

Roger Berglund

Utformning bergtunnlar Etapp 10



TOTALFÖRSVARETS FORSKNINGSINSTITUT

Vapen och skydd

147 25 Tumba

FOI-R--0873--SE

Maj 2003

ISSN 1650-1942

Teknisk rapport

Roger Berglund

Utformning bergtunnlar Etapp 10

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Vapen och skydd 147 25 Tumba	Rapportnummer, ISRN FOI-R--0873--SE	Klassificering Teknisk rapport
	Forskningsområde 5. Bekämpning	
	Månad, år Maj 2003	Projektnummer E2352
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde 53 Skydd och anläggningsteknik	
Författare/redaktör Roger Berglund	Projektledare Anders Carlberg	
	Godkänd av	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarsmaktens högkvarter, KRI MTRL anlägg	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Utformning bergtunnlar Etapp 10		
Sammanfattnings (högst 200 ord) <p>För att studera luftstötsvågsutbredningen i ett tunnelssystem påbörjades ett projekt 1995 med försök i full- och modellskala. Fullskaleförsöken har utförts i en bergtunnel på Älvdalens skjutfält. I denna etapp (Etapp 10) studerades effekten av olika små hål (<1 m²) i en barriär. Syftet var att se om diverse utrustning får tillräckligt skydd bakom en barriär som ej är helt tät. Tryckuppbyggnaden studerades i hela tunneln men tonviken låg på effekterna bakom barriären.</p> <p>Dessa försök genomfördes endast som fullskaleförsök. Som laddning användes 125 respektive 625 kg Prillit på olika avstånd från barriären.</p>		
Nyckelord Bergtunnlar, luftstötvåg, komplexa geometrier, fortifikation, experiment, barriärer		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 112 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization	Report number, ISRN	Report type
FOI – Swedish Defence Research Agency Weapons and Protection SE-147 25 Tumba	FOI-R--0873--SE	Technical report
Programme Areas		
5. Combat		
Month year	Project no.	
May 2003	E2352	
General Research Areas		
5. Commissioned Research		
Subcategories		
53 Protection and Fortification		
Author/s (editor/s) Roger Berglund	Project manager Anders Carlberg	
Approved by		
Sponsoring agency Swedish Armed Forces Headquarters		
Scientifically and technically responsible		
Report title (In translation) Design of Rock Tunnels Phase 10		
Abstract (not more than 200 words) In order to study the propagation of blast wave in tunnel systems, a project started 1995 with tests in full scale and model scale. The full-scale test has been performed in a rock tunnel at the shooting range in Älvadalen. In this phase (10) the effect of different sizes of holes ($<1\text{ m}^2$) in a barrier were studied. The objective of this study was to verify that protection for certain equipment can be achieved behind a barrier not completely closed. The pressures were monitored in the whole tunnel system but the emphasis was on the effects behind the barrier. In this phase, only full-scale tests were performed. A charge of 125 or 625 kg of ANFO were detonated at different distances from the barrier.		
Keywords Rock tunnels, air blast, complex geometry's, fortification, experiments, barriers		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 112 p.	
	Price acc. to pricelist	

Innehållsförteckning

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	5
BAKGRUND	7
FULLSKALEFÖRSÖK	9
<i>Förberedelse före försöken</i>	9
<i>Försöksprogram</i>	9
<i>Instrumentering</i>	12
<i>Registreringsutrustning</i>	14
<i>Sprängmedel</i>	15
<i>Iakttagelser efter försök</i>	15
RESULTAT	17
<i>Allmänt om utvärdering</i>	17
<i>Barriären</i>	18
<i>Bakom barriären</i>	19
<i>Övriga tunneln</i>	25
<i>Tabeller över front och maxtryck</i>	26
<i>Tabeller över impulsstäthet</i>	26
<i>Tabeller över ankomsttider och fronthastigheter</i>	27
TIDIGARE ETAPPER	29
REFERENSER	31
REGISTRERINGAR	33
<i>Test 01: avstånd 5 m, 125 kg Prillit</i>	33
<i>Test 03: avstånd 5 m, 125 kg Prillit</i>	38
<i>Test 04: avstånd 10 m, 625 kg Prillit</i>	43
<i>Test 05: avstånd 5 m, 125 kg Prillit</i>	48
<i>Test 08: avstånd 5 m, 125 kg Prillit</i>	53
<i>Test 10: avstånd -2 m, 125 kg Prillit</i>	58
<i>Test 11: avstånd 10 m, 625 kg Prillit</i>	63
<i>Test 12: avstånd 5 m, 125 kg Prillit</i>	68
<i>Test 13: avstånd -2 m, 125 kg Prillit</i>	73
<i>Test 14: avstånd 10 m, 625 kg Prillit</i>	78
<i>Test 15: avstånd 5 m, 125 kg Prillit</i>	83
<i>Test 17: avstånd -2 m, 125 kg Prillit</i>	88
<i>Test 18: avstånd 10 m, 625 kg Prillit</i>	93
<i>Test 19: avstånd 5 m, 125 kg Prillit</i>	98
<i>Test 21: avstånd -2 m, 125 kg Prillit</i>	103
<i>Test 22: avstånd 10 m, 625 kg Prillit</i>	108

Bakgrund

FOA/FOI har sedan 1995 deltagit i projekt benämnt ”Utformning av bergtunnlar” där stötvågsutbredning studerats i ett tunnelsystem som successivt byggs ut i olika etapper. Fullskaleförsöken har utförts i en bergtunnel belägen på Älvdalens skjutfält. Till tidigare etapper har datorsimuleringar och modellförsök genomförts parallellt med huvudförsöken. De tidigare 9 etapperna redovisas i separata rapporter [1-8]. En schematisk sammanfattning kan läsas i kapitlet ”Tidigare etapper”.

Syftet med försöksserierna har varit att studera om skydd av diverse utrustning och personer, mot detonationer i anslutning till en tunnel, kan uppnås utan portar eller barriärer i tunneln. Ytterligare ett syfte är att öka förståelsen och förbättra förutsägelsen av stötvågens utbredning och styrka.

Under 2001 genomfördes etapp 9, där en barriär med variabel öppning, 0-9 m², har byggts för att se inverkan av barriären i övriga tunneldelar samt undersöka förhållandena bakom barriären.

Under 2002 genomfördes etapp10, där hål mindre än 1 m² att studerades. Öppningarna bestod i alla fall utom ett av runda hål med diametrar från 0.05 m till 0.350 m. En försöksserie utfördes med rektangulära hål, 0.55x0.65m.

I denna rapport presenteras försöksgenomförande och vissa resultat. En mer ingående analys av registreringarna genomförs av Carl Bro och redovisas i en separat rapport.

Fullskaleförsök

Förberedelse före försöken

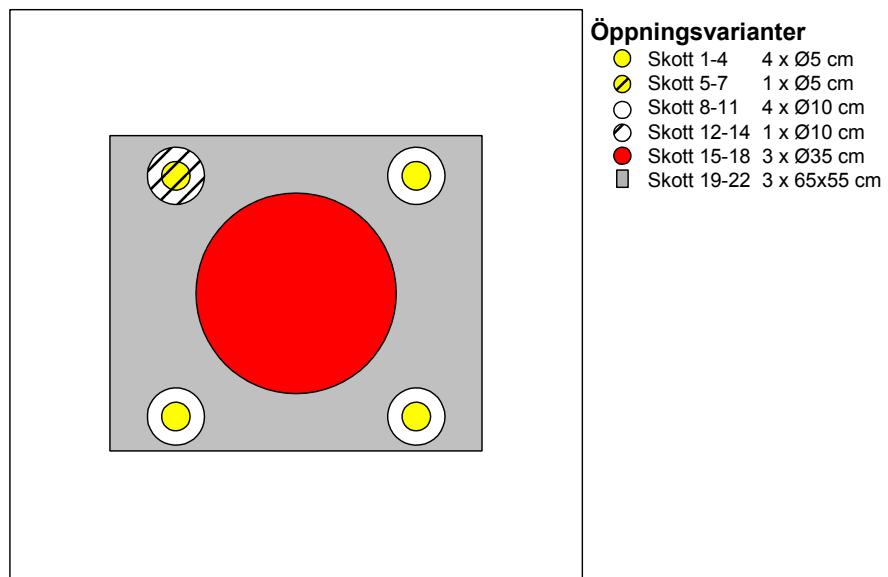
Inför etapp 9 byggdes en barriär 36.5 m in i huvudtunneln. Den konstruerades så att 3 centrerade segment i mitten på vardera 1 m^2 kunde monteras bort var för sig. Öppningen kunde alltså varieras i steg. Den öppningsbara stålkonstruktionen stöds av en betongkonstruktion som är 2 meter tjock. Segmenten består av plåtar med en tjocklek på 40 mm. Den i etapp 9 monterade U-balken användes även delvis i denna etapp. En ny mindre mätbalk med möjlighet att även mäta tryck i en 45 graders riktning bakom en öppning konstruerades. Se Bild 1. Den nya balken beskrivs utförligt i kommande kapitel. Den nya mindre öppningarna understöddes av rör med samma diameter som öppningarna. Rören avslutades och fixerades vid en stålskiva. Detta för att efterlikna en barriär med 2 meters tjocklek.



Bild 1. Mätbalkarna sedda inifrån.

Försöksprogram

Såsom vid tidigare etapper användes laddningar av Prillit. Laddningsmängden var 125 kg eller 625 kg. Säckarna travades ovanpå ett 60 cm högt "frigolitbord". De placerades på -2, 5 respektive 10 m avstånd från tunnelmynningen. Första 14 skotten gjordes med 1, 3 eller 4 cirkulära öppningar. Hålen storlek ökade successivt från en diameter på 0.05 m, 0.1 m till 0.350 m. Då endast ett hål användes pluggades de andra igen med hjälp av träpluggar. Avslutningsvis användes 3 st. rektangulära hål, 0.55x0.65 m. Vid de större öppningarna, skott 15-22, användes alla tre luckorna med ett hål i varje. Försöken på 5 m upprepades hela tiden minst en gång för att testa repeterbarheten. 10 meters och -2 meters skotten upprepades inte för att skona tunneln från skador.



Figur 1. Försöksprogrammets olika öppningar utifrån sett. Den vita ramen motsvarar en av de tre öppningsbara luckorna.



Bild 2. Montering av det sista besvärliga 0.350 hålet som ju även användes som ingång. I mitten fyra igenpluggade 0.1 hål.



Bild 3. De 3 rektangulära hålen inför sista 4 skotten.

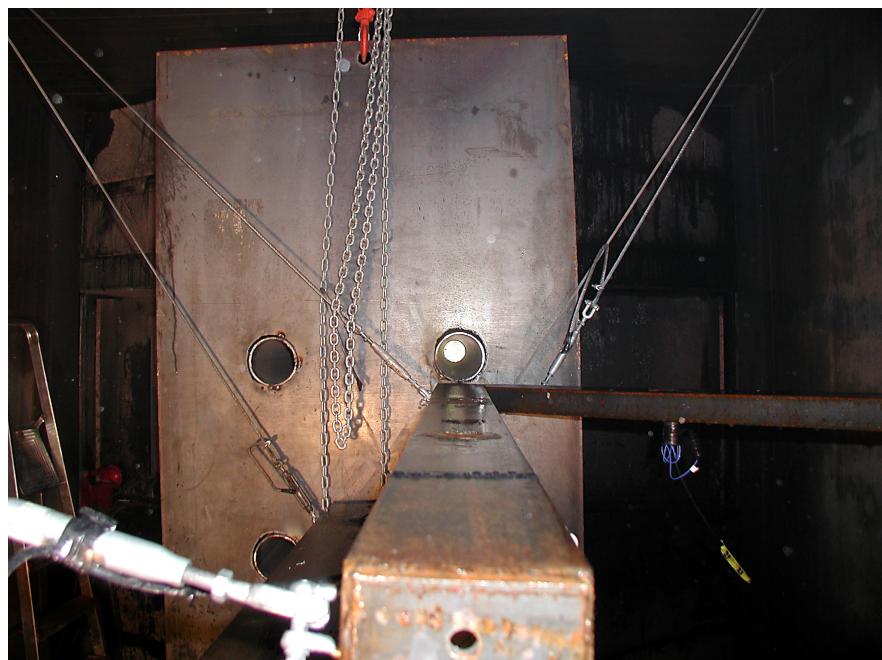


Bild 4. De wajerupphängda lilla mätbalken bakom ett av de övre 0.1 hålen. Nere till vänster syns den gamla mätbalken. Notera den stålskiva som skall efterlikna baksidan av den 2 meter tjocka barriären.

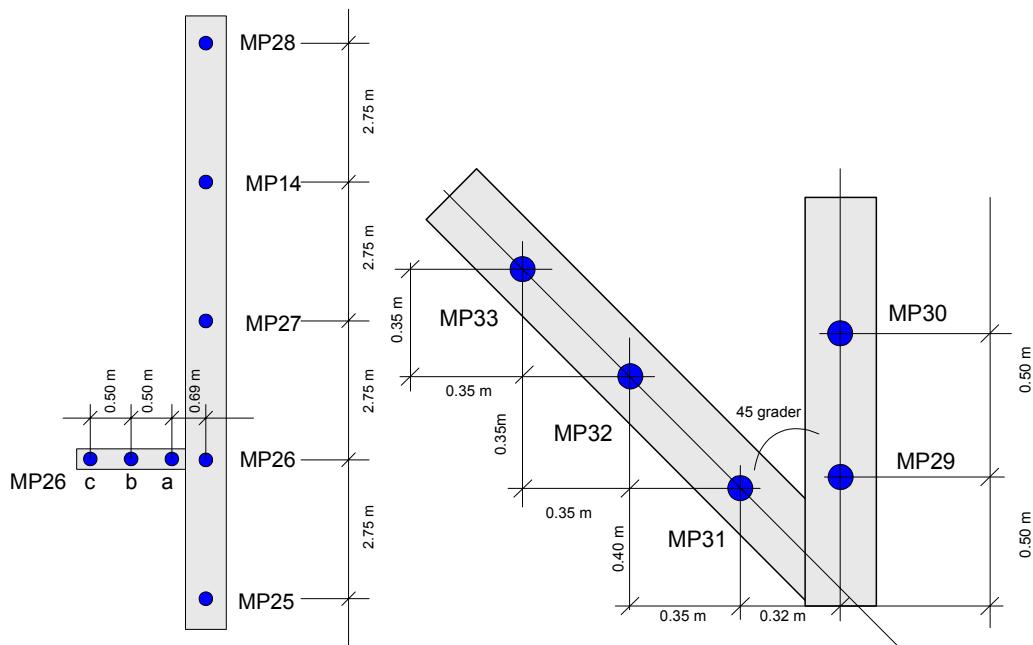
Försöksprogrammet presenteras i sin helhet i Tabell 1. Några planerade skott sköts inte då nivåerna bakom knappt blev mätbara.

Tabell 1. Sammanfattning av försöken vid etapp 10.

Skott	Laddning (Prillit)	Avstånd [m]	Öppningar [m]	Area [m ²]	Datum	Anmärkning
1	125	5	4xØ 0.05	0.0079	02-04-22	
2	125	5	4xØ 0.05	0.0079	02-04-22	Sköts ej
3	125	-2	4xØ 0.05	0.0079	02-04-22	
4	625	10	4xØ 0.05	0.0079	02-04-23	
5	125	5	1xØ 0.05	0.0020	02-04-24	
6	125	-2	1xØ 0.05	0.0020		Sköts ej
7	625	10	1xØ 0.05	0.0020		Sköts ej
8	125	5	4xØ 0.1	0.0314	02-04-25	
9	125	5	4xØ 0.1	0.0314	02-04-25	
10	125	-2	4xØ 0.1	0.0314	02-04-25	
11	625	10	4xØ 0.1	0.0314	02-04-25	
12	125	5	1xØ 0.1	0.0079	02-04-25	
13	125	-2	1xØ 0.1	0.0079	02-04-25	
14	625	10	1xØ 0.1	0.0079	02-04-25	
15	125	5	3xØ 0.350	0.29	02-04-29	
16	125	5	3xØ 0.350	0.29	02-04-29	
17	125	-2	3xØ 0.350	0.29	02-04-29	
18	125	10	3xØ 0.350	0.29	02-04-29	
19	125	5	3x0.55x0.65	1.07	02-04-29	
20	125	5	3x0.55x0.65	1.07	02-04-30	
21	125	-2	3x0.55x0.65	1.07	02-04-30	
22	625	10	3x0.55x0.65	1.07	02-04-30	

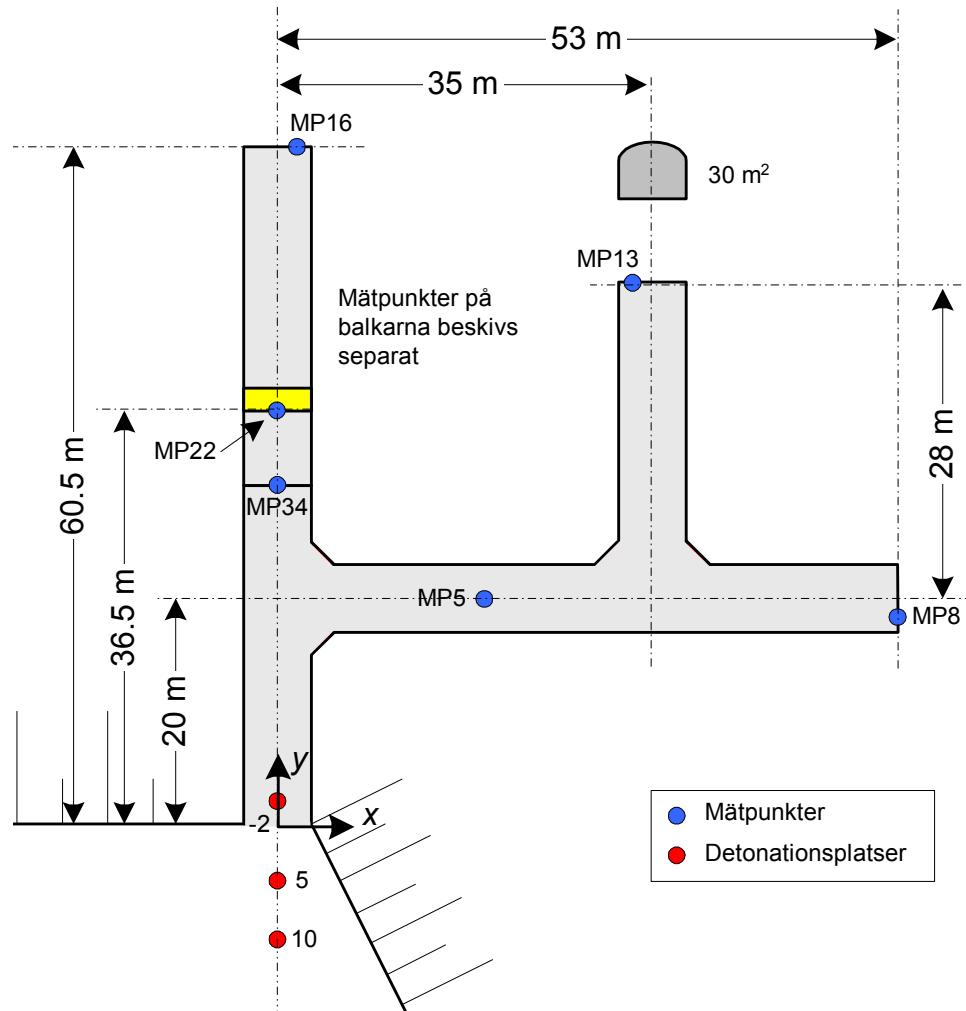
Instrumentering

Vid de inledande 14 skotten användes givare P26, P27 och P28 på den långa centriskt placerade balken. En extra V-formad balk konstruerades också för dessa försök. På denna placerades 5 st. side-on givare. 2 st. i linje med övre högra hålen och 3 st. i 45° vinkel från samma hål. Vid skott 15-22 användes alla givare på balken såsom i etapp 9. Vid dessa försök blev V-balken överflödig varvid delen med 3 givare istället monterades på andra balken. På så sätt skapades en vinkelrät linjeutgående från P26. Givarna benämndes P26a, P26b och P26c. Se Figur 2.



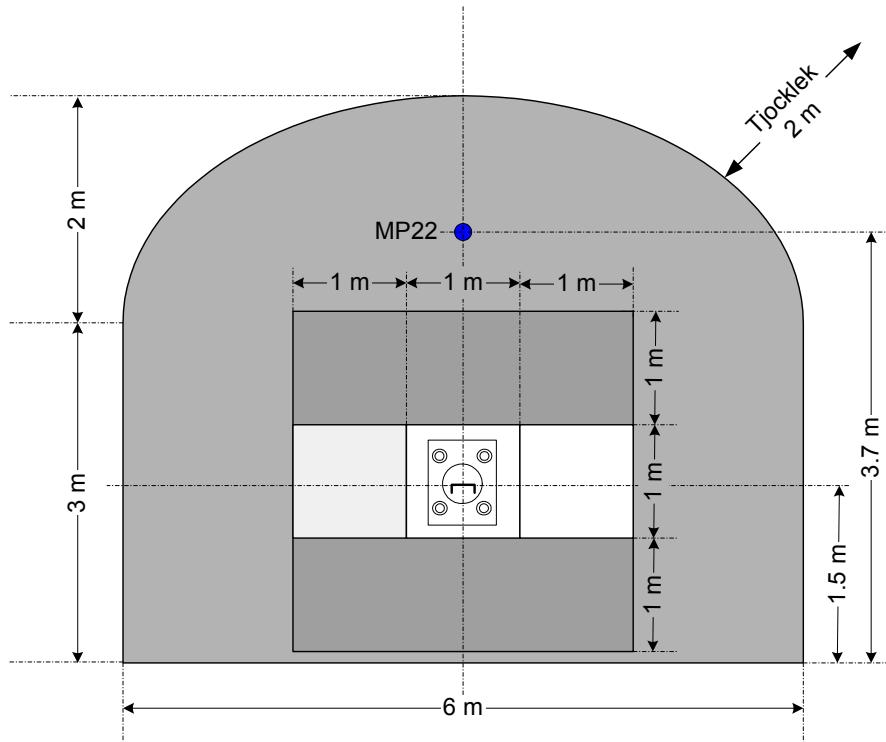
Figur 2. Layout på mätbalkarna.

Förutom givarna på balkarna har fem givare från tidigare försök används P34, P5, P8, P13 och P16. Givarna med placering sammanfattas i Tabell 2. Tvärsektion av barriären och en plan över tunnelsystemet visas i Figur 3 och Figur 4.



Figur 3. Plan över tunnelsystemet.

Från och med test 8 spelades en ”triggsignal” in. En kabel virades runt sprängdegen och matades med 5 volt. Vid detonation slets kabeln av varvid tidpunkten kunde identifieras.



Figur 4. Tvärsektion av barriären.

Tabell 2. Sammanfattning av givare med placering.

Givare	Typ	Serie nr	x	y	h	Test	Anmärkning
34	PCB 113A51 Side-on	1703	0	30	0.5	Alla	"Lollipop"
"	PCB 113M66 Side-on	3658	"	"	"	"	From skott 15
Barriär			---	36.5+2			
5	PCB 113M66 Side-on	2074	18	20	0.5	Alla	"Lollipop"
8	PCB 113A24 Reflektion	12553	53	18	1.5	Alla	
13	PCB 113A24 Reflektion	12554	35	48	1.5	Alla	
14	PCB 113A24 Side-on	11088	0	46.95	1.5	15-22	På balk
16	PCB 113A24 Reflektion	8781	2	60.5	1.5	Alla	
22	PCB 113A24 Reflektion	11628	0	36.5	3.7	Alla	
25	PCB 113A24 Side-on	12555	0	38.7	1.5	15-22	På balk
26	PCB 113A24 Side-on	11632	0	41.45	1.5	Alla	På balk
26a	PCB 113A24 Side-on	12552	-0.69	41.45	1.5	15-22	På balk
26b	PCB 113A24 Side-on	11629	-1.19	41.45	1.5	15-22	På balk
26c	PCB 113A24 Side-on	8525	-1.69	41.45	1.5	15-22	På balk
27	PCB 113A24 Side-on	11633	0	44.20	1.5	Alla	På balk
28	PCB 113A24 Side-on	11085	0	49.7	1.5	Alla	På balk
29	PCB 113A24 Side-on	11630	-0.22	39.0	~1.7	1-14	På liten balk
30	PCB 113A24 Side-on	11088	-0.22	39.5	~1.7	1-14	På liten balk
31	PCB 113A24 Side-on	8525	-0.54	38.9	~1.7	1-14	På liten balk
32	PCB 113A24 Side-on	11629	-0.89	39.25	~1.7	1-14	På liten balk
33	PCB 113A24 Side-on	12552	-1.24	39.6	~1.7	1-14	På liten balk

Registreringsutrustning

För att registrera signalerna användes ett 16 kanaligt Nicolet Vision system. Den maximala samplingshastigheten på 100 kHz med ett analogt filter på 20 kHz användes.

Sprängmedel

Vid försöken användes Prillit som är DynoNobels namn på deras standard ANFO sprängmedel. Det består av en granulerad blandning av ammoniumnitrat och 6 % dieselolja. Det används vanligen för laddningar i torra borrhål. Prillit levereras i säckar om 25 kg. Prillit antas ha en TNT ekvivalent på 0.8.

Tekniska data

Densitet	800 kg/m ³
Energi innehåll	4.0 MJ/kg
Detonations hastighet	~ 3 000 m/s



Bild 5. En 625 kg laddning på 10 meters avstånd från tunnelmycket.

Iakttagelser efter försök

När stötvägen passerar balkarna drar den dem med sig. Förutom att kablarna ibland slits av kan rörelsen även störa signalen. Mera högfrekventa skakningar försvårar också registreringarna.

Skador på sprutbetong i tunneln och vid tunnelmycket har uppstått. Skadorna på den högra (utifrån sett) delen av skärning var så allvarliga att den delvis fick rekonstrueras. Detta genomfördes efter etappens slut.

Resultat

Allmänt om utvärdering

En del försök upprepades för att kontrollera repeterbarheten. Överensstämmelsen är mycket god mellan försöken. I kapitlet **Registreringar** visas endast försök 1, 3, 4, 5, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 21 och 22.

Vid utvärderingen av maximalt värde har värdena tagits utan ytterligare filtrering.

Som kontroll har hastigheterna mellan två mätpunkter räknats ut. På detta sätt säkerställs att rätt topp har mätts. Detta pga. utbredningshastigheten bör var lika med ljudhastigheten eller högre. Givetvis har hastigheterna även ett egenintresse.

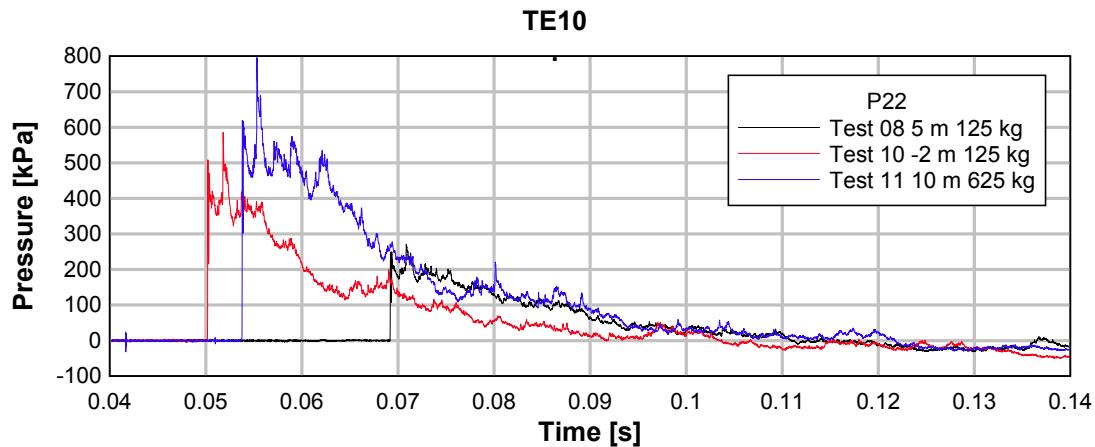
Impulstäthefter eller andra maximum än fronttrycket bakom barriären är mycket svåra att tolka. Dels pga. att balkarna skakar till vid detonationen men också att flera hål i barriären ger fler vågfronter som kan samverka. Nivån på trycken speciellt bakom de små hålen är också så låga att den allmänna bruset försvårar tolkningen.

I de fallen impulstäthen har flera maximum har den första toppen angivits i tabellen.

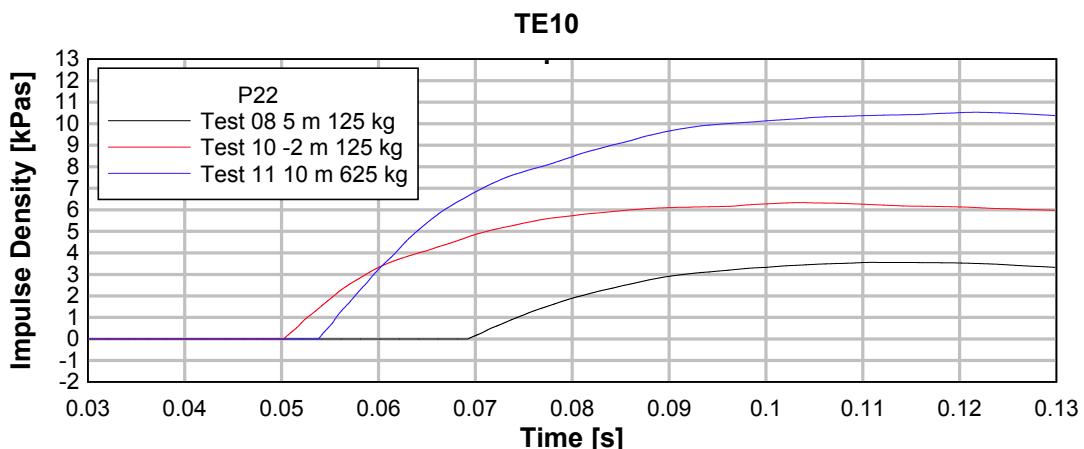
Huvudsyftet med försöket är att visa effekten av olika barriäröppningar dels bakom barriären men även i övriga tunneldelar. Effekten av laddningsmängd och detonations avstånd presenteras också. Den mest ”ostörda” utvärdering kan göras med fronttrycket då de maximala trycken ofta är effekter av en mängd andra faktorer såsom flera interfererande reflektioner. Side-on givarna mäter då också reflekterade vågor vilket klart överskattar maxvärderna. Givarna på balken skakas om kraftigt när tryckvågen passeras vilket gör utvärderingen svår. Huvudvikten är där också lagd på den första vågtoppen.

Barriären

I denna etapp användes bara en givare på barriären nämligen P22. Här varierar tryckregistreringarna endast med olika laddnings mängd och avstånd.



Figur 5. Tryckregistreringar vid mätpunkt 22 för olika laddningar.



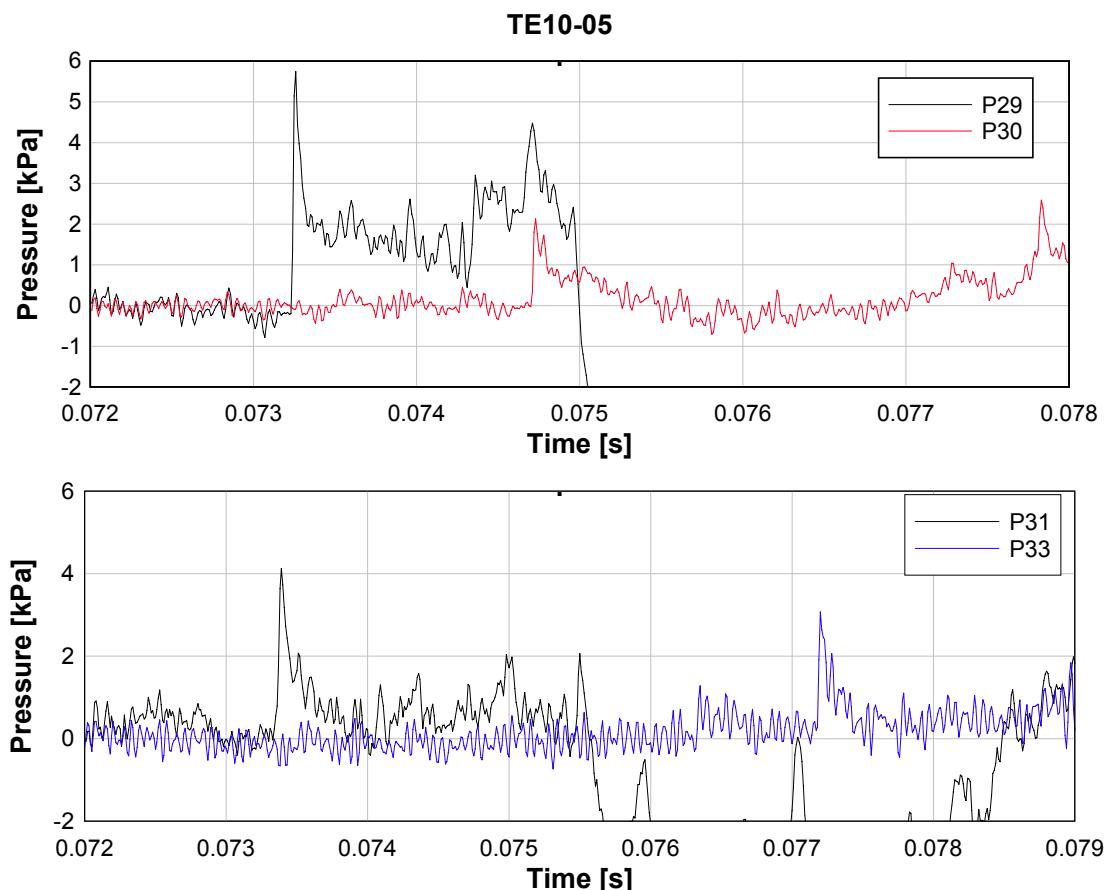
Figur 6. Impulstätheten vid mätpunkt 22 för olika laddningar.

Bakom barriären

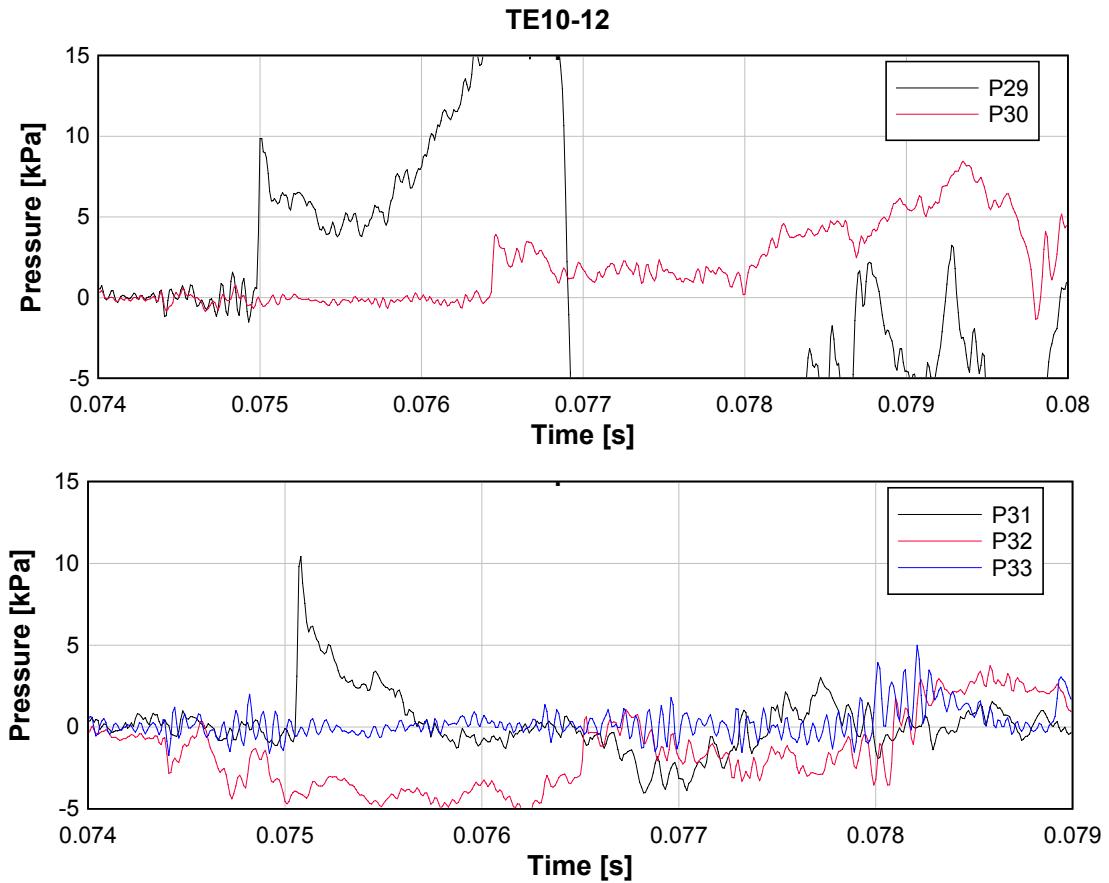
Mätningar bakom barriären kan delas in i tre delar. De två första är med öppningar i bara mittluckan. Den första har ett cirkulärt hål (test 5, 12-14) och den andra med 4 lika cirkulär hål (1, 3, 4, 8-11). Den tredje har öppningar i alla tre såsom i etapp 9(15-22).

Ett cirkulärt hål:

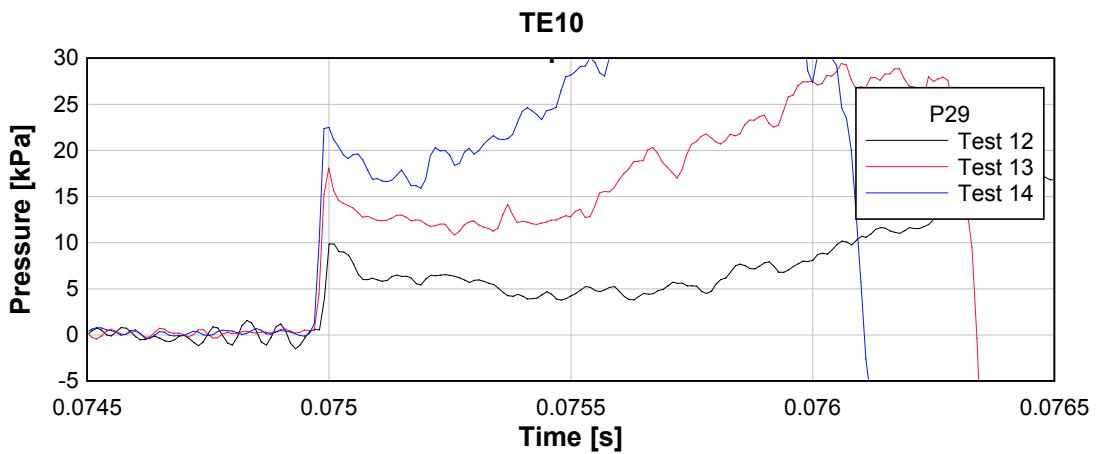
Här är den ”triangulära” mätbalken den viktigaste.



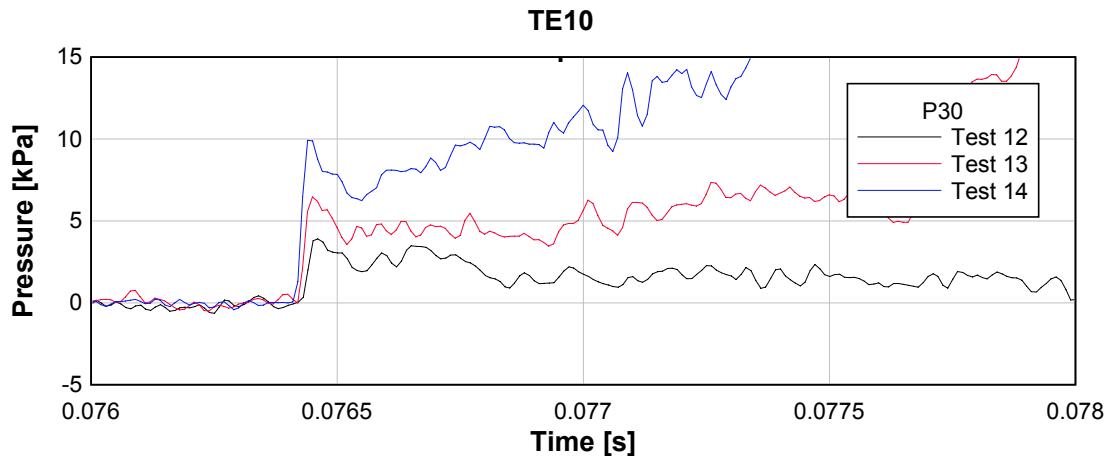
Figur 7. Trycket på den triangulära balken med ett cirkulärt 5 cm hål, 5 m avstånd samt 125 kg Prillit.



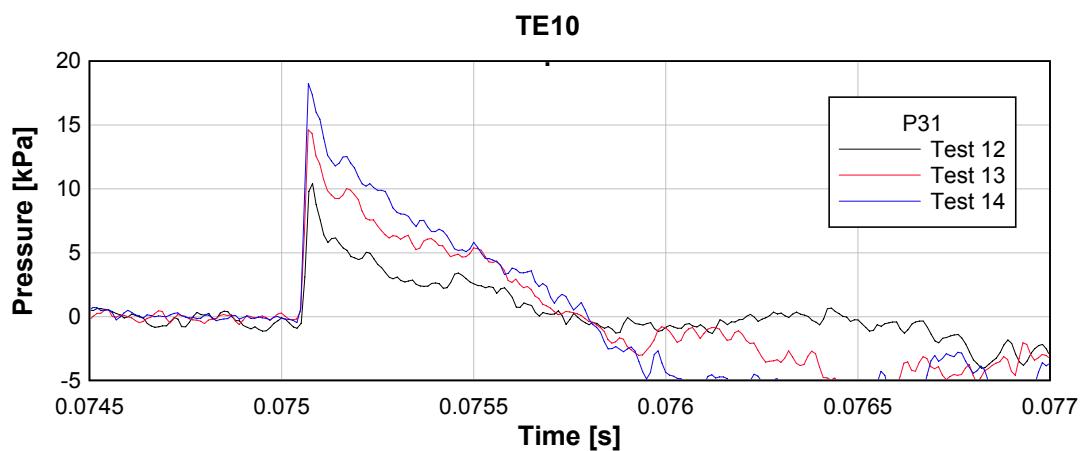
Figur 8. Trycket på den triangulära balken med ett cirkulärt 10 cm hål, 5 m avstånd samt 125 kg Prillit.



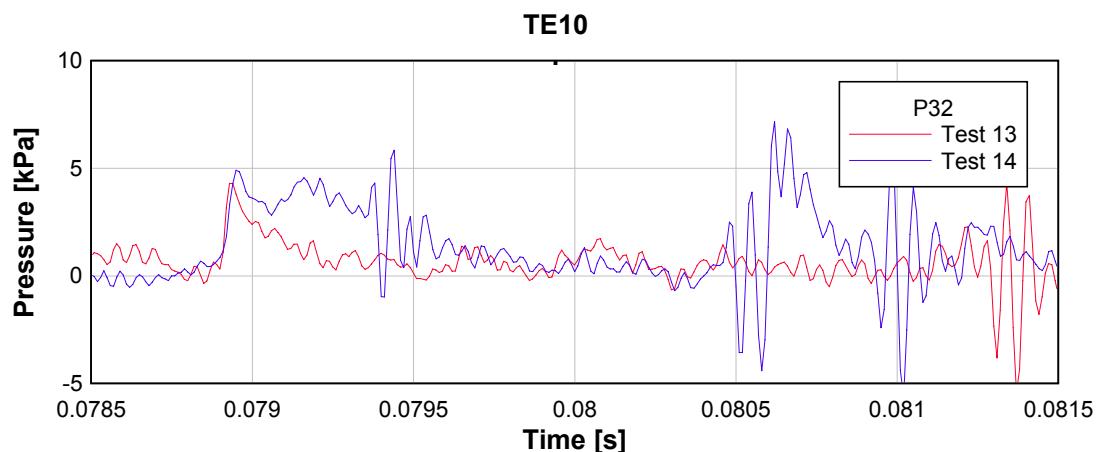
Figur 9. Trycket vid mätpunkt 29 och ett cirkulärt 10 cm hål samt tre olika belastningsfall. Obs kurvorna förskjutna så att vågfronten sammanfaller i tid.



Figur 10. Trycket vid mätpunkt 30 och ett cirkulärt 10 cm hål samt tre olika belastningsfall.
Obs ankomsttiderna förskjutna.



