Rapport DS 1991:12G

GRUV TEKNIK 2000

FRAGMENTERING
G 2000 91:37
Projekt 206-1

Orsaker till detonationsavbrott

Algot Persson

Fri distribution

SveDeFo
STIFTELSEN SVENSK DETONIKFORSKNING
SWEDISH DETONIC RESEARCH FOUNDATION
BOX 32058 · S-126 11 STOCKHOLM · SWEDEN

ORSAKER TILL DETONATIONSAVBROTT

DS 1991:12G 1991-11-07

Algot Persson

Sammanfattning

Detonationsavbrott i öppningskilar eller i förvägsladdade skivraskransar är en icke ovanlig företeelse. Orsakerna kan vara flera, men i här rapporterat projektarbete har intresset koncentrerats till det fall att sprängämne respektive tändmedel utsatts för tryck och komprimerats före initiering (s k förkompression) som följd av att närliggande borrhål initierats och detonerats ett eller flera intervall tidigare.

Rapporten är en sammanställning av de viktigaste resultaten från flera delrapporter* som redovisar olika faser av projektarbetet inom Projekt Nr. 206-1, projektområde Fragmentering.

Projektarbetet inriktades på att konstruera en piezo-tryckgivare för engångsbruk i sprängämnesladdade borrhål och studera trycktidförloppet i sprängämnet, då närliggande hål detoneras. Arbetet blev mer omfattande än beräknat men har resulterat i en användbar givare med tillräcklig upplösning och acceptabel noggrannhet.

Resultaten av mätningar utförda i borrhål visar att inströmning av detonationsgaser från närliggande hål är den vanligaste orsaken till förkomprimering av sprängämnet. Kompression och dödpressning av ANFO samt barriärverkan av dödpressad ANFO har undersökts och densitetsgränsen som är diameterberoende redovisas.

Projektplanen avsåg även att undersöka tryckpåverkan på emulsionssprängämnen. En del mätningar redovisas men arbetet var inte avslutat vid tidpunkten för färdigställandet av denna rapport.

* SveDeFo rapporterna DS 1990:1, DS 1991:1, DU 1991:4, DS 1991:5G och DS 1991:9.

ISSN 0280-6835 Sidantal: 25

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	sid
1. BAKGRUND	4
2. MÅL	5
3. UTFÖRANDE	6
4. UTVECKLING AV TRYCKKÄNSLIG SOND FÖR MÄTNING I LADDADE BORRHÅL	6
5. UNDERSÖKNING AV KOMPRIMERADE SPRÄNGÄMNENS EGENSKAPER	9
5.1 Statisk kompression av ANFO, dödpressningsprov	9
5.2 Detonationsöverföring genom dödpressat ANFO	11
5.3 Dynamisk kompression av ANFO, experiment och datorsimulering	12
5.4 Mätning av tryck i emulsionssprängämne	13
6. SLUTSATSER	15
7. KOMMENTARER	16
8. REFERENSER	17
FIGURER	18

1. BAKGRUND

Vid praktiska sprängningar i underjordsgruvor inträffar ibland allvarliga störningar i sprängsalvors funktion som leder till grov fragmentering, gråbergsinblandning och t o m fastskjutningar. Dessa störningar orsakar extra kostnader och kvalitetsstörningar för gruvorna. En trolig orsak till den dåliga funktionen i dessa salvor är att endast en del av det sprängämne som laddats i salvan detonerat eller att det detonerat på fel plats eller vid fel tidpunkt /1/.

Troliga förekommande orsaker till initieringsfel, detonationsavbrott eller allvarliga störningar i funktionen hos sprängämne som laddats i borrhål är

a) att sprängkapsel, primer eller sprängämne förflyttas i förhållande till varandra när sprängkapseln detonerar, så att initieringsfel uppstår. Risken för detta är speciellt stor vid solfjädersborrning i skivraskransar med mynningsinitiering beroende på de små hålavstånden och närheten till fria ytor,

b) vattenskadat sprängämne. Sådant kan förekomma, speciellt vid förvägsladdning av ANFO då sprängämnet får stå länge innan salvan skjuts,

c) långa luftgap utan sprängämne, orsakade av brister i laddningsförfarandet eller av mekanisk separering efter laddningsförfarandet,

d) bergmaterial som faller in eller skjuts ut och orsakar avbrott i sprängämnessträngen. Kan orsakas av genomborrning för små hålavstånd p g a hålavvikelser eller trasigt berg,

e) helt eller delvis avskjuvade borrhål, orsakade av bergrörelser tvärs borrhålsaxeln efter laddning av sprängämnet.

Enligt vad vi vet idag, sker i stor utsträckning rivning från borrhål till borrhål under salvans gång. Att så är fallet

bekräftas i en rapport av Agne Rustan och medarbetare /1/, vilken redovisar försök hos LKAB i skivraset i Kaptensmalmen. Detta torde ge upphov till många felfunktioner i salvor med den standardborrplan som hittills använts hos LKAB. För att undvika denna rivning rekommenderar Rustan att hålavstånden vid 104 mm:s borrhålsdiameter ökas till 2,5 m i salvans mitt och till 1,5 m vid kanterna.

f) komprimering av sprängämnet innan det initierats (förkomprimering) genom att gas eller fast material trycks in i sprängämnet p g a verkan från tidigare initierade borrhål i salvan. Sådan förkomprimering kan nedsätta känsligheten hos sprängämnet, så att det ej kan initieras eller fortplanta detonationen (dödpressning).

I detta projekt undersöks funktionsstörningar som faller under punkt f) ovan. För detta behövs ökad kunskap om den borrhålsmiljö som sprängämnet utsatts för före och under en salva. Initierings- och detonationsegenskaperna hos olika sprängämnen i denna miljö är inte heller tillräckligt kända. Speciellt gäller detta emulsionssprängämnen.

2. MÅL

Projektet syftade först och främst till att bestämma den fysiska miljö som ett i ett borrhål laddat sprängämne utsätts för då närliggande borrhål detonerar. För det andra skulle initierings- och detonationsegenskaperna bestämmas för några intressanta sprängämnen som utsätts för tryckpåkänningar lika de som uppstår i borrhål då närliggande hål detonerar. Det sprängämne som speciellt skulle studeras var ANFO och några emulsionssprängämnen.

Resultaten skall användas för att beskriva och ange risk för några vanliga felfunktioner som uppträder i olika kombinationer av borrhålsmiljö och sprängämne.

