

Roger Berglund

## Utformning av bergtunnlar Etapp 9





TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Vapen och skydd

147 25 Tumba

FOI-R--0421--SE

Februari 2002

ISSN 1650-1942

**Teknisk rapport**

Roger Berglund

# Utforming av bergtunnlar Etapp 9

Vapen och skydd  
147 25 Tumba



<b>Utgivare</b> Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Vapen och skydd 147 25 Tumba	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--0421--SE	<b>Klassificering</b> Teknisk rapport
	<b>Forskningsområde</b> 5. Bekämpning	
	<b>Månad, år</b> Februari 2002	<b>Projektnummer</b> E2219
	<b>Verksamhetsgren</b> 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	<b>Delområde</b> 53 Skydd och anläggningsteknik	
<b>Författare/redaktör</b> Roger Berglund	<b>Projektledare</b> Anders Carlberg	
	<b>Godkänd av</b>	
	<b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b> Försvarsmaktens högkvarter, KRI MTRL anlägg	
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b>	
<b>Rapportens titel</b> Utformning av bergtunnlar Ettapp 9		
<b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b> <p>För att studera luftstötsvågutbredningen i ett tunnelsystem påbörjades ett projekt 1995 med försök i full- och modellskala. Fullskaleförsöken har utförts i en bergtunnel på Älvdalens skjutfält. I denna ettapp (Ettapp 9) studerades effekten av olika stora hål (&gt;1 m<sup>2</sup>) i en barriär. Syftet var att se om diverse utrustning får tillräckligt skydd bakom en barriär som ej är helt tät. Tryckupbyggnaden studerades i hela tunneln men tonvikten 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. Vid en öppning på 1 m<sup>2</sup> kan man skönja en mer flack tryckupbyggnaden bakom barriären.</p>		
<b>Nyckelord</b> Bergtunnlar, luftstötståg, komplexa geometrier, fortifikation, experiment, barriärer		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Antal sidor:</b> 73 s.	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris:</b> Enligt prislista	

<b>Issuing organization</b> FOI – Swedish Defence Research Agency Weapons and Protection SE-147 25 Tumba	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--0421--SE	<b>Report type</b> Technical report
	<b>Research area code</b> 5. Combat	
	<b>Month year</b> February 2002	<b>Project no.</b> E2219
	<b>Customers code</b> 5. Commissioned Research	
	<b>Sub area code</b> 53 Protection and Fortification	
<b>Author/s (editor/s)</b> Roger Berglund	<b>Project manager</b> Anders Carlberg	
	<b>Approved by</b>	
	<b>Sponsoring agency</b> Swedish Armed Forces Headquarters	
	<b>Scientifically and technically responsible</b>	
<b>Report title (In translation)</b> Design of Rock Tunnels Phase 9		
<b>Abstract (not more than 200 words)</b> <p>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 Älvdalen. In this phase (9) the effect of different sizes of holes (&gt;1 m<sup>2</sup>) 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.</p> <p>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. When the hole is 1 m<sup>2</sup> the pressure starts to build up more slowly behind the barrier.</p>		
<b>Keywords</b> Rock tunnels, air blast, complex geometry's, fortification, experiments, barriers		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Pages</b> 73 p.	
	<b>Price acc. to pricelist</b>	

# Innehållsförteckning

INNEHÅLLSFÖRTECKNING .....	5
BAKGRUND .....	7
FULLSKALEFÖRSÖK .....	9
<i>Förberedelse före försöken</i> .....	9
<i>Instrumentering och registreringsutrustning</i> .....	9
<i>Sprängmedel</i> .....	12
<i>Försöksprogram</i> .....	12
<i>Iakttagelser efter försök</i> .....	14
RESULTAT .....	15
<i>Allmänt om utvärdering</i> .....	15
<i>Barriären</i> .....	15
<i>Bakom barriären</i> .....	17
<i>Övriga tunneln</i> .....	21
<i>Tabeller över front och maxtryck</i> .....	23
TIDIGARE ETAPPER .....	25
REFERENSER .....	27
REGISTRERINGAR .....	29
<i>Test 01: avstånd 5m, 125 kg Prillit och helt stängt</i> .....	29
<i>Test 03: avstånd 5 m, 125 kg Prillit och 1x1 m öppning</i> .....	34
<i>Test 06: avstånd -2 m, 125 kg Prillit och 1x1 m öppning</i> .....	39
<i>Test 07: avstånd 10 m, 625 kg Prillit och 1x1 m öppning</i> .....	44
<i>Test 08: avstånd 5 m, 125 kg Prillit och 3x1 m öppning</i> .....	49
<i>Test 11: avstånd -2 m, 125 kg Prillit och 3x1 m öppning</i> .....	54
<i>Test 12: avstånd 10 m, 625 kg Prillit och 3x1 m öppning</i> .....	59
<i>Test 13: avstånd 5 m, 125 kg Prillit och maximalt öppet</i> .....	64
<i>Test 15: avstånd -2 m, 125 kg Prillit och maximalt öppet</i> .....	69



## Bakgrund

FOA/FOI har sedan 1995 deltagit i projekt benämnt ”Utformning av bergtunnlar” där stötvågsutbredning studerats i ett tunnelsystem som successivt byggts 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 8 etapperna redovisas i separata rapporter [1-7]. En schematisk sammanfattning kan läsas i kapitlet ”Tidigare etapper”.

Syftet med försöksserierna har varit att studera om skydd av diverse utrustning, 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 m<sup>2</sup>, har byggts för att se inverkan av barriären i övriga tunneldelar samt undersöka förhållandena bakom barriären. I kommande etapp kommer hål mindre än 1 m<sup>2</sup> att studeras.

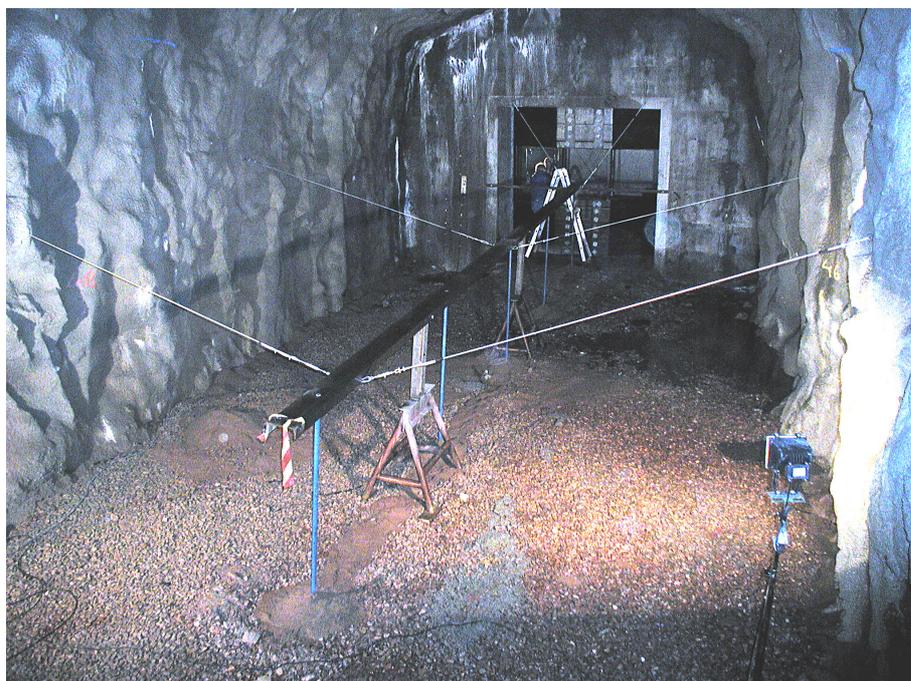
I denna rapport presenteras försöksgenomförande och vissa resultat. En mer ingående analys av registreringarna genomförs av SYCON och redovisas i en separat rapport.



# 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<sup>2</sup> kunde monteras bort var för sig. Öppningen kunde alltså varieras i steg. Maximalt kan en 9 m<sup>2</sup> stor öppning skapas. Den öppningsbara stålkonstruktionen stöds av en betongkonstruktion som är 2 meter tjock. Segmenten består av plåtar med en tjocklek på 40 mm. För att mäta trycket bakom barriären monterades fem nya givare på en U-balk centrerat mitt för den öppningsbara delen. Se Bild 1. Balken är 12 m lång och avståndet mellan givarna är 2.75 m. Balken monterades på 1.7 m höjd med hjälp av vajrar. Ytterligare fyra nya givare monterades på barriären. Tre stycken på framsidan och en på baksidan.



*Bild 1. Mätbalken sedd inifrån.*

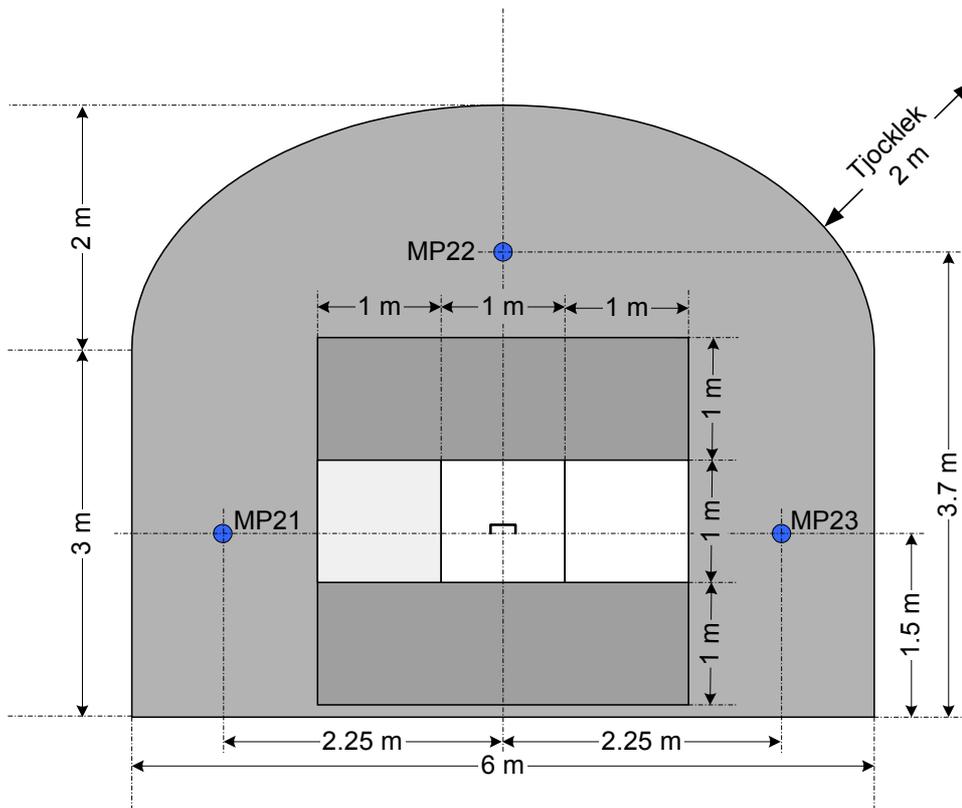
## **Instrumentering och registreringsutrustning**

Förutom de nya givarna har fem givare från tidigare försök används. P34, P5, P8, P13 och P16. Den tidigare mätpunkten P14 monterades på mätbalken. Givarna med placering sammanfattas i Tabell 1. Tvärsektion av barriären och en plan över tunnelsystemet visas i Figur 1 och Figur 2.

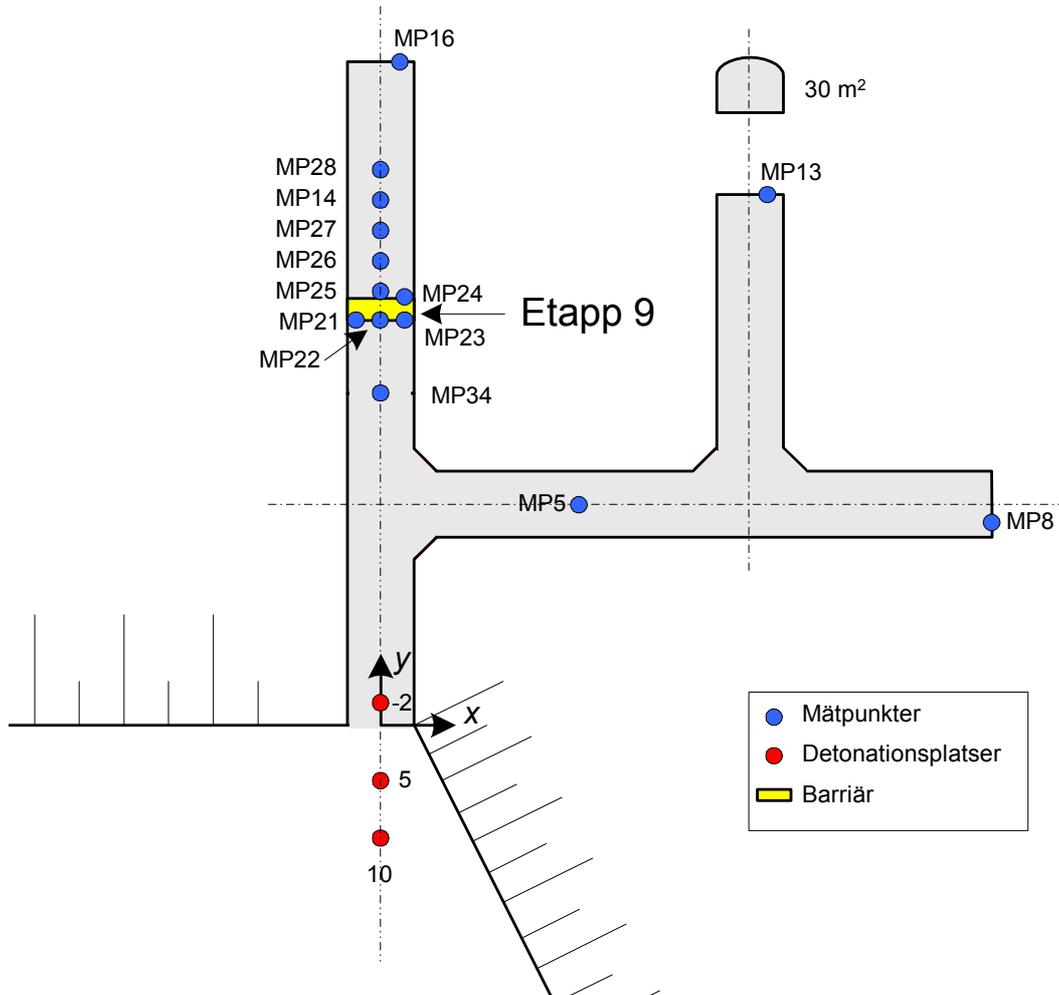
För att registrera signalerna användes ett 16 kanaligt Nicolet Vision system. Den maximala samplingshastigheten på 100 kHz med ett analogt filter på 20 kHz användes.

Tabell 1. Sammanfattning av givare med placering.

Givare	Typ	Serie nr	x	y	h	Anmärkning
34	PCB 113A51 Side-on	1703	0	30	0.5	"Lollipop"
Barriär			----	36.5+2		
5	PCB 113M66 Side-on	2074	18	20	0.5	"Lollipop"
8	PCB 113A26 Reflektion	9029	53	18	1.5	
13	PCB 113A26 Reflektion	4236	35	48	1.5	
14	PCB 113A24 Side-on	11088	0	46.95	1.5	På balk
16	PCB 113A24 Reflektion	8781	2	60.5	1.5	
21	PCB 113A24 Reflektion	8525	-2.25	36.5	1.5	
22	PCB 113A24 Reflektion	11628	0	36.5	3.7	
23	PCB 113A24 Reflektion	11629	2.25	36.5	1.5	
24	PCB 113M66 Reflektion	3658	2.25	38.5	1.5	Baksidan barriären
25	PCB 113A24 Side-on	11630	0	38.7	1.5	På balk
26	PCB 113A24 Side-on	11632	0 <td 41.45	1.5	På balk	
27	PCB 113A24 Side-on	11633	0	44.20	1.5	På balk
28	PCB 113A24 Side-on	11085/1194	0	49.7	1.5	På balk



Figur 1. Tvärsektion av barriären.



Figur 2. Plan över tunnelsystemet.



Bild 2. Montering av givare P24 på baksidan av barriären.

## 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 har en TNT ekvivalent på 0.8.

### Tekniska data

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



Bild 3. En 625 kg laddning på 10 meters avstånd från tunnelmynningen.

## 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 testen gjordes med barriären helt stängd. Successivt öppnades barriären från 1 m<sup>2</sup>, 3 m<sup>2</sup> till fullt öppet 9 m<sup>2</sup>. Försöken upprepades hela tiden minst en gång för att testa repeterbarheten. Försöksprogrammet presenteras i Tabell 2.

Tabell 2. Sammanfattning av försöken vid etapp 9.

Test	Laddning (Prillit)	Avstånd	Luckor	Datum	Anmärkning
1	125	5	Stängda	01-09-26	
2	125	5	Stängda	01-09-26	
3	125	5	1x1 m	01-09-27	
4	125	5	1x1 m	01-09-27	
5	125	5	1x1 m	01-09-27	
6	125	-2	1x1 m	01-09-27	
7	625	10	1x1 m	01-09-27	P14 trasig efter 0.23 sek
8	125	5	3x1 m	01-09-28	
9	125	5	3x1 m	01-09-28	P21 trasig efter 0.05 sek
10	125	5	3x1 m	01-10-01	
11	125	-2	3x1 m	01-10-01	
12	625	10	3x1 m	01-10-02	P28 trasig efter 0.53 sek
13	125	5	3x3 m	01-10-08	Ibland benämmt "Öppen"
14	125	5	3x3 m	01-10-08	
15	125	-2	3x3 m	01-10-08	
16	125	-2	3x3 m	01-10-08	



Bild 4. Barriären med 1 m<sup>2</sup> öppen.



*Bild 5. Barriären helt öppen, 9 m<sup>2</sup>.*

### ***lakttagelser efter försök***

När stötvågen passerar balken drar den balken med sig. Vid den största öppningen rör sig balken mer än 20 cm i längdled. Förutom att kablarna ibland slits av kan rörelsen även störa signalen. Mera högfrekventa skakningar försvårar också registreringarna. Prov med mekanisk isolering av givare P14 gjordes från och med försök 8. Detta föll väl ut och rekommenderas för övriga balkgivare i kommande etapper.

Vissa skador på sprutbetong i tunneln och vid tunnelmynning har uppstått. Se Bild 3. Dessa reparerades efter etappens slut.

## Resultat

### **Allmänt om utvärdering**

Då ingen riktig ”triggsignal” registrerades valdes ankomsten av fronten till P34 som nollpunkten för alla kurvor. I kommande försök rekommenderas att en ”trigg” i laddningen genererar en nollpunkt. Försöksserien bestod av 16 försök varav 9 är unika. Försök upprepades för att kontrollera repeterbarheten. Överensstämmelsen är mycket god mellan försöken. I kapitlet **Registreringar** visas endast försök 1, 3, 6, 7, 8, 11, 12, 13 och 15. Till grund för tabellerna för frontryck och maximalt tryck ligger dock samtliga försök.

Samplingshastigheten i etapp 9 är 5 ggr snabbare än i tidigare etapper. Lägre samplingshastighet än 100 kHz (+20 kHz analogt filter) ger troligen undervärderade frontryck. Vid utvärderingen av maximalt värde har värdena tagits utan ytterligare filtrering.

Huvudsyftet med försöket är att visa effekten av olika barriäröppningar dels bakom barriären men även i övriga tunneldelar. Effekten av laddningsmängd och detonationsavstånd presenteras också. Den mest ”ostörda” utvärdering kan göras med frontrycket 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 maxvärdena. Givarna på balken skakas om kraftigt när tryckvågen passerar vilket gör utvärderingen svår.

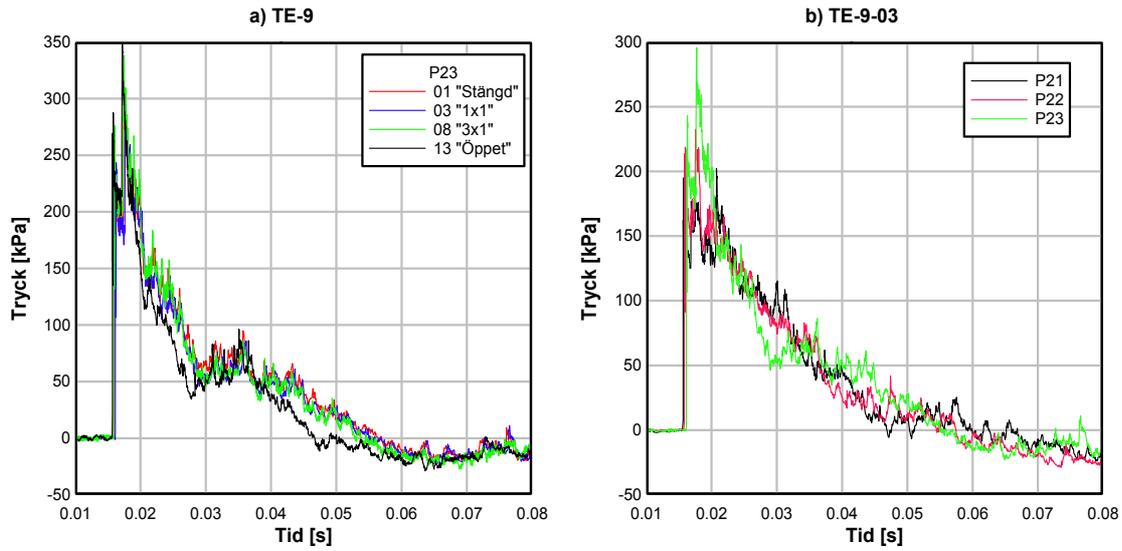
Huvudvikten är också lagd på de första tiondels sekunderna. Bakom barriären kommer en avtagande (både hastighet och amplitud) våg studsas fram och tillbaka mellan barriär och tunneländan (mer vid små öppningar). Det tar ca 0.1 sekunder för att gå från ena ändan till den andra. Våglängden på vågen är dessutom ungefär 1/3-1/4-del av tunneldelens längd. Detta kommer klart att påverka impulstätheten.

### **Barriären**

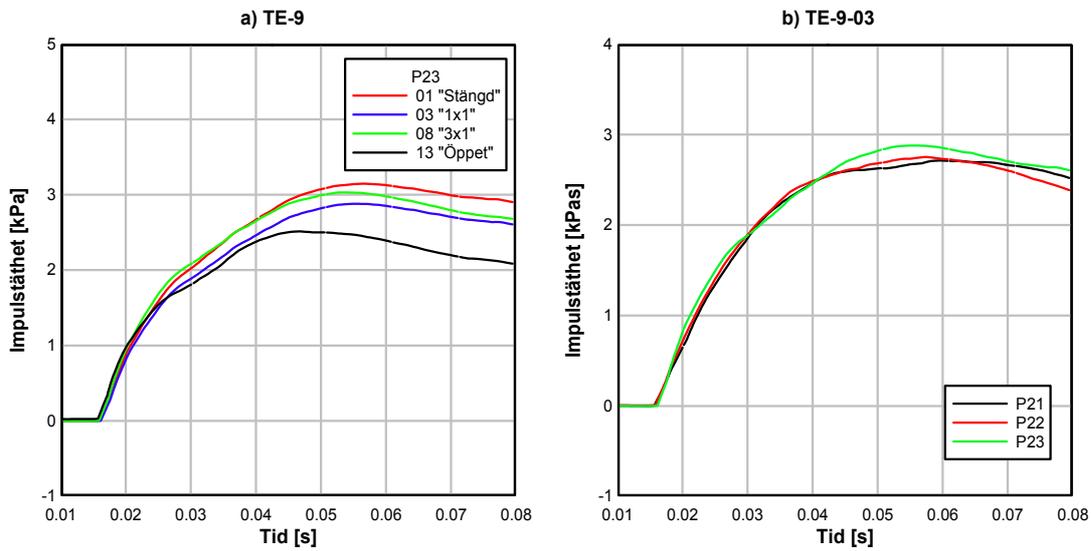
Trycket mot barriären varierar något med öppningens storlek. Både frontrycket och maxvärdet ökar med ökad öppning. Detta är mest påtagligt vid P23 men knappt märkbart vid P21. Signalens utseende speglas av att givarna sitter nära tunnelväggar och golv dvs. vågfronten är inte plan. Trycket på högersidan (P23) är betydligt högre än vid vänstersidan (P21). Detta beror på osymmetrin med en tunnelförgrening (areaökning) på högersidan med en påföljande areaminskning. Se Figur 5.

Om impulstätheten studeras kan man notera en viss ”påspädningen” in i öppningen, dvs. impulsen minskar med ökad öppning. Impulstätheten mellan P21 och P23 påverkas inte alls av osymmetrin. Se Figur 4.

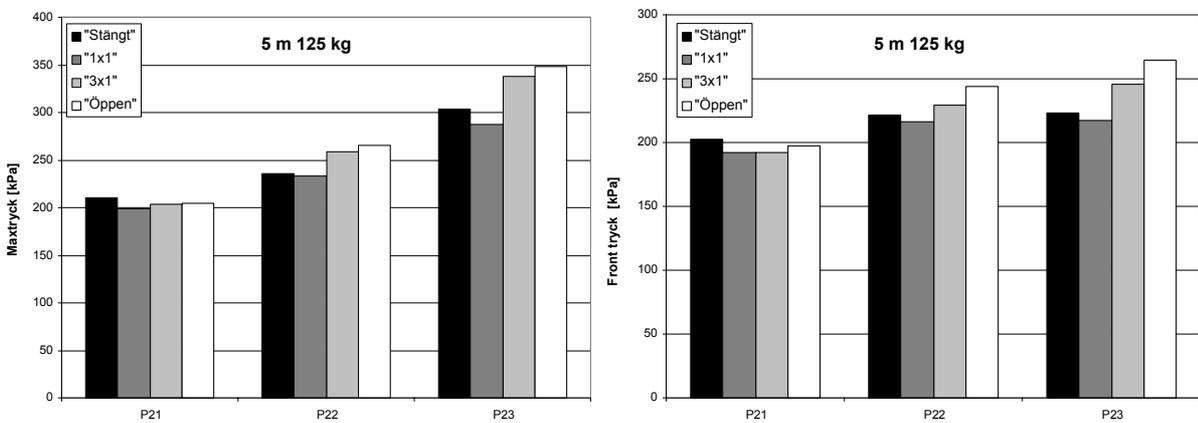
Tryck och impulstäthetsvariation med laddning och avstånd mot barriären visas i Figur 6. Från 5 m och 125 kg till –2 m (125 kg) ökar både tryck och impulstäthet med ungefär en faktor 2. Från 5 m (125 kg) till 10 m (625 kg) ökar tryck och impulstäthet med ungefär en faktor 3. Signalerna är till karaktären lika mellan dessa försök. Test 8, 11 och 12 har använts och vid dessa var öppningen på 3 m<sup>2</sup>.



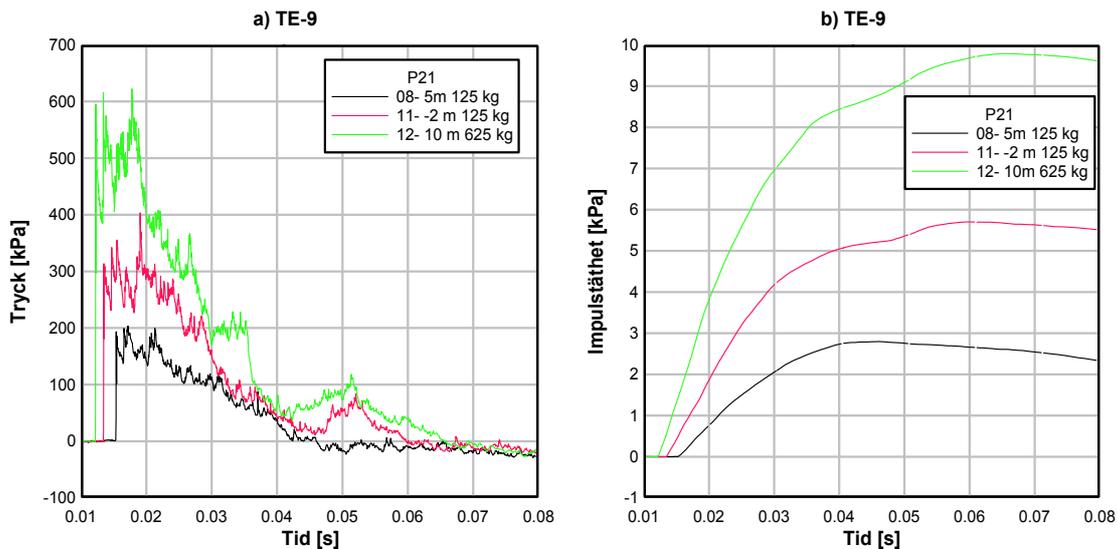
Figur 3. a) Trycket P23 beroende av öppningens storlek.  
 b) Tryckets variation över barriären vid test 3.



Figur 4. a) Impuls täthet vid P23 beroende av öppningens storlek.  
 b) Impuls täthet variation över barriären vid test 3.



Figur 5. a) Medelvärde av maximalt tryck mot barriären.  
 b) Medelvärde av frontryck mot barriären.

