FOI-R--1562--SE
Januari 2005
ISSN 1650-1942
Teknisk rapport

Anders Carlberg

Provning av:
Stötvågsdörr i tryckklass 0,5 MPa, skala 1:2
Registrering av återsvängning s.k. reboundeffekt



Vapen och Skydd
147 25 Tumba

TOTALFÖRSVARETS FORSKNINGSINSTITUT
Vapen och skydd
147 25 Tumba

FOI-R--1562--SE
Januari 2005
ISSN 1650-1942
Teknisk rapport

Anders Carlberg

Provning av:
Stötvågsdörr i tryckklass 0,5 MPa, skala 1:2
Registrering av återsvängning s.k. reboundeffekt

Utgivare	**Rapportnummer, ISRN**	**Klassificering**
Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI	FOI-R--1562--SE	Teknisk rapport
Vapen och skydd	**Forskningsområde**	
147 25 Tumba	5. Bekämpning och skydd	
	Månad, år	**Projektnummer**
	Januari 2005	E 2428
	Delområde	
	53 Skydd och anläggningsteknik	
	Delområde 2	

Författare/redaktör	**Projektledare**
Anders Carlberg	Anders Carlberg
	Godkänd av
	Uppdragsgivare/kundbeteckning
	FORTV
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig

Rapportens titel

Provning av stötvågsdörr i tryckklass 0,5 MPa, Skala 1:2; Registrering av återsvängning s.k. reboundeffekt.

Sammanfattning (högst 200 ord)

I denna rapport redovisas FOI:s provning av FORTV:s stötvågsdörr i tryckklass 0,5 MPa, s.k. medeltung stötvågsdörr i skala 1:2. Provningen omfattar två delar:

A/ Verifiering av den nya dörrens funktion vid kortvarig stötvågsbelastning samt

B/ Registrering av krafter mellan dörrblad och karm till följd av kortvarig stötvågslast mot dörrbladet.

Den intressanta delen är återsvängningen och de krafter som åtgår för att hålla kvar dörrbladet under hela svängningsförloppet, den s.k. reboundeffekten.

Provningsprogrammet avslutades med ett skott där dörrbladets karakteristik ändrades kraftigt. Dörrbladets styvhet var oförändrad men massan ökades med 48 kg, genom att anbringa stålvikter i form av plåtar på dörrbladets baksida, en nära fördubbling av den svängande massan.

FOI:s provningsrapport ligger som grund för den utvärdering och modell för beräkning av reboundeffekters storlek som görs av Carl Bro AB.

Nyckelord

Stötvågsdörr, luftstötvågsbelastning, reboundeffekt

Övriga bibliografiska uppgifter	**Språk** Svenska
ISSN 1650-1942	**Antal sidor:** 46 s.
Distribution enligt missiv	**Pris: Enligt prislista**

Issuing organization
FOI – Swedish Defence Research Agency
Weapons and Protection
SE-147 25 Tumba

Report number, ISRN
FOI-R--1562--SE

Report type
Technical report

Programme Areas
5. Strike and protection

Month year
January 2005

Project no.
E 2428

Subcategories
53 Protection and Fortification

Subcategories 2

Author/s (editor/s)
Anders Carlberg

Project manager

Approved by

Sponsoring agency
The National Fortifications Administration

Scientifically and technically responsible

Report title (In translation)
Testing of: Protective door in pressure class 0,5 MPa, scale 1:2 ; Recording of the rebound effect.

Abstract (not more than 200 words)
This report presents testing of a protective blast door in scale 1:2, designed by The National Fortifications Administration and named “Medium heavy Protective Door” with pressure class 0,5 MPa. The testing includes two parts.
A / Verifying of the function of the new door after loads from air blasts with short duration.
B / Recording of forces between door leaf and jamb caused by the air blast. The most interesting part is the rebound effect and the forces, which are needed to keep the door leaf in position during the whole oscillating process.
The testing finished with one test in which the dynamic characteristic of the door leaf was drastically changed by increasing the weight of the door leaf with around 100 lbs, almost a doubling of the original weight.
The Swedish Defence Research Agency performed the testing and wrote this report, which is the basis for a consulting company Carl Bro.AB who makes the evaluation and a computer code for calculation of the rebound effects.

Keywords
Protective door, air blast, rebound effect

Further bibliographic information

Language Swedish

ISSN 1650-1942

Pages 46 p.

Price acc. to pricelist

Innehållsförteckning

1. INLEDNING **6**

2. FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING **7**

2.1. PROVOBJEKTET 7
2.2. MÄTUTRUSTNING 10
2.3. REGISTRERING 11
2.4. SPRÄNGMEDEL 12
2.5. FÖRSÖKSPROGRAM 12
2.6. FÖRSÖKSGENOMFÖRANDE 13

3. RESULTAT **15**

SKOTT 1 15
SKOTT 2 15
SKOTT 3 15
SKOTT 4 15
SKOTT 5 15
SKOTT 6 15
SKOTT 7 16
SKOTT 8 16
SKOTT 9 16
SKOTT 10 16
SKOTT 11 17
TABELLER 18

4. UTVÄRDERING **20**

5. REGISTRERINGAR **21**

BILAGA 1 MEKANISK PROVNING AV STÄNGER TILL MSD-DÖRR **43**

1. Inledning

Normalt består dörrar för skydd mot stötvågslaster utan splitter av en massiv stålskiva med en viss tjocklek som sitter fäst rörligt med hjälp av gångjärn och regelanordning mot en ingjuten stålkarm. Stålskivan fixeras mot karmen med hjälp av en låslinjal. För att studera hur stålskivan, låslinjalen och gångjärnen verkligen uppträdervid kortvarig luftstötvågsbelastning, har FOI på uppdrag av Fortifikationsverket genomfört en försöksserie på Grindsjöns skjutfält, där en modell av en stötvågsdörr i form av en stålskiva med modellerade gångjärn och låslinjal utsatts för stötvågsbelastningar.

När dörrbladet utsätts för stötvågslast kommer det i svängning som dämpas på olika sätt.

Två extremfall kan uppstå.

A / Vid långvarig stötvågslast i förhållande till dörrbladets egensvängningstid kan inte dörrbladet svänga fritt utan återsvängningen dämpas av den avtagande stötvågslasten vilket minskar reboundkrafterna och behovet av förankring av dörrbladet till karmen.

B / Vid kortvarig stötvågslast – antag teoretiskt hälften av en hel svängningscykel hos dörrbladet – finns ingen trycklast när återsvängningsfasen nått sitt max varför all kraft måste tas i förankringarna, som består av låslinjal respektive gångjärn och bakkantsäkring på gångjärnssidan.

Försöket har föregåtts av teoretiska beräkningar, utförda av Carl Bro AB. Tidigare utredning och FEM-beräkningar visar att dörrbladet har flera svängningsmoder varför anliggningstryck och reboundkrafter varierar längs upplagen. Dessa variationer förstärks av att belastningstrycket varierar över dörrbladets yta i försöket pga. markreflexionen.

De under försöken registrerade uppmätta värdena på belastande tryck, accelerationer och töjningar har efter genomförd försöksserie bearbetats av Carl Bro Teknikkonsult i beräkningsmodeller baserade på FE-programmet Femsol 2, som är ett generellt program för beräkning av strukturdynamiska och även vågmekaniska förlopp.

En av målsättningarna med försöket är att med någorlunda precision kunna bestämma återsvängningens storlek i förhållande till belastningen, främst vid s.k. kortvarig stötvågslast då risken för överskridande av tidigare beräkningsregler är uppenbar.

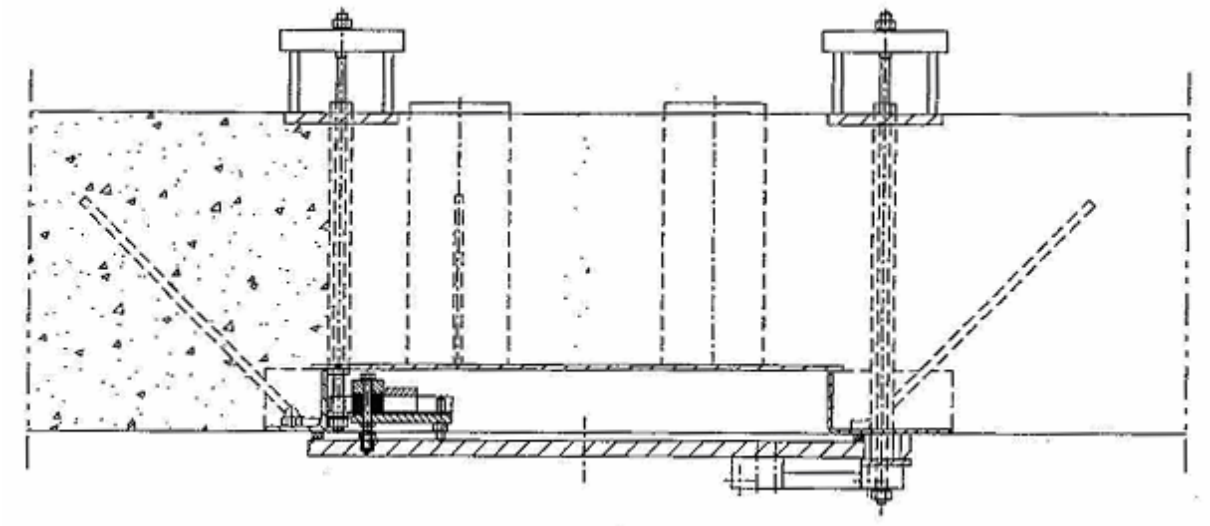
2. Försöksuppställning

2.1. Provobjektet

Försöken genomfördes på, skjutplats 11, där ett betongelement 3.0 m brett, 2.4 m högt och 0.3 m tjockt som tillverkats av Skanska Prefab i Strängnäs, placerades vertikalt i ett uppsågat spår i underlaget. Betongelementet stadgades sedan i överkant med hjälp av kraftiga balkar mot ett mycket stadigt gjutet fundament. I betongelementet sitter provobjektet som består av en ingjuten stålkarm med dörrblad. I betongelementet finns håltagningar och rörgenomföringar för att få kablage och mätutrustning genom betongelementet.



Figur 2.1. Provobjektet uppställt på försöksplatsen

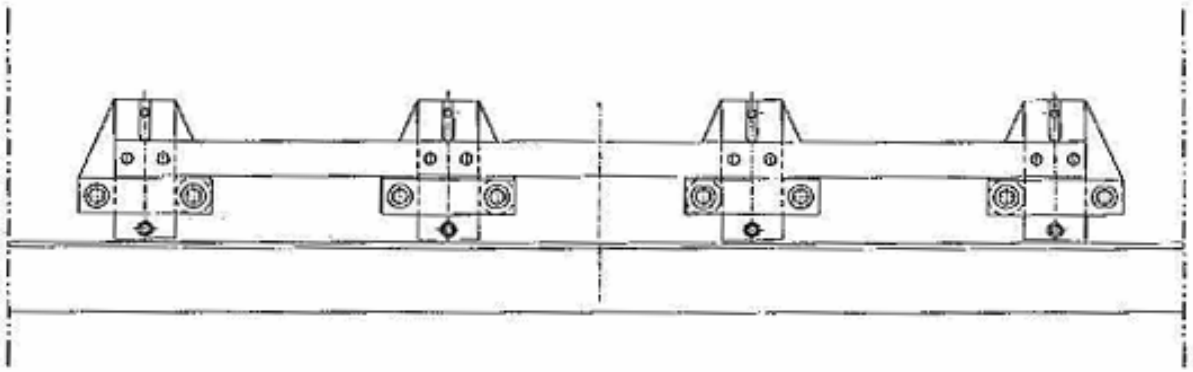


Figur 2.2. Skiss på den ingjutna karmen med dörrskiva och fästanordningar



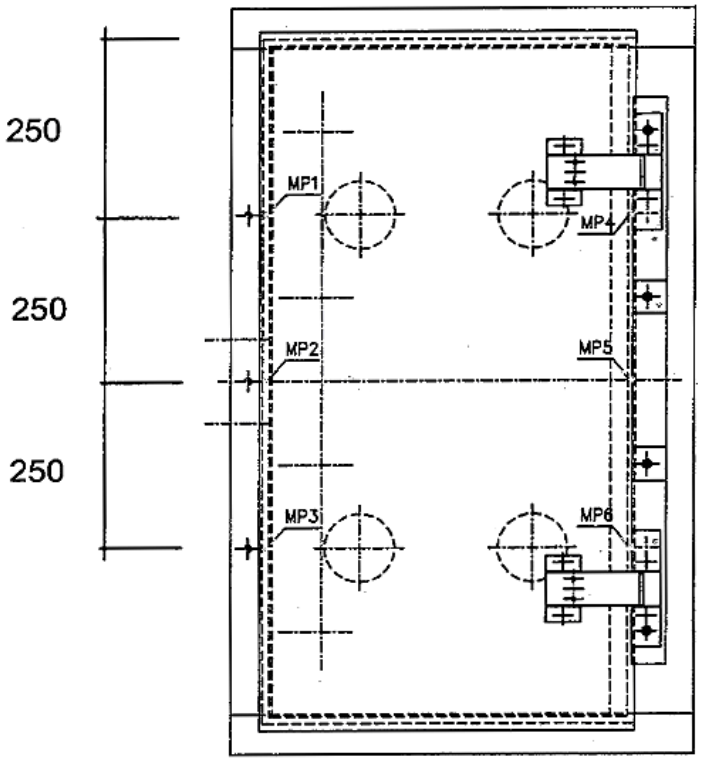
Figur 2.3. Dörrskivan demonterad från karmen. Notera gångjärnen med fästanordning till vänster på dörrskivan.

Till karmen medföljde en passande dörrskiva med måtten 0,5 x 1,0 m och tjockleken 15 mm samt en tandlinjal och gångjärn för att kunna fästa dörrskivan till karmen i betongelementet.



Figur 2.4. Skiss på tandlinjalen.

På den ingjutna stålkarmen fanns en anslagslist 10 x 10 mm fastsvetsad. Listens kontaktsida mot dörrskivan och även dörrskivans kontaktyta mot listen var slipade för att god anliggning skulle uppnås mellan dörrskivan och anslagslisten. På tre ställen på varje långsida hade spår frästs upp i anslagslisten så att tre fristående kuber med måtten 10x10x10 mm skapats på varje långsida. Kuberna försågs med töjningsgivare för att mäta anliggningstrycken vid belastning av stötvågen.

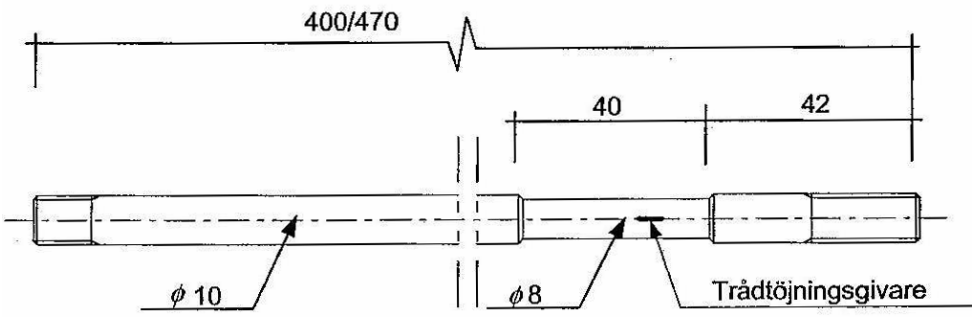


Figur 2.5. Skiss på monterad dörrskiva och markerade platser för TTG 1 – TTG 6 här kallade MP1-MP6, för att mäta anliggningstrycken vid positiv belastning på dörrskivan.



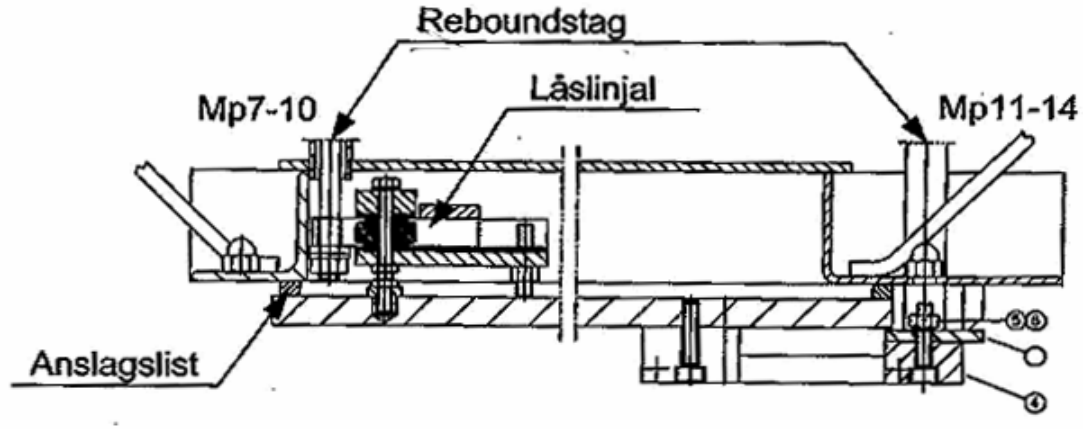
Figur 2.6 Foto på anslagslisten med monterade trådtöjningsgivare.

Dörrbladets normala infästning i karmen, gångjärn och låslinjal, har ersatts med åtta stycken dragstänger med diametern 10 mm, för att kunna mäta återsvängningen hos dörrbladet. Fyra av dessa dragstänger fästes i tandlinjalens tänder och sköts därefter in i genomgående hål genom betongelementet för att fixeras med mutter på betongelementets baksida.



Figur 2.7. Skiss på dragstången.

Gångjärnen skruvas fast dels på dörrskivan och dels på ett plattstål kallat gångjärnsfäste. Detta gångjärnsfäste fixeras sedan till betongelementet med hjälp av de återstående fyra dragstängerna som fästes i gångjärnsfästet och på samma sätt som tandlinjalens dragstänger sticks igenom betongelementet och fästes på elementets baksida.



Figur 2.8. Skiss på monterad dörrskiva med markering för dragstängerna här benämnda reboundstag

2.2. Mätutrustning

I betongelementet fanns tre stycken adaptrar för tryckgivare ingjutna runt karmen för dörrskivan för registrering av stötvågslasten. I dessa adaptrar monterades tryckgivare av fabrikat PCB 113 A24, benämnda P1-P3. P1 sitter ovanför dörrskivan 140 cm över markytan. P2 sitter till höger om dörrskivan sett framifrån 68 cm över markytan. P3 sitter placerad under dörrskivan 8 cm över markytan.

I dörrskivans centrum monterades en accelerometer benämnd A1, även den av PCB:s fabrikat och med beteckningen 302 A02.

På de sex kuberna som skapats i anslagslisten limmades en trådtöjningsgivare på varje av fabrikat SHOWA och med längden 2 mm för registrering av dörrbladets anliggningstryck. Dessa sex benämnes TTG 1 - TTG 6.

På de åtta dragstängerna fanns i ena änden en sträcka som var nedsvarvad till diametern 8 mm På denna bit limmades en trådtöjningsgivare på varje stång för att registrera återsvängning hos dörrbladet. Typen på dessa givare var TML-10 mm. Dessa åtta givare benämndes TTG 7 - TTG 14. För givarnas placering se skisser och foton.



Figur 2.9. Foto av provobjektet med mätpunkter utmärkta.

2.3. Registrering

Från tryckgivare och accelerometern gick mätsignalerna via koaxialkabel till en mätbunker belägen på 200 meters avstånd. Från trådtöjningsgivarna går först signalerna till en mätbrygga som också används för att balansera givarna så att de före belastningen ligger på en nollnivå. Därefter går även dessa signaler via koaxialkabel till mätbunkern. I mätbunkern registreras signalerna på ett databaserat system av fabrikat Nicolet Vision med en samplingsfrekvens på 100 kHz.

2.4. Sprängmedel

Laddningarna tillverkades av sprängdeg (NSD 71), ett plastiskt sprängmedel bestående av 86 % PETN ($C_5H_8N_4O_{12}$) och 14 % olja. Sprängmedlet formades till sfärer med önskad vikt och hängdes därefter upp i en ställning på bestämt avstånd från provobjektet. Laddningens höjd över marken bestämdes efter de två inledande försöken till 120 cm. Målsättningen var inte en jämn tryckfördelning över dörrbladet utan en ”autentisk” vid de applikationer som dörrbladet kan utsättas för. Vid detonation på lägre höjd blir trycket i nedre delen på dörrskivan betydligt högre på grund av markreflexionen.



Figur 2.10. Laddningen upphängd och apterad.