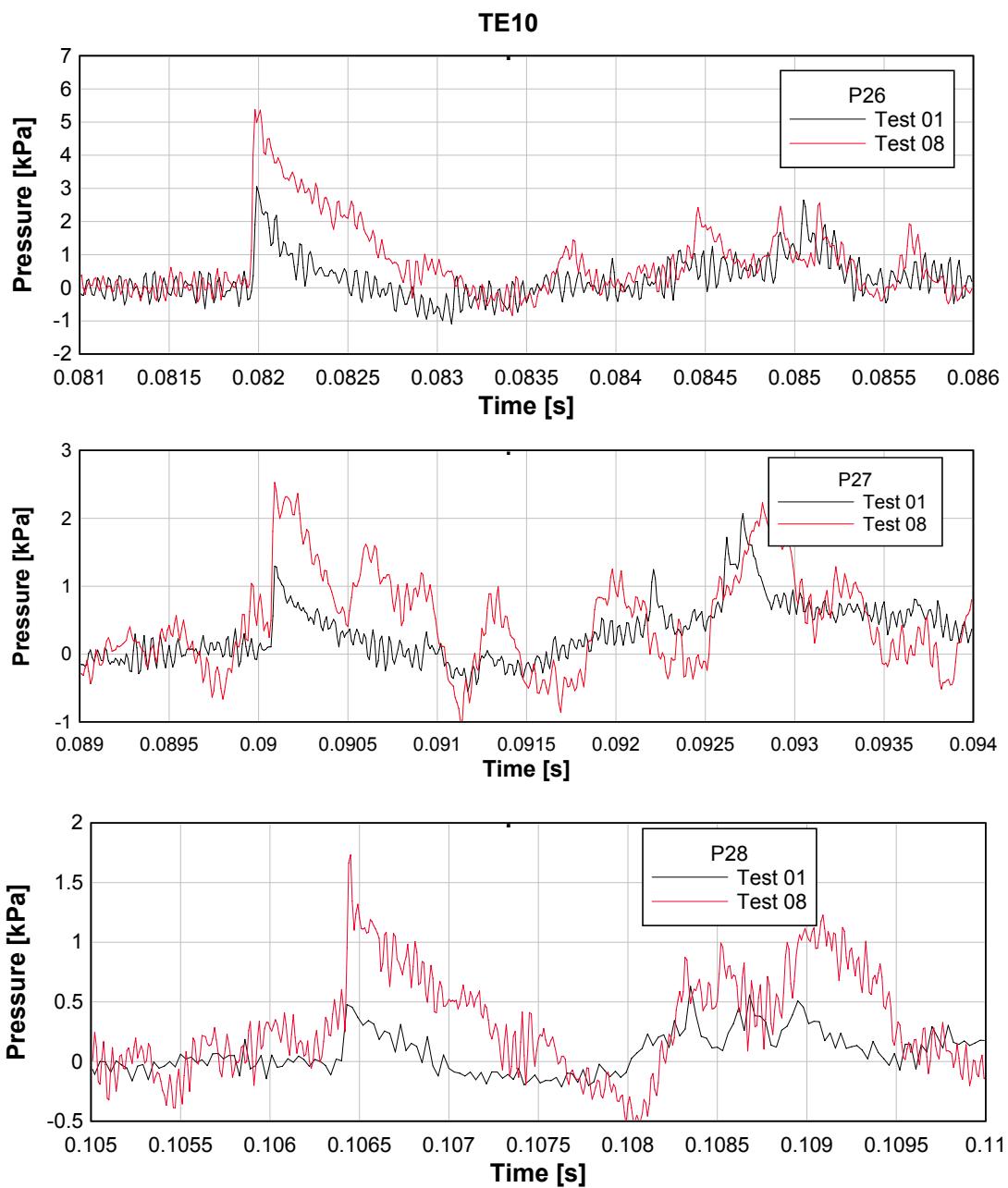
Figur 11. Trycket vid mätpunkt 31 och ett cirkulärt 10 cm hål samt tre olika belastningsfall.
Obs ankomsttiderna förskjutna.



Figur 12. Trycket vid mätpunkt 32 och ett cirkulärt 10 cm hål samt tre olika belastningsfall.
Obs ankomsttiderna förskjutna.

Fyra cirkulära hål:

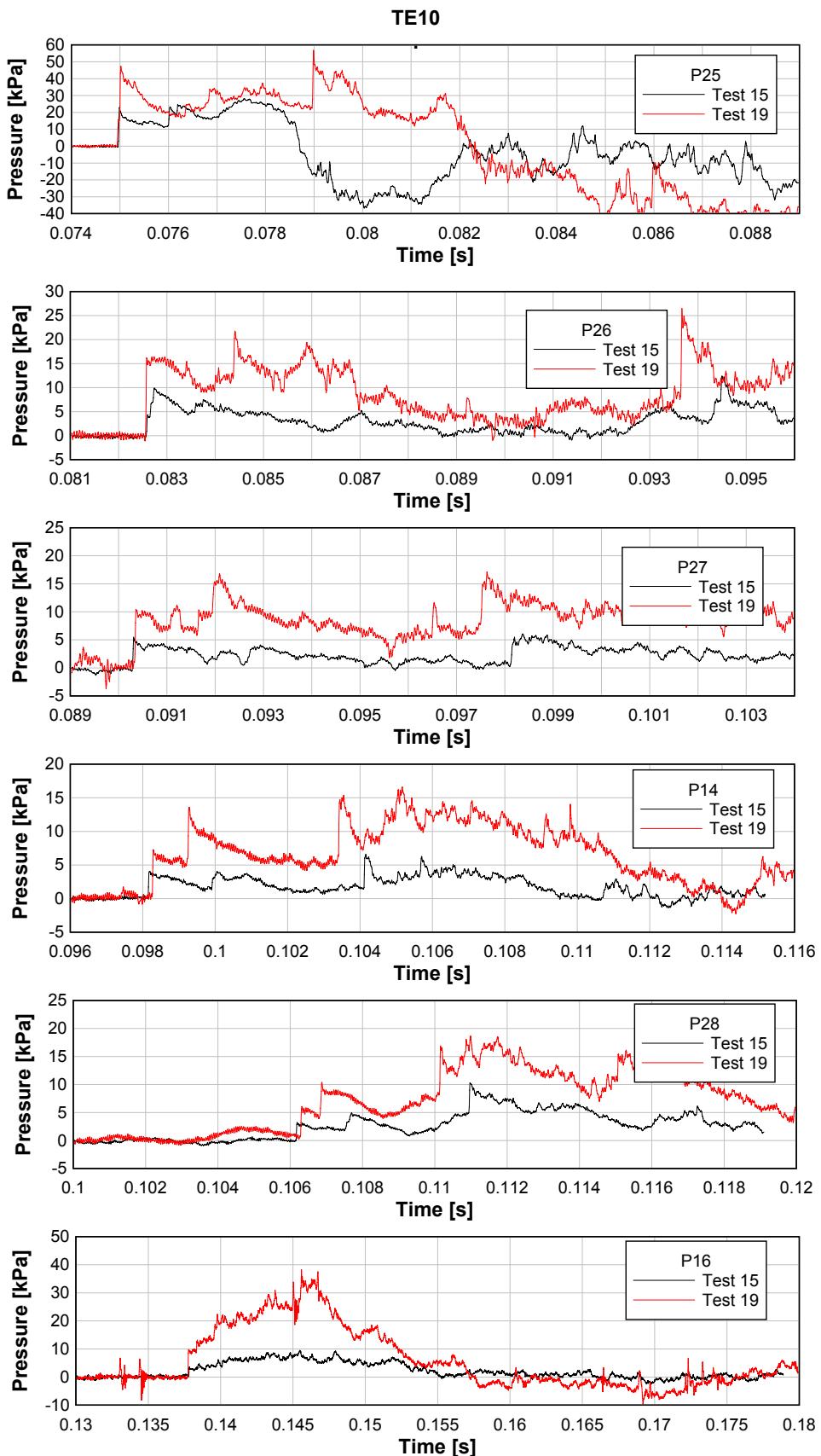
Här är den långa mätbalken symmetriskt placerad i förhållande till hålen emedan den "triangulära" mätbalken blir något "snedbelastad".



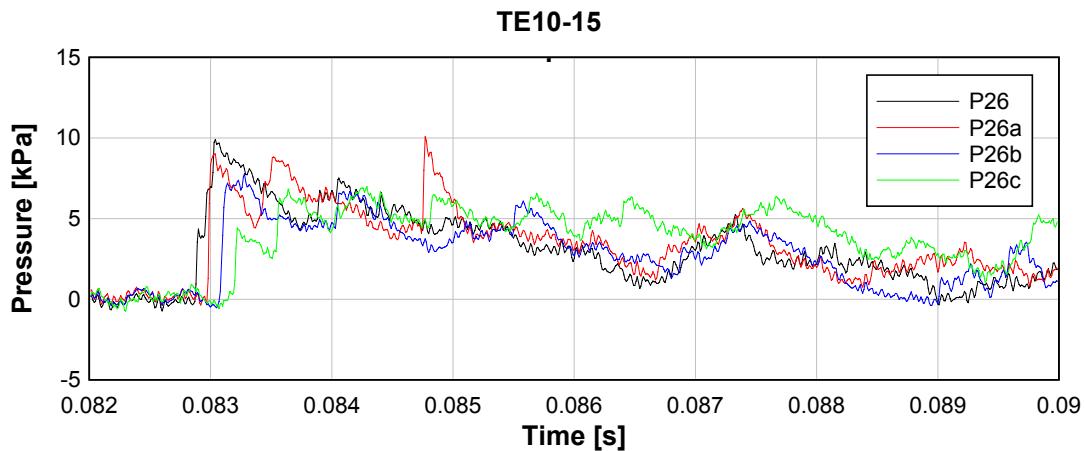
Figur 13. Trycket på den långa mätbalken och fyra cirkulära hål, diameter 5 cm eller 10 cm.

Tre större öppningar:

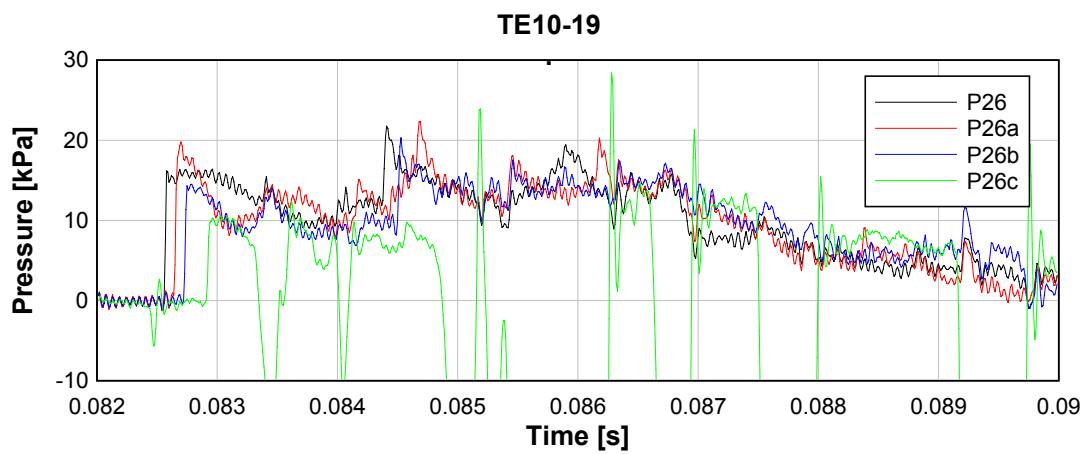
Här är den ”trekantiga” mätbalken ersatt en tvärgående mätbalk i höjd med P26.



Figur 14. Trycket på den stora mätbalken med 125 kg Prillit, 5 m och tre stora hål, 0.35 m diameter eller 0.5x0.65 m.



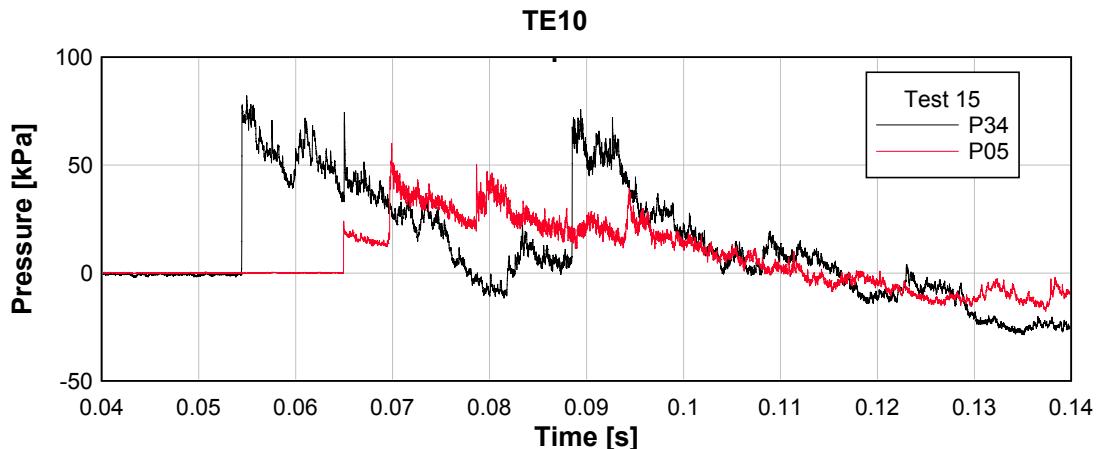
Figur 15. Trycket tvärs den långa mätbalken vid mätpunkt 26 vid tre cirkulära hål 0.35 m, 5 m avstånd och 125 kg Prillit.



Figur 16. Trycket tvärs den långa mätbalken vid mätpunkt 26 vid tre rektangulära hål 0.55x0.65 m, 5 m avstånd och 125 kg Prillit.

Övriga tunneln

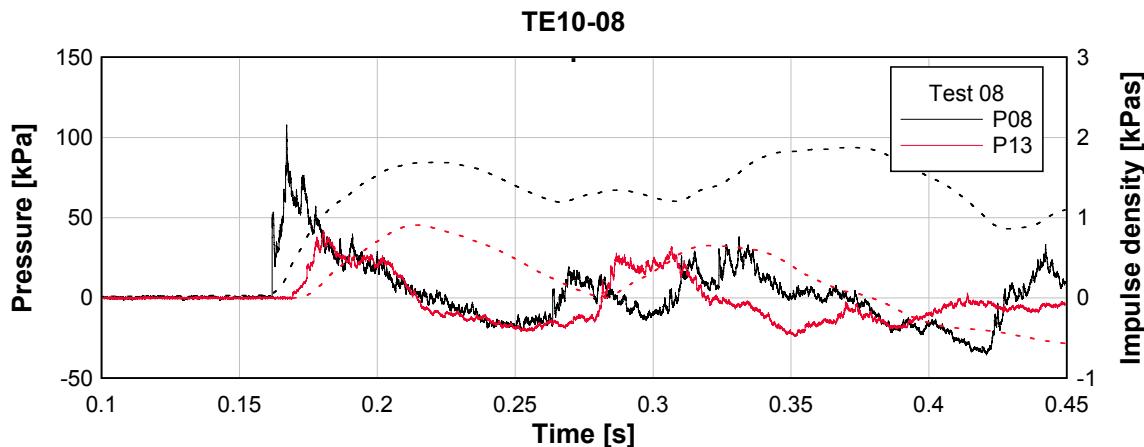
Mätningarna i övriga tunneldelarna visar inte på några nyheter utan överensstämmer väl med tidigare etapper. Dock var givare P34 defekt under test 1-14. Det verkar som om den dock registrerat topparna men inte hållit kvar trycket. Det resulterade i alltför låga impulser. Från och med test 15 är givaren utbytt.



Figur 17. "Side-On" tryck mot en givare rakt framför detonationen och en efter en 90 graders avlänkning.

I Figur 17 visar tryckkurvan för P34 en tydligt reflektionen mot barriären. Vid P05 ankommer först en direkt front. Kort därefter kommer en front som troligen studsat i den närliggande tunnelväggen. Den samverkar med den första samtidigt som den inte belastar givaren side-on utan snarare head-on. Denna kombination ger alltså maximalt tryck på P05.

Figur 18 visar en jämförelse mellan två reflektionsgivare placerade i olika tunneländar. Den stora skillnaden förutom att det är något längre till P13 är det framförallt en 90 graders böj extra jämfört med P08.



Figur 18. Reflektionstryck vid två tunneländar. Det är något längre till P13 men framförallt passeras en 90 graders böj extra jämfört med P08.

Tabeller över front och maxtryck

Tabell 3. Maximalt tryck [kPa].

Givare/Test	1	3	4	5	8	10	11	12	13	14	15	17	18	19	21	22
P34	77	151	214	83	78	153	158	77	135	152	82	161	215	91	183	220
P22	289	589	861	269	271	585	798	266	511	749	281	546	687	275	553	725
P05	55	130	124	56	53	80	110	55	82	103	60	79	106	55	81	108
P08	112	174	221	107	108	167	213	106	164	225	108	172	225	108	178	224
P13	34	*	110	39	42	78	100	42	71	97	45	75	96	43	75	100
P16	2	2	2.5	1	1	3	3	2	2	3	9.3	15	26	38	66	92

Tabell 4. Front tryck [kPa].

Givare/Test	1	3	4	5	8	10	11	12	13	14	15	17	18	19	21	22
P34	77	151	168	78	78	153	158	77	135	152	82	150	152	91	183	183
P22	271	532	726	255	249	507	620	250	465	580	247	478	600	249	613	613
P05	25	44	48	22	22	39	41	24	35	43	24	41	43	42	43	43
P08	54	94	121	50	51	86	122	50	84	114	49	73	112	91	116	116
P13																
P25											23	36	45	71	82	82
P26	3.1	5.3	5.3		5.3		11				9.9	17	23	29	43	43
P27	1.3	1.8			2.5						5.5	9.7	14	16	24	24
P14											4	7.5	9.2	10	24	24
P28	0.48	1			1.7	1.6					3.2	5.4	10	15	15	20
P16											3.6	8.3	24	24	35	
P29	6	17	14.5	5.8	13	18.7	21	9.9	18	22						
P30	2		4.1	2.1	4.3	6.5	9	3.9	6.5	9.9						
P31	5	5.9	8.6	4.1	11	13.8	20	10.5	14.6	18						
P32	2		2.5		3		8		7	7.5						
P33	1.6	4		3	2.7		4		4.3	4.8						
P26a											8.9	14	32	31	31	47
P26b											7.3	16	22	27	27	36
P26c											4.4	13	19	22	22	31

Tabeller över impulstäthet

Tabell 5. Impulstäthetsmax [kPas].

TestGivare	1	3	4	5	8	10	11	12	13	14	15	17	18	19	21	22
P34	0.086	0.163	0.188	0.072	0.073	0.138	0.166	0.071	0.121	0.173	0.898	1.44	2.1	0.958	1.45	2.03
P22	3.72	6.64	12.1	3.54	3.56	6.3	10.5	3.5	6.2	10.6	3.5	6.23	9.86	3.38	5.93	9.58
P05	0.925	1.42	2	0.904	0.897	1.33	1.95	0.911	1.3	1.9	0.95	1.4	1.88	0.916	1.28	1.89
P08	1.68	2.84	4.2	1.68	1.69	2.7	4.1	1.7	2.6	4.3	1.6	2.61	3.86	1.65	2.56	3.87
P13	0.444	0.796	1.77	0.785	0.909	1.46	1.9	0.934	1.44	2.2	1.4	2.12	2.89	1.38	2.04	3.02

P34, P08, P13 Första impulsstoppen

P34 Annan givare test 15- (1-14 defekt impuls)

Impulserna på balkarna svåra att utvärderbara då balken gungar till.

Tabeller över ankomsttider och fronthastigheter

Tabell 6. Ankomsttider [s] test 1-14.

Givare/Test	1	3	4	5	8	10	11	12	13	14
P34	0.0492	0.03597	0.03781	0.05219	0.05381	0.03673	0.04179	0.05393	0.03728	0.04195
P22	0.0646	0.04955	0.04967	0.06748	0.06918	0.05017	0.05376	0.06924	0.05099	0.05396
P05	0.0601	0.0481	0.05049	0.06268	0.06467	0.04858	0.0541	0.0642	0.04938	0.05439
P08	0.1574	0.13839	0.13443	0.16021	0.16183	0.13874	0.13915	0.16176	0.14039	0.1393
P13	0.1648	0.14879	0.14661	0.16743	0.1693	0.14888	0.15103	0.16889	0.15025	0.15123
P26	0.07762	0.06183	0.06167		0.08196	0.06043	0.06527			
P27	0.08578	0.06995			0.09007	0.07008	0.07329			
P28	0.10219	0.08633			0.10641	0.08638				
P29	0.07018	0.05108	0.05442	0.07323	0.07492	0.05521	0.05857	0.07497	0.05613	0.05877
P30	0.07166		0.05587	0.0747	0.07637	0.05664	0.05997	0.07642	0.05756	0.06018
P31	0.07031	0.05462	0.05453	0.07335	0.075	0.05529	0.05864	0.07505	0.05621	0.05885
P32	0.07179		0.056		0.07646		0.06001	0.0765	0.05966	0.06026
P33	0.07425			0.07718	0.07792		0.06152	0.0789	0.06048	0.06171

Tabell 7. Vågfrontshastigheter [m/s] test 1-14.

Givare/Test	1	3	4	5	8	10	11	12	13	14
0-P34	711	778	1058	671	650	762	957	649	751	953
P34-P22	422	479	548	425	423	484	543	425	474	541
P05-P08	360	388	417	359	360	388	412	359	385	412
P05-P13	363	377	395	363	363	379	392	363	377	392
P26-P27	337	339			339	285	343			
P27-P28	335	336			337	337				
P29-P30	338		346	339	345	350	355	345	351	354
P31-P32	338		341		342		366	345	145 ¹⁾	354
P32-P33	203				342		330	208	611 ¹⁾	345

¹⁾Troligen fel "topp".

Tabell 8. Ankomsttider [s] test 15-22.

Givare/Test	15	17	18	19	21	22
P34	0.05444	0.03741	0.04342	0.05416	0.03728	0.04272
P22	0.06994	0.05116	0.05597	0.06959	0.05104	0.05517
P05	0.06493	0.0494	0.0559	0.06435	0.04927	0.05514
P08	0.16304	0.14089	0.14264	0.16252	0.14062	0.14175
P13	0.17026	0.15072	0.15439		0.15048	0.15351
P25	0.07496	0.05561	0.06030	0.07515	0.05600	0.05995
P26	0.08287	0.06326	0.0677	0.08256	0.06304	0.06667
P27	0.09087	0.07106	0.07533	0.09032	0.07057	0.07393
P14	0.09895	0.07901	0.08319	0.09826	0.07835	0.08139
P28	0.10706	0.08703	0.09115	0.10628	0.08612	0.08897
P16	0.13890	0.11869	0.12255	0.13774	0.11700	0.11929
P26a	0.08297	0.06336	0.06785	0.08264	0.63169	0.06682
P26b	0.08307	0.06348	0.06796	0.08272	0.06330	0.06695
P26c	0.08318	0.06369	0.0682	0.08290	0.06354	0.06722

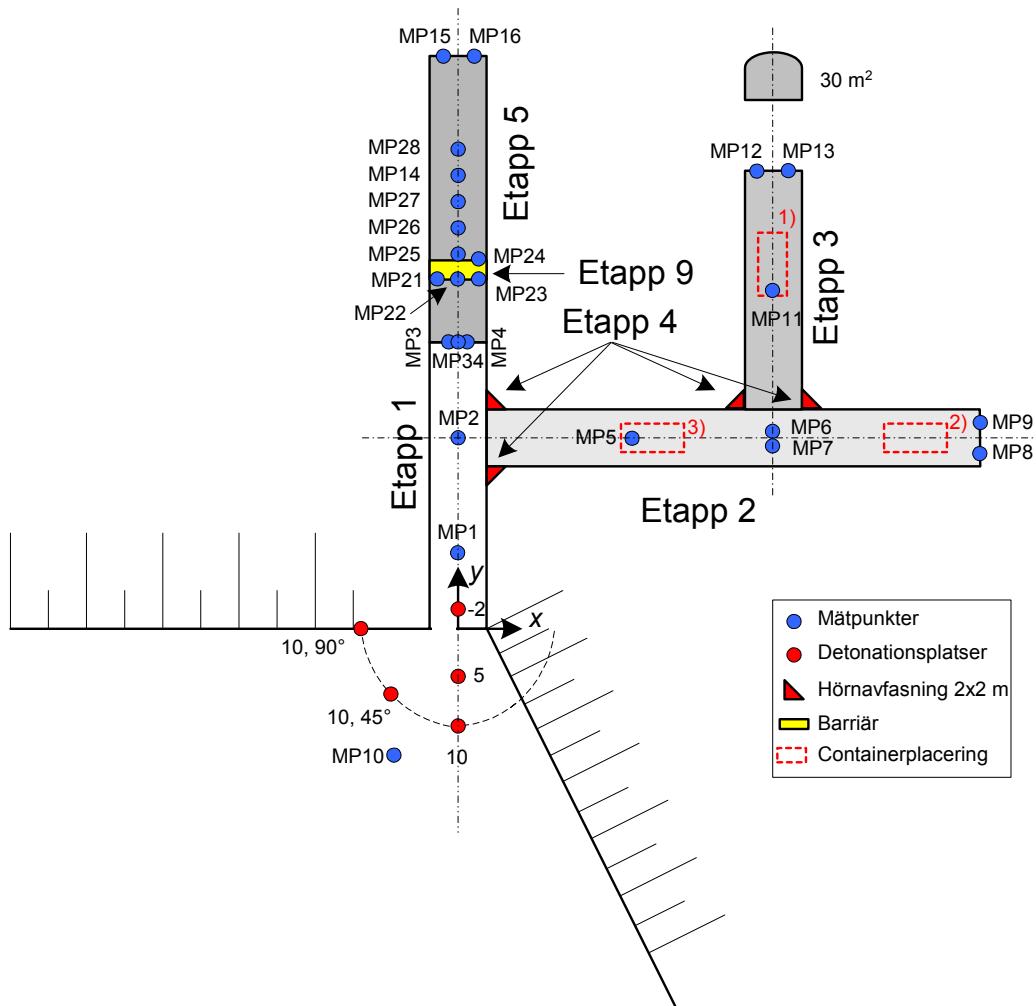
Tabell 9. Vågfrontshastigheter [m/s] test 15-22.

Givare/Test	15	17	18	19	21	22
0-P34	643	748	921	646	751	936
P34-P22	419	473	518	421	472	522
P05-P08	357	383	404	356	383	404
P05-P13	361	375	386		375	386
P25-P26	348	359	372	371	390	410
P26-P27	343	352	360	354	365	379
P27-P14	341	346	350	346	353	368
P14-P28	339	343	345	343	354	363

Tidigare etapper

Tabell 10. Sammanfattning av tidigare genomförda etapper

Etapp	År	Geometri/försökstyp	Variabler	Givare
1	1995	30 m rak tunnel	Detonationsplats och storlek	1, 2, 3, 4
2	1996	50 m ny tunnel t.h.	Detonationsplats och storlek	Etapp 1+ 5, 6, 7, 8, 9, 10
3	1996	25 m ny tunnel t.v.	Detonationsplats och storlek	Etapp 2+11, 12, 13 ej 6
4	1997	Avfasning av hörn	Detonationsplats och storlek	Etapp 3
5	1997	Förlängning av huvudtunnel med 30 m	Detonationsplats och storlek	1, 2, 34, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16
6	1998	Tester utanför tunneln	Infrastruktur som skydd: vägg, slänt, viadukt	
7	1998	Inverkan av container	Detonationsplats, storlek och container placering	5, 7, 8, 9, 12, 13, 15, 16, C1-C5
8	1999	Olika typer av laddningar	Laddningens form, riktning och avstånd	1, 2, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 16
9	2001	Barriär	Detonationsplats, storlek och öppningsstorlek i barriären	34, 5, 8, 13, 16, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 14, 28



Figur 19. Översikt över försöksplats.

Tabell 11. Översikt över givare i alla etapper

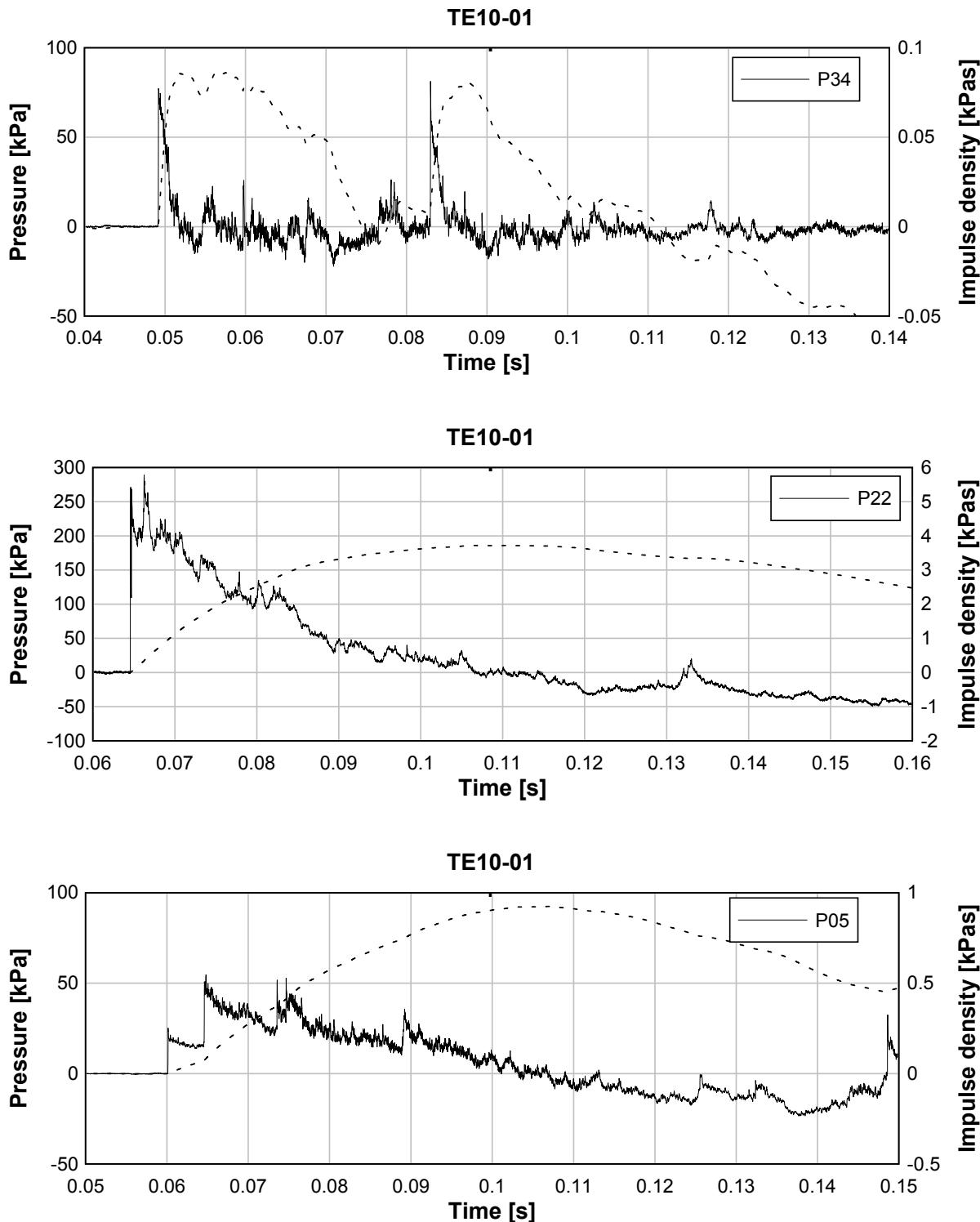
Givare	Typ	x	y	h	Anmärkning
1	Side-on	0	10	0	
2	Side-on	0	20	0	
3	Reflektion	-2	30	1.5	
4	Reflektion	2	30	1.5	
34	Side-on	0	30	0.5	”Lollipop” fr o m etapp 9
Barriär	-----	36.5+2			
5	Side-on	18	20	0.5	”Lollipop”
6	Side-on	33	20	0	
7	Side-on	33	20	0.5	”Lollipop”
8	Reflektion	53	18	1.5	
9	Reflektion	53	22	1.5	
10	Side-on			0.5	”Lollipop”
11	Side-on	33	35.5	0.5	”Lollipop”
12	Reflektion	31	48	1.5	
13	Reflektion	35	48	1.5	
14	Side-on	0	46.95	0 och 1.5	I etapp 9 på balk
15	Reflektion	-2	60.5	1.5	
16	Reflektion	2	60.5	1.5	
21	Reflektion	-2.25	36.5	1.5	
22	Reflektion	0	36.5	3.7	
23	Reflektion	2.25	36.5	1.5	
24	Reflektion	2.25	38.5	1.5	Baksidan barriären
25	Side-on	0	38.7	1.5	På balk
26	Side-on	0	41.45	1.5	På balk
26a	Side-on	-0.69	41.45	1.5	På balk Etapp 10
26b	Side-on	-1.19	41.45	1.5	På balk Etapp 10
26c	Side-on	-1.69	41.45	1.5	På balk Etapp 10
27	Side-on	0	44.20	1.5	På balk
28	Side-on	0	49.7	1.5	På balk
29	Side-on	-0.22	39.0	~1.7	På balk Etapp 10
30	Side-on	-0.22	39.5	~1.7	På balk Etapp 10
31	Side-on	-0.54	38.9	~1.7	På balk Etapp 10
32	Side-on	-0.89	39.25	~1.7	På balk Etapp 10
33	Side-on	-1.24	39.6	~1.7	På balk Etapp 10
C1	Side-on				Mitt framsida container
C2	Side-on				Mitt höger längsida container
C3	Side-on				Mitt vänster längsida container
C4	Side-on				Mitt baksida container
C5	Side-on				Mitt tak container

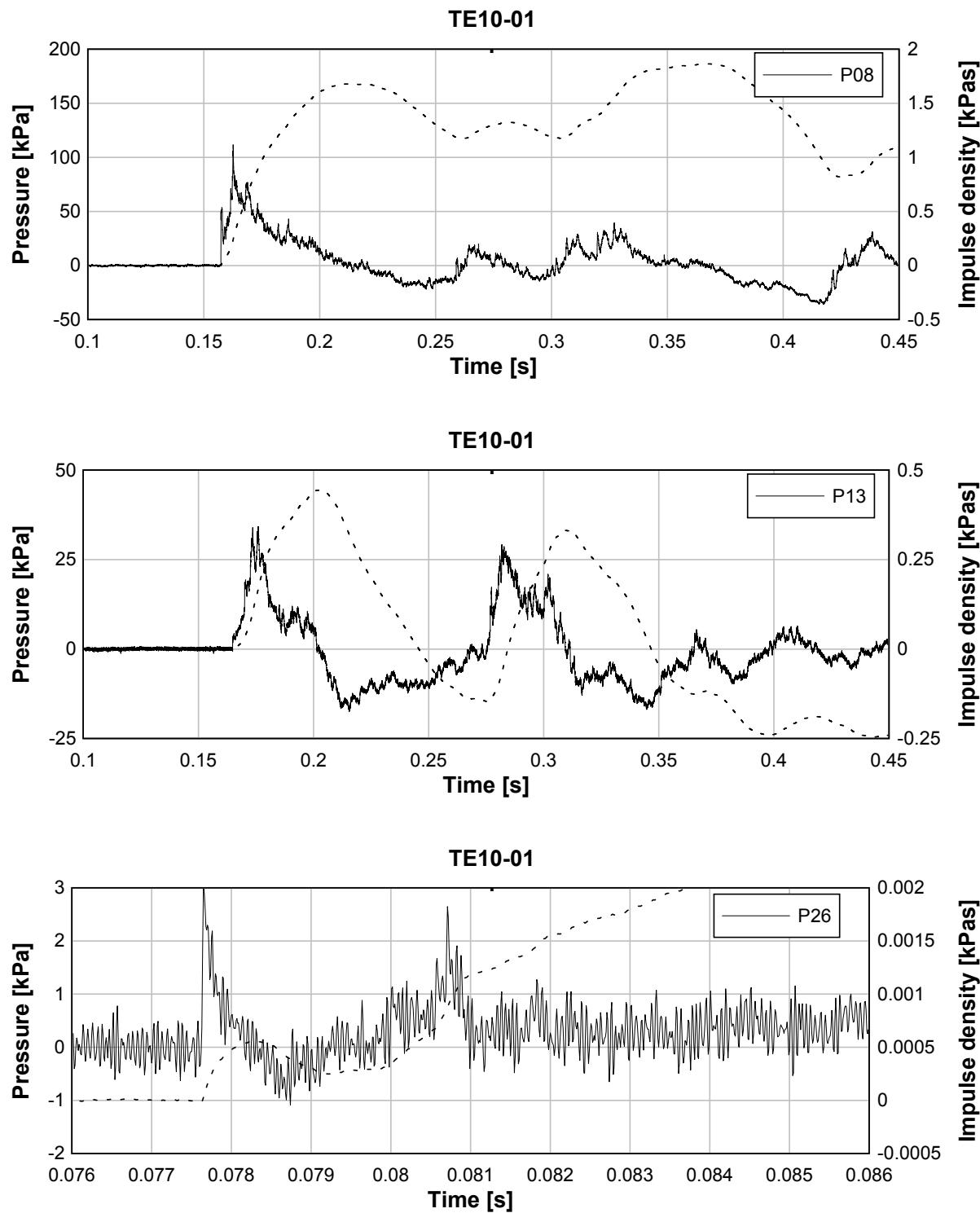
Referenser

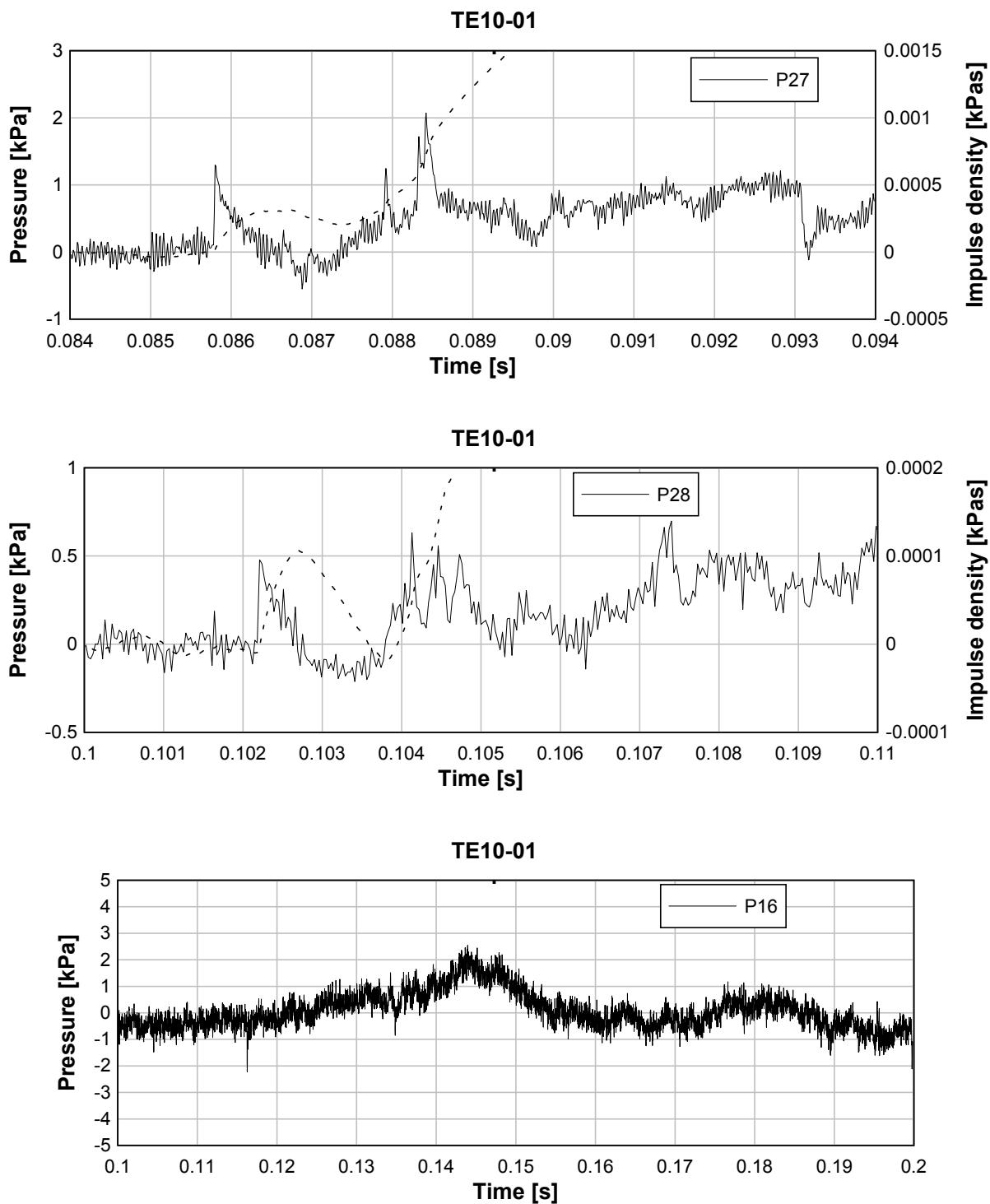
- [1] Carlberg Anders, *Utformning av bergtunnlar. Etapp 1*,
FOA-D—96-0023-2.6—SE, Februari 1996
- [2] Carlberg Anders, *Utformning av bergtunnlar. Etapp 2 och 3*,
FOA-R—97-00467-311_SE, Mars 1997
- [3] Carlberg Anders, Eriksson Siwert, *Utformning av bergtunnlar, Etapp 4*,
FOA-R—99-01030-311—SE, Februari 1999
- [4] Carlberg Anders, Eriksson Siwert, *Utformning av bergtunnlar. Etapp 5*,
FOA-R—99-01197-311—SE, Augusti 1999
- [5] Carlberg Anders, Eriksson Siwert, *Utformning av bergtunnlar. Etapp 6*,
Kommande FOI rapport
- [6] Carlberg Anders, Eriksson Siwert, *Utformning av bergtunnlar. Etapp 7*,
FOA-R—00-01420-311—SE, Januari 2000
- [7] Berglund Roger, *Utformning av bergtunnlar. Etapp 8*,
FOI-R—0872—SE, Maj 2003
- [8] Berglund Roger, *Utformning av bergtunnlar. Etapp 9*,
FOI-R—04211—SE, Februari 2002

