MÄTNING AV SVÄNGNINGSHASTIGHETEN I NÄROMRÅDET TILL GROV- OCH KLEN-HÅLSKRANSAR VID SKIVRASBRYTNING I MALMBERGET

Roger Holmberg

DS 1978:3 1978-01-31

STIFTELSEN
SVENSK DETONIKFORSKNING
SWEDISH DETONIC RESEARCH FOUNDATION
BOX 32058 – 12611 STOCKHOLM
SWEDEN

08. 2.000. 3. 77. NORA BOKTRYCKERI 71535

MÄTNING AV SVÄNGNINGSHASTIGHETEN I NÄROMRÅDET TILL GROV- OCH KLEN-HÅLSKRANSAR VID SKIVRASBRYTNING I MALMBERGET

Roger Holmberg

DS 1978:3 1978-01-31

Sammanfattning

Rapporten redovisar accelerationsmätningar som utförts bakom kransar sprängda med 102 och 51 mm hål vid skivrasbrytningen i Norra Alliansen 442, Malmberget. Samma hålsättning har använts för båda kransarna. Grovhålskransen har sprängts först och därefter har klenhålskransen sprängts. Mätningar har utförts bakom klenhålskransen, varför avståndet från givare till grovhålskransens mitt varit 1,5 m längre än avståndet till klenhålskransen. Resultaten visar att grovhålen gett större påkänningar än klenhålen enbart när avladdningen varit liten. De största svängningshastigheterna har uppmätts för ytterhålen i grovhålskransen trots att avståndet till dessa varit störst.

Summary

Particle velocities close to the blasting operations have been measured in the sub-level caving in Malmberget. In order to determine if fans with 102 mm hole diameter give more damage to the remaining rock than 51 mm holes do, acceleration probes were grouted behind the fan of 51 mm holes. The results from the measurements indicate that the larger holes gave a greater damage to the remaining rock where the probes were mounted, even though the distance from the probes to the 102 mm fan was 1.5 m greater than to the 51 mm fan.

Inledning

I avsikt att förbättra styckefallet utfördes ett provförsök med 102 mm håldiameter i varannan krans vid skivrasbrytningen i Malmberget. De övriga kransarna var borrade med 51 mm diameter. Genom att bibehålla försättning och hålantal men öka håldiametern från 51 till 102 mm ökades laddningskoncentrationen från 0,8 till 1,65 kg/m^3. I de laddade hålen ökade laddningskoncentrationen per meter från 1,84 till 7,35 kg.

På grund av den höga laddningskoncentrationen i grovhålskransen var man intresserad av att veta huruvida påkänningen i "bröstet" ökade när grovhålen användes. Vid provförsöken sprängdes båda kransarna i samma salva. Grovhålskransen sprängdes med lägre intervallnummer, varför avståndet från grovhålskransen till en punkt bakom klenhålskransen var 1,5 m (= försättningen) längre än från klenhålskransen.

SveDeFo deltog i provförsöket genom att bidra med mätningar från två punkter bakom klenhålskransen. Avsikten var att mäta svängningshastigheten i dessa punkter för att se vilka hål som gav de största vibrationerna. Svängningshastigheten är som bekant proportionell mot töjningen i berget och kan därför sägas vara ett mått på påkänningen.

Instrumentering

Piezoelektriska accelerometrar användes till mätningen. Signalerna från accelerometrarna förstärktes via laddningsförstärkare och överfördes till en FM-bandspelare i en närliggande ort. De inspelade signalerna integrerades därefter för att erhålla svängningshastigheterna.

Accelerometrarna var av fabrikatet Brüel & Kjaer, typ 4332, 4334 och 4368. Känsligheten varierar mellan 45 och 70 pc/g. Laddningsförstärkarna var av fabrikat Brüel & Kjaer typ 2626 och ledningarna mellan givare och förstärkare utgjordes av en "low noise" PVC-överdragen microdotkabel med kapacitansen 90 pF/m. En koaxialkabel RG 59B/U med karaktäristisk

impedans 75 ohm och kapacitans 67 pF/m användes för signalöverföring mellan förstärkare och bandspelare.

FM-bandspelaren som användes var en Sangamo Sabre III med följande data:

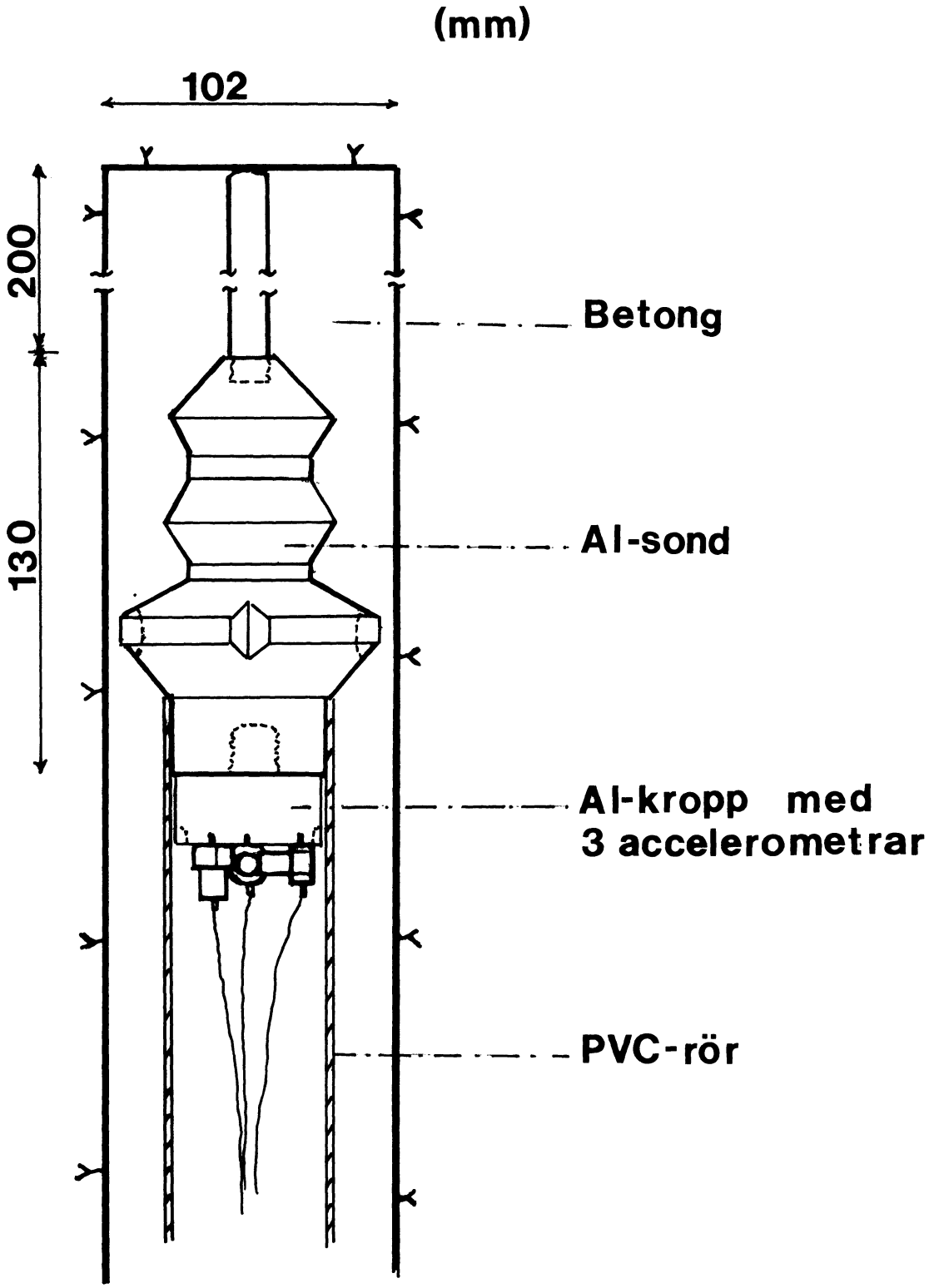
Bandhastighet	1 7/8 - 120 ips
Frekvensområde	$\leq$ 80 kHz beroende på bandhastighet
Signalbrusförhållande	50 dB vid 120 ips
Inimpedans	20 kohm
Utimpedans	< 10 ohm
Stigtid	$6 \cdot 10^{-6}$ sek

