

BERÄKNING AV SPRICKLÄNGDENS VARIATION
MED HÅLDIAMETERN VID KONSTANT SPRÄNG-
ÄMNESMÄNGD PER METER.

Finn Ouchterlony

DS 1971:4

10.2.1971

STIFTELSEN
SVENSK DETONIKFORSKNING
SWEDISH DETONIC RESEARCH FOUNDATION

VINTERVIKEN — 117 48 STOCKHOLM
SWEDEN

BERÄKNING AV SPRICKLÄNGDENS VARIATION
MED HÅLDIAMETERN VID KONSTANT SPRÄNG-
ÄMNESMÄNGD PER METER.

Finn Ouchterlony

DS 1971:4

10.2.1971

Detta är det skriftliga bidrag som låg till grund för föredraget på IVA:s bergmekaniska diskussionsmöte den 12 februari 1971.

Sammanfattning

I denna framställning används en modell för sprickutbredningen kring ett borrhål som har sitt **ursprung** i den linjära brottmekaniken. Gränsen för sprickutbredningen bestäms av energibalansen i sprickspetsen. Genom att använda en lämplig form av gaslag för spränggasernas expansion kan den beräknas. Erhållna värden på spricklängden som funktion av borrhålsdiametern jämförs med resultat från provsprängningar i Misterhult. Under förutsättning att spränggaserna antas stanna närmast borrhålet blir överensstämmelsen god. Den använda modellen ger en förklaring till för-sättningens variation med borrhålsdiametern vid pallsprängning med fri botten och konstant laddningsdiameter i homogent berg. Den maximala för-sättningens storlek beror dels på bergets stötvågs- och deformationsegenskaper som bestämmer spränggasernas initialförluster dels på brottsegheten som bestämmer spricklängden. För bergartsklassificering vore det alltså värdefullt att bestämma brottsegheten för olika bergarter.

BERÄKNING AV SPRICKLÄNGDENS VARIATION MED HÅLDIAMETERN VID KONSTANT
SPRÄNGÄMNESMÄNGD PER METER.

Finn Ouchterlony

Stiftelsen Svensk Detonikforskning, Stockholm

Sammanfattning

I denna framställning används en modell för sprickutbredningen kring ett borrhål som har sitt ursprung i den linjära brottmekaniken. Gränsen för sprickutbredningen bestäms av energibalansen i sprickspetsen. Genom att använda en lämplig form av gaslag för spränggasernas expansion kan den beräknas. Erhållna värden på spricklängden som funktion av borrhålsdiametern jämförs med resultat från provsprängningar i Misterhult. Under förutsättning att spränggaserna antas stanna närmast borrhålet blir överensstämmelsen god. Den använda modellen ger en förklaring till för-sättnings variation med borrhålsdiametern vid pallsprängning med fri botten och konstant laddningsdiameter i homogent berg. Den maximala för-sättnings storlek beror dels på bergets stötvågs- och deformations-egenskaper som bestämmer spränggasernas initialförluster dels på brott-segheten som bestämmer spricklängden. För bergartsklassificering vore det alltså värdefullt att bestämma brottsegheten för olika bergarter.

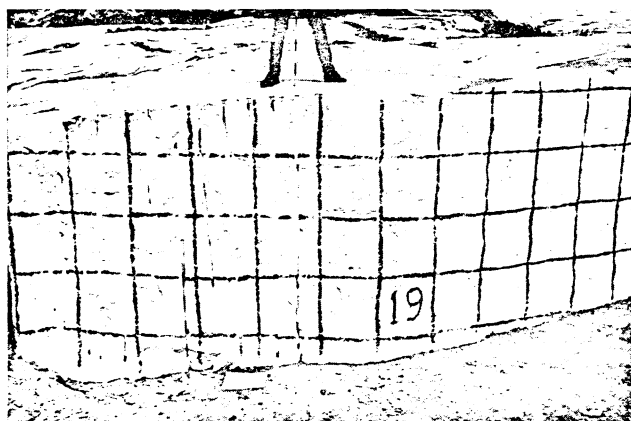
BERÄKNING AV SPRICKLÄNGDENS VARIATION MED HÅLDIAMETERN VID KONSTANT SPRÄNGÄMNESMÄNGD PER METER.

Inledning

För att man skall kunna utföra sprängningsarbeten på bästa sätt från både ekonomisk och säkerhetssynpunkt krävs ingående kunskaper om sprängningsförloppet. Detta bidrag avser att belysa sprickfortplantningsfasen.

Provsprängningarna i Misterhult

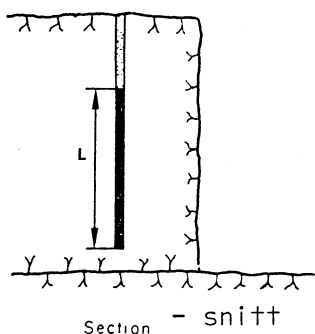
Vid de provsprängningar som utfördes i homogen granit i Misterhult 1967 av P.A. Persson, A. Ladegaard-Pedersen och B. Kihlström /1-2/ med en utbredd laddning av 11 mm:s diameterien pall med fri botten, se fig. 1, befanns den kritiska försättningen vara störst när borrhålets diameter var 22 mm. Även lossbruten bergmängd och kastlängd var då störst. Detta var



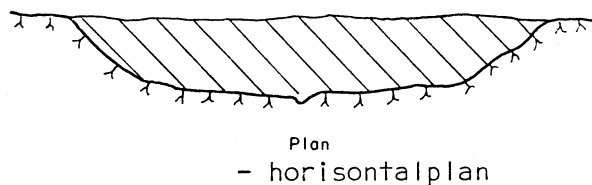
(a) Before blast - före sprängning



(b) After blast - efter sprängning



Section - snitt



Plan
- horisontalplan

(c) Charging arrangement - laddning

FIG. 1(a-c). Pipe charge blasting in homogeneous granite with a single borehole showing charge arrangement and typical blasting result.

