

Pladespredning på Island

- geodætiske målinger i 1900-tallet

Af direktør Freysteinn Sigmundsson, Nordisk Vulkanologisk Institut

Island har altid været et af de steder man mindes, når man tænker på vulkanisme og kontinental-spredning. Her forklares de metoder, man har brugt til at måle spredningen igennem tiden.

Island er den største del af den Midtatlantiske havryg, som ligger over havniveau, og der kan man måle spredning af lithosfæreplader med præcise gentagne geodætiske målinger. Det første geodætiske netværk til at observere jordskorpebevægelser i Island var målt i 1938. I dag bruges den nyeste satellitteknik, GPS (Global Positioning System) og InSAR (Synthetic Aperture Radar Interferometry).

Kontinentalspredningsmålinger

Målinger viser, at pladespredningen varierer lidt i Island, men dog ligger omkring N104E, næsten uafhængig af selve spredningszonens retning der varierer i Island. I Nordisland er spredningen således næsten helt vinkelret på spredningsaksen, men i Sydvestisland er spredningen næsten langs spredningsaksen. Pladespredningen er kon-



Almannagja, en af Islands største forkastninger. Den ligger i Thingvellir området, hvor den islandske Althing samledes fra år 930 til 1798. Lavafeltet i området er 9.000 år gammel, og siden den blev formet, har Almannagja bidraget med omkring 10% af pladespredningen i Sydisland, med omkring 20 meter spredning og 30 meters sænkning øst for forkastningen. (Foto: Forfatteren)

tinuerlig og jævn omkring 2 cm pr. år udenfor pladegrænsens deformationszone. Denne varierer i bredde mellem 50 til 300 km. Indenfor denne zone varierer hastigheden på grund af interaktion mellem en el-

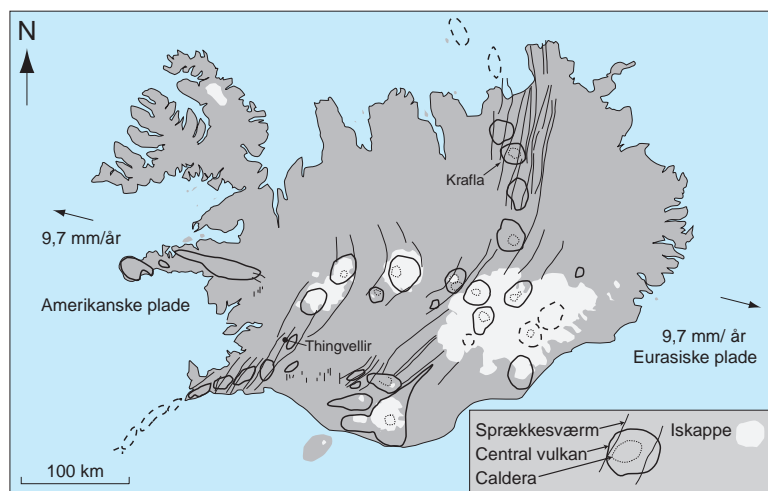
stisk lithosfære og den underliggende plastiske asthenosfære.

