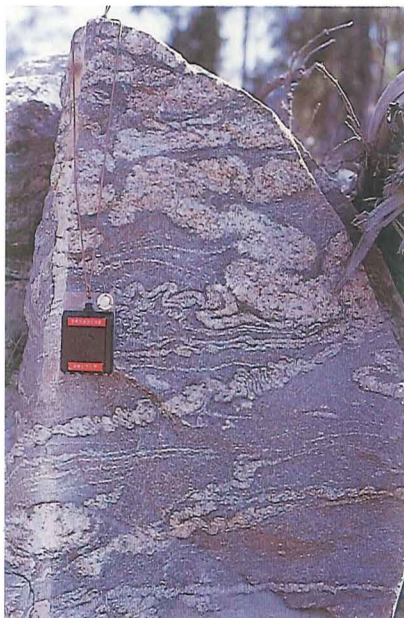


# PTYGMATISKE FOLDER

af Lilian Skjernaa

Mange mennesker samler på mineraler eller forsteninger, men der er også nogle, der samler på folder. Folder findes i et utal af former og størrelser og er ofte meget dekorative. Men folder er også spændende, fordi de kan fortælle en historie om den deformation, der har ført til deres dannelse og dermed også om samspillet mellem geologiske kræfter og geologiske materialer.

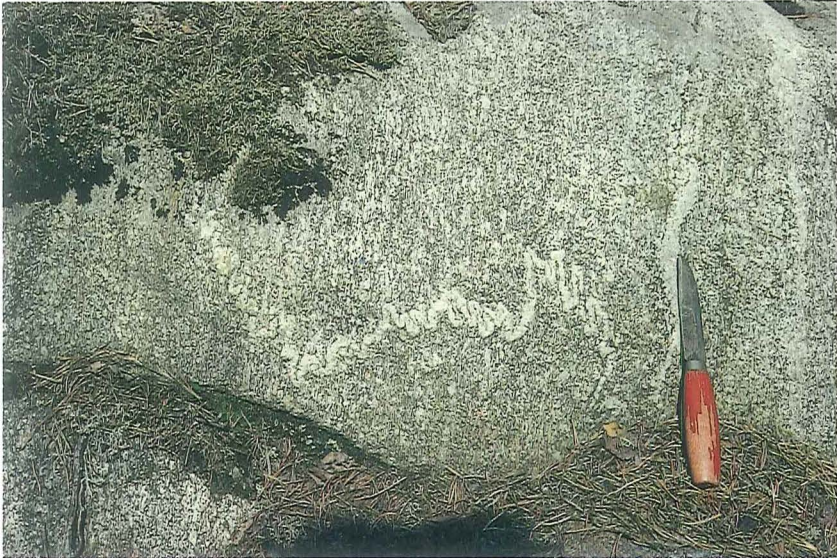
Et af de større problemer ved at samle på folder er, at man oftest må slæbe en meget stor sten med hjem for at få folden med, så det er begrænset, hvor mange man kan få plads til i reolsystemet eller i vindueskarmen. I en stenmur i haven kan en foldesamling derimod være spændende.



Figur 1. Gnejs med ptygmatiske foldede årer af kvarts-feldspat. Østfold, Norge.



Figur 2. En monzonit, der er gennemsat af kvarts-feldspat årer, som senere er ptygmatiske foldede.

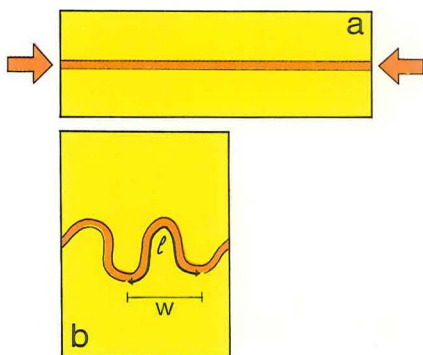


Figur 3. Gnejs med en tynd, tætfoldet ptygmatiske åre.