2.5. Försöksprogram

Försöken genomfördes med 11 skott enligt nedanstående tabell:

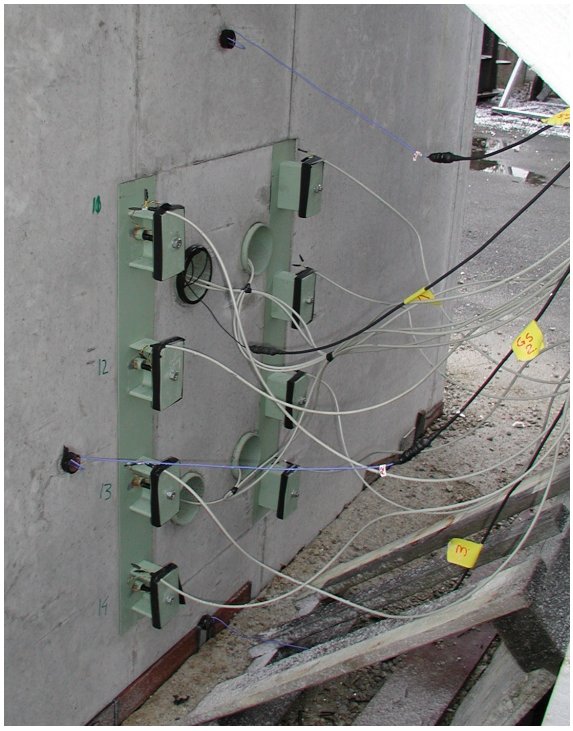
Tabell 2.1. Försöksprogram

Skott nr	Laddning [kg]	Avstånd [m]	Höjd [m]	Tandlinjal
1	0.5	2.5	0.68	4 tänder
2	0.5	2.5	1.20	4 tänder
3	2.0	2.5	1.20	4 tänder
4	2.5	2.6	1.20	4 tänder
5	4.0	3.0	1.20	4 tänder
6	5.0	3.0	1.20	4 tänder
7	2.0	2.5	1.20	2 tänder
8	2.5	2.6	1.20	2 tänder
9	4.0	3.0	1.20	2 tänder
10	5.0	3.0	1.20	2 tänder
11*	5.0	3.0	1.20	4 tänder

* med extra vikt på dörrbladet

2.6. Försöksgenomförande

Dörrskivan monterades på den ingjutna karmen i betongelementet med hjälp av de med trådtöjningsgivare försedda dragstängerna. På dörrsidan monterades dessa i låslinjalens tänder och i gångjärnsfästet. På baksidan av betongelementet drogs de fast med muttrar på en specialdistans anpassad för trådtöjningsgivarna. Muttrarna drogs till anliggning, så lätt att de nästan kunde lossas med fingrarna.



Figur 2.11. Baksidan av betongelementet med de speciella distanserna.

Efter fixeringen kontrollerades anliggningen mellan dörrbladet och anslagslisten med hjälp av bladmått. All mätutrustning inkopplades och trådtöjningsgivarna balanserades. Laddningen hängdes upp på rätt höjd och avstånd och apterades med en Nonel sprängkapsel som anslöts till mätbunkern via en Dynoline slang. Efter att mätutrustningen startats avfyras laddningen från mätbunkern och signalerna från givarna registreras för senare databehandling.

Vad som händer med provobjektet vid detonationen av laddningen är i stort följande: Luftstötvågen från detonationen träffar dörrskivan. Tryckgivarna i betongelementet registrerar trycknivån och tidsförloppet. Accelerometern i dörrskivan känner av plåtens rörelse och registrerar detta som en svängning. Genom integration av accelerometersignalen erhålles dörrskivans hastighet. En ytterligare integrering av signalen ger också dörrskivans förflyttning.

När stötvågen trycker dörrskivan mot karmens anslagslist, trycks även de sex små kuberna med trådtöjningsgivare ihop något och detta registreras av givarna. De åtta töjningsgivarna på dragstängerna registrerar däremot inget i detta begynnelseskede då de när skivan börjar belastas trycks inåt och istället avlastas. När stötvågens tryck mot dörrskivan ökar, ökar också deformationen i skivan och man kommer till ett läge där skivans hörn börjar lyfta sig. Detta kan registreras som en töjning främst i de yttre dragstängerna men även genom att töjningen i kuberna minskar.

När belastningen från stötvågen avtar vill också deformationen i dörrskivan återgå. Detta kan ske så snabbt att andra fenomen uppstår, så kallad rebound effekt. Detta innebär att dörrskivan under svängningsförloppet fjädrar utåt och att belastning på dragstängerna kan registreras. Vid återsvängningen avlastas kuberna eftersom dörrskivan slutar att trycka på anslagslisten i detta skede.

Efter varje skott kontrollerades dörrskivans fastsättning genom kontrolldragning av muttrarna samt anliggningen mot listen med bladmått.

3. Resultat

Skott 1
0.5 kg / 2.5 m h=68 cm Fyra tänder på låslinjalen

Ingen märkbar påverkan på försöksobjektet efter skottet.

Skott 2
0.5 kg / 2.5 m h=120 cm Fyra tänder på låslinjalen

Fortfarande inga synbara effekter på försöksobjektet.

Skott 3
2.0 kg / 2.5 m h=120 cm Fyra tänder på låslinjalen.

Inga synbara skador efter skottet.

Skott 4
2.5 kg / 2.6 m h=120 cm Fyra tänder på låslinjalen.

Fortfarande kan inget anmärkningsvärt noteras på försöksobjektet.

Skott 5
4.0 kg / 3.0 m h=120 cm Fyra tänder på låslinjalen.

Efter skottet noteras att dragstängerna med trådtöjningsgivarna TTG 8 och TTG 9, monterade i tandlinjalens två mittersta klackar, sitter lösa. Före skott 6 skruvas muttrarna till så att stängerna sitter fixerade.

Skott 6
5.0 kg / 3.0 m h=120 cm Fyra tänder på låslinjalen.

Efter skott noteras åter att samma dragstänger är lösa. De övriga sex sitter dock fortfarande fixerade. Efter skottet demonteras dörrskivan, då konstateras att dörrskivans nedre slipade yta inte legat helt fritt på anslagslistens slipade yta. Därför frästes dörrskivans slipade yta 10 mm bredare. Kan ses på figur 3.2 (sid 17).

Skott 7

2.0 kg / 2.5 m h=120 cm Endast 2 tänder på låslinjalen.

Före skott demonterades dragstängerna med TTG 8 och TTG 9 och avlägsnades så att endast två av låständerna, de två yttre, höll dörrskivan på plats på låssidan. Kabelbrott på TTG 7 efter skott, ersätts med TTG 8 som monteras in på TTG 7:s plats. För övrigt inga synbara skador och ingenting att anmärka på efter skott.

Skott 8

2.5 kg / 2.6 m h=120 cm. Endast 2 tänder på låslinjalen.

Efter skott noteras att ingen registrering erhållits från TTG 14. För övrigt har inget anmärkningsvärt inträffat.

Skott 9

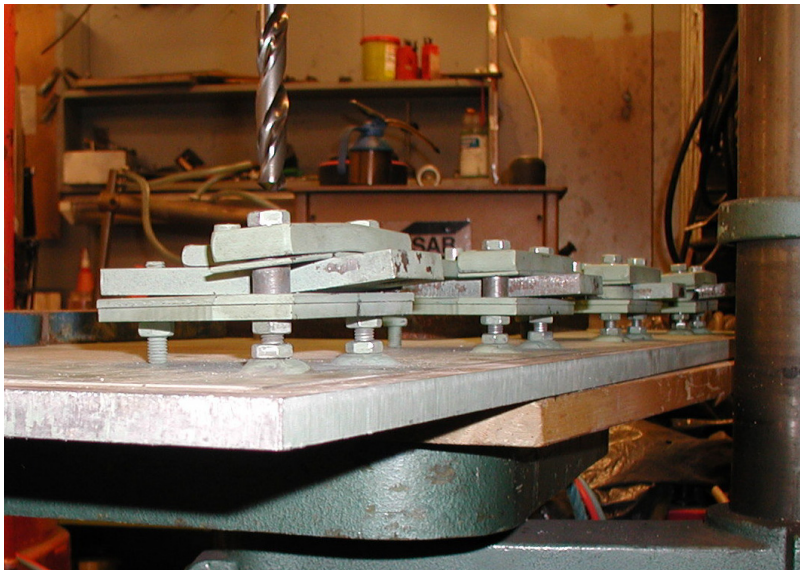
4.0 kg / 3.0 m h=120 cm. Endast 2 tänder på låslinjalen.

Efter skott noteras att dragstängerna med TTG 7 och TTG 10 sitter lösa. De fixeras före nästa belastning genom att muttrarna dras åt. För övrigt inga anmärkningar.

Skott 10

5.0 kg / 3.0 m h=120 cm. Endast 2 tänder på låslinjalen.

Efter skott sitter samma två dragstänger mycket lösa. Vid anliggningskontrollen med bladmått kunde inte 0.1 mm:s bladet stickas in någonstans efter skott 8 och 9, däremot gick det att stoppa in kring nedre vänstra hörnet efter skott 10. Efter skottet demonterades dörrskivan och då konstaterades att de två låständer i vilka dragstängerna med TTG 7 och TTG 10 varit monterade, var bockade ca 10 mm.



Figur 3.1. Foto på dörrskivan med låslinjal. Notera deformationen i främre låstanden.

Före skott 11 ökades dörrskivans vikt med ca 48 kg genom att stålplåtar monterades på dörrskivans insida. Avsikten var att förändra dörrbladets egensvängningstid genom att behålla styvheten men öka massan.

Dessutom monterades åter dragstänger med trådtöjningsgivare på alla fyra låständerna. TTG 7 är reparerad och sitter liksom TTG 8 på sina ursprungliga platser.



Figur 3.2. Dörrskivans insida med påmonterade stålplåtar för att erhålla viktökning. I underkant på dörrskivan ses den slipade ytan som frästes 10 mm bredare efter skott 6.

Skott 11

5.0 kg / 3.0 m h=120 cm. 4 tänder på låslinjalen. Ökad vikt på dörrskivan.

Efter skott noteras att dragstängerna med TTG 7 och TTG 10 är lösa. Trots att lasten mot dörrskivan överstiger 0,5 MPa, kan ingen kvarstående deformation uppmätas på denna.

Tabeller

Tabell 3.1. Sammanfattning av tryck och accelerationsmätningarna

Skott nr	P_1 [MPa]	P_2 [MPa]	P_3 [MPa]	I_1 [kPa s]	I_2 [kPa s]	I_3 [kPa s]	Acc.* [g]	Hast.** [m/s]	Utböj.** [mm]
1	0,200	0,407	0,610	0,195	0,248	0,289	274	1,76	2,47
2	0,230	0,243	0,678	0,188	0,241	0,388	240	1,30	2,23
3	0,731	0,719	2,118	0,368	0,573	1,054	978	3,88	4,39
4	0,762	0,749	2,188	0,461	0,657	0,959	961	4,06	4,42
5	0,851	0,954	2,602	0,561	0,868	1,171	1 077	4,48	5,15
6	1,104	1,013	3,312	0,558	0,977	2,581	1 223	5,35	5,45
7	0,721	0,718	-	0,421	0,607	-	1 194	3,43	4,06
8	0,692	0,766	2,181	0,403	0,649	0,897	1 290	4,69	5,37
9	0,779	0,905	2,46	0,528	0,812	1,092	1 395	4,88	5,52
10	1,068	1,004	3,096	0,622	0,966	1,371	1 409	5,50	6,68
11	0,855	1,051	2,685	0,525	0,881	1,278	656	2,33	4,42

*Från första 3 ms, positiva delen

** Från första 3 ms

Tabell 3.2. Sammanfattning av trådtöjningsgivarna för anliggningstryck TTG1-TTG6 (0-6 ms)

Skott nr	TTG1 [‰]	TTG2 [‰]	TTG3 [‰]	TTG4 [‰]	TTG5 [‰]	TTG6 [‰]
1	-0,261*	-0,046*	-0,046*	-0,039*	-0,049*	-0,274*
2	-0,537	-0,607	-2,228	-0,206	-0,383	-0,302
3	-1,352	-0,885	-2,524	-0,319*	-0,373	-0,431
4	-1,405	-0,751	-2,322	-0,288*	-0,543	-0,605
5	-1,652	-0,628	-1,251	-0,352	-0,578	-0,477
6	-1,332	-0,383	-0,942	-0,351	-0,402	-0,233
7	-1,091	-0,571	-0,618	-0,401	-0,321	-0,138
8	-1,168	-0,401	-0,320	-0,386	-0,340	-0,114
9	-1,252	-0,309	-0,596	-0,389	-0,409	-0,183
10	-1,262	-0,270	-0,666	-0,423	-0,462	-0,129
11	-0,850	-0,305	-0,503	-0,362	-0,394	-0,240

* Brusig signal

En snabbtitt på tabellvärdena i symmetriska punkter visar stora olikheter samtidigt som ökande last inte alltid ger högre värden ex TTG2 / skott 6, vilket förvånar. Detta beror troligtvis på att mätmetoden är för känslig för denna typ av provobjekt, där till synes små spalter i anliggningen kräver stora laster innan dörrbladet följer efter och tar stöd i alla punkter.

Man borde redan från början ha insett att även för mycket små toleranser i tillverkning och montering uppstår spalter i upplagen mellan anslagslist och dörrskiva. En annan förklaring till tveksamma tabellvärden är att töjningsgivarna bara är monterade på ena sidan av ”kuben” och därför inte kan ta hänsyn till om dörrskivan rider på ena eller andra sidan av olika kuber vid dörrskivans deformation.

Tabell 3.3. Sammanfattning av trådtöjningsgivarna för reboundkrafter TTG7-TTG14

Skott nr	TTG7 [‰]	TTG8 [‰]	TTG9 [‰]	TTG10 [‰]	TTG11 [‰]	TTG12 [‰]	TTG13 [‰]	TTG14 [‰]
1	0,393*	0,226*	0,356*	0,416*	0,309*	0,347*	0,060	0,764
2	0,432*	0,404*	0,302*	0,386*	0,722	0,630	0,998	0,610
3	1,168	1,143	1,059	0,950	2,342	1,986	2,298	2,394
4	1,339	1,406	1,213	1,096	2,001	1,337	1,773	2,519
5	1,377	1,353	1,537	1,113	2,553	2,087	2,815	3,137
6	3,475	3,329	2,880	2,018	3,339	8,369	5,984	4,027
7	-**	-	-	2,581	1,826	3,882	2,834	0,333
8	2,609**-		-	2,911	2,150	4,377	3,121	-
9	2,974**-		-	3,419	2,912	5,721	4,269	2,526
10	2,722**-		-	2,638	2,955	10,687	5,961	2,768
11	2,708***	1,496	1,190	2,142	2,345	3,156	2,107	2,419

*Brusig signal

**Kabelbrott på TTG 7. Ersätts med TTG 8 som sätts på TTG 7:s plats.

***Gamla TTG 7 reparerad och monterad på ursprunglig plats.

De största uppmätta töjningarna i Tabell 3.3 är av sådan storleksordning att stålet borde ha passerat sträckgränsen med marginal och att man därmed erhåller kvarstående töjningar i dragstängerna. Sådana eventuella kvarstående töjningar blir omsatta i verklig längd inte större än 0,05 – 0,1 millimeter, vilket bara kan noteras med hjälp av känslig mätutrustning t.ex. trådtöjningsgivare.

4. Utvärdering

Efter avslutad försöksserie översändes enligt beställarens önskemål alla mätresultat till Carl Bro Teknikkonsult för bearbetning och utvärdering i beräkningsmodeller. Denna utvärdering redovisas i en separat rapport.

På grund av oklarheter kring stålkvaliten hos dragstängerna krävdes en kontroll av verklig sträckgräns hos dessa, vilket föranledde en kompletterande dragprovning hos FOI. Denna provning redovisas i Bilaga 1.

Enligt materialspecifikationen på tillverkningsritningen för dragstängerna, skall dessa tillverkas av stål S 355 dvs. ett konstruktionsstål med flytgräns minst 355 MPa.
Den senare genomförda mekaniska provningen visar på betydligt högre stålkvalitet med flytgräns runt 700 MPa, gissningsvis Silverstål SS 2140 eller seghärdat stål SS 2541-03.

