

Ms. mottatt 10. juni 1944.

SKYVNING OG FRIKSJON

AV

ANDERS KVALE

Med 1 fig i teksten. Engl. Summary.

Det er meget fortjenstfuldt av CHR. OFTEDAHL at han i sitt arbeide om sparagmitten og dens skyvning¹ diskuterer den mekaniske side av skyvveproblemet. Selv om vi ennå er langt fra løsningen, er det ønskelig at problemene blir klarlagt, og at det blir pekt på vanskelighetene.

Oftedahl forsøker å beregne friksjonen ved skyvning av sparagmittflakene og finner at de krefter som skulle til for å overvinne den måtte være betydelig større enn bergartens „ultimate strength“ for brudd. Hvis sparagmittflakene skal ha overført det trykk som frambragte foldningen i Oslofeltets bergarter ved Mjøsa, må friksjonen ha vært like liten som for et jernbanetog.

Dette friksjonsproblemet er tilsynelatende uløselig. Det har ført til at enkelte, særlig amerikanske geologer, som ikke kjenner store overskyvninger fra selvsyn, har vært tilbøyelige til å tvile på deres eksistens. Bevisene for skyvninger i stor målestokk er imidlertid nå så sterke at en ikke kan tvile på dem. Vi kan vel si at de fleste norske geologer nå tror på overskyvninger i fjellkjeden, og det fyldige materiale som Oftedahl legger fram betyr en ytterligere styrkelse av skyveteorien. En kan heller ikke tvile på de friksjonslover som er funnet ved laboratorieforsøk. Feilen i regnestykket må altså ligge i anvendelsen av laboratoriets lover på forholdene i naturen. Der må gjøre seg gjeldende faktorer hvis virkning vi ikke har full oversikt over, og som bringer inn vesentlige korreksjoner i beregningen.

Lignende vanskeligheter møter en også på andre områder av av tektonikken, således ved anvendelse av strainellipsoidet på deformasjoner i bergarter.²

¹ CHRISTOFFER OFTEDAHL: Om sparagmitten og dens skyvning innen kartbladet Øvre Rendal. N. G. U. Nr. 161. Oslo 1943.

² D. T. Griggs: The Strain Ellipsoid as a Theory of Rupture. Am. Journ. Sci. 5th. ser. Vol. 30, pp. 121—137. 1935.

I det følgende skal nevnes enkelte faktorer som vil innvirke på Oftedahls regnestykke.

Han betrakter sparagmitten som en stor sammenhengende plate, som angripes av en kraft i den ene ende og derved skyves over underlaget. Platen er under bevegelsen så stiv at den kan overføre trykk til Oslofeltets lagpakker, som derved blir foldet. Det er nødvendig å forenkle billedet for å kunne gjennomføre beregningen, men spørsmålet er om ikke denne forenkling er litt for stor.

Oftedahl skiller mellom tre former for skyvning:

1. Den differensielle skyvning.
2. Skyvning av enkelte benker.
3. Skyvning av hele lagpakken.

1. *Den differensielle skyvning.* En rekke detaljer i strukturbeskrivelsene viser at sparagmitten har vært utsatt for et betydelig stress, som har ført til oppknusning med rekrystallasjon og strekning av konglomerater, slik at forholdet mellom deres minste og lengste akse er blitt opptil 1 : 10. Dette viser at påvirkningen har oversteget elastisitetsgrensen betydelig, og at sparagmitten har reagert ved plastisk „flow“. De enkelte prosesser ved en slik „flow“ er i stor utstrekning klarlagt ved arbeider av Sander, Schmidt m. fl. Bergarten har vært i en tilstand hvor den kunne deformeres plastisk, det vil si at den har reagert på stresset ved partialbevegelse uten brudd. En mindre del av bergarten har vært fluid, mineralene har vært påvirket av skjærkrefter som har rotert dem inn i visse stillinger, det har sannsynligvis foregått en glidning langs visse gitterplan og samtidig har det foregått en rekrystallasjon. Hvor stor friksjonen er i en bergart under slike forhold er ikke godt å si. Sander pleier å sammenligne en slik „tektonisk transport“ med en strømmende elv. Ideen er bra nok, hvis en bare ikke tenker seg at elven inneholder vann, men heller bek, eller et enda seigere stoff.

