

SAMMANDRAG AV LITTERATURSTUDIER OCH
INTERVJUER ANGÅENDE ANFÖ:s BRYTFÖRMÅGA
VID OLIKA INITIERING

Algot Persson

DS 1973:25

21.11.1973

STIFTELSEN
SVENSK DETONIKFORSKNING
SWEDISH DETONIC RESEARCH FOUNDATION

VINTERVIKEN – 117 48 STOCKHOLM
SWEDEN

SAMMANDRAG AV LITTERATURSTUDIER OCH
INTERVJUER ANGÅENDE ANFO:s BRYTFÖRMÅGA
VID OLIKA INITIERING

Algot Persson

DS 1973:25

21.11.1973

Sammanfattning.

I denna rapport refereras i korthet några av de erfarenheter som gjorts vid initiering av ANFO med olika priming under praktisk bergsprängning, samt försök att mäta den inverkan på energiutbyte vid ANFO-detonationen som varierande primerstorlek kan ha.

Vid sprängning med ANFO använder man oftast som primer något eller några patroner nitroglycerinsprängämnen eller annat högbrisant sprängämne. De kvaliteter av prillat ANFO som idag används inom berghanteringen kan vid inte alltför höga laddningstätheter initieras med enbart sprängkapsel n:r 8. Önskemålet att helt eliminera nitroglycerinsprängämnet vid ANFO-sprängning har vuxit sig starkare av flera orsaker såväl ekonomiska som arbetshygieniska. Givetvis måste man då ge akt på vilken betydelse primern har för ANFO:s detonationsförlopp d.v.s. om man genom att utesluta primern påverkar brytningsresultatet i berg. I det följande skall i korthet refereras några åsikter om brytförmågans beroende av initiering och detonationshastighet samt intervjuer med några av de större ANFO förbrukarna i Sverige.

Erferenheter från grovhålsbrytning.

De flesta uttalanden om förbättrad brytförmåga vid optimal primerladdning (vid grovhål boosterladdning) bygger på uppfattningen att högsta möjliga detonationshastighet i ANFO är liktydigt med maximal brytförmåga.

Rylund /1/ sammankopplar utan vidare detonationshastigheten med brytförmågan och säger sig ha konstaterat att vid pallsprängning med håldiametrar mellan 10 3/8 - 15 tum ökades utsprängd volym då man med korrekt primer + booster fick ANFO:n att detonera med den för diametern maximala detonationshastigheten redan i början av laddningen.

Genom kontinuerlig mätning av detonationshastigheten i såväl prillad som krossad ANFO har Rylund visat att detonationshastigheten i 10 tums hål med en halv kilograms gjuten primer inte når slutliga värdet förrän efter 6-8fots laddningslängd.

För att undvika den zon med ökande hastighet som en alltför klen primer ger som resultat ställer Rylund följande krav på boosterladdningen vid grovhål

1. Boosterladdningen bör ha i det närmaste samma diameter som ANFO-laddningen.
2. Boosterladdningens längd bör vara sådan att en något så när plan detonation uppnås (vid 12" hål minst 6" längd).
3. Sprängämnet bör ha sådan energi att boostern förmår initiera ANFO direkt till full hastighet.

Den bättre brytförmåga som erhålles genom en tillräcklig boosterladdning tillskrives helt utvecklandet av maximal energi i ANFO-laddningens hela längd. (Boosterladdningarnas bidrag till bottenladdningen diskuteras inte). Försöken visade emellertid att vissa ANFO-blandningar inte ger samma sluthastighet i oförändrad håldiameter vid upprepade försök med i övrigt lika betingelser.

Junk /2/ delar Rylunds uppfattning av att en stor del av ANFO:s energi går förlorad om den inte kan initieras till full hastighet i laddningens början. Helst bör ANFO initieras till överdriven detonation och försök med slurryboosters i ANFO-laddade grovhål har tydligt visat att den utsprängda volymen kan ökas. Initiering med för små primers på flera ställen i laddningen påpekar Junk såsom förkastligt, då i så fall en större del av laddningen ej detonerar med full hastighet. Kraven på ändamålsenlig primer är:

1. Primern bör ha högt detonationstryck.
2. Sprängämnet bör ha endast en detonationshastighet.
3. Primerns eller boosterns diameter bör vara ungefär samma som laddningens, och längden bör vara minst lika med en diameter vid grova hål och flera laddningsdiameterar vid klenare hål.

Inte heller Junk tycks tillskriva primer- eller boosterladdningen någon inverkan vad beträffar brytningsresultatet.

Försök att bestämma energiutbytet vid detonation av ANFO.

