CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för geoteknik

Särtryck och preliminära rapporter nr 3.

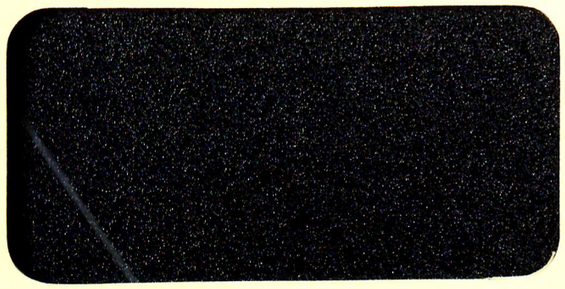
Bärighet hos släntberg vid statisk belastning av bergspets.

Resultat från modellförsök.

Av Sven-Erik Rehnman.[x]

20 januari 1967.

INGENIÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN
PÅLKOMMITTÉN



Särtryck och preliminära
rapporter nr 3.

Bärighet hos släntberg vid statisk belastning av bergspets.

Resultat från modellförsök.

Av Sven-Erik Rehnman.[x]

20 januari 1967.

[x] Statens Geotekniska Institut

De i rapporten framförda åsikterna är författarens och behöver icke vara pålkommitténs ståndpunkt.

Pris 5:- kr.

Bärighet hos sluntberg vid statisk belastning av bergspets

Resultat från modellförsök.

För att få en uppfattning om säkerheten mot brott i berget vid stödpålning mot sluntberg har vid Statens geotekniska institut på uppdrag av IVA:s pålkommitté utförts vissa modellförsök. I denna rapport presenteras mycket kortfattat en del resultat från dessa modellförsök. En utförligare redogörelse kommer att publiceras i form av ett meddelande från IVA:s pålkommitté.

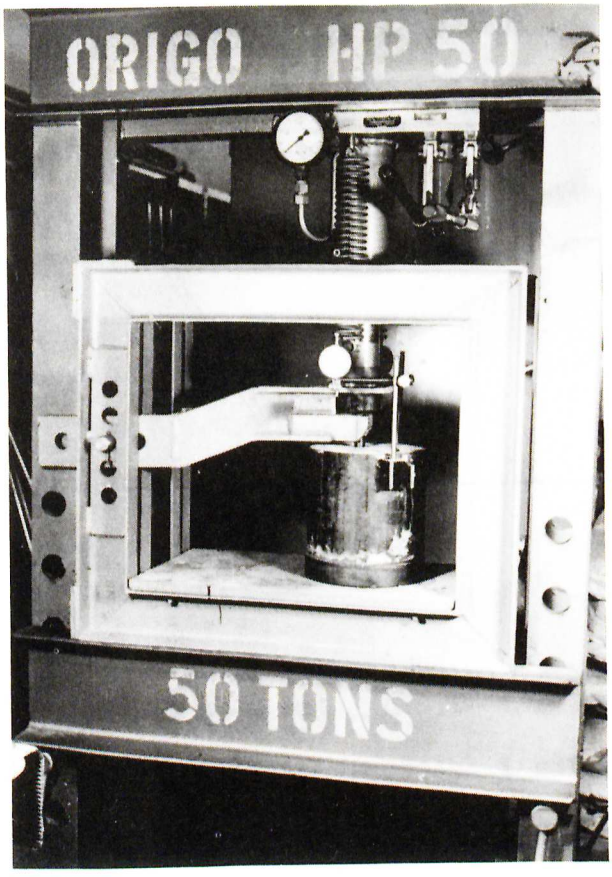


Fig. 1 Apparatur för bestämning av bärigheten hos olika bergarter vid statisk belastning av Ø 20 mm ståldubb.

Ändamålet med undersökningen har varit att studera olika bergarters bärförmåga vid varierande släntlutning och vid variation i bergspetsens inmejslingsdjup. Vidare har ändamålet varit att undersöka bergets deformation samt brottets karaktär.

