

**Refleksjoner over betydningen av høye punkt-  
temperaturer på overflater i forbindelse  
med bevegelser i bergarter.**

*Reflections on the significance of surface hot spots in connection with  
tectonic movements in rocks*

Av

PAUL H. REITAN

Med 1 tekstfigur.

**Abstract.**

The experiments verifying the existence of hot spots on the surfaces of sliding solids (Bowden and Thomas, 1954) are mentioned, along with suggestions as to how such hot spots could be caused on the surfaces of minerals in rocks during tectonic movements. It is suggested that hot spots may be capable of stimulating the recrystallization of metastable phases, thereby allowing local areas, e. g. shear zones, to achieve thermodynamic stability and appear as zones of different metamorphic facies than their surroundings (e. g., chlorite schist zones in hornblende schist). It is also suggested that hot spots may provide the energy necessary to enable mineral assemblages to recrystallize and differentiate assemblages of lower free energy, attention being drawn especially to how the total interfacial or grain boundary free energy (De Vore, 1959) might be lowered by recrystallization and local differentiation stimulated by high surface temperatures.

**Forord.**

Den foreliggende avhandling ble fremlagt som foredrag ved det IV Nordiska Geologiska Vintermötet i Uppsala, januar 1960. Det må understrekes at avhandlingen er av preliminær natur. Den skal ikke betraktes som mine urokkelige standpunkter, men heller som noen refleksjoner som jeg legger frem til diskusjon. Jeg vil gjerne takke dr. Knut Heier for interessante samtaler om disse problemer, og for språklig rettelse takker jeg Heier og fru E. Holmsen.

### **Innledning.**

Eksperimenter (Bowden og Hughes, 1937; Bowden, Stone og Tudor, 1947; Bowden og Thomas, 1954) viser at høye punkt-temperaturer forekommer på overflater som glir forbi hverandre. Man kan ikke uten videre se bort fra den mulighet at høye punkt-temperaturer også oppstår på mineraloverflater gjennom tektoniske forstyrrelser av bergarter. Jeg skal derfor summere opp en del av de vesentligste resultater av disse eksperimenter, prøve å vise hvordan høye punkt-temperaturer kan oppstå p.g.a. tektoniske bevegelser, og til slutt betrakte spørsmålet om hva høye punkt-temperaturer muligens kan bety for geologiske problemer.

### **Høye punkt-temperaturer og deres egenskaper.**

Når et fast stoff glir over et annet er de punktene hvor det virkelig er kontakt sterkt oppvarmet uten at hele overflaten — for ikke å snakke om hele massen — blir betydelig varmere. Hvis trykket på overflatene er stort og bevegelseshastigheten høy, kan selvfølgelig høye massetemperaturer oppnåes, men poenget er at høye punkt-temperaturer er dannet uten stort trykk eller høy hastighet. Bowden og medarbeidere benyttet en skive av glass, kvarts, metall e. l. som kunne dreies rundt med forskjellige hastigheter, og en liten metallstav, ca. 1 mm i diameter, i kontakt med skiven. Vekten på staven kunne varieres slik at trykket på skiven ble større eller mindre. Hvis både staven og skiven er av metall kan kontakten selv brukes som termoelement og temperaturen kan bestemmes. Hvis skiven er av glass eller kvarts eller noe annet gjennomsiktig kan man bruke en PbS-celle som er følsom for infra-rød stråling. Temperaturen av enkelte varme punkter kan da måles og temperatur-variasjonen med tiden ved et enkelt punkt kan følges. I eksperimentene ble hastigheter mellom ca. 50 og 700 cm/sek. brukt, og vekten på staven varierte mellom 450 og 1000 g. Eksempler på temperaturer som ble målt er: vekt 1000 g, hastighet ca. 50 cm/sek. ga temperaturen minst 500° C med constantan stav og glasskive; vekt 450 g, hastighet 380 cm/sek. ga temperaturen 800 ± 50° C, stålstav og glasskive; vekt 450 g, hastighet 700 cm/sek. ga temperaturen 1200 ± 50° C med stålstav og glasskive. Når en stav med forholdsvis lavt smeltepunkt ble brukt kunne det påvises at temperaturen var begrenset oppad av smeltepunktet, men også at kontaktområdet ble meget større når staven begynte å smelte. Med lett oksy-

derbare metaller, f. eks. Al, Mg, Zn, ble det av og til observert enkelte punkter hvor temperaturen var høyt over smeltepunktet. De var sannsynligvis resultater av kjemisk oksydasjon av metallet, og denne varmen skyldes i så fall eksoterm reaksjon, ikke friksjon. Disse temperaturene kunne være godt over 2000° C.