3. UTFÖRANDE

Projektarbetet har pågått i flera etapper mellan 1988 och 1990 och redovisas i detalj i följande SveDeFo rapporter: "Measuring Dynamic Pressure in ANFO and Emulsion Explosives - Experiences in Developing a Pressure Gauge Based on Piezo Ceramic Material" DS 1990:1 /2/, "The Dead-pressing Phenomenon in an ANFO Explosive" DS 1991:1 /3/, "Närhålspåverkansförsök i Storsjötunneln" DU 1991:4 /4/, "Tryckpåverkan på sprängämne i borrhål" DS 1991:5G /5/ och "Givarstav för mätning av tryck i laddade borrhål" DS 1991:9 /6/.

Arbetet har i stort sett följt de planer som utformades vid början av projektet.

En trycksond som kan placeras i ett sprängämnesladdat borrhål och som vid detonation av ett närliggande hål kan känna av tryckförändringen i sprängämnet har konstruerats. Sonden har provats under laboratorieförhållanden såväl som i tunnelsalvor. De erfarenheter som gjordes under dessa prov ledde till flera nödvändiga omkonstruktioner.

Kompression och dödpressning av ANFO har undersökts. En densitetsgräns för initiering och detonationsfortplantning har kunnat bestämmas. Till följd av att utvecklingen av en trycksond för studier av borrhålsmiljön tog avsevärt längre tid än beräknat har inte alla punkter i målsättningen uppnåtts. Undersökning av emulsionssprängämnenas egenskaper under och efter tryckbelastning i borrhål har heller inte kunnat slutföras.

I följande avsnitt redovisas projektarbetet samt erfarenheter och resultat av detta.

4. UTVECKLING AV TRYCKKÄNSLIG SOND FÖR MÄTNING I LADDADE BORRHÅL

Med utgångspunkt från att en sådan sond skulle vara enkel att tillverka och till en ringa kostnad, startades detta arbete med att givare konstruerades av en piezoelektrisk folie av polyvinyliden-

fluoridplast, PVDF. Detta material visade sig vara både billigt och lätthanterligt. En mätstav bestående av ett klent stålrör med upp till fem stycken foliegivare tillverkades. Tryckkänsligheten hos piezofolien kunde enkelt bestämmas med hjälp av en fabrikstillverkad tryckgivare. Känsligheten, 130 pC/bar cm^2 var linjär upp till 20 MPa (200 bar).

Givarstaven provades dels under laboratorieförhållanden med hjälp av stötvågor i vatten dels i ANFO-laddade borrhål, då hål på avståndet 0,4-0,8 m detonerades. Erfarenheterna från dessa försök visade att foliegivarna återgav tryckförlopp med amplituder upp till 5 MPa (50 bar) godtagbart. Vid små amplituder observerades emellertid även på trycksignalen överlagrade svängningsförlopp till följd av mekaniska svängningar i stålröret som givarna monterats på. Vid högre tryck med snabb tryckstegring erhölls andra störande fenomen såsom nollpunktsförskjutning, språngvis ändring av utspänningen och ompolarisering. Mätningarna i borrhål utfördes i Nitro Nobels försökstunnel i Västra Sund.

Registreringarna från dessa försök visade att även om givarna hade vissa funktionsfel vid olika belastningar, erhölls information om förhållandet i ett borrhål då närliggande hål detonerar. Storleken av trycket som kunde mätas i sprängämnet visade att vid små hålavstånd och vid olämpliga sprickplansriktningar var trycksättning av hålet genom gasinträngning en realitet. För en mer detaljerad redogörelse av detta arbete hänvisas till SveDeFo rapport DS 1991:9 /6/.

Samma sondkonstruktion användes vid mätningar i Storsjötunneln som utfördes av Nie och Bjarnholt och redovisas i SveDeFo rapport DU 1991:4 /4/. Deras erfarenheter av givarna var desamma. Även dessa mätningar visade tydligt att trycknivån i närliggande borrhål var starkt beroende av hålseparation och skiktningar i berget.

Piezofolien var inte enbart känslig för last vinkelrätt foliens yta utan även för töjning, vilket visade sig vid ojämnt tryck över givarens yta och vid böjning av givarstaven. Foliegivarna kunde därför inte anses tillräckligt tillförlitliga för tryckmätning i borrhål.

Den fortsatta givarutvecklingen inriktades därför på att använda en piezokeramisk platta som tryckkännande element, eftersom detta material måste anses vara mer mekaniskt stabilt. I SveDeFo rapporten DS 1990:1 /2/ redogöres för det omfattande arbete som blev nödvändigt för att få en tillförlitlig givare av vad som till en början föreföll vara en enkel konstruktion. Det visade sig vid provning av givarna i borrhål att signalerna var helt olika de som erhållits vid kalibrering i laboratoriemiljö. Till följd härav igångsattes ett omfattande utredningsarbete. Med fortsatta provningar i vatten och i borrhål kunde dock till sist problemen lösas.

Resultaten av detta arbete visade att tillverkarens uppgifter om det piezokeramiska materialets egenskaper var ofullständigt. Sålunda saknades uppgift om materialets piezo-keramiska konstant vid allsidig tryckbelastning. Informationen om lödbarheten angav inte att materialet ompolariserades även vid de temperaturer som rekommenderades för lödning, men att piezo-effekten återgick till den ursprungliga efter ca två veckors vila för materialet. Av denna orsak kunde en kalibrering av givarna göras först efter det att materialet stabiliserats.

Den nya givarkonstruktionen framgår av Fig. 1. En piezo-keramisk platta med diametern 3 mm och tjockleken 1 mm löddes på en tunn koaxialkabel som försetts med en plastplugg med anslutningstrådar. Plattan omges med en plastkapsel, fylld med silikonolja som förmedlar trycket i gasen eller sprängämnet i borrhålet till piezoplattan. Den anslutna koaxialkabeln skyddas med ett tunt stålrör utefter den längd som införes i borrhålet vid mätning.

Med denna konstruktion kommer plattan att utsättas för allsidigt tryck och eventuella ojämnheter i sprängämnet, t ex kornighet, kommer inte att påverka givaren. Försöken med givaren i borrhålsmiljö visade att koaxialkabeln kan generera laddning till följd av den triboelektriska effekten, vilken då ger signaler av samma storleksordning som den tryckgenererade signalen från piezo-plattan. Ingjutning av kablarna i plastfyllda aluminiumprofiler visade sig inte ge tillräckligt skydd för kabeln vid försök i ANFO-laddade hål, varför kabeln inneslöts i ett stålrör. Noggrannheten på mätningen med en givare av piezoelektrisk typ beror på hur pass våldsamt omgivningen beter sig. Den nu

utvecklade givaren har visat sig ge en lika god mätning av trycket i borrhål som fabrikstillverkade givare med betydligt högre pris.