Gulf Oil Corporation, tillverkare av prills, har i en applikationsrapport /4/ tagit upp problemet med primerns betydelse för utnyttjandet av ANFO:s hela energi och refererar till mätningar utförda av Sadwin /5/. Till skillnad från Junk och Rylund anser man att enbart detonationshastigheten inte kan tagas som kriterium för den brytningsförmåga ANFO kan prestera. Man har som metod för att värdera energiutbytet dels tagit undervattensprovet som Stiftelsen Svensk Detonikforskning använt i flera år samt en metod att bestämma stötpulsen i berg tillämpad vid Bureau of Mines. Se fig. 1. I de linjärt anordnade mäthålens botten (8 m:s djup) finns en töjningsgivare ingjuten som registrerar stötpulsen i berget. Efter skott i provhålet mätes krosszonens storlek medelst sandfyllning.

Resultaten av Sadwins undervattensprov med några olika ANFO-kvaliteter redovisas i tabell 1 och i diagram fig. 2. Som jämförelse har medtagits data för Prillit erhållna i Vinterviken. Ett stort antal försök har utförts och spridningen i resultaten är stor men medelvärdena stämmer överens med data för Prillit. Valet av primer (PETN-stubin) kan synas underligt men inverkan av mängden pentyl kan avläsas i både max. tryck och bubbelpulsenergi. Det påpekas att energivärdena inkluderar tillskottet från primern. Beträffande stötvågsenergin är felet så stort att man inte skall dra några slutsatser om den. Sannolikt har fabrikanten här valt att presentera ANFO-kvaliteter som ger uppenbara skillnader jämfört med den egna produkten. Tabell 3 visar en jämförelse mellan undervattensprov och prov i berg enligt fig. 1.

Båda proven tyder på att en mindre primer ger ett sämre energiutbyte. De kvalitetersom här redovisas är prillat AN med olika ytbehandling. Tydligt är att tillsats av inert material i detta fall kiselgur påverkar initieringen.

Erfarenheter från svensk gruvbrytning med ANFO.

Vid LKAB har man under längre tid undersökt olika ANFO-kvaliteters initieringskänslighet under olika betingelser. Resultaten har redovisats vid Bergsprängningskommitténs sammanträde av Ahlman, Caspar m.fl. /6, 7/..

Försöken har ej inriktats på att initiera med enbart sprängkapsel då flera av de använda kvaliteterna på ANFO inte ens låtit sig initieras till fullständig detonation med primer av dynamit, speciellt i håldiametrar mindre än 45 mm. ANFO-kvaliteten har emellertid förbättrats sedan dessa resultat publicerats.

Enligt ett samtal med ingenjör R. Sundholm, LKAB användes idag i LKAB:s gruvor i Kiruna en ANFO-blandning kallad K2Z som utgör en blandning av 50 % kristallint AN och 50 % prillat AN, medan man i Malmberget använder Prillit. I Kiruna har man vid håldiametrar mellan 32-45 mm initierat med Nitro Nobels sprängkapselförstärkare alternativt c:a 200 g Mitex eller Iremite. Den senare typen av priming föredras då en något bättre bottenladdning synes önskvärd. Man säger sig inte se någon skillnad i styckefall då hål laddats med sprängkapselförstärkare alternativt Mitex. Några salvor initierade med enbart sprängkapsel har ej provats.

Travis och medarbetare /3/, vid Boliden Gruv AB redovisar en serie försök med initiering av ANFO med enbart sprängkapsel 8 i 32 mm:s hål, laddade med prills och olja. Försöket omfattade nio salvor i galleri med totalt fyrtio hål. Relief och upprymningshål laddades med enbart ANFO och sprängkapsel medan kilhålen laddades med en genomgående pentylstubin fästad till sprängkapseln i hålets botten. Kanthålen laddades likaledes med genomgående PETN stubin och ANFO löst laddat. Resultaten gav inga indikationer på att styckefallet skulle vara sämre vid denna initieringsmetod jämfört med den gängse använda där man i botten som primer infört en patron dynamit.

Dessa försök följdes ej upp med detonationshastighetsmätningar.

Det sätt varpå man här utnyttjat PETN stubin som initiator synes emellertid diskutabelt.

Ingenjör Bernt Fredriksson, Boliden Gruv AB, har vid intervju beskrivit en undersökning av ANFO:s brytförmåga med och utan dynamitprimer.

I en solfjäderssalva om 65000 ton med 2" hål och 20 m:s håldjup laddades i botten 6 kg dynamex motsvarande ungefär tre meters laddningshöjd.

Pipladdningen utgjordes av ANFO. I en liknande salva om 7000 ton och lika den förstnämnda laddades hålen med enbart ANFO + sprängkapsel. De båda salvorna utlastades på galler och antalet skut som ej passerade gallret räknades.

I salvan med enbart ANFO konstaterades mindre antal skut. Några detonationshastighetsmätningar utfördes inte i detta sammanhang. Sådana mätningar har gjorts i 2" borrhål för c:a 10 år sedan och inte med den typ av ANFO som idag användes, varför dessa mätningar knappast är relevanta för dagens förhållanden.

Vilka faktorer är av betydelse för ANFO:s detonationsegenskaper?

