PRESTANDAPROV MED SÅGSPÅNSBLANDAD GROVHÅLSSLURRY

Gert Bjarnholt

DS 1976:15 1976-12-28

STIFTELSEN
SVENSK DETONIKFORSKNING
SWEDISH DETONIC RESEARCH FOUNDATION
BOX 32058 – 12611 STOCKHOLM
SWEDEN

408. 2.000. 12. 75. NORA BOKTRYCKERI 71535

PRESTANDAPROV MED SÅGSPÅNSBLANDAD GROVHÅLSSLURRY

Gert Bjarnholt

DS 1976:15 1976-12-28

Sammanfattning

För att studera detonations- och energiprestanda hos två TNT-känsliggjorda slurries (Reolit B och Reolit A6), ANFO (Prillit A), aluminiserad ANFO (10% Al) samt inverkan av sågspånsinblandning (4 - 8 viktprocent) i Reolit B och Reolit A6 har 200 kg-laddningar detonerats under vatten på 20 m djup. Tryck-tidförloppet i vattnet orsakat av detonationen har mätts på 20 m avstånd från laddningarna. Detonationshastigheten, vattenstötvågens maximaltryck och energi samt bubbelenergien och det totala expansionsarbete som uträttats har bestämts från registreringarna. Från resultaten har sedan brytförmågan relativt Prillit A vid grovhålspallsprängning uppskattats.

Sågspånsinblandning sänker densitet och detonationshastighet. Termokemiska beräkningar visar att energivärden och även brytförmåga bör sänkas vid sågspånsinblandning. Denna effekt iakttogs experimentellt vid sågspånsinblandning i Reolit A6 medan energivärden och brytförmåga ökade vid sågspånsinblandning i Reolit B.

Förklaringen till ökningen för Reolit B har visat sig bero på att sprängämnets komposition avvikit från specifikationerna så att syrebalansen i det rena sprängämnet varit +3.5%. För ett sådant sprängämne ger en inblandning av några procent bränsle, som t ex sågspån, en energihöjande effekt.

Sågspånsinblandning i Reolit A6 och Reolit B med korrekt sammansättning ger en försämring av brytförmåga både vid jämförelse på viktbas och lika volymbas.

Resultaten visar också att brytförmågan hos aluminiserad ANFO (10% Al) är ca 32% högre än för ANFO (Prillit A) vid jämförelse på lika viktbas.

INLEDNING

Vid bl a Boliden AB har försök pågått med inblandning av sågspån i TNT-känsliggjord grovhålsslurry. Den ursprungliga avsikten med försöken var att försöka modifiera prestanda hos den grovhålsslurry man använde i produktionen så att den blev bättre lämpad för grovhålsslätsprängning av dagbrottets slänter.

En inblandning av sågspån kan tänkas modifiera egenskaperna hos sprängämnet på flera sätt. Sprängämnets densitet sänks genom att sågspånet har låg densitet och binder avsevärda mängder luft till sig. Detta ger sänkt energikoncentration i borrhålet. Sänkningen kan tänkas ske på två sätt. Om sågspånet deltar i reaktionen hos ett från början syrebalanserat sprängämne påverkas reaktionsprodukternas sammansättning på ett sådant sätt att den frigjorda kemiska energien per viktsenhet (explosionsenergien) minskas med ca 1 - 2% per viktprocent sågspån. Om sågspånet ej deltar i reaktionerna sänks energien per viktsenhet av sprängämnesblandningen lika mycket genom en ren utspädningseffekt.

Utifrån det konventionella sättet att bedöma ett sprängämnes brytförmåga vid pallsprängning, där explosionsenergien betraktas som den mest betydelsefulla faktorn, bör alltså sågspånsinblandning ge en försämring av brytförmågan (styckefallet) vid en jämförelse gjord med samma borrplan som bas.

Vid fältförsök i full skala med sågspånsblandad grovhålsslurry - som gjorts vid Boliden AB vid Aitik-gruvan - föreföll dock brytförmågan vara oförändrad eller t o m något förbättrad. Förklaringen till en sådan effekt kan antingen vara att den modifiering av sprängämnets fysikaliska egenskaper som sågspånsinblandning medför gör att explosionsenergien fördelas och används på ett effektivare sätt eller att explosionsenergien på något okänt sätt ökat genom sågspånstillsatsen.

För att studera hur sågspånsinblandning påverkar detonationsprestanda och energi hos två grovhålsslurries av Nitro Nobels

tillverkning benämnda Reolit B och Reolit A6, har laddningar på ca 200 kg detonerats fördämda av vatten på 20 m djup i ett vattenmagasin. Vid denna typ av prestandaprovning av sprängämnen, kallad undervattensdetonationsprov, mätes tryck-tid-förloppet i vattnet som omger laddningen. Sådana registreringar kan sedan utvärderas så att stötvågsenergien i den primära vattenstötvågen och den s k bubbelenergien (gasenergien) kan beräknas.