5. Registreringar

Skott 1

Diagram: Tryck

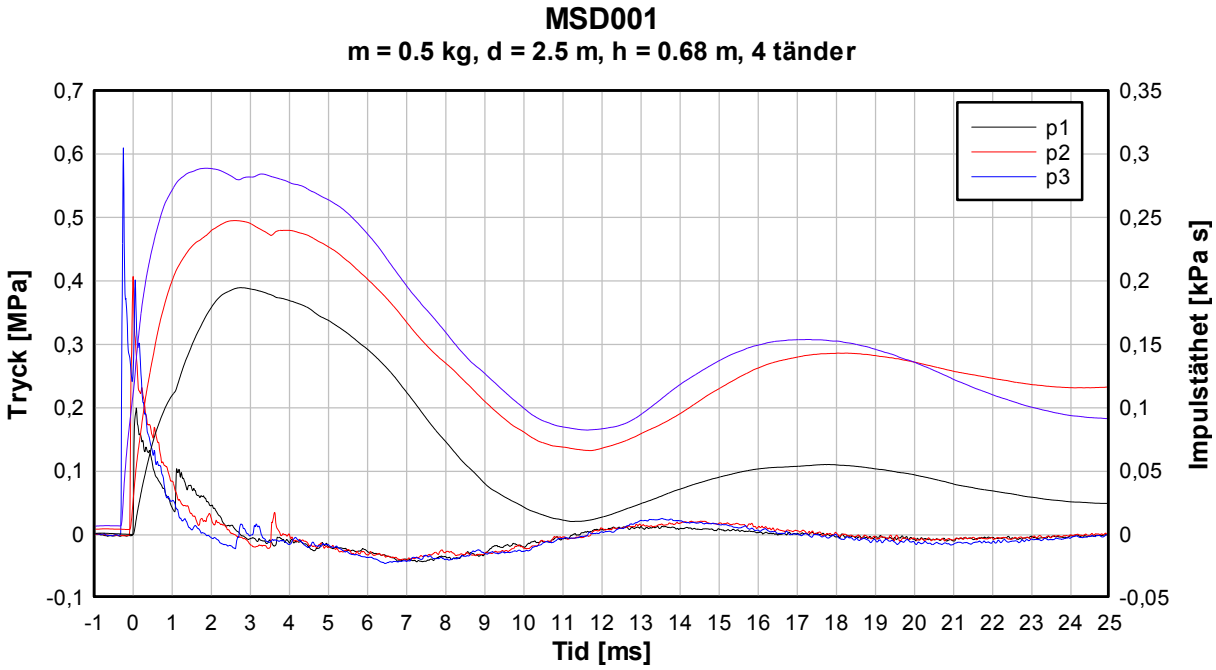


Diagram: Acceleration

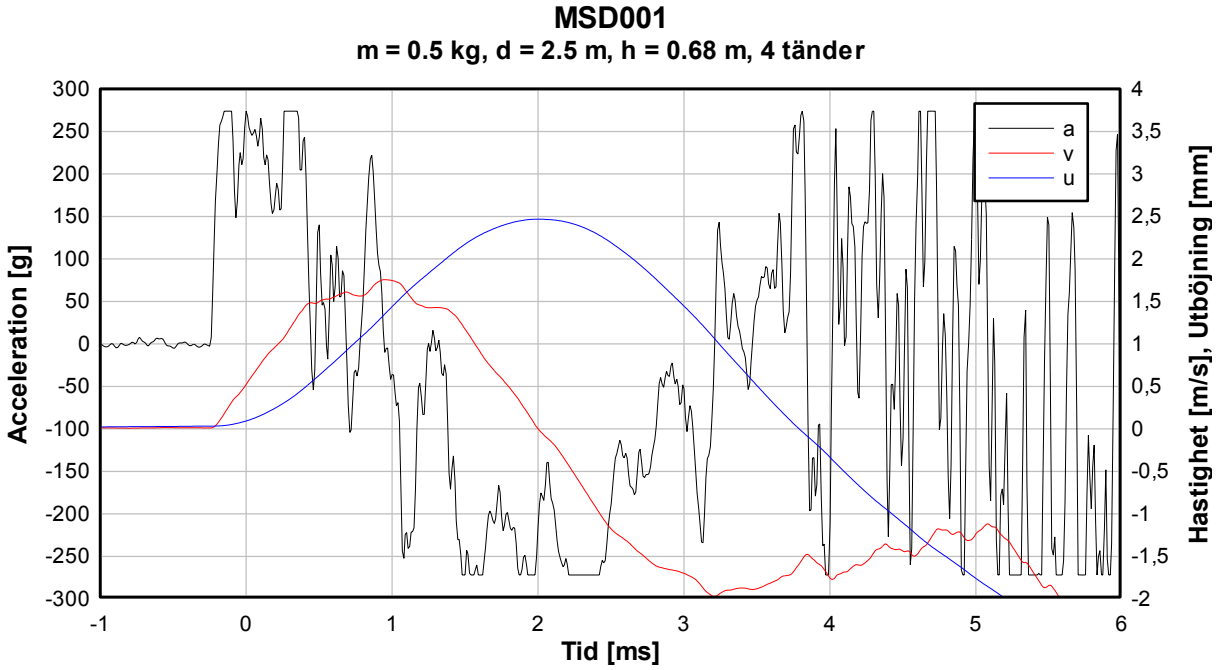


Diagram: Töjning för anliggningstryck

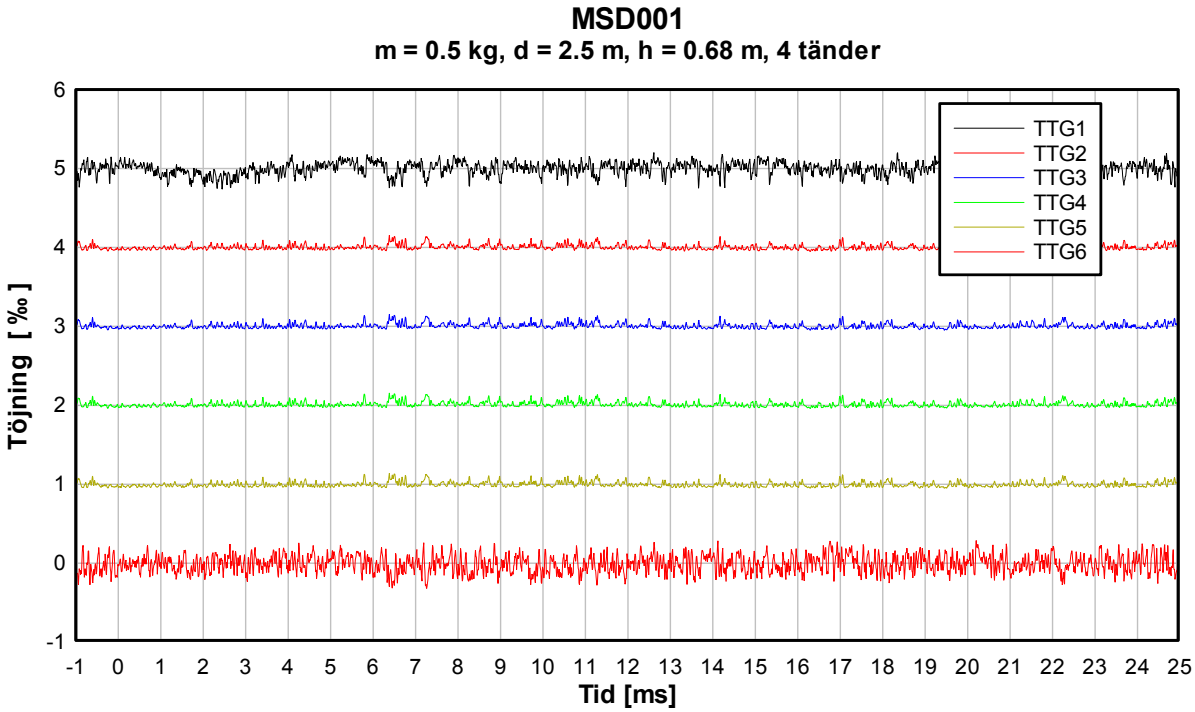
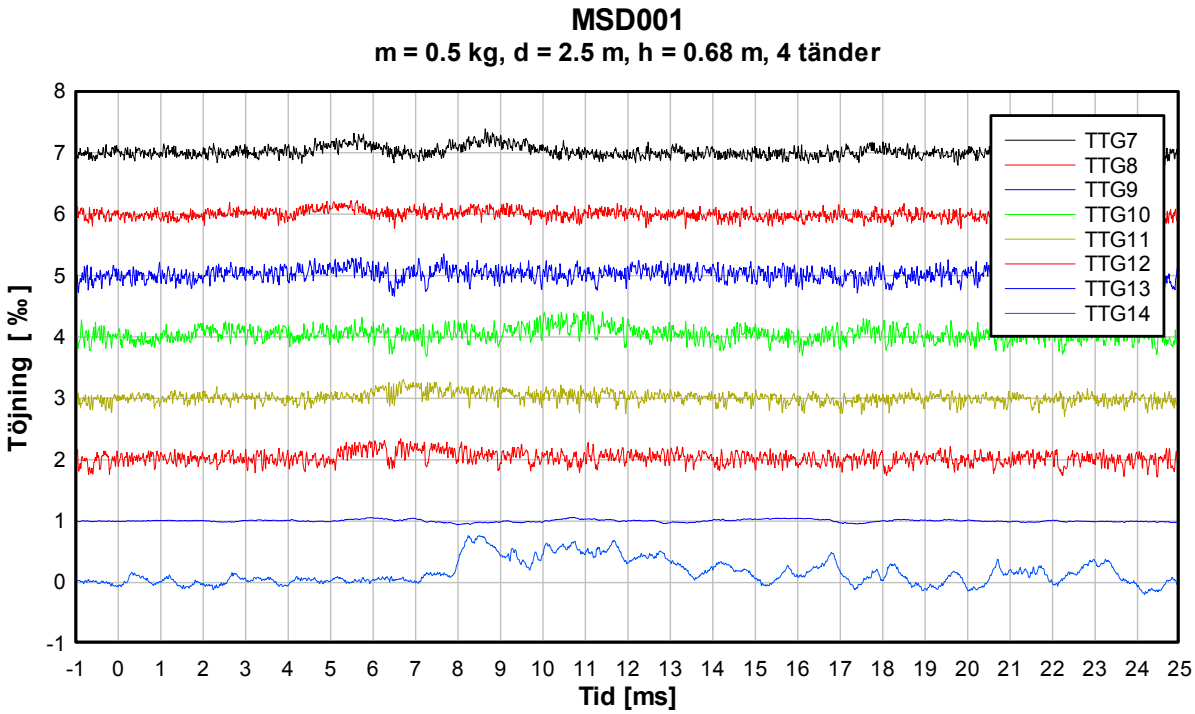


Diagram: Töjning för reboundkrafter



Skott 2

Diagram: Tryck

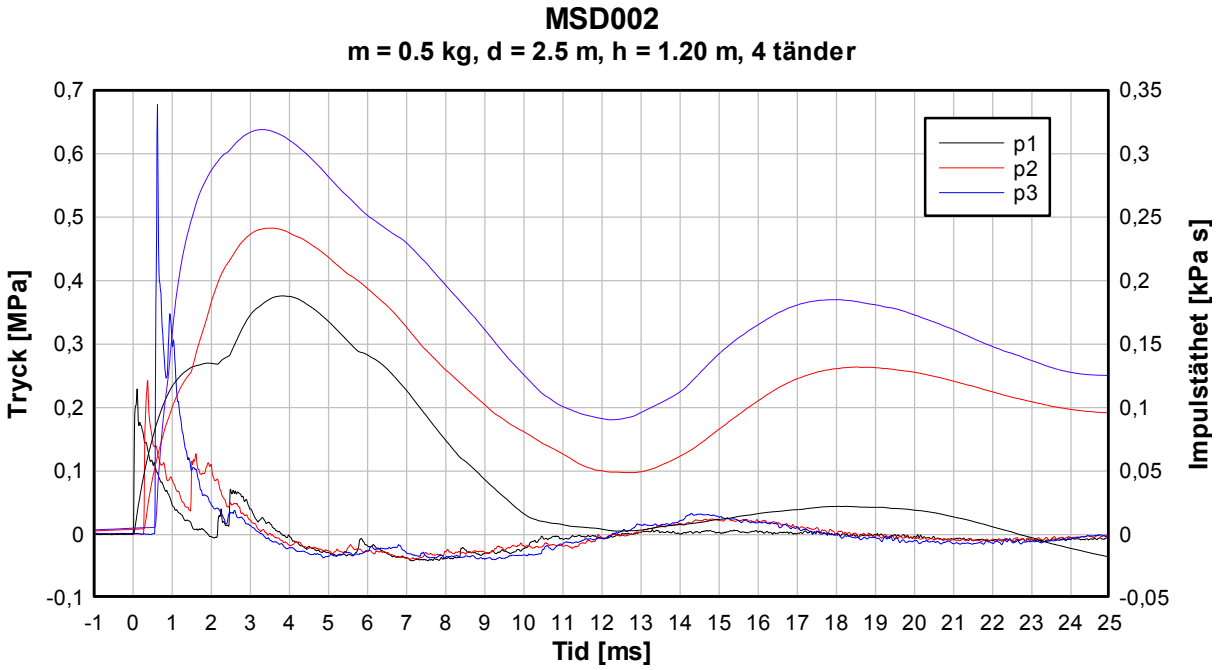


Diagram: Acceleration

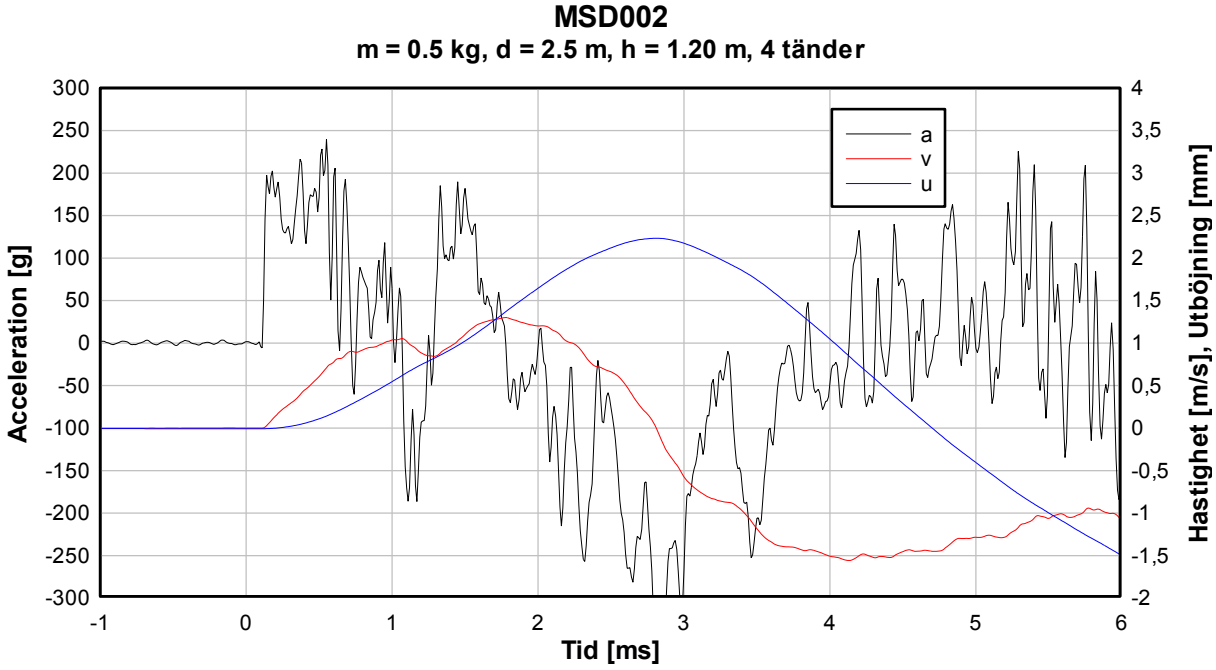


Diagram: Töjning för anliggningstryck

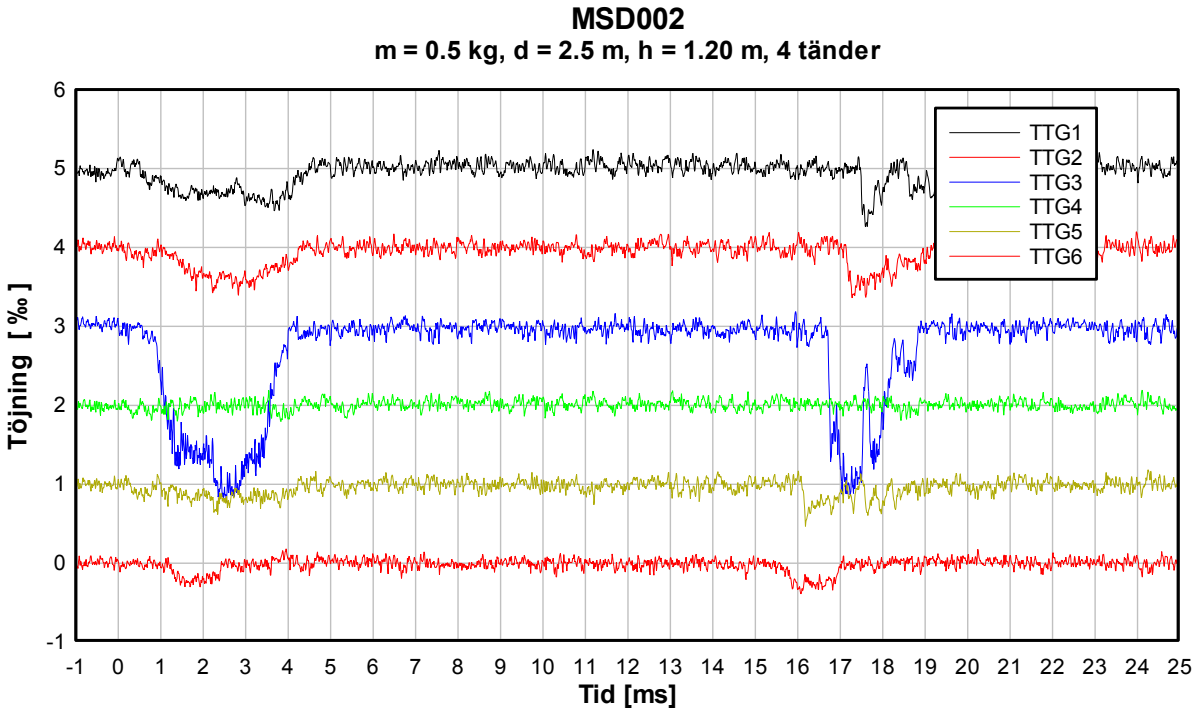
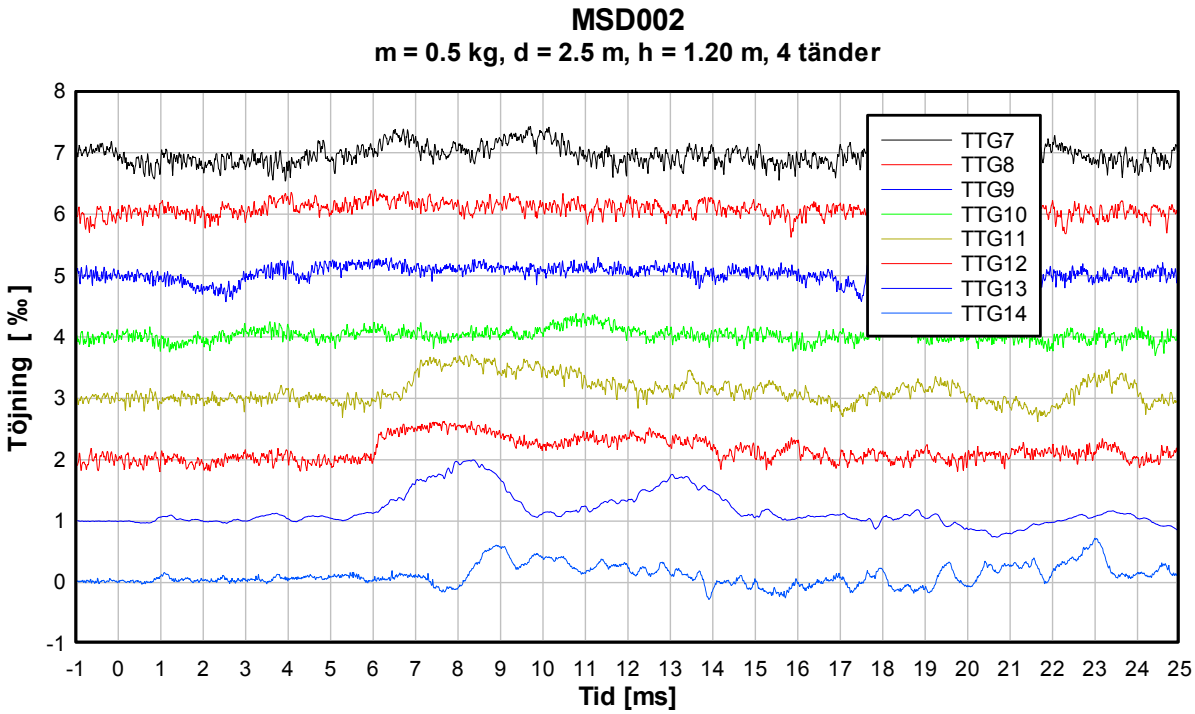