Två kanaler användes per givare, dvs totalt 12 kanaler.

Integreringen av acceleration till svängningshastighet utfördes via en transientrecorder Nicolet 1090A Explorer (upplösning 4096 x 4096 punkter) och en bordsdator HP 9830.

Vid montering av givarna göts först en aluminiumkropp och ett PVC-rör fast i berget. Därefter kunde ytterligare en aluminiumkropp med accelerometrar införas genom PVC-röret och skruvas fast i den fastgjutna aluminiumkroppen, se figur 1.

Accelerometrarna inriktades så att x-givaren riktades direkt mot kransens mitthål, y-givaren riktades vinkelrätt mot mitthålen och z-givaren riktades parallellt med mitthålen. I resultatsammanställningen kallas värdena från x-, y- resp z-givaren för longitudinella, transversella och vertikala svängningshastigheten.


(mm)
102
200
130
Betong
Al-sond
Al-kropp med
3 accelerometrar
PVC-rör

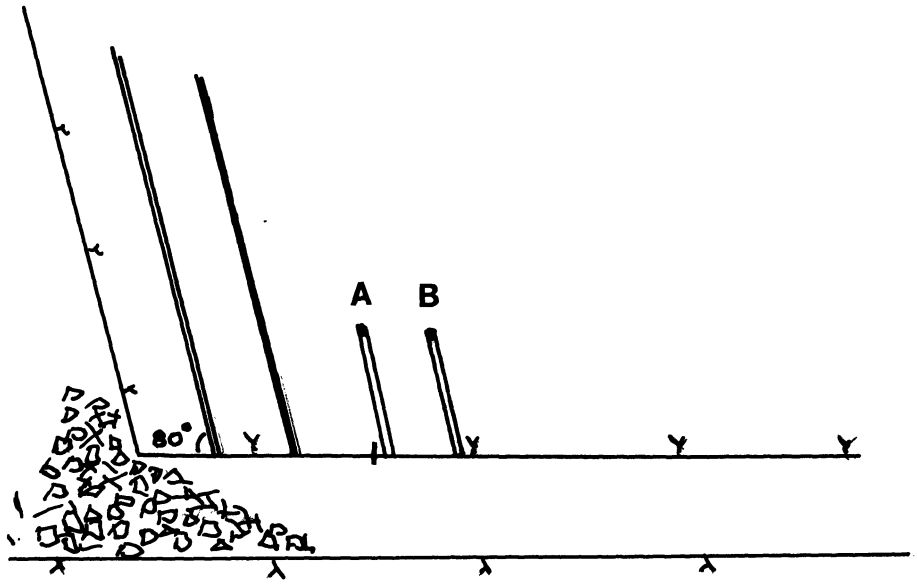
FIGUR 1.

Beskrivning av fältförsök

Försöken utfördes i N Alliansen 442, ort 810, där fem provsalvor hade uppborrats. Malmen har en densitet av 4600 kg/m^3 och malmens järnhalt låg på 62% Fe. Inga drag- och tryckhållfasthetsmätningar har utförts på malmen i området, men resultat från samma nivå anger tryckhållfastheten till 44-110 MPascal och draghållfastheten till 3,4-5,8 MPascal.

Mätningar utfördes i tre salvor men resultat erhölls ej från samtliga salvor. Den första salvan (nr 10377) gav inga resultat alls på grund av att nätaggregatet till FM-bandspelaren slutade fungera precis när nedräkningen började. Den andra salvan (nr 20377) gav resultat från samtliga givare. Vid sprängning av den sista salvan (nr 30377) slet luftstötvågen av två ledningar, varför jämförelsevärden ej erhållits från samtliga givare. Enbart de fullständiga värdena från salva 20377 har därför redovisats i rapporten.

Nedanstående figur visar var givarna göts fast i förhållande till de aktuella kransarna. Sonderna var fastgjutna 3 m ovanför orttaket.