Tillsammans med data på laddningsdensitet och detonationshastighet hos det provade sprängämnet kan dessa data användas för att beräkna hur mycket arbete som sprängämnet uträttar samt ge information om hur arbetet är fördelat inom olika tryckområden. Ur dessa resultat har vi också uppskattat sprängämnenas relativa brytförmåga vid pallsprängning i Aitik-gruvan med ø 25 cm borrhål.

KORT BESKRIVNING AV FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING

Försöksplats

Det experimentella arrangemanget visas schematiskt i fig 1. Laddningarna detonerades på 20 m djup, 20 m från tryckmätaren som var av tourmalintyp med 1/4" diameter tillverkad av US Naval Surface Weapons Center.

Instrumentell utrustning

Instrumenteringen som användes för att förstärka, behandla och registrera tryck-tidsignalen från tryckmätaren var placerad i en husvagn på stranden. Apparaturen var den som konventionellt används för denna typ av mätningar och som i huvudsak finns beskriven i referens /1/. Registreringen av primärstötvågens tryck-tidvärden och $\int p^2 dt$-värden gjordes på ett tvåkanalsoscilloskop med kamera. Tiden mellan primärstötvågen och gasklotets första implosion registrerades medelst en uv-skrivare med kontinuerlig tidskalibrering med en 1 kHz tidsbas.

För mätning av detonationshastigheten registrerades tiden mellan slutning av fyra kontakter på laddningen (fig 1). I denna utrustning ingick en pulsformarkrets och pulserna registrerades på ett oscilloscop med kamera.

UTVÄRDERING AV DATA

Detonationstryck

Detonationstrycket är trycket vid detonationsvågens front och kan betraktas som det högsta förekommande trycket i sprängämnet. Detta tryck kan uppskattas ur

$$P_d = 0.25\ \rho_o D^2$$

där P_d = detonationstrycket (CJ-trycket)
ρ_o = sprängämnets laddningsdensitet
D = sprängämnets detonationshastighet

Maxtryck

Det maximala trycket P_m i den primära vattenstötvågen när denna passerar tryckmätaren bestämdes från tryck-tidregistreringen av primärstötvågen. För att göra jämförelser mellan laddningar som har olika vikt bör man använda det reducerade maxtrycket p_m definierat som /2/

$$p_m = \frac{P_m \cdot R}{W^{1/3}}$$

där $\begin{cases} R & = \text{avstånd mellan laddning och tryckmätare} \\ W & = \text{laddningsvikt hos sprängämnet.} \end{cases}$

Stötvågsenergi

Energien i primärstötvågen E_s när den passerar tryckmätaren bestämdes från tryck-tidregistreringen av primärstötvågen vid tryckmätaren /2/.

$$E_s \sim \int p^2 dt$$

Stötvågsenergien e_s per viktsenhet W av sprängämnet blir då

$$e_s = E_s/W$$

Bubbelenergi

Bubbelenergien E_b definieras som det arbete som uträttas när de gasformiga reaktionsprodukterna (i form av ett gasklot) expanderar till sitt första maximum och uträttar arbete mot det hydrostatiska trycket på laddningsdjupet. Denna energi bestämmes från tidsintervallet mellan primärstötvågen och den stötvåg som alstras av gasklotets första implosion. Bubbelenergien e_b per viktsenhet av sprängämnet blir då /2,3,5/

$$e_b = E_b/W$$

Expansionsarbete

Expansionsarbetet A_o är det totala arbete som sprängämnet uträttat under reaktionsprodukternas expansion till det tillstånd där gasklotet når sitt första maximum. Vid detta tillstånd är trycket i reaktionsprodukterna ca en tiopotens lägre än det hydrostatiska trycket på laddningsdjupet. Normalt blir A_o ca 90 - 100% av sprängämnets explosionsenergi. A_o bestämms ur /3/

$$A_o = K_f(\mu e_s + e_b)$$

där K_f är en konstant som kompenserar för icke sfärisk expansion beroende på avvikelsen från sfärisk geometri hos laddningen. För en sfär initierad i centrum är $K_f = 1$ och för de cylindrar vi använt med ett längd-diameterförhållande på 6:1 är $K_f = 1.08$.

Vid stötvågens gång från laddningen till tryckmätaren förloras en del av stötvågens energi till vattnet eftersom stötvågens höga amplitud nära laddningen värmer upp vattnet vid sin passage. Faktorn μ har till uppgift att kompensera för denna förlust och μe_s kan då betraktas som den totala ursprungliga stötvågsenergien nära laddningen.

Faktorn μ är en funktion av detonationstrycket hos sprängämnet och ökar med ökande detonationstryck. De sprängämnen som provats

vid denna undersökning har haft detonationstryck varierande mellan ca 4.6 och 8.8 MPa vilket givit μ-värden mellan ca 1.53 och 1.76 /3/.

