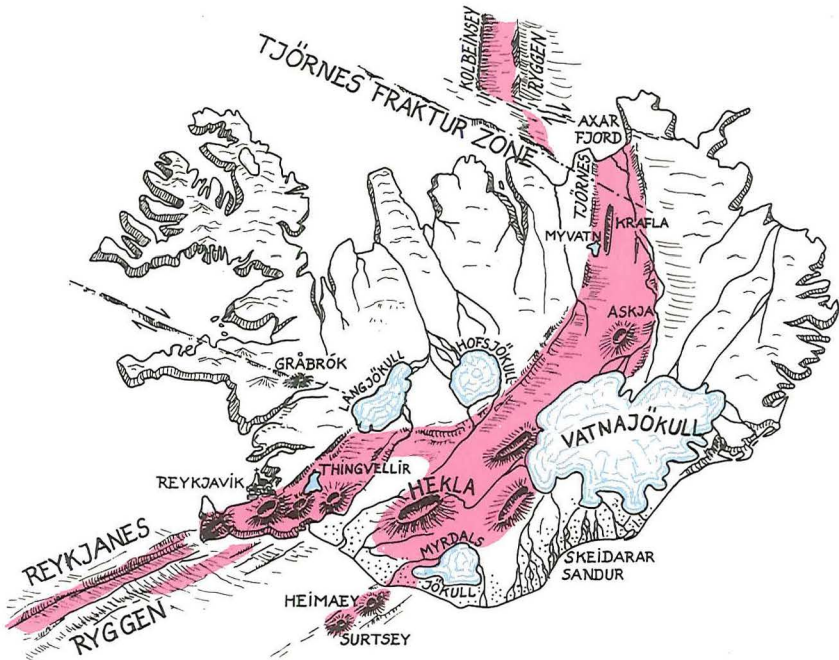


# ISLANDS TEKTONIK

af Stig Schack Pedersen

Den 6. september 1984 kunne man i avisen (Politikens forside) læse, at et jordskælv af styrke 4 på Richter skalaen havde rystet det meste af det sydlige Island. Få dage efter kunne man i TV-Aktuelts oversigtsudsendelse se billeder fra vulkansprækken Krafla på Nordisland (se bagsiden af VARV 1984-3, - nærmere viden om Krafla vulkanfeltet kan læses i VARV 1980-4 og 1981-3), der netop var gået i udbrud igen. Selvom de to begivenheder ikke hænger direkte sammen, er det dog ubestrideligt, at de hver på sin måde og i hver sin ende af landet er udtryk for den samme dynamiske historie, nemlig Islands tektonik.



Figur 1. Oversigtskort over Island med angivelse af de vigtigste tektoniske elementer.



Figur 2. Typisk Tertiær plateaubasalt fra Island. Billedet viser de mere end 1000 meter høje plateaufjelde nordvest for Akureyri. Foto: Stig Schack Pedersen.

### De globale tektoniske bæltter

Inden for den moderne tektonik skelnes mellem tre forskellige typer af mobile bæltter: 1) oceaniske spredningszoner, 2) konvergerende zoner, hvilket i bredeste forstand kan opfattes som de egentlige bjergkæder, dannet hvor to plader støder mod hinanden, og 3) sideværts mobile bæltter, med modsat bevægelse på hver side af en lodret brudzone (strike-slip mobile belts). Populært kan sådanne 'strike - slip mobile belts' betegnes som de zoner, der optager alle de 'skæve' rumfangsproblemer, der opstår i 'pladehjørnerne' under bevægelserne i de to først nævnte bæltter (spredningszoner og konvergerende zoner).

Når vi ser på Islands tektonik er det den første type, oceaniske spredningszoner, vi vil komme til at beskæftige os med, idet Island er det eneste sted i Verden, hvor et ocean spredningsbælte kan studeres over havets overflade. Men vi vil også berøre tektonik, som tilhører den tredje type bevægelser, nemlig sideværts forkastningssystemer. Med hensyn til oceaniske spredningszoner og oceanbundsdannelse er en nøjere gennemgang givet i artikler i VARV 1978, nr. 1 - 3.