5. UNDERSÖKNING AV KOMPRIMERADE SPRÄNGÄMNENS EGENSKAPER

När gas under högt tryck läcker in från närliggande borrhål, sker detta sällan utefter hålets hela längd. Följden måste bli att sprängämnet skjuts framåt eller bakåt i hålet och komprimeras lokalt. Vid ANFO-laddning uppstår då oftast en propp med hårt packat sprängämne som emellertid avtar i densitet till den normala, i den ej tryckbelastade änden.

Två frågor väcks då omedelbart. Till vilken densitet kan ANFO komprimeras innan en detonationsfortplantning blir omöjlig? Hur lång kan en propp av "dödpressat" ANFO vara utan att detonationsavbrott uppstår?

I rapport DS 1991:1 /3/ redovisas ett antal experiment med ANFO komprimerat till densiteter mellan 1,2-1,6 kg/dm^3. En sammanfattning av dessa experiment som omfattade såväl initieringsprov som överslagsprov ges i följande avsnitt.

5.1 Statisk kompression av ANFO, dödpressningsprov

Tidigare undersökningar av ANFO har visat att "dödpressning" uppnås vid en densitet större än 1,25 kg/dm^3, men någon systematisk undersökning har inte gjorts. Efter en serie inledande försök kunde en provapparat för bestämning av detonerbarheten hos komprimerat ANFO utformas. Utseendet framgår av Fig. 2.

Prillat ANFO pressades till en jämn densitet i ett järnrör, längd 200 mm. Pressningen utfördes med hjälp av en hydraulcylinder och endast en mindre mängd prills pressades åt gången för att en så jämn densitet som möjligt skulle erhållas. Röret med presskropparna passades in i ett annat större järnrör, längd 0,8-1,0 m. I detta laddades ANFO manuellt ovanför presskropparna (se Fig. 2). Initieringen av det

komprimerade ANFO:t gjordes således med ANFO av normal densitet (0,8-0,9 kg/dm^3).

Den komprimerade laddningens längd var 400-500 mm och den initierande laddningens längd densamma. Diametern på det pressade sprängämnet varierades i tre steg, 45, 60 och 75 mm. Detonationsförloppet kontrollerades dels genom att detonationshastigheten mättes utefter hela rörets längd dels med hjälp av en vittnesplatta i botten av den pressade laddningen. Provresultaten visade att den högsta densitet en ANFO-laddning kan ha för att vara detonerbar beror inte helt oväntat på diametern. Tabell 1 är en sammanställning av resultaten från tolv prov. För ytterligare detaljer av experimentuppställning, provteknik och resultat hänvisas till rapporten DS 1991:1 /3/.

Tabell 1 Densitet vid vilken prillat ANFO anses dödpressat

Laddn.diameter	Dödpressningsdensitet, kg/dm^3	
mm	Exp.värde	Bästa uppskattn.
45	appr. 1,36	1,35
60	1,35-1,43	1,39
75	> 1,36	1,43

Som framgår av tabellen är de nu funna värdena på dödpressningsdensitet högre än man tidigare ansett vara tillämpligt. Man skall då ha i åtanke att den tidigare densiteten relaterades till klenare laddningsdiametrar samt prillat och kristallint ANFO blandat. Givetvis har även inneslutningen betydelse för detonerbarheten av komprimerat sprängämne. Det kan därför tänkas att en detonationsfortplantning kan vara möjlig, även vid en något högre densitet än vad som här angivits.

Hur högt tryck utsattes ANFO-provet för under provberedningen? Enligt rapporten behövdes ett tryck mellan 4,5-8,5 MPa (beroende på diametern) för att uppnå en densitet av 1,4 kg/dm^3. Tryck av denna storleksordning kan man säkert erhålla vid gasöverströmning från ett

närliggande borrhål. I sådant fall rör det sig emellertid om en dynamisk trycklast, dvs trycket varierar med tiden.

5.2 Detonationsöverföring genom dödpressat ANFO

Behöver en propp av dödpressat ANFO betyda att detonationen i ett borrhål avstannar? För att få svar på denna fråga förlängdes den nyss beskrivna provapparaten, så att en 0,3 m lång laddning av ANFO kunde laddas med normal densitet i kontakt med den andra änden av den komprimerade ANFO-laddningen. I en serie försök varierades såväl densiteten som längden på den komprimerade cylindern. Samma diametrar på rör och cylinder som i det tidigare provet användes. Provuppställningen framgår av Fig. 3.

För att indikera att en detonationsöverföring erhölls, mättes detonationshastigheten över flera små sträckor i såväl givar- och mottagarladdningen som i den pressade ANFO-laddningen. Då en detonationsöverföring skett, kunde en accelererande hastighet i mottagarladdningen registreras.

Försöksresultaten för 45 mm:s diameter åskådliggöres av diagrammet i Fig. 4, där längden av den komprimerade ANFO-cylindern plottats mot densiteten. Den kurva som åtskiljer experimenten, som resulterat i detonationsöverföring från de där överföring ej skett, kan beskrivas matematiskt med följande formel

$$\left(\frac{\rho-\rho_c}{\rho_{max}-\rho_c}\right) \cdot \left(\frac{L}{L_m}\right)^2 = 1$$

där ρ = det komprimerade ANFO:ts densitet
ρ_c = högsta densitet vid vilken ANFO fortfarande detonerar
ρ_{max} = kristalldensiteten för ANFO:t
L = längden av det komprimerade ANFO:t
L_m = maximala längden av den ANFO-laddning som inte vållar detonationsavbrott oavsett densiteten.

Formeln kan utsträckas att gälla för experimenten med diametrarna 60 och 75 mm. L_m antar då värdena enligt tabell nedan

Komprimerad laddningsdiam. (mm)	L_m(mm)
45	106
60	128
75	141

Vid beräkning av L_m har ρ_c satts till 1,2 kg/dm^3. I verkligheten bör situationen vara gynnsammare än i provet, eftersom densiteten vid en hoppressning av inströmmande gas inte ger så skarpa gränser mellan hög och låg densitet som i detta experiment.