Diagram: Töjning för reboundkrafter



Skott 3

Diagram: Tryck

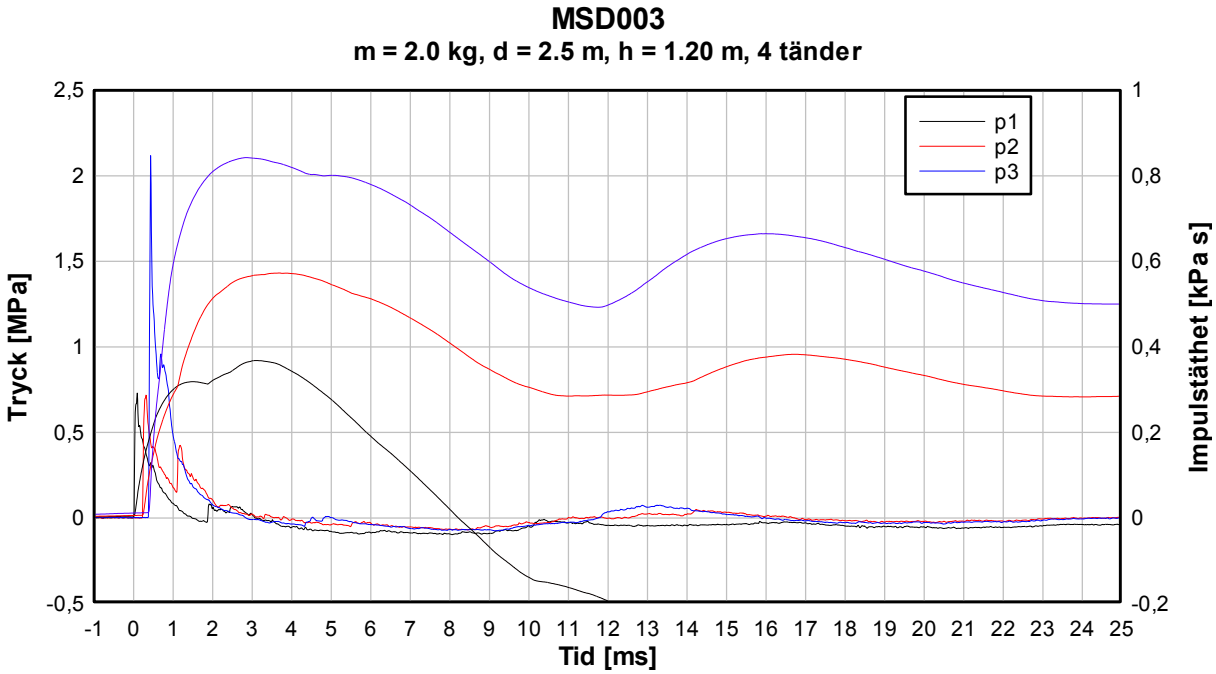


Diagram: Acceleration

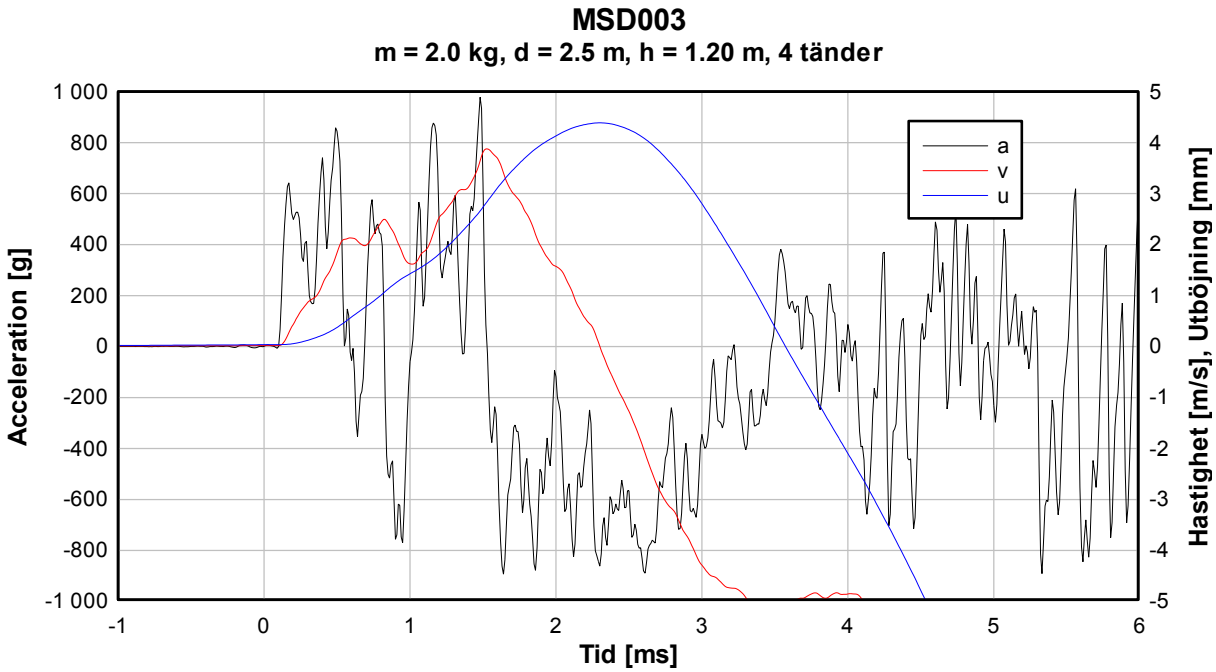


Diagram: Töjning för anliggningstryck

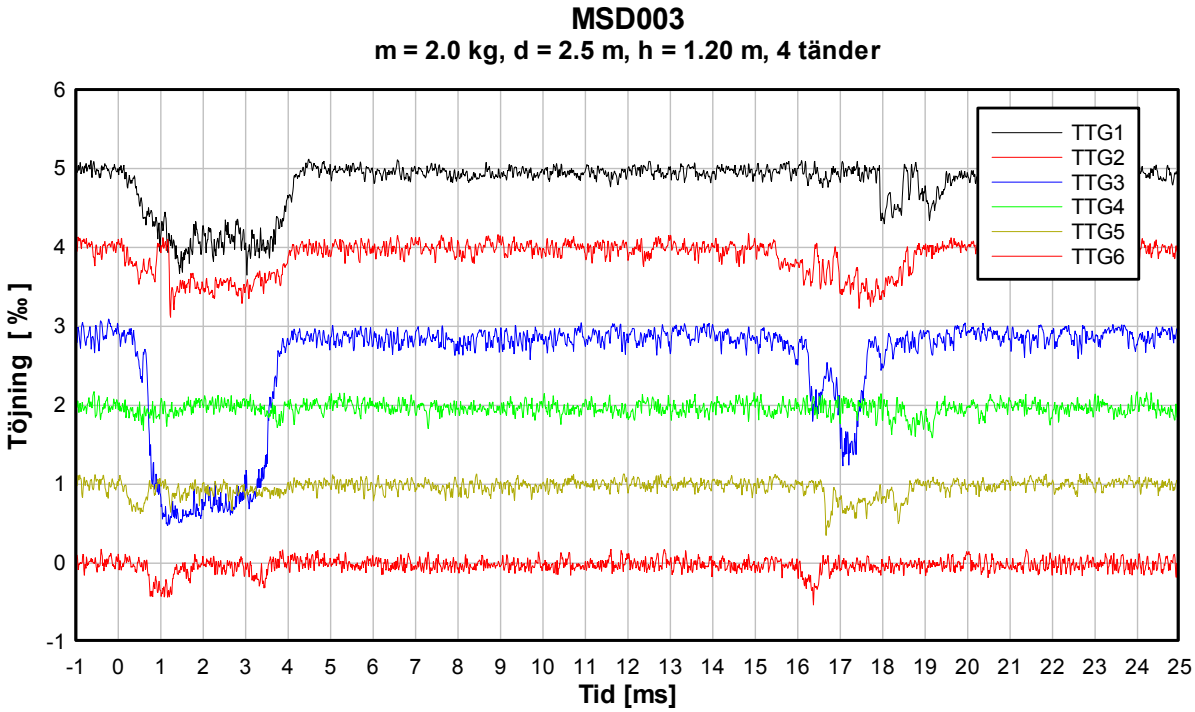
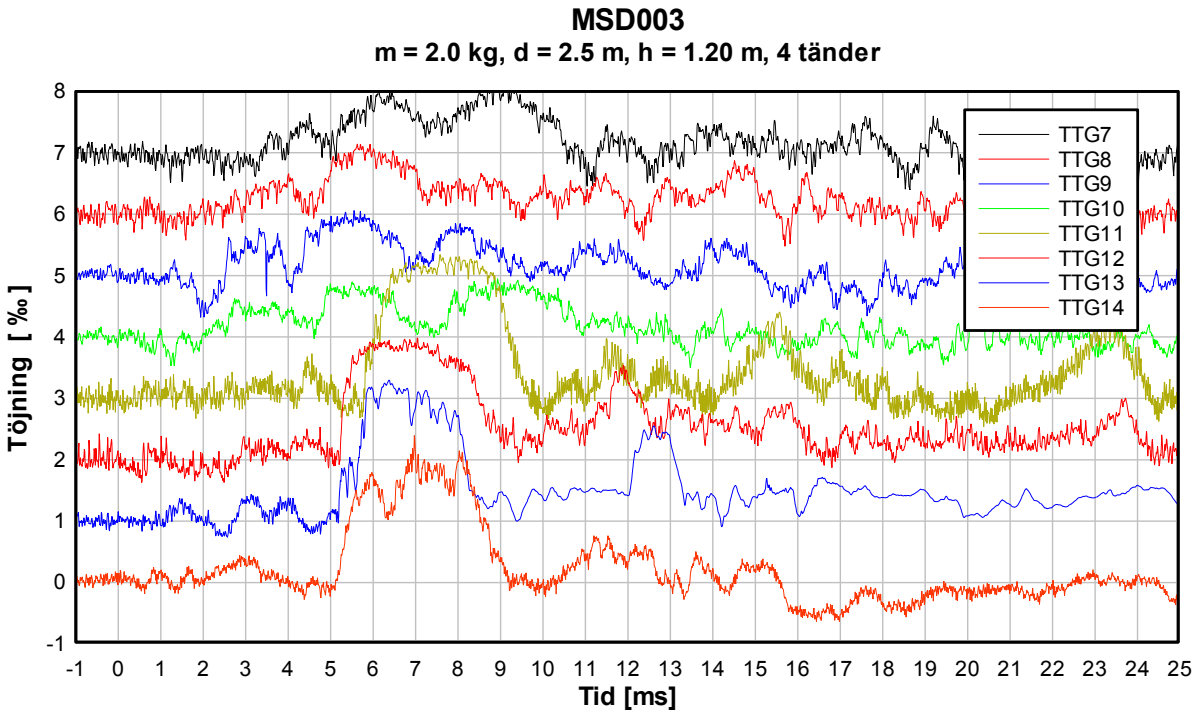


Diagram: Töjning för reboundkrafter



Skott 4

Diagram: Tryck

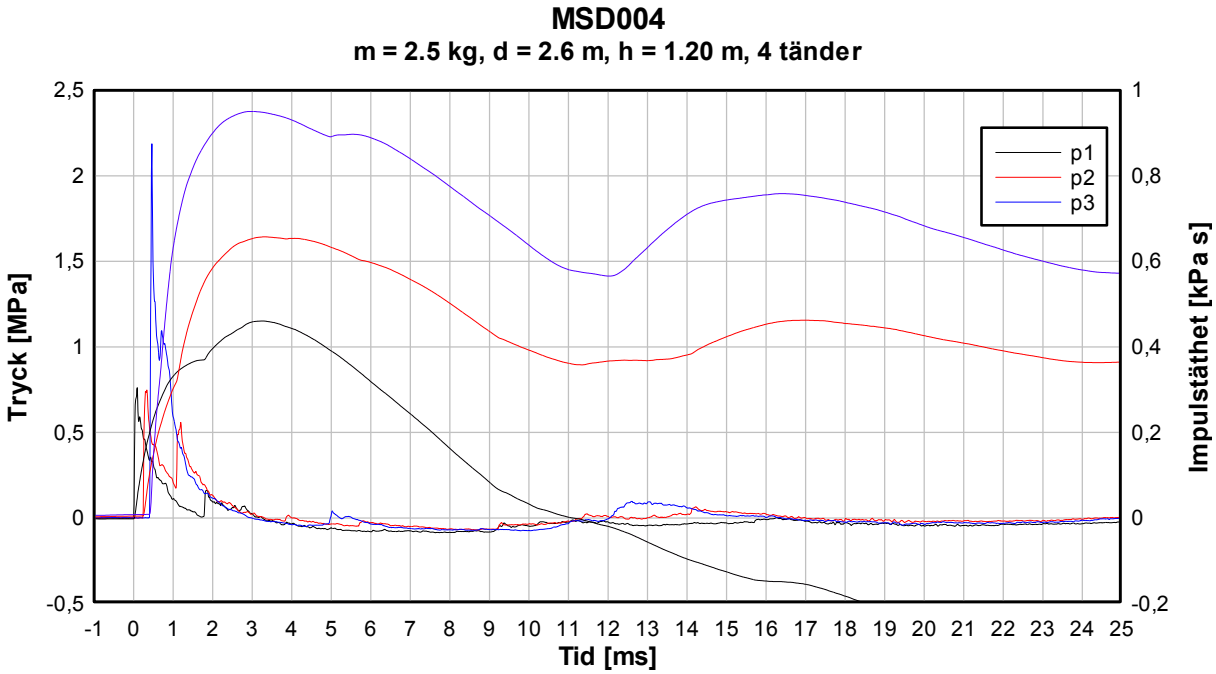


Diagram: Acceleration

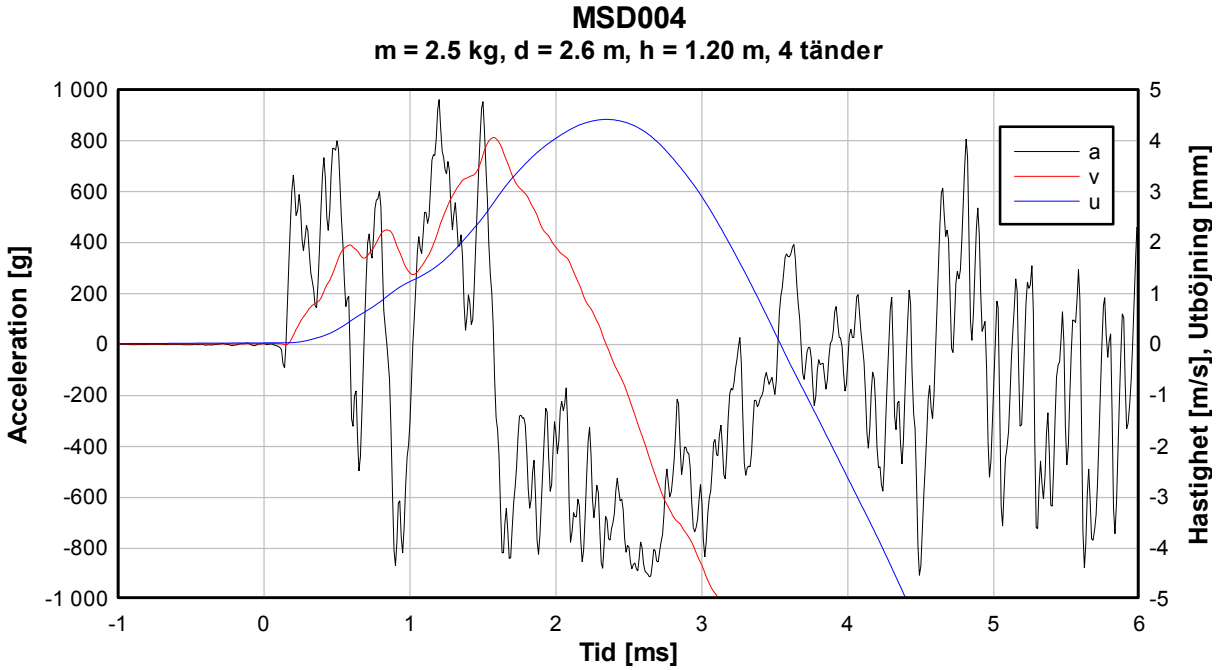


Diagram: Töjning för anliggningstryck

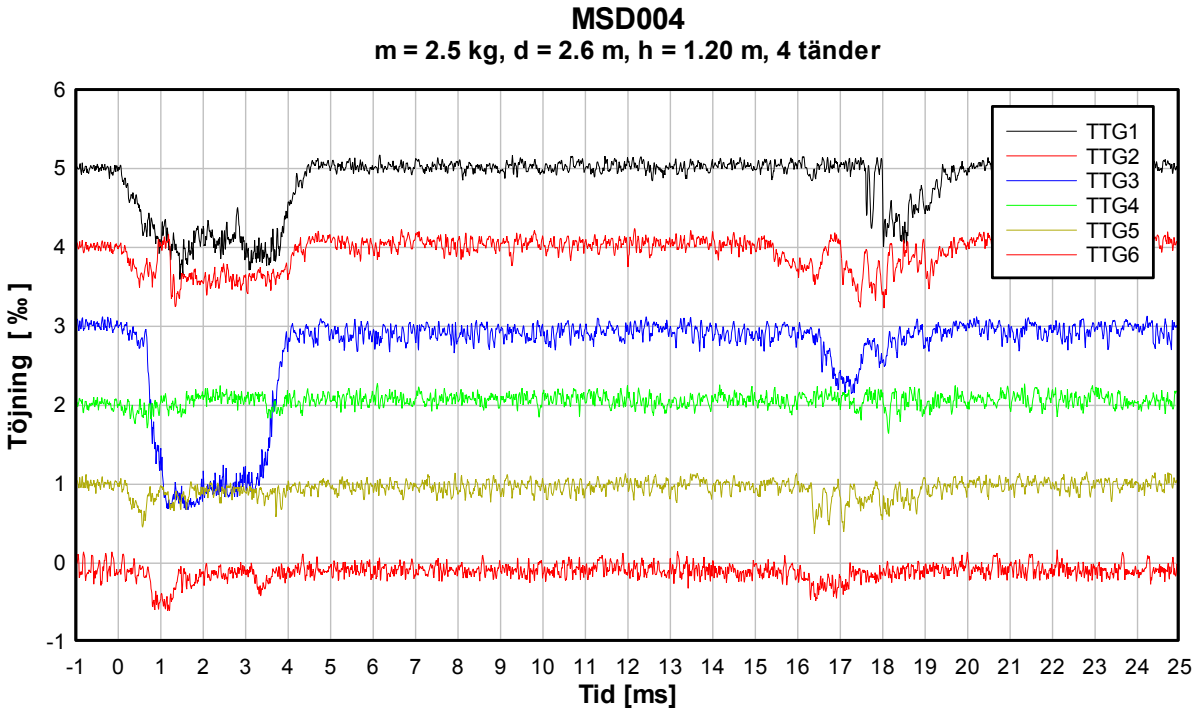
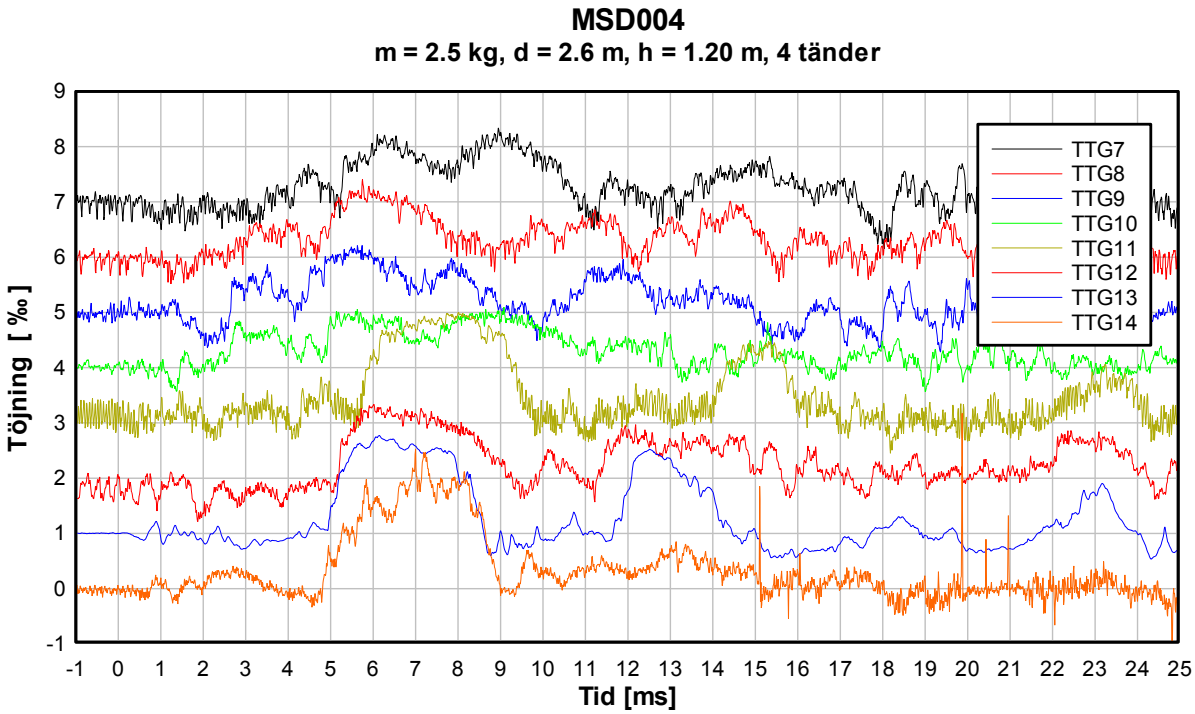