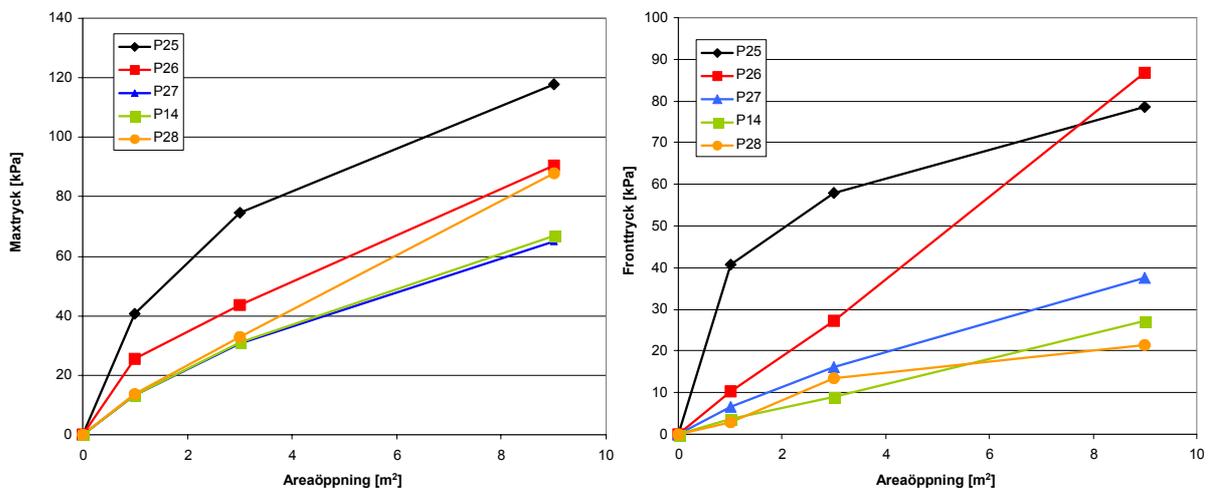


Figur 6. a) Trycket vid P21 beroende av olika laddningar och avstånd.  
b) Impulstätheten vid P21 beroende av olika laddningar och avstånd.

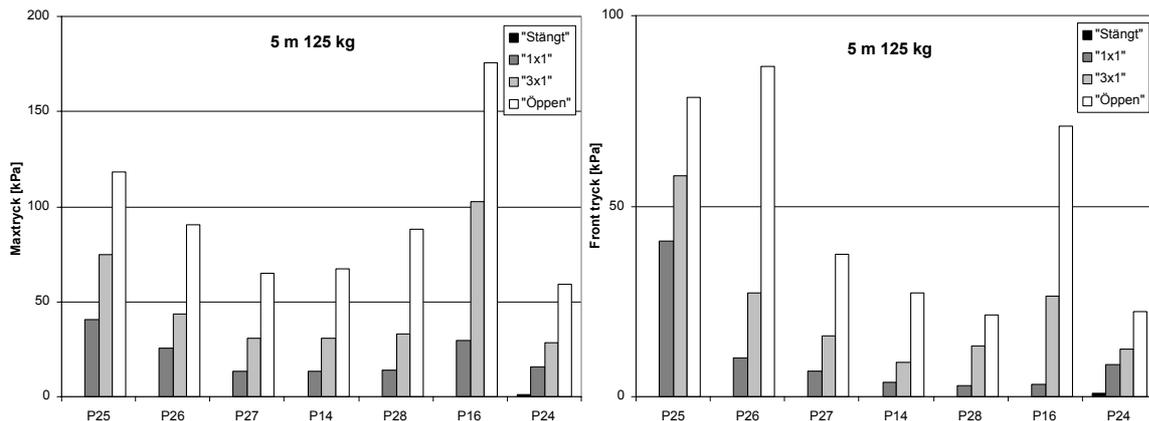
### Bakom barriären

Analys av både front och maxtryck bakom barriären visar inte överraskande ett klart samband mellan areaöppning och tryck. Sambandet är inte helt linjärt utan avtar svagt med ökad area. Se Figur 7. Ser man över balken inåt i tunneln så avtar frontrycket med avståndet. Maxtrycket däremot avtar mot mitten av balken men stiger igen mot änden vilket tyder på att reflektioner mot tunnelväggarna åter spelar in på maxtrycket. Maxtrycket är till en början ungefär dubbelt så stor som frontrycket men mot änden ca fyra ggr större. Se Figur 8.

Givaren vid tunneländan, P16, uppvisar ett liknande samband. Här är maxtrycket ca två ggr frontrycket vid stora öppningar. Vid små öppningar blir frontrycket mycket mindre än maxtrycket. Maxtrycket byggs dessutom upp betydligt långsammare vilket antyder att öppningar på ca 1 m<sup>2</sup> och mindre ger en pystrycksupbyggnad. Se Figur 10. I fallet med pystryck kommer maxtrycket att vara starkt beroende av bakomliggande volyms storlek.



Figur 7. Areaöppningen kontra trycket på balkgivarna.

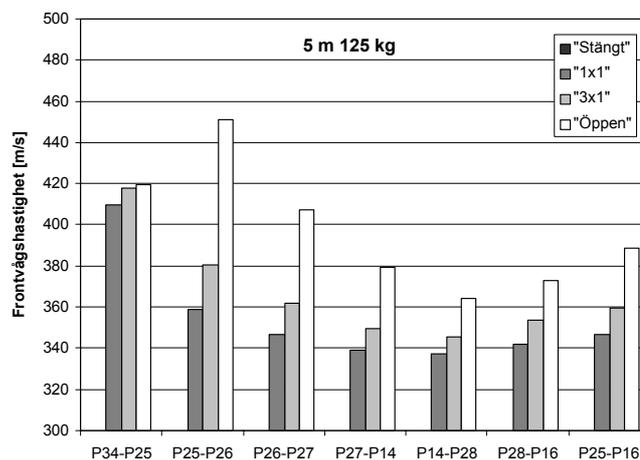


Figur 8. a) Medelvärde av maximalt tryck bakom barriären. P24 är här reflekterad våg från tunnelbotten.  
b) Medelvärde av frontryck bakom barriären. P24 är här första fronten som "svänger" av vid öppning.

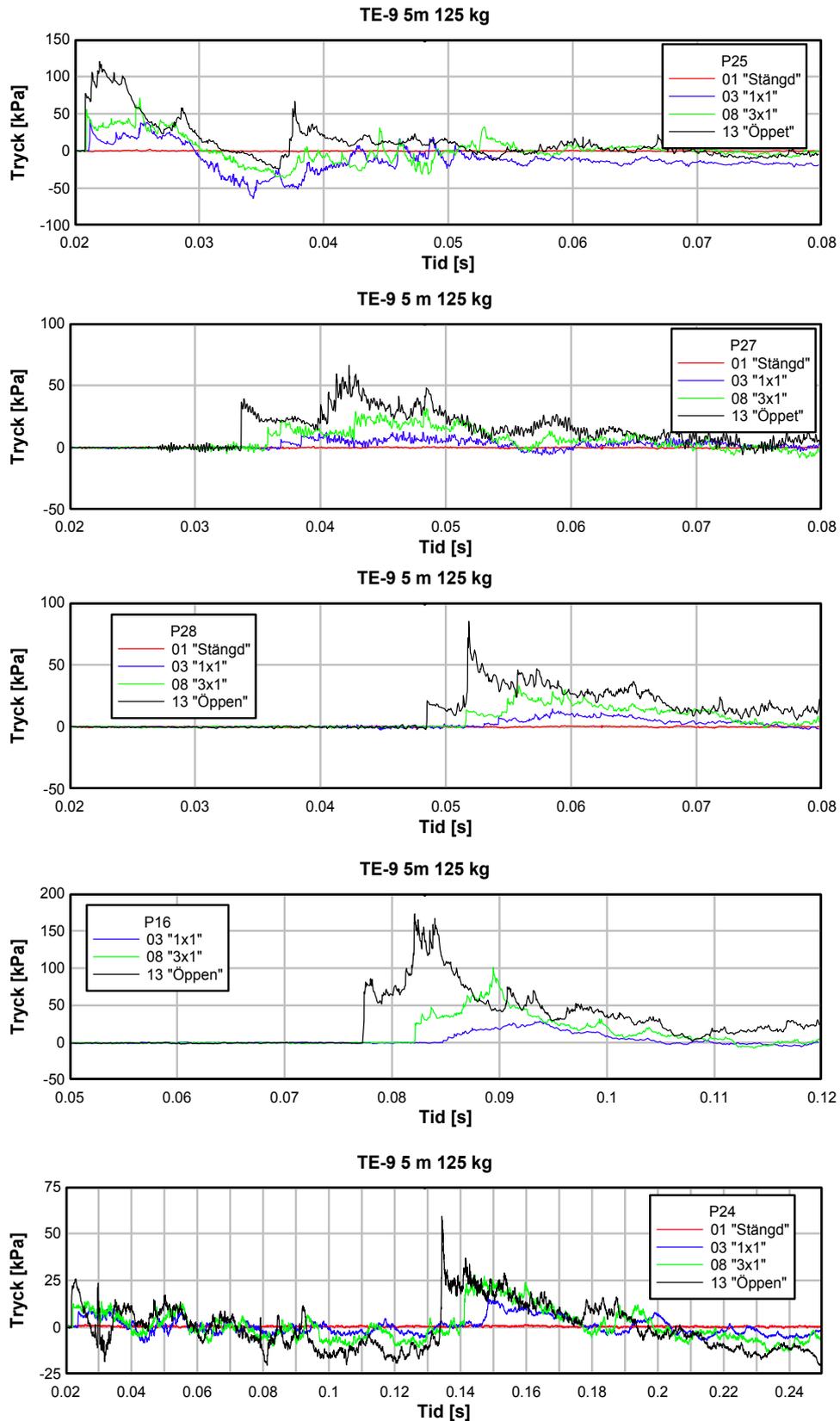
Vid P24 fås ett frontryck vilket tyder på att stötvågen sprider sig snabbt runt den relativt tunna barriären. Ca 0.11 sekunder senare (vid 9 m<sup>2</sup> öppning) anländer huvudvågen efter att ha studsat i tunneländan och återkommit till barriären. Detta ger en genomsnittlig våghastighet på ca 400 m/s. Denna återkommande våg syns även på övriga givare om man studerar ett bredare tidsintervall.

Frontvågens hastighet varierar ungefär som frontrycket mellan 340 och 440 m/s. Se Figur 9.

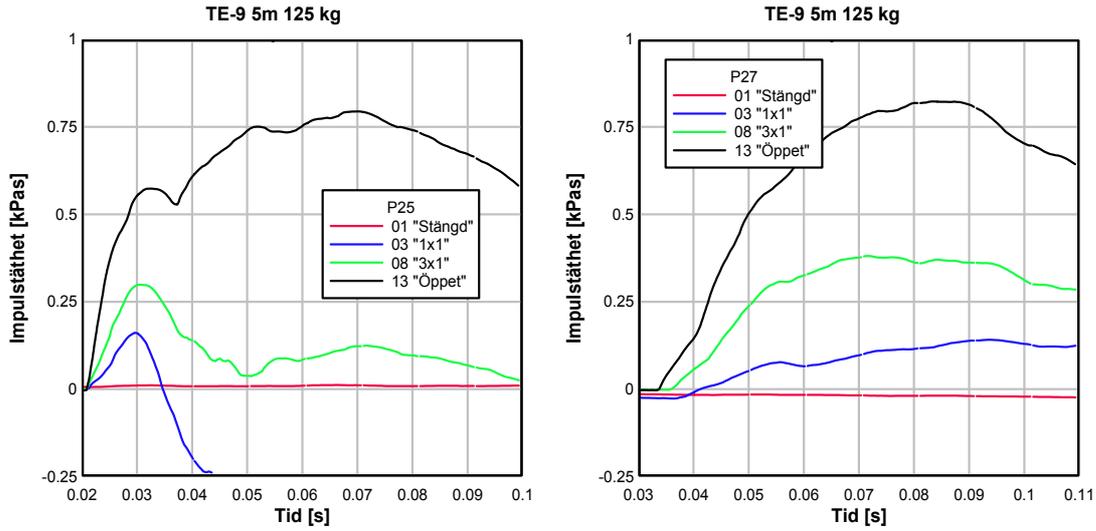
I Figur 10 visas tryck-tid kurvor för några givare bakom barriären. De efterföljande diagrammen, Figur 11, Figur 12 och Figur 13 visar impulstätheten för samma givare bakom barriären.



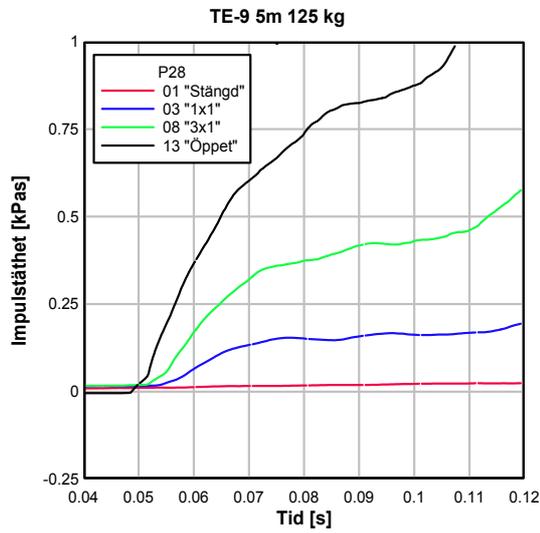
Figur 9. Medelvärde av frontens hastighet över barriären och förbi balken.



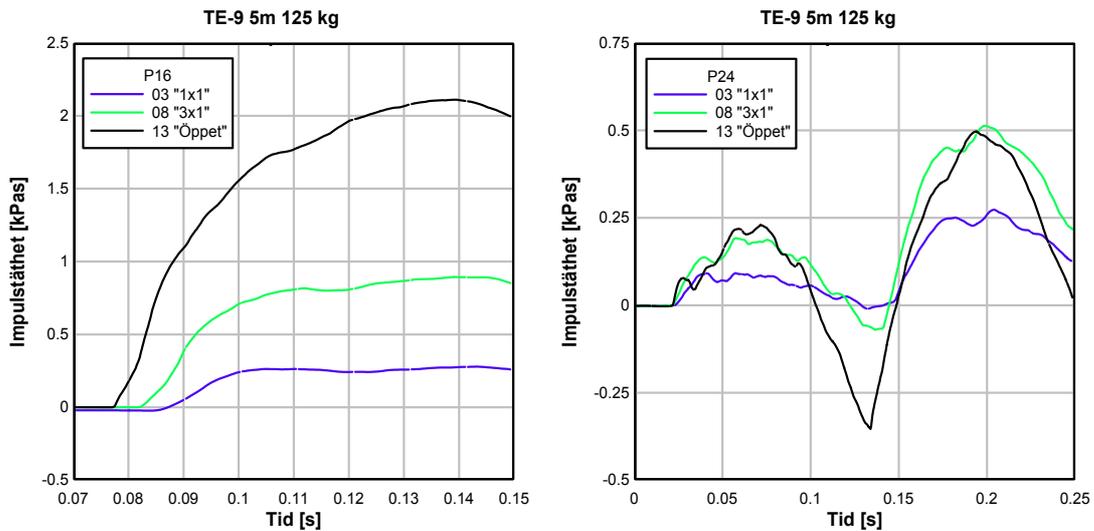
Figur 10. Tryck-tid kurvor för olika givare bakom barriären i förhållande till barriäröppningen.



Figur 11. Impulstäthet bakom barriär för olika öppningar, P25 och P27.



Figur 12. Impulstäthet bakom barriär för olika öppningar, P28.

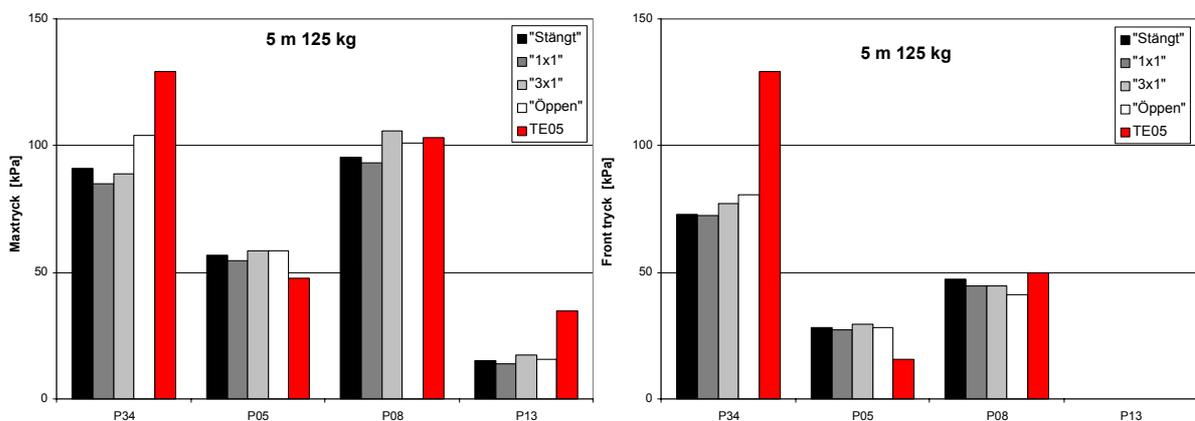


Figur 13. Impulstäthet bakom barriär för olika öppningar, P16 och P24.

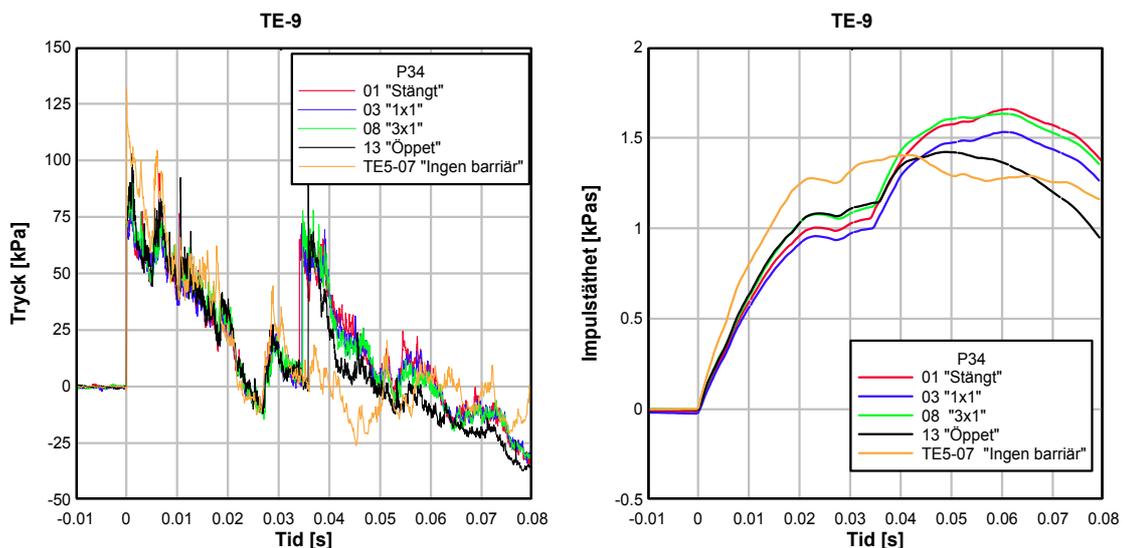
## Övriga tunneln

I Figur 14 visas övriga tunneldelars påverkan av barriären med olika öppningar. Att notera är att P34 i tidigare försök var placerad på en 40 kg tung stålplatta med en diameter på 400 mm. Denna platta var placerad i en sandavjämning på golvet. Tidigare försök har visat att side-on trycket är högre på tunnelgolvet än 0.5 m upp. Förutom skillnaderna från etapp 5 verkar inte front och maxtrycken i övriga tunneldelar påverkas nämnvärt av barriären. Om man studerar impulsen ser man se en "extra" impulstopp som ökar med minskad öppning. Detta på grund av reflektioner mot barriären. Se Figur 15 till Figur 18.

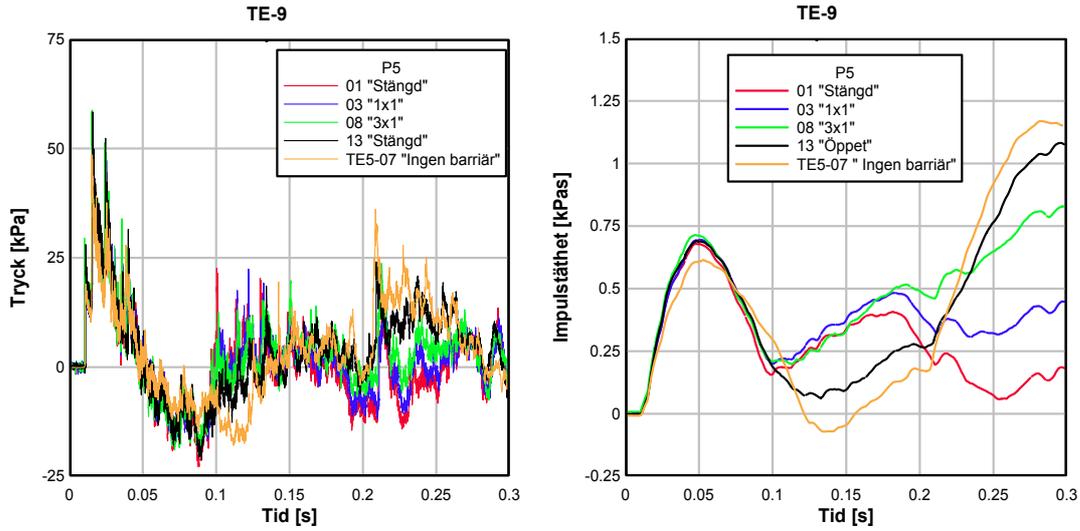
En oklarhet som kvarstår att kontrollera är givare P13 som vid etapp 5 gav värden dubbelt så stora som vid denna etapp. Se Figur 18. Denna givare kommer att undersökas speciellt innan nästa etapp.



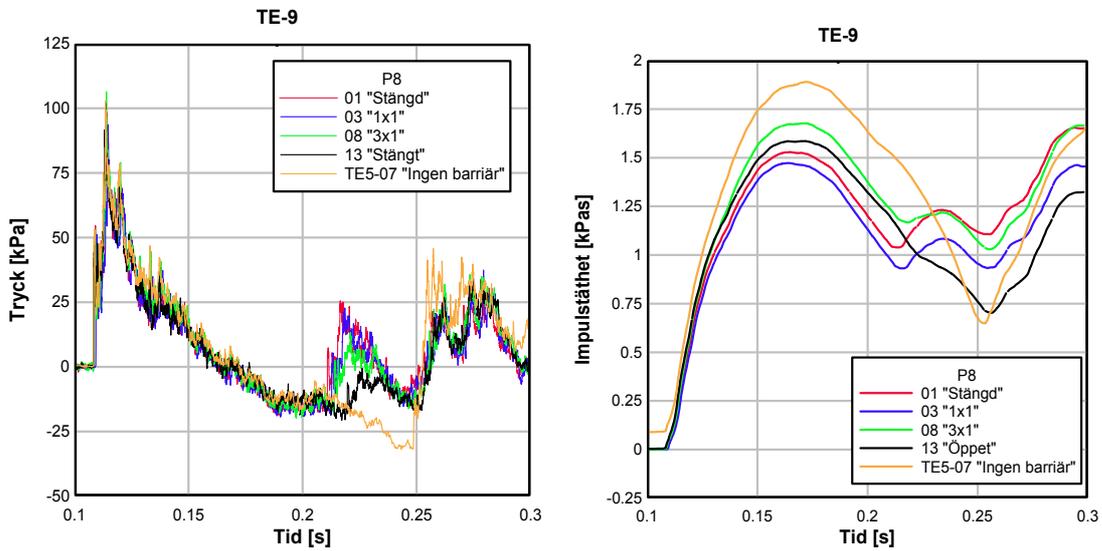
Figur 14. a) Medelvärde av maximalt tryck i övriga tunneldelar.  
b) Medelvärde av frontryck i övriga tunneldelar.



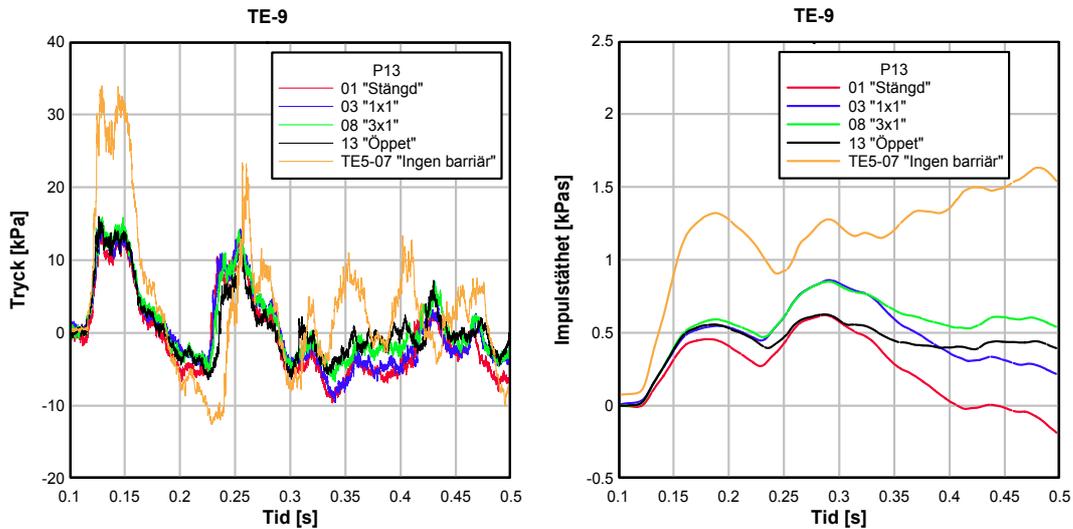
Figur 15. Tryck och impulstäthet kontra tid vid P34.



Figur 16. Tryck och impulstäthet kontra tid vid P5.



Figur 17. Tryck och impulstäthet kontra tid vid P8.



Figur 18. Tryck och impulstäthet kontra tid vid P13.

## Tabeller över front och maxtryck

Tabell 3. Maximalt tryck.

Test/Givare	34	5	8	13	21	22	23	25	26	27	14	28	16	24*
1	95	56	98	14	213	238	307	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 1
2	87	58	93	16	207	234	299	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 1
3	85	55	93	15	202	232	296	42	25	13	14	14	30	16
4	90	55	94	14	205	232	282	41	25	14 <sup>1</sup>	13	13	29	15
5	80	54	92	13	190	237	285	39	26	13	13	14	29	16
6	157	88	168	29	374	513	712	62	43	32	28	32	58	26
7	206	129	233	39	641	786	1233	121	72	58	44 <sup>1</sup>	49	91	61
8	91	59	107	18	204	258	339	71	46	32	31	33	101	29
9	87	60	108	16	204	262	336	74	44	24	25	23	103	26
10	88	57	102	18	203	257	338	79	41	36	30	37	104	30
11	160	92	167	29	404	543	650	101	84	56	56	76	148	46
12	227	123	225	37	622	770	1124	150	108	123	85	110	245	60
13	103	58	102	16	208	262	355	120	89	66	67	85	173	59
14	105	59	100	15	202	270	342	116	92	64	67	91	178	59
15	208	94	160	27	320	555	641	218	131	142	114	119	354	83
16	184	100	161	29	333	580	641	223	133	152	135	123	318	71

\*) Från bakre väggen reflekterad våg.

1) Konstig

Tabell 4. Front tryck.

Test/Givare	34	5	8	13 <sup>1)</sup>	21	22	23	25	26	27	14	28	16	24 <sup>2)</sup>
1	74	28	47		203	226	228	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 1
2	72	28	47		203	218	219	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 1
3	72	27	46		195	213	218	42	10	7	4	3	3	8
4	72	27	44		193	219	214	41	10	6	3	3	3	8
5	74	28	44		190	217	220	39	10	7	4	3	3	8
6	133	53	92		368	443	429	62	19	19	16	16	14	16
7	171	60	117		614	662	679	91	31	34	25	20	33	25
8	77	30	46		193	226	248	56	28	16	9	14	26	13
9	78	30	46		199	233	246	58	28	14	9	13	27	12
10	77	28	43		186	229	243	60	25	17	9	14	27	12
11	144	57	92		314	457	427	98	42	33	27	21	68	73
12	167	59	118		595	597	659	147	71	63	41	34	112	112
13	79	28	41		194	242	270	78	85	37	26	21	69	22
14	82	28	41		201	246	260	79	88	38	29	22	73	23
15	144	51	100		320	462	502	122	131	53	38	33	151	36
16	164	51	97		320	467	487	131	133	51	40	33	148	37

1) Givare 13 ger inga direkta fronttryck

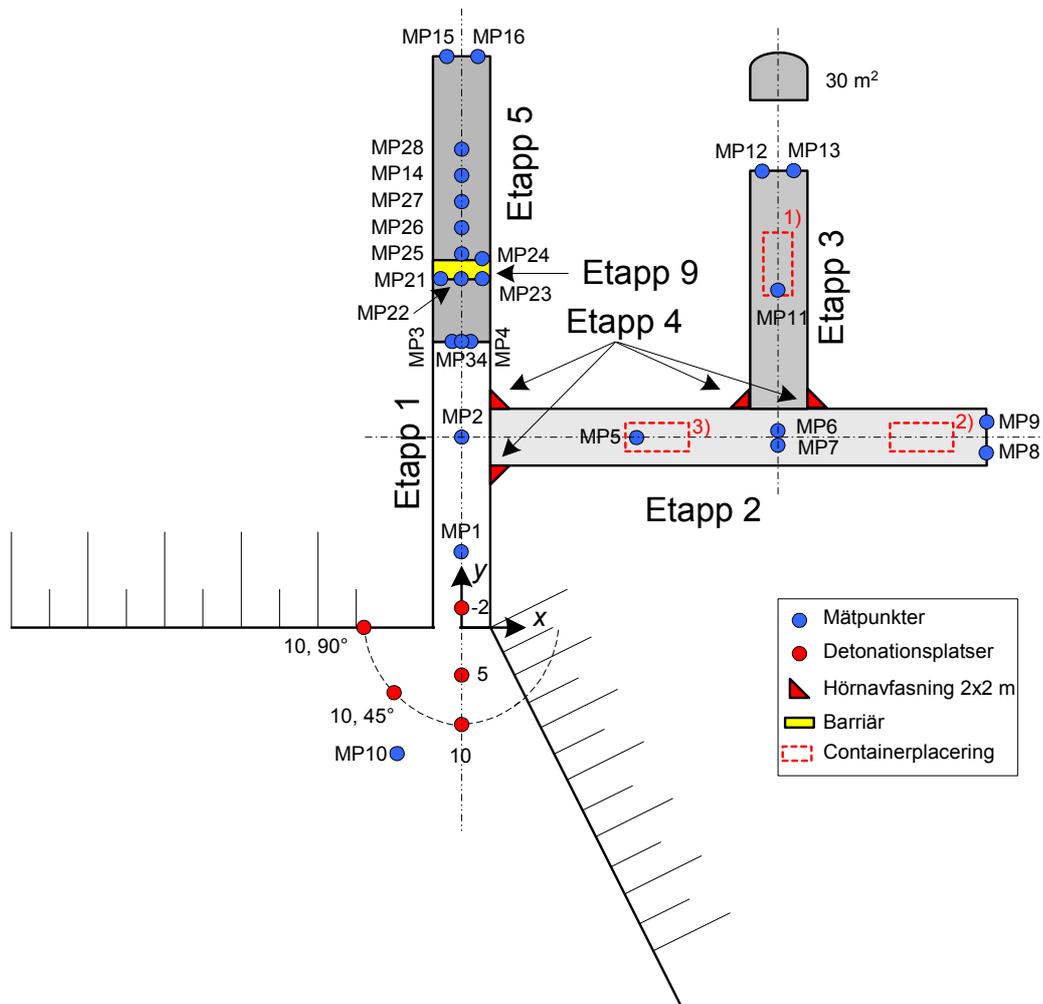
2) Första våg fronten.



