

FFI RAPPORT

MÅLINGER AV LYDTRYKKET I NÆRFELTET TIL EN RIFLE

HUSEBY Morten, DYRDAL Idar, FYKSE Haakon,
HUGSTED Bjørn

FFI/RAPPORT-2005/03998

**MÅLINGER AV LYDTRYKKET I NÆRFELTET
TIL EN RIFLE**

HUSEBY Morten, DYRDAL Idar, FYKSE Haakon,
HUGSTED Bjørn

FFI/RAPPORT-2005/03998

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge

**FORSVARETS FORSKNINGSSINSTITUTT(FFI)
Norwegian Defence Research Establishment**

UNCLASSIFIED

P O BOX 25
NO-2027 KJELLER, NORWAY

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
(when data entered)

REPORT DOCUMENTATION PAGE

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2005/03998	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 35												
1a) PROJECT REFERENCE FFI-V/1034	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -													
4) TITLE MÅLINGER AV LYDTRYKKET I NÆRFELTET TIL EN RIFLE Measurements of the sound pressure in the near field of a rifle														
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) HUSEBY Morten, DYRDAL Idar, FYKSE Haakon, HUGSTED Bjørn														
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)														
7) INDEXING TERMS <table border="0" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">IN ENGLISH</th> <th style="text-align: left;">IN NORWEGIAN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a) <u>noise</u></td> <td>a) <u>støy</u></td> </tr> <tr> <td>b) <u>firing range</u></td> <td>b) <u>skytefelt</u></td> </tr> <tr> <td>c) <u>weapon</u></td> <td>c) <u>våpen</u></td> </tr> <tr> <td>d) <u>measurement</u></td> <td>d) <u>måling</u></td> </tr> <tr> <td>e) <u>sound pressure</u></td> <td>e) <u>lydtrykk</u></td> </tr> </tbody> </table>			IN ENGLISH	IN NORWEGIAN	a) <u>noise</u>	a) <u>støy</u>	b) <u>firing range</u>	b) <u>skytefelt</u>	c) <u>weapon</u>	c) <u>våpen</u>	d) <u>measurement</u>	d) <u>måling</u>	e) <u>sound pressure</u>	e) <u>lydtrykk</u>
IN ENGLISH	IN NORWEGIAN													
a) <u>noise</u>	a) <u>støy</u>													
b) <u>firing range</u>	b) <u>skytefelt</u>													
c) <u>weapon</u>	c) <u>våpen</u>													
d) <u>measurement</u>	d) <u>måling</u>													
e) <u>sound pressure</u>	e) <u>lydtrykk</u>													
THESAURUS REFERENCE:														
8) ABSTRACT <p>This report is part of an ongoing effort to improve the ability of the Norwegian Defense Estate Agency (FB) to assess noise pollution from firing ranges. Here we provide documentation of measurements done at Norwegian Defense Research Establishment (FFI) 16 September 2005, to capture time series of the sound pressure near a rifle. This report is the first 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 will later be used to check the validity of the theoretical methods against measured values.</p>														
9) DATE 23 December 2005	AUTHORIZED BY This page only Jan Ivar Botnan	POSITION Director of Research												

ISBN 82-464-0984-0

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
(when data entered)

INNHOOLD

	Side	
1	BAKGRUNN	7
2	VÅPEN OG AMMUNISJON	7
3	MÅLEOPPSETT	8
3.1	Standplass	9
3.2	Sensorer	11
3.3	Stativer	11
3.4	Demping av hørfrekvent lyd med Glava	13
4	DATAINNSAMLING	14
5	MÅLERESULTATER NORSONIC	14
6	MÅLERESULTATER	14
7	OPPSUMMERING	20
	Litteratur	20

APPENDIKS

A	SENSORENS INVIRKNING PÅ TRYKKFELTET VED KRAFTIGE SMELL	21
A.1	Begreper	21
A.1.1	Side-on trykk (statisk overtrykk), p_{so}	21
A.1.2	Refleksjonstrykk, p_r	21
A.1.3	Stagnasjonstrykk (total head pressure)	22
A.1.4	Dynamisk trykk	22
A.2	Trykksensorer	22
B	ESTIMERING PEAK-TRYKKET	22
C	RÅDATA	23

MÅLINGER AV LYDTRYKKET I NÆRFELTET TIL EN RIFLE

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 (Huseby, Rahimi, Teland & Dyrdal (2005)). For å estimere støynivået benytter FB seg av programmet MILSTØY. Som inngangsdata benytter dette programmet en database for lydtrykket forholdsvis nær det valgte våpenet. For et håndvåpen er avstanden omtrent 10 m. Det er ønskelig å utvide og forbedre denne databasen. Som et ledd i dette har FFI satt i gang utviklingen av en databasegenerator til MILSTØY. Trykkforløpet beregnes fra inne i løpet og ut til starten av det lineære området der MILSTØY tar sine inngangsdata. Her benyttes først IBHVG2 (Interior Ballistics of High Velocity Guns) til å beregne trykk og hastighetsfeltet inne i løpet før prosjektilet kommer ut av munningen. Deretter benyttes Autodyn til å beregne trykkfeltet videre utover til lydbølgen forplanter seg bort fra den ekspanderende kruttgassen. For å verifisere resultatene etter disse beregningene arbeides det parallelt med å fremskaffe egnede data nær våpenet, det vil si omtrent 80 cm fra munningen for håndvåpen. En sammenligning av disse og andre målinger med beregningene vil bli utgitt senere i en egen rapport.

Hensikten med denne rapporten er å dokumentere målingene som ble gjort ved FFI (i Dampa) 16/9-05. Våpenene som ble brukt var AG3 (7.62 mm) og C8 (5.56 mm). I Kapittel 2 beskrives våpen og ammunisjon som er benyttet. Måleoppsett og sensorer beskrives i Kapittel 3, og datainnsamlingsutstyret beskrives i Kapittel 4. I Kapittel 6 presenteres det målte lydtrykket som tidsserier. En del bakgrunnskunnskap om å foreta målinger av trykkfeltet nær et våpen nevnes i Appendiks A og B. Rådata fra målingene er plottet i Appendiks C.

2 VÅPEN OG AMMUNISJON

Det ble skutt med to våpen. Det ene var AG3 med 7.62x51 NM60 ammunisjon. Her er utgangshastigheten ved munningen 820 m/s, kulevekten 9.45 g og kruttmassen 2.8 g. Det andre



Figur 2.1 AG3

våpenet var C8 med 5.56x45 NM229. Her er utgangshastigheten 895 m/s, kulvekten 4.0 g og kruttmassen 1.70 g.



Figur 2.2 C8

3 MÅLEOPPSETT

Målingene er utført ved FFI (i Dampa) 16/9-05. Det primære målet med forsøkene var å måle lydtrykket i nærfeltet (80 cm). Dette ble målt i 5 retninger ut i fra skuddretningen (se Tabell 3.1). Som en referanse målte vi også trykket lenger ut fra munningen (6.9 m). Sensoren i nærfeltet stod til venstre for våpenet. Sensoren ble flyttet og nytt skudd ble skutt for hver vinkel. Sensoren på 6.9 m stod på samme sted i alle målingene, på høyre side av våpenet.

Det primære målet med forsøket var å måle trykket nær våpenet (80 cm). I tillegg hadde vi både en trykksensor på 6.9 m og en Norsonic 121 Environmental Analyzer (Figurene 3.4 og 3.6). Norsonic instrumentet ble montert på 10 m hold. Hensikten var å høste erfaring med koblingen mellom et kjent trykkfelt og måleresultater fra det instrumentet som FB bruker til vanlig.

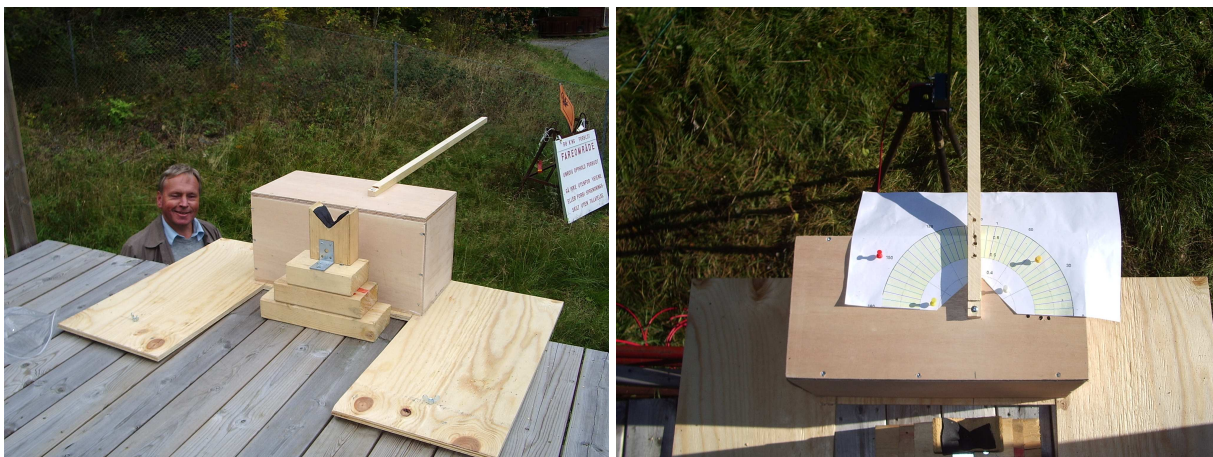
Vinkel (grader)	Avstand (m)	Sensortype
5	0.80	PCB 137A23
30	0.80	PCB 137A23
60	0.80	PCB 137A23
90	0.80	PCB 137A23
128	1.17	PCB 137A23
11	6.9	PCB 111A21

Tabell 3.1 Måleposisjoner

Det ble skutt fra en plattform som ble dekket med Glava på enkelte plasser der det ble ansett som mest sannsynlig at refleksjon kunne bli et problem (Figur 3.9). Bakken var myk med langt gress (omtrent 40 cm). Til venstre for våpenet står det en bygning i en avstand på omtrent 10 m (Figur 3.4, høyre bilde). Vi vil få en refleksjon fra denne bygningen som vil ankomme omtrent 55 ms etter den direkte pulsen. Siden den delen av pulsen vi er interessert i her er av en tidsvarighet på under 5 ms vil ikke dette være noe problem.

3.1 Standplass

Våpenet ble under skyting lagt ned i et spor på en trekloss som var festet til plattformen (Figur 3.1). Stativet for innretting og måling av sensoren monteres midlertidig på plattformen det skytes fra med to vingmuttere (Figur 3.1). Innrettingen ble gjort for hver sensorposisjon, og kunne med litt trening gjøres på rundt 15 minutter. Sensorene er satt opp i 2 m høyde over bakken. Det er



Figur 3.1 Stativet for innretting av sensoren og måling av vinkelen mellom sensoren og skuddretningen.

viktig at sensoren rettes inn nøyaktig sånn at elementet står vinkelrett på propagasjonsretningen til lyden fra midt i utgangen på løpet (Figur 3.2). Dette er for å unngå å få inn uønsket refleksjonstrykk eller “skyggeeffekter” i målingen (Appendiks A). Stativet for innretting legges i



Figur 3.2 Innretting av sensoren.

plan mot målet ved å sikte målepinnen inn mot blinken (Figur 3.3). Gradskiva rettes så inn i forhold til denne retningen.



Figur 3.3 Stativets legges i plan mot målet. Til høyre ser vi sensoren som står på 6.9 m.



Figur 3.4 Venstre: Hege Aamodt fra FB, med mikrofonen til en Norsonic 121. Høyre: Standplassen fra siden.



Figur 3.5 Venstre: Skytter i aksjon. Høyre: Dataloggerutstyret.

3.2 Sensorer

I forsøkene er det brukt tre typer sensorer. Nær våpenet (80 cm og 117 cm) brukte vi sensorer av typen PCB 137A23 som vi hadde lånt av FB (Figur 3.6, venstre bilde). Sensoren består av et sensorhus som er omtrent 40 cm langt og 22 mm i diameter. Selve sensoren er 1/2 tomme i diameter og er montert inn på siden av sensorhuset omtrent 15 cm bak den forreste spissen. Sensorhuset er utformet på denne måten for å være i stand til å måle side-on trykket også ved høy lyd (Appendiks A). I Tabell 3.2 er det oppgitt data for de forskjellige sensorene vi har benyttet i målingene.