PRINCIPSKISS

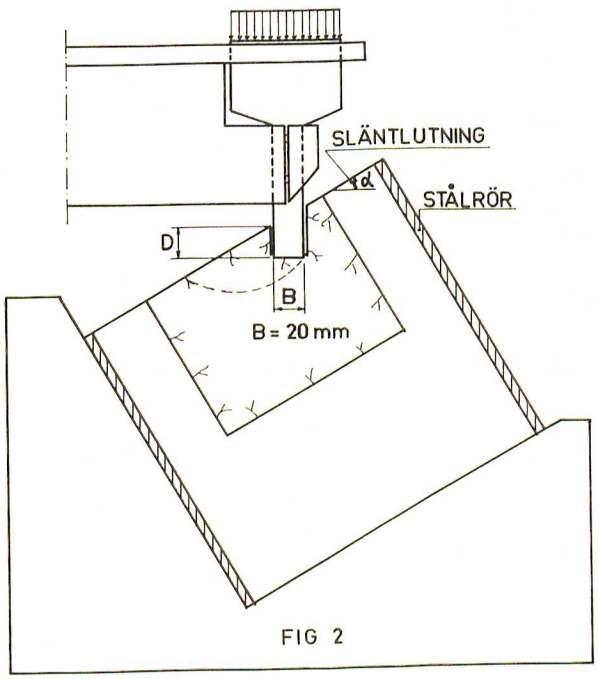


FIG 2

Fig. 2. Principskiss över försöksutförandet.

Bergartsprovet (13 x 13 x 10 cm) gjuts in i ett stålrör. En ståldubb ∅ 20 mm med plan ändyta ansättes i ett uppborrat hål i stenen och dubben belastas statiskt tills brott inträffar i "släntberget".

Försöken utfördes i princip på följande sätt (se fig. 2). Ett bergartsprov (13 x 13 x 10 cm) göts in i ett stålrör för att inte provet skulle spricka. I stenen borrades ett 21 mm hål.

med djupet D. Detta hål skulle motsvara bergspetsens inträngning i berget. I hålet ansattes en 20 mm ståldubb med cirkulär plan ändyta. Med hjälp av en hydraulisk press belastades därefter ståldubben statiskt tills brott inträffade i stenen. Lastökningen var 2 Mp varannan minut och med avlastning vart femte laststeg till 4 Mp, dvs. lasten påfördes analogt med den metod som tillämpas vid provbelastningar av pålar. Under hela förloppet mättes deformationen, dvs. dubbens inträngning i stenen, med hjälp av två diametralt placerade mätklockor. Genom att använda en specialkonstruerad vagga kunde släntlutningen varieras. På detta sätt mättes bergartens bärighet vid släntlutningen α lika med 0° (horisontell bergyta), 30°, 45°, 60° och med D/B = 0 och D/B = 1, där D är inmejslingsdjupet och B är dubbens diameter. Varje försök upprepades i regel tre gånger.

Tre olika bergarter har använts vid försöken, granit, kalksten och sandsten. Graniten som användes var Rixögranit från Bohuslän. Det är en finkornig homogen granit med tryckhållfastheten 2300 kp/cm^2 (medeltal av tre mätningar). Tryckhållfastheten mättes på cylindrar med höjden 50 mm och diametern 50 mm, urborrade vinkelrätt mot stenens "fria" yta. Kalkstenen utgjordes av en ortocerkalksten från Borghamn vid Vättern, med tryckhållfastheten 1250 kp/cm^2. Som tredje bergart har undersökningen omfattat en skiktad kalkcementerad sandsten från Burgsvik på Gotland. Den hade en tryckhållfasthet av 700 kp/cm^2.

Det visade sig svårt att få ståldubbarna att hålla vid de stora påfrestningar som uppstod vid bärighetsförsöken på granit. Medeltryckpåkänningen blev i vissa fall så hög som 18000 kp/cm^2. Först användes Bofors stål SR 1855, ett kromkisellegerat stål (1 % C, 1,5 % Si, 1 % Cr). Detta stål härdades till 60 H_{RC}, men spetsarna blev då för spröda och sprack. Härdades istället dubbarna till 54 H_{RC},

blev spetsarna för mjuka och stukades kraftigt. Samma resultat erhölls för Bofors stål ROP 57 (1,5 % C, 12 % Cr, 0,8 % Mo, 0,9 % V), när detta stål härdades till 60 H_{RC} resp. 54 H_{RC}. Tredje ståltyp som användes var Bofors stål HRO 1243, SIS 2550, ett kromnickelmolybdenlegerat kall- och varmarbetsstål (0,55 % C, 1,0 % Cr, 3,0 % Ni, 0,3 % Mo). Dubbar av detta stål härdades till 55 H_{Rc} och motstod sedan de påfrestningar som de utsattes för, med andra ord spetsarna varken spjälkades eller stukades.

