

DATA FRÅN UNDERVATTENSSKJUTNINGAR
FÖR PRILLIT A MED OLIKA INJICERING.

Gert Bjarnholt

DS 1973:21

6.11.1973

STIFTELSEN
SVENSK DETONIKFORSKNING
SWEDISH DETONIC RESEARCH FOUNDATION

VINTERVIKEN - 117 48 STOCKHOLM
SWEDEN

DATA FRÅN UNDERVATTENSSKJUTNINGAR
FÖR PRILLIT A MED OLIKA INITIERING.

Gert Bjarnholt

DS 1973:21

6.11.1973

Sammanfattning

Cylindriska laddningar av ett prillsbaserat ANFO-sprängämne (Prillit) har detonerats med olika initiering nedsänkta i vatten. Bubbelpulsenergien och stötvågsenergien i vattnet har mätts samtidigt som detonationshastigheten i olika zoner längs laddningen registrerats. Det av sprängämnet uträttade mekaniska arbetet har beräknats. Resultaten visar att för Prillit som laddats med laddapparat så att prillsen krossats vid laddningen var sprängkapsel nr 8 tillräcklig initiering för att ge maximal energi medan Prillit i okrossad form fordrar kraftigare initiering. Detonationshastigheten för den tryckluftsladdade Prilliten var markant högre än på Prillit i okrossad form.

<u>INNEHÅLLSFÖRTECKNING</u>	sid.
1. Inledning	1
2. Symbollista	2
3. Några synpunkter på initieringens och laddningsdiameterens inverkan på energiutvecklingen hos ett sprängämne	3
4. Presentation av försöksresultaten	5
5. Diskussion av resultaten	7
6. Referenser	8
7. Tabell	9
8. Figurer	10

1. Inledning

Den undersökning som beskrivs i denna rapport syftar främst till att hjälpa till att ge riktlinjer på hur ANFO skall initieras så det ger sin maximala energi vid praktisk bergsprängning i borrhålsdiameter omkring 40-50 mm. Experiment i fält i form av sprängningar i berg är kostsamma och svåra att utvärdera. Undervattensskjutning /1,2/ valdes som en mätmetod att studera problemet.

Då olika ANFO-sprängämnens detonationsegenskaper och initieringskänslighet varierar mycket, främst beroende på ammoniumnitratets kvalité begränsades undersökningen till provning av ett ANFO-sprängämne nämligen Prillit (Nitro Nobel AB). Detta sprängämne valdes då det tillverkas under kontrollerade förhållanden och dessutom används av förbrukare på många håll i landet.

2. Symbollista

- e_S = energien i vattenstötstången per viktsenhet sprängämne på avståndet R från laddningen.
 R = avstånd mellan laddning och tryckmätare.
 W = sprängämnets laddningsvikt^{1/}.
 ρ_o = vattnets densitet.
 c_o = ljudhastigheten i vattnet.
 $p(t)$ = trycktidförloppet i primärstötstången på avståndet R från laddningen.
 $\emptyset$ = tidskonstanten i trycktidförloppet $p(t)$ (den tid det tar för trycket att falla från sitt maxvärde till 0.37 gånger maxvärdet).
 e_B = gasklotsenergien (bubbelpulsenergien) per viktsenhet sprängämne (det arbete som spränggaserna uträttat mot det omgivande vattentrycket för att expandera gasklotet till sitt maximum).
 T_B = tiden för gasklotets första period (bubbelpulsperioden).
 A = $\mu e_S + e_B$ = det mekaniska arbete som sprängämnet uträttat vid undervattensskjutning.
 μ = faktor för att extrapolera den vid tryckmätaren mätta stötstågsenergien e_S till stötstågsenergi vid laddningen $\mu \cdot e_S$.
 ρ = sprängämnets densitet.
 D = sprängämnets detonationshastighet.

^{1/} inkluderar vikten av sprängkapselns laddning och primerladdning

3. Några synpunkter på initieringens och laddningsdiameterns inverkan på energiutvecklingen hos ett sprängämne.

När ANFO sönderfaller idealt vid sin detonation bildas huvudsakligen CO_2 , H_2O och N_2 i reaktionspunkterna och samtidigt frigörs ca 3.9 MJ energi per kilo sprängämne. Vid en given fördämning fordras ett visst minimum på detonationshastigheten för att tryck och temperatur skall nå sådana nivåer att det ideala sönderfallet ovan skall ske och ANFO avge sin maximala energi. Om detonationshastigheten ligger något under denna kritiska nivå bildas förutom de ideala reaktionsprodukterna även avsevärda mängder andra t.ex. NO , NO_2 , H_2 och CO som medför att den frigjorda energien sänks och som dessutom är ogynnsamma ur miljösynpunkt. Av det ovan sagda följer att man vill undvika att i någon del av laddningen ha en detonationshastighet under en viss kritisk nivå.

