

STENKASTNING VID SPRÄNGNING I

Björn Eriksson, Nitro Consult AB

Anders Ladegaard-Pedersen

DS 1971:32

19.8.1971

STIFTELSEN
SVENSK DETONIKFORSKNING
SWEDISH DETONIC RESEARCH FOUNDATION

VINTERVIKEN – 117 48 STOCKHOLM
SWEDEN

STENKASTNING VID SPRÄNGNING I

Björn Eriksson, Nitro Consult AB

Anders Ladegaard-Pedersen

DS 1971:32

19.8.1971

Sammanfattning:

I föreliggande rapport redovisas resultatet av en intervjuundersökning i vilken representanter för myndigheter, försäkringsbolag, entreprenörer och konsultfirmor har lämnat sina synpunkter på frågor rörande vilka faktorer som påverkar opåräknad kastning vid öppen sprängning. Resultatet av undersökningen visar bl.a. att plansprängning anses vara farligare än rörgravs- och pallsprängning i kastningshänseende. Grovhålssprängning anses vara farligare än likvärdig sprängning med smalhål.

Arbetet har utförts med anslag från Kgl. Arbetarskyddsstyrelsen.

Inledning.

Den utveckling som försiggått på det sprängtekniska området sedan tillkomsten av Kungl. Arbetarskyddsstyrelsens anvisningar nr 3 har lett till att anvisningarna tid efter annan ändrats. Utvecklingen har medfört skärpta och vidgade skyddsåtgärder och förbättrade tekniska anordningar. För att undvika olycksfall i samband med stenkastning vid sprängning har Kungl. Arbetarskyddsstyrelsen beställt en utredning. Denna utredning avser att klarlägga mekanismen vid kastning och förväntas ge underlag för förslag till förebyggande åtgärder. Som ett första led i utredningen har en inventering av erfarenhetsmaterial utförts, dels genom intervjuer med erfarna personer /se sid 11./, dels genom att sammanställa orsaker från inträffade kastningsindicer.

Grundläggande för all bergsprängning är en noggrann och säker beräkning av den för berglossningen erforderliga laddningsmängden. I en analys av denna fråga visade Ulf Langefors /4/ för 20 år sedan att totala laddningen kan beräknas på basis av likformighetsöverläggningar. Formlerna har visat sig ha en oerhörd räckvidd. I samråd med U. Langefors utförde B. Forsberg och B. Gustavsson 1958 /3/ grundläggande undersökningar av bergkastet. De visade att den totala kastenergin (e_{kast}) är direkt proportionell mot överladdningen ($q - q_1$), där q_1 betyder laddningsmängden i kg/m^3 för en gränsladdning som ger sprickbildning men ej något kast.