Islands mantleplume

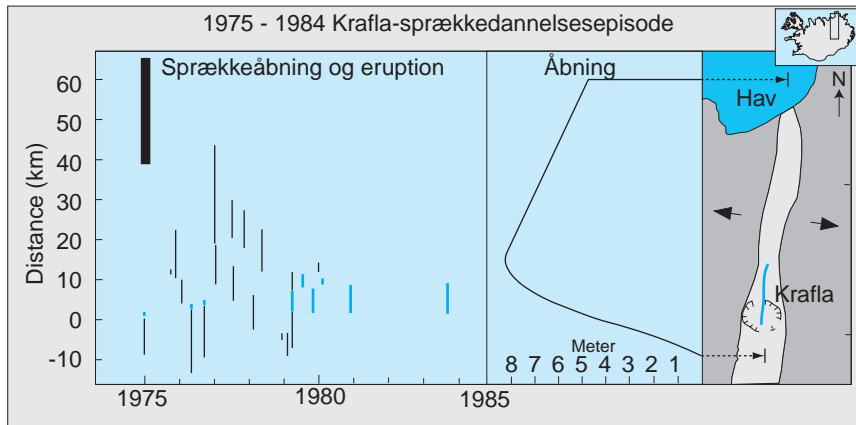
Island ligger på grænsen mellem den Europæiske og Nordamerikanske lithosfæreplade, på den Midtatlantiske havryg. Opstigende varm kappemateriale i den Islandske mantleplume er årsagen til ekstrem vulkansk aktivitet i området, og er grunden til, at Island ligger over havniveau, mens resten af ryggen er under havoverfladen. Den Islandske mantleplume var for 60 millioner år siden placeret under Østgrønland, og var i den tid også årsag til massiv vulkansk aktivitet og evt. drivkraft til åbningen af det Nordatlantiske hav.

Opmålinger gennem tiden

Spredningszonen i Island, med sine mange og store forkastninger, har altid interesseret geologer. I begyndelsen af 1900-tallet mente den tyske forsker Alfred Wegener, at rift zonen i Island var resultat af kontinental spredning, og i 1938 var det første geodætiske netværk sat op for at observere jordskorpebevægelser i Nordisland. Metoden var triangulering. Opmålingen var lavet af en tysk gruppe af forskere, som var inspireret af Wegeners ideer. Netværket



Spredningszonen i Island. Geologiske modeller af pladespredningen, som er lavet på baggrund af magnetiske anomalier i Nordatlanten, viser, at pladespredning i Island i de sidste millioner år har været gennemsnitlig 1.94 cm/år i retningen N104E. GPS-målinger siden 1986 i Island er i overensstemmelse med denne værdi. Spredningszonen kan deles i vulkanske systemer, som har en mængde forkastninger (sprækkesværm), og i centrale vulkaner, hvor maksimum i den vulkanske produktion ligger. I Sydisland findes der to parallelle rift zoner og spredningen er delt mellem dem. GPS-målinger viser, at den største del af pladespredningen i dag sker på den østlige rift zone, men studier af forkastninger viser, at i de sidste 10.000 år har spredningen gennemsnitligt været delt jævnt på de to zoner. (Grafik: KB)



1975 - 1984 Krafla-sprækkedannelsesepisode

Åbning

Hav

Krafla

Distance (km)

60

50

40

30

20

10

0

-10

1975

1980

1985

Meter

8 7 6 5 4 3 2 1

Sprækkeåbning og eruption

blev først målt igen i 1965, men da var der ingen spredning observeret, delvis fordi nogle af de geodætiske mærker var blevet ødelagt af engelske tropper, som var i Island under Anden Verdenskrig, og troede at mærkerne var tysk spionage.

Gentagne afstandsmålinger

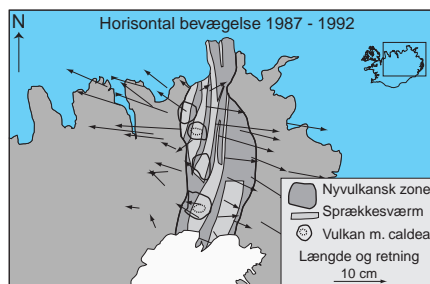
Omkring det samme tidspunkt som teorien om pladetektonik var accepteret i 1960'erne, var et nyt instrument, Geodimeter, til afstandsmålinger blevet opfundet. Med dette nye instrument var det muligt at måle afstande mellem geodætiske stationer med bedre præcision end før. Flere forskere kom til Island og målte afstandsprofilen og nye geodætiske netværker over den Islandske riftzone. Evaluering af målinger blev foretaget i 1965 og 1975 i Nordisland og viste ingen spredning af betydning. Dette skyldtes at netværket ikke dækkede et stort nok område på begge sider af riftzonen.

