



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R29:1981

Risk för stenkast vid sprängning

Nils Lundborg

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr 81-0394

Plac *See*

R
AD

BYGGDOK

Institutet för byggdokumentation
Hälsingegatan 49
113 31 Stockholm, Sweden
08-34 01 70 Telex 125 63

Byggeforskningsrådet

R29:1981

RISK FÖR STENKAST VID SPRÄNGNING

Nils Lundborg

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 790017-5 från Statens råd för byggnadsforskning till Stiftelsen Svensk Detonikforskning, Stockholm.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R29:1981

ISBN 91-540-3466-3
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1981 151407

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	5
1 INLEDNING	7
2 MODELLFÖRSÖK	9
3 FÄLTFÖRSÖK I HALVSKALA	11
4 FULLSKALEFÖRSÖK	12
5 TEORETISK BERÄKNING AV MAXIMAL KASTLÅNGD	13
6 REDUCERING AV KASTLÅNGDEN	14
7 STATISTISK BERÄKNING AV STENTRÄFF	17
8 METODER FÖR UPPMÄTNING AV PRODUKTIONSSALVORS MASSFÖRDELNING	18
9 UPPMÄTTA SALVOR	19
10 ANPASSNING AV FÖRDELNINGSFUNKTION	25
11 BERÄKNING AV SANNOLIKHET FÖR TRÄFF	39
12 KASTETS BEROENDE AV HÅLDIAMETER OCH SPECIFIK LADDNING	45
13 SLUTORD	46
REFERENSER	47



SAMMANFATTNING

Föreliggande arbete utgör, dels en sammanställning av SveDeFo's tidigare arbeten på kastområdet, dels en beskrivning av ett BFR-projekt "Kast vid sprängning". Arbetet har bestått i uppmätning av ett antal produktionssalvors fördelning och statistisk behandling av mätresultaten. Resultaten stöder tidigare arbeten, där maximal kastlängd är en funktion av håldiametern

$$L = 3000 d^{2/3}$$

där L och d anges i meter

eller

$$L = 260 d^{2/3}$$

där L anges i meter och d i tum. Av rapporten framgår att kastlängden kan reduceras genom att minska specifika laddningen. Reducering av kast medelst lätt täckning har däremot inte givit förväntat resultat. Det har varit svårt att få fram täckningsmaterial och vid de försök som gjorts har materialet inte hållit.

SUMMARY

This report summarizes previous work performed by SveDeFo in the area of flyrock and describes a new project "Flyrock in Rock Blasting" supported by the Swedish Council for Building Research. In a number of rounds the distribution of the rock masses has been measured and from this result the probability of hits by flyrock has been calculated. The results support previous work, where maximum flyrock distance is a function of bore hole diameter

$$L = 260 d^{2/3}$$

with L in metres and d in inches. The result also shows that it is possible to reduce the flyrock by decreasing the specific charge. Reducing flyrock by light protecting on the other hand has not been successful because of the lack of a sufficiently strong material.



1 INLEDNING

Allteftersom utvecklingen på bergsprängningsområdet tenderat att gå mot grövre borrhål har kast vid sprängning blivit ett mera svårbemästrat problem. I början av 70-talet fick SveDeFo i uppdrag av Kungl. Arbetarskyddsstyrelsen att bestämma "farligt område" vid sprängning med olika håldiametrar. Detta arbete inleddes med en intervjuundersökning med representanter för myndigheter, försäkringsbolag, entreprenörer och konsultfirmor. Resultatet redovisas i en SveDeFo-rapport av Björn Eriksson och Anders Ladegaard Pedersen/1/. De intervjuade ansåg att problemet med kast ökar med större håldiameter och att plansprängning är värre än rörgravssprängning och pallsprängning. Beträffande förladdning framfördes till synes två motsägande åsikter. Några ansåg att förladdningen skall vara lång, andra att den bör vara kort. Som vi senare skall se kan båda åsikterna vara riktiga, då vi genom försök visat att kastet blir maximalt för en viss längd på förladdningen (c:a 10 håldiametrar). Olämplig tändningsföljd ansågs också inverka på kastlängden.

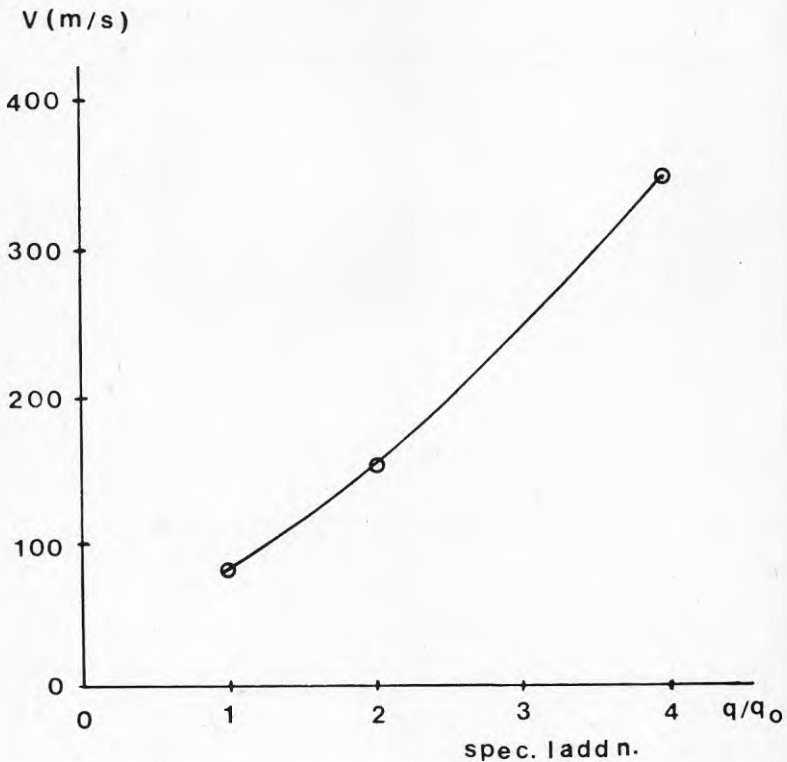
Beträffande täckning finns en gammal regel att den skall väga lika mycket som det lossprängda berget. Detta krav kan dock endast uppfyllas vid mycket små sprängningar. Intervjusvaren visar dock att tyngden hos täckningen ansågs viktig.



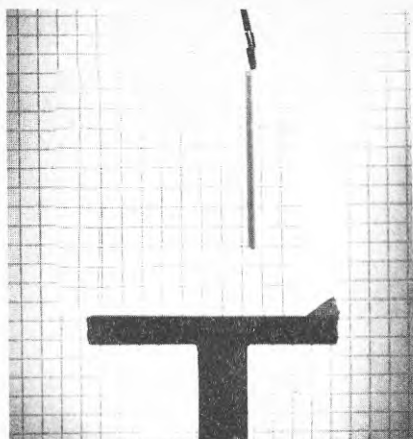
2 MODELLFÖRSÖK

För att utröna olika faktorerers inverkan på kast, t ex specifik laddning, krater effekt m m, utfördes tillatt börja med modellförsök i plexiglas. Resultaten redovisas i en rapport av Anders Ladegaard Pedersen och Algot Persson /2/. Figur 2.2 visar sprängning i plexiglasblock, fotograferad med höghastighetskamera. Den uppmätta hastigheten som funktion av specifika laddningen framgår av figur 2.1.

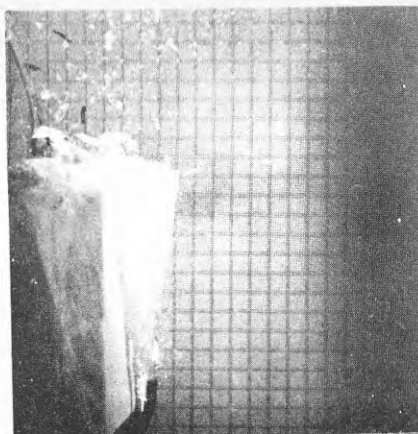
När gaserna rusar ut ur hålmynningen uppstår krater effekter. Lossbrutna stycken kastas därvid iväg med större hastighet än övriga delar av salvan. Lösa bitar, som ligger ovanför hålmynningen tycks få ungefär samma hastighet som lossbrutna bitar kring hålmynningen.



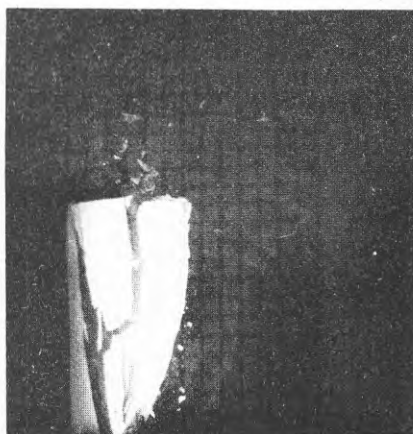
Figur 2.1 Utkastat materials translatoriska hastighet som funktion av den relativa specifika laddningen.



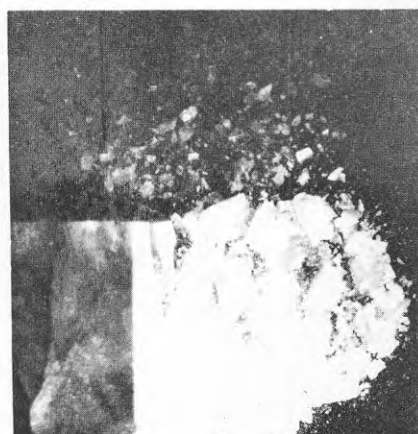
a



b



c



d

Figur 2.2 Plexiglaslots 100 x 60 x 60 mm (sedd från kortsidan).
 Borrålet är placerat med 15 mm:s försättning relativt
 den vitmålade långsidan och mitt mellan kortsidorna.
 Borrhålsdiametern varieras, men laddningstätheten hål-
 les 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

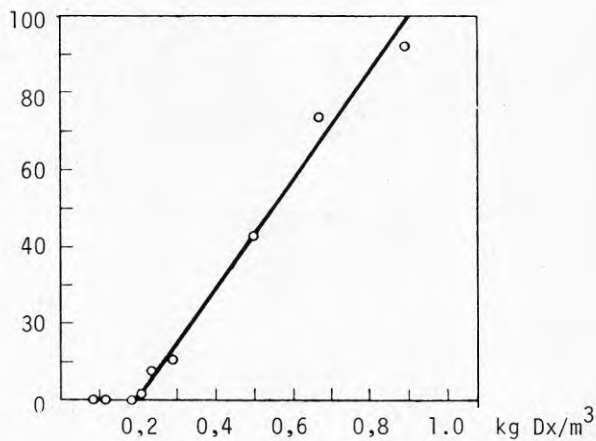
3 FÄLTFÖRSÖK I HALVSKALA

I förut nämnda rapport /2/ redovisas försök från Järvafältet där sprängningar utförts i ett 27 mm hål. Skotten filmades och efter varje skott uppmättes stenarnas läge och vikt. Figur 3.1 visar försöksplatsen. Maximal kastlängd, som funktion av specifik laddningen framgår av figur 3.2.



Figur 3.1 Försöksplats.

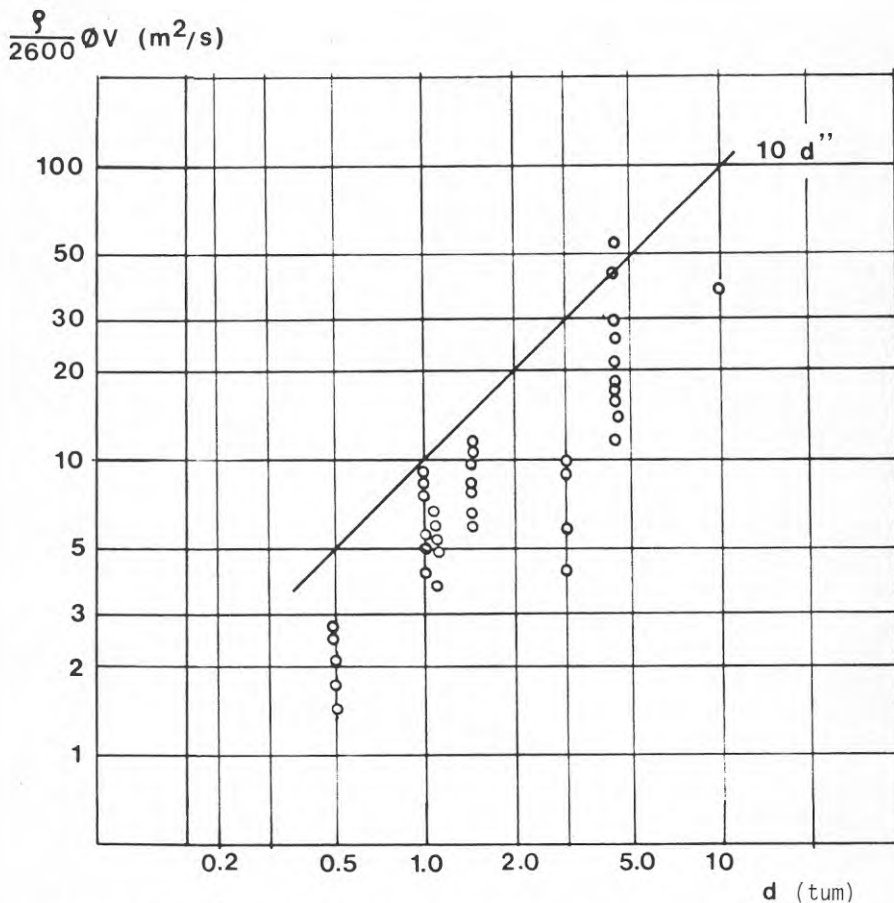
Max kastlängd, m.