Diagram: Töjning för reboundkrafter



Skott 5

Diagram: Tryck

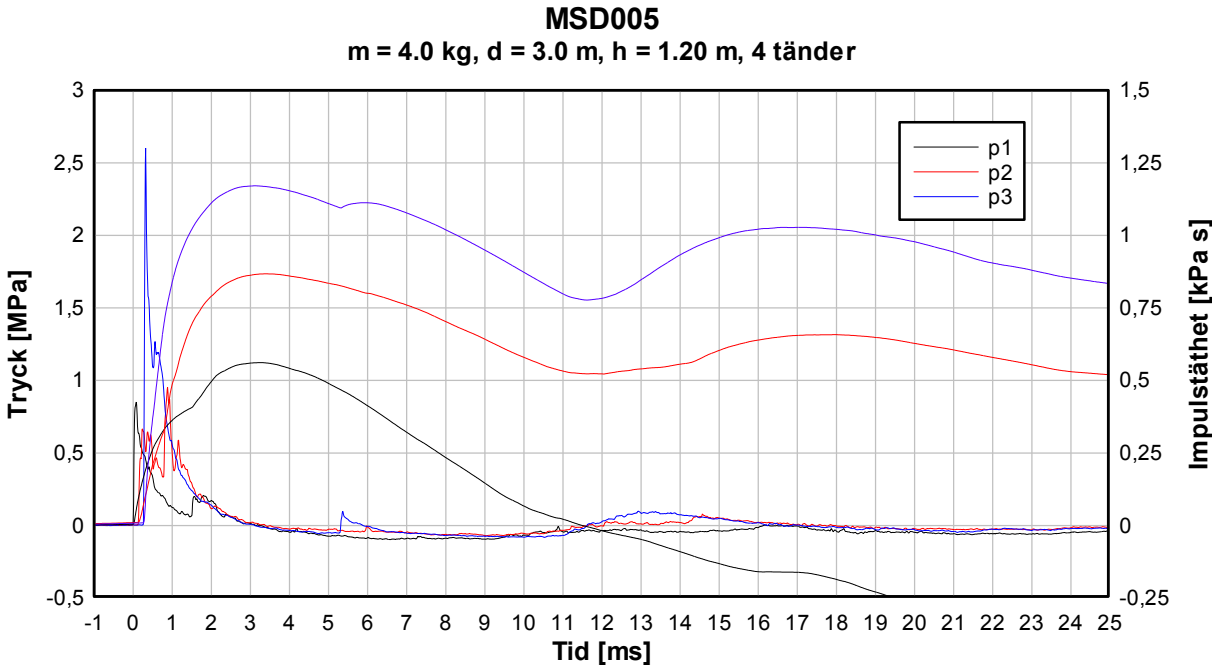


Diagram: Acceleration

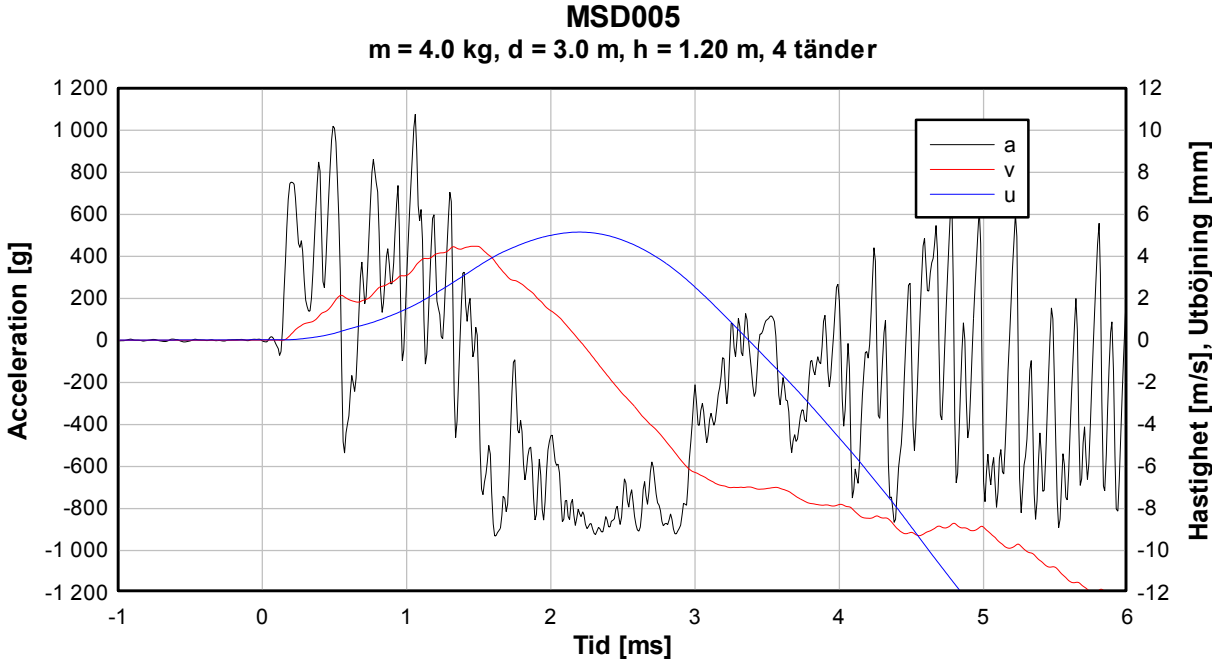


Diagram: Töjning för anliggningstryck

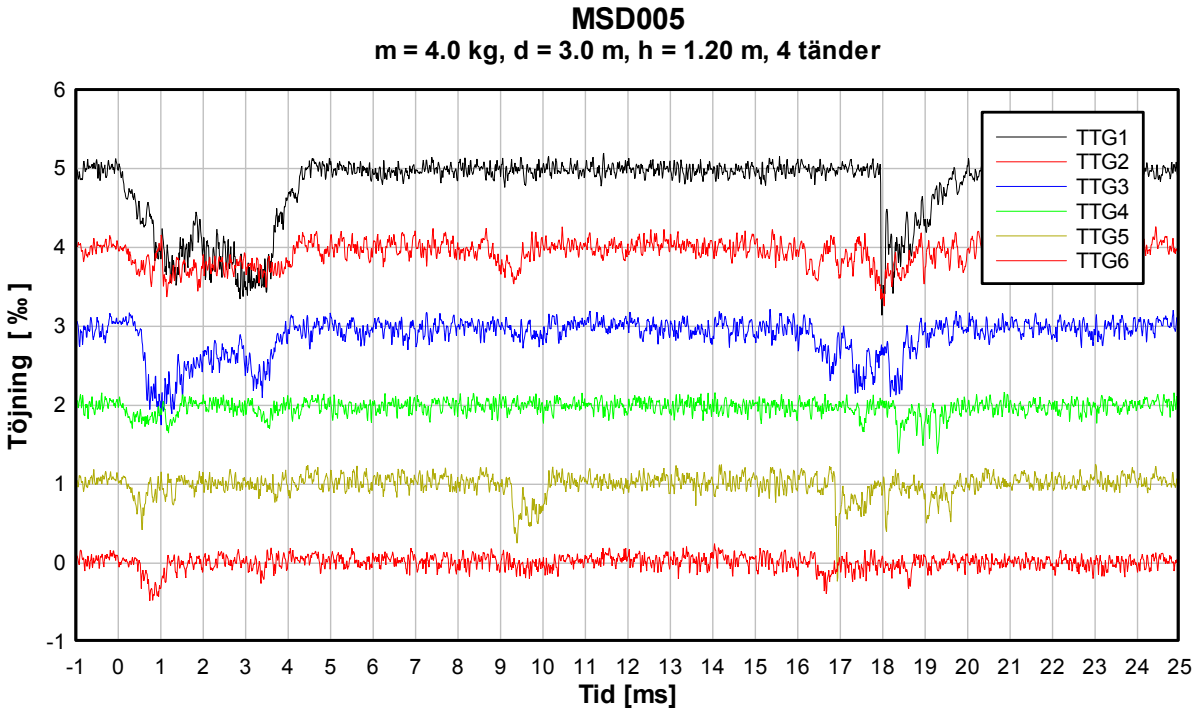
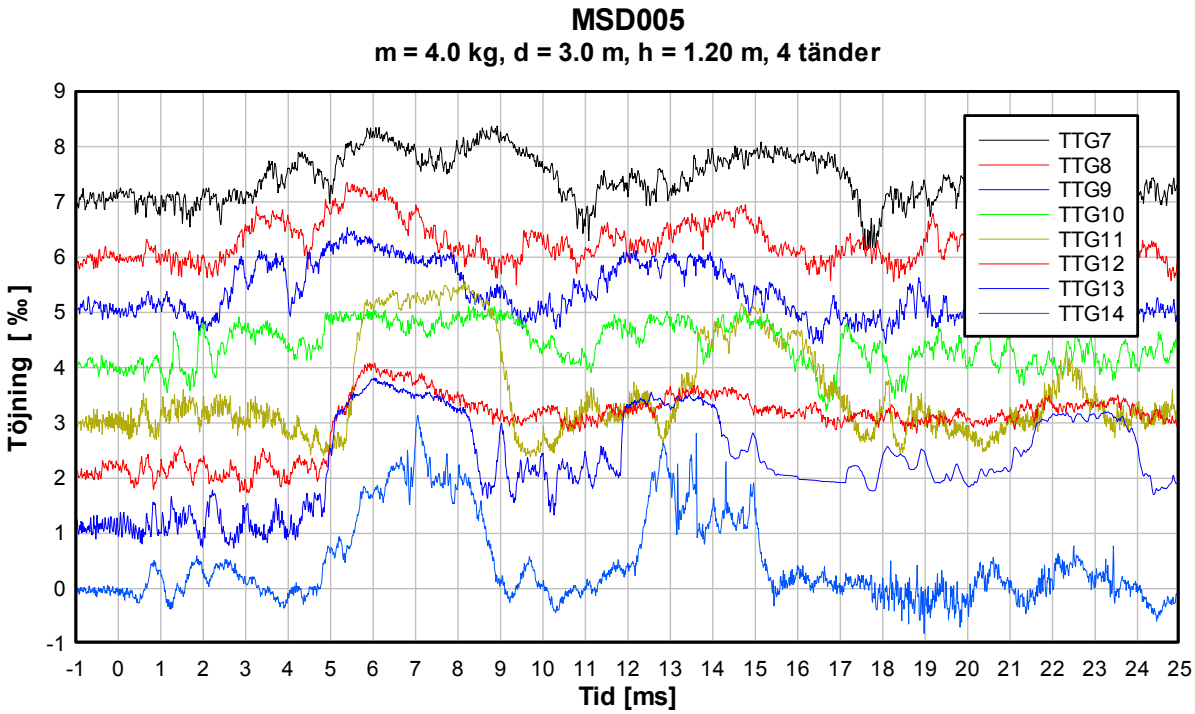


Diagram: Töjning för reboundkrafter



Skott 6

Diagram: Tryck

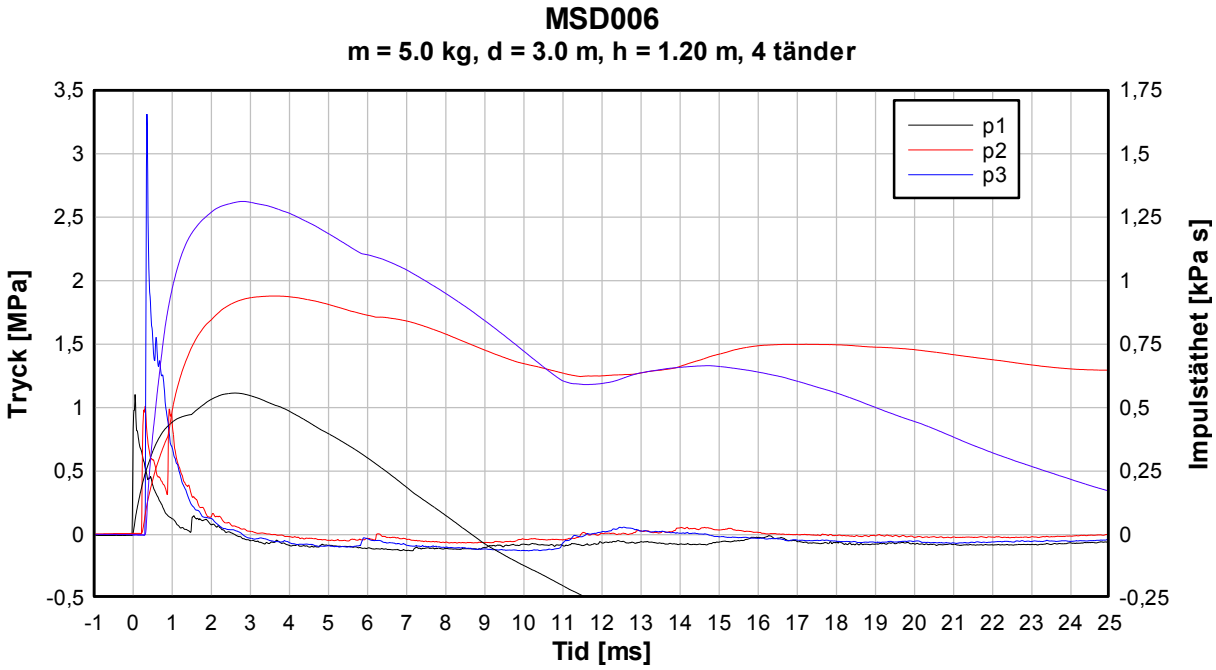


Diagram: Acceleration

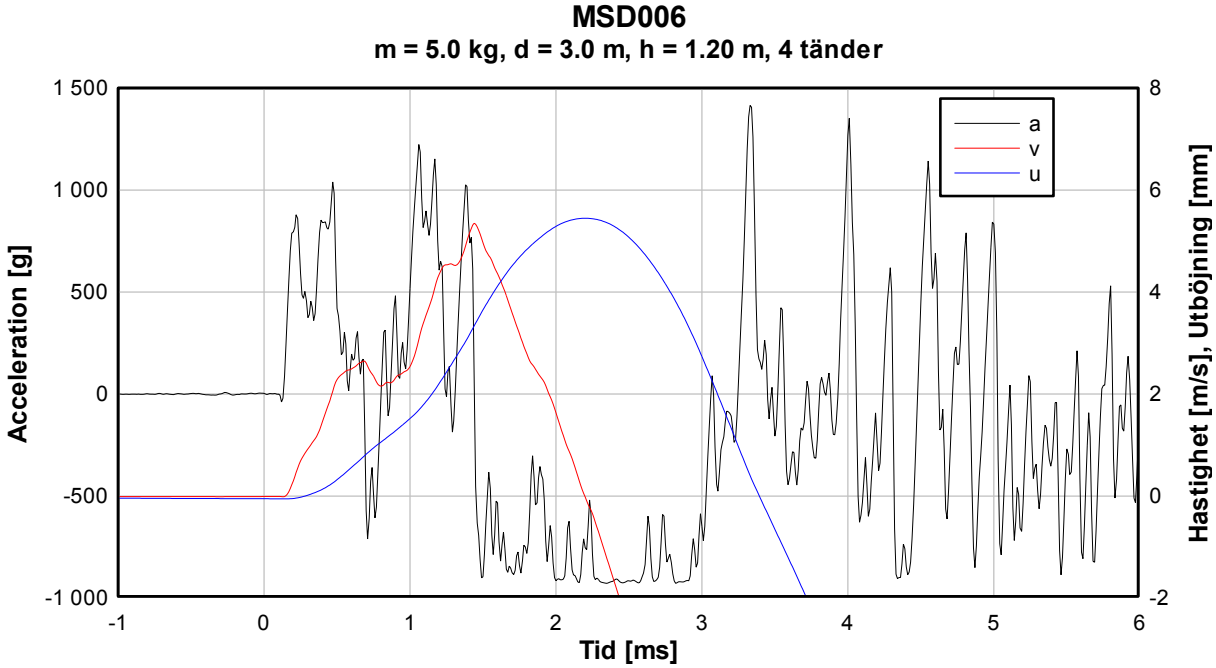


Diagram: Töjning för anliggningskrafter

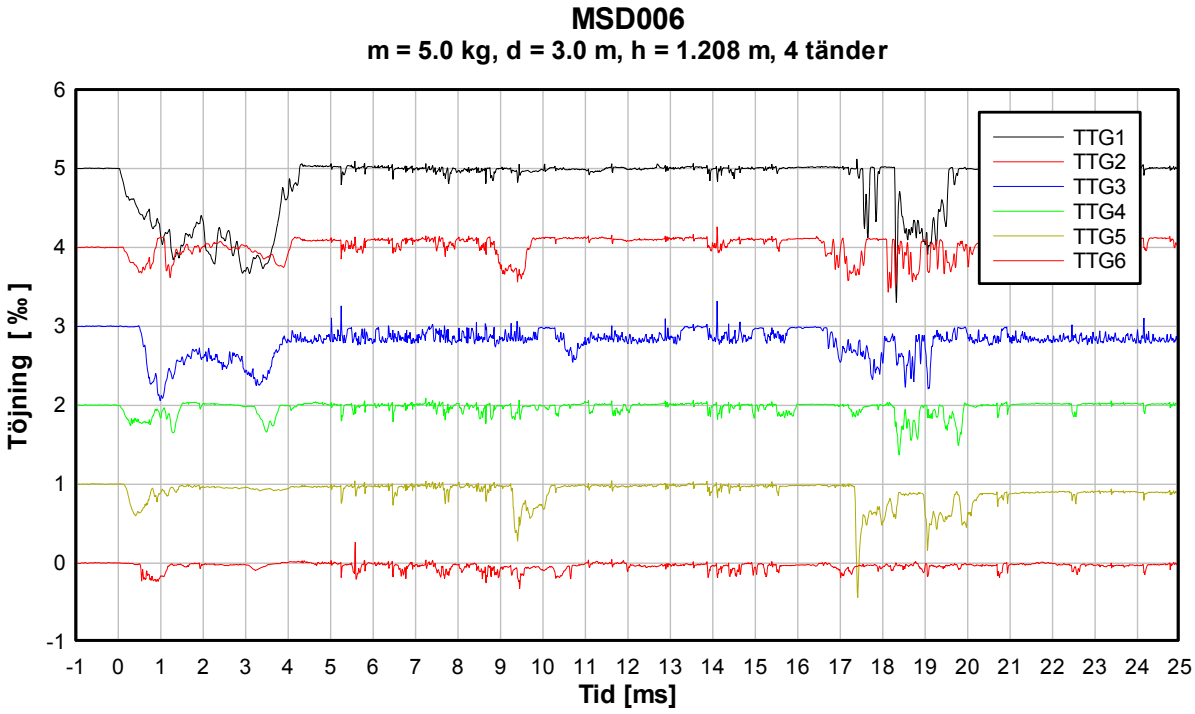
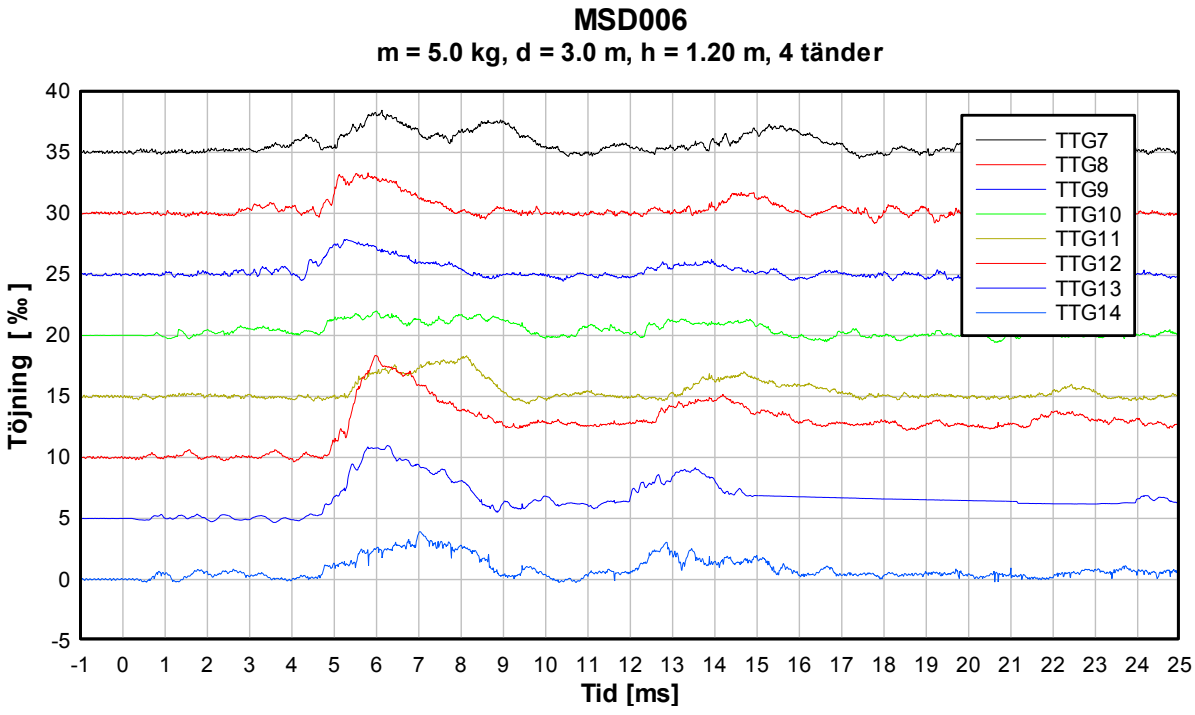