## Tidigare etapper

Tabell 5. 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 6. 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
27	Side-on	0	44.20	1.5	På balk
28	Side-on	0	49.7	1.5	På balk
C1	Side-on				Mitt framsida container
C2	Side-on				Mitt höger långsida container
C3	Side-on				Mitt vänster långsida container
C4	Side-on				Mitt baksida container
C5	Side-on				Mitt tak container

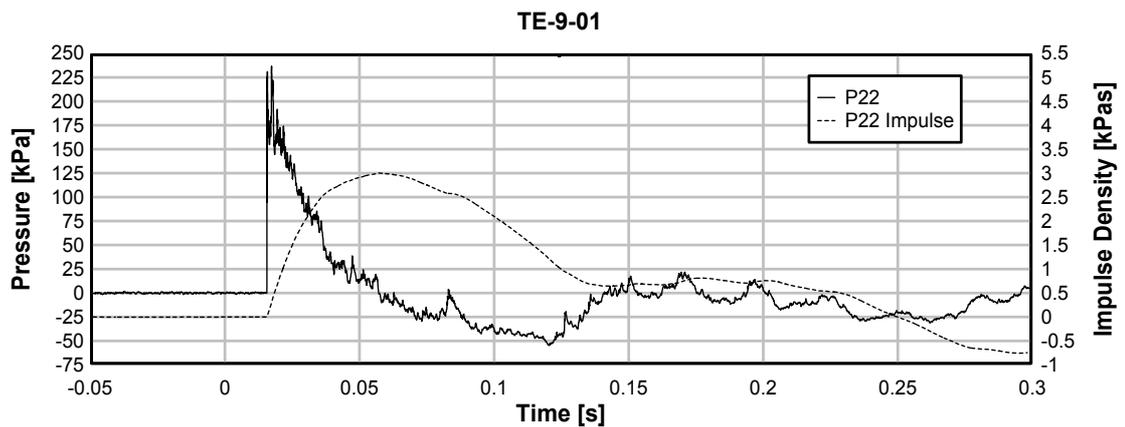
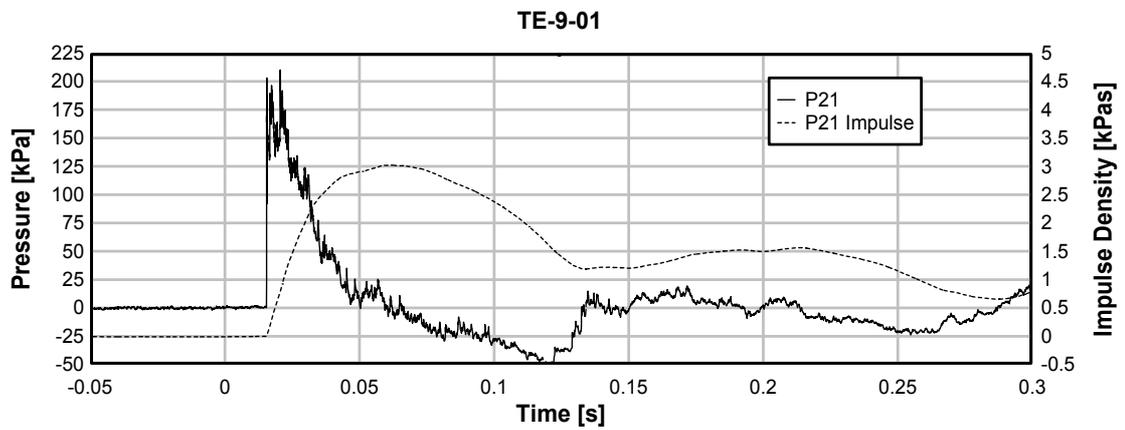
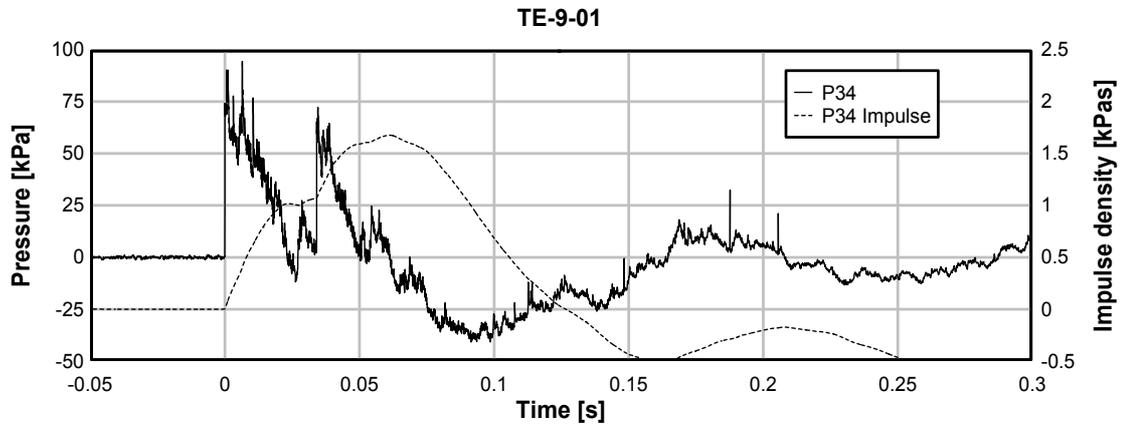
## Referenser

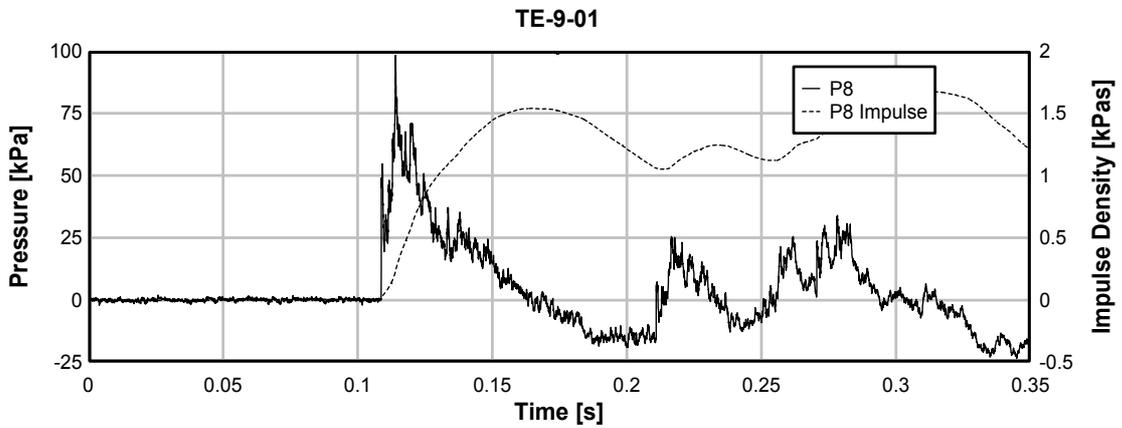
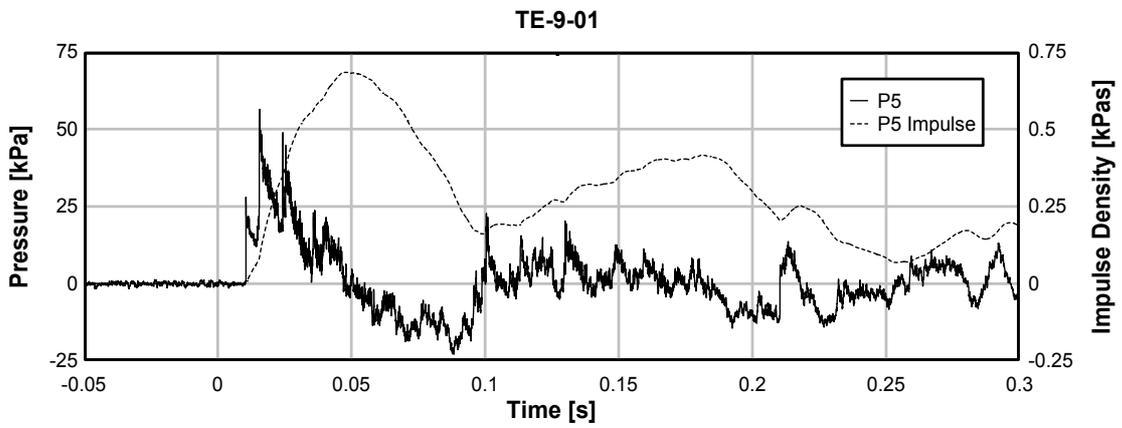
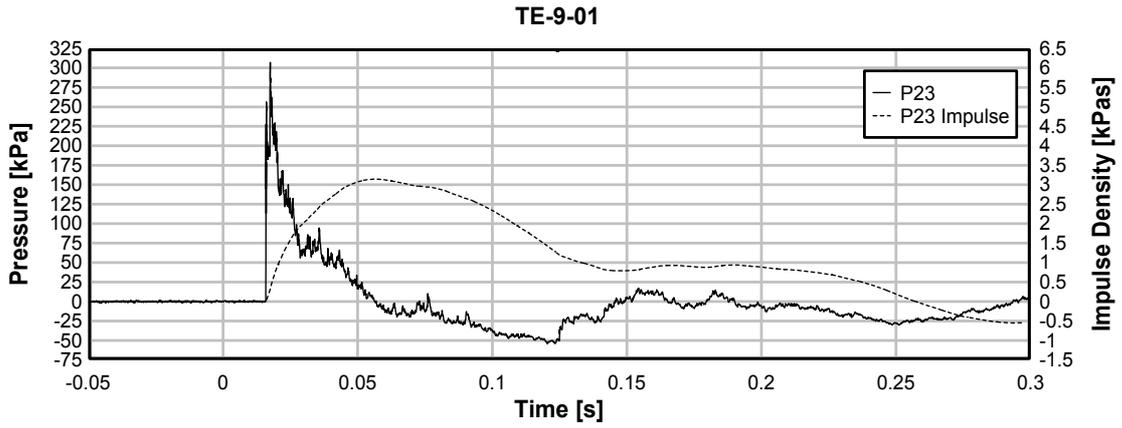
- [1] Carlberg Anders, *Utformning av bergtunnlar. Etapp 1*, FOA-D—96-0023-2.6—SE, Februari 1996
- [2] Carlberg Anders, *Utformning av bergtunnlar. Etapp 2 och 3*, FOA-R—97-00467-311\_SE, Mars 1997
- [3] Carlberg Anders, Eriksson Siwert, *Utformning av bergtunnlar, Etapp 4*, FOA-R—99-01030-311—SE, Februari 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] *Utformning av bergtunnlar. Etapp 8*, Kommande FOI rapport

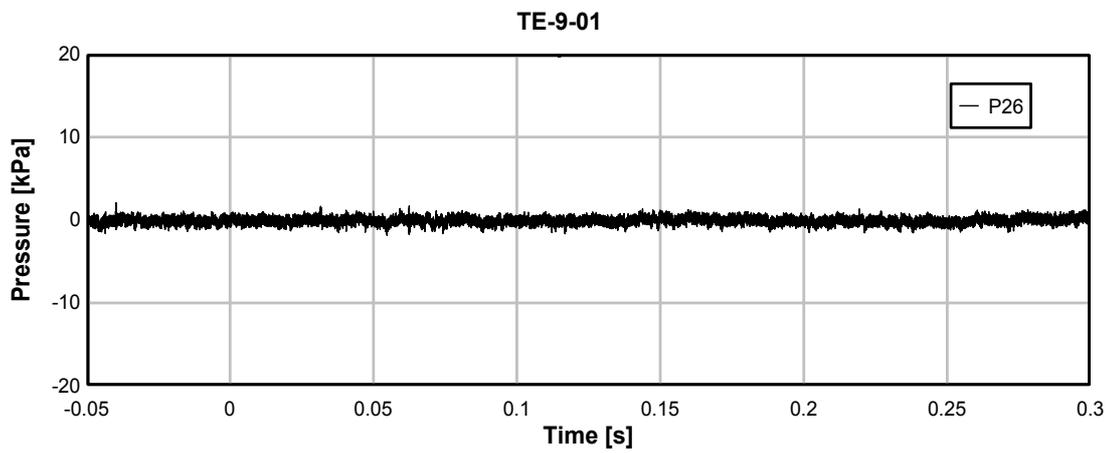
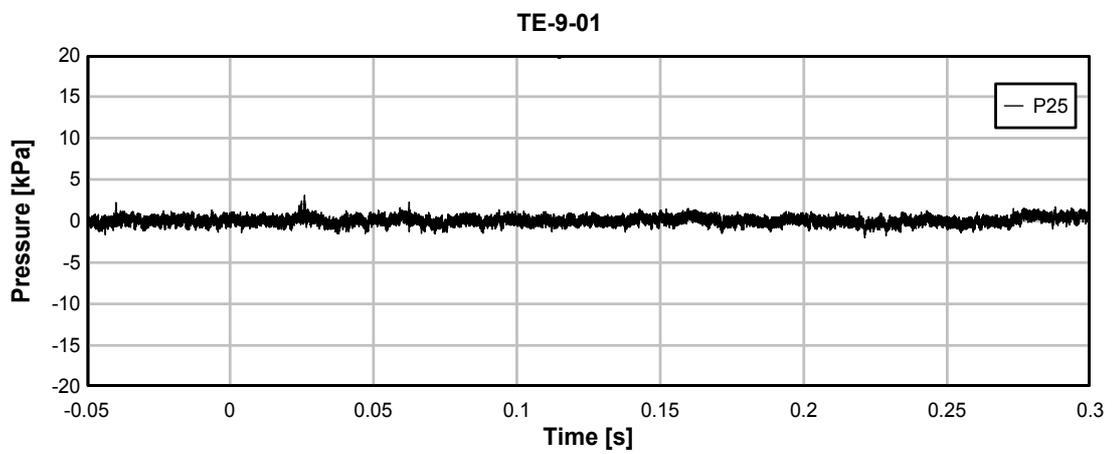
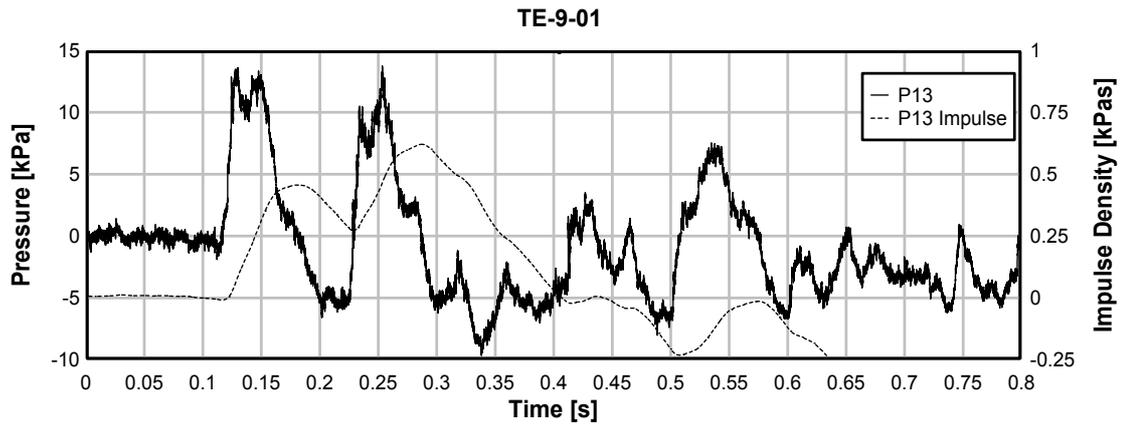


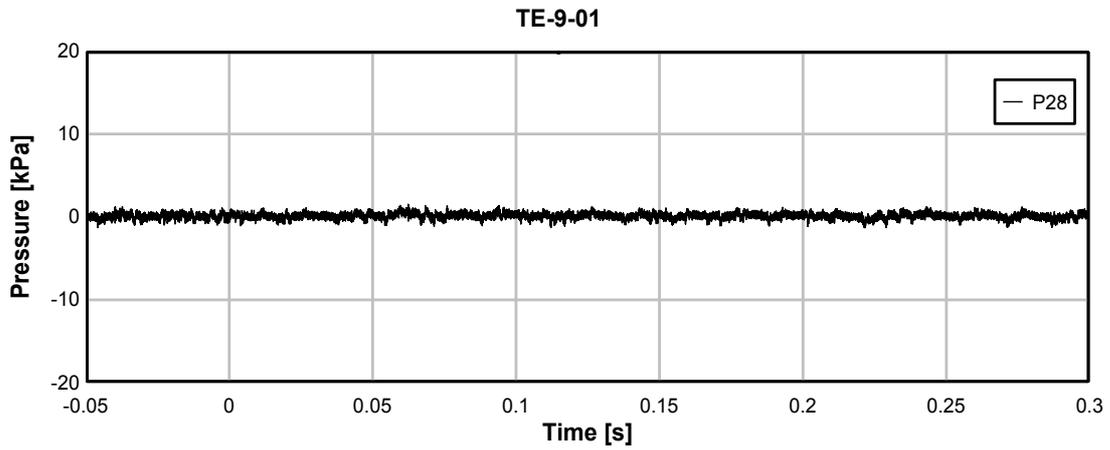
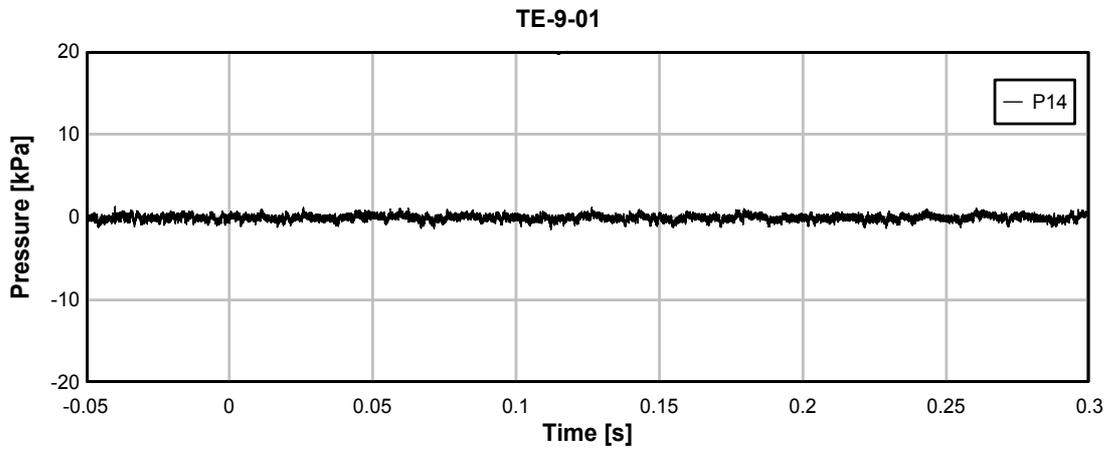
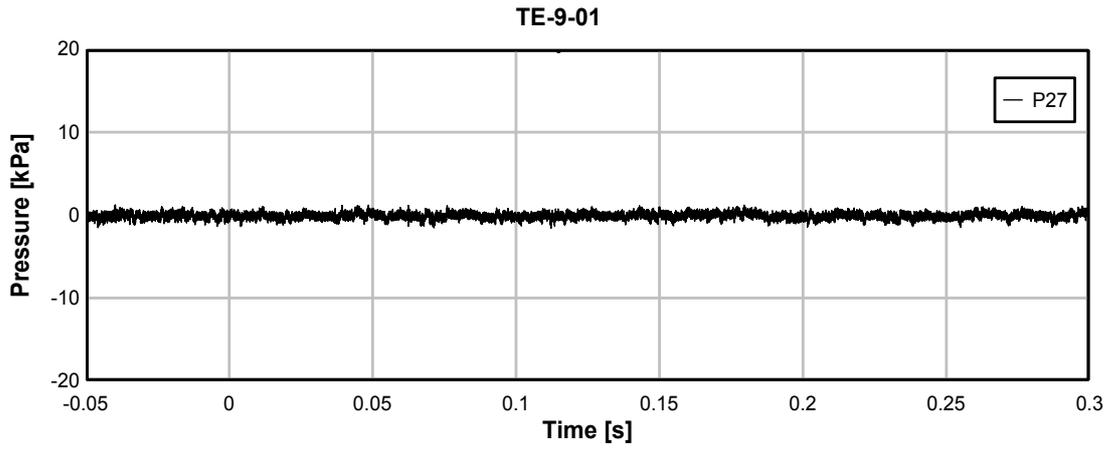
# Registreringar

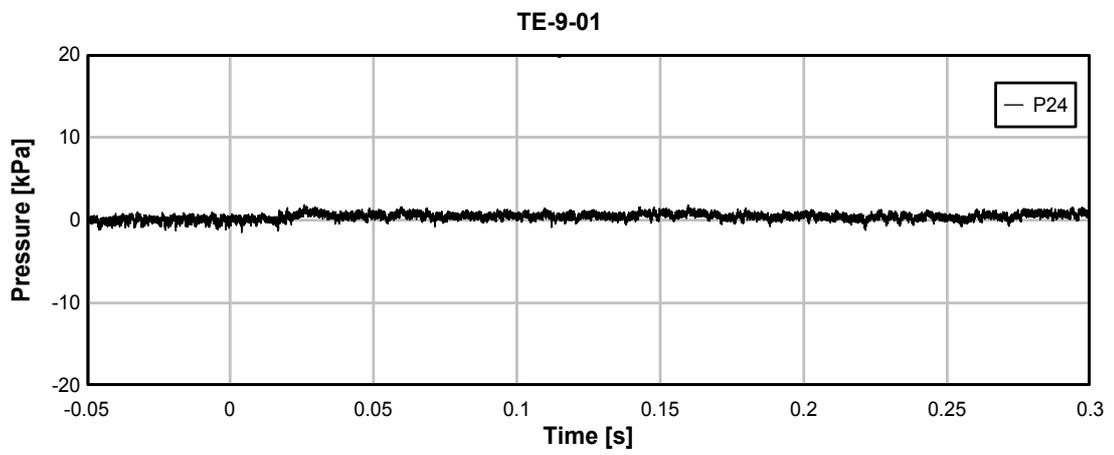
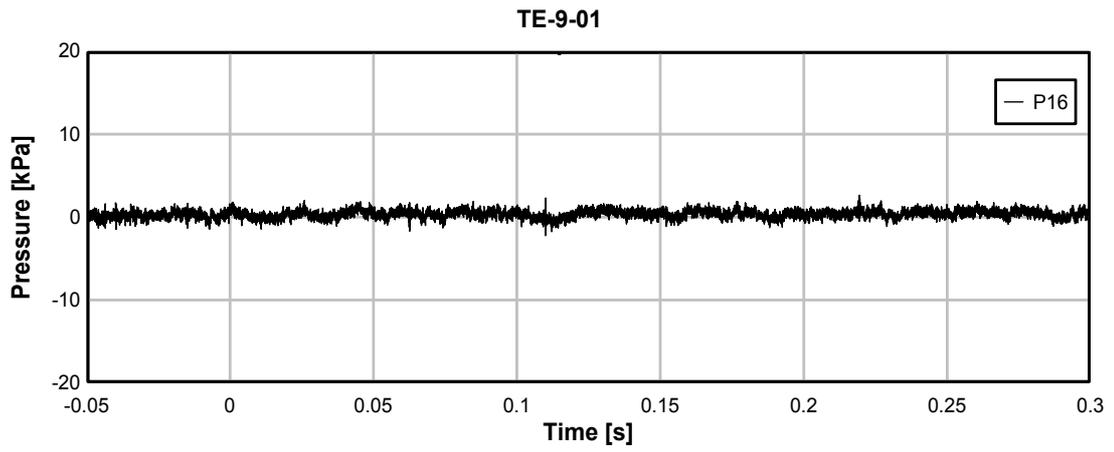
## Test 01: avstånd 5m, 125 kg Prillit och helt stängt



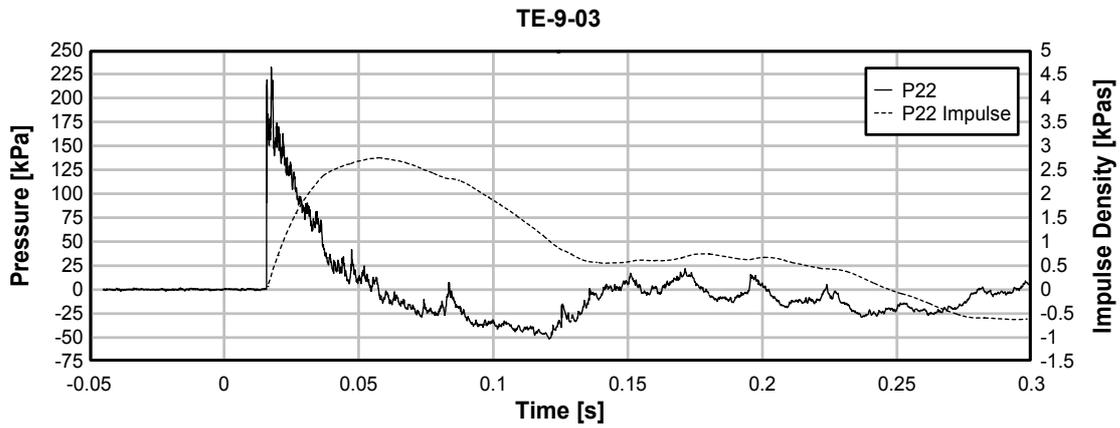
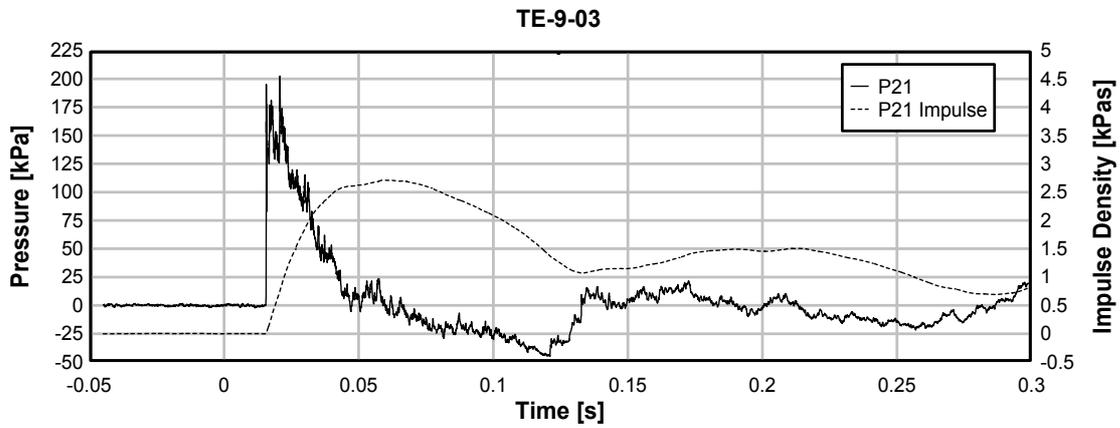
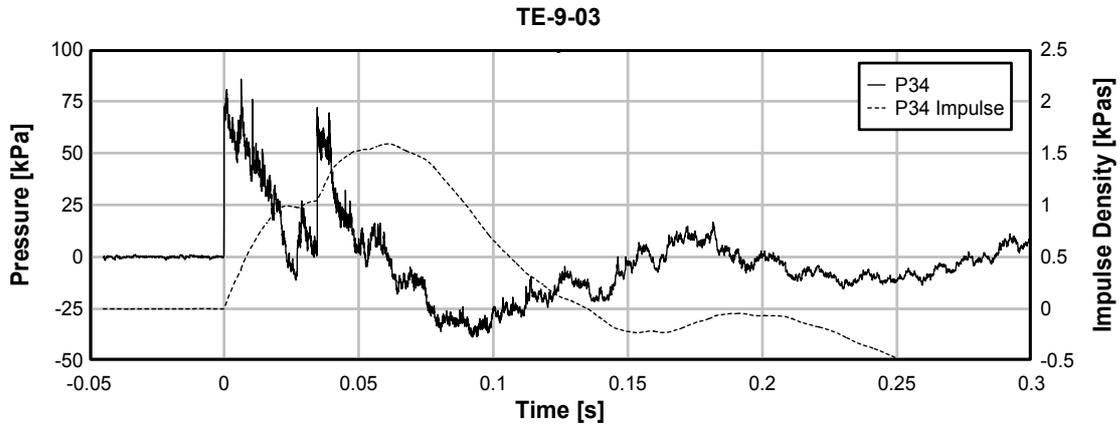


