen på våpenet sees i Figur 3.7 Våpenet kan



Figur 3.2: Sensorposisjoner for CV90



Figur 3.3: Munningen på CV90



Figur 3.4: Munningen på CV90

skyte opp mot 300 skudd i minuttet. Ammunisjonen som ble brukt har betegnelsen 40x53 mm øving, sporlys, markør, katalognummer 1310-25-149-3497, lot 03-NIC-03. Til AGL hadde Wiencke tatt ut 12 skudd. Det viste seg imidlertid at HJK hadde med seg en kasse ammunisjon som de gjerne ville trene litt med. Dermed finnes det store mengder data tilgjengelig for AGL. Det er kun 10 av disse skuddene som er med i denne rapporten.



Figur 3.5: AGL



Figur 3.6: AGL

3.3 12.7 mm NM218

Det ble skutt med 12.7 mm maskingevær fra Telemarksbataljonen (Figur 3.8). Våpenet har betegnelsen 12.7x99 mm åpen bolt HPS NM218. Denne ble montert oppe på HJK sin bil (MB 290 MULTI). I følge de tilstedeværende brukerne av våpnene er dette mer typisk bruk enn trefot (Figur 3.8).



Figur 3.7: AGL

Våpenet var montert på lavett (NM152). Våpenet veier 25,3 kg og har en skuddhastighet på 450-600 skudd i minuttet. Munningen på 12.7'en som ble brukt kan sees på Figur 3.9. Våpenet kan kun skyte automat, så skytteren skjøt et eller to skudd om gangen ved å trykke på avtrekkeren i kort tid. Ammunisjonen er av typen 12.7x99 mm MP-T (NM160), linket, katalognummer 1305-25-148-8483, lot 06-RA-00.

NM218 er et tungt og stort 12.7 mm maskingevær. I tillegg til dette våpenet bruker man i Forsvaret MØR (miljøødeleggelsesrifle). Dette er en M82 (M82A1N), et 12.7 mm våpen som er lettere og er beregnet til å skyte enklelskudd med større presisjon. Noen data for denne er tatt med i Tabell 3.1 for sammenligning. M82 har i motsetning til NM218 en stor rekyldemper.



Figur 3.8: NM218 på trefot



Figur 3.9: Munningen på NM218

3.4 AG3

Vi har med AG3 som et referansevåpen (Figur 3.10), hovedsakelig for å teste at utstyret var oppe og gikk før det ble satt i gang målinger på de andre våpnene. Målingene med AG3 kan også benyttes til å sammenligne med eksisterende kildedata. Posisjoneringen av skytteren ble gjort noe unøyaktig, som følge av at målingene ikke var tiltenkt å benyttes som kildedata. Vi kan antyde en usikkerhet på 0.5 m i posisjoneringen. Det ble skutt med NM231 ammunisjon.



Figur 3.10: AG3

våpen	ammo	løpslengde m	V_0 m/s	weapon number
CV90	30 x 173 mm	ca. 2.6	ca. 1030	1
AGL	40 x 53 mm	0.415	240	2
NM218	12.7 x 99 mm	1.143	930	3
M82	12.7 x 99 mm	0.737	853	-
AG3	7.62 x 51 mm	0.450	830	4

Tabell 3.1: Det er knyttet usikkerhet til utgangshastighetene i tabellen. Ingen av disse er målt av oss, bortsett fra AG3.

4 Måleoppsett

Vi målte lydtrykket i 7 retninger ut fra skyteretningen, 5, 30, 70, 90, 120, 150 og 180 grader. Grunnen til at sensoren på 70 grader står der og ikke på 60 grader er at vi ønsket å unngå at prosjektilsmellet ankom sensoren samtidig som munningsmellet for våpen med prosjektilhastighet rundt 800 m/s (Avsnitt 6.2). Sensorene er altså plassert i en halvsirkel på den ene siden av våpnene. Alle våpnene var plassert på kjøretøy. Det er ikke lett å få manøvrert et slikt kjøretøy nøyaktig inn slik at munningen er nøyaktig ved det innmålte sentrum i halvsirkelen av sensorer. Vi antyder at usikkerheten er omtrent 0.5 m.

4.1 Standplass

Målingene er utført på bane C-E på Rødsmoen skytefelt (Figur 4.1). Her skyter man fra en standplass omgitt av bratte voller (Figur 4.2). Målet er noen hundre meter unna på fjellveggen rett over kulverten (Figur 4.3).



Figur 4.1: CV90



Figur 4.2: Standplass sett på skrått forfra.



Figur 4.3: Standplass sett bakfra. Kulverten er i enden av veien. Det ble skutt omtrent midt på veggen.

For å gjøre målinger av denne typen ønsker man at målt makstrykk skal være under 1 kPa. For så kraftige våpen som CV90 og NM218 trengte vi en måleavstand på 20 m for å være sikker på at dette ble oppnådd. Vi trenger dermed en standplass der vi har plass til en halvsirkel med radius 20 m på siden av våpenet. I tillegg må vi ha en viss avstand fra denne halvsirkelen til hindringer som gir refleksjon. Denne avstanden må være så stor at en refleksjon fra en hindring ankommer sensoren så sent at den direkte pulsen og pulsen reflektert fra bakken allerede har passert. Det er her snakk om omtrent 10 ms, dvs. 1.7 m mellom sensoren og vollen. Det er ønskelig med en del større avstand som en sikkerhetsmargin, f.eks. minst 5 m til nærmeste hindring. Da vi ankom skytefeltet viste det seg at alternative standplasser i området var mindre enn forventet. Som man kan se av fotografiene er det forholdsvis liten avstand fra sensor til vollen rundt standplass. Den er likevel så pass stor at det er mulig å se bort fra den reflekterte pulsen. Fra CV90 til nærmeste voll var det 11.50 m. Fra

sensoren med kanalindeks 4 var det 9.40 m til vollen. Fra sensoren rett bak våpenet var det 5.10 m til vollen.

Da det ble skutt med AGL og NM218 var CV90'en parkert bakerst i hjørnet på plassen nær sensoren rett bak våpenet (Figur 4.3). Dette vil kunne gi refleksjoner som ødelegger signalet på denne sensoren. Nå er imidlertid både AGL og NM218 montert på en bil med skytteren og delvis bilen mellom våpenet og sensoren. Dermed vil denne sensoren uansett ha vanskeligheter med å måle den direkte pulsen vi er ute etter.



Figur 4.4: Parkering av CV90 under skyting med AGL og NM218.

4.2 Sensorplassering

Det ble gjort opptak med i alt 17 sensorer. På 20 m målte vi i 7 retninger både med trykksensorer og mikrofoner. Nær våpenet hadde vi to sensorer 2 m fra munningen. Vi hadde også en sensor som ble flyttet litt rundt i nærheten av skytteren. Oppsett var omtrent som beskrevet i [9], bortsett fra at sensorene stod omtrent dobbelt så langt fra våpnene. Plasseringen til de 17 sensorene er beskrevet i Tabell 4.1. Feltene “dev” og “ch” i tabellen, refererer til nummerering av datainnsamlingskort og kanalnummer på hvert kort, som beskrevet i Kapittel 5. Sensorene omtrent 2 m fra våpenet har en plassering som er beskrevet i Tabell 4.2.

4.3 Bakkeprofil

Bakken på en standplass ganske flat. Sensoren rett fram stod utenfor den flate delen av standplass (Figur 4.5). Sensoren stod imidlertid likevel i samme plan som de andre sensorene. Refleksjonspunktet var godt inne på den flate delen av standplass, slik at den reflekterte pulsen ikke burde bli nevneverdig modifisert. Det var 14.75 m fra våpenet til slutten av standplass (i retning 5 grader).

kanal- indeks	dev	ch	sensor		preamp serienummer	avstand m	vinkel grader	høyde m
			type	serienummer				
1	1	0	B&K 4938	SN2527106	SN2084740	20.08	4.5	2.5
2	1	1	B&K 4938	SN2496504	SN2084743	20.00	30.1	2.5
3	1	2	B&K 4938	SN2527104	SN2084742	20.06	69.7	2.5
4	1	3	B&K 4938	SN2411398	SN2084739	20.09	89.8	2.5
5	1	4	B&K 4938	SN2527105	SN1865612	20.02	120.0	2.5
6	1	5	B&K 4938	SN2496503	SN2084741	19.92	149.8	2.5
7	1	6	B&K 4938	SN2527102	SN1865605	20.03	179.6	2.5
8	2	0	PCB 106B	SN7015		20.03	4.9	2.0
9	2	1	PCB 106B	SN1082		19.95	30.5	2.0
10	2	2	PCB 106B	SN1085		20.01	70.1	2.0
11	2	3	PCB 106B	SN1068		20.04	90.2	2.0
12	2	4	PCB 106B	SN1086		19.97	120.4	2.0
13	2	5	PCB 106B	SN1088		19.87	150.2	2.0
14	2	6	PCB 106B	SN1083		19.98	180.0	2.0
15	3	1	PCB 137A23	SN4428		-	10	-
16	3	2	PCB 137A23	SN4429		-	70	-
17	3	0	PCB 137A23	SN4430		-	-	-

Tabell 4.1: Plassering og spesifikasjoner for de 17 målepunktene.

	Avstand 10 grader	Avstand 70 grader	Høyde Munning
CV90	2.10 m	2.13 m	ca. 2 m
AGL	2.20 m	2.02 m	2.45 m
NM218	2.13 m	2.01 m	2.45 m

Tabell 4.2: Plassering av sensorene 2 m fra våpenet



Figur 4.5: Sensoren i retning 5 grader

våpen	tid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CV90	11:38	88.1	105.0	118.2	129.4	141.5	154.8	169.2	184.9	197.5	212.4
NM218	12:59	41.7	47.3	53.4	58.3	64.2	69.7	73.6	76.3	84.9	92.3
AGL	12:26	0.4	7.1	13.9	18.3	23.0	27.5	32.2	38.7	45.4	49.7
AG3	11:20	11.8	22.6	32.6	42.6	52.1	62.1	72.0	82.0	91.3	101.3

Tabell 4.3: Skuddtider. Den første tiden er omtrent når datainnsamlingen startet (i timer og minutter). Tidene (i sekunder) for de forskjellige skuddene er relativt til starten på fila.

4.4 Vær

Måledagen var en klar vårdag. Det anslås at temperaturen lå rundt 25 grader celsius. Det var vindstille til svak vind under målingene.

4.5 Skuddtider

Det ble skutt minst 10 skudd med hvert våpen. Klokken på datamaskinen som gjorde datainnsamlingen var synkronisert med GPS-mottager og med NORSONIC 121 måleren som stod ute i terrenget. Man kan da sammenholde når filene ble laget med oversikten over skuddtider i Tabell 4.3. Første tid i tabellen er en omtrentlig referansetid for våpenet i timer og minutter. De andre tidene er tiden for hvert enkelt skudd angitt med tiden som er gått siden målestart, gitt i sekunder.

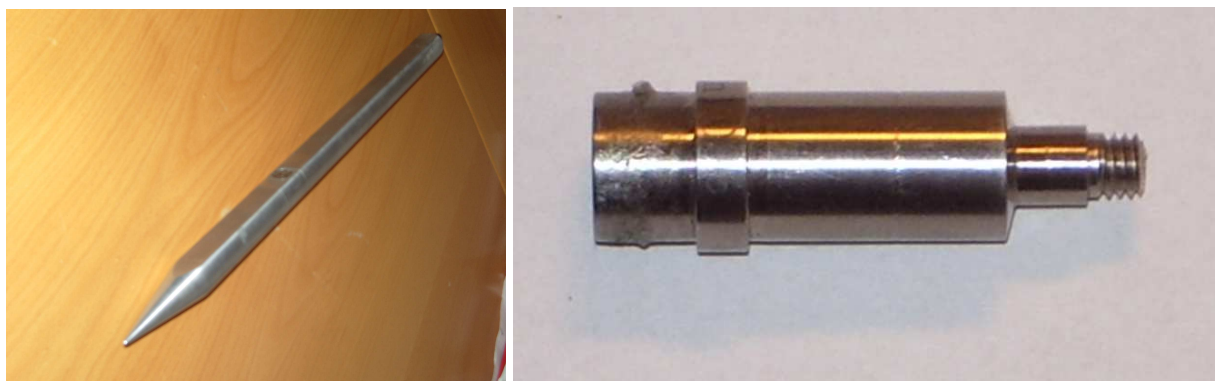
5 Datainnsamling

5.1 Sensorer

I målingene er det brukt tre typer sensorer. Nær våpenet (2 m fra munningen) brukte vi sensorer av typen PCB 137A23. På 20 m fra munningen, 2 m over bakken, brukte vi sensorer av typen PCB 106B. På 20 m fra munningen, 2.5 m over bakken, brukte vi mikrofoner fra Brüel & Kjær. I denne rapporten er ingen av målingene fra PCB 106B sensoren tatt med, da mikrofonene fra Brüel & Kjær gir samme informasjon for denne rapportens formål. Mye av måleoppsettet er likt det som ble brukt i måleserien som ble gjort på Terningmoen [9]. Detaljer ved oppsettet er nøyere beskrevet der.

5.1.1 PCB sensor på 2 m

Nær våpenet (2 m) brukte vi 2–3 trykksensorer av typen PCB 137A23 som vi hadde lånt av FB (Figur 5.1). Vi hadde en sensor på 10 grader og en på 70 grader. I tillegg var planen å plassere den tredje sensoren nær skytterens øre. Formålet var å teste påkjenninger på skytteren. Imidlertid var meldingen fra brukerne av disse spesifikke våpnene at de ikke er plaget av støy. Likevel ble det gjort målinger ved å plassere sensoren i setet på bilen for MØR og AGL. Sensorelementet ble satt pekende forover. For CV90 stod sensoren på siden av vogna, omtrent 0.5 m over bakken. Resultatene fra målingene med den denne siste sensoren er ikke gjengitt her. I Tabell 5.1 er det oppgitt data for de 3 sensorene vi har brukt i målingene på 2 m.



Figur 5.1: Venstre: "Pencil blast sensor" av typen PCB 137A23. Selve sensoren sees på siden av sensorhuset. Sensorhuset er 42 cm langt. Høyre: PCB 106B sensor. Sensoren er 11 mm i diameter og 4 cm lang.

5.1.2 PCB sensor på 20 m

På 20 m, 2 m over bakken, brukte vi 7 stk. piezoelektriske trykksensorer av typen PCB 106B som vi har lånt av FLO T&V. I Tabell 5.2 er det oppgitt data for sensorene som er benyttet.

Modell	Serienummer	Følsomhet (mV/PSI)
PCB 137A23	SN4428	101.1
PCB 137A23	SN4429	95.95
PCB 137A23	SN4430	95.71

Tabell 5.1: Spesifikasjoner for trykkesensorene på 2 m.

Modell	Serienummer	Følsomhet (mV/PSI)
PCB 106B	SN1068	315.0
PCB 106B	SN1082	303.9
PCB 106B	SN1083	302.8
PCB 106B	SN1085	326.1
PCB 106B	SN1086	332.2
PCB 106B	SN1088	331.1
PCB 106B	SN7015	309.5

Tabell 5.2: Følsomhet for trykksensorene.

5.1.3 Brüel & Kjær mikrofon på 20 m

På 20 m, 2.5 m over bakken, brukte vi kondensatormikrofoner av typen 4938 (1/4") fra Brüel & Kjær. Vi leide 4 mikrofoner fra SINTEF for en dagspris av 1 % av verdien. En mikrofon kan koste anslagsvis 8000 kr. I tillegg leide vi 4 mikrofoner fra Brüel & Kjær. FLO T&V tok kostnaden ved mikrofonleie. I Tabell 5.3 er det oppgitt data for mikrofonene som er benyttet. Mikrofonene har et dynamisk område på 42–172 dB og et frekvensområde på 4 Hz – 70 kHz.

Mikrofonene ble testet ved ferdig måleoppsett med en kalibrator av typen Brüel & Kjær 4231. Korreksjonsfaktorene som ble funnet er brukt til å justere nivået, slik at alle verdier i denne rapporten er justert i samsvar med kalibratoren. Kalibreringsverdiene som ble brukt for hver enkelt kanal kan sees i Tabell 5.3.

5.2 Forsterkere

Måleutstyret ble plassert i FLO T&V sin mobile målebrakke (Figur 5.3). Sensorene ble koblet til 50 m koaxialkabel før de gikk inn i signalomformere. Kanalindeks 16 og 17 ble koblet til hver sin PCB 480E09 signalomformer. Kanalindeks 8–15 ble koblet til FLO T&V sin 8-kanals PCB signalomformer.