Fig. 1. Laddning och typiska sprängningsresultat från Misterhultsförsöken.

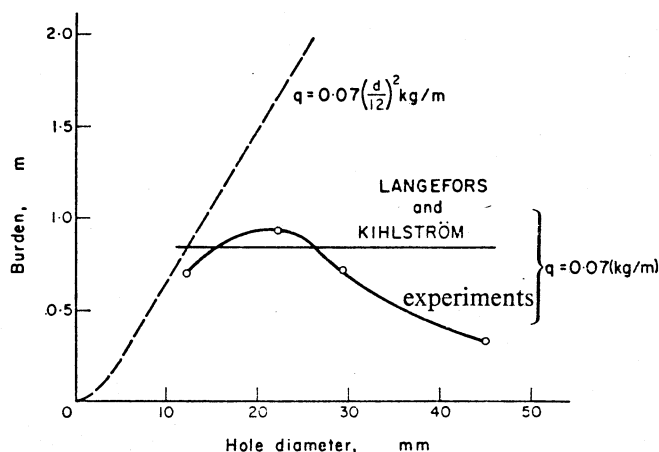


FIG. 2 Comparison of relationships between hole diameter and critical burden. Experiments show a variation in critical burden with charge diameter which was neglected in the previous treatment by Langefors and Kihlström. (Solid lines: constant charge weight per unit bench height $q = 0.07 \text{ kg/m}$.) Dashed line shows critical burden as a function of hole diameter at a constant charge loading density of $0.07 (d/12)^2 \text{ kg/m}$ bench height (the same as in the 12 mm holes in the present experiments).

Fig. 2. Den kritiska försättningen som funktion av borrhålsdiametern. Experimentella resultat från provsprängningar i Misterhult.

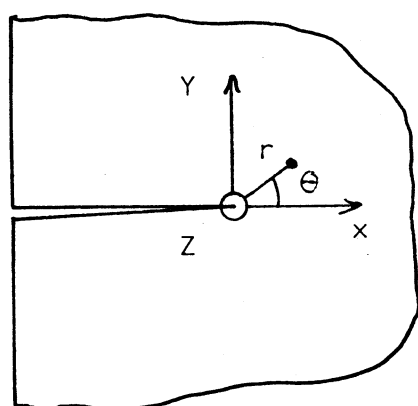
något förvånande eftersom Langefors och Kihlström /3/ inte funnit ett sådant beroende i sina försök men det motsäger inte deras slutsats att ett borrhål utnyttjas bäst om det packas fullt med sprängämne. I fig. 2 syns detta klart. I anslutning till Misterhultsförsöken presenterade C.H. Johansson /4/ en modell som förklarade det observerade beteendet. Svagheten i den är att den maximala försättningen inte direkt kan hänföras till någon mätbar fysikalisk egenskap hos bergmaterialet.

Brottmekanik

Brottmekaniken som är en gren av hållfasthetsläran har utvecklats ur Griffiths välkända sätt att angripa begreppet brott. En lättfattlig introduktion av den har Janne Carlsson gett /5/. Den behandlar lagarna för sprickors tillväxt. Särskilt den linjära brottmekaniken där man betraktar tillväxten av sprickor i linjärt elastiska material och där den icke-linjära eller plastiska deformation som följer med brottet förutsätts begränsad till ett litet område kring sprickspetsen har funnit tillämpning på konstruktionsmaterial som t.ex. höghållfasta stål. Bieniawski har använt den på bergmaterial /6/.

En följd av att materialet antas linjärt elastiskt blir att man i uttrycken för spänningarna närmast sprickspetsen kan skilja ut några faktorer ur den dominerande termen, de s.k. spänningsintensitetsfaktorerna vilka innehåller beroendet av belastning och geometri. I fig. 3 visas uttryckens utseende vid plant deformationstillstånd (P.D.) när belastningen verkar symmetriskt

mot sprickans plan. Spänningsintensitetsfaktorn betecknas i detta fall med K_I . I fortsättningen kommer endast plana deformationstillstånd att betraktas.



$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_x = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) \\ \sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) \\ \tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \\ \sigma_z = \nu (\sigma_x + \sigma_y) \quad (\text{P.D.}) \end{array} \right. \quad (1)$$

Fig. 3. Definition av koordinaterna i sprickspetsen.

Definition of the coordinates at the crack tip.

Om man som Griffith studerar energibalansen i sprickspetsen och antar att spricktillväxt eller brott kan ske endast om den lokalt frigjorda elastiska energin överstiger den energi som förbrukas i form av ytenergi och plastisk energi, den s.k. brottsegheten G_{Ic} erhålles följande brottvillkor

$$\left\{ \begin{array}{l} K_I \geq \sqrt{\frac{EG_{Ic}}{1-\nu^2}} = K_{Ic} \\ E = \text{materialets elasticitetsmodul} \\ \nu = \text{dess Poissonstal} \end{array} \right. \quad (2)$$

Brott inträffar alltså om spänningsintensitetsfaktorn K_I överstiger ett kritiskt värde K_{Ic} som också kallas brottseghet. Spänningsintensitetsfaktorn bestäms ur elasticitetsteoretiska beräkningar och brottsegheten som är en materialegenskap bestäms genom experiment.