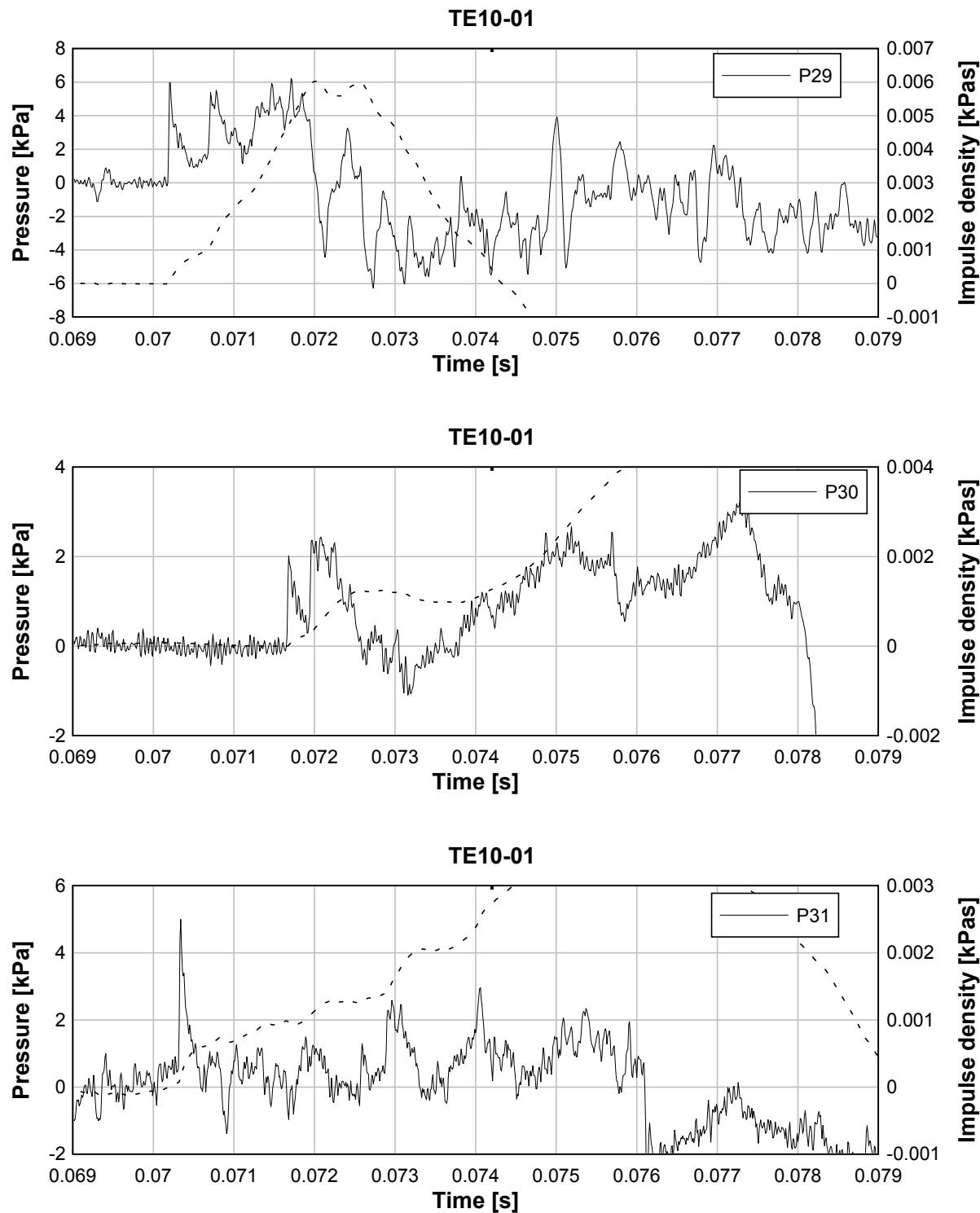
Registreringar

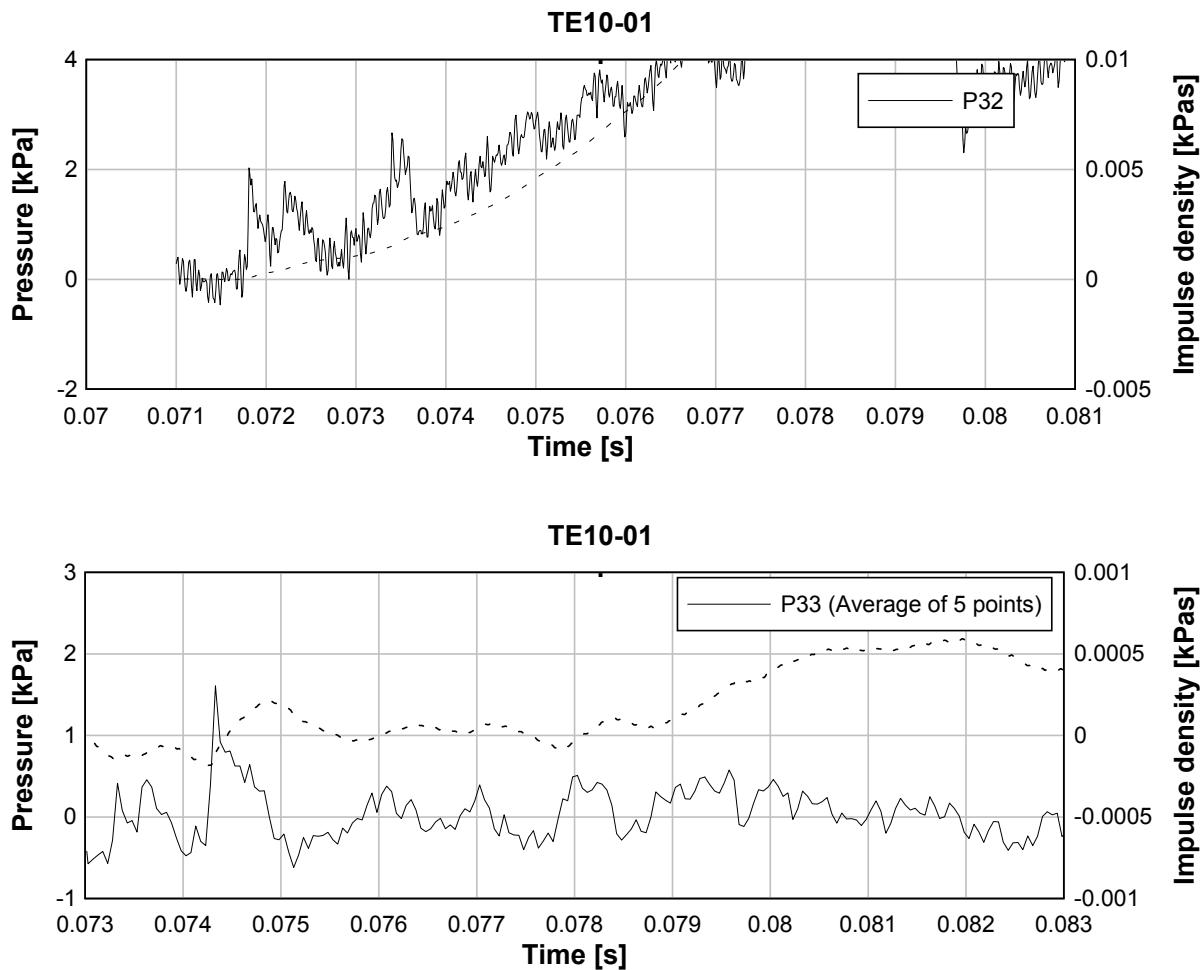
Test 01: avstånd 5 m, 125 kg Prillit

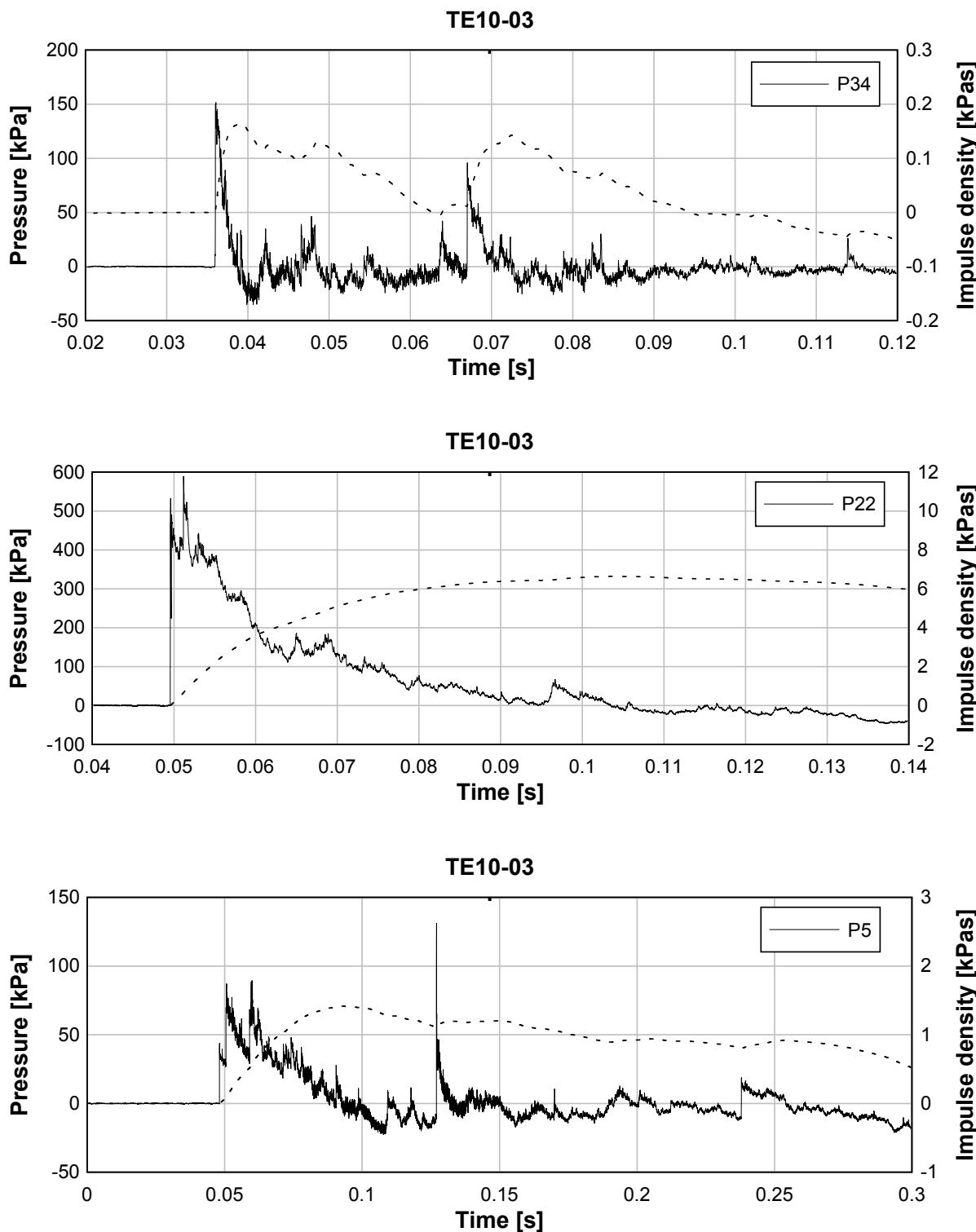


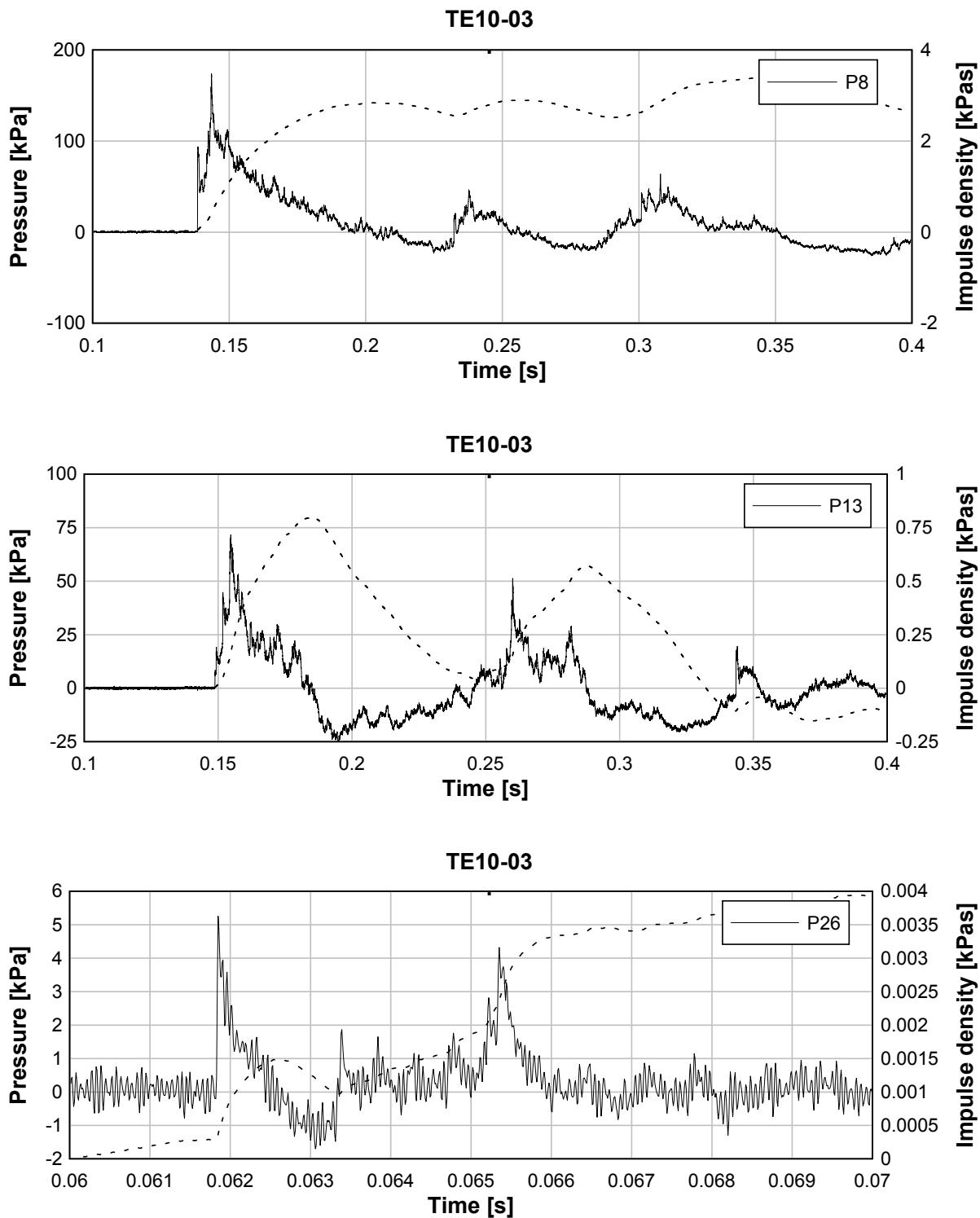


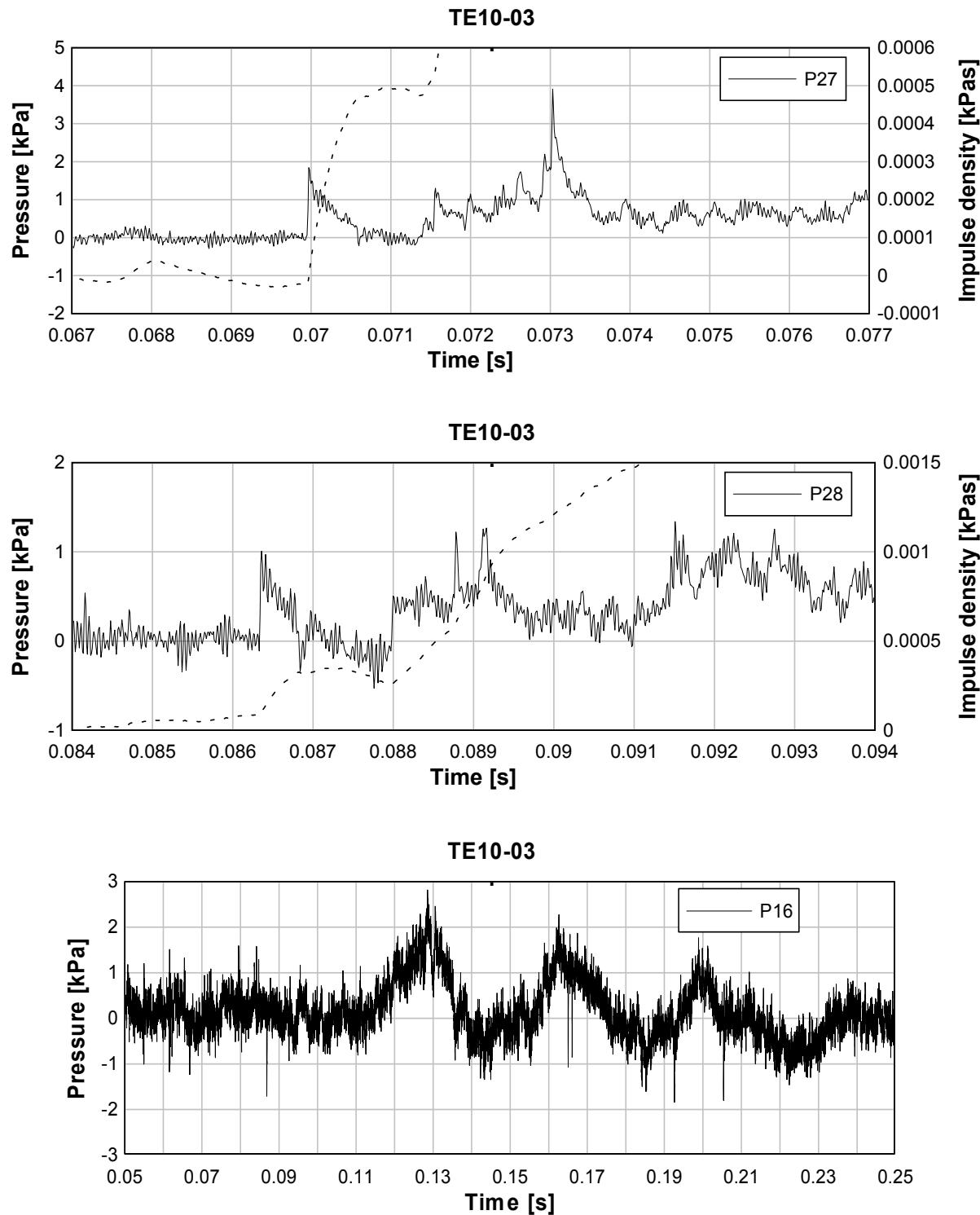


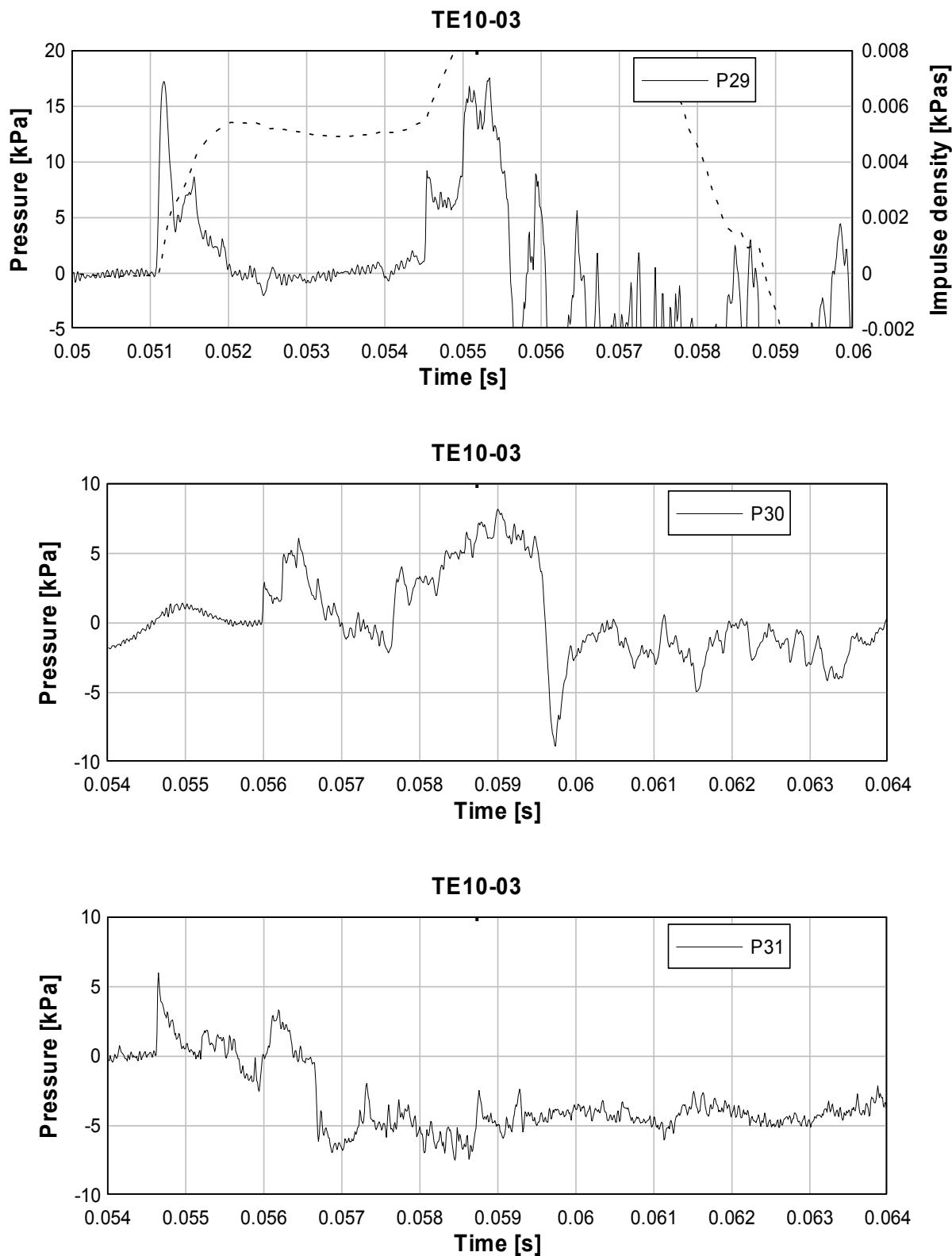


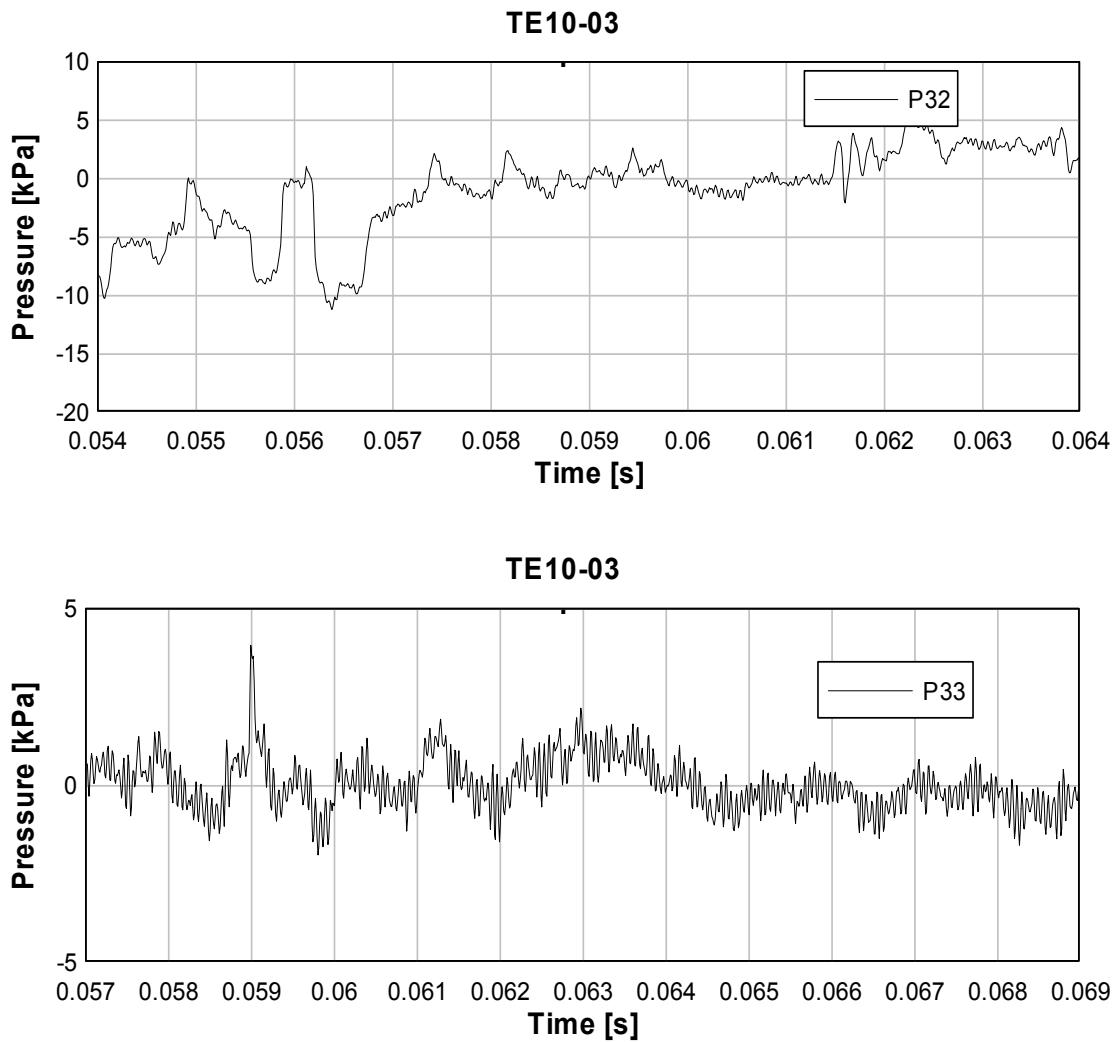


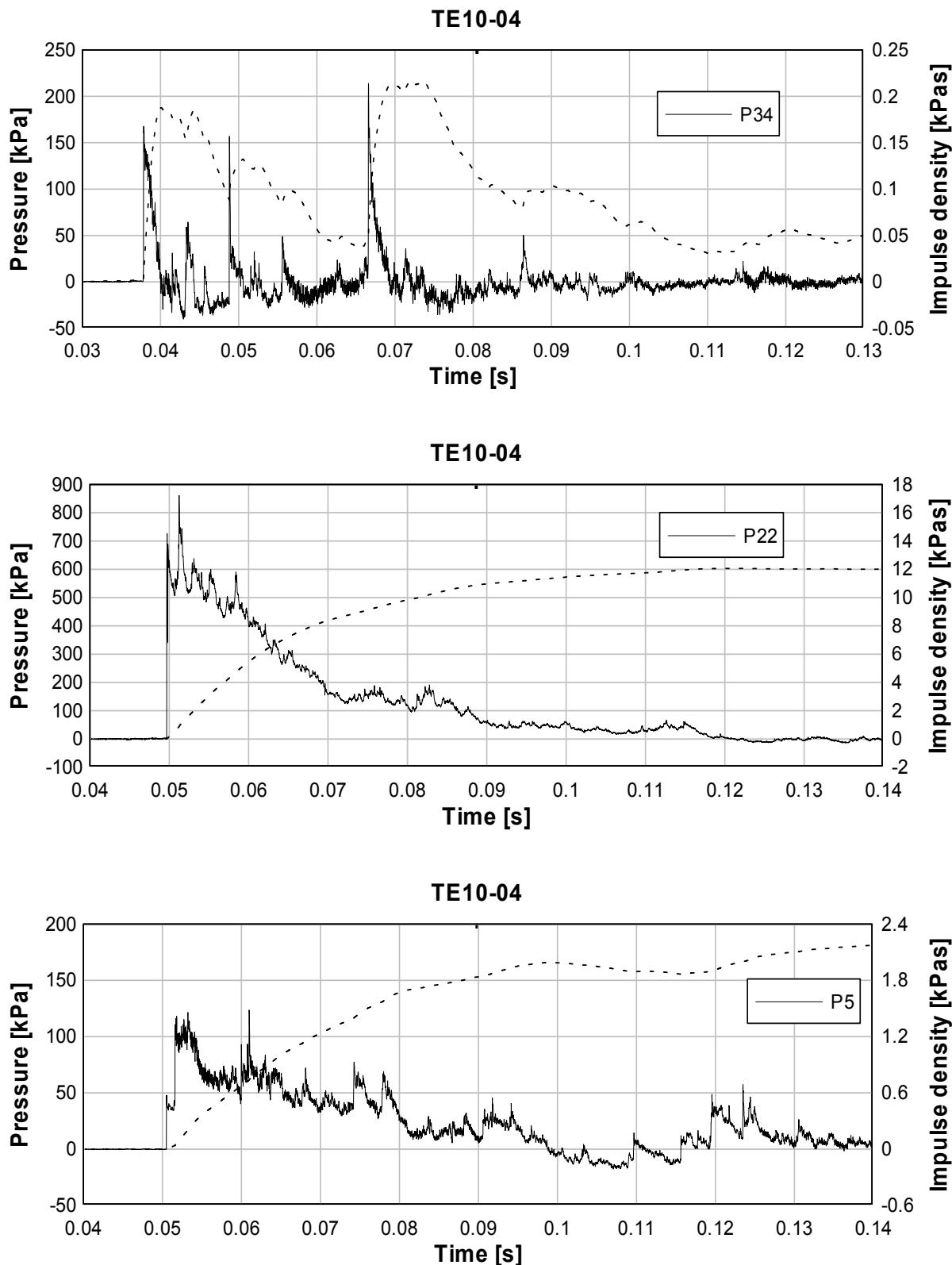
Test 03: avstånd 5 m, 125 kg Prillit



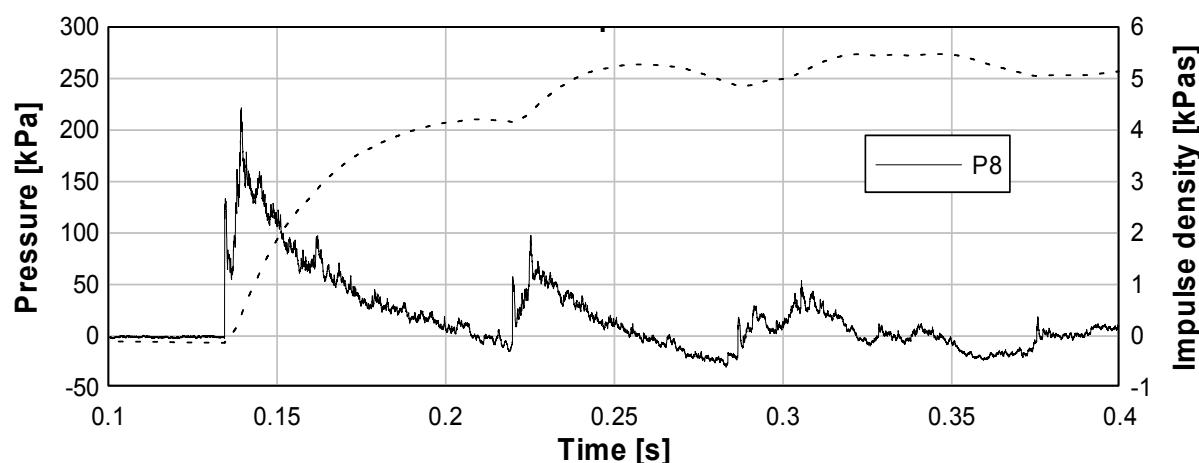




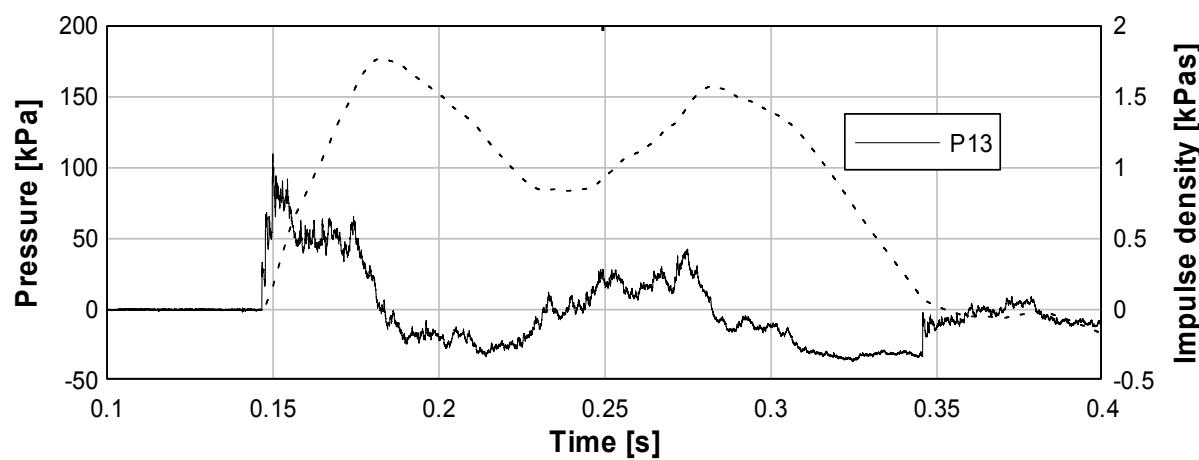


Test 04: avstånd 10 m, 625 kg Prillit

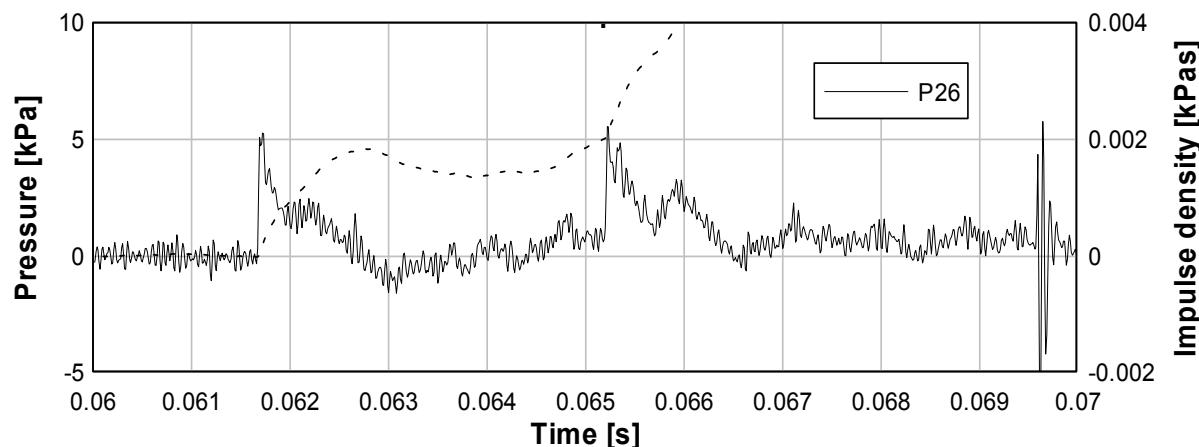
TE10-04

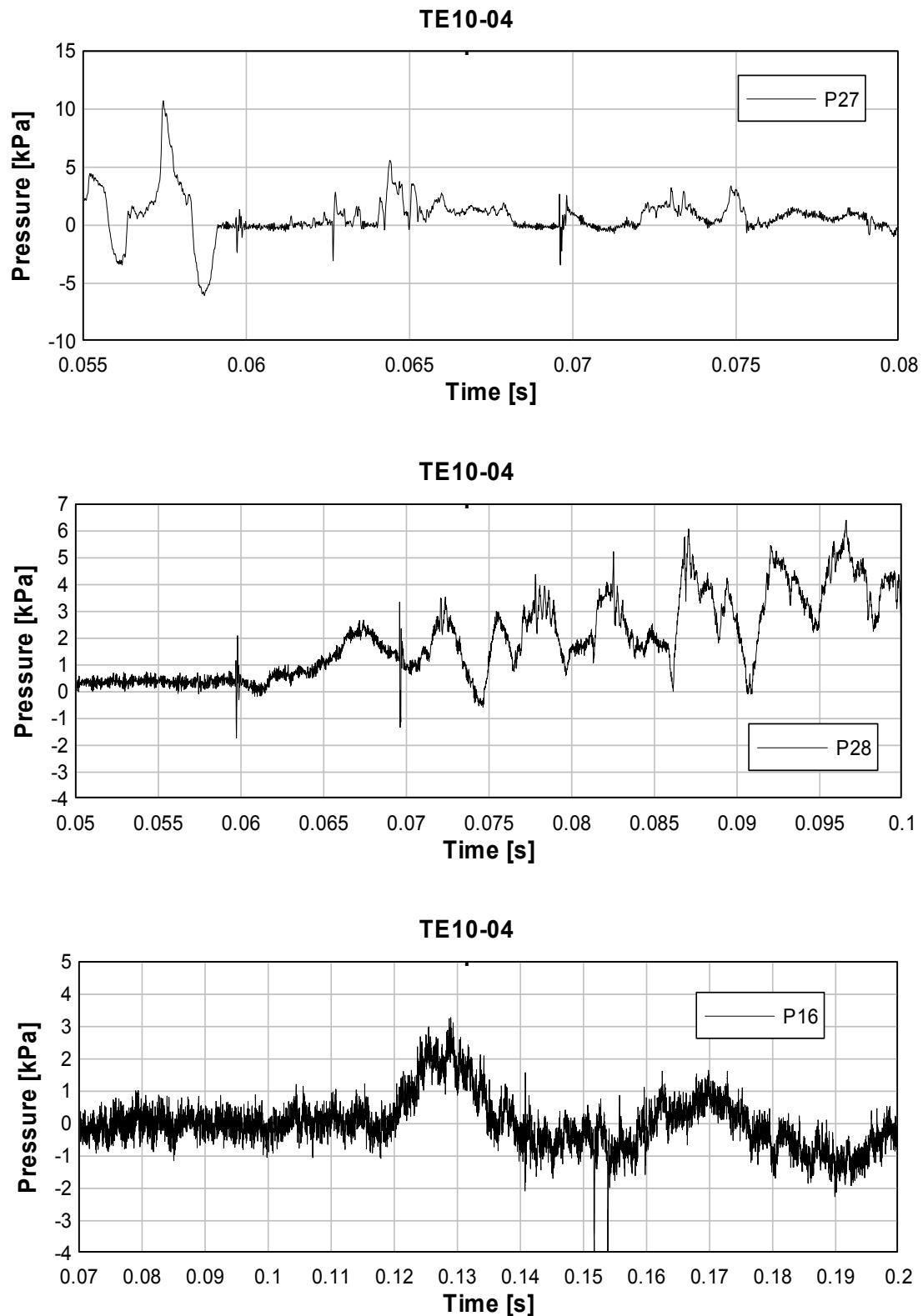


TE10-04

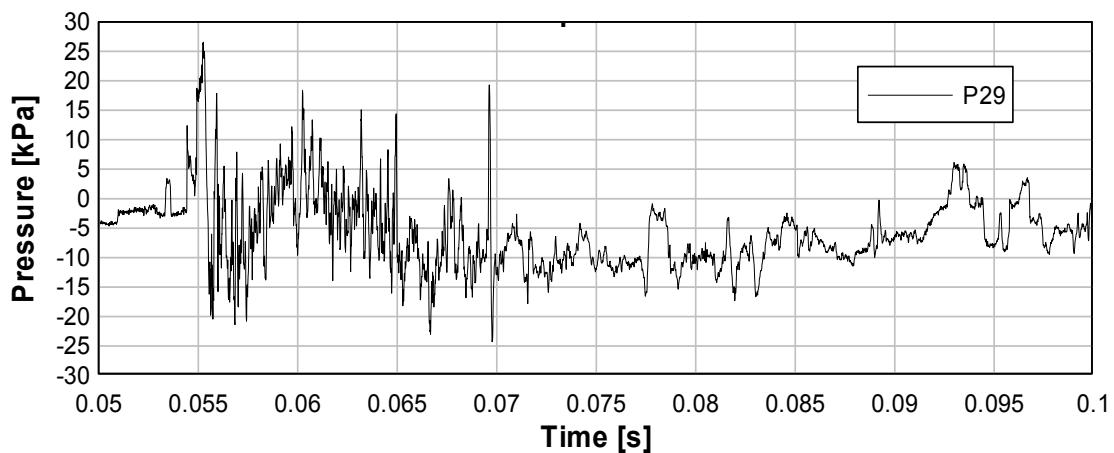


TE10-04

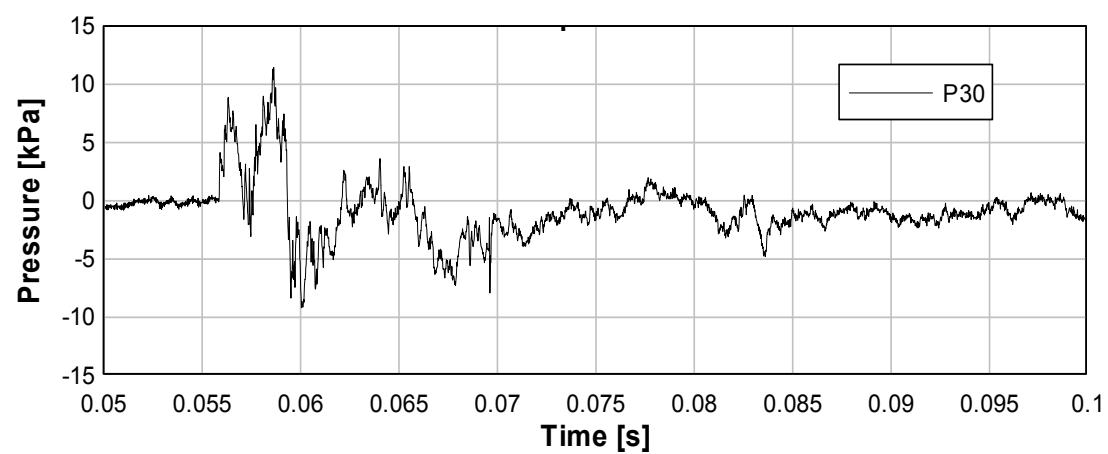




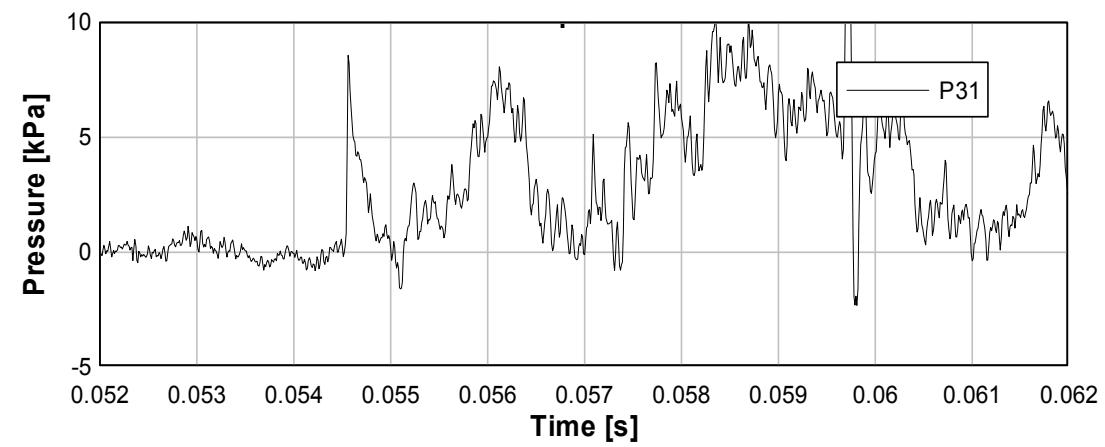
TE10-04

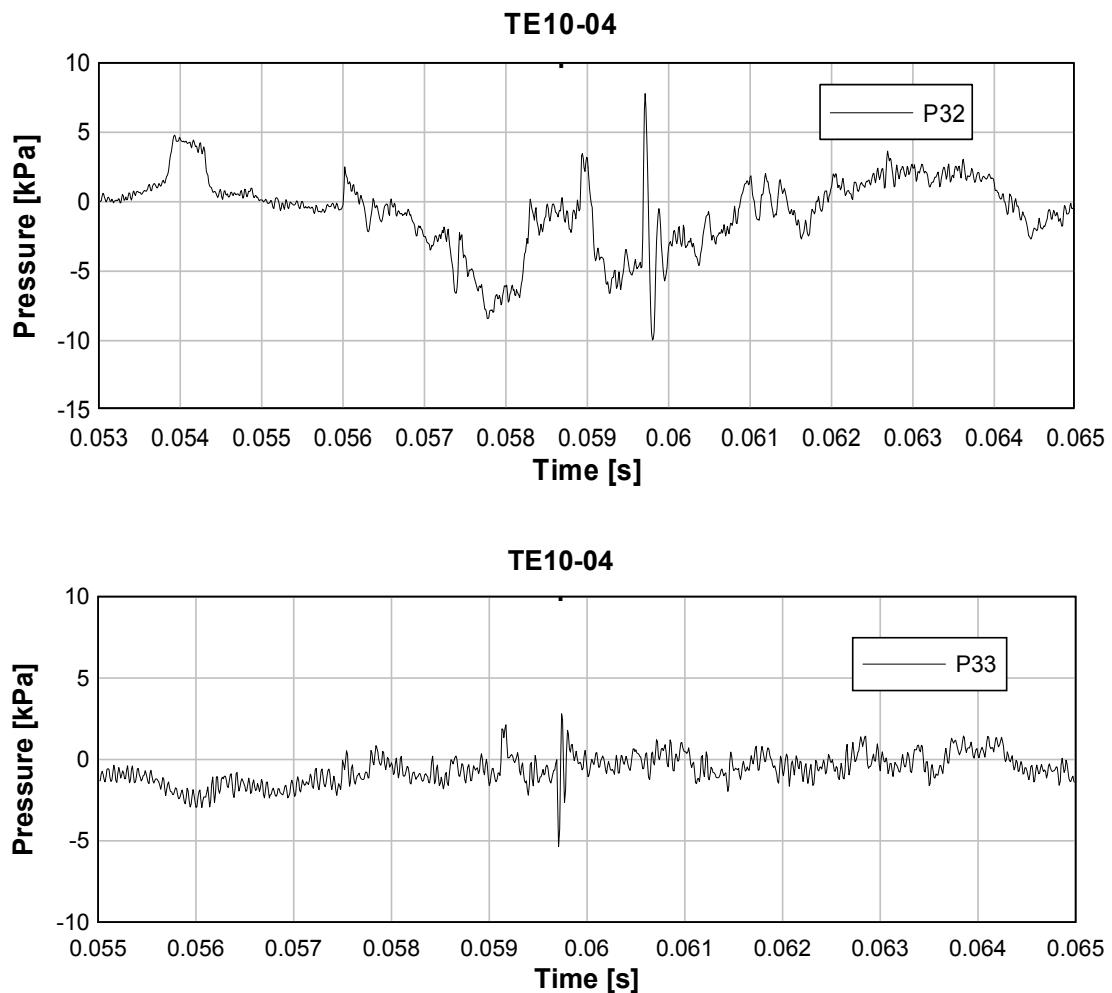


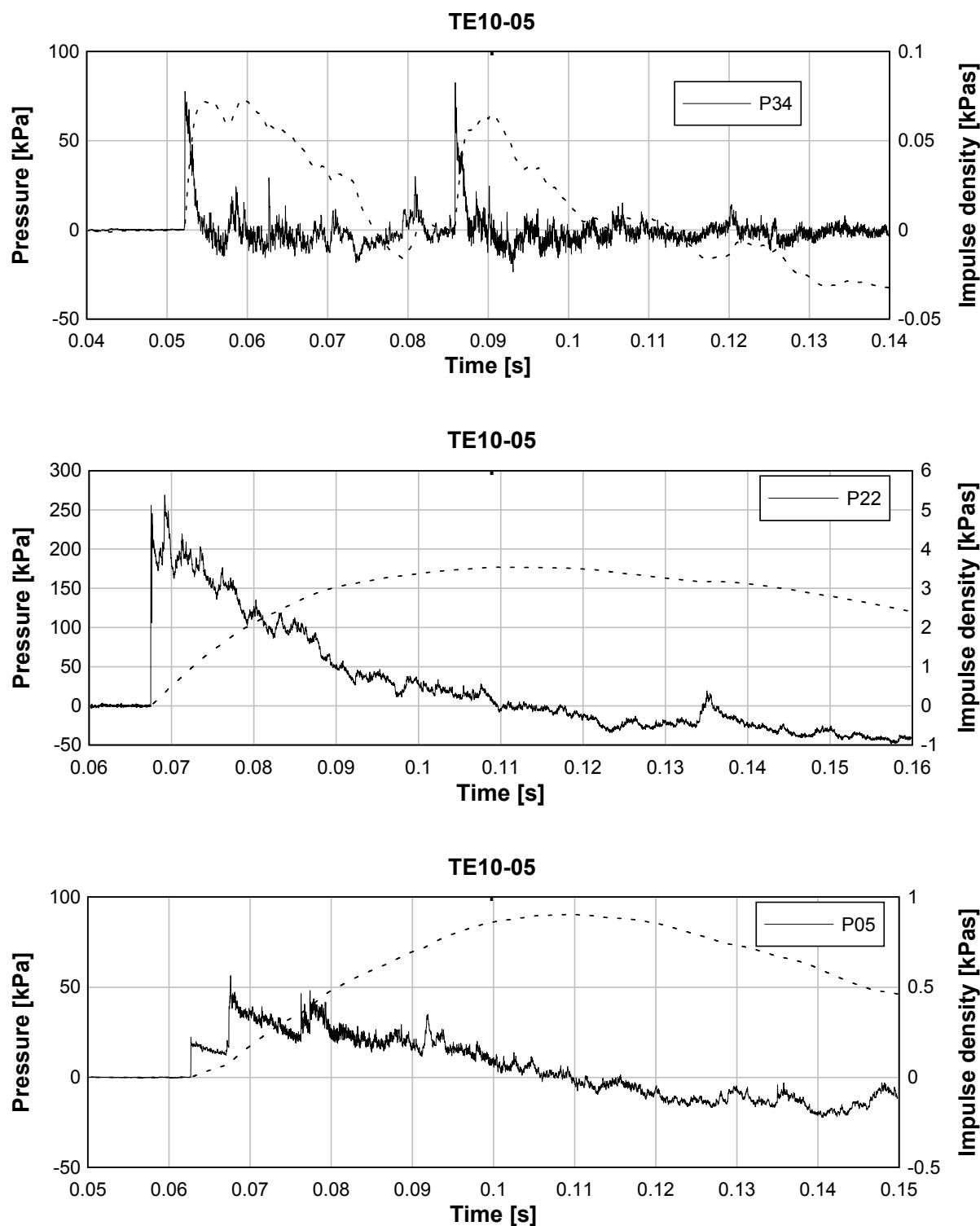
TE10-04

