

SPRICKUTBREDNING I KVARSTÅENDE BERG

ARBETSRAPPORT FRÅN FÖRSÖKSPERIOD 1997-1999

**Cracks from blasting
in remaining rock
Short report from field tests 1997-1999**

Mats Olsson, SveBeFo



SAMMANFATTNING

Denna arbetsrapport är en sammanställning av de forskningsinsatser som utförts inom projekt 632 "Sprickutbredning i kvarstående berg" under åren 1997-99. Tidigare resultat i projektet finns redovisade i SveBeFo-rapport nr 3, 18 och 32.

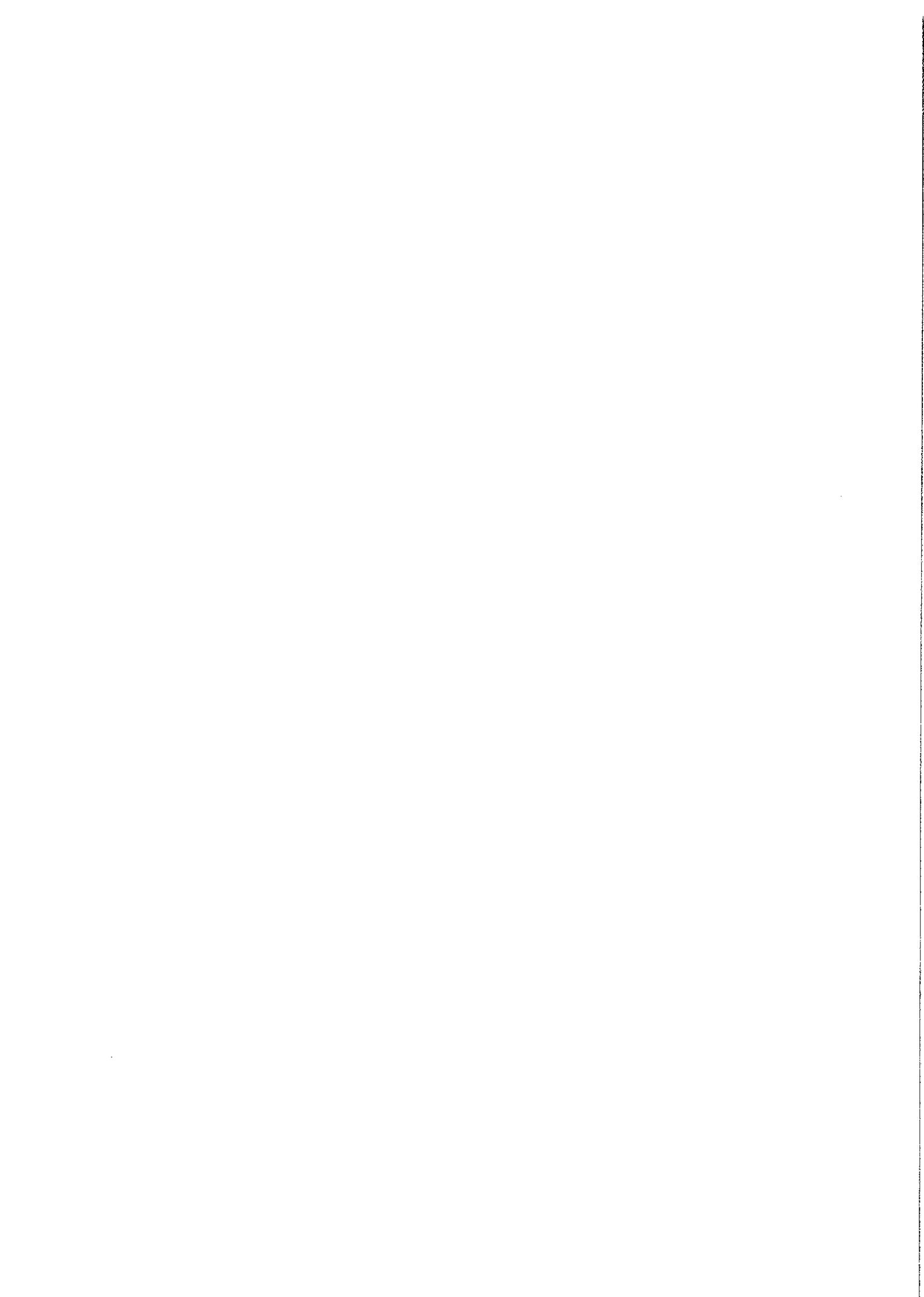
Arbetsrapporten beskriver hålavståndets inverkan på sprickutbredning, stötvågens- och gasens betydelse, sprickutbredning från hål laddade med strängemulsion, sprickutbredning i gnejs samt sprickutbredning i magnetit och gråberg i Kirunagruvan. Sprickbilden har registrerats i sågsnitt vinkelrätt mot sprängborrhålen.

Hålavståndet har en mycket stor inverkan på sprickbildning. Vid hålavstånd $\geq 0,8$ m kan sprickorna börja bilda bågar in i berget. Dessa sprickor kan vara farliga ur stabilitetssynpunkt. Vid större hålavstånd börjar sprickorna gå rakt in i berget.

Våra försök med stötvåg/gastruck visar att det troligen är stötvågen som orsakar sprickbildning. Detta gäller för "ideella" sprängämnen som Kimulux där trycket snabbt stiger för att sedan också snabbt sjunka. För Gurit, som kan kännetecknas som ett "icke ideellt" sprängämne, har trycktid-förloppet en betydligt flackare kurva och medför att Gurit kan vara känsligare för gasens inverkan. Mer försök erfordras dock för att reda ut detta grundläggande samband.

Strängemulsion är en ny metod att ladda reducerad mängd i horisontella hål. I våra försök har vi undersökt sprickbildning från en sprängämnesmängd på 0,35 kg/m. Vid initiering med Nonel och höga intervallnummer dvs nr 50, blev spricklängderna ca 30 cm och med momentan initiering med elektroniska sprängkapslar blev spricklängden 15-20 cm.

Försök med Gurit i gnejs ger liknande spricklängder som vid sprängning i granit. Sprängning i magnetit gav svårtolkade spricklängder då magnetiten var mycket uppsprucken. Om denna uppsprickning beror på naturliga sprickor, skador från andra hål i salvan eller beror på höga bergspänningar vet vi inte.



INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sida
1. BAKGRUND	4
2. MÅLSÄTTNING	4
3. GENOMFÖRANDE OCH RESULTAT AV FÄLTFÖRSÖKEN	5
3.1 Hålavståndets inverkan på sprickbildning	5
3.2 Orsaker till sprickbildning, stötvågens-gasens betydelse	9
3.3 Sprickbildning från strängemulsion	14
3.4 Sprickbildning i gnejs	16
3.5 Sprickbildning i magnetit och gråberg	17
4. BILDSIDOR	20
5. REFERENSER	22



1. BAKGRUND

I början av 90-talet startade på SveDeFo ett forskningsprojekt vars syfte var att undersöka orsakerna till sprängskador. Vägverket hade rapporterat höga underhållskostnader för bergslänter och misstänkte att orsakerna till detta kunde vara dåligt utförda sprängningsarbeten i samband med bergguttaget. SveDeFo startade undersökningen och SveBeFo fortsatte senare studien av sprängskador vilken kom att bli mycket omfattande och fortfarande pågår.

Hittills har mer än 500 hål sprängts, framförallt i granit i blockstensbrotten Vånga och Svenneby men även i tunnlar (Dannemora, Kiruna, Malmberget, Äspö, Södra Länken) och i vägskärningar. Tekniken som används är att såga ett antal snitt i den kvarstående bergmassan bakom konturraden. Snitten beläggs med en penetrantvätska som effektivt tränger in i sprickor och gör dessa synliga. Sprickorna som kommer från de kvarstående halvpiporna kan därefter karteras.

Sprängförsöken som började med enhållsprängningar /1/ har sedan främst inriktats mot flerhållsprängning och har omfattat bl.a. inverkan av sprängämnen, frikoppling, hålsättning och intervalltid. Resultaten från dessa undersökningar har bl.a. avrapporterats i två SveBeFo rapporter /2, 3/ samt vid ett flertal konferenser.

