

HÅLLFASTHET HOS BERGMATERIAL VID
TREAXLIG BELASTNING.

P.A. Persson och N. Lundborg

DS 1970:4

25.2.1970

STIFTELSEN
SVENSK DETONIKFORSKNING
SWEDISH DETONIC RESEARCH FOUNDATION

VINTERVIKEN — 117 48 STOCKHOLM
SWEDEN

HÅLLFASTHET HOS BERGMATERIAL VID
TREAXLIG BELASTNING.

P.A. Persson och N. Lundborg

DS 1970:4

25.2.1970

Sammanfattning.

Föreliggande rapport utgör en kritisk granskning av olika brottkriterier, speciellt med avseende på mellersta huvudspänningens inverkan. Mätvärden från olika författare tyder på två olika brottkriterier. En del resultat anger att mellersta huvudspänningen ej inverkar på brottet, vilket tyder på att Trescas modifierade brottkriterium (fig. 2) gäller. Andra resultat visar att mellersta huvudspänningen inverkar på ett sådant sätt att v. Mises modifierade kriterium (fig. 14) gäller.

Hållfasthet hos bergmaterial vid treaxlig belastning.

En av förutsättningarna för att rätt kunna dimensionera bergrum (fig. 1) eller sönderdela berg är att i detalj känna bergmaterialets hållfasthet under olika belastningsförhållanden.

Ett sätt att beskriva ett bergmaterials hållfasthet är att ange de tre huvudspänningarnas värde vid brott för alla tänkbara kombinationer. Man erhåller därvid en rymdmodell av hållfastheten enligt fig. 2. När de tre huvudspänningarnas skärningspunkt ligger inom modellen håller materialet, medan det brister eller flyter då spänningarnas skärningspunkt hamnar utanför modellen. För ett isotropt material kan de tre huvudspänningarna p_1 , p_2 och p_3 godtyckligt byta plats varvid sex kombinationer erhålles och endast en sida av den sexkantiga rymdmodellen behöver bestämmas.

Vid tryckprov på cylindrar (fig. 3) kan man dels bestämma hållfastheten då $p_1 > p_2 = p_3$ (axialtrycket > lateraltrycket) dels då $p_1 = p_2 > p_3$ (axialtrycket < lateraltrycket) varvid de två kantlinjerna 1 och 2 i fig 2 blir bestämda. Det visar sig därvid att relationen $p_1; p_2$ blir lika i de båda proven varav man dragit slutsatsen att hållfastheten är oberoende av mellersta huvudspänningen.

Man kan då med hjälp av Mohrs cirkel bestämma skjuvhållfastheten τ som funktion av normalspänningen p om man känner största och minsta huvudspänningen p_1 resp. p_3 vid brott enligt fig. 4. Fig. 5 visar Mohrs cirklar med alla huvudspänningar inritade. Skjuvspänningen vid brott ligger då inom det streckade området. Brottet borde därvid inträffa på den yttre cirkeln, vilket ytterligare stöder iakttagelsen att storleken av den mellersta huvudspänningen p_2 ej inverkar på hållfastheten. Genom att bestämma flera Mohr-cirklar kan enveloppen till dessa dras och man erhåller skjuvhållfastheten vid olika normaltryck enligt fig. 6.

Man kan då använda det betydligt enklare skjuvprovet (fig. 7) som ger skjuvhållfastheten enligt fig. 8 samt därur med hjälp av Mohrs cirklar erhålla formen på rymdmodellen enligt fig. 2. Jämförelse med tryckprov på cylindrar har därvid givit god överensstämmelse. En intressant provanordning enligt Serata /10/ har i modifierad form (fig. 9) provats vid Stiftelsen Svensk Detonikforskning. Man trycker därvid provet axiellt och mäter samtidigt axial- och lateralspänningen under tiden som materialet brister eller "flyter". Man får på så sätt hela konturen av rymdmodellen bestämd med ett enda prov.

Fig. 10 visar det erhållna resultatet för granit (heldragen kurva) jämfört med det konventionella tryckhammarprovet (ringar). Överensstämmelsen tyder på att materialet vid små töjningar behåller sin hållfasthet även då töjningarna överskridit brottvärdet.

För att bestämma rymdmodellens form för $p_1 > p_2 > p_3$ har man dels använt sig av kvadratiska provkroppar med sk. "flat jacks" på sidorna /4/ (fig. 11), de rörformiga prov /2,3 o. 11/ (fig. 12), där man med hjälp av olika axial-, inr och yttre tryck samt vridning kan variera de tre huvudspänningarna godtyckligt. Resultatet av den senare typen av prov visas i fig. 13 där det framgår att en ökning av p_2 betydligt höjer hållfastheten. Det ligger nära till hands att anta att rymdmodellen (fig. 2) är en rotationskropp liknande en projektil enligt fig. 14. Genom att hålla p_3 konstant, t.ex. = 0, får vi då en ellipsformad hållfasthetskurva vid variation av p_2 i stället för den förut antagna kvadratiska. Fig. 15 visar den således beräknade hållfastheten för granit, medan ringarna är uppmätta värden av Wiebols och Cook /11/.

Rörprovet visar således att hållfastheten i börjar ökar starkt med mellersta huvudspänningen. Men inte nog med detta. Det visar också en fördubbling av hållfastheten då p_2 ändras från p_3 till p_1 i motsats till tryckhammarprovet där dessa hållfastheter är lika.

Rörprovet är naturligtvis inte helt invändningsfritt. Det finns friktion och normalkrafter mellan prov och hölje, spänningstillståndet är inte plant o.s.v. En del av dessa prov har också givit så avvikande värden att de rimligtvis inte kan vara ett mått på materialets hållfasthet /2/.

Slutsatsen blir således att vi idag inte vet den exakta formen på hållfasthetsmodellen i fig. 2. Troligtvis ligger formen någonstans emellan modellerna i fig 2 och 14. Detta kan medföra att den ur skjuvprovet beräknade enaxliga tryckhållfastheten blir för hög. Mellersta huvudspänningen kan här ligga någonstans mitt emellan de båda andra, varför den ur Mohrs cirkeldiagram beräknade tryckhållfastheten snarare skall jämföras med den ur rörprovet erhållna tvåaxliga tryckhållfastheten (se fig 15). För stora värden på normalspänningen blir mellersta huvudspänningens inverkan procentuellt mindre, varvid brottet liksom för metaller kommer att följa v. Mises eller Trescas kriterier.