Brytförmåga och viktstyrka

Att utifrån prestanda uppmätta vid undervattenstest korrekt uppskatta sprängämnens verkan när de används för bergsprängning i olika applikationer är ett av de mera långsiktiga forskningsprojekt som nyligen startats vid detta laboratorium. I dagsläget är vår kunskap inom detta område relativt begränsad. För en applikation där sprängämnet används i ϕ25 cm borrhål för pallsprängning i Aitikgruvan har vi dock försökt oss på att uppskatta brytförmågan utifrån hypotesen att brytförmågan relativt ett referenssprängämne (jämförelse på lika viktsbas) ges av värdet $B = (e_s + 0.2e_b)$. Brytförmågan kan i det här sammanhanget lämpligast definieras som "förmåga att fragmentera berget".

Vi har valt att använda Prillit A (ANFO) som referens både för brytförmågan B och den konventionella från termokemiska beräkningar bestämda viktstyrkan s /4/.

SPRÄNGÄMNEN OCH SPRÄNGÄMNESLADDNINGAR

Utformning och dimensioner hos sprängladdningarna visas i fig 2. Specifikationer på de sprängämnen som provades återfinns i tabell 1.

Reolit B och Reolit A6, två produkter av Nitro Nobels tillverkning, tillverkades ca två veckor före experimenten och förpackades i kartonger som innehöll ca 45 kg sprängämne.

I Reolit B har enligt analys och efterkontroll av blandningsförfarandet sammansättningen avvikit från specifikationen vilket gett en syrebalans på ca + 3%. För Reolit A6 ger analys och efterkontroll av blandningsförfarande korrekt sammansättning.

Vid inblandning av sågspån i sprängämnena användes en cementblandare. I denna satsades först slurry och sedan under blandning den önskade mängden sågspån. Blandaren fick sedan gå ca tre minuter för homogenisering av blandningen.

Sprängladdningarna (fig 2) bestod av rör av ca 1 mm stålplåt med diametern 30.0 cm och längden 200 cm som försetts med botten med ett primerläge som rymde ca 0.50 kg Startex.

Slurryladdningarna försågs efter fyllning med ett lock av ca 0.5 mm stålplåt som lades löst ovanpå slurryn. För de laddningar som hade sågspånsinblandning fylldes alltid ca 20 kg oblandad slurry som booster i botten av laddningen runt primerläget och ca 2 kg oblandad slurry ovanpå det sågspånsblandade sprängämnet för att förhindra att vatten skulle kunna tränga in i den ibland något porösa sågspånsblandade slurryn.

Prillit A och ANFOAl 10-laddningarna hade ett lock av ca 5 mm stålplåt som vilade på tre klackar inuti röret. Efter fyllning av sprängämne fastsattes och tätades detta lock med Plastic Padding (typ elastic). I locket fanns också ett M3-gängat hål. När Plastic Paddingen härdat tätades locket genom att en M3 skruv drogs i det gängade hålet.

RESULTAT

Inverkan av sågspån på konsistens hos sprängämnet

Gelsystemets hårdhet varierade avsevärt mellan förpackningarna för både Reolit B och Reolit A6. Generellt kan sägas att konsistensen för Reolit B var från lös (delvis separerad) till normal medan konsistensen för Reolit A6 varierade från något lös till något hård. Temperaturen hos slurryn vid blandning och påfyllning var ca +5° - 0°C.

För Reolit B kunde max ca 8 - 10 viktprocent sågspån tillsättas innan konsistensen blev så grynig att sprängämnet snarare kunde karakteriseras som pulversprängämne än slurry. För Reolit A6 iakttogs denna effekt vid mer än ca 6 - 8% sågspån.

Detonations- och initieringsegenskaper

Både Reolit B och Reolit A6 initierades till en stabil detonationshastighet av Startex-primern på 0.5 kg. För Reolit B uppmättes 4800 - 4900 m/s stabil hastighet och för Reolit A6 4600 - 4700 m/s.

Vid sågspånsinblandning sänktes detonationshastigheten i både Reolit A6 och Reolit B. Initieringen i dessa laddningar bestod av en 0.5 kg Startexprimer plus en booster av oblandad slurry som fylldes till en höjd av någon centimeter över startexprimern (se fig 2). Vikten av denna booster blev ca 20 kg.

Detonationen har varit svagt överdriven i dessa laddningar. Hastigheten har alltså varit högst i laddningens första del och sedan sjunkit ca 200 - 700 m/s i laddningens bortre ände. Reproducerbarheten av detonationshastigheten hos laddningarna med sågspånsinblandning förefaller mindre god. Orsaken till detta ligger troligen huvudsakligen i variationer hos det sågspånsblandade sprängämnets egenskaper.

Energivärden

Resultaten i tabell 2 och 3 visar att Reolit A6 ger 40% högre stötvågsenergi e_s, 50% högre bubbelenergi e_b och ca 45% högre expansionsarbete A_o än Reolit B.

De tre skotten med ren Reolit B visar god reproducerbarhet mellan skotten medan de två skotten med ren Reolit A6 avviker från varandra på ett signifikant sätt.

Sågspånsinblandning (6.3 - 8.4%) i Reolit A6 har sänkt energivärdena e_s, e_b och A_o. Exempelvis har 6.3 viktprocent sågspån sänkt e_s med ca 5%, e_b med ca 14% och A_o med ca 12%.