Sprickfortplantningsmodellen

Sprickfortplantningsmodellen bygger på den linjära brottmekaniken. Den verkliga geometrin ersätts av en plan spricka med två lika långa armar som utgår från ett cirkulärt hål i ett oändligt medium, se fig 4. Sprickan antas

helt eller delvis fylld med spränggas som överallt har samma tryck.

Beteckningar införs enligt:

- a = halva spricklängden [m]
- R_l = borrhålsradien [m]
- V = den totala gasvolymen per m borrhål [m^3/m]
- p = spränggasernas tryck [N/m^2]
- K_l = spänningsintensitetsfaktorn [$N/m^{3/2}$]
- E = bergets elasticitetsmodul [N/m^2]
- ν = dess Poissontal
- K_{lc} = dess brottseghet [$N/m^{3/2}$]
- χ = spränggasernas polytropexponent

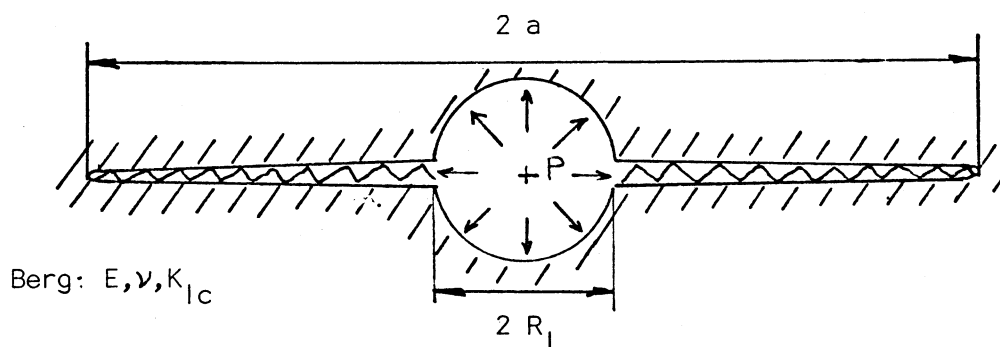


Fig. 4. Den idealiserade sprickgeometrin.

The crack configuration used in the calculations.

Spänningsintensitetsfaktorn och sprickvolymen för den helt gasfyllda sprickan ges av, se t.ex. /7/

$$K_l = p \sqrt{\pi a} \quad (3)$$

$$V = \pi R_l^2 + \frac{2\pi(1-\nu^2)}{E} p a^2$$

Gasens expansion i spricksystemet antas ske polytropt, dvs följa gaslagen

$$pV^\chi = \text{konstant} \quad (4)$$

Uttrycken (3) och (4) ger ett samband mellan spänningsintensitetsfaktorn K_l och spricklängden a .

Spränggaserna har i detonationsögonblicket ett mycket högt tryck och det spänningstillstånd som utbildas efter stötvågen räcker oftast till för att bilda radiella sprickor. Detta behandlas utförligare i /8/.

I den modell för sprickfortplantningen som presenteras här antas sprickorna utbreda sig under inverkan av ett sjunkande gastryck tills värdet på spänningsintensitetsfaktorn K_I inte längre överstiger brottsegheten K_{Ic} . K_I antas vidare just i gränsen givet av den linjära brottmekanikens statiska värde. Härigenom kommer brottsegheten K_{Ic} att bestämma spricklängden. Modellen behandlas utförligare i /9/.

Uttrycken (2)-(4) ger värdet på spricklängden för den gasfyllda sprickan när $R_I \ll a$. C är en konstant ur gaslagen (4).

$$\frac{2\sqrt{\pi} (1-\nu^2) K_{Ic}}{E} \cdot a^{3/2} - \pi R_I^2 \cdot \left[\left(\frac{C}{\sqrt{\pi} K_{Ic}} \cdot \frac{a^{1/2}}{R_I^2} \right)^{1/\alpha} - 1 \right] = 0 \quad (5)$$

För det fall att gasen antas tränga in i sprickorna en sträcka på n ggr borrhålsradien erhålles spricklängden ur följande uttryck när $nR_I \ll a$.

$$\frac{4(1-\nu^2) K_{Ic}}{\sqrt{\pi} E} \cdot na^{1/2} \left[3 - 2 \ln \left(\frac{nR_I}{a} \right) \right] - \pi R_I \cdot \left[\left(\frac{2}{\pi} \cdot \frac{C}{\sqrt{\pi} K_{Ic}} \cdot \frac{n}{R_I a^{1/2}} \right)^{1/\alpha} - 1 \right] = 0 \quad (6)$$