I en lång cylindrisk laddning kan denna delas in i en del med icke-stationär detonation närmast initieringen och en del med stationär detonation längre bort från initieringen. Den stationära detonationshastigheten styrs vid ett givet sprängämne och en given fördämning huvudsakligen av laddningsdiameter.

Genom att välja laddningsdiameter tillräckligt stor kan man alltså undvika att detonationshastigheten understiger den kritiska i den stationära delen av detonationen. För att undvika underkritisk detonationshastighet i det icke stationära området nära initieringen måste denna ha en viss minimistyrka. Längden av detta ickestationära område är i de flesta fall mindre än 10 laddningsdiameter. Låt oss betrakta en cylindrisk laddning med en diameter och fördämning som ger en stationär detonationshastighet över den kritiska. Om vi väljer olika stark initiering till denna laddning kan följande fem typfall tänkas i ordning av ökande initiering.

1. Detonationen startar ej eller dör ut nära initieringen. Bomskott.
2. Detonationen startar men har underkritisk hastighet i en kortare eller längre zon närmast initieringen under sin acceleration till stationär hastighet. Energiförlust.
3. Detonationen startar med en nivå som ligger över den kritiska men under den stationära för att sedan accelerera till stationär nivå. Maximal energi.
4. Detonationen startar med stationär nivå direkt. Maximal energi.

5. Detonationen startar med en nivå som ligger över den stationära för att sedan retardera till stationär nivå. Maximal energi.

Fall 1 uppmärksammas i praktiken enkelt och åtgärdas då med att öka initieringen så att man ej får bomskott. Initiering som ger fall 2 torde dock kunna förekomma opå kallat i praktiken och ger alltså ej maximalt utnyttjande av sprängämnets potentiella energi. Fall 3, 4 och 5 ger alla maximal energi från sprängämnet dock kan initiering som ger fall 5 vara olämpligt ur ekonomisk synpunkt då den primerladdning som används som initiering oftast är dyrare per energienhet än ANFO.

4. Presentation av försöksresultaten.

Resultaten presenteras i tabell 1. Kolumnerna är betecknade från A till J och kommenteras nedan.

A. Skottnummer.

B. Laddningsdimension.

Laddningarna bestod av Prillit packat i glaströr med längden 750 mm och diametrar $\emptyset_y/\emptyset_i$, 80/75, 59/54 eller 38/33 mm. Som gavlar användes cirkulära plexiglasskivor med tjockleken 10 mm (se fig 1) som limmades på med tvåkomponent epoxylim.

C. Initiering.

Fyra olika initieringsalternativ prövades (se fig. 2).

Alt. 1 (sprk). Sprängkapsel nr 8.

Alt. 2 (sprkf). Sprängkapsel nr 8 + sprängkapselförstärkare^{1/}
för Prillit (Nitro Nobel AB).

Alt. 3 (DxB 150 g). Sprängkapsel nr 8 + 150 g Dynamex B.

Alt. 4 (Sprd 150 g). Sprängkapsel nr 8 + 150 g sprängdeg m/46 (Bofors).

D. Fysikaliskt tillstånd (hos sprängämnet).

Två fysikaliska tillstånd hos sprängämnet förekom.

Alt. 1 (pr.) Prilliten hälldes direkt ned i rören som sedan skakades för hand så att sprängämnet packade sig. Prilliten bestod då av tätpackade okrossade prills.

Alt. 2 (pl.pr.) Prilliten laddades med tryckluftladdapparat av typ Portanol (Pneumatisk Transport AB). Sprängämnet bestod då huvudsakligen av prillskorn som krossats till partiklar avsevärt mindre än de ursprungliga prillsen.

E. Volymvikt.

Volymvikten hos Prilliten mättes i de laddade rören genom vikts- och volymmätning.

F. Detonationshastighet

Detonationshastigheten i laddningen mättes genom att två kontaktsonder placerade utanpå laddningen kortslöts av detonationsvågen. Tiden mellan kortslutningarna mättes med en elektronisk tidintervallmätare. Genom

1/ Innehåller ca 4 g högbrisant sprängämne

att placera ut kontakterna på olika delar av laddningen mättes detonationshastigheten i endera av tre zoner (I, II, III) vid varje skott (se fig 1). Genom att skjuta 3 identiska laddningar kan då detonationshastigheterna i de tre zonerna bestämmas.