Figur 3.6 Venstre: “Pencil blast sensor” av typen PCB 137A23. Selve sensoren sees på siden av sensorhuset. Høyre: Norsonic environmental analyzer 121.

Modell	Serienummer	Følsomhet (mV/PSI)	Dynamisk Område (kPa)	Oppløsning (kPa)
PCB 137A23	SN4430	95.71	0.34–345	0.034
PCB 111A21	SN12488	49.96	0.14–689	0.014
PCB 111A21	SN12488	49.69	0.14–69	0.014

Tabell 3.2 Spesifikasjoner for sensorene vi benyttet i forsøkene. Sensoren av type PCB 111A21 velger følsomhet ut i fra hvilket måleområde den benyttes i. PCB 137A23 sensoren er lånt fra FB. PCB 111A21 sensoren er lånt fra FLO Test og Utvikling.

3.3 Stativer

På FFI sitt snekkerverksted fikk vi laget et stativ for innretting og oppmåling av avstand til munningen og vinkel mellom mikrofonhuset og skuddretningen (Figur 3.7). Stativet består av en stang for å bestemme avstanden og en gradskive i papir for å bestemme vinkelen. Dette stativet er også viktig for å være sikker på at kanten på mikrofonen er nøyaktig 90 grader på lydens propagasjonsretning. Stativet er skrudd fast i platformen det skytes fra, og fjernes før skuddene avfyres. På FFI sitt Fellesverksted fikk vi laget en “innfestningsbrakett” (Figur 3.8) som står mellom sensoren av type PCB 137 og stativet (Figur 3.7, høyre). Braketten kan festes i tre høyder.



Figur 3.7 Venstre: Stativ for å rette inn sensoren rett mot sentrum av munningen på løpet. Stativet har en gradskive som tillater måling av vinkelen innenfor omtrent en grads nøyaktighet. Midten: Stativ for Norsonic 121, lånt fra FB. Høyre: Stativ (2 stykker) brukt til PCB 137 sensoren. Lånt fra FB.



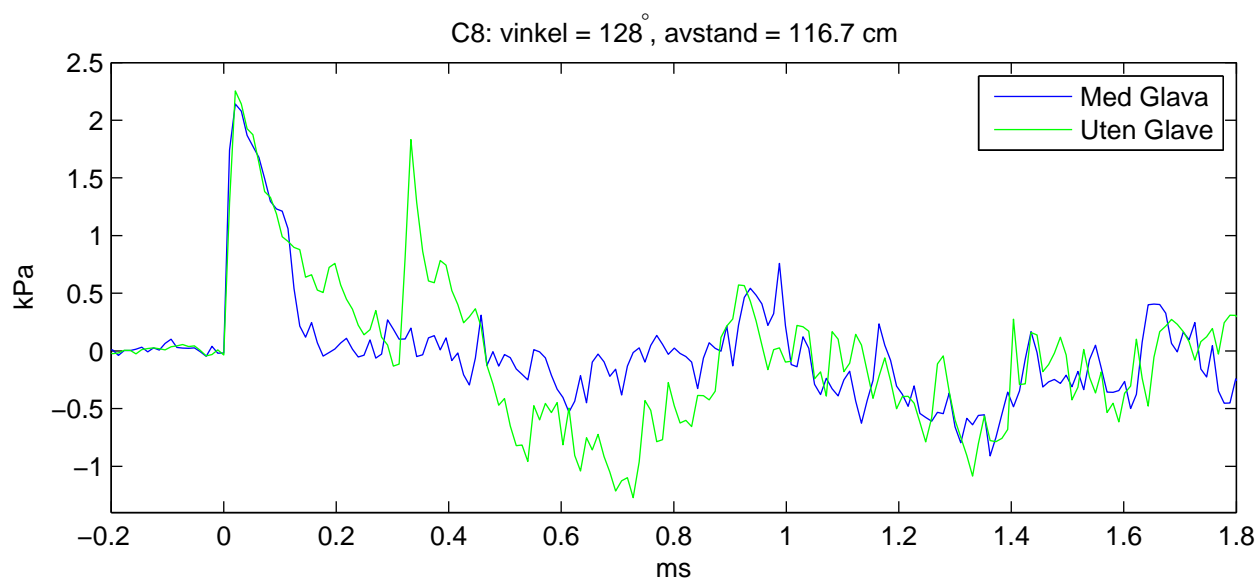
Figur 3.8 Brakett for innfestning av sensoren av type PCB 137.

3.4 Demping av høyfrekvent lyd med Glava

For å dempe refleksjoner fra plattformen ble det satt opp to matter med absorberende materiale. På Figur 3.9 ser man matten som ble brukt i tilfellet der vinkelen var 128 grader og avstanden til munningen var 116.7 cm. I dette tilfellet ble det gjort målinger både med og uten det dempende materialet, for å finne ut hvor mye demping Glava-mattene gir. På Figur 3.10 ser vi at den absorberende matten her er svært effektiv for denne typen lyd, det vil si høy impulslyd med varighet under 1 ms.



Figur 3.9 Absorberende matter montert på plattformen.



Figur 3.10 Den grønne kurven viser trykkbølgens refleksjon fra plattformen. Den reflekterte bølgen ankommer omtrent 0.3 s etter den direkte bølgen. Den blå kurven viser trykket når vi har lagt en absorberende matte på plattformen (Figur 3.9, høyre).

4 DATAINNSAMLING

Dataene ble logget med en bærbar datamaskin med en pcmcia-dataloggerkort (Figur 3.5). Det ble logget data på to kanaler. En for sensoren 80 cm fra munningen, og en kanal for sensoren 6.9 m fra munningen.

Sensortypene er "Integrated Circuit Piezoelectric" (ICP) typer fra "PCB PIEZOTRONICS" og ble koplet med ca. 3m koaksialkabel til hver sin PCB 480E09 signalomformer.

Fra signalomformerne gikk 25m lange koaksialkabler til to kanaler på et National Instruments DAQCard 6036E datainnsamlingskort montert i den bærbare datamaskinen. DAQCard 6036E er en 16bits analog til digital (AD) omvandler med samlet omvandlingsrate på 200 kS/s. Maksimalt antall kanaler er 16 i "single ended modus" eller 8 hvis differensiell kopling brukes.

Vi brukte kortet i "single ended modus" og stilte omvandlingsområdet til 10V. Det høye signalnivået og det at signalomvandlerne (480E09) er batteridrevet minimaliserer problemer med jordsløyfer og indusert støy. To kanaler ble brukt, hver med en omvandlingsrate på 96153.846154 S/s.

For datafangst fra analog til digital omvandleren til filer på datamaskinen brukte vi Matlab(R) og et eget innsamlingsprogram. Programmet leser fortløpende fra AD omvandleren og holder en tidsserie enkeltmålinger i maskinens hurtighukommelse. Skrivning til filer starter ved et museklikk og programmet skriver da fra bufferet. På denne måten kan man vente med å starte skrivning til etter at skudd er avfyrt.

Data ble lagret i 1s blokker i separate filer for hver kanal og i form av 32biters enkelpresisjons flyttall med "Least Significant Byte First" (LSB).

5 MÅLERESULTATER NORSONIC

Det ble foretatt målinger med 'Norsonic environmental analyser' 10 m fra munningen, i 11 graders vinkel fra skuddretningen. Det viste seg dessverre at lydnivået var noe høyt for denne loggeren så nær våpenet, slik at den gikk i metning.

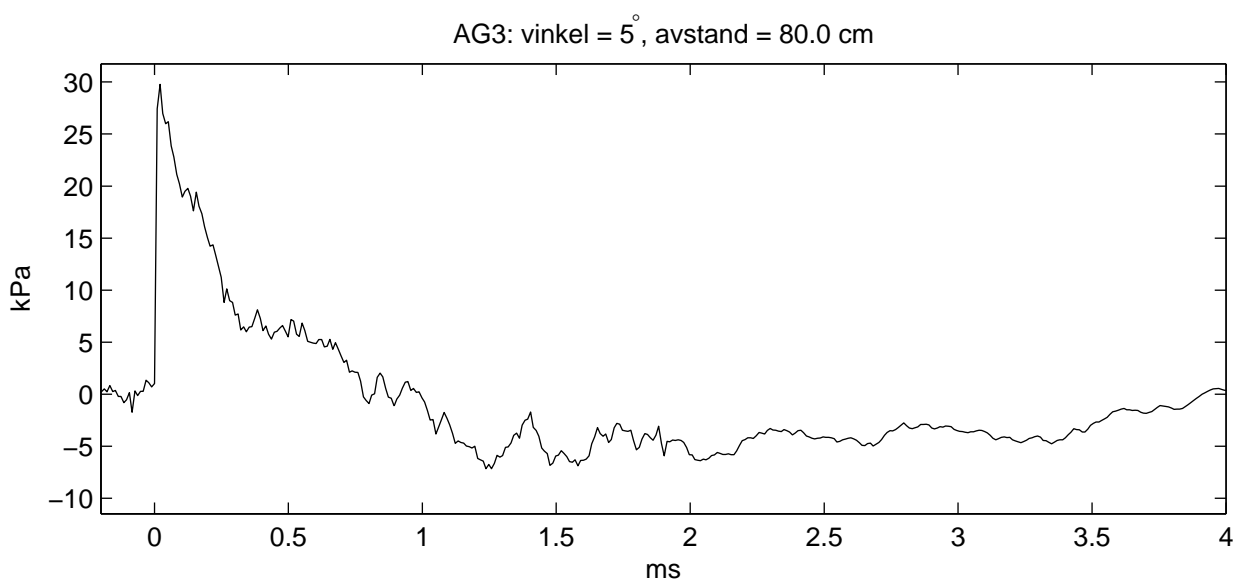
6 MÅLERESULTATER

Her presenterer vi det målte trykket som funksjon av tid for de to våpnene vi har brukt i målingene. Det er skutt i 5 vinkler for AG3 (Figur 6.1-6.5), og i 5 vinkler for C8 (Figur 6.6-6.10). Det er skutt tre skudd for hver vinkel, og det er snittet av disse som er vist her. For de enkelte trykkseriene se Appendiks C. For hvert skudd er tiden satt til null i det tidspunktet munningssmellet når mikrofonen.

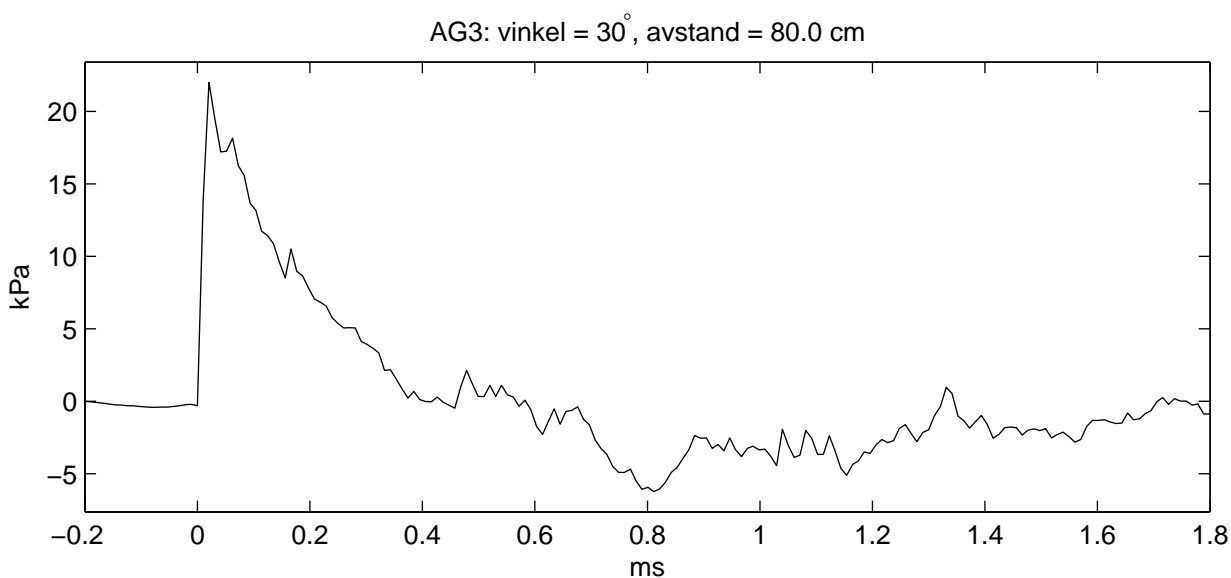
Det er verdt å merke seg at man må påregne en del feilkilder ved denne type målinger. Man kan i beste fall forvente seg en nøyaktighet i instrumenteringen på anslagsvis ± 1 dB (12%). I tillegg finnes det en rekke andre feilkilder som forskjeller i: Temperatur, lufttrykk, luftfuktighet, vind, posisjonen til munningen av løpet. Det vil kunne være til stede noe refleksjon fra plattformen som det ble skutt fra. For hvert skudd med samme våpen og ammunisjon vil det også være en viss

variasjon. Man kan få et inntrykk av hvor stor denne er ved å vurdere plottene av flere like skudd sammen (Appendiks C).