Referenser.

1. Brace, W.F. Brittle Fracture in Rocks - Proc. Int. Conf. on the State of Stress in the Earth's Crust. - Am. Elsevier N.Y. (1964).
2. Handin, J., Heard, H.C. och Magouirk, J.N. Effects of the Intermediate Principal Stress on the Failure of Limestone, Dolomite and Glass at Different Temperatures and Strain Rates - J. Geoph. Res. 72 (1967).
3. Hoskins, E.R. The Failure of thick-Walled Hollow Cylinders of Isotropic Rock. - Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. 6 (1969).
4. Hojem, J.P.M. och Cook, N.G.W. The design and konstruktion of a triaxial and polyaxial cell for testing rock specimens - South African Mech. Eng. (1968).
5. Jaeger, J.C. och Cook, N.G.W. Fundamentals of Rock Mechanics - Methuen & Co London (1969).
6. Lundborg, N. Strength of Rock-like Materials - Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 5 (1968).
7. Lundborg, N. Hur starkt är berg - Tryckluft 3 (1969).
8. Mazanti, B.B. The Effect of the Intermediate principal Stress on the Strength of Rock - Thesis, Georgia Inst. of Techn. (1967).
9. Protodyakonov, M.M. m.fl. Mechanical Properties of Rock - U.S. Department of Commerce (1968). (Original på ryska 1963).
10. Serata, S. Theory and Model of Underground Opening and Support System - Preprint of Sixth Symp. on Rock Mech. Rolla (1964).
11. Wiebols, G.A. och Cook, N.G.W. An Energy Criterion for the Strength of Rock in Polyaxial Compression. - Int. J. Rock. Mech. Min Sci. 5 (1968).

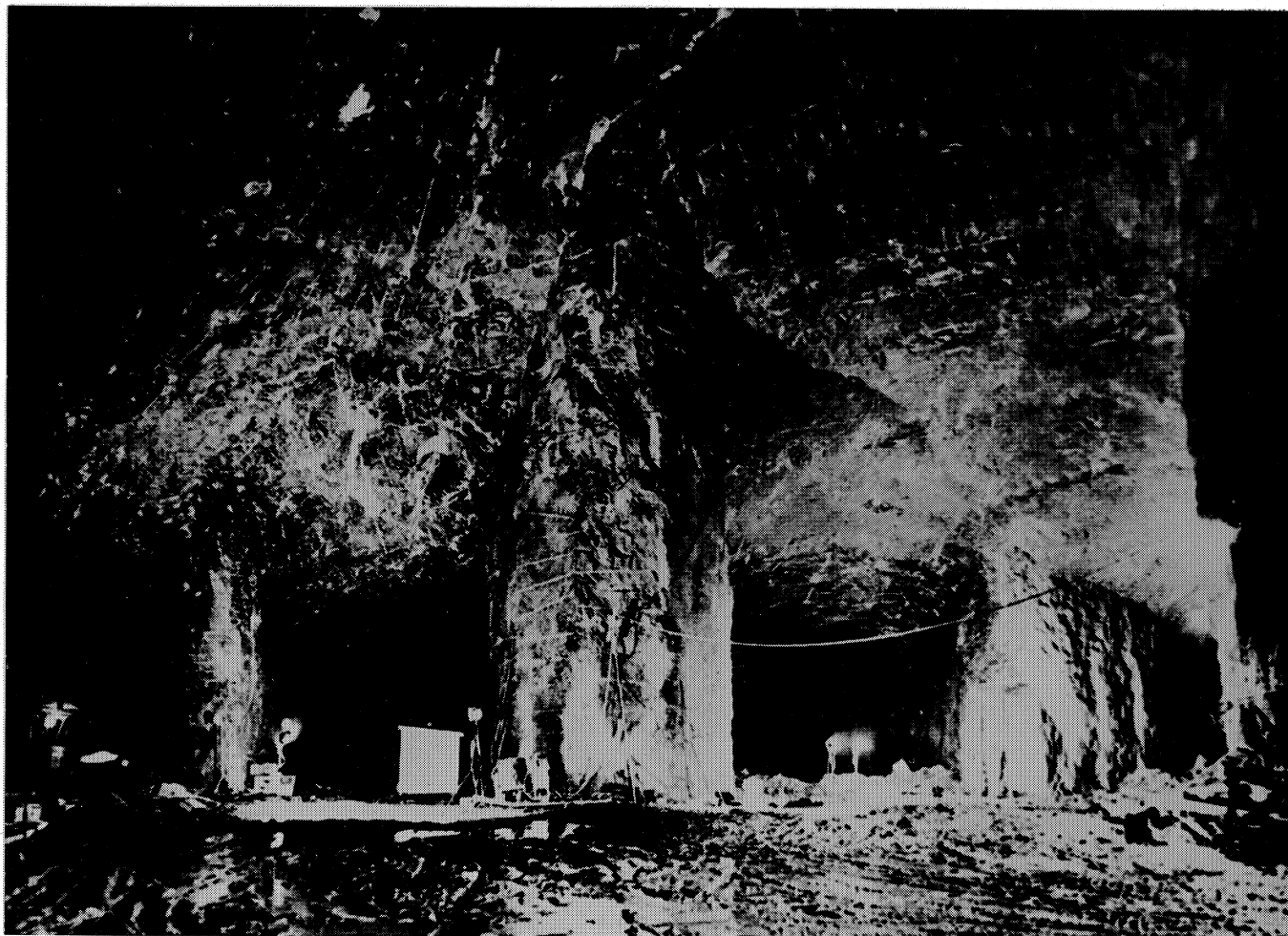


Fig. 1. Tunnelsystem i Stornorrforsens kraftstation.