För att beskriva sprängskador används idag begreppet skadezon. Definitionen av denna är otydlig men skadezonstabeller finns upprättade för de vanligaste sprängämnena och används av konsulter och entreprenörer vid projektering av bergarbeten. Underlaget till dessa tabeller är bristfälligt och tabellerna tar ej hänsyn till faktorer som t.ex. frikoppling och intervalltider vilka enligt våra undersökningar har en mycket stor inverkan på sprickbildning i det kvarstående berget.

Vid våra undersökningar på SveBeFo används inte begreppet skadezon utan vi definierar istället uppmätta spricklängder i det kvarstående berget. Avsikten med våra undersökningar är också att ta fram nya rekommendationer för skonsam sprängning. Underlaget till dessa kommer att hämtas från de praktiska försök som vi genomfört. *Denna arbetsrapport redovisar därför forskningsresultaten från ramprograms-perioden 1997-1999.*

2. MÅLSÄTTNING

Syftet med sprickundersökningarna under perioden 1997-1999 var främst att undersöka hur spricklängden påverkas av hålavstånd och av annan geologi än granit. Dessutom var målsättningen att undersöka om det är stötvågen eller gasen som orsakar sprickorna. Ytterligare ett delmål blev att undersöka spricklängden för strängemulsion.



3. GENOMFÖRANDE OCH RESULTAT AV FÄLTFÖRSÖKEN

I Vånga genomfördes försöken på sedvanligt sätt, dvs pallsprängning med efterföljande blockuttag, sågning och kartering. Här undersöktes hålavståndets inverkan, inverkan av stötvåg/gas samt en inledande undersökning av sprickutbredning från strängemulsion.

I en vägslänt i Södertälje bestående av en slirig gnejs undersöktes sprickutbredning från olika sprängämnen och upptändningssätt.

Sprickutbredning i tunnelkontur har undersökts både i magnetitmalmen och gråberget i Kiruna samt i Södra Länken i Stockholm.

3.1 Hålavståndets inverkan på sprickutbredning

Hålavståndets inverkan på sprickutbredningen har tidigare undersökts. Då ökades avståndet från 0,5 m till 0,8 m och upp till 1,2 m. Vid hålavstånd $\geq 0,8$ m blev sprickorna böjda in i berget mellan hålen. Dessa sprickor bedömdes kunna vara farliga ur stabilitetssynpunkt. I denna omgång testades inverkan av ytterligare ökning upp till 2 m hålavstånd.

Försöken med 2 m hålavstånd utfördes vid två försökstillfällen. Vid båda försöken hölls försättningen konstant till 0,8 och hålen initierades momentant. I det första försöket testades både 17 och 22 mm Gurit men vid det senare försöket endast 22 mm Gurit. Figur 1 och 2 visar laddningen av hålen i dessa försök

	1	2	3	4	5	6	7	8
	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
Håldim.	64	64	64	64	51	51	51	51
Spr.ämne	←	Gurit 22		→	←	Gurit 17		→

Försättning (V): 0,8 m
Hålavstånd: (E): 2,0 m
ExV : 1,6 m²

Figur 1. Borr-laddplan maj-97 (Pallhöjd/håldjup 5-6 m i Vånga försöken)

	1	2	3	4	5	6	7
	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
Håldim.	64	64	64	64	64	64	64
Spr.ämne	←	Gurit 22				→	

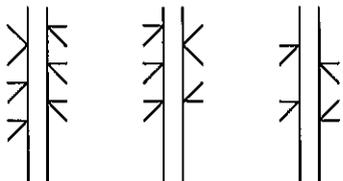
Försättning (V): 0,8 m
Hålavstånd: (E): 2,0 m
ExV : 1,6 m²

Figur 2. Borr-laddplan nov-97



Resultat

Trots stort hålavstånd var pallfronten fin i båda försöken. Dock verkade berget, speciellt omkring hålen som laddats med Gu-22, utsatt för större påfrestningar än normalt. Berget hade slitits isär mellan hålen och var skivigt, se figur 3.



Figur 3. Typiskt utseende runt hålen

Sprickorna från 22 mm Gurit blev betydligt längre med detta stora hålavstånd än tidigare. Sprickorna går nu också mer rakt in i berget, se figur 4 (sida 19), där de vid kortare hålavstånd varit böjda. För 17 mm Gurit blev dock spricklängden lika kort som vanligt, dock kan detta material vara lite osäkert ty det var få snitt som kunde tas från 17 mm Gurit. Tabell 3 och 4 visar de uppmätta spricklängderna från de båda försöken.

Tabell 3. Spricklängder från försök maj-97(fet text anger mitthål)

Hål/snitt	Spr.ämne	Max l (cm)	Radiell (cm)	Antal (st)	RxA (cm)	Kross (cm)	Antal (st)	KxA (cm)	Övrigt
3:1	Gu-22	65	58	3	173	-	-	-	
3:2	"	80	47	3	140	10	10	100	Passerar naturlig spricka
4:1	"	33	21	3	63	-	-	-	
4:2	"	20	20	2	40	-	-	-	Kanthål
5:5	Gu-17	100 ?	100	1	100	-	-	-	Primer ?
6:1	"	10	-	-	-	10	1	10	
7:1	"	0	-	-	-	-	-	-	
7:3	"	5	-	-	-	5	1	5	

Medelspricklängden för 17 mm Gurit blev $(10+0+5)/3 = 5$ cm och för 22 Gurit $(65+80)/2 = 73$ cm.

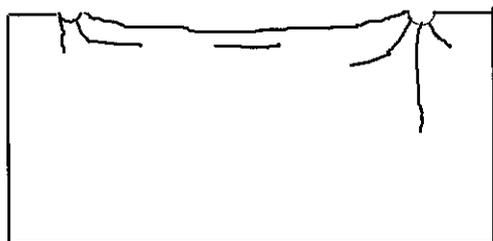
Tabell 4. Spricklängder från försök nov-97(fet text anger mitthål)

Hål/snitt	Spr.ämne	Max l (cm)	Radiell (cm)	Antal (st)	RxA (cm)	Kross (cm)	Antal (st)	KxA (cm)	Övrigt
2:2	Gurit-22	60	60	1	60	8	1	8	(1)
2:3	"	20	20,15	2	35	3	4	12	
3:4	"	50	50,18	2	68	8	3	24	(1)
5:2	"	60	60	1	60	8	3	24	(1)
5:3	"	43	43	1	43	8	3	24	(1)
5:4	"	25	25,15	2	40	8	5	40	(1)
6:2	"	70	70,40	2	110	8	1	8	(1)
6:3	"	30	30,14	2	44	6	2	12	(1)
6:4	"	15	15	1	15	8	4	24	(1)

Medelspricklängden blev vid detta försök för 22 Gurit 41 cm.



De uttagna blocken hade ofta en böjd frontyta (1) och därmed det typiska utseendet, vilket visas i figur 5.

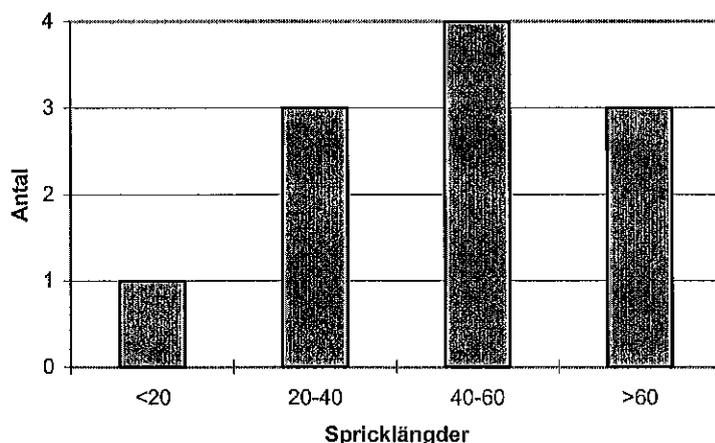


Figur 5. Typiskt utseende vid stort hålavstånd

Resultaten från sprickkarteringarna har sammanställts i tabell 5. Här framgår att medelspricklängden för de båda försöken för 22 mm Gurit blev 57 mm men med stor spridning. Ett försök att åskådliggöra spridningen har gjorts i frekvensdiagrammet i figur 6. Tyngdpunkten ligger i intervallet 40-60 cm.