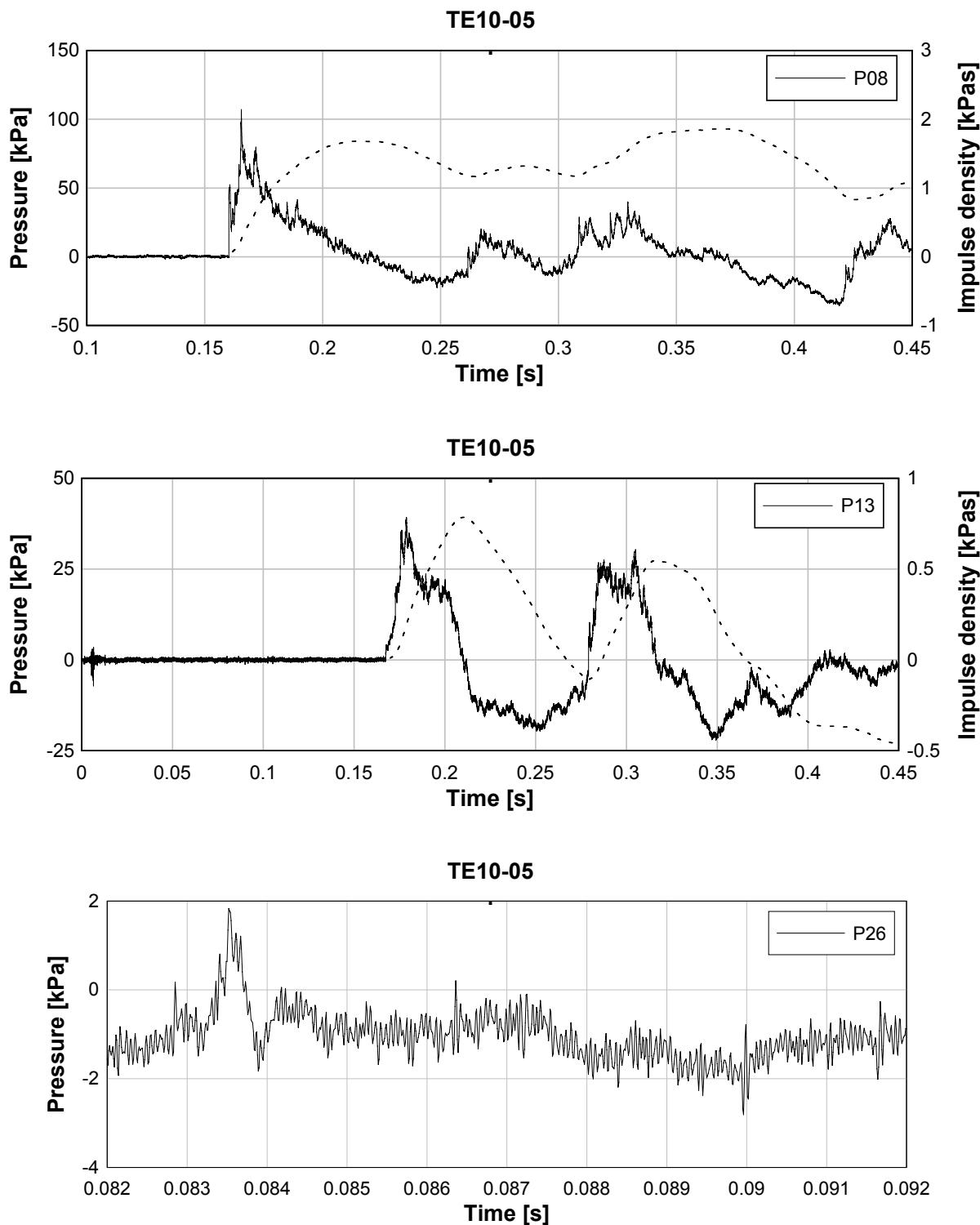


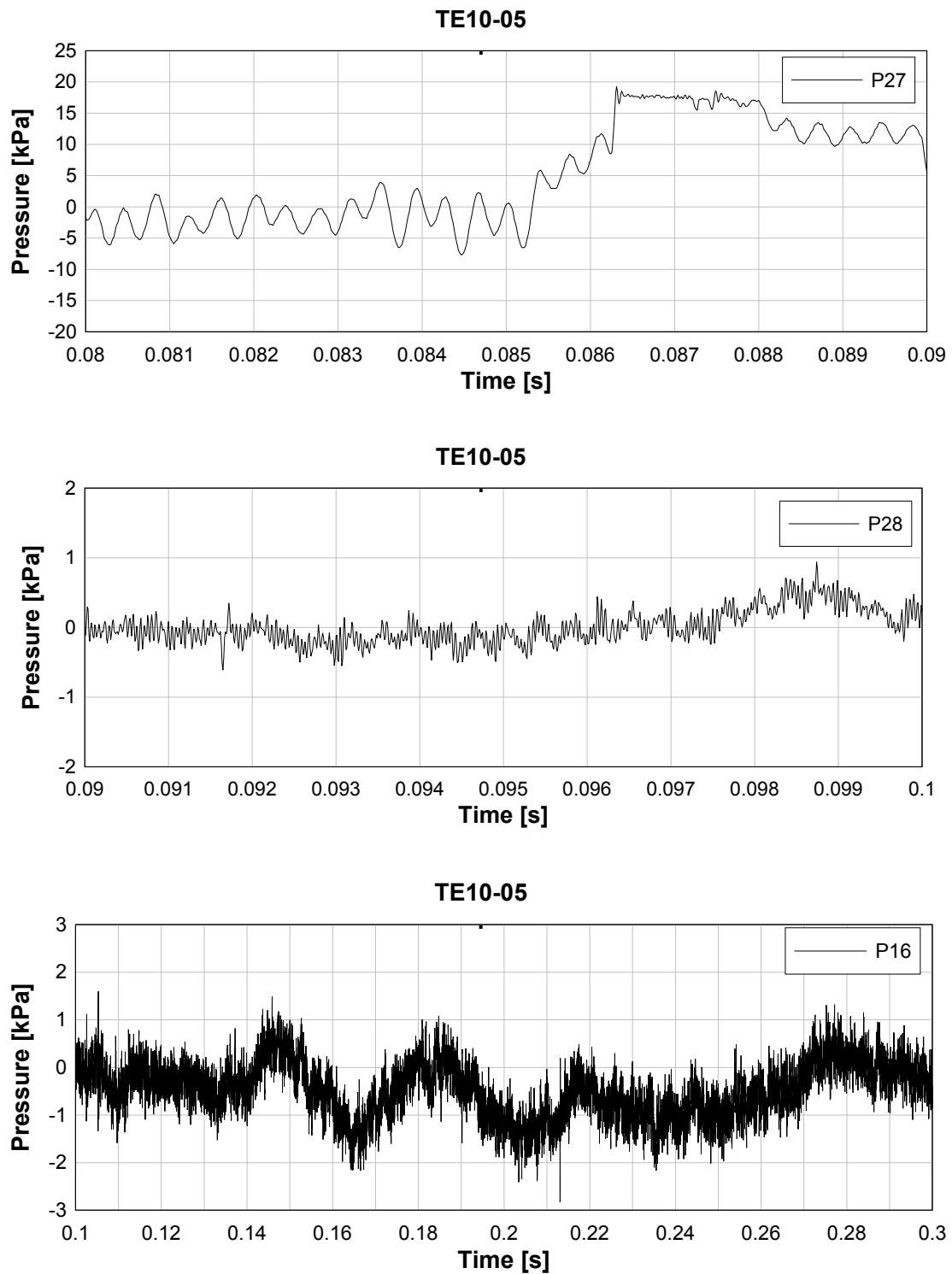
TE10-04

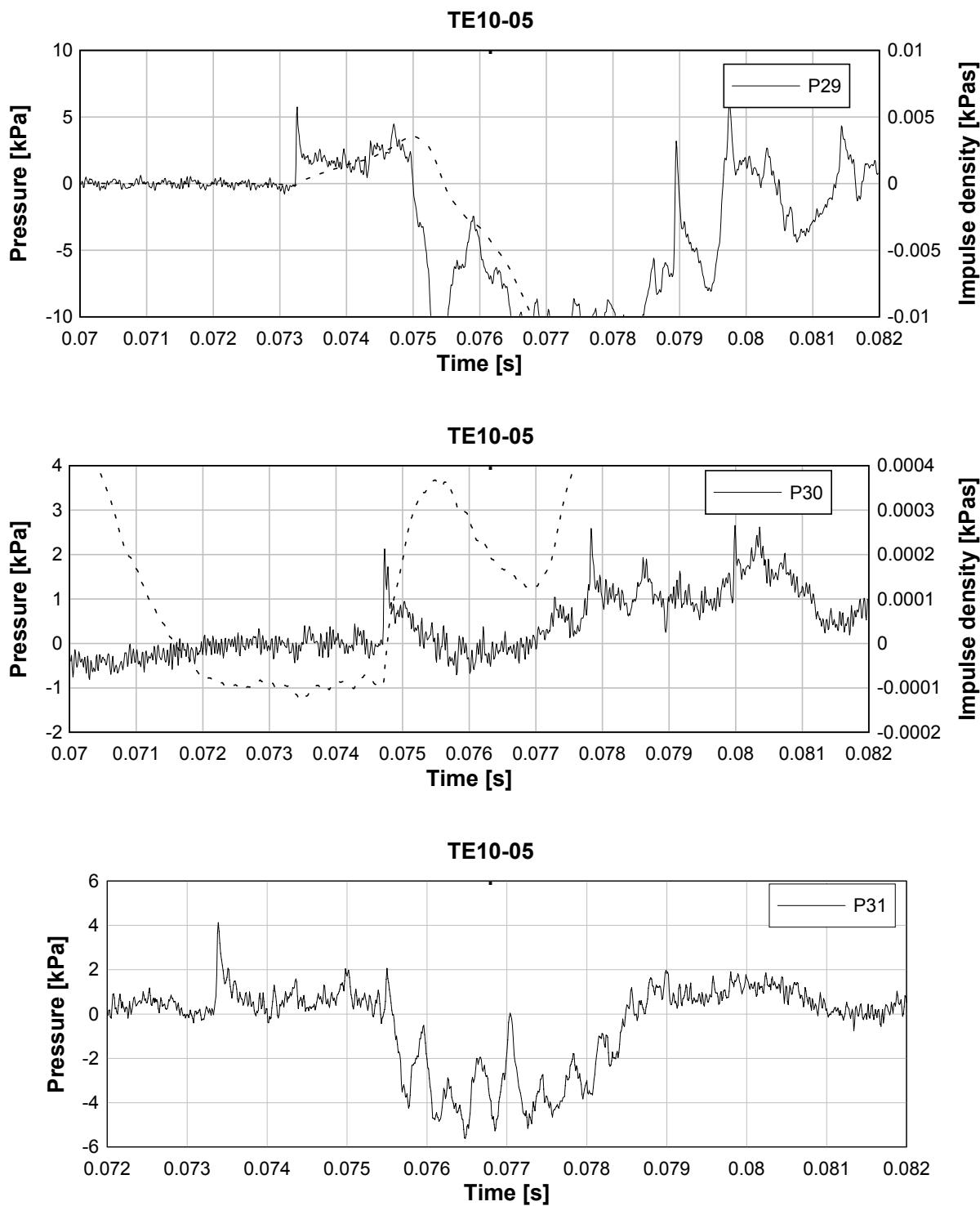


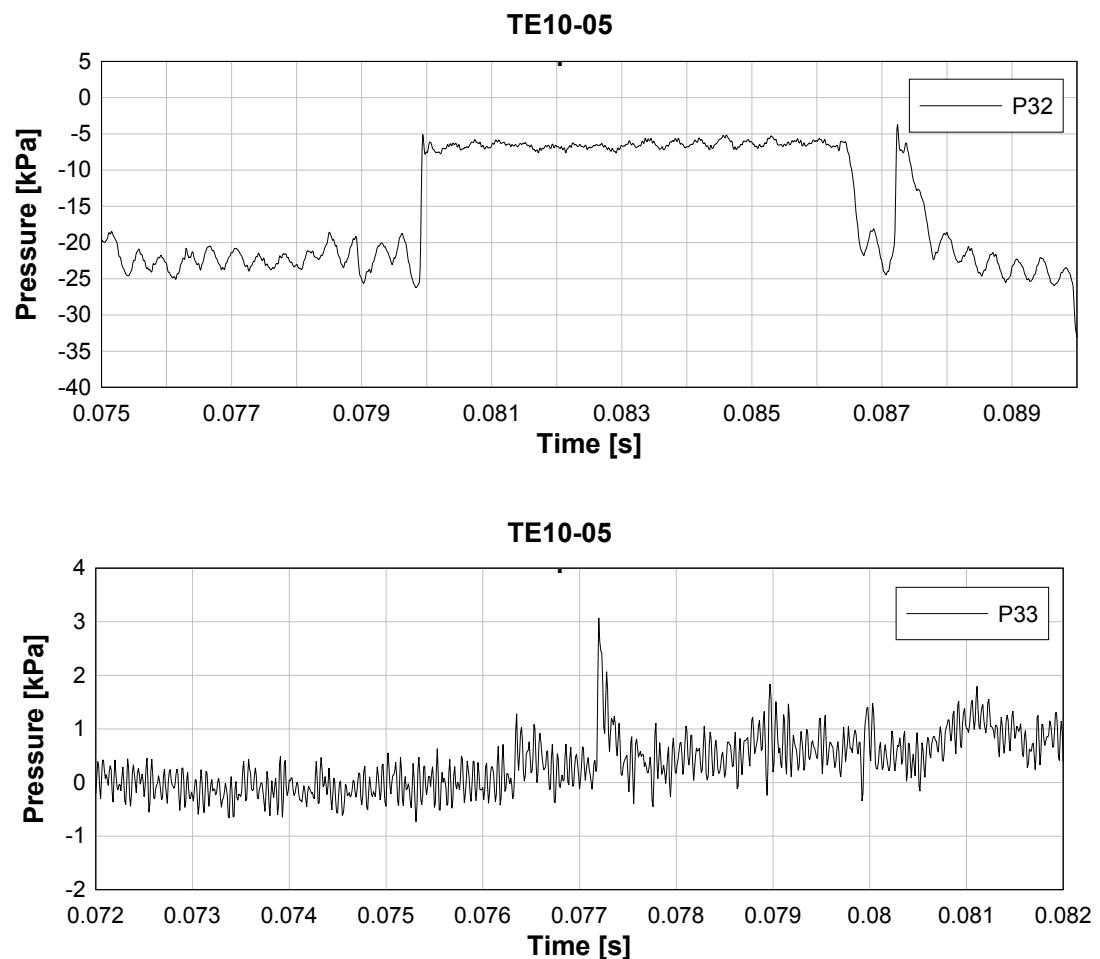


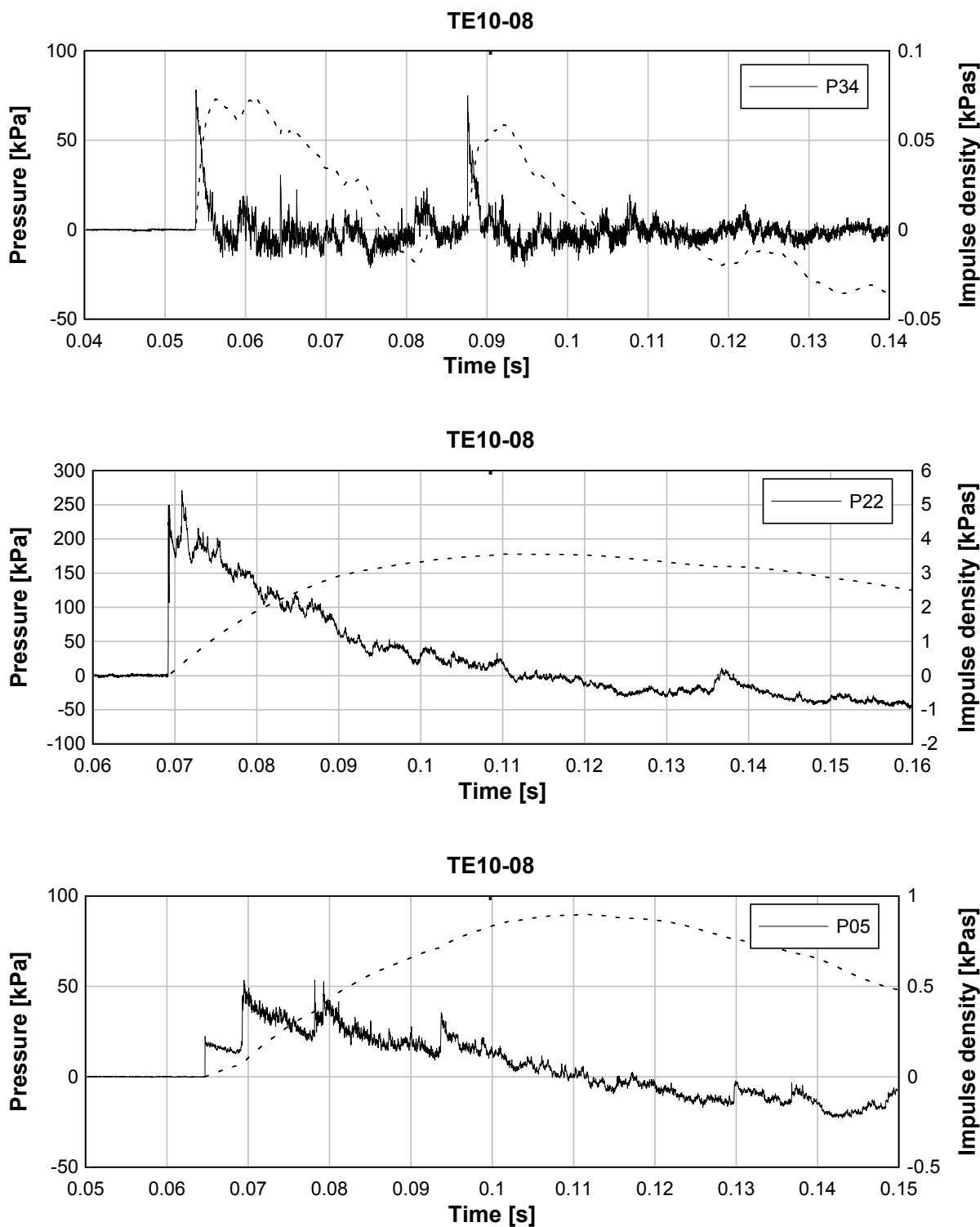
Test 05: avstånd 5 m, 125 kg Prillit

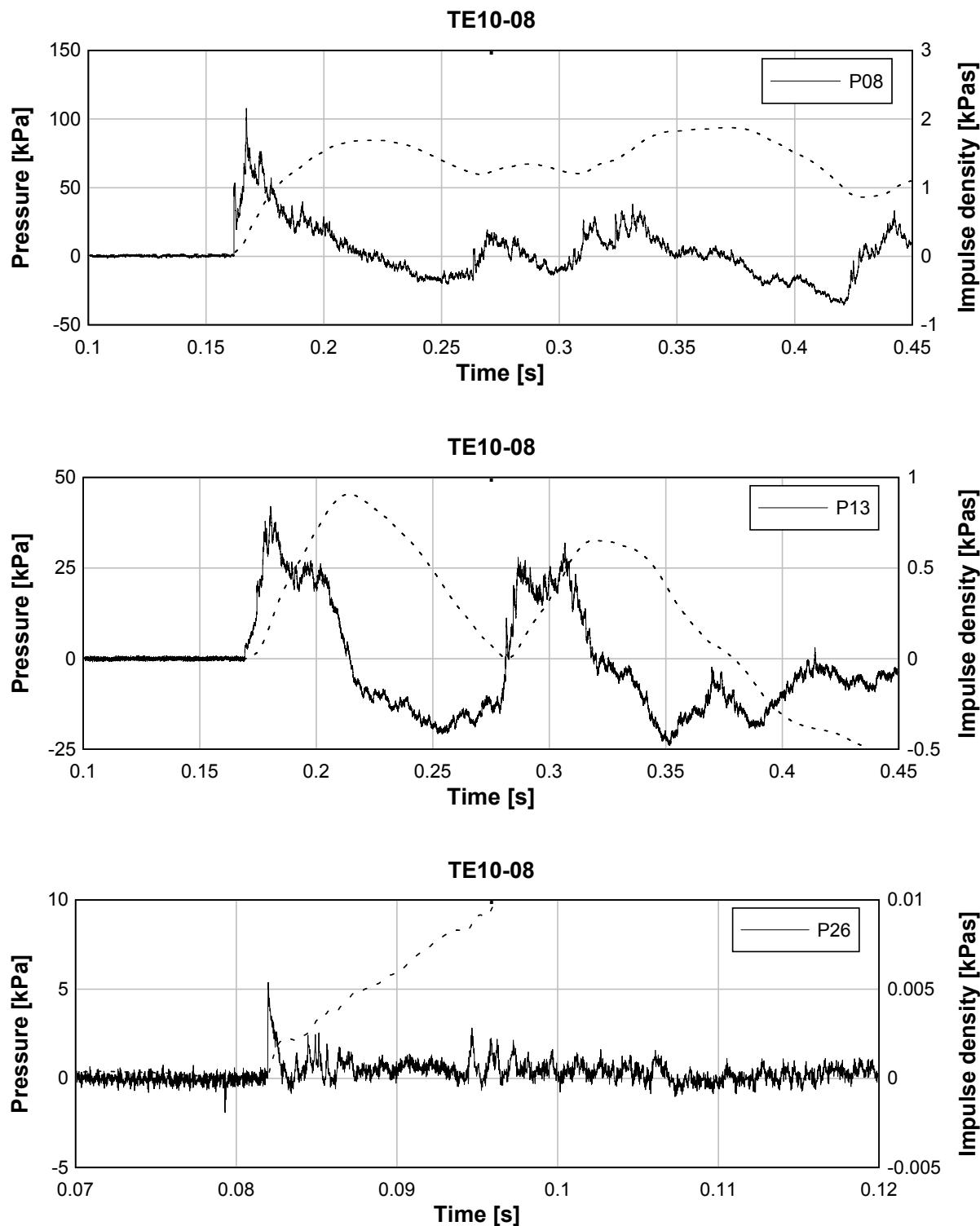


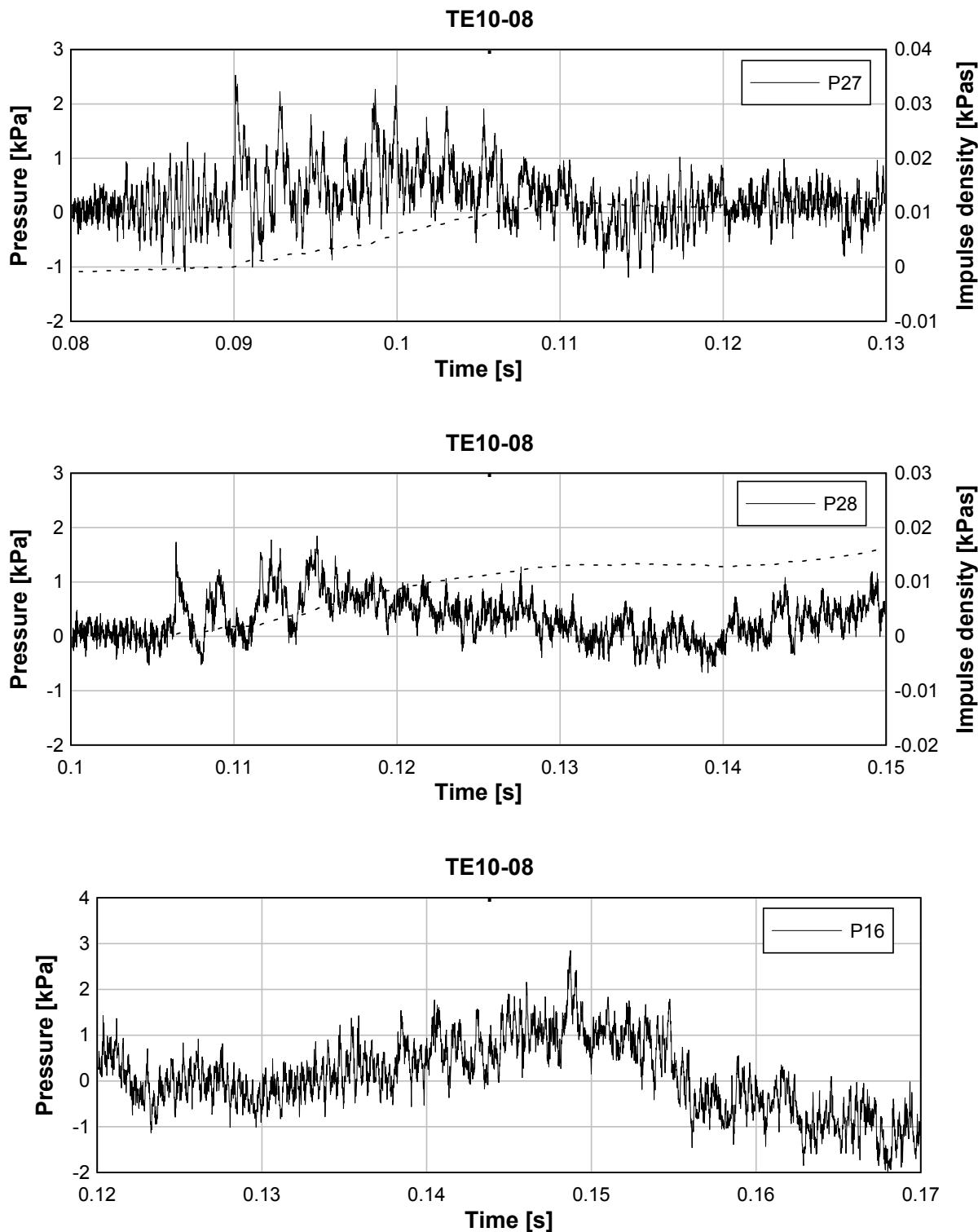


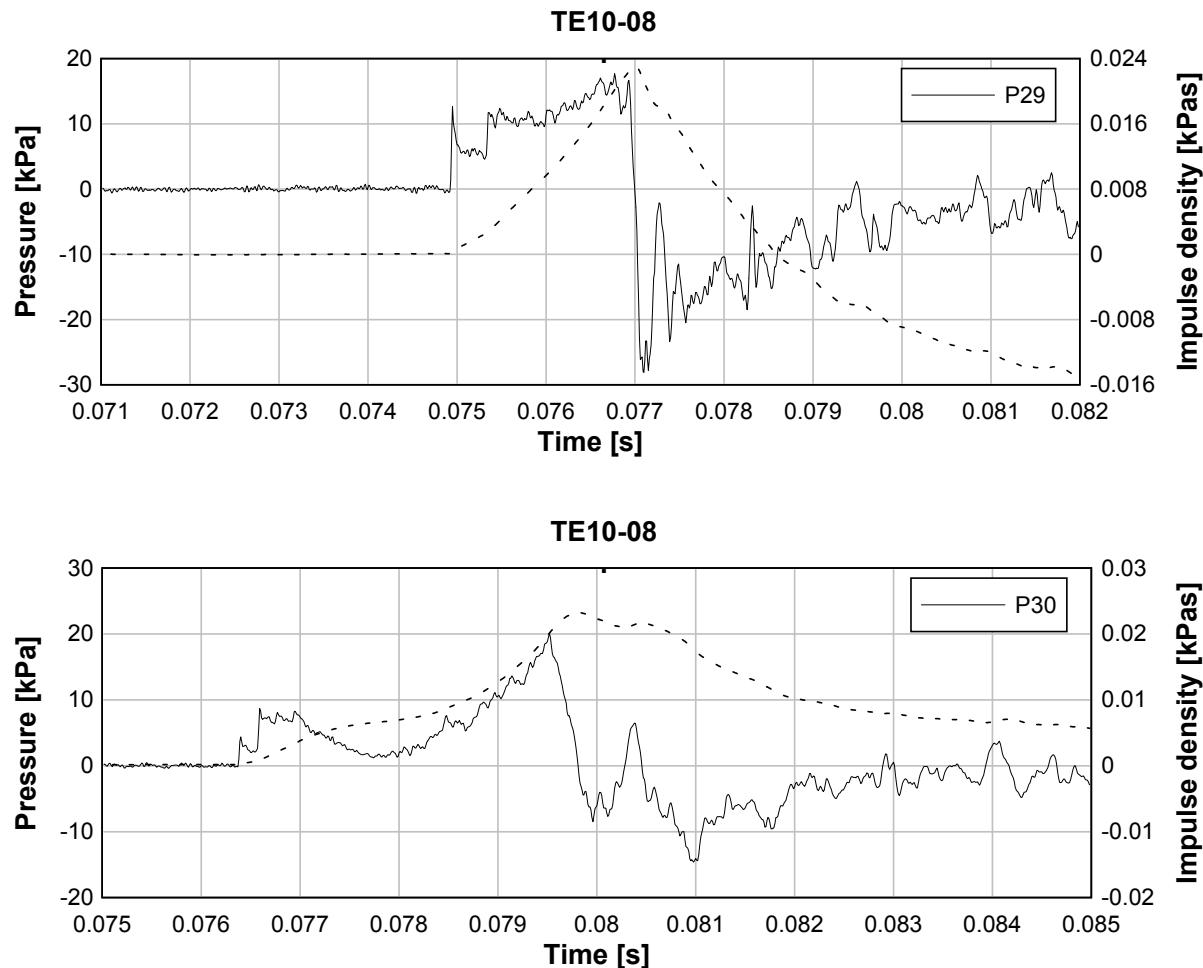


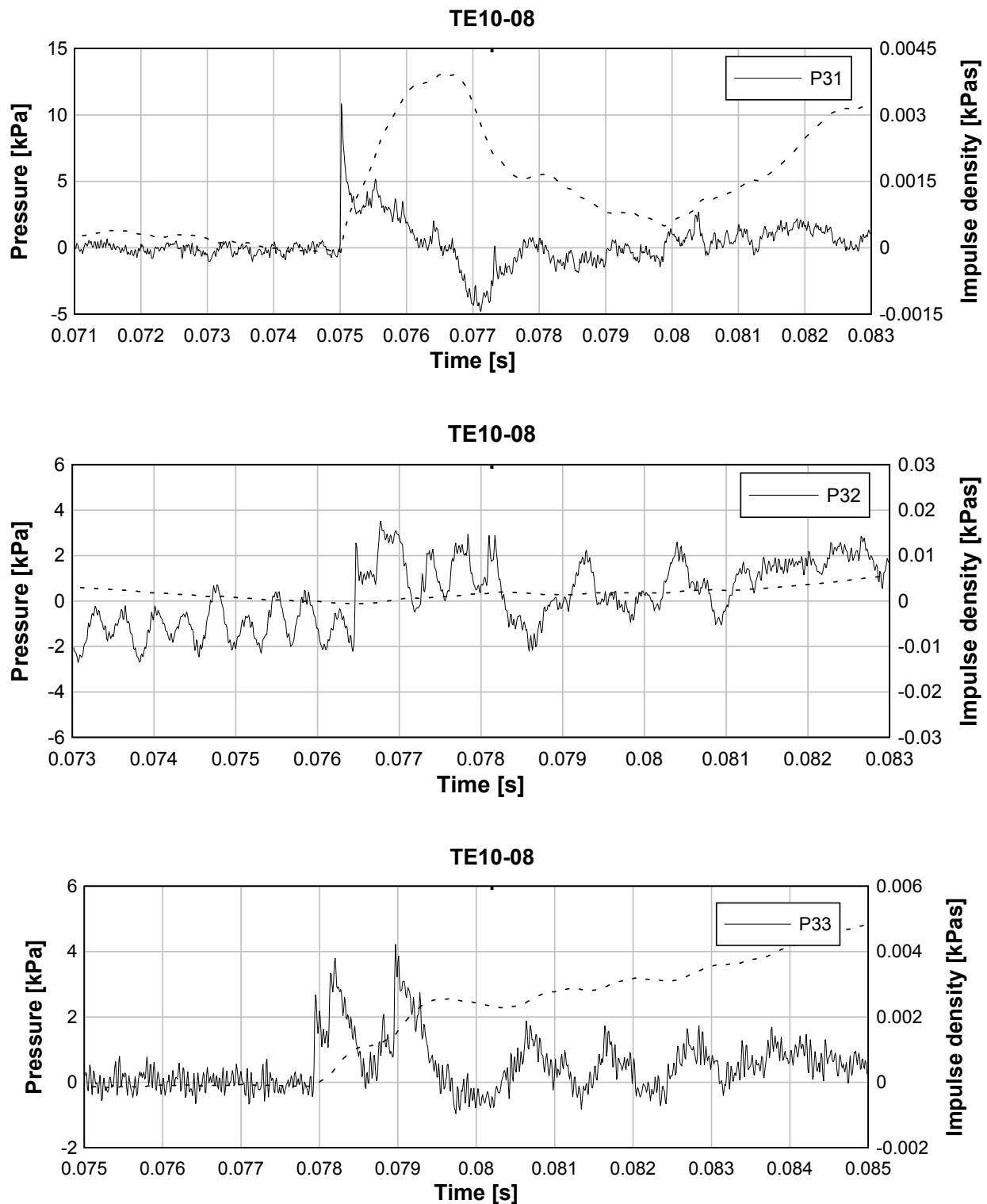


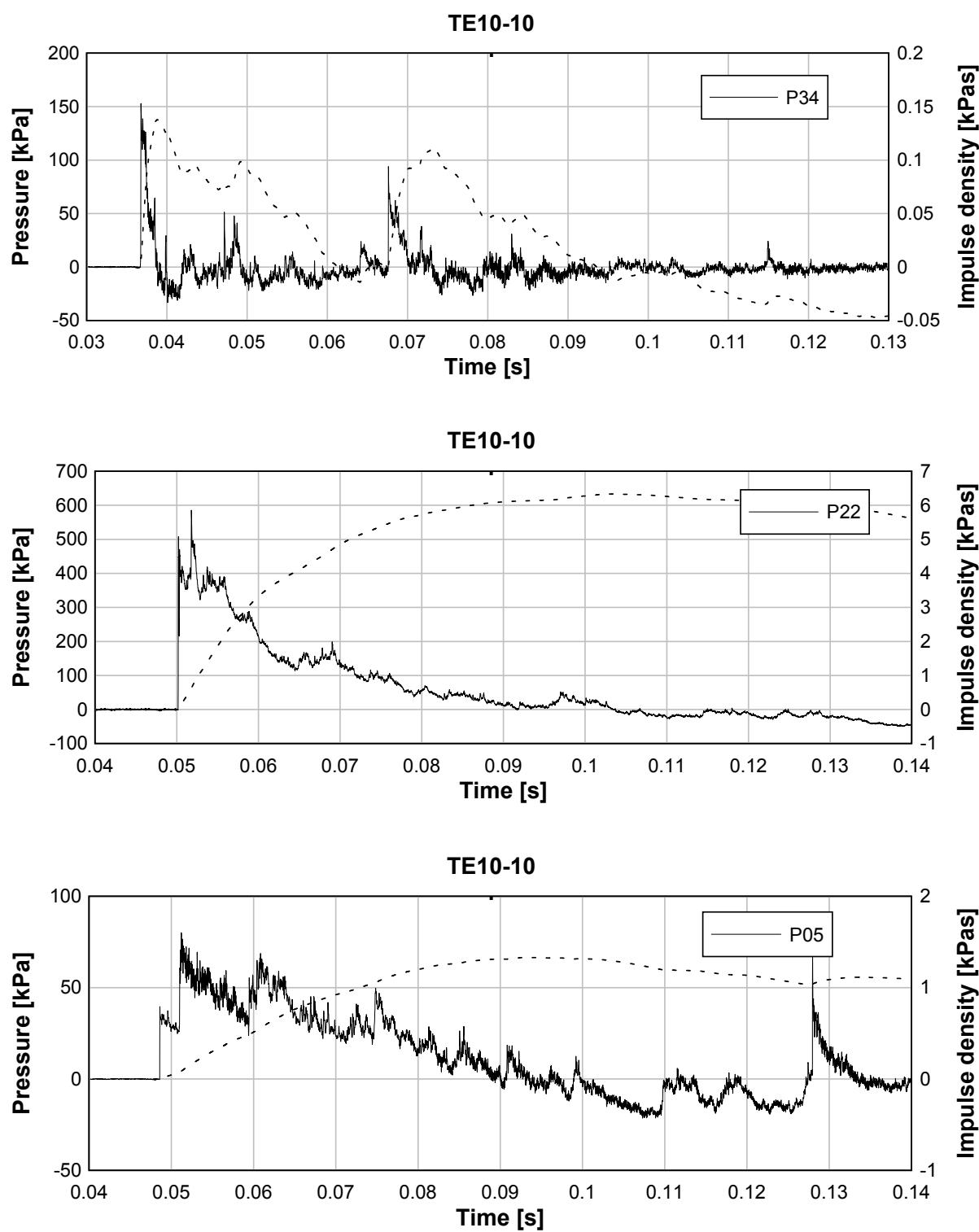
Test 08: avstånd 5 m, 125 kg Prillit

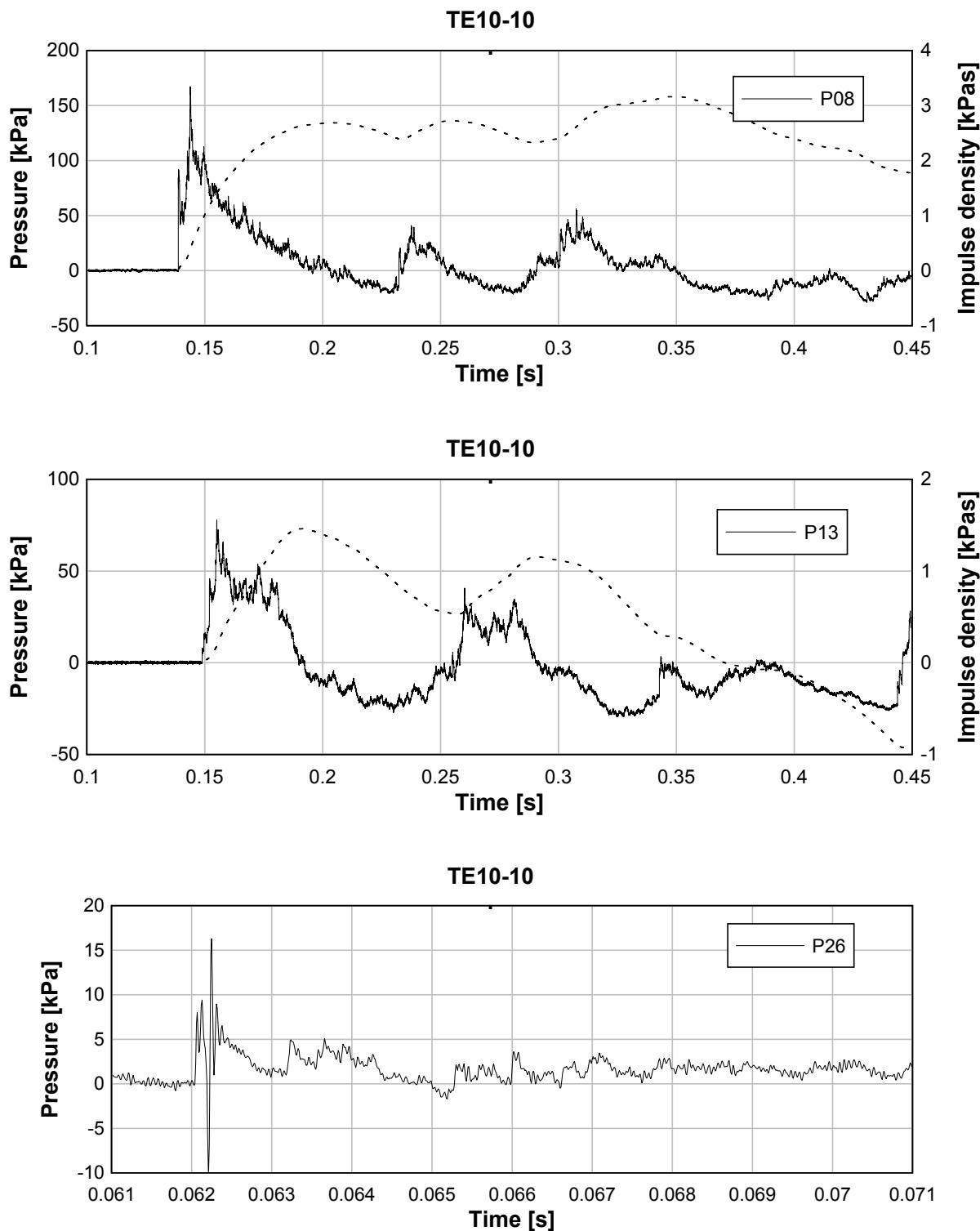


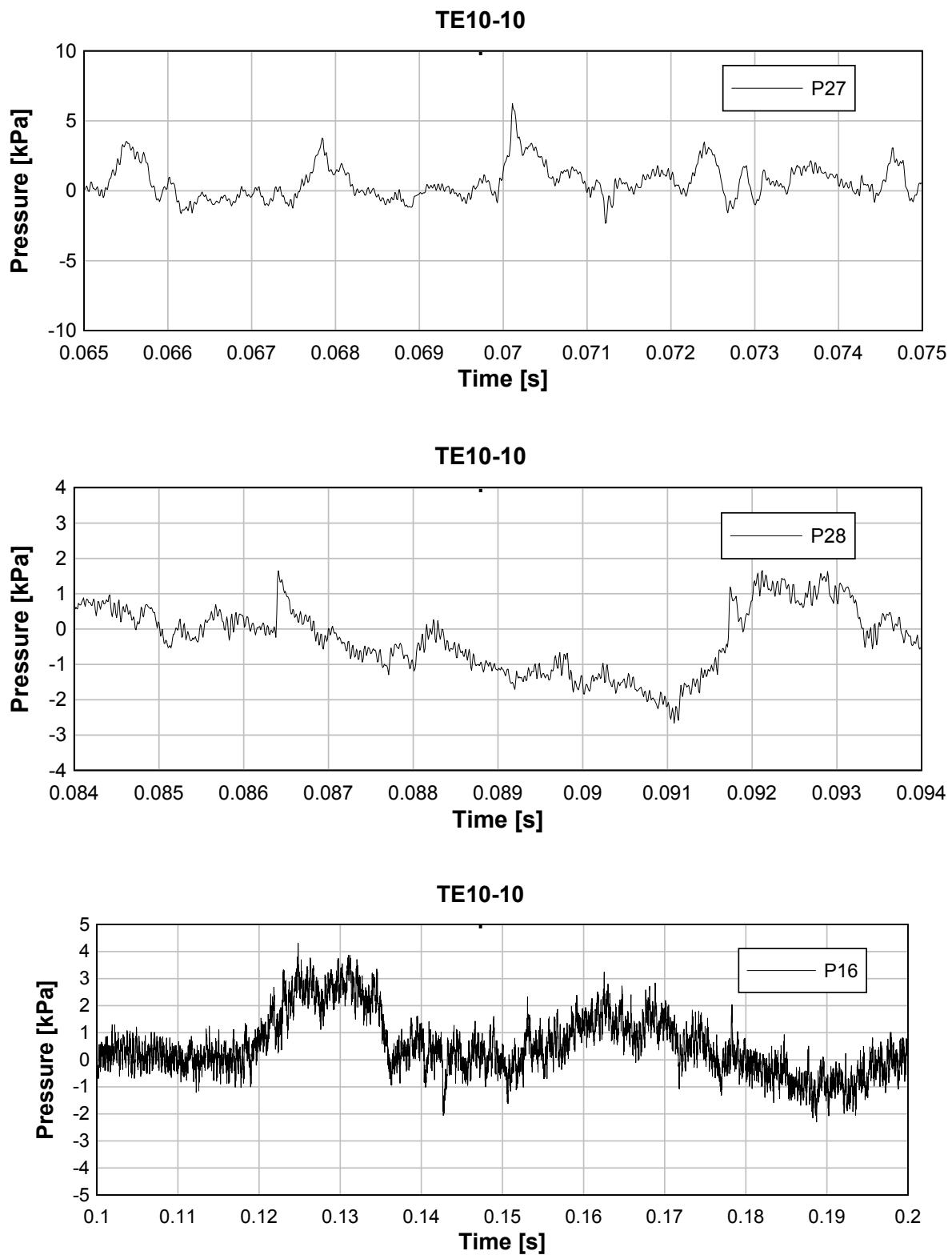


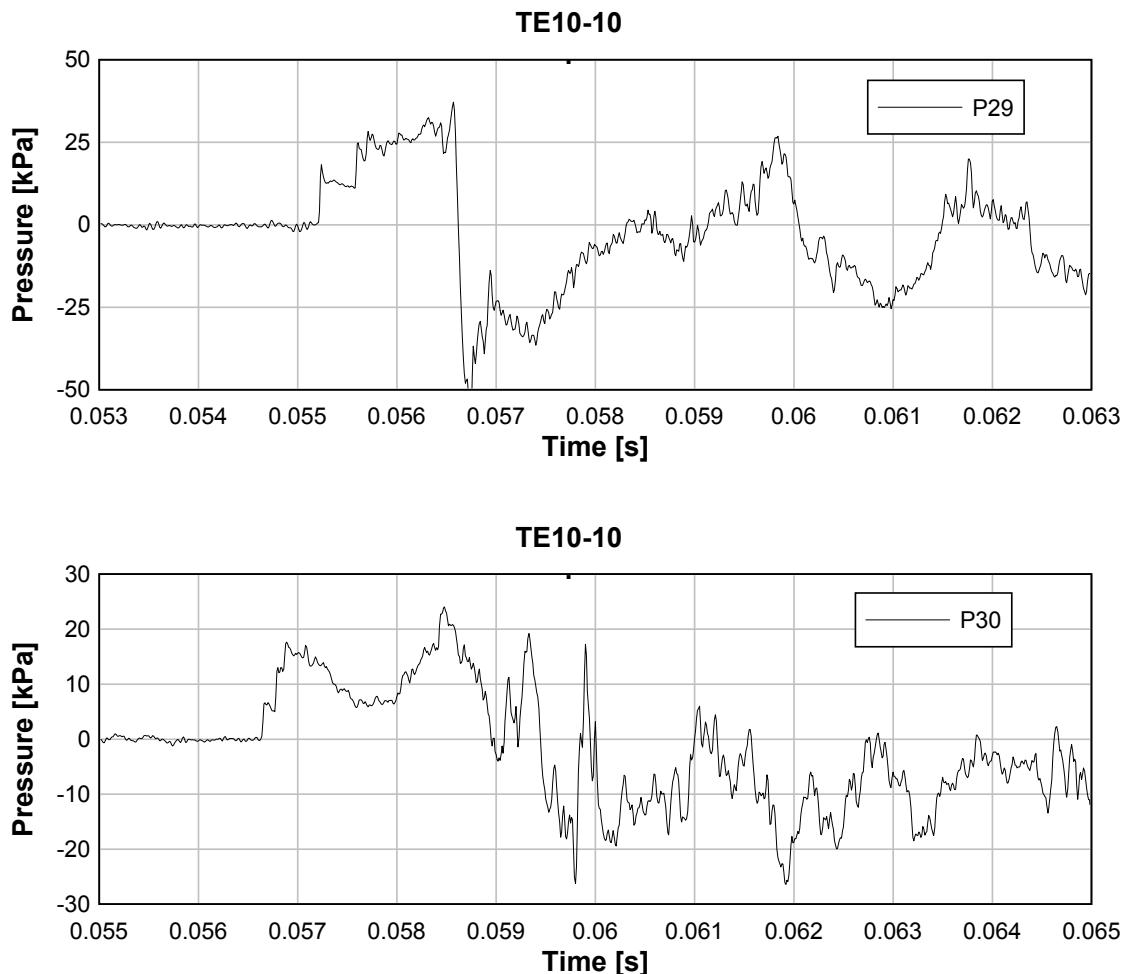


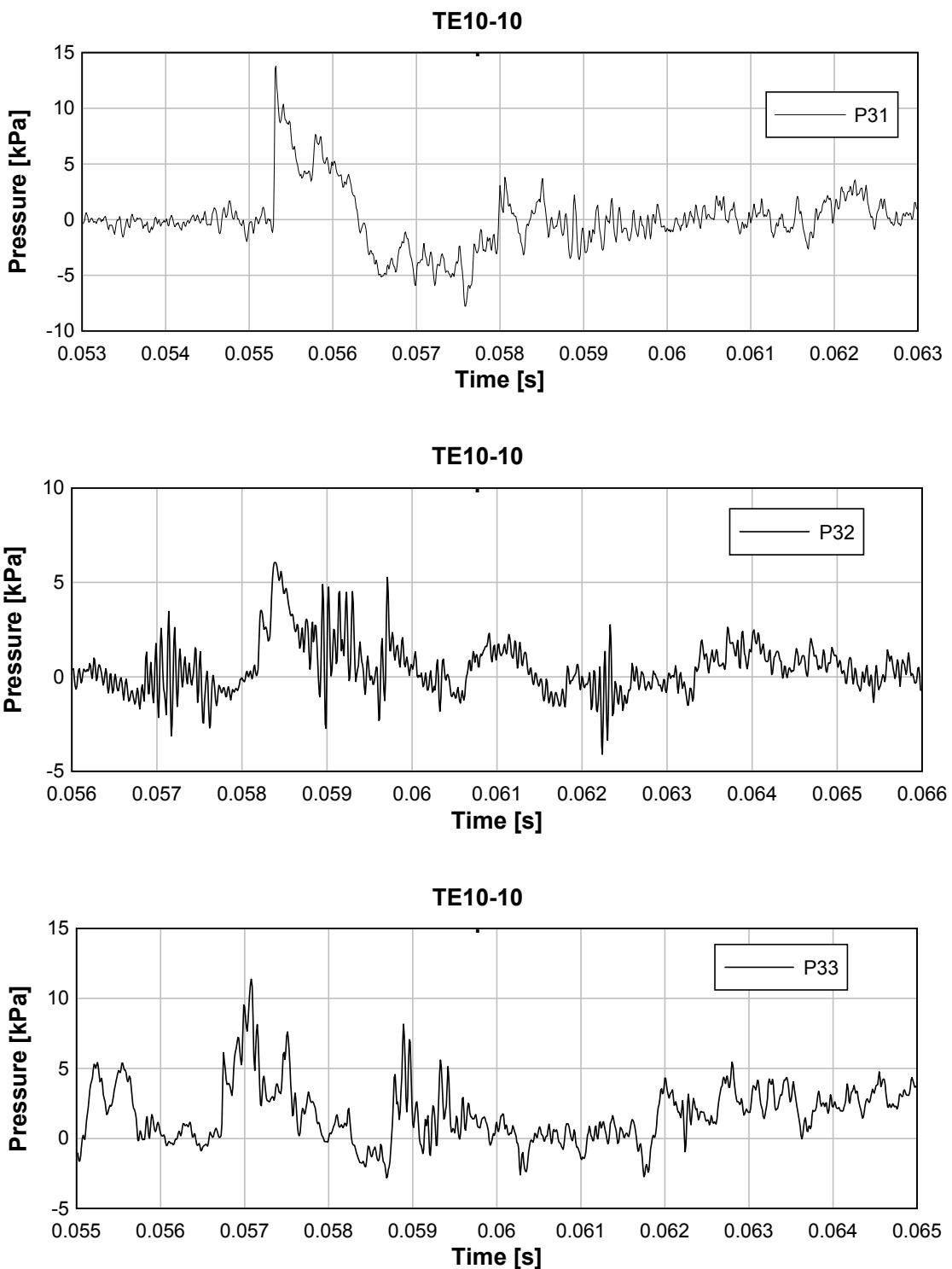


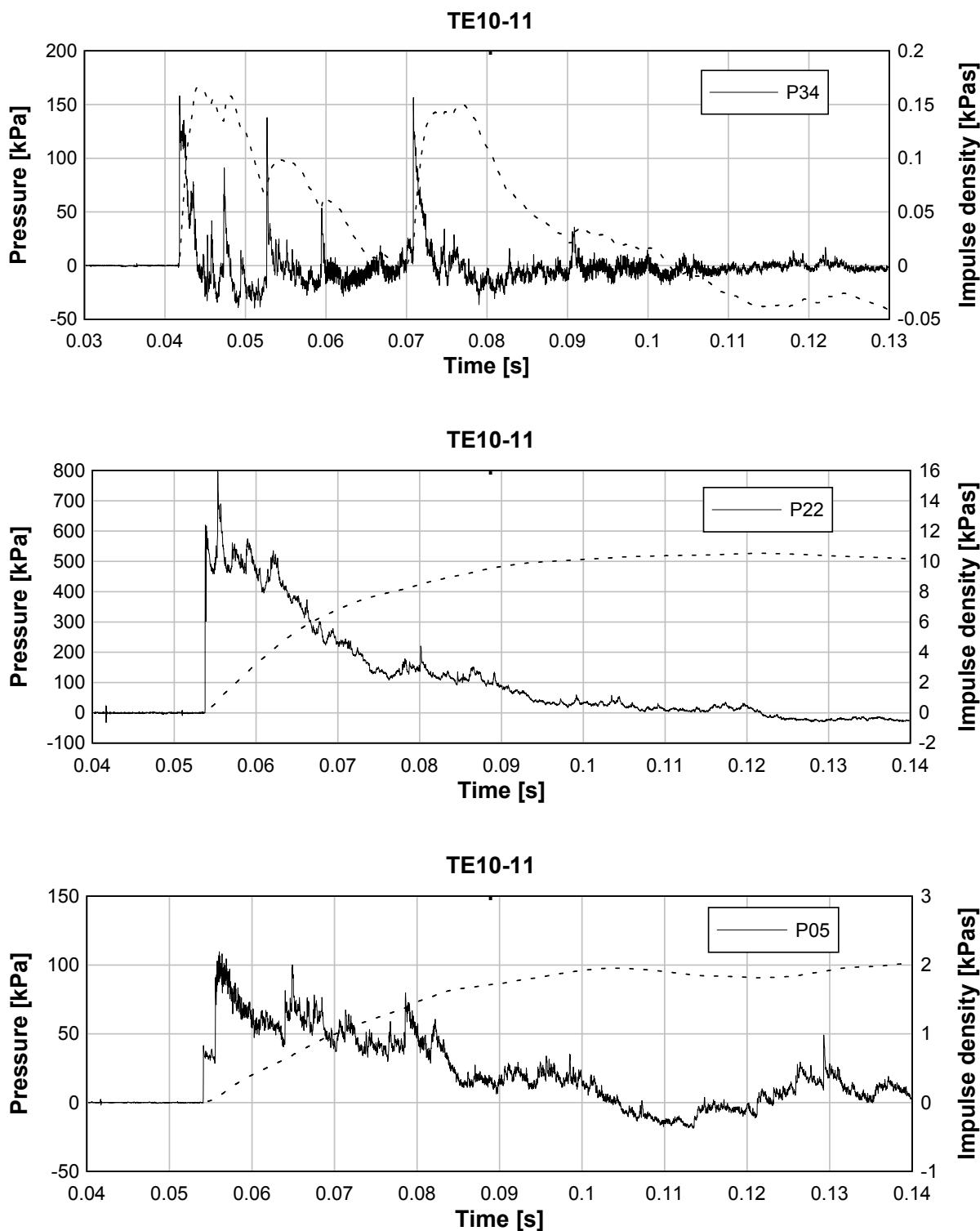
Test 10: avstånd -2 m, 125 kg Prillit

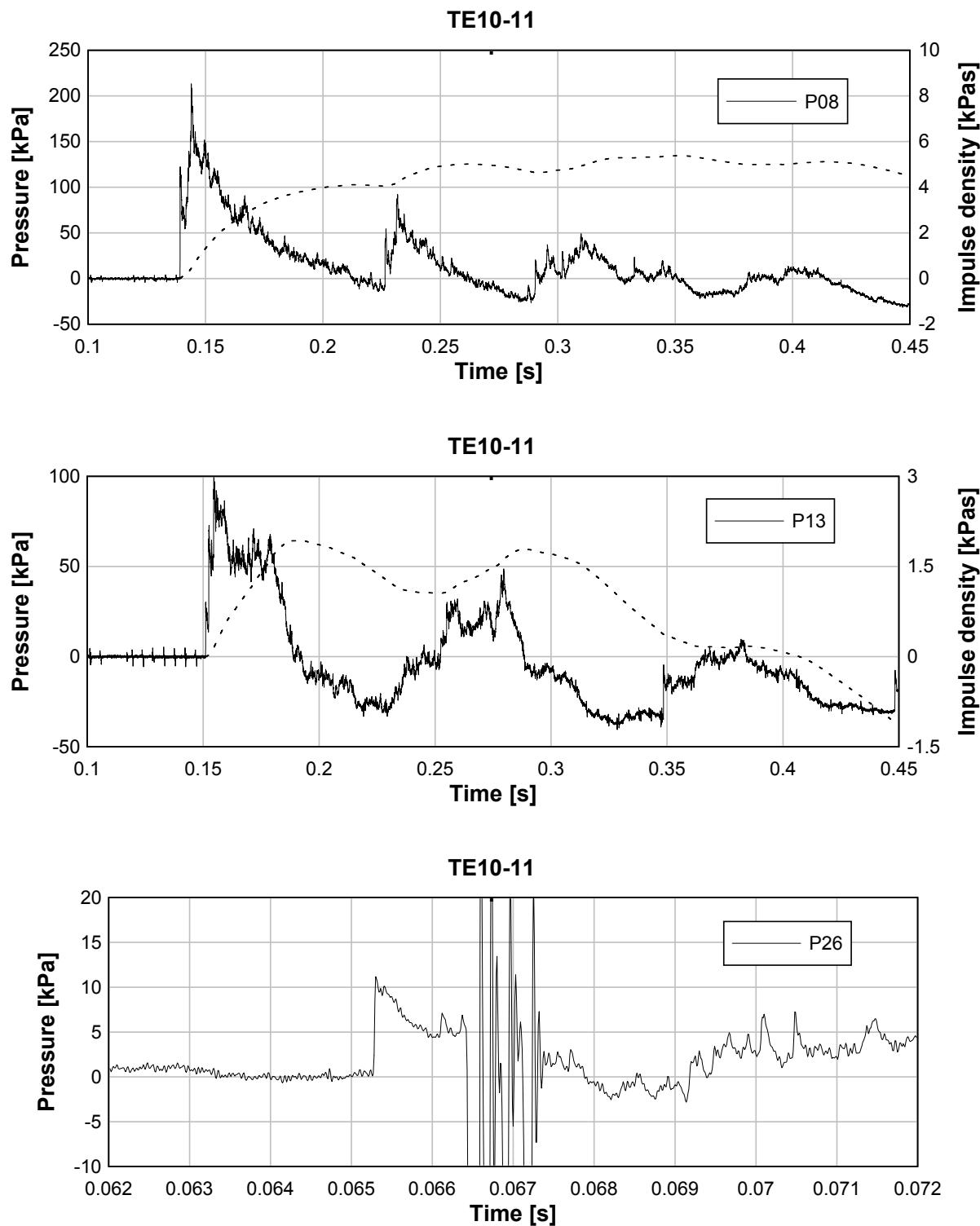


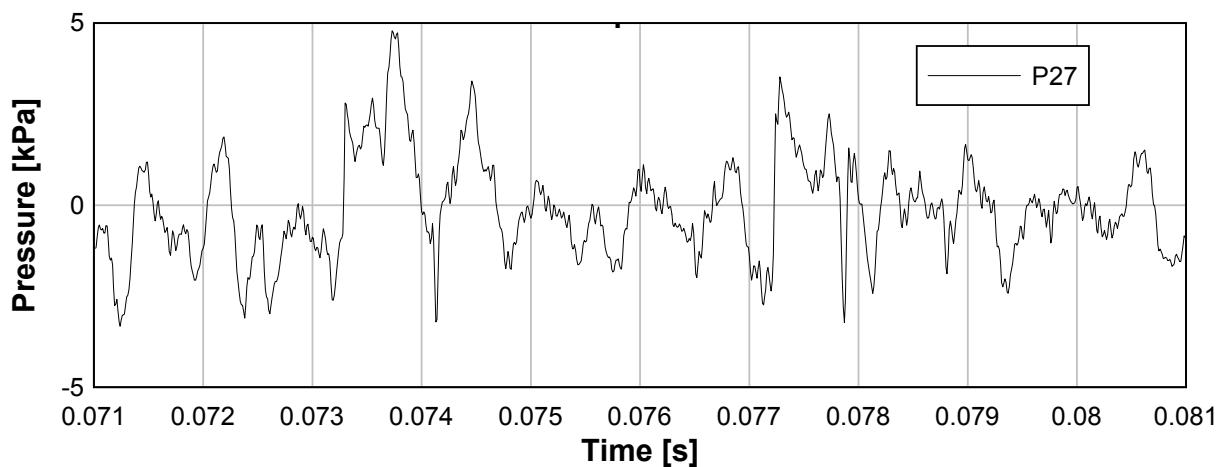
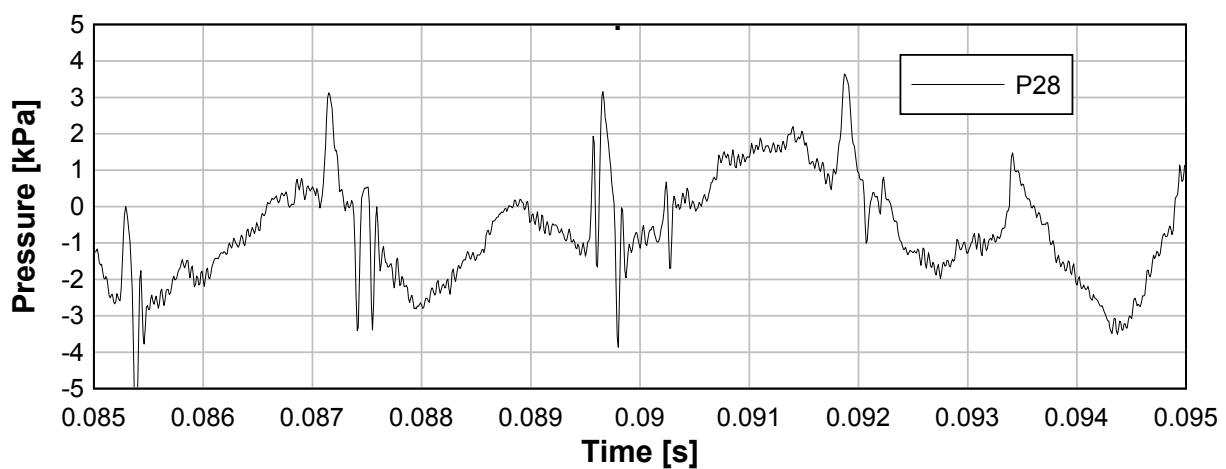
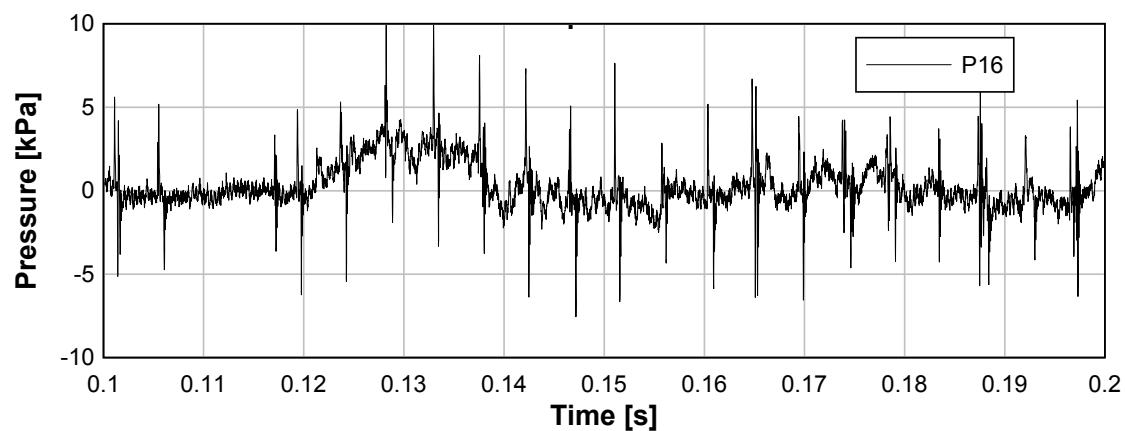