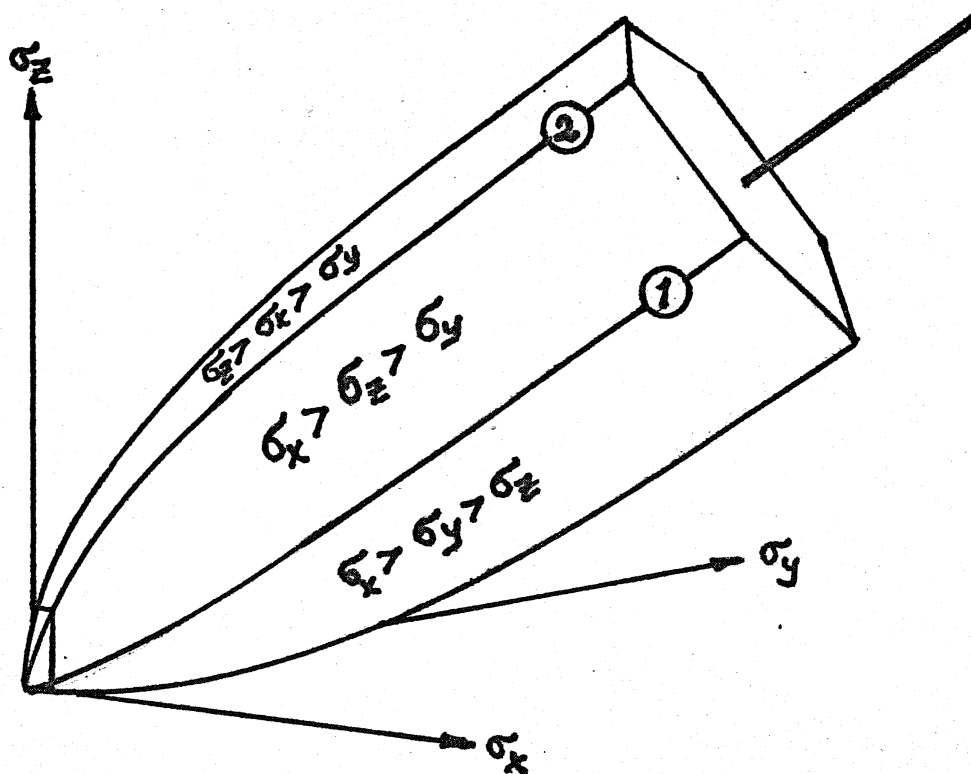


Fig. 2. Rymdmodell av granits hållfasthet.

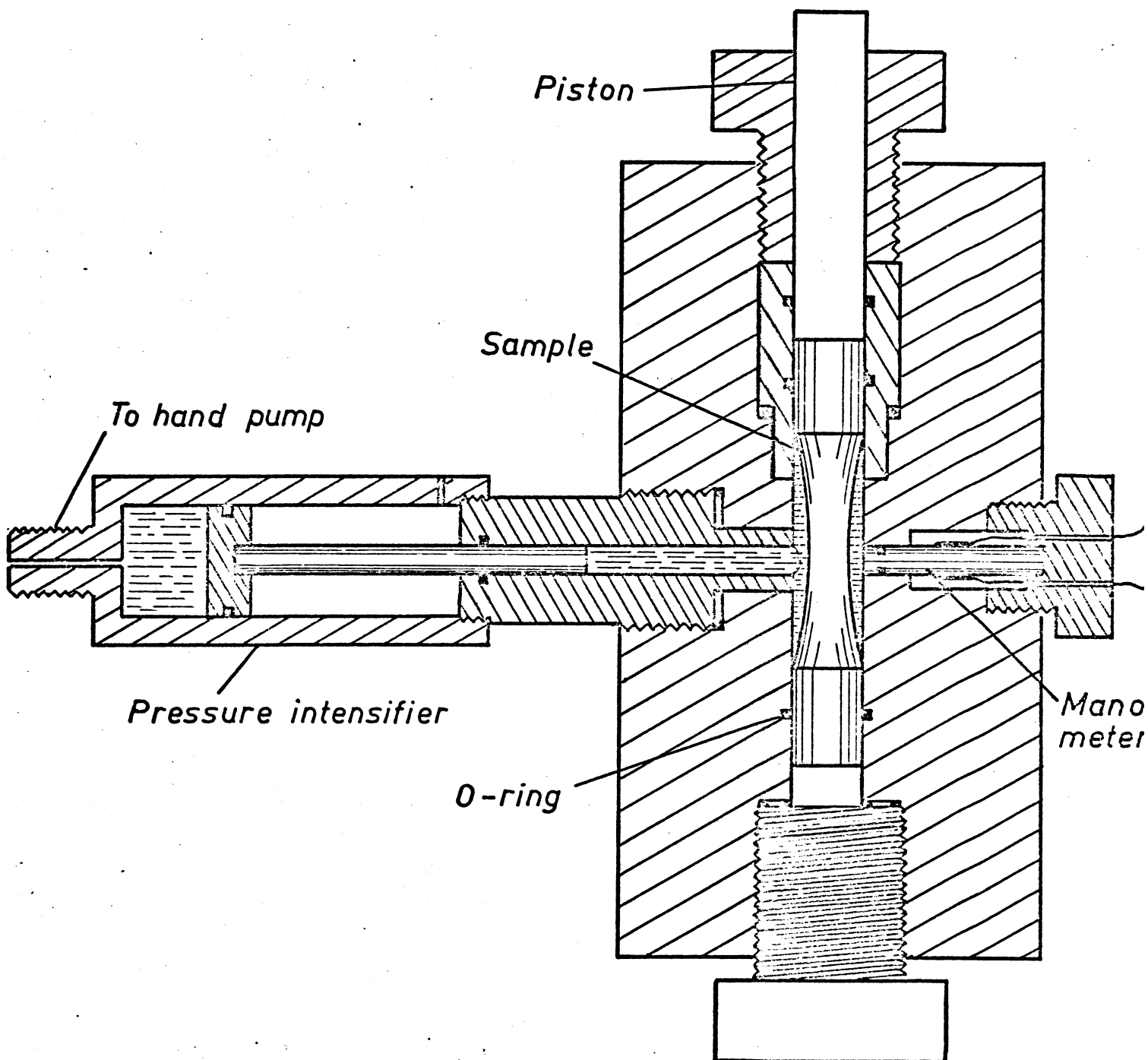


Fig. 3. Tryckkammare för bestämning av treaxlig hållfasthet.

