

STENKASTNING VID SPRÄNGNING II
EXPERIMENTELL UNDERSÖKNING

A. Ladegaard-Pedersen och A. Persson

DS 1973:13

29.5.1973

STIFTELSEN
SVENSK DETONIKFORSKNING
SWEDISH DETONIC RESEARCH FOUNDATION

VINTERVIKEN - 117 48 STOCKHOLM
SWEDEN

STENKASTNING VID SPRÄNGNING II
EXPERIMENTELL UNDERSÖKNING

A. Ladegaard-Pedersen och A. Persson

DS 1973:13

29.5.1973

Sammanfattning.

Rapporten utgör en redovisning av fortsatta undersökningar av **stenkastning** vid sprängning. Vid modellförsök i plexiglas har man med hjälp av höghastighetskamera studerat följande faktorerers inverkan på kastningen: Specifik laddning, löst material kring hålmynning samt krater-effekt. Vid fullskaleförsök har försöken inriktats på att klarlägga sambandet mellan laddning, stenstorlek och hastighet. Med hjälp av filmanalys samt kartering av nedslagsplatser för sten har hastighet och stenstorlek utvärderats vid skjutning med olika håldiametrar och resultatet visas i diagram. Vid försök med pallsprängning har klarlagts att den maximala kastlängden är en funktion av den specifika laddningen om inga krater-effekter uppstår. Resultatet av skutsprängningar visar att laddnings-mängden 0.1 kg/m^3 är farlig i kastningshänseende. Slutligen har spräckning av skut med foderrör av aluminium prövats med lyckat resultat.

<u>Innehållsförteckning.</u>	sid
Inledning	1
Modellstudier	
a/ Inverkan av specifik laddning	2
b/ Löst bergmaterial ovanpå en pall	3
c/ Kraterbildning vid borrhålets mynning	3
Fullskaleförsök	
a/ Kratersprängning	10
b/ Nedslagsplatser för sten vid sprängning med 115 mm:s hål	11
c/ Fotografiska studier av kratersprängning	14
d/ Maximal kastlängd vid pallsprängning med 27 mm:s hål utan kratereffekt	19
Skutsprängning	32
Skutspräckning	32
Referenser	35

Inledning.

Följande rapport utgör en fortsättning av undersökningen av stenkast vid sprängning som Kungl. Arbetarskyddsstyrelsen har givit Stiftelsen Svensk Detonikforskning i uppdrag att utföra. Rapporten omfattar ett antal experimentella studier såväl i modellskala som fullskala av några faktorer som har betydelse för kastning. Underlaget till rapporten har hämtats från laboratorieförsök, fältförsök och erfarenhetsmaterial från praktisk sprängning. Vid modellförsök utförda i plexiglas har det lyckats att studera hastigheten på utkastat material som funktion av den specifika laddningen, riskerna vid dålig bergrensning samt olika förladdningars inverkan på sprickbilden kring hålmyningen. Av den intervjuundersökning /1/ som tidigare redovisats framgår att kastrisken är mycket stor vid sprängning med grova hål där man ofta har stora laddningskoncentrationer och korta förladdningar. Därför har de praktiska försöken i fält inriktats på att klarlägga sambandet mellan kastning, stenstorlek och hastighet vid pallsprängningar med grova hål där förladdningarnas längd har varit sådan att kratereffekt har erhållits. Vid en försöksserie som utfördes på Järva fältet med sprängning av enstaka hål med förladdningslängden $\geq$ försättningen har klarlagts att den maximala kastlängden är en funktion av den specifika laddningen om inga kratereffekter uppstår.

Slutligen har försök utförts med sprängning av större stenar s.k. skut som har laddats enligt vedertagna normer. Resultatet av dessa sprängningar visar att laddningsmängden 0.1 kg/m^3 sten är farlig i kastningshänseende. Spräckning av skut med sprängämne inlagt i foderrör av aluminium har prövats och resultatet är sådant att det kanske finns anledning att vidareutveckla denna spräckningsmetod.

Några modellstudier med anknytning till kastningsproblemet.

Erfarenheten har visat att modellstudier av bergsprängning i plexiglas har givit en god bild av hur sönderbrytningsförloppet tar sig i full skala i berg. I det följande skall redogöras för några modellförsök i plexiglas där man med höghastighetskamerans hjälp studerat några faktorer av intresse för kastning.

a/ Inverkan av specifika laddningen.

Figur 1a visar ett plexiglasblock 100 x 60 x 60 mm sett från kortsidan och med en långsida vitmålad. Denna modell kan anses motsvara ett enkelt borrhål i en pall. I tre likadana block borrades hål med diametern 2.0, 2.8 och 4.0 mm med en försättning av 15 mm och ett håldjup om 45 mm. Hålen laddades med pentylpulver av fin fraktion till tätheten $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$. Laddningsmängden blev då 140, 227 och 550 mg respektive, vilket kan anses motsvara en ökning av specifika laddningen i steg med faktorn 2. För att kunna initieras med hjälp av en speciell tändpärla laddades hålen ända upp i borrhålets mynning. Tändpärlan initierade pentylen direkt till detonation. Av varje modell togs med kerrcellkamera en serie om fyra bilder med 50 μs bildintervall och 0.1 μs exponeringstid. I figur 1b, c och d återges en bild av varje bildsvit exponerad 210 μs efter det laddningen initierats. Ur fotona kan hastigheten för det lossbrutna materialet bestämmas. I diagrammet fig. 2 har den translatoriska utkastningshastigheten för materialet mitt framför borrhålet avsatts som funktion av den relativa specifika laddningen. Av bildmaterialet framgår inte bara att hastigheten på det utkastade materialet ökar utan även att fragmenteringen ökar vid ökad specifik laddning. Observeras bör också att material från området runt borrhålets mynning kastas ut med hög hastighet till följd av att borrhålet laddats ända upp. Hastigheten för huvuddelen av den lossprängda massan vid normal pallsprängning är givetvis lägre än de i fig. 2 redovisade och uppgår till mellan 5 och 20 m/s. Figur 3 b visar bergets uppluckring vid en pallsprängning i homogen granit (enkelt hål). Inget kast förekommer från pallens övre yta. Hålets förladdning lika med försättningen. Figur 3 a visar berget i tändningsögonblicket och bilden i fig. 3 b är exponerad 28 ms senare. Bilderna är hämtade ur en höghastighetsfilm från försöken i Misterhult /2/, (bildhastighet 800 b/s).

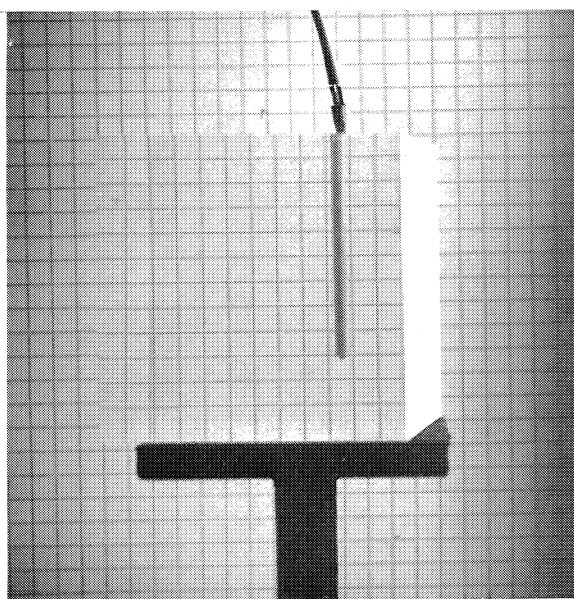
b/ Löst bergmaterial ovanpå en pall.

Modellen i fig. 4 är avsedd att efterlikna det fall då t.ex. lösa stenar förekommer runt borrhålets mynning på en pall. Ovanpå ett plexiglasblock (95 x 60 x 60 mm) med vitmålade ytor har runt borrhålet ($\phi = 4$ mm) med försättningen 15 mm lagts fyra små vitmålade klotsar av plexiglas med svarta kanter. Avståndet från borrhålet var c:a 5 mm, se fig. 4 a. Det 45 mm djupa borrhålet laddades till 35 mm:s höjd med 400 mg pentylpulver. I återstående 10 mm placerades tändpärlan och en förladdning av koksalt. I ett vertikalt plan vinkelrätt frontytan och i plan med borrhålet är ett antal tunna trådar uppspända. Dessa utgjorde referenslinjer för utvärdering. I fig. 4 b (110 μ s efter tändning) kan det vara svårt att urskilja klotsarna till följd av att salt och gas strömmar ut ur borrhålet, men redan i detta skede har klotsarna närmast kameran lyfts från ytan och befinner sig i rörelse. I fig. 4 c och d ser man tre utav klotsarna. Två av dem synes röra sig mot kameran och det är därför svårt att ur bilderna uppmäta deras verkliga hastigheter. Den tredje klotsen vilken sannolikt legat framför hålet sett från frontytan rör sig snett uppåt - framåt i salvans utslagsriktning och något mot kameran till. Hastigheten för denna klots kan uppskattas till 260 m/s d.v.s. ungefär samma hastighet som det lossbrutna materialet i fronten har fått, vilken uppmätts till mellan 250 och 300 m/s. (Modellen får anses överladdad). Man kan dessutom observera ett stort antal mindre partiklar som med ännu högre hastighet lämnar ytan runt borrhålets mynning. Slutsatsen av detta modellförsök blir att även löst bergmaterial på ytan av en pall kan uppnå hög hastighet och således kastas långt ut från salvan. Filmning av pallens övre yta i en fullskalesprängning som redovisas längre fram visar ett förlopp som överensstämmer med modellsprängningen.

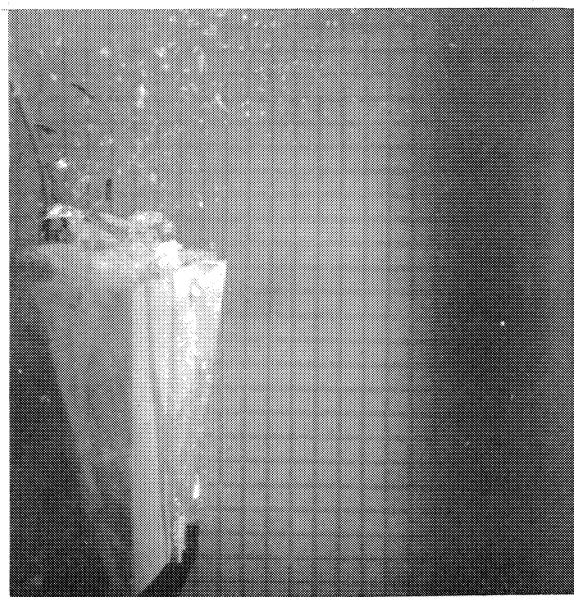
c/ Kraterbildning vid borrhålets mynning.

Vid försöken med skutskjutning på Järvafältet observerades vid filmningen att bitar av stenens övre yta runt borrhålet kastades högt upp i luften trots att en mycket liten laddning placerad i borrhålets botten användes. I ett modellblock av plexiglas 100 x 100 x 100 mm, se fig. 5, borrades ett 7 mm hål i vars botten placerades en minisprängkapsel (med 0.25 g laddningsmängd). Med höghastighetskamerans hjälp studerades detonationsförloppet vid flera tidpunkter upp till 120 μ s efter tändning. Ur bildmaterialet kan konstateras att lossbrytning av material runt borrhålets mynning uppstår i samband med att detonationsgaserna under högt tryck och med en hastighet av 1700 m/s rusar ut genom borrhålet. Härvid uppstår sprickplan som utgår från borrhålsranden vinkelrätt borrhålets axel, se fig. 6 d.

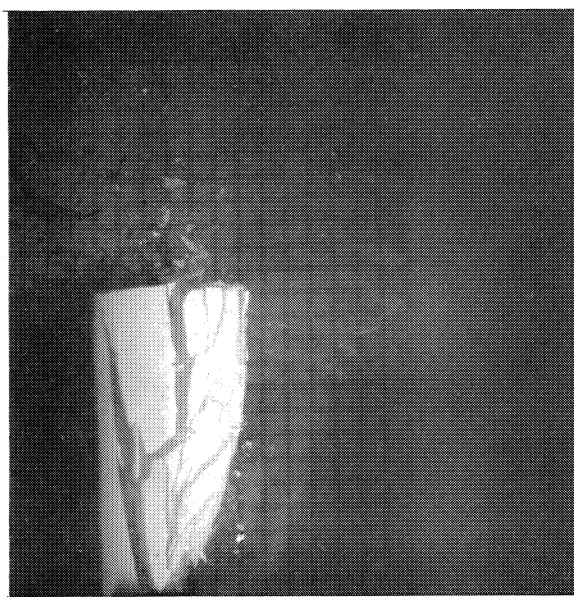
Slutresultatet blir som i fig. 6 a. Om man i en liknande modell gjuter igen borrhålet ovanför sprängkapseln reduceras gashastigheten och de nyssnämnda sprickorna uteblir. Resultatet blir då som i fig. 6 b. I ett modellblock likaledes med samma dimensioner försågs borrhålet med ett foder av aluminiumrör c:a 1 mm tjockt. Laddningen i rörets nedre ände bestod av 0.25 g pentylpulver (motsvarande minisprängkapseln). Vid detonation av denna modell passerade gaserna ut genom röret och förhindrades att nå rörväggen och tränga ut i sprickorna. Resultatet i fig. 6 c visar att någon krater inte erhöles vid hålmynningen. Det bör observeras att blocken i fig. 6 a, b och c vid detonationen spräcktes upp i ett flertal bitar vilka åter plockats ihop och satts tillbaka på sin ursprungliga plats med hjälp av transparent tape. Blocken ser därför skenbart hela ut. Försöket med aluminiumrör i borrhålet för att undvika gasutströmning i sprickorna utfördes även i full skala och beskrives senare i rapporten.