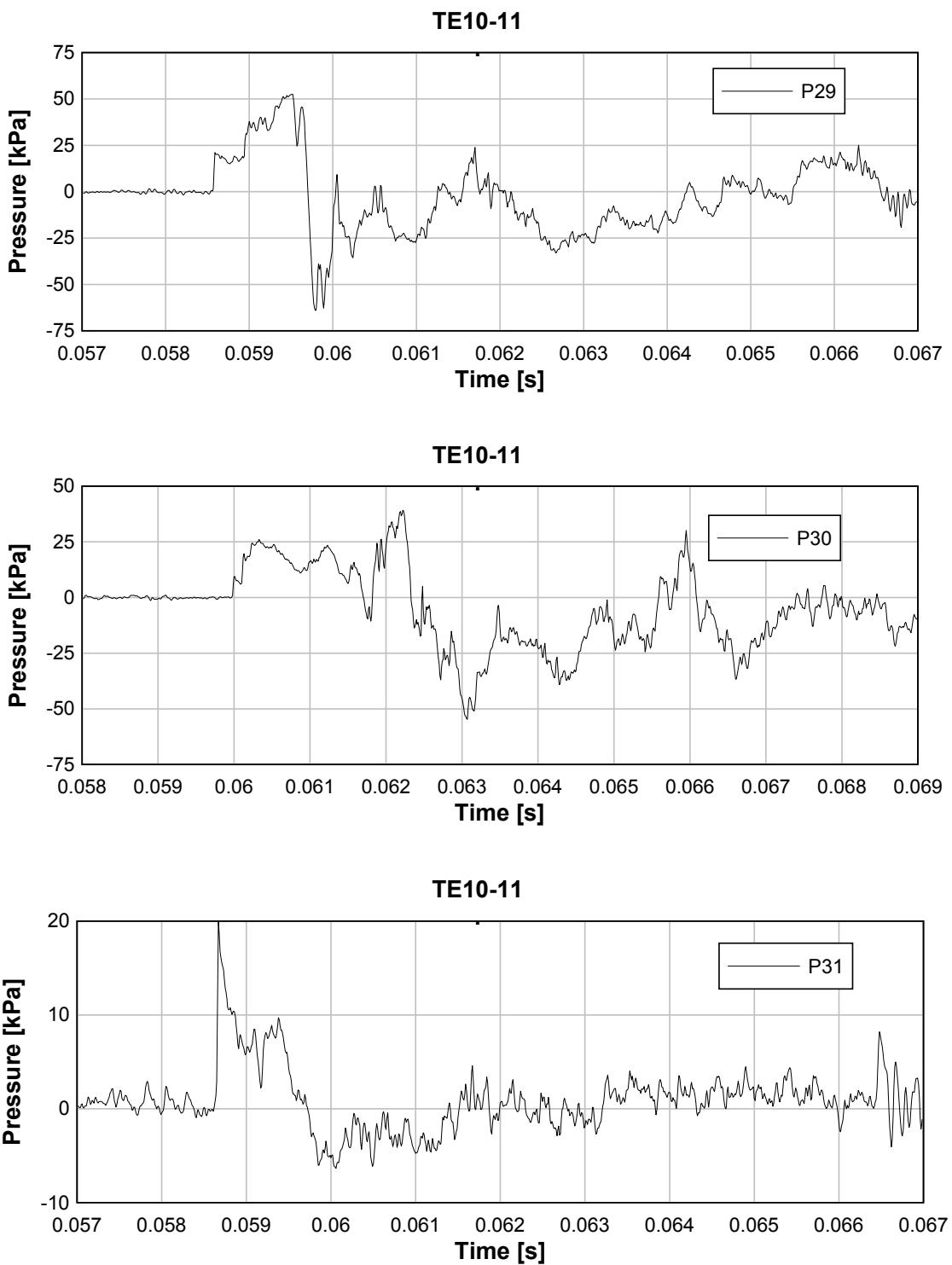


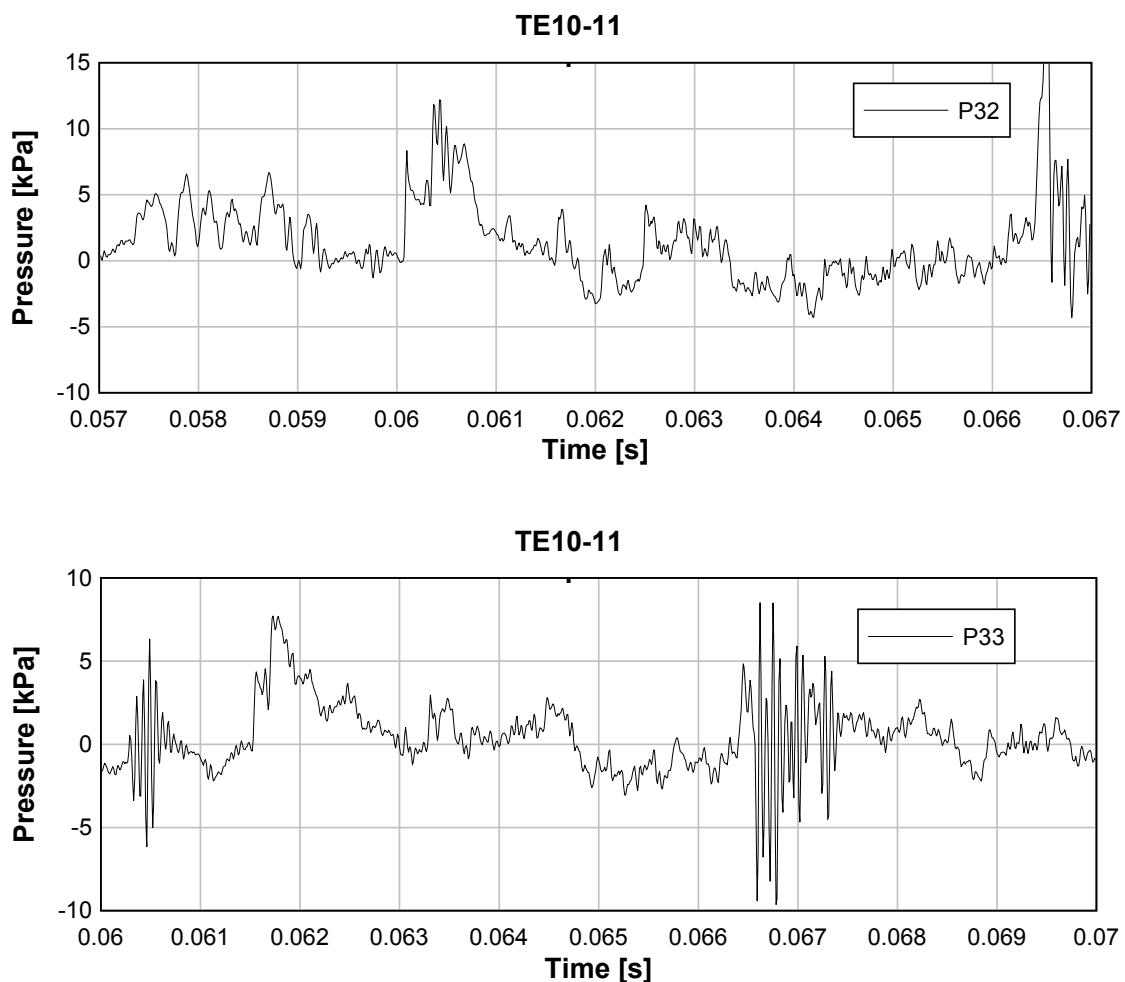


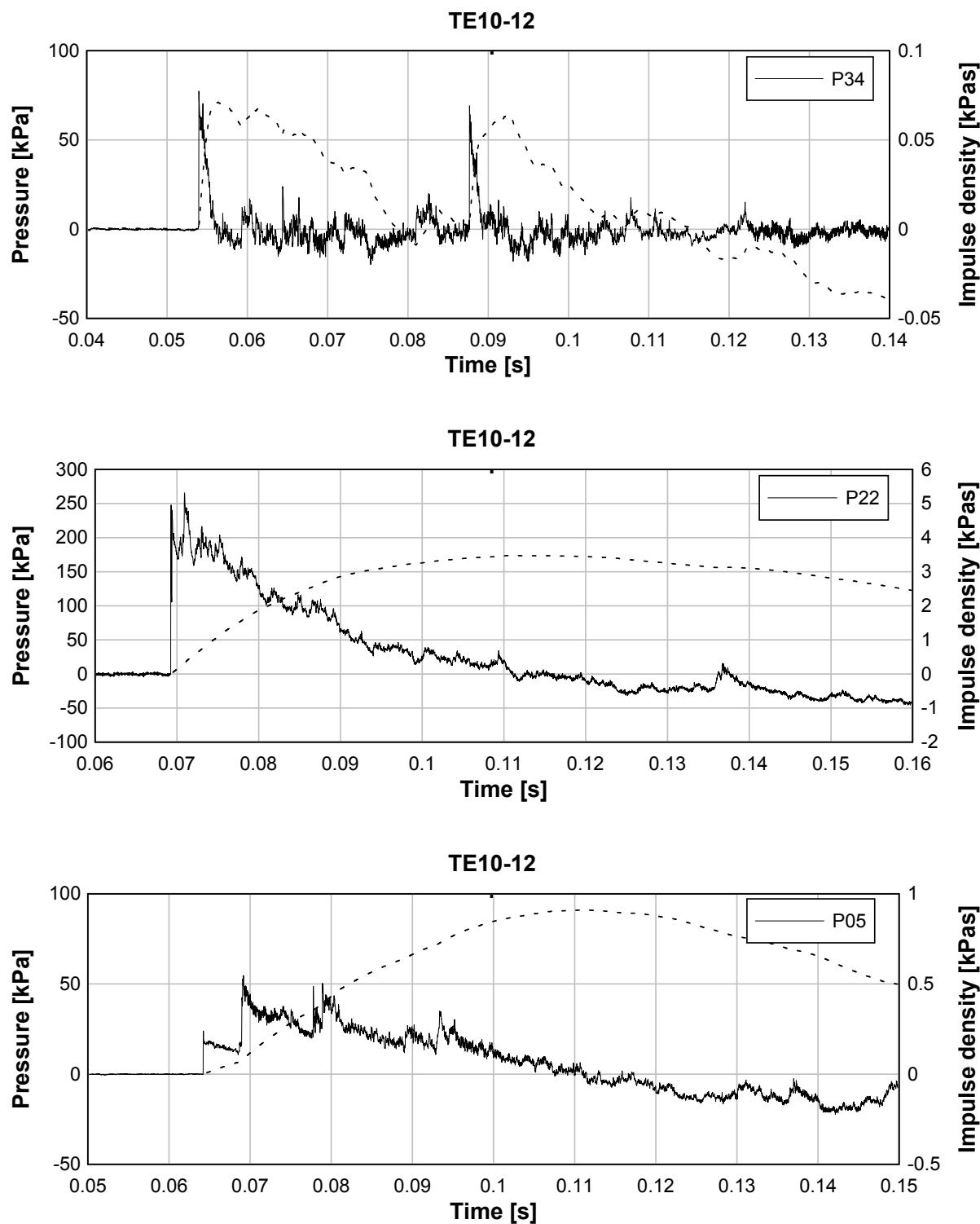
Test 11: avstånd 10 m, 625 kg Prillit

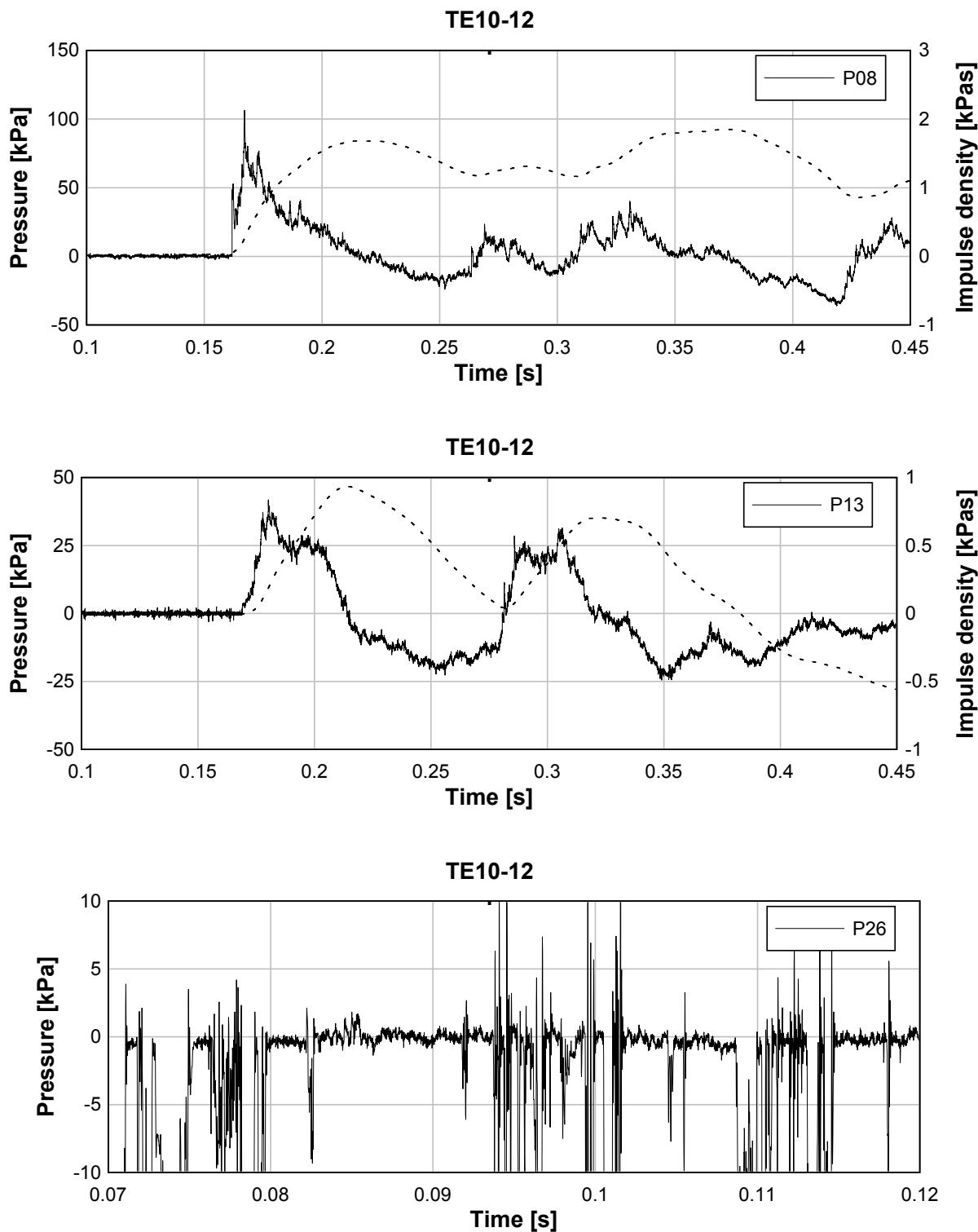


TE10-11**TE10-11****TE10-11**

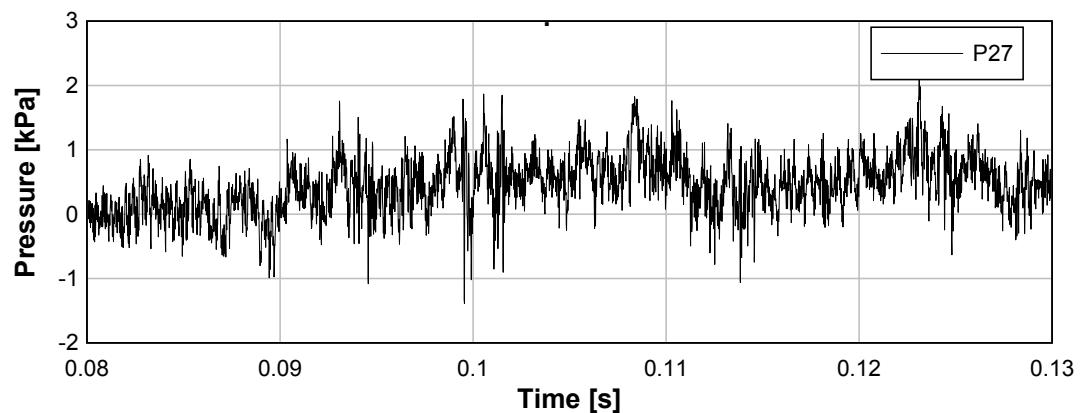




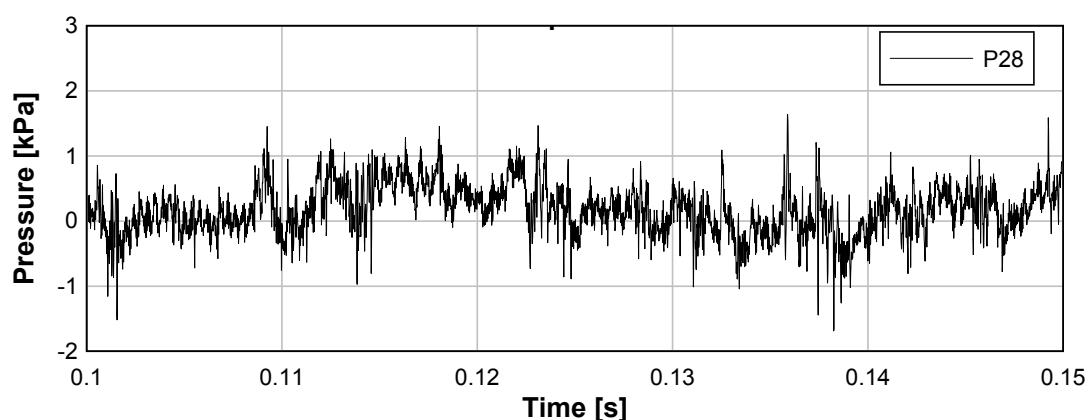
Test 12: avstånd 5 m, 125 kg Prillit



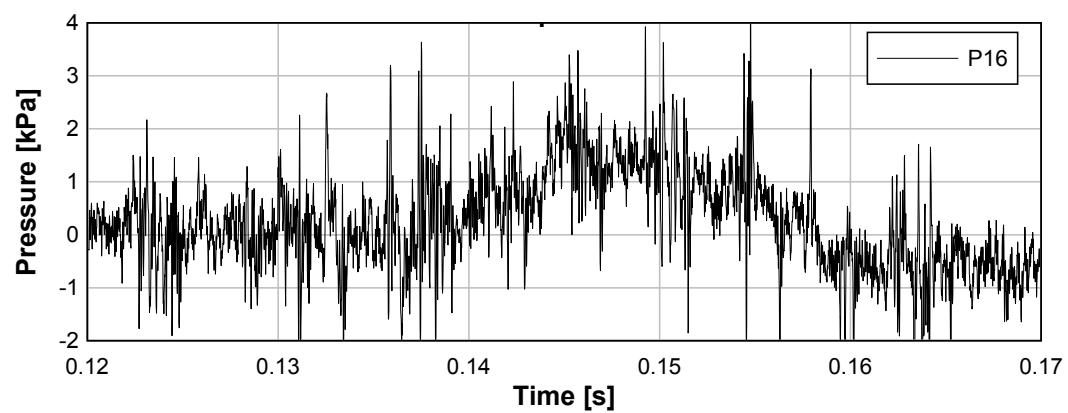
TE10-12

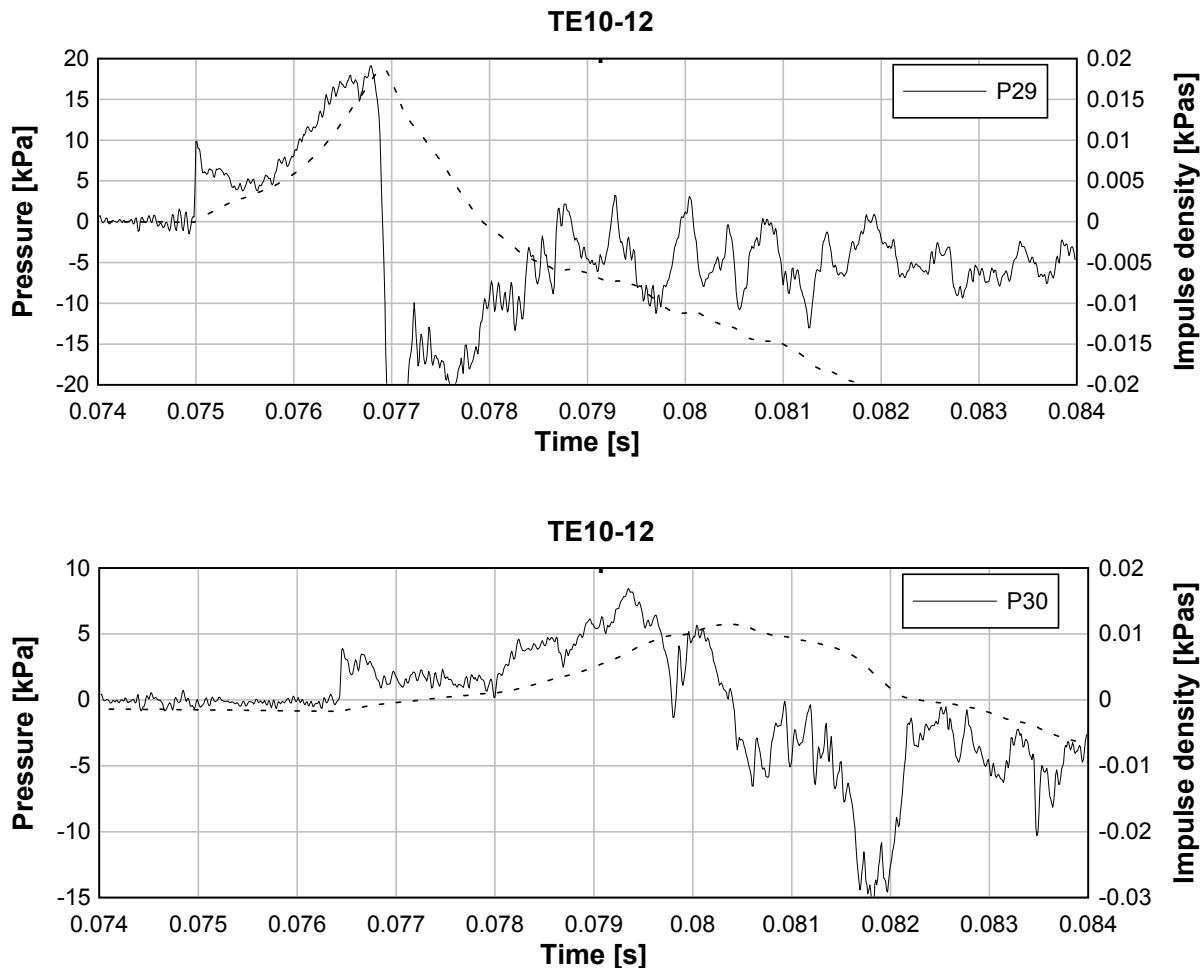


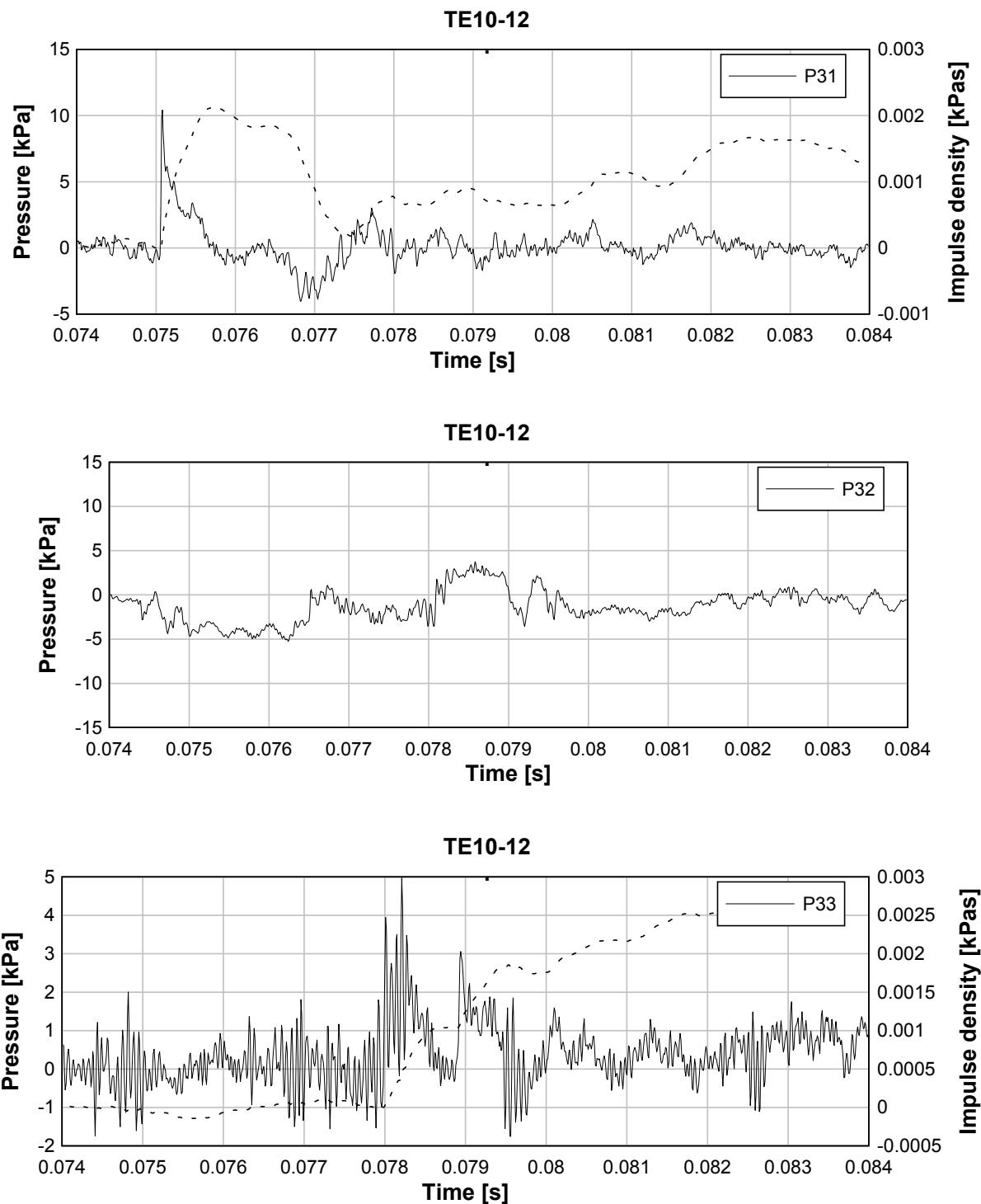
TE10-12

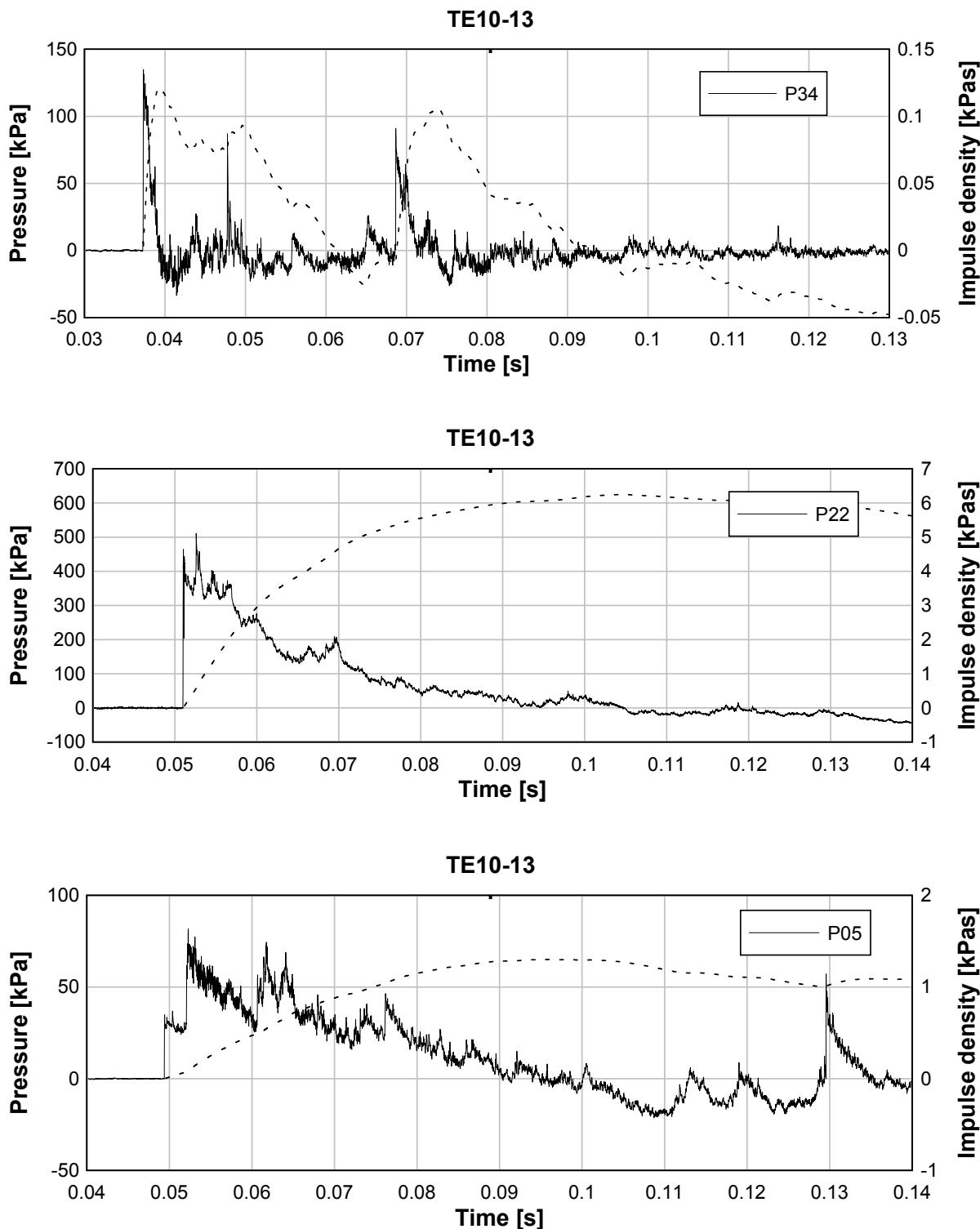


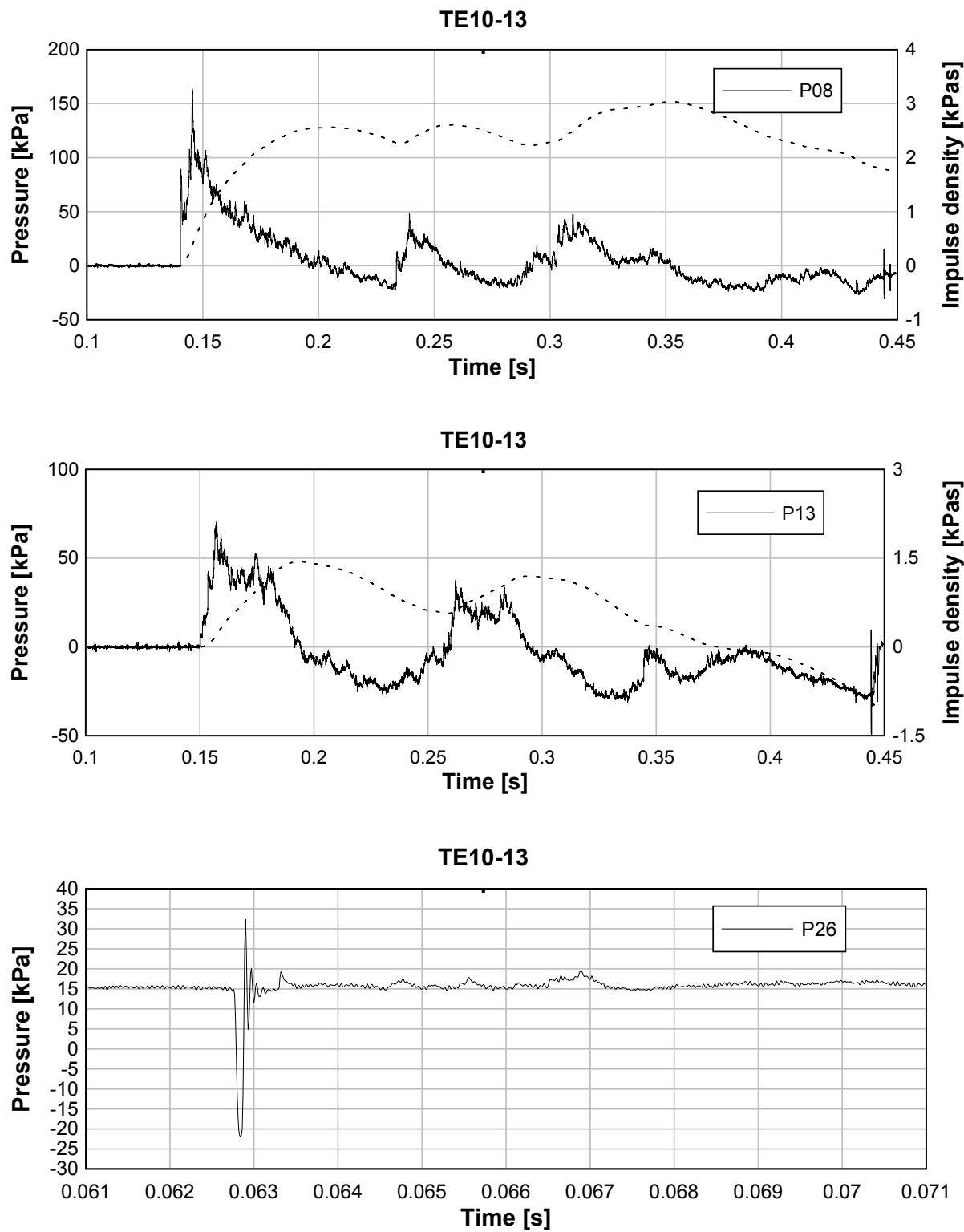
TE10-12

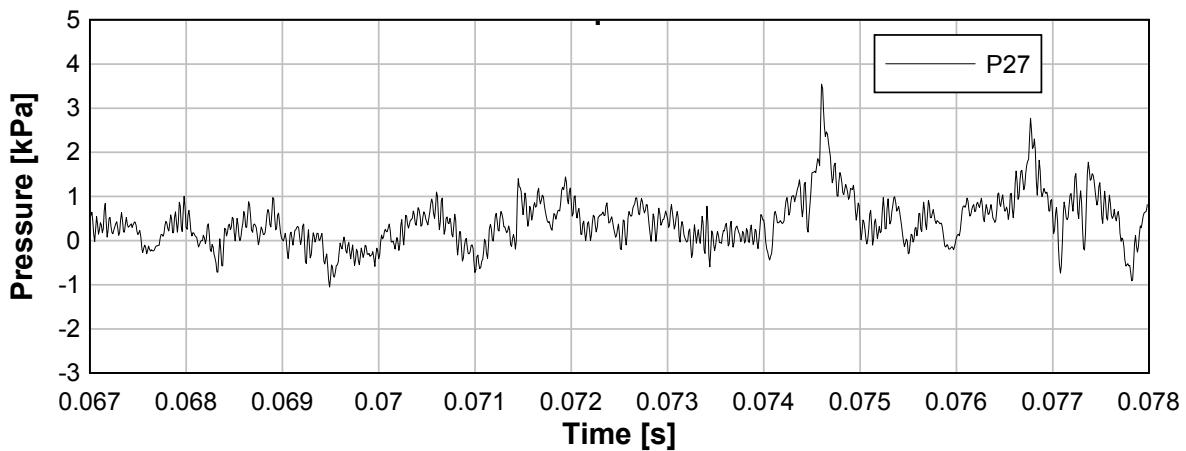
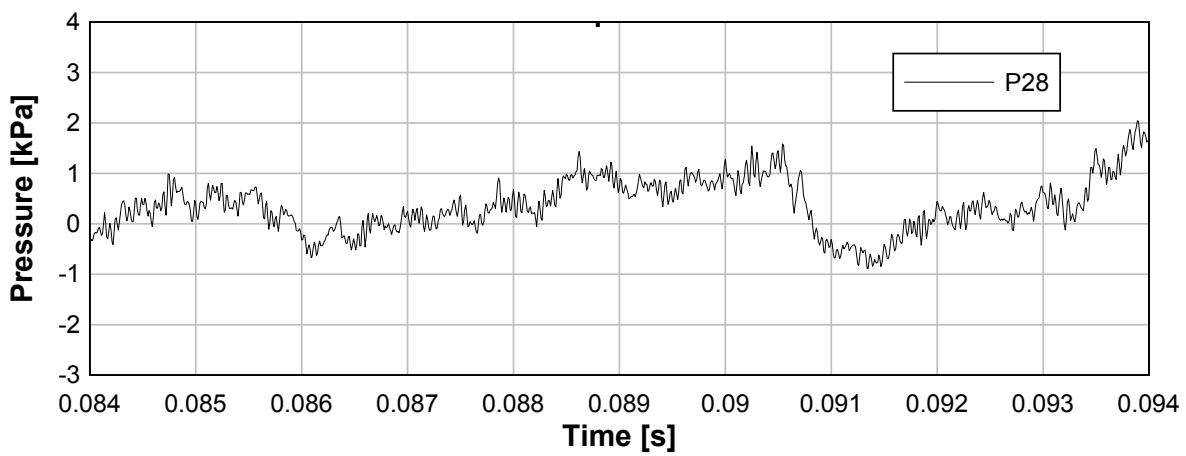
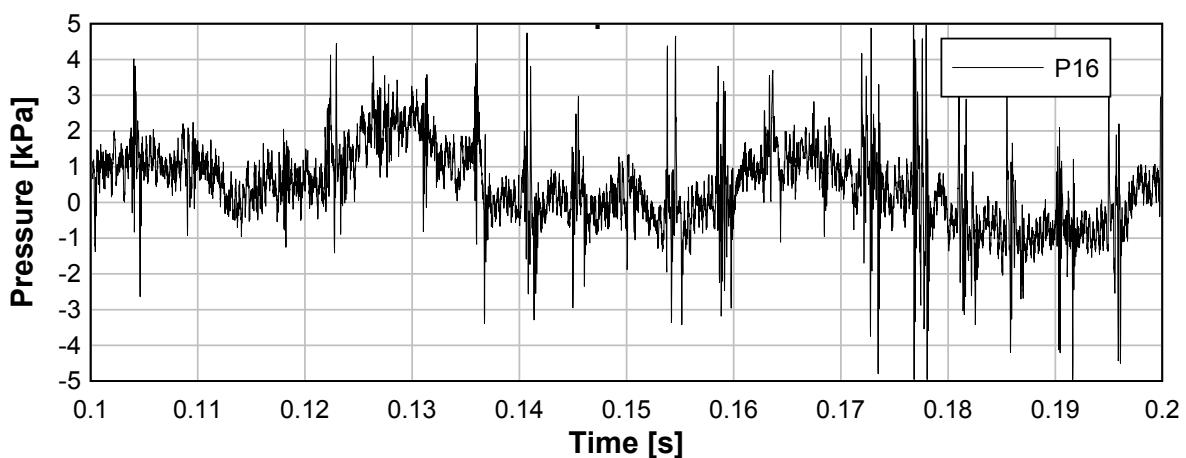