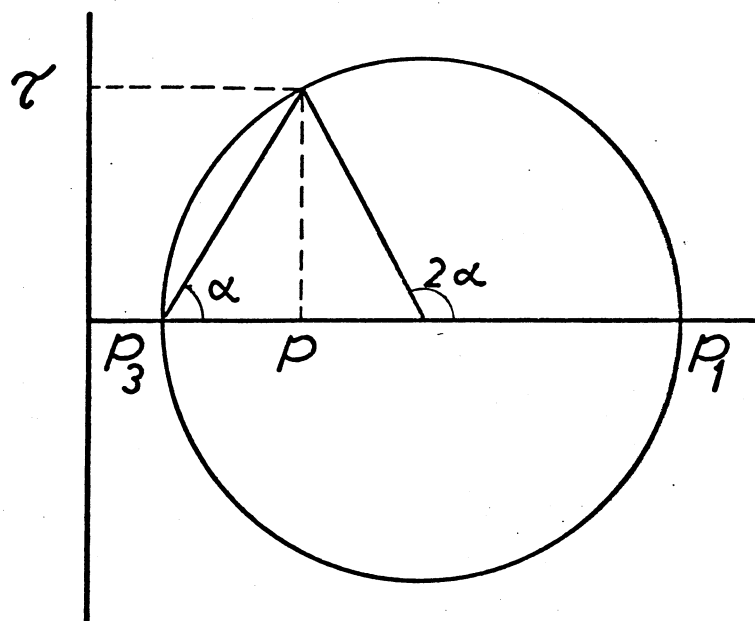


Fig. 4. Mohrs cirkeldiagram.

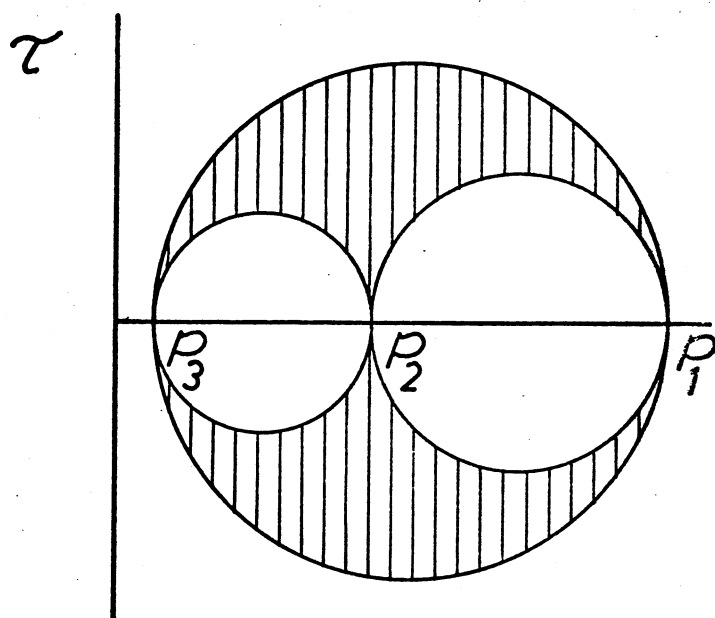


Fig. 5. Mohrs cirkeldiagram vid treaxligt spänningstillstånd.

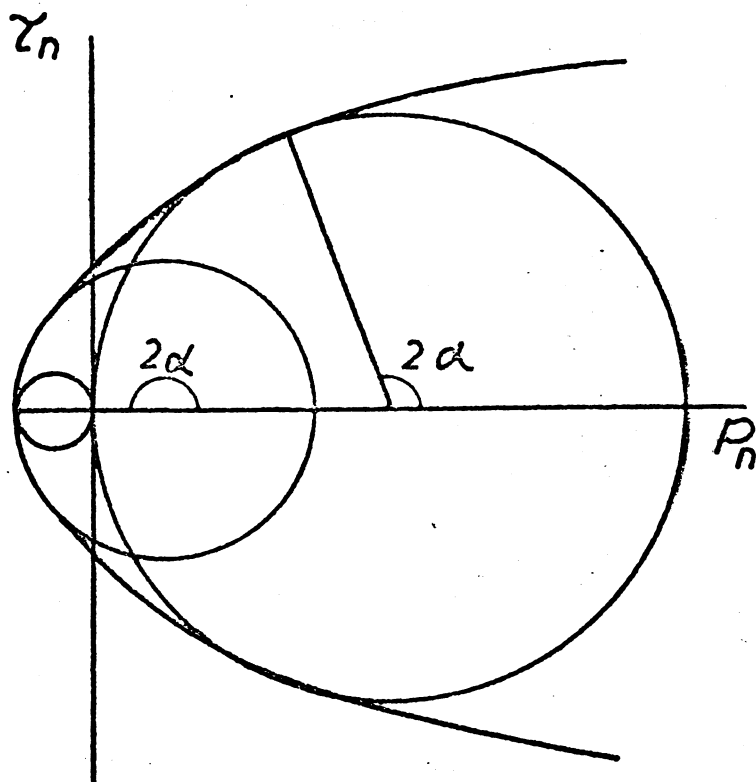


Fig. 6. Mohrs envelopp för brott.