Diagram: Töjning för reboundkrafter



Skott 7

Diagram: Tryck

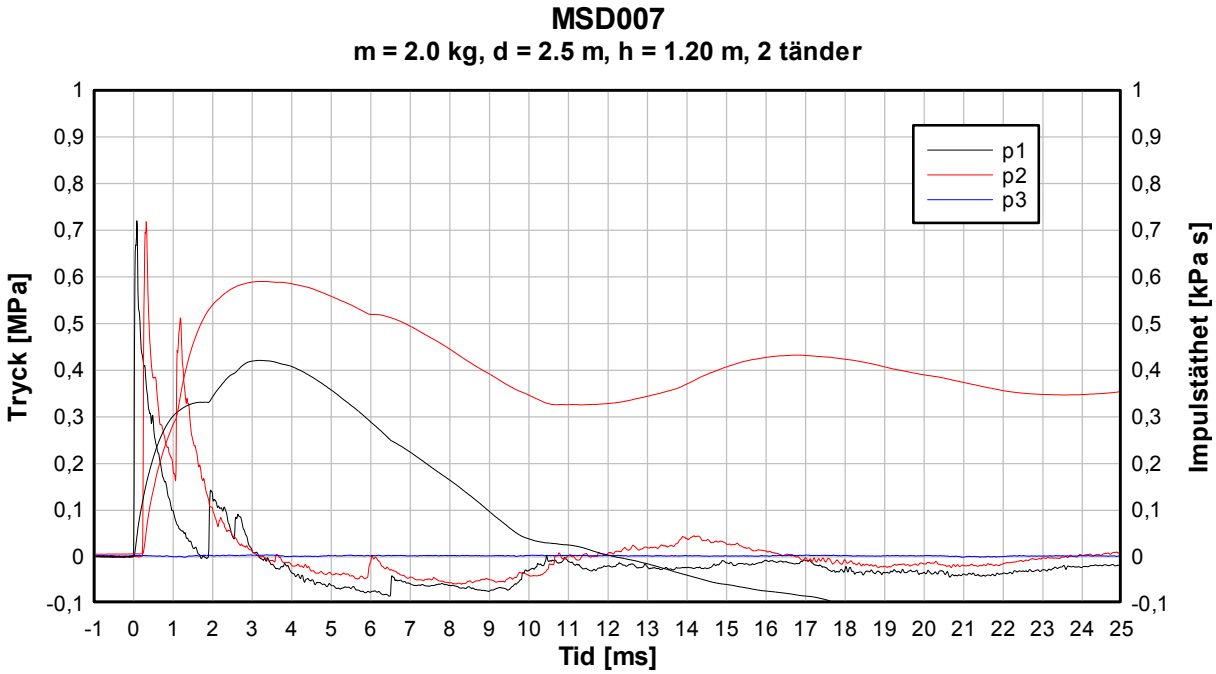


Diagram: Acceleration

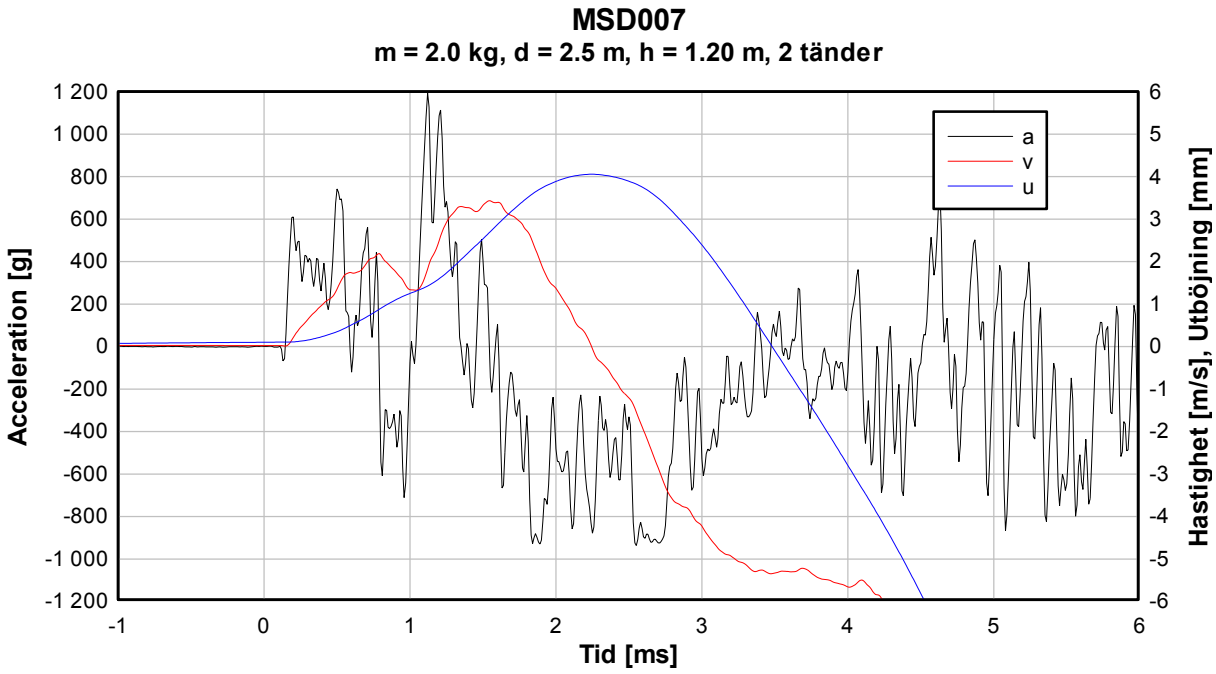


Diagram: Töjning för anliggningstryck

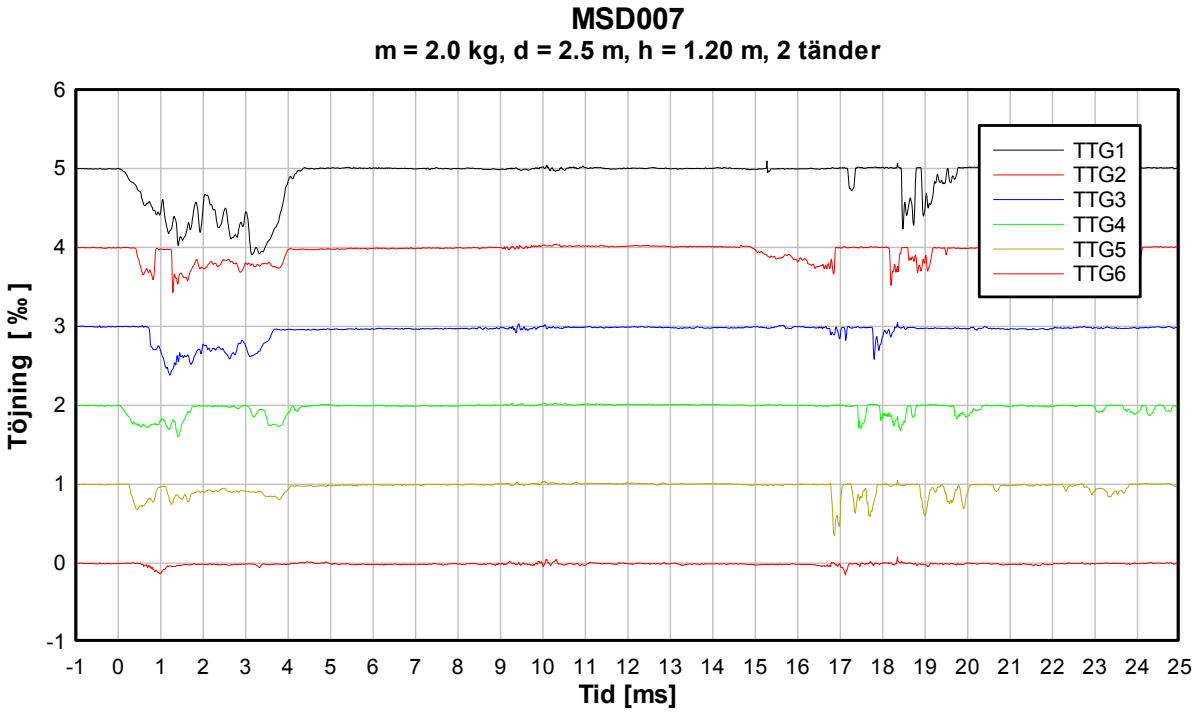
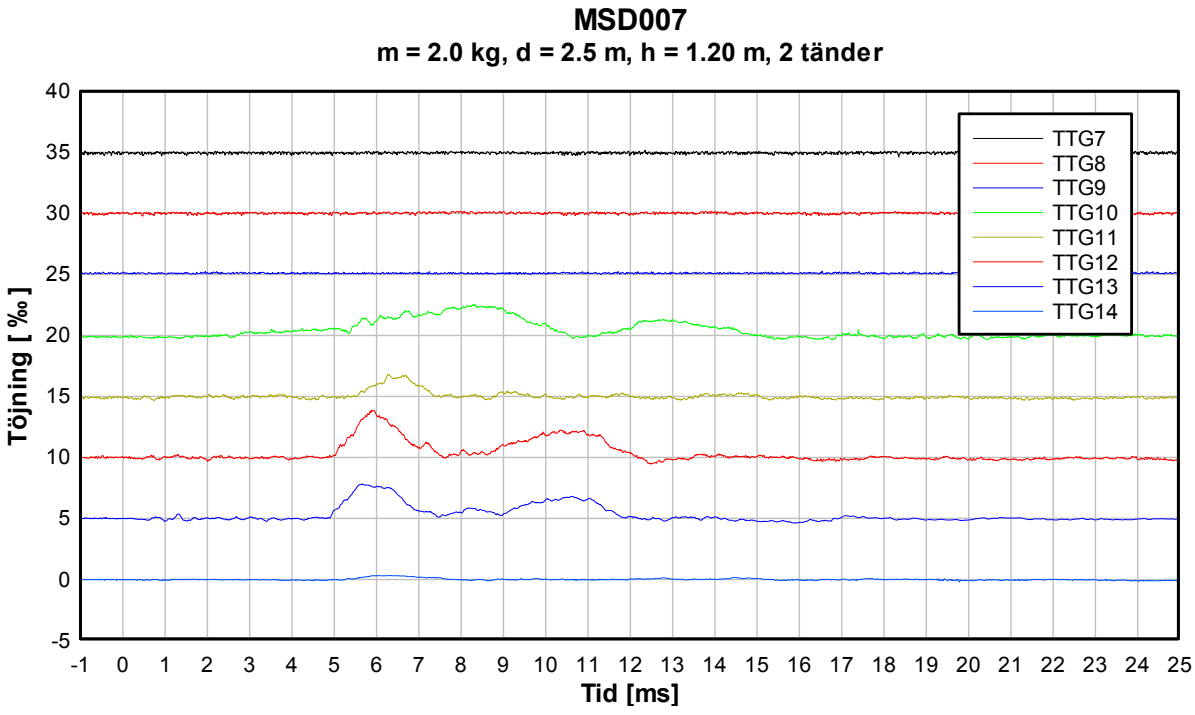


Diagram: Töjning för reboundkrafter



Skott 8

Diagram: Tryck

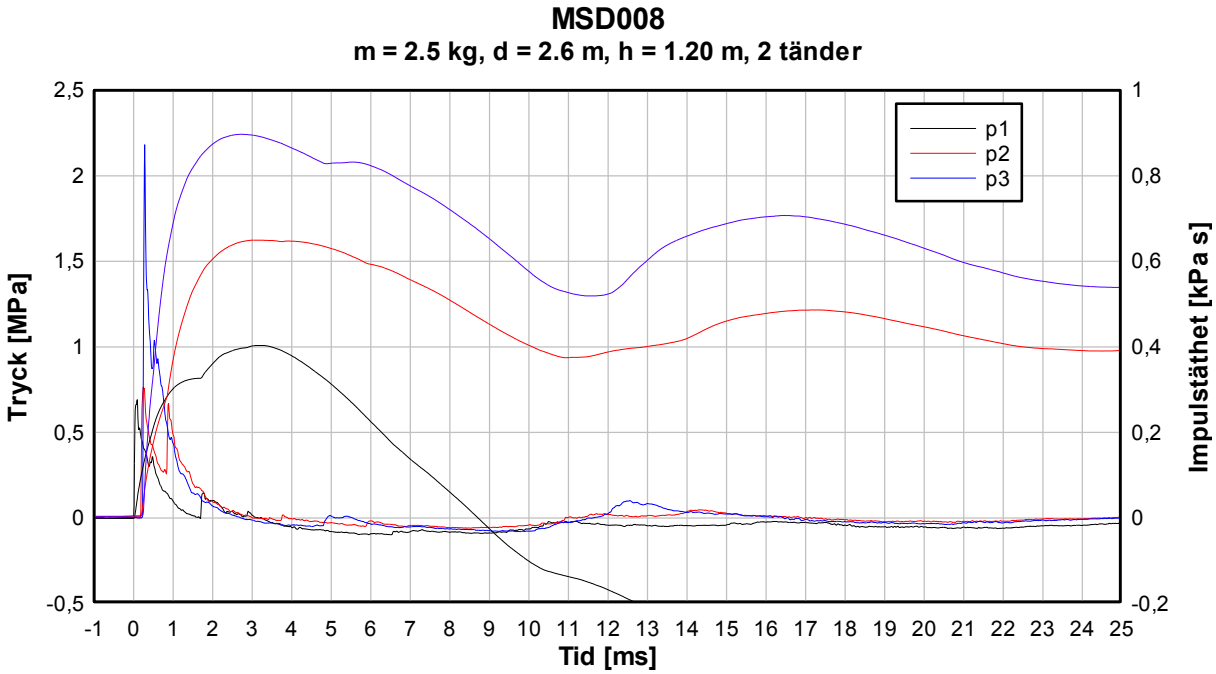


Diagram: Acceleration

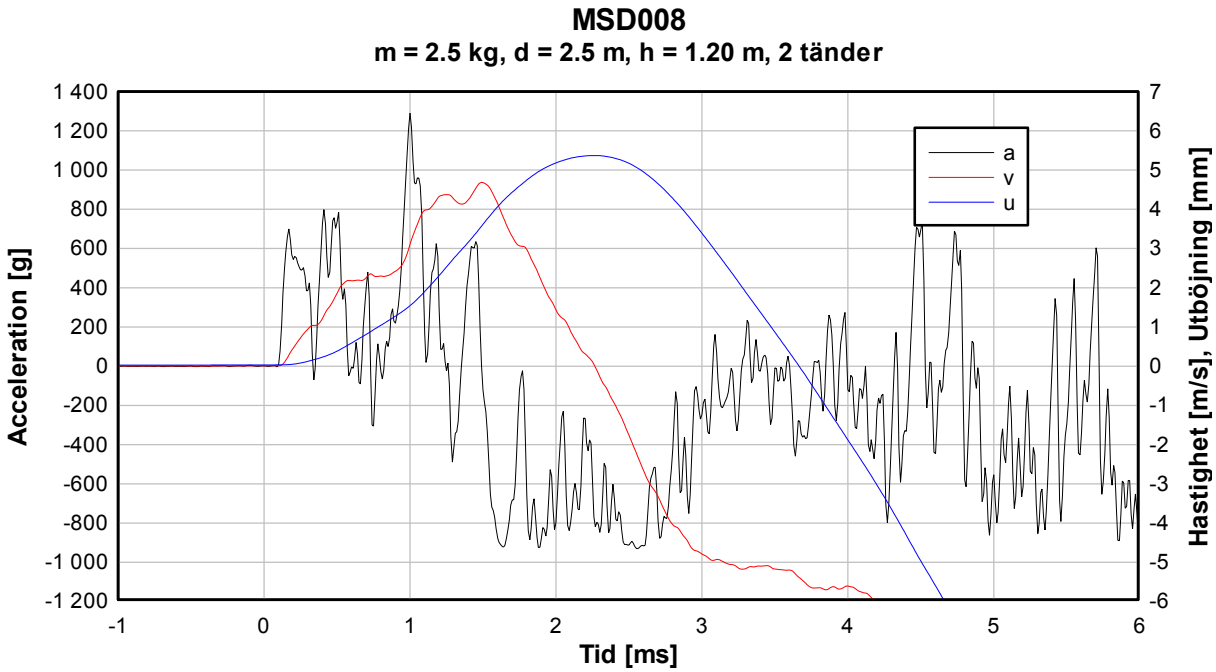


Diagram: Töjning för anliggningstryck

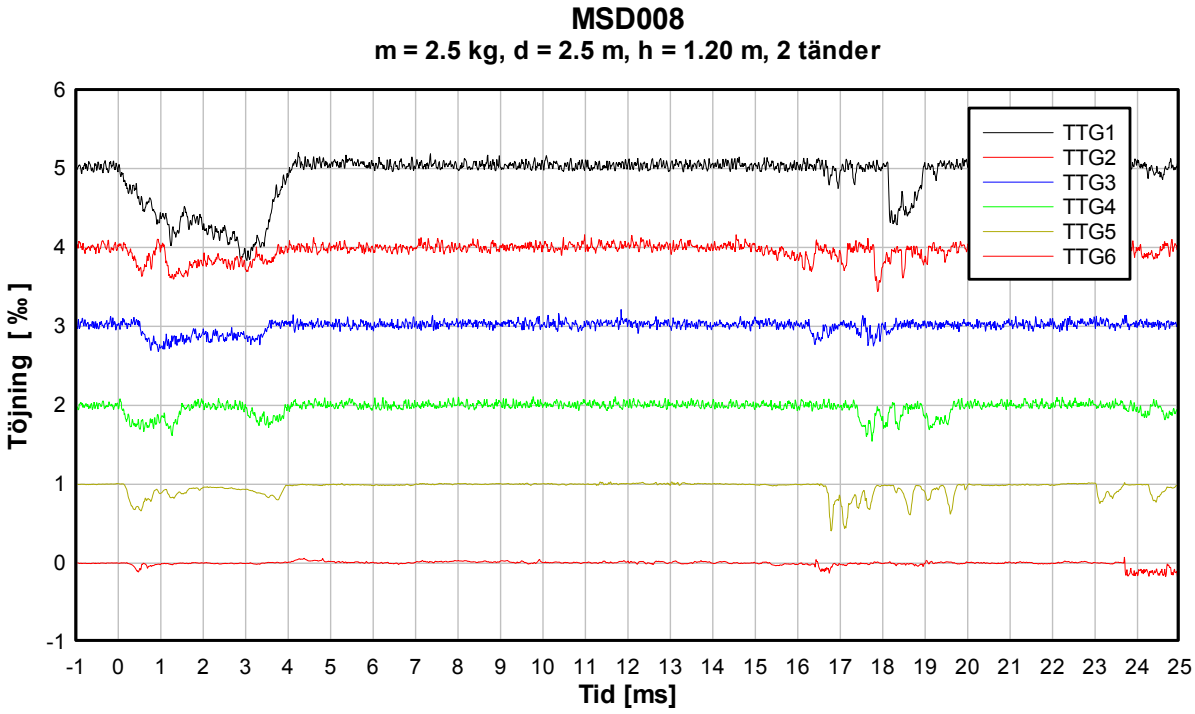
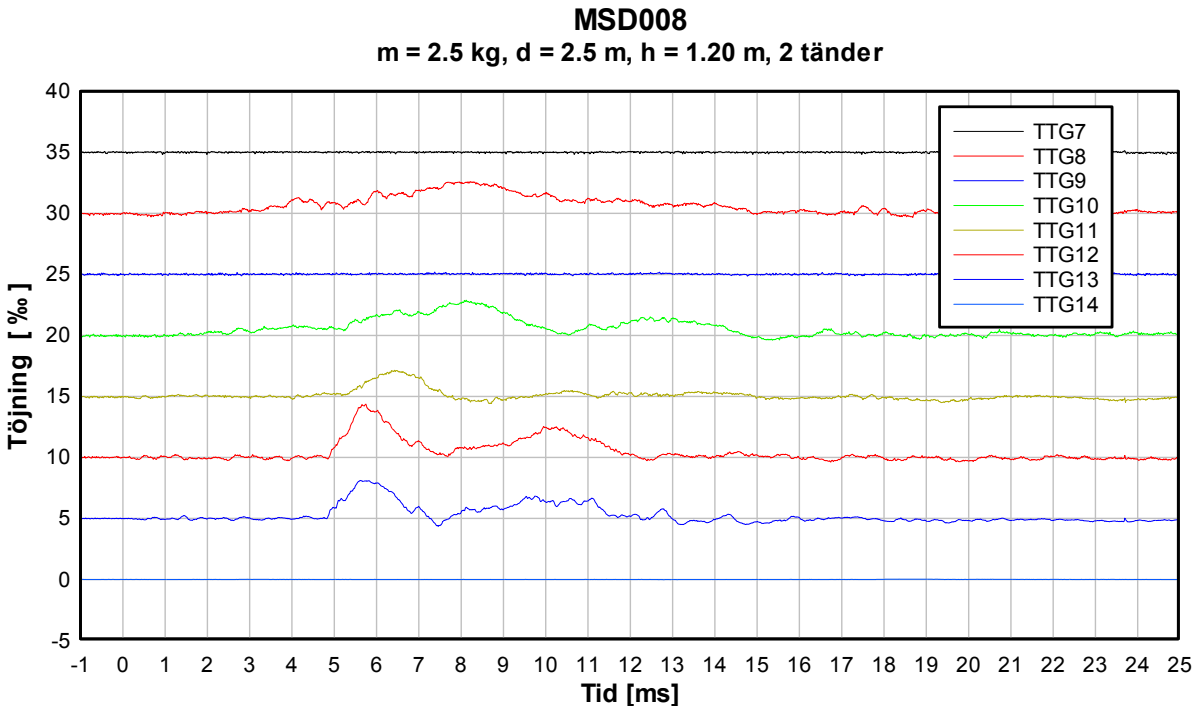