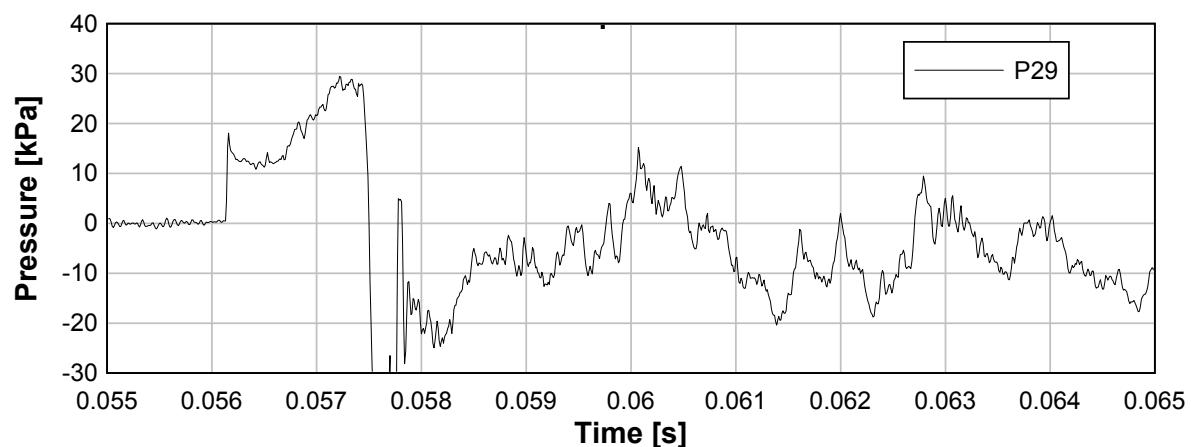


Test 13: avstånd -2 m, 125 kg Prillit

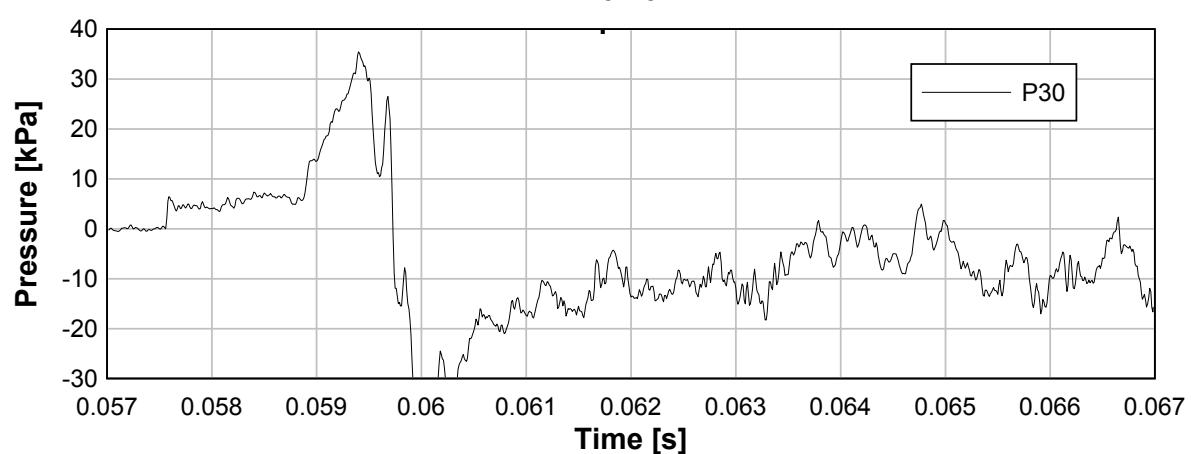


TE10-13**TE10-13****TE10-13**

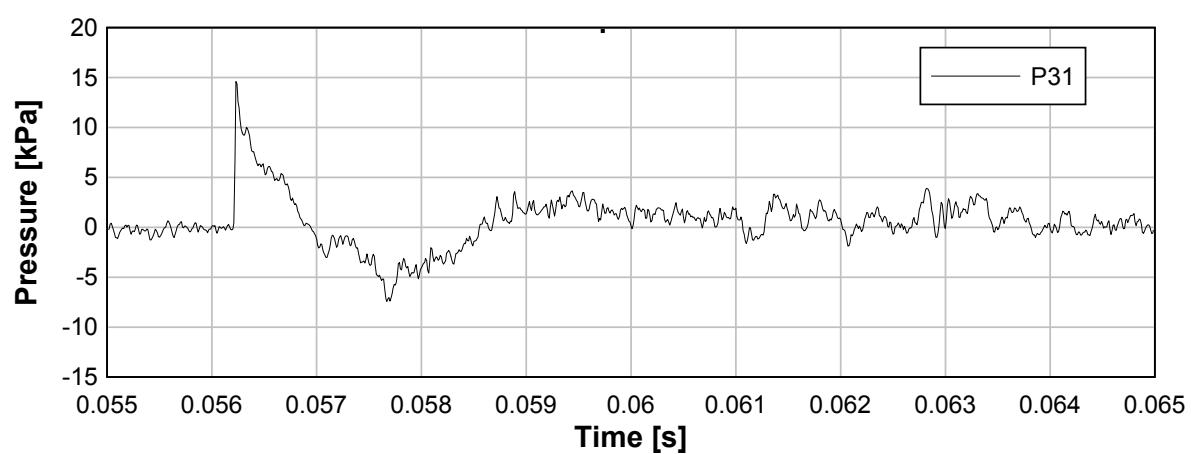
TE10-13

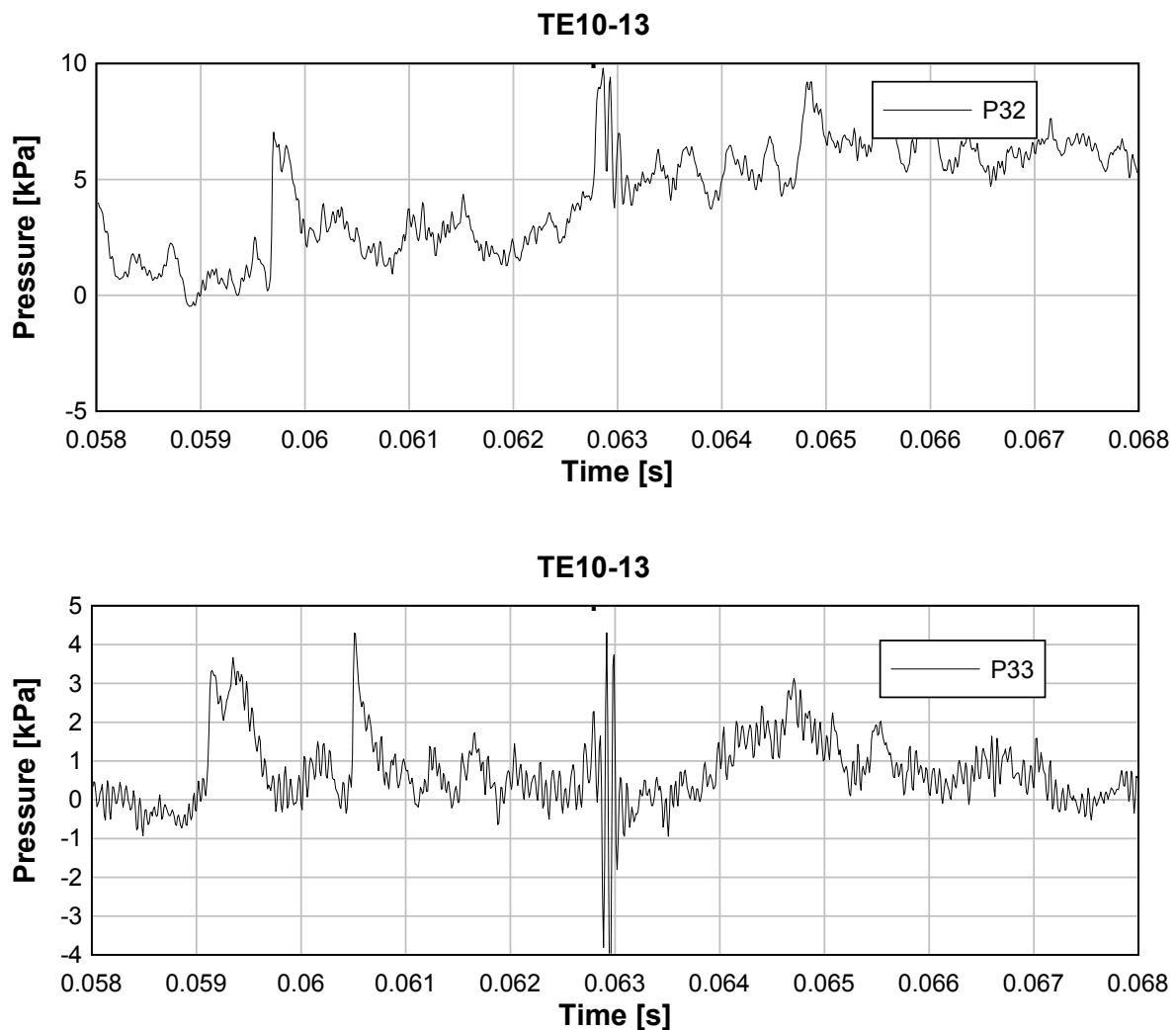


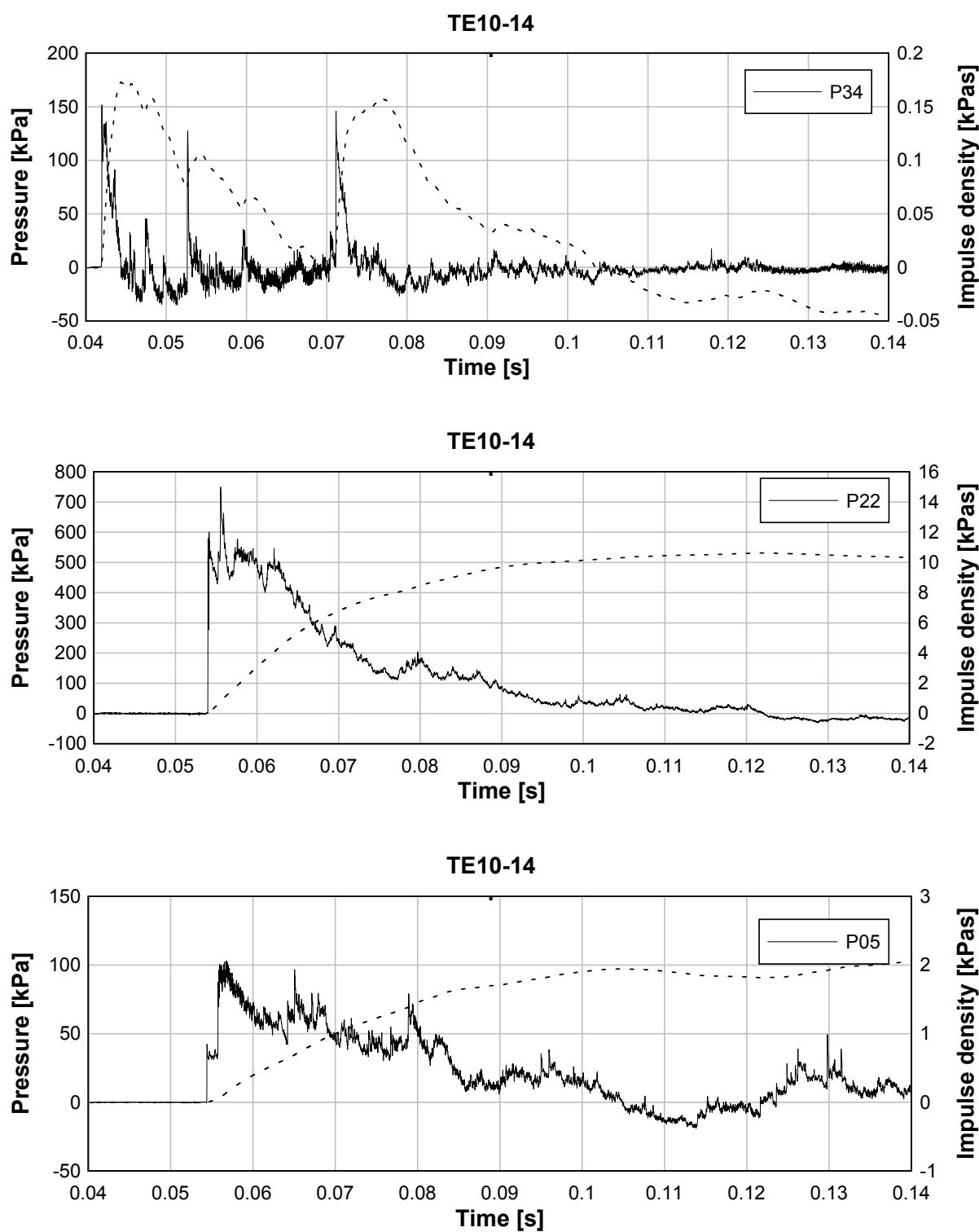
TE10-13

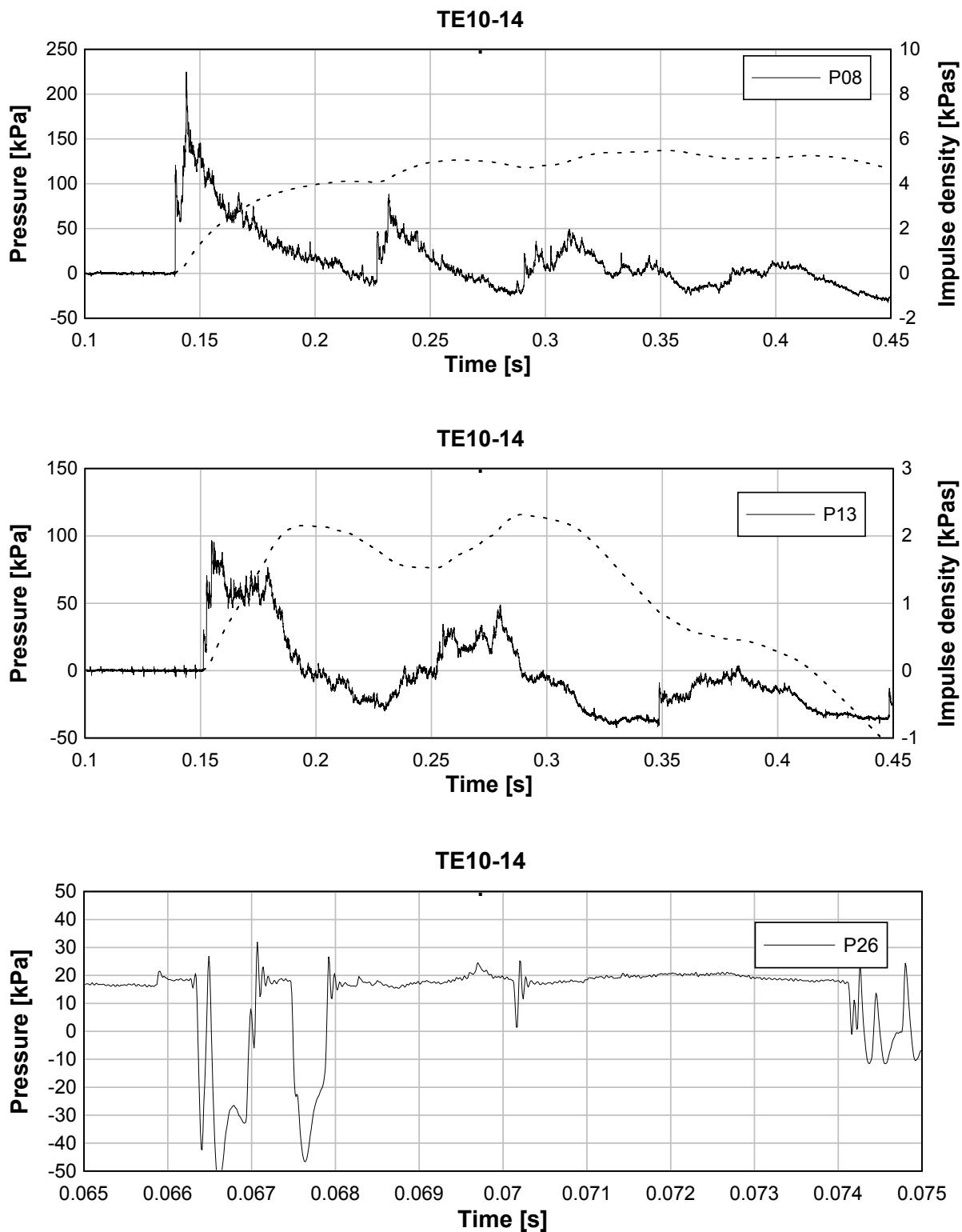


TE10-13

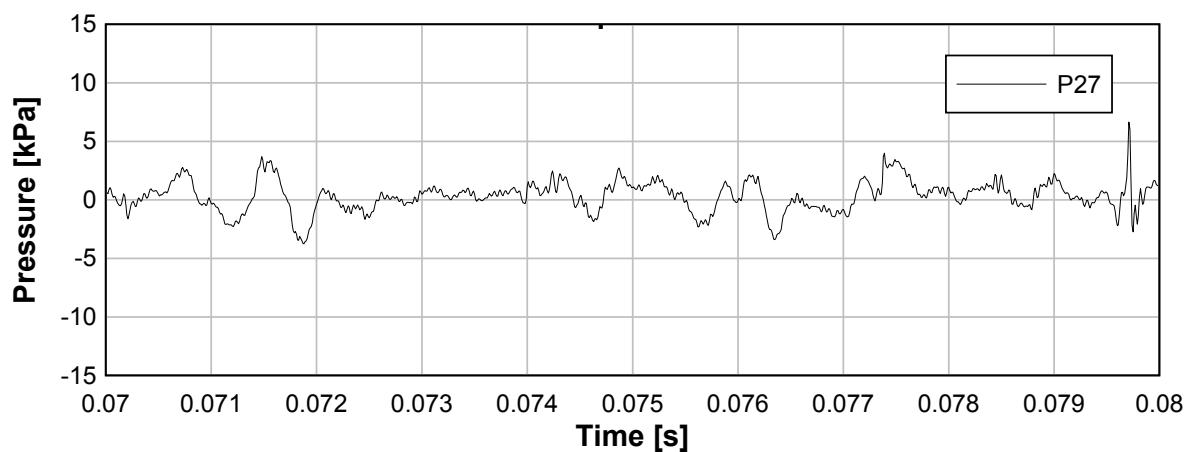




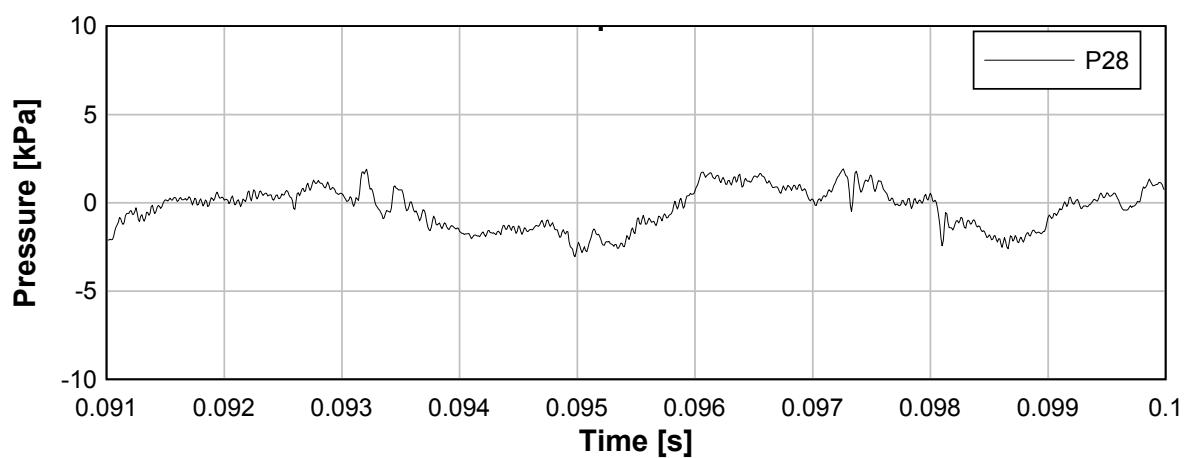
Test 14: avstånd 10 m, 625 kg Prillit



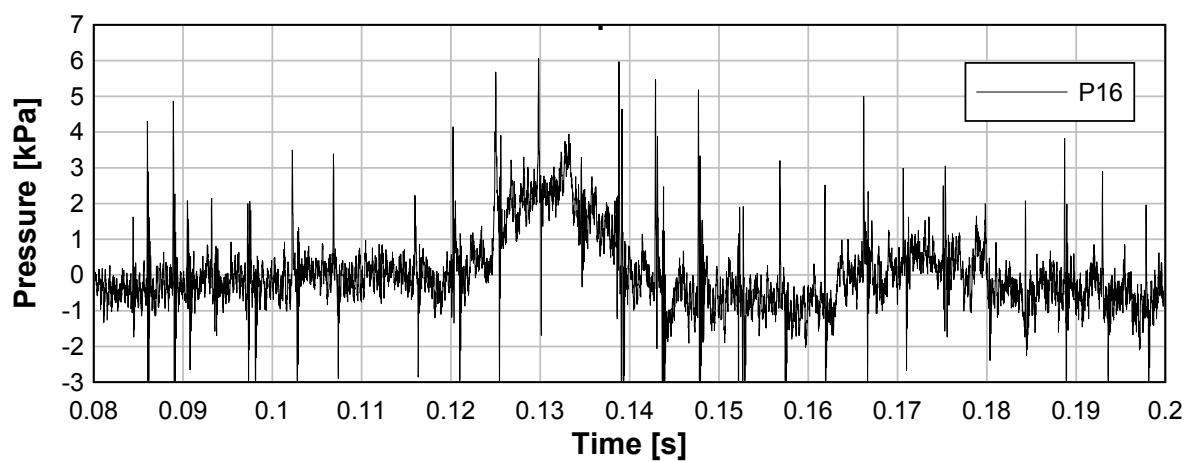
TE10-14



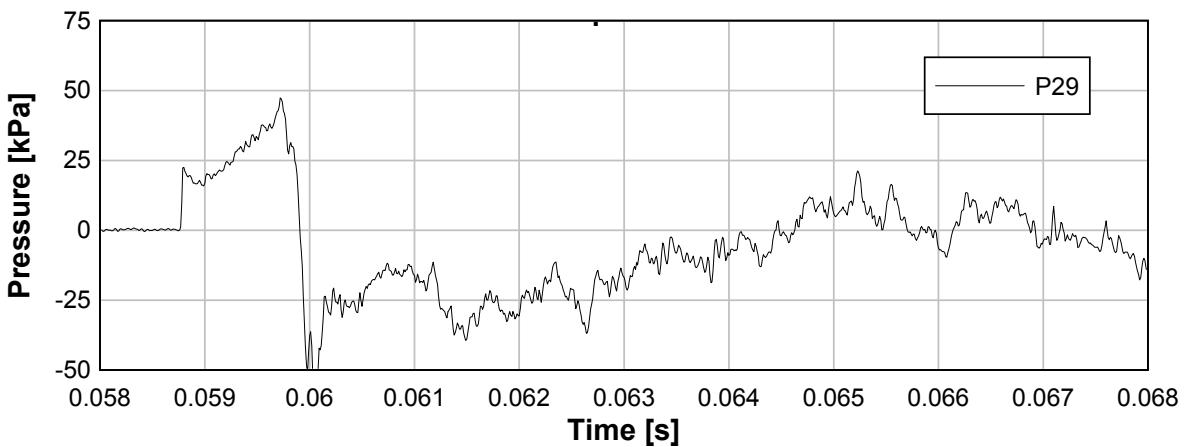
TE10-14



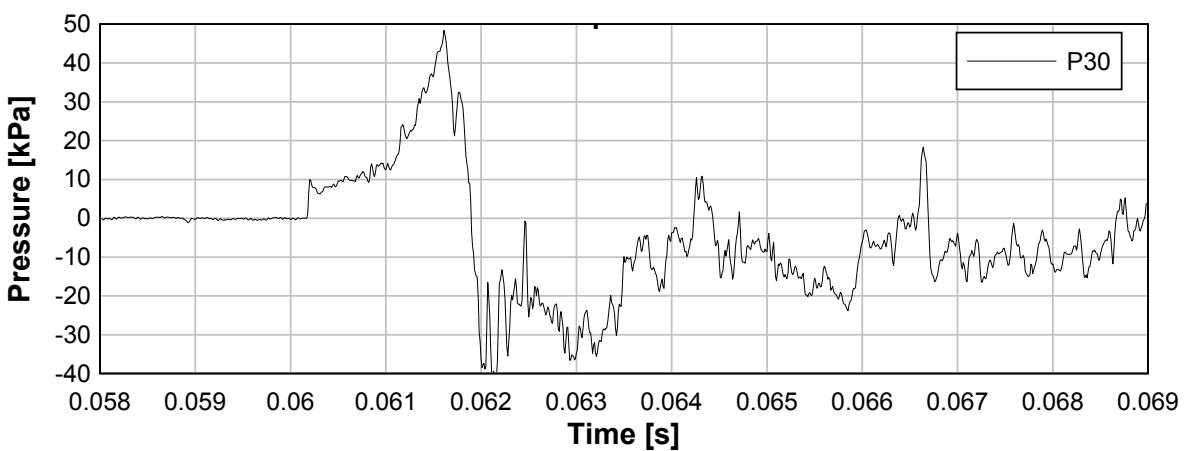
TE10-14



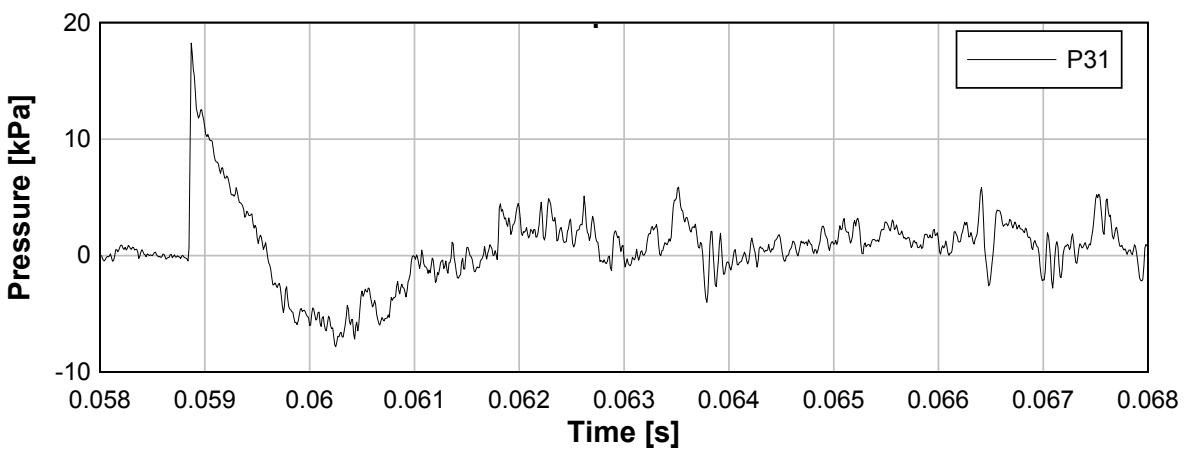
TE10-14

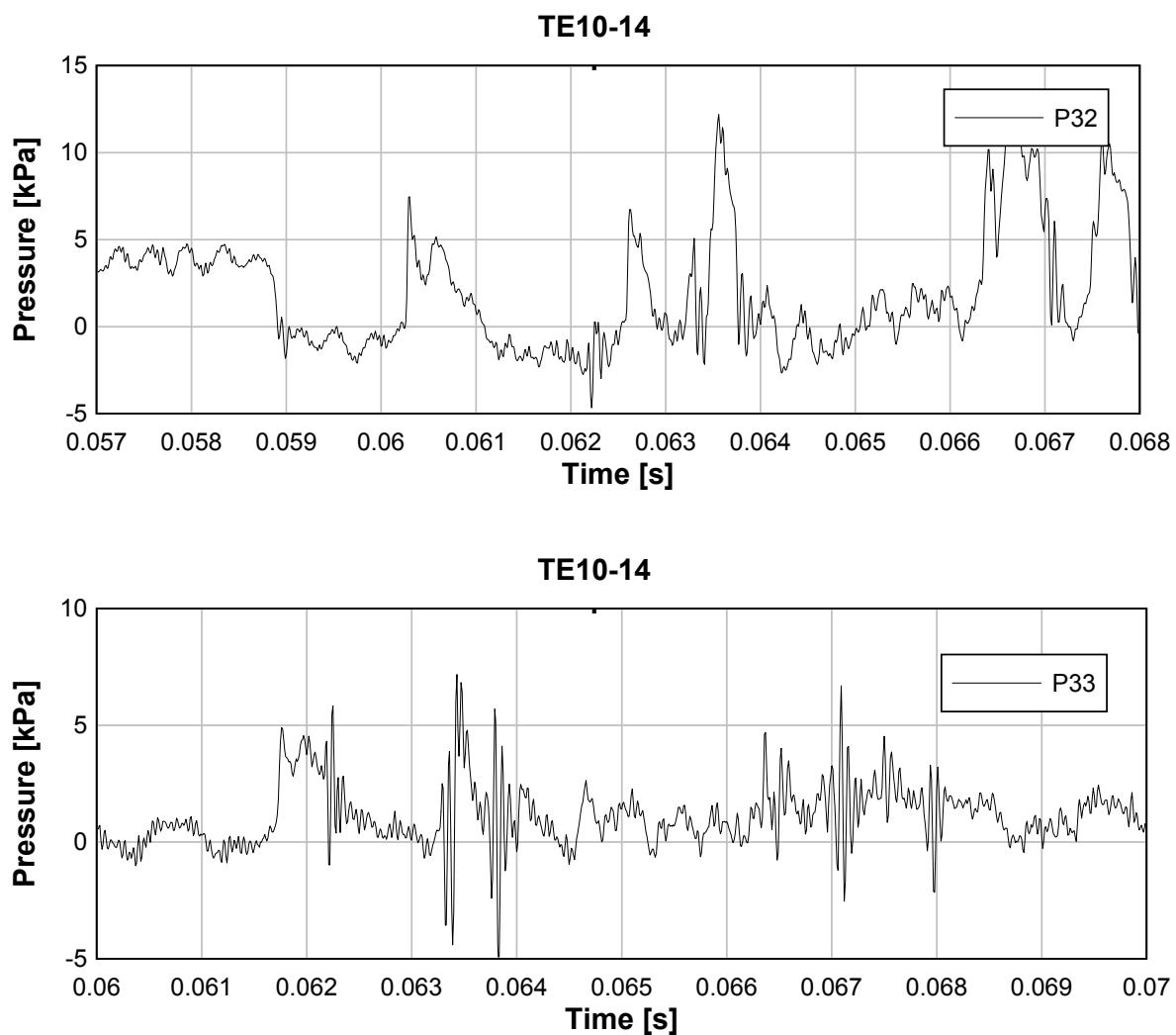


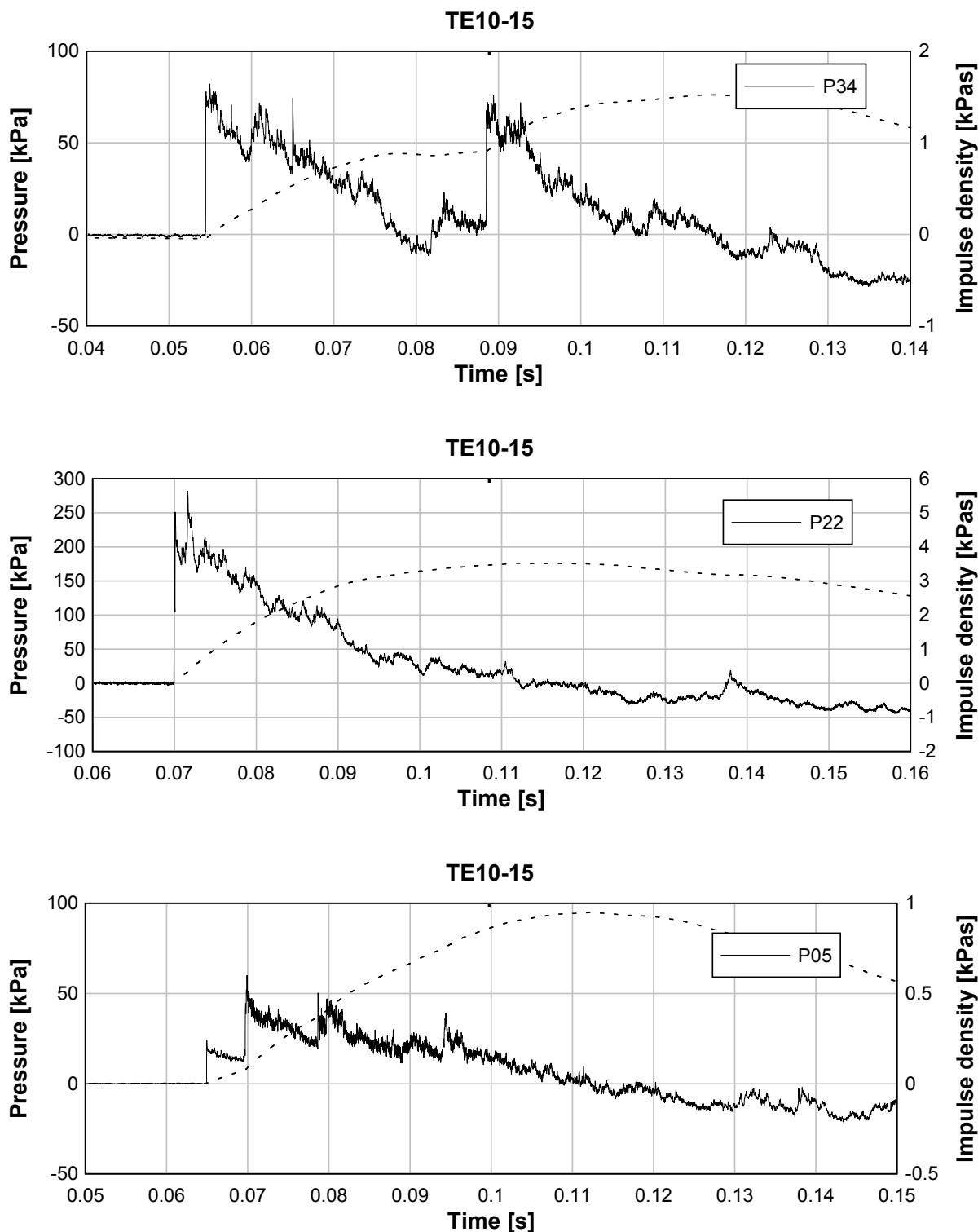
TE10-14