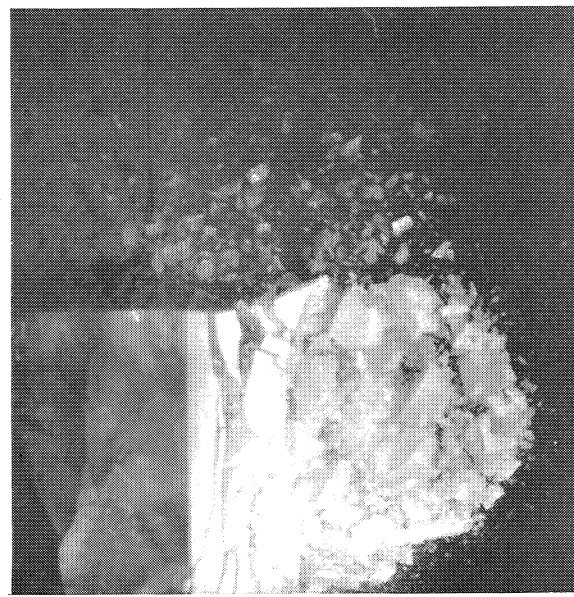
a)



b)



c)



d)

Fig. 1. Plexiglasklots 100 x 60 x 60 mm (sedd från kortsidan).
Borrhålet är placerat med 15 mm:s försättning relativt den
vitmålade långsidan och mitt mellan kortsidorna. Borrhåls-
diametern varieras, men laddningstätheten hålles konstant.

- a) klots före skott
- b) klots med 2.0 mm borrhål 210 μ s efter tändning
- c) klots med 2.8 mm borrhål 210 μ s efter tändning
- d) klots med 4.0 mm borrhål 210 μ s efter tändning

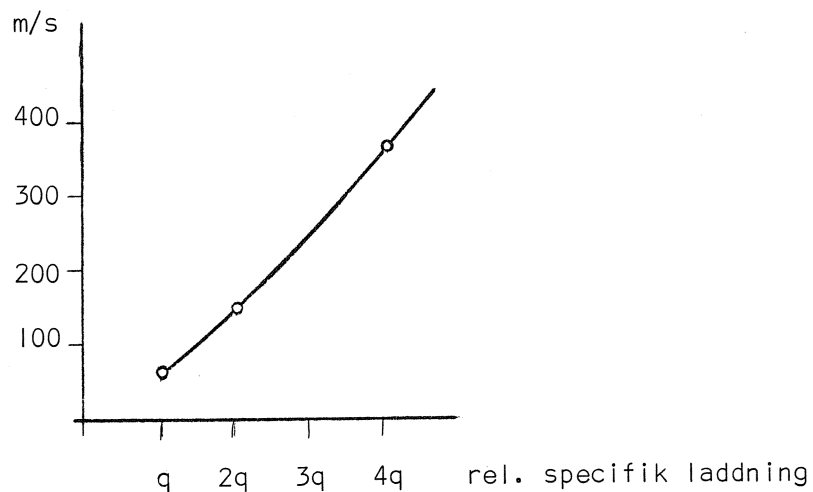
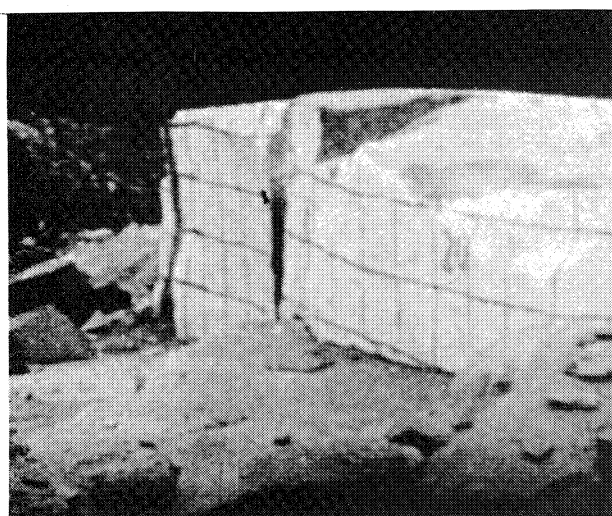


Fig. 2. Utkastat materials translatoriska hastighet som funktion av den relativa specifika laddningen.



a)

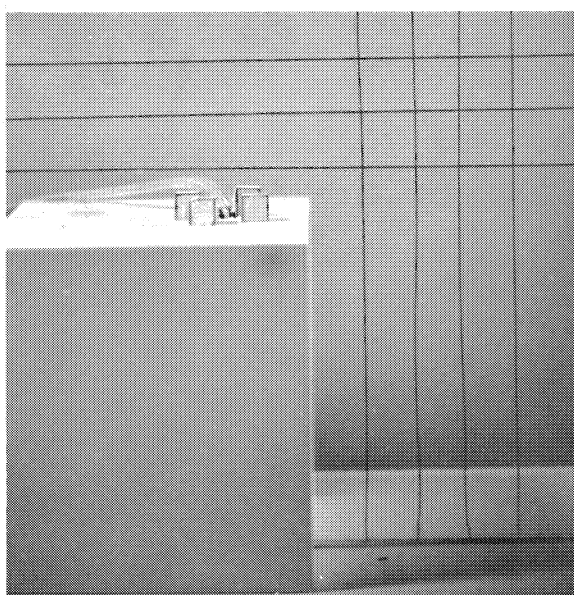


b)

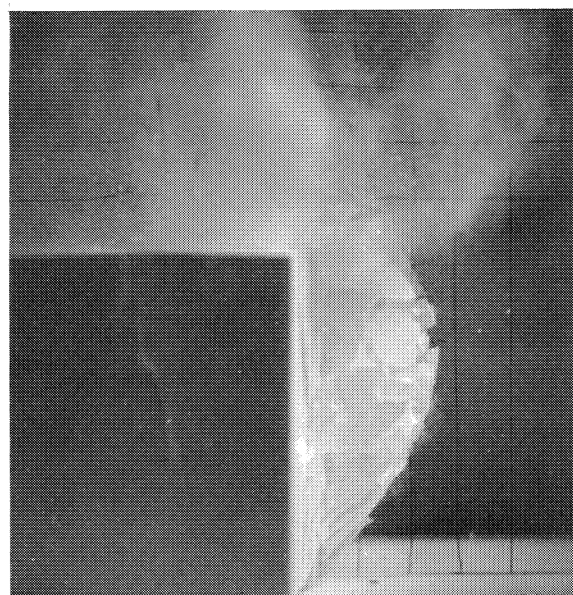
Fig. 3. Bergets uppluckring vid pallsprängning i homogen granit (enkelt hål).

a) Berget i tändningsögonblicket

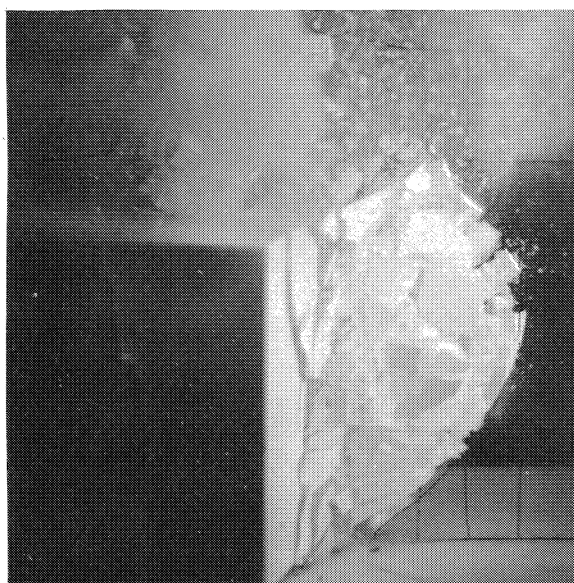
b) Berget 28 ms efter tändning



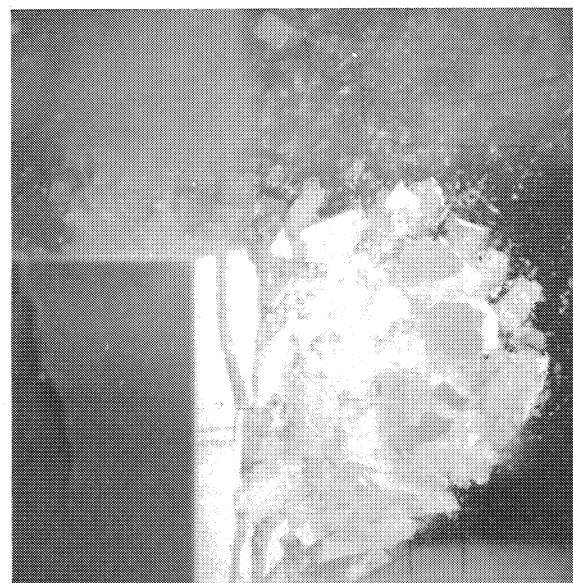
a)



b)



c)



d)

Fig. 4. Plexiglasmodell med lösa block kring hålmynningen.

- a) före detonation
- b) 110 μ s efter tändning
- c) 160 μ s efter tändning
- d) 210 μ s efter tändning

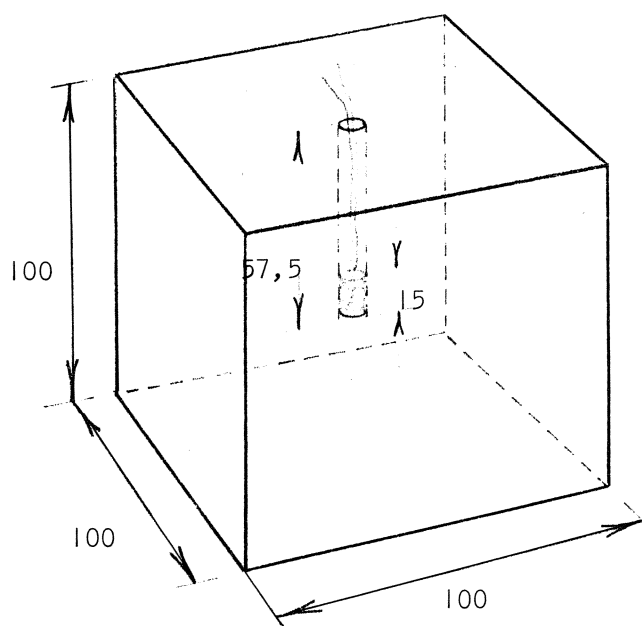


Fig. 5.

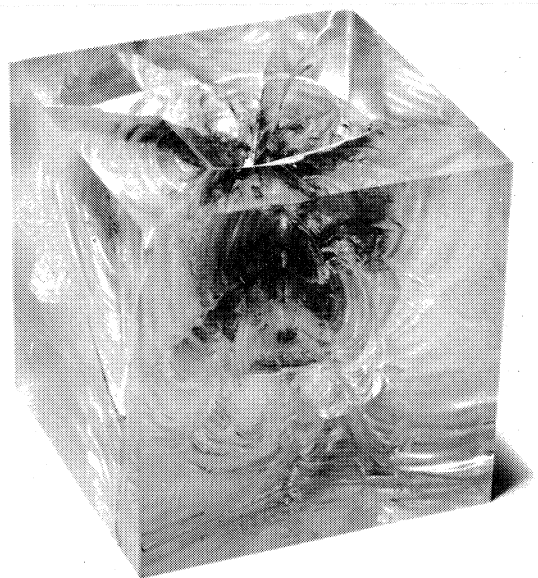


Fig. 6a)



Fig. 6b)



Fig. 6c)

Fig. 5. Modellblock av plexiglas med koncentrerad laddning (mini-sprängkapsel)

Fig. 6. Modellblock med koncentrerad laddning efter detonation.