När 6 viktprocent vatten tillsattes blandningen med 6% sågspån sjönk e_s ca 10%, e_b med ca 12% och A_o med ca 12%.

Brytförmåga

I tabell 3 och fig 3 anges den från experimenten uppskattade brytförmågan hos de provade sprängämnena med Prillit A som referenssprängämne.

Vid en jämförelse på både lika viktsbas och lika volymsbas har brytförmågan hos Reolit A6 minskat vid sågspånsinblandning. Vid t ex 6.3% inblandning har brytförmågan minskat med ca 12% vid jämförelse på lika viktsbas och med ca 23% vid jämförelse på lika volymsbas.

Vid sågspånsinblandning i Reolit B har brytförmågan vid jämförelse på lika viktsbas ökat medan en jämförelse på lika volymsbas visar en minskning. För t ex 6% inblandning har brytförmågan ökat ca 10% vid jämförelse på viktsbas och minskat ca 4% vid jämförelse på volymsbas.

I fig 3 har jämsides med den experimentellt uppskattade brytförmågan B även angivits den termokemiskt beräknade viktstyrkan s. De båda storheterna B och s inordnar de här undersökta sprängämnena i samma inbördes rangordning.

Denna undersökning har utförts i samarbete med Boliden AB, med ekonomiskt bidrag från Boliden AB och Styrelsen för Teknisk Utveckling. Författaren ber att få tacka avdelning ART inom Boliden AB för gott samarbete och en helhjärtad insats.

REFERENSER

1.	Persson, A och Holmberg, R.	Apparatur för analog utvärdering av stötvågsförlopp registrerade med piezoelektriska givare.- Stiftelsen Svensk Detonikforskning, Rapport DS 1974:15, (1974).
2.	Bjarnholt, G.	Evaluation of the Performance of Explosives by Underwater Explosions.- Stiftelsen Svensk Detonikforskning, Rapport DS 1972:16 B, (1972).
3.	Bjarnholt, G och Holmberg, R.	Explosive Expansion Work in Underwater Detonations.- Stiftelsen Svensk Detonikforskning, Rapport DS 1976:6, (1976).
4.	Johansson, C.H. och Persson, P.A.	Detonics of High Explosives.- Academic Press, London, p 271, (1970).
5.	Bjarnholt, G.	Om utvärdering av undervattensskjutningar vid Kankberg 1976.- Stiftelsen Svensk Detonikforskning, Rapport som publiceras under år 1977.