Tabell 5. Sammanställning av försöken

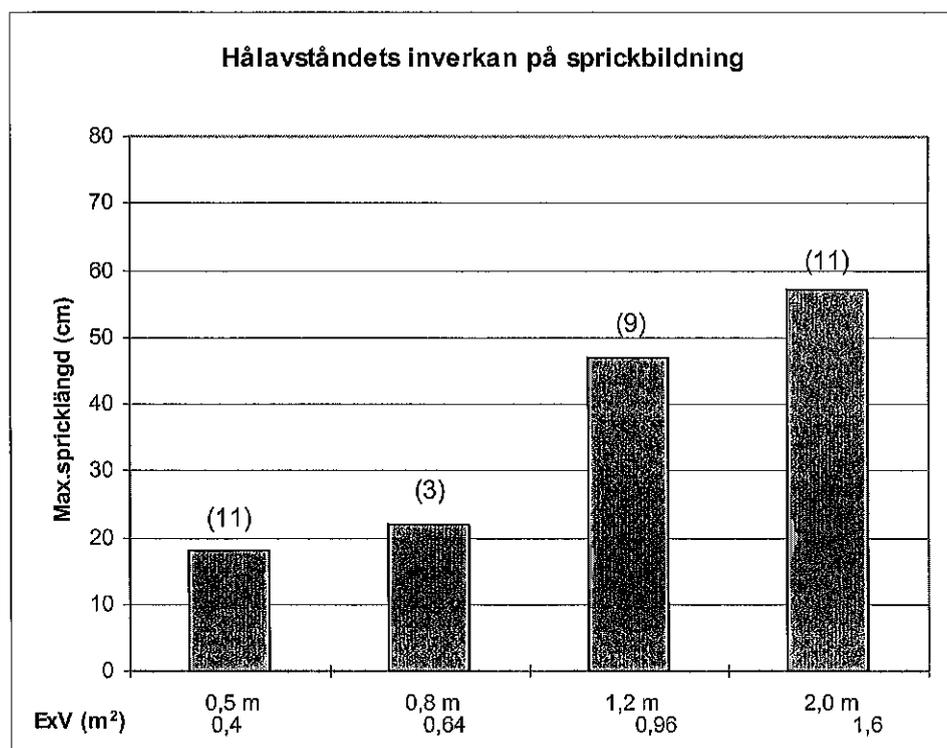
Försök	Antal snitt	Max.spr.längd	Spridning
Gurit 17	3	5	0-10
Gurit 22	2	73	65-80
Gurit 22	9	41	15-70
Totalt för Gurit 17		5	
Totalt för Gurit 22		57	



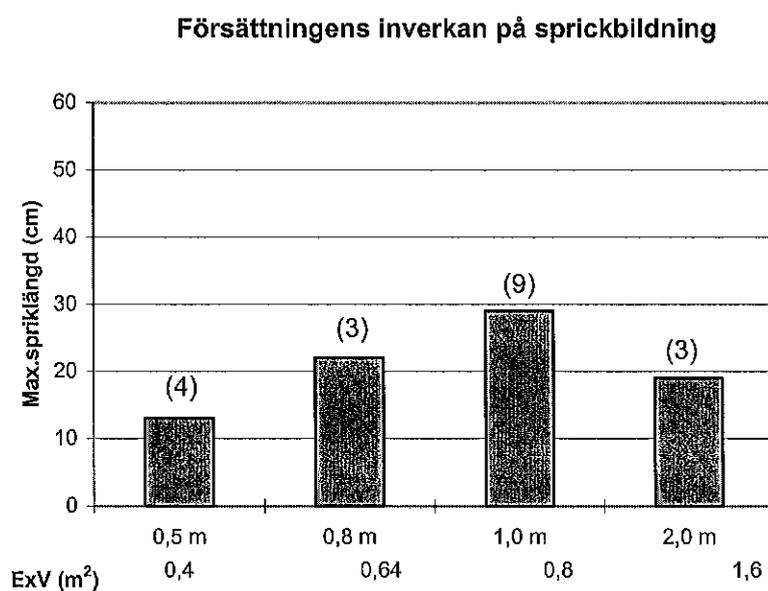
Figur 6. Antal spricklängder

Tidigare försök har undersökt spricklängder för 0,5 m, 0,8 m, 1,2 m och alltså nu även 2 m hålavstånd. Maxlängderna för dessa försök har sammanfattats i figur 7. Här framgår tydligt att spricklängden ökar med ökat hålavstånd. Däremot finns inget tydligt samband mellan försättning och spricklängder, se figur 8.





Figur 7. Hålavståndets inverkan på sprickbildning (antal hål inom parentes)

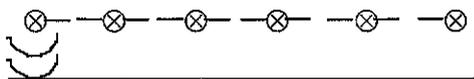


Figur 8. Försättnings inverkan på sprickbildning

Skillnaderna mellan ökat hålavstånd och ökad försättning kan förklaras av sprickutbredningshastigheterna. Antag tre olika fall:

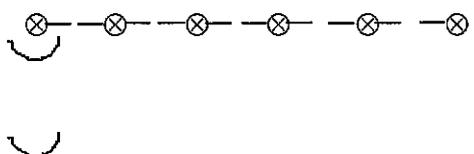


a) Kort hålavstånd- liten försättning ($E = V$)



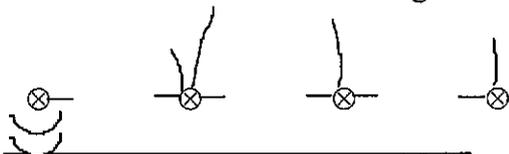
Sprickor bildas mellan hålen innan returvägen-dragvägen hinner tillbaka. Sprickorna mellan hålen fungerar då som en spärr för vidare sprickbildning in i berget.

b) Kort hålavstånd- stor försättning



Förhållandet från ovan ändras ej vid ökad försättning utan sprickorna mellan hålen utbildas innan dragvägen kommer från den fria ytan.

c) Stort hålavstånd- liten försättning



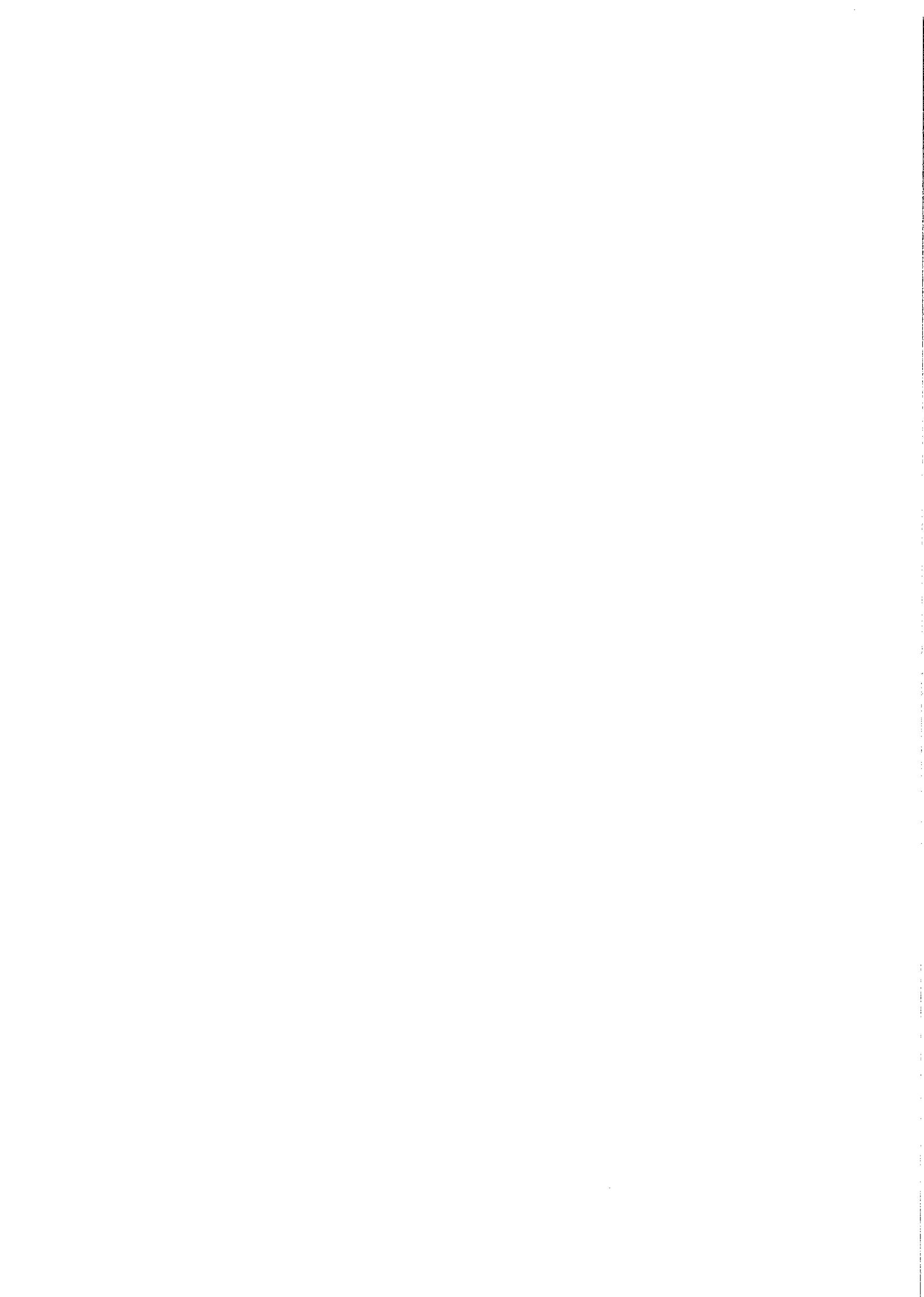
Hålavståndet är nu så stort att sprickorna inte hinner mötas innan dragvägen kommer och skapar sprickor in i berget. Det blir ingen samverkan mellan hålen vid stort hålavstånd.