### Islands geologiske opbygning

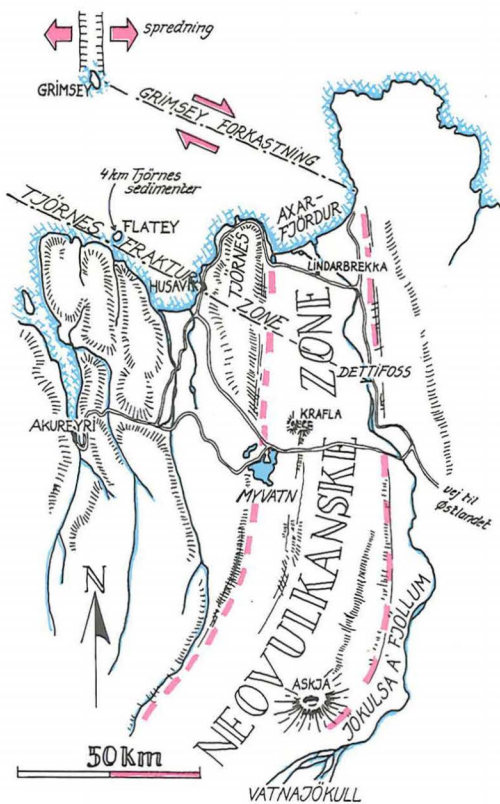
Island er næsten symmetrisk opbygget omkring en zone af unge vulkanske bjergarter, den *Neovulkanske Zone* (fig. 1). Zonen strækker sig fra det nordøstlige Island ved Axar Fjord - Myvatn ned over det centrale Island til det sydvest-

ligste Island ved Reykjavik og Tingvellir. I den centrale del af Island drejer den *Neovulkanske Zone* sydvestover og deler sig i to grene, én der løber ned mod Myrdalsjökull og ud i havet til Vestmannaeyjar og Surtsey, og én der parallelforskydes over mod vest til Tingvellir Sletten - Reykjavik og sydvestpå ud langs Reykjanes Ryggen, som her danner en del af den Midtatlantiske Oceanryg. Uden for den neovulkanske zone findes tertiære plateau basalter (fig. 2) op til 15 mill. år gamle. De er de ældste geologiske lag på Island.

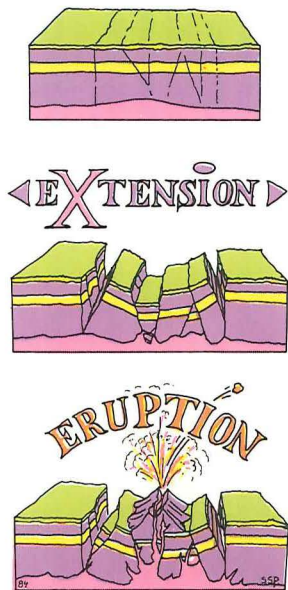
### Vulkaner og jordskælv på Nordisland

På Nordisland er den geologiske uro koncentreret i området omkring Myvatn, Tjörnes og Axar Fjord (fig. 1 og 3). Den vulkanske uro er knyttet til den neovulkanske zone, der er et nord-syd gående spredningsbælte, det vil sige et bælte, hvor de tektoniske kræfter trækker væk fra hinanden, (extension), se fig. 4. Samtidig med den vulkanske aktivitet sker der en blok-indsnkning, som medfører en del forkastningsbevægelser, dog uden den større jordskælvsaktivitet. Den store og ødelæggende jordskælvsaktivitet er derimod knyttet til sideværtsforkastningerne, der fortsætter spredningszonen fra Axar Fjord og ud til Grimsey, se fig. 3.