Størrelsen av disse varme punktene varierer og ble målt fra  $0,05 \times 10^{-3}$  til maksimalt  $1,4 \times 10^{-2}$ .<sup>\*</sup> Levetiden varierer også, men er alltid meget kort. Tiden det tok å bygge opp et varmepunkt til maksimal temperatur ble målt fra  $0,1 \times 10^{-3}$  sek. til  $2 \times 10^{-3}$  sek. De døde ut omtrent like fort.

Store temperaturgradienter fremkommer på overflaten. I et av eksperimentene ble temperaturforskjellen mellom de varme punktene og masse-temperaturen i overflaten bestemt til minst 200° C. Når størrelsen av punktene ikke overstiger ca.  $10^{-3}$  cm<sup>2</sup> må temperaturgradienten være av størrelsesorden  $10^5$  °C/cm.

Det er derfor bevist at meget høye punkt-temperaturer kan dannes på overflater som glir forbi hverandre. Trykket på overflatene behøver ikke nødvendigvis å være stort, og bevegelseshastigheten kan være relativt beskjeden, f. eks. 50 cm/sek. Generelt blir temperaturene høyere når stoffenes varmeledningsevne er liten, når trykket tiltar, og når hastigheten tiltar.

Jeg kan nevne et annet eksempel hvor meget høye overflatetemperaturer nødvendigvis må være tilstede, og det ligger litt nærmere geologers vanlige erfaring. Når en flate blir polert blir det dannet et tynt lag som er enten amorft eller mikrokrySTALLINSK, sannsynligvis amorft på silikater, muligens mikrokrySTALLINSK på metaller. Det heter Beilbylaget. Det oppstår ved at stoffet som blir polert blir enten svært plastisk eller smelter og blir gnidd ut over overflaten. Ved polering utjevnes ikke bare uregelmessighetene, men stoffet blir også amorft p.g.a. høye overflate-temperaturer. Allikevel er det ikke vanskelig å holde en ganske tynn plate i fingrene mens den blir polert. Man kan derfor konstatere at masse-temperaturen ikke er på langt nær så høy som overflate-temperaturen.

---

\* Størrelsen på et varmepunkt er definert som det utstrålende areal ved maksimal temperatur (Bowden and Thomas, 1954, p. 38).

### **Høye punkt-temperaturer p.g.a. tektoniske bevegelser.**

Jeg vil understreke hvor kort levetid de enkelte punktene har — omkring  $10^{-3}$  sekunder. Hvis bevegelsen har en hastighet på ca. 100 cm/sek. kunne varme punkter oppstå ved en bevegelse på under 1 mm, og ville da oppstå ved alle de punkter hvor det virkelig var kontakt mellom overflater. Jeg synes derfor at man må regne med at høye punkt-temperaturer er meget mulig i bergarter i og med at bevegelser på 1 mm og over må antas å kunne foregå med den nødvendige hastighet.

Forkastninger, skyvninger og glidninger er de mest slående eksempler, og trass i at de går sikkert som oftest i små rykk fremover må man kunne anta at bevegelsen for hver gang er så meget som 1 mm. Skjærbevegelser i alle slags bergarter er alminnelig kjent, og man må derfor kunne regne med at bevegelsene i alle fall meget ofte er 1 mm og mer ad gangen.

Foldninger forlanger også relative bevegelser mellom eller i lagene på en god del over 1 mm, selv om foldningene er små. Slike bevegelser er for store til at de kan forklares som utelukkende elastiske. Jeg nevner som et eksempel en fold med amplitude 20 cm (Fig. 1). Hvis vi betrakter O og O' og P og P' som faste punkter i et lag bare 2 cm tykt, da må punktene A og A' (før foldningen var forholdet mellom disse lik forholdet mellom O og O' og P og P') bevege seg ca. 3,2 cm i forhold til hverandre, og hvis det hele divideres med 10 så har folden en amplitude på bare 2 cm, laget er bare 2 mm tykt, og den relative bevegelsen mellom A og A' er 3,2 mm, tre ganger mere enn det nødvendige for å danne varme punkter.