G. Stötvågsenergi e_S .

Laddningarna hängdes under vattenytan på 10 m djup med laddningens längd-axel parallellt med lodlinjen och med initieringspunkten nederst. Energien i vattenstötvågen på avståndet 34.4 m och på samma djup som laddningen mättes genom att trycktidförloppet i vattenstötvågen mättes och stötvågsenergien e_S beräknades ur /1,2/.

$$e_S = \frac{4\pi R^2}{W \rho_0 c_0} \int_0^{6.7\emptyset} p^2(t) dt \quad (1)$$

H. Bubbelpulsenergi e_B .

Tidsintervallet mellan den primära vattenstötvåg som alstrades av laddningens detonation och den som alstrades av gasklotets första implosion mättes. Ur denna tid T_B beräknades sedan bubbelpulsenergien e_B genom /1,2/

$$e_B = - \frac{1.63 \cdot 10^4}{W} \left[\sqrt{1 - 0.572 T_B} - 1 \right]^3 \quad (2)$$

I. Mekaniskt uträttat arbete A .

Det av sprängämnet mekaniskt uträttade arbetet beräknades ur /2/.

$$A = \mu \cdot e_S + e_B \quad (3)$$

$$\mu = 2 + \frac{\rho D^2 \cdot 10^{-11}}{8} \quad (4)$$

$$\text{där } \begin{cases} \rho = [\text{kg/m}^3] \\ D = [\text{m/s}] \end{cases}$$

Laddningens geometri har i denna undersökning avvikit mer från den sfäriska än i /2/. Dessutom har det reducerade avståndet $R/W^{1/3}$ varit något större. Absolutvärdet på det mekaniskt uträttade arbetet A som beräknats i denna rapport kan därför vara ett par procent lägre än det som beräknats i /2/.

J. A/A^* .

Det mekaniskt uträttade arbetet A^* uppnås vid fullgod initiering. A^* har beräknats som ett medelvärde ur skott nr 238, 239 och 240.

5. Diskussion av resultaten.

Resultaten i tabell I visar att för Prillit som tryckluftsladdats så att prillisen krossats (pl.pr.) räcker enbart sprängkapsel nr 8 som initiering för att ge full energi i laddningsdiametern 75 mm. De laddningar som innehöll okrossad Prillit visade dock en markant energiförlust på c:a 5% ($A/A^* = 0.95$) vid initiering med enbart sprängkapsel nr 8. Denna energiförlust ökade till ca 21% ($A/A^* = 0.79$) när laddningsdiametern sänktes till 54 mm då också avsevärda mängder nitrosgaser syntes i reaktionsprodukterna när bubblan ventilerade över vattenytan. En ytterligare sänkning av diametern till 33 mm gav bomskott. Även initieringsalternativen sprängkapselförstärkare och 150 g DxB visade en svag energiförlust på ca 2% ($A/A^* = 0.98$) för fallet okrossad Prillit. Denna skillnad är dock på gränsen till vad som kan anses vara signifikant med denna mätmetod. Vad beträffar de mätta detonationshastigheterna kan man se att den krossade Prilliten gav markant högre värden än den okrossade. De mätta hastigheterna i zon III torde ligga nära den stationära hastigheten för laddningarna. Beroende på att tändpulsen för sprängkapseln i några fall triggade tidintervallmätaren i förtid missades detonationshastigheterna för några av laddningarna.

Om man vill applicera de resultat som redovisas i denna rapport på initiering av Prillit vid praktiskt bergsprängning, bör man ta hänsyn till att berget är en bättre fördämning av sprängämnet än vad de i vatten nedsänkta glaströren i denna undersökning varit. Laddningsdiametern 75 mm vid vattenfördämning torde motsvara diametern ca 40-50 mm vid bergfördämning vad gäller den stationära detonationshastigheten. Å andra sidan bör hänsyn tagas till att sprängkapslar och primerladdningar vid denna undersökning placerades i ett ur initieringssynpunkt gynnsamt läge på laddningen som kan vara svårt att uppnå i praktiken.

Utgående från resultaten i denna undersökning kan man ställa upp följande rekommendationer för initiering av Prillit i torra borrhål med diametern ca 50 mm.

1. Prillit (tryckluftsladdad, krossad).

Tillräcklig initiering: sprängkapsel nr 8.

Rekommenderad " : sprängkapselförstärkare.

2. Prillit (okrossad).

Tillräcklig initiering: ca 150 g Dynamit eller sprängkapslekänsligt vattengelsprängämne eller ca 50 g högbrisant sprängämne^{1/} typ sprängdeg, TNT (pressad), Startex eller Pentolit.