Figur 3. Kort over den nordlige del af den neovulkanske zone. Det er betegnelsen for et bælte, indenfor hvilket bjergarterne (d.v.s. lavaerne) er yngre end 0.7 mill. år.



Sidst vulkansprækken Krafla havde et større udbrud, bragte VARV en levende øjenvindeskildring af udbruddet (1980-4). Men selvom man ikke kommer til feltet under en udbrudsfasen, er man ikke i tvivl om zonen eksistens. Overalt i landskabet stiger dampen fra de varme kilder til vejrs i den kolde islandske luft. På lang afstand kan man se damp søjlerne stå på en lang række. De følger struk-



Figur 4. Principskitse der viser blokforkastningerne i et spredningsbælte.

turlinier (lineamenter) i landskabet og markerer sprække- og svaghedszonerne i jordskorpen (fig. 5). Østsiden af den neovulkaniske zone markeres af en af Islands største og længste elve, Jökulsá á Fjöllum, der sørger for hoveddræneringen af Vatnajökull mod nord. Man overbevises let om, at der her er et direkte sammenfald mellem den tektoniske linie og dannelsen af elvens forløb.

Man kunne umiddelbart tro, at vulkanudbruddene var de mest frygtede på denne del af Island. Men bortset fra kraftværket, der jo med vilje er lagt på 'det varmeste sted', er området ganske øde og ubeboet. Meget værre er det med forkastningsaktiviteten, der er med til at gøre livet ganske besværligt for indbyggerne ude ved de frugtbare marker i kystregionen ved Axar Fjord. Her oplevede



Figur 5. Dampskyerne fra de varme kilder øst for Myvatn markerer en nord-sydgående linie (lineament) i terrænet Bemærk sprækken i forgrunden, der indeholder huler med ca. 35 grader varmt vand, hvori man kan bade. Man skal dog ikke opholde sig for længe i vandet, da man kan blive dårlig af svovldampe, der er knyttet til de varme kilder. Foto: Stig Schack Pedersen.

befolkningen i den lille by Lindabrekka (se kortet fig. 3) en forkastningsindsenkning på 2 til 3 meter langs en af de nord - syd gående forkastninger i vinteren 1975-76 (fig. 6 og 7). I løbet af det følgende år nydannedes en sø ude på markerne, og den er nu vokset til et areal på 5 kvadratkilometers størrelse. I øvrigt blev en af gårdene ved Lindabrekka totalt ødelagt ved et jordskælv 3 år senere. Jordskælvets centrum blev lokaliseret til havet ud for Axar Fjord og må betragtes som hørende til en sideværts forkastning. Det forkastningssystem vil vi se lidt nærmere på i det følgende.



*Figur 6. Forkastning med et spring på 2 - 3 meter dannet i vinteren 1975-76. Forsætningsspringet står frem som en skrænt, der er velbevaret i den hårde basalt. Foto: Stig Schack Pedersen.*

Husavik (se kortet fig. 3) er en forholdsvis ung by, der er vokset op omkring en handelsplads, hvorfra man i forrige århundrede udskibede svovl fra svovlkilderne oppe vest for Myvatn (Namafjell). Byens kortvarige historie har dog været ret bevægende, idet gentagne jordrustelser helt eller delvis har ødelagt byen op til flere gange. Forkastningsbevægelserne, der forårsager jordrustelserne, sker langs med Husavik forkastningen (fig. 8), som er en del af Tjörnes frakturzonen (fig. 3). Forsætningerne langs Tjörnes frakturzonen har medført, at Tjörnes halvøen som en horst er blevet løftet mere end 500 meter i vejret, hvorved de pliocæne og pleistocæne sedimenter, kendt som 'Tjörnes sekvensen' (fig. 9), er blevet blottet.