5.3 Dynamisk kompression av ANFO, experiment och datorsimulering

För att studera dynamisk kompression av sprängämnen och den samtidiga förändringen av initierbarheten utformades en experimentuppställning som visas i Fig. 5. I botten av ett borrhål införes en expanderbar plugg av lera, försedd med en krutladdning längst in mot borrhålsbotten och en snabb sprängkapsel med primer i andra änden. Pluggen trycks till utifrån med en laddkäpp varvid pluggen expanderar och tätar mot borrhålsväggen. En mätstav med tryckgivare införes i hålet som laddas så, att sprängämnet kommer i god kontakt med pluggen. Borrhålet förladdas med en lång sandpropp. Krutet avfyras med en elektrisk tändpärla och krutgaserna sätter då sprängämnet under tryck under en kort tid. Sprängkapseln kan avfyras med hjälp av en fördröjningsgenerator efter en fördröjningstid som svarar mot en önskad trycknivå.

Lerproppen utprovades först i ett stålrör laddat med AN utan olja och försett med en muff. Anordningen syntes fungera väl. Prov gjordes senare i sex 51 mm:s borrhål, 4 m djupa, i Nitro Nobels provtunnel i Västra Sund. Tyvärr var tryckgivarna då inte färdigutvecklade och de registrerade trycksignalerna var svårtolkade p g a signaler genererade i kabeln.

I fyra av försöken detonerade ANFO:t. I det fall sprängämnet inte detonerade hade sprängkapseln skadats vid tilltryckningen av lerproppen. Det kan inte säkert avgöras om sprängämnet verkligen komprimerades vid försöken. Att trycka till lerproppen i det 4 m djupa hålet medelst en speciell laddkäpp fungerade inte så bra. Det kan därför tänkas att krutgasen läckt förbi pluggen och kompressionen av sprängämnet blivit svag eller uteblivit helt.

Med hjälp av en matematisk modell kan man få en uppfattning om hur snabbt ANFO kan dödpressas under inverkan av tryck. En enkel modell av en oändligt lång cylindrisk ANFO-pelare har studerats med ett "finita element"-program, Autodyn. I brist på tillståndsekvationen för oreagerat ANFO användes tryck-volym-sambandet som erhölls vid statisk kompression av ANFO i en hydraulpress. Man antar vidare att pelaren utsättes för ett plötsligt trycksprång i radiell led upp till ett konstant tryck. Resultatet av denna studie visas i diagrammet, Fig. 6. Tiden för kompression av en laddning med diametern 48 eller 100 mm är mindre än en millisekund vid ett tryck av 6 MPa. Man bör lägga märke till att denna tid är mycket kort jämfört med normal fördröjning mellan närliggande hål i en salva.

5.4 Mätning av tryck i emulsionssprängämne

Under utprovningen av tryckgivaren användes även emulsionssprängämne och den i föregående avsnitt beskrivna försöksanordningen. Laddningen utfördes manuellt och därvid kom en del luft att inneslutas i emulsionen. När krutladdningen antändes, försköts sprängämnet kraftigt framåt vilket skadade givare och kabel. Vid ett av dessa prov i järnrör erhölls dödpressning av emulsionssprängämnet men tyvärr kunde då inte trycket i sprängämnet avläsas.

I samarbete med Kimit AB och Luleå Tekniska Högskola utfördes under våren 1991 en undersökning av tryckpåverkan på emulsionssprängämne i borrhål, då närliggande borrhål detonerades. Undersökningen som gjordes i LKAB:s underjordsgruva i Kiruna redovisas i rapport DS 1991:5G /5/.

I en ortgavel borrades ϕ 64 mm hål, 2-4 m djupa, enligt konfigurationen i Fig. 7. Genom LuH:s försorg gjordes en studie av eventuella sprickförbindelser mellan hålen medelst vattenförlustmetoden. Resultaten av denna visade att av nio detonerade hål hade man sprickförbindelse mellan skjuthål och mäthål i endast fem av hålen. Berget får således anses ha varit av god kvalitet. Hålen laddades med bulkemulsion (Kimulux R) med densitet 1,2 kg/dm^3. Initiering skedde från botten med en primer som innehöll 25 g sprängdeg. Vid varje försök initierades ett borrhål och mätning gjordes i tre närliggande hål. Den av SveDeFo konstruerade givaren användes. I de fall sprickförbindelser noterats vid LuH:s mätningar, placerades tryckgivaren nära sprickan. Hålavståndet mellan spränghål och mäthål varierade mellan 0,22 och 1,03 m. Detonationshastigheten i det detonerade hålet mättes.

Som kontroll för detonationstidpunkten i det initierade hålet samt förekomsten av detonationsöverföring till något av mäthålen, som ju även var laddade med sprängämne, användes geofoner (svängningshastighetsgivare) fastsatta i berget. Nio försök gjordes. Vid varje försök detonerades ett hål och mätning av tryck gjordes i tre intilliggande hål på varierande hålavstånd. I tre försök inträffade detonationsöverföring. Hålavståndet var i dessa fall 0,22-0,28 m. Trycket i mäthålen före detonationen var högt, 12-50 MPa, och i ett fall större än vad mätutrustningen kunde återge. I de mäthål där sprickförbindelse med skjuthålet konstaterats vid mätningen med vattenförlustmetoden registrerades höga tryck (12-50 MPa). Det var inte helt oväntat att detonationsöverföring inträffade i dessa hål. Dock hade i ett av mäthålen som detonerade inte upptäckts någon förbindelse vid sprickmätningen, men hålavståndet var bara 0,22 m. I mäthål med större avstånd till det detonerade hålet än 0,4 m registrerades låga tryck, 0,9-2,8 MPa. Inverkan av ökat hålavstånd framgår tydligt av diagrammet i Fig. 8. Det är mycket sannolikt att vid så små avstånd som 0,22 m mellan hålen, kan de sprickor som bildas radiellt runt det detonerande hålet nå in i närliggande hål. Emulsionssprängämnet som ju fyller upp hålet har god koppling till bergmassan och dessutom hög detonationshastighet 5500 m/s, vilket betyder att den stötpuls som går ut i berget har hög amplitud. Man kan då förvänta sig en kraftig sprickbildning runt hålet.