Spränggasernas termodynamik

I beräkningen används sprängämnet nitroglycerin (NG). Det har syreöverskott. Då blir detonationsprodukternas - spränggasernas sammansättning under expansionen i stort sett oförändrad och tillståndsekvationerna ges av uttryck där följande storheter ingår:

$$\begin{aligned} p &= \text{spränggasernas tryck} & [N/m^2] \\ v &= \text{deras volymitet} & [m^3/kg] \\ T &= \text{deras temperatur} & [K] \\ R_M &= \text{allmänna gaskonstanten} & [ws/kg, K] \\ C_v &= \text{spränggasernas specifika värme} & [ws/kg, K] \end{aligned}$$

$$\begin{cases} pv = R_M \cdot T \left(1 + \frac{0.834 \cdot 10^{-3}}{v} + \frac{0.435 \cdot 10^{-6}}{v^2} + \frac{0.167 \cdot 10^{-9}}{v^3} + \frac{0.093 \cdot 10^{-12}}{v^4} \right) \\ C_v(T) = 1.518 \cdot 10^3 - 0.593 \cdot 10^3 e^{-T/1112} \end{cases} \quad (7)$$

Antaganden om det fysikaliska förloppet

För att ur sprickfortplantningsmodellen och spränggasernas termodynamik kunna beräkna spricklängdens variation med den ursprungliga borrhålsdiametern krävs ytterligare några förutsättningar. Till fig. 5 införs beskrifningar enligt nedanstående

R_o = sprängladdningens radie [m]

R_i = det deformerade borrhålets radie [m]

index o = begynnelsevärden för termodynamiska storheter

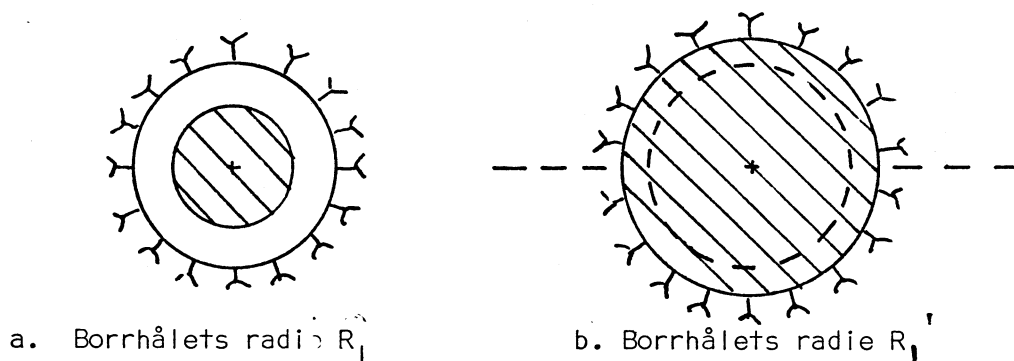


Fig. 5. Borrhålet med laddningen innan detonationen (a) och efter (b) ögonblicket innan sprickorna öppnas.

The borehole with the charge before the detonation (a) and after (b), the moment before the cracks open up.

Med fig. 5 som bakgrund antas följande gälla för förloppet, att:

1. Explosionsenergin för NG ger spränggasernas begynnelsetemperatur T_o . V_o som är laddningens volym och T_o ger då begynnelsetrycket p_o . Gasen expanderar sedan isotermt tills den fyller borrhålet helt.
2. All vidare gasexpansion sker isentropiskt, värmeförluster till omgivande berg försummas alltså.
3. Borrhålet expanderar genom elastiska och icke-elastiska deformationer i det omgivande berget innan sprickorna öppnas. Volymsökningen ges ur dynamiska räkningar på en geometri som den i fig. 5.
4. Gasen expanderar så mycket att den åtminstone vad beträffar gränsen för sprickutbredningen kan beskrivas av en gaslag som den i (4).

En konsekvens av punkt 2 är att det arbete som gasen uträttat på berget är bestämt om gasvolymen är känd. Borrhålsrandens expansion medför sålunda energiförluster.

Borrhålsrandens deformation

Borrhålsranden utsätts för mycket höga tryck jämfört med bergmaterialets hållfasthet. Ju större del av spränggaserna som stannar kvar i borrhålet under expansionsförloppet desto mindre blir den totala gasvolymen och desto större också inverkan av borrhålets volymökning till följd av deformationen. Den volymökning som erhålles ur den statiska och dynamiska elastiska deformationen blir mycket liten även för höga tryck /9/. Räkningar med datorprogram för beräkning av vågutbredningsförlopp i bergmaterial som framtagits gemensamt av FOA och Stiftelsen /10/ visar att en avsevärd del av det arbete som gasen uträttar under sin expansion åtgår till icke-reversibelt deformationsarbete närmast borrhålet, se också /8/. I fig. 6 finns borrhålsrandens läge som funktion av tiden inritad för sprängning i granit med en NG laddning av