Figur 3.2 Maximal kastlängd som funktion av specifik laddning.

4 FULLSKALEFÖRSÖK

SveDeFo har i samarbete med representanter från olika dagbrott utfört karteringar av längsta kända kast från ett antal salvor med olika håldiameter. På så sätt har vi kunnat beräkna sambandet mellan håldiameter och ρv enligt figur 4.1 där ρ är stenarnas diameter i meter och v hastigheten i meter per sekund. Att just ρv valts beror på att detta teoretiskt skall bli en linjär funktion av håldiamtern d . (se kap.5). De låga värdena i figur 4.1 beror på att stenarna haft annan utgångsvinkel än 45° .



Figur 4.1 $\frac{\rho \rho v}{2600}$ som funktion av håldiamtern.

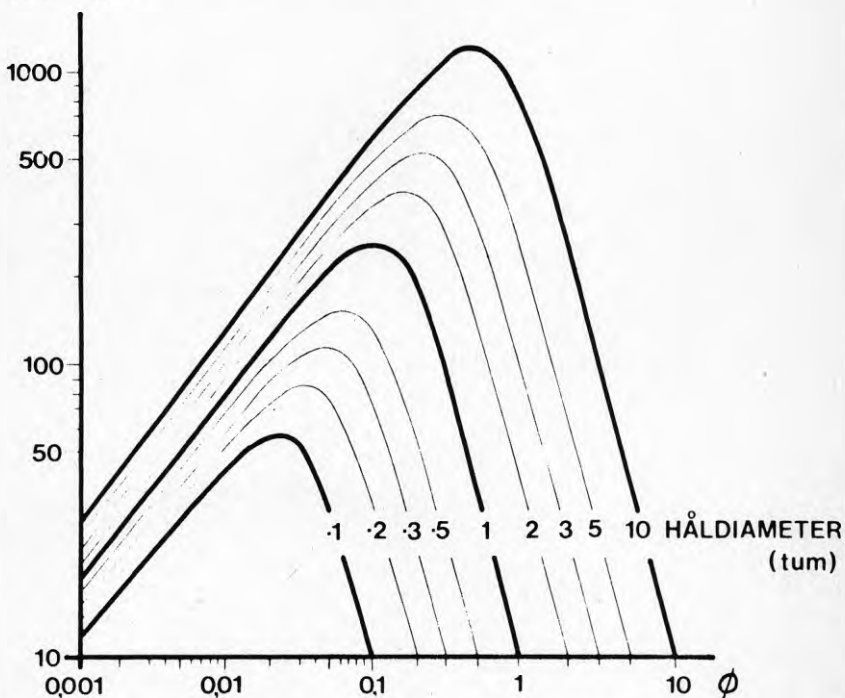
5 TEORETISK BERÄKNING AV MAXIMAL KASTLÄNGD

Nils Lundborg har i olika arbeten /3, 4, 5, 6/ med utgångspunkt från impulslagar och luftmotstånd beräknat den relativa kastlängden vid sprängning i olika håldiametrar. Beräkningarna visar att vi får den enkla relationen

$$d = k \frac{\rho}{2600} \varnothing v \quad (5.1)$$

där d är laddningsdiametern, \varnothing stendiametern, ρ stenens densitet och v hastigheten. k är en konstant, som kan bestämmas experimentellt. Av figur 4.1 fås t ex $k = 0.1 \left[\frac{\text{tum} \cdot \text{s} \cdot \text{m}}{\text{kg}} \right]$. Då hastigheten är bestämd kan kastlängden fås för olika utgångsvinklar och stenstorlekar. Maximala kastlängden fås vid omkring 45° . Luftmotståndet är beroende på stenarnas storlek och hastighet. Figur 5.1 visar den beräknade maximala kastlängden som funktion av stenarnas diameter med håldiametern som parameter.

KASTLÄNGD (m)

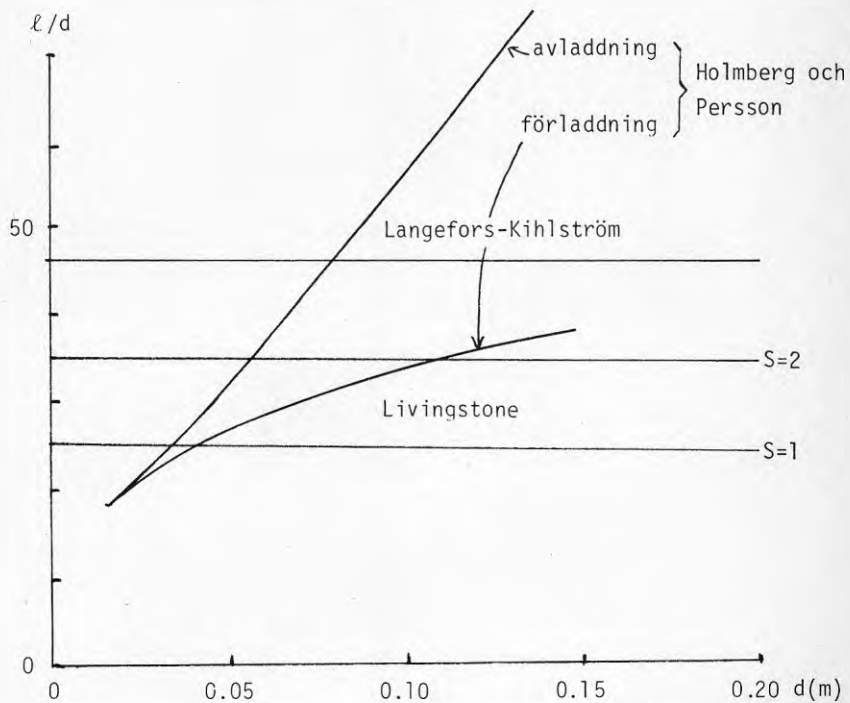


Figur 5.1 Beräknad max kastlängd som funktion av stenstorleken $\left(\frac{\rho}{2600} \varnothing \right)$ med borrhålsdiametern som parameter.

Kastlängden är som förut visats bl a beroende av stenarnas utgångshastighet och utgångsvinkel. Detta är de enda två faktorerna som kan påverkas. I första hand har vi försökt påverka hastigheten. Detta kan ske på tre olika sätt: Genom förladdning eller avladdning, genom reducering av specifika laddningen och genom täckning. Anders Ladegaard Pedersen och Roger Holmberg /7/ har studerat inverkan av tändningsgeometrin. Figur 6.1 visar att toppinitiering ger större krater än botteninitiering. Roger Holmberg och Gunnar Persson /8/ har senare visat att också stenarnas utgångshastighet blir högre vid toppinitiering. Roger Holmberg och Gunnar Persson /8/ samt Roger Holmberg /9/ har undersökt för- och avladdningens inverkan på kast. Bestämningarna har gjorts med helt inspända hål, så att endast myningseffekter studerats. Intuitivt föreställer vi oss att om för- och avladdning ökas kommer kastet att minska. Detta har också antagits av andra författare /12/. Till vår förvåning visade det sig emellertid att hastigheten och därmed kastlängden först ökar med för- och avladdning (l), får ett maximum för $l/d \approx 10$, varefter kastet minskar, för att till sist upphöra för ett kritiskt djup. Om vi uttrycker kritiska djupet som l/d där d är håldiametern väntar vi oss att detta förhållande skall vara oberoende av håldiametern. Så har också angetts av Livingstone /10/ och Langefors - Kihlström /11/. Figur 6.2 visar emellertid att Holmberg och Persson /8/ erhållit helt andra resultat l/d ökar här med håldiametern. Detta försvårar ytterligare möjligheterna att reducera kast vid grova borrhål.



Figur 6.1 Kratereffekter vid fullt laddade 27 mm borrhål för topp- resp botteninitiering.



Figur 6.2 Kritisk för- och avladdning, som funktion av håldiametern d . enligt olika författare.

Roger Holmberg /9/ har gjort försök med både konventionell och lätt täckning. Mattan slogs emellertid sönder vid första skottet på grund av alltför kraftig laddning. En konventionell sprängmatta av bildäckstyp förmådde inte heller stoppa liknande kast. Figur 6.3 visar genomslag i en lätt täckningsmatta.



Figur 6.3 Genomslag vid för hög laddningskoncentration, vid lätt täckning.

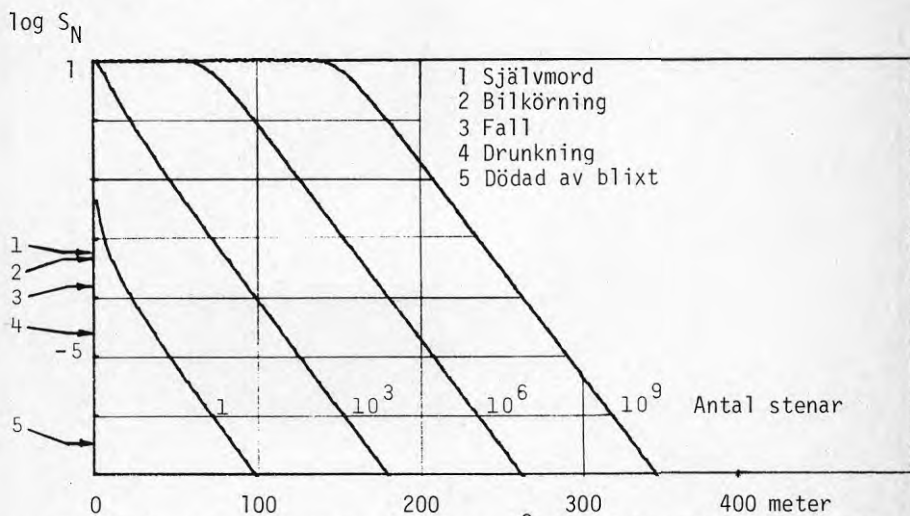
Julius Roth /12/ har för Bureau of Mines räkning gjort en sammanställning av olika arbeten på kastområdet. Han anser att de värden på längsta kast som angivits av SveDeFo är alldeles för stora, men medger att man vid enstaka tillfällen (wild flyrock) kan uppnå denna kastlängd. Därmed torde han i realiteten instämma med oss, ty det är just sådana kast vi har studerat.

7 STATISTISK BERÄKNING AV STENTRÄFF

Vi har i det föregående försökt bestämma en övre gräns för stenkast. Även om en sådan gräns existerar anger våra maximala kastlängder inte en sådan gräns, utan endast en gräns för vilken sannolikheten för träff är liten. Nils Lundborg /13, 14/ har med hjälp av stenkast från ett 1" hål beräknat denna sannolikhet.

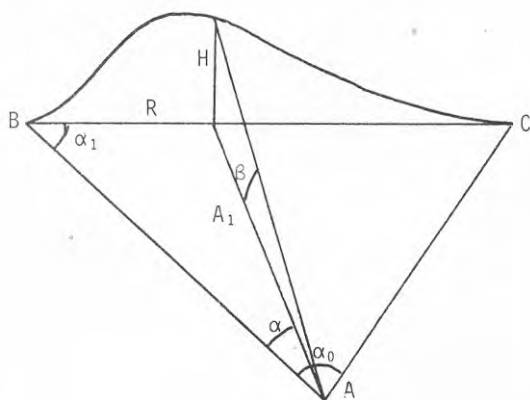
Vi har förut sett (figur 5.1) att maximala kastlängden för en salva med 1" hål är 260 m. Den statistiska beräkningen ger enligt figur 7.1 att sannolikheten för träff på en kvadratmeter vid detta avstånd från en salva med 1 million stenar är 1/10 millioner eller mindre än sannolikheten för att träffas av blixten under ett år. För 1000 sådana salvor, 10^9 stenar, blir sannolikheten 1/10 000 som fortfarande är mindre än sannolikheten av att omkomma under ett års bilkörning.