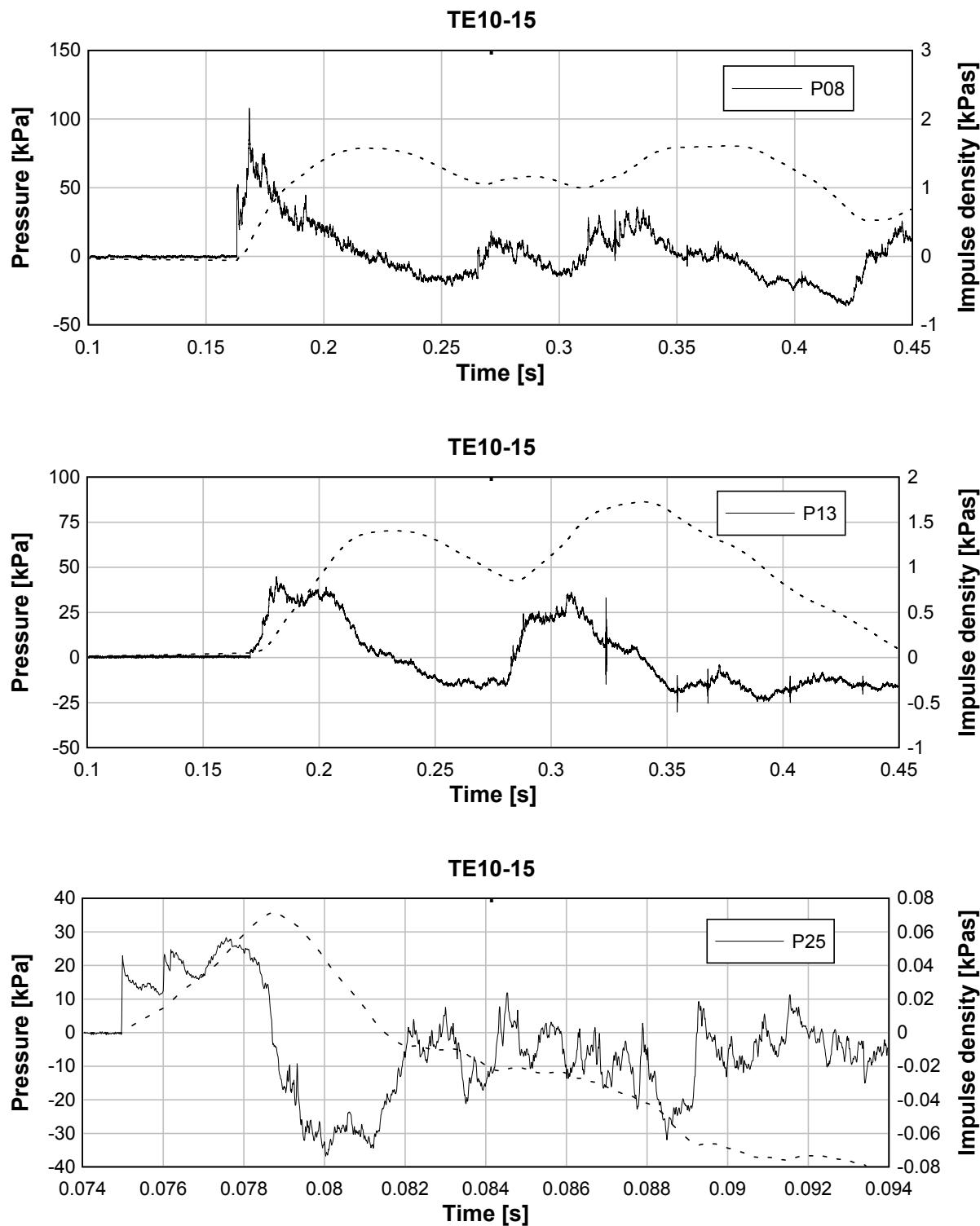


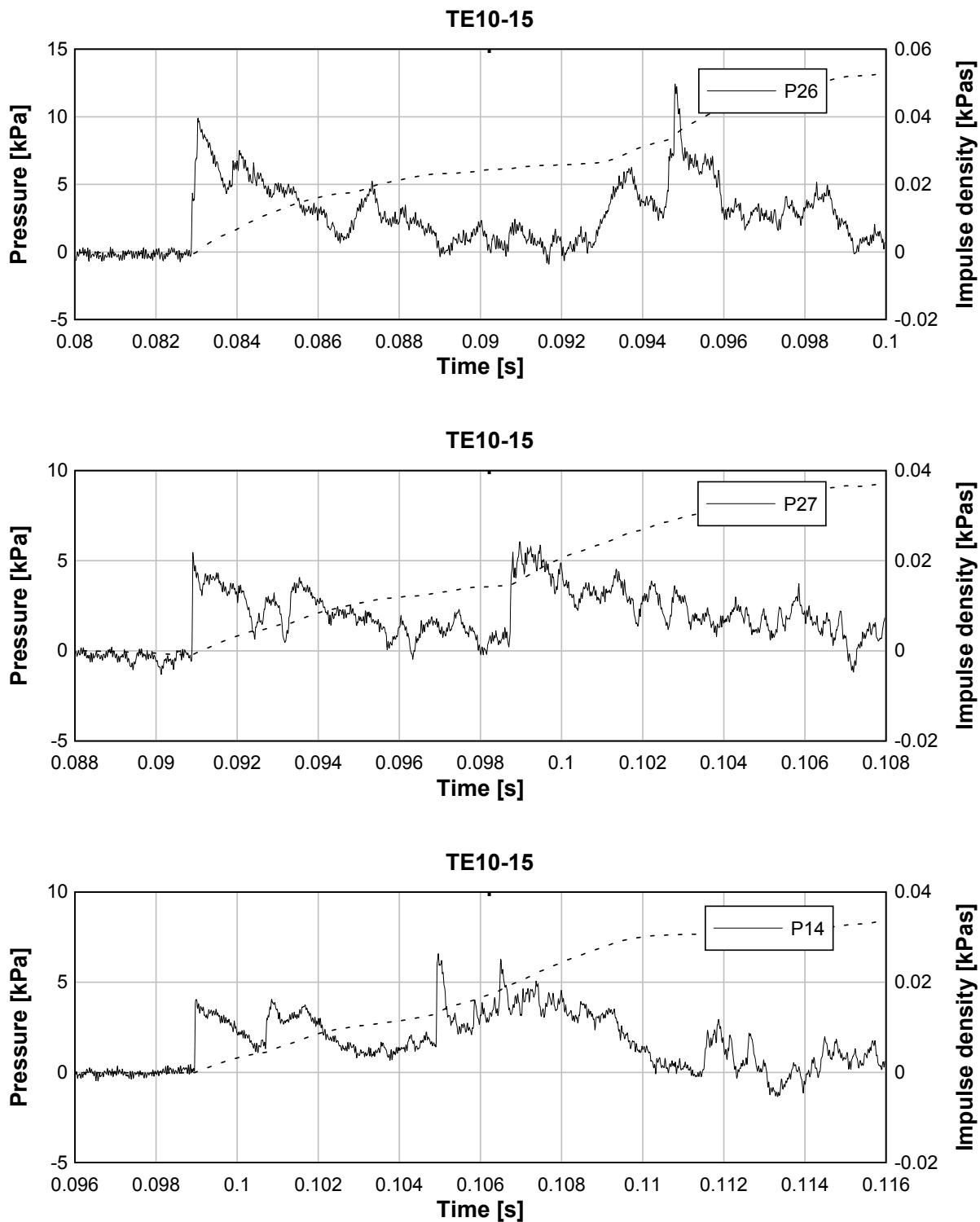
TE10-14

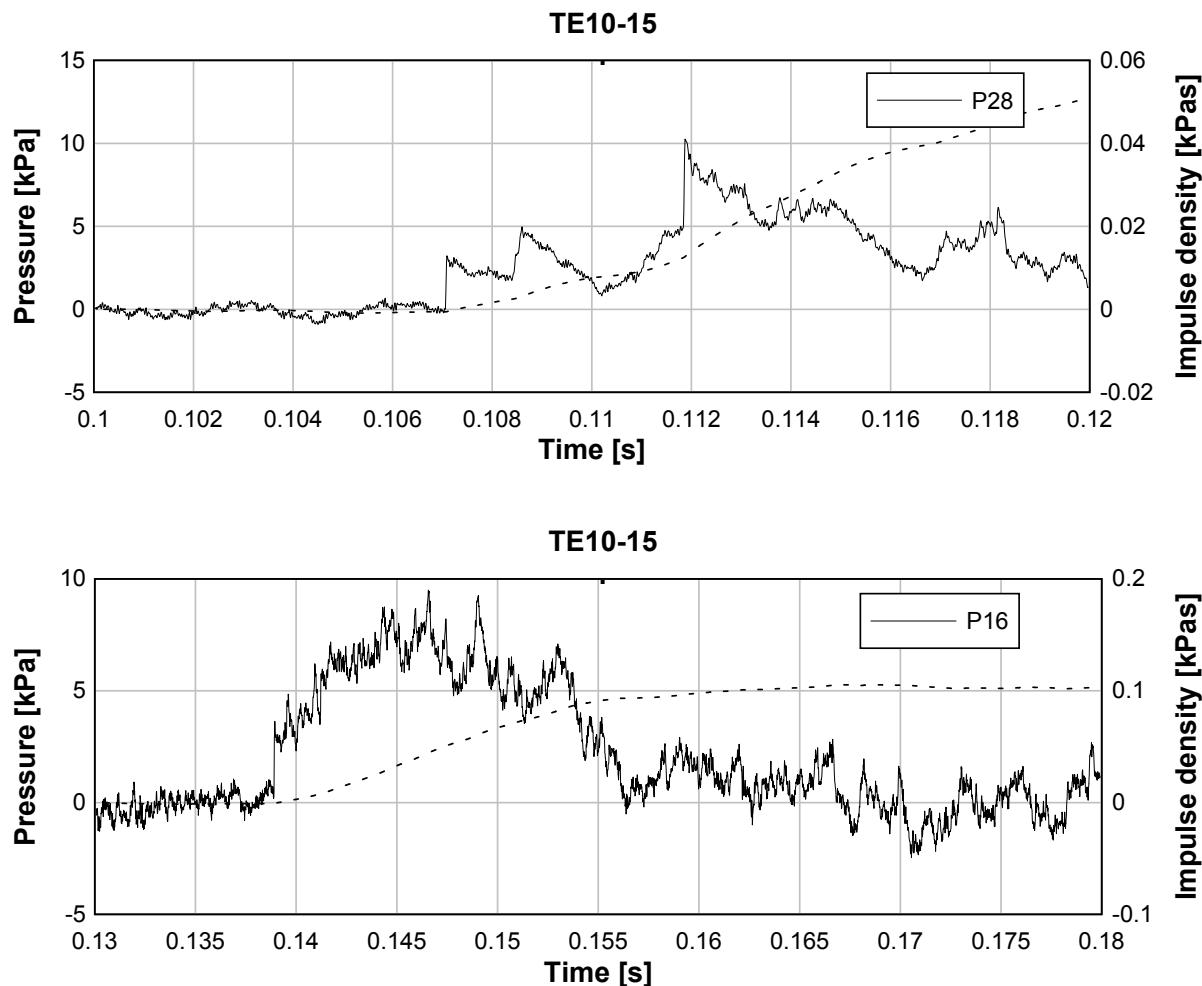


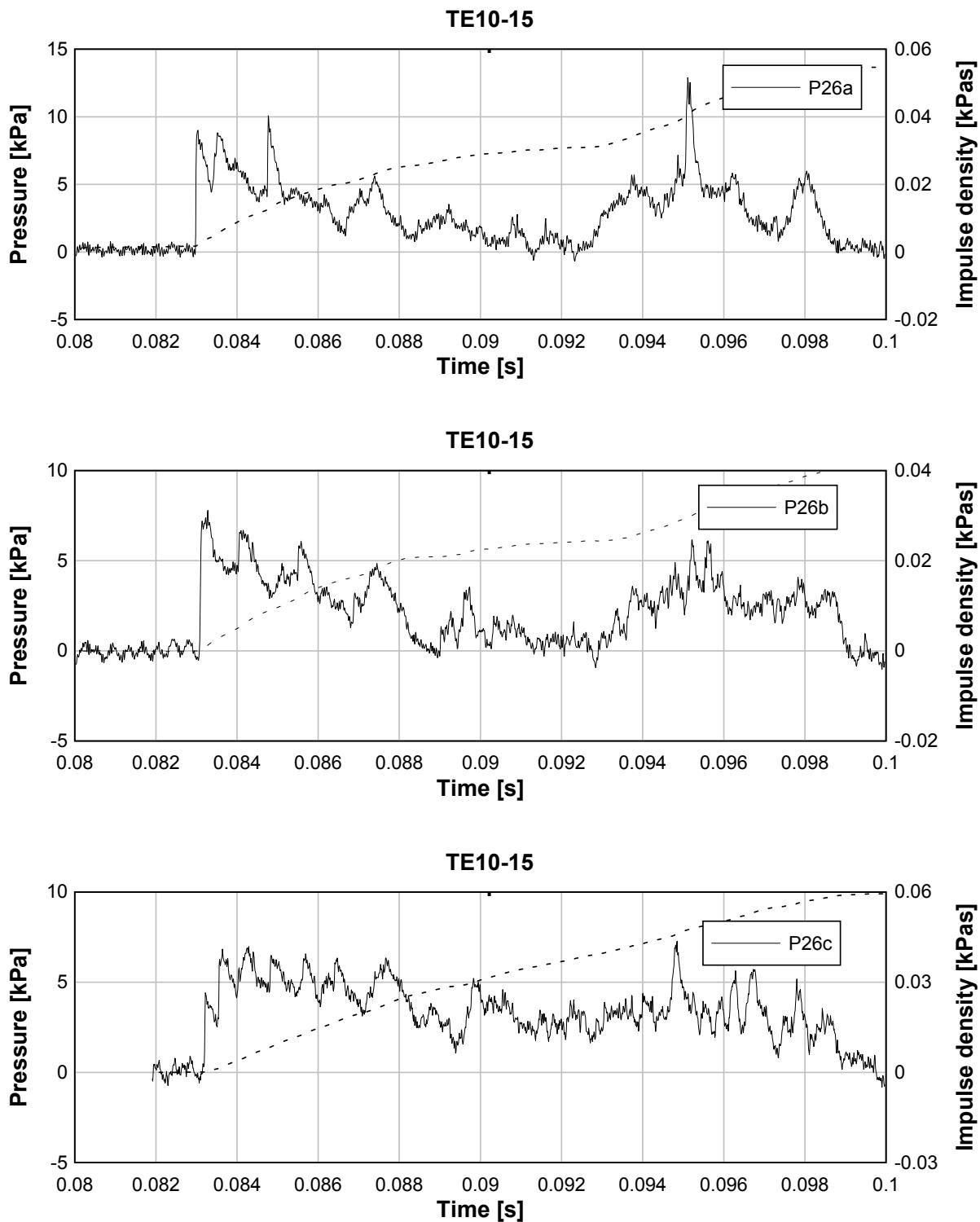


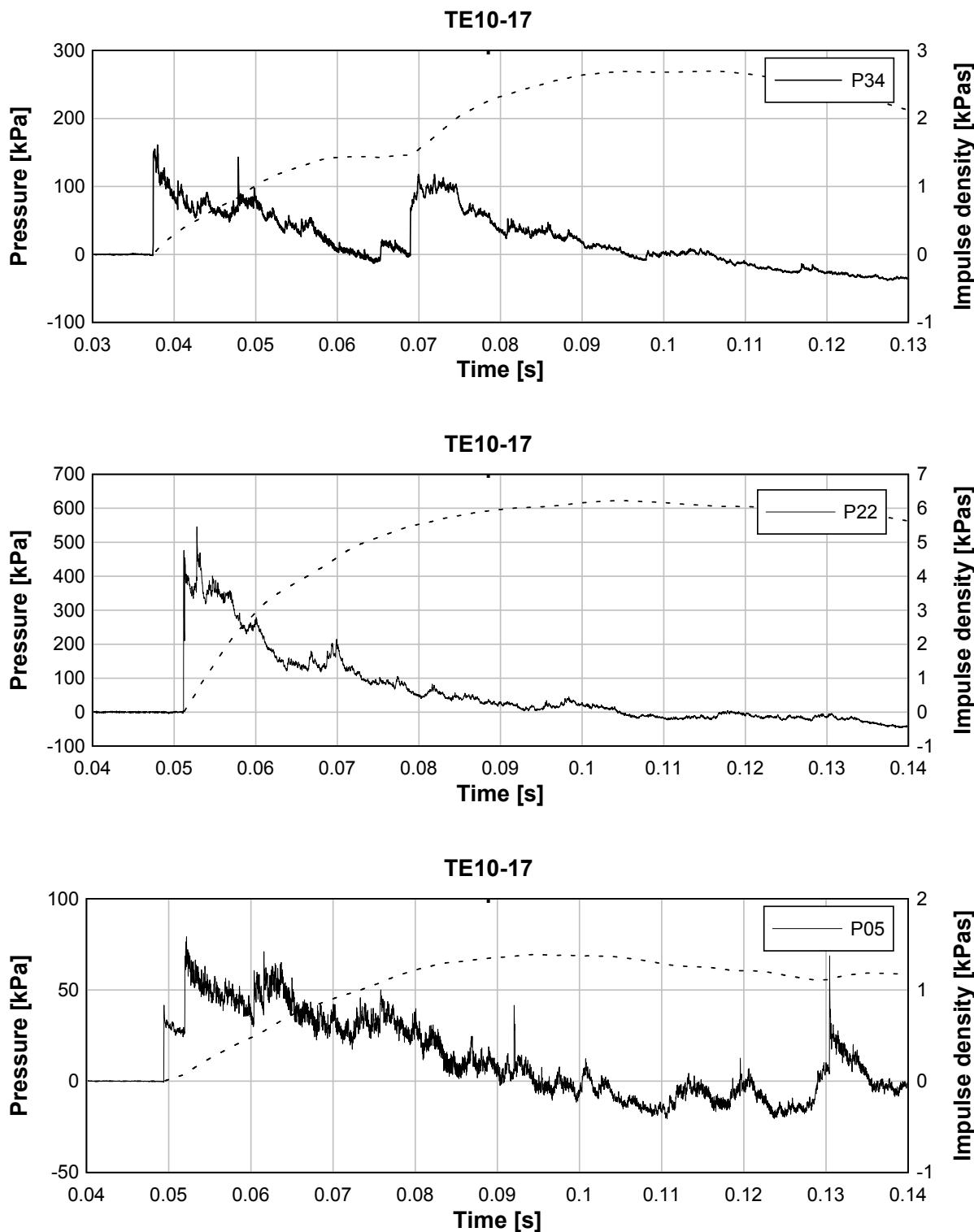
Test 15: avstånd 5 m, 125 kg Prillit

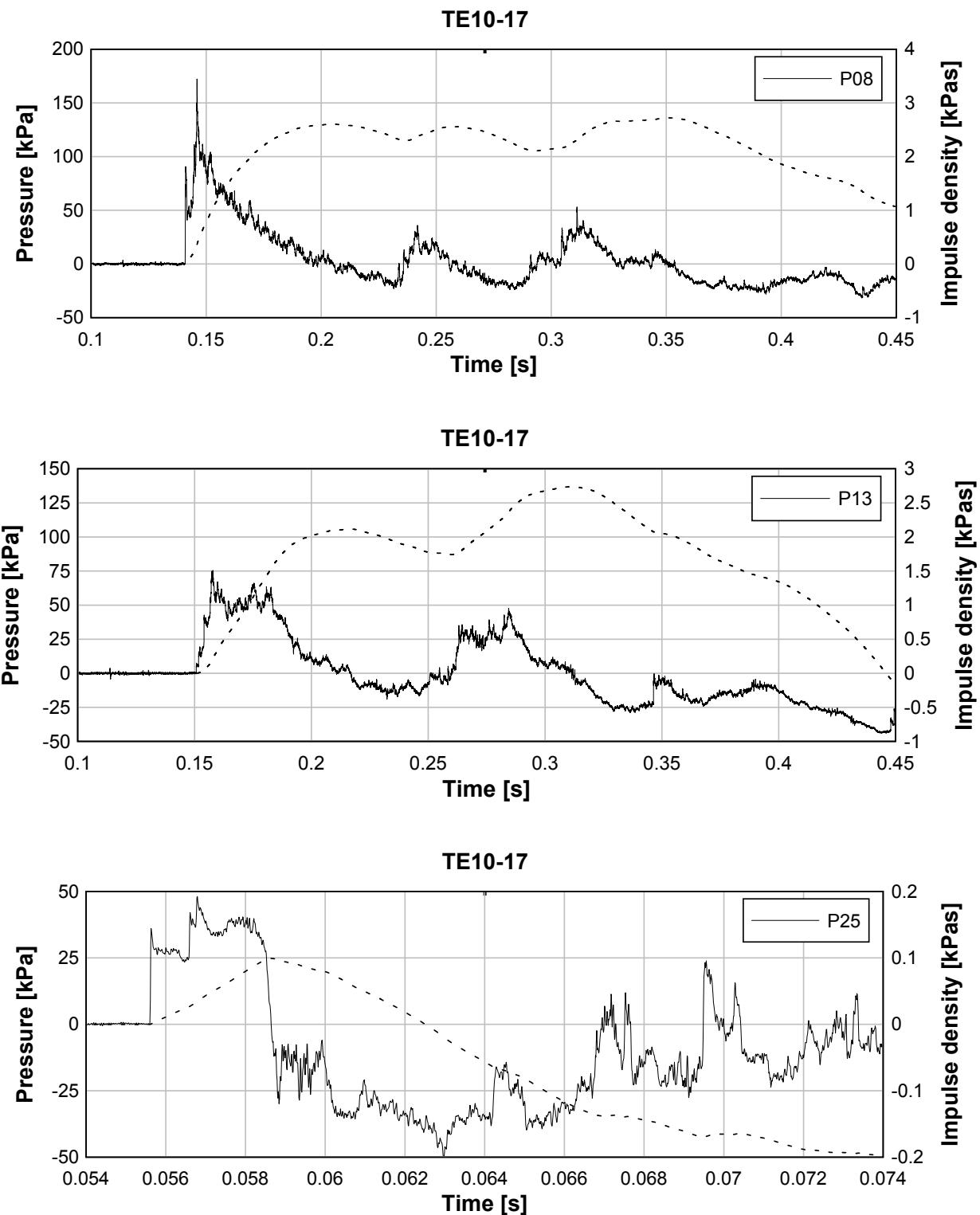


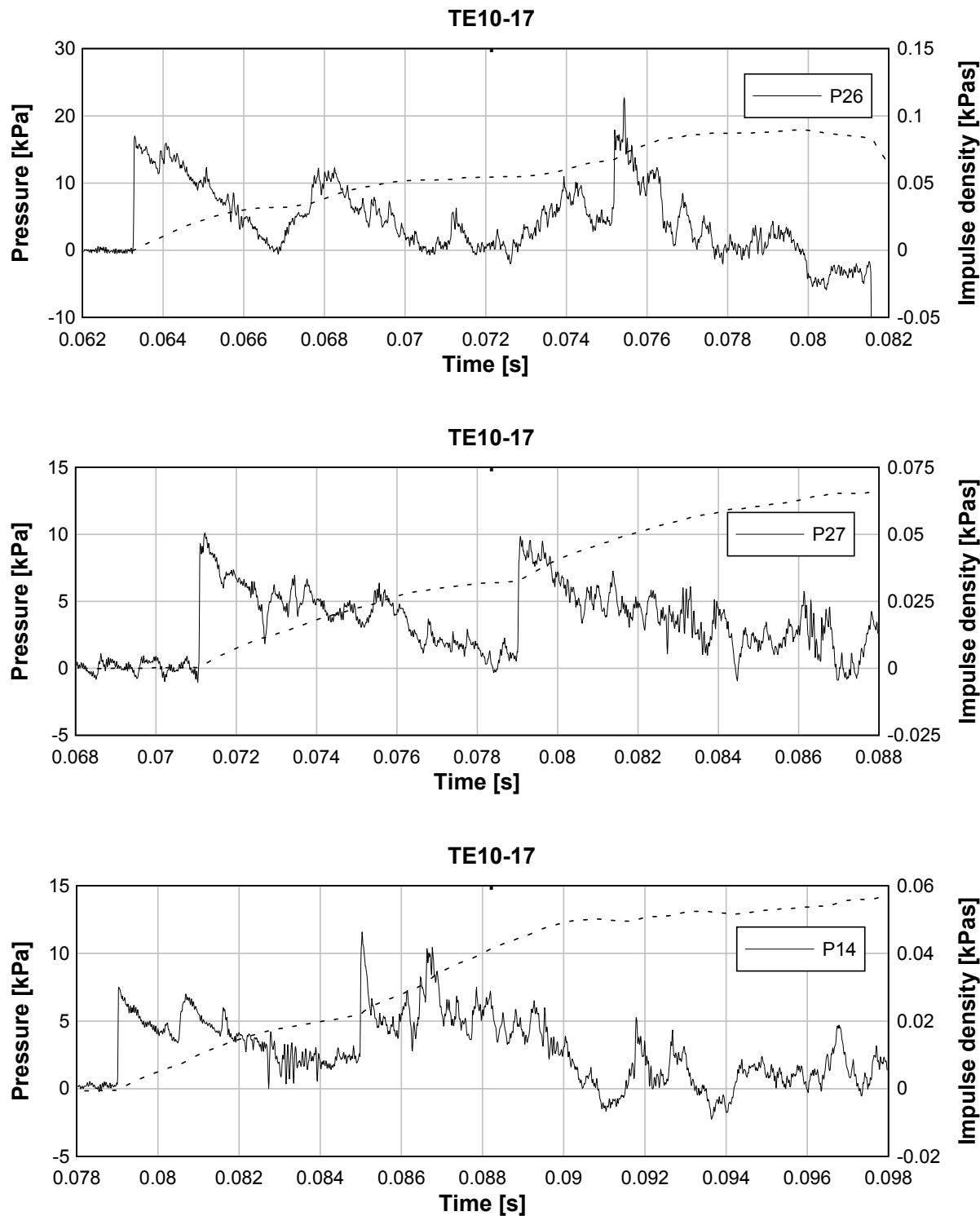


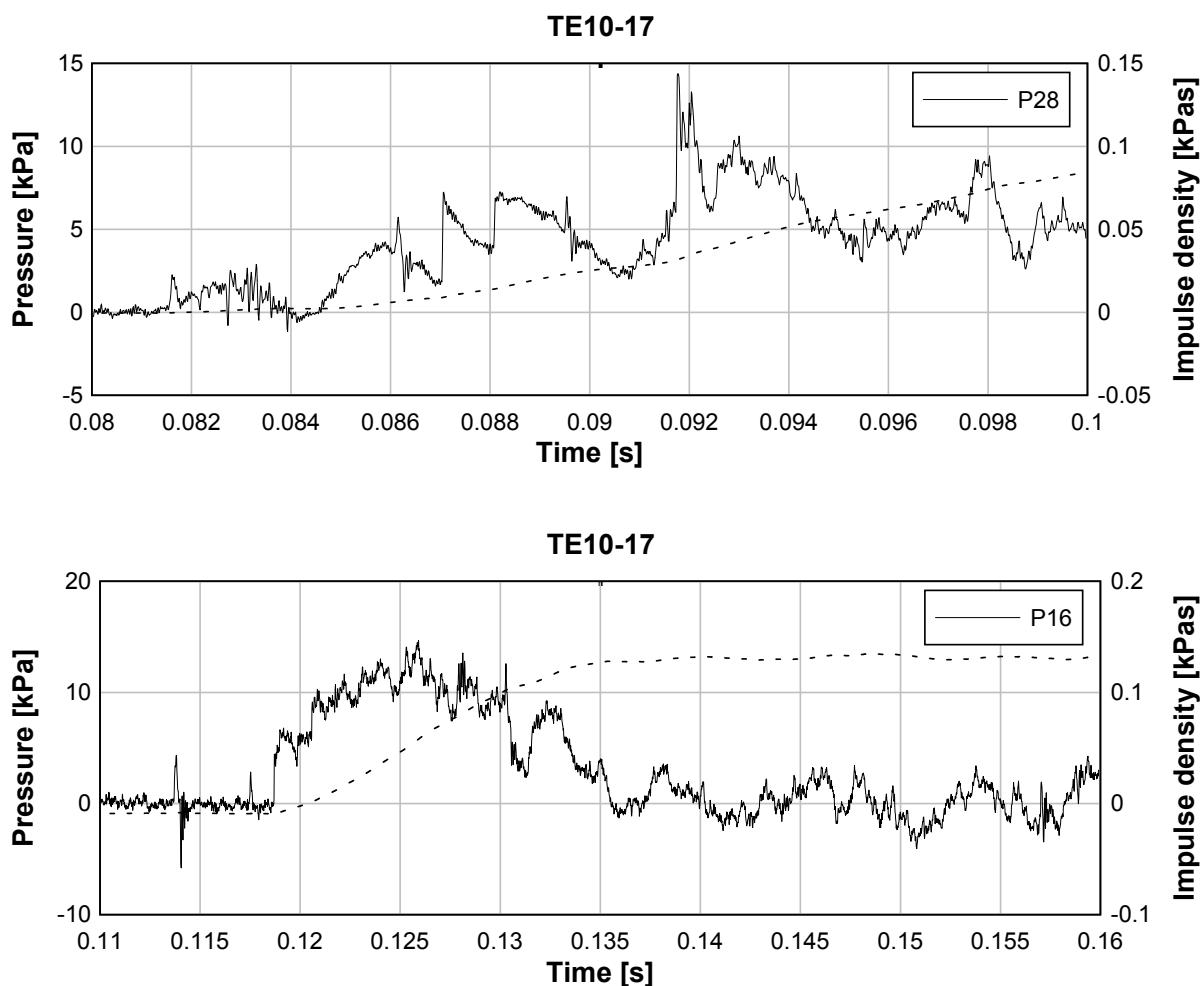


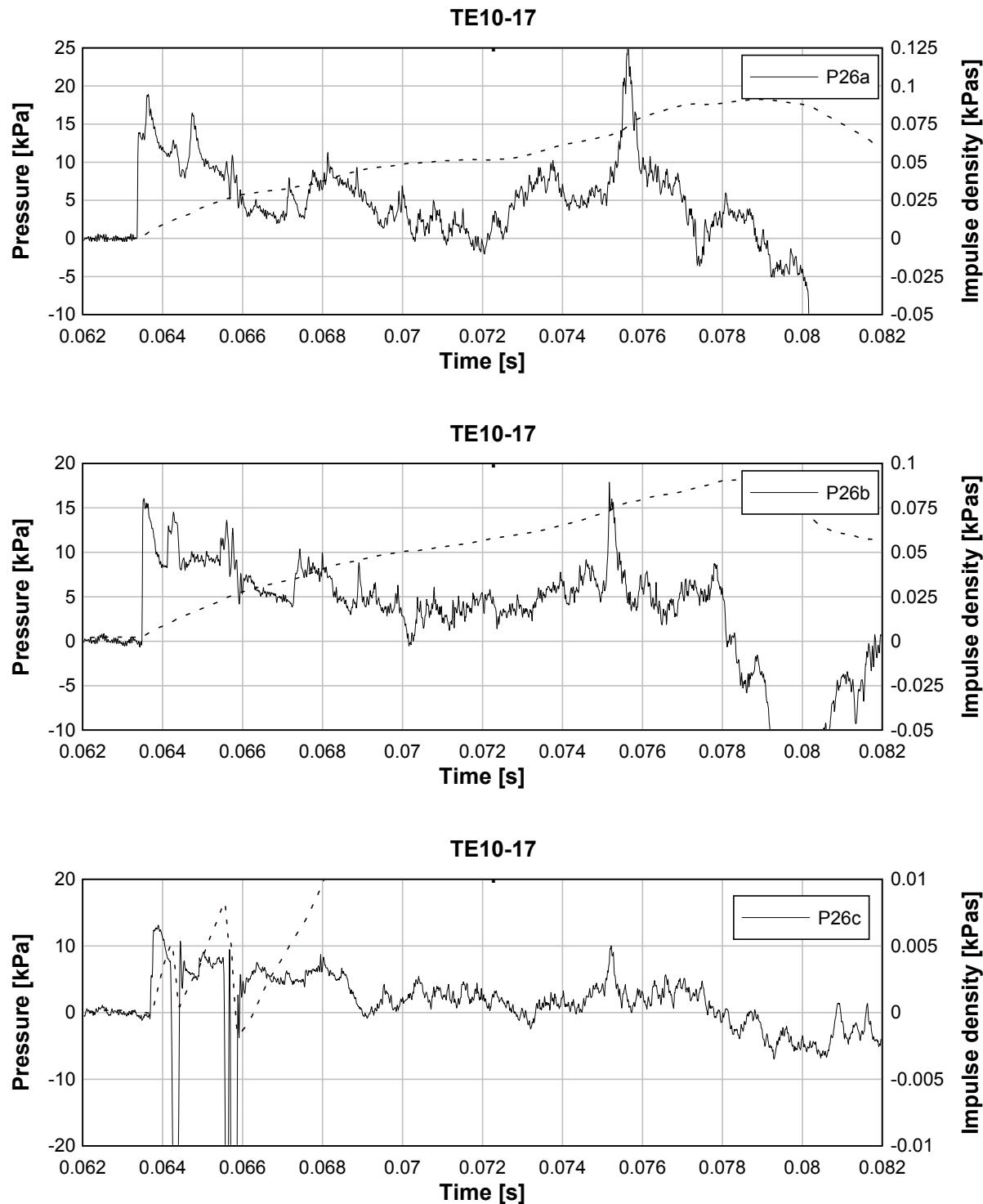


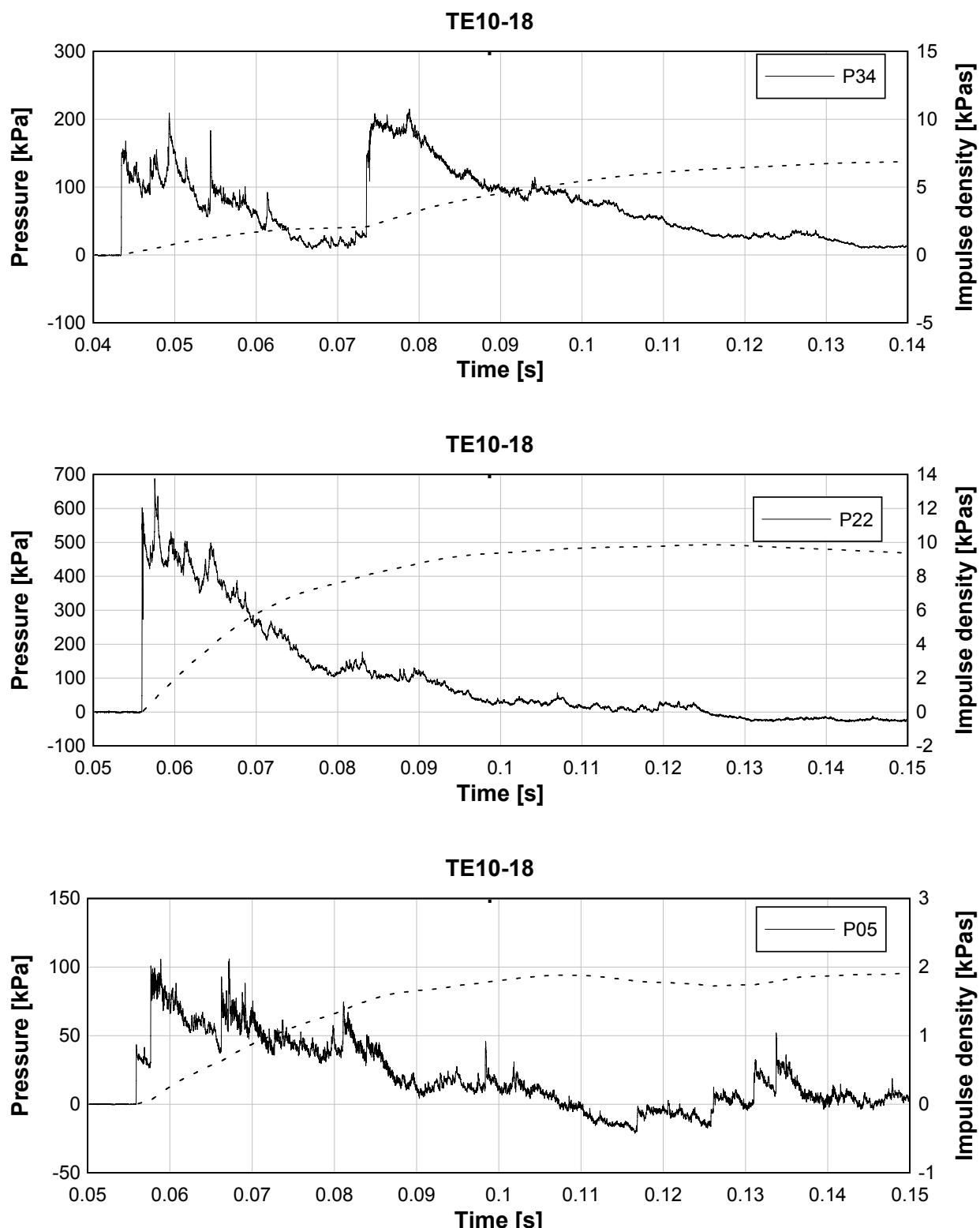
Test 17: avstånd -2 m, 125 kg Prillit



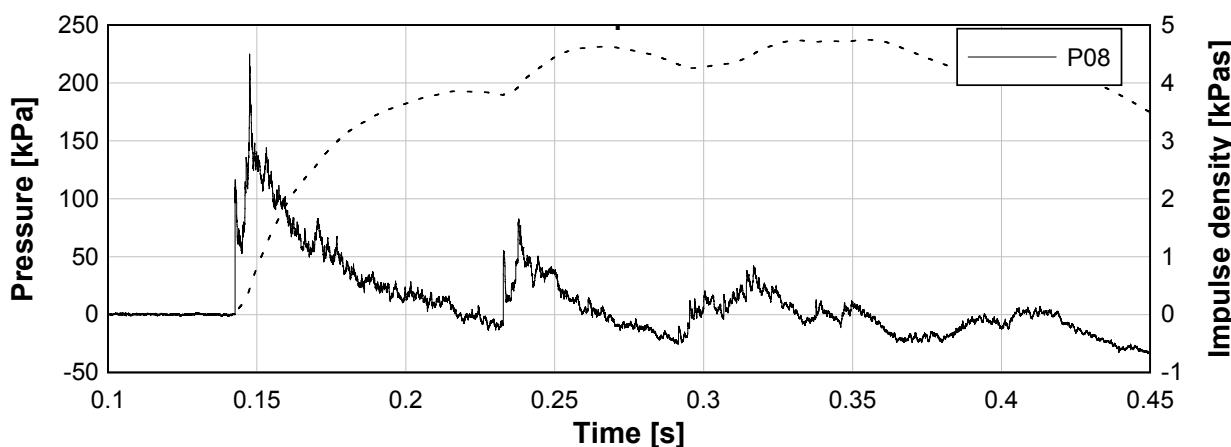




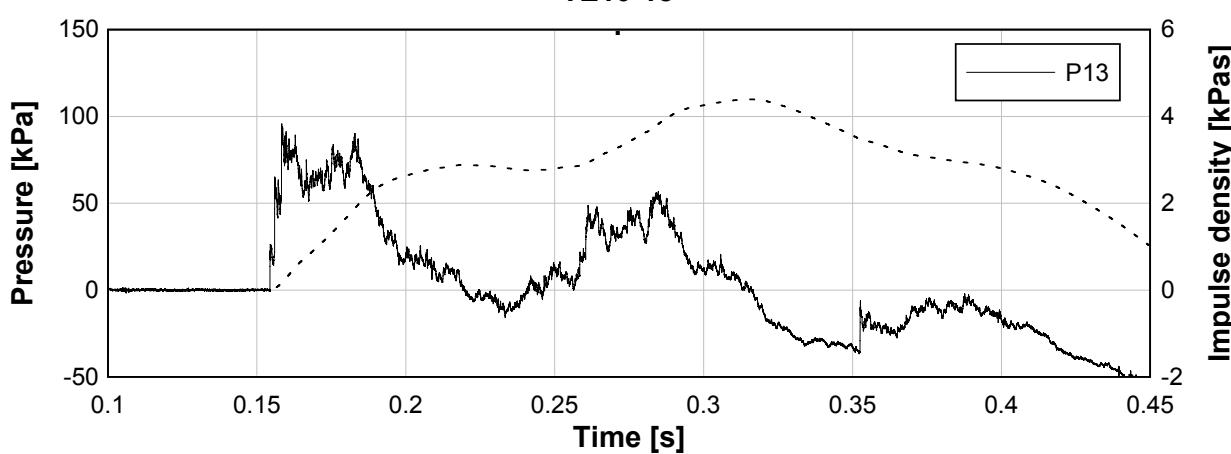


Test 18: avstånd 10 m, 625 kg Prillit

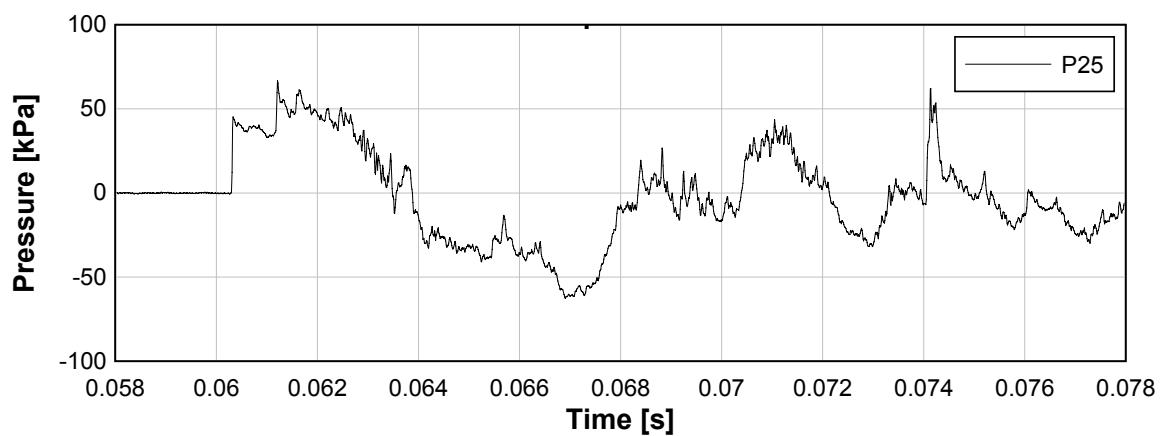
TE10-18

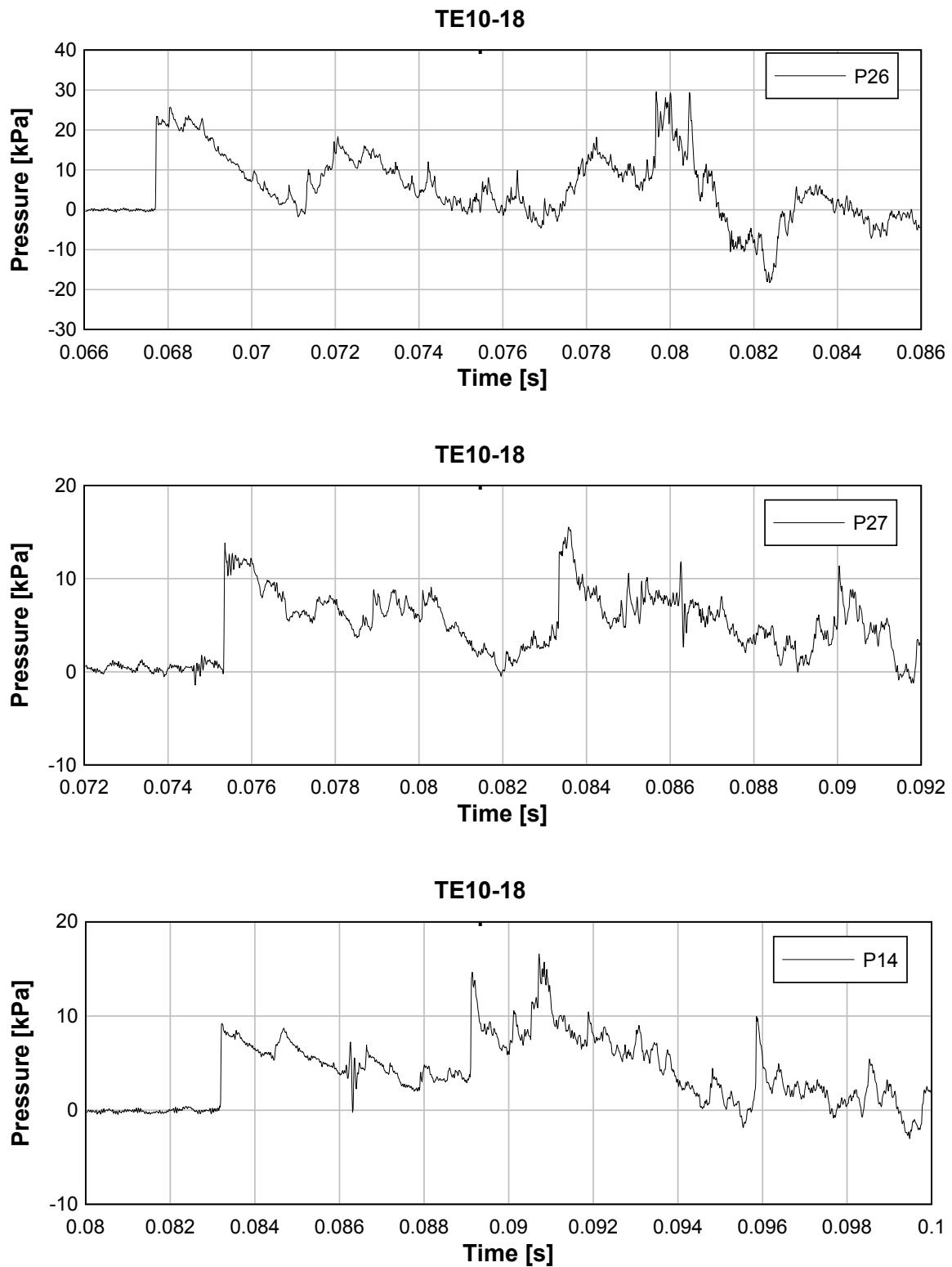


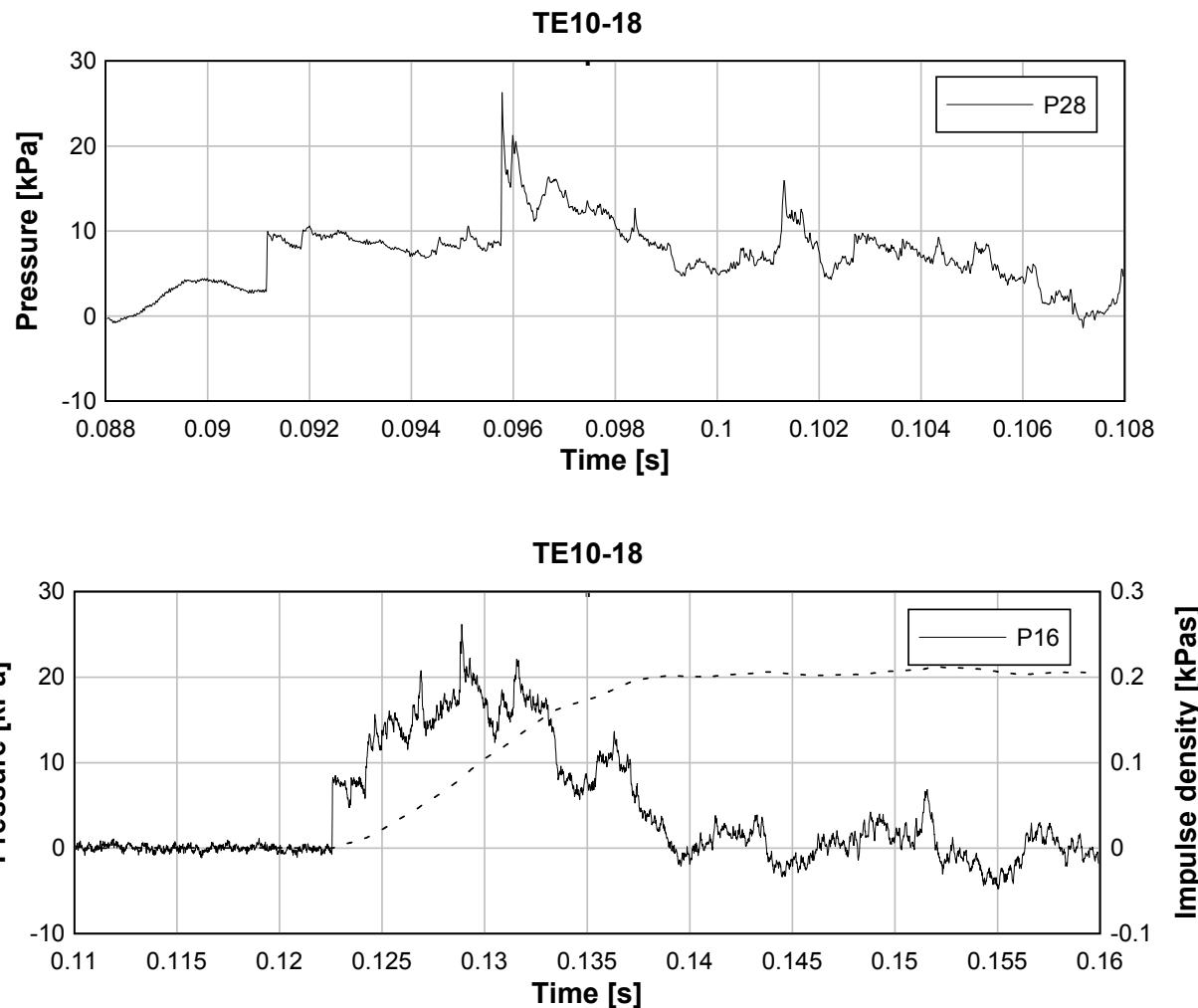
TE10-18

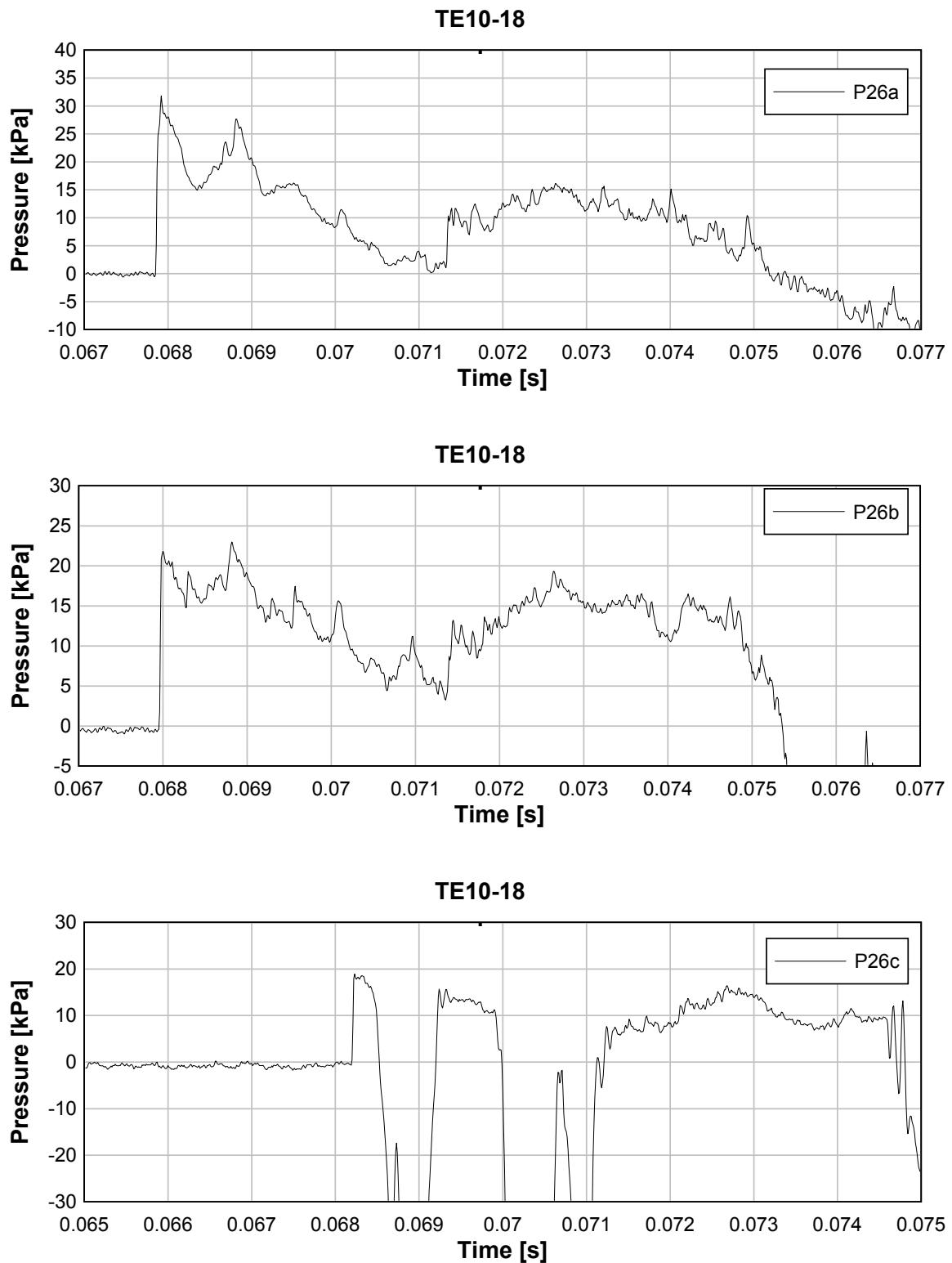


