© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

MINSKAT ÖVERBERG MED SKONSAM KONTURSPRÄNGNING

Ragnar Carlson, Chefsingenjör, Nitro Consult AB,
Göteborg

Skonsam konturspräng̈ning

Skonsam konturspräng̈ning är inget nytt. I Bergspräng̈ningskommitténs möte 1979 presenterade Conny Sjöberg ett föredrag om "sprickutbredningszoner kring smala borrhålsladdningar". Det då presenterade forskningsprojektet visade att skadezonen från spräng̈ning var stor - större än man väntat sig - och att den ofta bestäms av hålraderna innanför konturen.

Under 1980-talet har många spräng̈ningar utförts med skonsam konturspräng̈ning samtidigt som olika föredragshållare här i Bergspräng̈ningskommittén och på andra håll tillfört oss mer och mer information inom detta arbetsområde.

Det som är nytt i detta föredrag är ett praktiskt exempel som klart visar sambandet mellan olika grad av skonsam konturspräng̈ning och mängden överberg eller den bergkontur som erhålles.

Beskrivning_och_definition_av_skonsam_konturspräng̈ning

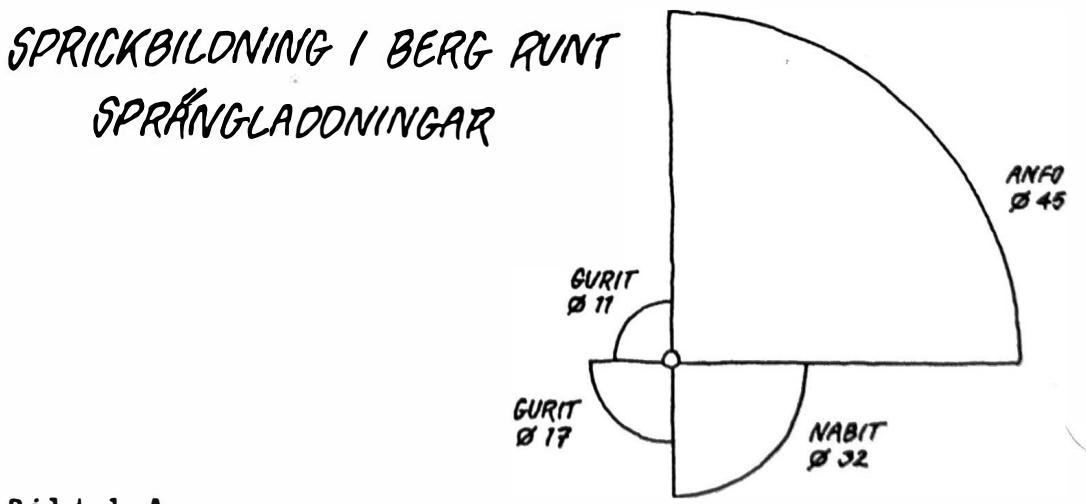


Bild 1 A

Vi vet idag att sprickbildning uppstår i berget runt ett spränghål. Vi vet också att bl.a. olika laddningskoncentration och olika borrhålstryck från det detonerande spräng̈ämnet ger upphov till sprickbildning/skador till olika avstånd från hålet (bild 1A).

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

SPRICKBILDNING VID "SLÄTSPRÄNGNING"