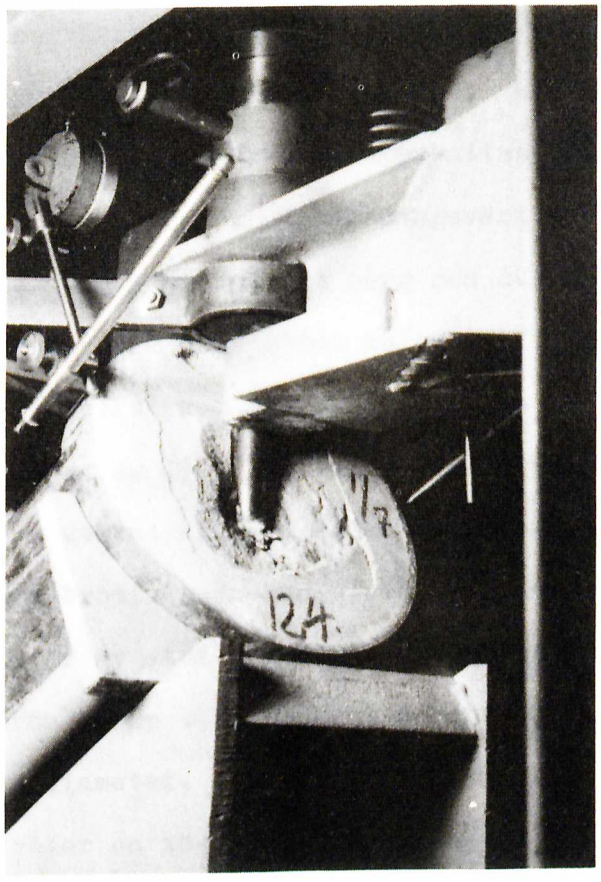


Fig. 3. Figur 3 visar brottet i en kalksten, där sluttningen är 60° och ståldubben ∅ 20 mm varit försänkt en diameter. En kon har bildats under spetsen och spjälkat loss ett stort stycke ur stenen. Brottlasten var i detta fall 10 Mp.

För de undersökta bergarterna gäller att brottet i regel kom mycket plötsligt, nästan explosionsartat. I princip kan man skilja mellan två olika typer av brott. Den första brottypen uppstod vid horisontell bergyta. Brottytan fick ett kraterliknande utseende. Den andra typen av brott erhölls vid en släntlutning som var större än 30° (se fig. 3). Härvid bildades en konformad kil under spetsen, som spjälkade loss ett stort stycke ur stenen.

Resultaten från försöken på granit visas i fig. 4a. På grund av pressens begränsning erhölls ej brott i graniten vid horisontell bergyta och dubben försänkt en diameter. Men med utgångspunkt från de erhållna deformationskurvorna uppskattas brottlasten för $\alpha = 0^{\circ}$ och D/B = 1 till ca 60 Mp. Anmärkningsvärt är det höga yttryck som graniten tål. Vid horisontellt berg och dubben på ytan har medeltryckspänningen varit hela 14000 kp/cm^2. Vidare inverkar släntlutningen inte så mycket som man skulle tro på brottlasten för en vinkel som är mindre än 45°. Härvidlag råder en markant skillnad mellan granit och kalksten. Vid kalkstenen (se fig. 4b) påverkar släntlutningen brottlasten redan vid en liten lutning hos bergytan. Nedmejslingen är av stor betydelse vid kalksten. Brottlasten ökade exempelvis från 20 Mp till 33 Mp vid horisontell bergyta, när dubben försänktes en diameter. Beträffande släntlutningens inverkan på brottlasten råder en iögonfallande likhet mellan granit och sandsten (se fig. 4c). Bärigheten hos sandstenen är i stort sett oberoende av släntlutningen för en lutning som är mindre än 45°. Ett oväntat lågt värde på brottlasten erhölls vid släntlutningen 45° och dubben nedborrad en diameter (D/ B = 1).