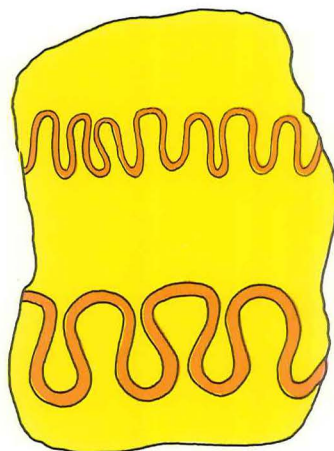
Der findes dog også mange små folder, og en særlig dekorativ type er de såkaldte ptygmatiske folder ('ptygma' er græsk og betyder foldet). Ptygmatiske folder dannes ved foldning af et enkelt stift lag, for det meste en kvarts eller kvartsfeldspat åre, som er omgivet af blødere sidesten, som f.eks. kan være en metamorf lerskifer, en gnejs eller lignende. Betegnelserne 'blød' og 'stiv' hentyder til bjergarternes egenskaber, som de var ved de tryk og temperaturer, der herskede, da folderne blev dannet, for det meste dybt nede i jordskorpen. En bjergart, som reagerer 'stift' i forhold til sin sidebjergart, kaldes *kompetent*, medens den blødere sidebjergart er *inkompetent*. Der er her tale om relative begreber, og en bjergart kan således reagere kompetent i forhold til en sidebjergart, men inkompetent i forhold til en anden.

Ptygmatiske folder er karakteriseret ved, at længden ( $l$ ) af laget mellem to foldeombøjninger er stor - både i forhold til lagets tykkelse og til foldernes bølgelængde ( $w$ ). Forholdet  $l/w$  skal være større end 10. (se fig. 4). Folderne menes at være dannet ved en simpel bøjning eller bukning, der opstår når laget og den omgivende bjergart bliver presset sammen og forkortet i retningen parallelt med laget (fig. 4). Det vil sige, at laget bevarer både den oprindelige længde og oprindelige tykkelse. Foldernes størrelse anses for at være afhængig af kompetenceforskellen mellem lag og sidesten, jo større forskel i kompetence, jo større folder udvikles der. Her spiller lagtykkelsen dog også ind, jo tykkere lag, jo større folder, som det ses af fig. 5, der viser forskellen i størrelsen af ptygmatiske folder i lag med *samme* kompetence, men med *forskellig* lagtykkelse.





Figur 4. Dannelsen af en ptygmatiske fold ved kompression. I (b) er foldens længde  $l$  og bølgelængde  $w$  angivet.



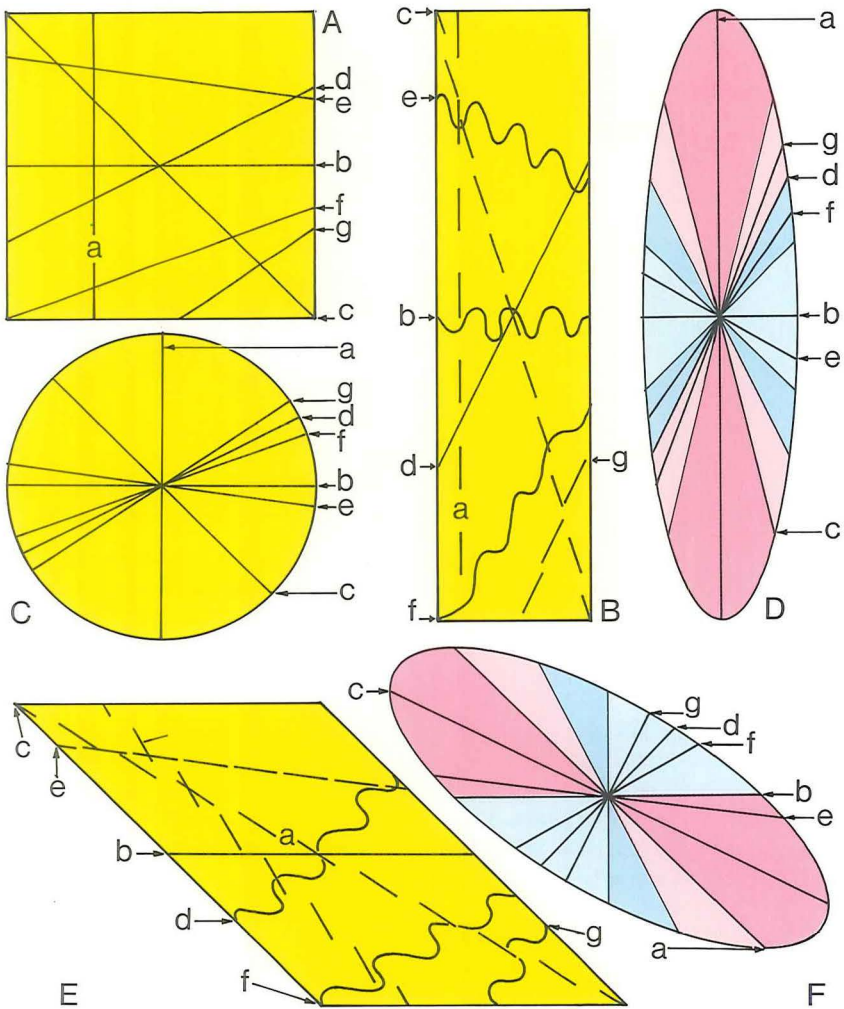
Figur 5. Størrelsesforskellen af ptygmatiske folder i lag med forskellig tykkelse, men med samme kompetence.