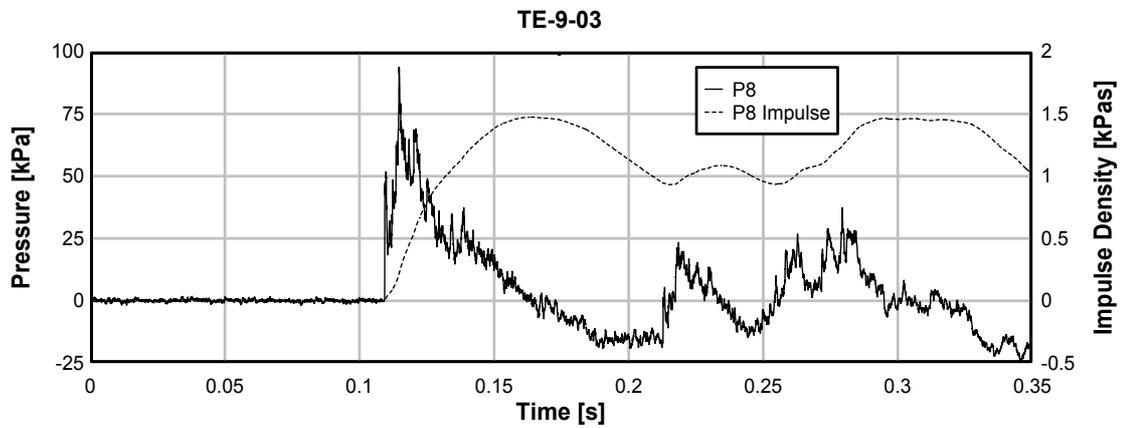
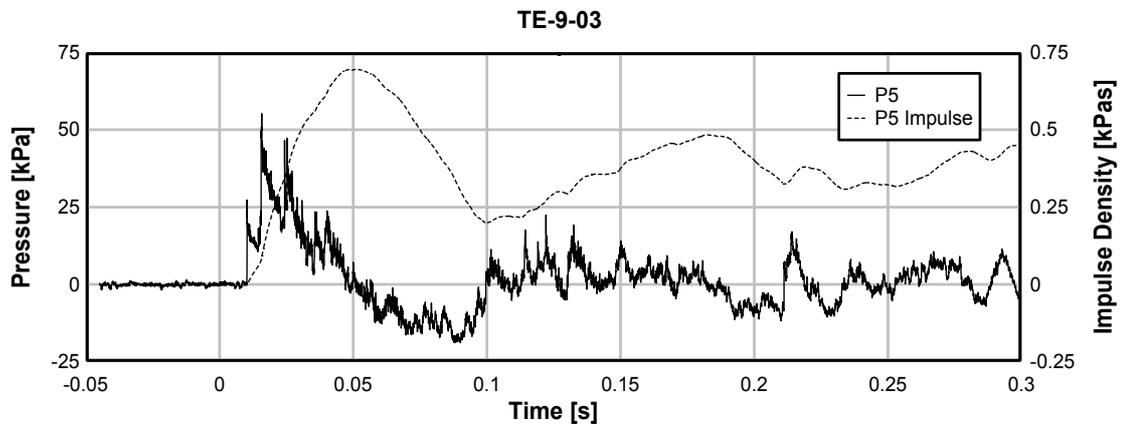
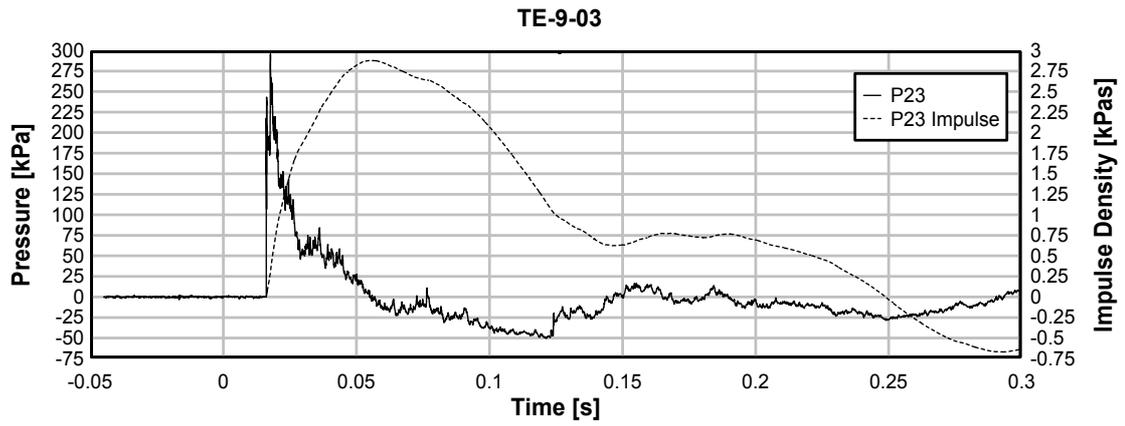


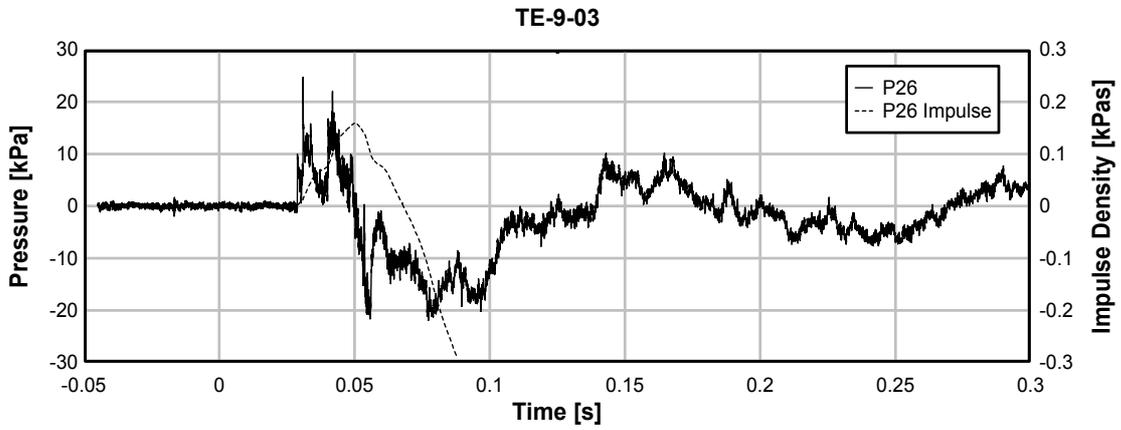
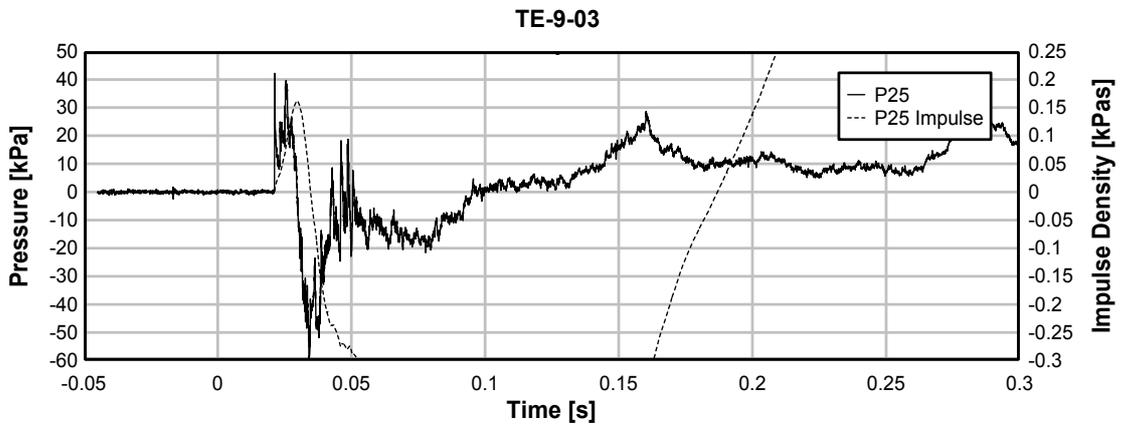
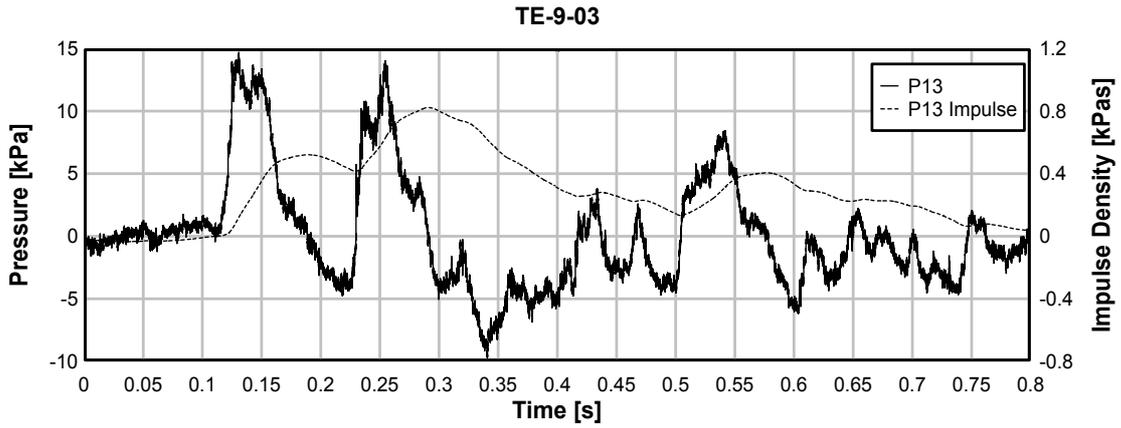


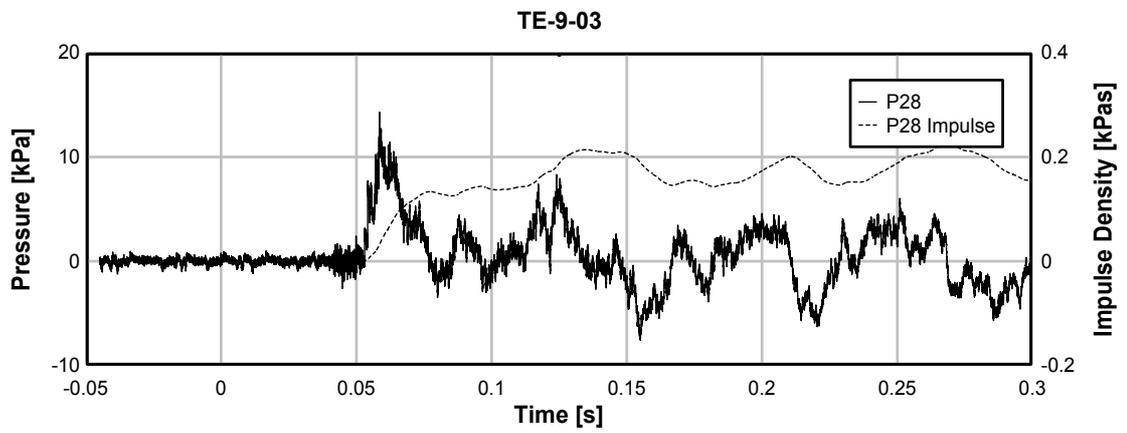
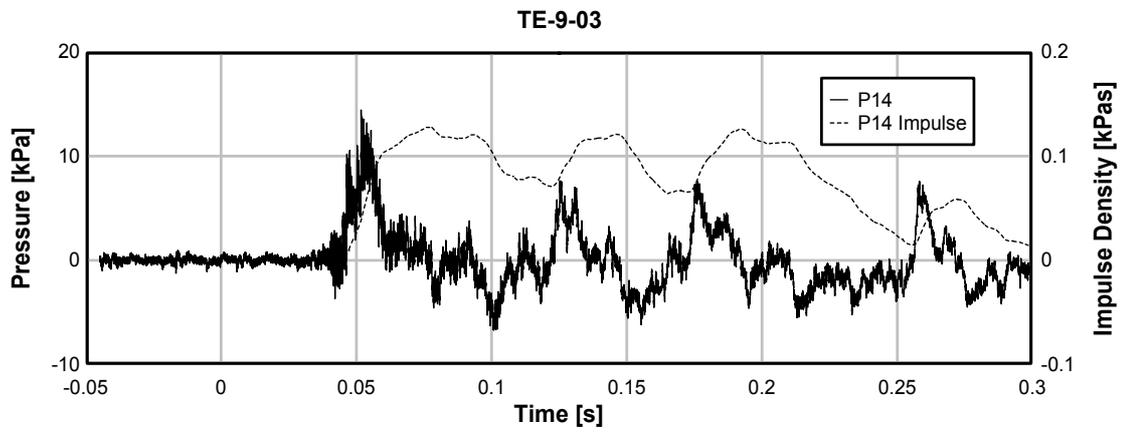
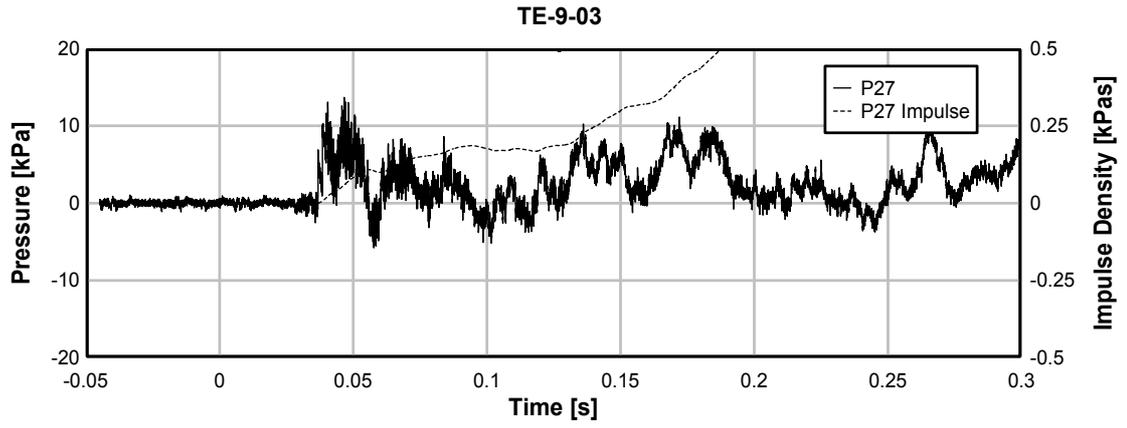


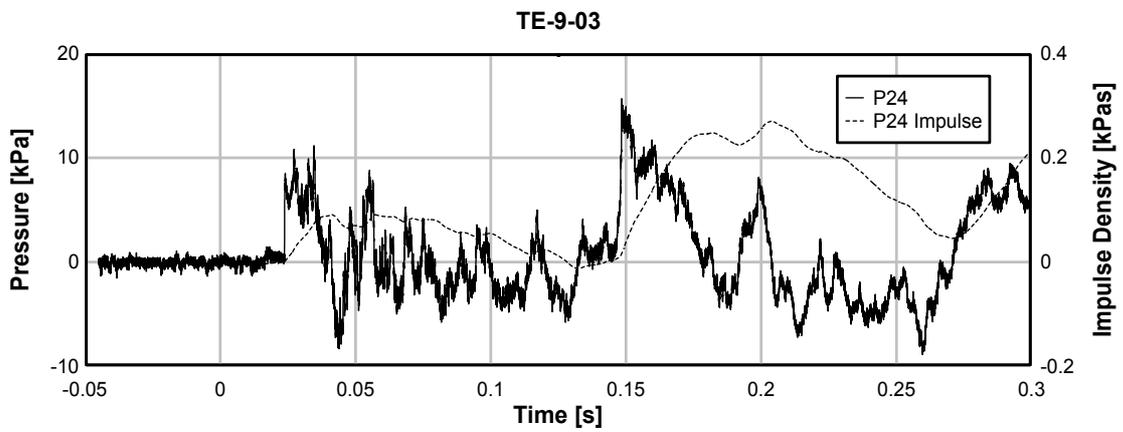
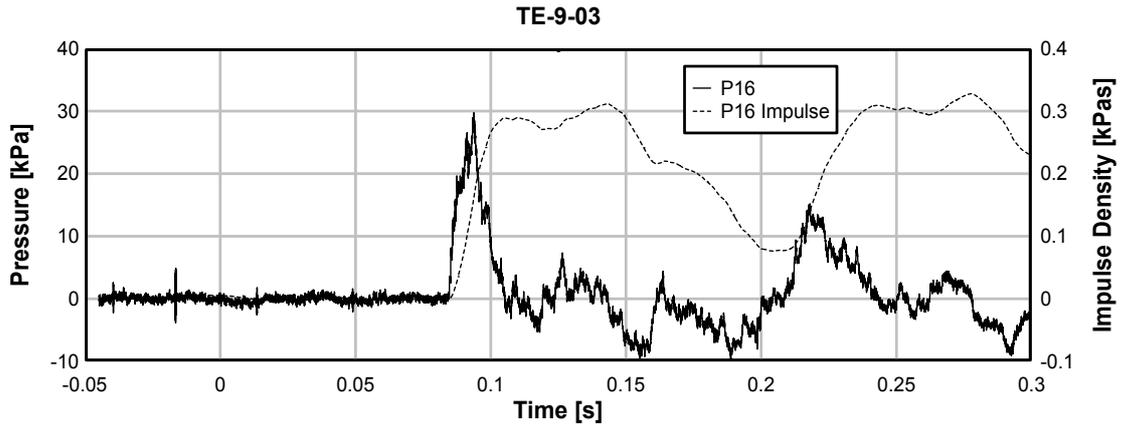
**Test 03: avstånd 5 m, 125 kg Prillit och 1x1 m öppning.**

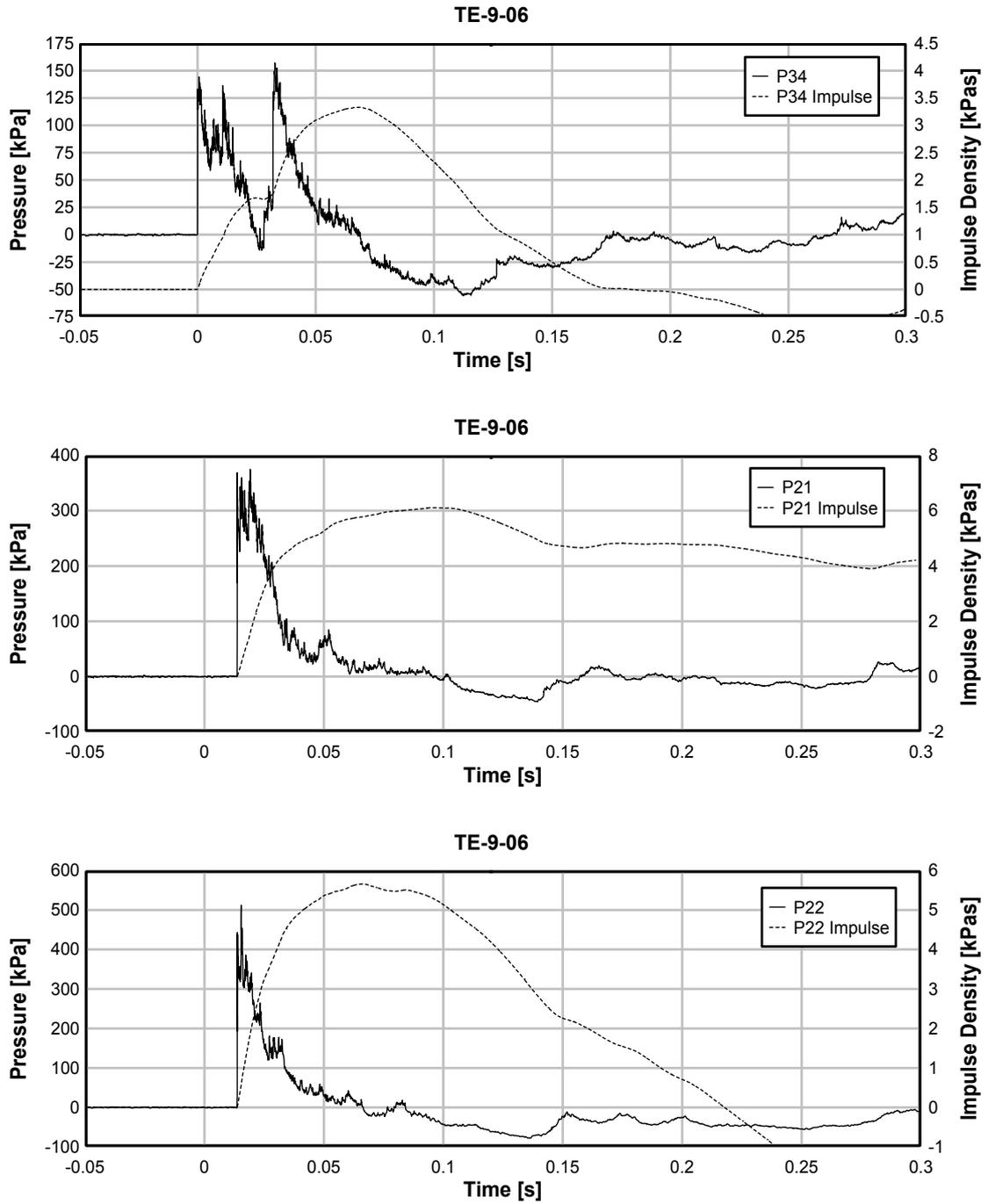


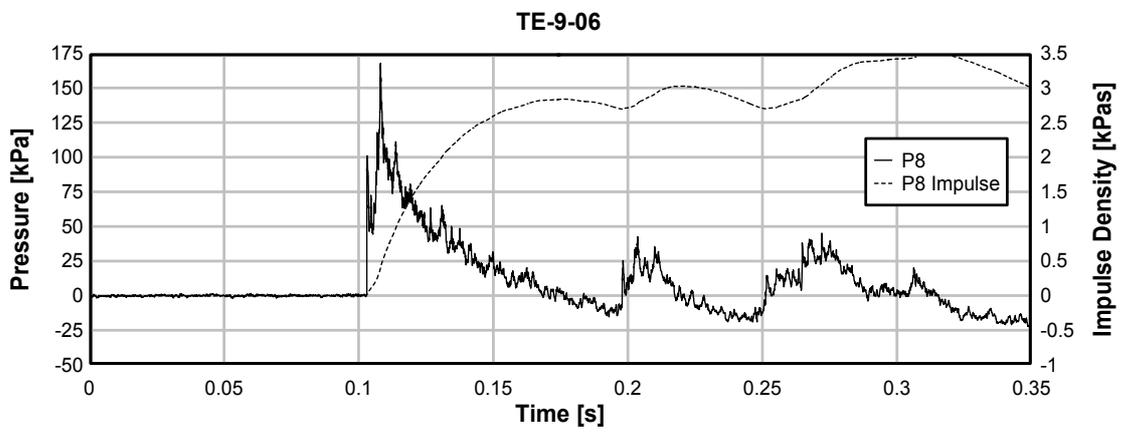
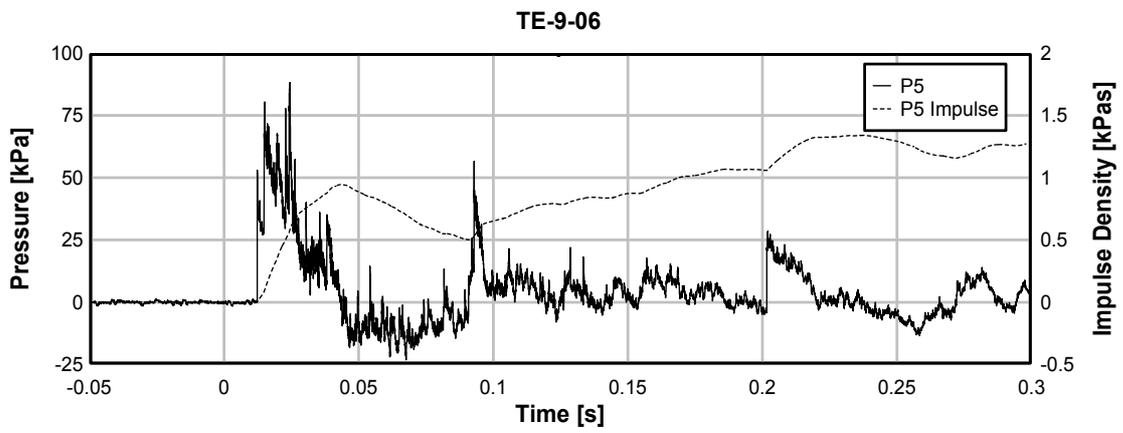
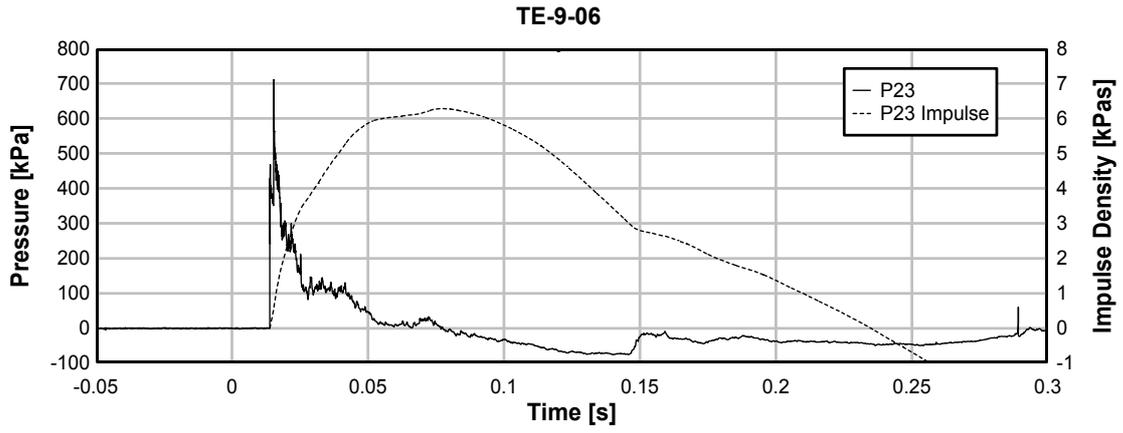


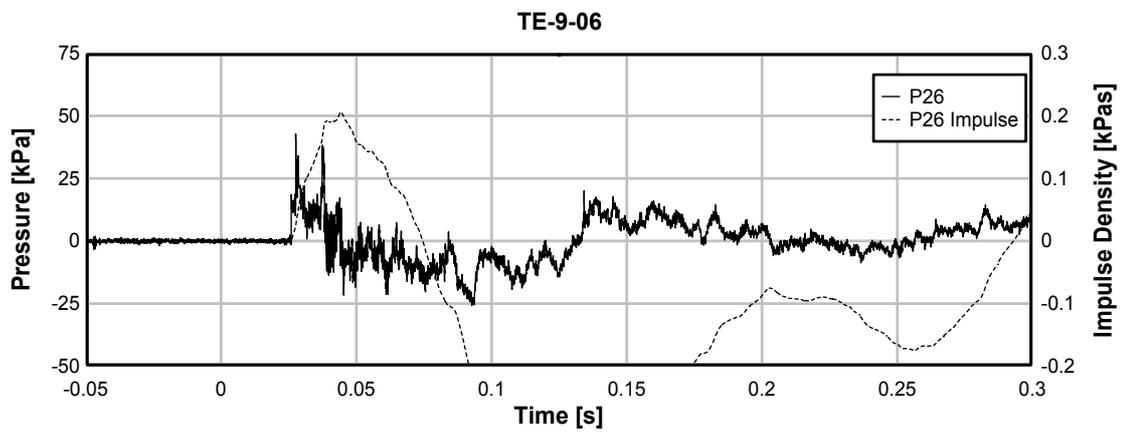
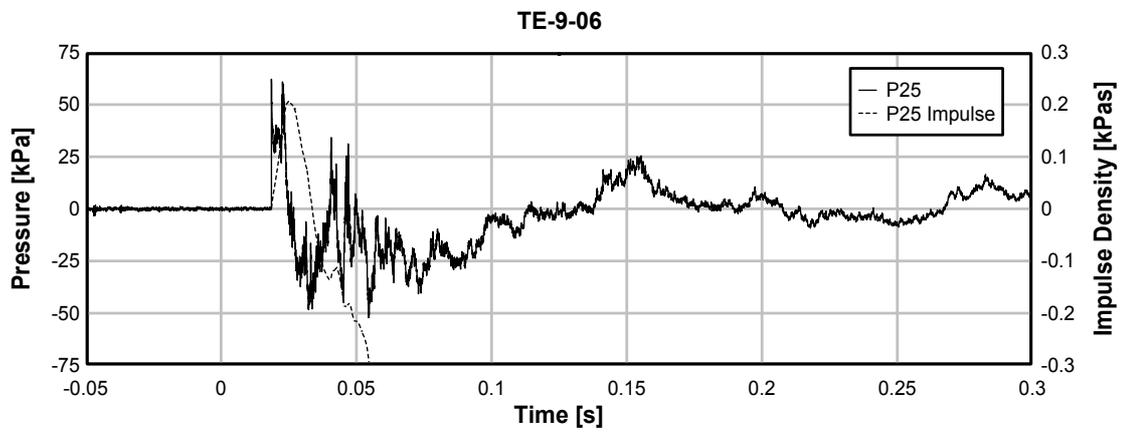
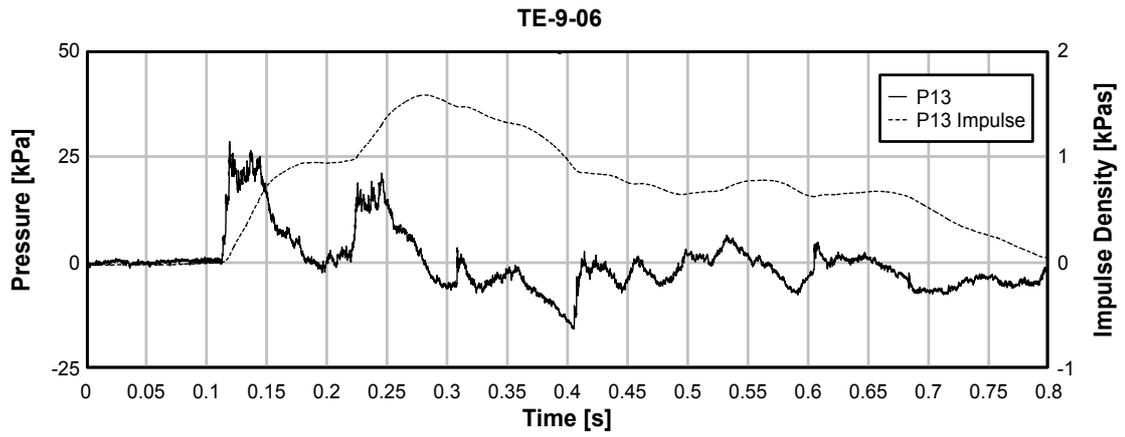