Följande faktorer inverkar på ANFO:s detonationsegenskaper:

- a) tillstånd med hänsyn till förhållandet yta-volym
(kristallint, prillat, pelleterat etc.)
- b) partikelstorlek
- c) oljehalt
- d) laddningstäthet
- e) fuktighetsgrad
- f) laddningsdiameter
- g) inneslutning
- h) ytbehandling av AN

Fig. 3-7 ger några exempel på hur detonationen i ANFO beror av oljehalt, fuktighet, laddningsdiameter, laddningstäthet. Diagrammen är hämtade ur /8/.

Håller man sig till någon speciell kvalitet av ANFO så har man någorlunda kontroll över variablerna a, b, c och h. Med en bestämd borrhålplan och en tränad personal med laddningsutrustning så känner man också faktorerna d, f, g. Fuktighetsgraden betingas emellertid av de lokala omständigheterna vid laddning. Våta borrhål måste göra det synnerligen svårt att uppskatta den fuktighetsgrad som ANFO får vid laddning eller vatteninträngning. En eljest sprängkapselkänslig ANFO kan kanske under sådana omständigheter endast initieras med en kraftig primer.

Av de här refererade undersökningarna framgår att man i grovhål laddade med ANFO ser en tydlig förbättring av brytningsresultat då en kraftigare primer användes medan man i klenhål inte ser någon skillnad alls i resultatet om primern uteslutes.

Man lägger emellertid märke till att några undersökningar avser typer av ANFO som sannolikt ej längre användes för sprängningsändamål (t.ex. ANFO behandlad med diatomacéjord eller kiselgur). En undersökning av brytningsförmågan av de ANFO-kvaliteter som idag användes i svensk berghantering synes befogad.

Referenser.

1. Rylund, Paul H. Maximum utilization of ANFO energy by proper initiation.-
Society of Mining Engineers of AME
Preprint No. 72-AO-329 (1972).
2. Junk, Norman M. Priming ANFO for Overburden Shooting.-
Presented at the Annual Meeting of the
Indiana Coal Mining Institute Evansville,
Indiana, April 11-12, (1969).
3. Travis, P., Zeedler, P., and
Carlsson, C. Blasting Without Primer.-
Mining Magazine, March, Vol. 124
No. 3 (1971).
4. Gulf Oil Corporation The new look of Blasting.
5. Sadwin, L.D., et al. Underwater Evaluation of the Performance
of Explosives.-
International Symposium on Mining
Research, p. 125-34 (1962).
6. Caspar, J. Olika faktorerers inverkan på detonations-
förlopp och gasbildning vid sprängning
med AN+olja.-
Protokoll från Bergsprängningskommitténs
diskussionsmöte (1961).
7. Ahlman, H. Erfarenheter och utveckling av AN-
sprängämnen vid förvaltningen i Kiruna.-
Protokoll från Bergsprängningskommitténs
diskussionsmöte (1966).
8. Dick, Richard A. The Impact of Blasting Agents and
Slurries on Explosives Technology.-
Bureau of Mines Information Circular
No. 8560 (1972).
9. Bjarnholt, G. Data från undervattensskjutningar för
39 olika sprängämnen.-
Stiftelsen Svensk Detonikforskning,
Stockholm, rapport DS 1973:7, (1973).

Tabell 1. Resultat av undervattensprängning med ANFO av olika kvalitet och med varierande boosterladdning.
Medelvärden av flera försök /5/.

Sprängämne	Laddn.vikt kg	Booster typ	Vikt g	Reducerat max. tryck bar. m/kg	Stöt vågsenergi MJ/kg	Bubbelenergi MJ/kg
94/6 ANFO Gulf NN prills	3.63	PETN stub.	8.6	275 ± 46	0.81 ± 0.23	1.78 ± 0.57
"	3.63	"	25.9	280 ± 14	0.61 ± 0.25	2.0 ± 0.21
"	3.63	"	77.8	330	0.63	1.88 ± 0.36
"	12.57	"	300	341 ± 44	0.54 ± 0.06	2.01 ± 0.08
94/6 ANFO med diatomacéjord prills	3.63	"	25.9	125 ± 16	0.17 ± 0.05	0.74 ± 0.04
"	3.63	"	43.1	207	0.29	1.26
"	3.63	"	77.8	259 ± 16	0.38 ± 0.04	1.83 ± 0.11
94/6 ANFO pelletterad	3.63	"	25.9	100 ± 8	0.066 ± 0.004	0.61 ± 0.06
"	3.63	"	43.1	139	0.17	0.76
"	3.63	"	77.8	224	0.32	1.30
Comp. B 64/36 RDX/TNT	0.6-3.0	Pressad tetryl	-	344 ± 11	1.21 ± 0.16	1.51 ± 0.12
Prillit /9/	0.36	Startex	20.0	362	0.91	1.98

Tabell 2. Relativa prestanda för olika ANFO-kvaliteter vid a) sprängprov i berg enligt fig. 1.
b) undervattensprov. /4/