Forholdet  $l/w$  er et mål for forkortelsen af bjergartsmassen i lagets retning. Naturligvis måler man altid mange folder for at få en nøjagtig bestemmelse af forkortelsen. Forandringen af lagets længde kan udtrykkes:  $e = (L - L_0) : L_0$ , hvor  $L_0$  er lagets længde før deformationen (måles langs den foldede flade), og  $L$  er længden efter deformationen.

Fig. 6a viser et kvadratisk udsnit af en klippeflade, der er gennemsat af 7 årer (eller lag) med forskellige orienteringer. Fig. 6b viser det samme fladeudsnit efter en deformation, hvor kvadratet er blevet presset sammen på den ene led og strakt tilsvarende på den anden. Fladens areal er altså det samme. Deformationen af denne type betegnes på engelsk 'pure shear'. Betegnelsen bruges ofte på dansk, selv om betegnelsen dobbeltshear har været brugt.

På fig. 6b ses årerne b, e og f deformeret til ptygmatiske folder. I tilfælde b er folderne symmetriske og i e og f asymmetriske med kipning mod henholdsvis venstre og højre. Åren d har bevaret sit retlinede udseende, mens årerne a, c og g er revet i stykker ved deformationen, de er blevet *boudinerede*.

Når et meget kompetent lag i en inkompetent sidebjergart bliver udsat for en strækning, vil det kompetente lag blive boudineret næsten med det samme, og den eventuelle fortsatte strækning parallelt med lagets retning vil medføre, at boudinerne fjernes fra hinanden. Forlængelsen i lagets retning kan derfor måles som summen af boudinernes længde i forhold til den totale nye længde, og forlængelsen kan udtrykkes talmæssigt på samme måde som forkortelsen i folder, nemlig ved:  $e = (L - L_0) : L_0$ .



Figur 6. To hovedtyper for deformation. Fra udgangspositionen A, der er et kvadratisk område med indlagte årer (a-g) deformeres kvadratet ved pure shear deformation til B, der har samme areal. Ændringen af årernes position og udseende er angivet. Delafsnit af oprindelige ens årelængder er vist i C med samme retning som i A, og den tilhørende strain-ellipse er vist i D.

Ved simpelt shear af kvadratet A er resultatet vist i E med den tilhørende strain-ellipse i F. Se i øvrigt teksten.

Ved forkortelse (foldning) af lag vil  $e$  være negativ, og ved forlængelse af lag (boudinering) vil  $e$  være positiv. Sættes lagets oprindelige længde til 1, kan den nye længde beskrives som:  $1 + e$ , hvor  $e$  kan være både positiv og negativ.