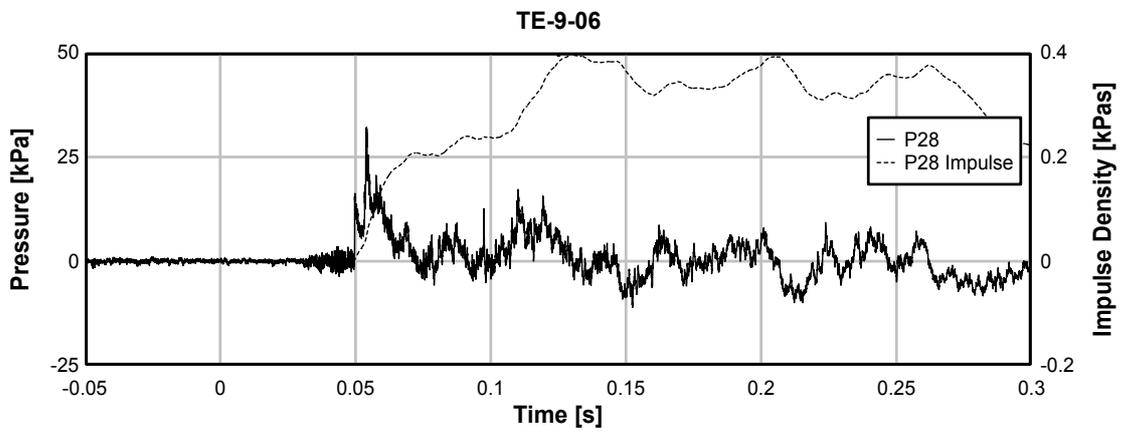
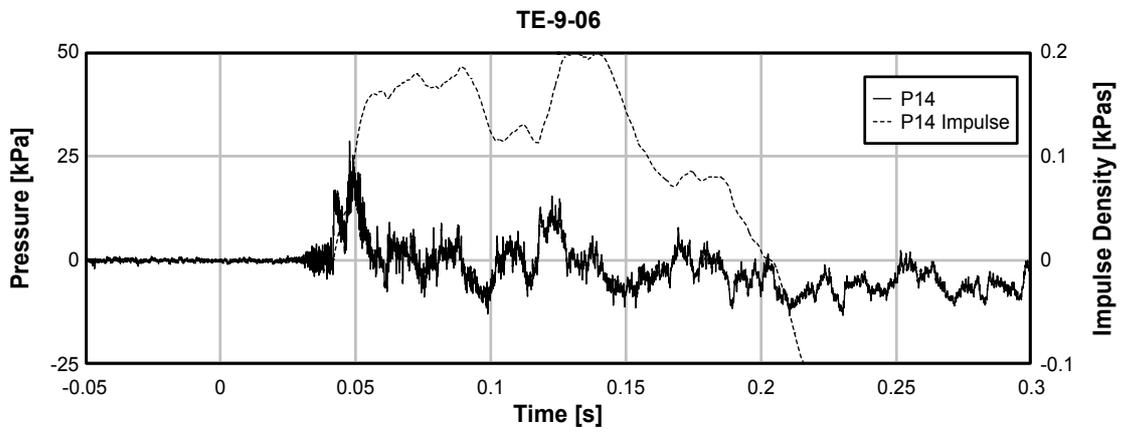
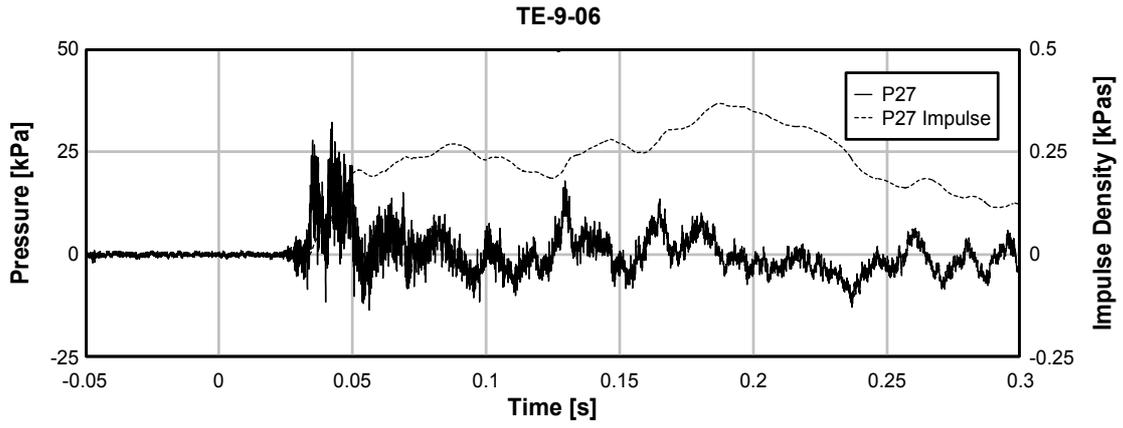


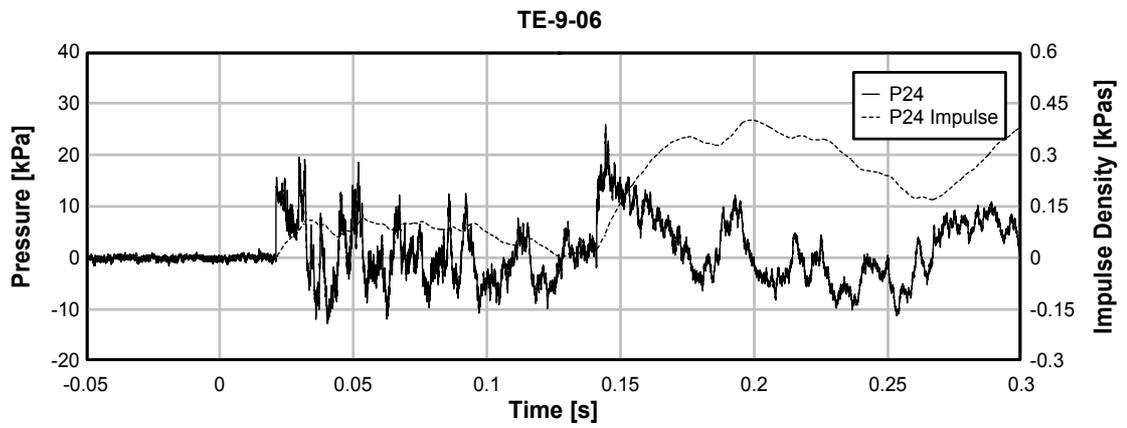
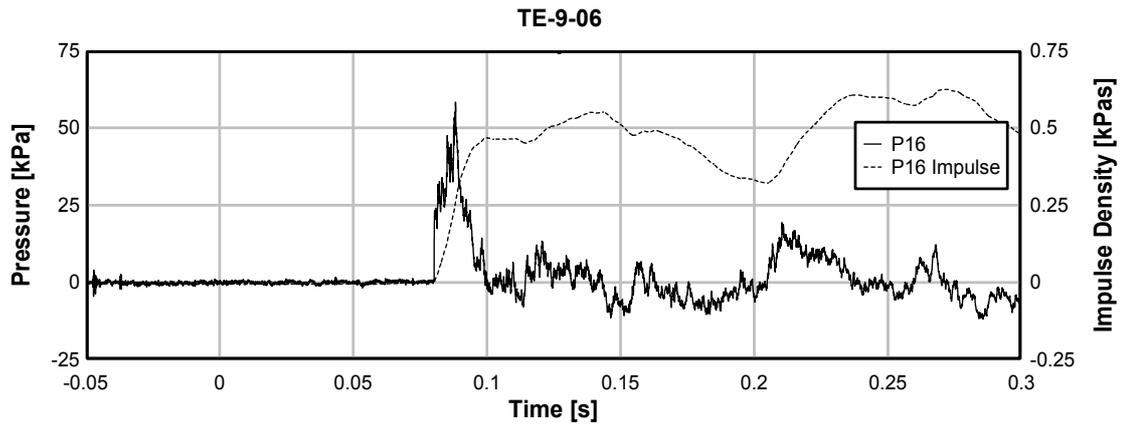


**Test 06: avstånd -2 m, 125 kg Prillit och 1x1 m öppning.**

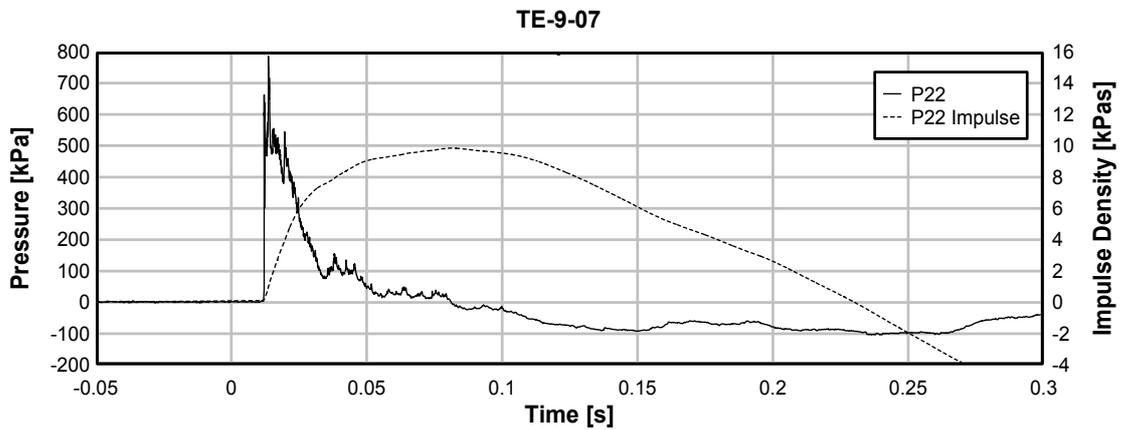
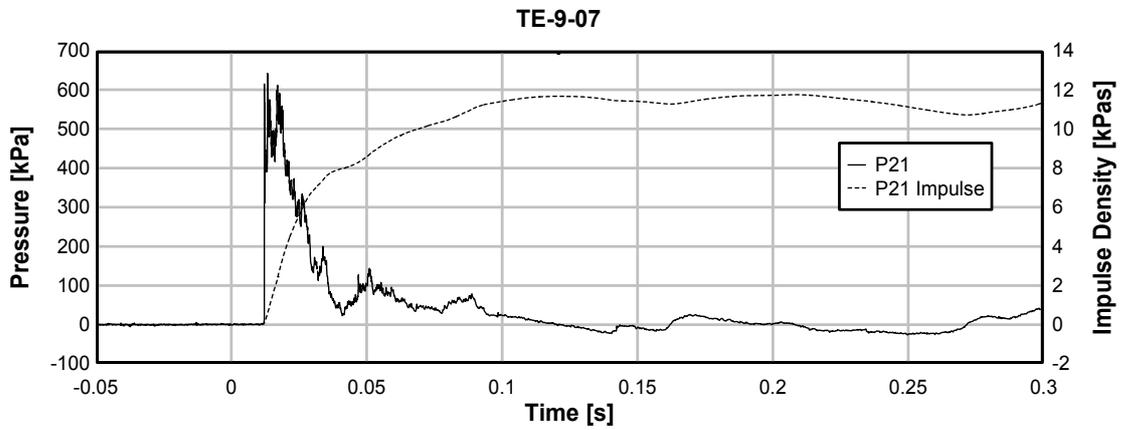
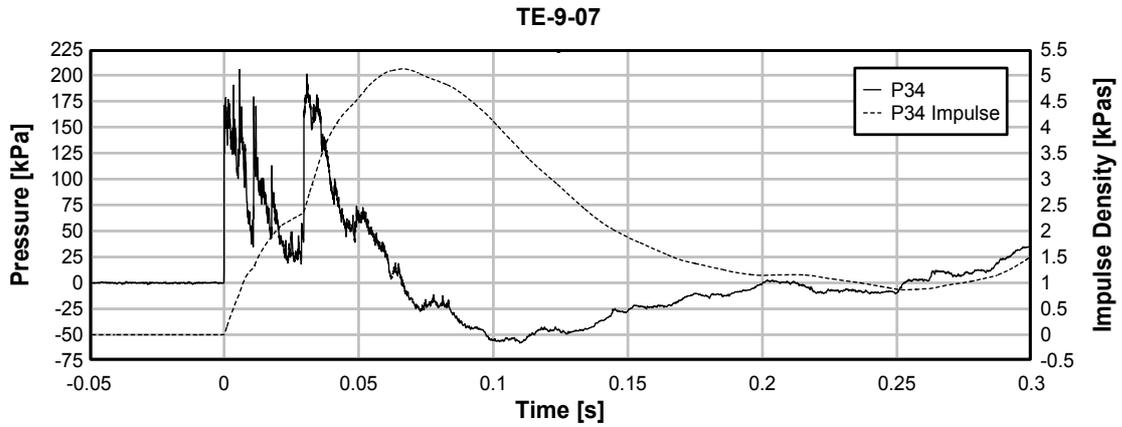


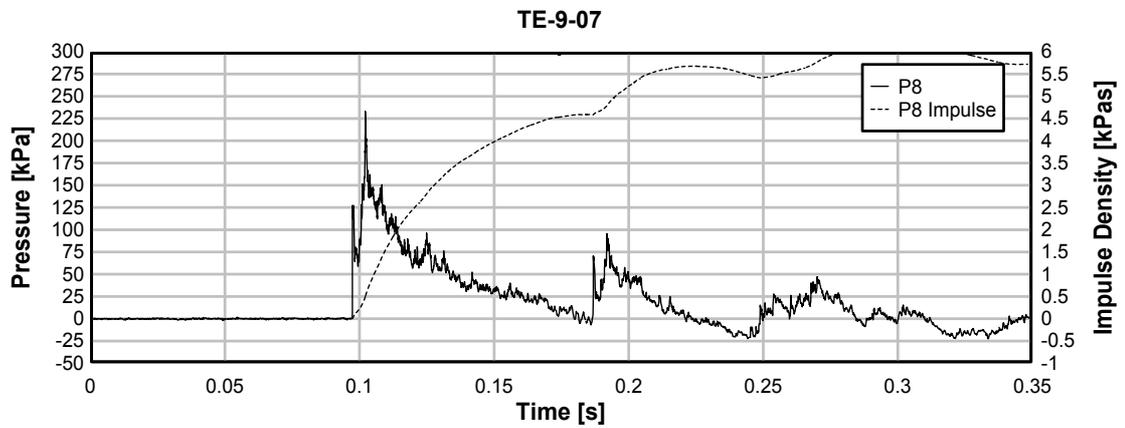
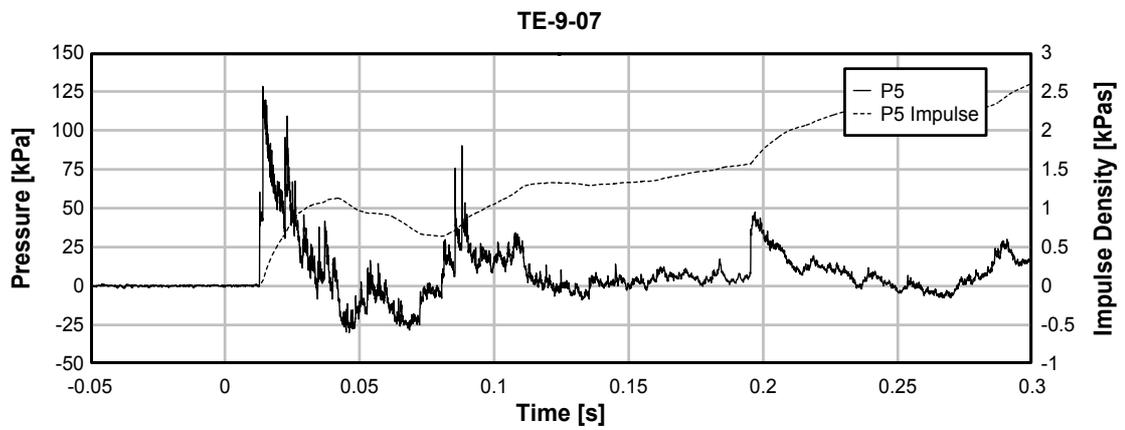
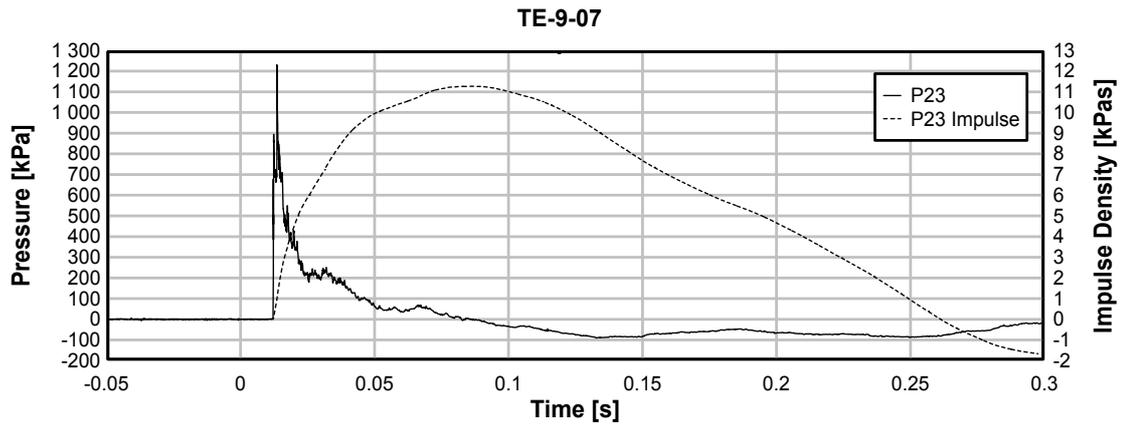


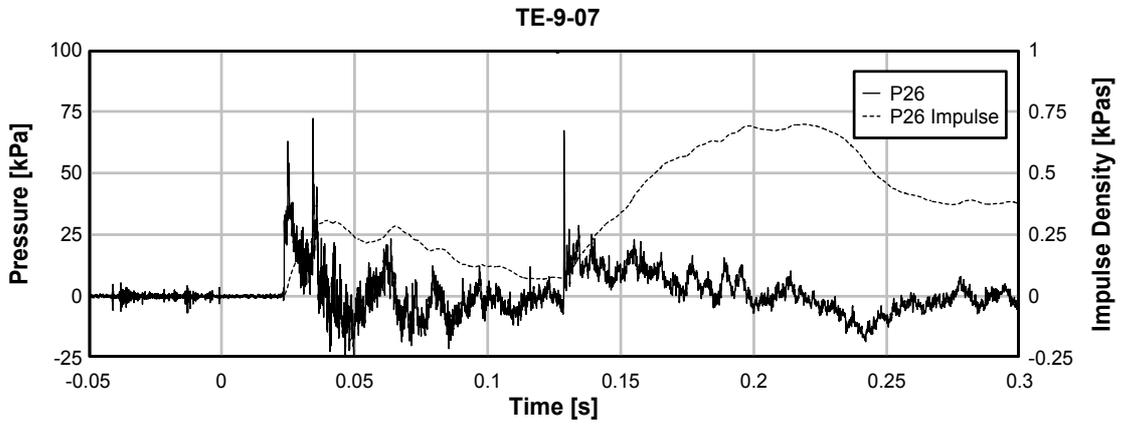
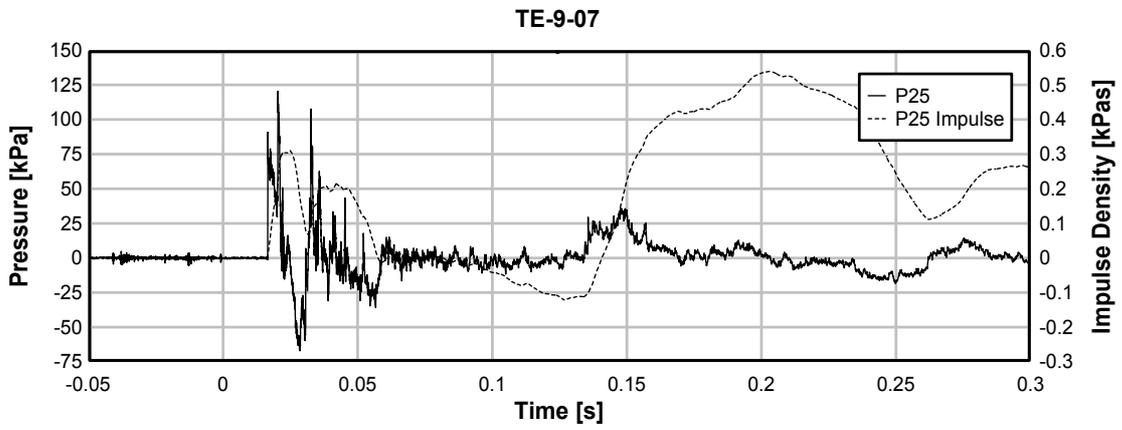
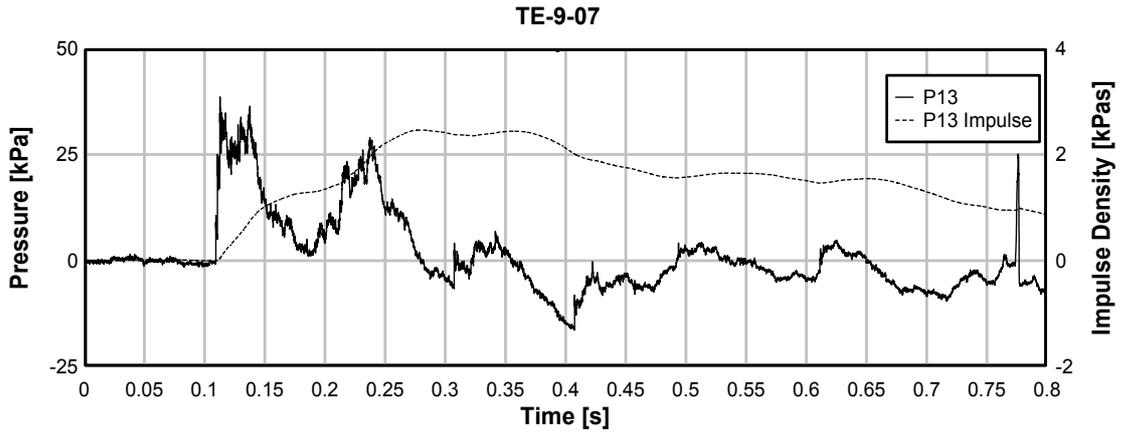


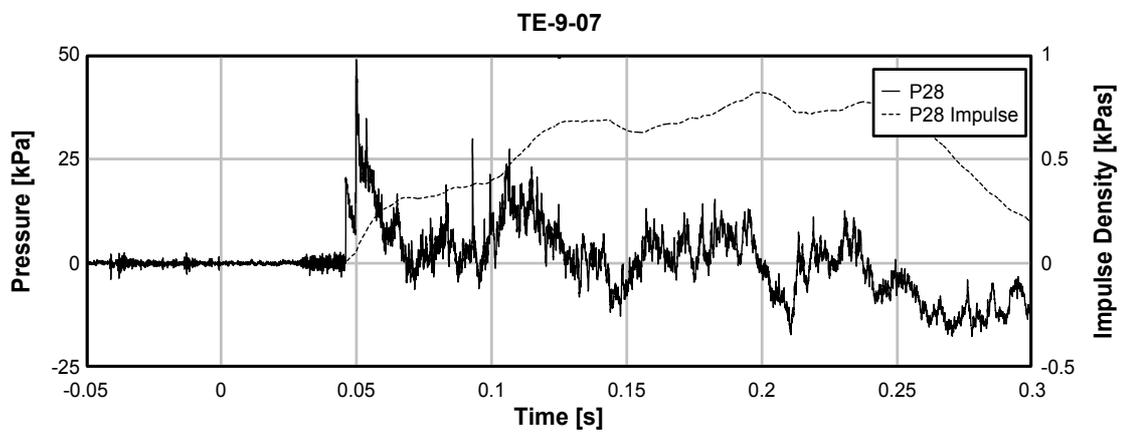
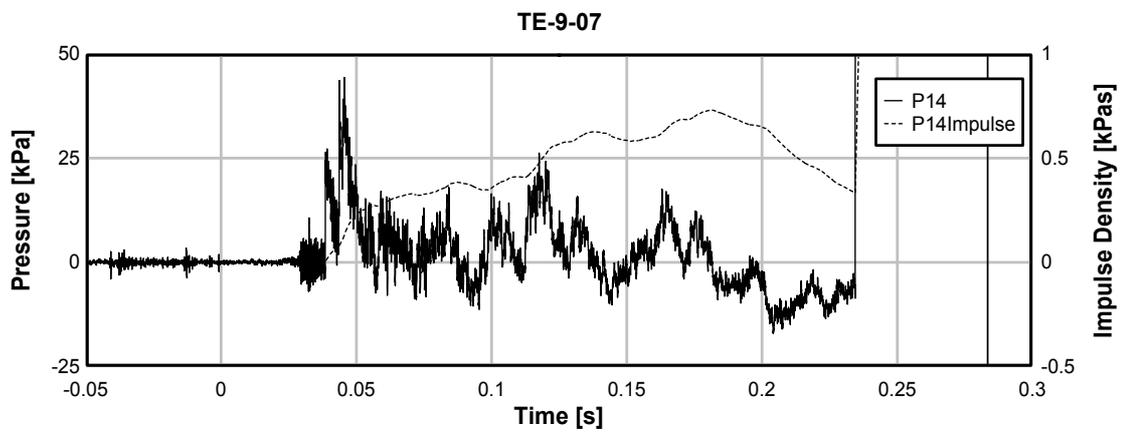
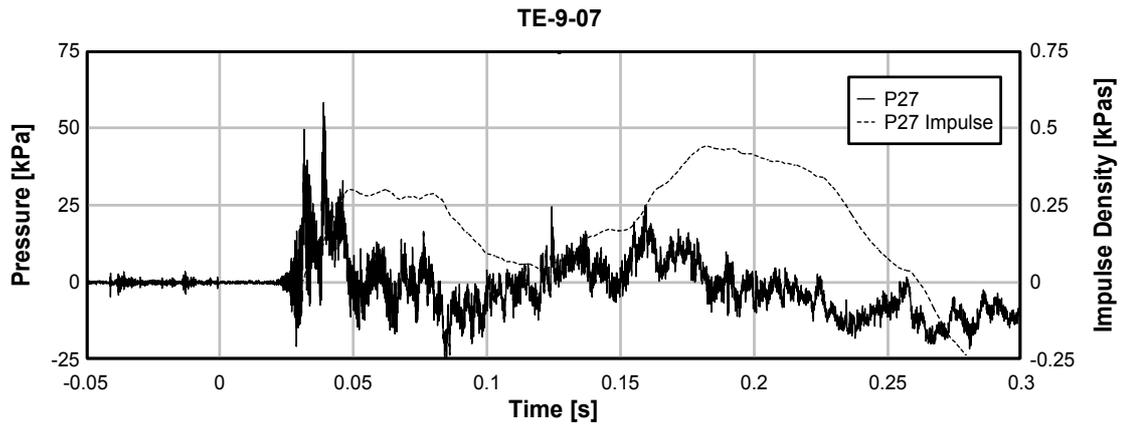


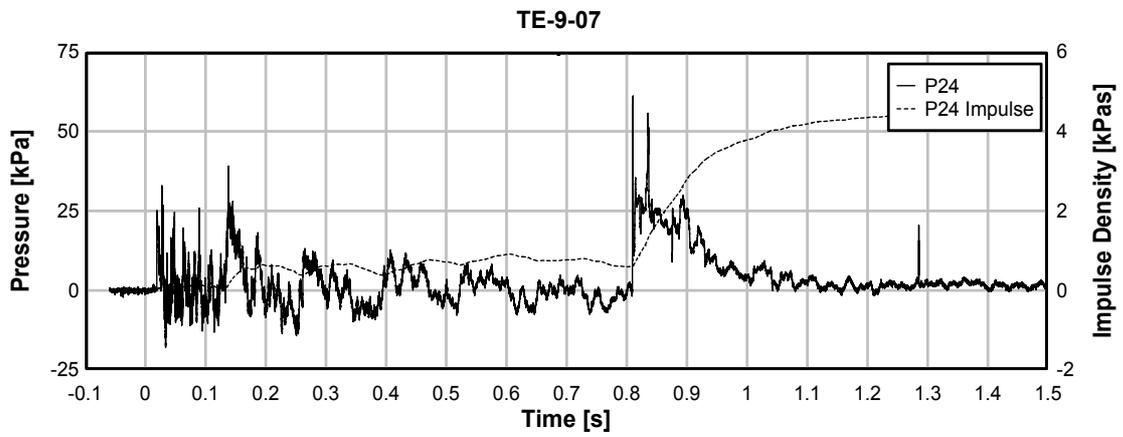
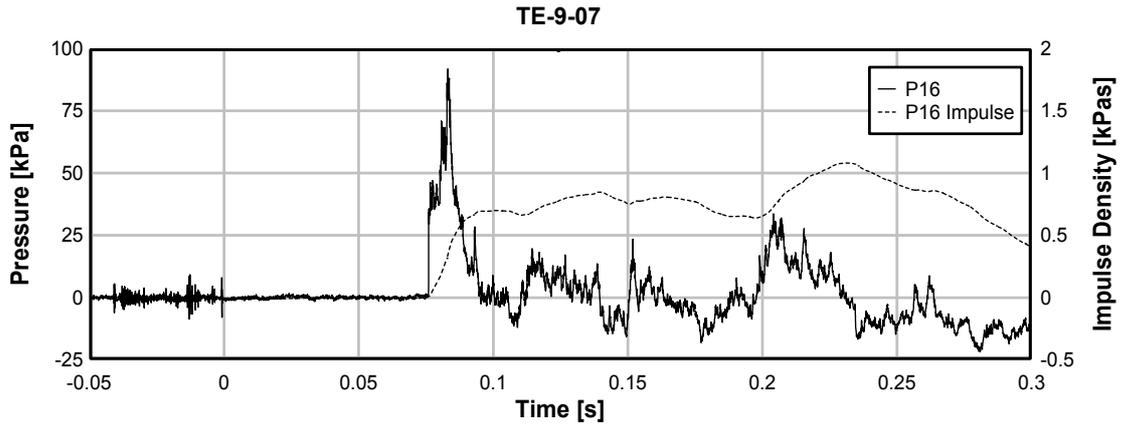
**Test 07: avstånd 10 m, 625 kg Prillit och 1x1 m öppning.**