- a) utan förladdning, kraterbildning
- b) med förladdning, igengjutet hål
- c) med foderrör av aluminium (1 mm:s godstjocklek)

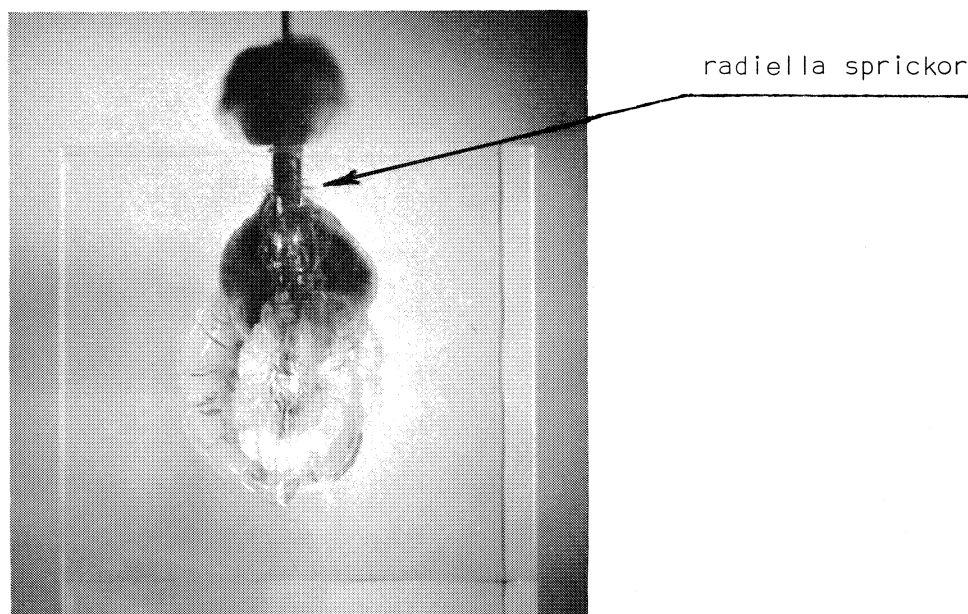


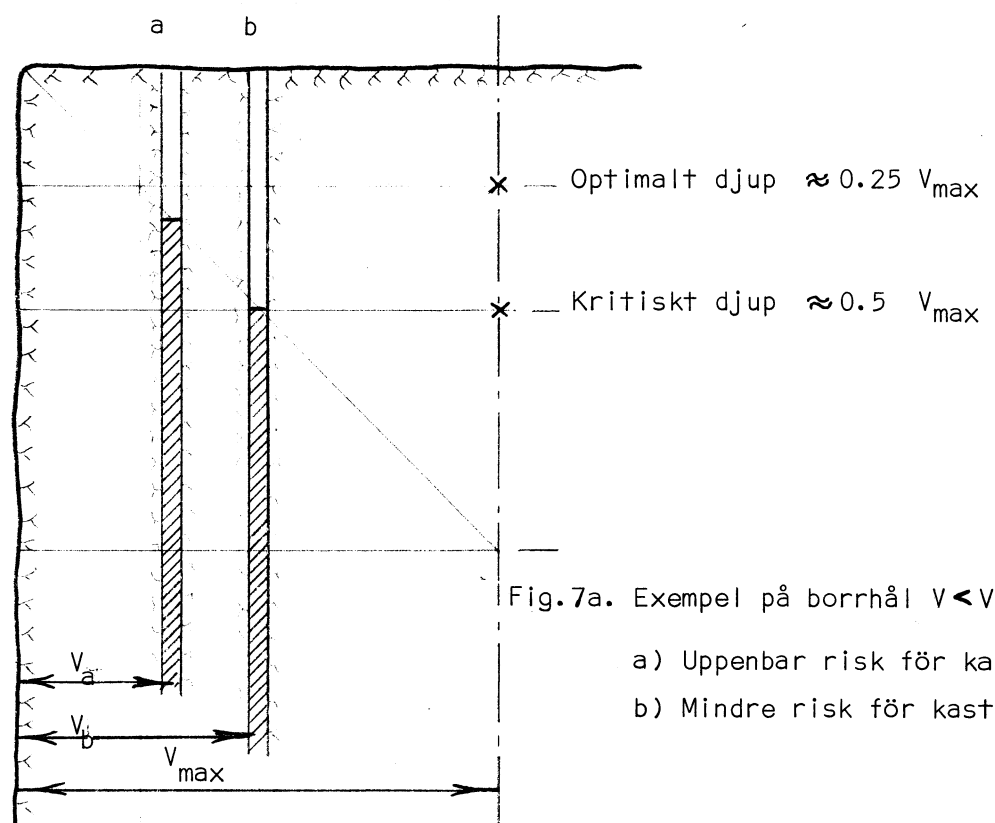
Fig. 6d) Sprickbildning i samband med detonationsgasens utströmning.

a/ Kratersprängning.

Livingston /3/ har utfört en indelning i zoner av händelseförloppet vid kraterskjutningar på olika laddningsdjup, fig. 8. I luftstötståg - kastningszonen är sprängämnets inspanning i berget så dålig att en stor del av energin går förlorad genom buller, kastning och fri expansion av spränggaserna. Kraterzonen i sin tur kännetecknas av att största delen av tillgänglig energi går åt till krossning av berget. Noren /4/ har utfört mätningar på den fria ytans rörelse i huvudsak i kratersprängningsområdet. Vid en jämförelse mellan krater- och pallsprängning framgår att största hastighet kan förväntas vid kratersprängning.

För att avgöra huruvida övre delen av en pallsprängning kan sägas vara en kratersprängning kan man med hjälp av Langefors beräkningsgrunder /5/ för pallsprängning och Livingstons kraterteori göra en jämförande betraktelse.

Figur 7 a avser att visa hur man genom att okritiskt sätta den oladdade delen lika med V när $V < V_{\max}$ kan få oönskade krater effekter. Kryssen som markerar kritiskt djup resp. optimalt djup svarar mot läget för laddningens tyngdpunkt vid kratersprängning då ingen resp. optimal bergvolym lossbrytes (fig. 7 b). Vid beräkningarna enligt kraterteorin har använts en laddningslängd som är 6 gånger så stor som diametern. I fall a är risken för kratersprängningseffekter uppenbar. Ibland laddar man ännu högre upp varvid krater effekten ytterligare ökar.



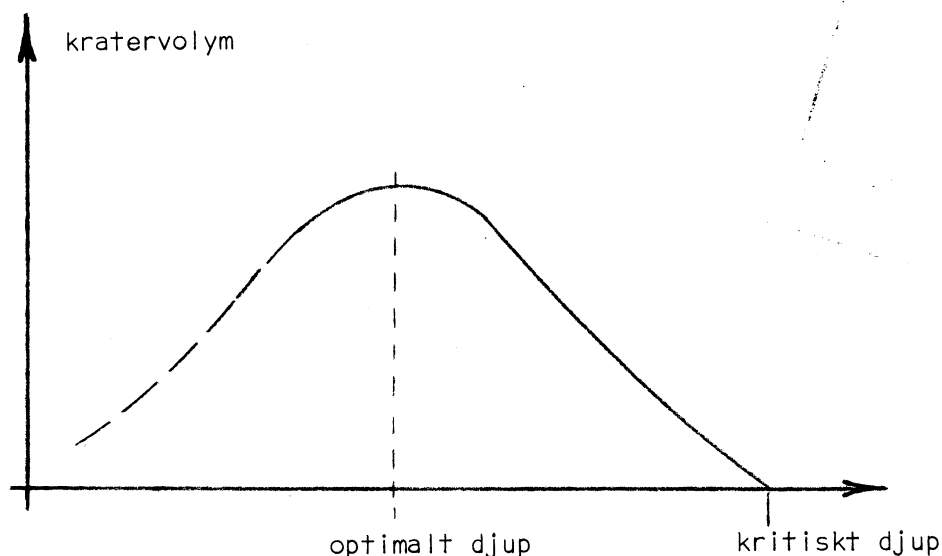
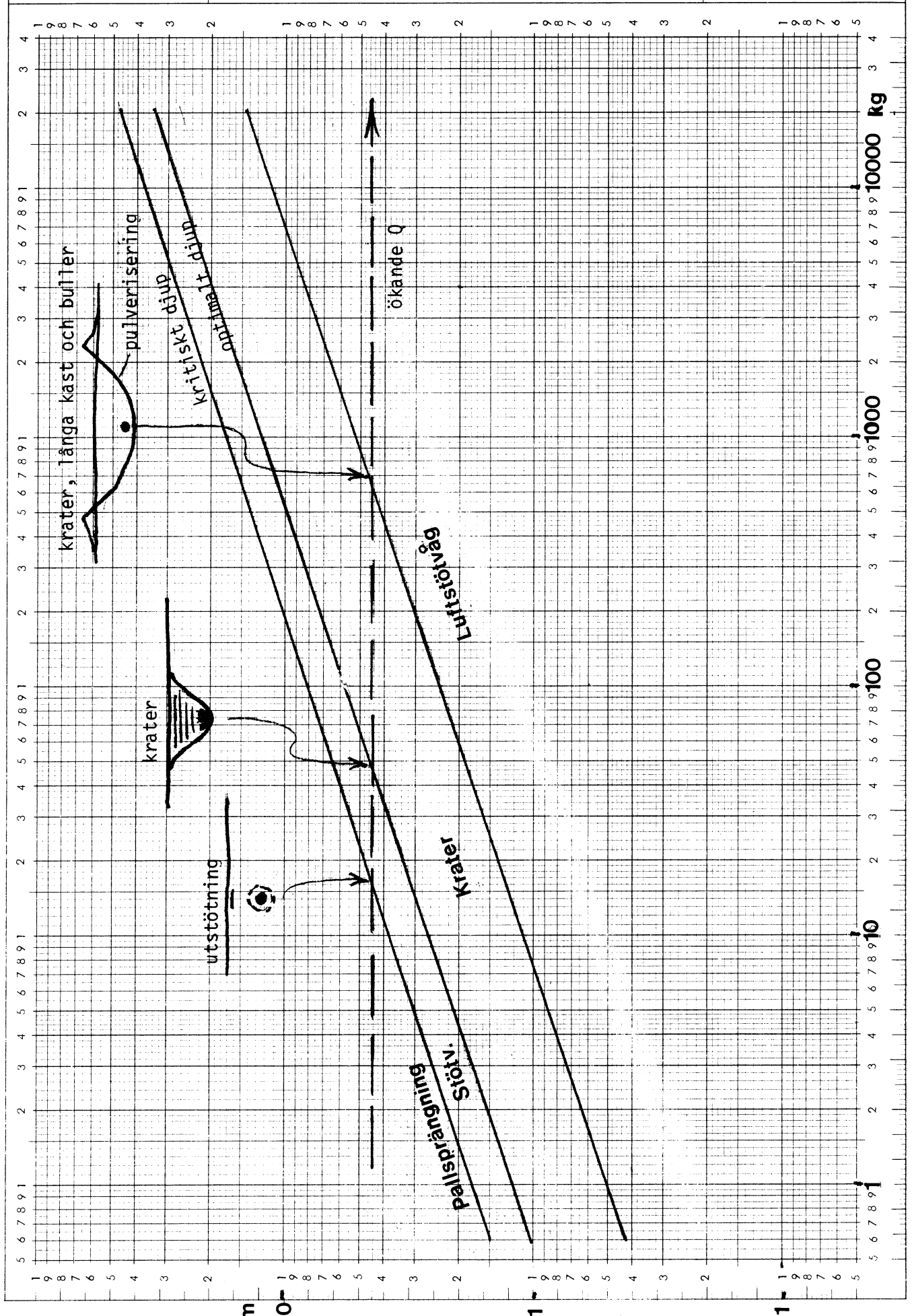


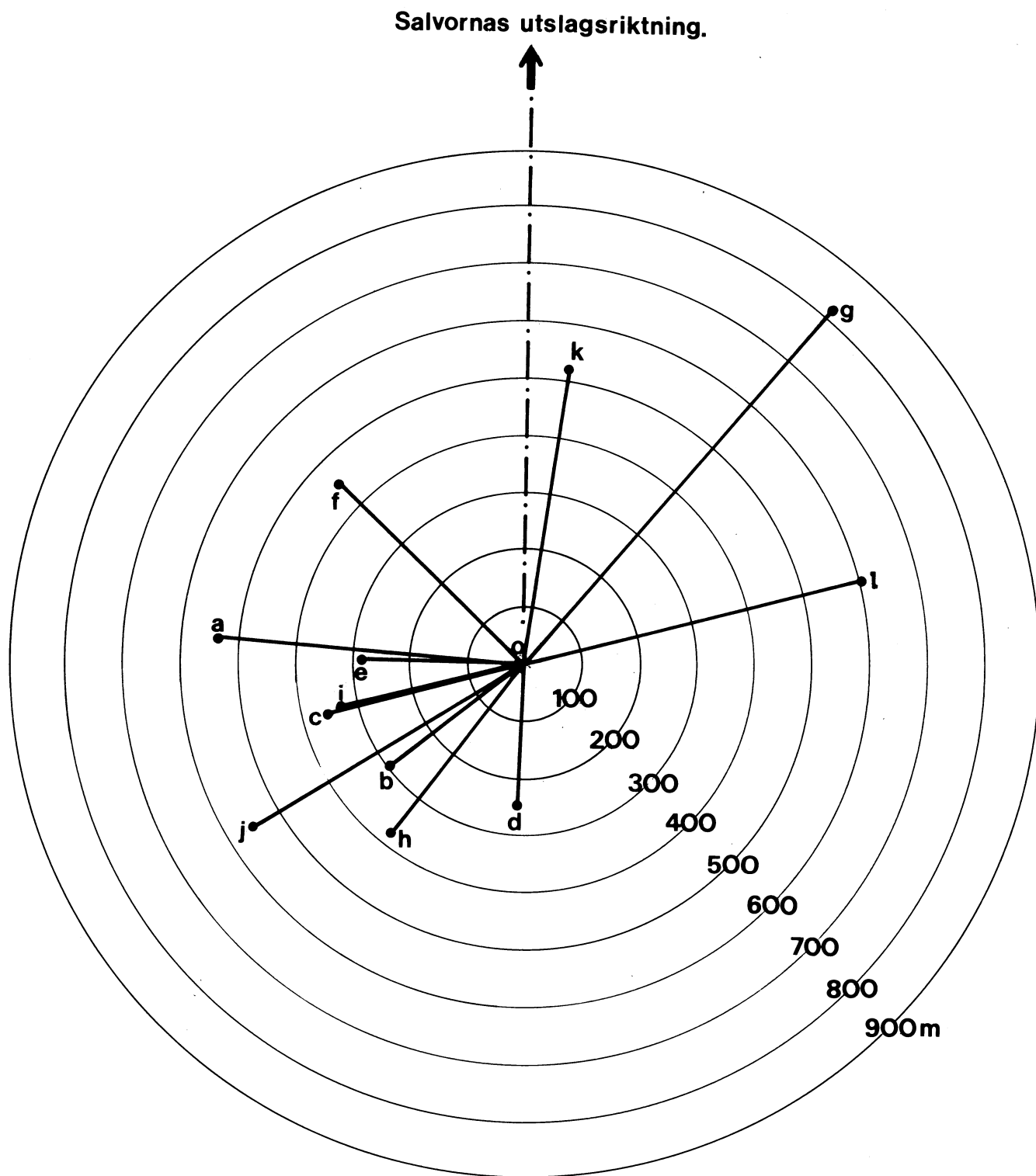
Fig. 7b. Schematisk kraterkurva visande kratervolymen som funktion av laddningens djupförhållande vid konstant laddningsvikt och håldiameter. Vid optimalt djup bryter den givna sprängämnesmängden sönder största mängden berg. Vid mindre djup förloras en allt större del i buller och kastning, och vid större djup i markvibrationer.

b/ Nedslagsplatser för sten vid sprängning med 115 mm:s hål.