Sprängämne	Initiering	Maximal töjning	Töjnings- impuls	Töjnings- energi	Krossad volym	referenssprängämne
Dynamit, 60 %	spk 6	100	100	100	100	referenssprängämne
ANFO typ NIV Gulf	spk 6 + +78 g PETN	70	110	81	68	
ANFO m. 3% kiselgur	- " -	48	85	40	65	
- " -	spk 6 + + 26 g PETN	41	69	26	37	
Medelfel %		15	18	30	15	

a)

Sprängämne	Initiering	Max. tryck	Stötvågs- impuls	Stötvågs- energi	Bubbel- energi	referenssprängämne
Dynamit, 60 %	spk 6 + Titan- booster	100	100	100	100	referenssprängämne
ANFO typ NIV Gulf	spk 6 + + 78 g PETN	102	89	99	80	
ANFO m. 3% kiselgur	- " -	86	76	56	77	
- " -	spk 6 + + 26 g PETN	42	49	25	31	
Medelfel %		10	8	15	10	

b)

Tabell 3. Partikelstorleken inverkan på detonationshastighet för
94/6 ANFO (Gulf NIV) i järnrör 50 mm enligt /4/.

Partikelstorlek US standard sikt nr	Antal försök	Laddn.- täthet	Med.värde av det.hast. m/s
- 8 till +10	10	0.94	2850
-10 till +12	10	0.96	3050
-12 till +16	10	0.96	3230
Mald i kulkvarn -140 till +325	10	0.98	4200
Standard prills	8	0.88	2600

Sikt nr 8 har 2.38 mm maskvidd

"	"	10	"	2.00 mm	"
"	"	12	"	1.68 mm	"
"	"	16	"	1.19 mm	"
"	"	140	"	0.105 mm	"
"	"	325	"	0.044 mm	"

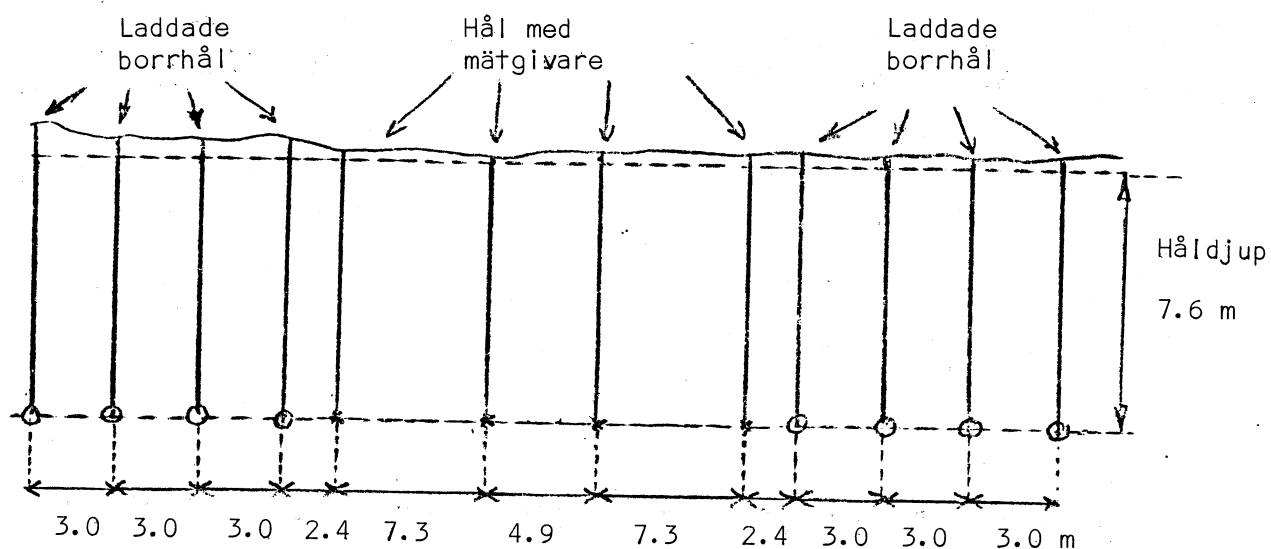


Fig. 1. Bestämning av stötpulsen i berg enligt Bureau of Mines metod. Håldiameter 75 mm för samtliga hål.

Hålen laddas endast i botten och förladdas med sand. Laddningarnas avstånd till fria ytan är så stort att hela det primära stötförloppet hinner registreras utan inverkan av reflexioner.