Brüel & Kjær mikrofonene ble koblet til et mellomstykke UA0035 (fra 1/4" til 1/2"), deretter en forforsterker av type Brüel & Kjær 2669. Disse ble så koblet til to kondisjoneringsforsterkere av



Figur 5.2: Mikrofon av typen Brüel & Kjær 4938 (1/4"), med mellomstykke UA0035 (fra 1/4" til 1/2") og forforsterker type 2669.

Modell	Serienummer	Følsomhet	Korreksjon kalibrering
Enhet		mV/Pa	dB
B&K 4938	SN2527106	1.470	+0.9
B&K 4938	SN2496504	1.548	+1.1
B&K 4938	SN2527104	1.474	+0.9
B&K 4938	SN2411398	1.599	+0.7
B&K 4938	SN2527105	1.469	+0.9
B&K 4938	SN2496503	1.652	+1.2
B&K 4938	SN2527102	1.420	+0.9

Tabell 5.3: Spesifikasjoner for mikrofonene.



Figur 5.3: FLO T&V sin mobile målebrakke

typen Brüel & Kjær NEXUS 2690. Båndpassfilteret på disse ble stilt til å slippe igjennom signaler fra 0.1 Hz til 100 kHz.

Forsterkerne ble stilt til å gi en høyest mulig output uten at det skulle være fare for å gå ut av måleområdet til dataloggingssystemet. For kanalindeks 1–7 ble det brukt en output på 3.16 V/Pa. For kanalindeks 8-14 ble det brukt en gain på 100. For kanalindeks 15 og 16 var gain 10. For kanalindeks 17 var gain 100.

5.3 AD-konvertering

Fra måleposisjonene gikk det 50 m lange koaksialkabler til 17 kanaler på et National Instruments PXI-1042 kabinett, som eies av FLO T&V (Figur 5.4). I dette skapet stod det 4 stykker kort av typen National Instruments PXI-4472. Disse kortene er 8-kanals, 24bits, analog til digital (AD) omvandlere med omvandlingsrate på 102400 S/s. Maksimalt antall kanaler for hele kabinettet er da 32. I kabinettet sitter også et kort av typen National Instruments PXI-8330 (MXI-3). Dette kortet brukes til å overføre data fra kabinettet til datamaskinen. I datamaskinen sitter det et kort av typen National Instruments PCI-8330/8335.



Figur 5.4: Venstre: Datainnsamlingsutstyret. Fra venstre på bildet: To PCB batteridrevne forsterkere, en 8-kanals PCB forsterker, PXI-chassiet, PC med kort for å kommunisere med PXI-chassiet. Høyre: Stativ for sensorer på 20 m. Øverst mikrofon fra Brüel & Kjær. Nederst sensor av typen PCB 106B plassert i en plate.

Vi stilte omvandlingsområdet til -10 til 10V, og samlet inn data fra 17 kanaler. Vi brukte kort 1 til B&K-mikrofonene, kort 2 til PCB 106B sensorene, og de tre første kanalene på kort 3 til PCB 137A23 sensorene.

For datafangst fra analog til digital omvandleren til filer på datamaskinen brukte vi et program skrevet i LabView 8/NI-DAQmx 2.0. Programmet leser og skriver fortløpende data til harddisk.

Blokker på 0.5 s ble skrevet om gangen. Dataene ble lagret som 24-bits integer.

5.4 Postprosessering av data

For hver måling ble det skrevet en fil som inneholdt data fra alle de 17 kanalene. Disse datafilene er forholdsvis store. For å spare tid når man jobber med dataene ble det valgt å lagre dataene med en fil for hver kanal. Disse filene ble samtidig lagret på et noe vanligere binært format enn det opprinnelig Labview-formatet, som 24 bit little-endian (ieee-le). Det går da noe raskere å lese data inn i maskinen for analyse.

6 Måleresultater 20 m fra munningen

Måleresultatene presenteres i denne rapporten enten som tidsserier av trykket eller som 1/3-oktav SEL-spekter. For en forklaring på begrepet SEL (Sound Exposure Level) henvises det til [9]. Tidsseriene til trykket er plottet i Appendiks A.

Et hovedresultat er tabellene over SEL som er gitt i Kapittel 7. Dette er tabeller for SEL for hele det målte signalet. Med det menes i denne sammenheng at vi har klippet bort prosjektilsmellet, men at effekten av bakken inngår i SEL-spekteret. Ved å korrigere for bakkeeffekten er det mulig å benytte disse tabellene til å beregne frittfelts kildedata som kan brukes i f.eks. MILSTØY. Dette er imidlertid ikke gjort i denne rapporten.

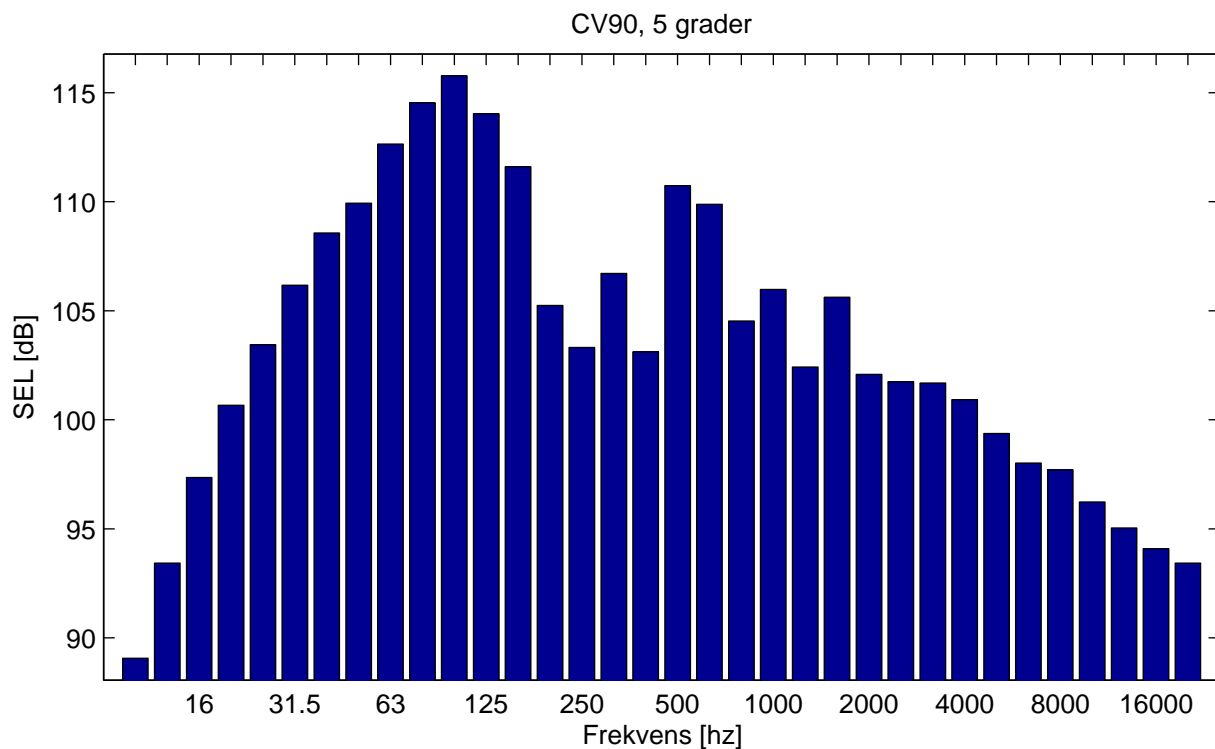
6.1 1/3-oktav SEL-spekter

SEL for alle våpnene, 5 grader ut fra skuddretningen, er plottet i Figurene 6.1– 6.4. Dette er en grafisk fremstilling av den andre kolonnen i tabellene i Kapittel 7. Spekteret er beregnet fra 10 Hz til 20 kHz. Vi har valgt å gå ned til 10 Hz på grunn av CV90 som har en forholdsvis dyp lyd.

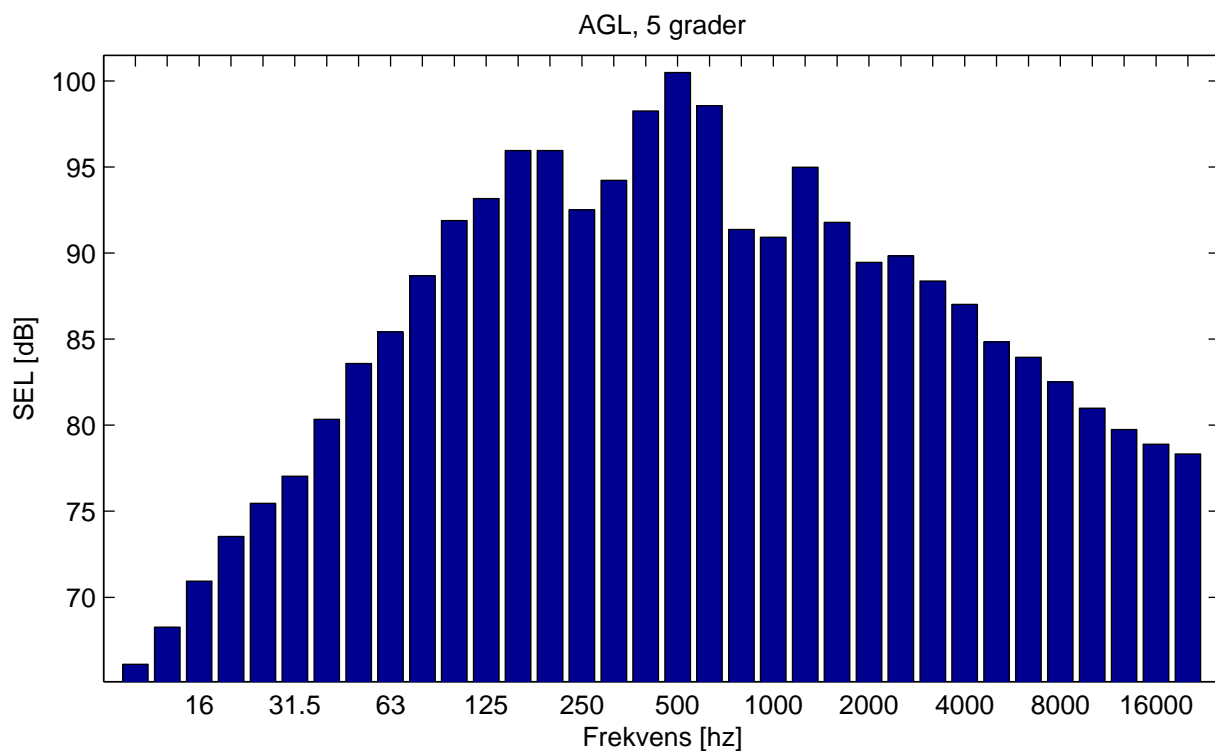
I spektrene er det en topp på rundt 100-200 Hz. Dette vil være toppen på et frittfelts spekter. Lenger opp i frekvens ser vi at vi først får en hurtig minking og så en ny topp. Dette er på grunn av tidsseparasjonen mellom direkte og bakkereflektert puls. Ved en enkel beregning får vi at direkte og reflektert puls er adskilt i tid med omtrent 1.7 ms. Dette tilsvarer 588 Hz, som vi ser er rundt der den andre toppen ofte ligger.

6.2 Ankomsttider for prosjektilsmell

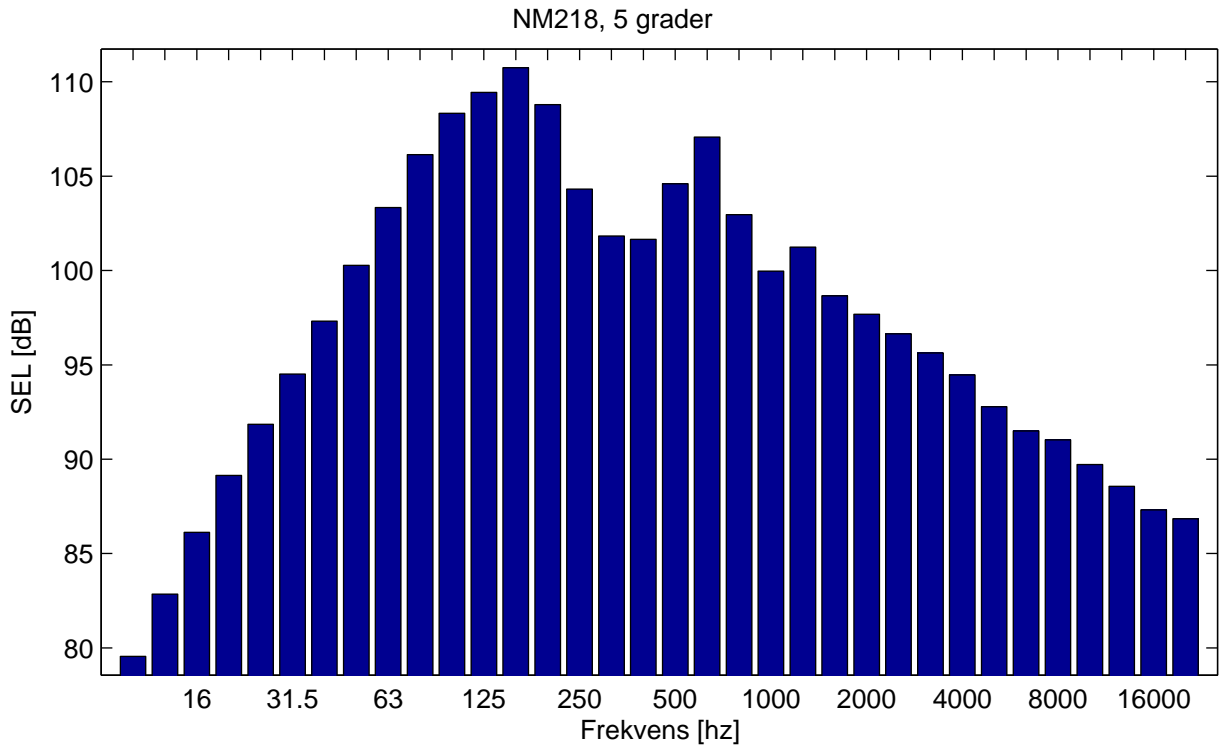
Det vi er ute etter i denne rapporten er det direkte munningssmellet. For vinklene 5 og 30 grader vil vi kun se på data i tidsrommet der prosjektilsmellet ikke er til stede.



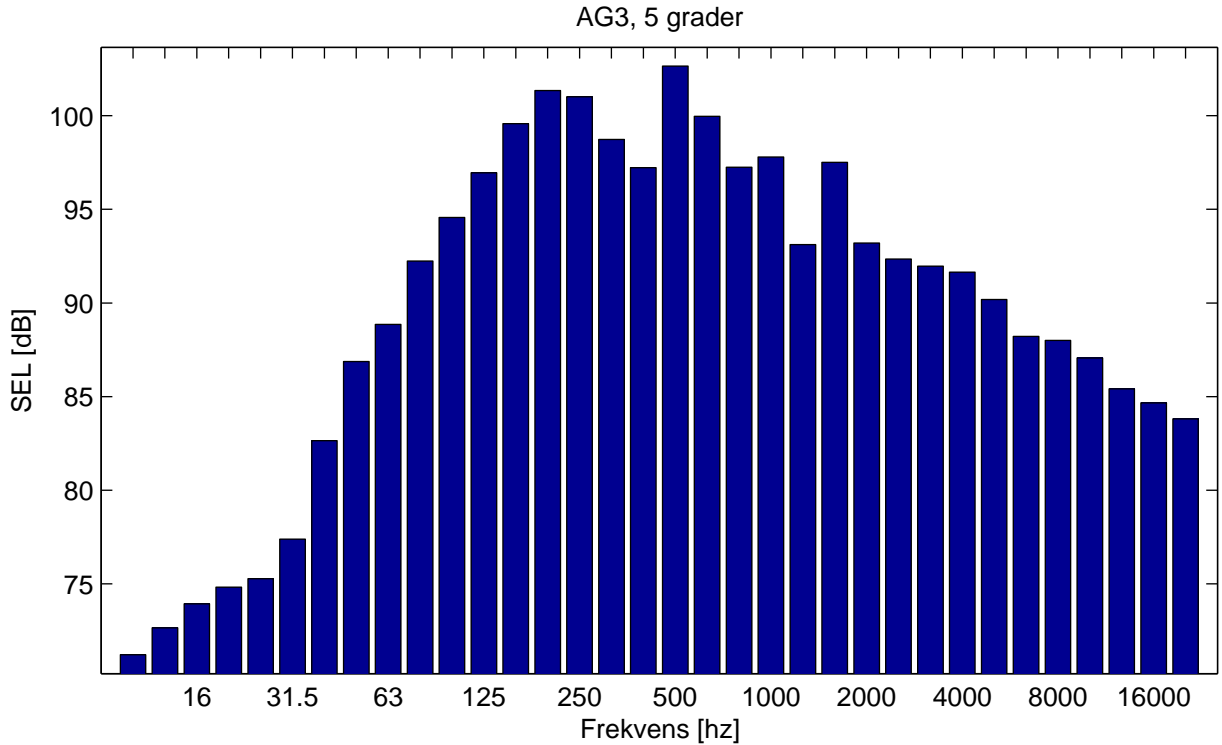
Figur 6.1: Sound Exposure Level i retningen 5 grader for CV90.