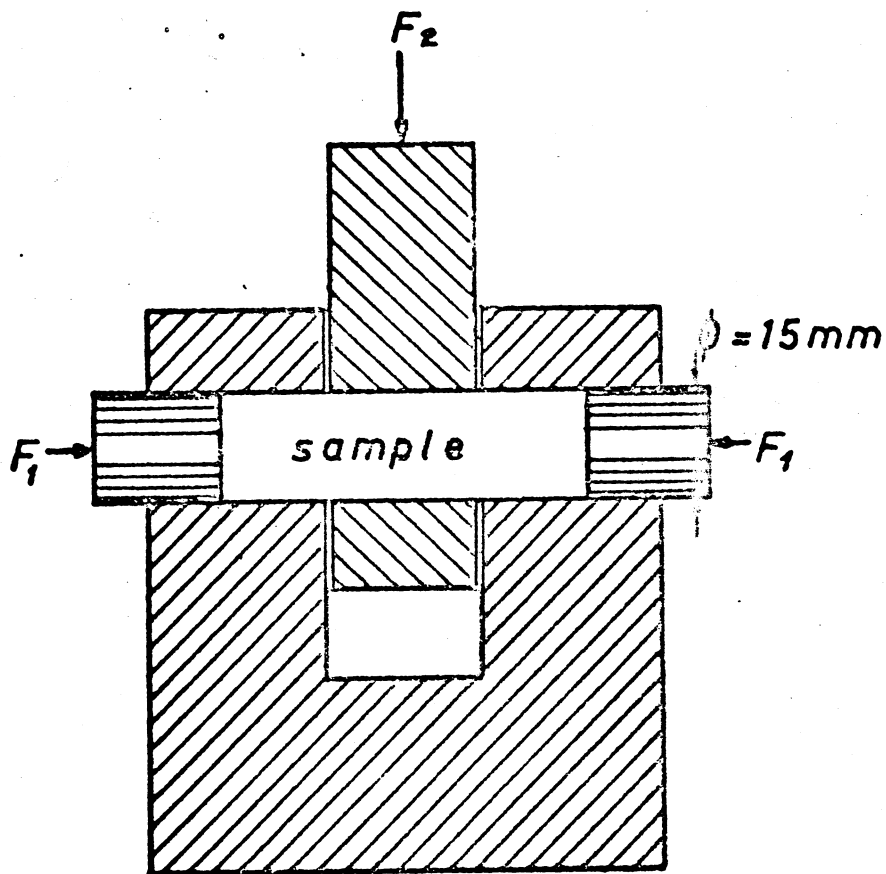


Fig. 7. Anordning för bestämning av treaxlig skjuvhållfasthet.

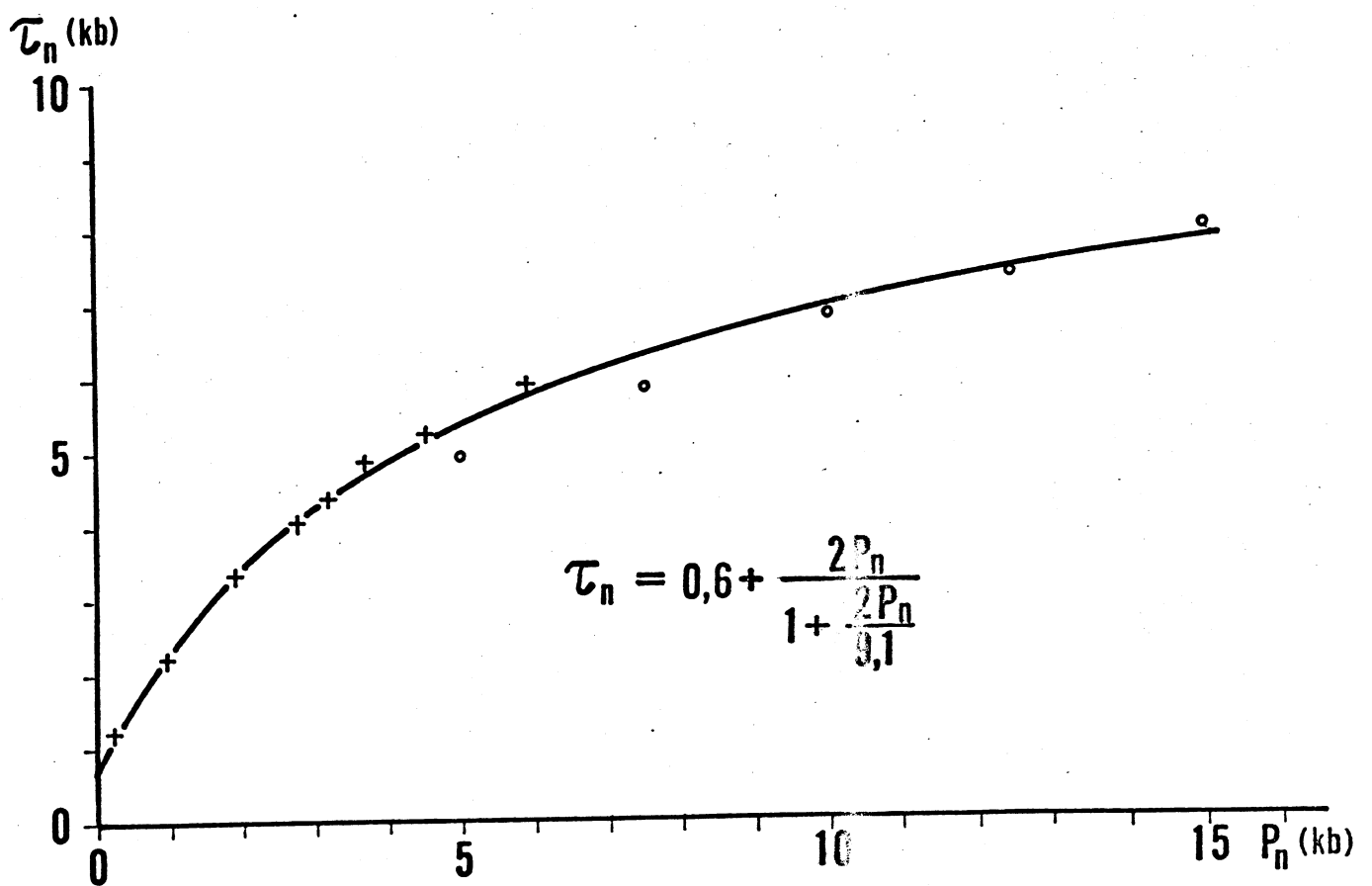


Fig. 8. Skjuvhållfasthet för granit vid olika normaltryck.