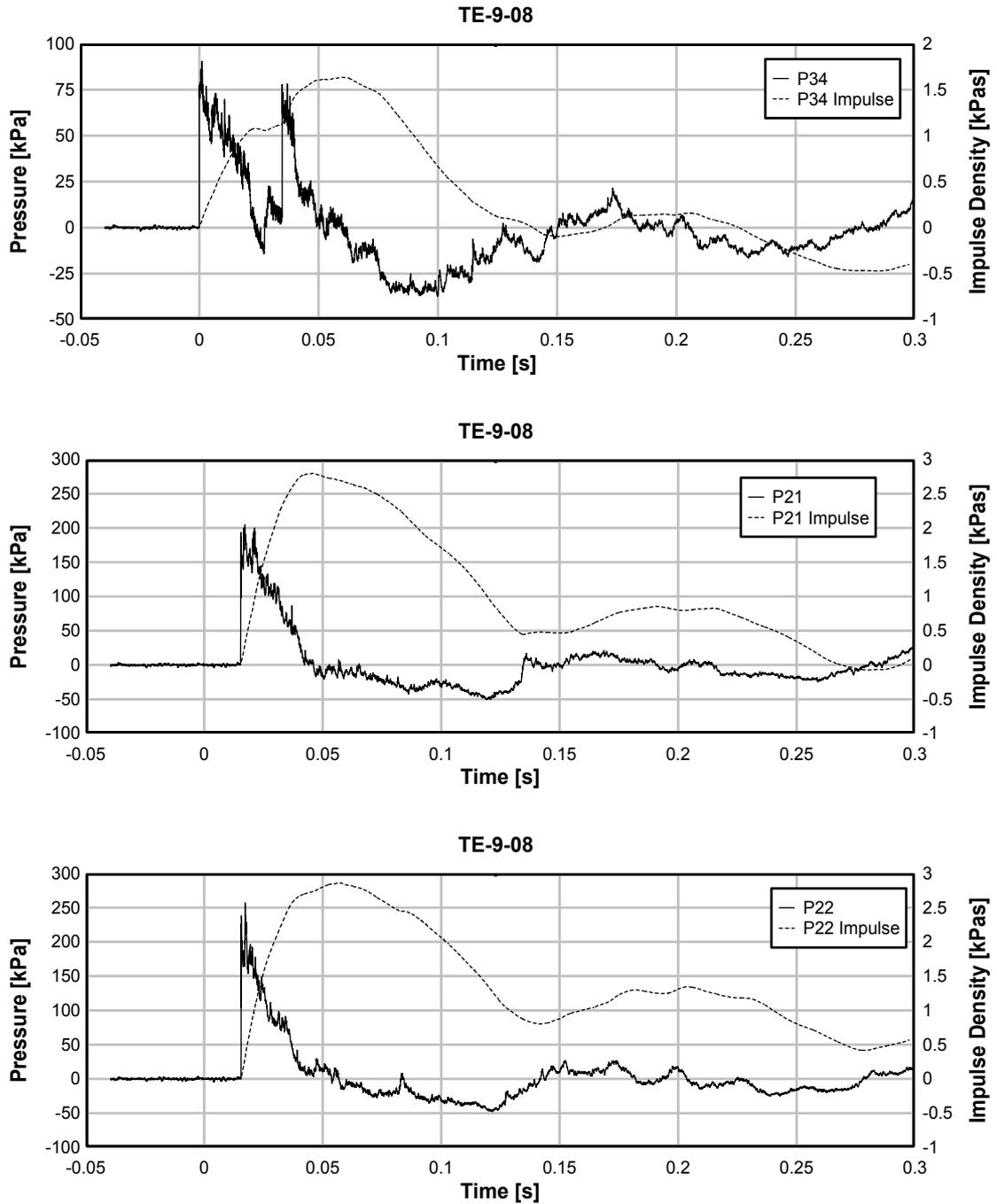


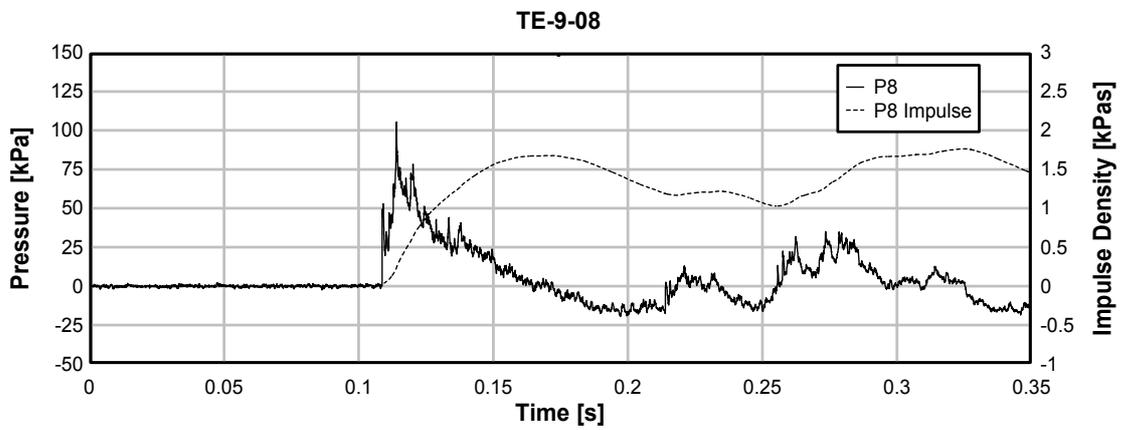
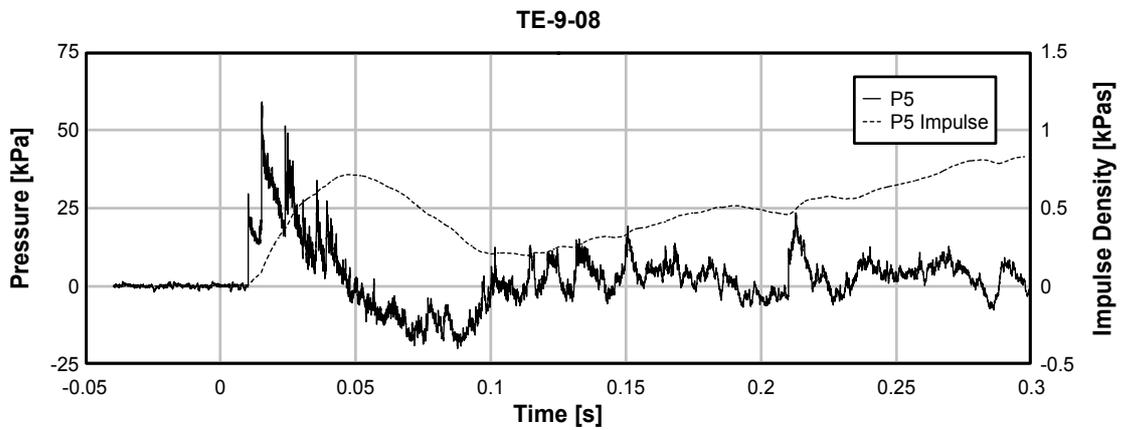
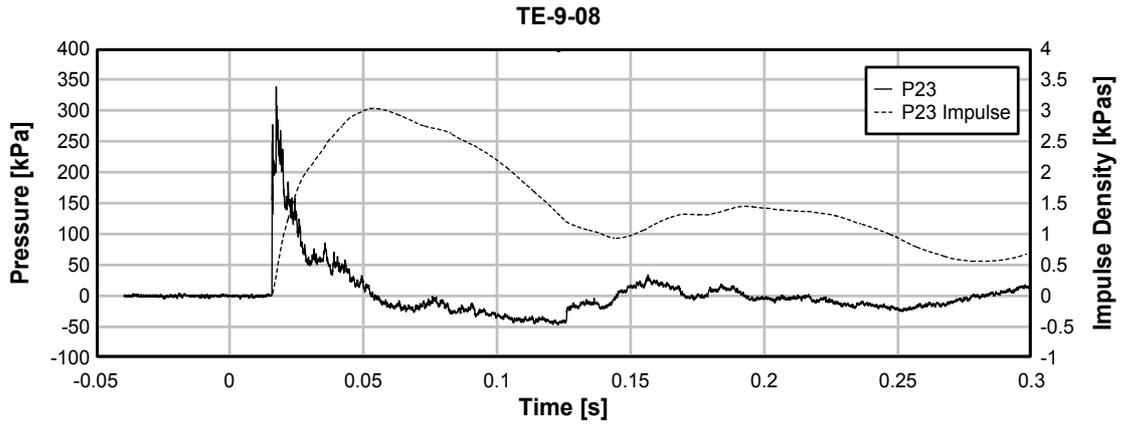


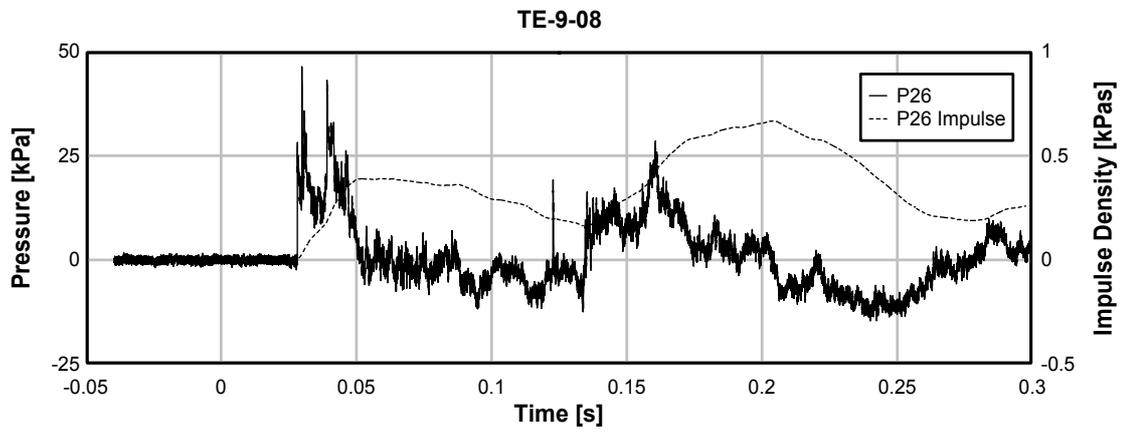
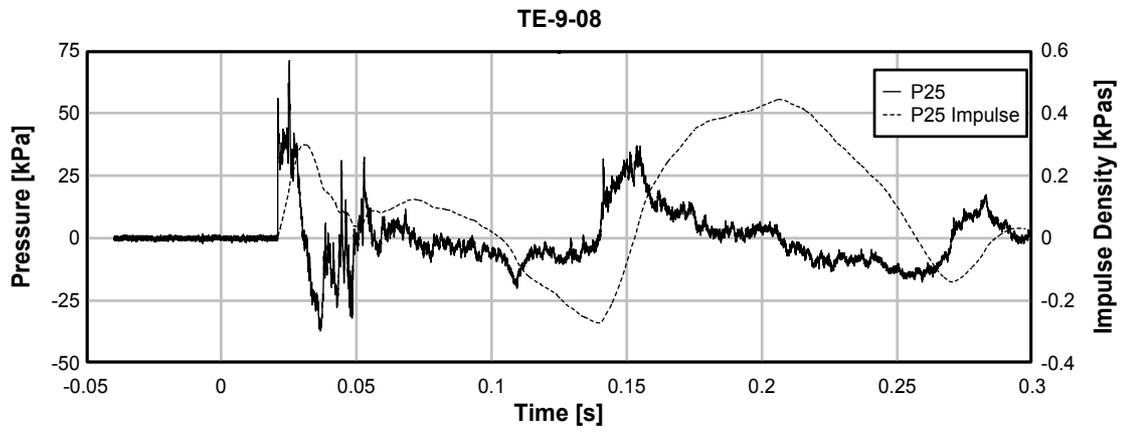
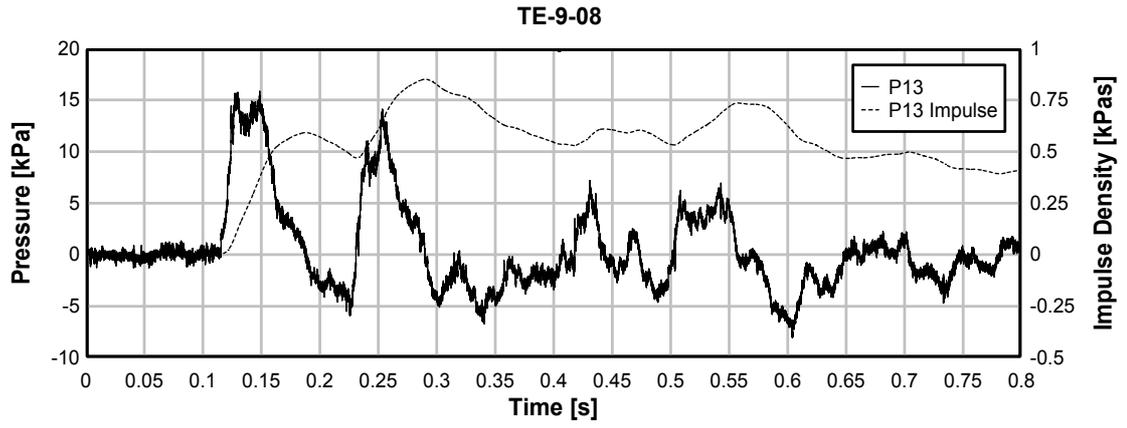


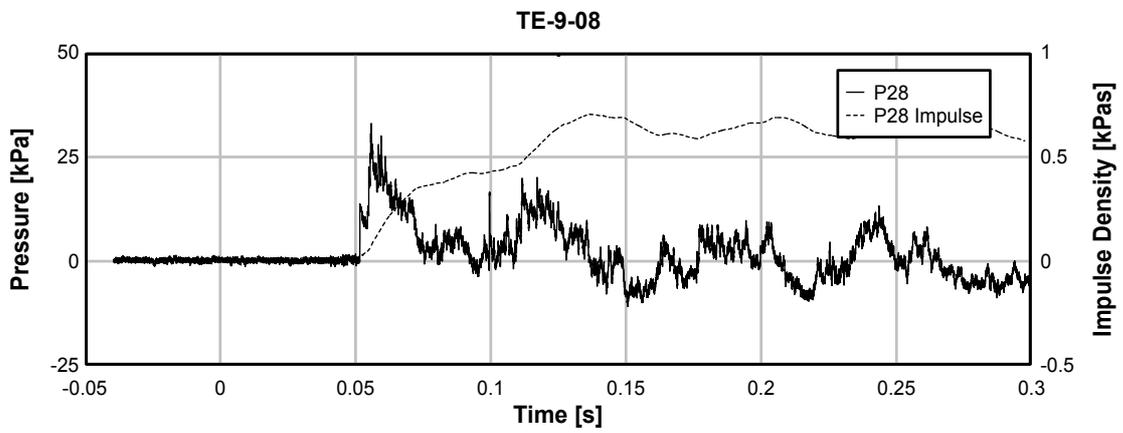
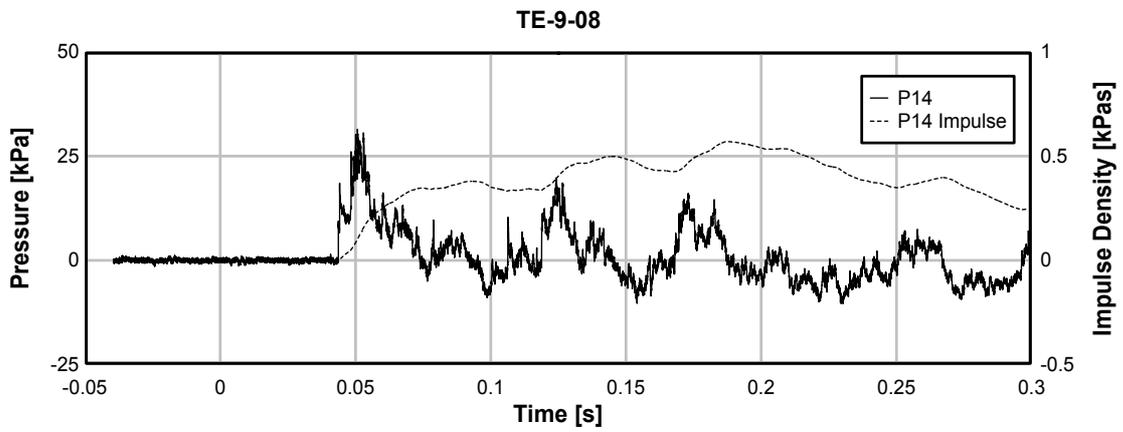
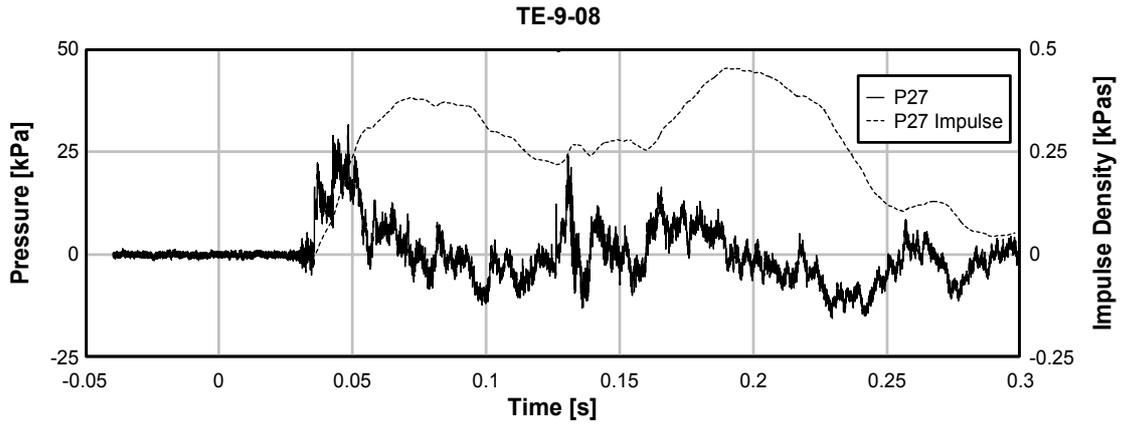


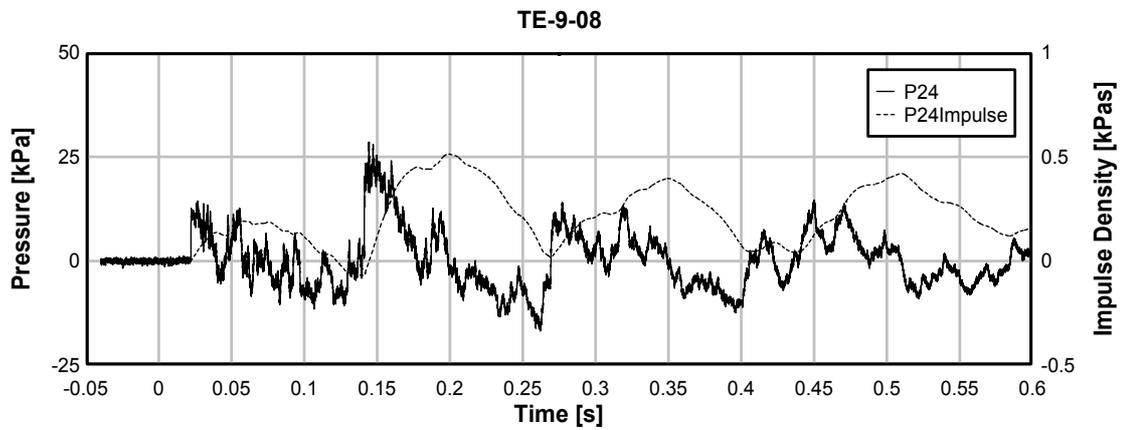
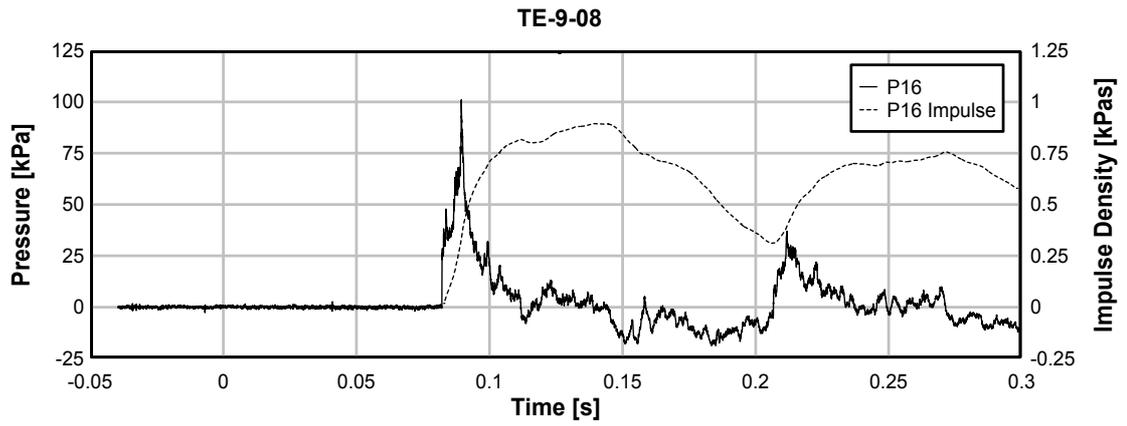


**Test 08: avstånd 5 m, 125 kg Prillit och 3x1 m öppning.**

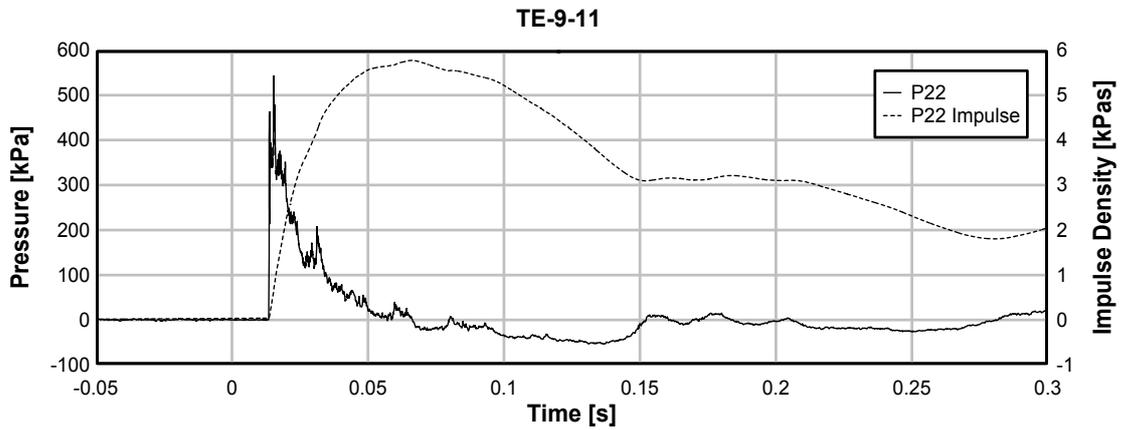
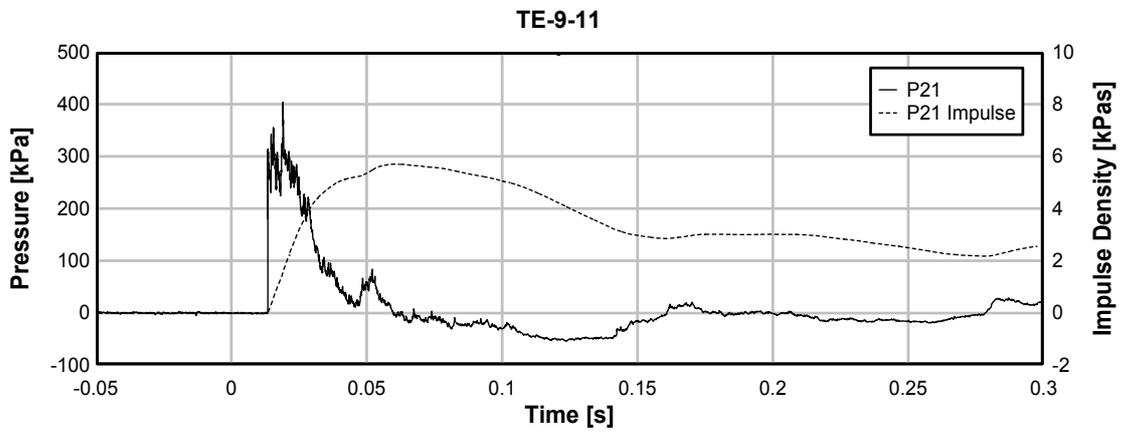
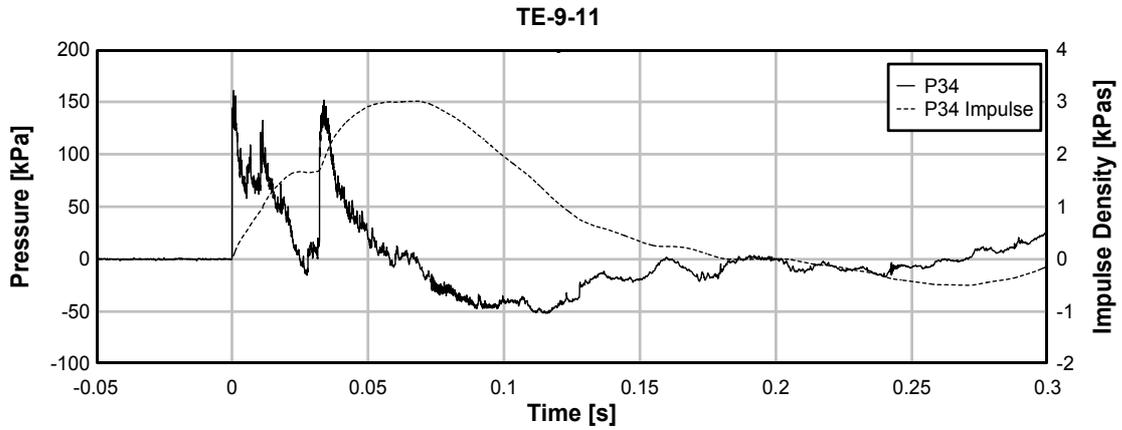


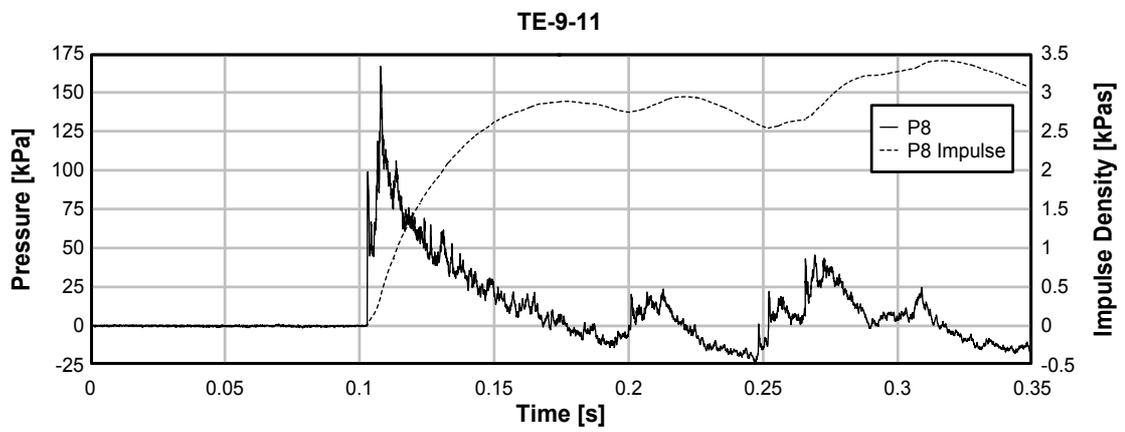
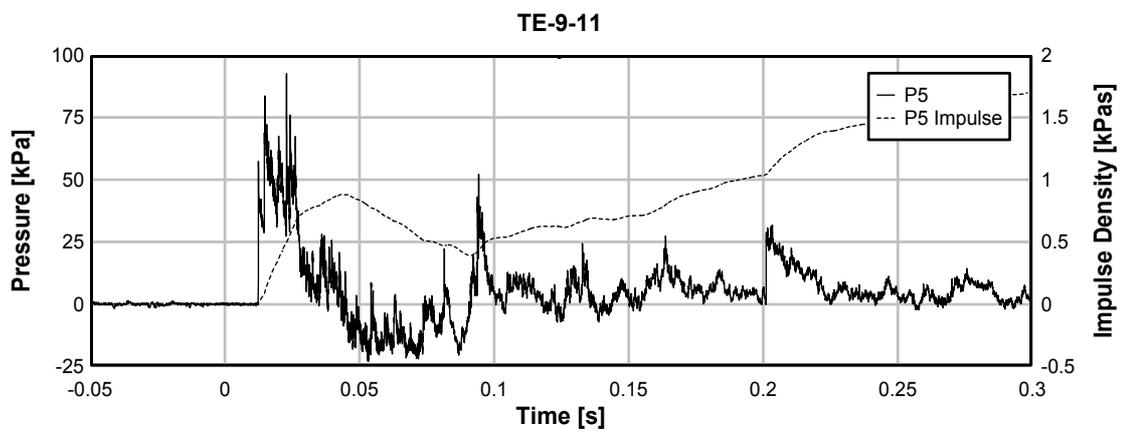
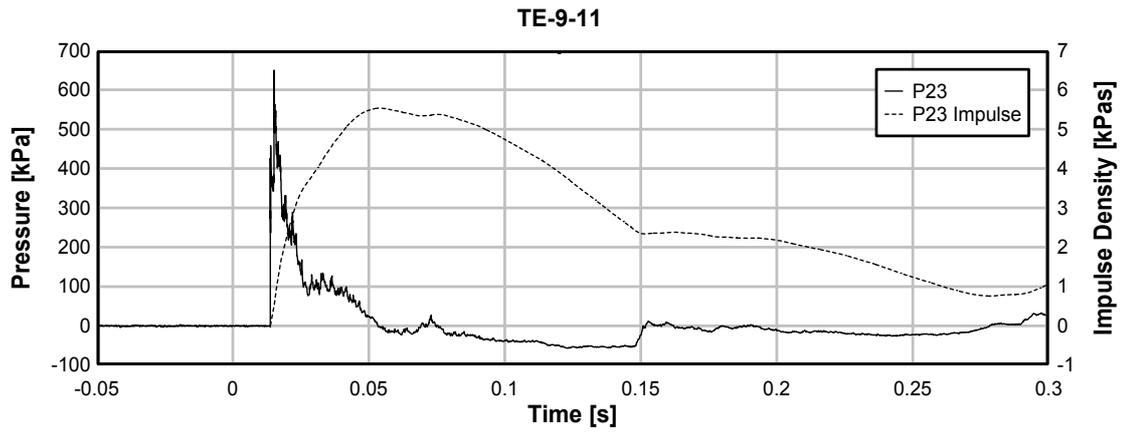