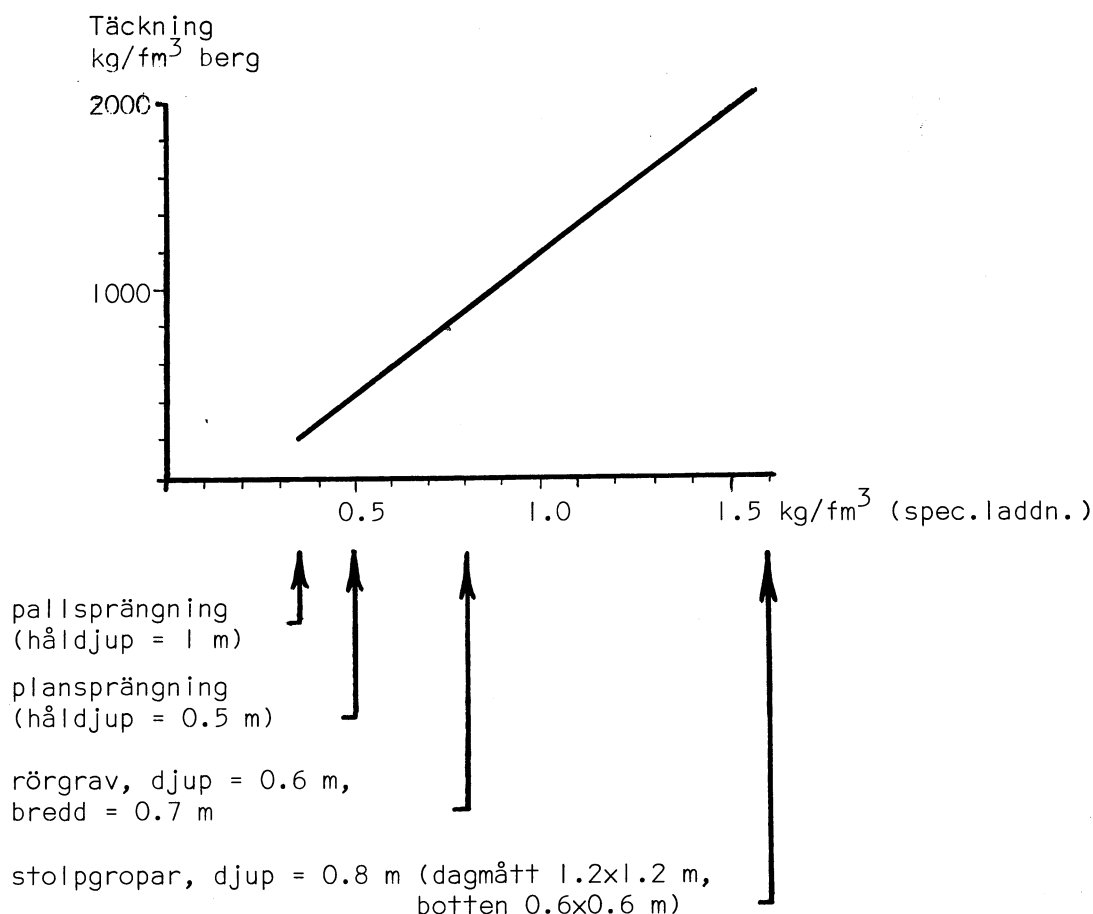
$$e_{\text{kast}} = k(q - q_1)$$

Bergkastet, som påverkar huvuddelen av det lossbrutna berget, ökar alltså med en ökad laddningsmängd. Enstaka stenar kan under ogynnsamma omständigheter kastas 5-10 gånger så långt som salvans tyngdpunkt eller ännu längre. Det senare kallas för spridning. För kortintervallssalvor med multipallsprängning kan man avsevärt nedbringa kastningen genom att ladda den främsta raden svagt och placera den önskade överladdningen i de bakre hålradena där kastningen förhindras av de framförvarande bergmassorna. Bergkastet kan uppskattas i förväg, dock ej spridningen. Maximal kastlängd eller spridning har aldrig varit föremål för undersökningar, vilket kanske beror på praktiska svårigheter. För att undvika spridning och opåräknat kast används fördämningsmaterial.

A. Bjerkö har vid Bergsprängningskommittén 1965 och senast 1970 redovisat Vattenfalls synpunkter på täckning (fördämning) vid sten- och bergsprängning.

Vattenfalls inventering gav följande resultat beträffande täckning och specifik laddning vid olika sprängningsobjekt.

Täckningsvikt som funktion av specifik laddning



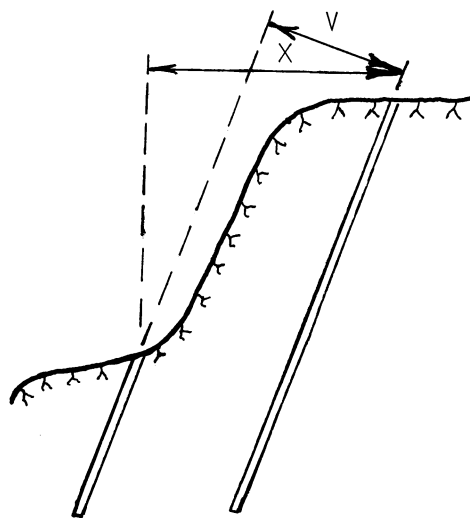
Sprickor-slag.