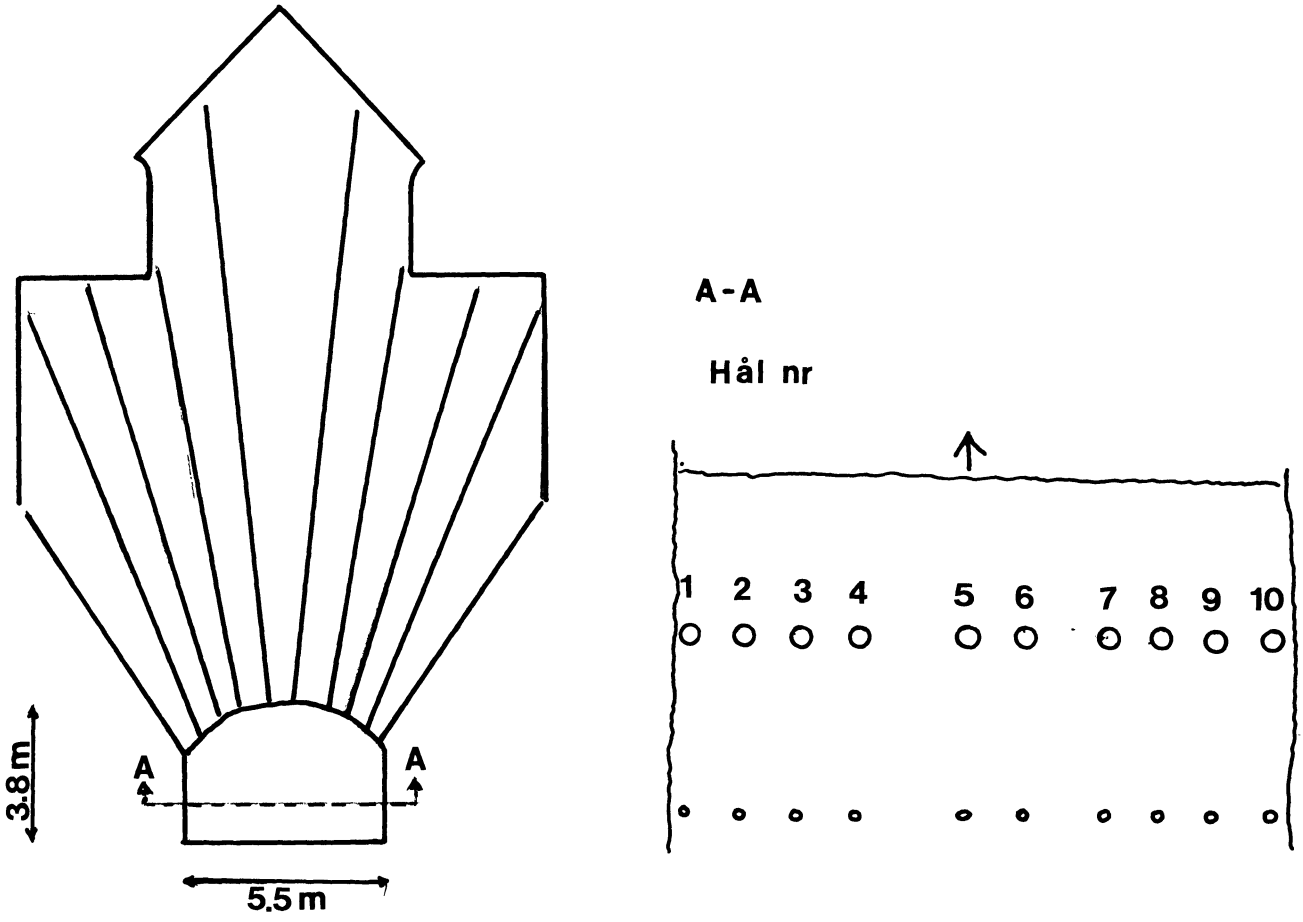
FIGUR 2. Skissen visar var givarna göts fast bakom kransarna. Tre givare satt både på mätplats A och B.

Avståndet från hålmynningarna i kransarna till hålmynningarna för mätplats A och B var följande:

Salva nr	Klenhålskrans A	Klenhålskrans B	Klenhålskrans-grovhålskrans
20377	1,73	3,33	1,5 m

Vid fastgjutning av sonderna användes en skruvpump för att trycka upp betongen i det vertikala hålet. Vid hålmynningen tätades mellanrummet mellan PVC-röret och borrhålsväggen för att förhindra att betongen läckte ut. En plastslang från borrhålsbotten sörjde för luftevakueringen under pumpningen.

Kransarnas utseeende och hålens numrering framgår av nedanstående skisser.



FIGUR 3. Skiss av kransens geometri och hålens numrering.

Borrhålen laddades med ANFO-prills och sprängkapseln placerades i hålets mynning tillsammans med en primer av DxB. För grovhålen användes sex patroner ϕ29x400 och för klenhålen användes en DxB-primer med längden 0,15 m.

Avladdningslängderna för hålen var följande:

Hål nr	Avladdning grovhål (m)	Avladdning klenhål (m)
5,6	1,0	1,0
4,7	1,0	1,0
3,8	6,9	1,0
2,9	3,3	1,0
1,10	1,0	1,0

Vid initiering av salvorna användes ms-tändare av följande intervall:

Hål nr	Grovhålskrans intervall nr	Klenhålskrans intervall nr
5,6	1	8
4,7	3	10
3,8	4	11
2,9	5	12
1,10	6	14

Resultat

De erhållna accelerationerna och de svängningshastigheter som integreringen av accelerationen givit finns redovisade i tabell 1 (salva 20377).