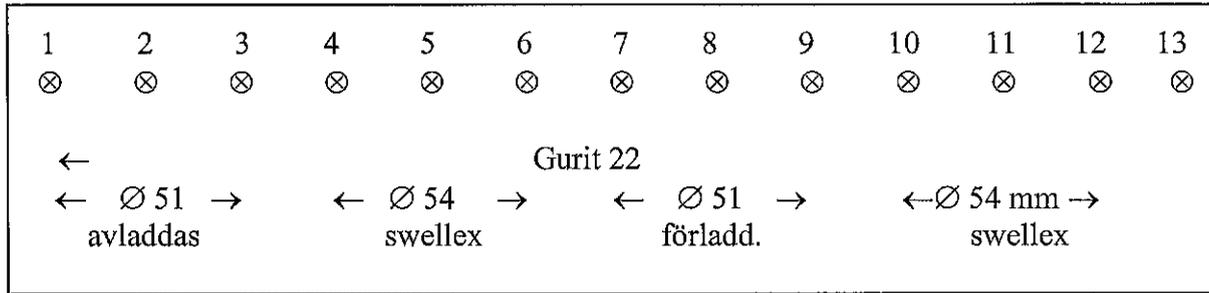
3.2 Orsaker till sprickbildning, stötvågens- gasens betydelse

Enligt gängse teorier så bildas sprickor vid sprängning genom att stötvågen ger upphov till en uppkrossning närmast borrhålet, bergets tryckhållfasthet överskrids. Därefter ger dragvågor sprickor i berget som sedan vidgas och förlängs då gasen rusar in i dessa. Undersökningar av Brinkman /4/ i Sydafrika har ej stött dessa teorier. Enligt Brinkman, som gjorde undersökningar i en bergtunnel genom provsprängningar i borrhål infodrade med stålrör, är det stötvågen som orsakar sprickor. Genom att ladda i stålrör ventilerar gasen upp genom röret.

Våra försök har omfattat två fälttester. Vid det första försöket i Vånga användes Swellexbultar som infodring. Bultarna, midi-swellex, med 2 mm godstjocklek var 6 m långa. Prov gjordes innan i Atlas Copco:s provgruva för att studera hur väl en uppblåst Swellexbult fyller ett 54 mm rör. För vårt prov i berg, där vi inte ville skada berget, rekommenderade Atlas Copco uppblåsning till 120-150 bars tryck (normalt tryck för att blåsa upp Swellex är 300 bar). Ett uppblåst Swellexrör passade då bäst om håldimensionen var 54 mm. För att behålla samma kopplingsgrad vid sprängningarna utan Swellex gav detta en håldimensionen på 51 mm. I båda fallen använde 22 mm Gurit.

Fältförsöket genomfördes i maj 1998 och fick följande layout, se figur 9. Atlas Copco tillhandahöll Swellexrör, pump och borrhkrona.





Försättning (V): 1,0 m
 Hålavstånd (E): 0,8 m
 ExV : 0,8 m²

Figur 9. Borr- och laddplan

Swellexrören stoppades ner i hålen och blåstes upp. De hade en tendens att vrida sig i hålet och behövde hållas fast under uppblåsningen. De längsgående skarvarna på rören vändes mot utslagsriktningen. Efter uppblåsningen skars rören av och blåstes rena från vatten varefter de laddades med 22 mm Gurit. Hål 7-9 förladdades med 2 m grus.

Hypotesen för försöket var :

Stötvågen ger sprickbildning i kvarstående berg om $L_i = L_o$

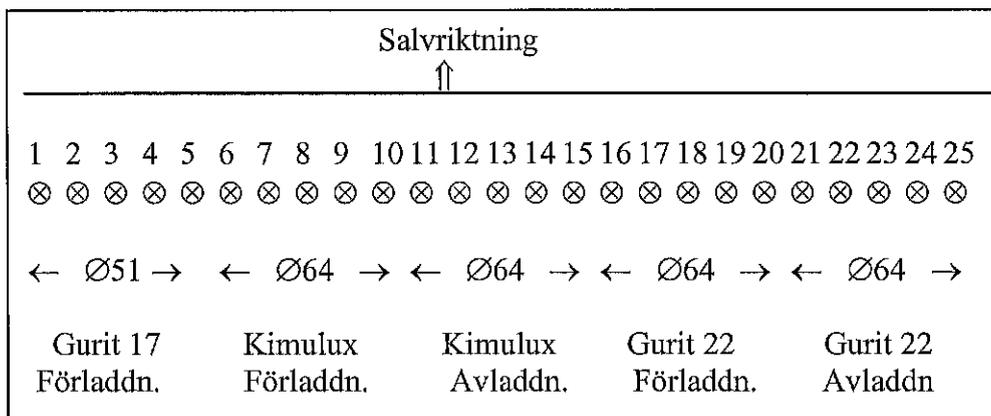
Gasen ger sprickbildning om $L_i < L_o < L_f$