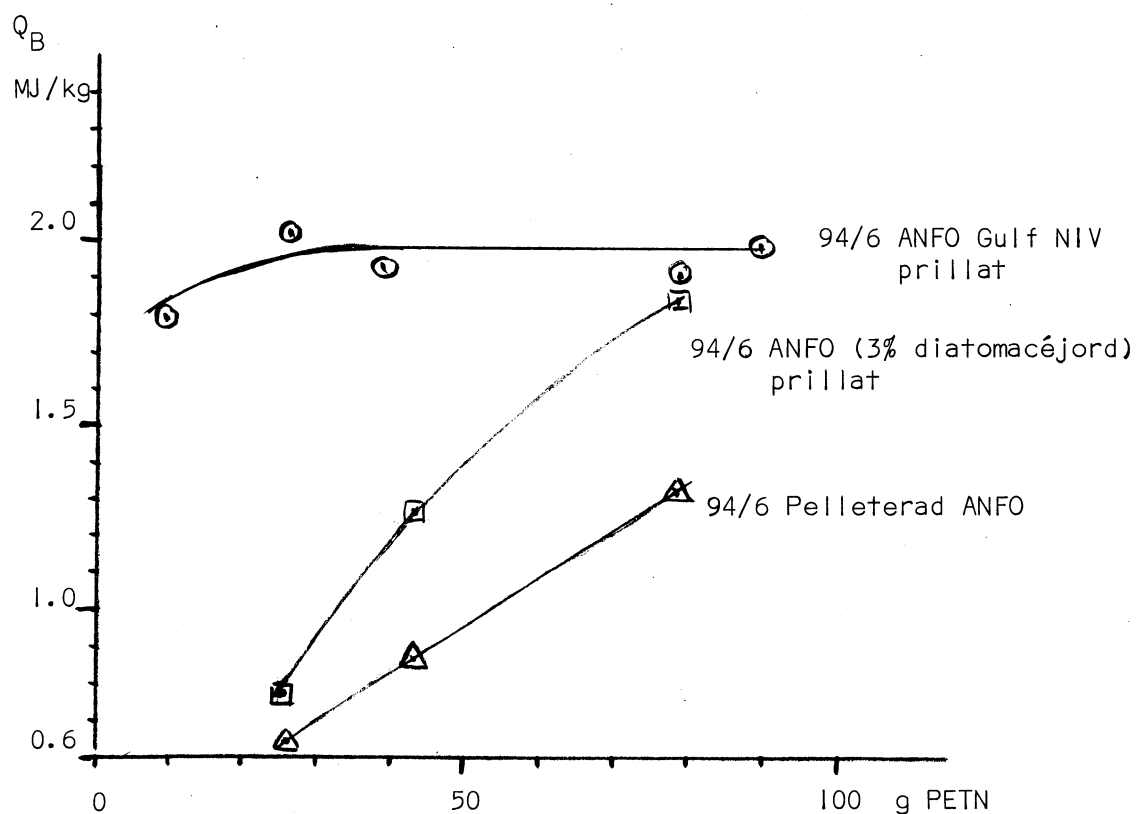


Fig. 2. Bubbelenergi för olika ANFO-kvaliteter som funktion av mängden PETN använd i primerladdningen (Primacord).