Mot bakgrunden av detta arbete har vi sökt ett anslag från BFR för att studera kast från ett antal produktionssalvor. Detta arbete beskrivs i kapitel 8-12, där stenmassornas läge har uppmätts hos sprängsalvor med olika håldiametrar och sannolikheten för träff på olika avstånd beräknats.



8 METODER FÖR UPPMÄTNING AV PRODUKTIONSSALVORS
MASSFÖRDELNING

Vid sprängning av produktionssalvor börjar i regel utlastningen omedelbart efter det att salvan skjutits. Uppmätningen av stenmassornas fördelning får därvid ske ganska snabbt. Man får nöja sig med uppmätning av höjden som funktion av avståndet i salvans utslagsriktning. Om det finns stora fria ytor är enklaste sättet att fotografera stenmassorna från sidan. Detta är dock inte alltid möjligt, varvid mätning med teodolit måste ske.



Figur 8.1 Principen för uppmätning av en salva.

Sidorna och vinklarna i den horisontella triangeln ABC kan bestämmas t ex genom uppmätning av AB, AC och α_0 .

Ur figuren fås sedan enligt sinusteoremet avståndet från pallkanten

$$R = A_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_1} \quad (8.1)$$

och salvans höjd

$$H = A_1 \cdot t_g \beta \quad (8.2)$$

där
$$A_1 = \frac{AB \sin \alpha_1}{\sin(\alpha + \alpha_1)} \quad (8.3)$$

Genom att mäta β som funktion av α får vi således höjden som funktion av avståndet.

9 UPPMÄTTA SALVOR

Sammanlagt har åtta salvor uppmätts enligt nedanstående förteckning.

Salva nr	1
Plats	Västerbottens Grusförädling AB, Brännland
Datum	77-06-01
Bergart	Gnejs
Pallhöjd	27,5 m
Håldiameter	76 mm
Hållutning	84.3 ⁰
Specifik laddning	0.75 kg/m ³
Förladdning	1.5 m

Salva nr	2
Plats	Västerbottens Grusförädling AB, Brännland
Datum	79-06-14
Bergart	Gnejs
Pallhöjd	27,5 m
Håldiameter	76 mm
Hållutning	84.3 ⁰
Specifik laddning	0.75 kg/m ³
Förladdning	1.5 m

Salva nr	3
Plats	AB Nordkross, Åkersberga
Datum	79-10-31
Bergart	Gnejs
Pallhöjd	21 m
Håldiameter	76 mm
Hållutning	70 ⁰
Specifik laddning	0.56 kg/m ³
Förladdning	

Salva nr	4
Plats	Cementa AB, Stora Vika
Datum	79-11-01
Bergart	Kristallin kalksten
Pallhöjd	22 m
Håldiameter	76 mm
Hållutning	84 ⁰
Specifik laddning	0.43 kg/m ³
Förladdning	1 m

Salva nr	5
Plats	Cementa AB Skövde, Norra Brottet
Datum	80-07-09
Bergart	Kalksten
Pallhöjd	17 m
Håldiameter	64 mm
Hållutning	Vertikala hål
Specifik laddning	0.35 kg/m ³
Förladdning	1.5m

Salva nr	6
Plats	Cementa AB Skövde, Norra Brottet
Datum	80-07-09
Bergart	Kalksten
Pallhöjd	17 m
Håldiameter	80 mm
Hållutning	Vertikala hål
Specifik laddning	0.35 kg/m ³
Förladdning	1.5 m

Salva nr	7
Plats	Cementa AB, Skövde, Norra Brottet
Datum	80-07-09
Bergart	Kalksten
Pallhöjd	17 m
Håldiameter	80 mm
Hållutning	Vertikala hål
Specifik laddning	0.35 kg/m ³
Förladdning	1.5 m

Salva nr	8
Plats	Cementa AB, Skövde, Norra Brottet
Datum	Tidigare skjuten (uppmätt 80-07-09)
Bergart	Kalksten
Pallhöjd	~ 20 m
Håldiameter	80 mm
Hållutning	Vertikala hål
Specifik laddning	0.35 kg/m ³
Förladdning	1.5 m

Figur 9.1 och 9.2 visar salva nr 3 och 4 efter skott i Åkersberga resp Stora Vika. I figur 9.3 ser vi Norra Brottet vid Cementa i Skövde. Figur 9.4 visar sprängning av salva 7 och 9.5 samma salva efter sprängning.



Figur 9.1 Salva nr 3 vid Nordkross AB, Åkersberga.
Fotograferad efter skott.



Figur 9.2 Salva nr 4 vid Cements AB, Stora Vika.
Fotograferad efter skott.



Figur 9.3 Cementa AB, Skövde, Norra Brottet.



Figur 9.4 Salva nr 7 vid Cementa AB, Skövde under skott.



Figur 9.5 Salva nr 7 vid Cementa AB, Skövde efter skott.

10 ANPASSNING AV FÖRDELNINGSFUNKTION

Salvornas höjd som funktion av avståndet från pallkanten har uppmätts, dels med hjälp av teodolit, dels från fotografier. Höjden har avlästs för var femte meter och inmatats på tape för statistisk behandling i dator.

Låt oss anta att stenmassornas relativa ackumulerade mängd innanför avståndet R följer Weibulls fördelning

$$S = 1 - \exp(-(R/R_0)^M) \quad (10.1)$$

Detta ger

$$\ln(1-S) = -(R/R_0)^M \quad (10.2)$$

och $\ln(-\ln(1-S)) = M \ln(R/R_0) \quad (10.3)$

Linjär anpassning av (10.3) till uppmätta värden med hjälp av minsta kvadratmetoden ger värdet på M och R_0 . Då stenmassorna kastas olika i olika riktningar har vi valt att endast mäta höjden i längsta kastriktningen och beräknat stenmassorna inom ett område med en meters bredd. S är således den relativa mängden av stenmassorna, som ligger inom detta område innanför ett visst avstånd R .

Mängden fås av integralen

$$S_1 = \int_0^R HdR \quad (10.4)$$

och totala stenmassan

$$S_0 = \int_0^{\infty} HdR \quad (10.5)$$

Varvid

$$S = S_1/S_0 \quad (10.6)$$

I praktiken kan vi inte mäta H längre än till ett visst avstånd R_2 . Vi får därvid uppskatta hur stora stenmassor som ligger utanför detta avstånd

$$\Delta S = \int_{R_2}^{\infty} H dR \quad (10.7)$$

Detta värde är litet i jämförelse med S_1 men vi måste ändå använda värdet i våra beräkningar för att inte få oändliga uttryck i ekvation (10.3).

Värdet på ΔS kan dels uppskattas på platsen för salvorna, dels anpassas så att (10.3) ger bästa anpassning till en rät linje. Lämpligen bör anpassningen vara bäst för stora avstånd.

Tabell 10.1-10.8 visar de uppmätta salvorna. Nederst anges de beräknade värdena på M och R_0 . R_1 är korrelationskoefficienten. V_1 anger mängden av stenmassan, som ligger utanför största angivna avståndet och SUM V anger totala stenmassan inom en meters bredd, allt i m^3 .

Figur 10.1 - 10.8 visar de olika salvornas höjd (H) som funktion av avståndet R. Punkterna är uppmätta värden och kurvorna anger den anpassade fördelningsfunktionen.

Figur 10.9 - 10.16 visar dels den linjära anpassningen enligt (10.3) dels den ackumulerade anpassningen enligt (10.1) med inprickade mätvärden.

R	H	SUM V	100*S	LNR	LN(-LN(1-S))
5.00	6.30	31.50	5.19	1.61	-2.93
10.00	9.00	76.50	12.59	2.30	-2.01
15.00	10.60	129.50	21.32	2.71	-1.43
20.00	11.70	188.00	30.95	3.00	-0.99
25.00	12.00	248.00	40.82	3.22	-0.65
30.00	11.50	305.50	50.29	3.40	-0.36
35.00	10.50	358.00	58.93	3.56	-0.12
40.00	9.00	403.00	66.34	3.69	0.09
45.00	7.50	440.50	72.51	3.81	0.26
50.00	6.30	472.00	77.70	3.91	0.41
55.00	5.00	497.00	81.81	4.01	0.53
60.00	4.30	518.50	85.35	4.09	0.65
65.00	3.50	536.00	88.23	4.17	0.76
70.00	3.00	551.00	90.70	4.25	0.87
75.00	2.50	563.50	92.76	4.32	0.97
80.00	2.20	574.50	94.57	4.38	1.07
85.00	1.70	583.00	95.97	4.44	1.17
90.00	1.30	589.50	97.04	4.50	1.26
95.00	1.00	594.50	97.86	4.55	1.35
100.00	0.80	598.50	98.52	4.61	1.44
105.00	0.50	601.00	98.93	4.65	1.51
110.00	0.40	603.00	99.26	4.70	1.59
115.00	0.30	604.50	99.51	4.74	1.67
120.00	0.10	605.00	99.59	4.79	1.70

M= 1.4779 R0= 38.2483 R1= 0.9998 V1= 2.5000 SUMV= 607.5000

R	H	SUM V	100*S	LNR	LN(-LN(1-S))
5.00	8.50	42.50	5.23	1.61	-2.92
10.00	9.30	89.00	10.96	2.30	-2.15
15.00	10.00	139.00	17.12	2.71	-1.67
20.00	10.30	190.50	23.46	3.00	-1.32
25.00	10.60	243.50	29.99	3.22	-1.03
30.00	10.90	298.00	36.70	3.40	-0.78
35.00	10.80	352.00	43.35	3.56	-0.57
40.00	10.70	405.50	49.94	3.69	-0.37
45.00	10.30	457.00	56.28	3.81	-0.19
50.00	9.50	504.50	62.13	3.91	-0.03
55.00	9.00	549.50	67.67	4.01	0.12
60.00	8.00	589.50	72.60	4.09	0.26
65.00	7.00	624.50	76.91	4.17	0.38
70.00	6.20	655.50	80.73	4.25	0.50
75.00	5.50	683.00	84.11	4.32	0.61
80.00	4.60	706.00	86.95	4.38	0.71
85.00	4.00	726.00	89.41	4.44	0.81
90.00	3.50	743.50	91.56	4.50	0.91
95.00	2.80	757.50	93.29	4.55	0.99
100.00	2.30	769.00	94.70	4.61	1.08
105.00	1.70	777.50	95.75	4.65	1.15
110.00	1.40	784.50	96.61	4.70	1.22
115.00	1.00	789.50	97.23	4.74	1.28
120.00	0.80	793.50	97.72	4.79	1.33
125.00	0.70	797.00	98.15	4.83	1.38

M= 1.3992 R0= 48.4810 R1= 0.9974 V1= 15.0000 SUMV= 812.0000

R	H	SUM V	100*S	LNR	LN(-LN(1-S))
5.00	4.80	24.00	2.75	1.61	-2.61
10.00	7.00	60.00	6.86	2.30	-2.64
15.00	8.80	104.00	11.90	2.71	-2.07
20.00	9.60	152.00	17.39	3.00	-1.66
25.00	10.80	206.00	23.57	3.22	-1.31
30.00	12.80	270.00	30.89	3.40	-1.00
35.00	13.20	336.00	38.44	3.56	-0.72
40.00	14.00	406.00	46.45	3.69	-0.47
45.00	13.60	474.00	54.23	3.81	-0.25
50.00	12.80	538.00	61.56	3.91	-0.05
55.00	11.20	594.00	67.96	4.01	0.13
60.00	10.00	644.00	73.68	4.09	0.29
65.00	9.20	690.00	78.95	4.17	0.44
70.00	8.00	730.00	83.52	4.25	0.59
75.00	6.80	764.00	87.41	4.32	0.73
80.00	5.60	792.00	90.62	4.38	0.86
85.00	4.80	816.00	93.36	4.44	1.00
90.00	3.20	832.00	95.19	4.50	1.11
95.00	2.80	846.00	96.80	4.55	1.24
100.00	1.60	854.00	97.71	4.61	1.33