Krafla sprække-episode 1975 - 1984

I året 1975 begyndte Krafla vulkanen i Nordisland en periode med gentagne vulkanudbrud og gangdannelse, som varede op til 1984. I denne periode blev det for første gang observeret, at geodætiske linier over rift zonen ved Krafla, blev forlænget. Man fandt ud af, at i denne tidsperiode var spredningsmaksimum af riftaksen op til 9 meter, og et 80 km langt segment af rift zonen i Nordisland viste en gennemsnitlig spredning på 4 - 5 meter (grafik øverst). En anden opdagelse var, at ikke alle geodætiske linier over spredningsaksen var forlænget til den samme grad. Lange linier blev forlænget i mindre grad. Det viste at karakteren af bevægelserne varierer med afstanden fra spredningsaksen.

GPS geodætiske målinger

I 1980'erne var GPS- (Global Positioning System) satellit-systemet for navigation sat i drift. Det blev snart opdaget at signaler fra GPS-satellitterne også kunne bruges for præcise geodætiske målinger, og i dag er GPS-geodæsi en almindelig teknik. GPS-



Horisontal bevægelse 1987 - 1992

N

Nylvulkansk zone

Sprækkesværm

Vulkan m. caldea

Længde og retning

10 cm

Pladespredning i Nordisland 1987-1992. Ingen vulkanudbrud skete i denne periode men spredningen var dog 3 gange større en den gennemsnitlig hastighed 1.9 cm/år. Årsagen til det er elastisk litosfære - plastisk asthenosfære interaktion til stress som blev formet i jordskorpen i 1975-1984 rifting episoden i Nordisland (Grafik: KB og Rósa Ólafsdóttir, efter Gillian Foulger og Christof Voelksen).

geodætiske instrumenter må placeres i kort tid eller permanent på geodætiske mærker, og modtage signaler fra GPS-satellitterne over en periode. Analyse af sådanne målinger kan give tredimensionale relative koordinater på geodætiske mærker med omkring 3 millimeters præcision i den horisontale retning og 6 millimeters præcision i den vertikale komponent. De geodætiske mærker kan være placeret langt fra hinanden, til med på forskellige kontinenter med mere end 1000 kilometers afstand imellem. Med GPS-metoden åbnedes helt utrolige nye muligheder til at måle pladespredning og jordskorpebevægelser, fordi

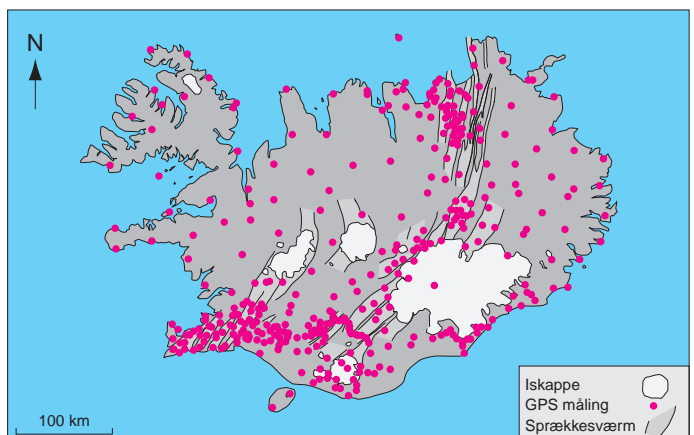


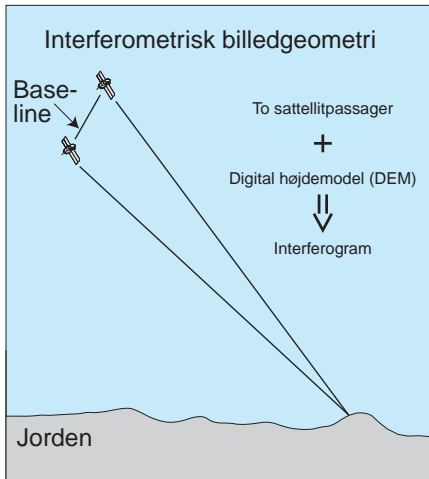
GPS-geodætisk antenne placeret over et geodætisk mærke. Mærket er en kobbernagel i stabil klippe. Antennen må være sat op præcis over mærket, for at man med gentagne målinger kan finde ud af jordskorpebevægelser så små som 5 millimeter. (Foto: Forfatteren)