Et samlet overblik over deformationsintensiteten i fig. 6b får man ved at tage lige lange stykker af de udeformerede årer i fig. 6a og placere dem som radier i en cirkel (fig. 6c). Under deformation er disse radier, bortset fra **a** og **b** som har beholdt deres orientering, roteret, så de er kommet nærmere **a**, og samtidig er alle radier, undtagen **d**, blevet enten længere eller kortere. Deres nye længde er, hvis den oprindelige længde sættes til 1,  $(1 + e)$ , hvor  $e$  kan måles direkte på de deformerede årer som ovenfor beskrevet, deres endepunkter vil ligge på en ellipse med **a** langs den længste akse og **b** langs den korteste (fig. 6d).

Den viste ellipse kaldes *strain-ellipsen* for deformation, og strain-ellipsens form, størrelse og orientering giver et fuldstændigt billede af den deformationsmængde, der er optaget i den betragtede flade. I alle retninger indenfor de røde felter er der sket en forlængelse, mens der er sket en forkortelse i alle retninger indenfor de blå felter. Linierne, der danner grænsen mellem røde og blå felter, har beholdt den oprindelige længde.

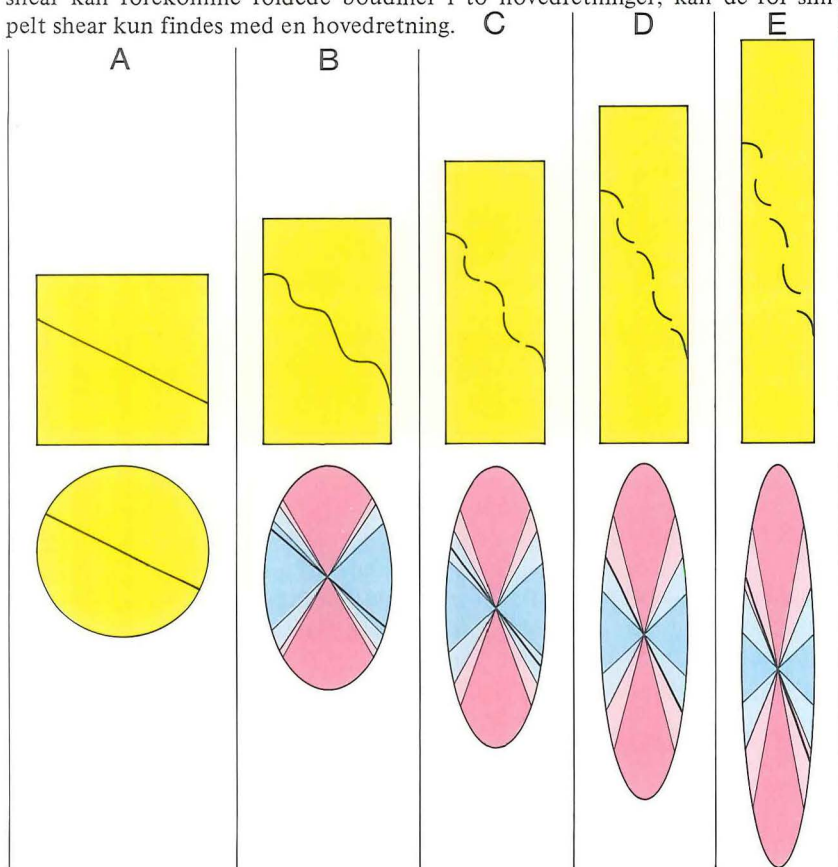
Det er altså muligt - ud fra de deformerede årer - at konstruere strain-ellipsen, uden at kende årernes oprindelige orientering, og strain-ellipsen viser strækninger og forkortelser, som kan måles på ellipsen, i alle retninger.