För att klarlägga sambandet mellan hastighet, stenstorlek och håldiameter har Stiftelsen i samarbete med representanter från olika dagbrott utfört karteringar och praktiska försök. I fig. 9 visas nedslagsplatsen för sten vid pallsprängning med 4 1/2 tums hål (115 mm). Eftersom observationerna härrör från 8 olika salvor är samtliga mätvärden inlagda i ett cirkeldiagram på ett sådant sätt att salvornas geometriska tyngdpunkt ligger i origo och stenarnas riktning är angiven relativt salvornas utslagsriktning. Vid samtliga salvor var pallhöjden 10 m, håldjupet 10.6 m och oladdad hållängd 1-2 m utan förladdning. Hålen var laddade med slurrsprängämnen, vilket med försättningen 2.6 m och hålavståndet 4.2 m gav en specifik laddning på ca. 0.8 kg Dx/m^3 . Nedslagsplatserna visar inte maximala stenkasten, utan endast de nedslag som säkert kunnat identifieras. Dessa stenar har i allmänhet fallit ned i närheten av byggnader eller vägar vilket gjort det möjligt att omedelbart identifiera dem. Av figuren framgår att långa kast förekommer i alla riktningar. Stenar som har slagit ner bakom salvorna härrör från pallens ovanyta och är med största sannolikhet resultatet av kratereffekt.

Fig. 8. Laddningsdjupet som funktion av laddningsmängden enl. Livingston.





O: salvornas tyngdpunkt
 a-j: nedslagsplatser för sten på 20-50 kg
 k: " " " " 100 kg
 l: " " " " 54,5 kg

Fig. 9. Nedslagsplatser för sten vid pallsprängning med 4 1/2 tums hål (115 mm).

c/ Fotografiska studier av kratersprängning.

Under sommaren 1972 utfördes praktiska försök med kratersprängning i enstaka inspända hål med diametern 1/2", 1" och 3". Sprängningarna filmades och maximala värden på produkten ϕv har utvärderats där ϕ är stenens ekvivalenta klotdiameter och v dess hastighet. Nedanstående tabeller ger maximala värden på kasthastigheter och stendiametrar samt produkten ϕv .

Tabell Ia.

Håldiameter 1/2"
 Laddningslängd 7.5 cm
 Laddningsmängd 11 g Dynamex B
 Håldjup 24 cm

Sten nr	1	2	3	4	5	6
Stendiameter m	0.1	0.08	0.15	0.16	0.15	0.13
Hastighet m/s	26.0	30.0	14.0	11.3	12.0	12.0
ϕv	2.6	2.4	2.1	1.8	1.8	1.6

Tabell Ib.

Håldiameter 1"
 Laddningslängd 15.6 cm
 Laddningsmängd 200 g Dynamex B
 Håldjup 50 cm

Sten nr	1	2	3	4	5	6
Stendiameter m	0.2	0.2	0.18	0.16	0.26	0.16
Hastighet m/s	46.0	42.0	43.0	36.0	20.0	27.0
ϕv	9.2	8.4	7.7	5.8	5.2	4.3

Tabell 1c.

Håldiameter 3"
 Laddningslängd 47 cm
 Laddningsmängd 2700 g Dynamex B
 Håldjup 150 cm

Sten nr	1	2	3	4	5	6
Stendiameter m	0.34	0.27	0.28	0.3	0.15	0.4
Hastighet m/s	55.4	51.0	35.7	31.6	39.0	10.5
ϕv	18.8	13.8	10.0	9.5	5.9	4.2

Ovanstående tabellvärden på produkten ϕv är avsatta i diagrammet fig. 11. Övriga värden i detta diagram är hämtade från sprängningar med håldiametrarna 27, 34, 114 och 250 mm. Vid dessa sprängningar har hastigheten beräknats med hjälp av mätvärden på kastlängd och stenstorlek. Om man betraktar stenarnas impuls I så är enligt N. Lundborg /6/

$$I = \rho \phi v = \text{konst.}$$

där ρ är densitet, ϕ stenens ekvivalenta klotdiameter och v stenens hastighet. Förutsättes konstant laddningstäthet kan $\rho \phi v$ avsättas som funktion av håldiametern d , och enligt Lundborg är denna produkt för var och en av de utkastade stenarna c:a 10 gånger håldiametern i tum, se fig. 11. Med hjälp av detta samband kan enligt Lundborg /6/ längsta kastet beräknas som funktion av stenarnas storlek med håldiametern som parameter, se fig. 11 a. Maximalvärdena av dessa kurvor kan uttryckas i sambandet

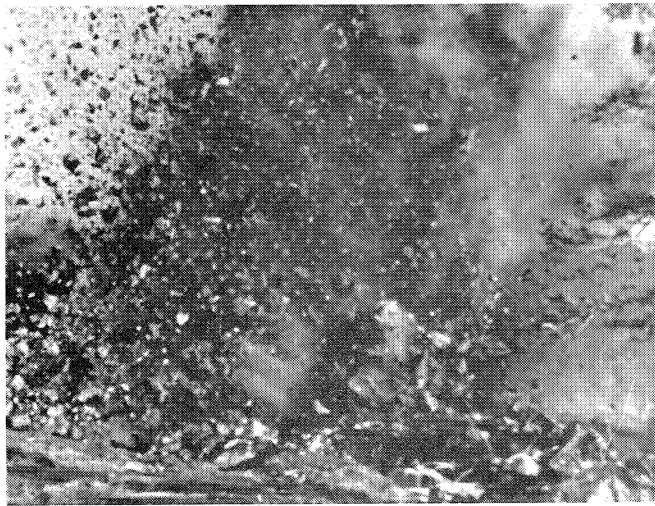
$$L_{\max} = 260 d^{2/3}$$

som utgör gränsen för farligt område.

Figur 10 visar en filmstudie av en stor pallsprängning med 3" hål. För att provocera fram stora kasthastigheter placerades vid försöket stenar av känd vikt ovanpå hålmynningarna. På dessa stenar klistrades pyrotekniska ljussatser för att kunna utskilja dessa stenar från de övriga på filmen. Största hastighet för lösa stenar över hålmynningarna var 32 m/s för en sten med vikten 3.8 kg ($\phi v = 4.48$). En lös sten över hålmynningen på ett inspänt hörnhål i salvan med vikten 20.37 kg fick hastigheten 30 m/s ($\phi v = 5.01$). Maximalt värde på produkten ϕv vid håldiametern 3" är enligt hittills utförda mätningar 18.8, se tabell 1c.



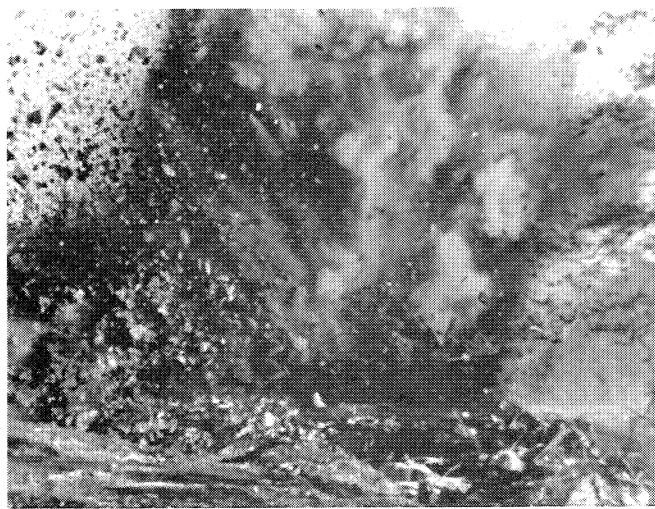
a)



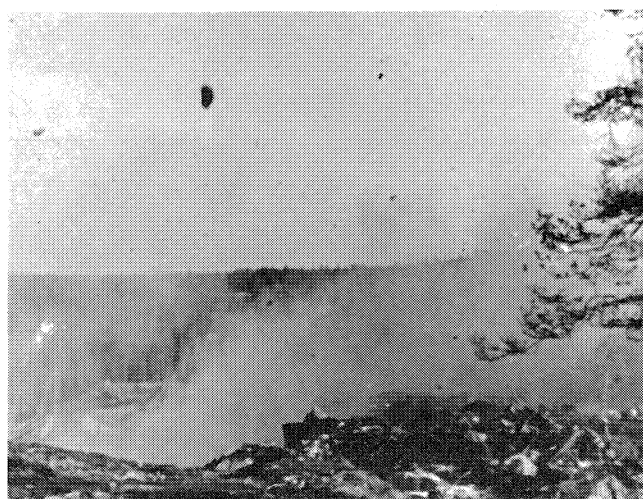
b)



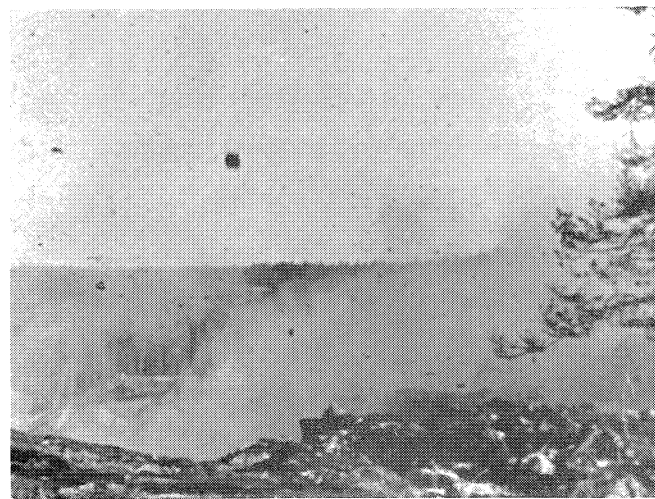
c)



d)



e)



f)

Fig. 10. Kratereffekt vid pallsprängning. Salvans ovanyta sedd bakifrån. Borrhålsdiameter 3 tum och förladdningslängden 1.5 m. Höga vertikala kast antyder kratereffekt.

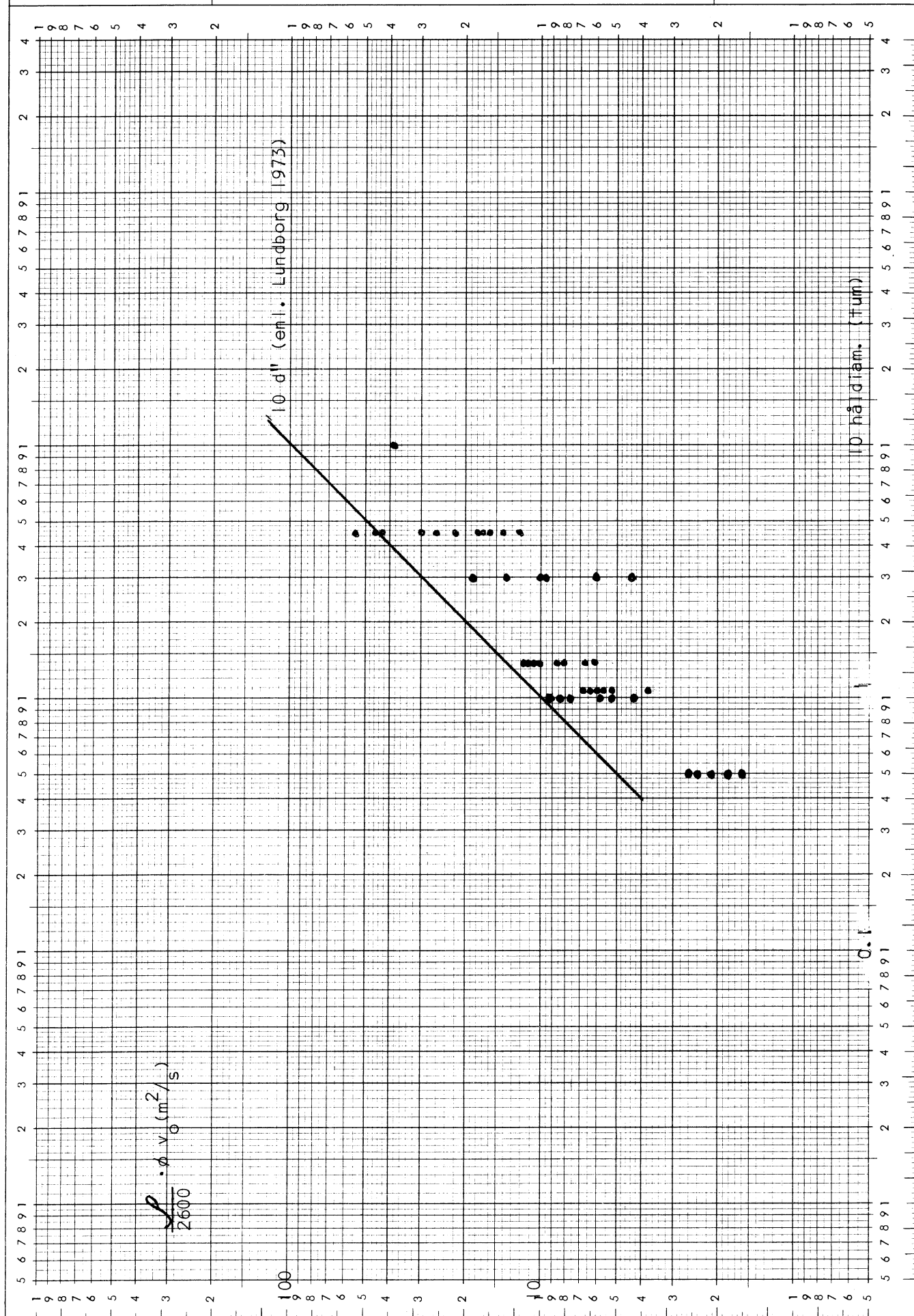
a) Tändningsögonblick
b) 0.46 s efter tänd.

c) 0.885 s efter tänd.
d) 1.64 s " "

e) 6.44 s efter tändn.
f) 6.49 s " "

$\rho \cdot \phi \cdot v_0$ som funktion av håldiametern d''

Fig. 11.