Et av de spørsmål som ennå ikke er klarlagt, er strekningsretningens forhold til bevegelsesretningen. I Alpene er som regel foldningsakser og strekning loddrett på bevegelsesretningen. Sanders og Schmidts teorier bygger på at dette er det normale forhold, og de kan gi en tilfredsstillende forklaring på dannelsen av denne strekning. Flere faktorer kan spille inn, men viktigst er en rotasjon om en akse loddrett bevegelsesretningen, noe i likhet med deig som rulles på et bord. I den kaledoniske fjellkjede opptrer en annen type av strekning,

nemlig omkring OSO til SO, altså parallell den skyveretning som alle fjellkjedegeologer på begge sider av Kjølén er enige om. Denne strekning finnes på en rekke steder fra Ryfylke til Torneträsk. I enkelte strøk er den helt dominerende, og ettersom fjellkjedeundersøkelsene skrider framover, får man inntrykk av at den er den viktigste strekningsretning over store strøk. Foldning med akser i denne retning forekommer også, men som regel i liten målestokk. En slik strekning er ikke lett å forklare etter Sanders teorier, særlig ikke når diagrammer av bergartenes mikrostrukturer viser alle de egenskapene som kjennetegner B-tektonitter, dvs. at bevegelsesretningen skulle være loddrett strekningsretningen. Slike diagrammer førte F. C. Phillips¹ til å anta at strekningen parallelt skyveretningen i Nord-Skottland var uten forbindelse med skyvningen, men skyldtes en eldre deformasjon med bevegelsesretning loddrett den senere skyveretning. Muligens er forholdene i Skottland annerledes enn hos oss, men en vilde komme til samme konklusjon i vår fjellkjede hvis en bare skulde holde seg til de gjeldende teorier.

Oftedahls uttalelser s. 54—55 tyder på at strekningen på bladet Øvre Rendal som regel er i retning NV—SO og parallell skyveretningen. Lokalt opptrer linjestruktur, tildels også strekning av konglomerater, etter retningen NO—SV. Oftedahl antyder at den skulle skyldes bevegelse loddrett den vanlige. Det tror jeg en skal være forsiktig med. Det forekommer meg mer sannsynlig at det her er strekningen loddrett bevegelsesretningen som av en eller annen grunn er kommet til uttrykk. Den samme veksling mellom de to hovedretninger er kjent fra en rekke andre steder i fjellkjeden. Om årsaken til denne veksling vet vi foreløpig svært lite, men jeg skal forsøke en forklaring. En viktig betingelse for dannelsen av strekning i bevegelsesretningen er at bevegelsen er laminar, det vil si at det ikke foregår rotasjon om en akse loddrett bevegelsesretningen. Hvor det opptrer strekning loddrett bevegelsesretningen har det ofte foregått en slik rotasjon; finner vi foldningsakser parallelt strekningen, er rotasjonen bevist. En slik rotasjon kan skyldes ujevnheter i underlaget, på samme måte som det i en elv dannes hvirvler der bunnen er steinet. Vi kan derfor tenke oss at hvor skyvningen har gått jevnt uten særlige hindringer, er det blitt strekning i skyveretningen, men hvor underlaget

¹ F. C. Phillips: A Fabric Study of some Moine Schists and Associated Rocks Quarterly Journal of the Geologic Society Vol. — B pp. 581—616. London 1937.

har vært ujevnt, er strekningen blitt loddrett skyveretningen. Hvis en rotasjon ikke kan påvises, må en prøve andre forklaringer. I alle tilfelle kan spørsmålet ikke avgjøres uten inngående undersøkelser.

Dette med strekningsretning og bevegelsesretning er litt av en digresjon, men jeg vilde gjerne få framheve betydningen av at de som arbeider i fjellkjeden legger merke til de retninger for strekning, foldningsakser og andre linjestrukturer som opptrer, og hvorledes de forholder seg til den eller de skyveretninger som en mener å kunne påvise i vedkommende strøk.