En anden form for deformation, såkaldt simpelt shear (også kendt som enkelt shear), er vist i fig. 6e. Her er de samme 7 årer fra tidligere blevet deformeret på en sådan måde, at det oprindelige kvadrats vandrette sider har beholdt deres længde og indbyrdes afstand, men de er forskudt i forhold til hinanden. Igen er nogle årer blevet foldet ved deformationen, og andre er blevet boudineret, - kun **b** har beholdt den oprindelige længde, mens de andre har ændret længde og er roteret mod uret og har nærmet sig **b**. Det bemærkes også, at de årer (**d**, **f** og **g**), der er blevet foldet ved denne deformation (simpelt shear), ikke er de samme, som blev foldet ved den tidligere omtalte (pure shear) deformation (**b**, **e** og **f**). På samme måde som før kan man imidlertid konstruere strain-ellipsen for deformationen ved at måle  $L$  og  $L_0$ , for de forskellige årer og beregne  $e$  for hver af dem og afsætte  $1 + e$  værdierne parallelt med de respektive årer som radier i en ellipse (fig. 6f).

Medens strain-ellipsen giver et nøjagtigt mål for deformationens intensitet og orientering, siger den ikke noget om deformationstypen, om det har været pure shear, simpelt shear eller en mellemting. Når vi på figurerne kan se forskel på deformationstyperne er det fordi, vi har de deformerede kvadrater at holde os til, sådanne findes normalt ikke i naturen.

Et fingerpeg om deformationstypen kan man dog få i meget heldige tilfælde

ved at betragte de deformerede årer meget omhyggeligt. Under den rotation af årerne, der sker ved deformationen, kan der nemlig ske det, at nogle årer roterer fra en orientering, hvor de bliver forkortet, til en orientering hvor de bliver strakt, i fig. 6 gælder det for årerne d, f og g i pure shear deformationen, men ikke for nogen af årerne i simpelt shear deformationen. Disse årer skulle så teoretisk set starte med at blive foldet, senere skulle folderne blive trukket ud, og endelig kunne der til slut ske boudinage. Det er denne tænkte situation, der er vist i fig. 6b. I praksis vil der for det meste ske det, at det foldede lag bliver boudineret uden at folderne rettes ud først, og man vil derfor få boudinerede lag, hvor de enkelte boudiner indeholder folder eller fragmenter af folder. Sådanne strukturer vil kunne findes i lag, der har orientering indenfor de mørkerøde og mørkeblå felter i fig. 6d og f. Det ses, at medens der i pure shear kan forekomme foldede boudiner i to hovedretninger, kan de for simpelt shear kun findes med en hovedretning.



Figur 7. Dannelsen af boudiner ved pure shear. Se teksten på side 9.



Alle linier, der på et givet tidspunkt i deformationsforløbet ligger i det lyseblå felt, har været under forkortelse i hele deformationshistorien. Linier i det mørkeblå felt er først blevet forkortede og senere strakt, men er alligevel totalt kortere end før deformationen begyndte. Linier i de mørkerøde felter er ligeledes forkortet først og derefter strakt, men de er længere nu, end før deformationen begyndte. Linier i de lyserøde felter har været under strækning gennem hele deformationen.

Fig. 7 viser udviklingen af foldede boudinier i forskellige stadier af en pure shear deformation. I fig. 7b har laget næsten opnået den maksimale forkortelse, det vil sige, at det ligger nær grænsen mellem lyseblåt og mørkeblåt i strain-ellipsen for dette deformationsstadium. I fig. 7c er laget roteret ind i ellipsens mørkeblå felt, det er begyndt at blive længere og er derfor gået i stykker, men det er stadigvæk kortere end før deformationen begyndte. I fig. 7d har laget fra endepunkt til endepunkt samme længde som før deformationen, men i stedet for at være et plant lag, er det nu opdelt i en række foldede boudinier: laget ligger på grænsen mellem rødt og blåt i strain-ellipsen. Endelig viser fig. 7e situationen, hvor laget er længere end udgangslængden, men det skyldes, at boudinjerne er fjernet fra hinanden, - laget ligger i det mørkerøde felt i strain-ellipsen, og her vil det blive liggende under en eventuel fortsat deformation.