Tabell 10.3

M= 1.6869 R0= 49.6409 R1= 0.9964 V1= 20.0000 SUMV= 874.0000

R	H	SUM V	100*S	LNR	LN(-LN(1-S))
5.00	7.00	35.00	7.08	1.61	-2.61
10.00	8.30	76.50	15.41	2.30	-1.78
15.00	9.30	123.00	24.87	2.71	-1.25
20.00	9.70	171.50	34.68	3.00	-0.85
25.00	9.70	220.00	44.49	3.22	-0.53
30.00	9.30	266.50	53.89	3.40	-0.26
35.00	8.50	309.00	62.49	3.56	-0.02
40.00	7.70	347.50	70.27	3.69	0.19
45.00	6.50	380.00	76.85	3.81	0.38
50.00	5.50	407.50	82.41	3.91	0.55
55.00	4.50	430.00	86.96	4.01	0.71
60.00	3.70	448.50	90.70	4.09	0.86
65.00	2.70	462.00	93.43	4.17	1.00
70.00	2.00	472.00	95.45	4.25	1.13
75.00	1.50	479.50	96.97	4.32	1.25
80.00	1.00	484.50	97.98	4.38	1.36
85.00	0.80	488.50	98.79	4.44	1.48
90.00	0.40	490.50	99.19	4.50	1.57
95.00	0.20	491.50	99.39	4.55	1.63
100.00	0.10	492.00	99.49	4.61	1.67

Tabell 10.4

M= 1.4924 R0= 33.4064 R1= 0.9977 V1= 2.5000 SUMV= 494.5000

R	H	SUM V	100*S	LNR	LN(-LN(1-S))
5.00	11.00	55.00	14.21	1.61	-1.88
10.00	11.80	114.00	29.46	2.30	-1.05
15.00	12.00	174.00	44.96	2.71	-0.52
20.00	11.40	231.00	59.69	3.00	-0.10
25.00	9.50	278.50	71.96	3.22	0.24
30.00	7.50	316.00	81.65	3.40	0.53
35.00	5.50	343.50	88.76	3.56	0.78
40.00	3.80	362.50	93.67	3.69	1.02
45.00	2.50	375.00	96.90	3.81	1.25
50.00	1.30	381.50	98.58	3.91	1.45
55.00	0.40	383.50	99.10	4.01	1.55
60.00	0.20	384.50	99.35	4.09	1.62

Tabell 10.5

M= 1.4644 R0= 20.0262 R1= 0.9972 V1= 2.5000 SUMV= 387.0000

R	H	SUM V	100*S	LNR	LN(-LN(1-S))
5.00	11.00	55.00	17.52	1.61	-1.65
10.00	10.50	107.50	34.24	2.30	-0.87
15.00	9.30	154.00	49.04	2.71	-0.39
20.00	8.00	194.00	61.78	3.00	-0.04
25.00	6.50	226.50	72.13	3.22	0.25
30.00	5.00	251.50	80.10	3.40	0.48
35.00	3.60	269.50	85.83	3.56	0.67
40.00	2.50	282.00	89.81	3.69	0.83
45.00	2.00	292.00	92.99	3.81	0.98
50.00	1.50	299.50	95.38	3.91	1.12
55.00	1.00	304.50	96.97	4.01	1.25
60.00	0.70	308.00	98.09	4.09	1.38
65.00	0.40	310.00	98.73	4.17	1.47
70.00	0.30	311.50	99.20	4.25	1.58

Tabell 10.6

M= 1.2317 R0= 20.0883 R1= 0.9995 V1= 2.5000 SUMV= 314.0000

R	H	SUM V	100*S	LNR	LN(-LN(1-S))
5.00	10.20	51.00	14.27	1.61	-1.87
10.00	11.20	107.00	29.93	2.30	-1.03
15.00	11.00	162.00	45.31	2.71	-0.50
20.00	9.20	208.00	58.18	3.00	-0.14
25.00	7.50	245.50	68.67	3.22	0.15
30.00	6.30	277.00	77.48	3.40	0.40
35.00	5.00	302.00	84.48	3.56	0.62
40.00	3.80	321.00	89.79	3.69	0.82
45.00	2.50	333.50	93.29	3.81	0.99
50.00	1.80	342.50	95.80	3.91	1.15
55.00	1.00	347.50	97.20	4.01	1.27
60.00	0.80	351.50	98.32	4.09	1.41
65.00	0.40	353.50	98.88	4.17	1.50
70.00	0.30	355.00	99.30	4.25	1.60

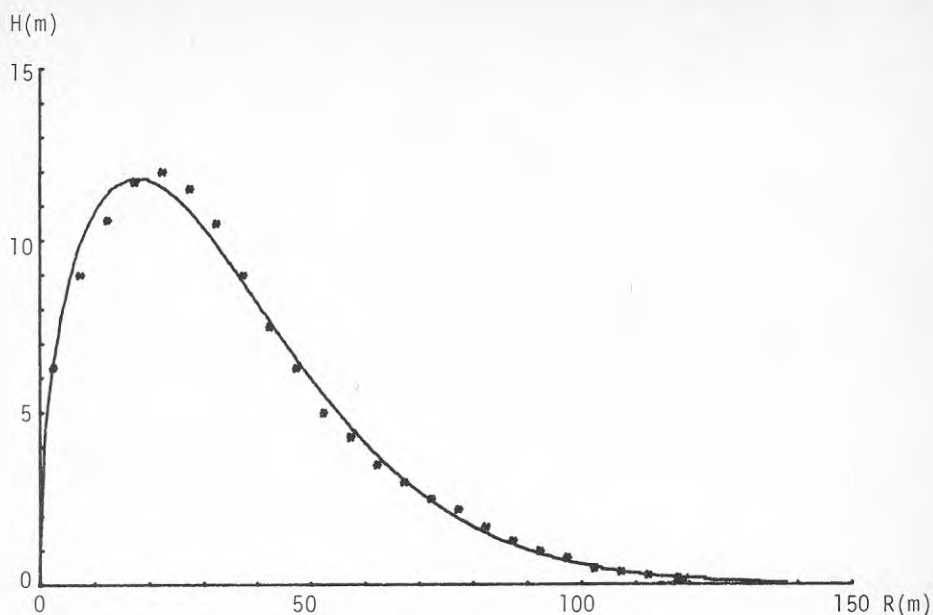
Tabell 10.7

M= 1.3365 R0= 21.4921 R1= 0.9994 V1= 2.5000 SUMV= 357.5000

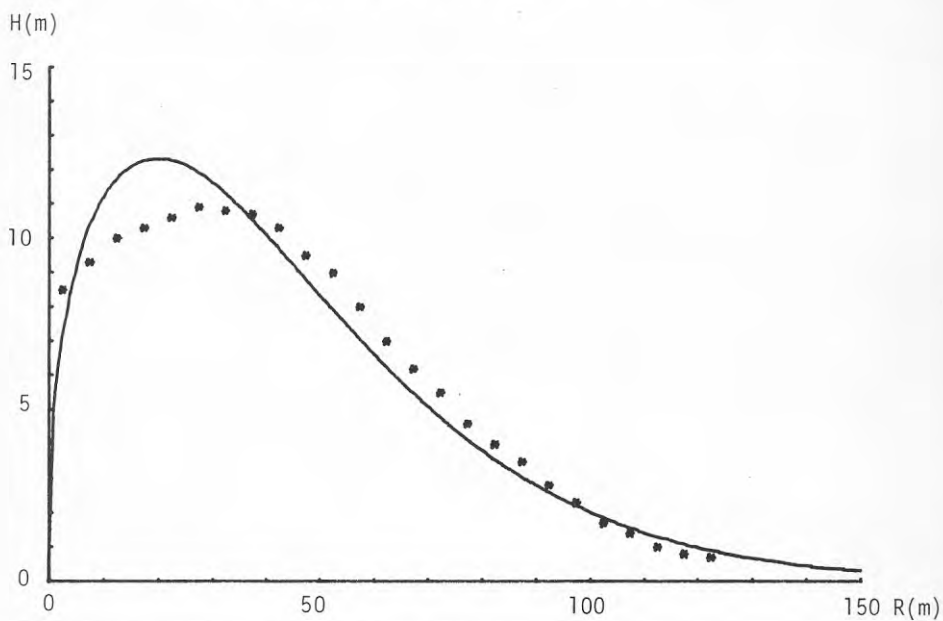
R	H	SUM V	100*S	LNR	LN(-LN(1-S))
5.00	10.50	52.50	14.85	1.61	-1.83
10.00	11.20	108.50	30.69	2.30	-1.00
15.00	11.00	163.50	46.25	2.71	-0.48
20.00	9.50	211.00	59.69	3.00	-0.10
25.00	7.50	248.50	70.30	3.22	0.19
30.00	6.00	278.50	78.78	3.40	0.44
35.00	4.50	301.00	85.15	3.56	0.65
40.00	3.50	318.50	90.10	3.69	0.84
45.00	2.50	331.00	93.64	3.81	1.01
50.00	1.50	338.50	95.76	3.91	1.15
55.00	1.00	343.50	97.17	4.01	1.27

Tabell 10.8

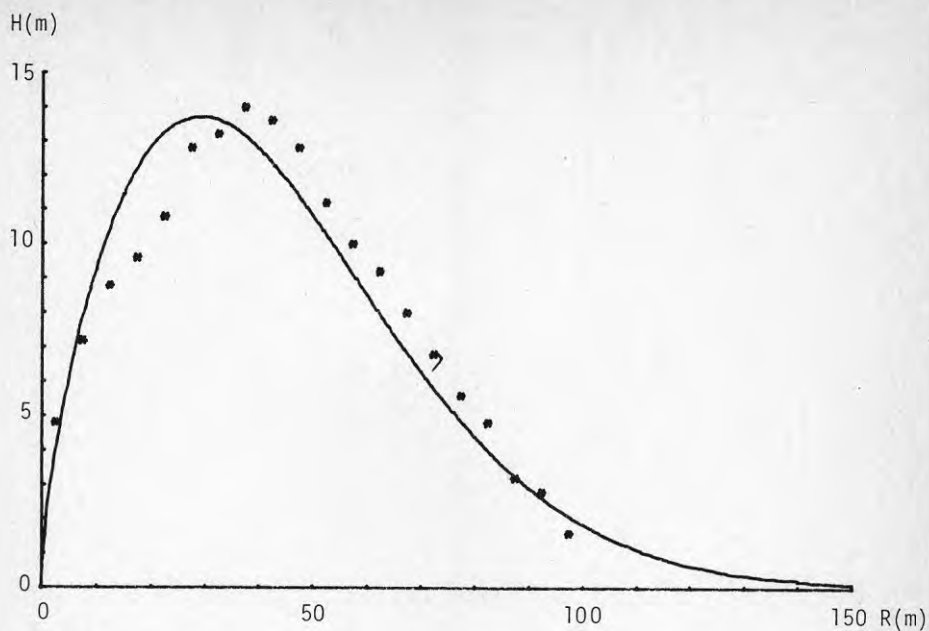
M= 1.3062 R0= 21.1384 R1= 0.9996 V1= 10.0000 SUMV= 353.5000



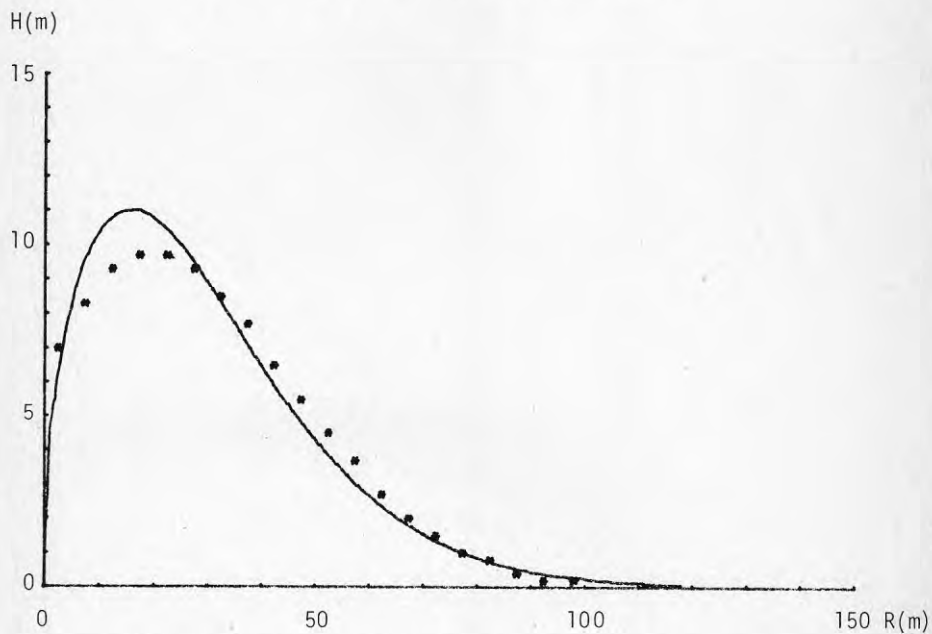
Figur 10.1 Salvans höjd som funktion av avståndet.
Salva nr 1. Punkterna är uppmätta värden och
heldragen kurva anpassad funktion.



