

GRUNDLÄGGANDE BERGSPRÄNGNINGSTEKNIK

Slutrapport, STU 69-334/U222

P.A. Persson och N. Lundborg

DS 1972:14

9.10.1972

Summary

This work has been done as a part of a long-range rock drilling and blasting research program. Investigations have been carried out in the following areas:

- 1/ Strength and fragmentation of rock
- 2/ Detonics and physics of explosives
- 3/ Environmental problems (ground vibration, air shock waves, etc)
- 4/ Field blasting techniques

The work has been aimed at producing fundamental data, both experimentally and theoretically, about the rapid processes in detonation and rock fragmentation, and at applying such data to bring about a rapid technical and economical development of the techniques of excavation.

The work has been carried out in close cooperation with mining and construction companies and the manufacturing industry. The detailed selection of specific projects has been done to solve problems that have occurred or have been anticipated to occur in practical rock blasting.

The results have already been published in about 60 reports and articles in the open literature. The present report gives a summary and references to all of these publications.

Sammanfattning:

Inom projektet "Grundläggande bergsprängningsteknisk forskning" har åren 1969-72 utförts forskningsuppgifter vid Stiftelsen Svensk Detonikforskning med anslagna medel från STU. Undersökningar har därvid utförts inom följande områden.

1. Berghållfasthet och brottmekanismer i spröda material.
2. Detonik och sprängämnesfysik.
3. Miljöfrågor (markvibrationer och buller).
4. Sprängningsmetoder.

Resultaten av arbetet har redovisats i rapporter och artiklar i olika tidskrifter. Föreliggande slutrapport innehåller kortfattat referat och fullständiga referenser till dessa publikationer. Projektet har beviljats fortsatt stöd från STU med diarienummer 71-527/U422.

Inledning

Tekniken att borra och spränga berg står på tröskeln till ett skede då radikalt nya metoder kan förutses komma i bruk världen över. Å ena sidan sker en snabb utveckling av mekaniserade utrustningar för icke-explosiv utgrävning av bergtunnlar (fullortsborrningsaggregat), där man dock tills vidare synes bli begränsad till användning i icke alltför hårda bergarter. Å andra sidan har under senare år framkommit nya sprängmedel och laddmetoder, vilka radikalt kan komma att förändra de ekonomiska förutsättningarna för bergbrytningen, både i gruvor, i anläggningsarbeten och inom mineralhanteringen. Samtidigt har de miljö- och skyddstekniska kraven ökat både externt och internt i förhållande till arbetsplatsen.

Arbetet inom projektet "Grundläggande bergsprängningsteknik" har tagit sikte på framtagning av sådana grunddata rörande de teoretiskt och experimentellt relativt outforskade snabba processerna vid sprängämnens detonation och bergets sönderbrytning som är av avgörande betydelse för snabba framsteg och ett ekonomiskt och samhällsnyttigt exploaterande av de nämnda nya utvecklingslinjerna. Därvid har, genom Stiftelsens nära samarbete med gruvor, anläggningsföretag och den tillverkande industrin, det detaljerade urvalet av deluppgifter till stor del kunnat styras av problem som uppstått eller kunnat förutses inom praktisk bergbrytning.

Resultaten av arbetena har redan redovisats i rapporter och tidskriftsartiklar. Nedan följer en kortfattad sammanställning ämnesvis av utförda arbeten och resultat, i vilken införts litteraturreferenser till samtliga i projektet publicerade rapporter och artiklar.

1. Berghållfasthet och brottmekanismer i spröda material.

Under åren 1969-72 har undersökningar bedrivits för bättre förståelse av bergmaterials komplicerade hållfasthet.

Den hittills oförklarliga variationen i hållfasthet med mellersta huvudspänningen /11/ har med en ny teori lösts på ett tillfredsställande sätt. /46,48,49/. Teorin bygger på en statistisk variation i hållfastheten för olika rymdvinklar, och liknar i stort den av Weibull för metaller angivna statistiska teorin för draghållfasthet.

Mellanläggets inverkan vid enaxlig tryckhållfasthet har studerats /54/, varvid man fann att papp är det bästa mellanlägget. En ny materialegenskap "brottsegghet" har på senare tid börjat användas för att karaktärisera bergmaterials hållfasthet. Undersökningar för att bestämma denna har utförts för plexiglas /41/ samt granit och kalksten /48,55/. Dessa data har använts för teoretiska beräkningar av sprickutbredningen vid sprängning i borrhål /23,24,25,30,38,53,56/. Jämförelse med experimentella resultat i granit har därvid givit god överensstämmelse /31/.