6. SLUTSATSER

De tryck- och strömningsförhållanden som kan uppstå i ett sprängämnesladdat hål nära ett detonerande hål kommer att påverka såväl sprängämne som tändmedel. Stötvågen som utgår från det detonerande hålet kan åstadkomma en deformation av hålet eller en utstötning av bergmaterial. Förutom att hålet trycksättes av inströmmande gas och sprängämnet komprimeras, uppstår stora förflyttningar av sprängämnesmassan, vilket de nu utförda undersökningarna visar. Som resultat kan proppar av dödpressat sprängämne erhållas alternativt kan sprängämne och tändmedel skiljas åt eller blåsa ut. Det är endast i mycket tydliga fall man kan observera berget okulärt och förutsäga gasöverströmning till närliggande hål.

Konstruktionen av en tryckgivare som skall fungera under sådana omständigheter har därför varit komplicerad och i och med detta tagit en mycket stor del av projekttiden i anspråk. Trots stora ansträngningar har man ej kunnat åstadkomma en givare som störningsfritt kan mäta under alla förhållanden i borrhålet. Inte heller professionella givare av hög kvalitet har visat sig fungera så som man skulle önska sig. Icke desto mindre har våra kunskaper om miljön i närliggande borrhål ökat.

Om tryckpåverkan på sprängämnet orsakas av den från detonationen utgående stötvågen eller av inströmmande gas, eller bådadera, är inte möjligt att avgöra i de aktuella fallen. Det torde dock vara helt klart att inströmmande gas är orsaken till de höga tryck som observerats i dessa undersökningar. Av största betydelse är hålseparationen. Om hålavståndet är så litet att primärsprickzonen från det detonerade hålet når fram till intilliggande borrhål, kommer gaserna från detonationen att strömma över och risken är stor att en detonationsöverföring äger rum. Sprickzonen runt ett detonerat borrhål beror förutom håldiametern på sprängämnet och kopplingen mellan sprängämne och berg. Är hålet fulladdat, som vid bulkladdning, och sprängämnets täthet och energiinnehåll normala, kommer sprickorna som utgår från hålväggen att nå långt ut. Redan befintliga sprickplan eller svaghetsplan med lämplig orientering i berget underlättar i hög grad gasöverströmning.

När det gäller ANFO, kan gaserna komprimera sprängämnet kraftigt. För statisk kompression behövdes tryck mellan 4,5-8,5 MPa. Enligt nu gjorda mätningar har tryck upp till 50 MPa och högre observerats. Dock visar undersökningen att i hål, inte alltför klena, är ANFO detonerbart även vid tätheter upp till 1,4. Är ANFO:t dödpressat, kan detonationen ändå föras över, åtminstone någon decimeter genom att stötvågen ej dämpats mer än att den förmår initiera ANFO med normal densitet.

Någon riktig uppfattning om hur dynamiskt tryck påverkar initierbarheten och detonerbarheten hos emulsionssprängämnen just när trycket ligger på, kan man inte få av de redovisade undersökningarna. Verkan av tryckpåkänningen i detta fall var dock inte bestående. Enligt muntlig rapport från tillverkaren av emulsionssprängämnet använt vid försöken hos LKAB, Kimit AB, var sprängämne som insamlats efter experimenten fortfarande detonerbart och uppvisade inga mikroskopiska förändringar såsom kristallisation. Hur emulsionssprängämnets känslighet förändras under tryck kan vi inte säga, då vi inte lyckats mäta trycket i de fall då sprängämnet inte initierats.

7. KOMMENTARER

Gasöverströmning från detonerande hål till närliggande hål bör undvikas eftersom effekten är förödande. Den mest sannolika orsaken till funktionsfel är inte trycksättningen av sprängämnet utan den förflyttning av sprängämne och tändmedel som blir följden. Vid hålavstånd som är så små att primärsprickzonen sträcker sig fram till intilliggande hål, t ex vid parallellhålskilar, måste risken för funktionsfel eller detonationsöverföring vara mycket stor. Man kan i detta fall ifrågasätta om inte mycket korta intervall eller en momentantändning av hålen är att föredra.

ERKÄNNANDEN

Denna rapport sammanfattar samtliga insatser inom G 2000-projektet "Orsaker till detonationsavbrott", 206-1. SveDeFo har samtidigt med

detta G 2000-projekt bedrivit forskning med liknande målsättning inom SveDeFo:s ramprogram.

Detta G 2000-projekt initierades av Gert Bjarnholt, tidigare SveDeFo-anställd, och fortsatte med Shulin Nie som projektledare för flera av delprojekten. SveDeFo:s experiment har utförts av Shulin Nie, Algot Persson, Junhua Deng, Ulla Smedberg och Gert Bjarnholt.

8. REFERENSER

1. Rustan, A, Öqvist, J, Nie, S, Stenström, T, Köhler, O — Minsta avstånd mellan laddade hål i skivras-brytning.- LuH Teknisk rapport 1988:28T G 2000.

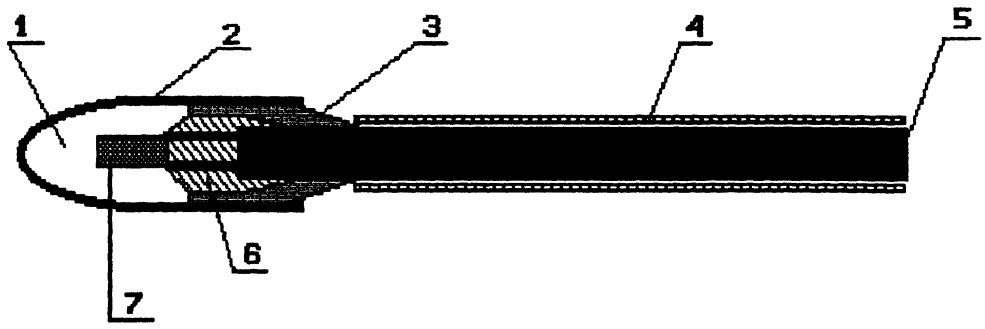
2. Nie, S, Persson, A, Deng, J, Nyberg, U — Measuring Dynamic Pressure in ANFO and Emulsion Explosives - Experiences in Developing a Pressure Gauge Based on Piezo Ceramic Material.- SveDeFo rapport DS 1990:1.