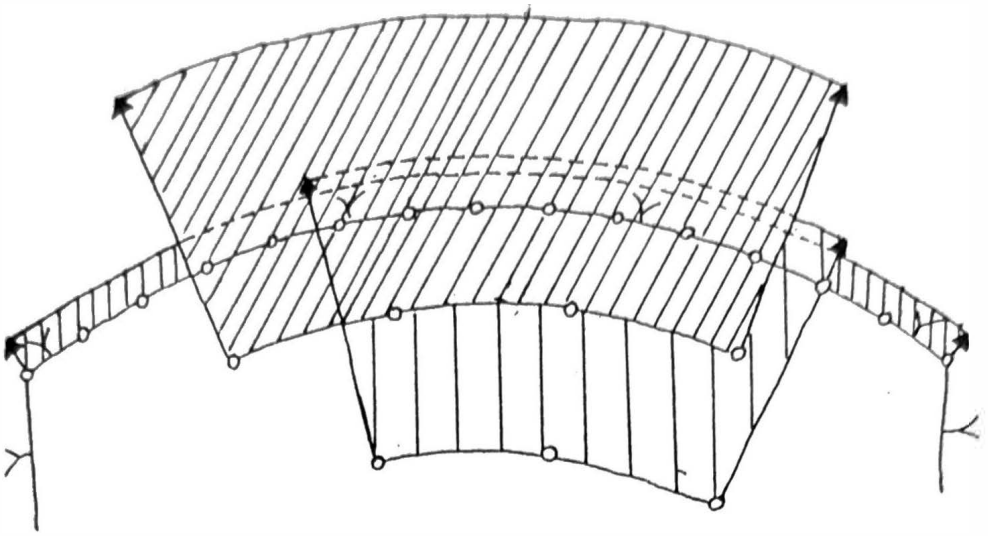


Bild 1 B
Den "gamla" slätsprängningsmetoden, där ingen begränsning av laddningskoncentrationen gjordes i hålen innanför konturraden gav sprickbildning i kvarstående berg utanför - ibland långt utanför - den skadezon som orsakades av konturraden (bild 1B).

SPRICKBILDNING / SKADEZON VID SKONSAM KONTURSPRÄNGNING

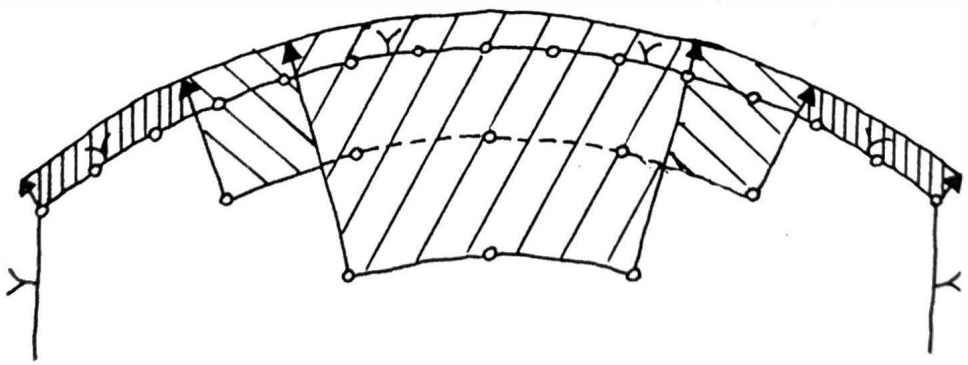


Bild 1 C
Med skonsam konturspräng**ning** avses här en kontursprängning så utförd att skadezonen från alla hål innanför konturraden ej blir större än den skadezon som bildas från konturraden (bild 1C). Av ovanstående framgår att olika skadezonsdjup kan väljas beroende på valet av sprängämne och laddningskoncentration i konturraden.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Skadezonsdjupet från ett och samma sprängämne varierar förutom p.g.a. laddningskoncentrationen även med bergets geologi och tektonik.

Jämför även med definitionen i AMA 83: **Skonsam sprängning** = "Bergsprängning med avsikt att undvika skador på kvarvarande berg; vilket i sin tur bör jämföras med definitionen av Försiktig sprängning".

Försiktig sprängning = "Bergsprängning med restriktion för undvikande av skada på byggnad, anläggning o.d. genom luftstötvåg, stenkast eller markvibrationer".

En uppfattning om skadezonens djup från olika sprängämne har framtagits med ledning av forskningsprojektet från Göteborg och visas i nedanstående tabell (bild 2).