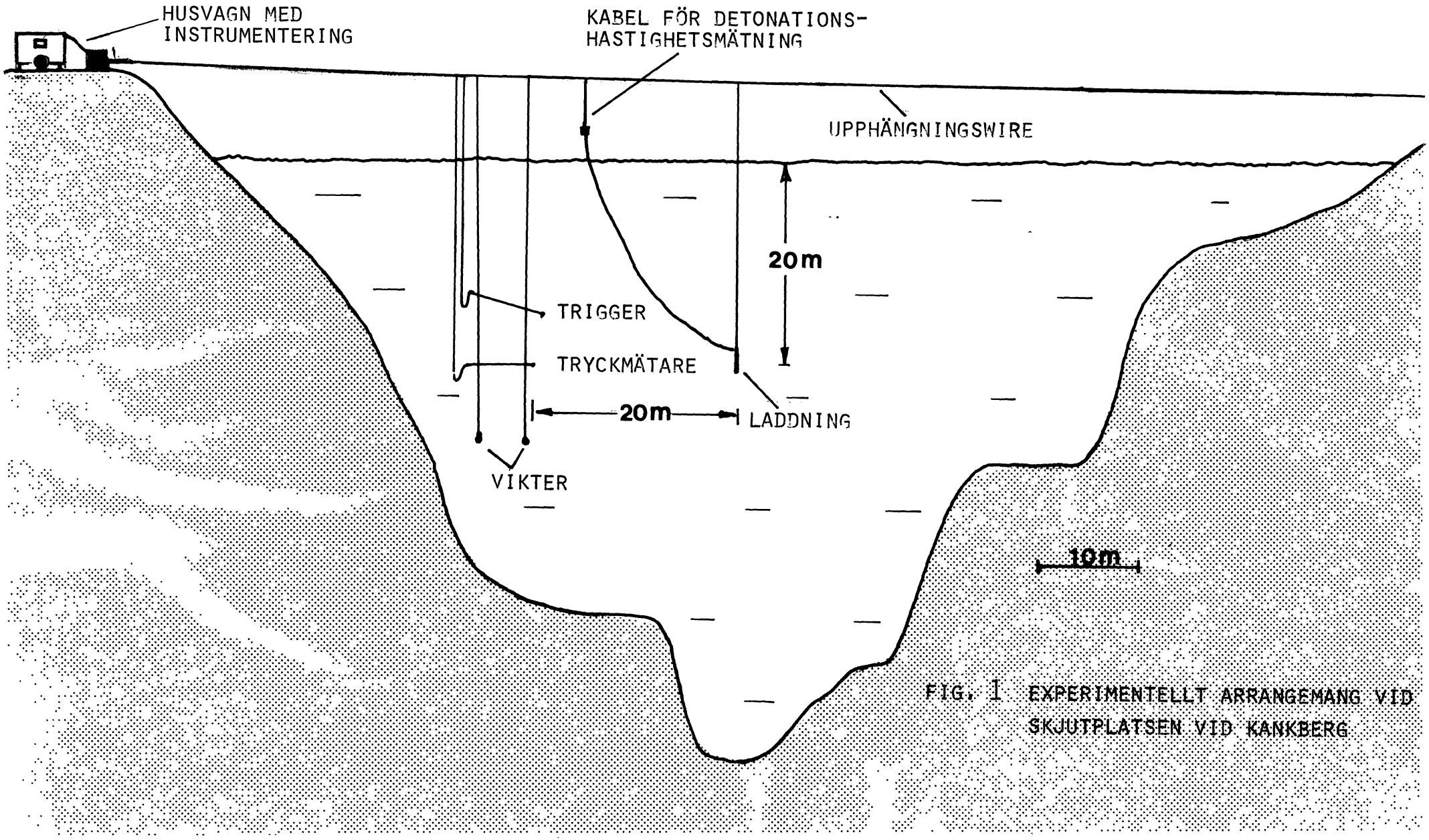

FIG. 1 EXPERIMENTELLT ARRANGEMANG VID SKJUTPLATSEN VID KANKBERG

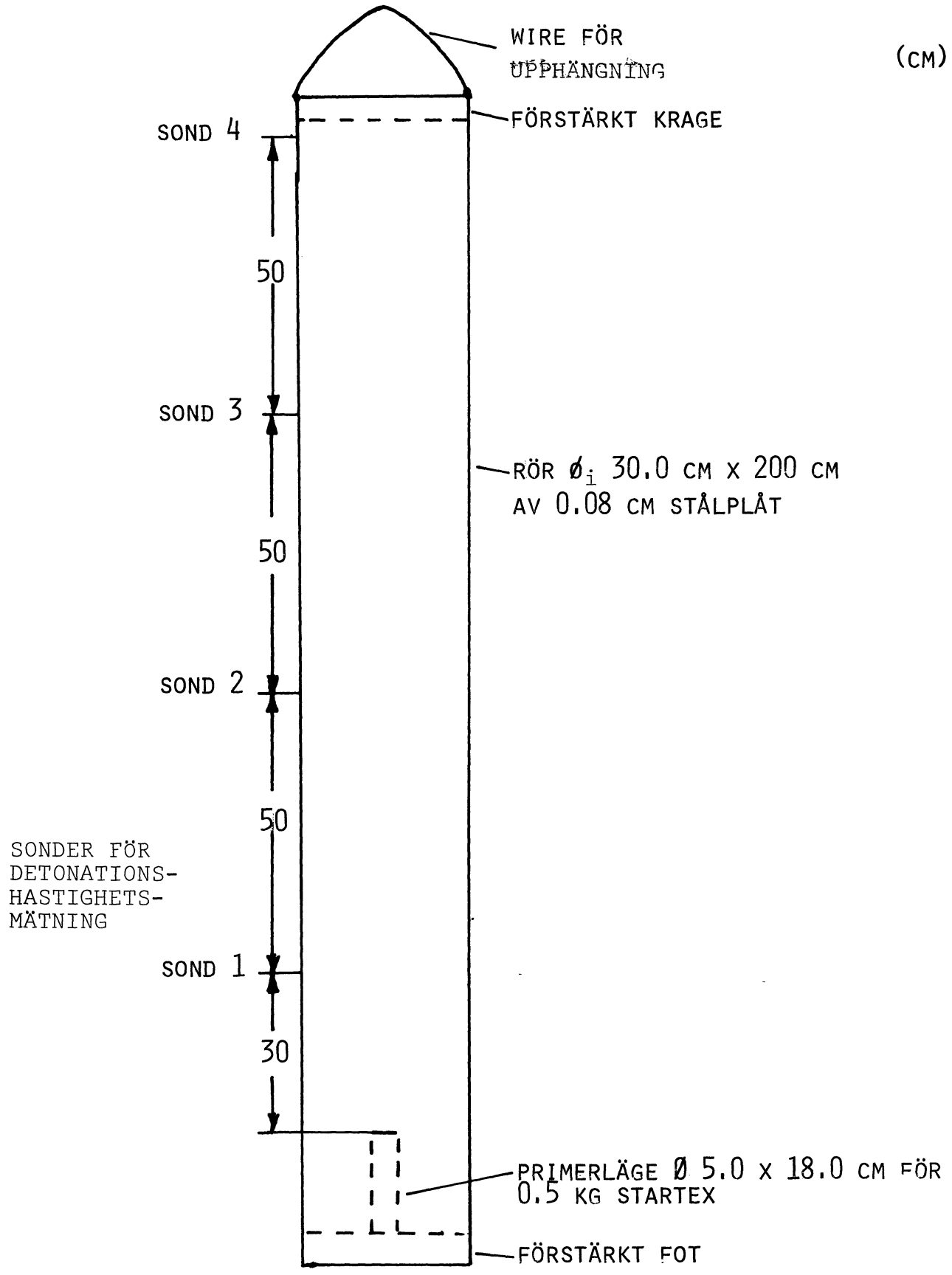

FIG. 2 UTFORMNING AV LADDNINGAR