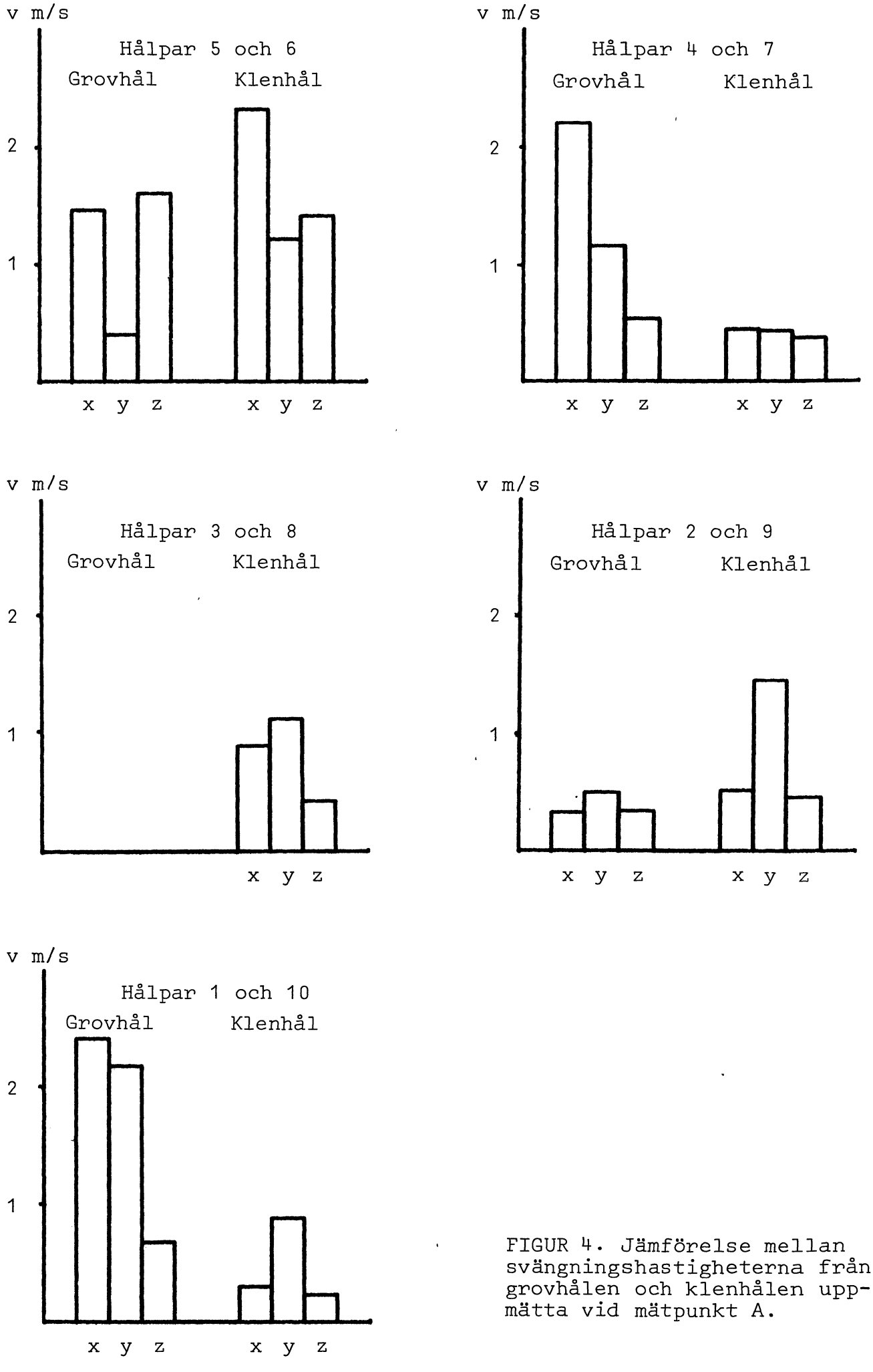
Resultaten har även uppritats i histogramform i figurerna 4 och 5. Varje diagram anger de uppmätta svängningshastigheterna i de tre riktningarna för grovhålen och klenhålen med samma hålnummer. T ex det översta diagrammet till vänster i fig 4 anger svängningshastigheten för mätpunkt A när grovhålen och klenhålen med nr 1 och 2 detonerar. Eftersom två hål i varje krans har samma intervallnummer kan det ibland hända att spridningen i tiden medför att parhålen ej initieras samtidigt och när så har varit fallet har det hål som givit största svängningshastigheten tabellerats.

Figurerna 6, 7 och 8 visar tre olika vibrationsförlopp som erhölls vid mätningarna.

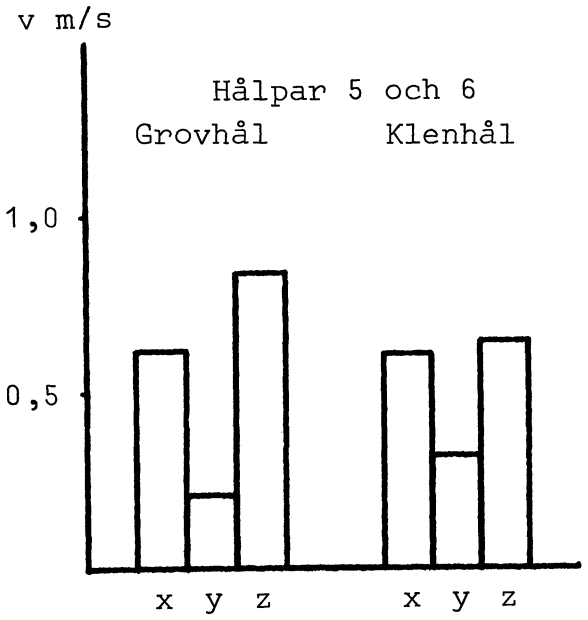
Intervall nr	Tid från initiering ms	Ø mm	MÄTPUNKT A						MÄTPUNKT B					
			Longitudinell, x		Transversell, y		Vertikal, z		Longitudinell, x		Transversell, y		Vertikal, z	
			a g	v mm/s	a g	v mm/s	a g	v mm/s	a g	v mm/s	a g	v mm/s	a g	v mm/s
1	25	102	1197*	1461	292*	400	573	1603	228	621	257	211	208	843
3	83	102	1202*	2198	631*	1155	377	533	115	365	170	217	59	404
4		102												
5	129	102	122	333	268	502	107	346	119	230	233	420	67	231
6	160	102	1323*	2416	1101	2183	527	682	431	1111	351	650	97	331
8	216	51	1493*	2623	1160*	1210	1797	1411	219	612	151	323	110	649
10	279	51	449	445	307	432	413	371	114	180	157	172	38	74
11	299	51	485	902	702	1130	244	429	225	386	245	340	60	130
12	351	51	869	522	1075	1461	385	459	151	213	219	299	45	102
14	394	51	139	301	483	887	106	234	186	427	336	624	96	241

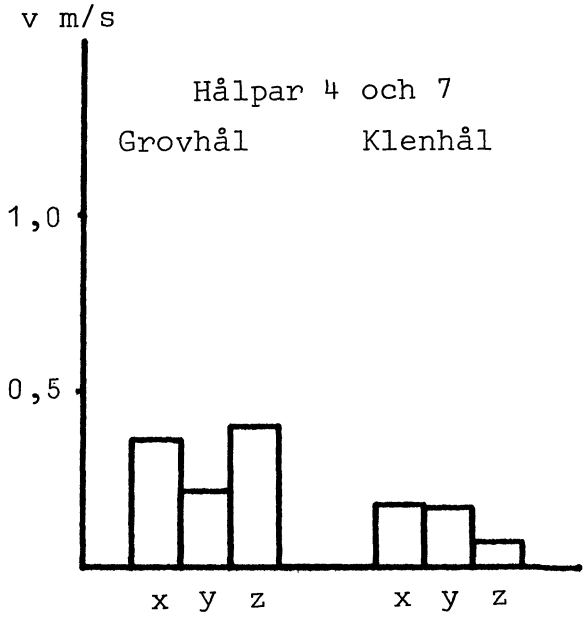
TABELL 1. Resultat från salva 20377.