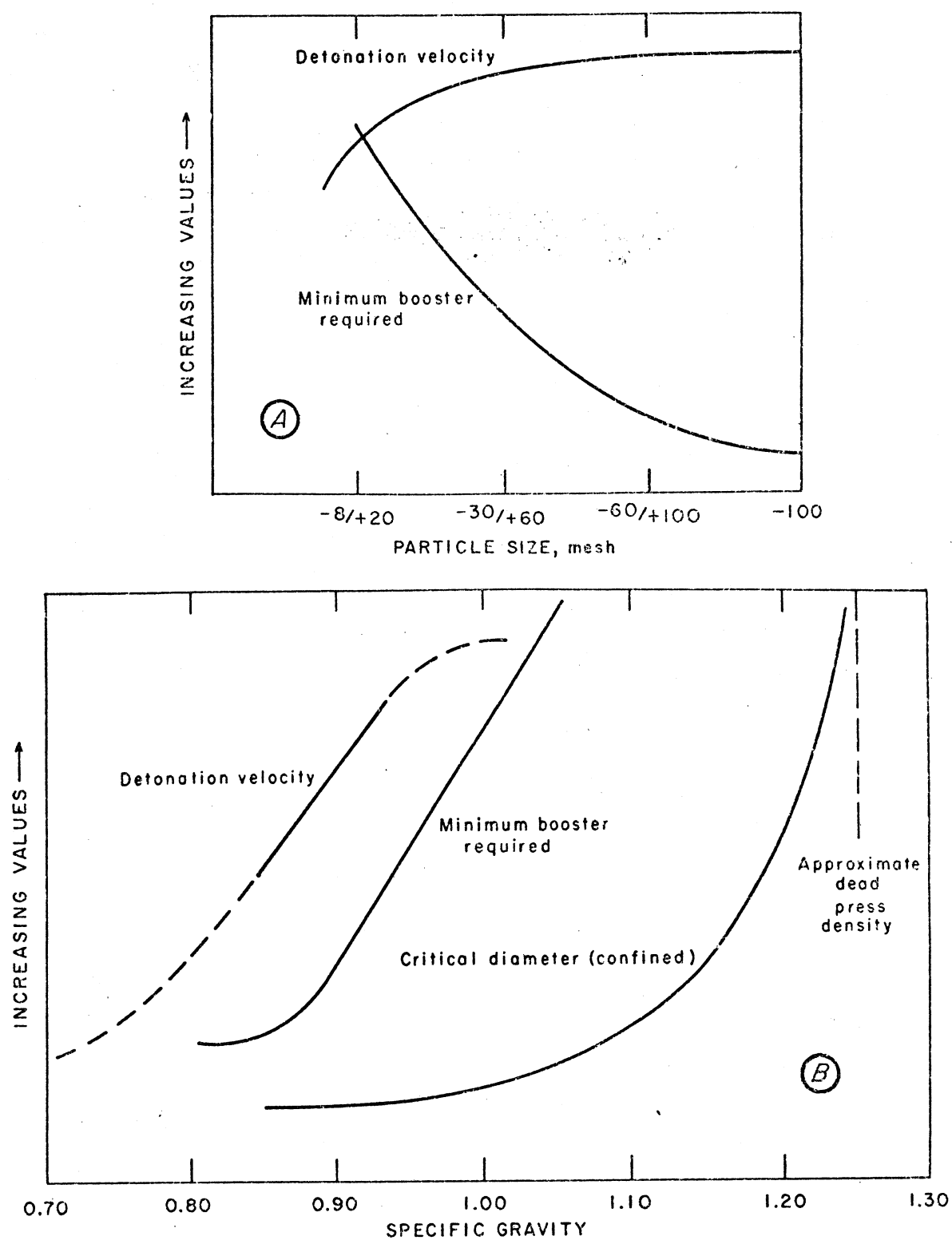


Fig. 3. Inverkan av partikelstorlek (A) och täthet (B) på initierbarhet, detonationshastighet och kritisk diameter på ANFO.