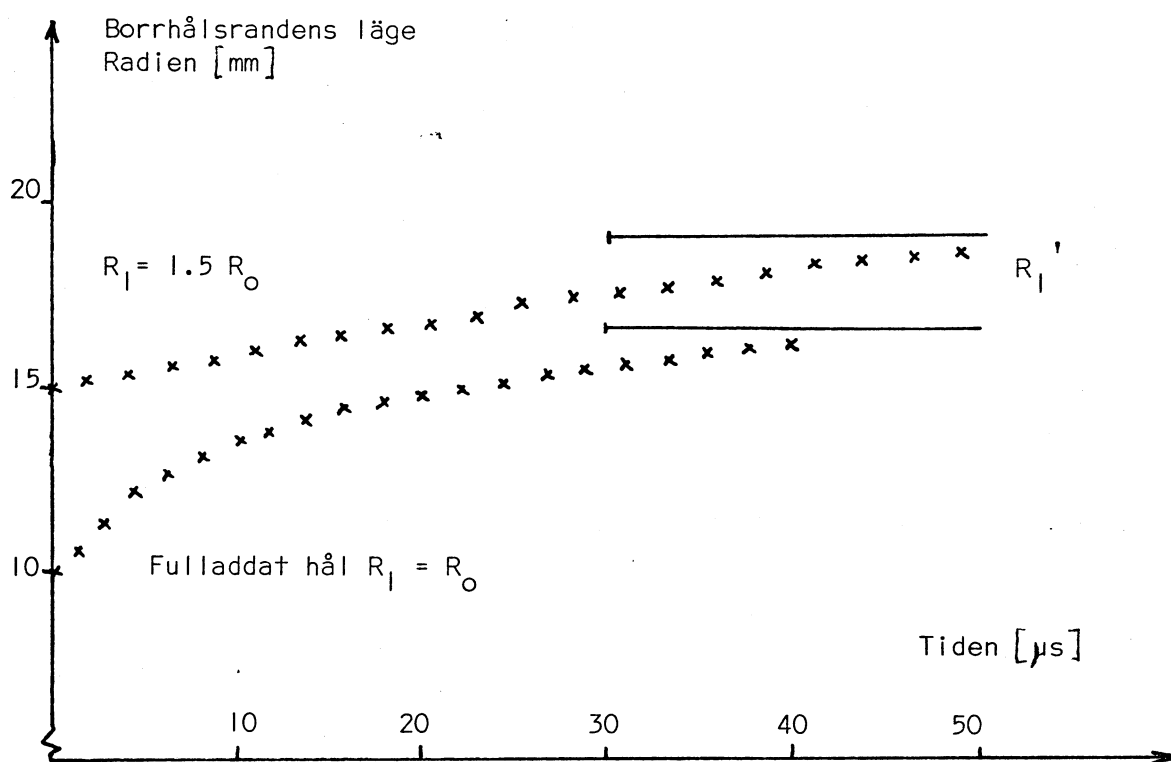


Fig. 6. Borrhålsrandens rörelse med tiden efter detonationsögonblicket. Räkningar på granit med en NG-laddning av 20 mm:s diameter.

The expansion of the borehole boundary as a function of time after the detonation of a NG-charge of 10 mm radius (R_O) in granite for two different values of the borehole radius (R_I).

20 mm:s diameter dels i ett 20 mm:s borrhål dels i ett 30 mm:s borrhål.

Baserat på i figuren ungefärligt bestämda övre gränser erhålles den icke-reversibla radieökningen ΔR_I som funktion av borrhålsradien

$$\frac{\Delta R_I}{R_I} = \frac{R_I' - R_I}{R_I} = 3.73 e^{-1.75 R_I/R_O} \quad (8)$$

Gasen i det fulladdade borrhålet har alltså expanderat längre och har därför mindre för sprickutbredningen nyttig energi kvar än gasen i ett icke fulladdat hål vilket klargjorts tidigare /8/.

Beräkning av spricklängdsvärdena

Beräkning av spricklängden som funktion av borrhålsdiametern vid konstant laddningsdiameter har gjorts för 9 värden på borrhålsdiametern med en NG-laddning av 20 mm:s diameter och under följande antaganden om var gasen befinner sig i spricksystemet. Nämligen att:

- Gasen fyller ut spricksystemet helt, spricklängden ges då av (5).
- Gasens utbredning är begränsad till borrhålet, spricklängden ges då av (6) för $n = 1$. Denna räkning utfördes både med och utan hänsyn tagen till borrhålsrandens deformation enligt (8).
- Gasens utbredning är begränsad till området närmast borrhålet. Inträngningslängderna 2 resp. 3.5 ggr borrhålsradien valdes sedan Misterhultsförsökens värden på försättningsräknats om till spricklängder. Hänsyn togs till borrhålsrandens deformation.

Resultaten från a. och b. finns redovisade i fig. 8 och 9 medan de från c presenteras i fig. 10 tillsammans med försöksresultaten. Värden på de materialparametrar som ingår i (5) och (6) valdes som i /7/ och gäller egentligen bergarten norit. De är

$$\begin{aligned} E &= 1.05 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2 \\ \nu &= 0.228 \\ K_{Ic} &= 0.9 \cdot 10^7 \text{ N/m}^{3/2} \end{aligned} \quad (9)$$

Ett närmare studium av spränggasernas termodynamik medför att man väljer $\lambda = 1.17$ och att C varierar med borrhålsdiametern p.g.a. antagandena 1-4.

För att göra en jämförelse möjlig mellan beräknade spricklängdsvärden a och i Misterhult erhållna värden på den maximala försättningen $V_{\max}$ med en laddning av 11 mm:s diameter har försöksvärdena skalats upp till att gälla för en NG-laddning av 20 mm:s diameter och sedan räknats om till spricklängd. Med skalningen proportionell mot laddningsdiametern och roten ur viktstyrkeförhållandet, se /3/ samt enklast möjliga geometri som i fig. 7 med en utslagsvinkel på 150° blev omräkningsfaktorn

$$a = 7.72 V_{\max} \quad (10)$$

De så omräknade försöksresultaten finns inritade i fig. 10

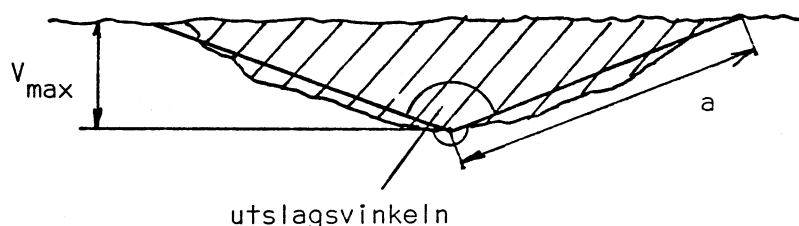


Fig. 7. Den idealiserade utslagsgeometrin.