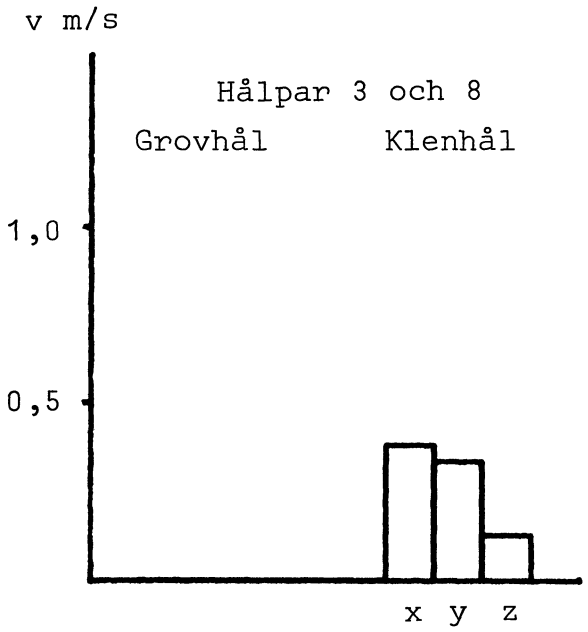
* Nollpunktsförskjutning har förekommit.

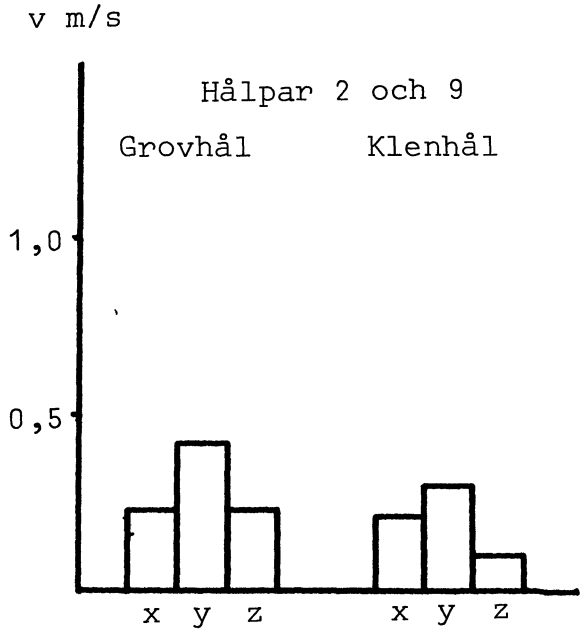


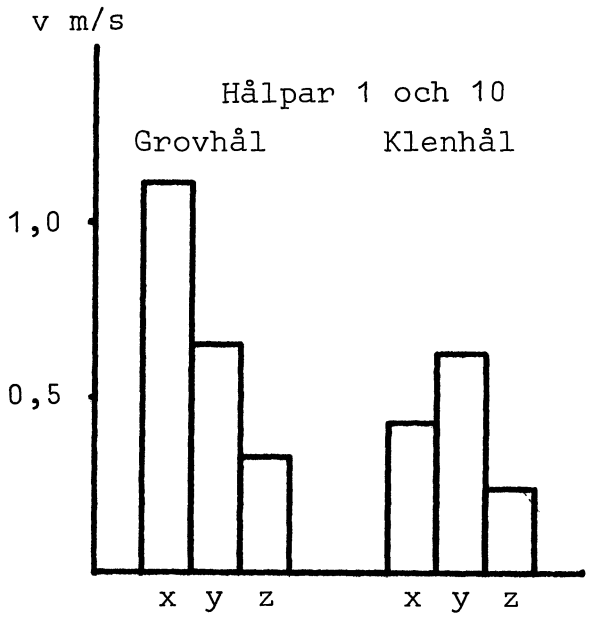
FIGUR 4. Jämförelse mellan svängningshastigheterna från grovhålen och klenhålen uppmätta vid mätpunkt A.