Diagram: Töjning för reboundkrafter



Skott 9

Diagram: Tryck

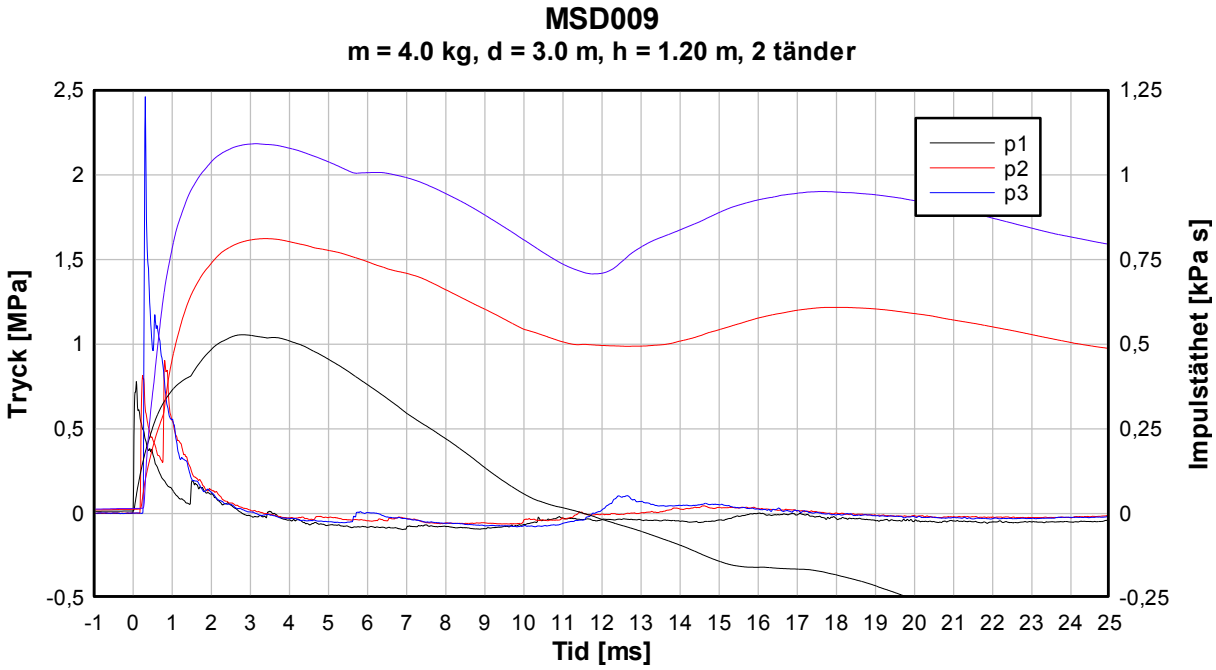


Diagram: Acceleration

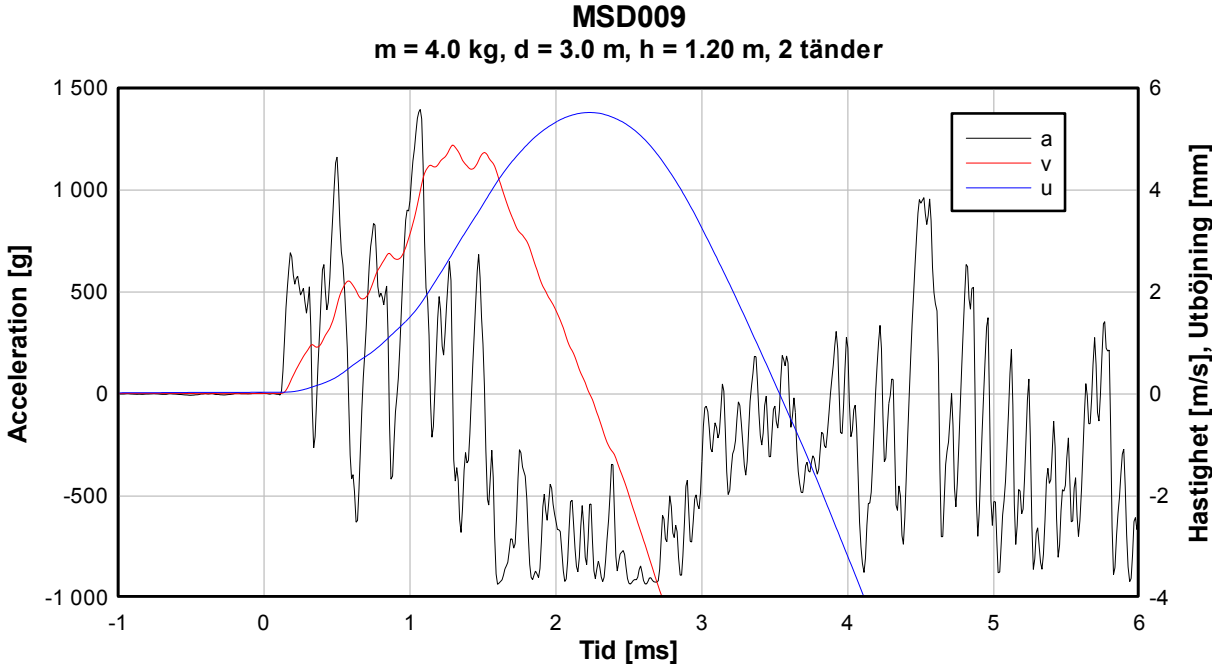


Diagram: Töjning för anliggningstryck

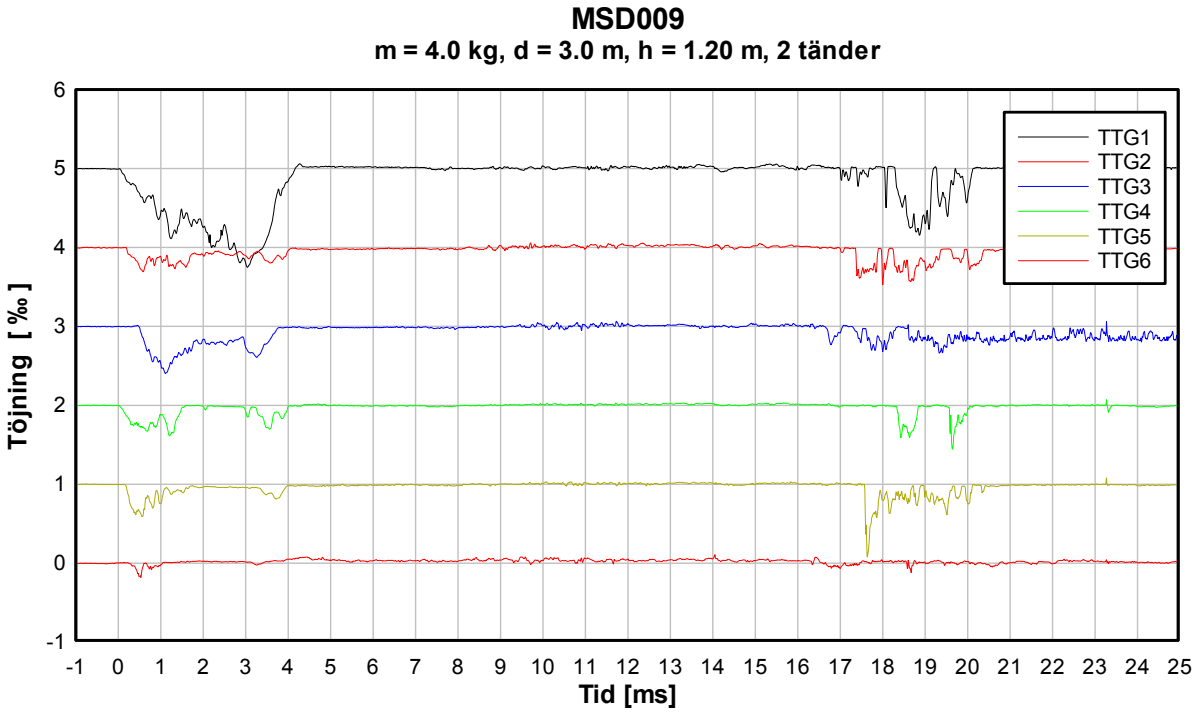
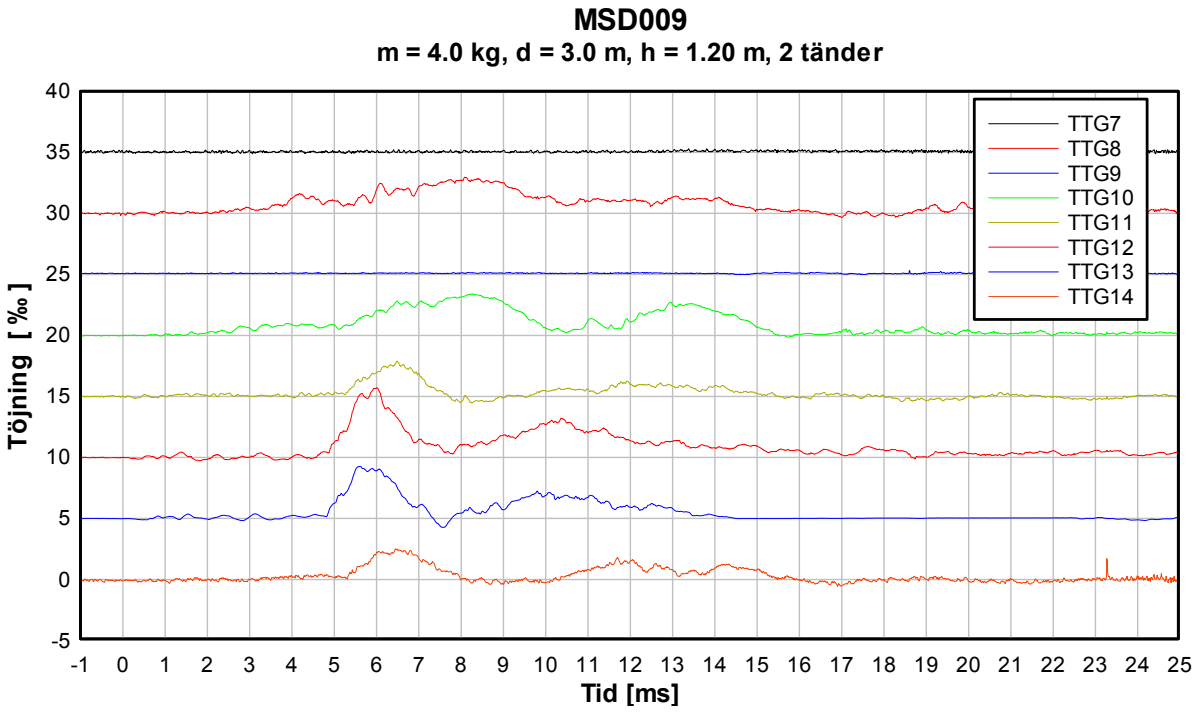


Diagram: Töjning för reboundkrafter



Skott 10

Diagram: Tryck

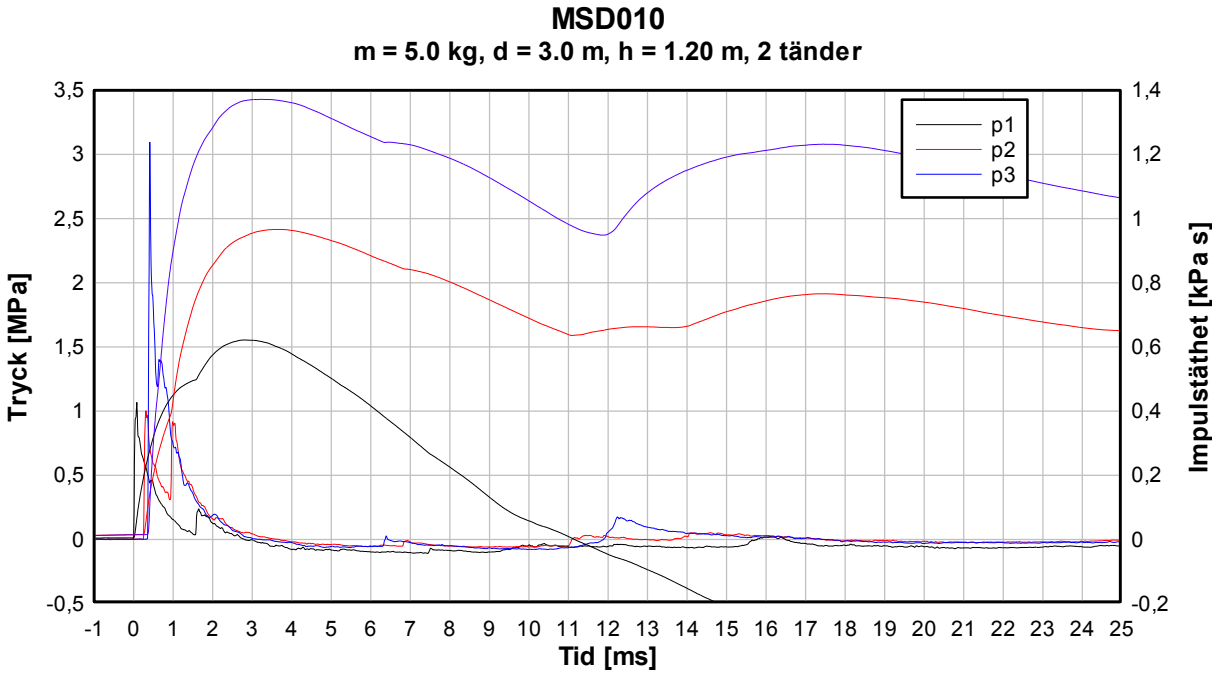


Diagram: Acceleration

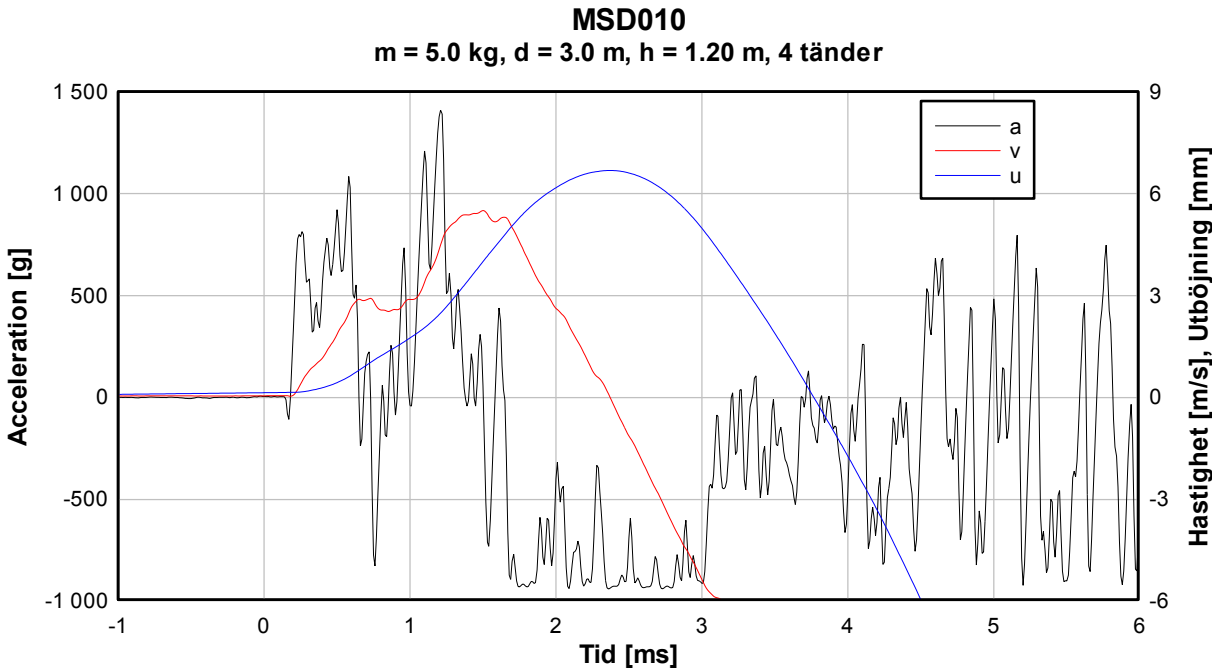


Diagram: Töjning för anliggningstryck

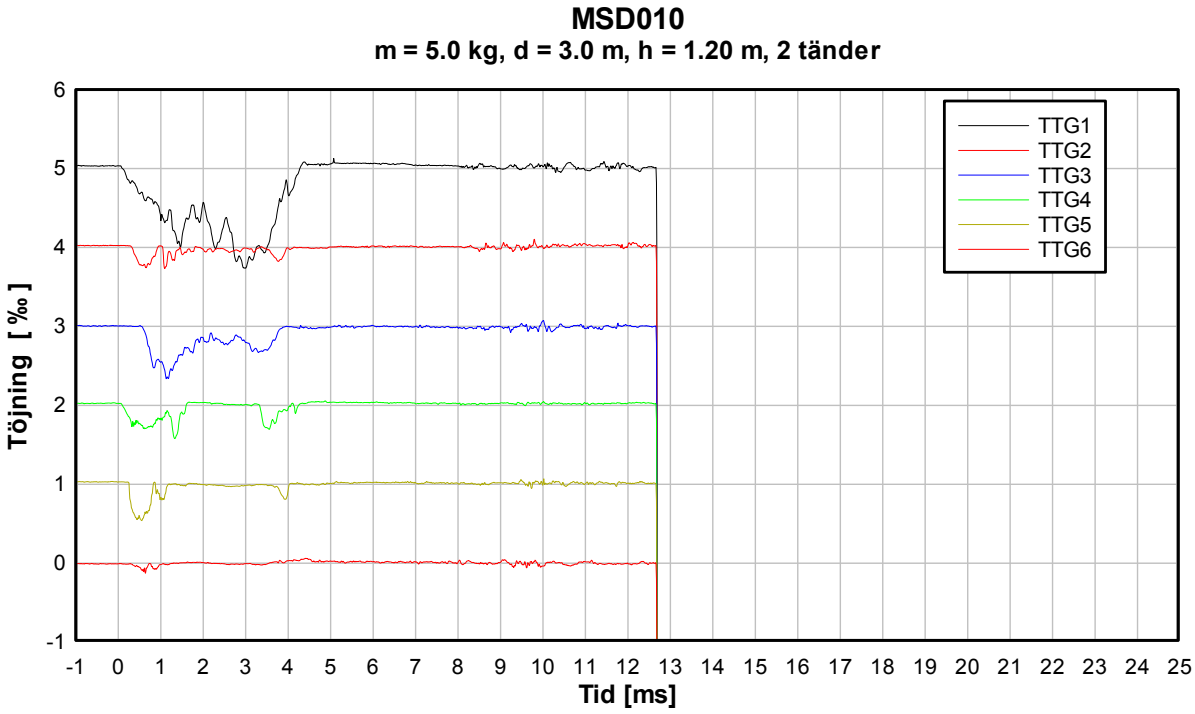
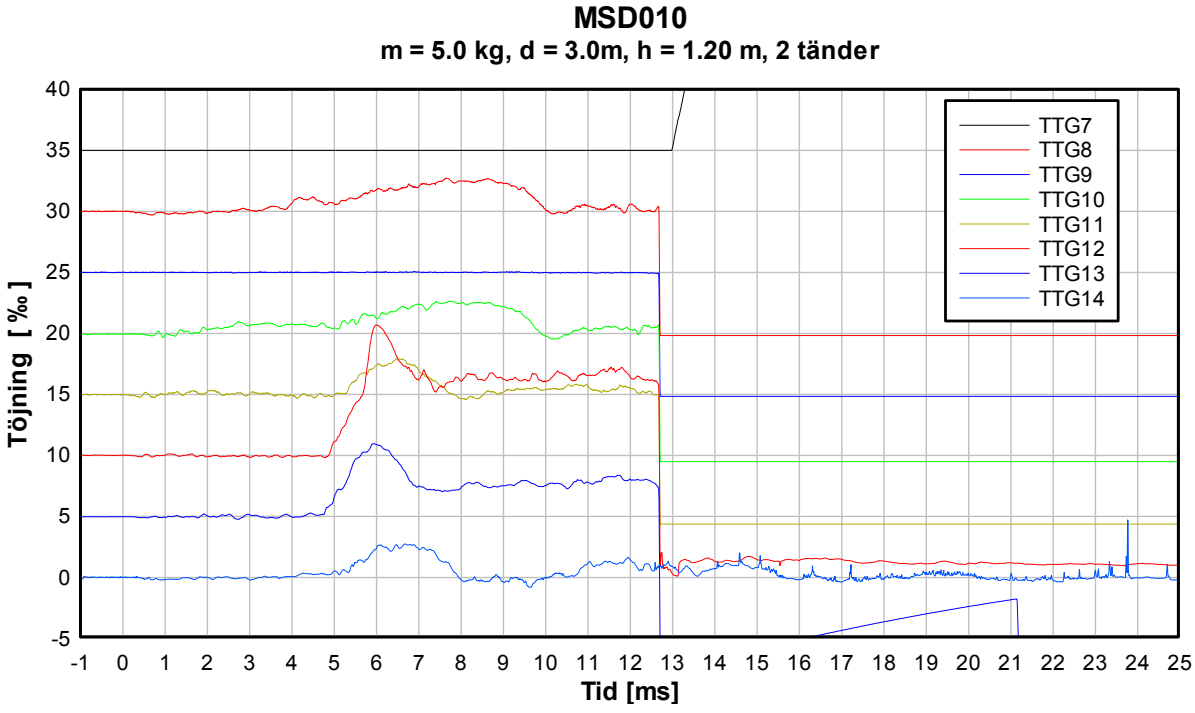