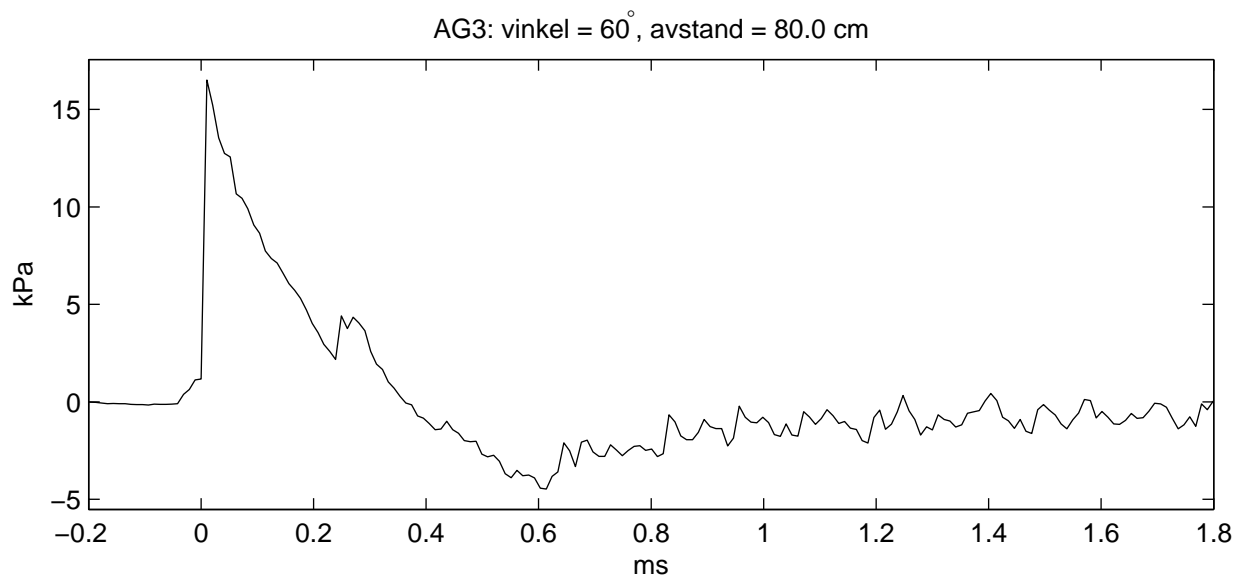
Spesielt for trykkfronten og peak-trykket må man være klar over at disse både kan bli noe underestimert, og kan variere en del for like skudd. Dette kommer av at trykket vil stige bort i mot uendelig raskt når sjokkfronten når sensoren. I måledataene kan vi registrere en økning av trykket fra null til maks trykk i løpet av omtrent to sampler. Dermed vil det målte peak-trykket avhenge av hvor godt et sample sammenfalt med tidspunktet for maks trykk. I tillegg har det følede elementet i sensoren en endelig utstrekning på tvers av forplantningsretningen. Sensoren vil dermed virke som et lavpassfilter. Sensoren i seg selv har også en maksimal grense for hvor raske variasjoner den kan måle. For den type sensorer man velger å benytte til denne type målinger vil den grensen være mellom 50 og 120 kHz.



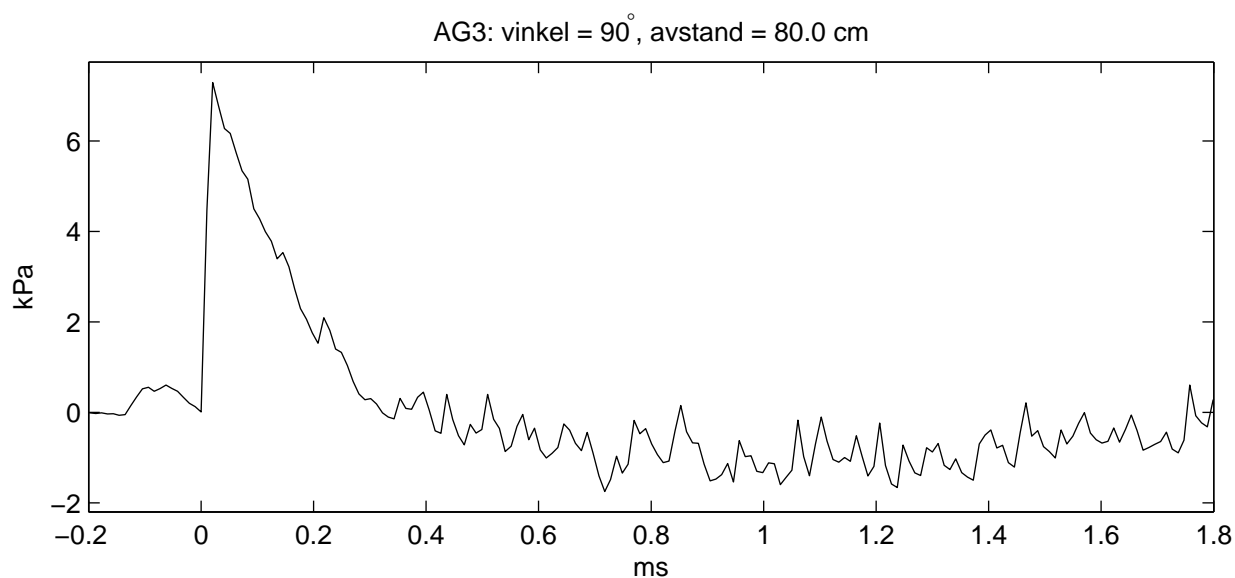
Figur 6.1 Trykket som funksjon av tiden (snittet av tre skudd).



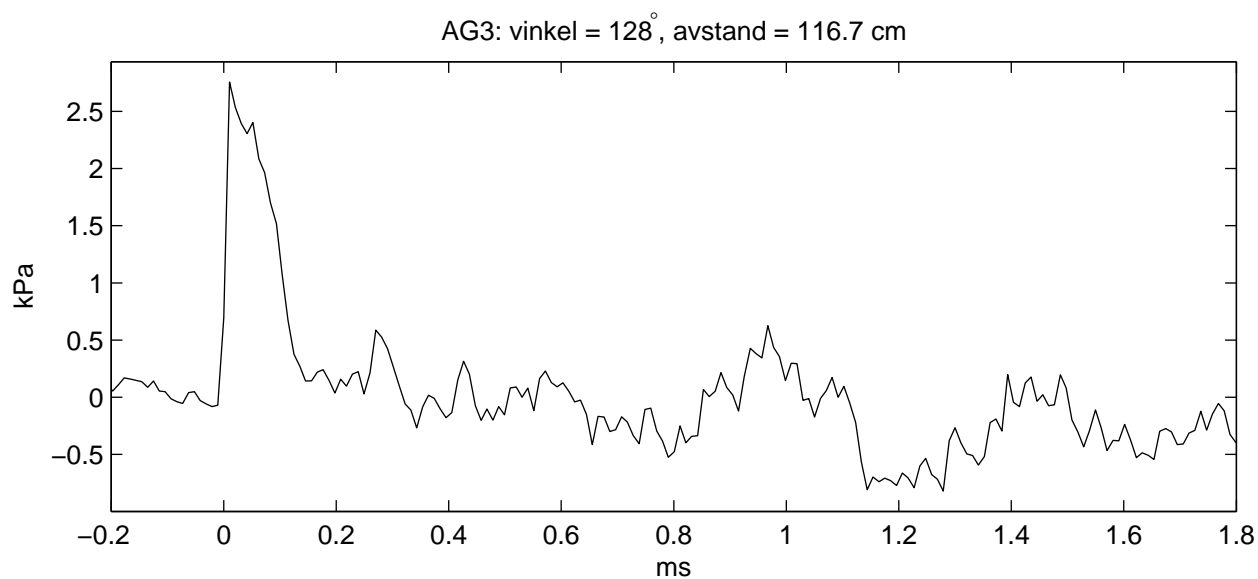
Figur 6.2 Trykket som funksjon av tiden (snittet av tre skudd).



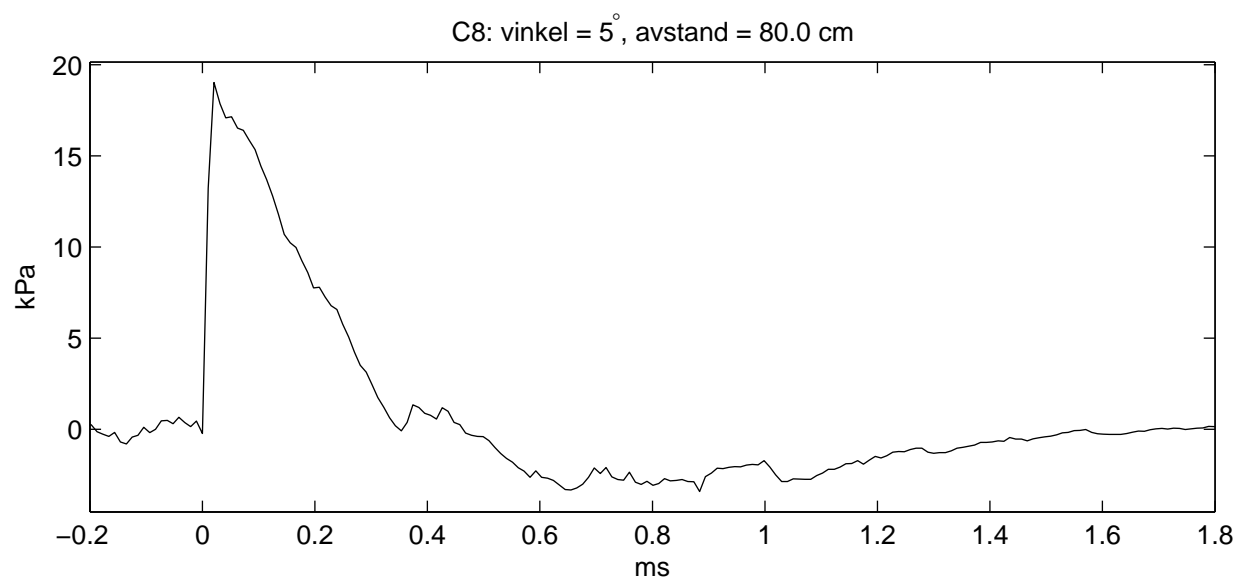
Figur 6.3 Trykket som funksjon av tiden (snittet av tre skudd).



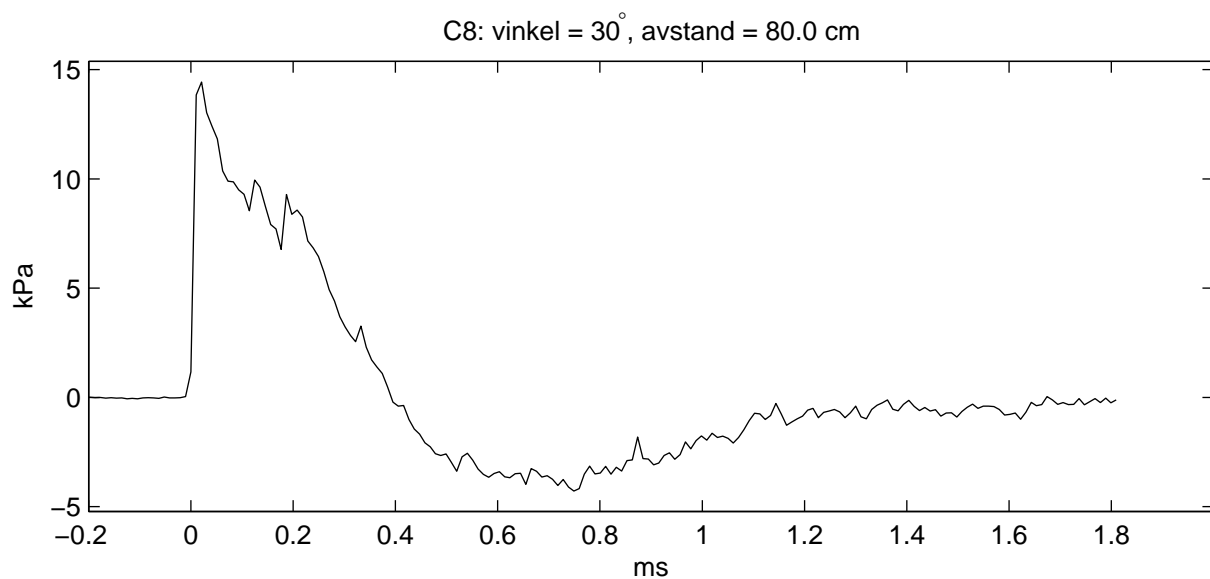
Figur 6.4 Trykket som funksjon av tiden (snittet av tre skudd).