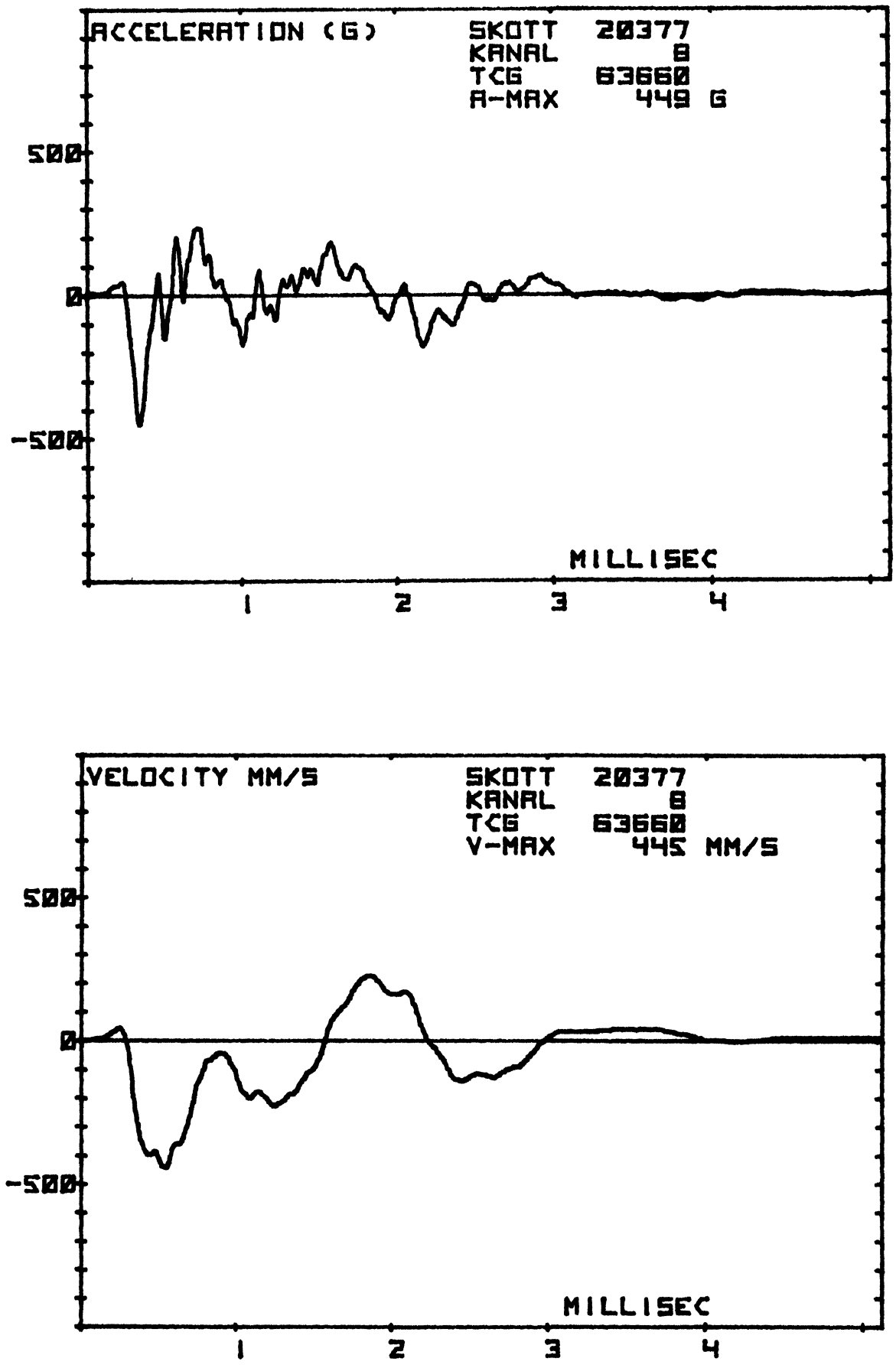




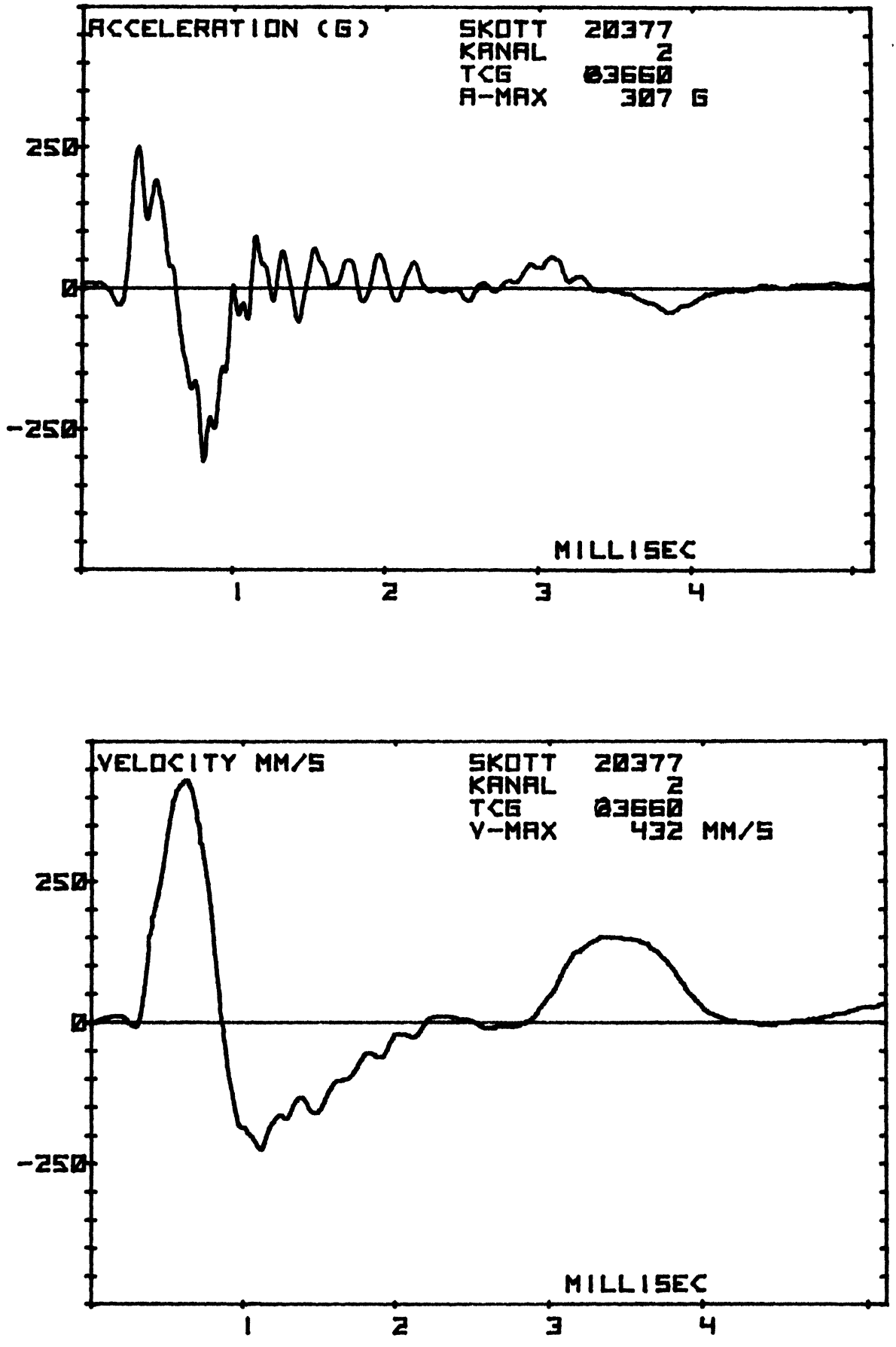




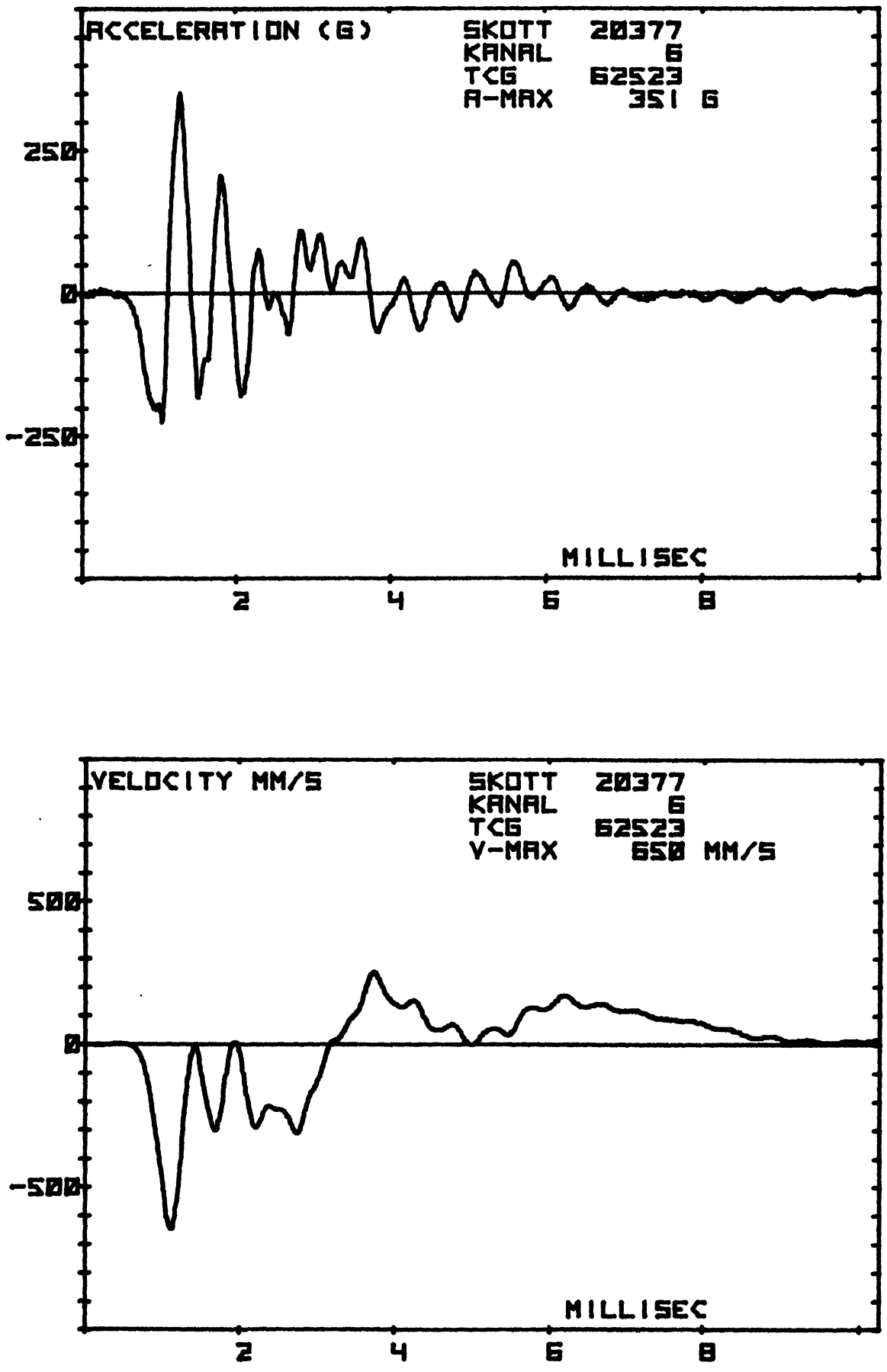
FIGUR 5. Jämförelse mellan svängningshastigheterna från grovhålen och klenhålen uppmätta vid mätpunkt B.



FIGUR 6. Registrering av longitudinell signal vid mätpunkt A för hålpar 4 och 7 i grovhålskransen.



FIGUR 7. Registrering av transversell signal vid mätpunkt A för hålpar 4 och 7 i klenhålskransen.



FIGUR 8. Registrering av transversell signal vid mätpunkt B för hålpar 1 och 10 i grovhålskransen.

Sammanfattning av resultat

I tabell 1 har förutom de uppmätta värdena även uppgivet intervallnummer och uppmätt tid från initiering angivits. Betraktas tiderna och uppgivet intervallnummer så ser man att intervall 1 - 8 är de enda som stämmer med de uppmätta tiderna från initieringen. De övriga intervallen 10, 11, 12 och 14 däremot uppvisar så pass stor spridning att det är skäl att anta att intervallen 11, 12, 14 och 16 använts i stället. Spridningen för dessa intervall skall förhoppningsvis inte vara större än halva intervalltiden, dvs ±12,5 ms. Vid jämförelsen av de genererade vibrationerna har antagits att hålen i grov- resp klenhålskransen detonerat i samma ordning. Jämförelsevärdena från de i kransarna geometriskt lika belägna