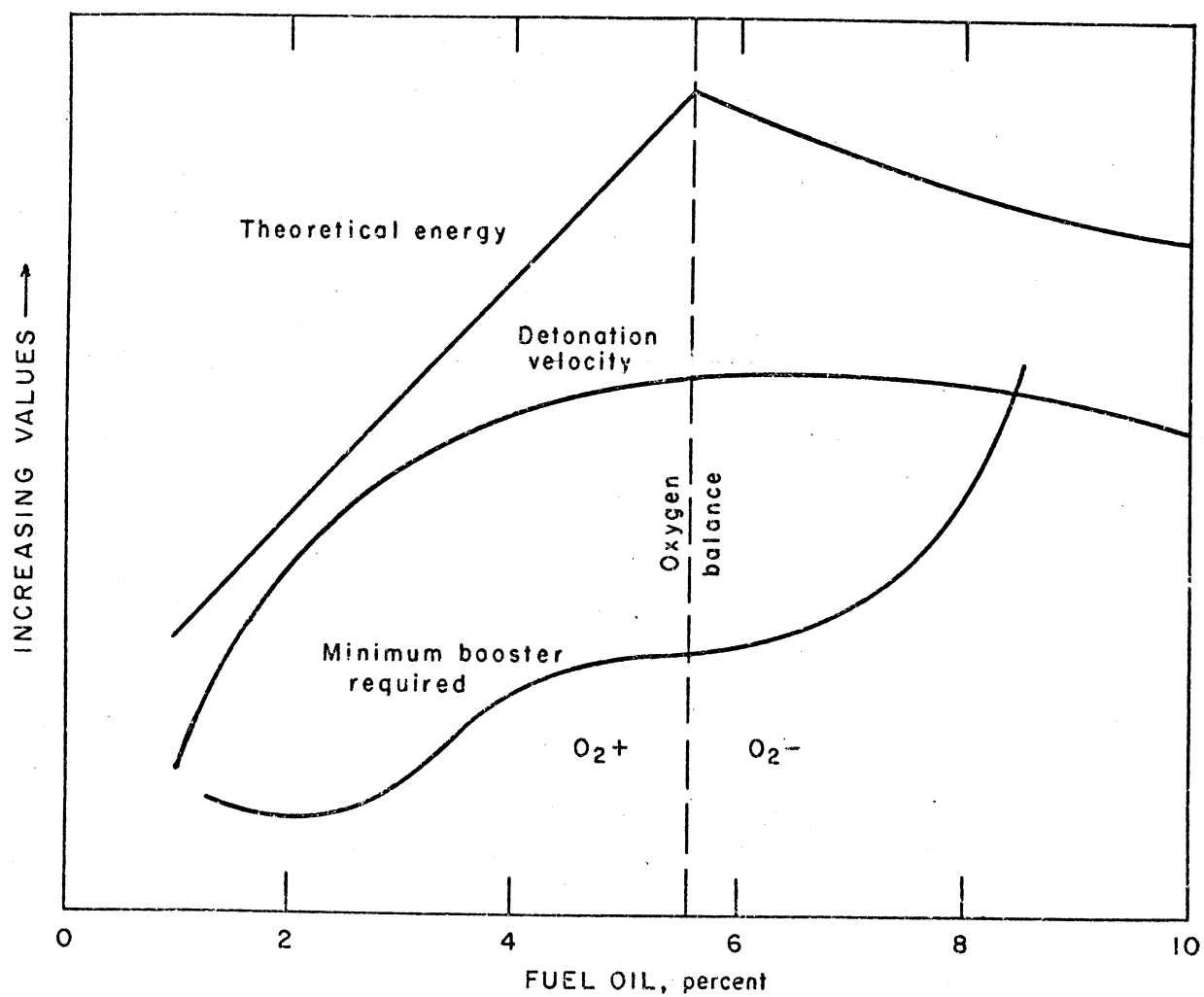


Fig. 4.. Syrebalansens inverkan på initierbarhet, detonationshastighet och energi i ANFO.

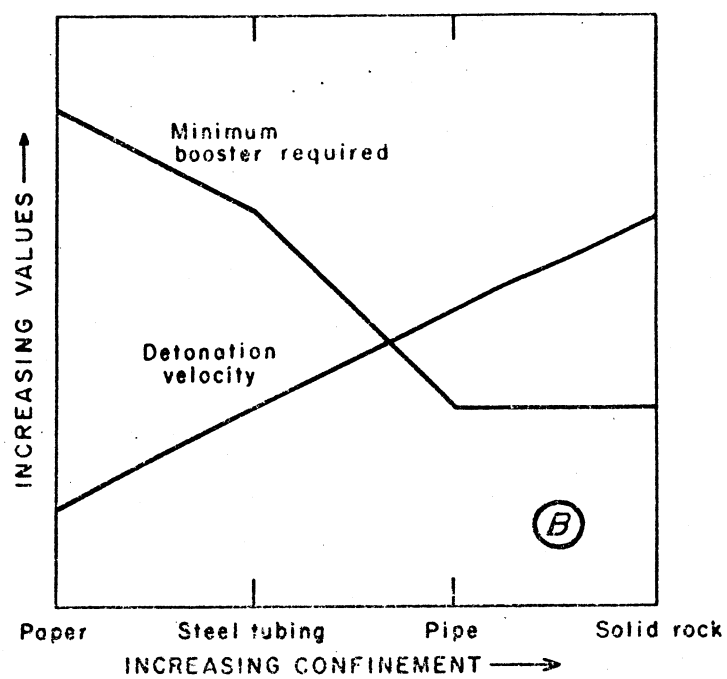
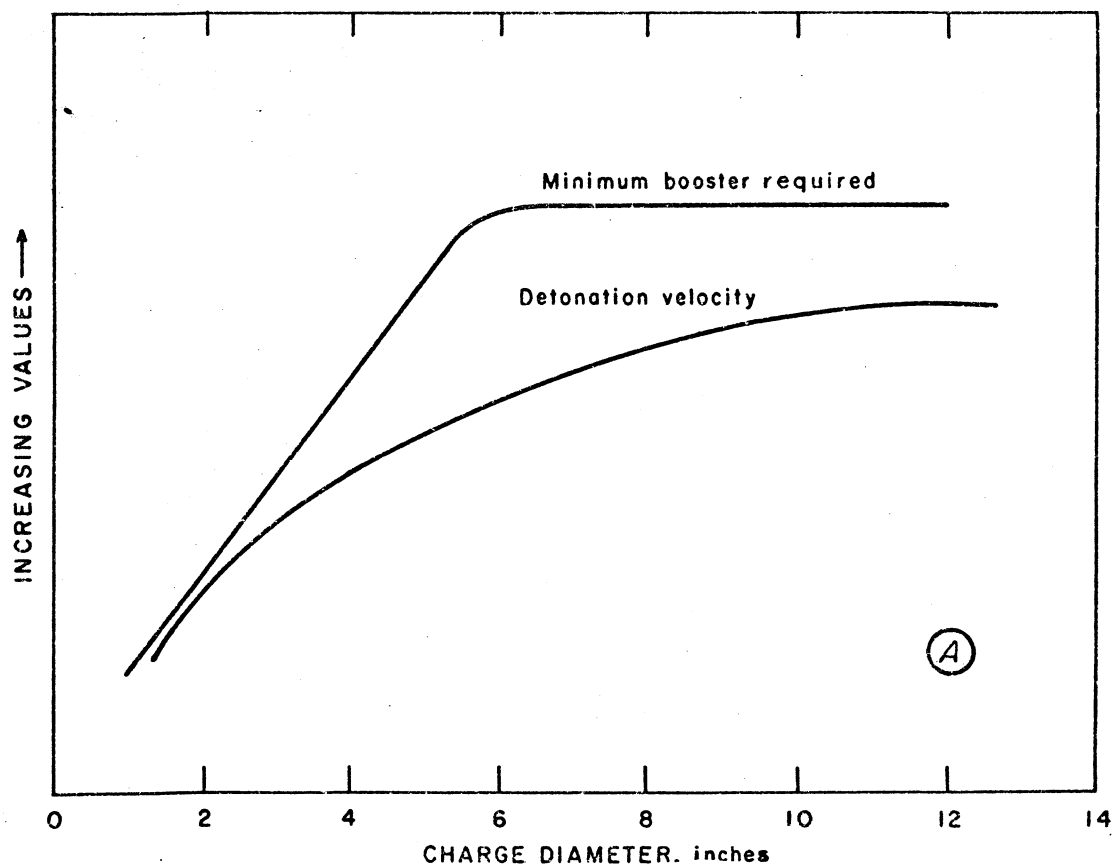