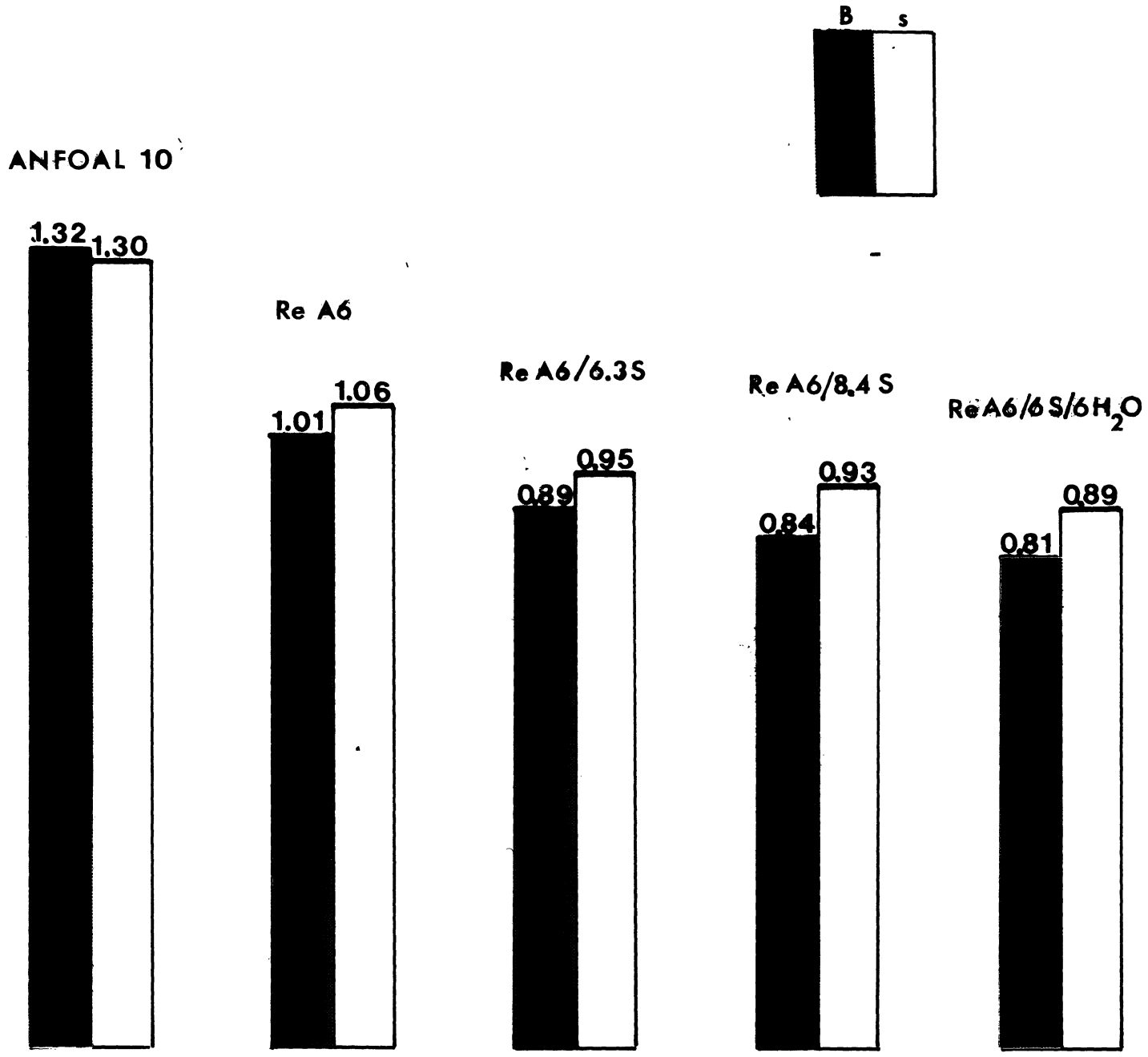

FIG. 3 A BRYTFÖRMÅGA **B** BESTÄMD FRÅN UNDERVATTENS-SKJUTNINGAR OCH TERMOKEMISKT BERÄKNAD VIKTSTYRKA **s** RELATIVT PRILLIT A