hålparen som initierats samtidigt finns uppritade i figurerna 4 och 5. Inga värden finns för intervall 4, dvs hålparen 3 och 8 i grovhålskransen. Visserligen skall dessa hålpar ge de lägsta vibrationsvärdena, eftersom avladdningen är störst (6,9 m), men de borde ej ge så låga värden att mätsystemets låga känslighet medfört att de ej kunnat spåras på registreringen. Från salva 30377 syns innan luftstötvågen slet av kablarna till givarna registreringen av samma hålpar tydligt. Det troliga är därför att dessa hål på något sätt detonerat ofullständigt eller att avladdningarna varierat.

I försöksuppställningen ligger mätpunkterna A och B i mitten och 3 m ovanför orttaket på ett avstånd av 1,73 resp 3,33 m från klenhålskransen. Från grovhålskransen är avstånden 1,5 m längre. Man får komma ihåg att det är i dessa punkter som vibrationerna från kransarna mätts och jämförts. Detta innebär att ju längre ut från kransens mitt som hålen detonerar, desto lägre värden borde erhållas vid mätpunkterna om fullständig detonation erhållits i samtliga hål och om hålen haft samma utslagsvillkor. Det finns dock ett hålpar, nämligen de yttersta hålen i kransen (nr 1 och 10), som ger betydligt högre värden än man skulle förvänta. Orsaken till detta måste vara dessa håls inspänning.