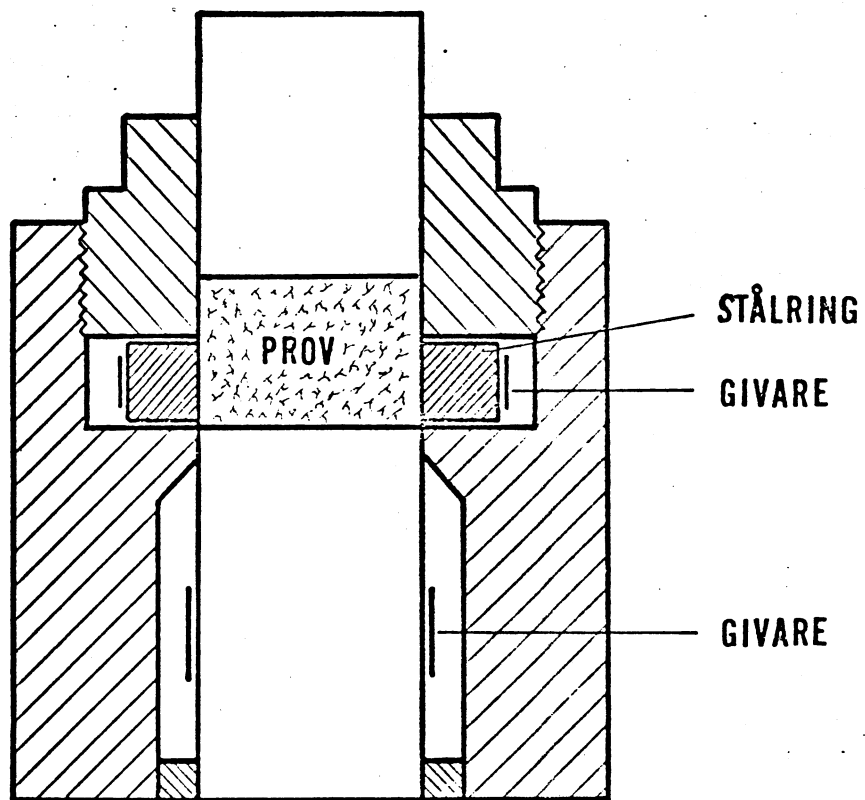


Fig. 9. Seratas provanordning.

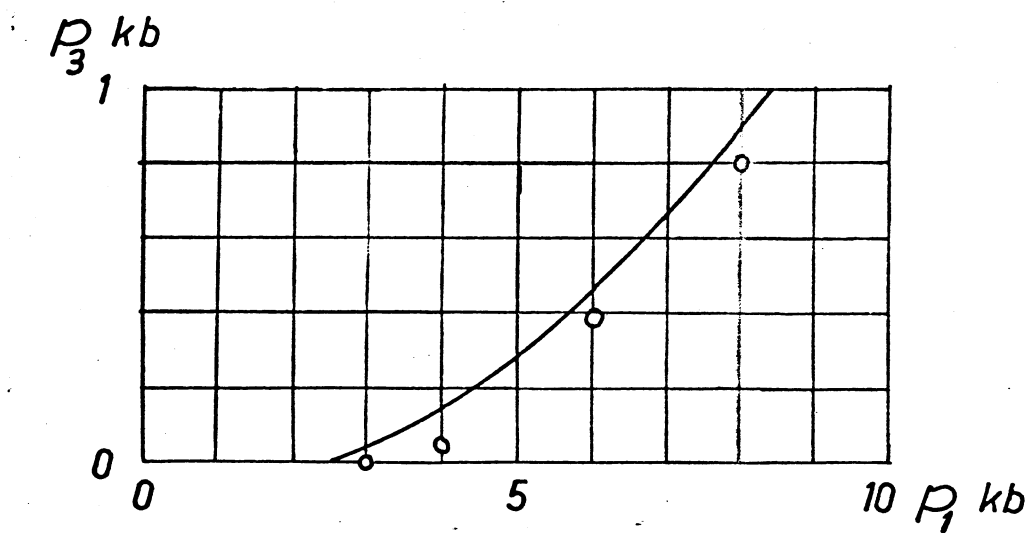


Fig. 10. Hållfasthet för granit uppmätt med prov enligt fig. 9 (heldragen linje) och fig. 3 (ringar).

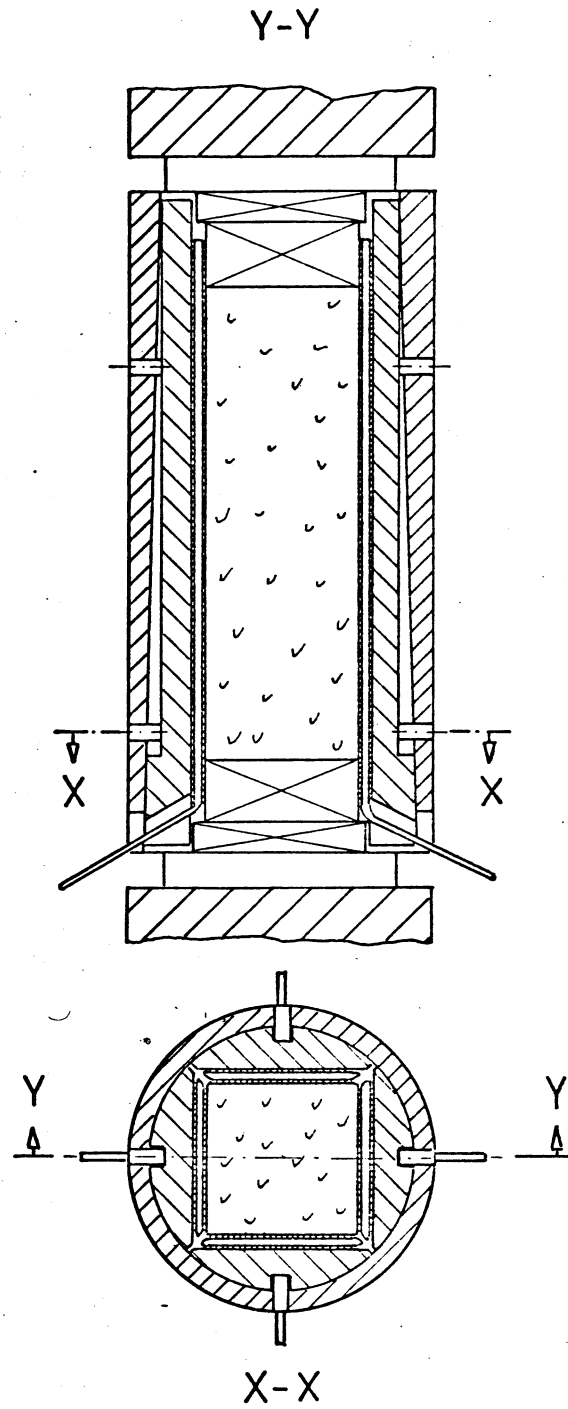


Fig. 11. Provanordning enligt Hojem och Cook.