I hvilken grad de enkelte mineralkorn i sparagmitten er blitt reorientert under deformasjonen vet vi ikke; men det er grunn til å tro at der hvor strekningen har vært sterkest, vil orienteringen vise bestemte mønster. Jeg holder det sannsynlig at bergartene mange steder vil vise seg å være B-tektonitter med strekningsretningen som B-akse.

For å kunne bedømme størrelsen av den differensielle skyvning beregner Oftedahl på s. 47 gradienten på grunnlag av akseforholdene i et deformert konglomerat. Framgangsmåten er ikke klar, men den verdi han finner, 3, er den samme som Mügge¹ fant som minimumsgradient i en glimmerskifer med granater hvis rotasjon kunde måles.

2. *Benkenes skyvning.* Oftedahl har påvist at de enkelte sparagmittbenker i atskillig utstrekning er blitt skjøvet på smale soner av mylonittskifer hvis sammensetning ligger nær det marine leirs. En slik oppdeling av skyvningen er å vente hvor lag av så forskjellig sammensetning veksler. Selv i ensartet bergart vil en middelssterk deformasjon ofte være konsentrert i enkelte soner. Jeg har således sett konglomerater hvor tilsynelatende udeformerte lag vekslet med lag hvor rullesteinene hadde en betydelig strekning. Finnes det i en bergart lag som byr mindre motstand mot skyvning enn resten av bergarten, så vil bevegelsen for en vesentlig del foregå langs disse lag. Sammenligningen med et smøremiddel er meget god, også i den forstand at smurningen brukes opp under transporten. På Vestlandet er det glimmerskifer som har vært smurning under skyvningene. En finner smale striper av den nær sagt over alt hvor det kan påvises å ha foregått skyvning. På kartblad Bergsdalen er det en slik glimmerskifer som i kartets NO hjørne er opptil 1200 m tykk, men

¹ O. Mügge: Bewegungen von Porphyroblasten in Phylliten und ihre Messung. Neues Jahrb. für Min. Geol. und Pal. Beil. Bd. 61, Abt. A, s. 469—510. 1930.

blir smalere etter hvert som vi kommer i strøk med mer intens deformasjon. Til slutt er den bare noen få meter bred og er helt forsvunnet på enkelte strekninger. Det skulde være grunn til å anta at det også under sparagmittbenkenes skyvning har vært slitasje på smurningen, slik at det som nå er mylonittskifer opprinnelig hadde en større utbredelse enn en finner i dag.

Oftedahl skriver s. 45 at mylonittskifrene „kun synes å optre på steder hvor skjærkrefter eller sterkt trykk har virket (eller omvendt)“. Hvis det med parantesen menes at i alle lagserier hvor denne skifer fantes, er bevegelsen helt overveiende knyttet til den, synes jeg at denne formulering er atskillig mer tiltalende.

3. *Skyvning av store flak.* Det ble nevnt ovenfor at en strekning i bevegelsesretningen er vanskelig å forklare. Særlig blir det vanskelig hvis vi tenker oss en plate som skyves framover ved et trykk bakfra. Strekningen vilde bli mer forståelig hvis platen var blitt dradd framover, slik at den ble strukket i bevegelsesretningen. En slik strekkende virkning kunde tenkes hvis det over platen lå en annen plate som beveget seg med større hastighet. Oftedahl diskuterer ikke på hvilket dyp skyvningen har foregått, men nydannelsen av sericitt og rekrystallasjonen av kvarts viser at temperaturen har vært omkring et par hundre grader. Friksjonen har nok bevirket økning av temperaturen, men hadde skyvningen foregått like opp i dagen vilde vi fått rene mylonitter. Det har altså ligget en bergartserie på i hvert fall noen hundre meter over dem vi nå finner, og disse har etter all sannsynlighet beveget seg med større hastighet. Oftedahl hevder at gradienten synes overalt å være positiv oppover, og det er meget sannsynlig, da motstanden mot bevegelsen blir mindre jo nærmere en kommer mot overflaten. Vi får her analogi med en elv, hvor jo hastigheten er størst i overflaten og minst nær bunnen. I en elv vil de øvre vannlag søke å trekke de undre med seg, og en lignende virkning skulde ikke være utelukket ved tektonisk transport. Denne medslepning alene er ikke nok til å forklare strekningen, men jeg holder det sannsynlig at den er en medvirkende faktor.