SANNOLIK SKADEZON FÖR VARA VANLIGA SPRÄNGÄMNEN

SPRÄNGÄMNESSORT OCH DIMENSION	LADDNINGSKONC. I KG/M DxB	SKADEZONENS DJUP I METER
GURITRÖR Ø 11 MM	0,08	0,1
" " 17 MM	0,18	0,3
NABITRÖR " 22 MM	0,38	0,6
" " 25 MM	0,52	0,9
" " 29 MM	0,68	1,2
" " 32 MM	0,85	1,5
" " 40 MM	1,25	2,4
DYNAMEX B " 25 MM	0,68	1,2
" " 29 MM	0,92	1,7
" " 32 MM	1,12	2,1
" " 40 MM	1,60	3,3
PRILLIT A " 35 MM	0,76	1,4
" " 38 MM	0,89	1,7
" " 41 MM	1,05	2,0
" " 45 MM	1,26	2,4
" " 48 MM	1,43	2,8

Bild 2

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Praktiskt exempel på skonsam kontursprängning

Allmänt

Vid Fjellinjenprojektet i Oslo sprängdes en drygt 30 meter lång del av huvudtunneln, som på denna sträcka är c:a 122 m^2, med uppdelning på pilottunnel 25 m^2 samt vägg- och bottenstrossar.

Några kontursprängningskrav på själva pilottunneln fanns inte i kontraktshandlingarna. För takdelen av pilottunneln som utgjorde tak även i huvudtunneln föreskrev handlingarna en "traditionell" slätsprängning utan krav på laddningarna i innanförliggande hål. Vägg- och botten i pilottunneln vilka sprängs bort i den fortsatta strossningen hade inga laddningsrestriktioner.

Pilottunnelns utformning liksom salvindelningen framgår av bild 3.