Modellsprängningar har utförts och förloppet studerats med hjälp av Stiftelsens höghastighetskamera /9,29/. Cambridgeuniversitetets Beckman Whitley kamera /42/ samt övriga hjälpmedel /27/.

Undersökningarna har givit bidrag till förståelsen av sönderbrytningsmekanismen vid sprängning /8,28/.

2. Detonik och sprängämnesfysik.

Nya utvecklingslinjer inom sprängämnestekniken, där nitroglycerinsprängämnena successivt kompletteras med andra, ännu mera lätthanterliga sprängämnen, har medfört ökade krav på kunskaper om initierings- och detonationsprocessens natur. Härvid har betydande framsteg gjorts inom projektets ram. Med användning av en unik fotomultiplikatorteknik har tidsförloppet och de termiska förhållandena vid initiering av flytande sprängämnen kartlagts /2,7,10,22/. En ny teknik att studera instabilitetsfenomen i flytande sprängämnenas detonation genom stillbildsfotografering har utvecklats och väsentligen bidragit till en ny teori för instabil detonationsfortplantning /26,58/. Stiftelsen har i detta sammanhang stått som värd för en rysk gästforskare, professor A.N. Dremin, som under en månad arbetat på Vinterviken, och vars bok "Detonic waves in condensed media"* genom Stiftelsens försorg har översatts från ryska till engelska.

* A.N. Dremin, S.D. Savrov, V.S. Trofimov, K.K. Shvedov
"Detonatsionnye volny v kondensirovannykh sredakh." "Nauka" Moskva 1970.

Mätningar av detonationstryck i fasta /1/ och flytande sprängämnen /59/ har utförts för att ytterligare klarlägga förhållandena, och de vunna erfarenheterna har successivt tillämpats vid skyddstekniska bedömningar /4,18,37/.

Vid beräkning av förväntade resultat vid bergsprängning, både i fråga om den önskade närverkan i form av sönderbrytning av berg och i fråga om den icke alltid önskvärda avståndsverkan i form av markvibrationer och buller är det nödvändigt att i detalj känna till hur olika sprängämnens energi frigörs och överförs till omgivningen. En metod för uppskattning av ett sprängämnes nyttiga arbete vid sprängning har utarbetats /6,57/, där skjutning sker under vatten, och där stötvågens energi och impuls samt vattenbubblans energi kan beräknas.

Vattenbubblans energi kan därvid användas som ett mått på det nyttiga arbete som kan fås ur sprängämnet vid bergsprängning. Det är här intressant att nämna att hög och låg detonationshastighet ger i stort samma nyttiga energi, vilket överensstämmer med tidigare erfarenhet vid bergsprängning.

3. Miljöfrågor.

De icke önskvärda effekterna av sprängningsarbeten, buller, markskakningar, luftföroreningar m.m., kan orsaka skador på byggnader och material och verka irriterande på de kringboende.

Omfattande studier och arbeten på mätning av tryckvågor från sprängningar har utförts /5,13,14,15,19,21,33/ och åtgärder för begränsning av störningarna har provats /39,52/. Markvibrationernas beroende av laddningsvikt och avstånd har studerats /45/ och orsaker till sprängning av borrhål vid uppvärmning har undersökts /3/.

4. Sprängningsmetoder.

I den industriella driften ställs ständigt krav på förbättrade metoder och ökad effektivitet. Stiftelsen Svensk Detonikforskning har följt arbeten vid ett flertal större arbetsplatser. Genom ett intimt samarbete har Stiftelsen därvid haft möjlighet att i stor skala pröva sina ideer och resultat erhålla i laboratorieskala. Ett exempel på detta är den av Stiftelsen utarbetade tekniken för gleshålssprängning, som ger bättre styckefall än tidigare använd teknik och som nu används på allt fler arbetsplatser i Sverige. Tekniken har även rönt stort intresse utomlands. /12,16,20,32,34,50/.

Dataprogram för tunnelsprängning /17/ och pallsprängning /35,36/ har utarbetats, vilket gör det möjligt att enkelt och snabbt beräkna olika alternativ.

Kostnadsberäkningar för olika alternativ har utförts /47,51/.

RAPPORTER OCH PUBLIKATIONER SOM REDOVISAR RESULTAT AV UNDERSÖKNINGEN.