The configuration used to compare the calculated crack lengths with the maximum burden obtained in experiments.

Jämförelse mellan teori och praktiska försök

En jämförelse mellan de teoretiskt beräknade spricklängdsvärdena som de presenteras i fig. 8-10 och resultaten från Misterhultsförsöken i fig. 10 visar att av de två alternativen dels gas med samma tryck i hela sprickan dels gas enbart i borrhålet ger det sista den klart bästa överensstämmelsen. Dessutom uppvisar den kurva där hänsyn tas till borrhålsrandens deformation samma principiella utseende som försöksresultaten. Detta framgår ännu bättre ur fig. 10 där försöksresultaten faller mellan två beräknade kurvor som svarar mot att gasen trängts in i sprickorna 2 resp. 3.5 ggr borrhålsradien. Överensstämmelsen är trots skillnaderna i förutsättningarna mycket god. Dessa är att:

1. De teoretiskt beräknade värdena gäller en plan spricka i ett oändligt material medan försöken gällde den maximala försättningen vid pallsprängning.
2. Den använda sprickfortplantningsmodellen är kvasistatisk och linjär. Ingående materialparametrars värden gäller för norit medan försöken utfördes i granit.
3. De teoretiska värdena förutsätter att axiellt gasläckage kan försummas vilket också torde vara fallet då alla skotten i Misterhult var väl fördämda.
4. I räkningarna förutsätts sprängämnet vara jämnt fördelat efter hållängden medan i försöken ca 30% av pallhöjden var fördämd.
5. Uppskattningen av borrhålsrandens deformation bygger på dynamiska räkningar för granit med "statiskt" uppmätta hållfasthetsvärden och sprängämnet nitroglycerin medan försöken utfördes med ett svagare sprängämne.

6. Utslagsgeometrin varierade från skott till skott vid försöken men mot bakgrund av punkterna 1-5 är en noggrannare uppskattning av spricklängden än enligt fig. 7 inte motiverad.

I fig. 9 syns vilken kraftig inverkan på spricklängden som borrhålsrandens icke-reversibla deformation har. Om denna kunde undvikas skulle den maximala försättningen troligen öka avsevärt. Tyvärr är en hög packningsgrad också förknippad med en stor gasmängd i borrhålet och därmed med ett högt tryck hos spränggaserna om reaktionen sker "momentant". Den önskade deformationen skulle alltså vara oundviklig för de flesta normala sprängämnen. En möjlighet att undvika den vore att använda ett sprängämne där energin inte frigörs momentant utan under en längre tid. Detta är måhända fallet med AL-slurry.

Några slutsatser

Som resultat av beräkningen och diskussionen kan sägas att för sprängning i homogent berg gäller att:

1. Den använda modellen för sprickutbredningen kring ett borrhål ger en god kvantitativ uppskattning av hur den maximala försättningen vid pallsprängning med fri botten och konstant laddningsdiameter varierar med borrhålsdiametern om spränggaserna antas stanna närmast borrhålet under sprickutbredningen.
2. Den maximala försättningen beror på olika egenskaper hos bergmaterialet nämligen dels stötvågs- och deformationsegenskaperna som bestämmer spränggasernas initialförluster och dels brottsegheten vilken är ett mått på energibalansen i sprickspetsarna och som därför bestämmer spricklängden.
3. För bergartsklassificering vore det alltså värdefullt att bestämma brottsegheten för olika bergarter eftersom den maximala försättningen direkt kan relateras till denna fysikaliska egenskap hos berget. Detta kan göras med metoder som används i den linjära brottmekaniken.