där L_i = spricklängd i inklätt hål

L_o = spricklängd avladdat hål

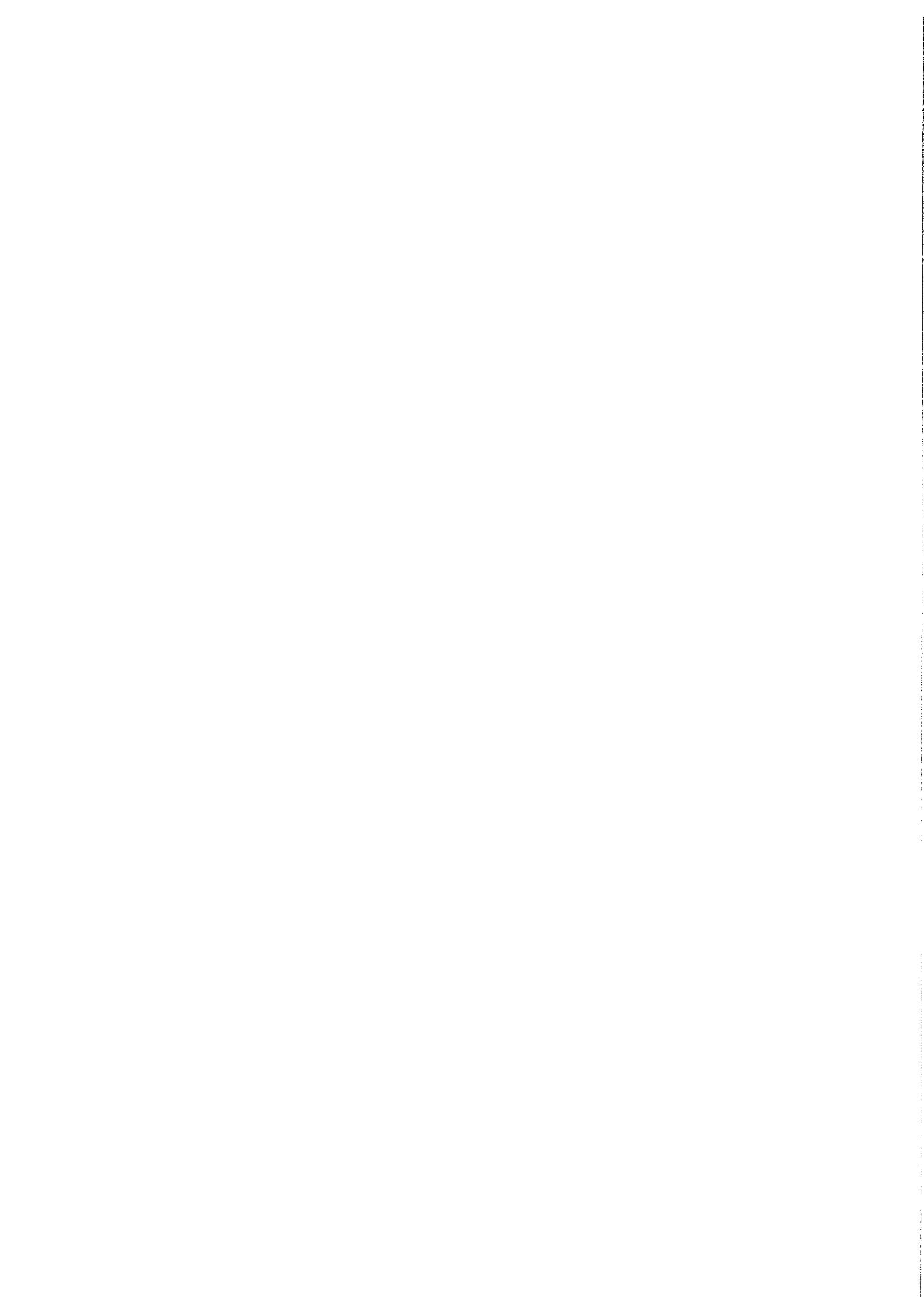
L_f = spricklängd i förladdat hål

Det andra försöket utfördes också i Vånga men i annan täkt. Syftet med det andra testet var att upprepa inverkan av förladdade hål. Borr- och laddplanen för detta försök framgår av figur 10.



Försättning (V): 1,0 m
 Hålavstånd (E): 0,8 m
 ExV : 0,8 m²

Figur 10. Borr-och laddplan med förladdning



Resultat

Fint utslag och fina hålpipor i båda försöken. Resultatet av karteringen framgår av tabell 6 (försök 1) och 7 (försök 2). En sammanställning av spricklängderna för de båda försöken visas i tabell 8. Stapeldiagrammet i figur 11 visar också detta resultat.

Tabell 6. Resultat efter sprickkartering - försök 1

Hål/Snitt	Max l (cm)	Radiell (cm)	Antal (st)	RxA (cm)	Kross (cm)	Antal (st)	KxA (st)	Övrigt
Y1:2	20	12	3	36				Båge m 2:2
Y1:4	18	15	3	45				Spricka //yta 0,2m fr ytan
Y2:2	40	15	4	60	5	4	20	Naturlig spricka
Y2:4	20	20	2	40	5	5	25	
Y3:2	0	0	0	0	0	0	0	
Y3:4	12,28	15	2	30				
Y4:2	10				5	10	50	Stopp mot spricka
Y4:4	0	0	0	0	0	0	0	Oladdat här
Y5:2	35	30	2	60	5	10	50	
Y5:3	22,>70	20	3	60				Lång spricka
Y5:4	38,25>80	38	1	38	5	8	40	Lång spricka Båge m 6
Y6:2	44,45,18	25	4	100	5	4	20	Båge m 7
Y6:3	30	15	4	60	5	>5	>25	
Y6:4	20	20	1	20	5	>=10	>50	Båge m 7
Y7:2	0	0	0	0	0	0	0	Ev förladdat
Y7:3	16	16	1	16				
Y7:4	15	15	2	30				Båge m 6
Y8:2	20	20	4	80	3	6	18	Båge 8,9:2
Y8:3	13	13	4	52	5	10	50	Spricka // yta
Y9:2	17	12	4	48				Svårtolkad
Y9:3	16	16	1	16	5	5	25	
Y10:3	Swellex	ej	i	botten	Vatten	i		botten
Y11:2	15	15	1	15				Få sprickor!
Y11:3	50	20	4	80	10	>=5	>50	Spricka // yta
Y12:2	30	20	3	60	10	>10	>100	Båge m 13
Y13:2	0	Av-	laddat	54 mm	hål			Båge m 12



Tabell 7 Resultat efter sprickkartering - försök 2

Hål Snitt	Spräng ämne	Max l (cm)	Radiell (cm)	Antal (st)	RxA (cm)	Kross (cm)	Antal (st)	KxA (st)	Frekvens st/25x25	Övrigt
1:2	Gu-17	34	34	1	34	2	2	4	4	
2:2	"	77?	77	1	77	9,5,5	3	19	5	Konstigt!!
3:2	"	11	11	1	11	10	1	10	2	
4:2	"	40	40,15	2	55	-	-	-	2	
5:2	"	0	-	-	-	-	-	-	-	Detonerat?
6:2	Kim	32	32,20,23	5	115	10	10	100	~20	
7:2	"	32	32,25	5	118	10	10	100	~20	Lång spricka naturlig?
8:2	"	38	25	4	100	10	>10	100	~20	
9:2	"	30	22	6	132	10	>10	100	~30	
12:3	"	30	30,25	4	91	10	>10	100	~20	
12:4	"	40	40,20,22 24,20,30	6	156	10	>20	~200	~40	Spindelvävs- mönster
13:3	"	30	30	6	180	10	>10	~100	~50	"
13:4	"	33	33	5	165	10	>20	~200	~20	
14:3	"	30	30	4	120	10	>10	100	~30	
16:2	Gu-22	20	20,15	3	50	8	10	80	10-20	
16:3	"	26	26,19,21	3	66	8	10	80	15	
17:2	"	15	15	3	45	5	5	25	10	
17:3	"	22	20	7	140	7	10	70	15	
18:2	"	27	12,27,20	3	59	5	3	15	6	Båge m 17,19
19	"	16	16	1	16	5	1	5	2	
19:2	"	42	42,40	4	133	8	10	80	~15	Båge m 18
20	"	0	-	-	-	-	-	-	-	I förladdning
21	"	26	26,15,26	3	67	-	-	-	-	
21:2	"	15	15	1	15	8	5	40	15	Spricka // ytan
22:2	"	0	-	-	-	-	-	-	-	
23:2	"	15	15	2	30	5	6	30	12	
24:2	"	17	17	1	17	5	4	20	10	

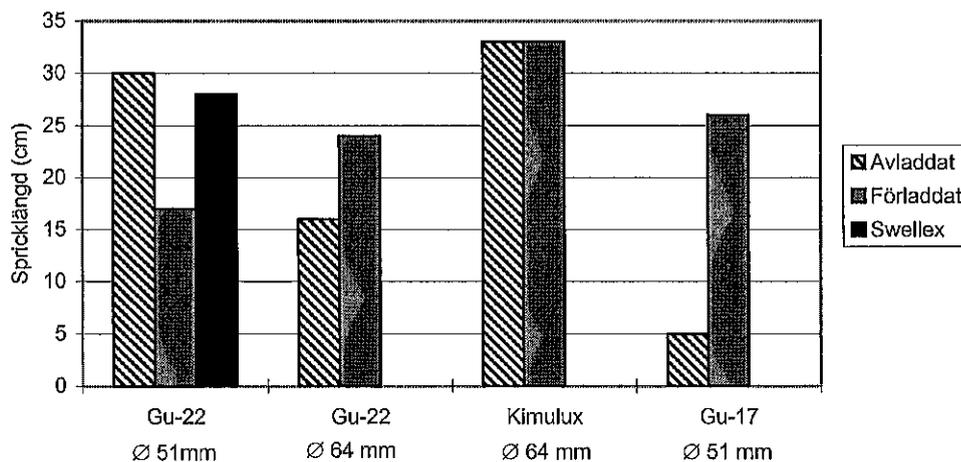
Rastrerade partier är förladdade



Tabell 8. Sammanställning av uppmätta spricklängder

Laddat	Håldimension	Mitthål	Medel
Avladdat			
Försök 1: Gu-22	51 mm	40,20	Gu-22: 30
Försök 2: Gu-22	64 mm	15,17	Gu-22: 16
Försök 2: Kim-22	64 mm	30,30,30,43	Kim-22: 33
Swellex			
Försök 1:Gu-22	54 mm *	35,22,38, 15,(50),30	Gu-22: 28
Förladdat			
Försök 1:Gu-22	51 mm	20,13	17
Försök 2: Gu-22	64 mm	16,15,27,42,22	24
Försök 2: Gu-17	51 mm	11,40	26
Försök 2: Kim-22	64 mm	32,32,38,30	33