Længere mod nordvest kender man fra den lille ø Flatey 4 km mægtige enheder



*Figur 7. Samme forcastning som i fig. 6. Man kan svagt følge forcastningsspor-  
et ud over marken mod Axar Fjord i nord, men forcastningen er hurtigt skredet  
til, da den her går gennem løse sandaflejringer. Det forhold er værd at have i  
mente, hvis man tænker på at studere neotektonik i områder, der er dækket af  
løse kvartære aflejringer. Man kan ikke vente, at forcastningssporene ser im-  
ponerende ud, hvis de overhovedet er bevaret. Foto: Stig Schack Pedersen.*

af Tjörnes sedimenter, og de seneste seismiske undersøgelser antyder tilstedeværelsen af 10 km tykke sedimentpakker under havbunden i dette område. Da sedimenterne både indeholder en marin fauna og brunkulslag, og da der findes udmærkede reservoirbjergarter i form af porøse sandsten, er det klart, at det er her Islands interesse for olie og gas ligger. Årsagen til dannelsen af et dybt indsynkningsbassin med en efterfølgende horst hævning skal nok søges i, at området er styret af bevægelserne knyttet til et sideværts forcastningsmønster. Under en sideværts bevægelse ses ofte, at der dannes fortynding eller opsprækning af jordskorpen i et rhombeformet segment. På engelsk betegnes sådan et bassin som 'pull-apart basin', idet to modstående sider i rhomben trækkes fra hinanden under sideværtsbevægelse af de to andre sider (fig. 10). Et velkendt eksempel på et 'pull-apart basin' er Det Døde Hav, der ligger centralt i den store nord-sydgående forcastning på grænsen mellem Palæstina og Jordan.

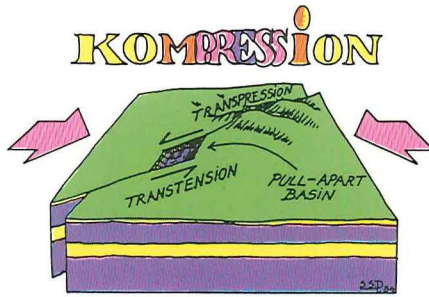
Ofte vil der i en senere udvikling i sideværts forcastningszonen ske en skæv sammenpresning (transpression), der medfører, at lagserien i pull-apart bassinet bliver klemt sammen og presset i vejret. Denne kobling af træk og skub i en sideværts forcastning må betragtes som en sandsynlig overordnet model for dannelsen af Tjörnes bassinet og Tjörnes horsten.



*Figur 8. Husavik forkastningen ses som et skår gennem landskabet i den nordlige del af Husavik by. De gule huse ligger med gavlen på en lige linie langs forkastningen. I 1872 blev næsten hele byen ødelagt ved et jordskælv forårsaget af en forsætning langs med forkastningen. Foto: Stig Schack Pedersen.*



*Figur 9. Tjörnes sekvensens sandsten, lerskifer, brunkul og ferskvandsdiatomæler (kiselalge-aflejring) ses her på nordkysten af Tjörnes. De lyse lag, der ses gentaget i tre rytmiske aflejringer, er ferskvandsaflejringerne. Hele lagfølgen hælder ud mod bassinet i nord. Foto: Stig Schack Pedersen.*



Figur 10. Sideværts forkastningssystem med dannelse af 'pull-apart basin', hvor der er sket transtension langs forkastningen og foldning og opskydninger i områder med transtension.