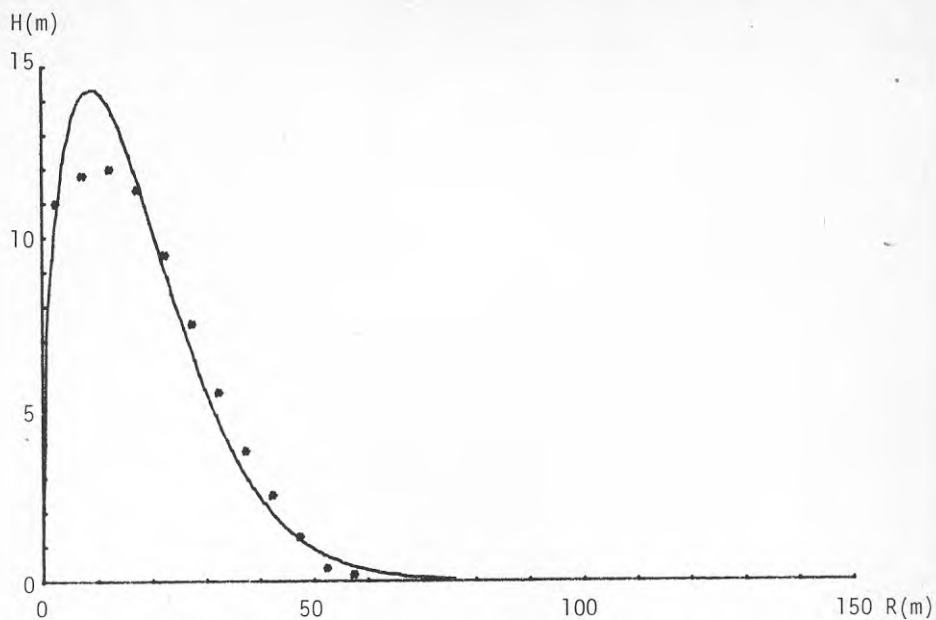
Figur 10.2 Salvans höjd som funktion av avståndet.
Salva nr 2. Punkterna är uppmätta värden och
heldragen kurva anpassad funktion.



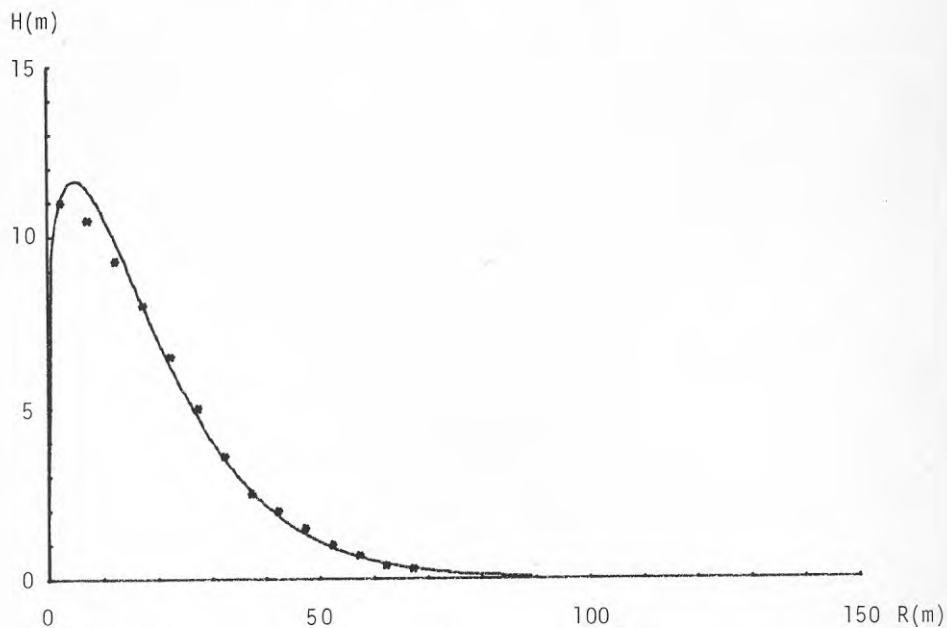
Figur 10.3 Salvans höjd som funktion av avståndet. Salva nr 3. Punkterna är uppmätta värden och heldragen kurva anpassad funktion.



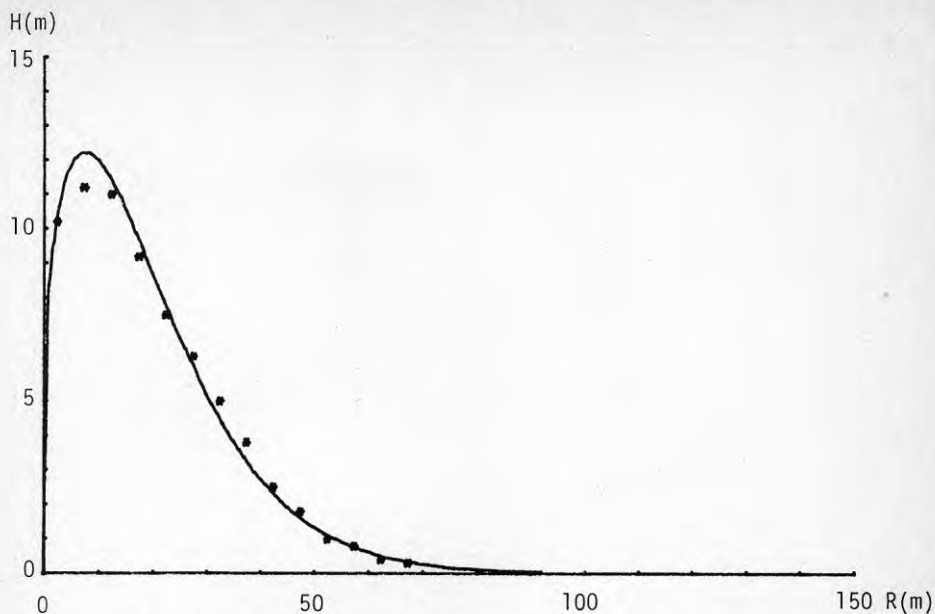
Figur 10.4 Salvans höjd som funktion av avståndet. Salva nr 4. Punkterna är uppmätta värden och heldragen kurva anpassad funktion.



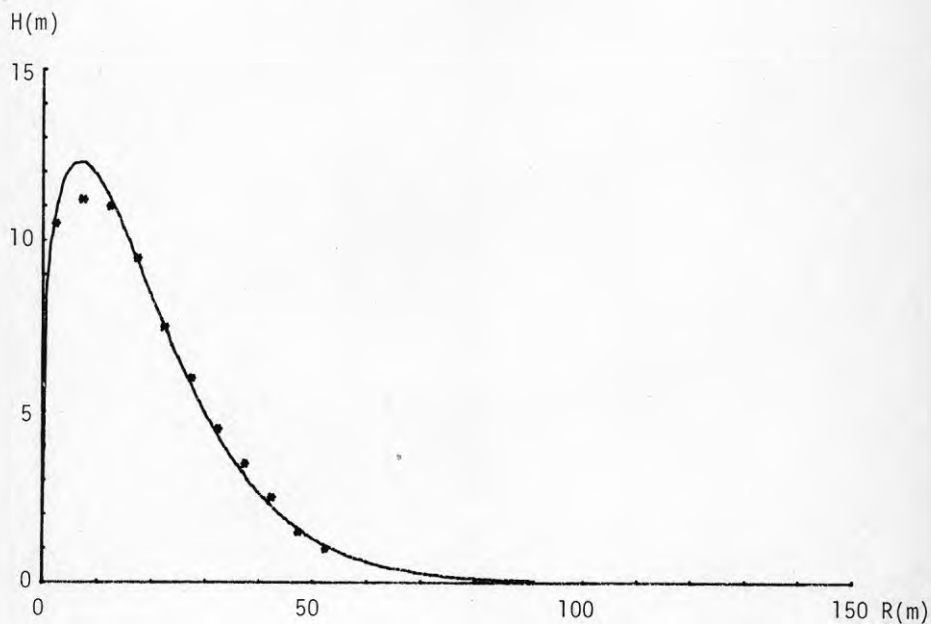
Figur 10.5 Salvans höjd som funktion av avståndet.
Salva nr 5. Punkterna är uppmätta värden och
heldragen kurva anpassad funktion.



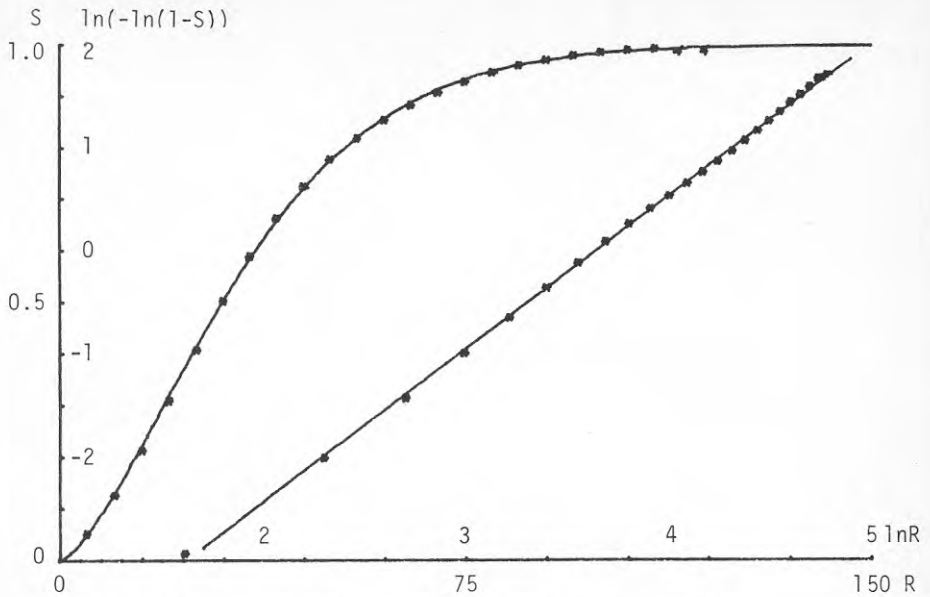
Figur 10.6 Salvans höjd som funktion av avståndet.
Salva nr 6. Punkterna är uppmätta värden och
heldragen kurva anpassad funktion.



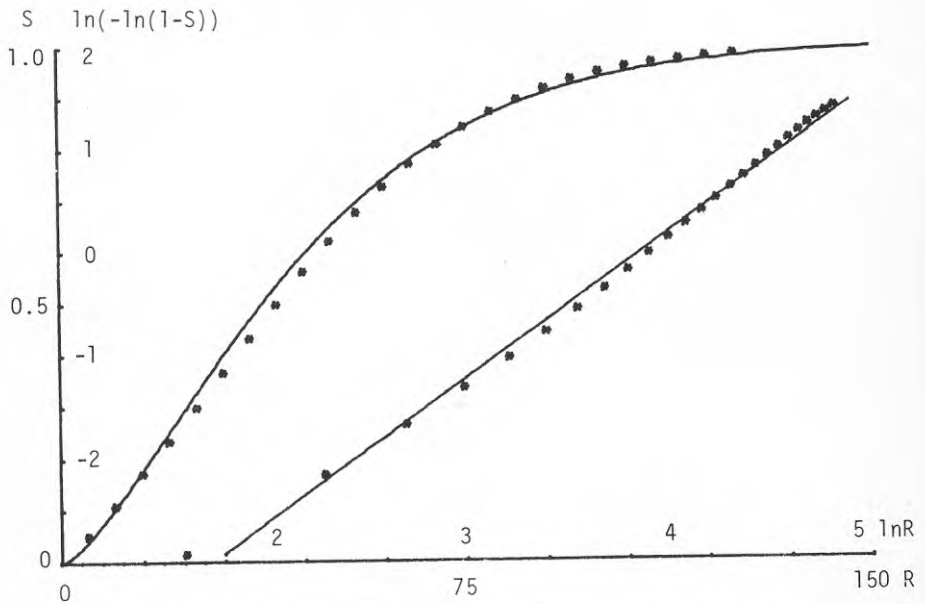
Figur 10.7 Salvans höjd som funktion av avståndet.
Salva nr 7. Punkterna är uppmätta värden och
heldragen kurva anpassad funktion.