Figur 6.2: Sound Exposure Level i retningen 5 grader for AGL.



Figur 6.3: Sound Exposure Level i retningen 5 grader for NM218.



Figur 6.4: Sound Exposure Level i retningen 5 grader for AG3.

Ved hjelp av samme metoder som i [10] kan vi beregne ankomsttider av prosjektilsmellet for forskjellige våpen, dvs. for forskjellige utgangshastigheter. Dette bygger på en del antagelser, om lydshastighet, bakkens form og utgangshastighet denne dagen. Det er også antatt lineær lydutbredelse. De beregnede tallene i Tabell 6.1 er derfor å regne som grove overslag. Det reflekterte munningssmellet ankommer omtrent 1.7 ms etter det direkte munningssmellet.

v_0	sensorposisjon	ξ_0	prosjektilsmell (ms)		$D1$	$D2$	$D3$	$D4$
m/s	deg	deg	direkte	reflektert	m	m	m	m
1030	5	70.4	-33.9	-24.1	19.4	1.8	18.1	5.7
1030	30	70.4	-14.0	-10.5	13.9	10.6	13.3	12.0
1030	70	70.4	0.0	-	0.4	20.0	-	-
850	5	66.0	-29.9	-20.5	19.2	1.9	17.6	5.8
850	30	66.0	-11.0	-7.9	13.0	10.9	12.3	12.4
400	5	30.1	-5.5	-0.4	17.0	3.5	10.8	10.6
400	30	30.1	-0.1	-	0.2	19.9	-	-
350	5	8.7	-0.1	-	8.6	11.5	-	-
350	30	8.7	-	-	-	-	-	-

Tabell 6.1: Ankomsttider for prosjektilsmellet for forskjellige utgangshastigheter til våpenet. Alle tider er relativt det direkte munningssmellet. Det reflekterte munningssmellet ankommer omtrent 1.7 ms etter det direkte munningssmellet. Ved 25 grader celsius regnet vi med $c_0 = 346$ m/s.

Et prosjektilsmell når sensoren ved at prosjektilet først reiser fra munningssmellet. Så etter at prosjektilet har tilbakelagt strekningen $D1$ vil prosjektilsmellet spre seg ut fra dette punktet. Avstanden fra dette punktet til sensoren kalles $D2$. Det vil si gangveien i luft for prosjektilsmellet fra prosjektilet til sensoren. Prosjektilsmellet vil være lavere jo lenger det har gått i lufta. Siden bakken vil gi refleksjoner kan vi også tenke oss at vi har en speilkilde under bakken. $D3$ og $D4$ er de tilsvarende distansene for et eventuelt prosjektilsmell som har vært reflektert i bakken før det når sensoren. Her kan både den lengre gangveien og eventuell demping i bakken føre til at denne får så liten størrelse at den ikke er synlig. Hensikten med å liste opp disse ankomsttidene er at man må være klar over dette når man analyserer måleresultatene. Vi er kun interessert i munningssmellet. Vi må dermed klippe i tidsserien slik at vi kun får med dette. Dersom munningssmellet ankommer på samme tidspunkt som prosjektilsmellet kan det være usikkerhet forbundet med å anslå størrelsen på munningssmellet.

Det er to ting vi kan merke oss fra Tabell 6.1. For det første er det en fare for at prosjektilsmellet for CV90 vil ankomme sensoren på 70 grader samtidig som munningssmellet. Da har imidlertid prosjektilsmellet gått 20 m i lufta, og vil være redusert i størrelse. Dette kunne være et problem når man skal analysere data for denne sensoren. Imidlertid kan vi se fra tidsserien til trykket at den formmessig ikke bærer preg av å ha prosjektilsmellet oppå munningssmellet. Størrelsen på munningssmellet i forhold til sensorene på 30 og 90 grader antyder også at dette ikke er noe problem.

Det andre vi kan merke oss er at for AGL så er utgangshastigheten opplyst til 240 m/s. Ved 25 grader

celsius kan vi si at lydhastigheten er 346 m/s. Dette betyr altså at prosjektilet går saktere enn lyden. Dette stemmer bra med at vi for AGL på 5 grader ikke kan se noe prosjektilell.

6.2.1 Form på tidsserien AGL

Det kan se ut som AGL lager et munningsmell med en ganske komplisert form på tidsserien. Dette kan ha sammenheng med at AGL er en bombekaster, og noe forskjellig fra de riflene og kanonene vi ellers ser på. Vi ser også at prosjektilet, relativt til et rifle- eller kanonprosjektil, er kort og tykt. Det vil dermed raskt tape fart. Utgangshastigheten til AGL er så lav at prosjektilet går med en klart buet bane selv på noen hundre meters hold.

Det vi imidlertid helt sikkert kan si om AGL er at støynivået er lavt. Det er så lavt at på et hvert skytefelt vil munningsstøyen fra å skyte med AGL være neglisjerbar i forhold til støyen fra andre våpen. Støyen fra granaten som slår ned i målet, det er derimot en annen sak.

7 Målte verdier 20 m, 1/3-oktav SEL-spekter, alle våpen

Her listes det opp SEL-spekter for alle våpnene. SEL-verdiene er fremkommet ved å midle energien over de 10 skuddene for hvert våpen. Fremgangsmåten er beskrevet i [9]. Dette er SEL fra rådata på 20 m, uten bakkekorreksjon eller interpolasjon.

For CV90, NM218 og AG3 har vi tatt SEL fra -3 til 47 ms (relativt til munningsmellet). For AGL har vi tatt SEL fra -10 til 40 ms. Dette er teknisk begrunnet, og vil ikke ha innvirkning på de beregnede verdiene.

Freq	5 deg	30 deg	70 deg	90 deg	120 deg	150 deg	180 deg
SEL	123.1	123.6	122.8	122.5	122.2	120.6	120.9
10	89.1	81.7	91.9	91.8	92.2	92.0	93.1
12.5	93.4	91.2	94.6	94.4	94.9	95.3	95.5
16	97.4	97.3	97.5	97.2	97.6	98.4	97.9
20	100.7	101.3	100.7	100.1	100.1	101.2	100.6
25	103.4	103.7	103.7	103.3	102.7	103.3	103.8
31.5	106.2	106.0	106.1	106.1	105.4	105.1	106.9
40	108.6	109.5	107.9	107.9	108.0	107.2	109.1
50	109.9	111.4	110.7	109.4	109.6	109.0	109.4
63	112.6	113.3	111.6	111.9	110.9	109.3	110.3
80	114.5	115.1	112.4	111.8	112.9	108.6	111.5
100	115.8	116.5	113.0	112.6	113.0	109.8	108.2
125	114.0	115.3	114.3	113.3	112.6	111.3	110.5
160	111.6	112.0	113.5	113.6	113.5	110.4	108.6
200	105.2	108.5	110.9	111.4	111.4	106.4	102.5
250	103.3	97.6	105.3	108.8	106.7	106.3	110.1
315	106.7	100.8	105.0	102.1	101.8	105.5	110.2
400	103.1	105.6	107.3	106.4	105.3	104.8	110.7
500	110.7	109.3	106.7	109.4	108.3	110.0	105.8
630	109.9	106.4	109.4	106.8	107.6	104.6	100.3
800	104.5	108.4	108.4	107.7	106.3	104.6	103.5
1000	106.0	104.0	104.5	103.4	102.1	102.6	98.3
1250	102.4	104.8	105.5	103.6	103.9	104.1	101.3
1600	105.6	104.1	105.5	104.2	101.2	102.2	100.4
2000	102.1	103.8	103.3	101.3	102.3	101.3	99.2
2500	101.7	102.1	102.7	100.9	100.1	100.3	95.9
3150	101.7	102.0	101.6	100.3	99.8	99.2	94.6
4000	100.9	100.7	100.9	98.7	98.6	98.6	93.5
5000	99.4	99.5	100.0	98.2	98.1	97.2	91.3
6300	98.0	98.5	98.6	96.3	97.1	96.0	90.3
8000	97.7	97.1	97.8	96.2	95.9	94.9	90.3
10000	96.2	96.4	96.1	94.5	94.5	94.0	89.8
12500	95.0	95.3	95.2	93.7	93.8	92.9	88.3
16000	94.1	94.2	94.4	92.8	92.6	91.9	86.3
20000	93.4	93.6	93.5	91.9	91.9	91.2	87.3

Tabell 7.1: CV90: 1/3-oktav SEL-spekter, 20 m, uten bakkekorreksjon.

Freq	5 deg	30 deg	70 deg	90 deg	120 deg	150 deg	180 deg
SEL	107.3	106.1	102.3	99.8	96.7	93.2	93.4
10	66.1	66.0	61.0	59.3	59.7	62.5	58.5
12.5	68.3	67.9	62.9	62.0	60.9	62.2	59.6
16	70.9	69.9	66.5	64.8	62.8	61.8	60.9
20	73.5	72.0	70.2	67.6	65.2	62.6	62.5
25	75.5	74.6	73.0	70.4	67.4	64.8	64.6
31.5	77.0	78.0	75.3	73.5	69.9	67.1	67.7
40	80.3	81.5	78.9	77.2	74.1	70.8	71.1
50	83.6	83.7	81.5	79.7	77.8	75.3	72.9
63	85.4	85.8	81.3	78.3	77.1	76.1	72.9
80	88.7	89.2	86.0	82.2	75.3	72.5	72.6
100	91.9	92.0	88.3	85.6	80.6	75.0	72.4
125	93.2	93.5	89.4	86.9	81.8	78.5	77.7
160	96.0	94.4	87.9	84.6	80.5	77.9	80.0
200	96.0	93.2	87.0	82.7	78.2	69.8	79.9
250	92.5	86.3	82.4	78.0	77.3	80.6	78.7
315	94.2	94.1	88.9	84.0	81.1	81.2	77.8
400	98.3	98.0	93.2	91.8	86.8	83.2	80.4
500	100.5	99.0	94.7	93.0	90.2	84.7	81.2
630	98.6	94.8	91.8	90.5	87.7	85.6	80.8
800	91.4	86.8	82.1	83.3	80.2	80.3	78.2
1000	90.9	90.3	85.9	84.8	83.0	77.1	78.8
1250	95.0	91.4	83.3	82.4	80.9	79.4	81.4
1600	91.8	94.7	90.8	88.2	83.4	79.5	86.8
2000	89.5	90.1	92.6	85.1	85.0	78.7	81.7
2500	89.8	84.8	86.7	82.5	81.4	76.1	79.3
3150	88.4	89.9	84.6	84.0	83.4	77.4	81.0
4000	87.0	87.1	87.5	84.1	82.9	77.9	81.5
5000	84.8	86.3	84.4	81.0	79.2	75.5	75.8
6300	83.9	85.1	83.8	79.0	77.8	72.8	73.0
8000	82.5	83.6	81.8	78.6	75.7	71.7	70.4
10000	81.0	82.5	80.4	76.6	74.8	70.0	67.9
12500	79.7	81.5	78.9	74.4	73.1	68.0	65.6
16000	78.9	80.5	77.5	73.5	71.3	65.6	62.0
20000	78.3	79.9	76.1	71.9	70.1	64.0	58.9

Tabell 7.2: AGL: 1/3-oktav SEL-spekter, 20 m, uten bakkekorreksjon.

Freq	5 deg	30 deg	70 deg	90 deg	120 deg	150 deg	180 deg
SEL	118.1	117.3	113.7	110.8	106.6	102.9	101.6
10	79.6	79.0	76.5	73.3	68.2	67.3	66.2
12.5	82.9	81.7	79.0	76.0	71.1	69.5	67.4
16	86.1	84.7	81.7	78.8	74.1	71.8	69.1
20	89.1	87.9	84.6	81.6	76.9	73.9	71.8
25	91.8	91.3	87.5	84.4	79.4	75.7	75.2
31.5	94.5	94.5	90.4	87.1	81.8	77.5	78.1
40	97.3	97.7	93.1	89.9	84.6	80.1	79.7
50	100.3	100.6	95.5	92.1	87.8	83.9	80.6
63	103.3	103.1	96.7	92.4	89.2	87.5	85.2
80	106.1	105.8	99.9	95.2	88.7	87.5	88.8
100	108.3	107.8	100.9	97.5	92.4	85.4	85.2
125	109.4	108.7	101.5	98.7	95.6	92.1	89.4
160	110.7	108.1	99.7	96.4	93.1	87.7	85.6
200	108.8	105.6	98.8	95.9	89.6	78.4	91.0
250	104.3	94.9	93.3	90.3	87.3	83.3	83.9
315	101.8	102.3	103.0	98.3	92.3	90.0	89.8
400	101.6	107.0	106.9	103.0	97.0	92.4	92.1
500	104.6	107.6	106.0	103.2	98.4	91.7	91.8
630	107.1	103.3	100.0	101.2	95.2	89.1	88.7
800	103.0	100.0	100.0	96.4	91.8	92.3	89.0
1000	100.0	101.2	98.1	97.2	96.0	91.8	90.5
1250	101.2	100.1	99.2	95.4	95.3	93.7	89.7
1600	98.7	99.5	96.0	96.1	93.0	90.2	85.9
2000	97.7	98.2	96.5	94.2	91.5	89.2	86.2
2500	96.6	96.9	95.1	92.8	90.8	87.9	86.5
3150	95.6	95.9	94.2	91.9	89.4	87.4	84.5
4000	94.5	94.5	93.5	91.3	88.2	85.9	84.5
5000	92.8	93.4	92.5	90.5	87.9	84.7	82.6
6300	91.5	92.6	90.9	88.7	86.2	83.9	80.6
8000	91.0	91.2	90.2	88.5	85.2	81.8	79.5
10000	89.7	90.8	88.8	86.9	83.6	81.4	77.7
12500	88.6	89.4	87.9	85.6	83.1	79.6	76.0
16000	87.3	88.5	87.3	84.9	81.7	77.8	74.5
20000	86.8	88.0	86.3	84.0	80.8	77.2	73.0

Tabell 7.3: NM218: 1/3-oktav SEL-spekter, 20 m, uten bakkekorreksjon.

Freq	5 deg	30 deg	70 deg	90 deg	120 deg	150 deg	180 deg
SEL	110.7	110.2	106.5	104.0	99.4	97.9	88.8
10	71.2	63.6	62.6	62.1	56.7	52.7	58.0
12.5	72.6	66.5	65.5	64.0	59.4	56.6	58.2
16	73.9	69.8	68.5	66.1	62.3	60.1	58.2
20	74.8	73.3	71.3	68.5	65.1	62.7	59.3
25	75.3	76.9	73.9	71.4	67.8	64.4	63.1
31.5	77.4	80.1	76.8	74.5	70.4	66.6	67.1
40	82.6	83.2	80.0	77.5	73.2	70.5	69.5
50	86.9	86.6	82.9	80.0	75.9	73.1	70.2
63	88.9	89.6	85.8	82.4	78.2	75.3	71.6
80	92.2	92.3	88.5	85.1	80.8	76.1	76.7
100	94.6	95.0	90.6	87.1	82.4	79.1	77.6
125	97.0	97.2	92.3	88.7	84.0	80.5	78.2
160	99.6	98.7	93.4	89.6	85.1	81.9	77.1
200	101.3	100.2	93.3	89.7	85.4	80.6	72.9
250	101.0	97.3	91.0	88.8	84.4	79.2	72.4
315	98.7	94.1	88.7	85.8	84.0	79.9	75.6
400	97.2	98.6	93.8	88.6	83.8	80.6	72.9
500	102.7	103.0	98.3	95.0	88.3	82.0	75.6
630	100.0	102.1	99.5	97.2	90.2	85.2	78.7
800	97.3	96.4	97.3	95.9	90.9	90.6	78.5
1000	97.8	94.9	90.3	90.4	87.8	89.0	79.3
1250	93.1	94.8	94.7	91.3	86.1	82.6	74.0
1600	97.5	94.7	91.6	90.5	89.4	90.5	75.2
2000	93.2	91.9	90.5	88.5	83.7	84.6	74.2
2500	92.3	92.8	89.7	87.7	86.6	82.9	72.3
3150	92.0	92.1	88.5	87.1	83.3	85.7	71.2
4000	91.6	90.8	88.6	86.1	82.9	82.6	69.8
5000	90.2	89.2	87.0	86.0	82.4	80.5	67.4
6300	88.2	88.5	86.3	83.9	81.4	80.5	65.5
8000	88.0	86.4	85.5	83.2	79.9	78.9	62.5
10000	87.1	86.2	83.3	81.5	78.3	77.9	60.9
12500	85.4	85.1	82.6	80.3	77.8	76.0	57.8
16000	84.7	83.9	81.7	79.3	75.8	74.7	55.9
20000	83.8	83.5	80.7	78.2	74.6	73.4	54.4

Tabell 7.4: AG3: 1/3-oktav SEL-spekter, 20 m, uten bakkekorreksjon.