Fig. 5. Inverkan av laddningsdiameter (A) och inneslutning (B) på detonationshastighet och initierbarhet.

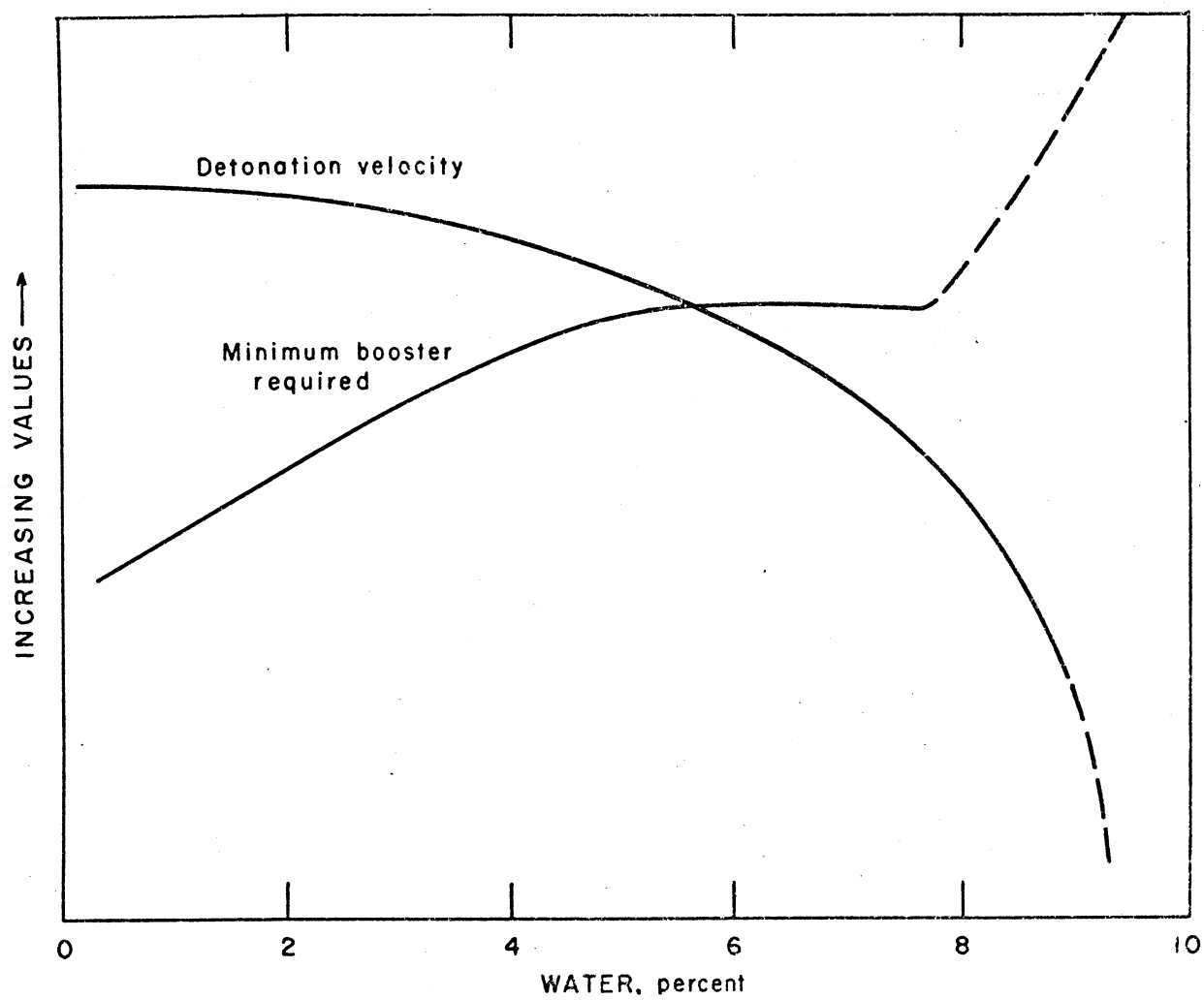


Fig. 6. Inverkan av vattenhalten på ANFO:s detonationshastighet och initierbarhet.