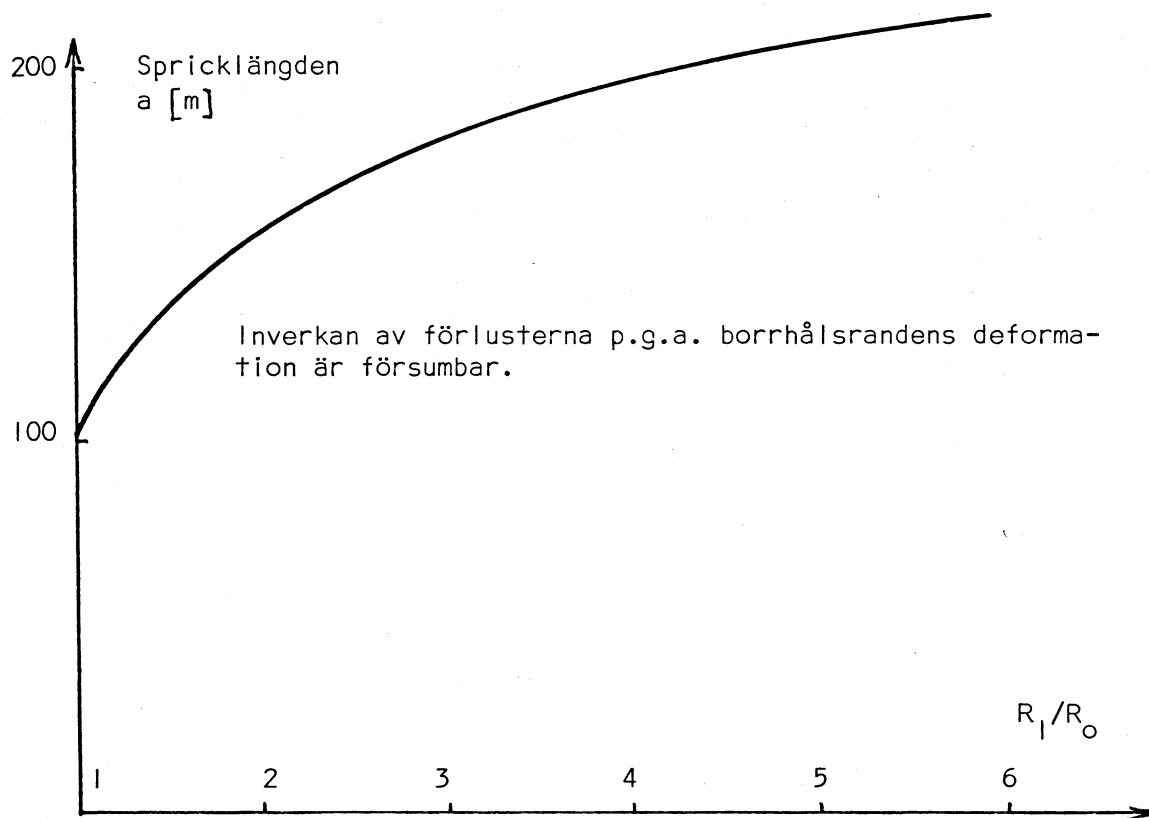


Fig. 8. Spricklängdens variation med borrhålsdiametern vid konstant laddningsdiameter för en gasfylld spricka enl. (5).

The crack length (a) as a function of the borehole radius (R_1) for a fixed charge radius (R_0) from (5). The reaction products have penetrated the crack system.

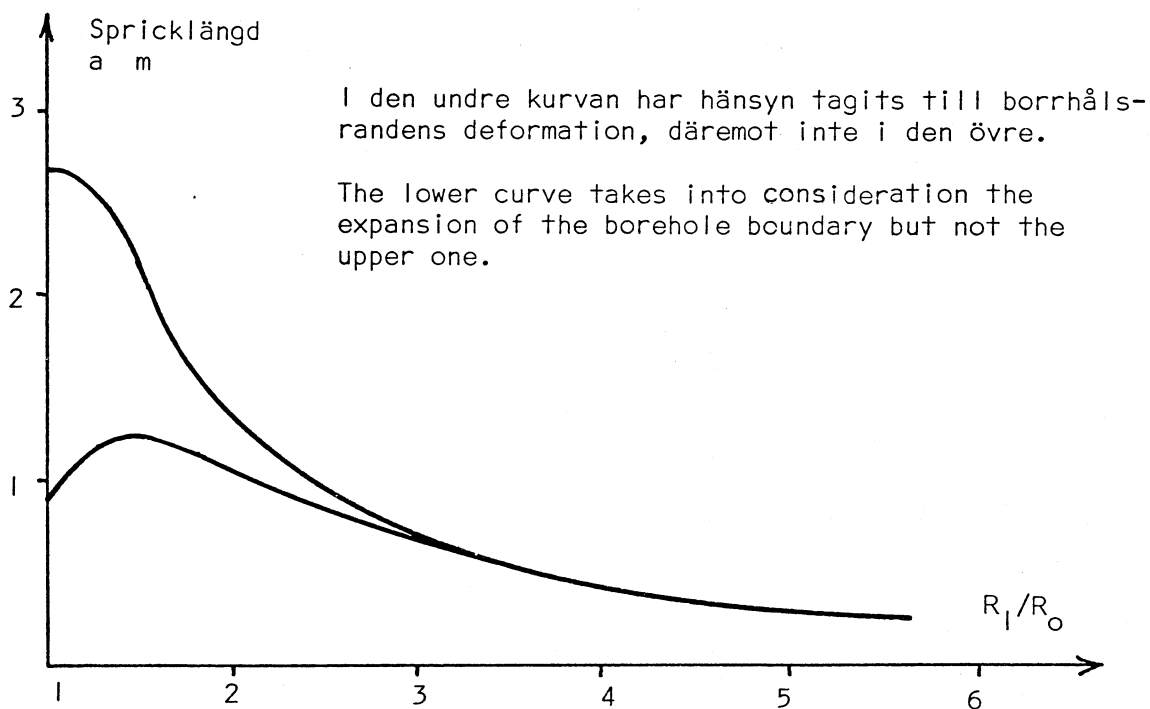


Fig. 9. Spricklängdens variation med borrhålsdiametern vid konstant laddningsdiameter enl. (6) när gasen stannar i borrhålet.

The crack length (a) as a function of the borehole radius (R_1) for a fixed charge radius (R_0) from (6). The reaction products stay in the borehole.