Bergmaterialet inom ett begränsat bergparti kan ha mycket varierande egenskaper ehuru bergarten är densamma. Det är berggrundens egenskaper (sprickor, överskjutningsplan, kross- vittrings- och förskiftningszoner, skölar och bergartsgränser) som har avgörande inverkan på opåräknad kastning. I bergytan är sprickfrekvensen i allmänhet större och sprickorna mera svårartade än inne i bergmassivet. Med tanke på berggrundens egenskaper är det därför viktigt att borrhålen placeras rätt. Om man arbetar med utgångspunkt från att berget vid sprängning lossnar av sig självt i naturliga sprickor och svaghetszoner, kan borrhälen och laddningsberäkningen anpassas efter detta. Förbättrat sprängningsresultat kan uppnås om borrhålen ansättes så

att de skär befintliga slag och sprickor i så stor vinkel som möjligt. Genomgången av olycksfallsrapporter visar att slagigt berg står för de flesta kastningsolyckor. Slag som ej kan upptäckas av borrhare och bergsprängare är allvarligast, eftersom hänsyn ej kan tagas till dessa vid laddningsarbetet (t.ex. slag som sträcker sig horisontellt under befintliga borrhålsbottnar).

Borrning.

I det följande används beteckningen "grovhål" för håldiametrar > 42 mm och beteckningen "smalhål" för håldiametrar < 42 mm. Borrningskostnaden i kr/liter borrhålsvolym minskar med ökad borrhålsdiameter vid optimal användning av utrustningen. Utvecklingen går därför mot allt större håldiametrar vilket ger fördelen av färre maskinenheter och mindre personal. Trots ovanstående fördelar har man ej kunnat utnyttja grovhål vid alla öppna sprängningar. Detta på grund av svårigheterna att bemästra t.ex. markvibrationer och kast. Samtliga intervjuade ansåg att med hänsyn till kast är grovhålssprängning farligare än smalhålssprängning vid likvärdiga salvor. Motiven som angavs var följande: Grova borrhål medför större laddningskoncentrationer vilket ger större kastrisk vid opåräknade slagigheter, ojämnheter eller svaghetszoner i berget. Ett antal olycksfall som inträffat under senare tid vid grovhålssprängning visar att det är svårt att utföra en effektiv fördämning vid sådana sprängningar. Oberoende av håldiametern är det vid borrningsarbete mycket viktigt att hålets utsättning, ansättning och inriktning utföres med maximal precision. En felbedömning av försättningen kan lätt göras vid starkt kuperat berg. (se fig.)



I figuren är måttet V
försättningen

Plansprängning anses av dom flesta vara farligare än rörgravs- och pallsprängning i kastningshänseende. Kastrisken ökar ju större försättningen blir i förhållande till pallhöjden. Om pallhöjden K är nära eller

mindre än försättningen V blir utslagsvinkeln ogynnsam. Vid plan-sprängning placeras bottenladdningen i ytberget vilket kan vara slagrikt och söndersprucket, och i regel används högre specifika laddningar än i pallsprängning.

Av de personer i undersökningen som ansåg rörgravsprängning farligast i kastningshänseende angavs följande motivering:

Vid rörgravssprängning är berget hårt inspönt. Den höga specifika laddningen kan vid opåräknade slag och inspänningsändringar få kraftigt kast som följd.

Laddning.

Ur kastsynpunkt är det viktigt att laddningsfördelningen är den rätta, bottenladdningen med sin högre koncentration och pipladdningen med sin lägre koncentration. Viktigt att påpeka i detta sammanhang är att för liten koncentration i botten ej går att kompensera genom förhöjd koncentration i pipan. Om bottenladdningen ej orkar ge utslag i botten går trycket uppåt i hålet och kan ge upphov till kraftig kastning av ytberget. Om däremot bottenladdningen är mycket för stor kan ett fenomen s k "tunnel" uppstå vilket kan giva upphov till kast från bottendelen.