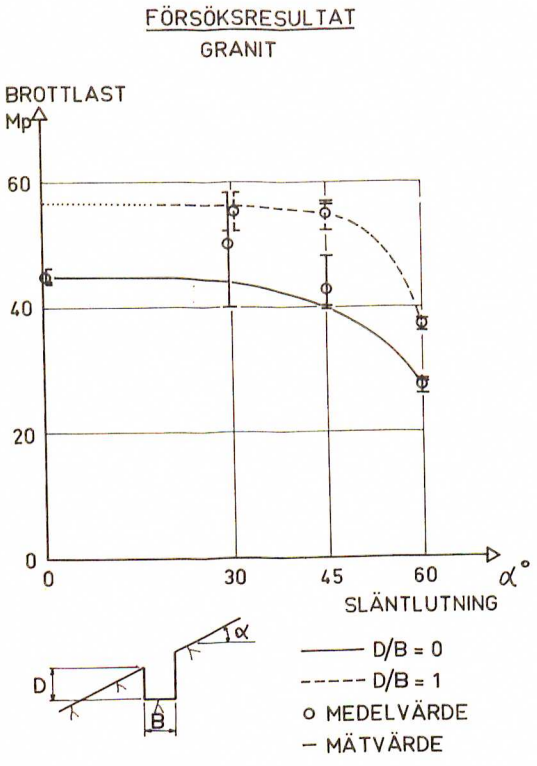


FIG 4a

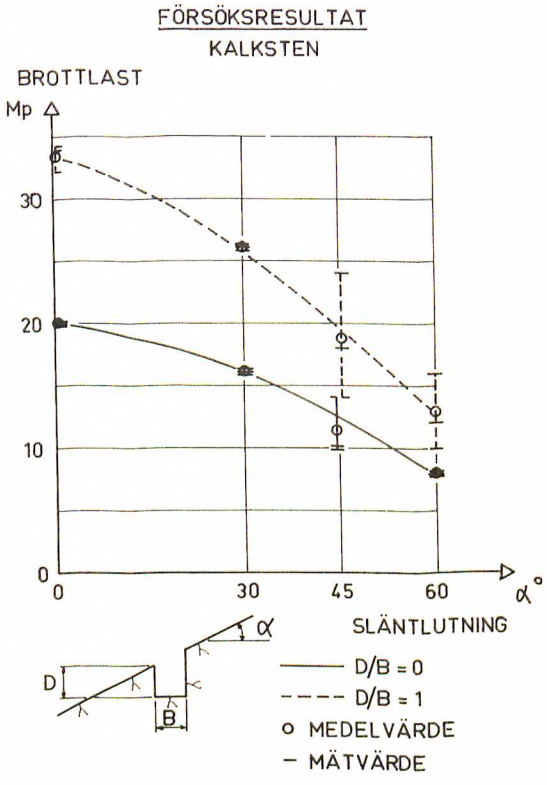


FIG 4b

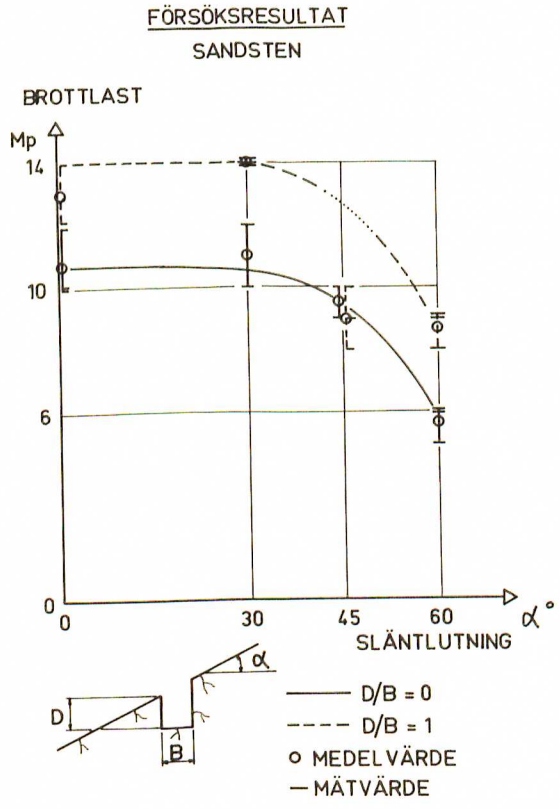


FIG 4c

Fig. 4

Bärigheten hos olika bergarter. Figurerna visar brottlasten som funktion av släntlutningen. Kurvorna är inlagda för att på ett grafiskt sätt åskådliggöra ett eventuellt samband mellan brottlast och släntlutning.