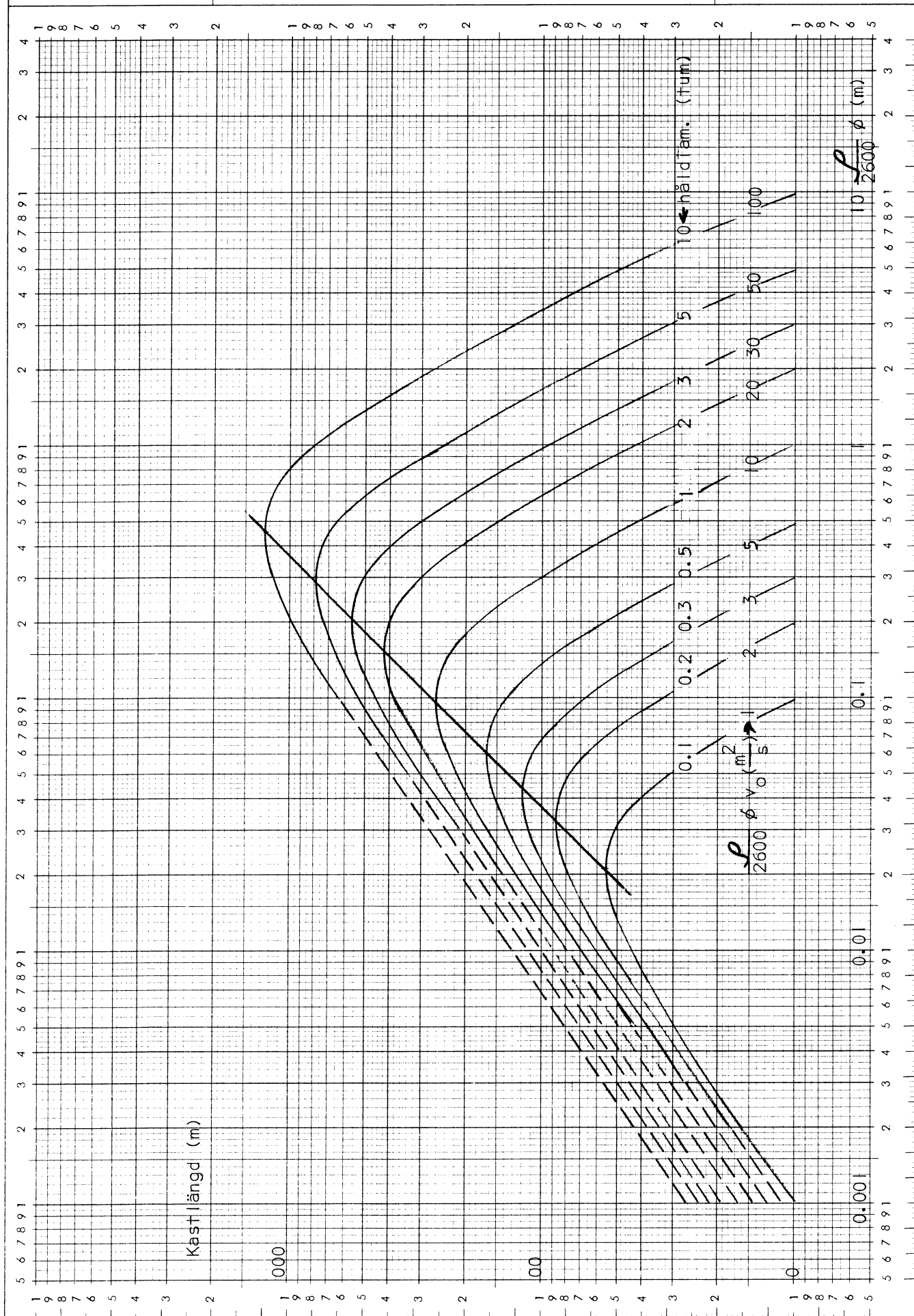


Kastlängden som funktion av stendiametern
med $\rho \phi v_o$ resp. håldiametern som parameter

Fig. 11a.

$\alpha_o = 45^\circ$

18.



d/ Maximal kastlängd vid pallsprängning med 27 mm:s hål utan kratereffekt.

Undersökningen avsåg att klarlägga sambandet mellan överladdning och maximal kastlängd för enstaka stenar vid pallsprängning. Försöksplatsen var ett stort öppet gärd vid Akalla gård på Järva fältet. Försöken utfördes i stora granitblock ($2-5 \text{ m}^3$) som transporterades till platsen i en BM-Volvo dumpervagn. I varje block borrades ett hål med en motor-driven bormaskin av märket Cobra. Borrhålens djup var 0.6 m och diameter 27 mm. Som sprängämne användes Dynamex och Gurit. Tändningen skedde elektriskt med moment-sprängkapslar av typen VA. För bestämning av de lossprängda stenarnas läge före skott, hade stenblockens ytor försetts med ett färgmönster. Varje skott filmades med hjälp av en 16 mm kamera av märket Paillard Bolex, vilken drevs av en synkronmotor för att erhålla konstant bildhastighet, se fig. 12. För att vid utvärderingen av filmen kunna avgöra stenarnas läge i djupled utsattes ett antal stakkäppar och målade aluminiumrör på skjutplatsen. Dessa utgjorde referenslinjer och skalor såväl vertikalt som horisontellt. Förutom filmningen utfördes en resultatanalys genom kartering med hjälp av polära koordinater med origo i borrhålet och vägning av samtliga utsprängda stenar. Efter varje skott rensades området omsorgsfullt från sten. En sammanställning av de viktigaste resultaten från försökssprängningarna lämnas på följande sidor.

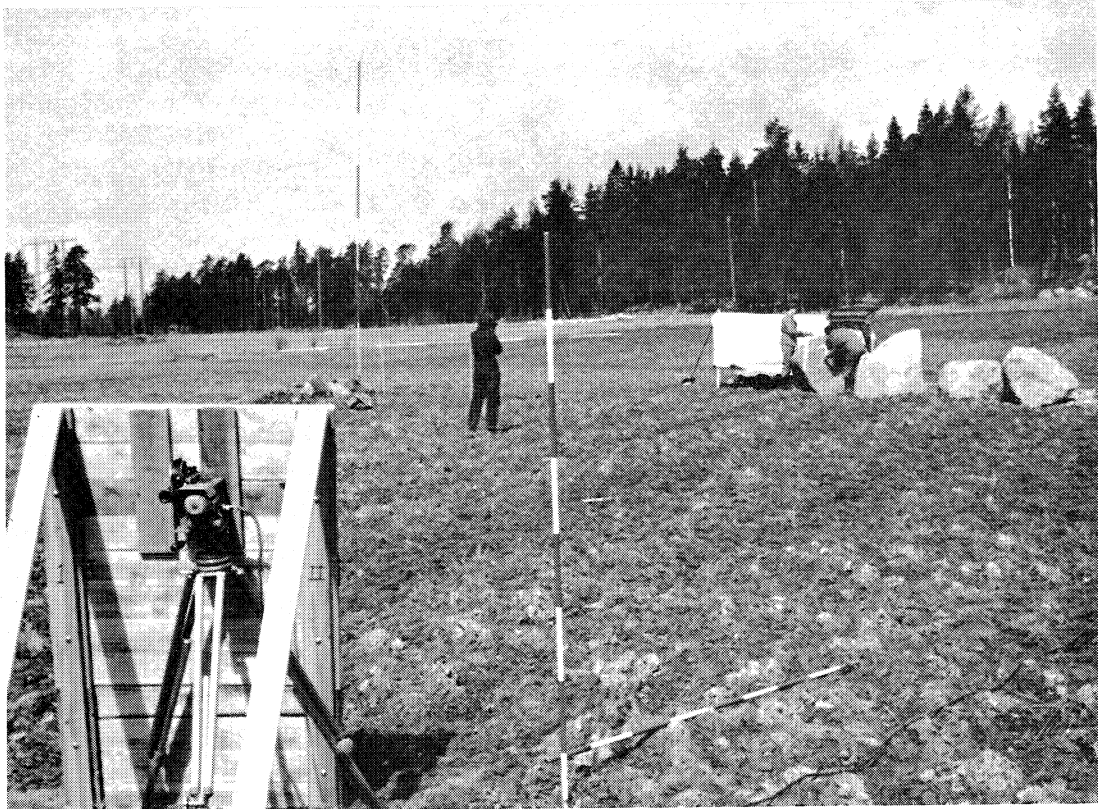
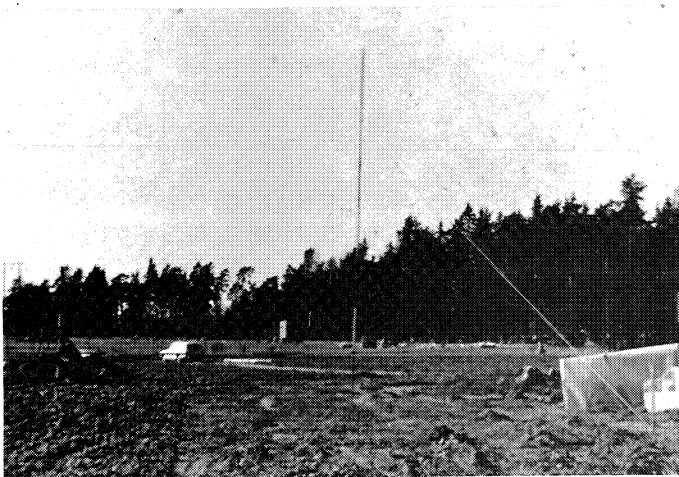
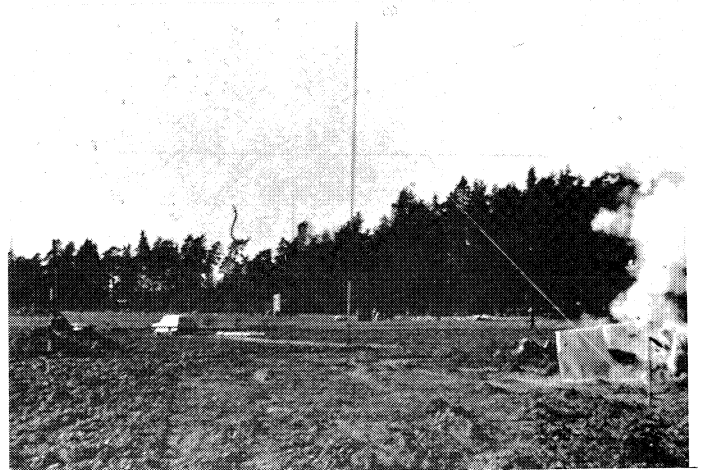


Fig. 12. Försöksplatsen.



a)



b)

Fig. 13. Skott E, specifik laddning 0.24 kg Dx/m^3

a) Tändningsögonblicket

b) 280 ms efter initiering

Håldiameter 27 mm

Håldjup 0.6 m

Skott	Laddningsmängd g (rel. Dynamex)	Specifik laddning kg/m ³	Försättning m	Max. kastlängd m	Anm.
A	15	0.09	0.45	0	Inget utslag
B	20	0.12	0.45	0	Inget utslag
C	30	0.18	0.45	0	Inget utslag
D	35	0.21	0.45	1.2	
E	40	0.24	0.45	8.3	
F	50	0.30	0.45	10.3	
G	85	0.51	0.45	44.4	
H	85	0.66	0.40	75	
I	85	0.89	0.35	93	