Förladdningens längd och material är av stor vikt. Vid undersökningen ansåg samtliga att en förladdningslängd lika lång som försättningen är lämplig. Två motsäggande motiveringar har framförts.

1. Är förladdningen för lång är risken för ryckning bakåt i salvan stor. Lång förladdning kan även förorsaka skvättning genom att bergets överpartier lossnar i stora sammanhängande block, så att utströmningen av spränggaserna måste ske genom en eller få tunna spalter med höga gashastigheter som följd. Mindre stenar eller bitar av berget som därvid slits med kan få en mycket stor kastvidd.
2. En lång förladdning utgör ej någon risk för kastning eller skvättning eftersom ytberget genom vittring o dyl är mycket söndersprucket och därvid fungerar som fördämning.

Som lämpligt material till förladdning i torra borrhål har föreslagits torr sand eller borrhåskax.

I grova borrhål har föreslagits krossgrus och betongsand.

Vid vattenfyllda hål bör förladdningsmaterialet vara så beskaffat att det lätt sjunker i hålet t.ex. sållat, skarpkantat grus i lämplig storlek. Förladdningen i våta hål är svagare än i torra.

Vatten har använts vid friare arbetsplatser som förladdningsmaterial med gott resultat, men vatten bör ej användas i hål med fuktkänsligt sprängämne. Ett förladdningsmaterial bör ej vara skadligt för omgivningen.

Tändning.

Den vanligaste metoden att tända sprängskott är att använda elektrisk sprängkapsel. Där finns tre huvudtyper, moment-, intervall- och kortintervallsprängkapslar. - På frågan "vilken inverkan har tändföljden på salvans kastning och skvättning vid kortintervallsprängning" svarade samtliga att tiderna ej får vara för långa mellan angränsande hål. Om tidsskillnaden är för stor kan täckningsmaterialet hinna ryckas undan från senare detonerande hål.

Vid ryckningar bakåt från det detonerande hålet minskar försättningen för bakomvarande hål och risken för kast blir mycket stor vid för långa tidsintervaller. Vid flerradssalvor bör större intervalltider än 100 ms undvikas mellan hål som sitter på avstånd 1-1,5 m bakom varandra. För hål i samma rad bör större intervaller än 60 ms undvikas. Vid låga pallhöjder (K ca 1.5 m) bör intervalltiderna vara betydligt kortare. I allmänhet gäller att ju kortare intervalltid desto mindre påkänning på täckningsmaterialet och desto mindre risk för slitning och kastning.

Nedanstående faktorer kan påverka kastning vid tändning:

- undermålig strömkälla
- felaktig hopkoppling av sprängkapseltrådar och serier
- ingen eller bristande motståndsprovning
- fel tändföljd
- för långa intervalltider
- för låg tändström genom läckström och överledning
- felaktig placering av tändare i borrhål
- skadat tändmedel (fukt- avslitning m m)
- för många sprängkapslar av nummer 0 i samma rad
- moment eller halvsekundstend salva

Fördämning.

Erforderlig fördämning måste alltid bedömas med ledning av förhållandena inom det bergparti som skall lösgöras i varje särskild salva. Fördämningen kan t ex utgöras av följande material vilka användes var för sig eller gemensamt:

- Gummimattor
- Wiremattor
- Stockmattor
- Plaströrmattor
- Järnringsmattor
- Wireringsmattor
- Repmattor
- Lumpmattor
- Armeringsnät
- Stängselnät
- Industrifilt
- Nylonduk
- Pressenning
- Skyddsplank (stående)
- Kvarlämnade bergmassor

Vid undersökningen ställdes frågan, "vilka egenskaper bör ett bra fördämningsmaterial ha?"