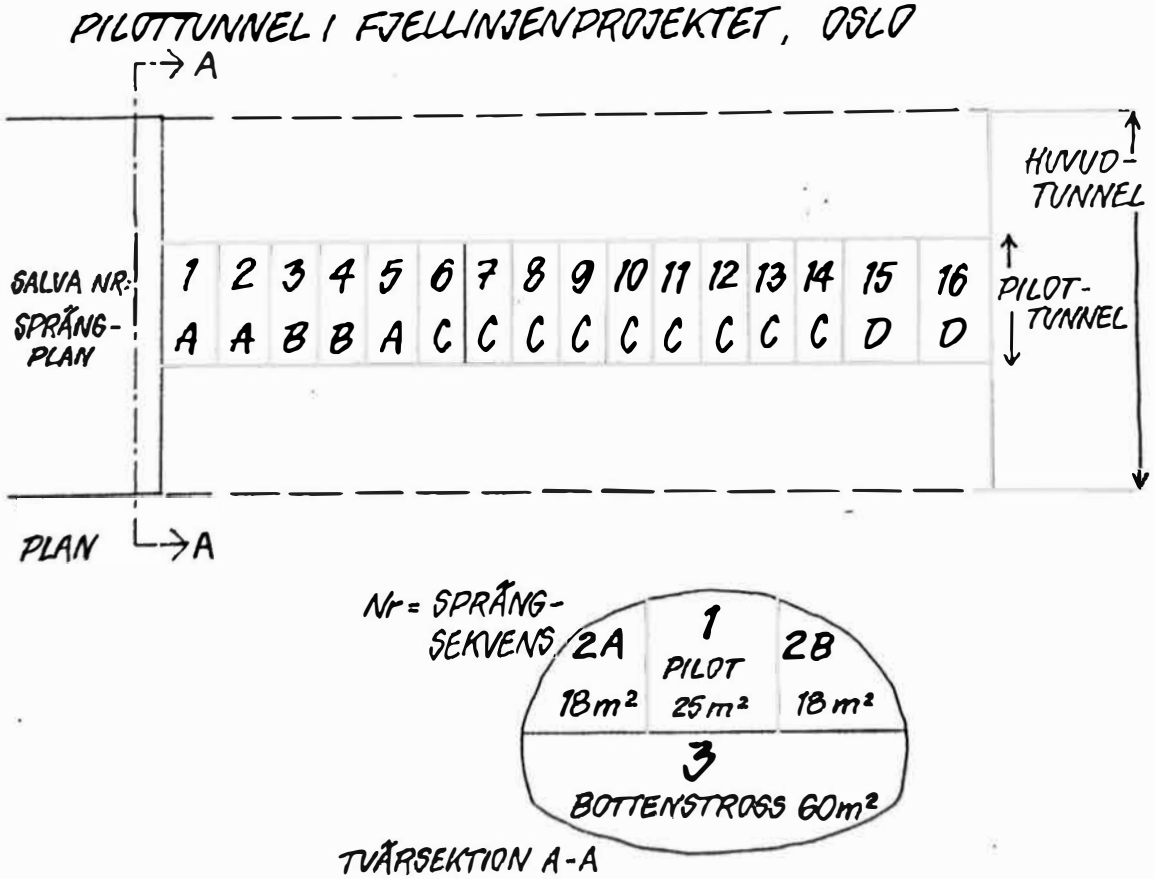


Bild 3

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Geologi

Tunneln gick i detta område genom en förkastningszon som delar två helt skilda geologiska formationer. I väst består berget i huvudsak av skifferbergarter medan det i öst finns ett betydligt äldre "urberg". Mellan de yngre och de äldre bergarterna finns en krosszon som bl.a. består av lerblandad alunskiffer. Drivningen med pilottunnel och stross användes för att passera krosszonen i det första av de två vägtunnelrören.

Utförande

Drivningen av pilottunneln startade med några salvor - 2 st av typ A utförda endast med "slätsprängning" av takdelen. Mera detaljerade uppgifter om sprängningen och de olika skonsamhetsgraderna ges under avsnittet "sprängningsmetoder".

Överbergsmängden visade sig bli mycket stor varför det beslutades om att utföra en något skonsammare sprängning av främst pilottunnelns väggar även om dessa inte ingick i den slutliga konturen.

Av den förändrade sprängningstypen (typ B) sprängdes 3 salvor. Resultatet var både nedslående och uppmuntrande. Nedslående genom att det fortfarande blev mycket överberg - betydligt mer än önskvärt med hänsyn till den låga bergtäckningen. Uppmuntrande därför att överbergsmängden minskade i jämförelse med sprängningen efter typ A-planen.

Med ledning av det uppmuntrande resultatet beslöts att spränga efter en ännu skonsammare plan - (typ C). Resultatet blev en markant skillnad. Av denna sprängningstyp sprängdes därför huvudparten av de återstående salvorna. 8 st typ C-salvor sprängdes.

I den sista delen av pilottunneln ökades borrdjupet i salvorna från 1.90 meter till 3.00 meter. Härvid ändrades laddningsplanen så att en mera skonsam sprängning av konturen i väggar och tak erhölls (typ D). Resultatet av detta blev att trots ökat salvdjup med större laddning/hål samt att sista salvan var en genomslagssalva erhölls lite överberg och en god konturhållning.

Sprängningsmetoder

I tabellen bild 4 redovisas data om de olika typerna av sprängning liksom de resultat i form av konturhållning/ minskad överbergsvolym som erhölls.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

PILOTTUNNELSPRÄNGNING TEORETISK AREA 25 m^2

Sprängningsdata					Överbergsvolym			
nr	typ	i m	i m	st	m^3/m^1 *)	m^3/m^1		i m
Salva	Sprängplan	Skadezonsdjup beräknat	Borrdjup	Antal borrhål	för salvan	medelvärde för sprängplanstyp	Förhållande överberg/teor.area	Konturavvikelse i väggar och tak medeltal
1	A	2.40	2.10	51	28.21			
2	A	2.40	2.10	51	15.62	3 st A=18.55	74%	1.24
3	B	1.80	1.90	63	20.03			
4	B	1.80	1.90	63	16.02	3 st B=14.82	59%	0.99
5	A	2.40	2.10	51	11.82			
6	B	1.80	1.90	63	8.41			
7	C	1.10	1.90	76	9.22			
8	C	1.10	1.90	76	8.57			
9	C	1.10	1.90	76	8.47			
10	C	1.10	1.90	76	6.64	8 st C= 6.72	27%	0.45
11	C	1.10	1.90	76	5.89			
12	C	1.10	1.90	76	5.19			
13	C	1.10	1.90	76	5.31			
14	C	1.10	1.90	76	4.49			
15	D	0.60	3.00	76	5.47	2 st D= 6.19	25%	0.41
16	D	0.60	3.00	76	6.91			

*) OBS! Uppmätta profiler är tagna på insidan av sprutbetongen som i pilottunnels tak hade en nominell tjocklek av 20 cm. (sprutbetongvolymen är medräknad som överberg)

Bild 4

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Totalt sprängdes 16 st pilottunnelsalvor med teoretisk area 25 m^2.