### Strukturlinier

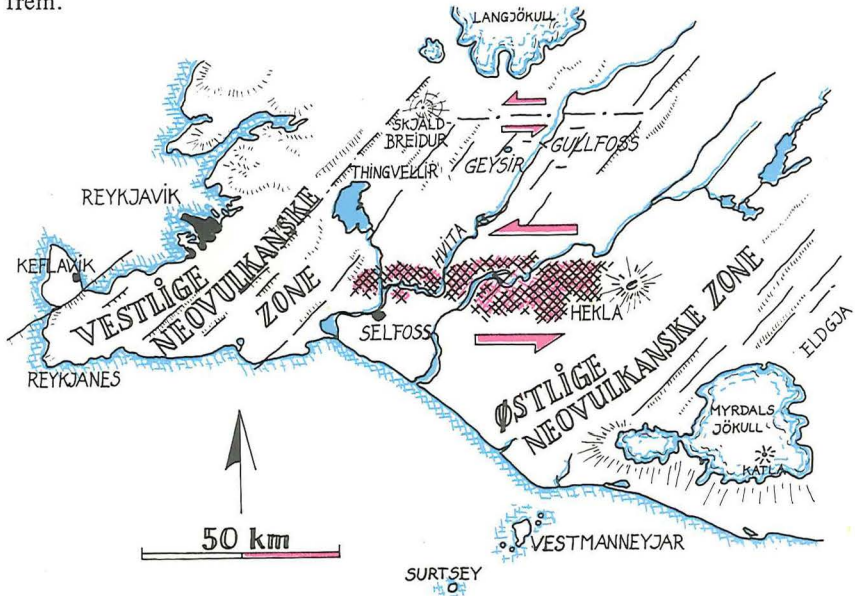
Husavik forkastningen kan, som det ses på fig. 8, følges gennem landskabet som en linie, et *lineament*. Det er som lineamenter man oftest kan spore store forkastninger igennem et område. Lineamenter kan bestå af skarpt nedskårne dale



Figur 11. Dettifoss, Islands største vandfald med en faldhøjde på 44 meter. Bemærk søjlebasalterne på de lodrette fjeldvægge. Alle basalterne i området er yngre end 0.7 millioner år. Floden, der vælter sig ud over vandfaldet er Jökulsá á Fjöllum, der afvander Vatnajökull mod nord. Foto: Stig Schack Pedersen.



(fig. 6, 7 og 8), lange retlinede forløb af floder og elve, langstrakte søer og stejle klippevægge med et retlinet langstrakt forløb. Specielt oplever man på Island, at de store vandfald er sammenfaldende med store lineamenter. Det gælder f. eks. Islands største vandfald Dettifoss (fig. 11), som ligger direkte i forlængelse af Husavik forkastningens lineament (fig. 3). Det betyder dog ikke, at forkastningen har dannet vandfaldet, men er blot udtryk for, at de forskydningsspændinger, som er knyttet til forkastningen, på dette sted har mønet fjeldet, således at floden Jökulsá á Fjöllum lettere har kunnet erodere det kraftige fald frem.



Figur 12. Kort over den sydvestlige del af Island. Det ses her, at den neovulkanske zone har to forgreninger, der mod nord er forbundet med den øst-vest strygende sydvestislandske forkastningszone. Krydsskraveringen markerer Sydislands seismiske zone, hvor store jordskælv er koncentreret. Pilene angiver retningen af forskydningsspændingens vrid.

Gullfoss (fig. 12 og 13) er et andet eksempel på et stort vandfald, eller et system af vandfald, der følger tektoniske lineamenter. Selve faldet ved Gullfoss er parallelt med en gammel forkastning med samme retning som den øst-vest gående forkastningszone. Derimod følger floden Hvitá et sydvest-strygende lineament parallelt med den neovulkanske zone, ligesom Jökulsá á Fjöllum.

### Sydislands seismiske zone

Jordskælvet, som blev omtalt i indledningen, var endnu et levende udtryk for



*Figur 13. Gullfoss på det sydvestlige Island. Selve faldet går ud over en hylde, der er parallel med den øst - vest gående forkastningszone. Foto: Gunver K. Pedersen.*

eksistensen af den seismiske zone på Sydisland (se kortet, fig. 12). Zonen strækker sig øst - vest fra Hekla til Reykjanes og har gennem historisk tid været kendt som området, hvor store ødelæggende jordskælvkatastrofer har fundet sted. Det fortælles bl. a., at en hel kirke engang forsvandt i en sprække. Denne begivenhed blev under indflydelse af stærke pietistiske strømninger til en myte om folk, der dansede og festede i kirken, hvorfor Gud i sin vrede lod hele kirken med de dansende folk forsvinde ned i helvedets svovldampende dyb. Svovldampende associationer opstår let nok her, hvor det damper fra talrige varme kilder. Den berømteste kilde er Geysir (fig. 14), der ligger i den nordlige udkant af den seismiske zone på forbindelseslinien mellem den vestlige og nordlige del af den neovulkanske zone.