1968

1. A. Persson and P.A. Persson
"Measurements of Detonation Pressures in Condensed Explosives at Low and High Initial Densities"
Proc. I.U.T.A.M. Symp. Paris, Gordon and Breach, N.Y. (1968).

1969

2. P.A. Persson och T. Sjölin
"Bestämning av kritiska diametern hos nitroglycerinstrålar"
DL 1969:5.
3. N. Lundborg, G. Granström och L-Å Almgren
"Oavsiktlig sprängning av borrstänger"
DL 1969:22.
4. C.H. Johansson
"P.M. rörande provning av sekundärsprängämnen med hänsyn till säkerheten vid deras hantering"
DL 1969:31.
5. A. Persson
"Registrering av tryckvågor från undervattensladdningar"
DS 1969:34.
6. N. Lundborg
"Beräkning av bubbelenergin vid sprängning i vatten där väggarna inverkar på resultatet"
DS 1969:37
7. P.A. Persson and T. Sjölin
"Light Emission during Initiation of Liquid Explosives"
DS 1969:42.

1970

8. P.A. Persson, N. Lundborg et C.H. Johansson
"Les Mechanismes de Base Dans Le Sautage Des Roches"
Explosifs N° 1 et 2 (1970).
9. A. Persson
"High-Speed Photography of Scale-Model Rock Blasting"
Preprint from 9th Int. Congress on High-Speed Photography, Denver, Colorado (1970).
10. P.A. Persson and T. Sjölin
"Light Emission During Shock Initiation of Liquid Explosives"
Second Symp. on Chemical Problems Connected with the Stability and Explosives, Tyringe, Sweden, May 25-27, (1970).

11. P.A. Persson och N. Lundborg
"Hållfasthet hos bergmaterial vid treaxlig belastning"
DS 1970:4. (IVA-rapport nr 29, 1970).
12. A. Ladegaard-Pedersen
"Anteckningar från besök vid AB Skånska Cementgjuteriets kontor i Kalmar, samt förslag till sprängningar enl. gleshålsmetoden"
DS 1970:5.
13. L. Sternhoff
"Barograf för mätning av stötvågor i luft"
DS 1970:10.
14. N. Lundborg
"Något om luftstötvågor, ljudbangar och buller"
DS 1970:11.
15. A. Persson
"Provning av Barograf för registrering av luftstötvågor"
DS 1970:12.
16. P.A. Persson och A. Ladegaard-Pedersen
"Fullskaleförsök med gleshålssprängning"
DS 1970:14.
17. F. Ouchterlony
"Dataprogram för borrar- och laddplaner vid tunneldrivning med parallellhålskil"
DS 1970:20.
18. P.A. Persson
"Några synpunkter på initiering och detonation av kondenserade sprängämnen"
DS 1970:22.
19. A. Persson
"Mätning av luftstötvågor och markskakning i samband med skutsprängning och storsalva i dagbrottet vid Aitik den 24 och 25 april 1970"
DS 1970:23.
20. G. Persson och A. Ladegaard-Pedersen
"Sammanställning av salvdata och mätvärden från gleshålssprängningar vid Västerbottens grusförädling AB, Umeå för perioden 13/2 till 16/6 1970."
DS 1970:29.
21. A. Persson
"Luftstötvågsmätningar i omgivningarna av Nitro Metalls skjutplats vid Nyberget"
DS 1970:30.
22. P.A. Persson och T. Sjölin
"Light Emission During Shock Initiation of Liquid Explosives"
DS 1970:32.
23. F. Ouchterlony
"Brottmekanik och sprickor i berg"
DS 1970:48.
24. F. Ouchterlony
"Uppskattning av sprickutbredningen kring ett borrhål"
DS 1970:49.

25. F. Ouchterlony
"Betydelsen av gasens fördelning i en plan spricka"
DS 1970:50.
26. P.A. Persson and G. Bjarnholt
"A Photographic Technique for Mapping Failure Waves and Other
Instability Phenomena in Liquid Explosives Detonation"
DS 1970:51.