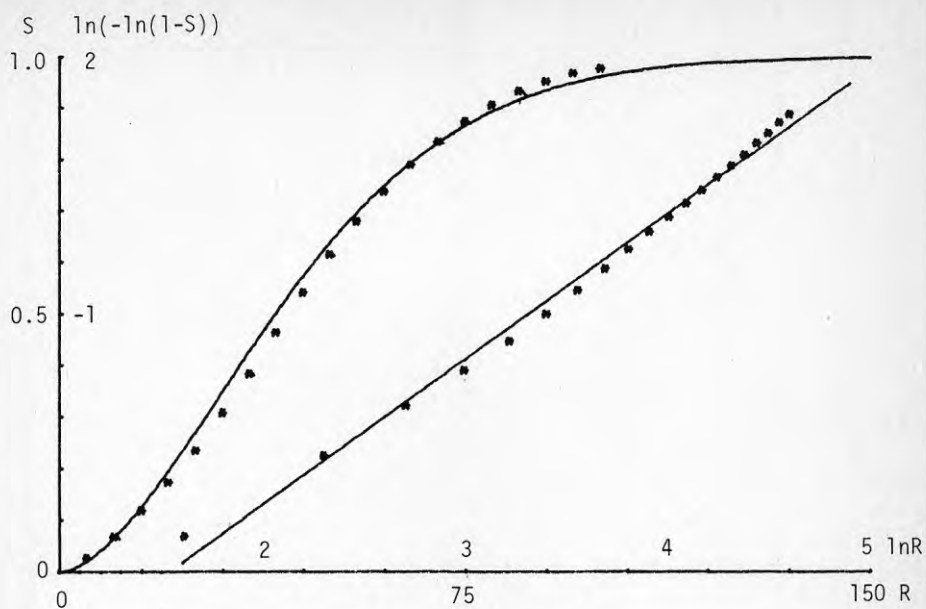
Figur 10.8 Salvans höjd som funktion av avståndet.
Salva nr 8. Punkterna är uppmätta värden och
heldragen kurva anpassad funktion.



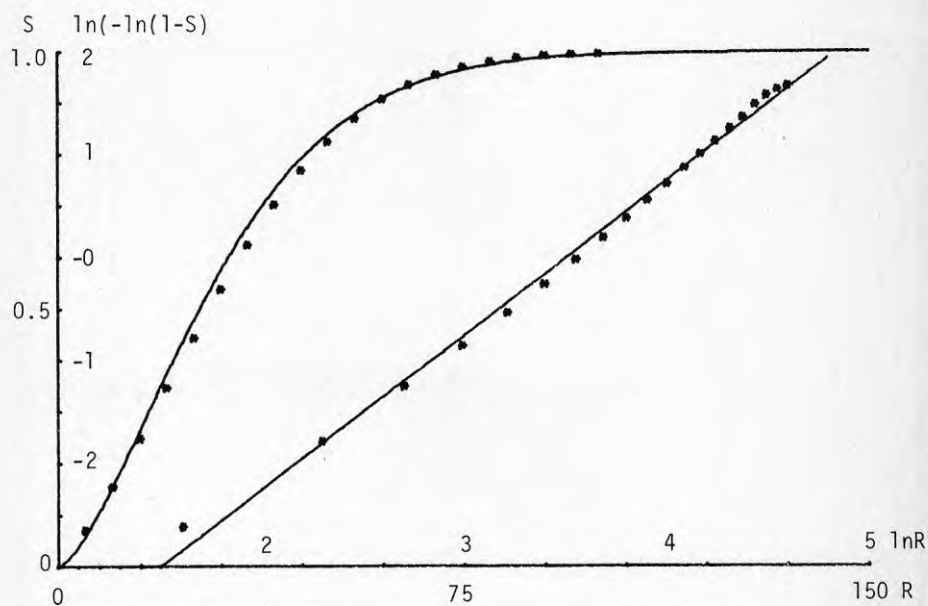
Figur 10.9 Anpassning till experimentella mätvärden enligt ekvation 10.1 och 10.3
Salva nr 1.



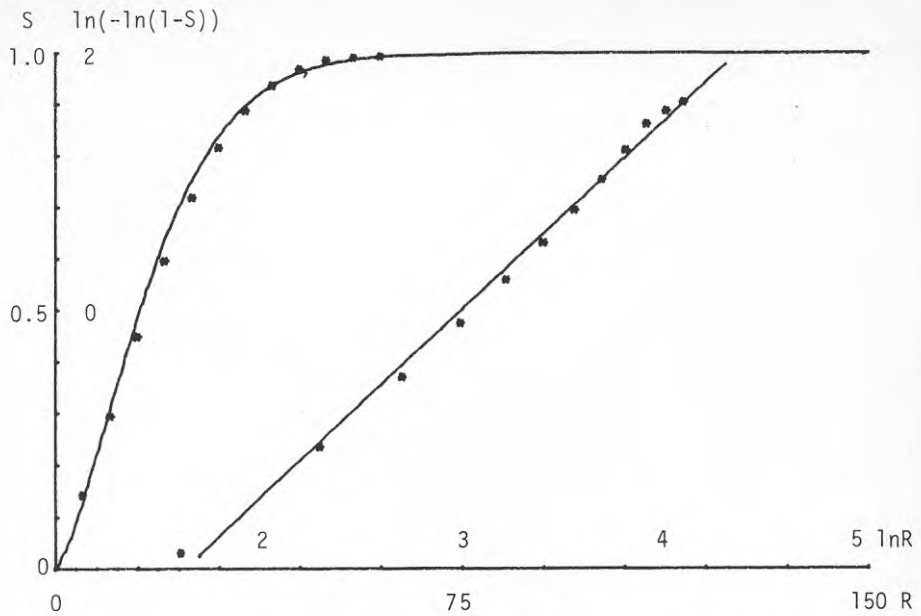
Figur 10.10 Anpassning till experimentella mätvärden enligt ekvation 10.1 och 10.3.
Salva nr 2.



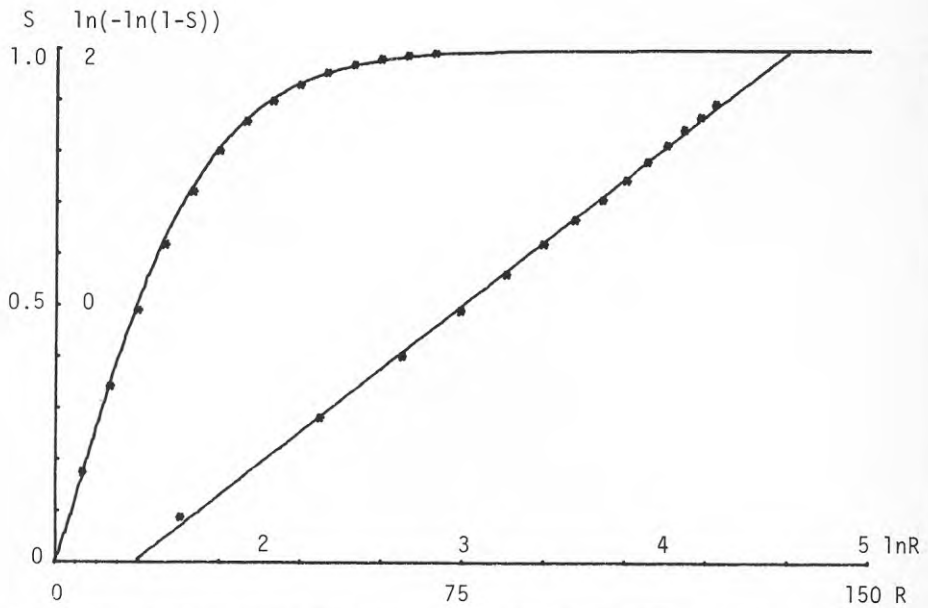
Figur 10.11 Anpassning till experimentella mätvärden enligt ekvation 10.1 och 10.3. Salva nr 3.



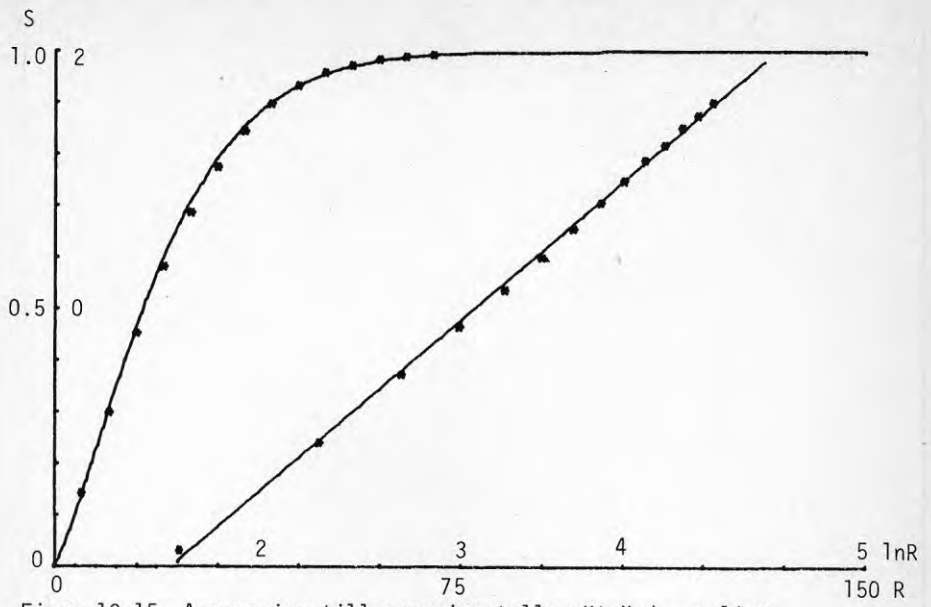
Figur 10.12 Anpassning till experimentella mätvärden enligt ekvation 10.1 och 10.3. Salva nr 4.



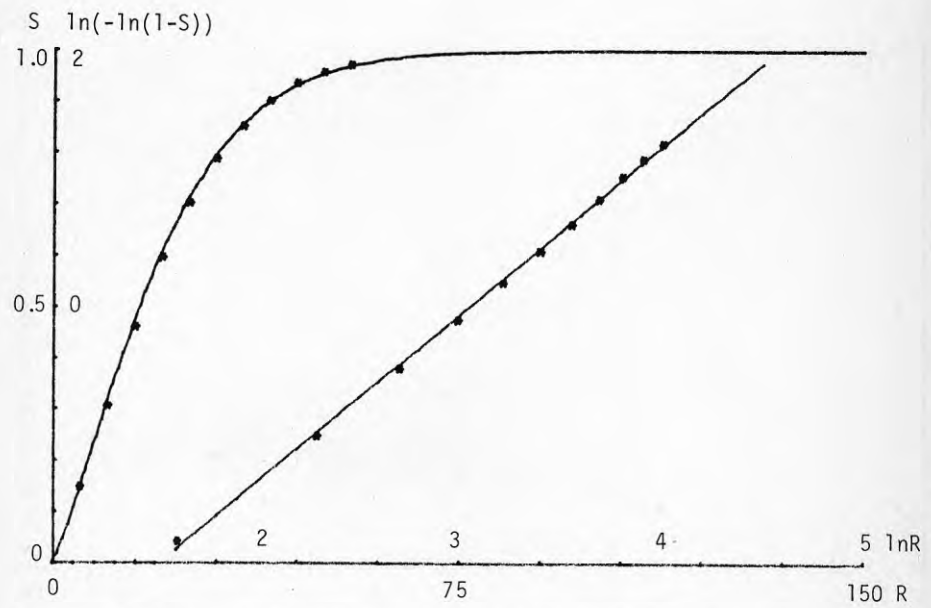
Figur 10.13 Anpassning till experimentella mätvärden enligt ekvation 10.1 och 10.3. Salva nr 5.



Figur 10.14 Anpassning till experimentella mätvärden enligt ekvation 10.1 och 10.3. Salva nr 6.



Figur 10.15 Anpassning till experimentella mätvärden enligt ekvation 10.1 och 10.3. Salva nr 7.



Figur 10.16 Anpassning till experimentella mätvärden enligt ekvation 10.1 och 10.3. Salva nr 8.



11 BERÄKNING AV SANNOLIKHET FÖR TRÄFF

I kapitel 10 har vi visat hur en fördelningsfunktion kan anpassas till stenmassornas höjd. Med utgångspunkt från (10.1), där M och R_0 är bestämda kan vi således beräkna sannolikheten för stenträff vid avståndet R .

Om vi betraktar en stenmassa med en meters bredd anger

$$S = 1 - \exp(-(R/R_0)^M) \quad (11.1)$$

sannolikheten för att en viss sten skall falla innanför avståndet R .