Max. kastlängd, m

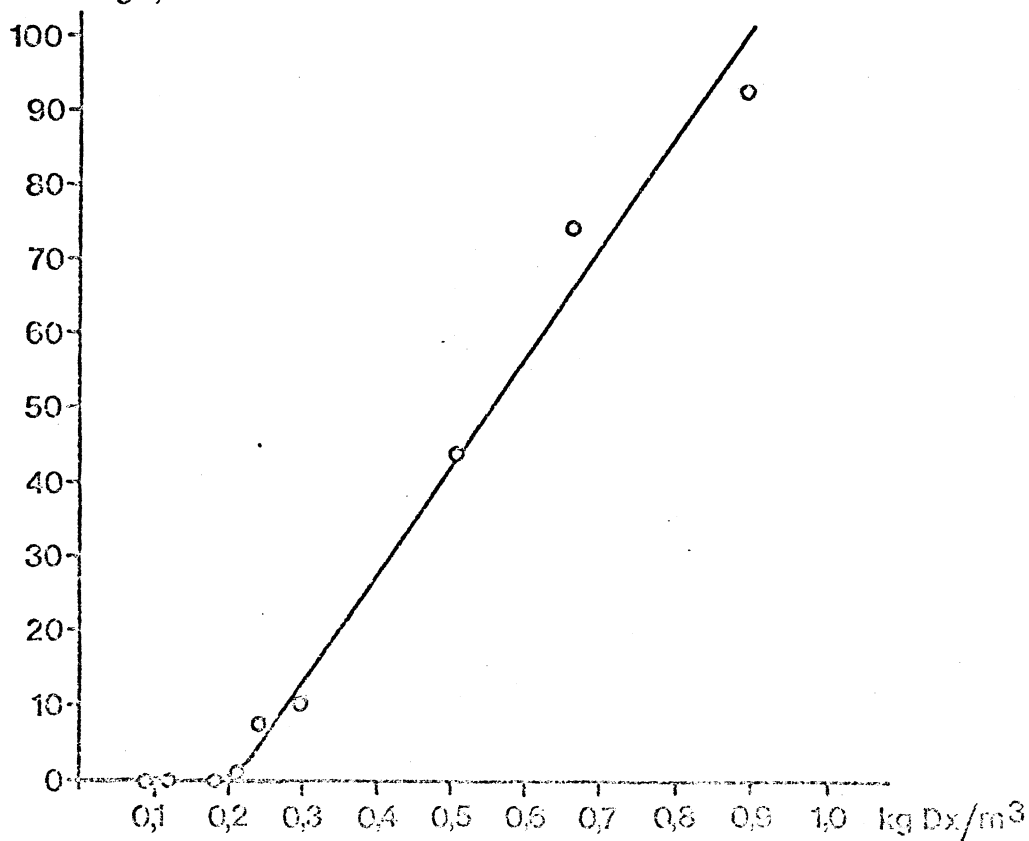


Fig. 14. Maximal kastlängd som funktion av specifik laddning.

Specifik laddning

Tabell 3.

Sten nr	Kastlängd m	Vinkel grader	Vikt kg
1	0.33	- 90	0.16
2	0.35	- 90	0.08
3	0.34	- 75	0.16
4	0.45	- 60	0.56
5	0.54	- 55	0.70
6	0.65	- 61	0.11
7	0.83	- 61	0.37
8	0.68	- 55	0.1
9	0.64	- 45	0.28
10	0.72	- 40	0.20
11	1.03	- 40	0.28
12	1.28	- 45	0.1
13	1.00	- 25	0.03
14	0.97	- 15	0.1
15	0.61	0	4
16	0.34	+ 10	0.28
17	0.95	0	1.5
18	0.82	0	0.05
19	0.38	+ 25	0.08
20	0.28	+ 50	0.07
21	0.41	+ 45	0.08
22	0.87	+ 85	0.55
23	0.84	+ 70	27
24	1.15	+ 10	65
25	5.2	+ 40	0.6
26	8.3	+ 65	0.9

Skott E.

- < 0,5 kg
- < 5 -
- > 5 -
- borrhål
- + tyngdpunkt

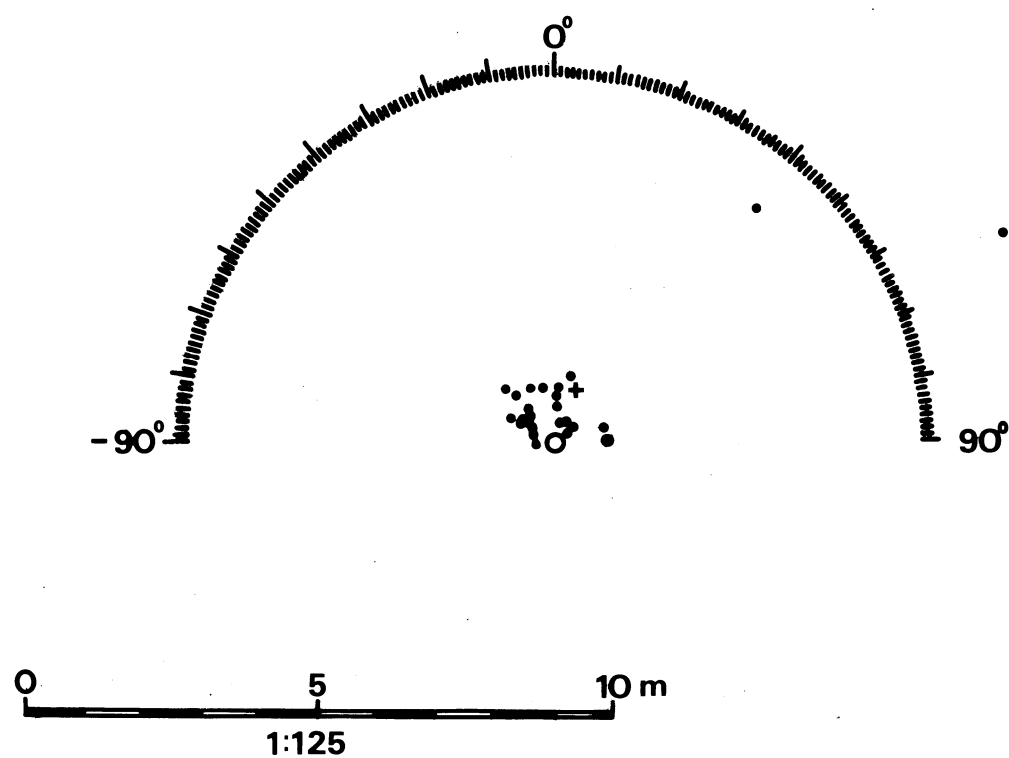


Fig. 15. Skott E, se tabell 3.

Tabell 4.

Sten nr	Kastlängd m	Vinkel grader	Vikt kg	Sten nr	Kastlängd m	Vinkel grader	Vikt kg
1	1.10	+ 90	21	28	3.6	+ 13	2.0
2	1.6	+100	85	29	3.5	+ 9.9	0.1
3	1.3	+ 72	13	30	3.6	+ 9	0.12
4	1.4	+ 70	4	31	4.1	+ 12	0.27
5	1.5	+ 64	12	32	5	+ 41	0.09
6	2.3	+ 74	40	33	4.8	+ 10	3.5
7	1.4	+ 44	12	34	4.95	+ 2	3.5
8	1.6	+ 47	10	35	6	+ 12	4
9	1.9	+ 47	1	36	9.5	+ 14	0.52
10	3.6	+ 35	75	37	9	+ 10	0.03
11	4	+ 75	0.2	38	10.3	+ 3	2.5
12	1.8	+ 28	1	39	2.45	- 23	1.15
13	2	+ 23	2	40	2.80	- 21	4.5
14	2.1	+ 23	0.45	41	2.60	- 17	0.2
15	2.2	+ 14	24	42	4.40	- 13	27
16	1.5	+ 2	3	43	4.25	- 8	4.5
17	1.4	- 5	13	44	5.90	- 15	105
18	1.85	- 4	7	45	8.70	- 17	41
19	1.85	- 4	3.5	46	2.8	- 56	41
20	2.1	- 5	0.8	47	3.9	- 77	0.02
21	2.2	- 5	1.5	48	5.8	-160	0.4
22	2.3	- 5	7.5	49	9.6	-140	1.5
23	2.9	+ 13	0.5	50	2.4	+160	3
24	3.25	+ 14	19.5	51	1.1	- 45	200
25	3	+ 18	0.22	52	1.1	0	400
26	3.1	+ 16	0.27	53	1.1	+ 45	400
27	3.65	+ 15	5.5				

Skott F.

- < 0.5 kg
- < 5 -
- > 5 -
- borrhål
- + tyngdpunkt

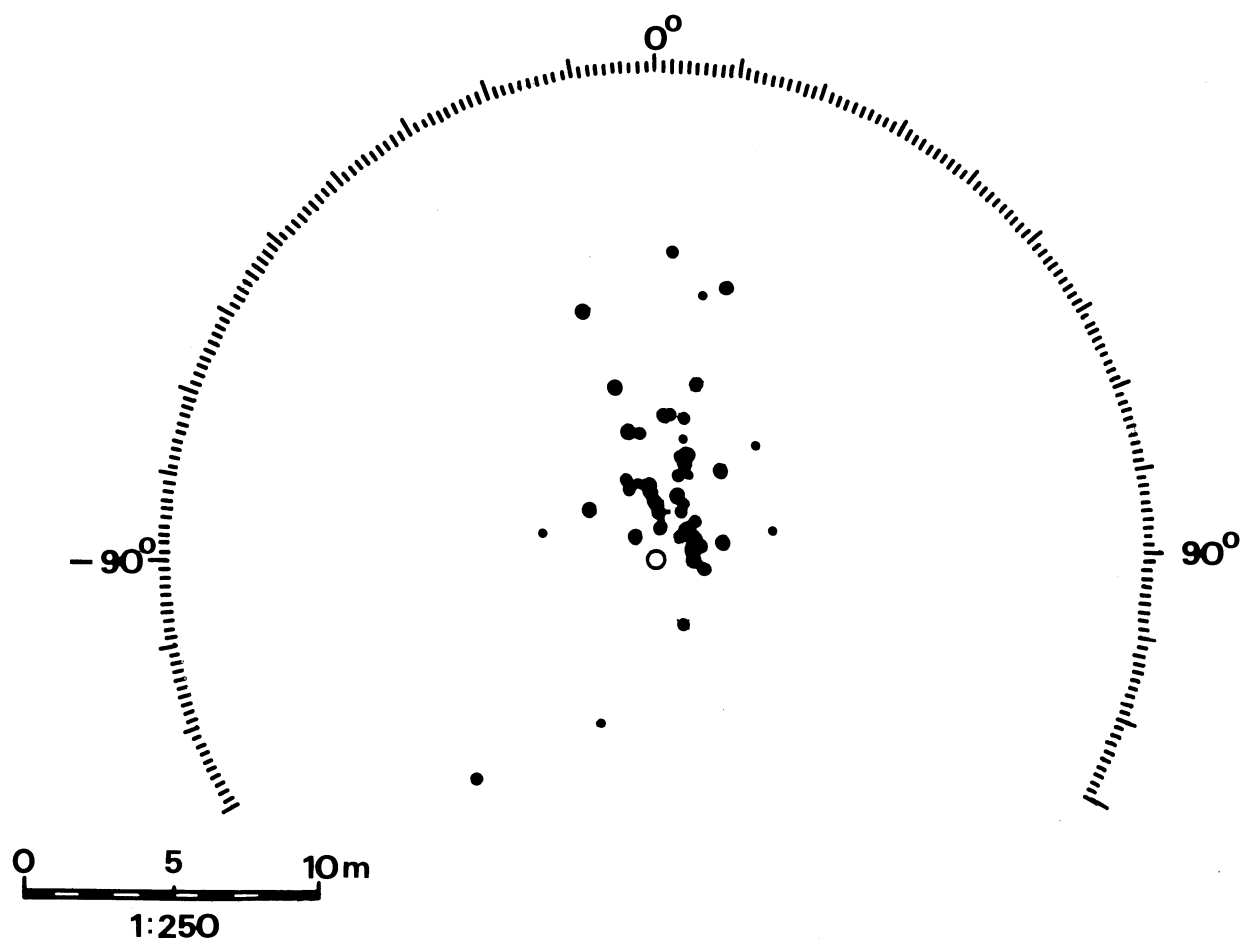


Fig. 16. Skott F, se tabell 4.

Tabell 5.