8 Oppsummering

Det er fremskaffet gode data for trykket helt nær (2 m) lette våpen. Det er også fremskaffet gode data for lydtrykket 20 m fra disse våpnene. Dette kan dels brukes til å verifisere beregnet trykk frem til 2 m fra munningen på våpenet. Det kan også brukes til å verifisere fremtidige beregninger av ikke-lineær lydpropagasjon fra 2 m ut til 20 m fra munningen.

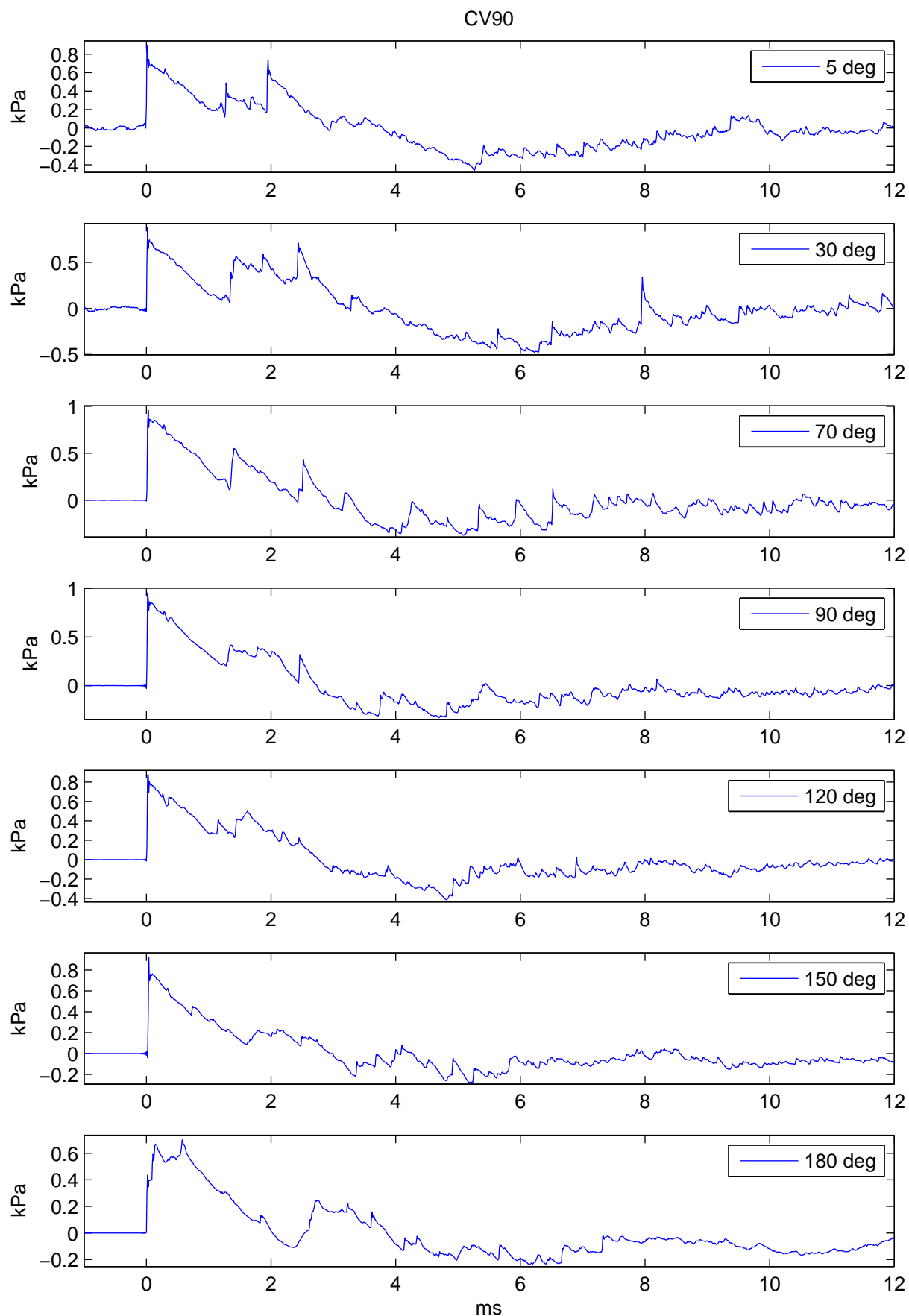
I tillegg er det beregnet tabeller for 1/3-oktav SEL-spekter (uten bakkekorreksjon) som beskriver støynivået 20 m fra våpenet. Etter analyse for å fjerne bakkeeffekten kan disse tabellene brukes til å beregne emisjonsdata som kan brukes som kildedatabase for lineære støypropagasjonsprogramer, som f.eks. MILSTØY II, for å beregne støyutbredelsen rundt skytefeltet.

Litteratur

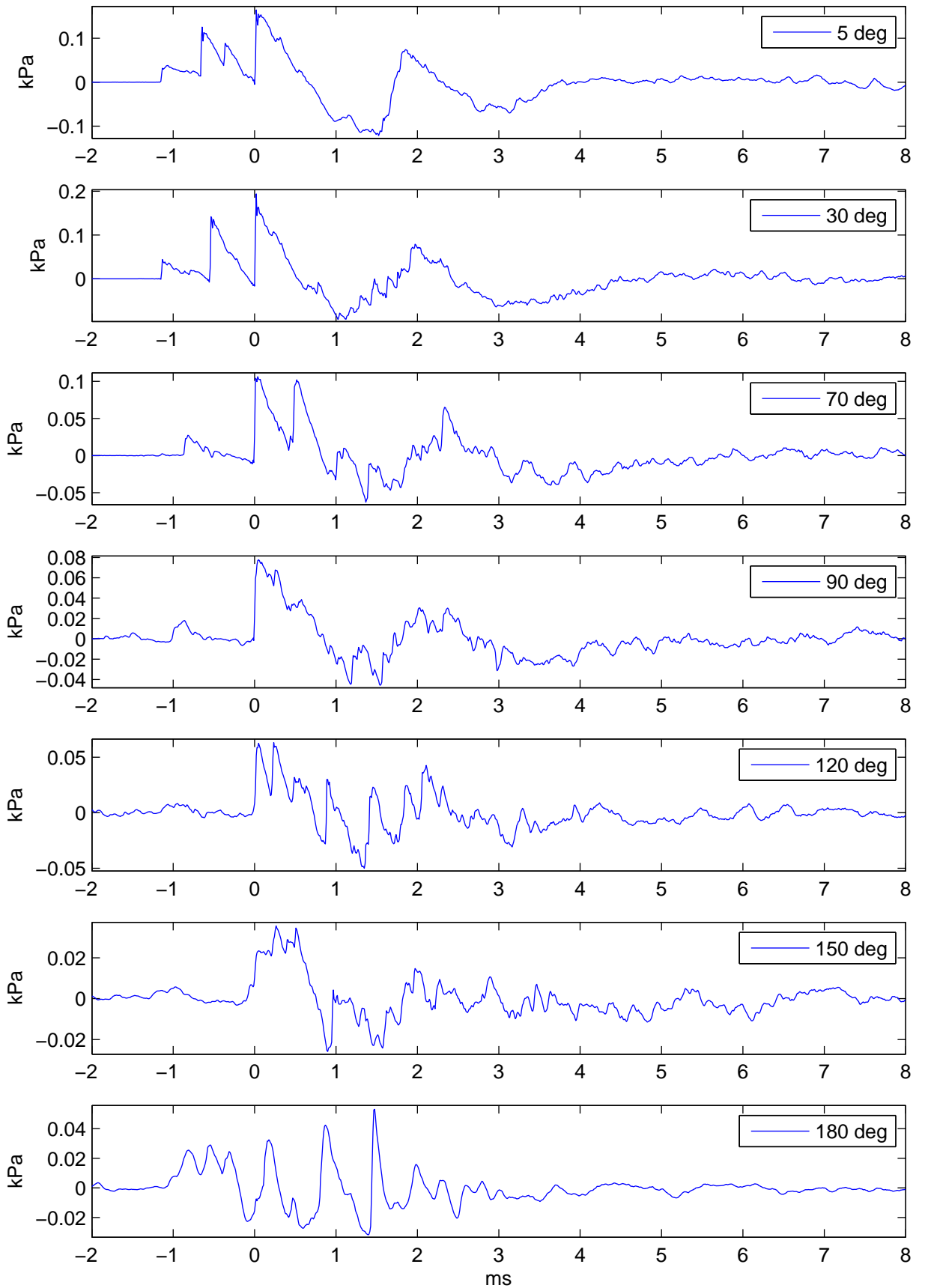
- [1] M. Huseby, R. Rahimi, J. A. Teland, and I. Dyrdal. Støy fra skytefelt. Technical Report FFI/RAPPORT-2005/00471, Norwegian Defence Research Establishment, February 2005.
- [2] M. Huseby and H. P. Langtangen. A finite element model for propagation of noise from weapons over realistic terrain. In *Proceedings Internoise 2006*, pages 1–8, paper 513, Honolulu, Hawaii, USA, 3–6 December, 2006.
- [3] M. Huseby, R. Rahimi, and J. A. Teland. Noise from firing ranges. In R. Korneliussen, editor, *Proceedings 29th Scandinavian Symposium on Physical Acoustics*, Ustaoset, Norway, 29 Jan–1 Feb, 2006. ISBN 82-8123-001-0.
- [4] M. Huseby, R. Rahimi, J. A. Teland, and C. E. Wasberg. En sammenligning av beregnet og målt lydtrykk nær lette våpen. Technical Report FFI/RAPPORT-2006/00261, Norwegian Defence Research Establishment, 2006.
- [5] K D Fickie R D Anderson. IBHVG2 a user's guide. Ballistic Research Laboratory, Aberdeen, USA.
- [6] Autodyn theory manual. Century Dynamics Ltd.
- [7] M. Huseby, I. Dyrdal, H. Fykse, and B. Hugsted. Målinger av lydtrykket i nærfeltet til en rifle. Technical Report FFI/RAPPORT-2005/03998, Norwegian Defence Research Establishment, December 2005.
- [8] J. A. Teland, R. Rahimi, and M. Huseby. Numerical simulation of sound emission from weapons. In *Proceedings Internoise 2006*, pages 1–10, paper 526, Honolulu, Hawaii, USA, 3–6 December, 2006.

- [9] M. Huseby, B. Hugsted, I. Dyrdal, H. Fykse, and A. Jordet. Målinger av lydtrykket nær lette våpen, Terningmoen, revidert utgave. Technical Report FFI/RAPPORT-2006/00260, Norwegian Defence Research Establishment, 2006.
- [10] Fortschrittenberichte VDI, Reihe 8, Nr. 559. Standard method to measure the sound exposure exposure emission and immissions from large weapons, 1996. ISBN 3-18-355908-9.

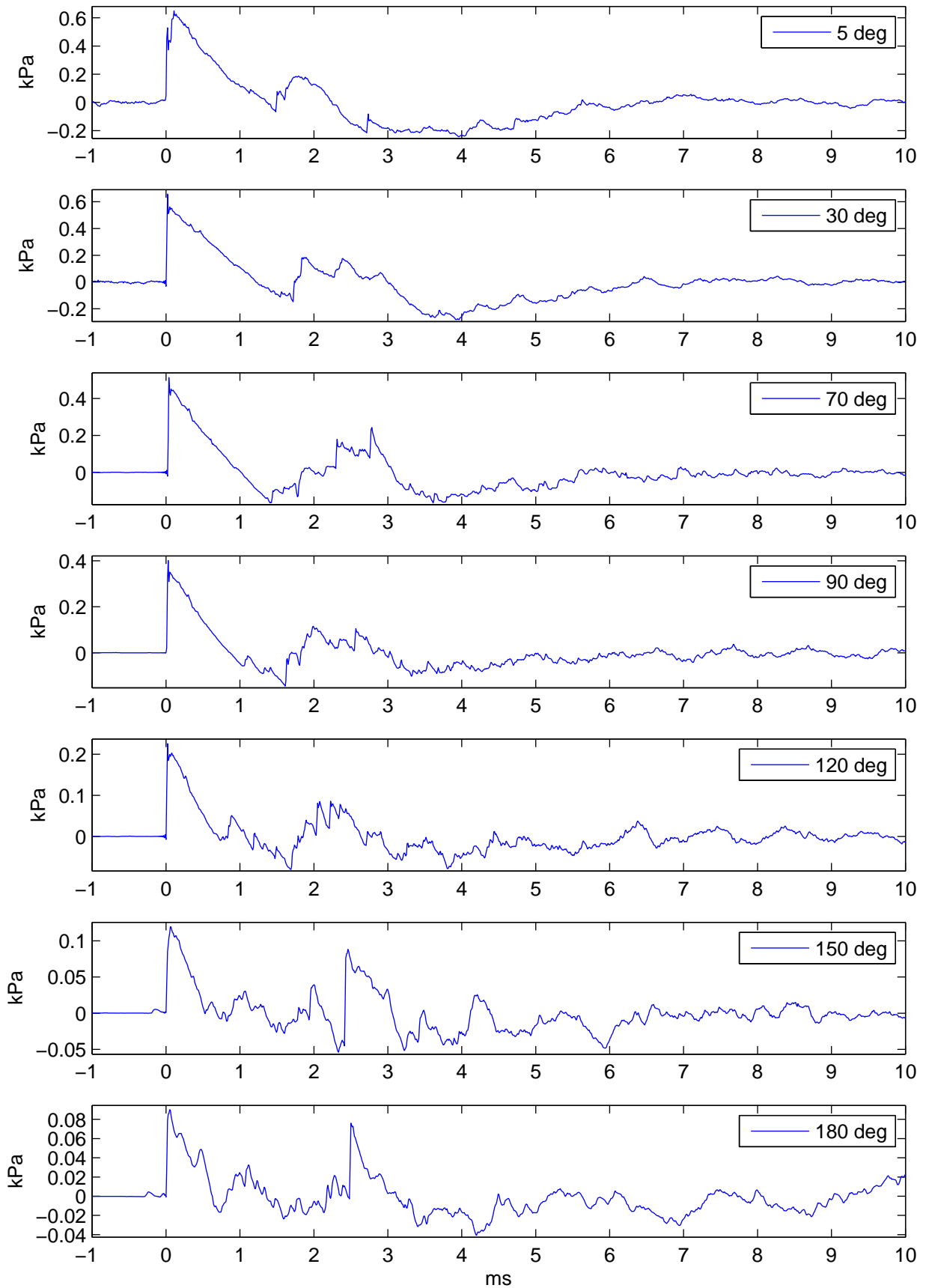
A Tidsserier trykk 20 m fra munningen, alle våpen