Rekommenderad initiering: ca 2 x tillräcklig initiering.

1/ grov uppskattning

6. Referenser.

1. Bjarnholt, G. "Evaluation of the performance of explosives by underwater explosion". Stiftelsen Svensk Detonikforskning, rapport DS 1972:16B. (1972).
2. Bjarnholt, G. "Data från undervattensskjutningar för 39 olika sprängämnen". Stiftelsen Svensk Detonikforskning, rapport DS 1973:7. (1973).

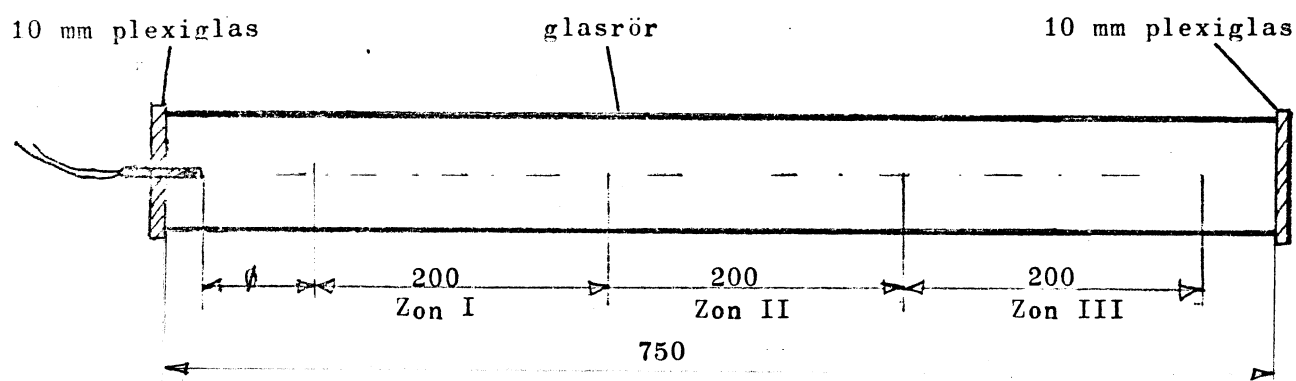
Författaren ber att få tacka Dyno Industrier A/S för möjligheten att få använda skjutstationen i Engene för experimenten.

7. Tabell 1.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
skott nr.	laddn. dim. ϕ_i mm	initiering	fysik. tillst.	volym- vikt	det.- hast. D km/s	stöt- energi e_S MJ/kg	bubbelp.- energi e_B MJ/kg	uträttat mek. arb. A MJ/kg	A/A*
220	75	sprk	pr	860	1.90(1)	1.02	1.74	-	0.95
218					3.10(III)	1.02	1.70	3.75	
219					3.20(III)	1.00	1.74	3.75	
222	75	sprk	pr	950	3.50(1)	1.08	1.73	3.91	0.99
223					3.50(II)	-	-	-	
224					3.50(III)	1.09	1.76	3.96	
236	75	sprkf	pr	860	-	1.05	-	-	0.97
237					-	1.03	1.79	3.86	
216					3.10(III)	0.90	1.65	(3.46) ¹⁾	
221	75	sprkf	pr	950	3.40(1)	1.06	1.75	3.89	0.99
228					4.10(II)	1.08	1.79	3.97	
217					4.10(III)	1.09	1.76	3.96	
234	75	sprkf	pr	860	2.50(1)	1.04	1.76	3.85	0.98
235					3.30(III)	1.05	1.77	3.88	
225					-	1.09	1.73	3.93	
226	150g	DxB	pr	950	3.90(II)	1.07	1.77	3.93	0.99
227					4.10(III)	1.06	1.76	3.90	
238	150g	sprd.	pr	860	-	1.12	1.69	3.94	1.00
239					-	1.13	1.70	3.97	
240					-	1.10	1.70	3.91	
231	150g	sprd.	pr	950	4.50(1)	1.08	1.76	3.94	1.00
232					-	1.08	1.76	3.94	
233					3.80(III)	1.11	1.72	3.96	
230	54	sprk	pr	860	1.60(1)	0.80	1.51	3.12	0.79
229					3.00(III)	0.79	-	-	
241	33	sprk	pr	860	-	-	-	-	bomsk.
242					-	-	-	-	

1) Ej medtagen vid medelvärdesbildningen. Resultatet sannolikt påverkat av något systematiskt fel.

[mm]

Fig. 1 Laddningarnas utformning

[mm]

Fig. 2 Detalj av initieringen