3 st	salvor av typ	A	med ett beräknat skadezonsdjup av	2,4 m
3 st	-"-	B	-"-	1,8 m
8 st	-"-	C	-"-	1,1 m
2 st	-"-	D	-"-	0,6 m

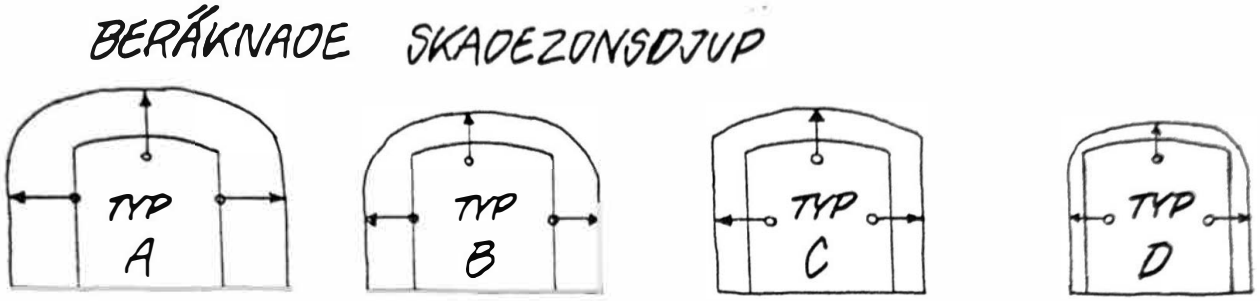


Bild 5

I bild 5 visas en skalenlig skiss av de beräknade skadezonsdjup som ligger till grund för ovanstående redovisning och analys. På bilden visas också vilka hålrader som dimensionerar skadezonerna.

Skadezonsdjupen har framräknats med användande av de värden som erhölls vid forskningsprojektet i Göteborg och som redovisats tidigare på bild 2.

Borrdjupet var normalt c:a 2 meter utom för typ D-salvorna där borrdjupet var 3,0 meter.

Antalet borrhål varierade mellan 51 till 76 stycken.

Resultat konturhållning - överbergsmängd

Av tabellen ovan framgår vidare att mängden överberg varierade kraftigt såväl för de enstaka salvorna som för de olika sprängningstyperna.

Framtagna medelvärden för de fyra olika skonsamma sprängningtyperna erhålles och redovisas i tabellen på bild 4. Överbergsmängden redovisas i m^3/m^2 tunnel (= m^2) liksom i % av den teoretiska arean (25 m^2). I tabellen är dessutom överbergsvolymen uträknad som en avvikelse mellan teor. profil och verkligt erhållen profil i väggar och tak angiven i meter. Golvet är ej medtaget i denna jämförelse.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

De framtagna medelvärdena i tabellen visar att överbergsmängden som medeltal för de 4 olika typerna minskats, till omkring 1/3 vid förändrad sprängning efter sprängplan A till plan D. 18,55 m^2 till 6,19 m^2 eller från 74 % till 25 %. För de enstaka salvorna är skillnaden större, som mest från 28,21 m^2 till 4,49 m^2 respektive från 112 % till 18 %.

En intressant jämförelse som dock gäller endast för sprängningen av denna pilotort är att den genomsnittligt erhållna överbergsarean (-volymen) är omkring 50 % av den beräknade skadezonens area. För de enskilda sprängningstyperna varierar värdet mellan 40 och 70 %.

Samtliga uppmätningar av profiler (1 profil/salva) har utförts med datorstyrd laseruppmätning.