Brottvärdet blev ungefär samma som när dubben angrep vid ytan ($D/B = 0$). Orsaken kan vara sandstenens skiktning, som låg parallellt med stenens "fria" yta.

I fig. 4 har kurvor lagts in för att på ett grafiskt sätt försöka åskådliggöra ett eventuellt samband mellan brottlast och sluttlutning. Med utgångspunkt från dessa kurvor har sluttlutningens och försänkningens inverkan på brottlasten vid de tre använda bergarterna studerats. En markant skillnad råder mellan å ena sidan granit och sandsten och å andra sidan kalksten. Sluttlutningen (se fig. 5a) sänker brottlasten relativt lite för granit och sandsten vid en måttlig sluttlutning ($\alpha < 45^{\circ}$). Brottlasten för granit och sandsten vid lutningen 45° var ca 90 % av brottlasten vid horisontell bergyta. Beträffande kalksten inverkar sluttlutningen redan vid en liten lutning och ger en relativt kraftig reduktion av bärigheten. Till exempel var brottlasten, när bergytan lutade 45°, 60 % av brottlasten vid horisontell yta. Försänkningens inverkan på brottlasten framgår av fig. 5b. En kraftig ökning av brottlasten erhölls för kalksten, när dubben var försänkt en diameter i stenen. Brottlasten ökade då med hela 60 %. Ökningen blev mindre för granit och sandsten. Den blev för dessa bergarter 25 %. Intressant är att ökningen är tämligen oberoende av sluttlutningen. Noteras bör att för granit och sandsten blir ökningen något större vid en brantare sluttlutning. Vid lutningen 60° närmar sig brottlasten värdet 140 % av brottlasten, när dubben står på ytan ($D/B = 0$), dvs. en 40-procentig ökning. En annan gynnsam effekt, som försänkningen medförde, var den att brottet ändrade karaktär. Brottet kom ej så plötsligt och deformationen blev större innan brottet inträffade än fallet var med dubben på ytan.