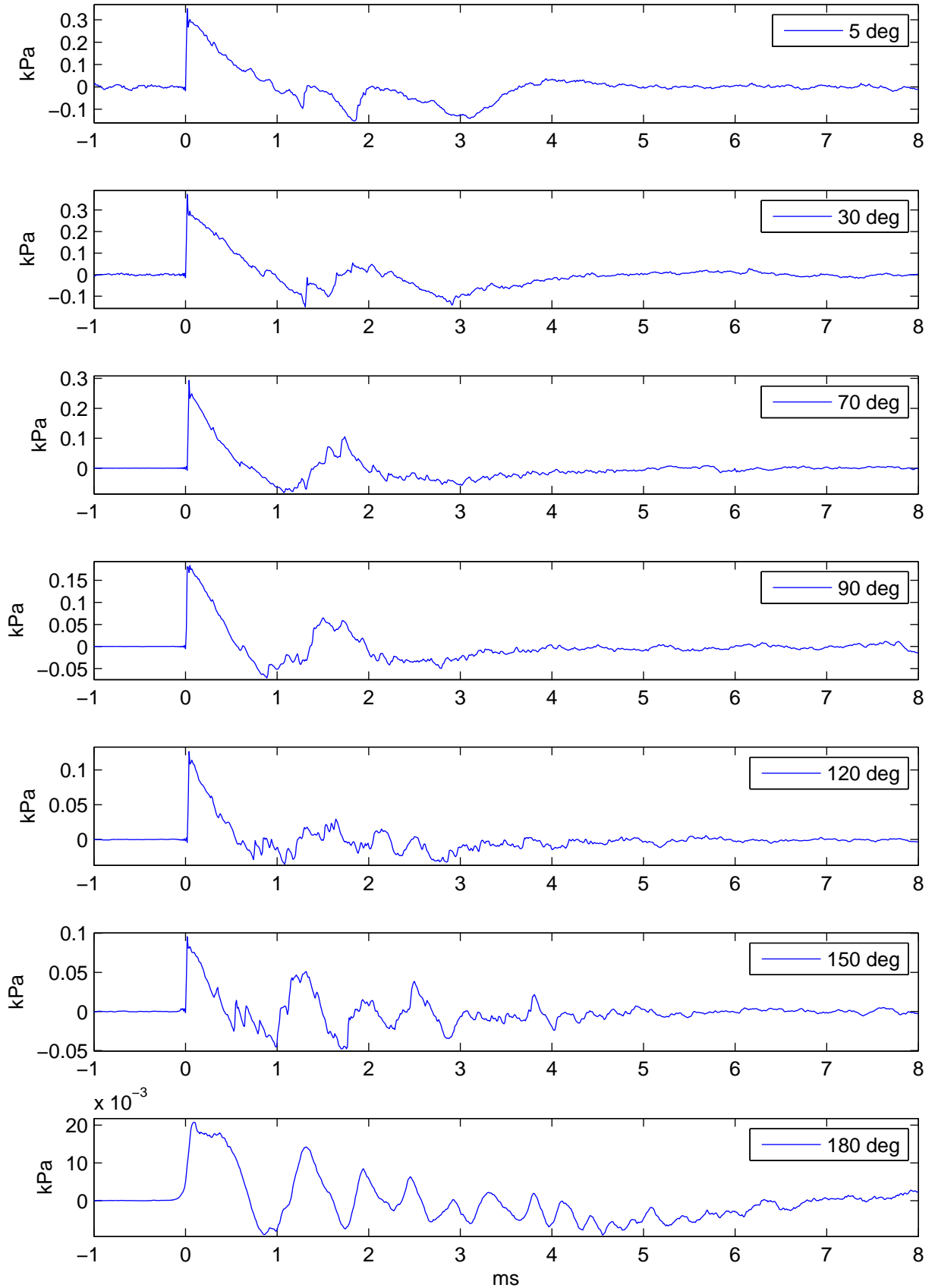
AGL



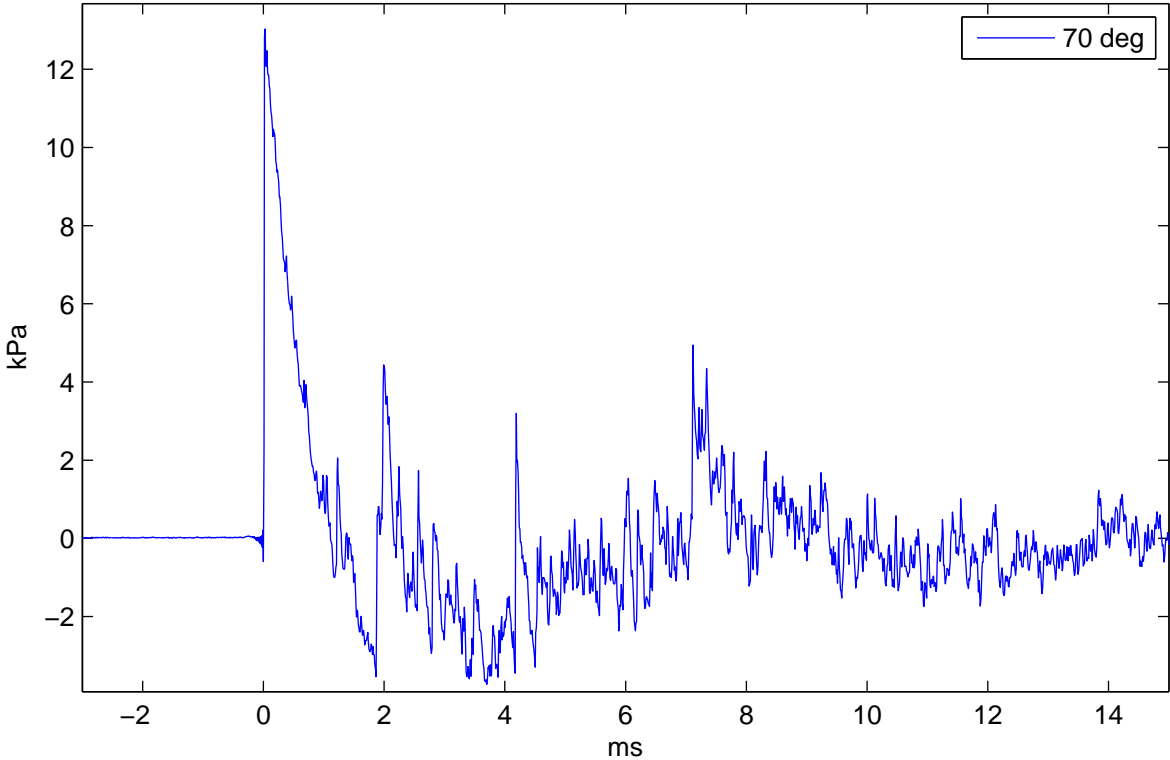
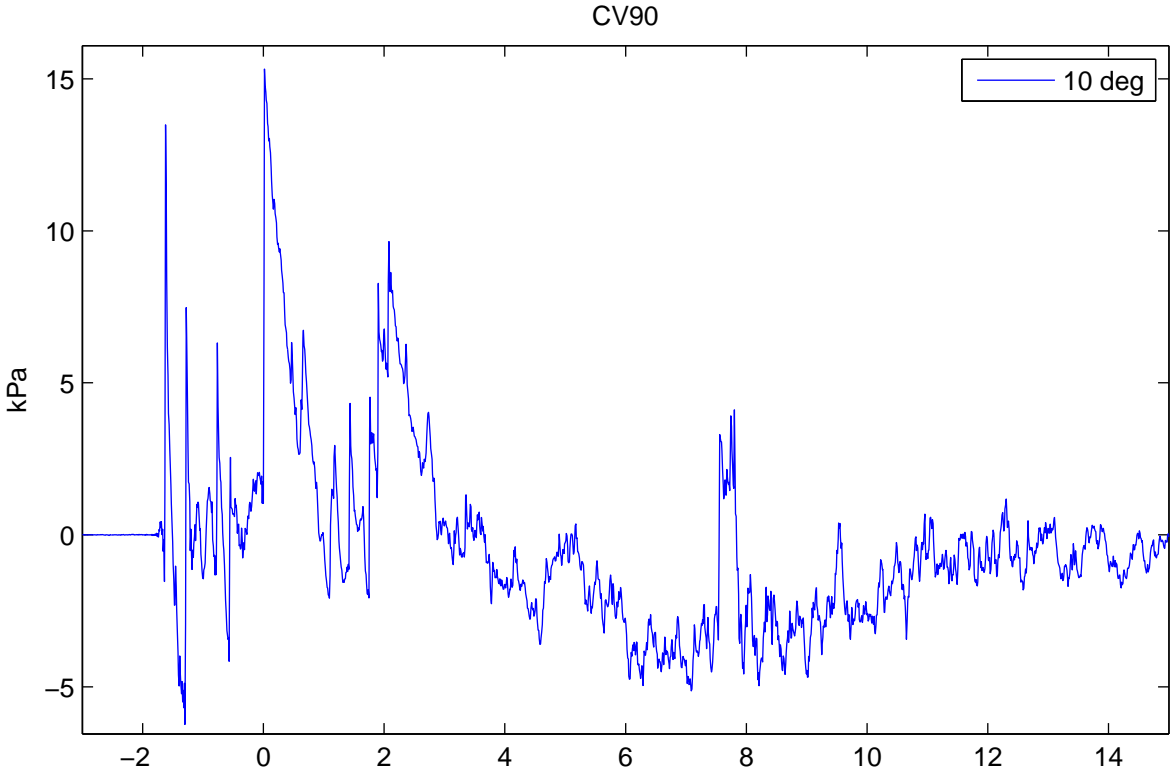
NM218

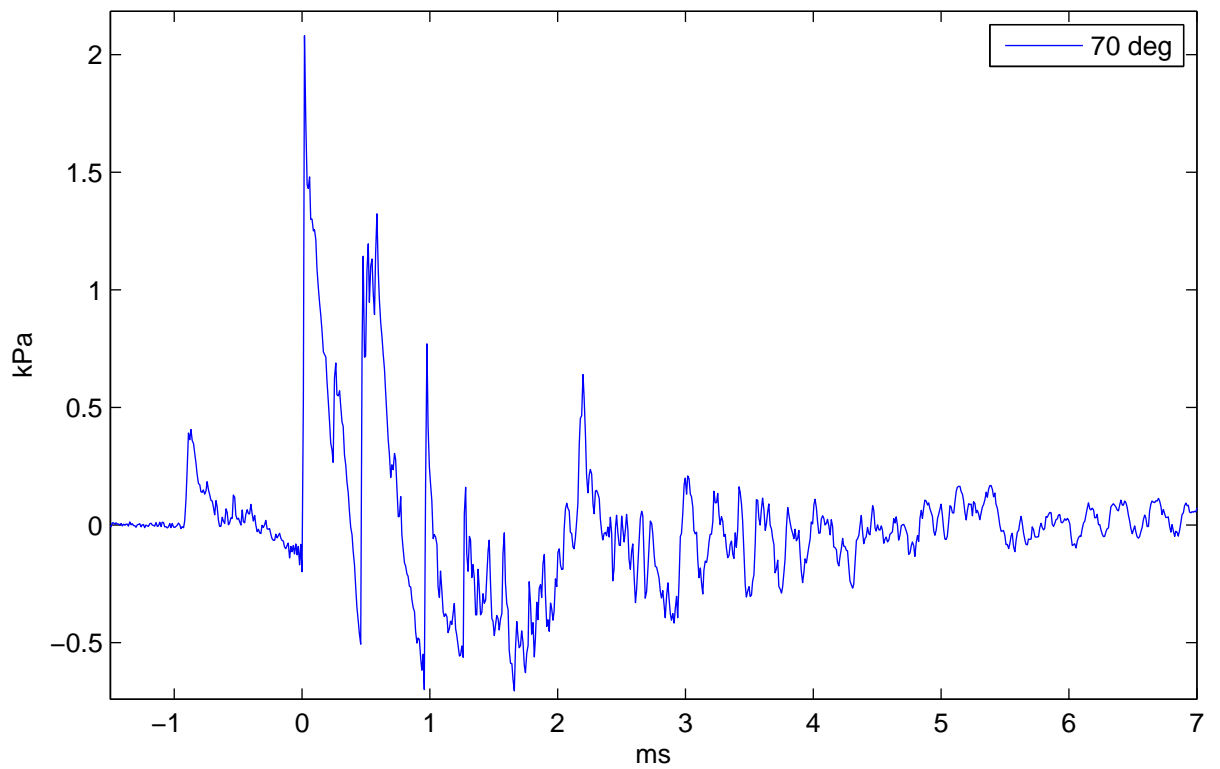
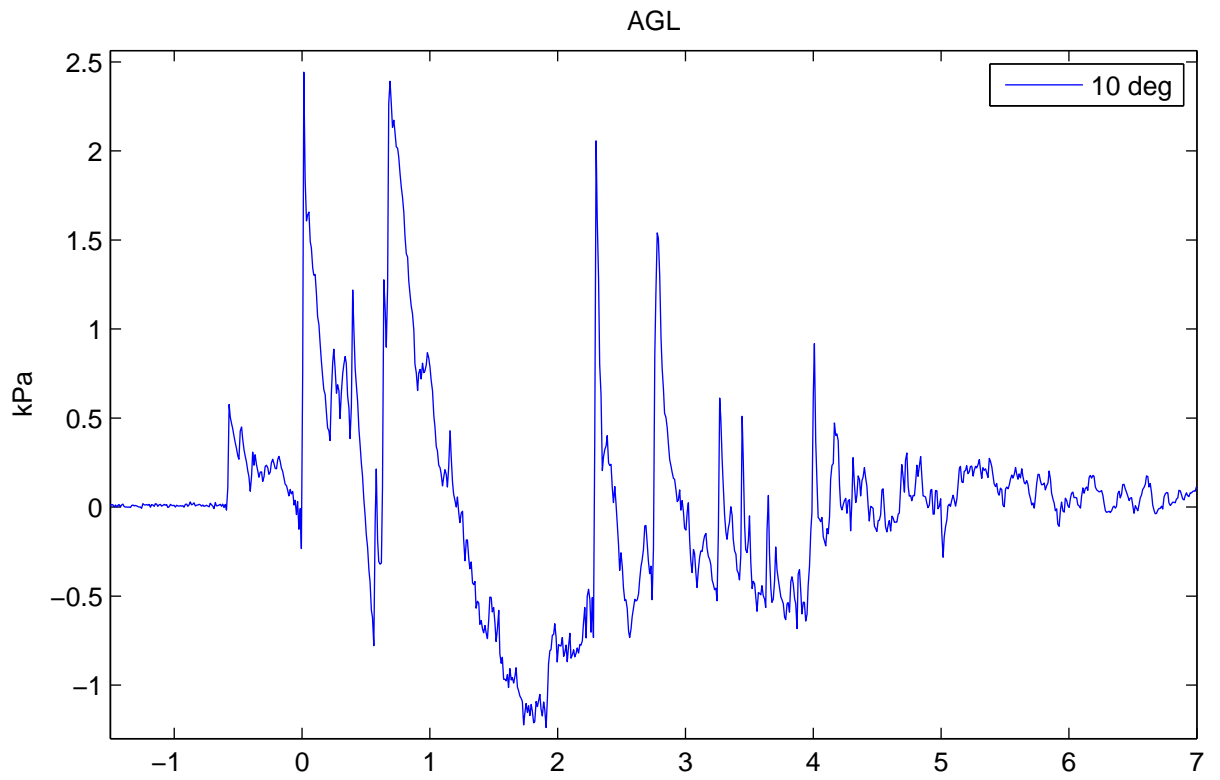