3. Nie, S, Deng, J — The Dead-pressing Phenomenon in an ANFO Explosive.- SveDeFo rapport DS 1991:1.

4. Nie, S, Bjarnholt, G — Närhålspåverkansförsök i Storsjötunneln.- SveDeFo rapport DU 1991:4.

5. Nie, S, Nordqvist, A, Öqvist, J — Tryckpåverkan på sprängämne i borrhål.- SveDeFo rapport DS 1991:5G.

6. Smedberg, U, Persson, A — Givarstav för mätning av tryck i laddade borrhål.- SveDeFo rapport DS 1991:9.



1. Silikonolja
2. Plastkapsel
3. Gummitätning
4. Stålrör
5. Koaxialkabel
6. Epoxyplast
7. Piezo-keramisk platta

Fig. 1: Tryckgivarens konstruktion

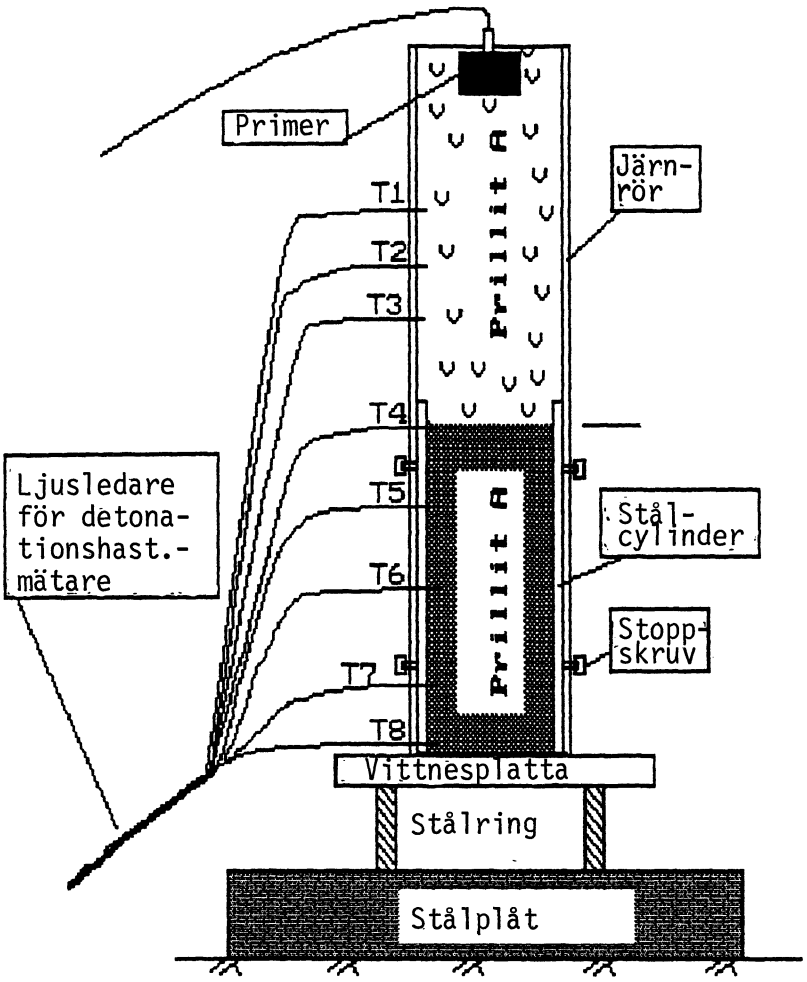


Fig. 2: Försöksuppställning för bestämning av detonerbarheten i pressad ANFO-prills.

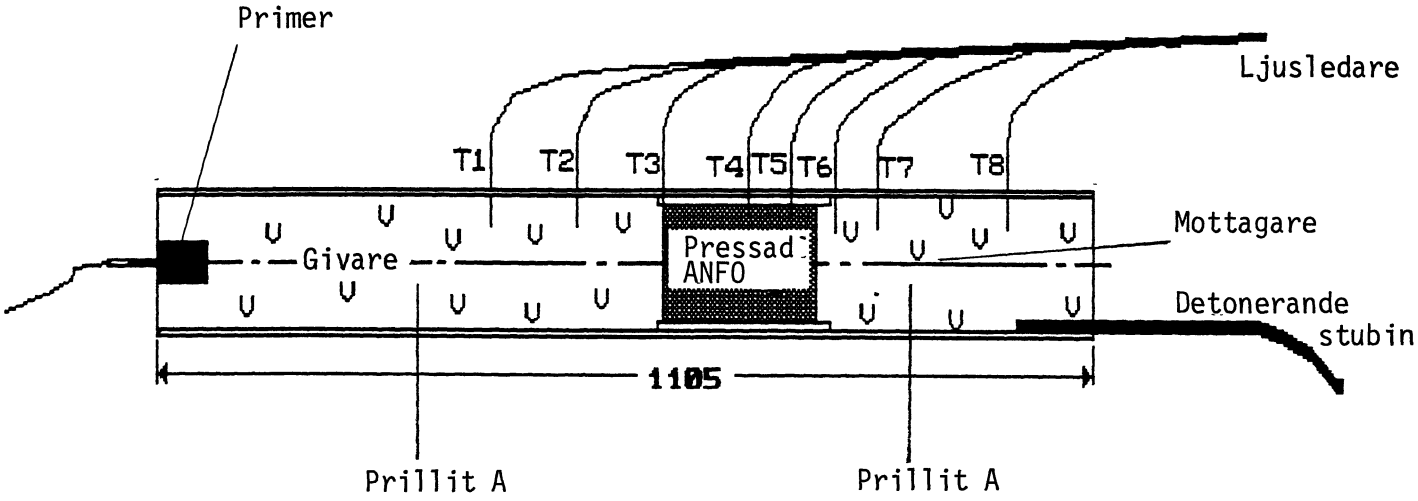


Fig. 3: Försöksuppställning för bestämning av överslagsavstånd genom pressad ANFO prills.