* Swellex-röret med godstjocklek på 2 mm ger $\varnothing_1 = 50$ mm. Detta betyder en frikoppling på $22/50 = 0,44$. Utan stålrör blir frikopplingen $22/51 = 0,43$

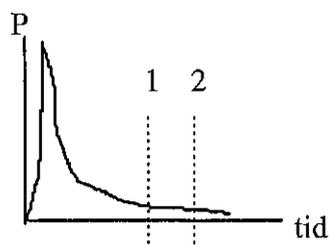
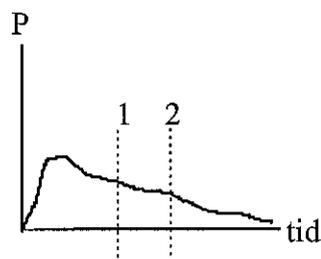


Figur 11. Resultatet från de olika försöken med stöt/gasvåg

Det var alltså ingen större skillnad på spricklängder mellan avladdade hål och sprängning i Swellex-rör vilket kan tyda på att det är stötvågen som orsakar sprickorna. Resultaten från försöken med förladdning är svårtolkade. Här ökar spricklängden för Gurit medan spricklängden för Kimulux inte påverkas. En förklaring till detta kan vara de olika sprängämnenas tryck-tid förlopp.

Om man betraktar tryck-tid kurvor för ett ideellt och ett icke ideellt sprängämne ser man stora skillnader. För det ideella sprängämnet stiger trycket mycket snabbt och sjunker därefter också snabbt. För ett icke ideellt sprängämne blir trycket lägre och trycket släpper också betydligt långsammare.



Ideellt (**Kimulux**)Icke ideellt (**Gurit**)

Figur 12. Principbild av tryck-tidförlopp där 1) Avlastning av tryck (P) utan förladdning och 2) Avlastning av tryck (P) med förladdning

Det är liten skillnad mellan 1 och 2 för mer ideala sprängämnen som Kimulux. Därav har det liten betydelse om hålet är förladdat eller ej, dvs sönderbrytningen och sprickbildningen påverkas lite. Skillnaden är större mellan 1 och 2 för icke ideella sprängämnen som Gurit. Här betyder det mer om hålen förladdats då ju kurvan är flack och trycket hålls uppe en länge tid.

Det vore därför intressant att spränga med ett "ideellt" sprängämne som Kimulux i infodrade rör. Om det inte spelar någon roll med eller utan inneslutning så är det stötvågen som gör sprickor vid mer ideella sprängämnen typ Kimulux.

För icke ideella sprängämnen, Gurit, så blev det ingen skillnad mer eller utan infodring, dvs stötvågen skapar sprickorna. Men om man håller inne trycket-gasen, så förlängs sprickorna. För icke ideella sprängämnen verkar gasen ha en större betydelse.

Mer försök erfordras för att undersöka förhållandet gas/stötvåg ty kännedomen om detta är mycket viktigt för såväl tillverkare som användare av sprängämnen.

3.3 Undersökning av sprickutbredning från strängemulsion

Strängemulsion är en ny laddningsmetod för att kunna reducera sprängstyrkan i tunnelsalvor. Dyno Nobel har utvecklat en laddtruck som är utrustad med en laddkorg och en speciell slangutdragningsmekanism som möjliggör att strängar av emulsion kan läggas ut i borrhålen. Man kallar metoden SSE (Site Sensitized Emulsion). Systemet är baserat på fabriksstillverkad matris, vilken ej är explosiv. I samband med laddning, pumpning av matrisen, känsliggörs denna genom kemisk gasning till sprängämne. Genom att variera gasningen kan sprängämnetets densitet förändras och genom att reglera sprängämnessträngens diameter kan laddningskoncentrationen optimeras för olika håltyper.

Under sommaren 1998 undersökte också SveBeFo sprickutbredning i kvarstående berg vid sprängning med strängemulsion. Resultaten redovisades på Nitro Nobels Underjordsseminarium 1998 /5/. Då sprängdes 8 horisontella hål i en pallkant i ett blockstensbrott i Vånga. Bergarten där bestod av granit. Hålen, \varnothing 48 mm, strängladdades med SSE till 0,35 kg/m och initierades momentant med Dyno Nobels elektronik sprängkapslar. Resultatet av sprängningen blev mycket bra med 100 % synliga halvpipor. Resultatet av denna kartering var att spricklängden blev maximalt 30 cm. Vägverket hade också 30 cm som krav på "skadezon" i slutlig kontur i Södra Länken. Denna skadezon är den som uppges råda vid sprängning med 17 mm Gurit, enligt vanligtvis använd skadezonstabell.



Resultatet från sprickundersökningen ledde till att strängemulsion kunde användas vid drivning av tunnlarna i Södra Länken. SveBeFo fick därefter en förfrågan från Vägverket att på plats undersöka hur mycket berget skadas från strängemulsion. Ytterligare intressenter i denna undersökning var Dyno Nobel, Selmer och NCC. På Nitro Nobel:s underjordsseminarium 1999 presenterades en del av undersökningen /6/. Hela undersökningen finns presenterad i en uppdragsrapport "Sprickutbredning från sprängning i tunnelväggar- Södra Länken" /7/.

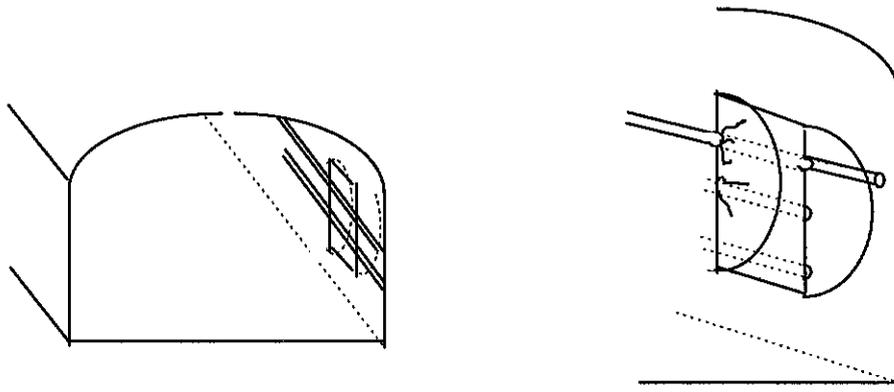
I korthet omfattade undersökningen en jämförelse mellan tre olika sätt att ladda konturhålen nämligen

- strängemulsion initierat med Nonel nr 50
- strängemulsion initierat momentant med elektroniska tändare
- 17 mm Gurit initierat momentant med " "

Resultat

Salvdjupet var 5 m och håldimensionen i kontur och hjälpare var 48 mm. Konturhålen som laddades med strängemulsion hade en laddningsmängd på 0,35 kg/m. Hjälparhålen hade en laddningsmängd på 0,9 kg/m.

Försöket omfattade sprängning av ett 10-tal salvor. Efter sprängning av salvorna sågades snitt i resp. salvas vägg enligt figur 13.



Figur 13. Utsågade slitsar för undersökning av sprickutbredning

De mellanliggande skivorna kilades bort och de två ytterväggarna i den nisch som blev kvar används därefter för sprickkartering.