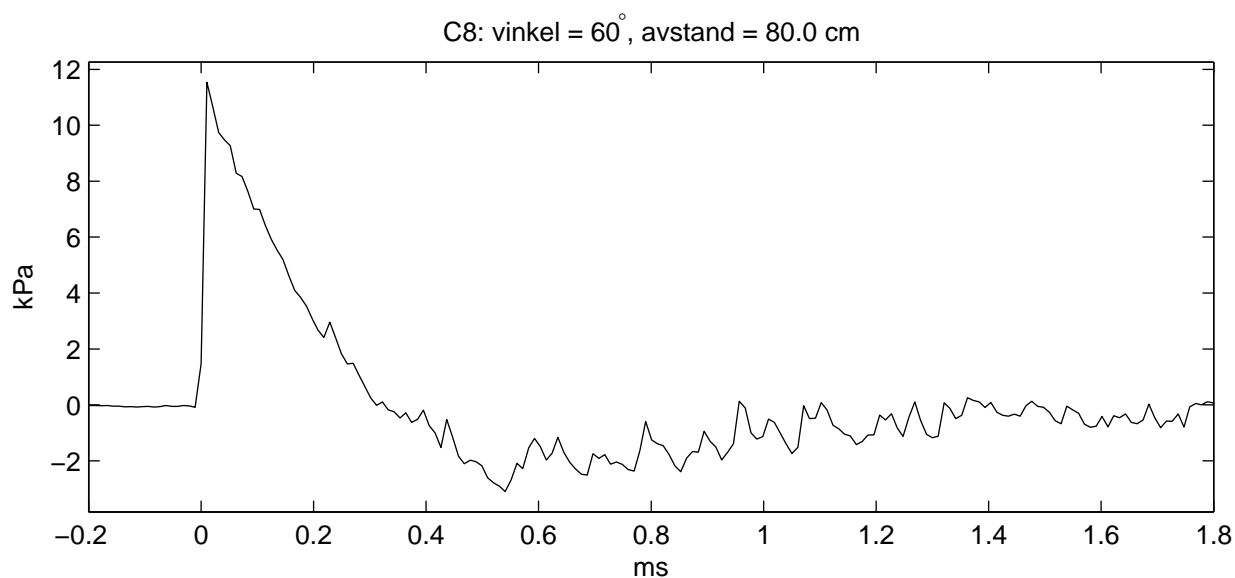
Figur 6.5 Trykket som funksjon av tiden (snittet av tre skudd).



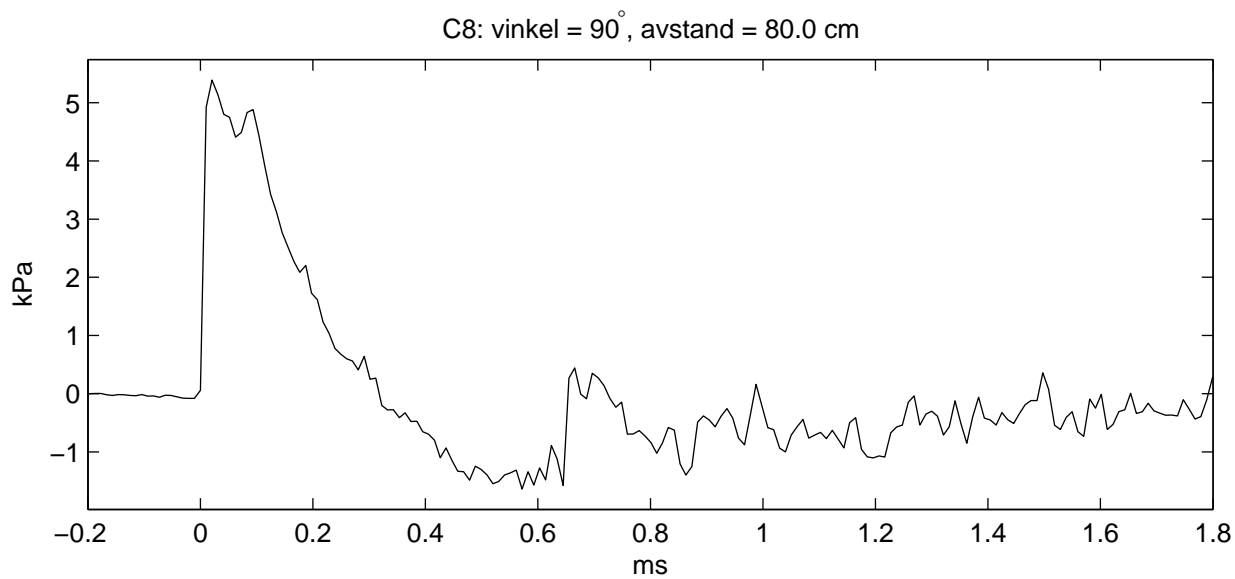
Figur 6.6 Trykket som funksjon av tiden (snittet av tre skudd).



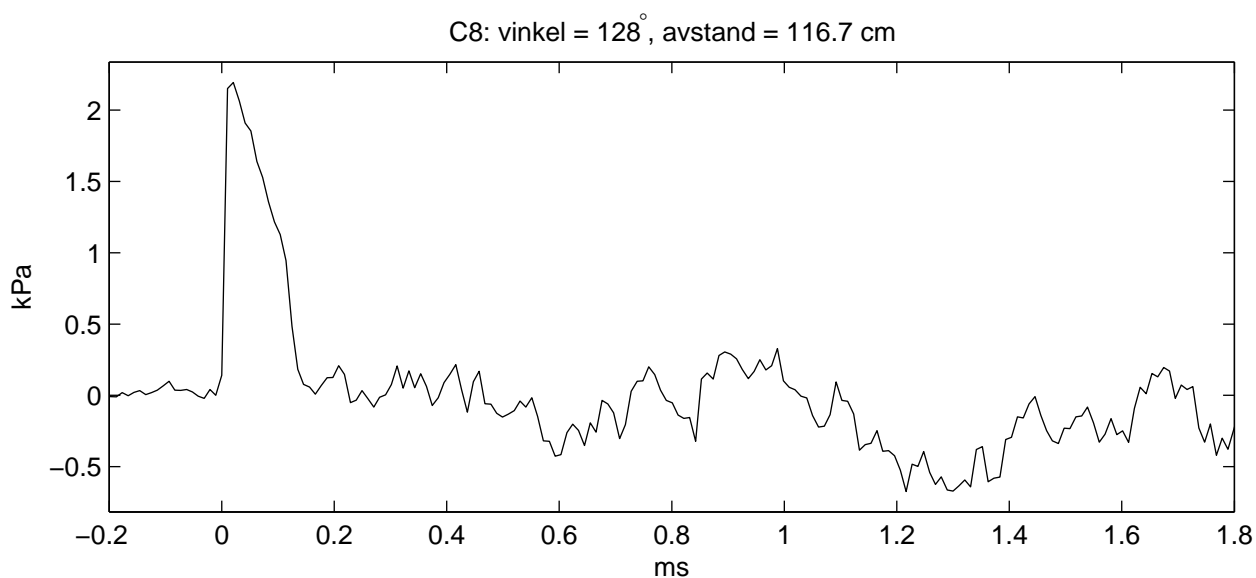
Figur 6.7 Trykket som funksjon av tiden (snittet av tre skudd).



Figur 6.8 Trykket som funksjon av tiden (snittet av tre skudd).



Figur 6.9 Trykket som funksjon av tiden (snittet av tre skudd).



Figur 6.10 Trykket som funksjon av tiden (snittet av tre skudd).

7 OPPSUMMERING

Det er gjort målinger av trykkfeltet 80 cm fra munningen til to rifler, AG3 og C8. Målingene burde være velegnet for senere å gjøre sammenligninger med beregnede trykkforløp.

Litteratur

- (1) Baker W E (1973): Explosions in air, first edn, Austin, University of Texas Press. ISBN 0-292-72003-3.
- (2) Courant R, Friedrichs K O (1948, reprinted in 1976): Supersonic flow and shock waves, New York, Springer. ISBN 3-540-90232-5.
- (3) Gimnes L, Jenssen A (1972): Lydtrykkmålinger under skarpskyting med Howitzer SP – Self Propelled – FT 155 mm M109 G (FRG), ladning 8., Technical Report Fortifikatorisk notat nr 77/72, Forsvarets Bygningstjeneste.
- (4) Huseby M, Rahimi R, Teland J A, Dyrdal I (2005): Støy fra skytefelt, Technical Report FFI/RAPPORT-2005/00471, Norwegian Defense Research Establishment.
- (5) Kinney G F, Graham K J (1985): Explosive shocks in air, Berlin, Springer. ISBN 3-540-15147-8.
- (6) Sachdev P L (2004): Shock waves and explosions, Chapman & Hall/CRC. ISBN 1-58488-422-3.

APPENDIKS

A SENSORENS INVIRKNING PÅ TRYKKFELTET VED KRAFTIGE SMELL

Dette appendikset oppsummerer en del spesielle hensyn som det er viktig å være klar over når man gjør målinger nær store våpen. Mesteparten av det som står i dette avsnittet er hentet fra bøkene Baker (1973), Kinney & Graham (1985), Courant & Friedrichs (1948, reprinted in 1976) og (Sachdev 2004). Vi har også benyttet Gimnes & Jenssen (1972).

A.1 Begreper

Når vi gjør trykkmålinger i nærheten av en lydkilde ønsker vi å måle trykket i et gitt punkt, uten at det er noen sensorer til stede. Når vi introduserer en sensor i trykkfeltet vil dette uunngåelig forandre feltet. Vi ønsker altså å måle et annet felt enn det sensoren befinner seg i. Denne effekten kan være stor eller liten, noe som avgjøres av om lydtrykket er høyt eller lavt og av formen til sensoren i forhold til trykkfeltet.

De forskjellige begrepene nedenfor er i stor grad knyttet til de forskjellige måtene en sensor modifierer trykkfeltet avhengig av sensorens utforming og plassering.

A.1.1 Side-on trykk (statisk overtrykk), p_{so}

Trykket (overtrykk) i trykkbølgen uten at det er noen sensor til stede. Dersom for eksempel sensoren plasseres med det følede elementet i samme plan som en plate vil ikke sensoren påvirke trykkfeltet langs denne platen. Det er dette trykket man er interessert i, siden det representerer det trykket som er til stede “til vanlig”.

Uttrykket “statisk” i denne sammenheng kan virke noe forvirrende. Det henspiller på at for en mikrofon som beveger seg med samme hastighet som partikkelhastigheten der den er plassert i trykkfeltet, vil det ikke være partikkelbevegelse i forhold til mikrofonen, det vil si at feltet er statisk. Ved å introdusere en stillestående mikrofon i feltet vil vi få en strøm rundt mikrofonen, og dermed en dynamikk.

A.1.2 Refleksjonstrykk, p_r

En trykk giver som monteres på en stor flate normalt på propagasjonsretningen vil måle refleksjonstrykket. Dette kan omtrentlig relateres til side-on trykket og atmosfæretrykket, p_a , ved

$$p_r = 2p_{so} \frac{7p_a + 4p_{so}}{7p_a + p_{so}}. \quad (\text{A.1})$$

Som vi ser vil refleksjonstrykket være 2 ganger side-on trykket for lav lyd, og 8 ganger så stort når side-on trykket går mot uendelig.

A.1.3 Stagnasjonstrykk (total head pressure)

Trykket en sensor vil måle med sitt følede element vendt mot trykkbølgens forplantningsretning. En trykk giver med en viss størrelse på sitt følede element, vil først måle refleksjonstrykket i tidsrommet før trykkbølgen har beveget seg rundt kanten på elementet. Deretter måler det stagnasjonstrykket.