Sten nr	Kastlängd m	Vinkel grader	Vikt kg
1	4.2	+ 65	5.5
2	4.75	+ 47	2.5
3	6.40	+ 46	< 0.5
4	2.7	+ 5	25
5	4.9	+ 21	< 0.5
6	7.8	+ 17	1.5
7	6.2	+ 13	< 0.5
8	6.5	+ 13	< 0.5
9	4.25	+ 6	< 0.5
10	4.6	+ 9	< 0.5
11	5.1	+ 4	< 0.5
12	5.35	+ 4	< 0.5
13	4.5	- 4	0.5
14	4.3	- 7	0.7
15	4.6	- 8	5
16	3.55	- 17	< 0.5
17	4.15	- 36	< 0.5
18	3.5	- 45	< 0.5
19	6	- 50	6.5
20	4.35	- 51	< 0.5
21	6.1	- 46	14
22	5.6	- 42	< 0.5
23	6	- 42	< 0.5
24	5.4	- 40	< 0.5
25	4	- 40	< 0.5
26	3.4	- 40	< 0.5
27	7.3	- 41	< 0.5
28	7.1	- 38	< 0.5
29	8.9	- 46	< 0.5
30	9.5	- 40	< 0.5
31	8.15	- 23	< 0.5
32	8.8	- 22	> 100
33	7.75	- 20	< 0.5
34	8	- 19	< 0.05
35	6.85	- 16	< 0.5
36	6.8	- 14	2.0
37	7.4	- 15	5.0
38	7.2	- 15	< 0.5
39	7.2	- 7	< 0.5
40	7.6	0	< 0.5
41	8.2	+ 9	35
42	12.15	+ 24	1.1
43	13	+ 18	< 0.5
44	14.2	+ 11	1.5
45	13.9	- 8	< 0.5
46	9.5	- 1	27

Sten nr	Kastlängd m	Vinkel grader	Vikt kg
47	10.4	- 3	< 1.5
48	13	- 2	3
49	12.1	- 9	0.5
50	11.2	- 11	0.5
51	12	- 15	< 0.5
52	12.3	- 15	< 0.5
53	12.1	- 17	< 0.5
54	13	- 15	2.0
55	12.9	- 19	0.5
56	12.9	- 17	< 0.5
57	13.8	- 22	0.5
58	10.5	- 23	< 0.5
59	11.1	- 25	< 0.5
60	12.5	- 25	< 0.5
61	13.4	- 30	< 0.5
62	14.75	- 28	< 0.5
63	16.7	- 29	< 0.5
64	18	- 25	1.5
65	17.6	- 23	< 0.5
66	17	- 20	0.7
67	16.2	- 32	< 0.5
68	16.5	- 33	< 0.5
69	17	- 34	1.6
70	17.9	- 38	< 0.5
71	19.9	- 32	< 0.5
72	21.6	- 28	75
73	21.5	- 25	< 0.5
74	21.2	- 25	< 0.5
75	19.6	- 25	< 0.5
76	22.5	- 20	6.8
77	16.8	0	< 0.5
78	17.2	0	< 0.5
79	21.6	- 39	< 0.5
80	20.6	- 38	< 0.5
81	18.3	0	< 0.5
82	18.9	- 1	0.5
83	21.2	- 2	0.5
84	20.1	0	< 0.5
85	21.9	- 4	< 0.5
86	22.5	- 3	1.0
87	23.9	- 5	1.2
88	21.5	- 8	< 0.5
89	24.8	- 15	1.5
90	44.4	- 30	1.0
91	19.1	+ 38	6.0
92	16.8	+ 26	0.5

Skott G.

• < 0,5 kg

• < 5 -

• > 5 -

○ borrhål

+ tyngdpunkt

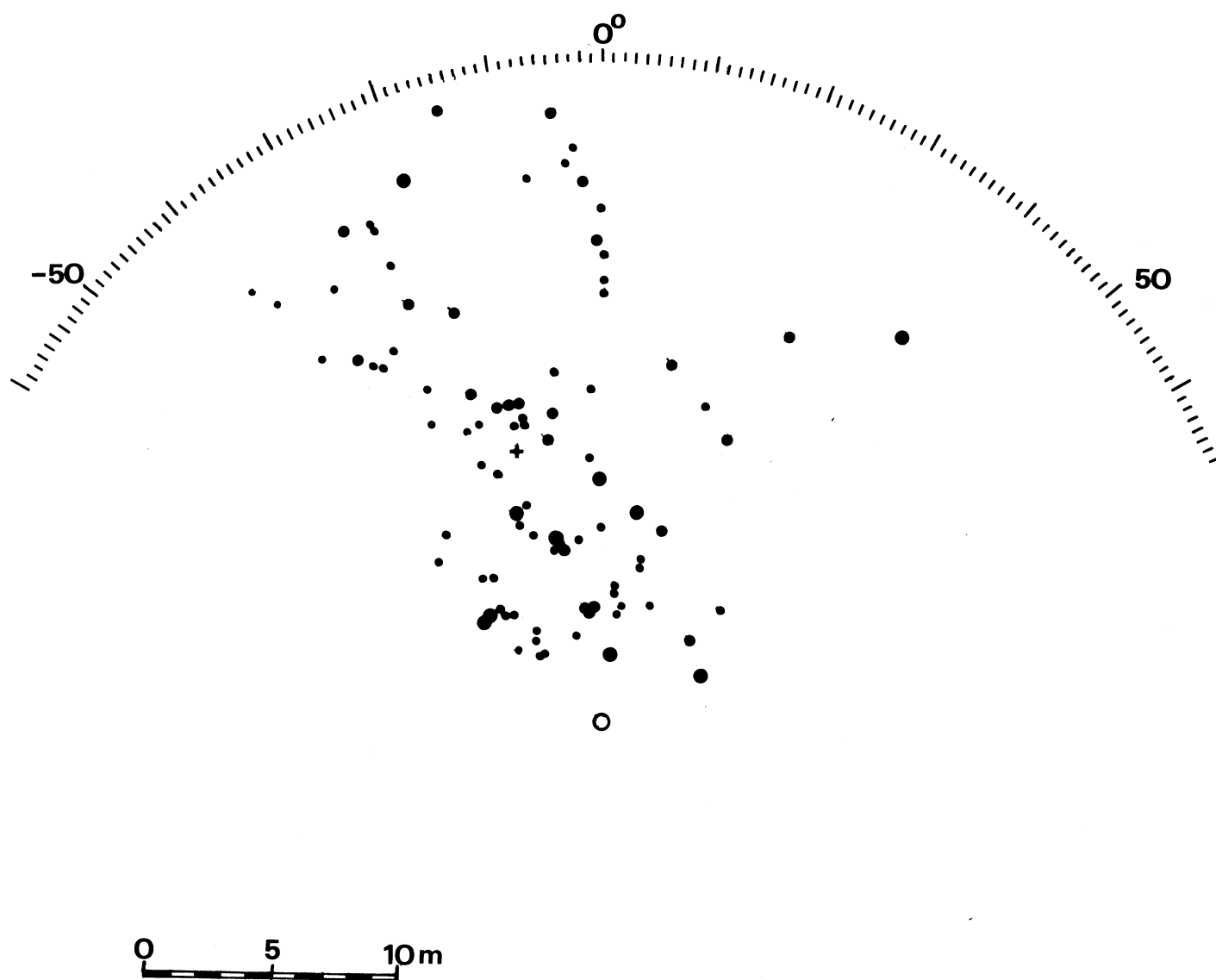


Fig. 17. Skott G, se tabell 5.

Tabell 6.

Sten nr	Kastlängd m	Vinkel grader	Vikt kg	Sten nr	Kastlängd m	Vinkel grader	Vikt kg
1	1.3	-110	2.1	32	3.3	- 3	< 0.5
2	1.9	- 88	> 100	33	15.1	- 32	< 0.5
3	2.8	- 80	19.5	34	14.7	- 36	< 0.5
4	2.95	- 82	0.5	35	16.5	- 60	< 0.5
5	2.7	- 53	< 0.5	36	26.45	- 47	< 0.5
6	4	- 90	< 0.5	37	32.4	- 45	0.5
7	6.4	- 72	< 0.5	38	31.7	- 32	< 0.5
8	8.4	- 82	< 0.5	39	33	- 32	< 0.5
9	8.85	- 62	1.6	40	30.9	- 29	< 0.5
10	9.8	- 60	< 0.5	41	31.5	- 29	< 0.5
11	11.6	- 63	< 0.5	42	32.6	- 29	< 0.5
12	11.3	- 55	< 0.5	43	41.8	- 30	0.5
13	11.75	- 58	< 0.5	44	43.3	- 29	< 0.5
14	8.9	- 55	< 0.5	45	34.8	- 28	< 0.5
15	10.4	- 87	< 0.5	46	20	+ 6	0.6
16	17.5	- 83	< 0.5	47	24.5	0	< 0.5
17	16.6	- 87	< 0.5	48	50	+ 12	< 0.5
18	19.8	- 77	95	49	40.7	+ 5	< 0.5
19	22.3	- 63	48	50	48.6	- 5	< 0.5
20	23.7	- 54	< 0.5	51	52	- 7	< 0.5
21	6.85	- 19	0.5	52	49.6	- 12	< 0.5
22	4.5	- 5	0.75	53	48.2	- 16	< 0.5
23	6.85	- 20	36	54	75	- 10	< 0.5
24	11.3	- 15	< 0.5	55	60.5	- 10	< 0.5
25	11.7	- 15	< 0.5	56	24.9	+ 14	< 0.5
26	13.4	- 14	< 0.5	57	25.5	+ 6	< 0.5
27	16.1	- 19	1.8	58	23.9	+ 6	< 0.5
28	20.3	- 13	2.5	59	9.15	+ 27	< 0.5
29	23.9	- 19	< 0.5	60	16.6	+ 37	< 0.5
30	24.9	- 27	88	61	12.3	+ 25	< 0.5
31	16.05	- 33	< 0.5	62	18.4	+ 15	< 0.5

Skott H.

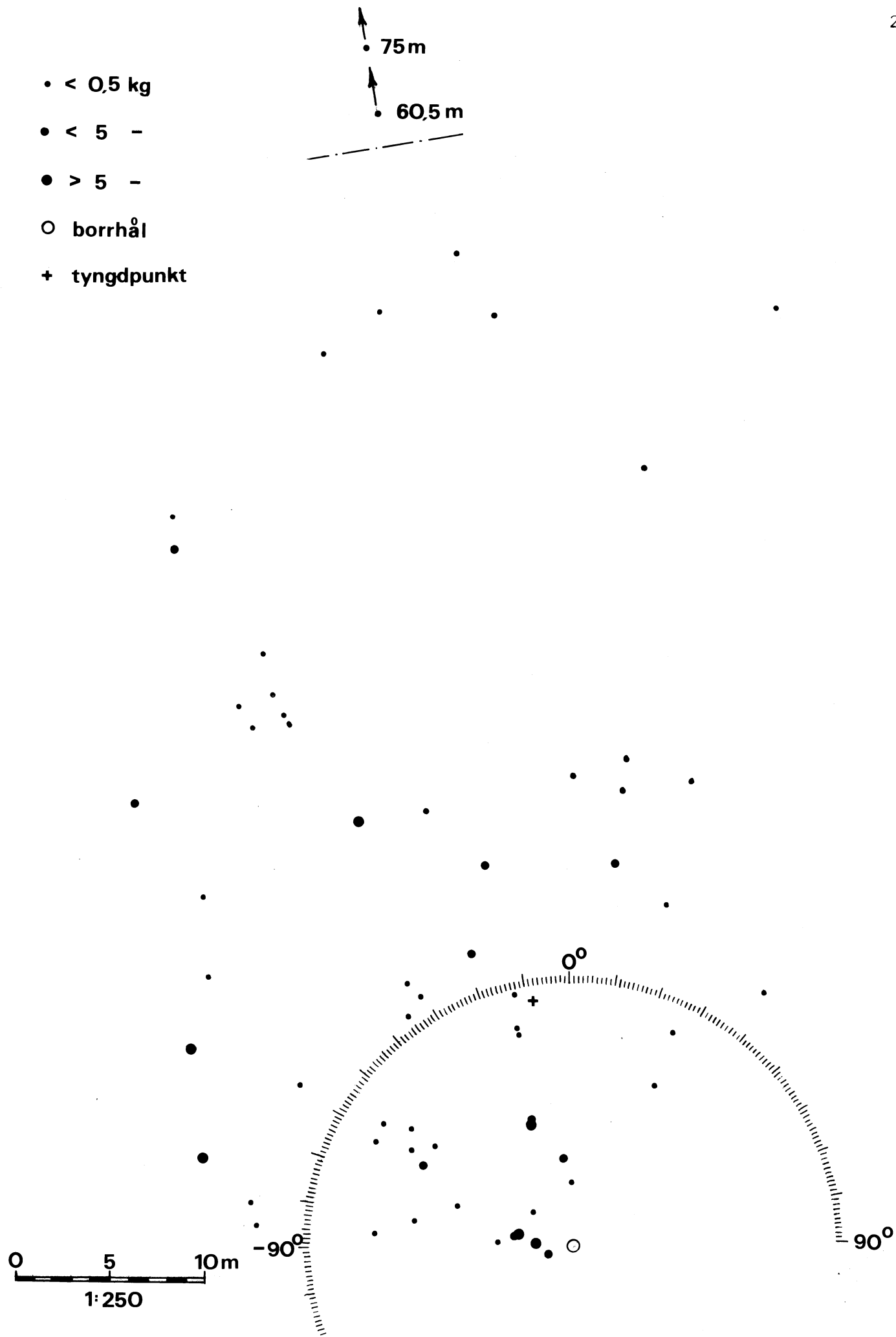


Fig. 18. Skott H, se tabell 6.

Tabell 7.