Sannolikheten för att en sten skall falla mellan avståndet R och $R + \Delta R$ meter blir då

$$S_1 = \frac{ds}{dR} \Delta R = \exp(-(R/R_0)^M) \left(\frac{R}{R_0}\right)^{M-1} \frac{M}{R_0} \Delta R \quad (11.2)$$

och sannolikheten för att en sten skall falla utanför detta område

$$1 - S_1 = 1 - \frac{ds}{dR} \Delta R \quad (11.3)$$

Sannolikheten för att ett visst antal (N) stenar alla skall falla utanför området blir

$$(1 - S_1)^N = \left(1 - \frac{ds}{dR} \Delta R\right)^N \quad (11.4)$$

och till sist får vi att sannolikheten för att en eller flera stenar skall träffa inom en kvadratmeter på avståndet R meter ($\Delta R=1$) blir

$$S_N = 1 - \left[1 - \left(\frac{R}{R_0}\right)^{M-1} \frac{M}{R_0} \exp(-(R/R_0)^M)\right]^N \quad (11.5)$$

Om andra termen i parentesen är $\ll 1$ kan vi serieutveckla (11.5) och försumma termer av högre ordning varvid

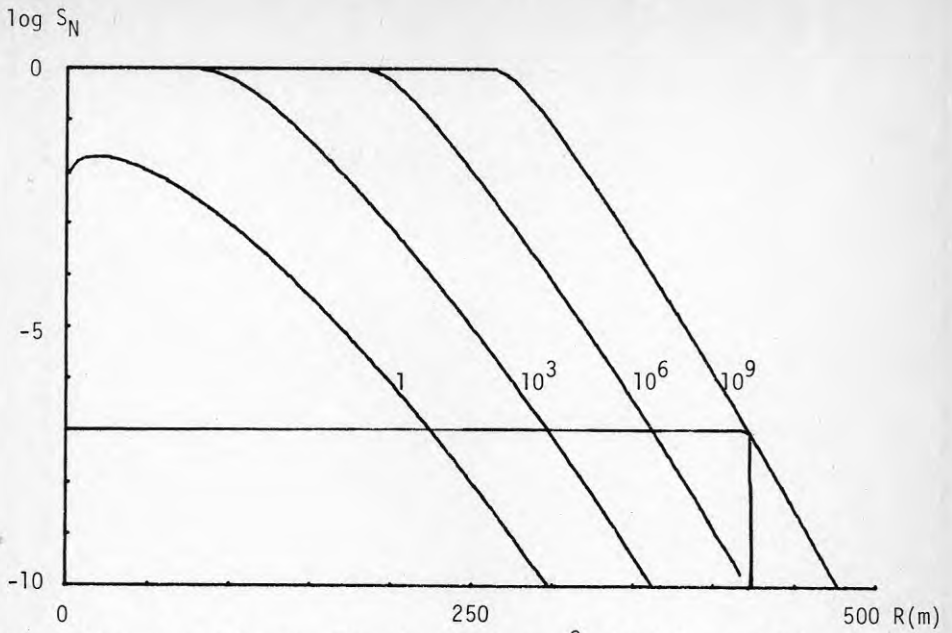
$$S_N = \frac{NM}{R_0} \left(\frac{R}{R_0}\right)^{M-1} \exp(-(R/R_0)^M) \quad (11.6)$$

N är här totala antalet stenar i en salva som faller inom 1 m bredd. Volymen av dessa stenar anges som SUM V i tabell 10.1 - 10.8. Från tabell 10.1 fås t ex att totala stenmassan är 607,5 m³. Om vi då antar att varje sten upptar volymen 1 liter blir N = 607500. Figur 11.1 - 11.8 visar den beräknade sannolikheten för träff per kvadratmeter som funktion av avståndet från salvan i längsta kastriktningen, vanligtvis framåt, i salvans utslagsriktning. Som parameter har använts antalet stenar, som kan bestå av en eller flera salvor. Kurvan till höger i diagrammen anger sannolikheten för 10⁹ stenar vilket torde motsvara omkring 1000 salvor av de störst förekommande.

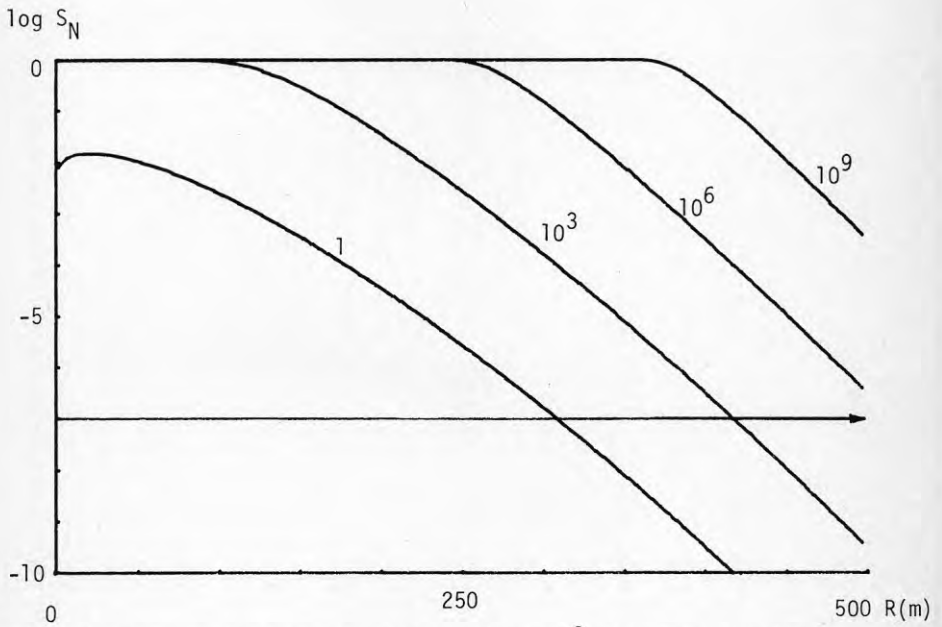
Om vi räknar med denna kurva och sätter sannolikheten till 10⁻⁷, som är lika med risken för en person att träffas av blixten under ett år, får vi säkerhetsavståndet för olika håldiametrar och specifika laddningar från figur 11.1 - 11.8, eller bättre från ekvation (11.6). Detta anges i tabell 11.1.

Salva	d (mm)	q (kg/m ³)	R (m)
1	76	0.75	420
2	76	0.75	605
3	76	0.56	410
4	76	0.43	360
5	64	0.35	230
6	80	0.35	360
7	80	0.35	320
8	80	0.35	320

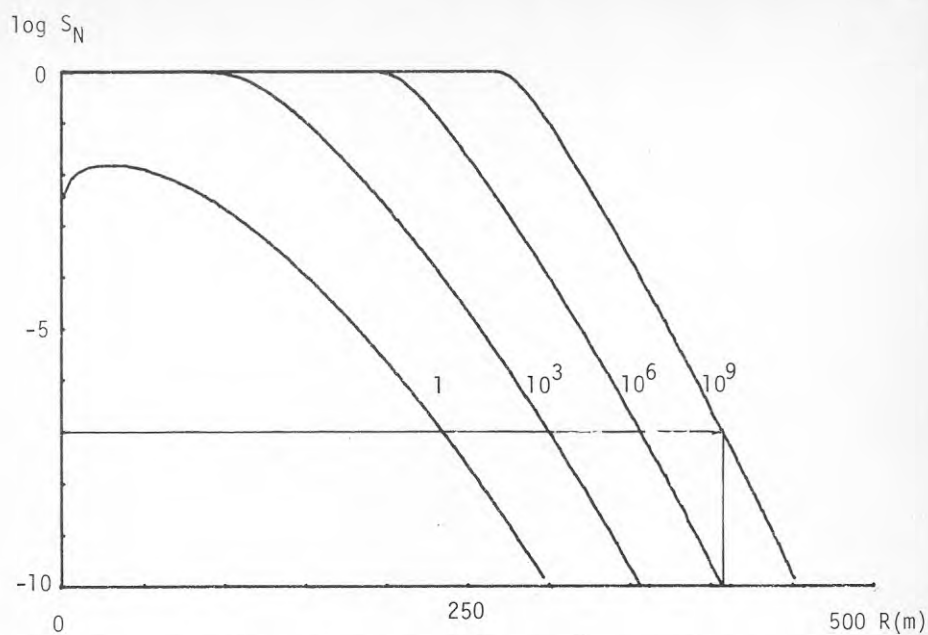
Tabell 11.1 Säkerhetsavståndet för de uppmätta salvorna.



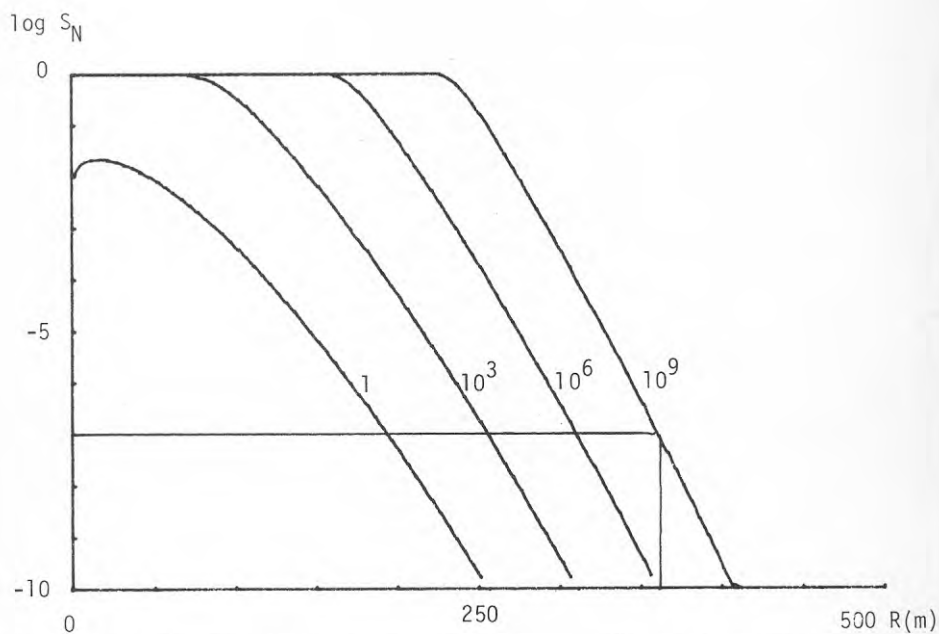
Figur 11.1 Sannolikheten för stenträff per m^2 vid olika avstånd från salva nr 1 med antal stenar som parameter.



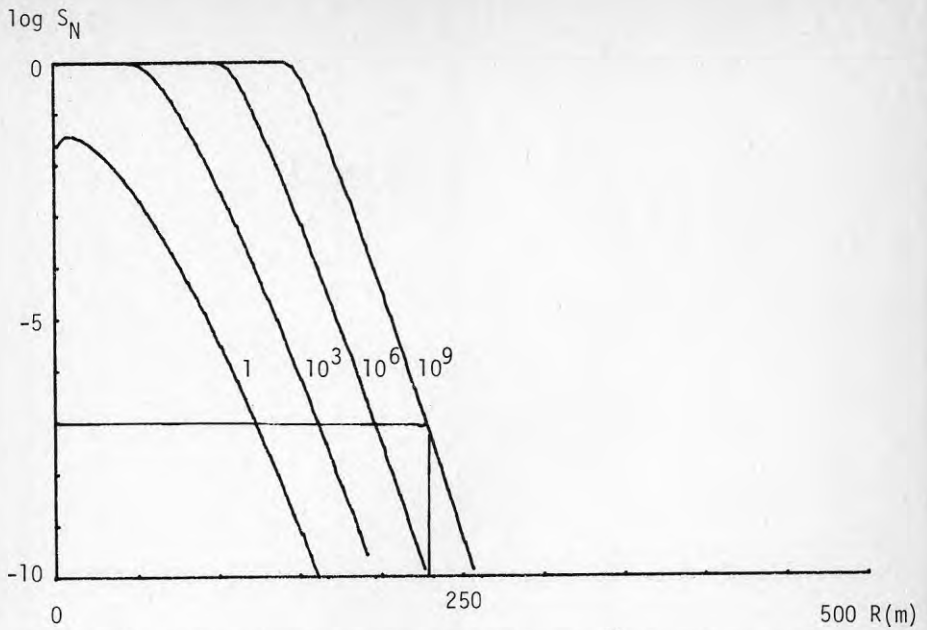
Figur 11.2 Sannolikheten för stenträff per m^2 vid olika avstånd från salva nr 2 med antal stenar som parameter.