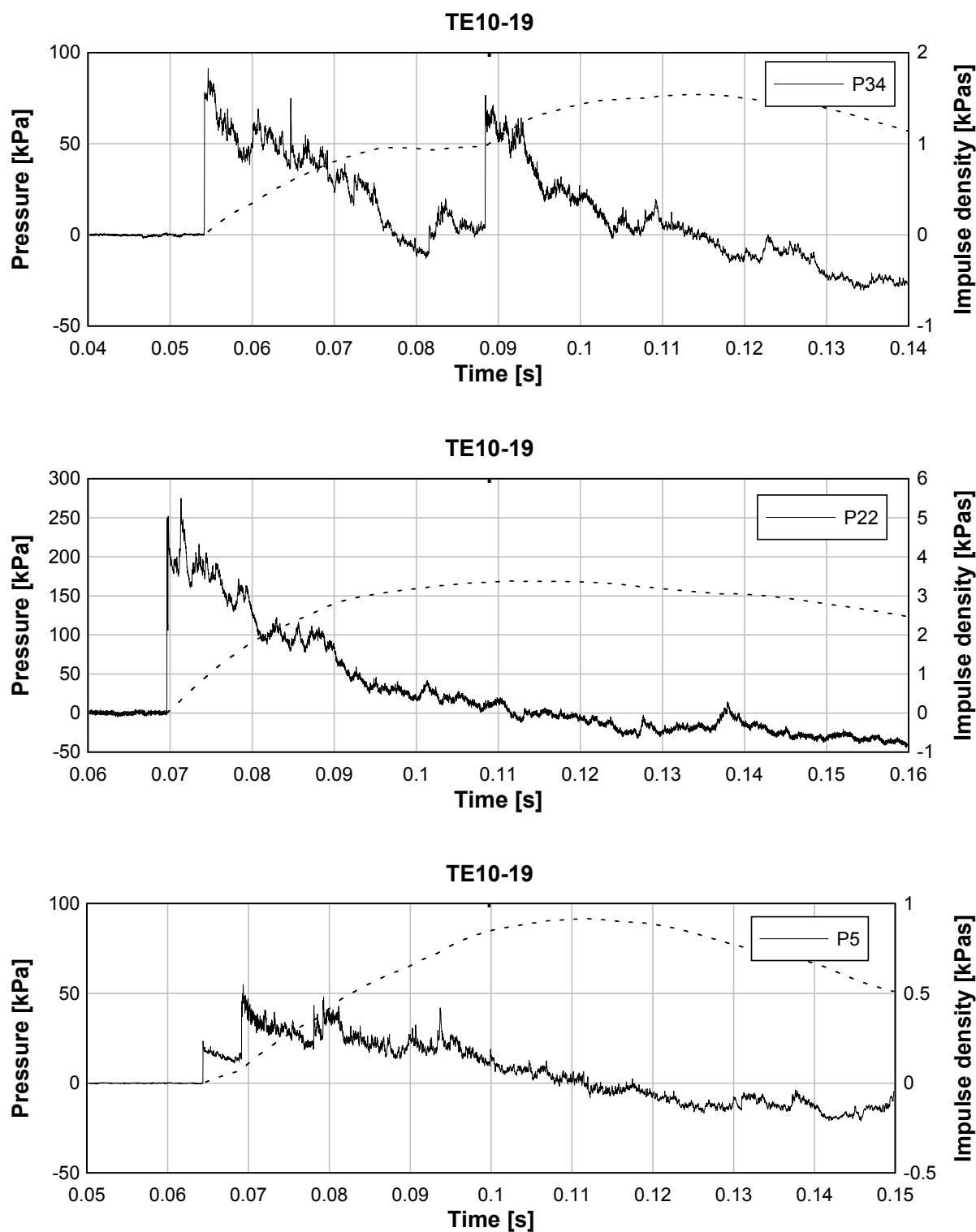
TE10-18

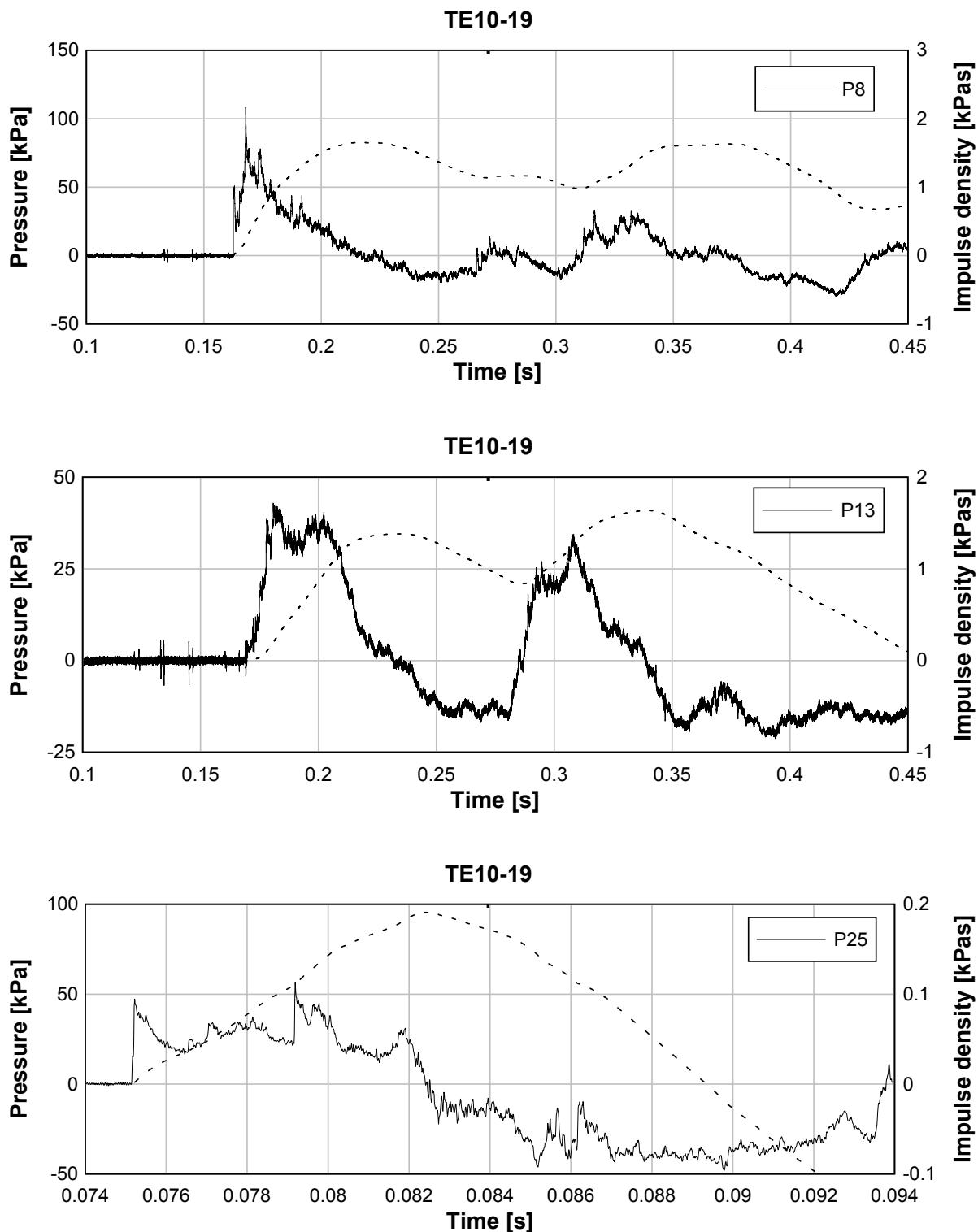


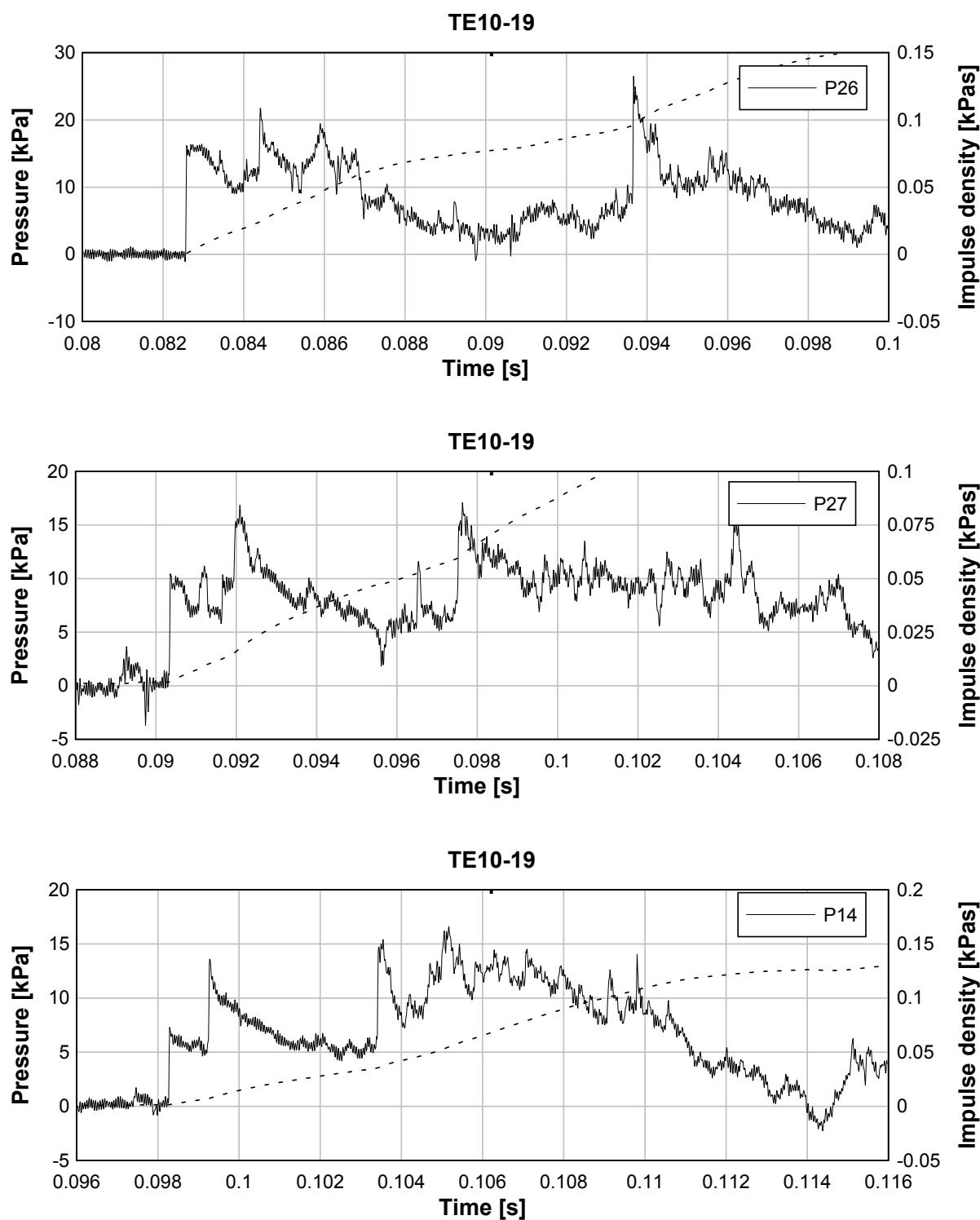


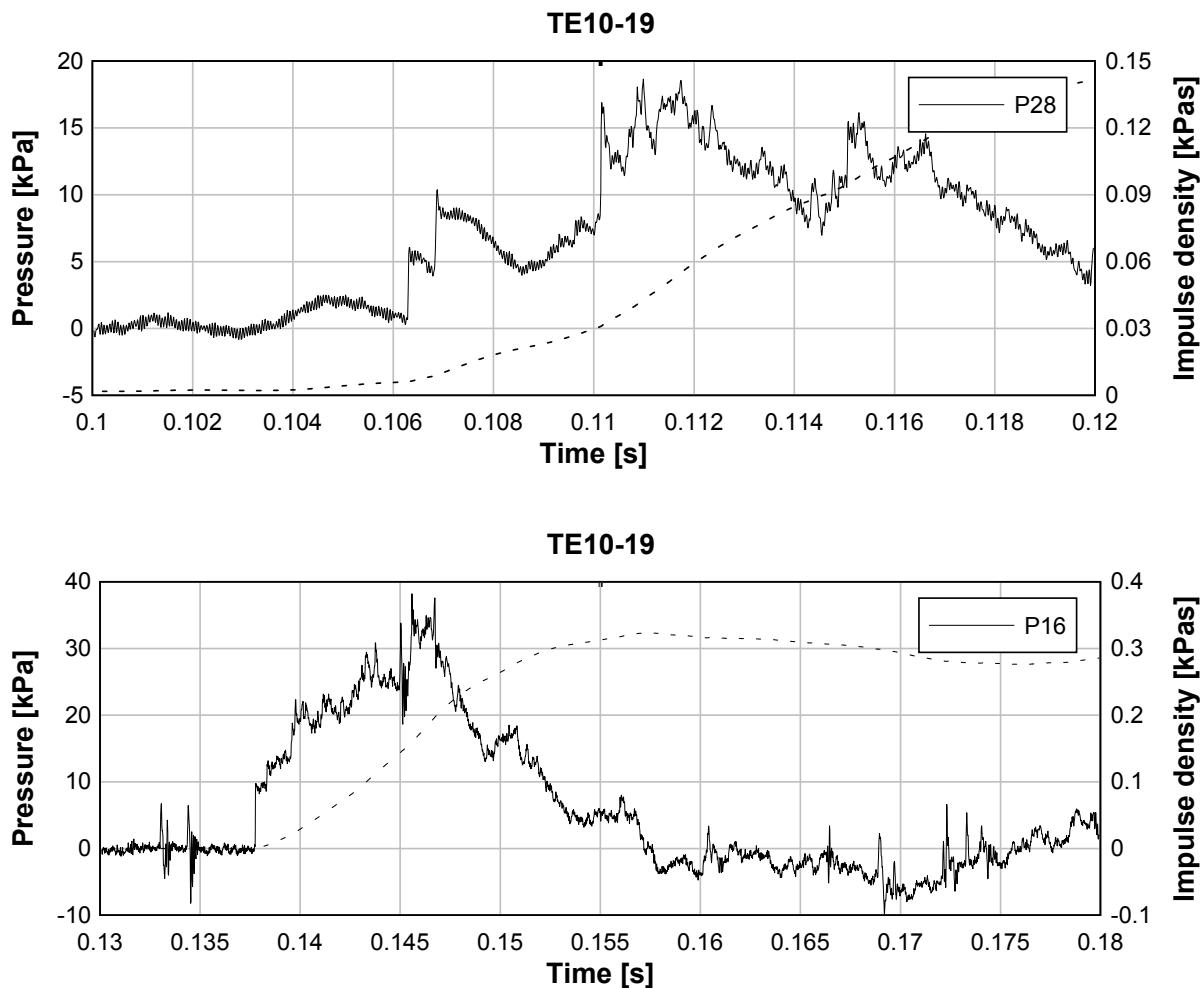


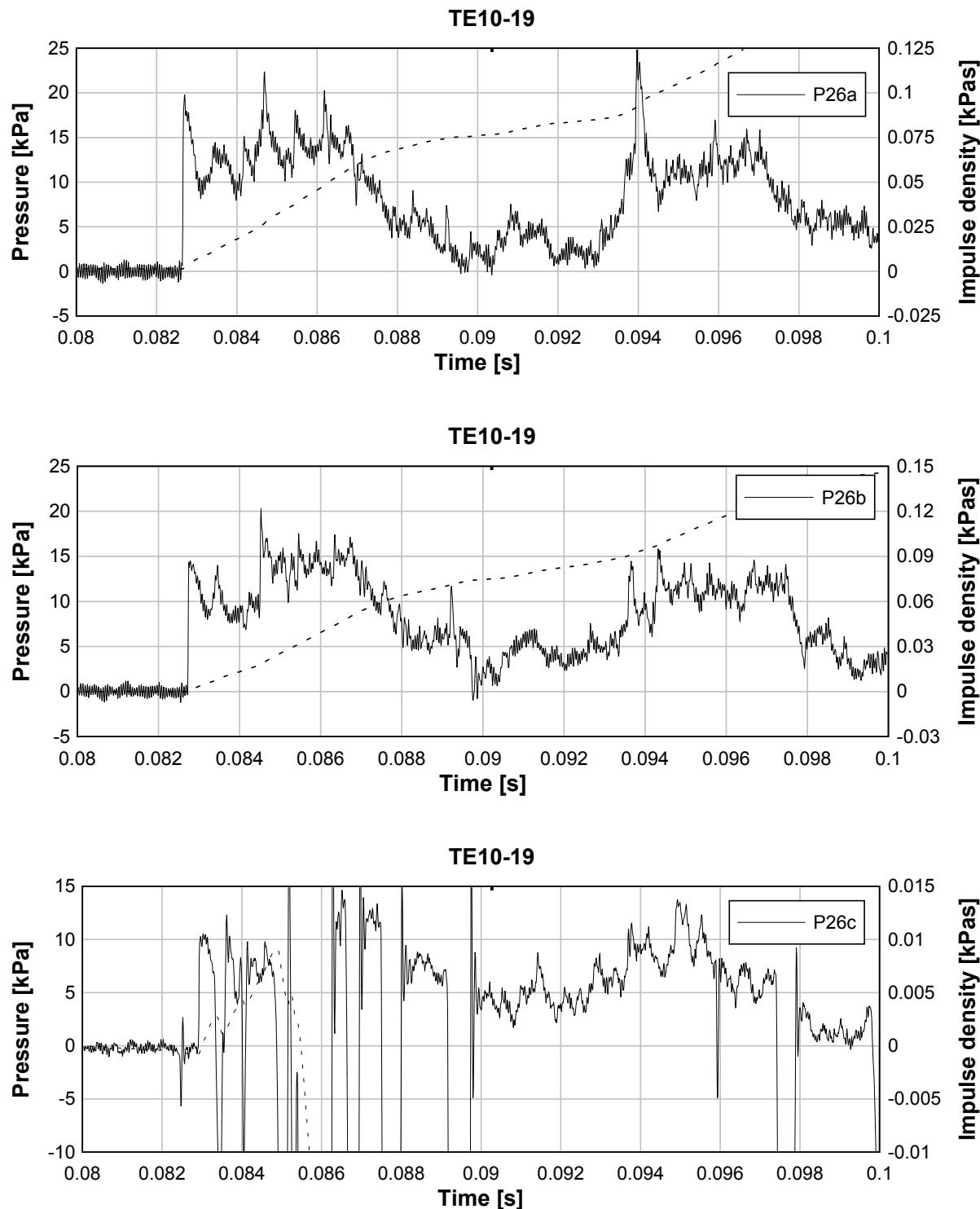


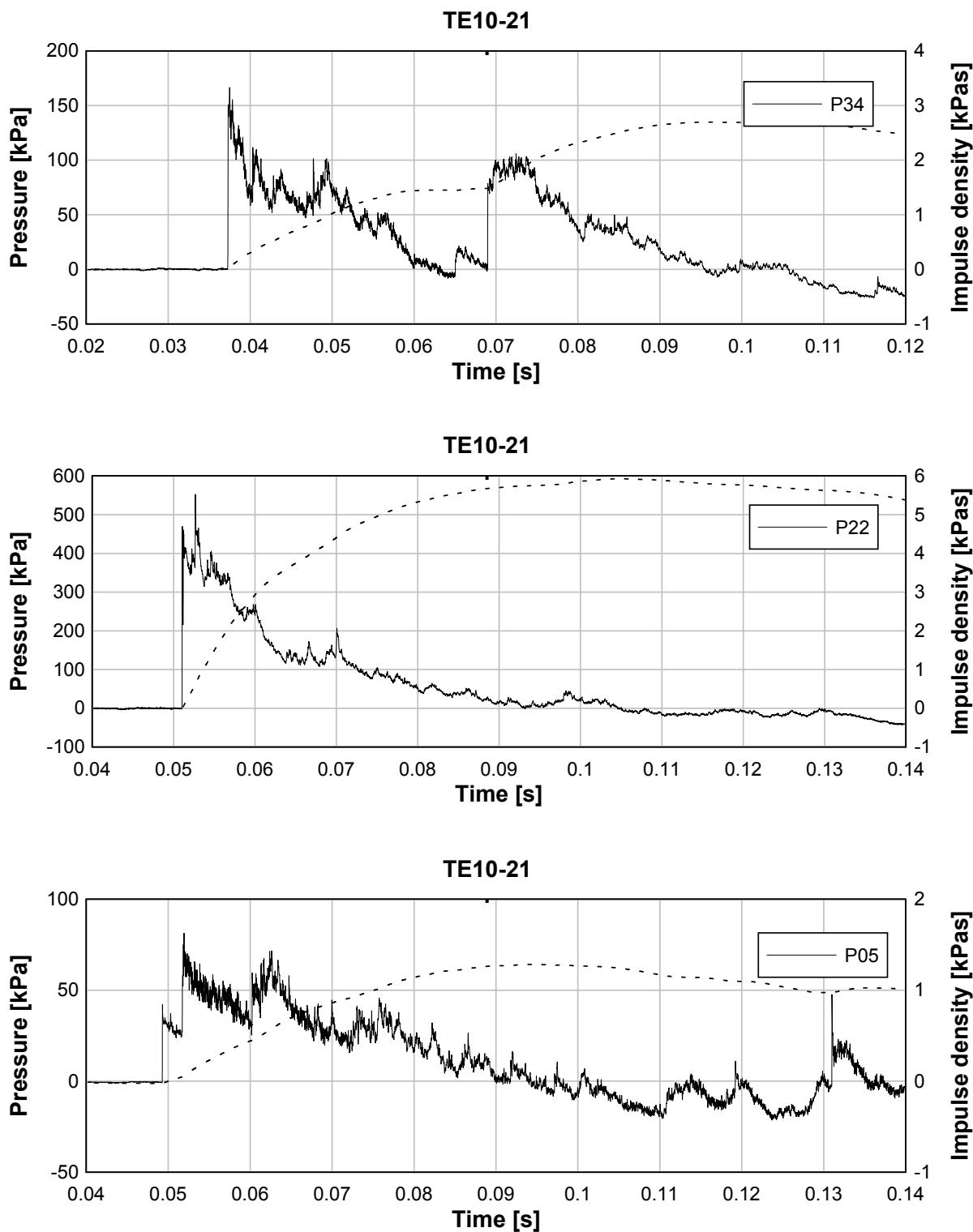
Test 19: avstånd 5 m, 125 kg Prillit



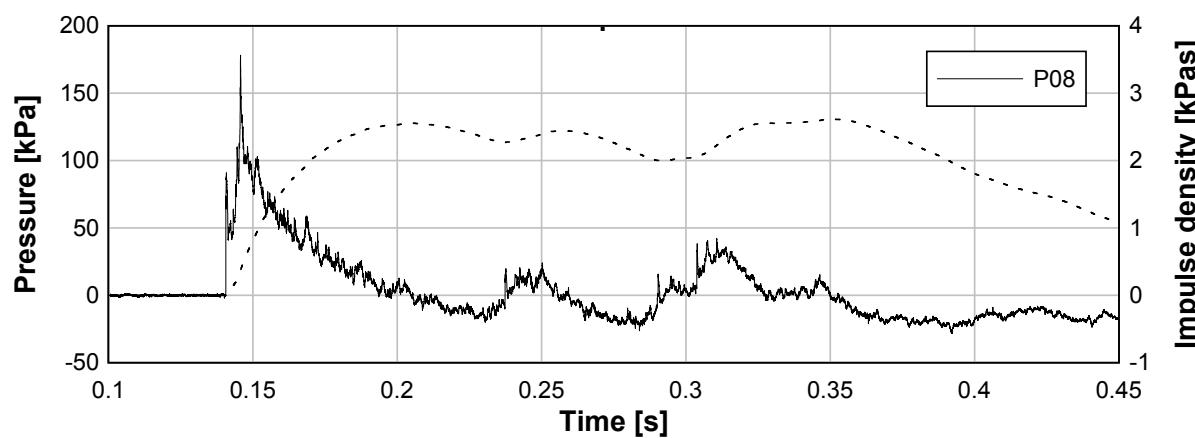




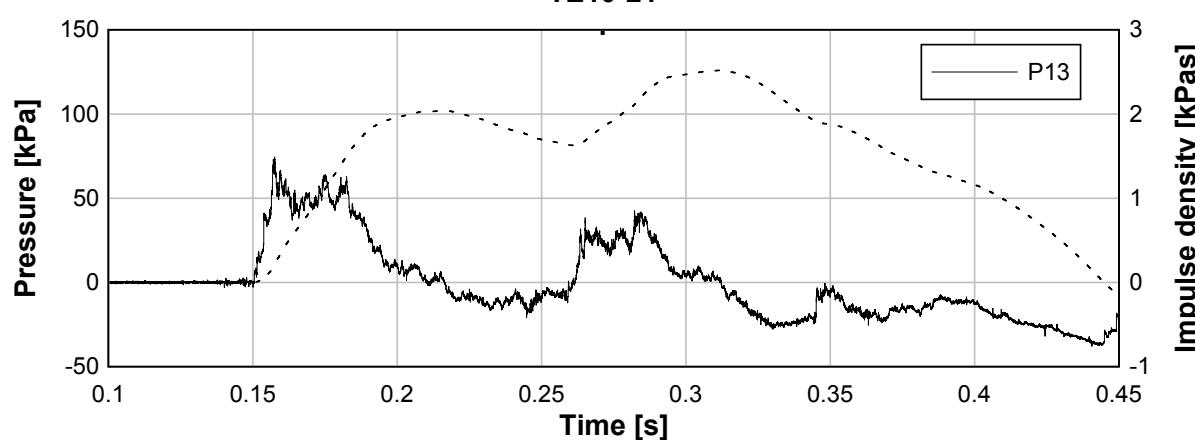


Test 21: avstånd -2 m, 125 kg Prillit

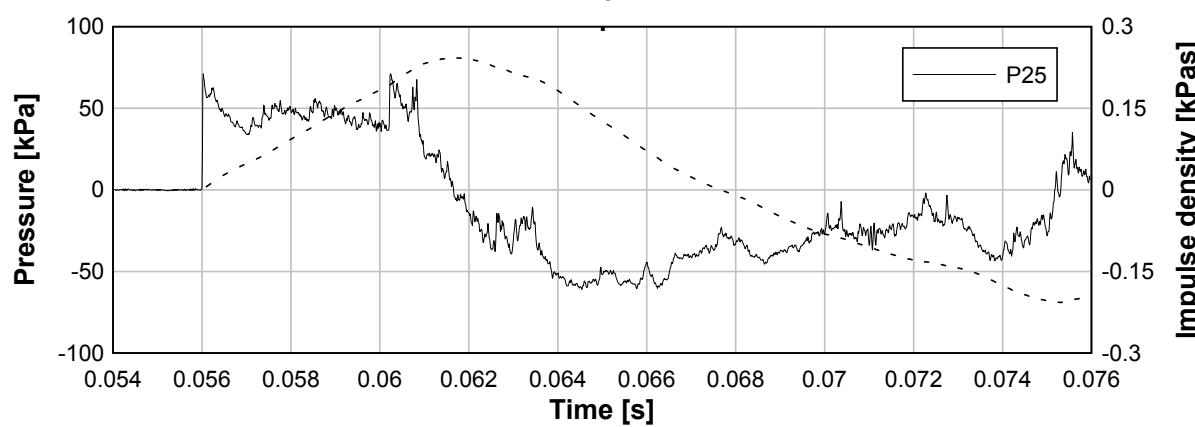
TE10-21

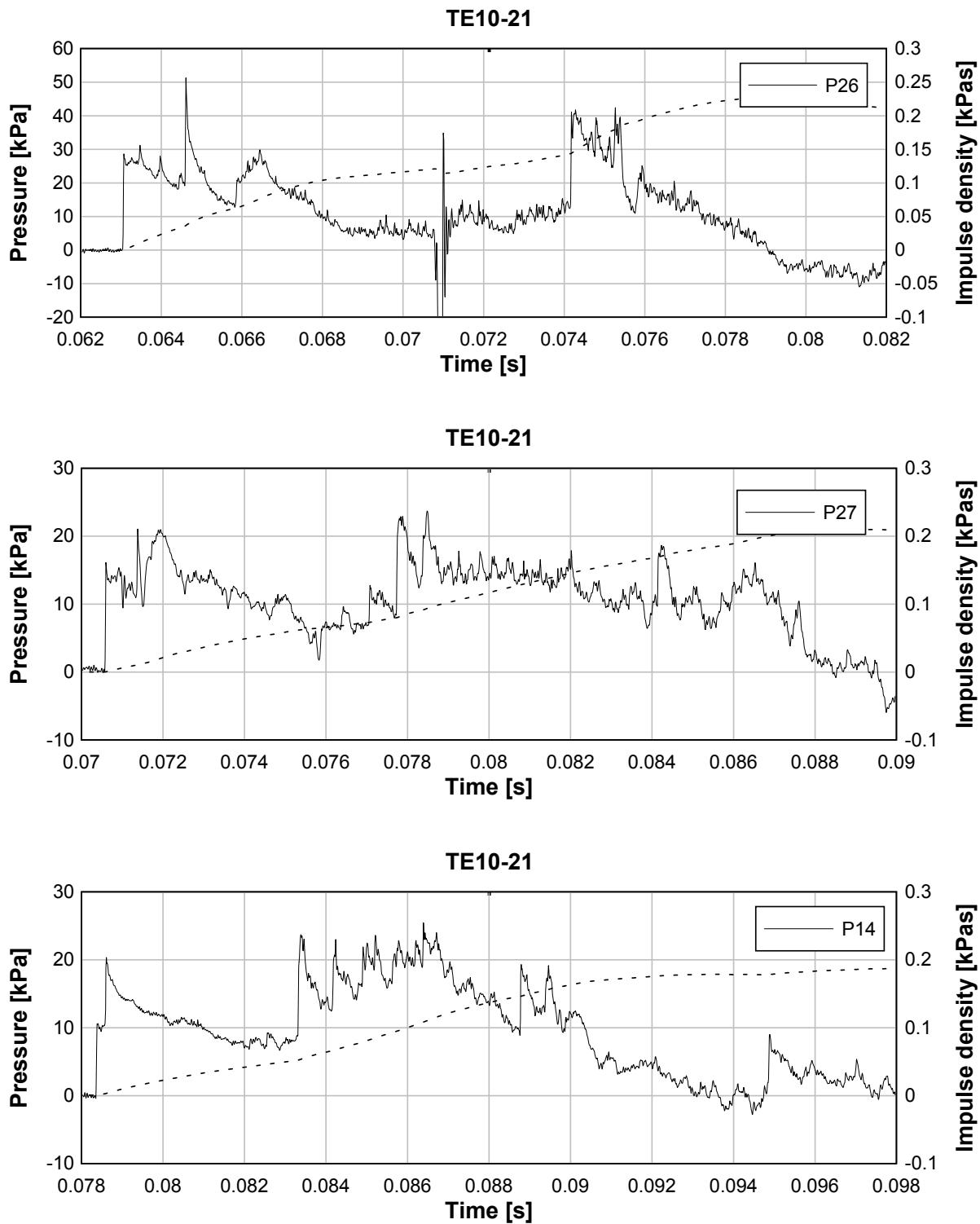


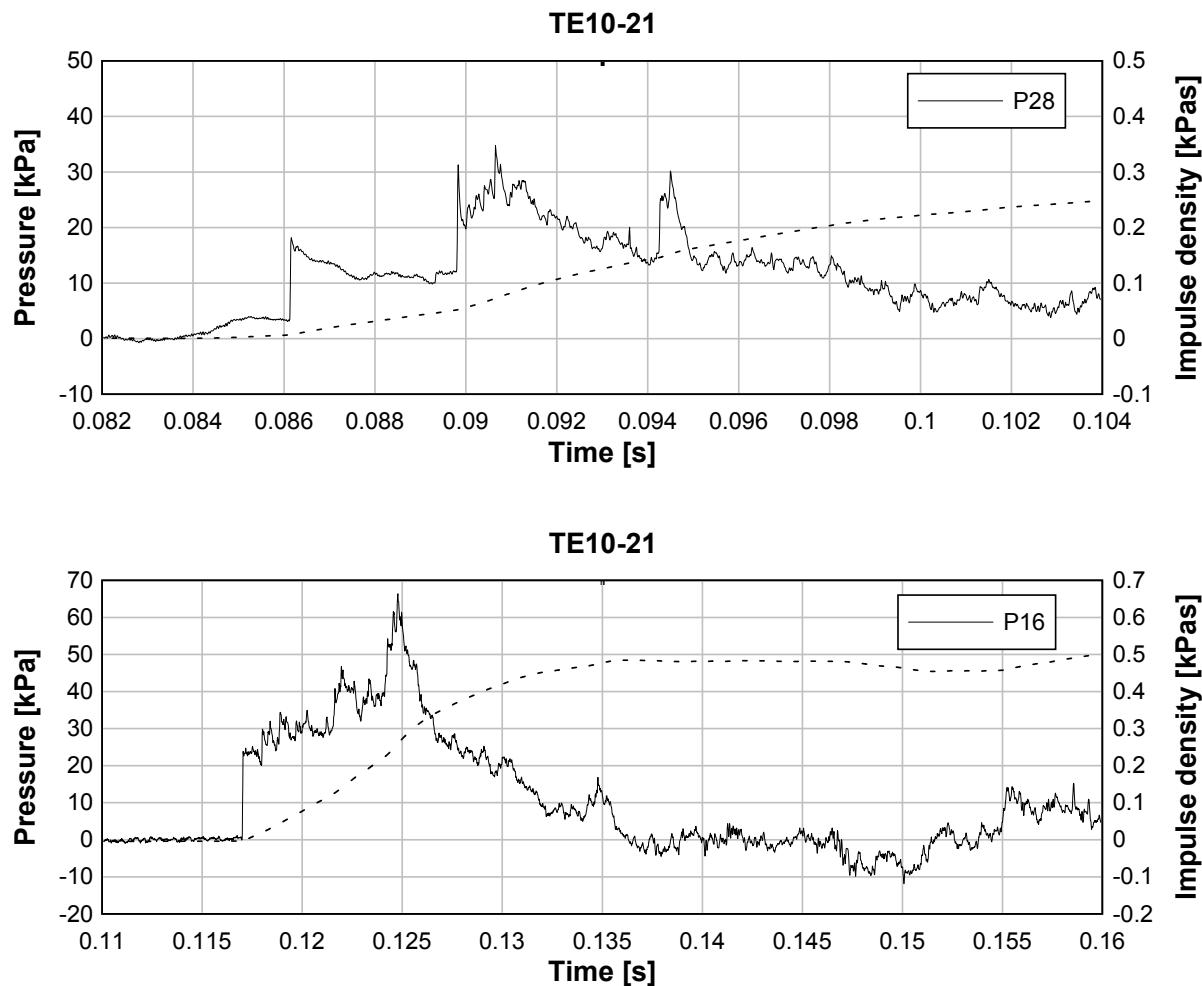
TE10-21

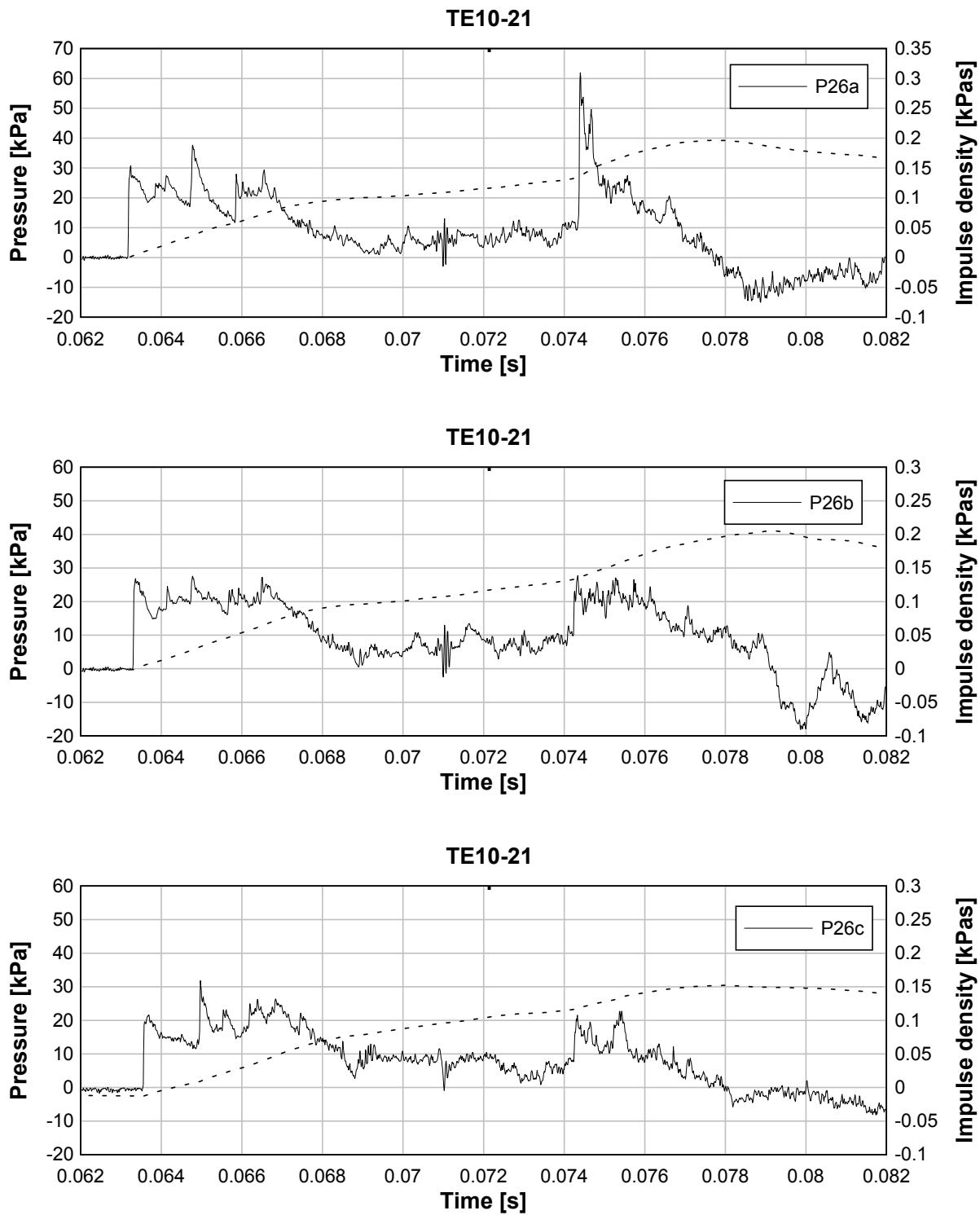


TE10-21



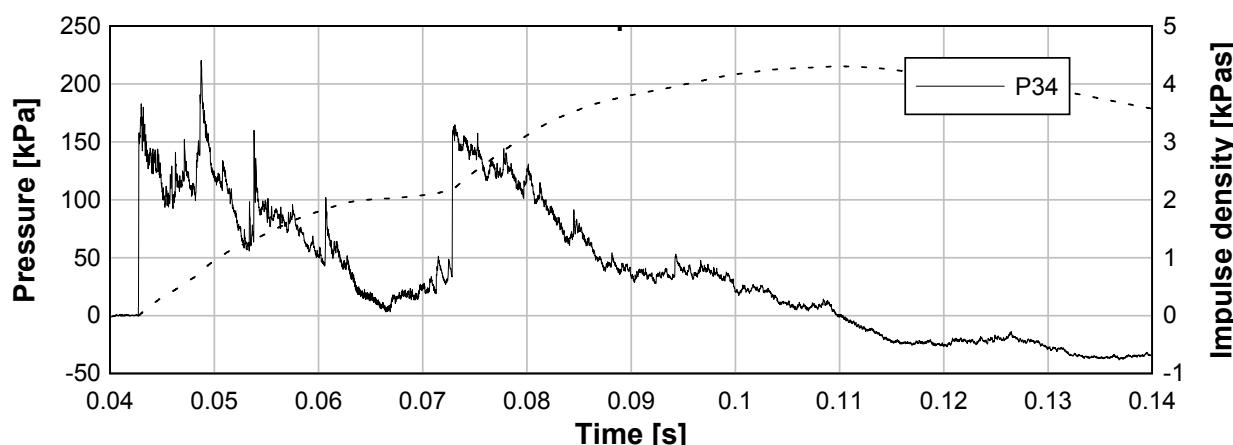




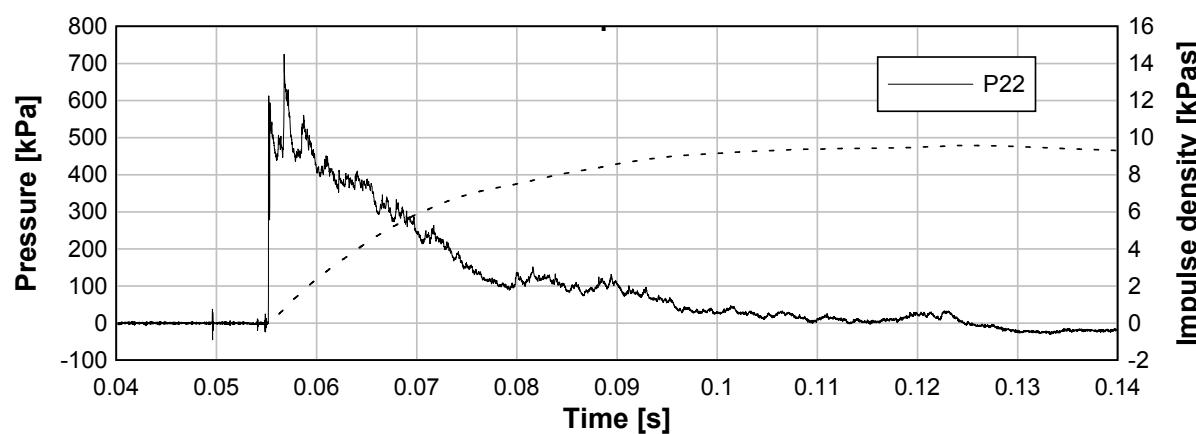


Test 22: avstånd 10 m, 625 kg Prillit

TE10-22



TE10-22



TE10-22