GPS-geodæsi giver en mere præcis måling af den horisontale bevægelser end andre teknikker. Yderligere fordele er, at det er relativt let at foretage GPS-målinger, da de ikke er afhængige af godt vejr, dagslys, og problemer med "line-of-sight" imellem GPS-stationer.

Med præcise gentagne GPS-målinger kan man nu på en relativt enkelt måde observere tredimensionale bevægelser af jordskorpen. I 1986 blev Island et af de første områder i verden, hvor et GPS-geodætisk netværk var målt for at studere jordskorpebevægelser. Lige siden er der blevet foretaget GPS-målinger hvert år i Island. Mange forskergrupper deltager, både fra Island og fra andre lande. Antallet af geodætiske mærker, som har været målt mere end en gang med GPS på Island, er i dag flere hundrede (kort herunder).

Geodætiske mærker med gentagne GPS målinger brugt til bestemmelse af pladespredning i Island. (Grafik: KB)

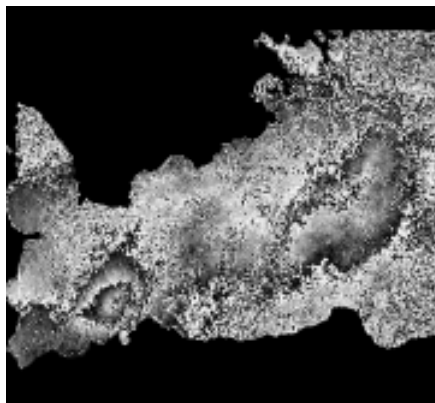
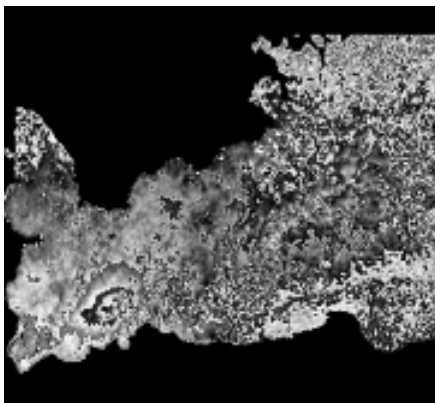




Med InSAR-teknikken måles deformation med præcis sammenligning af faser i hver pixel af radar-satellitbilleder som er optaget fra omkring den samme position. Baseline mellem de to satellitpassager som bruges må være små (<500 meters) for at teknikken virker. (Grafik: KB og Rósa Ólafsdóttir)

Fjernmåling med InSAR

I dag er man begyndt at bruge en endnu nyere teknik til at måle jordskorpebevægelser, kun med brug af billeder fra radar satellitter. En radarsatellit er en satellit i kredsløb omkring Jorden som sender radiobølger til jorden (figuren ovenfor). Disse bølger reflekteres af Jorden, og bølgernes ekko bliver modtaget igen af satellitterne. Denne nye teknik, som er en ren fjernmåling, kaldes satellitradar interferensmåling, eller InSAR (Synthetic Aperture Radar Interferometry). Det har længe kun været en drøm at kunne få foretaget fjernmåling af bevægelser af jordskorpen ved præcis sammenligning af to satellitbilleder. Pixelstørrelse i satellitbilleder af højeste opløsning var flere meter, og før InSAR var der ingen mulighed for at måle bevæ-