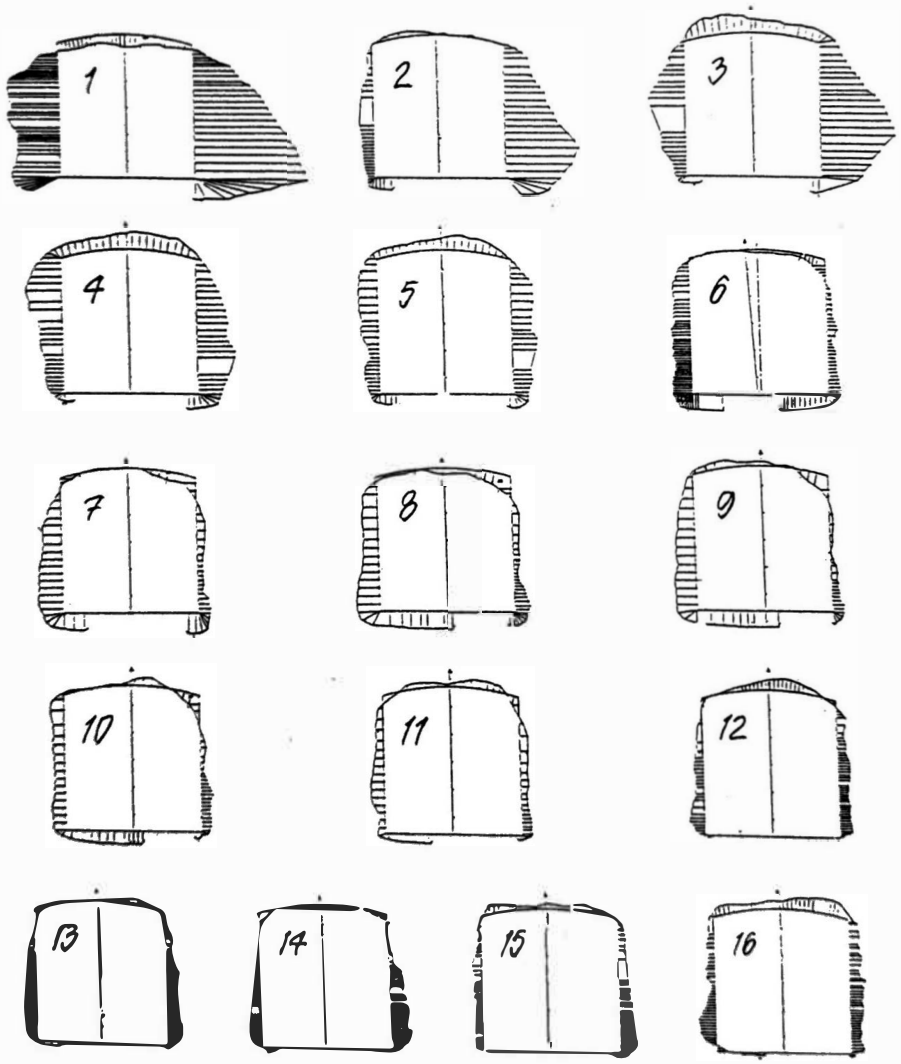


Bild 6

I bild 6 visas ett kraftigt förminskat kopieringsmontage innehållande profilerna för samtliga 16 pilotsalvor. Även denna bild visar den stora minskningen av överbergsvolymen som den skonsammare kontursprängningen ledde till. Nummren på bilderna avser salvnummren (jämför bild 4).