A.1.4 Dynamisk trykk

Forskjellen mellom side-on trykket og stagnasjonstrykket er det dynamiske trykket. Det dynamiske trykket oppstår på grunn av bevegelsen som fluidet har når det beveger seg rundt mikrofonen.

A.2 Trykksensorer

Trykksensorer (og mikrofoner) har som oppgave å forsøke å måle trykket i et fluid. Det finnes en rekke faktorer som kan gjøre at målingene vi får ut ikke representerer det faktiske trykket så bra som vi kunne ønske:

1. Frekvensresponsen er ikke uendelig stor. Dermed vil vi ikke kunne fange opp svært raske forandringer i trykket.
2. Størrelsen til mikrofonen er endelig, noe som vil forandre fluidstrømmen.
3. Forstyrrelser fra andre fenomener enn det vi ønsker å måle.
4. Følsomheten er ikke stor nok til å fange opp små forandringer.
5. Manglende lineær respons
6. Kalibreringen kan forringes over tid.

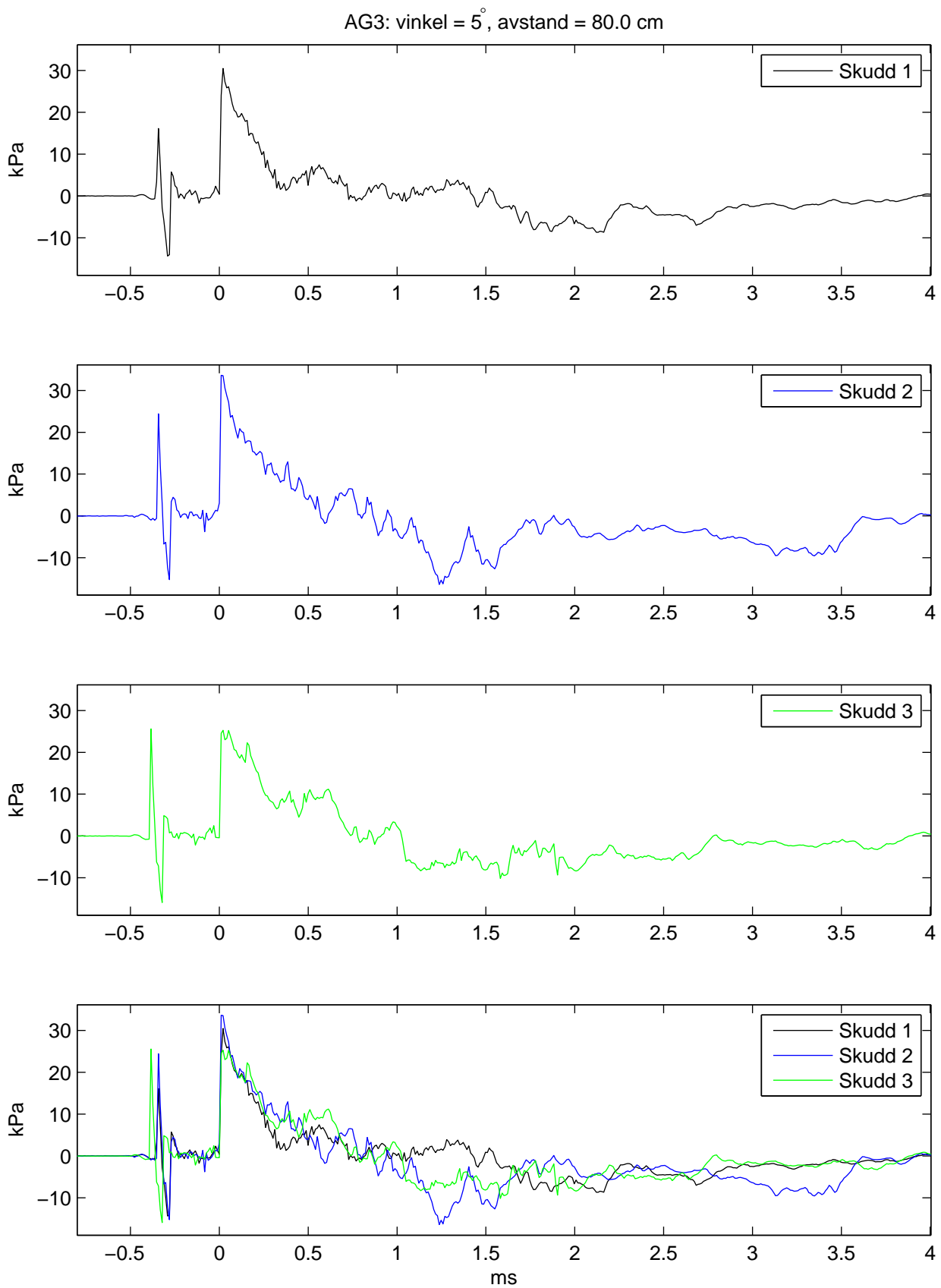
I (Baker 1973) er det gitt en del forslag til hvordan en mikrofon bør se ut. Et godt alternativ er “pannekakemikrofonen”, til side-on målinger. Vi har her valgt å bruke PCB 137A23 “blast pencil probe” (Figur 3.6), som gir en lignende effekt ved at det følede elementet er plassert langs med en flate som er parallell med utbredelsesretningen.

B ESTIMERING PEAK-TRYKKET

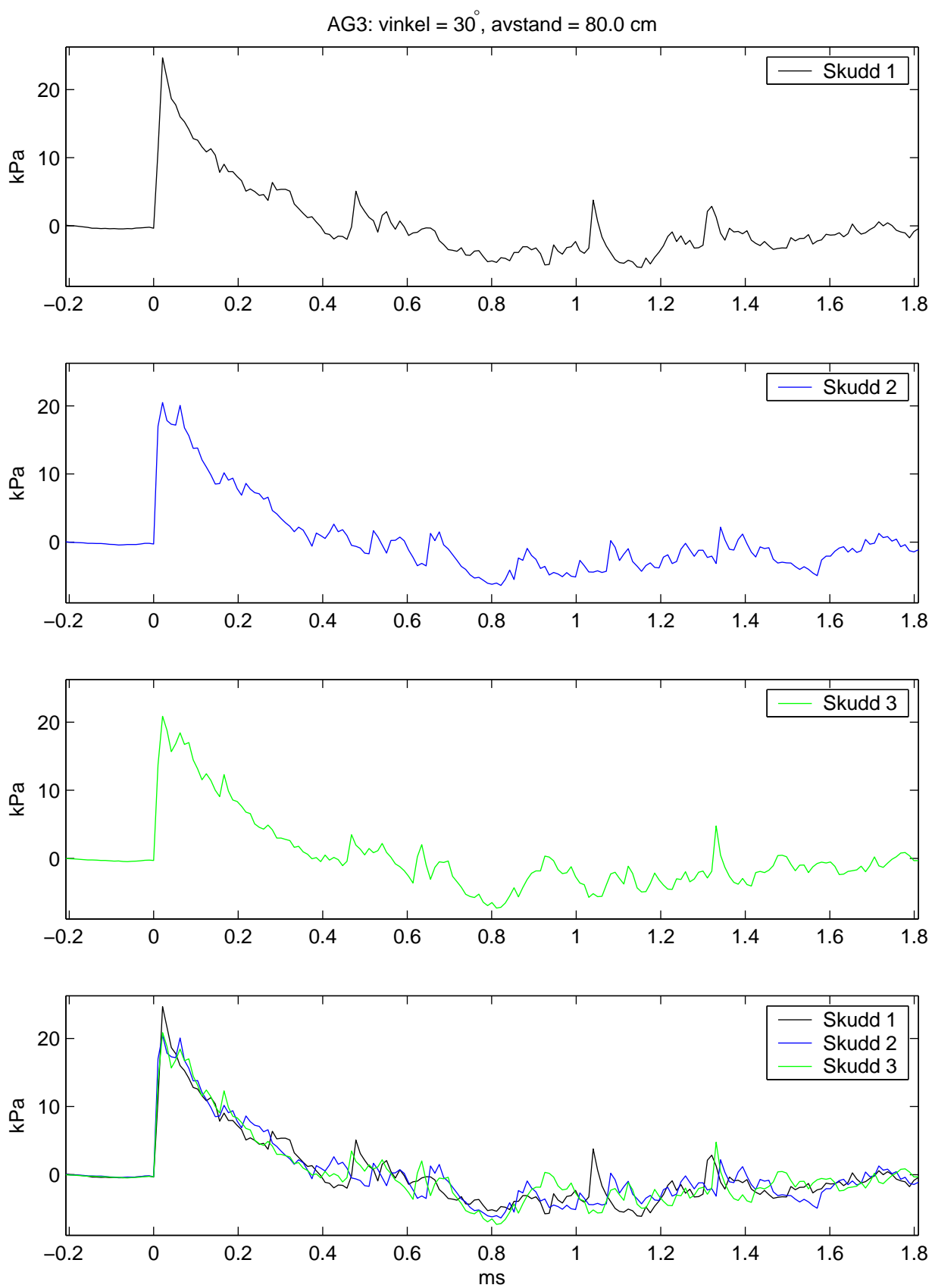
Ofte vil trykket ha en så godt som diskontinuerlig natur. Sensoren vil derimot ha en endelig stigetid og samplingrate. I tillegg vil sensoren (side-on) ha en endelig utstrekning, sånn at sensoren vil virke som et lavpassfilter. Vi vil dermed underpredikere peak-trykket. En vanlig måte å anslå peak-trykket på er å plote trykket med logaritmisk skala på trykkaksen, med $t = 0$ i tidspunktet man antar (eller har målt) er tidspunktet sjokkbølgen nådde mikrofonen. Når sjokkfronten kan trykket tilnærmes med $p = p_M e^{-Ct}$. Med logskala på trykkaksen kan vi da trekke en linje som krysser aksene ved verdien $\ln(p_M)$, og peak-trykket er dermed estimert.

C RÅDATA

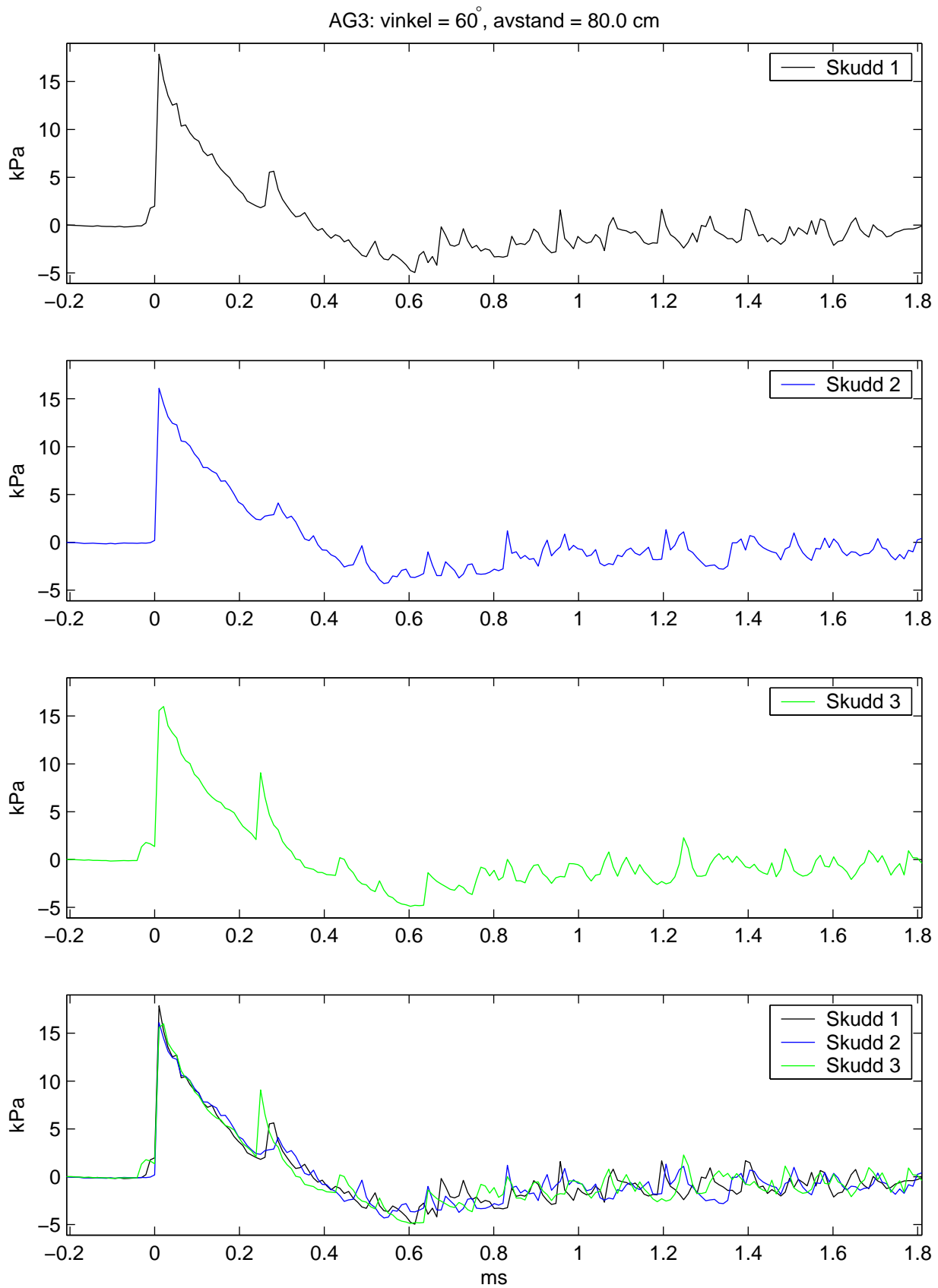
Her presenterer vi det målte trykket som funksjon av tid for de to våpnene vi har brukt i målingene av i alt 30 skudd. Dette er rådataene som ligger til grunn for gjennomsnittsverdiene som er plottet i Kapittel 6. Det er skutt 5 serier (en for hver retning) for AG3 (Figur C.1-C.5), og 5 serier for C8 (Figur C.7-C.11). I hver serie er det skutt 3 skudd. I tillegg til plottene for de forskjellige vinklene nær våpenet er trykkforløpet ved 11 grader på 6.90 m plottet. I figurene er disse tre først plottet hver for seg. Deretter er de plottet alle tre sammen i det nedeste plottet, for at repeterbarheten lettere kan vurderes. For hvert skudd er tiden satt til null i det tidspunktet munningssmellet når mikrofonen.