AG3

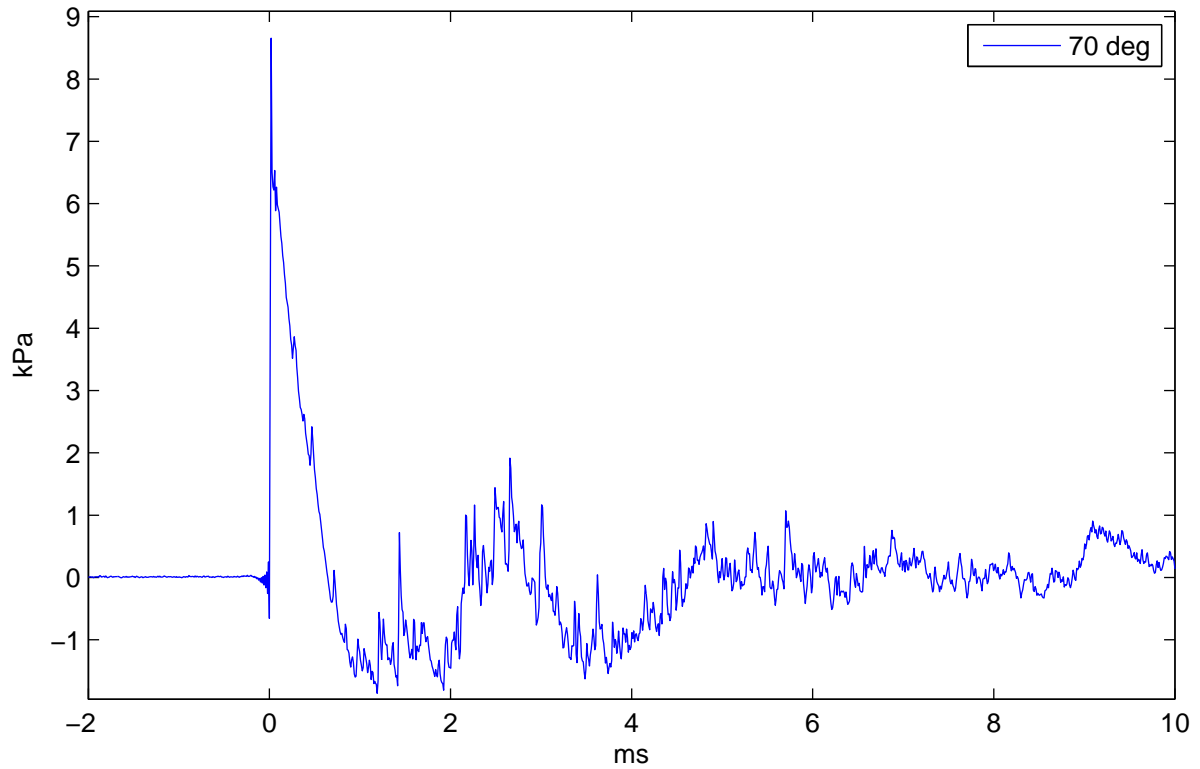
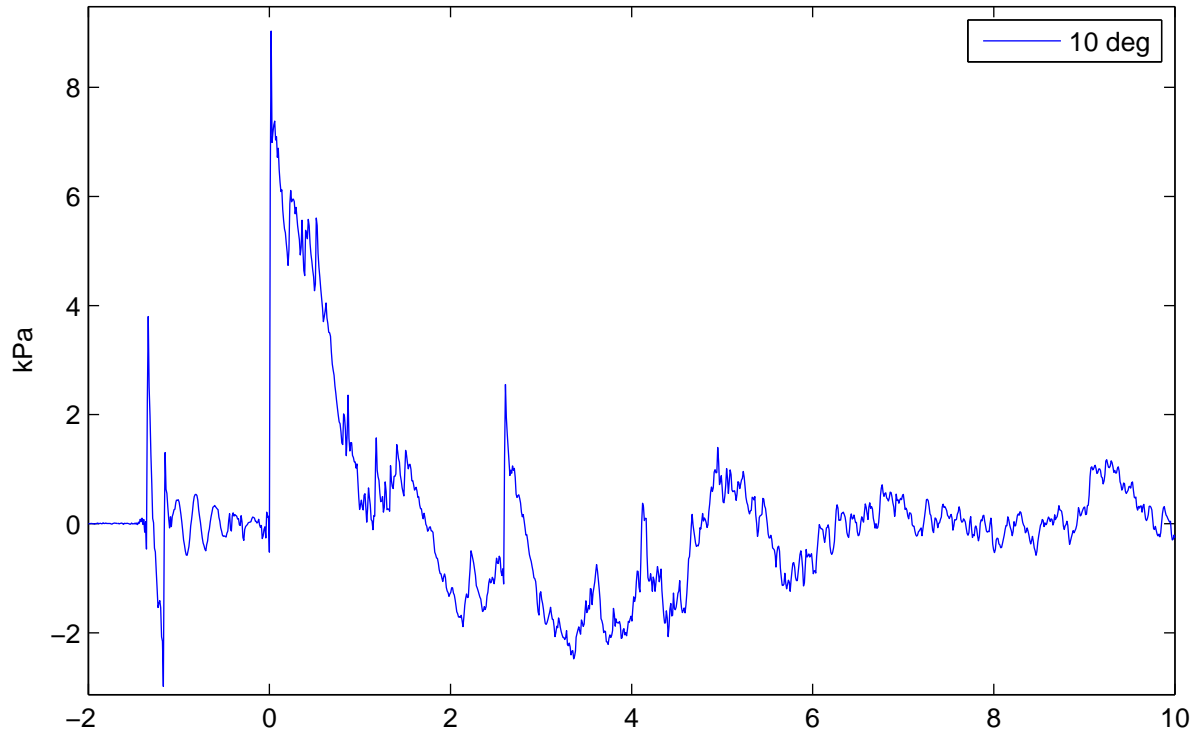


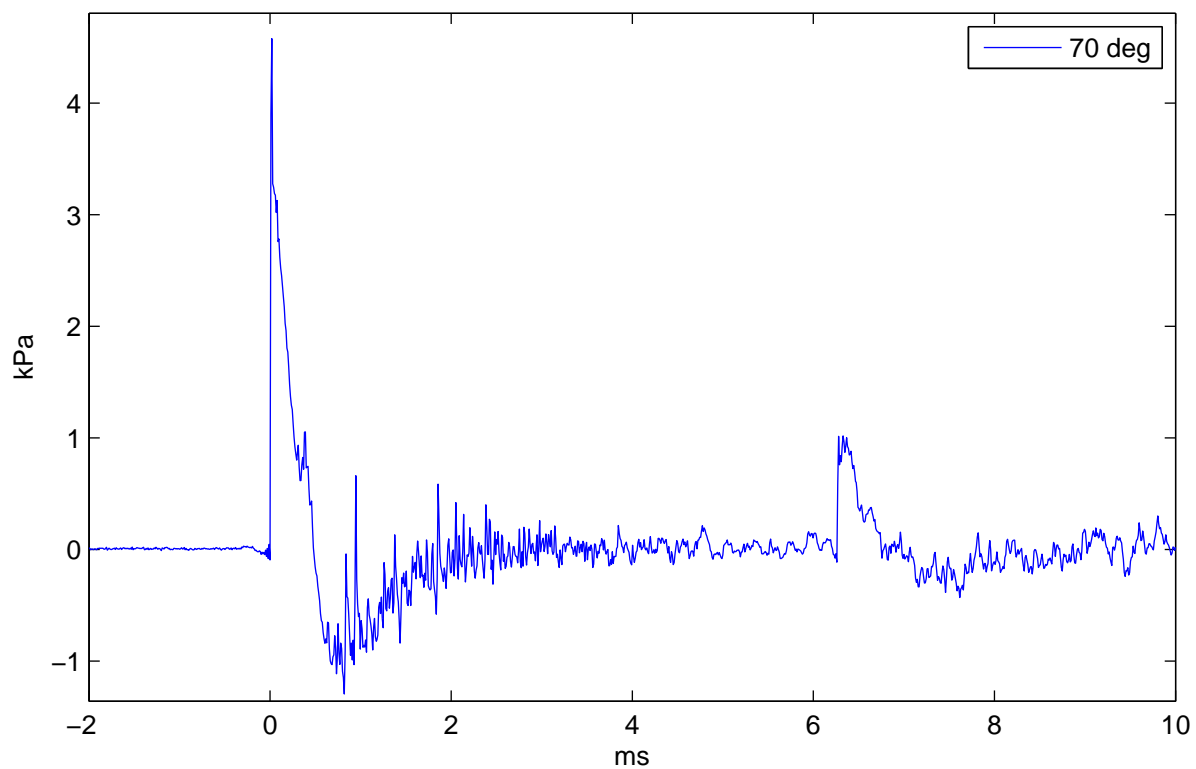
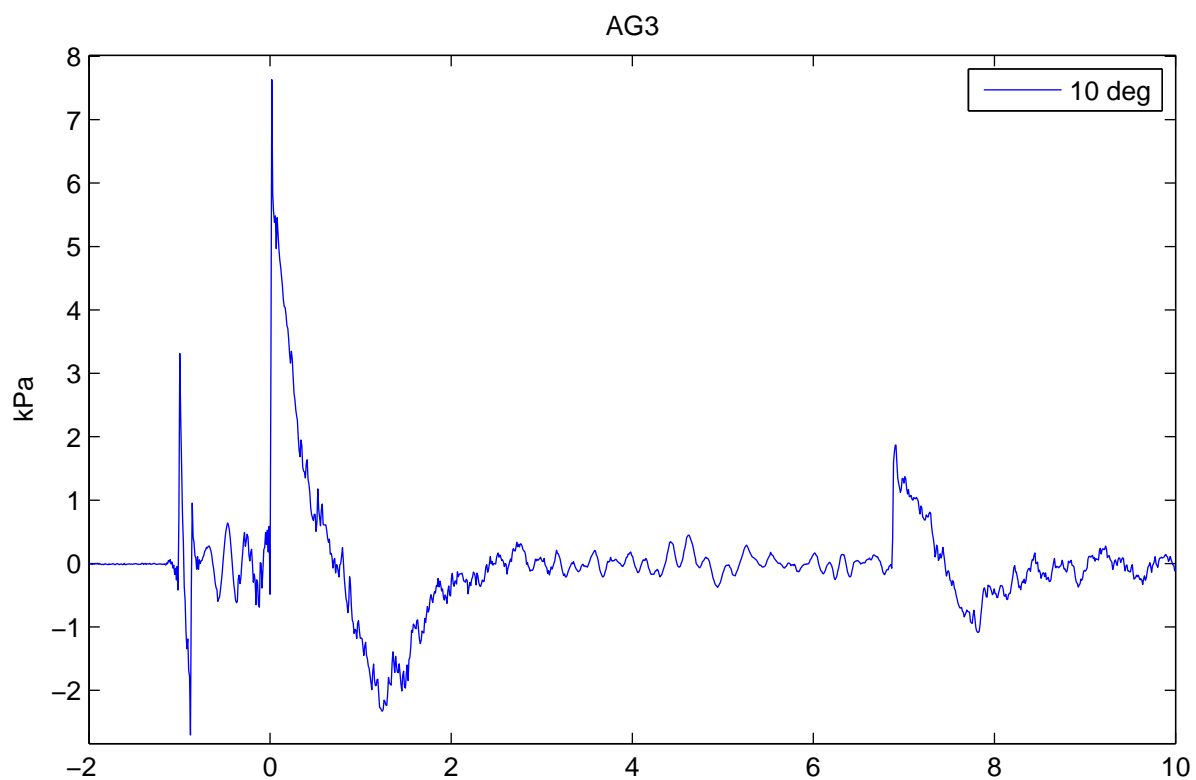
B Tidsserier trykk 2 m fra munningen, alle våpen





NM218

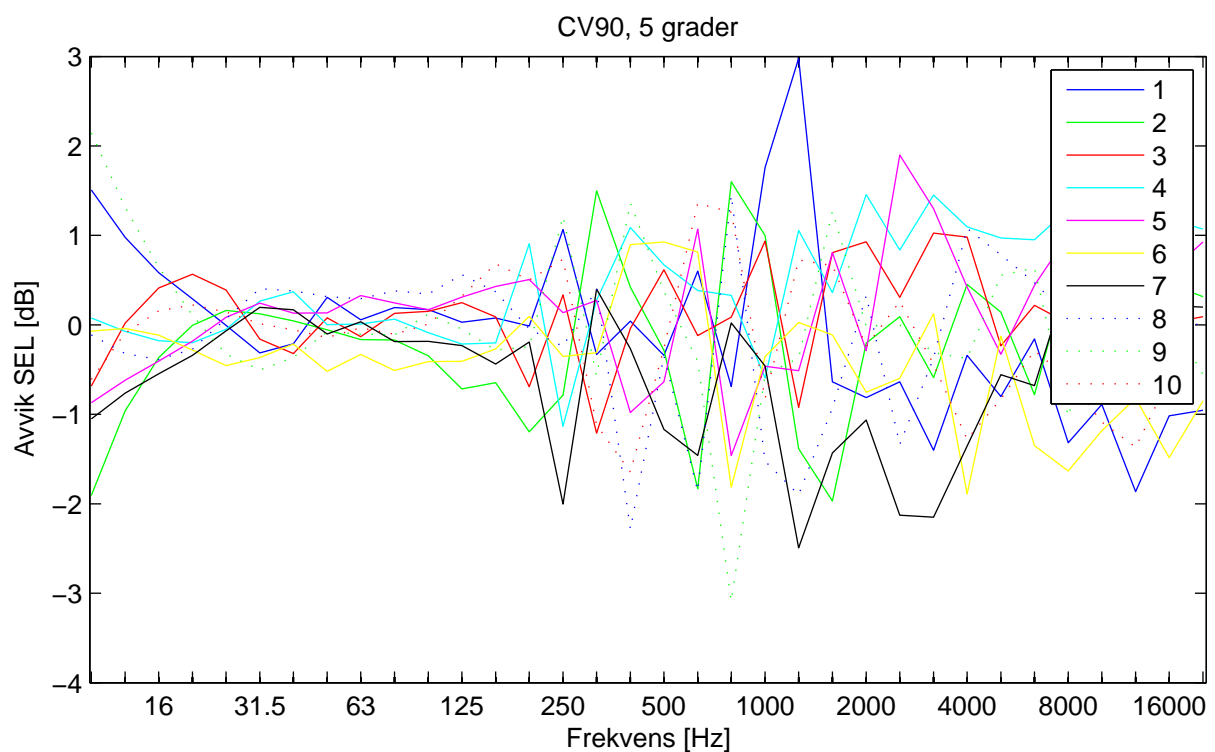


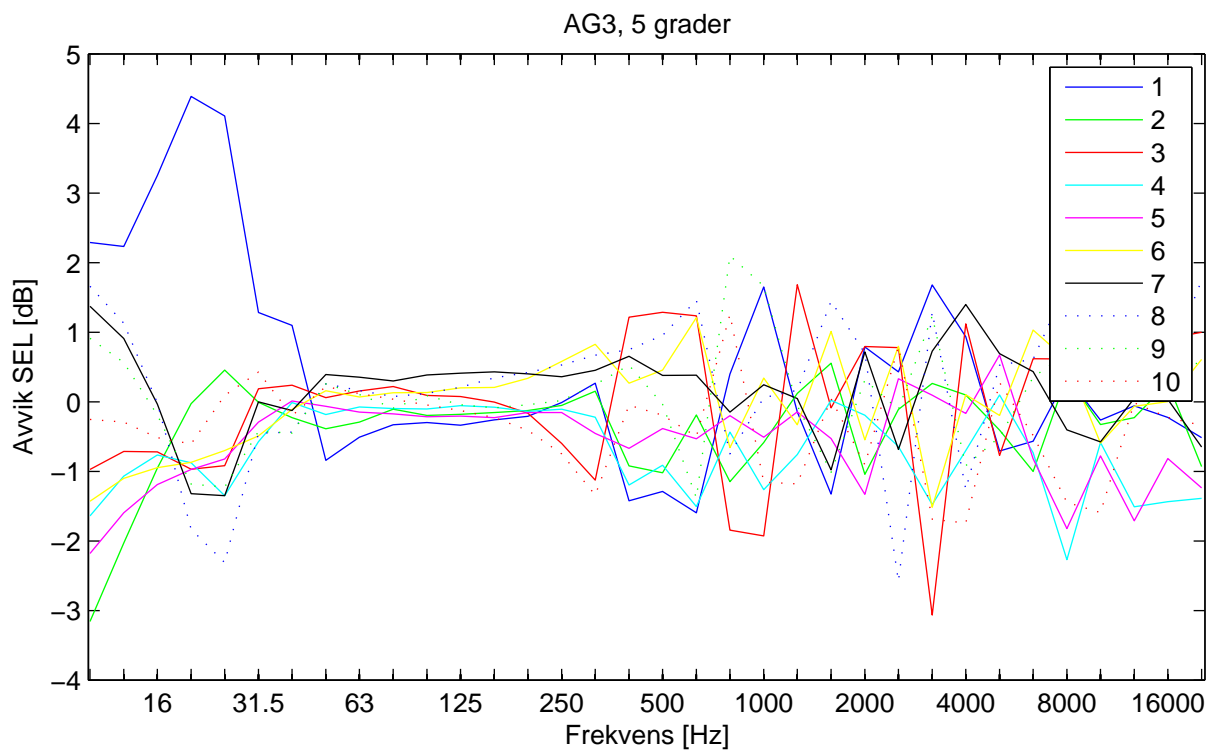
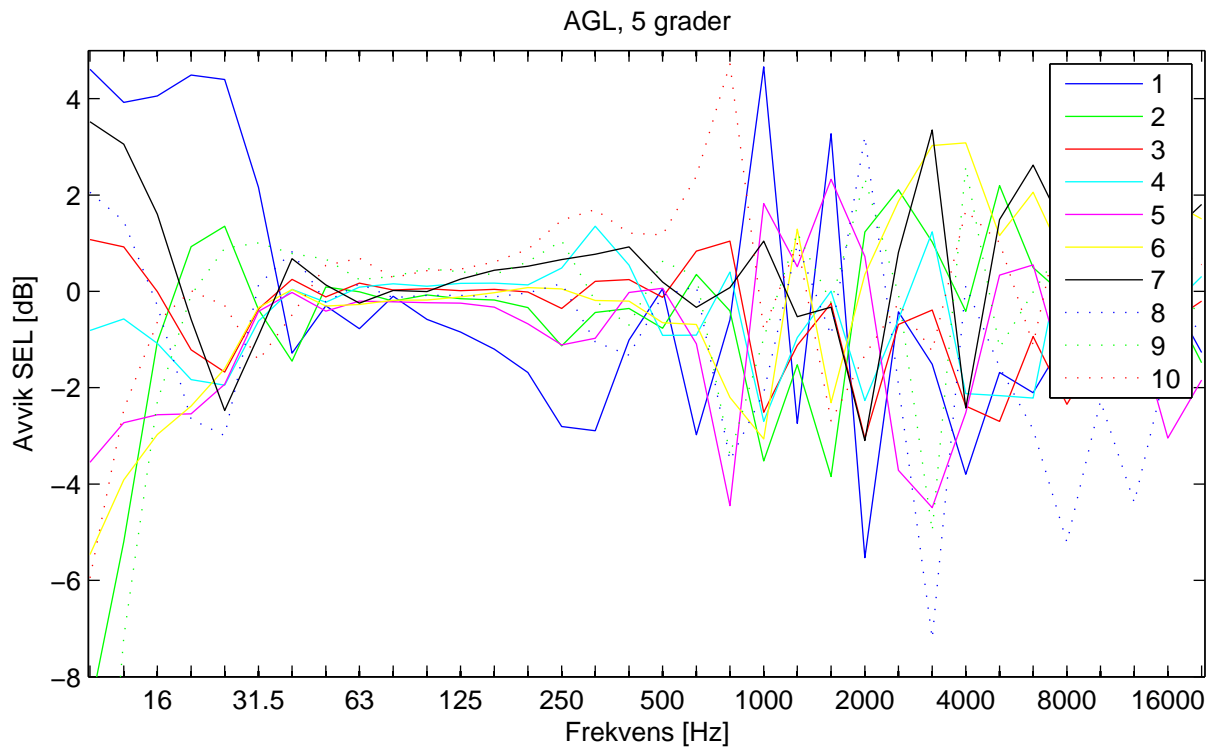