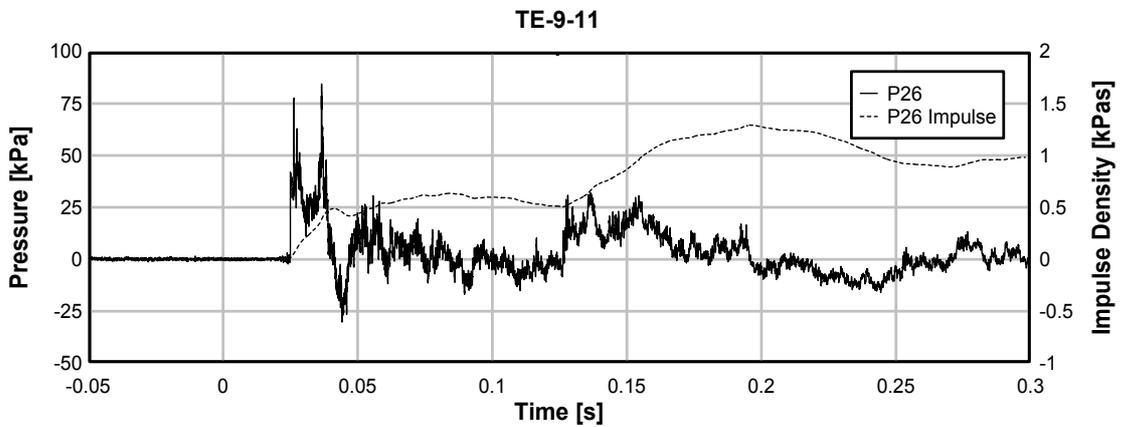
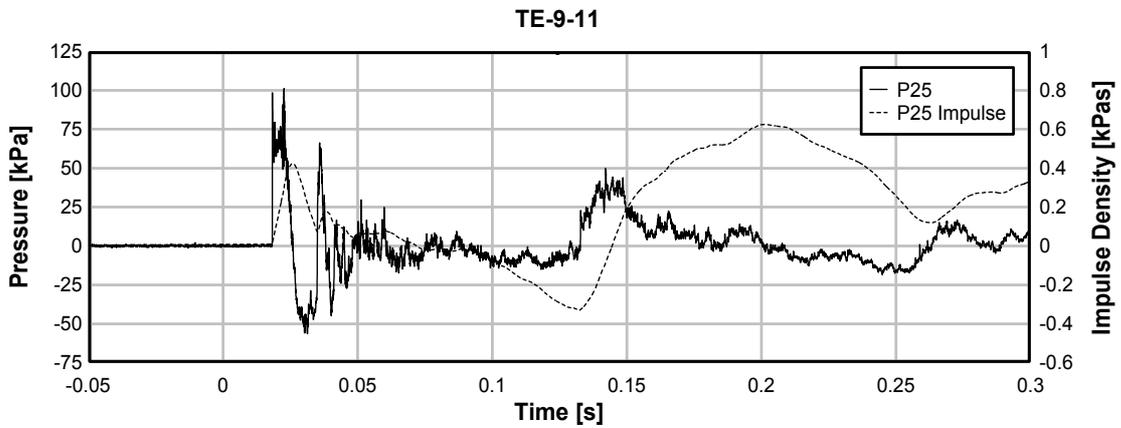
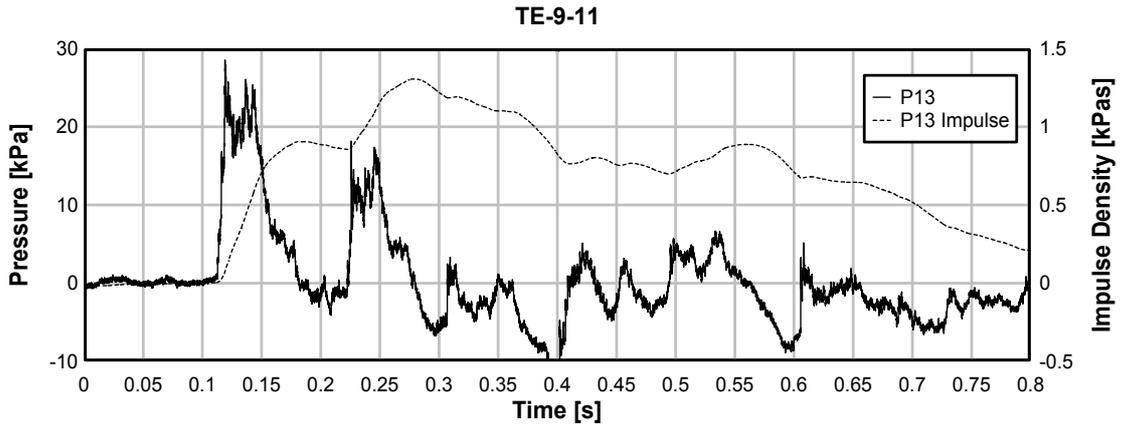


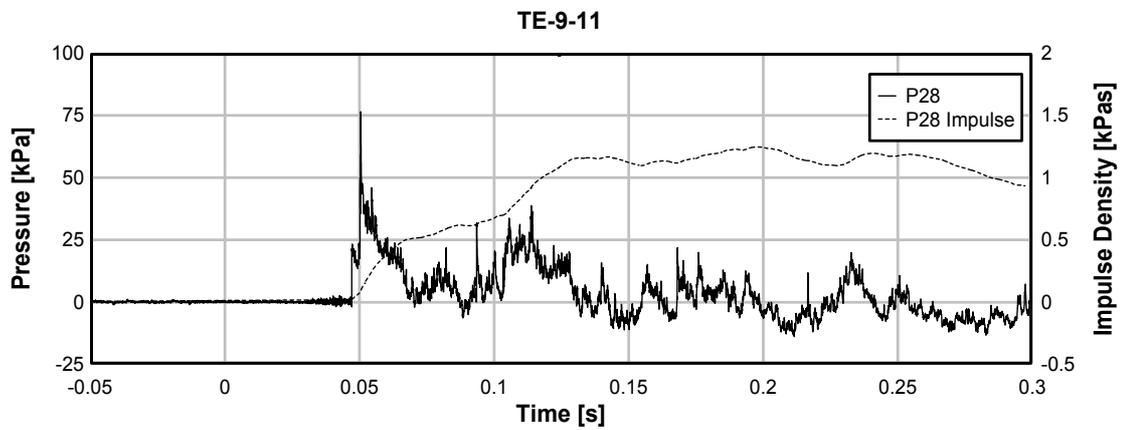
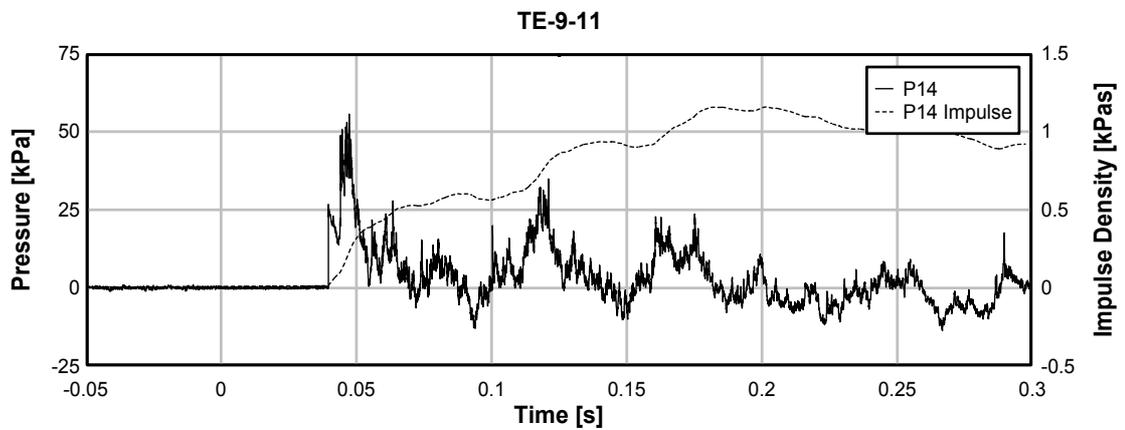
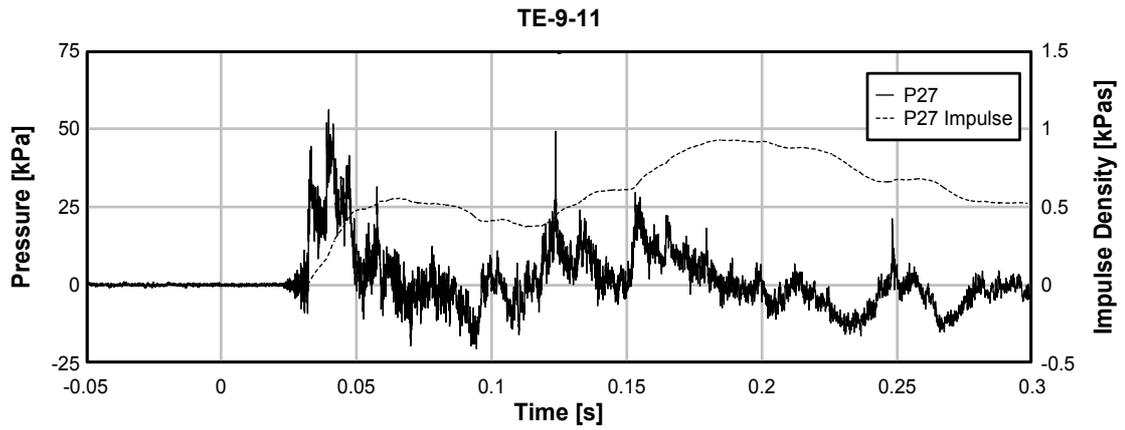


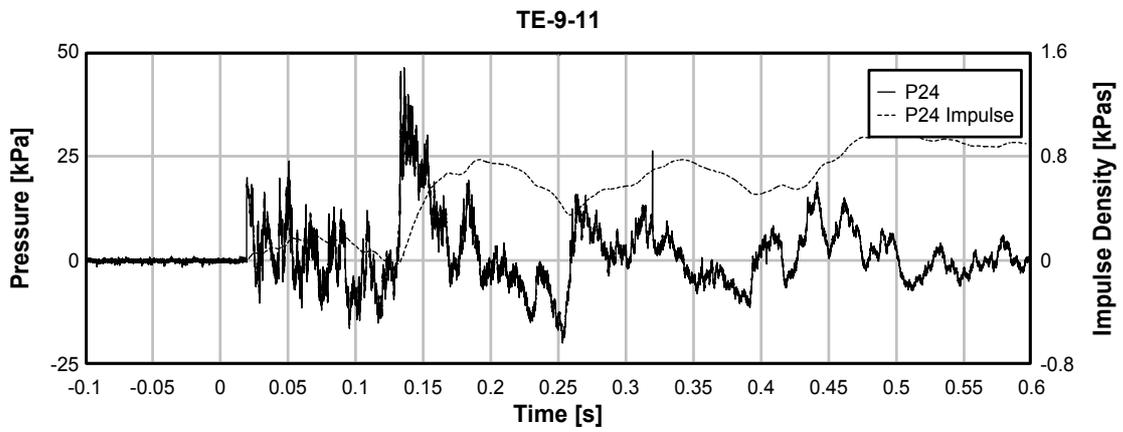
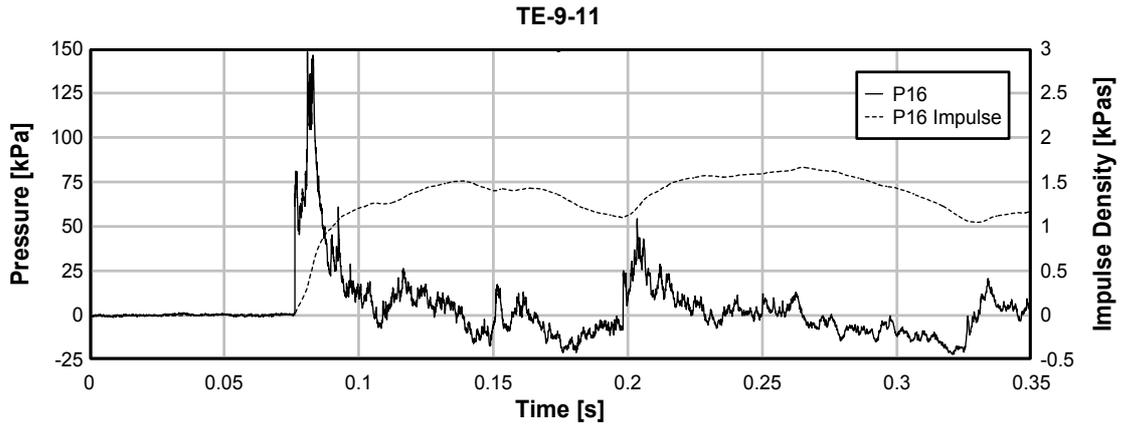
**Test 11: avstånd -2 m, 125 kg Prillit och 3x1 m öppning.**

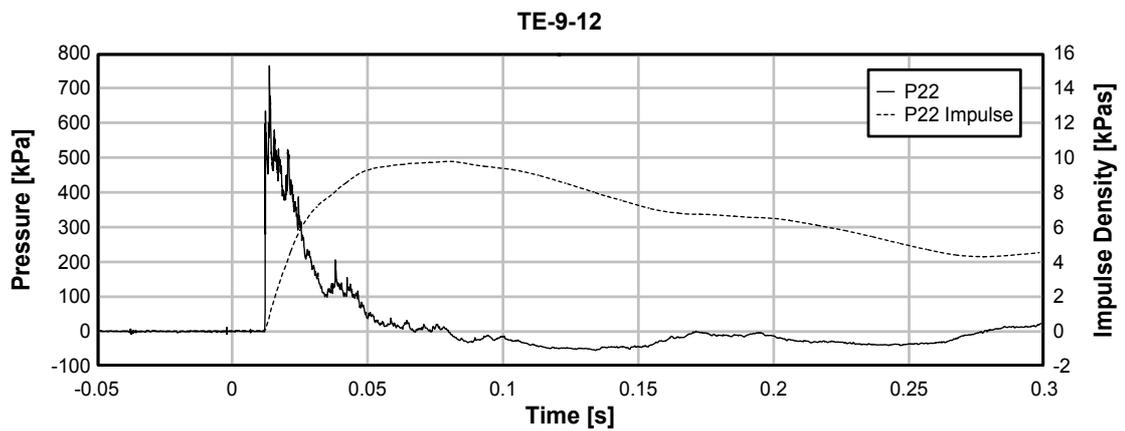
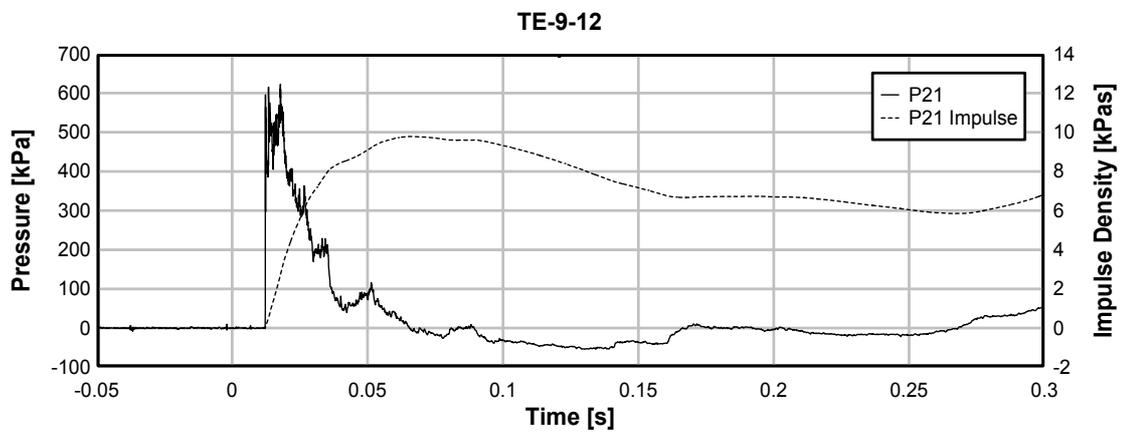
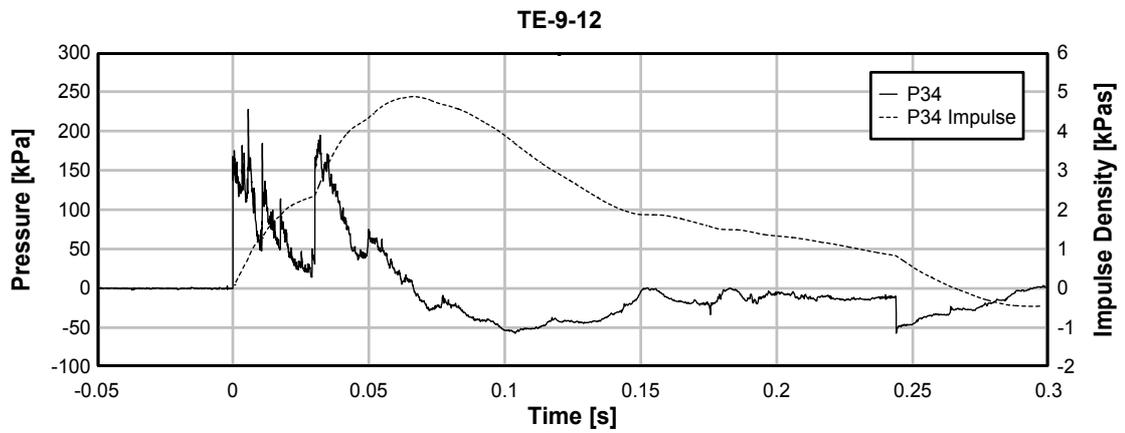


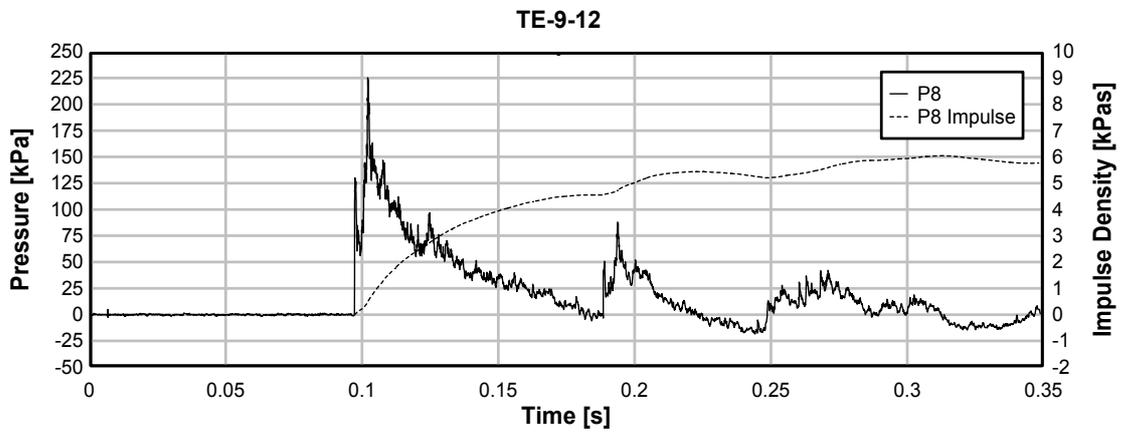
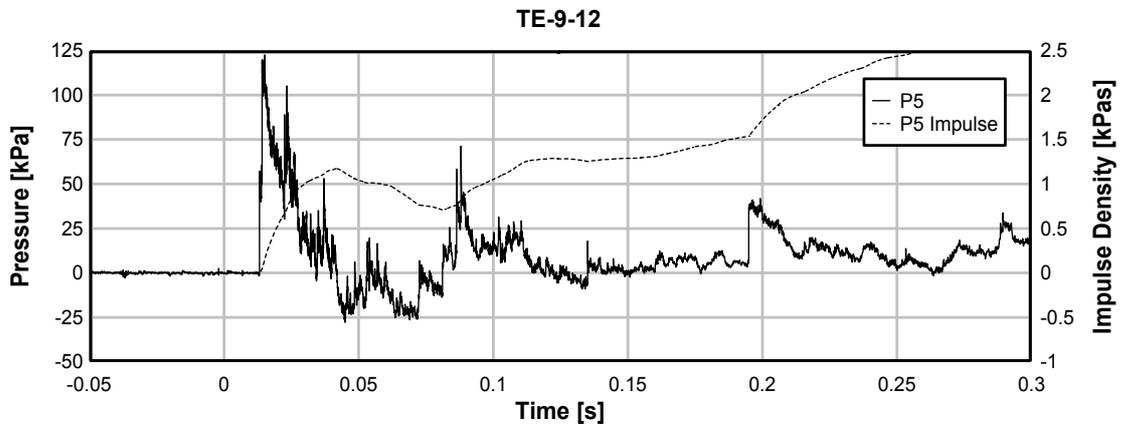
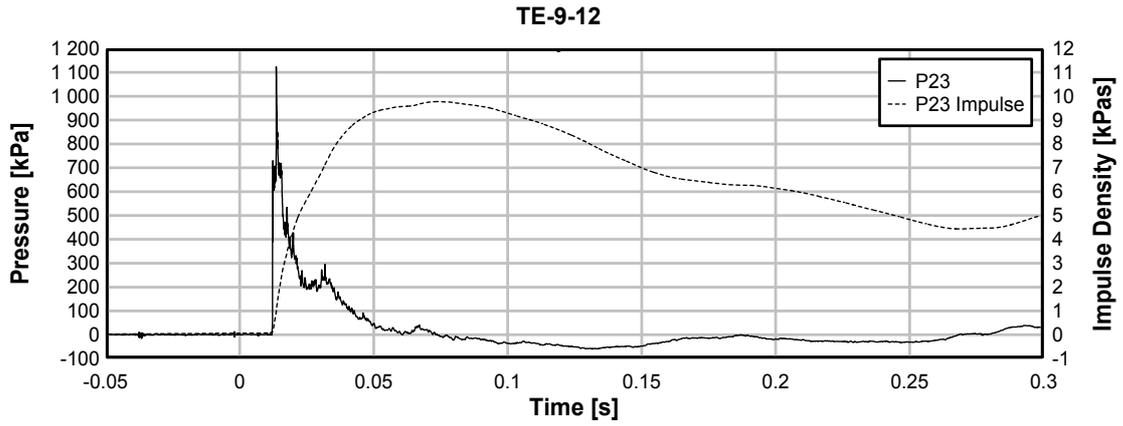


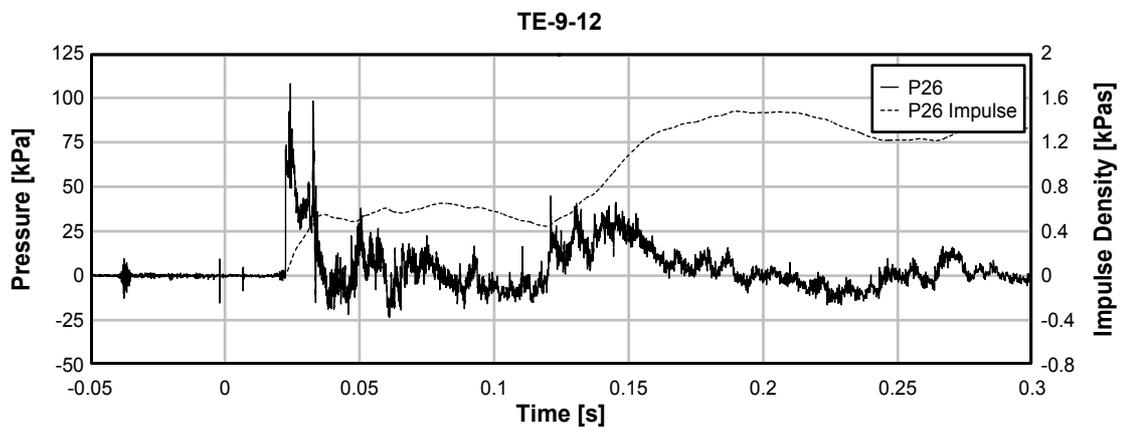
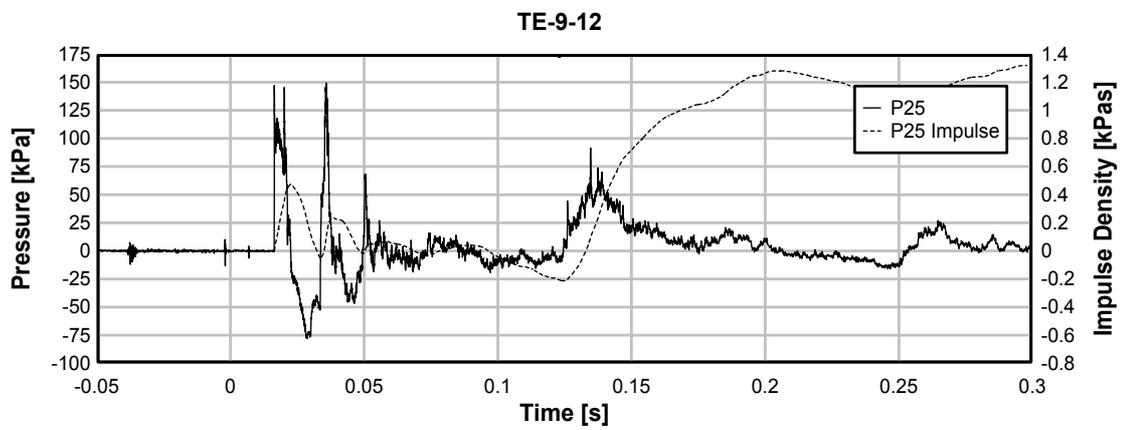
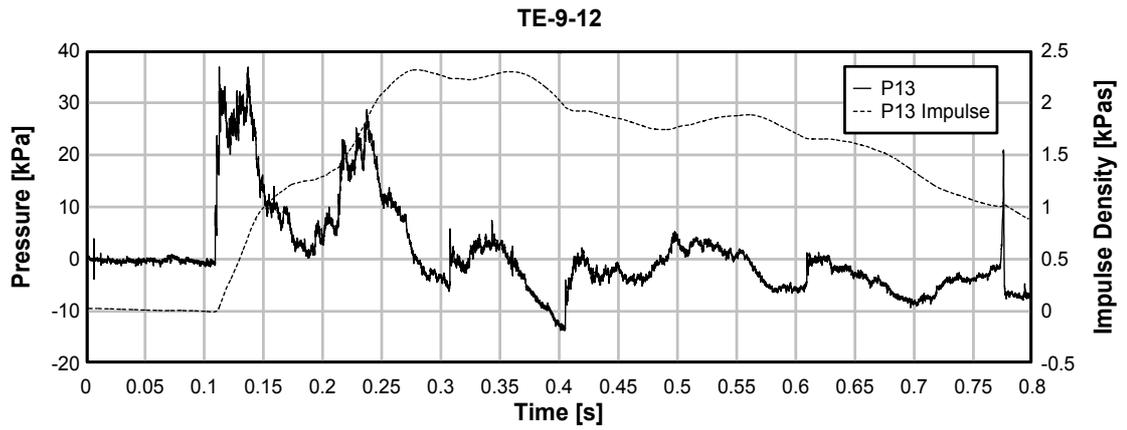