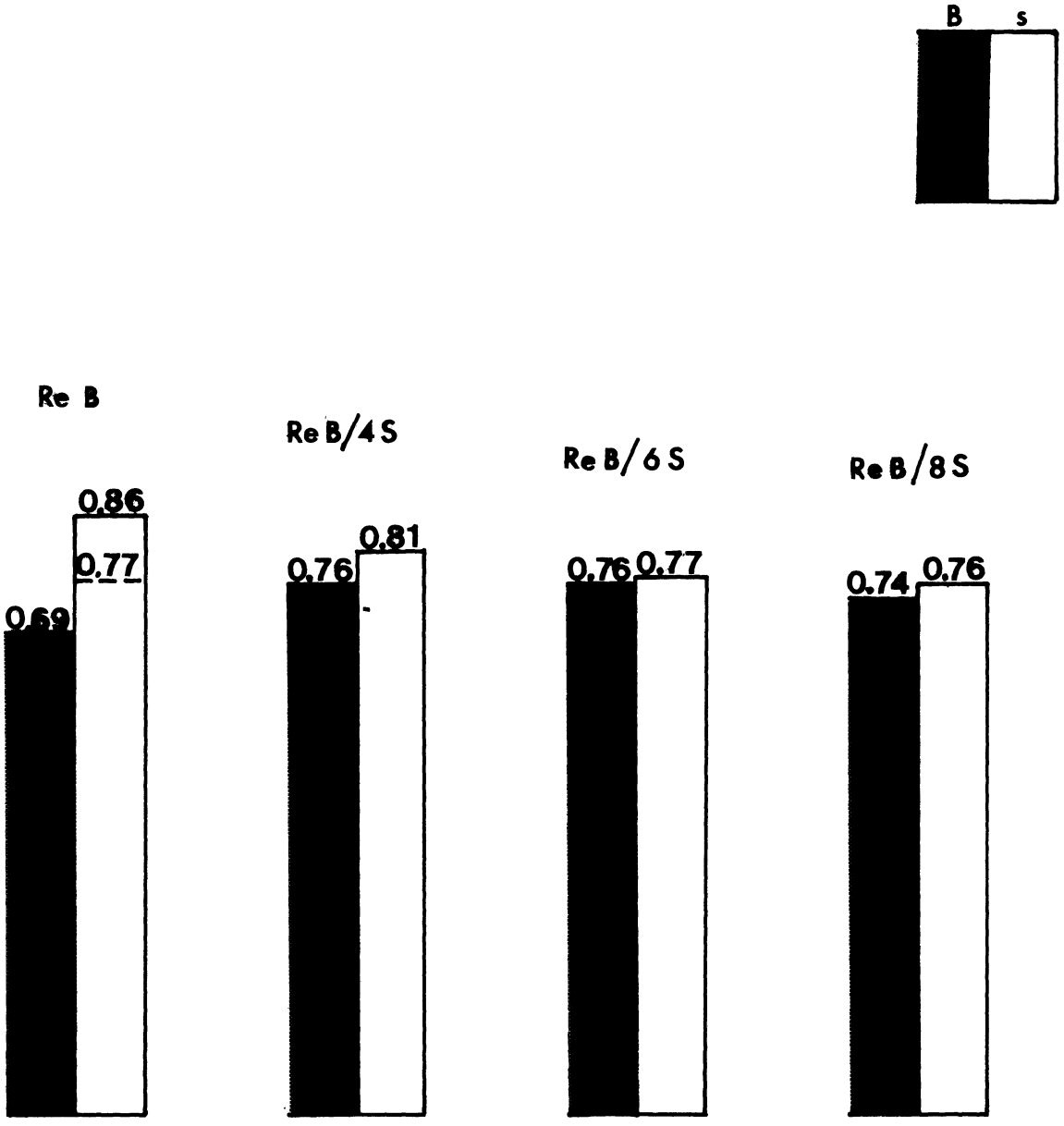

FIG. 3 B BRYTFÖRMÅGA **B** BESTÄMD FRÅN UNDERVATTENS-SKJUTNINGAR OCH TERMOKEMISKT BERÄKNAD VIKTSTYRKA **s** RELATIVT PRILLIT A

TABELL 1

Specifikationer på sprängämnen

Benämning	Densitet kg/m^3	Typ av sprängämne	Detonationshastighet i Ø 25 cm borrhål (m/s)	Beräknad viktstyrka relativt Prillit A [1] s
Reolit B	ca 1500	TNT-känsliggjord slurry	ca 5000 m/s	0.86
Reolit A6	ca 1500	TNT-känsliggjord slurry med aluminiumtillsats	ca 4800 m/s	1.06
Prillit A	ca 900	ANFO på bas av prillat ammoniumnitrat	ca 4500 m/s	1.00
ANFOAL 10	ca 900	Aluminiserad ANFO 84.7 AN[2]/2.6 FO[3]/10Al[4] (viktsprocent)	ca 4500 m/s	1.30