- Svar:
- Stoppa stenkastning och splitter
 - Tillräcklig tyngd
 - Lämplig täthet
 - God fångverkan
 - God hållfasthet
 - Vara sammankopplingsbar
 - Vara förankringsbar
 - Vara reparationsbar
 - Vara fjädrande
 - Vara följsam
 - Viss gasgenomsläpplighet
 - Lätthanterlig
 - Mattan bör ej innehålla material som vid sprängning kan kringkastas och vålla skada (nitar el. dyl)
 - Vara försedd med skyddande bärhandtag för att ej skada händerna
 - Fästanordning för kranlyft
 - Bör kunna bäras av två man om mattan är gjord för att förflyttas med handkraft
 - Bör vara okänslig för väderlek (vattenavstötande, temperaturokänslig)
 - Undertäckning bör ej utföras med ledande material om kopplingshysor el dyl. ej användes.

Övriga synpunkter:

1. Önskvärt med töjbart, plastiskt material till bakåtförankring.
2. Vid praktiskt bruk har det visat sig svårt att få isär sammanlänkade stora gummimattor efter sprängning. Det vore önskvärt om det kunde konstrueras lämplig anordning utförd så att man med ett enkelt handgrepp kan koppla isär och koppla ihop mattorna.
3. Gatukontoret ansåg att fasta distansklossar på mattor vore lämpligt för att få täckningen att ligga en bit ovanför bergytan.

Täckningstyper.

Det område kring en sprängplats, som kan drabbas av stenkastning, brukar kallas farligt område. För att minska farligt område vid sprängning så att byggnader, trafikleder etc ej kommer att vara belägna därpå, användes täckning. Denna, som kan sammansättas på olika sätt och av olika material har till uppgift att absorbera kastenergin, så att stenkastning utanför farligt område förhindras. Undersökningen visar att säkra och användbara föreskrifter om täckning ej kan utföras med stöd av nu tillgänglig erfarenhet.

Vid undersökningen ställdes frågan: "Bör täckmaterialet sammankopplas och i så fall hur?"

Svar: Mindre enheter av täckmaterial bör sammankopplas eller sammanhållas.

Större enheter, t.ex. stora bildäcksmattor (700-1000 kg/st) lägges om lott så att god friktion uppstår mellan mattorna. Sammankoppling av små enheter kan ske med t.ex. kättinglänkar och sammanhållning kan ske genom att lägga t.ex. stålline-ringmatta eller industrifilt etc ovanpå små gummimattor.

Vid frågan: "Bör täckmaterialet förankras bakåt?" rådde osäkerhet om dess betydelse. De flesta anser att fördämningsmaterialet ej bör vara stumt förankrat bakåt. Det ansågs att wire är bättre till förankring än kätting. Förankringen bakåt fastsattes ofta i bergborr, spett eller dubb som sitter i berget.

Täckningen bör inte enbart täcka borrhålsmyningarna utan även täcka salvan: angränsande delar, och över eventuella slag och släppor som kan observeras vid sidan om salvan. Följande förslag har lämnats angående lämpligt överlapp.

1. Minst två gånger största hålavstånd i salvan.
2. Minst 1 m.
3. Täckningen bör anbringas så långt bakom salvan att den tillåter viss framflyttning av salvan utan att bakre raden blir frilagd från täckning innan den detonerar.

Några föreslagna täckningsförfaranden vid olika typer av sprängning har varit:

Pallsprängning, i omedelbar närhet till byggnader, kraftledningar m m.

Pallhöjd 1-3 m	a) 1 lager stora bildäcksmattor + industrifilt
	b) 2 lager - " -
	c) Bärlara stockmattor + stora bildäcksmattor + ev. industrifilt
	d) små bildäcksmattor + wiremattor
	e) - " - + stålline-ringmattor
Pallhöjd 4-5 m	Små bildäcksmattor + wire eller stålline-ringmattor
" 6-10 m	Stålline-ringmattor + industrifilt
" 1-10 m	Stora bildäcksmattor + industrifilt
" 4-10 m	- " -

Rörgravssprängning, i omedelbar närhet till byggnader, kraftledningar mm.