To InSAR interferograms af Reykjanes halvøen i Sydvestisland. Interferogrammer viser "change-in-range" fra jord til satellit, fundet ud fra fase-forskel i hver pixel mellem to radarbilleder. Farveskalaen går fra 0 til 2.8 cm og gentager sig selv på cyklisk måde, hvilket er grunden til bølgemønstret i billederne. Interferogrammet til venstre dækker 3.12 år i perioden 1992 - 1995, og det højre dækker 4.17 år fra 1992 - 1996. Begge interferogrammer viser de samme strukturer, som stikker op over "noise". Et cirkulært fænomen og et mere aflangt lineament, som ligger på langs af halvøen. Det cirkulære mønster stammer fra indsynkning, som sker pga. brugen af det geotermale område for varme- og el-produktion. Indsænkningen svarer til omkring 5.6 centimeter (2 farveskalaer) pr. 4. år, eller 14 mm/år. Farvelinier, som ligger stort set langs halvøen, stammer fra pladespredning, både en horisontal komponent og også en vertikal indsynkning på langs af området omkring 6 mm/år. GPS-målinger viser også denne type af deformation, og de bedste informationer får man ved at kombinere de to teknikker.



Nordisk Vulkanologisk Institut NORDVULK

NORDVULK i Island blev oprettet i 1974, og er et af flere fællesnordiske institutter, som finansieres af det nordiske kulturbudget. NORDVULKs hovedopgave er at drive geologisk forskning med hovedvægt på vulkanologi og pladetektonik og hertil miljørelaterede områder. Derudover at videreudvikle det nordiske samarbejde inden for disse fagområder.

Stipendieprogram: NORDVULK driver et stipendiatprogram som har til formål at give geologer fra Norden anledning til at deltage i forskning i vulkanske processer

og i nyt materiale og derved få erfaring, som vil kunne genspejles i nye ideer og dybere forståelse for de enkeltes landes egen geologi. Institutet udbyder således hvert år fem stipendiatstillinger.

NORDVULK holder også sommerskoler med forskellige temaer, den næste vil være i august 2000 i Nordisland med temaet "Interaktion mellem midthavrygge og mantleplumes".

Mere information om instituttet, stipendiatstillinger og sommerskoler findes på NORDVULK's hjemmeside på Internettet: <http://www.norvol.hi.is>



InSAR kræver intensiv analyse med datamaskiner men ingen feltarbejde. Fremtidens arbejdsplads til at studere deformation vil derfor være foran computeren. (Foto: Forfatteren)

gelser, som var mindre end pixelstørrelsen. Med InSAR-analyse af to billeder, optaget af en radarsatellit fra samme position i satellittens kredsløb om Jorden, men på

forskellige tidspunkter, kan man nu under gode forhold, finde bevægelser i hver pixel af billedene, med en centimeters præcision (se interferogram nederst på siden). Analysen af billederne er meget kompliceret. I analysen behøves blandt andet en topografisk højdemodel, til at korrigere for effekter af topografi og mindre forskel i perspektiver i satellitbillederne.

Udvikling af nye teknikker til at måle pladespredning i den sidste del af 1900-tallet har været ekstraordinær. GPS- og InSAR-målinger er i dag de vigtigste til at observere jordskorpebevægelser. De nye målinger har nu ledt til en bedre forståelse af mekanikken i pladespredning, og af hvordan ny jordskorpe bliver dannet.

Island vil fortsat være et vigtig laboratorium til at studere pladespredning i fremtiden, f.eks. når vi får den næste større spredningsepisode på Island. ■

MILJØTEKNIK og GEOFYSIK

Rådgivning

- Undersøgelser
- In-situ
- Risikovurdering
- Oprydning
- Projektering
- Monitorering

FALKENBERG A/S
Rådgivende Geologer

Hovedkontor: Vassingerødvej 145 3540 Lyngby
Tlf: 48 18 75 66 Fax: 48 18 76 03
Afdeling Nykøbing F.: Højbrogade 12-14 4800 Nykøbing F.
Tlf: 54 82 45 65 Fax: 54 85 02 32
e-mail: falkenberg@falkgeo.dk