Kanskje det viktigste spørsmål i forbindelse med problemet skyvning og friksjon er kreftenes angrepspunkt. Oftedahl regner med et trykk som har angrepet langt opp i nordvest og forplantet seg gjennom sparagmitta helt ned til Oslofeltets kambro-silur. Hans beregninger gir da en friksjon som for et jernbanetog. Hvis vi nå kunde anta at kreftene ikke bare angrep lengst bak i sparagmittflakene,

men at de angrep over et større område, om ikke over det hele, så vilde vi kunne regne med friksjonskoeffisienter som kom de sannsynlige verdier meget nærmere. Er det da noen mulighet for en slik virkning av kreftene?

W. Schmidt¹ hevder at større skyvninger ikke kan finne sted uten at det virker massekrefter som angriper i hvert punkt av skyveflaket, og som er store nok til å overvinne friksjonen. Trykket i lengderetningen blir da uten betydning, bevegelsen blir som i en elv, hvor tyngdekraften er den eneste bevegende kraft. Et trykk bakfra vil alene bare kunne framkalle ubetydelig bevegelse, mener han. Av hvilken art disse massekrefter er, diskuterer han ikke.

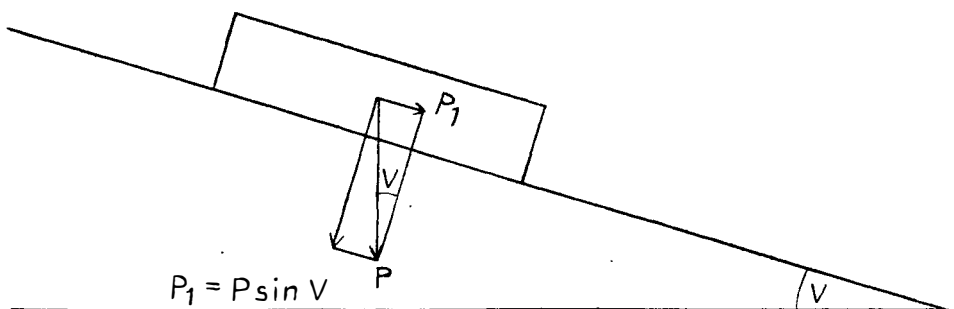
Schmidts oppfatning kan nok være litt ensidig, men det ser ut til at vi ikke kan komme utenom medvirkningen av slike massekrefter ved store skyvninger. Skal vi drøfte deres natur, kommer vi inn på årsakene til fjellkjedefoldninger, og da er vi med en gang på gyngende grunn. Det ser ut til at konveksjonsstrømninger i magma for tiden har de fleste tilhengere. Disse strømninger fører til tangentielle bevegelser like under den faste jordskorpe, men at de skulde kunne virke som massekrefter på et skyveflak nær jordoverflaten er ikke lett å forestille seg.

Blant de andre foreslåtte krefter som skulde framkalle fjellkjedefoldninger er både centrifugalkraften og tidevannskraften massekrefter; men begge er etter Jeffreys beregninger så små at det er utelukket at de kan ha noen virkning. Det har nok hendt at geofysikernes beregninger har måttet korrigeres; men i dette tilfelle er forskjellene så store at noen nevneverdig virkning av disse krefter synes utelukket.

Et spørsmål av betydning for skyveproblemet er også hvilken stilling skyveplanene hadde under bevegelsen. Hvis de hadde sin helling i skyveretningen, vil også tyngdekraften komme inn som en virksom faktor. Haarmann har bygget opp sin oscillasjonsteori på dette grunnlag. Den har fått meget motbør, men også flere av dens motstandere regner med muligheten av skyvninger nedover f. eks. i Alpene.