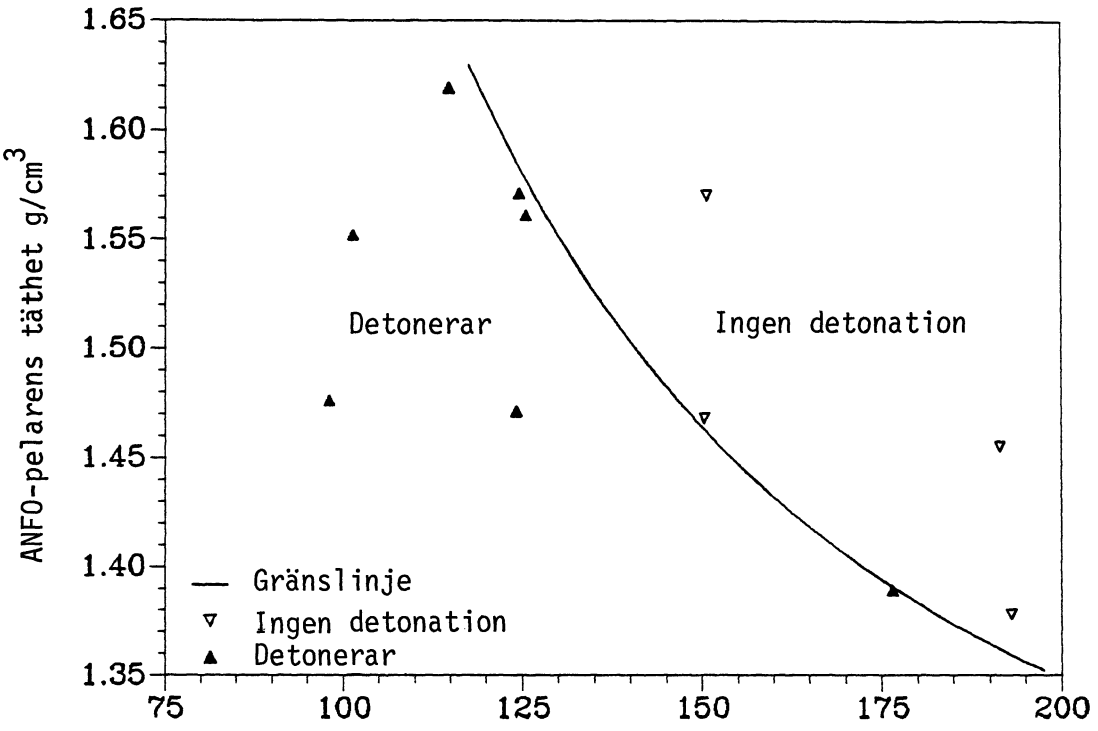


Fig. 4: Komprimerat ANFO:s detonerbarhet.

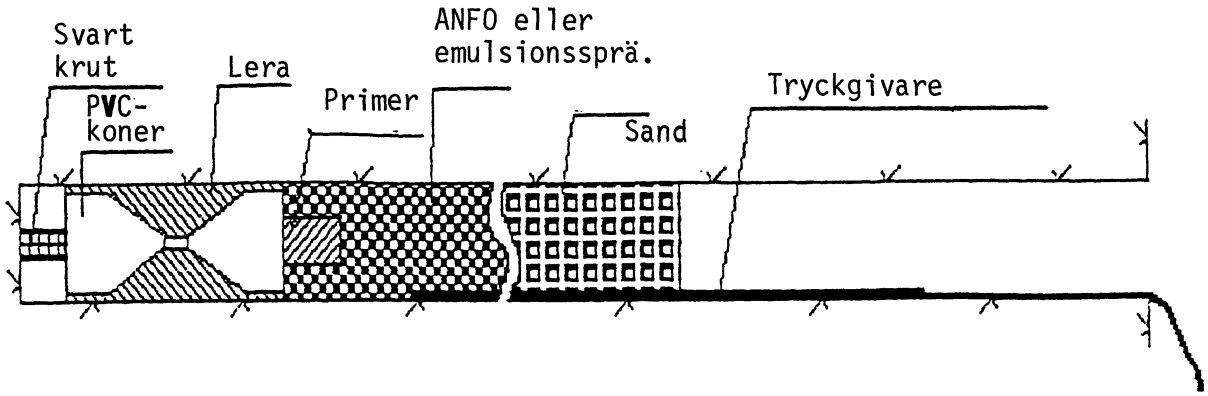


Fig. 5: Anordning för att dynamiskt komprimera och samtidigt initiera ett sprängämne i borrhål.