Selvfølgelig kan man få radial oppsprekking og dermed redusere den relative bevegelsen mellom A og A'. Folder hvor slik oppsprekking ikke finnes er imidlertid alminnelig kjent.

Jeg tror da, at ikke bare de store forkastninger og skyvninger kan forårsake høye punkt-temperaturer, men også — sannsynligvis — små skjærbevegelser i forbindelse med foldning.

### **Betydning for geologiske problemer.**

Bevegelser i bergarter medfører nye trykk og stress-forhold for mineralene; det termodynamiske miljø blir forandret, muligens så meget at enkelte mineraler ikke lenger er stabile. Vi vet også at silikater har en meget sterk tendens til å fortsette å eksistere som meta-

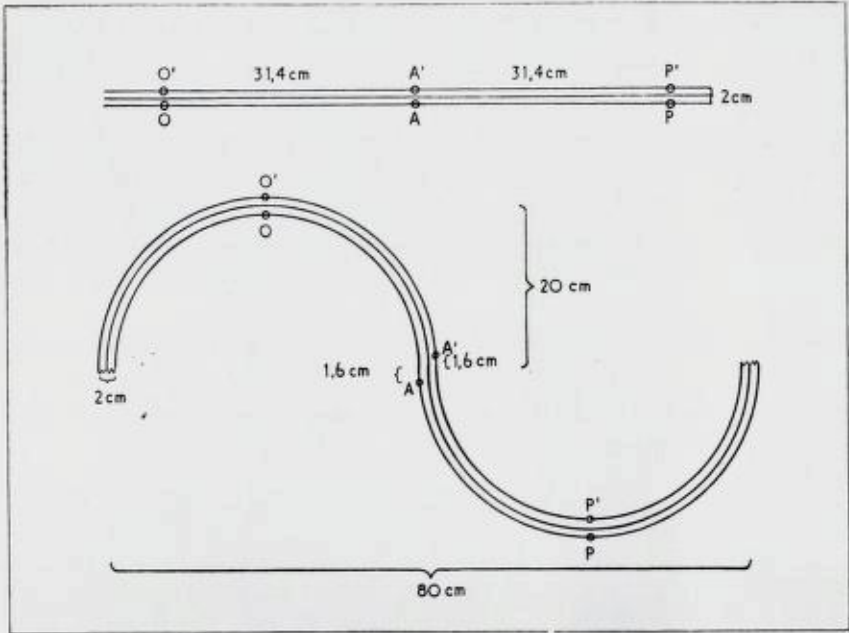


Fig. 1. Diagrammatisk fold, amplitude 20 (2) cm og bølgelengde 80 (8) cm, som viser hvordan forholdet mellom A og A' må forandre seg hvis forholdene mellom punktene O og O' og P og P' ikke forandres.

*Diagrammatic fold, amplitude 20 (2) cm and wave-length 80 (8) cm, showing how the relationship between A and A' must change if the relationships between O and O' and P and P' are unchanged.*

stabile faser. En metastabil fase har som oftest en liten energi-barriere som må overskrides før den kan omdannes til den stabile fase. Har vi ikke her i disse varme punktene en energikilde som muligens er nok til å sette prosesser i gang?

En klorittskifersone i hornblenderike bergarter er et alminnelig observert fenomen. Disse er ofte tolket som et resultat av sene skjærbevegelser ved forholdsvis lav temperatur. Men når temperaturen er lav kan silikater lettest bestå som metastabile faser, slik som — i dette eksemplet — bergarten utenom skjærsonene har bestått. I skjærsonen har vi kloritt, og siden den er karakteristisk for lavere facies enn hornblende, kan man ikke tro at temperaturen i skjærsonen var høy overalt. I dette eksemplet har vi heller ikke med typiske anti-stress og stress-

mineraler å gjøre. Men jeg kan lett tenke meg at små varme punkter på overflatene av mineraler kunne — uten å forårsake en generell oppvarming av skjærsonen — stimulere metastabile mineraler til å omkrystallisere til stabile faser — mineraler som er stabile ved lavere temperatur.