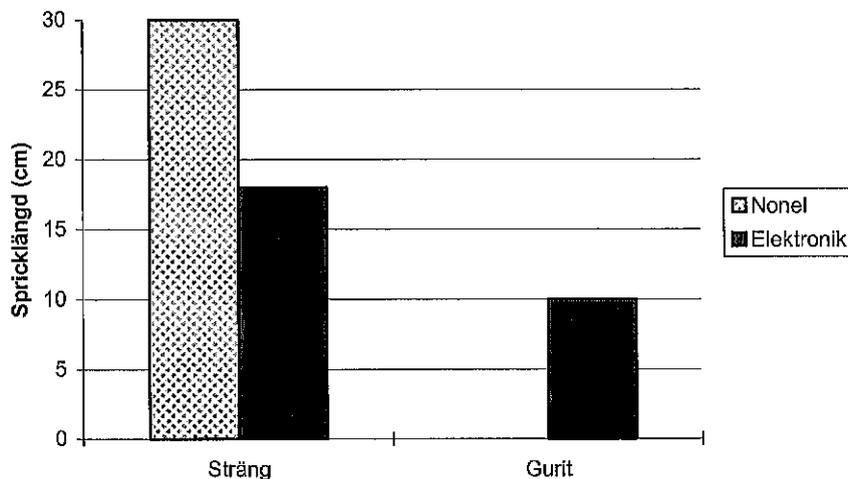
Den normala sprängningen i Södra Länken är med strängemulsion i kontur och hjälpare och initierat med Nonel. Resultatet från dessa sprängningar var bra i taket med övervägande fina synliga halvpipor. Däremot fanns endast ett fåtal halvpipor kvar i väggarna. Våra försöks-salvor hade samma trend. Vid de salvor där vi använt strängemulsion och elektroniska sprängkapslar med momentan initiering blev resultatet starkt förbättrat. Borrhålen som laddats med Gurit blev också mycket bra. Tabell 9 visar resultatet från försökssalvorna.



Tabell 3. Procentuell andel synliga halvpipor i väggar

Laddning	Synliga halvpipor (%)
Sträng + Nonel	~15
Sträng + elektronik	~70
17 mm Gurit+elektronik	>75

Försöken visar att det var stor skillnad på spricklängder i kvarstående väggar främst beroende på hur salvorna initierades, se figur 14. Kortaste spricklängder erhöles som vanligt med momentan initiering med hjälp av elektronik sprängkapslar. Initiering med vanliga sprängkapslar, Nonel, ger på grund av tändspridning, längre sprickor. Gurit ger också kortare sprickor än emulsion. Detta beror främst på att emulsionen har en högre detonationshastighet än Gurit samt att såväl laddningsmängd som kopplingsgraden (förhållandet mellan laddningsdiametern och håldiametern) är högre för emulsionen. Tillsammans medför detta att borrhålets väggar kommer att utsättas för ett högre tryck vilket betyder en ökad spricktillväxt.



Figur 14. Medelspricklängd för de olika salvorna

3.4 Undersökning av sprickutbredning i gnejs

I en vägbyggnad i Södertälje där Vägverket iordningställde en ny avfart från E4 gjorde SveBeFo försök med slitsade borrhål. Efter att livhålen sprängts och berget lastats ut sprängdes hjälpar- och konturhål. Olika håldimensioner, hålavstånd, sprängämnen och initieringstyper provades. Konturen blev mycket bra i alla 13 delsektioner, men för att närmare studera sprickutbredning så sågades nischer i varje delsektion varefter penetrantvätska påfördes på sågytorna. I en sektion testades 17 mm Gurit i 51 mm hål och initiering med tändspridningen ± 6 ms och i en annan av de 13 sektionerna testades 17 mm Gurit i 51 mm hål men med momentan initiering. I båda sektionerna användes elektroniksprängkapslar och i båda sektionerna var hålavståndet 0,8 m.



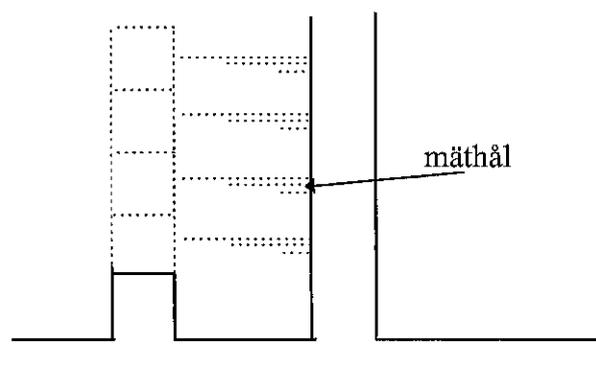
Resultat

Tyvärr detonerade ej hålen riktigt i sektionen med tändspridning varför spricklängdsvärdet där blev mycket lågt (en del av laddningen satt kvar i hålet efter sprängningen). I sektionen med momentan initiering blev den maximala spricklängden 6 cm vilket stämmer bra med våra tidigare erfarenheter av 17 mm Gurit. Mellan hål 9:3 och 9:4 finns bågformade sprickor, se figur 15 (sida 19). En utförligare SveBeFo-rapport från detta försök kommer att ges ut inom kort /8/.

Trots att vi i detta försök sprängt i en slirig gnejs så verkar inte spricklängden ändras jämfört med tidigare sprängningar från Vånga i granit.

3.5 Undersökning av sprickutbredning i magnetit

För att undersöka sprängskador i tunnelväggar gjordes ett stort antal mätningar i malm och i gråberg i LKAB:s gruva i Kiruna /9/. Vibrationsmätningar och därmed framräknade skadezoner skulle jämföras med verklig sprickbildning. SveBeFo skulle vidare undersöka hur skadedjupet berodde på sprängämnestyp, initiering, försättning och håldimension. Uppläggningsen av försöken framgår av figur 16. Från en parallellort borrades accelerometerhål in i pelaren



Figur 16. Skadeundersökningar i Kiruna

mellan orterna. Den närmsta accelerometern placerades endast 0,5 m från tänkt tunnelkontur. Salvorna sprängdes och vibrationerna mättes. Efter detta sågades snitt i tunnelväggen och sprickbildningen undersöktes. Meningen var att försöka lägga snitten i samma punkt som den närmsta accelerometern och sedan jämföra resultaten mellan vibrationsmätningarna och den verkliga sprickbildningen.



Resultat

I malmen blev utvärderingen av sprickkarteringen mycket svårtolkad. Detta beror på att malmen var mycket söndersprucken och dessutom grovkornig så att strukturen och utseendet på sprickorna påminner om en pegmatit, se figur 17 (sida 20). De vanliga sprängrelaterade sprickor från konturhålen som syns väl i t.ex. granit är svåra att återfinna i något av snitten. De sprickor man ser är troligen naturliga sprickor eller sprickor från fulladdade emulsionshål.

Vid tidigare sprickkarteringar i Malmberget /10/ i malm var det också svåra att bestämma en riktig spricklängd ty också där var malmen mycket uppsprucken. I grovkornig malm som genomkorsas av många naturliga sprickplan kanske inte vår metod för sprickkartering är riktigt lämplig.

Gråbergssalvorna omfattade följande, se tabell 4. Konturhålen laddades här med patronerade sprängämnen dels 22 mm Kimulux, dels 22 mm Gurit.