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

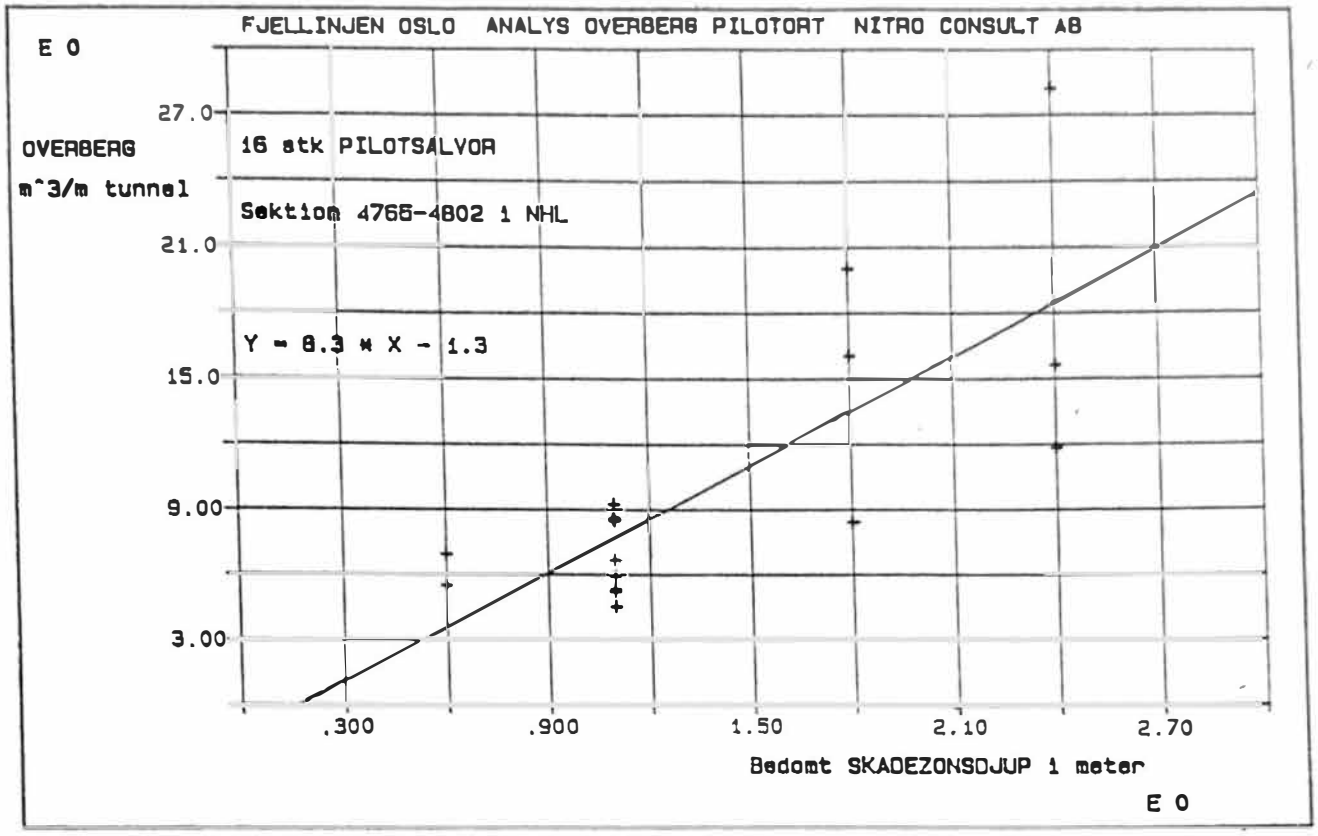


Bild 7

I diagrammet på bild 7 visas sambandet mellan erhållen överbergsvolym och olika grad av skonsam kontursprängning mätt som "bedömt skadezonsdjup i meter" som resultat av en utförd regressionsanalys.

Den framräknade regressionslinjen visar ett mycket klart och tydligt samband mellan kontursprängningsmetodiken och överbergsvolymen.

En för Sverige intressant jämförelse är att om 17 mm Gurit använts i såväl väggar som tak (vilket ju är mycket vanligt i Sverige) och sprängningen av innanförliggande hål hade anpassats till 17 mm-Guritens skadezon på 0,30 meter hade en bättre konturhållning med ändå mindre överberg erhållits.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Fastställande/bedömning av skadezonsdjup

I BK-redovisningen 1979 påvisades sambandet mellan markvibrationens svängningshastighet och bildandet av registrerbara nya microsprickor i kvarstående berg, då 680 mm/s.

Under tiden från 1979 tills nu har många olika formler för beräkning av vibrationsöverföring från sprängning till omgivning använts. Olika formler för att bedömma skadeutbredning och definiera skadezon har också använts.
Olikheterna visar att vi idag inte har något enhetligt sätt att definiera och fastställa olika sprängämnens effekt när det gäller skapandet av skador/sprickor i omgivande berg. Vi har heller inte någon enhetlig mätmetod eller bestämningsgräns när det gäller hur stora sprickor som skall betraktas ingå i benämningen skadezon.

Oklarheterna enligt ovan innebär att vi idag måste vid varje tillfälle definiera vad vi menar med skonsam sprängning. Vi får beskriva arbetsmetoderna eftersom vi inte på ett klart och entydigt sätt kan sätta upp resultatkrav.