De Vore (1959) har lagt stor vekt på korngrenseflatens minimum fri energi som en kontrollerende faktor for dannelsen av et lokalt mineralselskap i bergarter. Korngrenseflatenes fri energi (min oversettelse av *interfacial* eller *grain boundary free energy*) er definert som den delen av systemets fri energi forårsaket ved avbrytelser av de enkelte kornenes innvendige strukturer ved overflater og forholdene til overflatene av tilgrensende korn. Den avhenger av kornstørrelse, den relative orientering av kornene på begge sider av alle grenseflater, og av forurensninger i kornenes overflater. De Vore (1959) regner med at ikke alle mineralselskaper er like stabile, og at lavere korngrenseflate fri energi kunne oppnås ved at et mineralselskap delte seg i to med forskjellige prosenter av mineralene i hvert selskap, f. eks. at man fikk bånd, striper eller ganger av én sammensetning inn i en annen. Dette er i grunnen ikke annet enn at en metamorf differensiering kunne føre til større stabilitet på grunn av mindre korngrenseflate fri energi.

Lag som blir foldet har mange konsentriske skjærplan mellom eller i lagene (de Sitter, 1956, s. 74). Langs disse skjærplan kan muligens oppstå høye punkt-temperaturer som gir den energi som er nødvendig for at et mineralselskap kunne differensieres gjennom omkrystallisering og derved oppnå en lavere total fri energi. Hvis det opprinnelige lag var homogent kunne en slik differensiering føre til at laget ble stripet.

Tidligere har Bennington (1956, s. 572), i forbindelse med en diskusjon om metamorf differensiering i stor målestokk, antydnet at høye punkt-temperaturer på overflater kan medvirke til nedbrytningen av mineraler i skjærsoner. Bryn (1960, i denne boken, s. 8) diskuterer dannelsen av pseudotachylite og mener at høye punkt-temperaturer på overflater kan ha betydning i forbindelse med oppsmeltning av bergarter.

Hensikten med denne avhandlingen er å henlede oppmerksomhet på noen fenomener som er lite kjent blant geologer, og som jeg ikke har sett omtalt tidligere i skandinavisk litteratur. Betydningen av disse fenomener er slett ikke avgjort, men at de kan ha betydning for geologiske problemer er mulig. Jeg har med hensikt valgt å prøve å illu-

strere anvendelsen av høye punkt-temperaturer med eksempler hvor det ved første øyekast virker usannsynlig at de kan ha vært en medvirkende årsak til det som iakttas i bergarter, fordi jeg ville antyde at anvendelsen av dem kan være meget bred.

### Litteratur.

- Bennington, Kenneth O.*, 1956. Role of shearing stress and pressure in differentiation as illustrated by some mineral reactions in the system  $MgO-SiO_2-H_2O$ : Journ. Geol., v. 64, p. 558—577.
- Bowden, F. P.*, og *Hughes, T. P.*, 1937. Physical properties of surfaces. IV — Polishing, surface flow and the formation of the Beilby layer. Proc. Royal Soc. London, ser. A, v. 160, p. 575—587.
- Bowden, F. P.*, *Stone, M. A.* og *Tudor, G. K.*, 1947. Hot spots on rubbing surfaces and the denotation of explosives by friction. Proc. Royal Soc. London, ser. A, vol. 188, p. 329—349.
- Bowden, F. P.* og *Thomas, P. H.*, 1954. The surface temperature of sliding solids. Proc. Royal Soc. London, ser. A, v. 223, p. 29—39.
- Bryn, K. Ø.*, 1960. Et funn av pseudotachylitt i S. Trøndelag, og en teori for dannelsen. Norges geol. unders. Nr. 211, 1960, p. 8—17.
- de Sitter, L. U.*, 1956. Structural geology. Mc Graw-Hill Publ. Co., London, 552 p.
- De Vore, G. W.*, 1959. Role of minimum interfacial free energy in determining the macroscopic features of mineral assemblages. I. The model. Journal. Geol., v. 67, p. 211—227.