1971

27. J.E. Field and A. Ladegaard-Pedersen
"The Importance of the Reflected Stress Wave in Rock Blasting"
Int. J. Rock. Mech. Min. Sci., 8 (1971).
28. P.A. Persson, N. Lundborg and C.H. Johansson
"The basic mechanisms in rock blasting"
Revue de l'Industrie Minérale-Mines (1971).
29. A. Ladegaard-Pedersen och P.A. Persson
"Fotografisk studie av sprickutbredning och spänningstillstånd
kring en detonerande laddning i modellmaterial"
IVA-rapport 38 (1971).
30. F. Ouchterlony
"Spricklängdens variation med håldiametern vid sprängning med
konstant sprängämnesmängd i kg/m"
DS 1971:3.
31. F. Ouchterlony
"Beräkning av spricklängdens variation med håldiametern vid
konstant sprängämnesmängd per meter"
DS 1971:4. (IVA-rapport nr 38, 1971).
32. A. Ladegaard-Pedersen
"Gleshålssprängning vid Boliden AB"
DS 1971:8.
33. A. Persson och L-Å Almgren
"Ljudtryckvågors utbredning vid detonation av laddningar på
marken och dess störande inverkan på människor och bebyggelse"
DS 1971:9.
34. A. Ladegaard-Pedersen och G. Lithner
"Förslag till sprängningar enligt gleshålsmetoden vid
vertikalpallar i Laisvall"
DS 1971:12.
35. N. Lundborg
"Laddningsberäkning vid pallsprängning"
DS 1971:13.
36. N. Lundborg
"Dataprogram för laddningsberäkning vid pallsprängning"
DS 1971:18.

37. C.H. Johansson
"Porositetens inverkan på gastrycket vid förbränning av ett sprängämne i en sluten kammare"
DS 1971:20.
38. F. Ouchterlony
"Spänningstillståndet kring en helt eller delvis gasfylld plan spricka som ligger längs en fri yta"
DS 1971:22.
39. A. Persson och L-Å Almgren
"Försök att mäta dämpningen av luftstöt vågen från en laddning som omges av olika material med varierande tjocklek"
DS 1971:24.
40. P.A. Persson och G. Bjarnholt
"Studie av primärsprängämneshen elektrisk sprängkapsel"
DS 1971:25.
41. N. Lundborg och M. Masuda
"Bestämning av brottseghet hos plexiglas"
DS 1971:26.
42. J.E. Field and A. Ladegaard-Pedersen
"Fragmentation Processes in Rock Blasting"
DS 1971:27.
43. T. Sjölin
"Sprängkapslar utan Blyacid"
DS 1971:28.
44. P.A. Persson and G. Bjarnholt
"Study of an Electric Detonator Without Primary Explosives"
DS 1971:34.
45. N. Lundborg
"Markvibrationernas beroende av laddningsvikt och avstånd i gruvdistriktet i Neapel-området, Italien. DS 1971:39.
46. N. Lundborg
"A Statistical Theory of the Polyaxial Compressive Strength of Materials"
DS 1971:44.
47. P.A. Persson
"How Explosive can Shave Costs - and yet seem expensive"
DS 1971:53.

1972

48. N. Lundborg
"Strength of Rock-Like Materials"
Avhandling, Almqvist & Wiksell, Stockholm (1972).
49. N. Lundborg
"A Statistical Theory of the Polyaxial Compressive Strength of Materials"
Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. 9 (1972).

50. A. Ladegaard-Pedersen
"Förslag till utsprängning av gråberg enligt gleshålsmetoden
vid Svappavaara statsgruvefält"
DS 1972:1.
51. P.A. Persson
"Hur ett sprängämne kan förbilliga gruvdriften och ändå verka dyrt"
DS 1972:2.
52. A. Persson och L-Å Almgren
"Fortsatta försök att mäta dämpningen av luftstöt vågen från en
laddning som omges av olika material med varierande tjocklek"
DS 1972:3.
53. F. Ouchterlony
"Diskussion om sprickutbredning för en plan spricka i ett sprött
material under inverkan av ett inre gastryck"
DS 1972:4.
54. N. Lundborg
"Mellanläggets inverkan vid tryckhållfasthetsprov"
DS 1972:5.
55. N. Lundborg och L-Å Almgren
"Bestämning av brottseghet hos bergmaterial"
DS 1972:6.
56. F. Ouchterlony
"Om en slutningseffekt som uppträder för cirkelbågsprickan och
sprickutbredningsriktningen vid pallsprängning"
DS 1972:7.
57. G. Bjarnholt
"Bestämning av sprängämnens prestanda genom undervattenssprängning"
DS 1972:9.
58. P.A. Persson and G. Bjarnholt
"A Photographic Technique for Mapping Failure Waves and Other
Instability Phenomena in Liquid Explosives Detonation" -
Proc. 5th Symp. on Detonation, Pasadena (1970) in print.
59. P.A. Persson
"Detonation pressures in some homogeneous explosives"
2nd Symposium on "Gasdynamics of Explosions and Reactive Systems",
Novosibirsk, 1969.