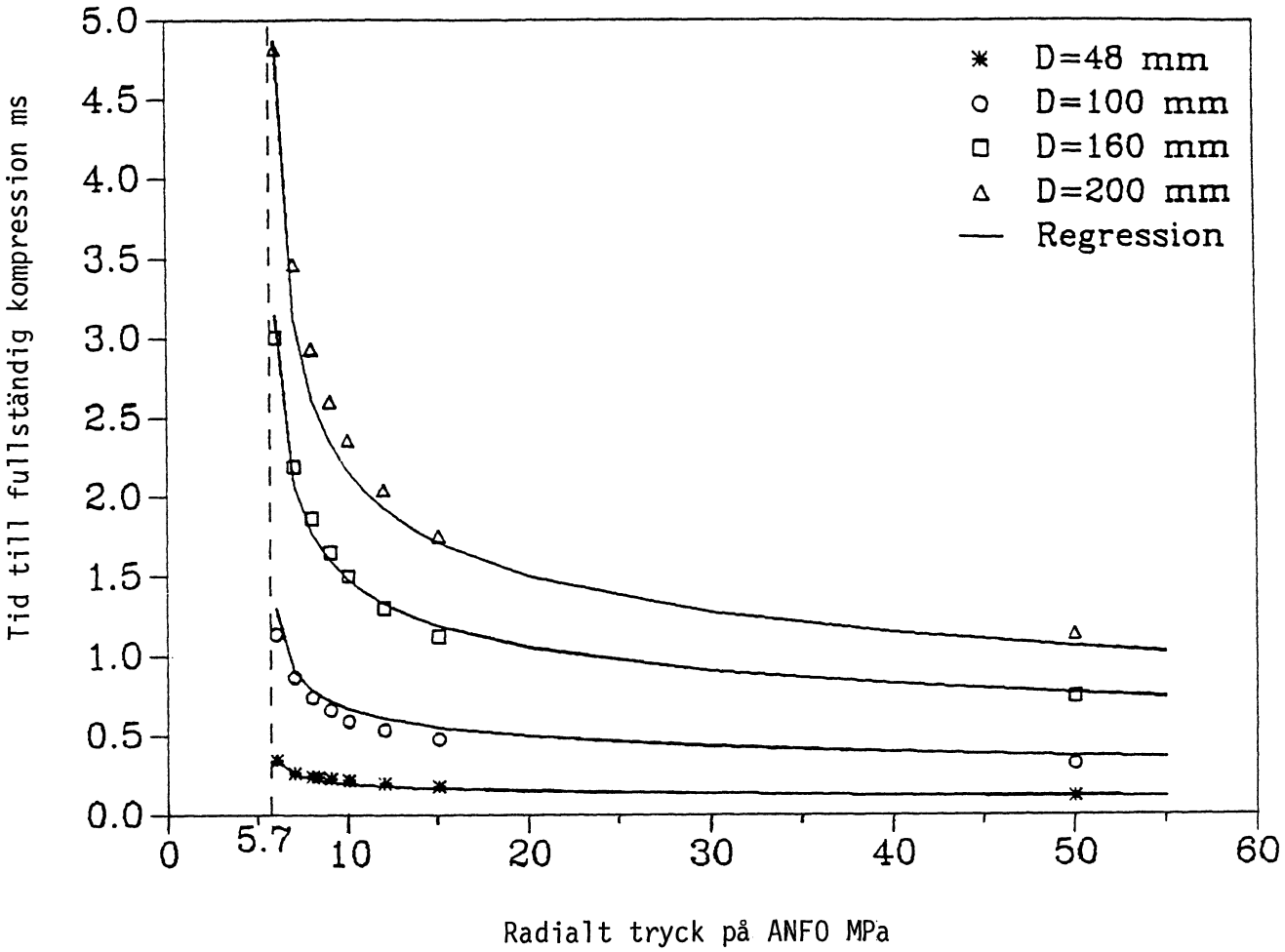


Fig. 6: Modellering av kompression i en cylindrisk ANFO-laddning med diametern D.

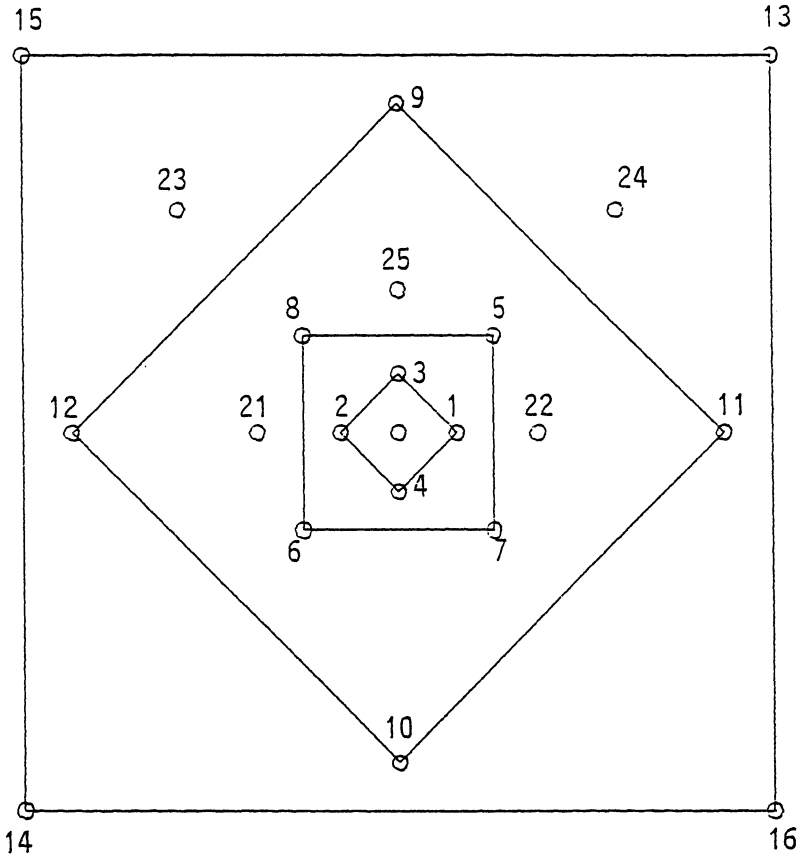


Fig. 7: Borrplan och hålnumrering. Avståndet mellan hål nr. 1 och nr. 3 är 0,22 m. Mellan hål nr. 13 och nr. 15 ca 2 m.

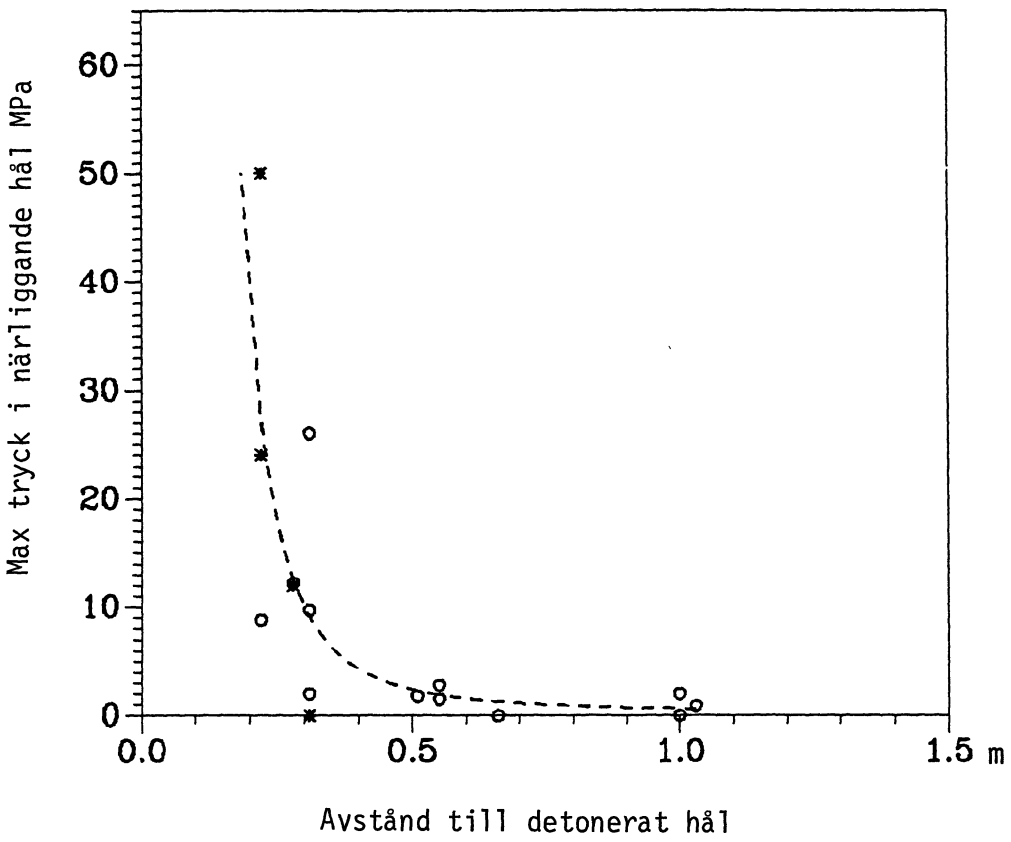


Fig. 8: Uppmätt tryck i närliggande hål som funktion av hålavstånd.