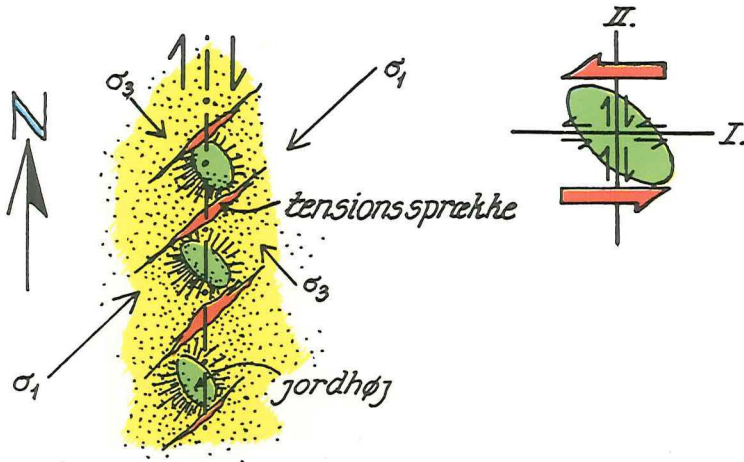
Aflastning af den spænding, som opbygges i Sydislands seismiske zone, foregår typisk i en serie af jordskælv. Den første rystelse med en styrke på omkring 7 sker i nærheden af Hekla. Derpå følger ca. 50 år senere et jordskælv med næsten samme styrke et stykke længere vestpå. Endelig ca. 100 år efter det andet jordskælv følger et tredje jordskælv endnu længere mod vest.

Det sidste store ødelæggende jordskælv fandt sted i 1912, og inden for zonen er mere end halvdelen af hver gård blevet ødelagt. Så sent som i 1968 blev der sydvest for Selfoss registreret et jordskælv af styrke 7.

*Figur 14. Geysir, den springende varme kilde på Island. Det er den mest berømte af de talrige varme kilder, som løber frem af jorden i den neovulkaniske zone. Foto: Stig Schack Pedersen.*



*Figur 15. En smal jordskælvssprække løber hen over en mark i den sydlandske seismiske zone. Foto: Stig Schack Pedersen.*



Figur 16. Principskitse af jordskælvsprækkernes forløb en echelon hen langs en forkastningszone. Ind mellem en echelon sprækkerne dannes typisk et ellipseformet dome strækkende sig fra den ene sprækkes nordspids til den næste sprækkes sydspids. Størrelsen af pilene angiver den relative styrke af spændingerne langs forkastningen.

Skitsen til højre viser det overordnede forskydningsspændingssystem med 1. og 2. ordens forkastninger, og deres bevægelsesmønster er indtegnet. Desuden ses en deformations-ellipse, der angiver, hvorledes en cirkel ville blive fortrukket til en ellipse i forskydningssystemet langs en 1. ordens øst - vest gående forkastning.

For et par år siden foretog et hold studenter fra Reykjavik Universitet - under ledelse af geologerne Páll Einarsson og Jón Eiríksson - en undersøgelse af nutidige jordskælvsprækker i Sydland. Det viste sig hurtigt, at de enkelte bønder udmærket godt vidste, hvor på deres marker, der var sket nye sprækkedannelser ved de forskellige jordskælv. Sprækkerne forekommer ofte som tynde langstrakte, mere eller mindre nord - syd løbende revner (fig. 15) arrangeret *en echelon* (fig. 16). I forbindelse med *en echelon* sprækkerne opdagede man ofte nogle jordhøje eller små domer op til 3 - 4 meters højde. Domerne kunne følges i en nogenlunde ret linie, der markerer de nord - syd gående forkastninger. På fig. 16 er det vist, hvordan de små sprækker og jordskælvs høje er relateret til det overordnede forkastningssystem i den sydlandske seismiske zone.