1. Bärlara stockmattor + små bildäcksmattor + industrifilt
2. " " + stora bildäcksmattor
3. " " + wiremattor eller motsvarande
4. Stockmattor + stora bildäcksmattor + industrifilt
5. Wiremattor + industrifilt

Planberg under 2 m och rörgravar skall inom tätort täckas med tyngdtäckning och splitterskyddande täckning. Tyngdtäckningen skall väga minst 50 kg/m^2 och vara följsam och tillräckligt tät. Mindre enheter skall sammanfogas så att de tillsammans bildar en sammanhängande enhet. Splitterskyddande fördämning kan bestå av ett eller flera nät med minst 2 mm trådtjocklek och högst 50 mm öppningar. Den kan även utföras med industrifilt, presenningar eller likvärdigt.

Sten och skutsprängning i omedelbar närhet till byggnader, kraftledningar mm (gäller enbart borrhålsladdning).

Stenvolym c:a $0.4\text{--}0.5 \text{ m}^3$.

- a) Täckning med industrifilt eller ev. granris + stålline-ringmatta eller motsvarande. Täckningsvikt per sten c:a 50–100 kg
- b) Täckning med små bildäcksmattor med ovanpå liggande industrifilt. Täckningsvikt per sten c:a 100–200 kg

Stenvolym c:a $0.4\text{--}1.5 \text{ m}^3$.

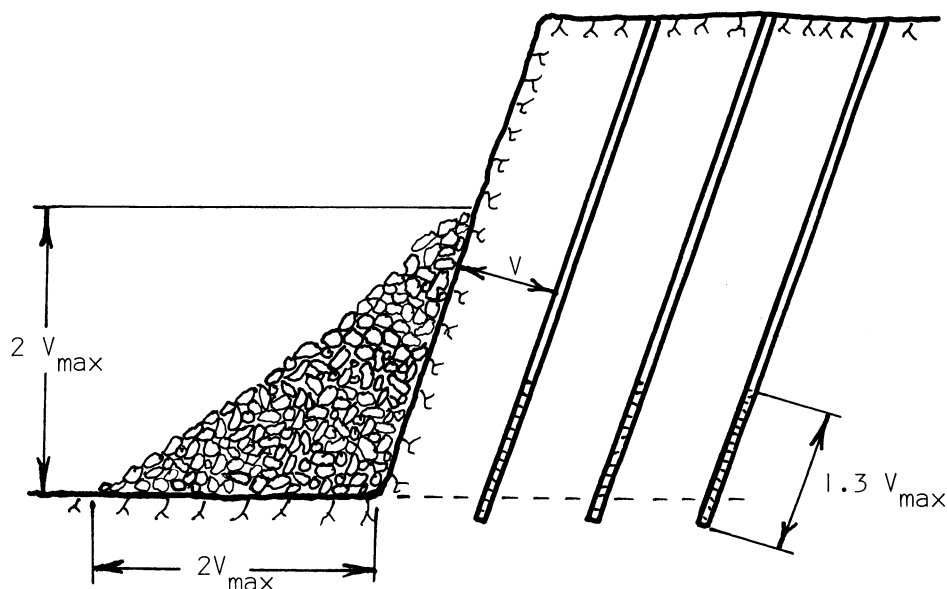
- a) Täckning med industrifilt och stålline-ringmatta eller motsvarande
Täckningsvikt per sten 100–200 kg
- b) Täckning med små bildäcksmattor samt stålline-ringmatta eller motsvarande
Täckningsvikt per sten 200–300 kg

Tunnelmynning.

Vid tunnelmynningar i tätort används med fördel en s.k. "rullgardin" av stock med ett yttre lager av industrifilt. (Haspel upptill).

Vid pall- och rörgravssprängning på längre avstånd från bebyggelse och dyl. är stålline-ringmatta + industrifilt, stängselnät + industrifilt eller liknande täckning godtagbar. Vid uppskjutningar samt där slag, ojämnheter och dylikt kan innebära kastningsrisker bör dock täckning utföras enligt tidigare förslag. Vid produktionssprängningar där fördämning ej tillämpas skall utrymning och bevakning utföras så att risker ej föreligger.