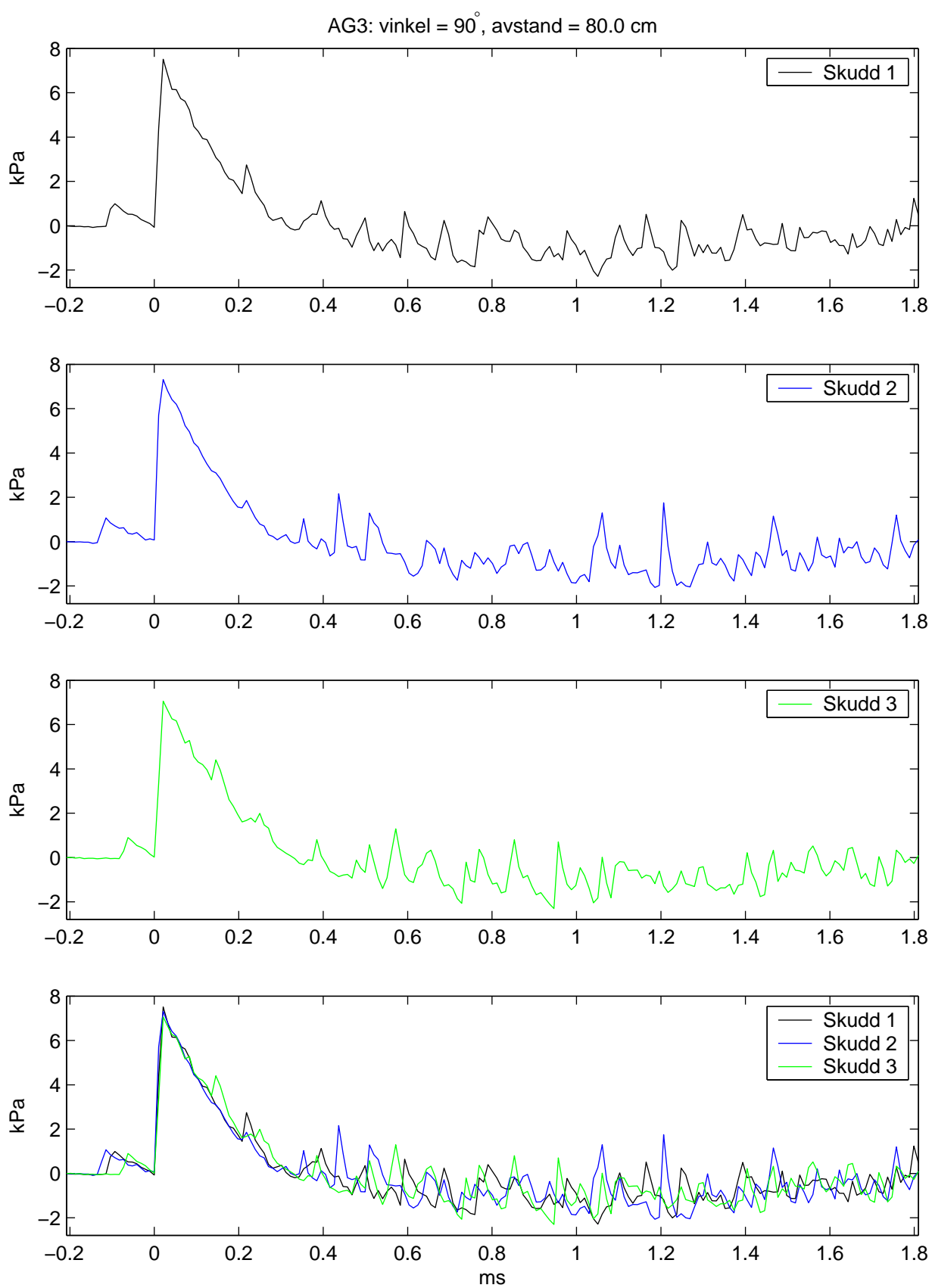
Figur C.1 Trykket som funksjon av tiden.



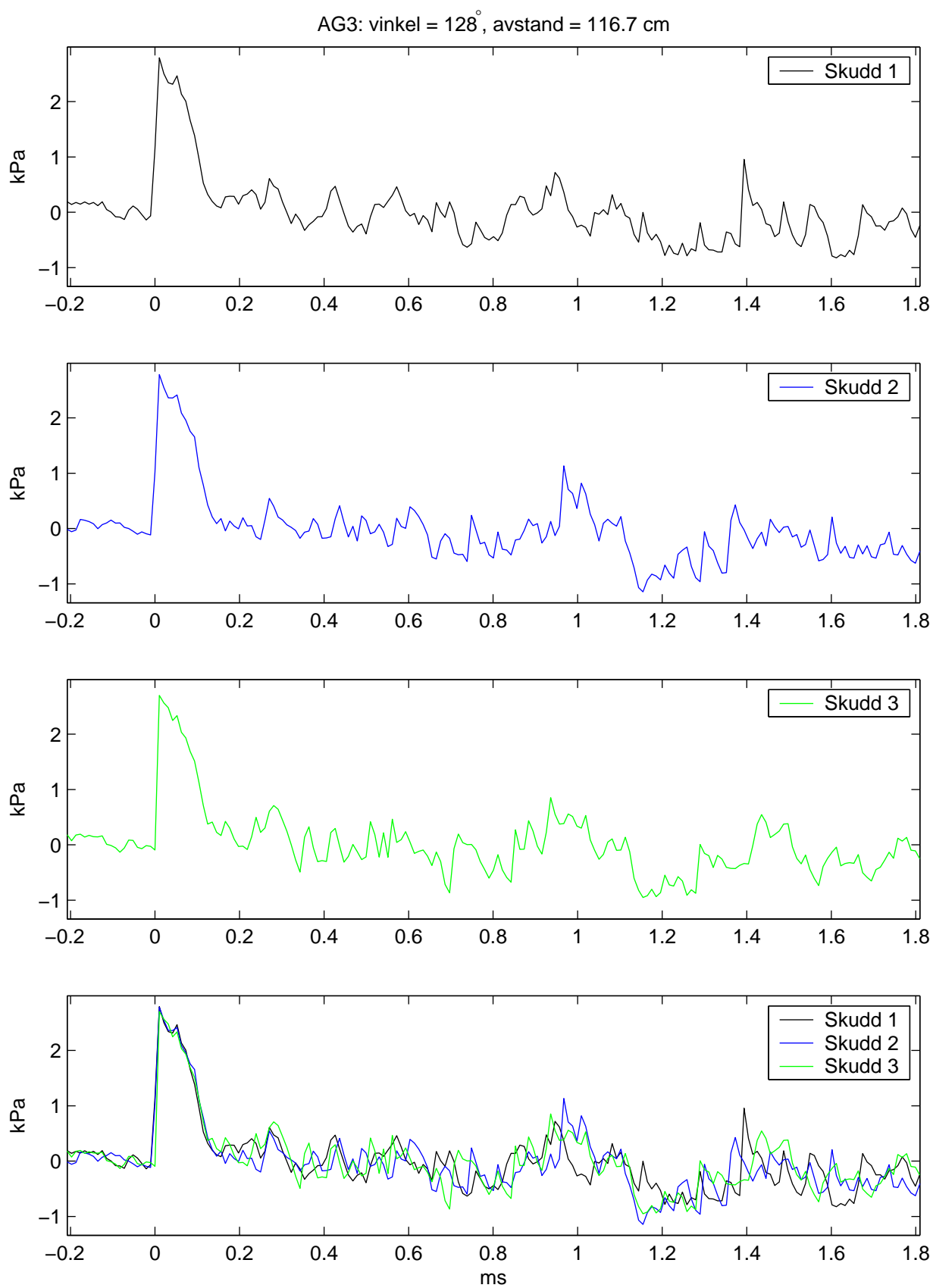
Figur C.2 Trykket som funksjon av tiden.



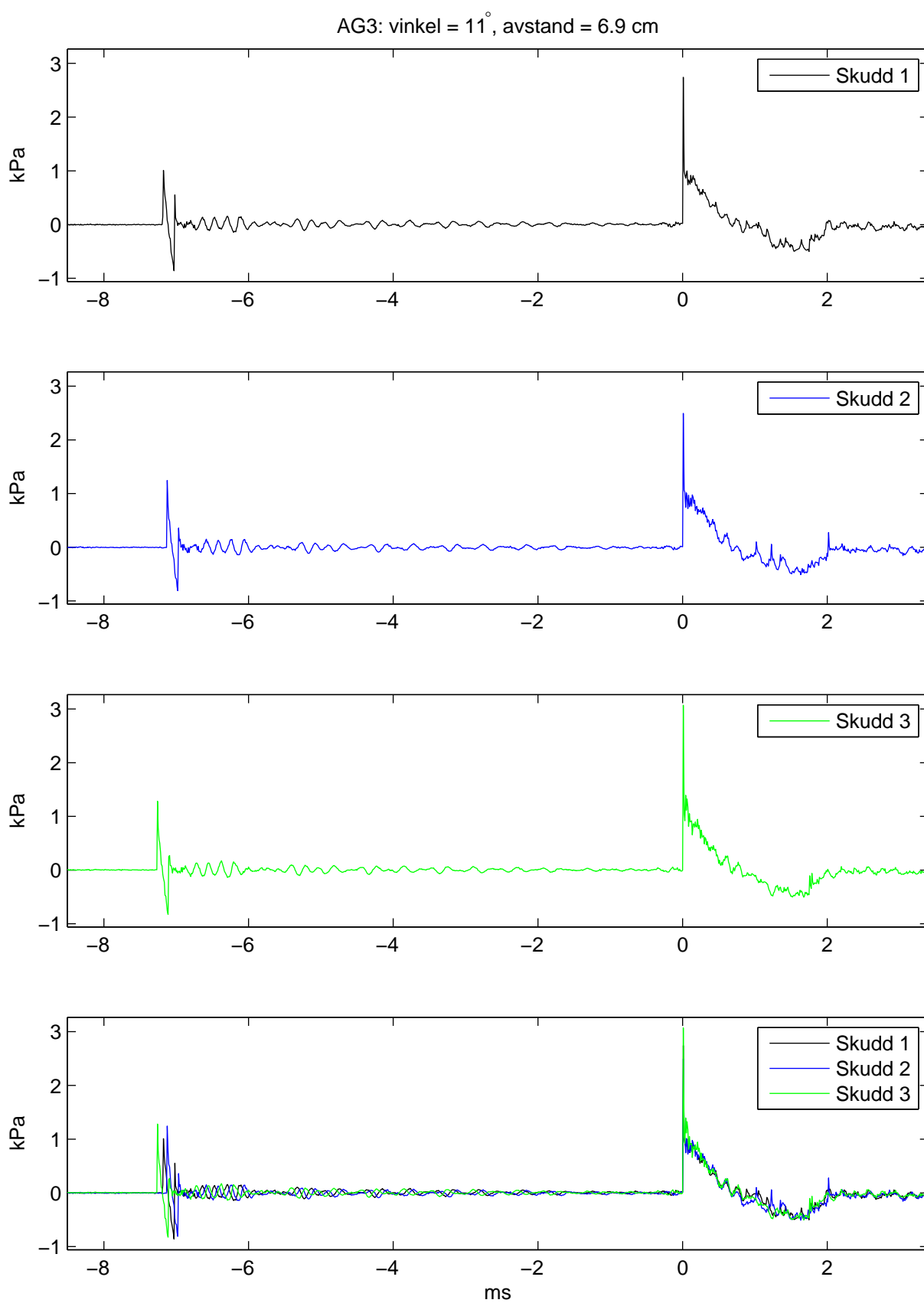
Figur C.3 Trykket som funksjon av tiden.