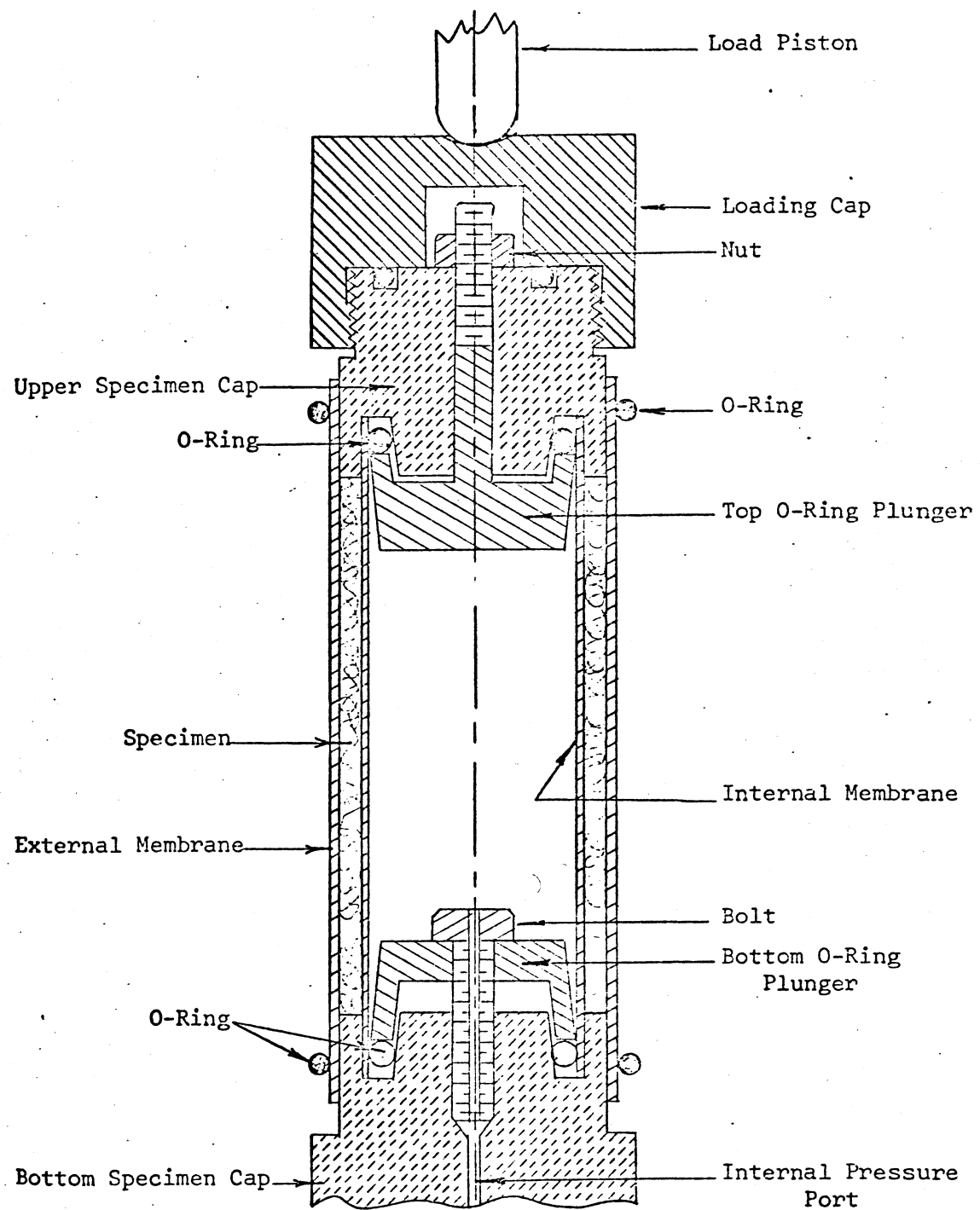


Fig. 12. Provanordning med rörformiga prov.

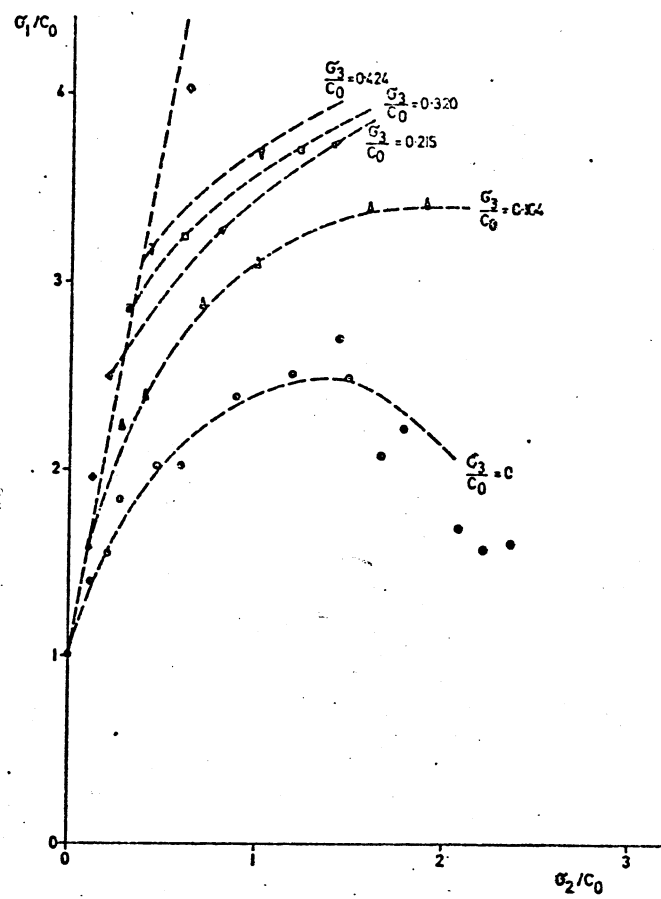


Fig. 13. Hållfasthetens beroende av mellersta huvudspänningen.