För undvikande av kastning från bottendelen kan kvarvarande berg från föregående salva kvarlämnas i en sådan omfattning att bottenladdningarna väl täcks (se fig.).



Kvarlämnad sprängsten:

Djup = 2 . teoretiska maximala försättningen ($V_{\max.}$)

Höjd = 2 . teoretiska maximala försättningen ($V_{\max.}$)

Bottenladdning kan i detta fall göras lika i första raden som i salvans övriga borrhål, såvida man ej klart kan observera borrhål med mindre försättning.

Som förebyggande åtgärd kan skyddande fördämning användas t.ex. luckor framför fönster, inplankning av träd o.dyl. samt inbyggnad och påläggning av mattor el.dyl. omkring känsliga föremål.

LITTERATUR.

1. Kungl. Arbetarskyddsstyrelsen Anvisningar nr 3 angående skydd
mot yrkesfara vid sprängningsarbete,
punkterna 33 och 97-104.
2. Statens Planverk Svensk Byggnorm - Supplement.
Publikation nr 1 (16).
3. Forsberg, B.,
Gustavsson, B. Samband mellan laddningsmängd,
kastning och styckefall vid pall-
sprängning. -
Examensarbete i ämnet vägbyggnad vid
KTH i Stockholm 1957-58.
4. Langefors, U.,
Kihlström, B. The Modern Technique of Rock
Blasting.-
Wiley, New York 1963.
5. Brännfors, S. Bergsprängningsteknik. -
Svenska Bokförlaget/Bonniers 1964.
6. Edström, H. Redogörelse för prov med täckning
av salva vid öppen sprängning. -
Examensarbete högre kursen för
skyddsingenjörer 1964-65.
7. Bjerkö, A. Synpunkter på täckning (fördämning)
vid sten och bergsprängning. -
Bergsprängningskommittén 1965.
8. Bjerkö, A. Uppsprängning av stolpgropar i berg. -
Bergsprängningskommittén 1970.
9. Eriksson, B.,
Ladegaard-Pedersen, A. Intervjusvar -
Biblioteket, Vinterviken.

NAMNLISTA ÖVER INTERVJUADE PERSONER

Bjerkö, Arthur	Ingenjör	Statens Vattenfallsverk
Bäckman, Folke	"	"
Edstam, Lars	Chefsombudsman	Hansa
Edström, Henry	Skyddsingenjör	Nya Asfalt AB
Ekman, Björn	Ingenjör	Nitro Nobel AB
Eriksson, Stig	Bergsprängare	Schaktmaskiner i Stockholm AB
Gustavsson, Rune	Ingenjör	Nitro Consult AB
Hagerman, Yngve	Avd.direktör	Arbetarskyddsstyrelsen
Helgegård, Lennart	Ingenjör	Stockholms Stads Gatukontor
Jansson, Arne	Ingenjör	Nitro Consult AB
Josefson, Tage	Byråsekreterare	Rikspolisstyrelsen
Knubb, Erik	Bergmästare	Bergmästarämbetet
Larsson, Bernt	Ingenjör	AB Skånska Cementgjuteriet
Lithner, Gösta	Ingenjör	Nitro Nobel AB
Lindholm, Bo	Ingenjör	Skandiakoncernen
Ljung, Bengt	Ingenjör	Nitro Consult AB
Lundberg, Erik	Direktör	Svenska Försäkringsbolagens Riksförbund
Lövström, Ali	Skyddsingenjör	Bygghälsan
Melin, Thure	Ingenjör	AB Skånska Cementgjuteriet
Norrman, Peter	Byrådirektör	Arbetarskyddsstyrelsen
Rost, Anders	Byråingenjör	Televerket
Runwall, Åke	Kapten	Polisen
Sidenwall, Wilhelm	Bergmästare	Bergmästarämbetet
Sprange, Odd	Ingenjör	Statens Vägverk
Svensson, Erhard	Skyddsingenjör	Stockholms Stads Gatukontor