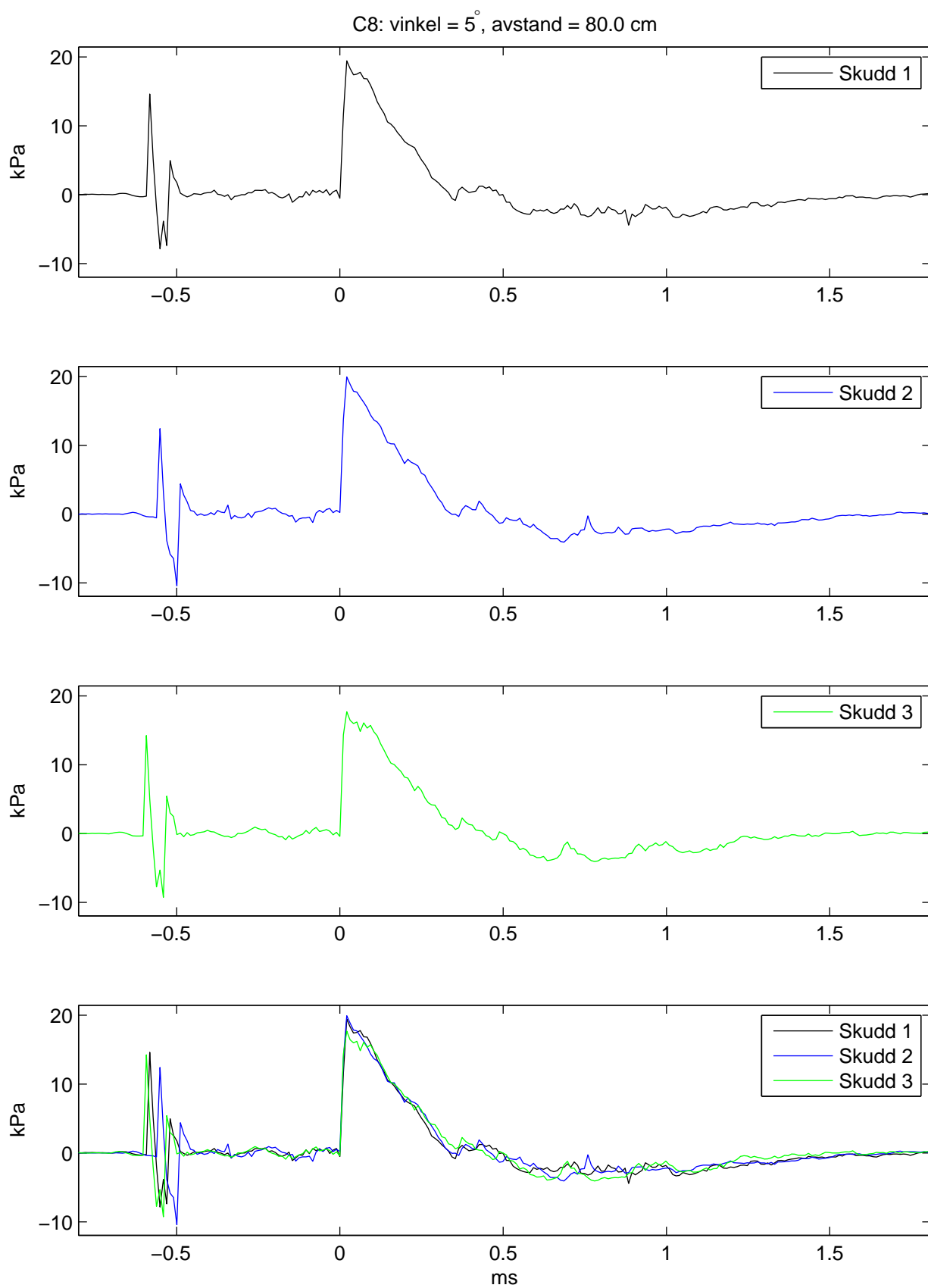
Figur C.4 Trykket som funksjon av tiden.



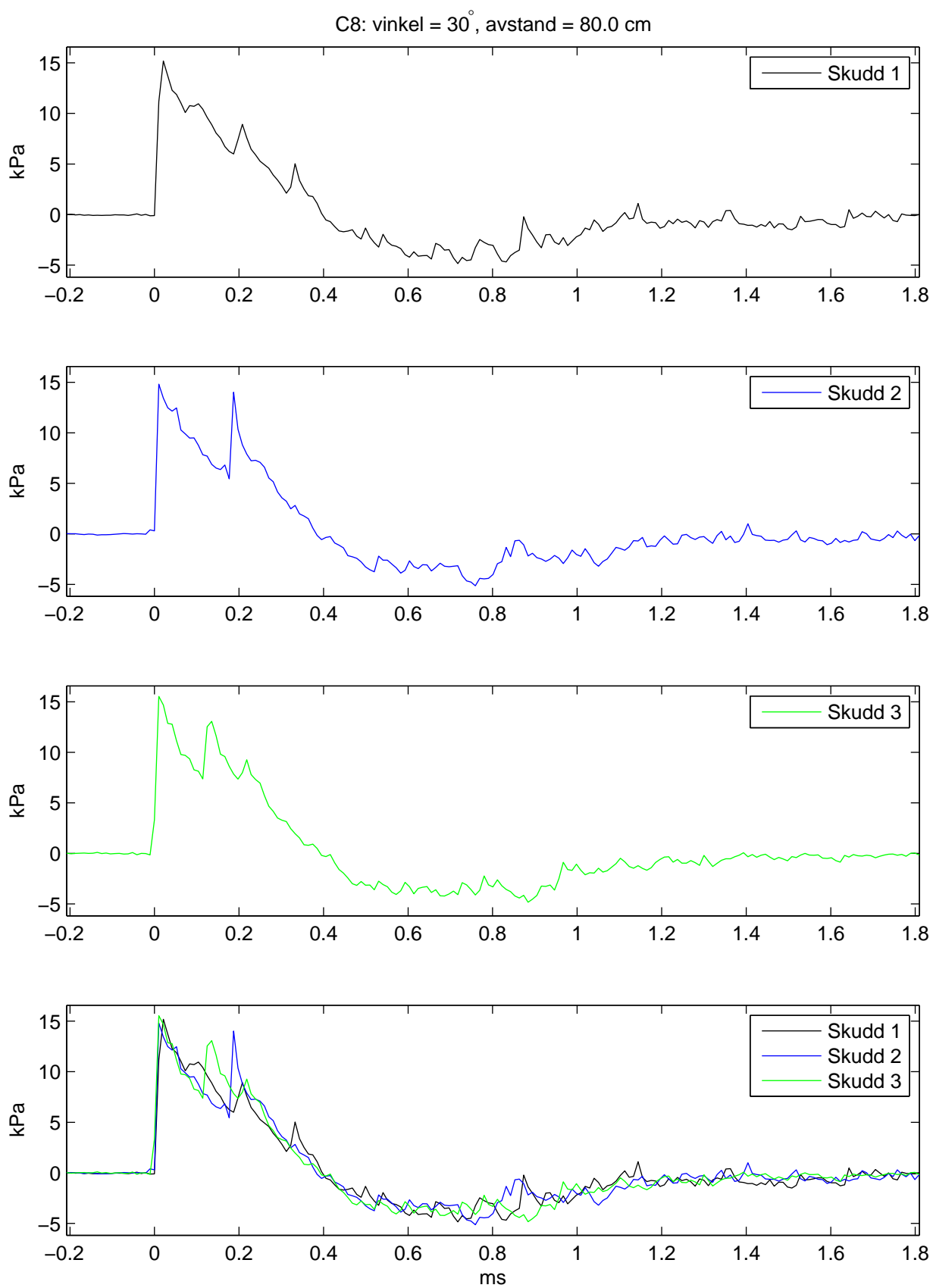
Figur C.5 Trykket som funksjon av tiden.



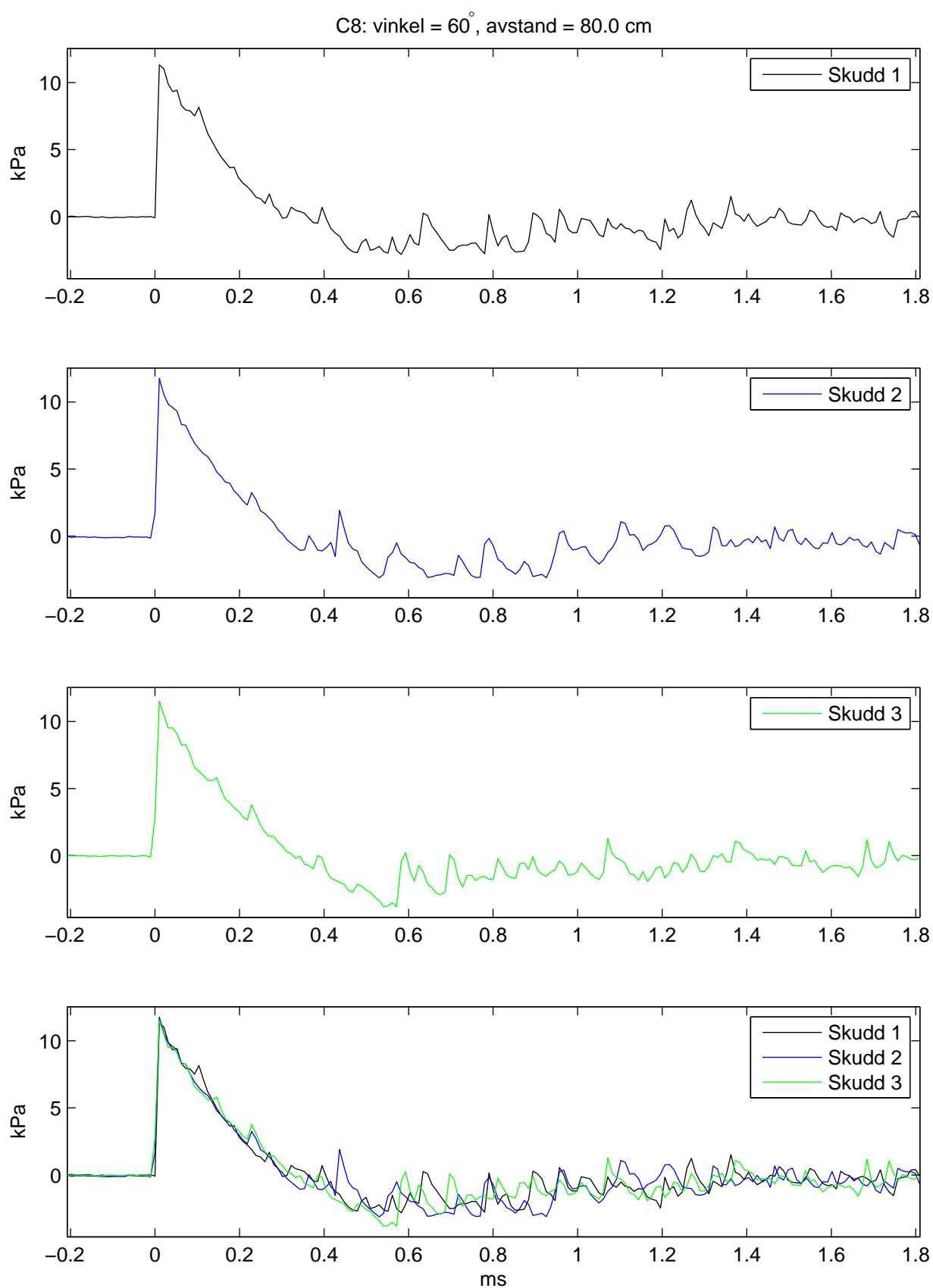
Figur C.6 Trykket som funksjon av tiden.