Projektering och styrning av skonsam konturssprängning

Det redovisade exemplet på skonsam konturssprängning visar att det finns mycket att vinna. Jag vill därför ge några synpunkter på hur vi i Nitro Consult arbetar när vi projekterar, planerar, utför och följer upp en skonsam konturssprängning.

För att uppnå en god styrning av arbetsutförandet bör följande beaktas:

* val av lämplig sprängmetod
* val av skadezonsdjup
* detaljerad borrplan - alla hål
  - utmärkning
  - ansättning för rätt
  - inriktning
  - försättning
  - hålavstånd
  - håldjup
  - inspänning
* laddplan
  - sprängämne
  - laddningskoncentration mm
* tändplan
  - tändartyp
  - tändspridning
  - intervalltider
  - utslagsmöjligheter
* uppföljning - kontroll
* vid behov revidering

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Sammanfattning

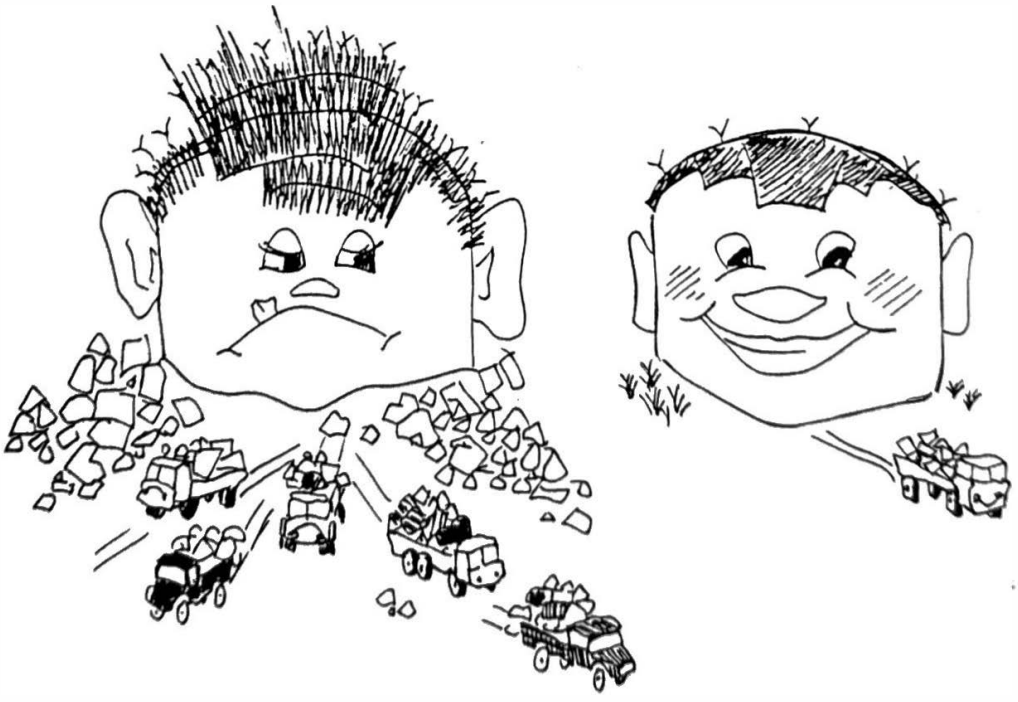
I det redovisade praktiska exemplet från pilottunneldrivningen på Fjellinjen har vi sett

* att överbergsmängden kan minskas genom användandet av skonsam kontursprängning.

* att mängden överberg står i direkt proportion till graden av skonsamhet. Skonsamhetsgraden har i denna analys och redovisning definierats med ledning av Conny Sjöbergs undersökning av skadeutbredningszoner redovisad i Bergsprängningskommittén 1979.

Som resultat av minskat överberg och bättre konturhållning erhålles också:

* ett bättre tekniskt utförande av bergschakter såväl ovan som under jord.

* möjligheten till en ekonomisk optimering av totalkostnaden för sprängningsprojekt såväl när det gäller investeringskostnad som förstärknings- och underhållskostnader.

* till sist men inte minst viktigt - erhålles en väsentligt ökad säkerhet för såväl sprängnings- och anläggningspersonal som för personal, anläggningar och utrustning som kommer att finnas i projekten under dess användningstid.