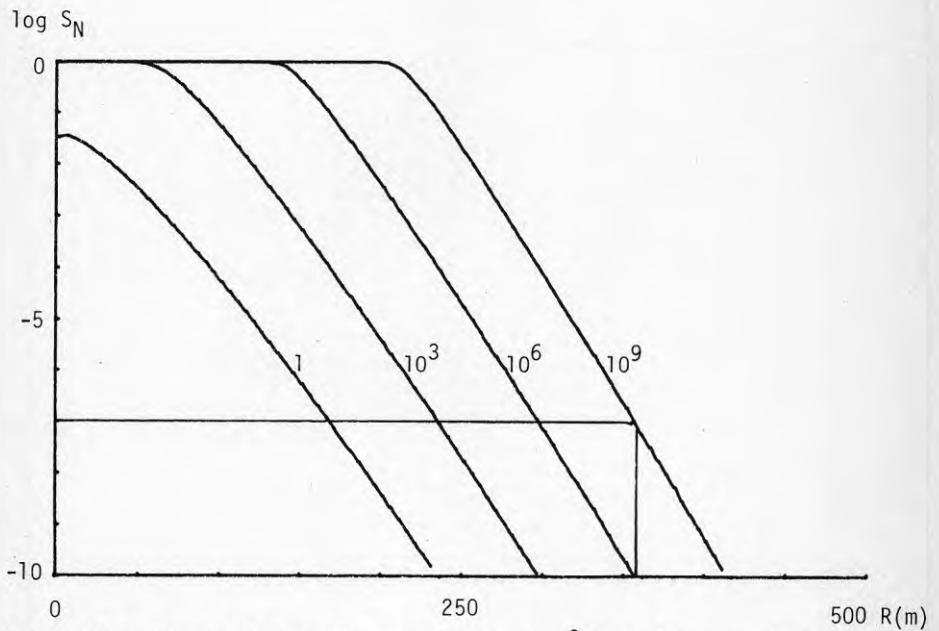
Figur 11.3 Sannolikheten för stenträff per m^2 vid olika avstånd från salva nr 3 med antal stenar som parameter.



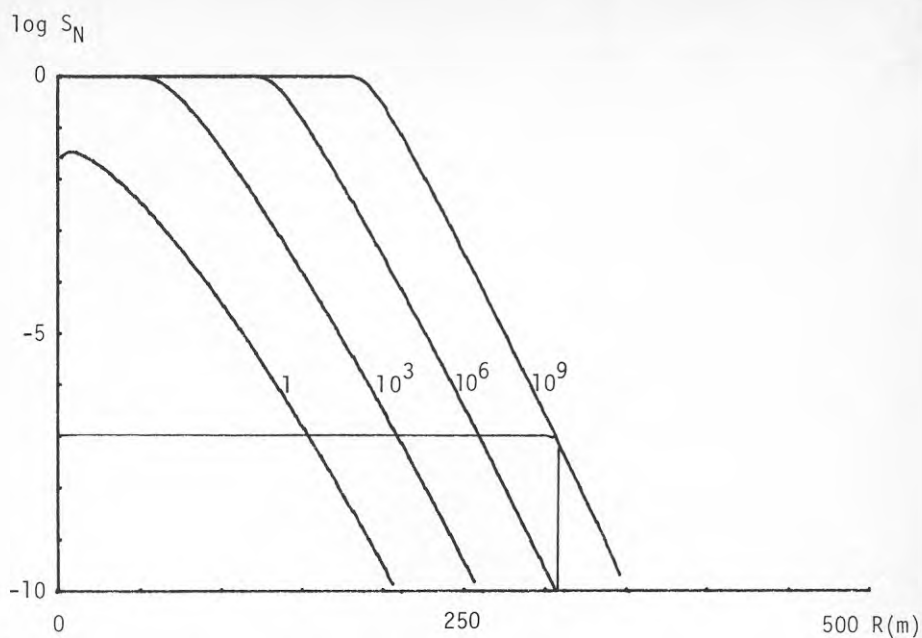
Figur nr 11.4 Sannolikheten för stenträff per m^2 vid olika avstånd från salva nr 4 med antal stenar som parameter.



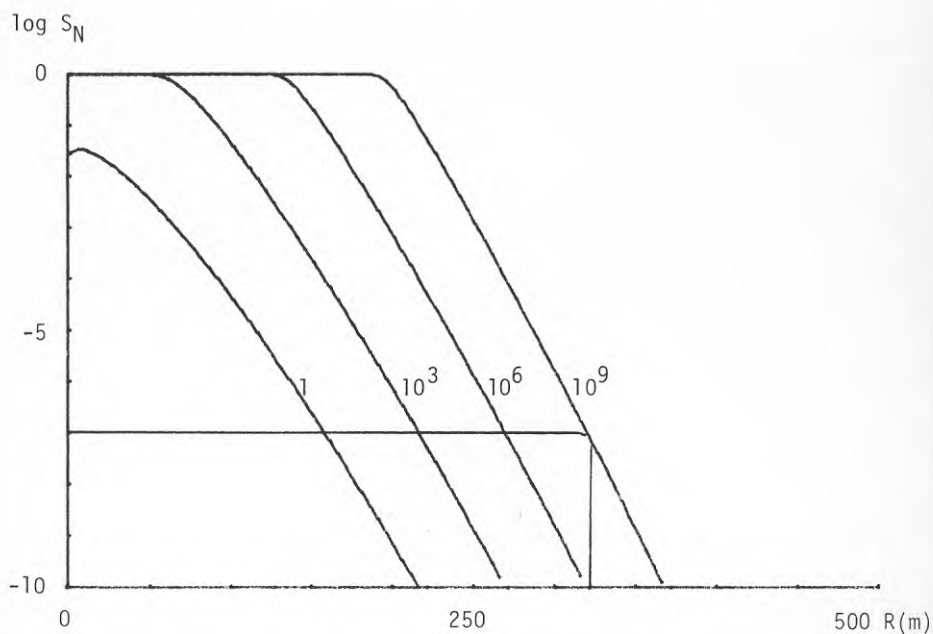
Figur nr 11.5 Sannolikheten för stenträff per m^2 vid olika avstånd från salva nr 5 med antal stenar som parameter.



Figur 11.6 Sannolikheten för stenträff per m^2 vid olika avstånd från salva nr 6 med antal stenar som parameter.



Figur 11.7 Sannolikheten för stenträff per m^2 vid olika avstånd från salva nr 7 med antal stenar som parameter.



Figur 11.8 Sannolikheten för stenträff per m^2 vid olika avstånd från salva nr 8 med antal stenar som parameter.

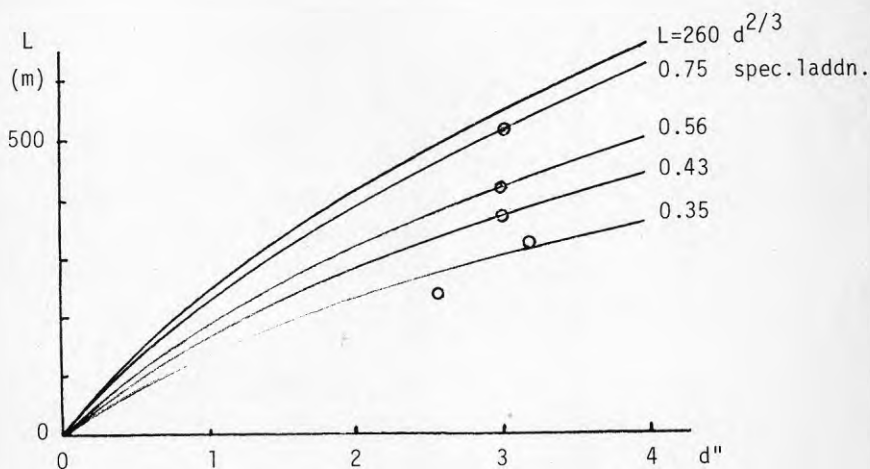
12 KASTETS BEROENDE AV HÅLDIAMETER OCH SPECIFIK LADDNING

Vi har tidigare sett att längsta kast är en funktion av håldiametern.

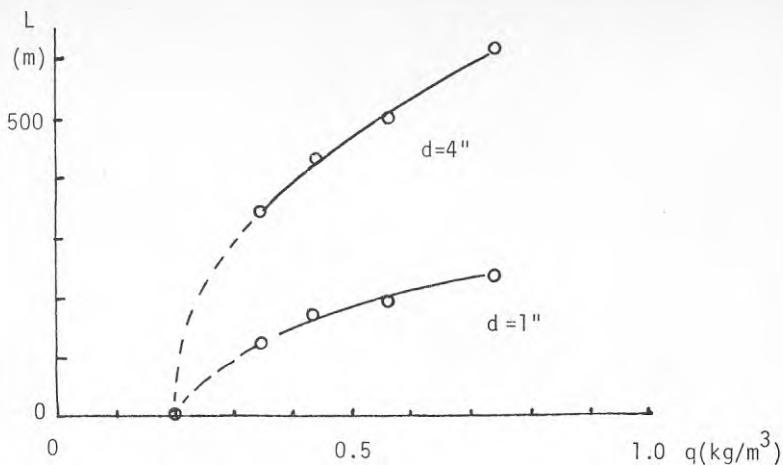
$$L = 260 d^{2/3} \quad (12.1)$$

Detta gäller naturligtvis för en viss specific laddning.

Från de uppmätta värdena i tabell 11.1 samt från (12.1) kan vi rita kurvor som anger kastlängden som funktion av håldiametern med specifika laddningen som parameter (figur 12.1). Materialet är för litet för att dra säkra slutsatser, men vi har en klar antydning till att kastlängden är beroende av håldiametern och specifika laddningen. Figur 12.2 visar kastlängden som funktion av specifika laddningen vid en håldiameter på 4" (0.1 m).



Figur 12.1 Kastlängden som funktion av håldiametern vid olika specifika laddning.



Figur 12.2 Kastlängden som funktion av specifika laddningen vid 1 och 4 tums håldiameter.

13 SLUTORD

Den beskrivna metoden, där man genom att mäta, eller ännu enklare, genom att fotografera stenmassornas fördelning i en sprängd salva, kan beräkna sannolikheten för träff på stora avstånd synes vara en enkel metod för att bestämma riskerna för stenkast vid en sprängplats. Ur kurvorna i figur 12.1 kan man approximativt avläsa maximal kastlängd. För att få en säkrare uppfattning om riskerna bör man dock mäta några salvor vid den aktuella sprängplatsen och beräkna sannolikheten för träff på olika avstånd.

Sannolikheten för träff 10^{-7} har valts som en möjlig acceptabel riskgräns. Denna sannolikhet kan naturligtvis ökas eller minskas och väljas olika för människor och materiel. När det gäller materiel, kan man göra avväganden så att kostnaden för att skydda materielen inte överstiger reparations- eller nyanskaffningskostnaderna.

Författaren framför sitt tack till:

Västerbottens Grusförädlings AB, Umeå

Nordkross AB, Åkersberga

Cementa AB, Stora Vika och

Cementa AB, Skövde

som ställt sina arbetsplatser till förfogande.

REFERENSER

1. Erikson, B och
Ladegaard - P, A. Stenkast vid sprängning I-
SveDeFo rapport DS 1971:32.
2. Ladegaard -P, A och
Persson, A. Stenkast vid sprängning II-
Experimentell undersökning
SveDeFo rapport DS 1973:13.
3. Lundborg, N. Beräkning av maximal kastlängd
vid sprängning-
SveDeFo rapport DS 1973:4.
4. Lundborg, N. Risker för stenkast vid sprängning-
SveDeFo rapport DS 1974:3.
5. Lundborg, N. The Hazard of Flyrock in Rock
Blasting -
SveDeFo rapport DS 1974:12.
6. Lundborg, N, Persson, A,
Ladegaard-P, A, och
Holmberg, R. Keeping the Lid on Flyrock in
Open-Pit Blasting-
E/MJ-May (1975).
7. Ladegaard-P, A och
Holmberg, R. Laddningsgeometrins inverkan på
kast orsakad av kraterbildning vid
pallsprängning-
SveDeFo rapport DS 1973:28.
8. Holmberg, R och
Persson, G. För- och avladdningens inverkan på
kast för 25, 38 och 76 mm håldiameter-
SveDeFo rapport DS 1976:1.
9. Holmberg, R. Kast och buller vid sprängning-
SveDeFo rapport DS 1978:15.
10. Livingstone, C W. A Blasting Theory and Its Applications-
Notes from course given in Georgetown,
Colorado (Sept.1962).
11. Langefors, U och
Kihlström, B. The Modern Technique of Rock Blasting-
John Wiley & Sons Third Edition NY,
1978.
12. Roth, J. A Model for the Determination of Flyrock
Range as a Function of Shot Conditions-
Arbete utfört för USBM, av Management
Science Associates, Californien (1979).
13. Lundborg, N. En metod för beräkning av sannolikheten
för stenträff på stora avstånd från
sprängplatser -
SveDeFo rapport DS 1978:11.
14. Lundborg, N. The Probability of Flyrock Damage-
SveDeFo rapport DS 1979:10.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 790017-5
från Statens råd för byggnadsforskning till Stiftelsen
Svensk Detonikforskning, Stockholm.**

R29: 1981

ISBN 91-540-3466-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700329

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 25 kr exkl moms