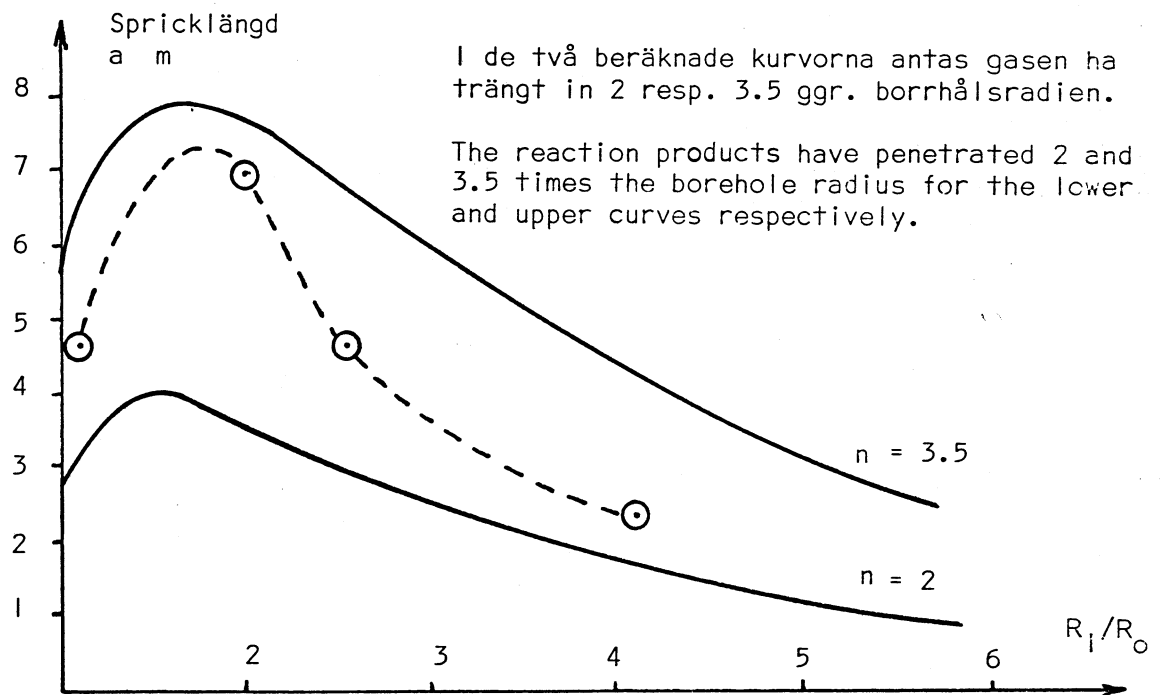


Fig. 10. Spricklängdens variation med borrhålsdiametern vid konstant laddningsdiameter. Försöksresultaten ligger mellan två beräknade kurvor enl. (6).

The crack length (a) as a function of borehole radius (R_1) for a fixed charge radius (R_0). Experimental results fall between two curves of calculated values from (6).

REFERENSLISTA

- /1/ Kihlström, B.,
Ladegaard-Pedersen, A.,
Persson, P.A. The Influence of Borehole Diameter on
the Rock Blasting Capacity of an Extended
Explosive Charge.-
SSDF rapport DL 1968:32 (1968).
- /2/ Kihlström, B.,
Ladegaard-Pedersen, A.,
Persson, P.A. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. vol 6
s. 277-284 (1969).
- /3/ Langefors, U.,
Kihlström, B. The Modern Technique of Rock Blasting.-
Almqvist & Wiksell, Stockholm (1963)
och (1968).
- /4/ Johansson, C.H. Berglossningsmekanismen vid pallspräng-
ning.-
SSDF rapport DL 1968:27 (1968).
- /5/ Carlsson, Janne Brötmekanik.-
Teknisk Tidskrift vol 100 nr 1 s. 30-35
(1970).
- /6/ Bieniawski, Z.T. Stable and Unstable Fracture Propagation
in Rock.-
CSIR rapport MEG 493, Sydafr. Rep. (1966)
- /7/ Ouchterlony, F. Uppskattning av sprickutbredningen kring
ett borrhål.-
SSDF rapport DS 1970:49 (1970).
- /8/ Johansson, C.H.,
Lundborg, N.,
Persson, P.A. The Basic Mechanisms in Rock Blasting.-
Proc. Sec. Congr. Int. Soc. Rock Mech.
5-3 Belgrad (1970).
- /9/ Ouchterlony, F. Spricklängdens variation med håldiameter:
vid konstant sprängämneskoncentration i
kg/m.-
SSDF rapport DS 1971:3 (1971).
- /10/ Asklöf, C.A.,
Nylander, Å. Cylindriskt och sfäriskt symmetriska
vågutbredningsförlopp i bergmaterial.-
FOA 2 rapport C2286-44 (1968).

SSDF betyder Stiftelsen Svensk Detonikforskning.

Engelsk version

Summary

In this paper a model for the crack propagation around a bore hole is used which has its origin in Linear Elastic Fracture Mechanics. The point where the cracks no longer propagate is determined by the energy balance at the crack tips. The use of a suitable expansion law for the gaseous detonation products makes it possible to calculate this point i.e. the crack length as a function of the borehole diameter when blasting in homogenous rock with an extended charge of fixed diameter. These results are then compared with slab blasting experiments. The agreement is good provided that the detonation products stay in the immediate vicinity of the bore hole.

Two factors then influence the maximum burden when slab blasting in homogenous rock. One is the shock wave and deformational properties of the rock that determine the initial energy loss of the gas. The other is the fracture toughness which determines the crack length. Thus it would be of value to measure the fracture toughness for rock classification purposes.