Tabell 4. Testsalvor i gråberget

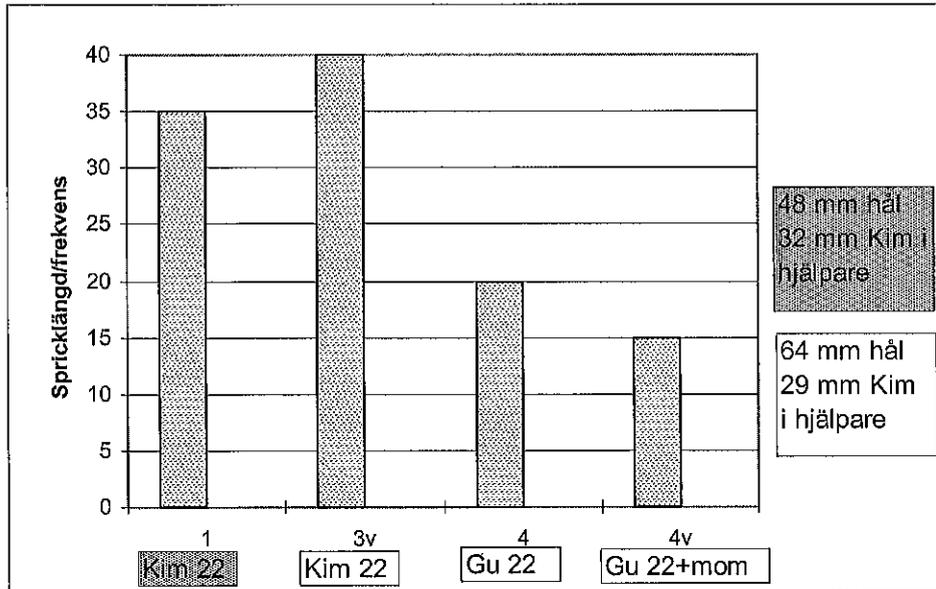
Salva	Vänster vägg					Höger vägg				
	Håldim	Laddn	Init	PPV	Såga	Håldim	Laddn	Init	PPV	Såga
1	48	Kim	Ej mom	Nej	Ja	48	Kim	Ej mom	Ja	Ja
2	64	Kim	Mom	Nej	Ja	64	Gu-22	Mom	Ja	Ja
3	64	Kim	Ej mom	Nej	Ja	64	Gu-22	Ej mom	Ja	Ja
4	64	Gu-22	Ej mom	Nej	Ja	64	Gu-22	Ej mom	Ja	Ja

Sprickkarteringen genomfördes på samma sätt som i malmförsöket. I stället för 8 st planerade sågsnitt så blev det verkliga utfallet 5 st sågsnitt. Resultatet av sprängningarna och speciellt antalet synliga halvpipor bestämde omfattningen. I salva 1 och 3 och 4 kunde sågsnittet läggas exakt i samma sektion som mät hålen. I salva 2 fanns det inte kvar några halvpipor.

I malmsalvorna var det svårt att utvärdera sprickbildningen p.g.a. att malmen var så uppsprucken. Även gråberget visade sig vara uppsprucket och gjorde utvärderingen svår. Uppsprickningen mellan hålen är troligen en kombination av naturlig sprickbildning samt skador från strosshål och öppningshål. Salvskrotningen river bort en del av de synliga halvpiporna. Figur 18 (sida 20) visar ett exempel på sprickutbredningen i gråberg.

Resultatet av sprickkarteringen har sammanfattats i figur 19. Här framgår att den kortaste spricklängden erhöles vid momentan upptändning av konturhålen som laddats med 22 mm Gurit.





Figur 19. Sprickutbredning från försöken i gråberg

4. BILDSIDOR

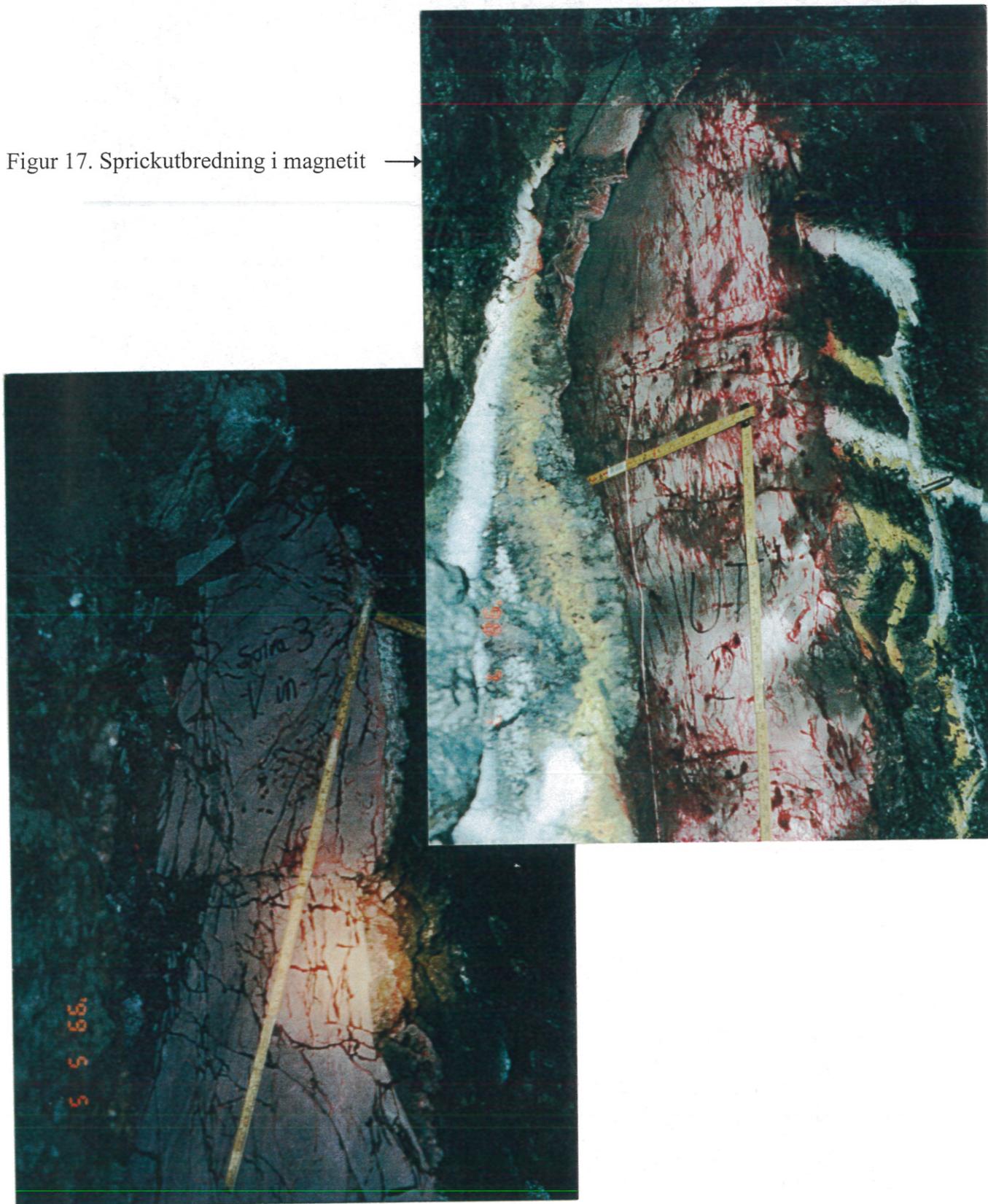


Figur 4. Sprickbildning från 22mm Gurit och 2 m hålavstånd (momentan initiering)



Figur 15. Sprickbildning från 17 mm Gurit (momentan initiering) i gnejs

Figur 17. Sprickutbredning i magnetit →



Figur 18. Sprickutbredning i gråbergsort med 22 mm Gurit i konturen

5. REFERENSER

1. Olsson, M., Bergqvist, I. Sprickutbredning i berg vid skonsam sprängning, SveBeFo Rapport 3, 1993.
2. Olsson, M., Bergqvist, I. Sprickutbredning vid flerhålssprängning, SveBeFo Rapport 18, 1995.
3. Sammanfattande rapport av försöksperioden 1993-96, SveBeFo Rapport 32, 1997.
4. Brinkman, JR. An Experimental Study of the Effects of Shock and Gas Penetration in Blasting, Fragblast 1990, Brisbane.
5. Olsson, M. Skadezon från strängemulsionsladdade hål. Nitro Nobel's Underjordsseminarium 1998.
6. Olsson, M. Uppmätta sprickor från strängemulsion i Södra Länken. Nitro Nobel's Underjordsseminarium 1999.
7. Olsson, M. Sprickutbredning från sprängning i tunnelväggar i Södra Länken, SveBeFo uppdrag 1999.
8. Ouchterlony, F., Olsson, M. Field tests on perimeter blasting with holes with radial bottom slots. SveBeFo Rapport S 16.
9. Nyberg, U., Olsson, M., Ouchterlony, F., Fjellborg, S. Bedömning av sprängskador i ortkontur. SveBeFo Rapport
10. Fjellborg, S., Olsson, M. Grovhål i centrum. SveBeFo Rapport 27, 1996.