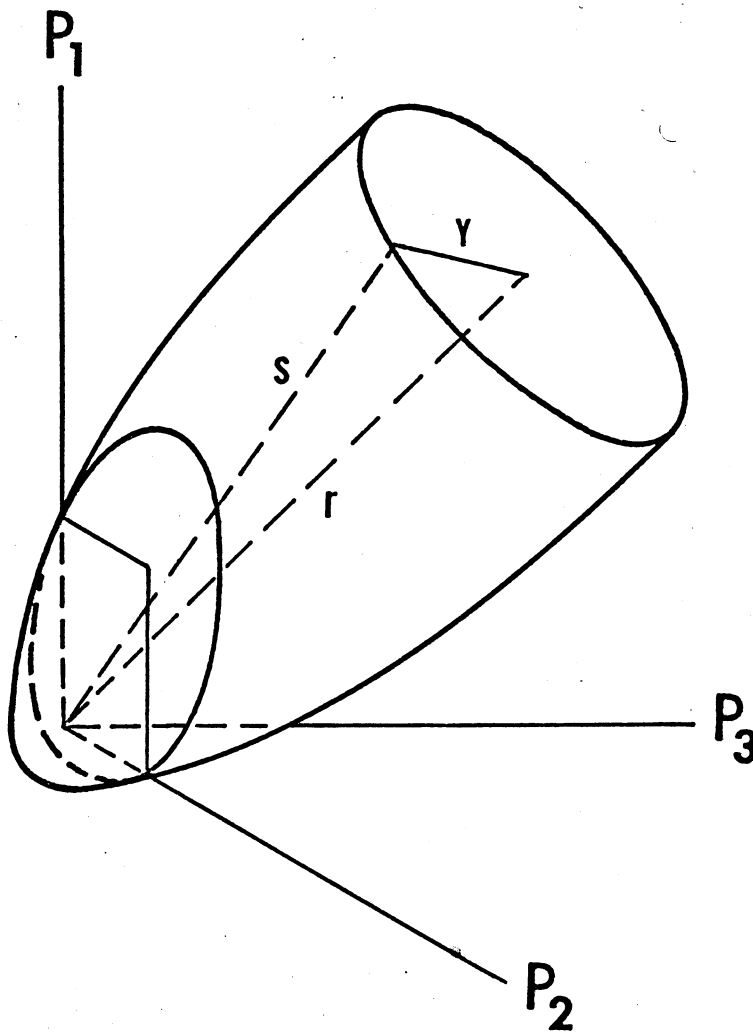


Fig. 14. Rymdmodell av granits hållfasthet.

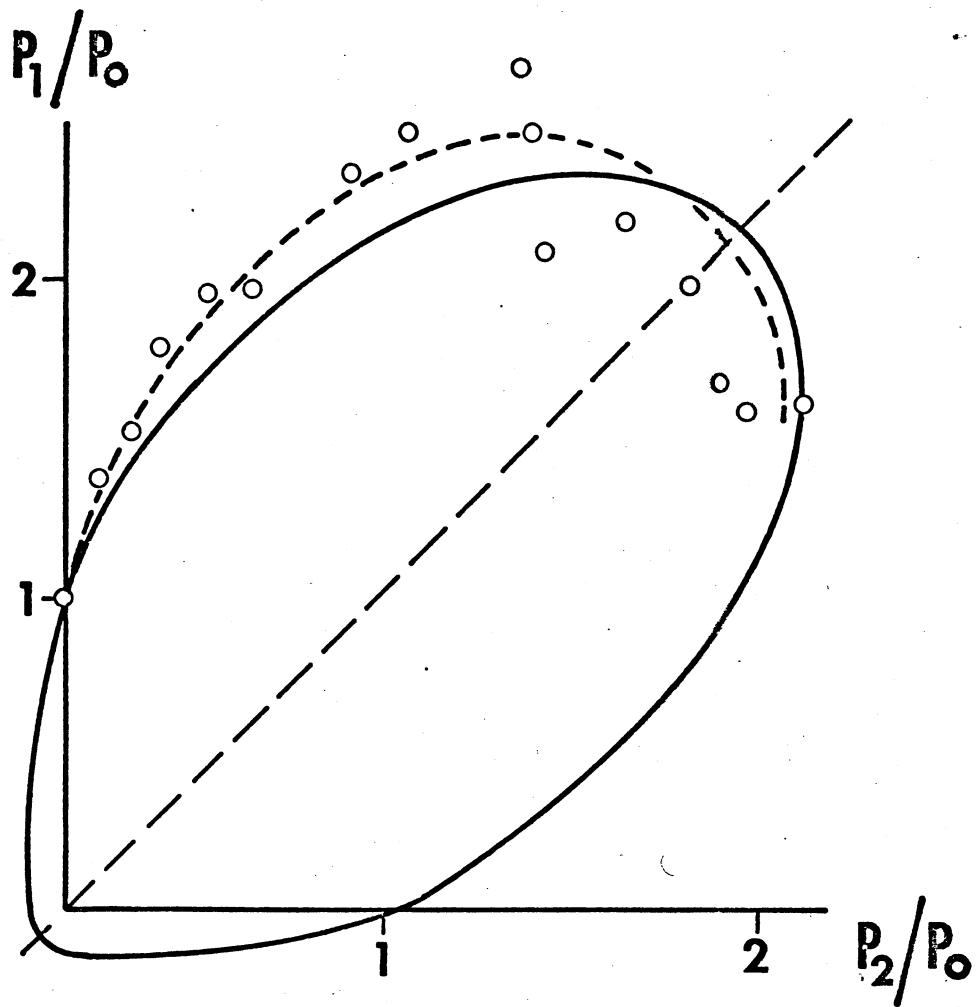


Fig. 15. Beräknad och exp. hållfasthet enligt fig. 13 och 14.