En liten overlegning vil vise hvilken rolle tyngdekraften spiller for skyveproblemet. Av figuren sees at når skyveplanetes hellingsvinkel er V , blir tyngdekraftens komponent parallelt skyveplanet $P_1 = P \sin. V$. For $V = 17,5^\circ$ blir $P_1 = 0,3 P$ og for $V = 30^\circ$ blir

¹ W. Schmidt: Tektonik und Verformungslehre. Berlin 1932, s. 153.



Ved skyvning på et skråplan blir tyngdekraftens komponent parallelt skyveplanet $P_1 = P \sin V$.

$P_1 = 0,5 P$, de samme verdier som Oftedahl regner med for friksjonen under sparagmittens skyvning. Ved helningsvinkler på $20\text{--}30^\circ$ skulle altså tyngdekraften kunne overvinne i alle fall det vesentligste av friksjonen mot underlaget.

Er det da noen grunn til å tro at skyveplanet kan helle nedover? En skyvning foregår alltid fra de centrale deler av en fjellkjede mot periferien. Etter de vanlige teorier antar en at de centrale deler av fjellkjeden vil presses ned på store dyp og senere heves opp så de ligger høyere enn landet på begge sider. Hvis det foregår skyvninger i denne fase av en orogenese, er det grunn til å tro at i hvert fall enkelte skyveplan kan helle nedover.

Et spørsmål av interesse i denne forbindelse er om skyveflaten fører ut i dagen eller ikke. I siste fall må en regne med motstanden fra de masser som skyves foran dekket. W. Schmidt hevder at større skyvninger bare kan komme i stand hvis det dannes en skyveflate som fører ut i dagen. Han bygger sin oppfatning på teoretiske spekulasjoner, og det vil nok bli vanskelig i det enkelte tilfelle å finne beviser for eller mot hans oppfatning.

Selv om skyvningen i mange tilfelle kan ha foregått nedover, er dette ingen almindelig regel. Det må ansees bevist at den kanskje like ofte har foregått oppover, og tyngdekraftens komponent parallelt skyveflaten har da måttet overvinnnes i tillegg til friksjonen.

Under alle omstendigheter må vi ta tyngdekraften med i beregningen, unntatt ved de bevegelser hvor skyveflaten har vært absolutt horisontal.

Spørsmålet om kreftene er ennå på langt nær ikke løst. Og så lenge det er tilfelle, er vi ikke tvunget til å regne med et angrepspunkt i skyveflakets ene ende som eneste mulighet.

Jeg kan ikke sette opp det riktige regnestykke for en skyvning, men jeg har forsøkt å peke på noen av de faktorer som er med og kompliserer beregningen, og som gir oss grunn til å tro at det hverken er noe i veien med naturlovene eller med vår tro på skyvningens eksistens.

SUMMARY

This paper comments briefly on a recent discussion by Chr. Oftedahl of the mechanics of thrusting, in which is concluded that although the thrusting of eo-Cambrian sparagmite in eastern Norway is proved beyond doubt, the coefficient of friction must have been far below any reasonable limit to permit the movement of large masses more than 100 km.

Several factors are mentioned which complicate the calculations by Oftedahl, e. g. the internal friction of a rock that is stretched and recrystallized during the thrusting, and the possible greater pre-tectonic occurrence of argillaceous beds, which served as lubrication and were smeared out during the movement.

The question of where the thrusting forces attack is considered most important. If one postulates a stress acting in one end of a large thrust sheet as the only agent, the problem of friction seems unsolvable. If forces acting upon every point in the thrust sheet ("Massenkräfte" in the sense of W. Schmidt) were also active, the friction presents no difficulty. At the present state of the theories of mountain-building the action of such forces is by no means precluded. As an example is mentioned the force of gravity, which enters the calculation as an accelerating or retarding force except when the thrust plane is horizontal.

It is also pointed out that in the Caledonides of Norway and Sweden the thrust rocks are very commonly stretched parallel to the direction of movement, while in the Alps the stretching is as a rule normal to this direction. The importance of careful observations on this problem by all geologists working in the Caledonian mountains is stressed.