1) Från termokemiskt beräknad explosionsenergi och gasvolym

2) Ammoniumnitrat prills

3) Dieselolja

4) Partikelstorlek ca 60 µm

TABELL 2
Primärdata

Skott	Sprängämne [1]	Vikt W (kg)	Densitet ρ_o kg/m^3	Detonhast.[2] D m/s	Maxtryck P MPa	Reduc. maxtryck p $\frac{MPa \cdot m}{kg^{1/3}}$	Stötvenergi e_s MJ/kg	Bubbelenergi e_b MJ/kg	Detontryck P_d GPa
6	ReB	210	1530	4890 - -	10.9	36.9	0.62	1.54	8.8
7	ReB	210	1500	4940 4830 4830	10.8	36.6	0.63	1.54	8.7
29	ReB	212	1530	4910 4810 4830	10.8	36.5	0.63	-	8.8
8	ReA6	213	1550	4630 4580 4600	10.8	36.4	0.87	2.24	8.1
16	ReA6	215	1560	4860 4730 4580	10.9	36.7	0.90	2.38	8.7
10	93.7ReA6/6.3S	187	1300	- - -	10.6	37.4	0.84	1.94	-
11	93.7ReA6/6.3S	194	1350	4750 4670 4650	11.5	40.0	0.84	1.94	7.4
12	88ReA6/6S/6H_2O	177	1250	4460 4580 4290	10.9	39.1	0.73	1.68	6.6
13	88ReA6/6S/6H_2O	179	1250	4580 4530 4140	11.0	39.3	0.76	1.72	6.4
32	91.6ReA6/8.4S	182	1250	4460 4330 4240	10.1	35.9	0.75	1.91	5.9
14	94ReB/6S	178	1300	4830 4650 4180	11.0	39.4	0.70	1.55	7.0
15	94ReB/6S	179	1300	4730 4730 4240	10.9	39.0	0.71	1.57	7.3

forts. på nästa sida

TABELL 2
Primärdata

forts. från föreg. sida

Skott #	Sprängämne [1]	Vikt W (kg)	Densitet ρ kg/m^3	Deton.-hast,2) D m/s	Max-tryck P MPa	Reduc. maxtryck p $\frac{MPa\ m}{kg^{1/3}}$	Stötv-energi e_s MJ/kg	Bubbel-energi e_b MJ/kg	Deton.-tryck P_d GPa
17	96ReB/4S	193	1350	4820 4730 4510	11.0	38.4	0.71	1.57	7.6
18	92ReB/8S	177	1250	4820 4700 4460	10.7	38.4	0.68	1.53	6.9
22	PrA	127	920	- - -	10.4	41.7	0.96	1.90	-
25	PrA	130	930	- - -	10.7	42.6	0.96	-	-
31	PrA	126	930	4460 4440 4530	10.5	42.2	0.95	-	4.6
26 [3]	PrA	205	940	4500	12.6	43.1	0.94	-	4.8
30 [3]	PrA	205	940	4500	12.4	42.4	0.94	2.07	4.8
23	ANFOAL 10	129	930	4440 4440 -	10.8	43.1	1.23	2.69	4.6
24	ANFOAL 10	132	940	4580 4460 4460	10.9	43.1	1.22	-	4.7

1) Viktsprocent. Sågspån 11% fukthalt utom i skott # 32 som hade ca 30% fukthalt.

2) De tre värdena avser början, mitten och sista delen av laddningen, se fig.

3) Sköts i bensinfat med måtten Ø 58x88 cm med 0.5 kg startex A som primer.

TABELL 3

Sammanställning av resultat

Sprängämne	Densitet ρ_o kg/m^3	Detonhast.[3] D m/s	Reduc. maxtr MPa·m / kg$^{1/3}$	Stötv. energi e_s MJ/kg	Bubbelenergi e_b MJ/kg	Expansionsarbete A_o[4] MJ/kg	Brytförm. relativt Prillit A[1] (jämf.på viktbas) B	Brytförm. relativt Prillit A[1] (jämf.på volymbas) B'	Termokem ber.vikt styrka[2] rel. Prillit A
Reolit B	1520	4800	36.7	0.63	1.54	2.94	0.69	1.16	0.86(0.77)
Reolit B/4% S	1350	4500	38.4	0.71	1.57	3.09	0.76	1.12	0.81(0.81)
Reolit B/6% S	1300	4200	39.2	0.71	1.56	3.06	0.76	1.08	0.77
Reolit B/8% S	1250	4400	38.4	0.68	1.53	2.98	0.74	1.00	0.76
Reolit A6	1560	4600	36.6	0.89	2.31	4.28	1.01	1.71	1.06
Reolit A6/6.3% S	1330	4600	38.7	0.84	1.94	3.75	0.89	1.32	0.95
Reolit A6/8.4% S	1250	4200	35.9	0.75	1.91	3.48	0.84	1.15	0.93
Reolit A6/6%S/6%H_2O	1250	4200	39.2	0.75	1.70	3.26	0.81	1.11	0.89
Prillit A	920	4500	42.0	0.96	1.90	3.75	1.00	1.00	1.00
ANFOAL 10%	940	4400	43.1	1.23	2.69	5.09	1.32	1.35	1.30

1) Uppskattat på basis av (e_s+0.2e_b) -kriterium

2) Sågspånet antages deltaga fullständigt i reaktionen. Värden inom parantes gäller för Re B med sammansättning enligt blandningsförfarande och analys.

3) Gäller 1.5-2.0 m från initieringspunkten.

4) Kalibrering med TNT klot med vikt från 0.25 till 50 kg gav e_s och e_b värden som ligger 2-3% under tidigare mätningar /2,3/. A_o har därför bestämts ur $A_o = 1.03K_f(\mu e_s + e_b)$.