C Variasjon fra skudd til skudd

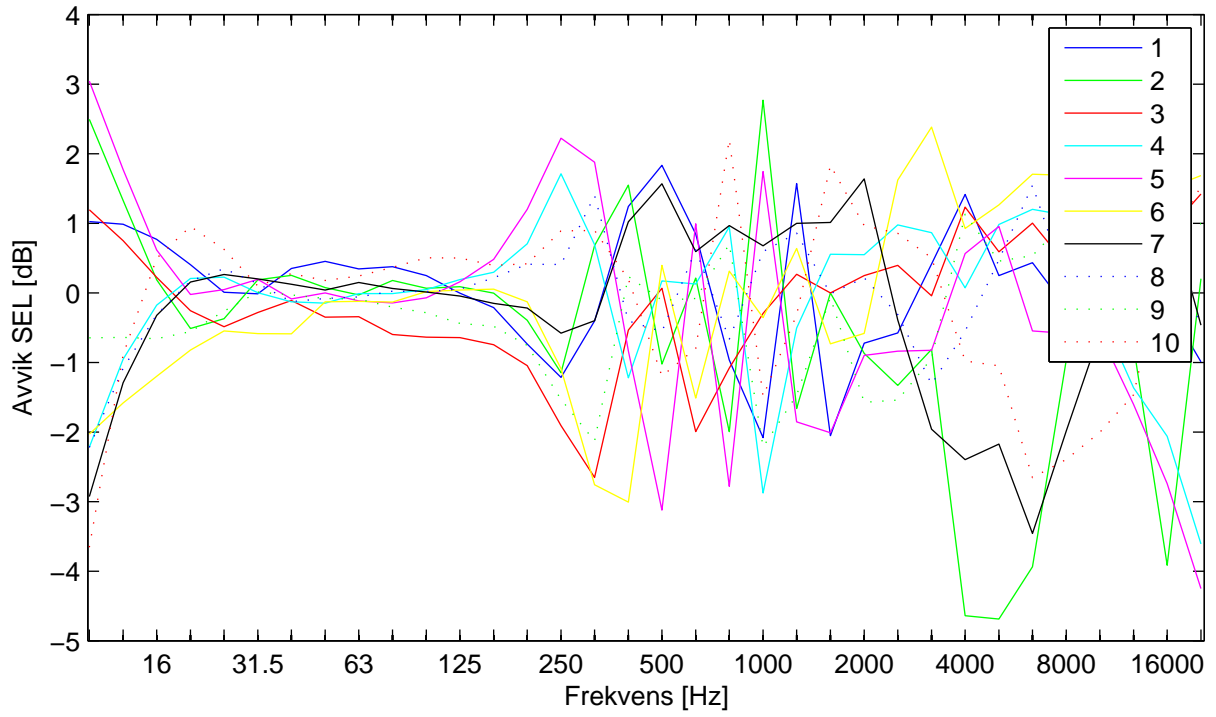
Verdiene som fremkommer for SEL i tabellene i Kapittel 7 er energimidlede verdier over 10 skudd. I dette appendikset ser vi litt på variasjonen mellom de 10 skuddene og denne midlede verdien.

I hvert frekvensbånd vil det kunne være forholdsvis store variasjoner. Det kommer av at det skal ganske lite til for at noe av energien i et bånd kommer inn i et annet bånd. Når man i en støyanalyse ser på et vektet level over hele frekvensbåndet, så vil dette jevne seg ut. Dette ser vi også ved at variasjonen av den totale energien (Tabellene C.1–C.4) er mye mindre enn for båndene. Som vi ser er forskjellen mellom det beregnede energimiddelet og de fleste skudd mindre enn 1 dB.

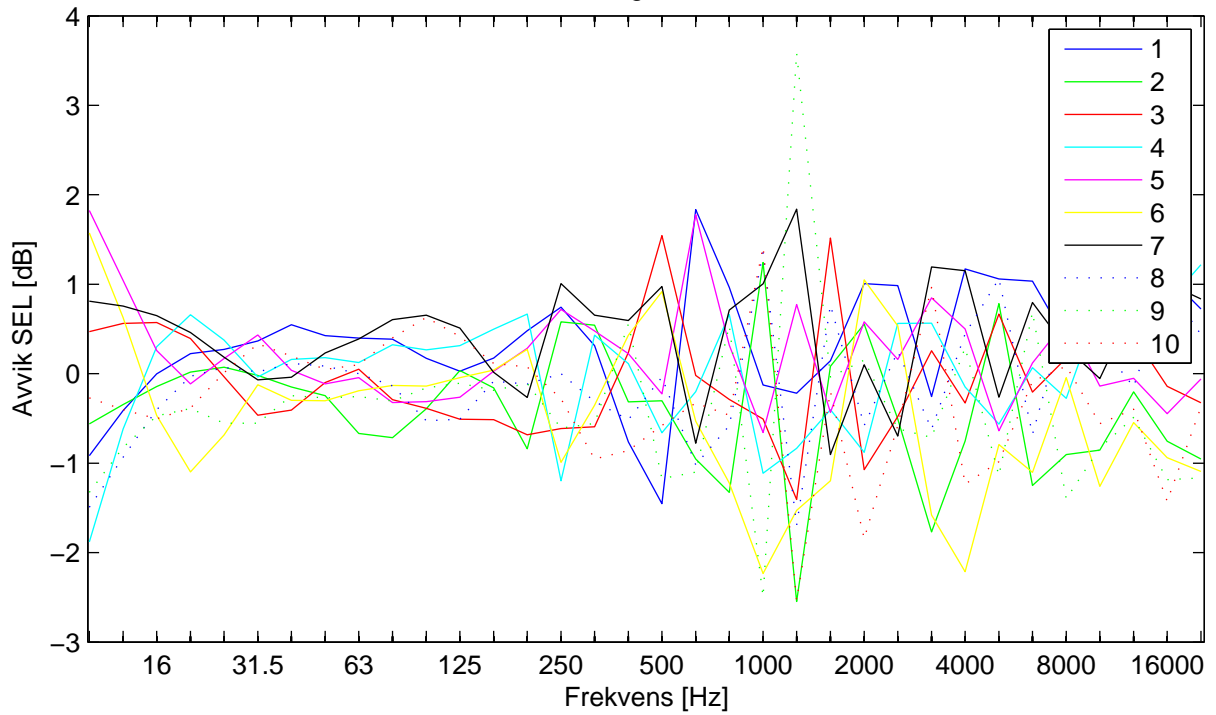


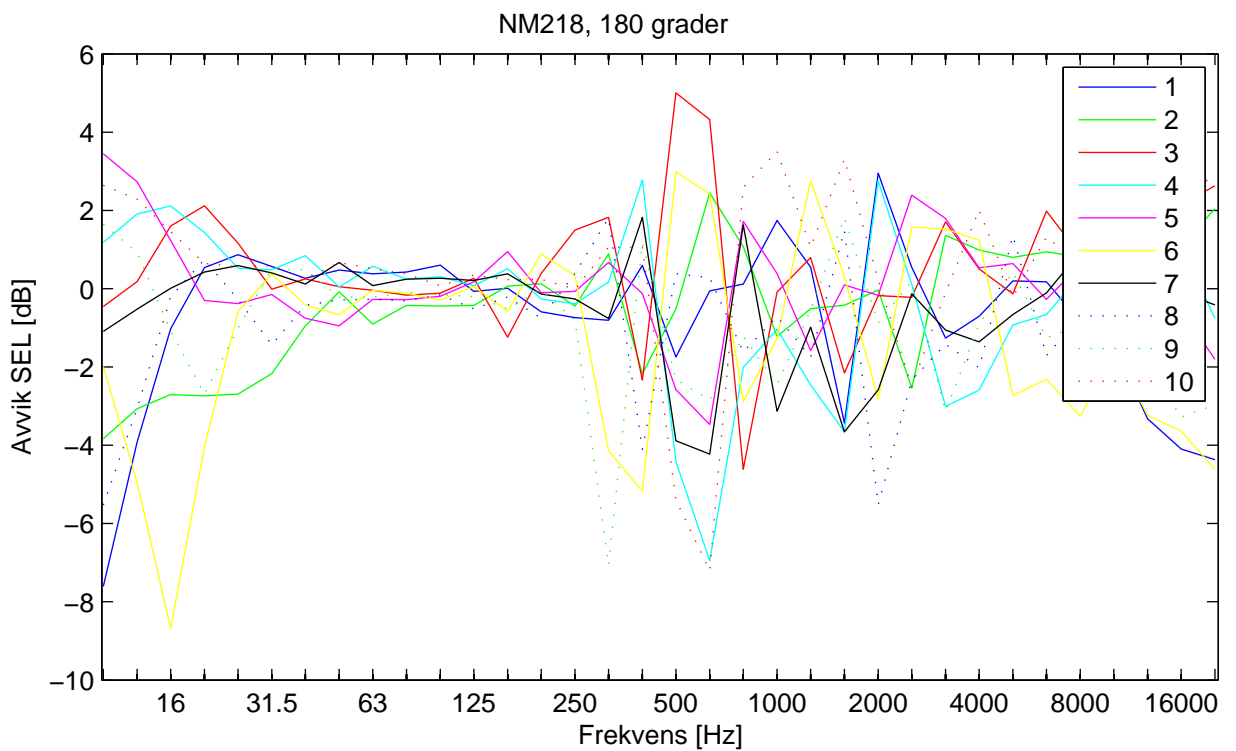
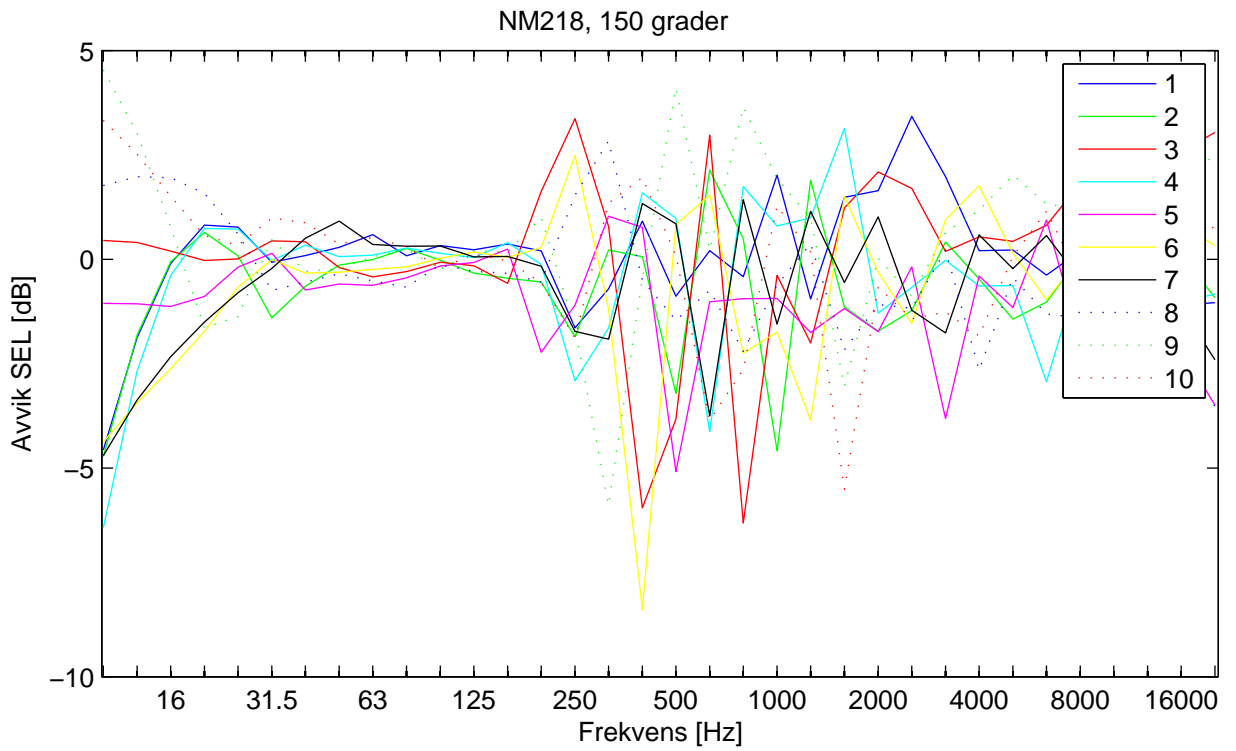


NM218, 5 grader



NM218, 90 grader





Shot	5 deg	30 deg	70 deg	90 deg	120 deg	150 deg	180 deg
1	0.1	-0.0	-0.1	0.1	0.0	0.2	0.2
2	-0.3	-0.3	-0.0	0.1	0.1	0.1	-0.2
3	0.1	0.2	-0.0	-0.1	-0.2	-0.1	0.2
4	0.1	-0.3	0.2	-0.0	-0.1	0.0	-0.1
5	0.2	0.1	-0.1	-0.0	-0.0	-0.1	0.1
6	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.1	-0.0	0.2
7	-0.3	0.0	0.1	-0.1	-0.0	-0.0	0.1
8	0.2	0.2	0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3
9	-0.1	-0.3	-0.2	0.2	0.1	-0.1	-0.1
10	0.1	0.5	0.2	0.1	0.1	0.3	-0.1

Tabell C.1: Avviket i total SEL (alle frekvenser) for alle skudd og sensorer for CV90.

Shot	5 deg	30 deg	70 deg	90 deg	120 deg	150 deg	180 deg
1	-0.7	0.8	0.9	0.6	0.1	-0.3	-1.3
2	-0.4	-0.3	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.7
3	-0.0	-0.5	0.2	0.4	-0.3	0.1	-0.1
4	-0.2	-0.0	-0.5	-0.5	0.7	0.1	1.9
5	-0.3	-0.1	0.2	-0.3	-1.0	-0.1	-0.7
6	-0.1	-0.5	-0.2	-0.3	-0.1	0.0	-0.7
7	0.3	0.2	-0.0	0.2	0.0	0.2	0.8
8	-0.3	-0.2	-0.2	0.0	0.0	0.2	-0.5
9	0.3	-0.0	-0.3	0.2	0.1	-0.0	0.5
10	1.2	0.4	-0.3	-0.3	0.6	0.2	-0.2

Tabell C.2: Avviket i total SEL (alle frekvenser) for alle skudd og sensorer for AGL.

Shot	5 deg	30 deg	70 deg	90 deg	120 deg	150 deg	180 deg
1	-0.3	-0.4	0.0	-0.1	-0.0	0.3	0.3
2	-0.3	0.2	-0.2	-0.2	0.2	-0.0	0.2
3	0.2	0.1	0.5	-0.1	0.1	-0.8	-0.4
4	-0.5	-0.5	-0.1	0.2	-0.3	0.7	0.3
5	-0.3	0.0	-0.3	-0.0	0.1	-0.9	-0.6
6	0.4	0.7	-0.1	-0.1	0.4	-0.7	-0.7
7	0.3	0.7	-0.1	-0.0	0.3	-0.9	-0.4
8	0.6	-0.1	-0.2	-0.3	0.1	-0.6	-0.6
9	0.1	-0.4	-0.3	0.2	-0.3	0.5	0.3
10	-0.4	-0.6	0.7	0.4	-0.6	1.6	1.2

Tabell C.3: Avviket i total SEL (alle frekvenser) for alle skudd og sensorer for AG3.