Sten nr	Kastlängd m	Vinkel grader	Vikt kg
1	1.6	- 30	43
2	2.2	- 35	0.9
3	3.1	- 57	69
4	3.2	- 51	53
5	3.35	- 42	1.3
6	2.40	- 62	0.5
7	3.6	- 65	< 0.5
8	3.6	- 58	< 0.5
9	6.5	- 49	5
10	7.35	- 25	< 0.5
11	4.7	- 14	< 0.1
12	3.6	0	1
13	10	- 9	< 0.5
14	11.3	- 11	< 0.5
15	11.65	- 11	< 0.5
16	15.2	- 13	0.7
17	20.2	- 24	0.5
18	19.9	- 23	0.5
19	7.6	- 7	< 0.5
20	10.5	- 7	1
21	11.5	- 5	< 0.5
22	12.9	- 1	9
23	11.5	- 1	1.25
24	13.8	- 1	4.6
25	20.1	- 6	2.5
26	1.25	+ 9	0.5
27	2	+ 28	< 0.5
28	3	+ 25	< 0.5
29	3.45	+ 23	< 0.5
30	3.7	+ 43	37
31	6.1	+ 48	2

Sten nr	Kastlängd m	Vinkel grader	Vikt kg
32	4.8	+ 25	< 0.5
33	5.3	+ 28	1.2
34	5.45	+ 28	0.7
35	7.5	+ 15	2
36	7.8	+ 44	2
37	9	+ 45	12
38	10.2	+ 44	< 0.5
39	9.6	+ 26	< 0.5
40	9.9	+ 24	< 0.5
41	11.8	+ 30	1
42	14.5	+ 7	1.1
43	16.1	+ 10	1.5
44	13.4	+ 23	< 0.5
45	15.15	+ 20	1
46	19.1	+ 25	1.5
47	21	+ 23	56
48	20.5	+ 10	0.5
49	24	+ 14	< 0.5
50	25.2	+ 14	< 0.5
51	28	+ 18	1.5
52	29.2	+ 20	< 0.5
53	32	+ 21	0.5
54	33.8	+ 10	< 0.5
55	33.6	+ 9	< 0.5
56	36	+ 5	< 0.5
57	43.6	+ 2	< 0.5
58	49.2	+ 34	< 0.5
59	93	+ 15	7.5
60	90	+ 10	0.5
61	19.5	+ 130	0.5

Skott 1.

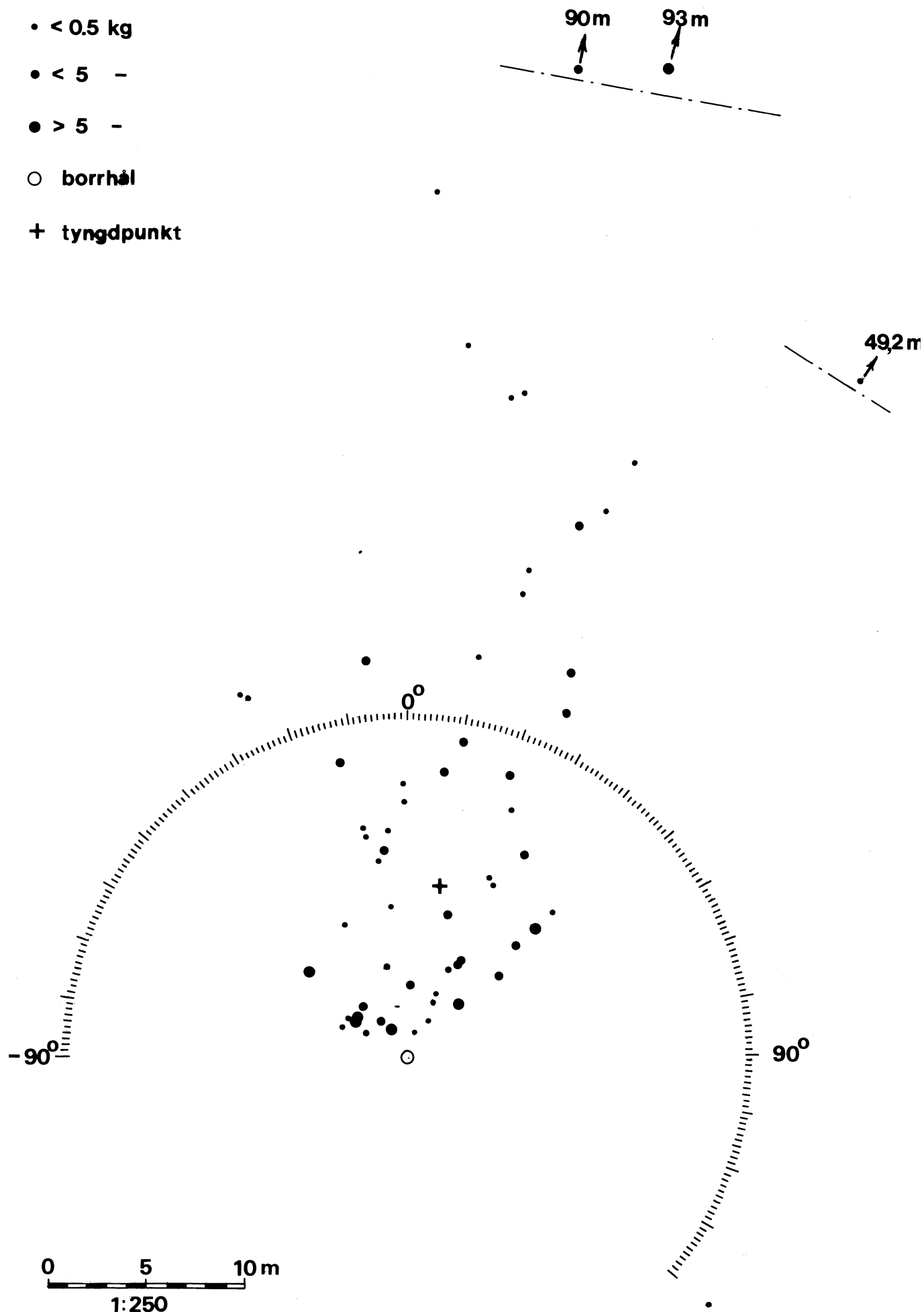


Fig. 19. Skott 1, se tabell 7.

Skutsprängning.

Vid sprängning av större stenar s.k. skut bör den specifika laddningen enligt tidigare erfarenheter och rekommendationer vara 0.06 - 0.1 kg sprängämne per m^3 . Borrhålet bör borraras så att laddningen kan anbringas i stenens tyngdpunkt. Förladdning av borrhålet bör utföras med sand eller borrhax. Om laddningen är centralt placerad och stenen är homogen och i stort sett klotformig erhålles en jämn sönderdelning. Dessa faktorer uppfylles nästan aldrig vid sprängning. Skut har oftast hårfina sprickor från tidigare sprängning, samt en yttre form som varierar mycket, vilket gör det omöjligt att med större noggrannhet bestämma stenvolymen. För att få en uppfattning om spranganvisningarnas rekommendationer är tillämpliga utfördes två enkla försök i ett större dagbrott.

1) Bergstycken av olika storlekar ($0.2-2 m^3$) med känd specifik vikt vägdes med en noggrannhet på ± 10 kg. Fem personer tillhörande brytningspersonalen försökte därefter att uppskatta stenarnas volym. Resultatet var förvånande. Den person som kom närmast i sina bedömningar kunde uppskatta olika volymer med en avvikelse på ca. 30%. Medeltalet för samtliga var ca. 45% avvikelse. De flesta uppskattade stenarna som större än de verkligen var.

2) Fem sprängningar av skut utfördes med specifika laddningen $0.1 kg/m^3$ och utan användande av täckningsmaterial. Håldiametern var 27 mm och sandförladdning tillämpades. Innan sprängningen vägdes skuten ($\rho = 2.7$, granit). Resultatet visade följande. Vid dessa fem separata sprängningar blev största observerade och uppmätta kastlängden för någon sten 36 m. Denna sten vägde 2.85 kg. Samtliga skut sprängdes i 30-50 mindre stycken. Figur 20 visar ett $1/2 m^3$ stort skut före och efter sprängning ($q = 0.1 kg/m^3$)

Sammanfattningsvis kan sägas att svårigheten att bestämma volymen på en sten, inhomogeniteter samt felaktig placering, lutning och längd på borrhålet ökar kastningen. Laddningsmängden $0.1 kg/m^3$ har god sönderslagningseffekt men kastvidden för enstaka stenar är stor. Vid skutsprängning med dålig täckning eller helt utan täckning måste farligt område anses vara mycket stort.

Skutspräckning.

Skutspräckning skiljer sig från vanlig skutsprängning genom att skuten endast spräcks utan kastning.

En spräckningsmetod, som har sin upprinnelse i Sovjet har provats vid LKAB, Kiruna samt Boliden AB. Sprängämnemängden är vid denna metod

< 40 g per borrhål och förladdningen består av vatten eller saltlösning. Hålantalet är 1 hål per 1.5 m^3 skut och håldjupet anges vid håldiametern 38 mm till $1/3 - 1/4$ av skuttjockleken. De utförda försöken med vattenförladdning visade följande fördelar under jord: Minskad kastning, ventilationstid och sprängämnesförbrukning. Metoden har enligt uppgift följande nackdelar: Längre laddningstid samt omskjutning av skut som ej sönderdelats tillräckligt. Tyvärr har man vid dessa försök ej jämfört vatten- och sandförladdningars inverkan på maximal kastlängd, men det är troligt att det enbart är den reducerade laddningen som har inverkat på den minskade kastvidden. Vattenförladdningen inverkar sannolikt främst på gas- och dammbildningen.

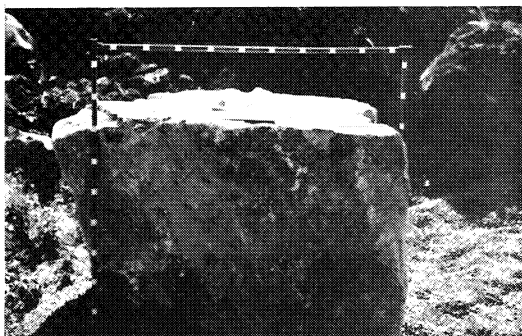
Ett nytt skut- och stenspräckningsförfarande har prövats av Stiftelsen. Metoden bygger på att man inkapslar sprängämnet i ett foderrör i borrhålet. Materialet till foderröret väljs och dimensioneras så att det kan expandera utan att brista. På detta sätt hindrar man möjligen att gasen tränger ut i sprickorna. (Vid försöken användes ett foderrör av aluminium med godstjockleken 1.5 mm).

Resultaten efter några få experiment pekar på följande fördelar:

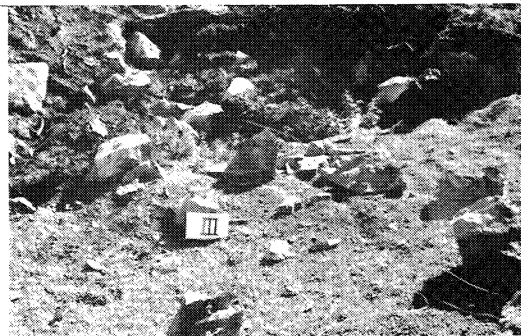
- a/ Ingen kastning
- b/ Ingen eller endast partiell täckning över hålmynning behövs
- c/ Kast som tidigare uppkom på grund av felaktig hålplacering (liten försättning) elimineras

Som eventuell nackdel kan nämnas att stenen slås sönder i ett färre antal stycken än vid konventionell skutsprängning.

Troligen kan andra material än aluminium användas varför det vid nuvarande tidpunkt är svårt att uppskatta kostnaderna för metoden.



a)

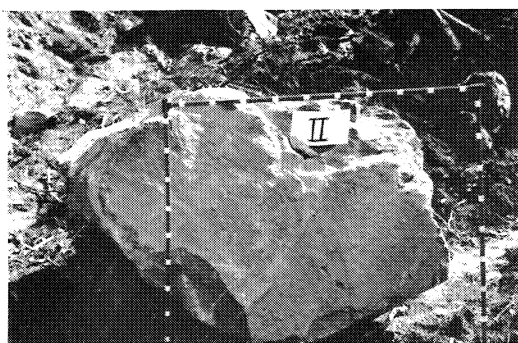


b)

Fig. 20. Sprängning av skut. Specifik laddning 0.1 kg Dx/m^3

a) Stenblocket (skutet) före sprängning

b) Styckefall efter sprängning



a)



b)



c)

Fig. 21. Exempel på skutspräckning med foderrör av aluminium. Specifik laddning 0.04 kg Dx/m^3 .

a) Skutet före spräckning

b) Resultat av spräckning

c) Högra stenhälvan fig. 21b uppförstorad.
Stenen har spruckit upp utan kast.

Litteraturförteckning.

1. Eriksson, B. och
Ladegaard-Pedersen, A. Stenkastning vid sprängning I.-
Stiftelsen Svensk Detonikforskning,
Stockholm, rapport DS 1971:32 (1971).
2. Kihlström, B. och
Ladegaard-Pedersen, A.,
Persson, P.A. Sprängningsresultatets beroende av hål-
diameter och hålsättning vid pallspräng-
ning.-
Stiftelsen Svensk Detonikforskning,
Stockholm, rapport DL 1968:17 (1968).
3. Livingston, C.W.
compiled by
Lang, L. A Blasting Theory and Its Applications.-
Notes from course given in Georgetown,
Colorado 3.9 - 21.9 (1962).
4. Noren, C.H. Blasting Experiments in Granite Rock.-
Colorado School of Mines Quarterly
vol 51 p 213-225 (1956).
5. Langefors, U. och
Kihlström, B. "The Modern Technique of Rock Blasting"
Almqvist & Wiksell, Stockholm (1963).
6. Lundborg, N. Beräkning av maximal kastlängd vid
sprängning.-
Stiftelsen Svensk Detonikforskning,
Stockholm, rapport DS 1973:4 (1973).
7. Ladegaard-Pedersen, A. PM angående sprängolycka i kvarteret
Friheten, Eskilstuna.-
Stiftelsen Svensk Detonikforskning,
Stockholm, rapport DS 1973:8 (1973).

Författarna ber att få framföra sitt tack till Ing. Helgegård, Stockholm Stads Gatukontor, Ing. B. Johansson, Västerbottens Grusförädling AB, Ing. H. Gustavsson, LKAB samt Ing. B. Lindberg, Boliden AB som välvilligt har ställt sina arbetsplatser och maskiner till vårt förfogande och lämnat värdefulla uppgifter.