### Thingvellir og den vestlige neovulkanske zone

Den vestlige arm af den neovulkanske zone strækker sig fra Langjökull i nord til Reykjanes i syd. Midt i denne zone findes Islands største sø, Thingvellir søen, med det berømte gamle tingsted ved den nordvestre søbred. Selve armen har sit



Figur 17. Små jordhøje med opsprækninger dannet i forbindelse med jordskælvene i den syd-islandske seismiske zone. Den islandske geolog Jon Eiriksson peger hen mod den næste jordhøj på forkastningslinien. Foto: Stig Schack Pedersen.

udgangspunkt lige syd for Langjökull, hvor den danner den ene gren i et system hvor 3 grene mødes. De to andre grene udgøres dels af det øst - vest gående forkastningslineament, der forbinder den vestlige neovulkanske zone med zonen fortsættelse nordpå, og dels af et fraktur lineament med retning mod nordvest (se kortet, fig. 1). Denne frakturzone løber parallelt med Tjörnes frakturzonen og kan muligvis opfattes som en del af dette fraktursystem. Hen langs med lineamentet forekommer hyppig jordskælvsaktivitet (for et par år siden med styrke 6 på Richter skalaen), og et par enkelte unge vulkaner rejser deres keglekratere midt i sprækkezonen. Gråbrók er en af disse unge vulkaner (fig. 18). Hvor de tre grene mødes forekommer en anden karakteristisk vulkantype, nemlig skjoldvulkanen. Den mest berømte er Skjaldbreidur (fig. 19), der er det geologiske typeeksempel på en skjoldvulkan.

Fra Skjaldbreidur og sydvestpå ligger Thingvellir Sletten i den neovulkanske zones gravsænkning. Talrige lavatunger spreder sig ud over sletten, hvilket man bedst får indtryk af fra luften (fig. 20). En anden spændende ting, man kan observere ved at flyve over Thingvellir Sletten, er den vestlige sprækkezonen forløb (fig. 21). Man ser her tydeligt, hvordan sprækkezonen ved tingstedet (se fig. 22) forløber i et sideværts *en echelon* system parallelt med Syd-islands seismiske zone. Står man og ser hen langs sprækkezonen (fig. 22), vil man bemær-



*Figur 18. Den ca. 2000 år gamle vulkan Grábrók set oppe fra kratteranden og ned langs dens størknede lavastrøm. I bunden af krateret fornemmer man de størknede bobler i den gamle lavagrød. Foto: Stig Schack Pedersen.*



*Figur 19. Skjoldvulkanen Skjaldbreidur lige syd for Langjökull. I forgrunden ses et hegn, som skal forhindre får fra Reykjavík-området i at sprede sygdomme til fårene i resten af Island. Foto: Stig Schack Pedersen.*



*Figur 20. Lavatunger der spreder sig ud over Thingvellir Sletten set fra luften. Den lysegrønne farve skyldes bevoksning af rensdyrlav, der er nøjsom nok til at vokse på uforvitrede lavablokke. Foto: Gunver K. Pedersen.*



*Figur 21. Thingvellir sprækkezonen, som udgør den vestlige side af Thingvellir gravsænknningen. Bemærk det 'til venstre hoppende' en echelon forløb af sprækkerne. Foto: Gunver K. Pedersen.*

ke, at den nedforkastede blok hælder ind mod gravsænknningen. Det er en karakteristisk forkastningstype i forbindelse med spredning, og som betegnes syntetiske forkastning. Ser man nøjere efter vil man også opdage en mindre anti-thetisk forkastning, som forsætter den øverste kant af den nedgledne blok.