Shot	5 deg	30 deg	70 deg	90 deg	120 deg	150 deg	180 deg
1	0.1	0.3	0.4	0.1	0.7	0.5	0.1
2	-0.1	-0.3	-0.1	-0.3	-0.4	-0.2	-0.1
3	-0.7	-0.5	-0.5	0.2	-0.2	-0.4	1.1
4	0.3	0.2	0.4	-0.1	-0.0	0.6	-0.3
5	0.3	-0.0	-0.4	0.3	-0.8	-0.8	-0.1
6	-0.2	0.0	0.1	-0.1	-0.1	-0.7	0.2
7	0.1	0.3	0.7	0.5	0.1	0.2	-0.5
8	0.2	-0.1	-0.6	-0.2	-0.0	-0.5	-0.6
9	-0.4	-0.1	0.2	-0.2	0.4	1.1	-0.8
10	0.3	0.2	-0.4	-0.3	0.2	-0.1	0.6

Tabell C.4: Avviket i total SEL (alle frekvenser) for alle skudd og sensorer for NM218.

D Sammenligning av AG3 målt på Rena og Terningmoen

På Terningmoen [9] ble det gjort en del målinger av AG3 på 10 m. Det er interessant å sammenligne disse med målingene som er gjengitt i denne rapporten (fra Rena). Målingene fra Rena er riktignok gjort på 20 m, men ved å regne området utenfor 10 m for lineært kan vi regne om dataene fra Rena til verdier på 10 m. Det er likevel nødvendig å huske at denne sammenligningen ikke blir bedre enn denne antagelsen. Målingene av AG3 på Rena er gjort som en grov test, hovedsaklig for å sjekke at utstyret var i funksjon og fungerte godt før det ble skutt med de andre våpnene. Derfor ble det heller ikke gjort veldig store anstrengelser for å sørge for at skytteren stod nøyaktig på det innmålte sentrum i halvsirkelen av sensorer. Dette kan sørge for mindre unøyaktigheter i dataene for AG3 på Rena.

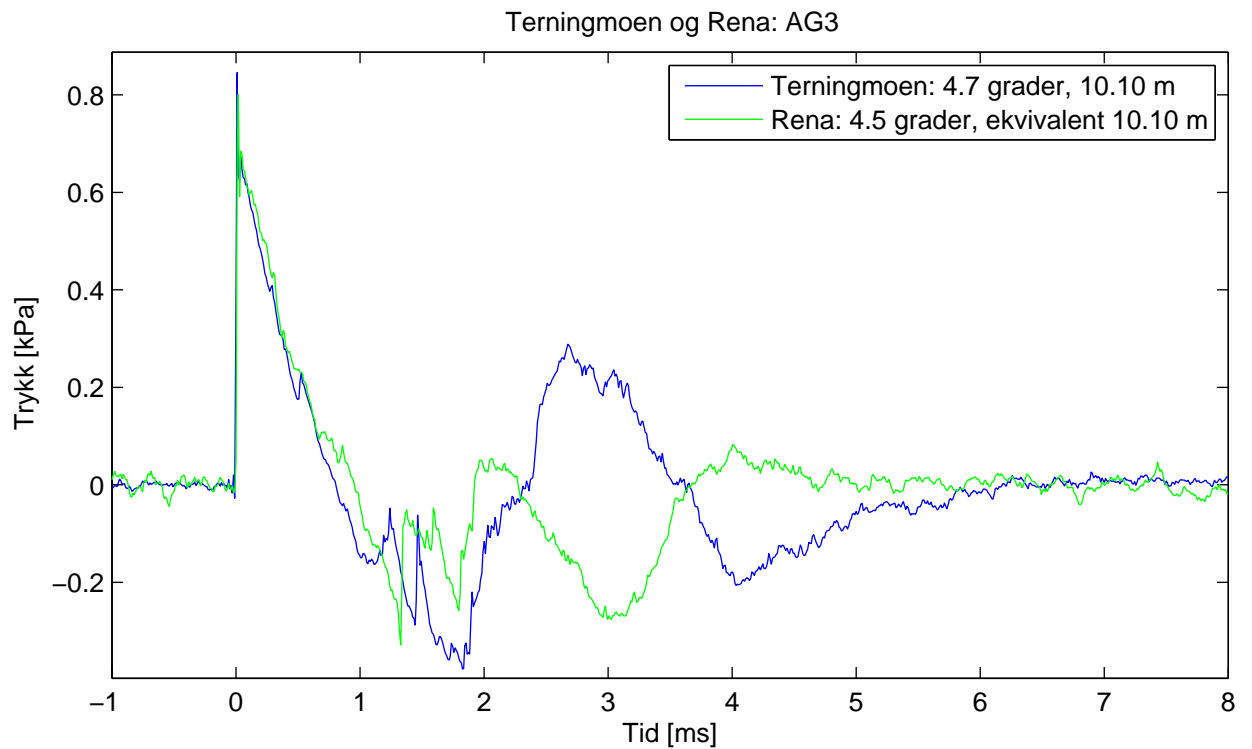
I plottene nedenfor ser vi generelt en svært god reproduserbarhet av munningssmellet. Vi ser at på Rena kom det reflekterte munningssmellet raskere fram relativt til det direkte munningssmellet. Dette kommer av den større avstanden på Rena. Fra høyden på det reflekterte munningssmellet ser vi at bakken var noe hardere på Terningmoen, spesielt på siden og bakover der det så vidt var tæle i bakken. Vi ser at vi ut til 120 grader har veldig gode og skarpe data. Dersom vi skal finne munningssmellet bak våpenet er dette vanskeligere, siden vi ikke har noen direkte puls, kun refleksjoner.

Vi kan sammenligne tabellen for SEL av AG3 på Rena (Tabell 7.4) med tilsvarende tabell fra Terningmoen (Tabell I.3 i [9]). Data fra Terningmoen er på 10 m, mens for Rena er for 20 m. For å sammenligne disse tabellene må vi derfor gjøre samme skalering som beskrevet over, dvs. at vi legger til 6 dB i Tabell 7.4. I Tabell D.1 er disse to forsøkene sammenlignet. Vi ser at målingene fra Terningmoen generelt ligger noe høyere. Dette er som det skal være, delvis fordi bakken var hardere på Terningmoen, delvis fordi feilen i den lineære antagelsen vil bidra til dette. Forskjellene er ikke veldig store, og bør være mindre etter at bakkeeffekten er tatt bort. Vi ser imidlertid som for tidsseriene at vi for Terningmoen har høyere verdier bak våpenet. En forklaring kan være at mens det på Rena ble skutt stående, så var på Terningmoen skytteren liggende på paller i omtrent 1.5 m høyde. Videre stod det på Rena folk nær direktelinjen mellom våpenet og sensoren på 180 grader.

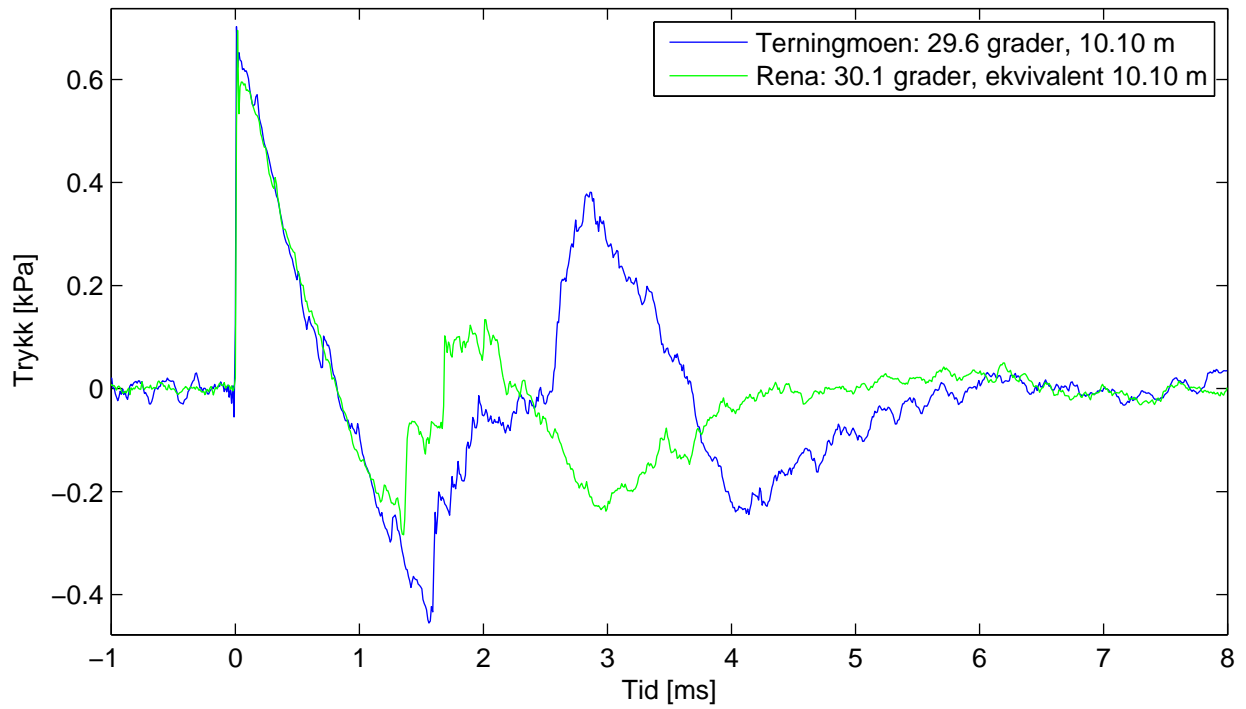
For 180 grader antyder dette at det kan være nødvendig å klippe i data for å få representative verdier for SEL. Det er også mulig at det kan være nødvendig å bruke interpolasjon for å finne verdiene på 180 grader, i og med at man ikke har noen direkte puls. Et motargument er at man ønsker å finne støynivået rett bak skytteren. Imidlertid vil man da finne summen av støynivået rett bakover, og skjermingseffekten av skytteren. Dette støynivået vil dermed bli avhengig av skytterens geometriske utforming. I tillegg vil det på en skytebane med mange skyttere, være slik at posisjoner hos naboene vil være i en skyggesone for svært få våpen.

Sted	5 deg	30 deg	70 deg	90 deg	120 deg	150 deg	180 deg
Rena	116.7	116.2	112.5	110.0	105.4	103.9	94.8
Terningmoen	117.8	118.4	115.3	113.7	108.7	103.8	103.3

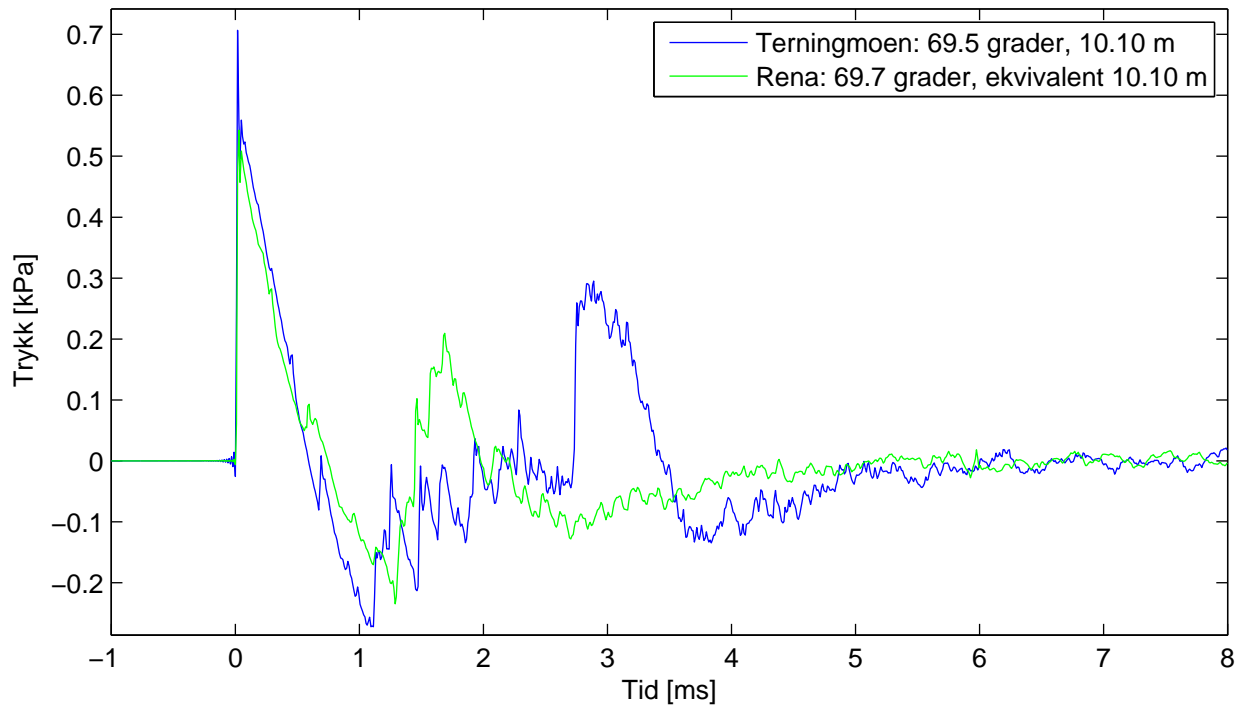
Tabell D.1: AG3: SEL-spekter, 10 m, uten bakkekorreksjon.



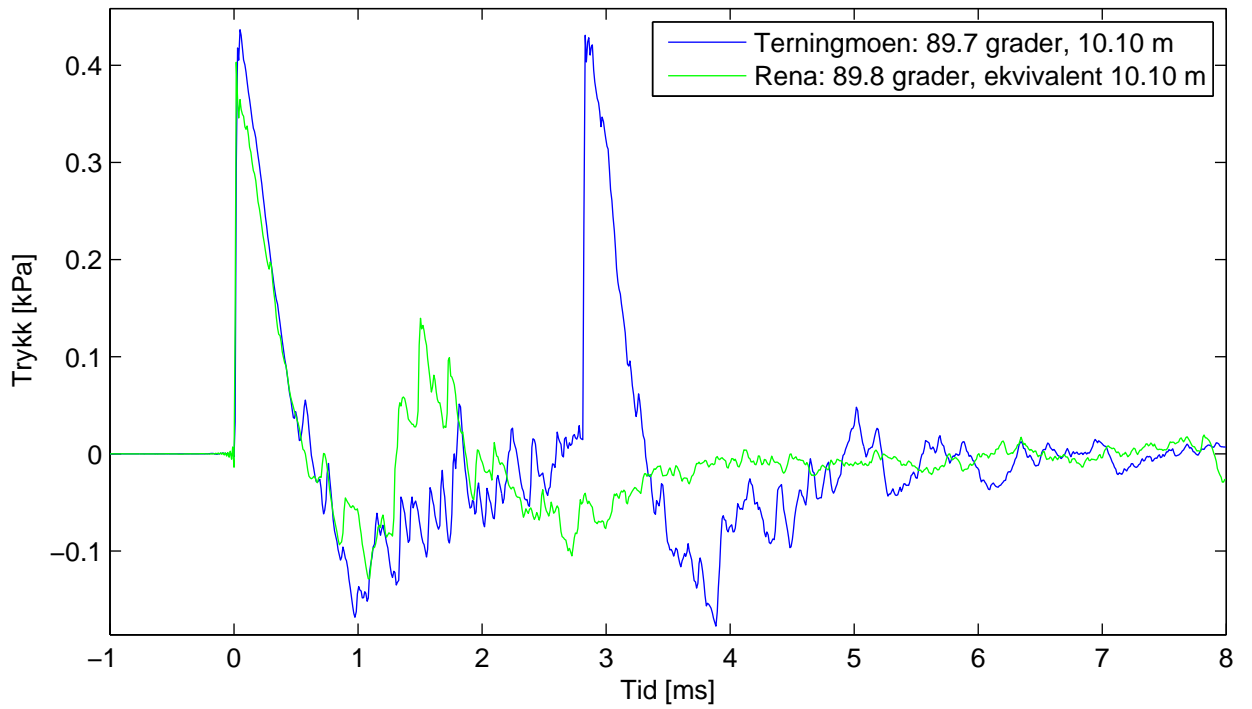
Terningmoen og Rena: AG3



Terningmoen og Rena: AG3



Terningmoen og Rena: AG3



Terningmoen og Rena: AG3