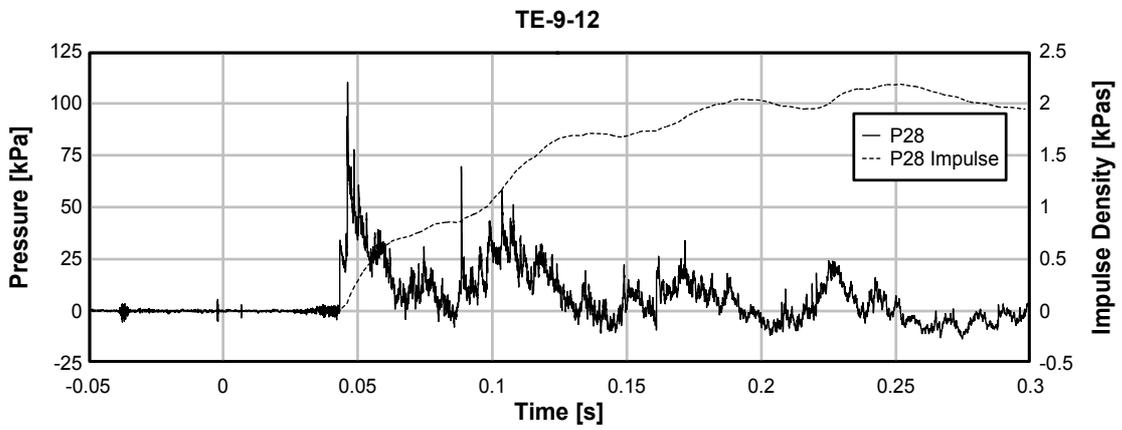
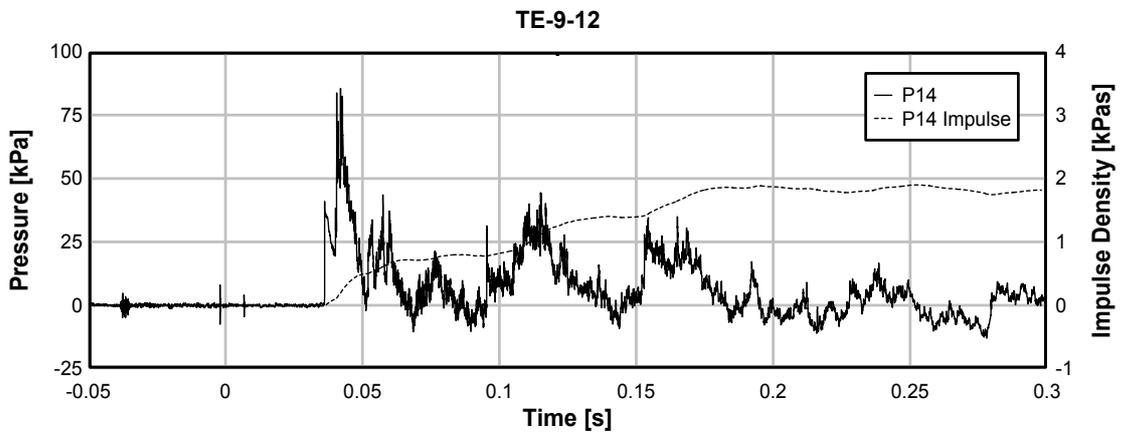
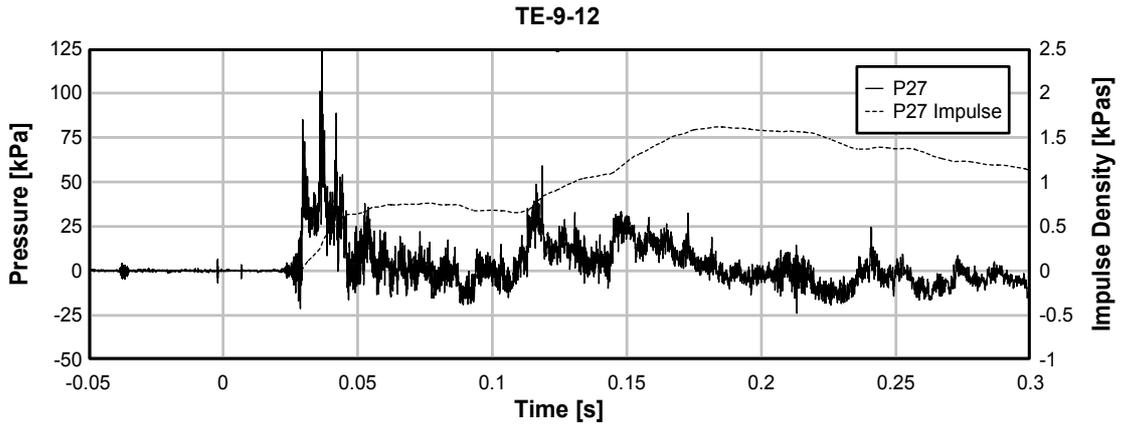


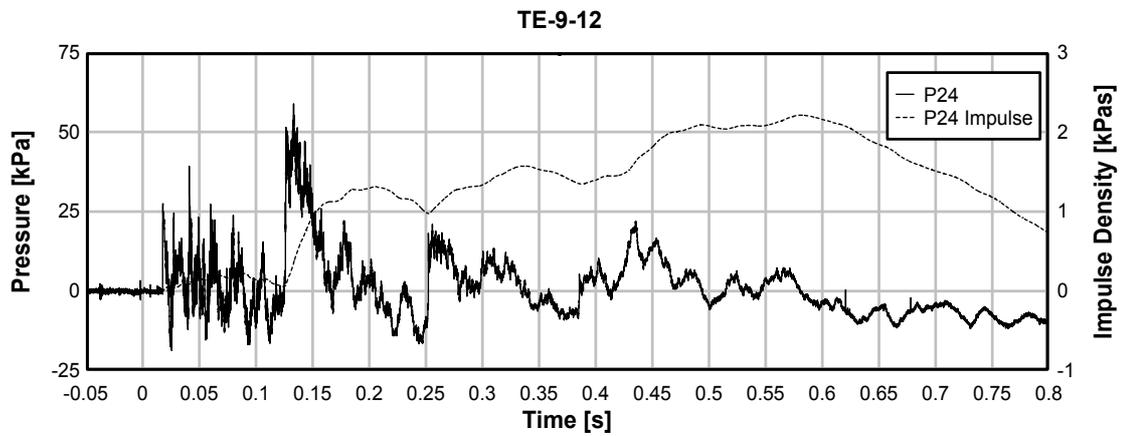
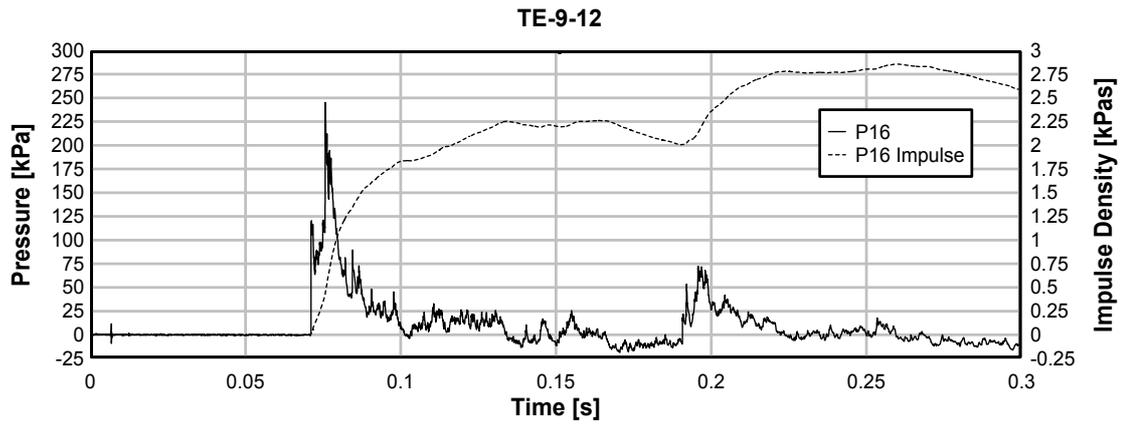


**Test 12: avstånd 10 m, 625 kg Prillit och 3x1 m öppning.**

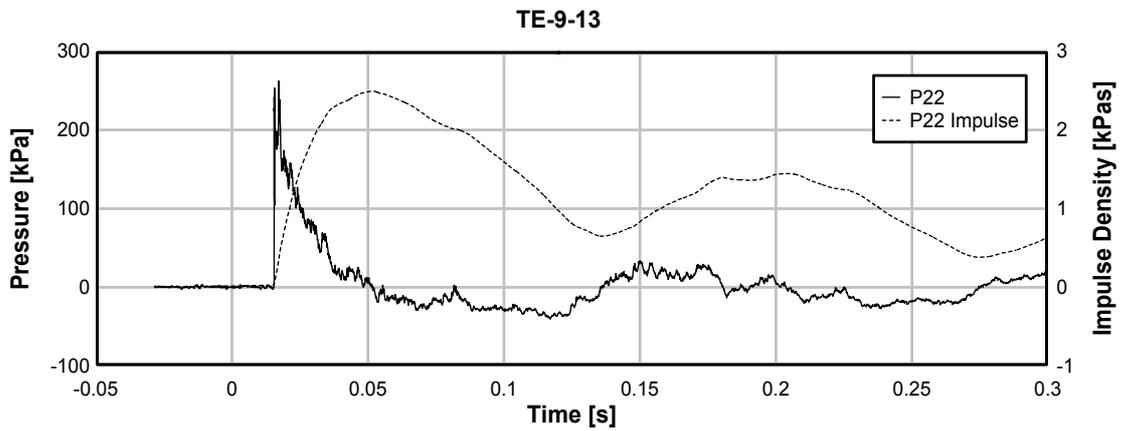
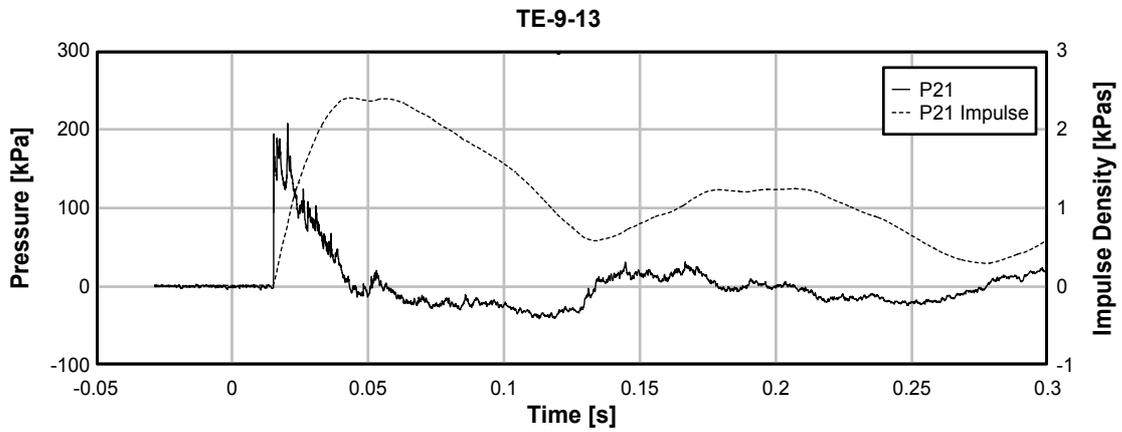
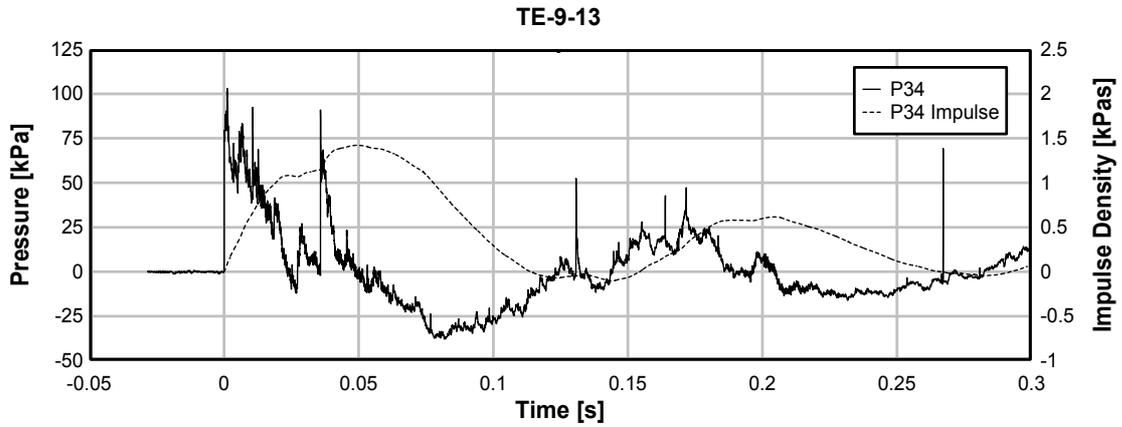


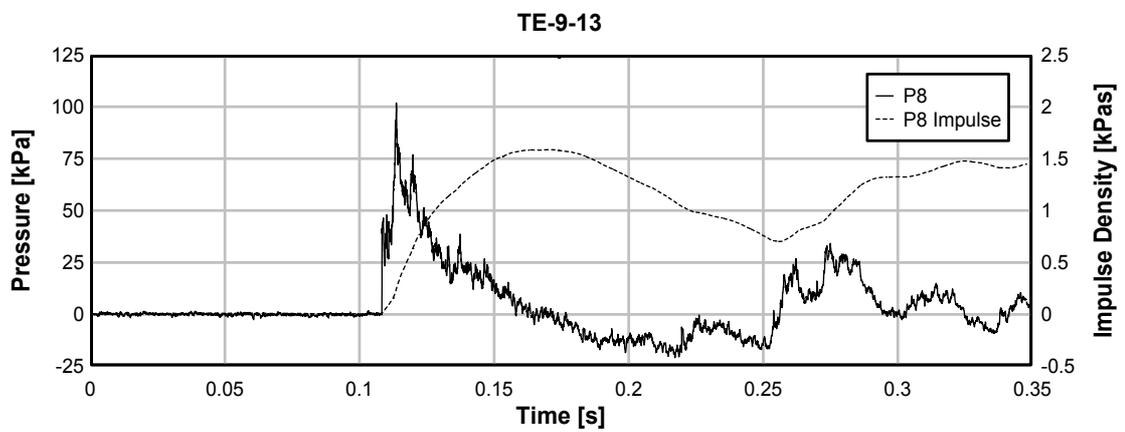
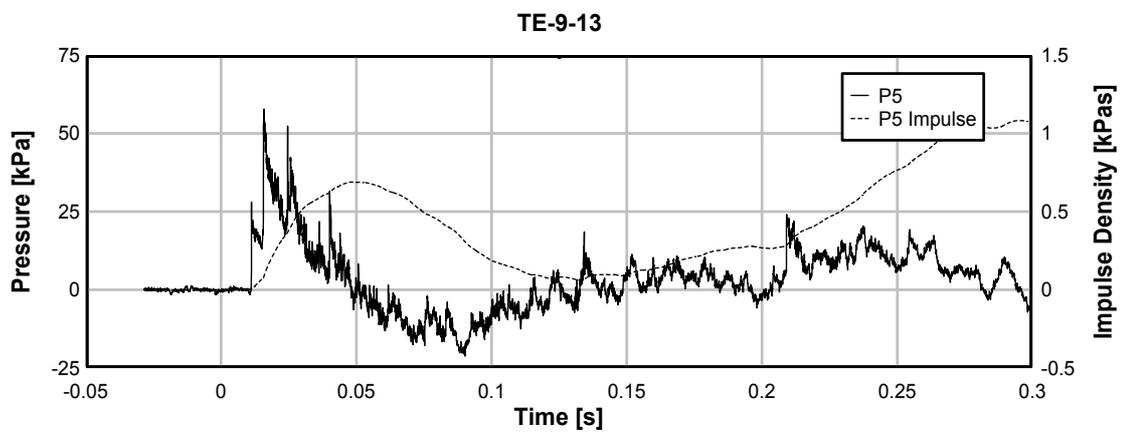
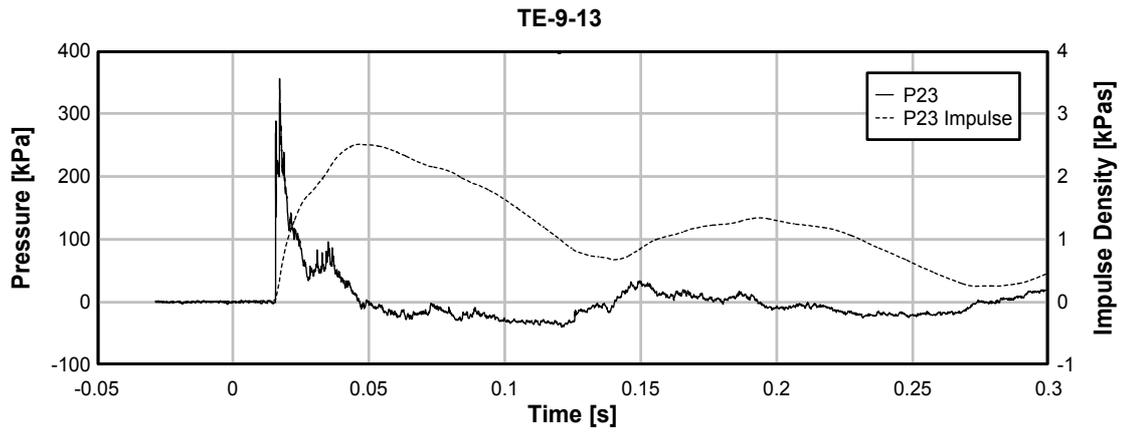


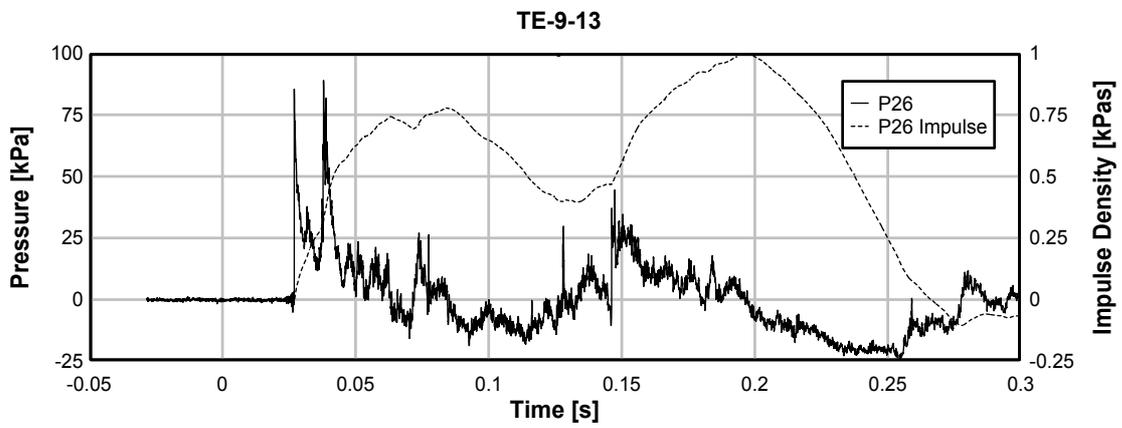
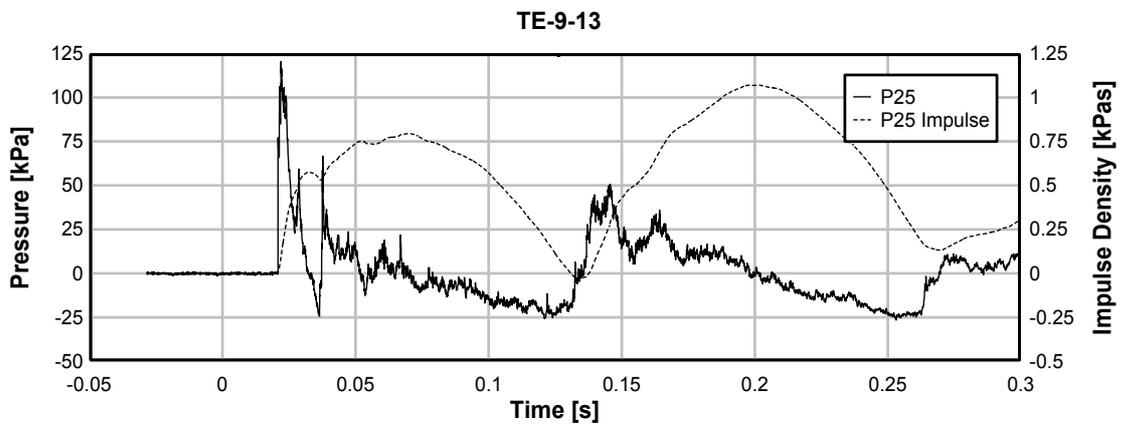
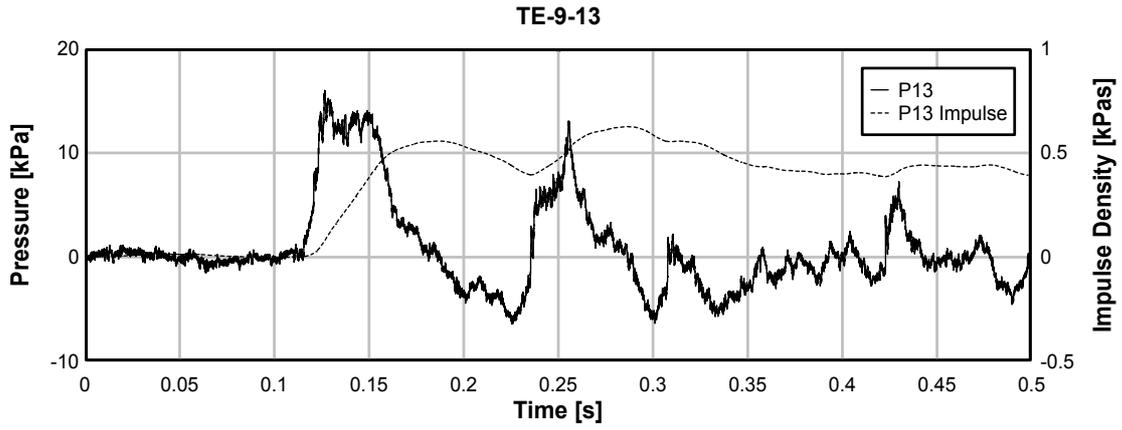


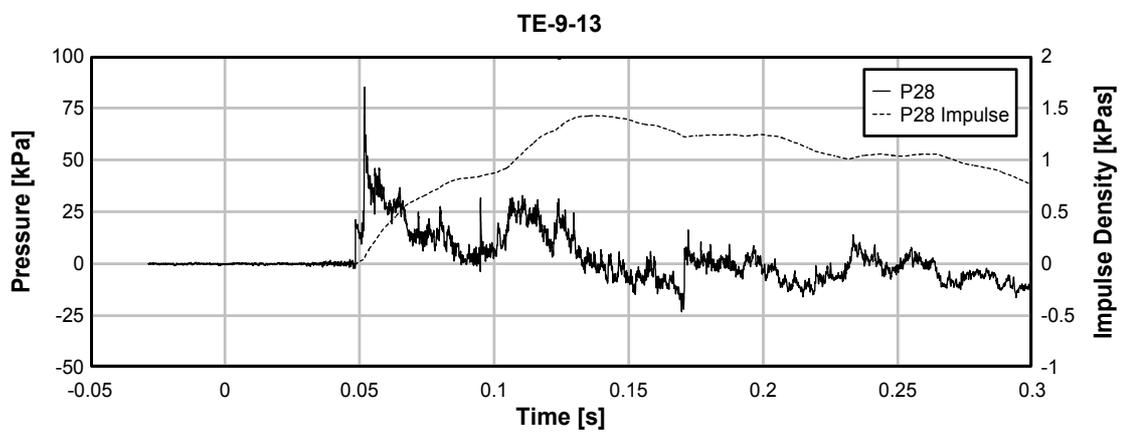
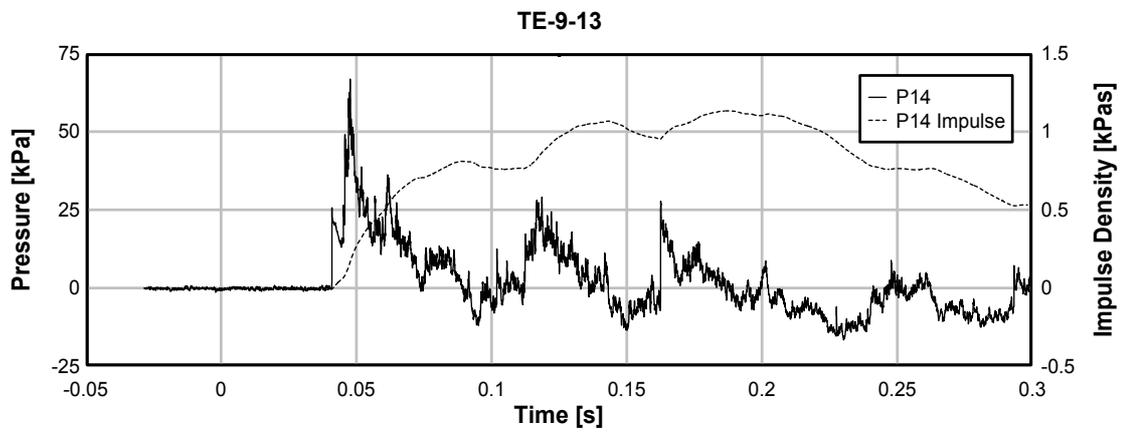
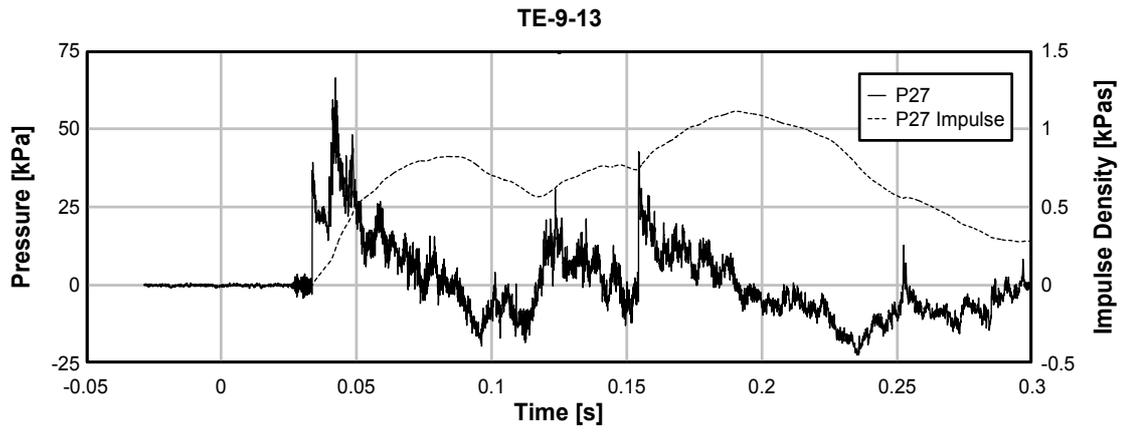


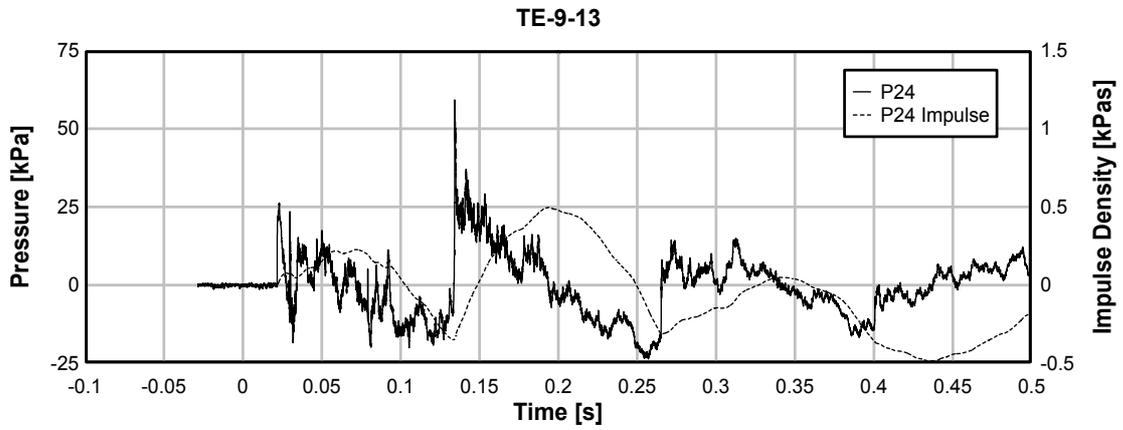
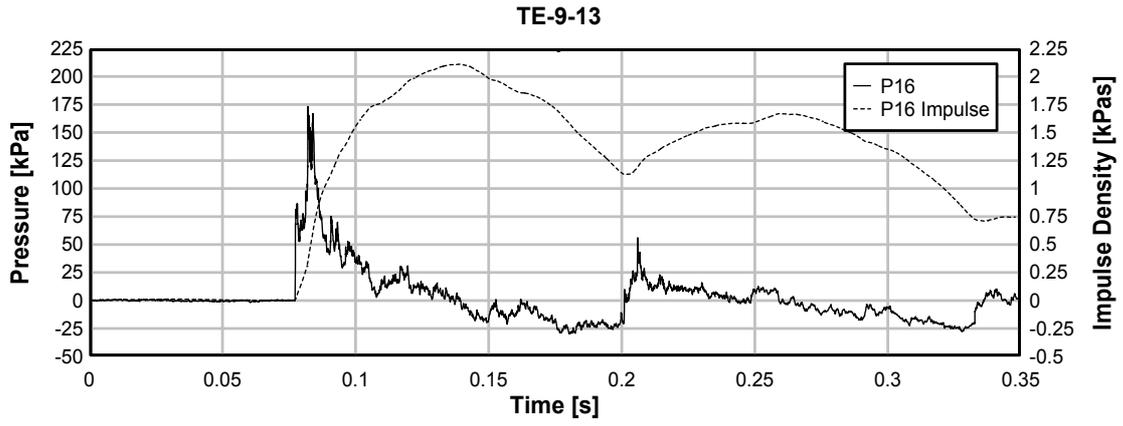
**Test 13: avstånd 5 m, 125 kg Prillit och maximalt öppet.**











**Test 15: avstånd -2 m, 125 kg Prillit och maximalt öppet.**