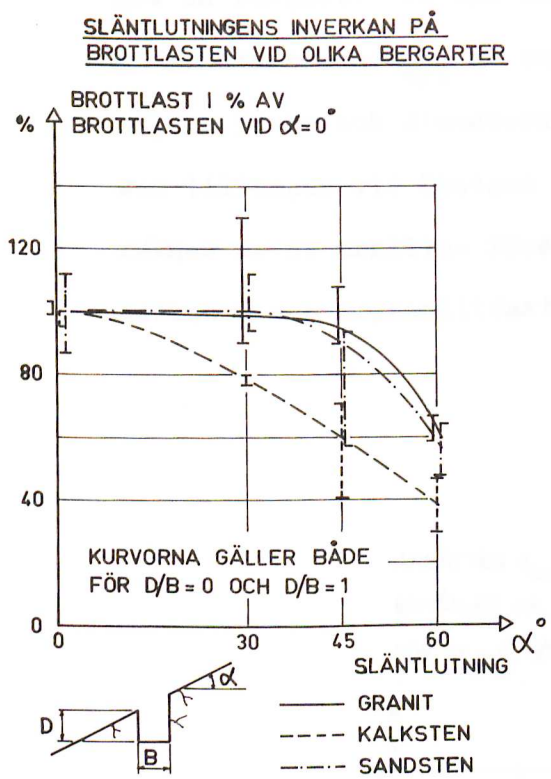


FIG 5a

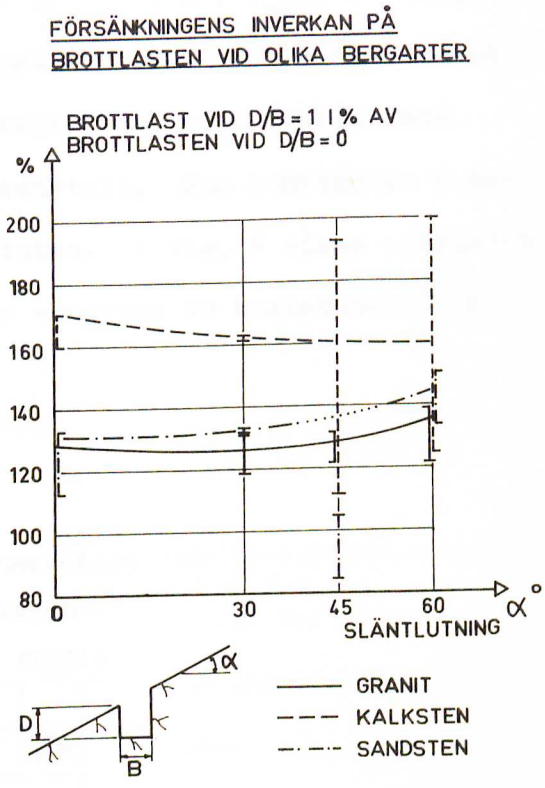


FIG 5b

Fig. 5. Med utgångspunkt från kurvorna i fig. 4 har släntlutningens (fig. 5a) och försänkningens (fig. 5b) inverkan på bärigheten erhållits. Spridningen motsvaras av de vertikala sträckorna. I fig. 5a, som visar släntlutningens inverkan, är brottlasten uttryckt i % av brottlasten vid horisontell bergyta. I fig. 5b, som visar försänkningens betydelse för bärigheten, är brottlasten, när dubben är försänkt en diameter (D/B = 1), uttryckt i % av brottlasten med dubben på ytan (D/B = 0). Lägg märke till den markanta skillnaden (fig. 5a och fig. 5b) mellan å ena sidan granit och sandsten och å andra sidan kalksten.

Finns det något samband mellan bärighet och tryckhållfasthet hos en bergart? Om man antager att $q_{brott} = K \cdot \sigma_{cyl}$, där K är en konstant och σ_{cyl} är tryckhållfastheten mätt på cylindrar med höjden 50 mm och diametern 50 mm, enligt det normalförfarande som tillämpas vid Statens Provningsanstalt, kan konstanten K beräknas ur de erhållna försöksresultaten. I fig. 6 visas sambandet mellan K och tryckhållfasthet, när bergytan är horisontell och

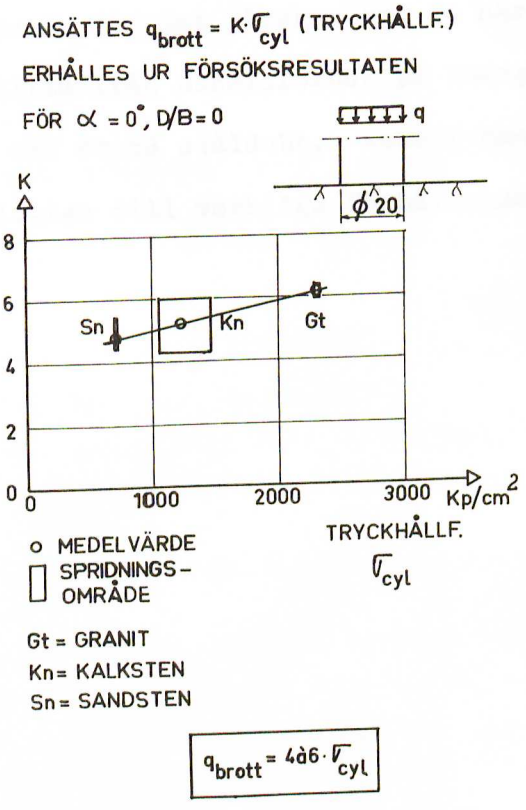


FIG 6

Fig. 6 Figuren visar ett empiriskt erhållet samband mellan bärighet och tryckhållfasthet hos berget. Sambandet gäller för horisontell bergyta ($\alpha = 0^{o}$) och ståldubben ϕ 20 mm vid ytan (D/B = 0).

dubben står på ytan. Ett nästan linjärt samband tycks råda mellan K och tryckhållfastheten. K varierar mellan 4,7 för sandsten och 6,2 för granit. Eftersom de vanligaste svenska bergarterna ligger inom eller strax utanför det tryckhållfasthetsintervall som den undersökta sandstenen och graniten representerar, kan följande empiriska samband bildas.

$$q_{brott} = 4 \text{ à } 6 \cdot \sigma_{cyl}.$$

Detta samband bör dock verifieras genom ytterligare försök.

Avslutningsvis bör det påpekas att de här presenterade resultaten har erhållits från modellförsök på homogena sprickfria stenar och med en väl styrd ståldubb, varför man inte direkt kan översätta resultaten till verkliga förhållanden.