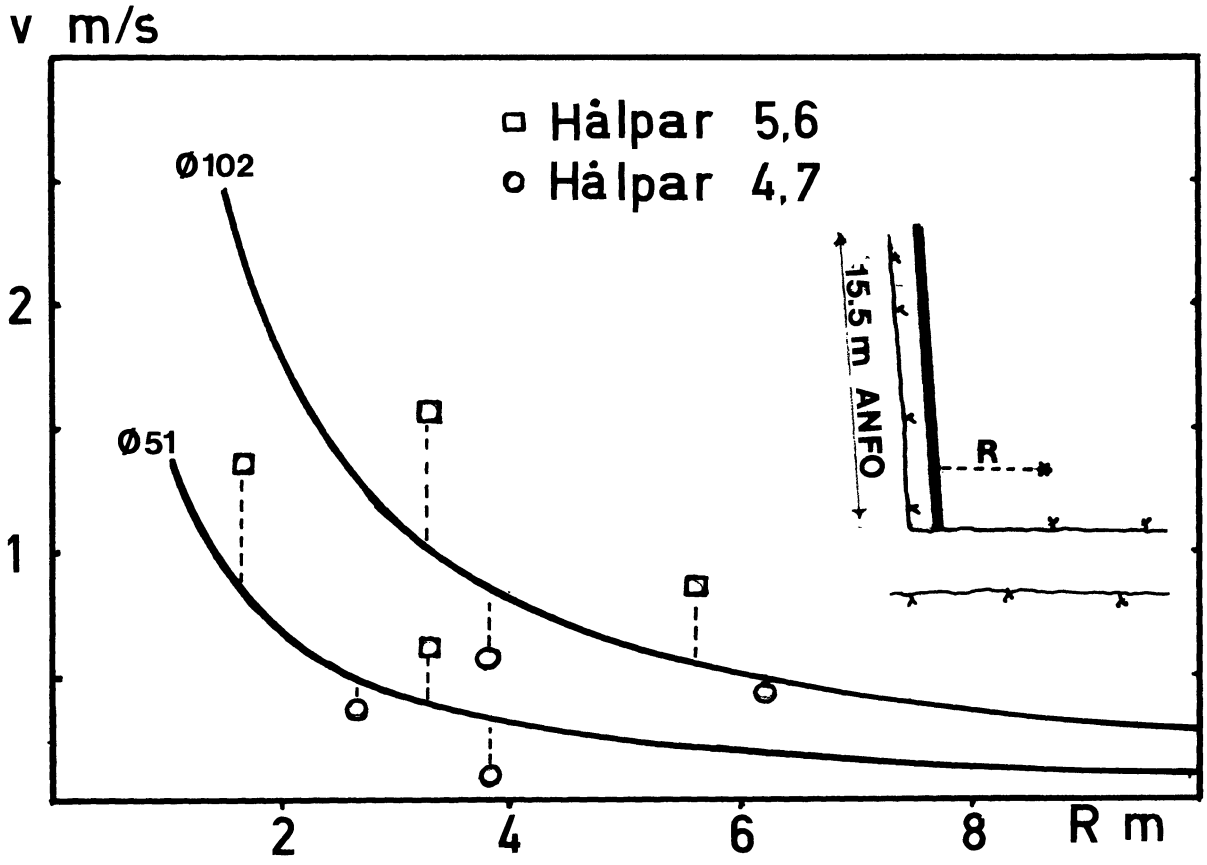
I figur 4 i diagrammet för hålparen 4 och 7 ser man även att den longitudinella och den transversella svängningshastigheten för grovhålen är högre än värdena för grovhålsparen 5 och 6, vilket är något svårförklarligt. Deras läge och längd borde ha inneburit att värdena skulle varit lägre. Möjligen kan sådana faktorer som försättning, hålriktning och detonationsförlopp ha inverkat.

Om den tidigare sprängningen med enbart användning av klenhål ej resulterat i oacceptabla skador på "bröstet" finns ingen anledning att bekymra sig för hålparen 3, 8 och 2, 9 i grovhålskransen. Däremot finns det anledning att studera de övriga parhålen. För grovhålsparen 5 och 6, dvs mitthålen, finns ingen indikation på att vibrationerna skulle vara större, men de höga värdena från 4 och 7 visar att man nog ej bör utesluta att 5 och 6 kan ge betydligt högre värden. De yttersta hålen i grovhålen (nr 1 och 10) borde man definitivt försöka att reducera laddningen i. Ur figur 5 kan man se att till och med på ett avstånd av omkring 6 m så ger hålen 1 och 10 en svängningshastighet som överstiger 1000 mm/s.

I den skadezonsundersökning som utfördes i Aitik-dagbrottet visade resultatet att skadorna upphörde vid omkring 800 mm/s. Bergarten var huvudsakligen gnejs och pegmatit. Järnmalmen i Malmberget torde sannolikt erhålla skador vid betydligt lägre svängningshastigheter på grund av dess låga draghållfasthet och höga densitet.

I nedanstående figur 9 har svängningshastigheten uppritats som funktion av avståndet för ett 51 mm och ett 102 mm hål laddade med ANFO enligt den infällda skissen. Geometrin är densamma som för mitthålet 5 eller 6. I figuren har samma funktion, $v = f(R,Q)$, som i Aitik-försöken använts vid integrering över laddningen i avsikt att se hur de uppmätta vertikala svängningshastigheterna från Malmbergs-försöket skiljer sig från de beräknade. De uppmätta svängningshastigheterna för hålpar 5 och 6 ligger ovanför kurvan. Man ser här att tendensen är att

värdena i malmen är högre, vilket förutom de skilda material-egenskaperna kan bero på att en viss samverkan är möjlig mellan hålen som initieras samtidigt i kransen. I Malmbergs-försöket ligger de observerade hålen på samma avstånd till givaren till skillnad mot Aitik-försöken med 250 mm hål, där hålavståndet var så stort att ingen större inverkan erhölls för närbelägna hål.



FIGUR 9. Figuren visar de beräknade och experimentellt erhållna vertikala svängningshastigheterna för 51 mm och 102 mm håldiameter när hålen fyllts med 15,5 m ANFO. Hålparen 4 och 7 har dock en laddningsmängd på enbart 11,5 m.

Författaren riktar ett varmt tack till Ragnar Alatalo, LKAB och Bert-Ove Johansson, LKAB, vilka hjälpt till med den besvärliga givarmonteringen samt till Jan-Erik Persson, Nitro Consult AB, som deltagit vid mätningens genomförande.

Referenser

1 Holmberg, Roger — Skonsam sprängning och vibrationer vid storhålsbrytning under jord.- SveDeFo, Stockholm. Rapport DS 1976:14 (1976).

2 Persson, P A, Holmberg, R och Persson, G — Skonsam sprängning av slänter i dagbrott.- SveDeFo, Stockholm. Rapport DS 1977:4 (1977).

3 Holmberg, R och Krauland, N — Undersökning av sprickfrekvens före och efter sprängning med 250 mm hål i Aitik.- SveDeFo, Stockholm. Rapport DS 1977:12 (1977).

4 Holmberg, R och Persson, P A — Markvibrationsmätningar vid sprängningars närområde i Boliden AB:s Aitik-gruva.- SveDeFo, Stockholm. Rapport DS 1978:1 (1978).