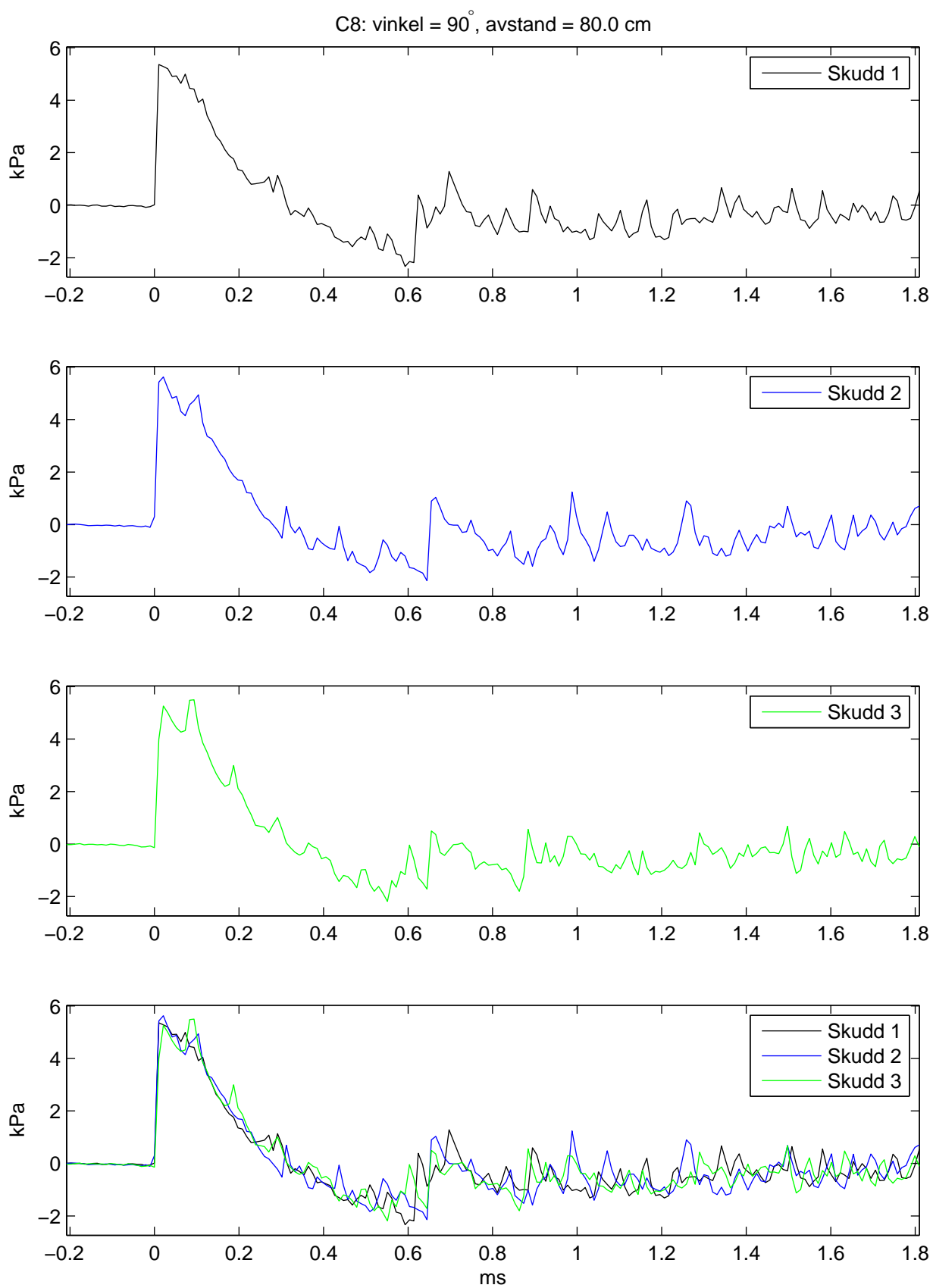
Figur C.7 Trykket som funksjon av tiden.



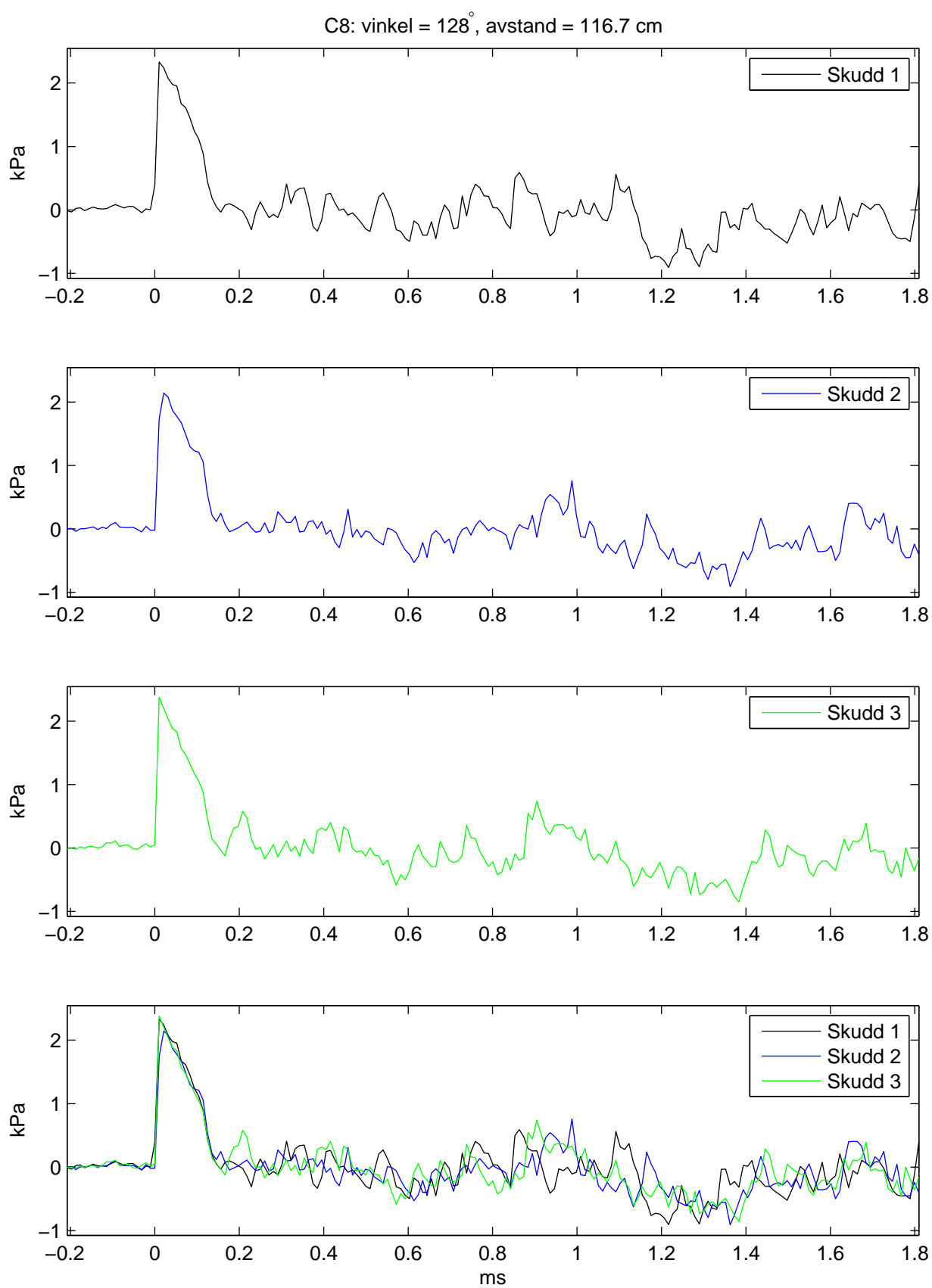
Figur C.8 Trykket som funksjon av tiden.



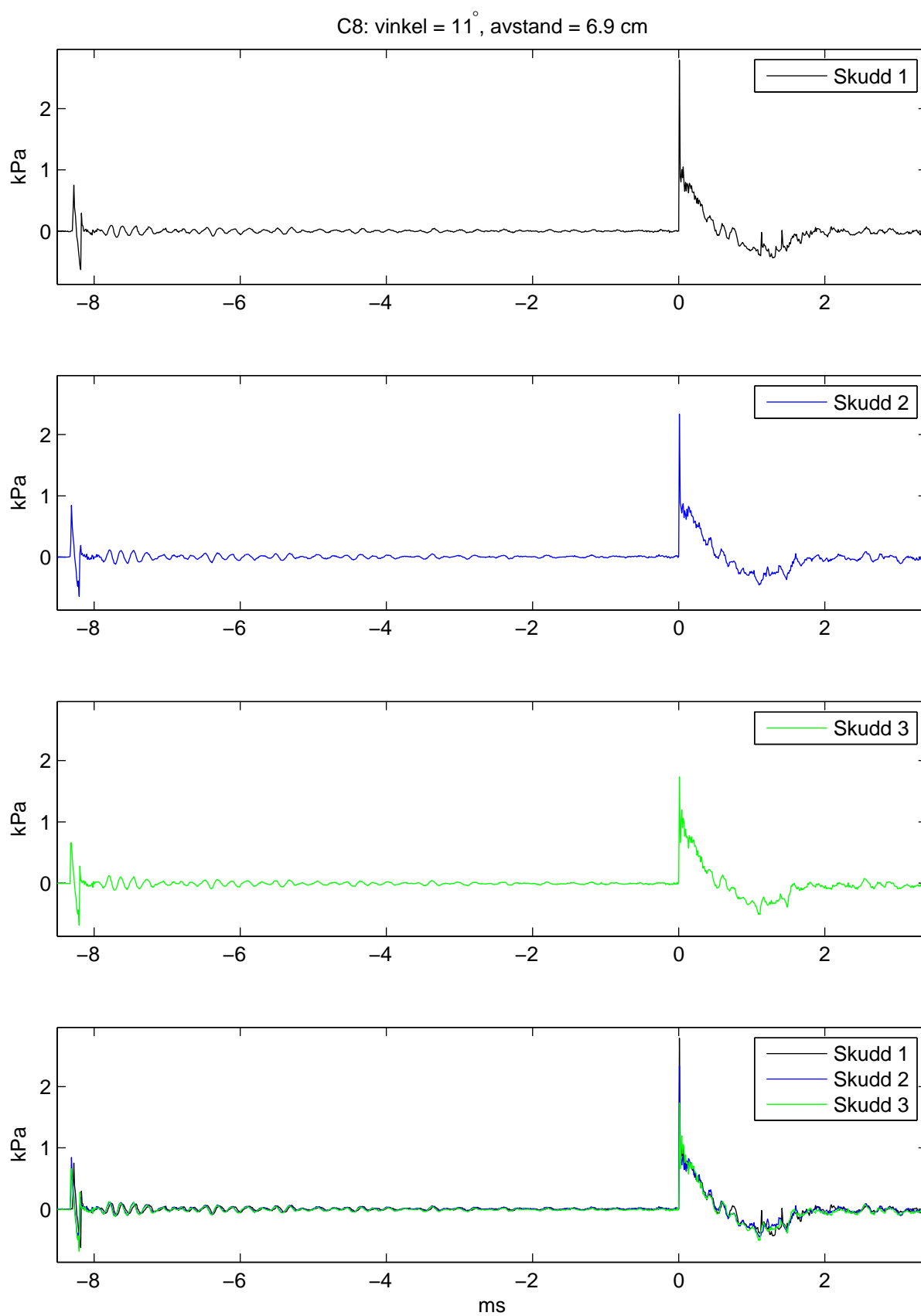
Figur C.9 Trykket som funksjon av tiden.



Figur C.10 Trykket som funksjon av tiden.



Figur C.11 Trykket som funksjon av tiden.



Figur C.12 Trykket som funksjon av tiden.