Diagram: Töjning för reboundkrafter



Skott 11

Diagram: Tryck

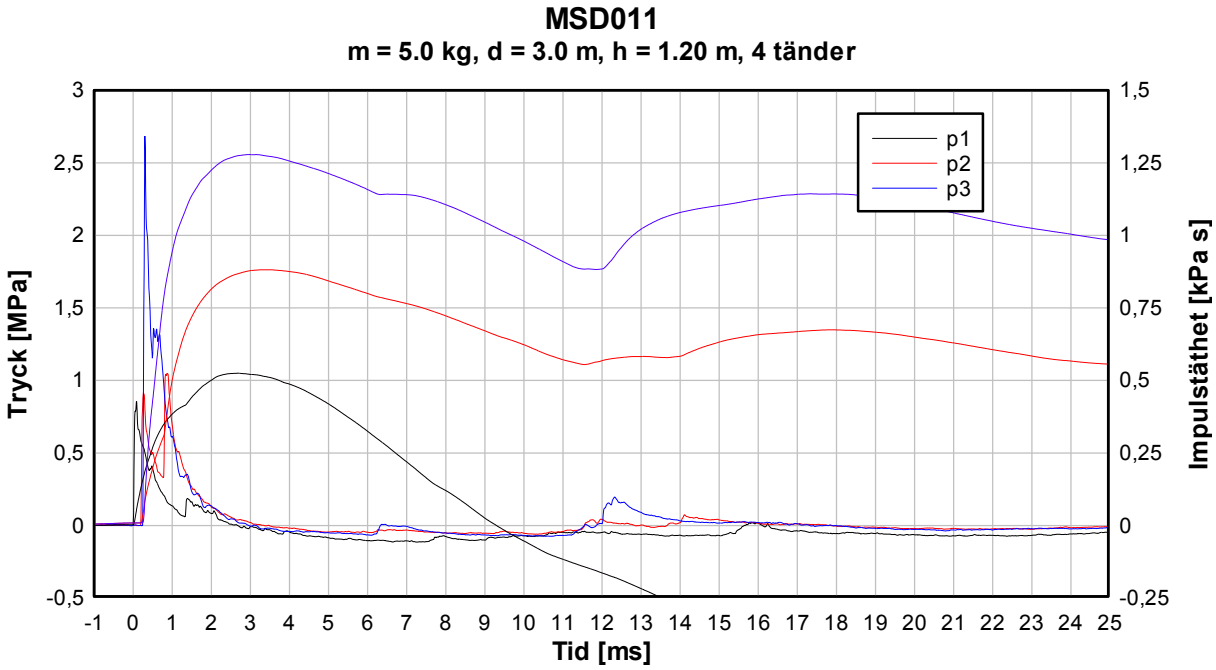


Diagram: Acceleration

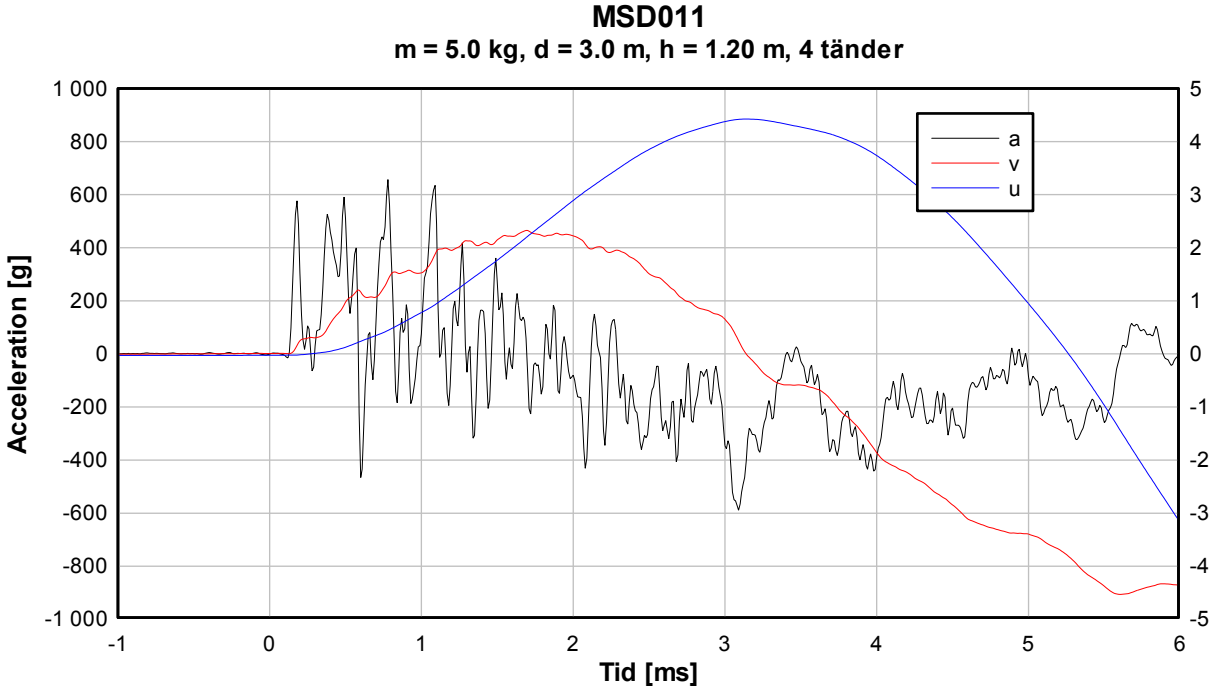


Diagram: Töjning för anliggningstryck

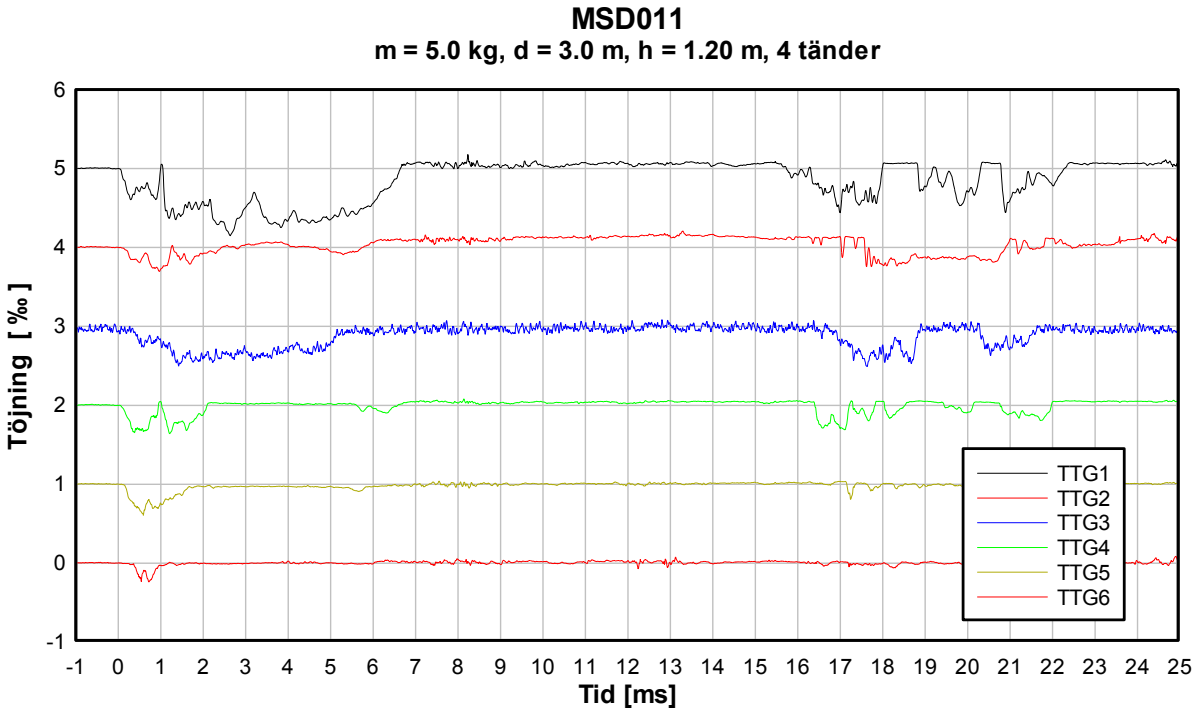
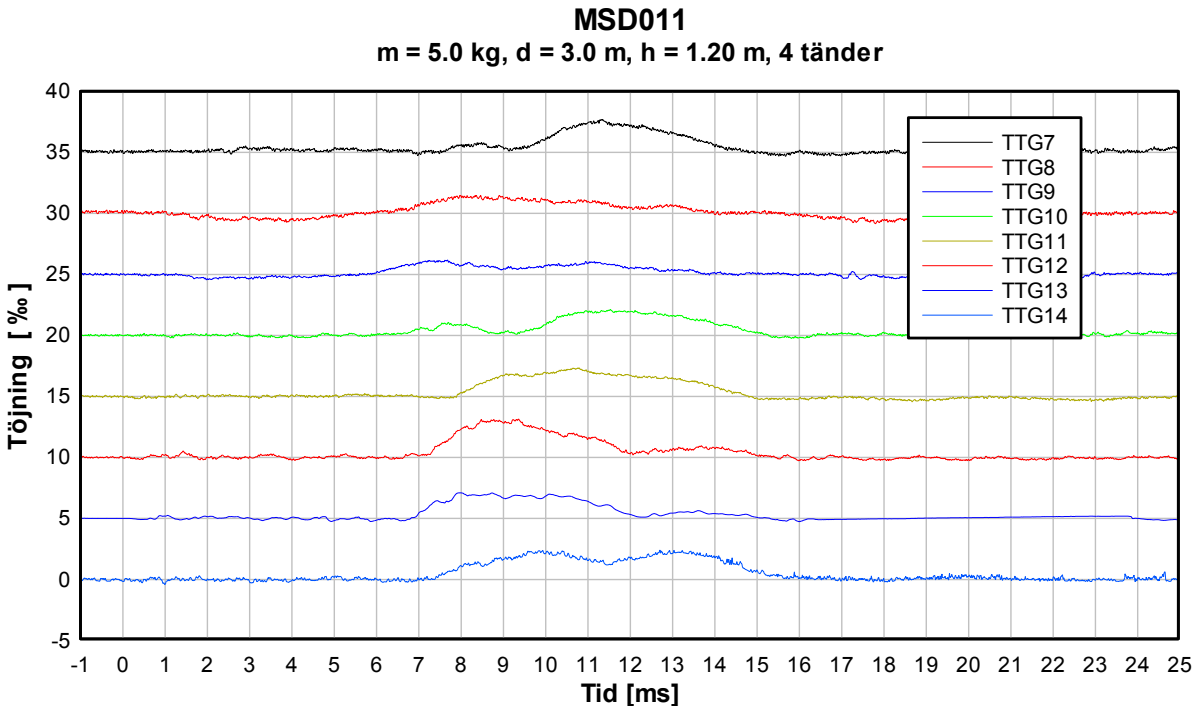


Diagram: Töjning för reboundkrafter



Bilaga 1 Mekanisk provning av stänger till MSD-dörr

Bakgrund/Syfte

Det har konstaterats att stålkvaliten i dragstängerna TTG 7 – TTG 14 inte överensstämmer med den avsedda. Eftersom det är väsentligt för uppskattning av reboundkrafternas storlek och energiupptagning, genomfördes provning på samtliga stänger för att fastlägga arbetskurvan för den okända stålsorten. Samtidigt gjordes kontroll med pålimmade töjningsgivare.

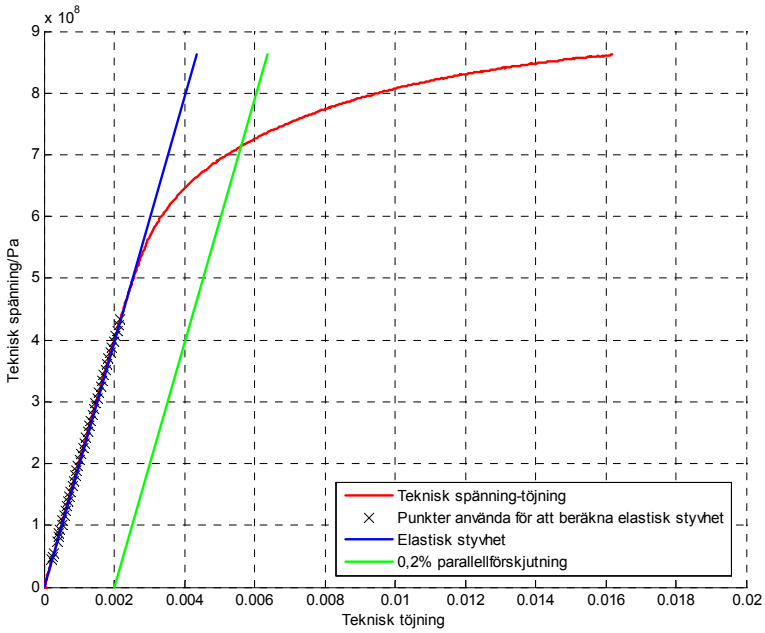
- **Komponent**:
  Dragstänger använda vid tidigare stötvågsbelastning av dörrblad. Stängerna har ett nedsvarvat liv med diameter 8 mm och längd 40 mm.

- **Material**:
  Okänd stålkvalité.

- **Försöksuppställning**:
  Provmaskin: servohydraulisk MTS-maskin som finns vid FOI Grindsjön.
  Givare: pålimmade töjningsgivare och maskinens inbyggda last- och förskjutningsgivare.
  Inspänning: servohydrauliska spännbackar.

För varje stång mättes flytgräns i form av $R_{p0,2}$ och brottgränsen R_m.

För höghållfasta stål saknas en distinkt sträckgräns och istället brukar spänningen vid 0,2 % plastisk töjning användas. Figur 1 visar hur förfarandet går till: mätvärden under den elastiska delen av provningen används för att beräkna styvheten med hjälp av en rät linje, den räta linjen parallellförskjuts 0,2 % och punkten där den linje skär flytkurvan sätts till $R_{p0,2}$. I tabell 1 finns en sammanställning av samtliga resultat.



Figur 1. Utvärdering av flytgräns.

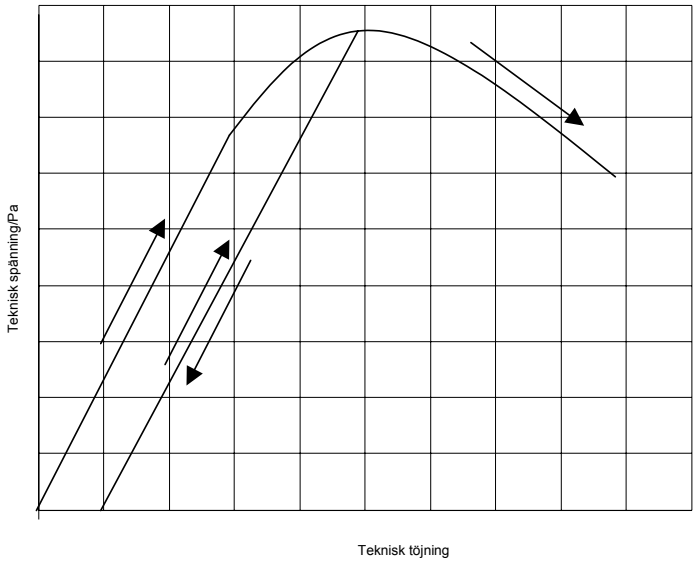
Brottgränsen R_m är den största kraften provet bär dividerat med initiala tvärsnittsarean. Vid R_m anses midjebildningen starta, det vill säga töjningen lokaliseras till en mindre del av provet som får en markerad midja. I tabell 1 finns en sammanställning av samtliga resultat.

Tabell 1. Flytgräns och brottgräns för samtliga prov.

	$R_{p0,2}$ /MPa	R_m /MPa
TTG 7	710	880
TTG 8	730	890
TTG 9	690	860
TTG 10	710	870
TTG 11	750	890
TTG 12	870	880
TTG 13	790	870
TTG 14	720	880
min:	690	860
max:	870	890
medel:	750	880
stdav:	60	8,6
stdav:	8,0%	0,98%

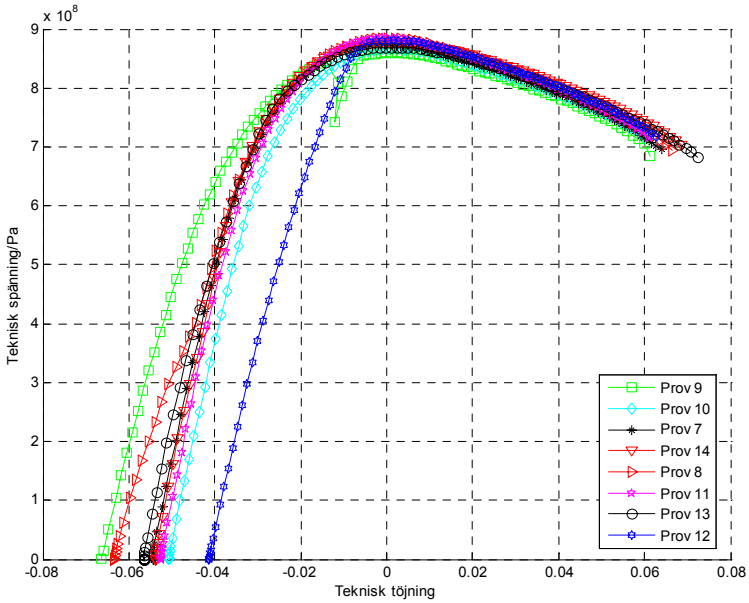
Som synes är spridningen i värden hos R_m mycket liten medan spridningen hos $R_{p0,2}$ är stor. Förklaringen är att stängerna har plasticerats under de föregående stötvågsförsöken. För ett givet material och en given geometri kan materialet befinna sig under kurvan (elastiskt) eller på kurvan (plasticerat). En avlastning från flytkurvan kommer att ske linjärelastiskt ned mot nollspänning och en bestående deformation och en förnyad pålastning kommer att ske

linjärelastiskt längs samma räta linje tills flytgränsen nås och materialet åter deformeras plastiskt, figur 2.



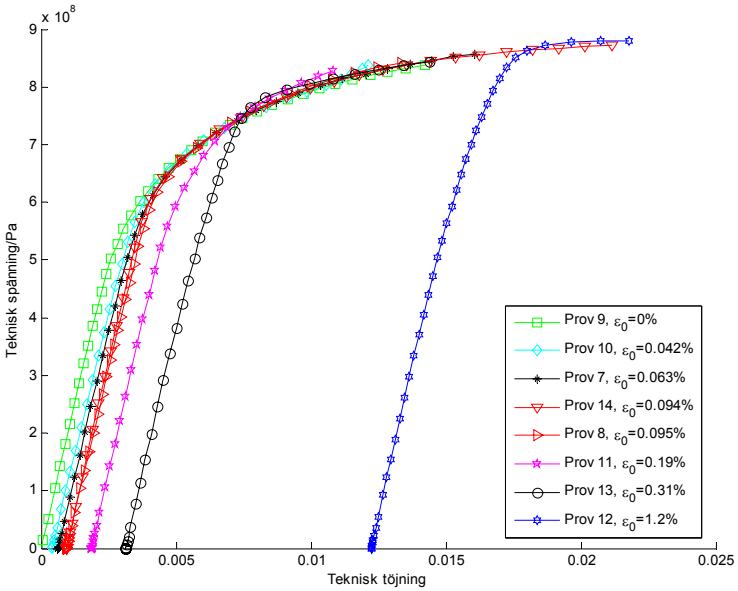
Figur 2. Pålastning till plasticering, följt av avlastning, pålastning till plasticering och deformation till brott.

För att illustrera effekten av de olika graderna av deformation i stängerna plottas teknisk spänning mot teknisk töjning mätt med MTS-maskinens inbyggda förskjutningsgivare, figur 3. Nollpunkten för töjning försköts så att 0: an hamnade vid R_m. Plotten störs av att prov 8 och 9 glidit i infästningarna.



Figur 3. Teknisk spänning mot teknisk töjning. Töjningens nollpunkt har förskjutits så att 0 ligger vid R_m.

I ett försök att uppskatta den töjning stängerna utsatts för användes den med töjningsgivare uppmätta signalen. Utifrån stigande värde på $R_{p0,2}$ parallellförsköts kurvorna så att de sammanföll med den tidigare flytkurvan. Detta ger också en ungefärlig uppskattning på den töjning som provet varit utsatt för, figur 4.



Figur 4. Parallellförskjutna kurvor uppmätta med töjningsgivare och uppskattning av fördeformationen.

Förutsatt att alla stänger var av samma material och inte deformerats under tillverkning, montering eller demontering har stängerna plasticerat under stötvågsförsöken. I tabell 2 finns värden på fördeformationen (den plastiska deformationen innan dragprovningen) och R_m och $R_{p0,2}$.

Tabell 2. Flytgräns och brottgräns för samtliga prov.

	$R_{p0,2}$/MPa	R_m/MPa	Fördeformationen/%
TTG 7	710	880	0,06
TTG 8	730	890	0,09
TTG 9	690	860	0
TTG 10	710	870	0,04
TTG 11	750	890	0,19
TTG 12	870	880	1,2
TTG 13	790	870	0,31
TTG 14	720	880	0,09