*Figur 22. Artiklens forfatter stående på en af de mest besøgte geologiske lokaliteter i Verden. Da dette er det eneste sted på Jorden, hvor man kan se en oceanbunds spredningszone træde frem 'i dagen', valfarter alverdens geologer og geofysikere hertil. Islands gamle tingsted er beliggende tæt ved flagstangen (til højre, midt i billedet). Bemærk, hvordan blokken til højre er fosat ca. 40 meter og vippet ind mod gravsænknningen (sammenlign med fig. 4). Denne forkastningstype kaldes syntetisk og er netop karakteristisk for spredningssystemer. Foto: Gunver K. Pedersen.*

### **Islands dannelse**

Hvornår blev Island dannet ? Det er et ret specielt spørgsmål. Hvis man tilsvarende spurgte, hvornår blev Grønland dannet ? ville svaret være ret afvisende: 'Jamen Grønland har jo været der hele tiden - næsten - lige fra Jordens ældste



tid, og så fremefter finder vi, hvordan de forskellige geologiske perioder lægger nyt land til Grønland'. Anderledes forholder det sig med Island. I det meste af Atlanterhavets levetid eksisterede Island simpelthen ikke (se VARV 1978-3). Først for omkring 20 millioner år siden begynder oceanbundsspredningen i den zone, hvor Island ligger. Tidligere foregik spredningen langs ned Ægir Ryggen, der nu ligger som en fossil (nedlagt) spredningszone et par breddegrader nord for Færøerne.

De ældste bjergarter på Island er op til 16 millioner år gamle og findes henholdsvis på den nordvestlige og sydøstlige del af øen (fig. 2). Men mere end halvdelen af Island består af bjergarter, der er yngre end 7 millioner år, og ca. en femtedel består af lavaer yngre end 1 million år.

Når man ser på kortet over spredningszonens forløb, kan man undre sig over, hvorfor zonen på Island pludselig bliver forskubbet mod øst (fig. 1). Det forklares ved, at Island er dannet over en 'hot spot' - et særligt varmt område nede i Jordens kappe. Gennem tiden, det vil sige inden for de sidste 3 - 5 millioner år, er den nordatlantiske lithosfæreplade og spredningszone skredet mod vest i forhold til kappen og den nævnte 'hot spot'. Men da spredningszonen trods alt 'foretrækker' at ligge over en hot spot, medfører det et relativt ryk af spredningszonen mod øst. Man må derfor forvente, at den vulkanske aktivitet vil fortsætte i den neovulkanske zones østlige og nordlige del, det vil sige i områderne omkring Hekla og Krafla, og at jordskælvsaktiviteten langs de to transforme forkastninger, nemlig Tjörnes frakturzonen og Sydislands seismiske zone vil vedblive med at ryste Island.

## SNORKLEN VÆK - DET ER FORBUDT !

Efter Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 383 af 17 juli 1984 om fredning af søterritoriet ud for Øleåens og Læsåens udmundinger på Bornholm er det efter 1. august 1984 **FORBUDT**, at opfiske kalkkonkretioner (kalkboller), at dykke med anvendelse af udstyr, herunder snorkeldykning, at sprænge på havbunden eller at indvinde råstoffer i et 300 meter bredt område ud for Øleåens og Læsåens udmundinger i Østersøen. Områdernes længder langs kysten er afgrænset af en båkerlinie (sømærker).

Formålet med fredningen er at bevare nogle kendte lokaliteter med forekomst af kalkkonkretioner med 'bornholmske diamanter'.

*Eksemplar af bekendtgørelsen kan rekvireres ved henvendelse til Fredningsstyrelsens Informationsafdeling, 4. Kontor, Amaliegade 13, 1256 København K, tlf: 01-11 95 65*