

# Krafla-udbruddene

## - 1975 - 1984



Lavafontæner langs en 7 km lang sprække. Udbruddet begyndte om aftenen den 18. oktober 1980 og fortsatte til 23. oktober samme år. (Foto: Halldór Ólafsson)

Af Peter E. Danielsen, Ísor og Erik Sturkell, Nordisk Vulkanologisk Center

Den 20. december 1975 indledtes en udbrudsepisode med sprækkedannelse på ydersiden af vulkanen Krafla i det nordlige Island. Episoden forløb frem til 1984. Vulkanen havde da været inaktiv siden udbruddene mellem 1724 og 1729.

Denne artikel bygger frem for alt på artikler af Kristján Sæmundsson (1991) og Páll Einarsson (1991) præsenteret i en bog om (søen) Mývatns natur samt information fra Nordisk Vulkanologisk Institut.

### Det første kraftværk

I 1966 byggede man en kiselabrik i Bjarnarflag (kortet øverst til højre på næste side), beregnet til at udvinde et ca. 4 m tykt diatomélag (døde kiselalger) i Mývatn. Det første geotermiske kraftværk (3 MW) på Island blev bygget for at forsyne fabrikken og landsbyen (Reykjahlið) med elektricitet. Den geotermale omdannelse af bjergarterne omkring Mývatn forsyner diatoméerne i søen med kisel og andre vigtige næringsstoffer. Kiselabrikken var i produktion frem til slutningen af 2004.

De gode erfaringer med det tilhørende kraftværk førte til at man i 1968 begyndte at

diskutere mulighederne for at anlægge et større geotermisk kraftværk i området. Man begyndte planlægningen af et kraftværk på 60 MW med to dampturbiner i nærheden af Námafjall (kortet øverst til højre næste side), men naturbeskyttelsesmyndighederne anbefalede, at kraftværket skulle udnytte det geotermale område omkring Krafla-vulkanen (Leirbotnar, samme kort), og her begyndte prospektering i 1969.

### Krafla

Vulkanen Krafla ligger på den midtatlantiske spredningsryg, hvor jordskorpens plader bevæger sig fra hinanden med ca. 2 cm/år. Vulkanen er centralt placeret i en sprækkesværm, der er op til 10 km bred og 80 km lang. Krafla er en centralvulkan, hvilket betyder, at den består af en kaldera samt en sprækkezone. Kalderaen (kortet øverst til højre på næste side) blev dannet under den seneste interglaciale periode og er ca. 70.000 år gammel. De ydre former er ikke umiddelbart synlige, men ses ved geologisk kortlægning. I midten af kalderaen, hvor sprækkezonen skærer gennem kalderastrukturen, ligger en hyaloklastitryg, kaldet Leirhnjúkur (samme kort). Leirhnjúkur blev dannet under et subglacialt udbrud i den seneste istid. Leirhnjúkur er et vigtigt fikspunkt i den fortsatte redegørelse for Krafla-udbruddene.

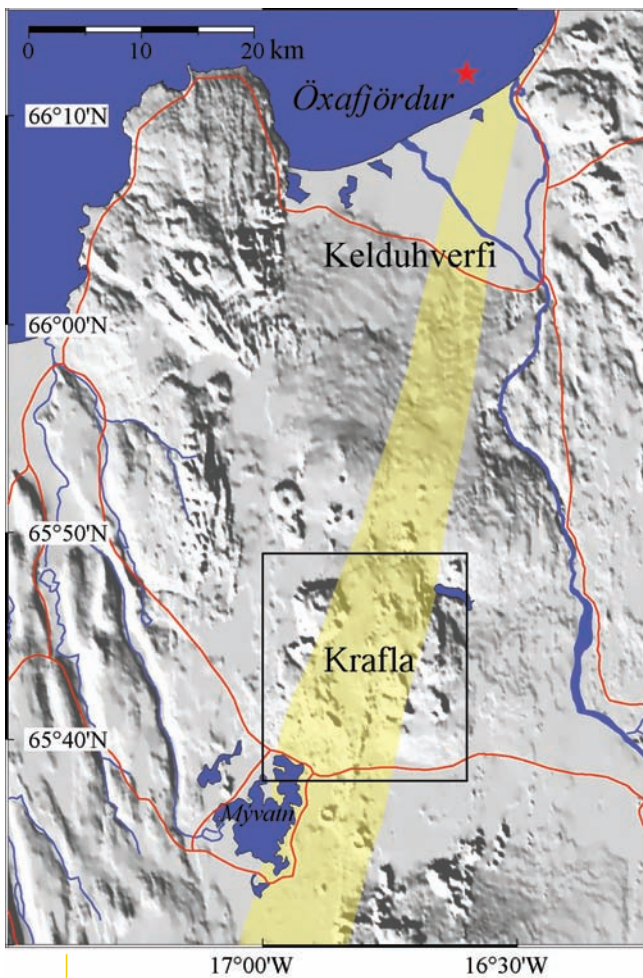
Bjergartssammensætningen i Krafla er bimodal (to distinkte populationer, ingen over-

gangs-/udviklings-trend). Den varierer fra udviklede olivin-tholeiiter over kvartstholeiiter til sub-alkaline rhyoliter, sidstnævnte forekommer kun langs kalderakanten. Basalterne i kalderaen udgøres af kvartstholeiiter, mens lavaerne nord for kalderaen (Gjástykki) er olivin-tholeiiter (se diagrammet nederst på næste side). Sprækkeudbrud er totalt dominerende i Krafla (foto ovenfor).

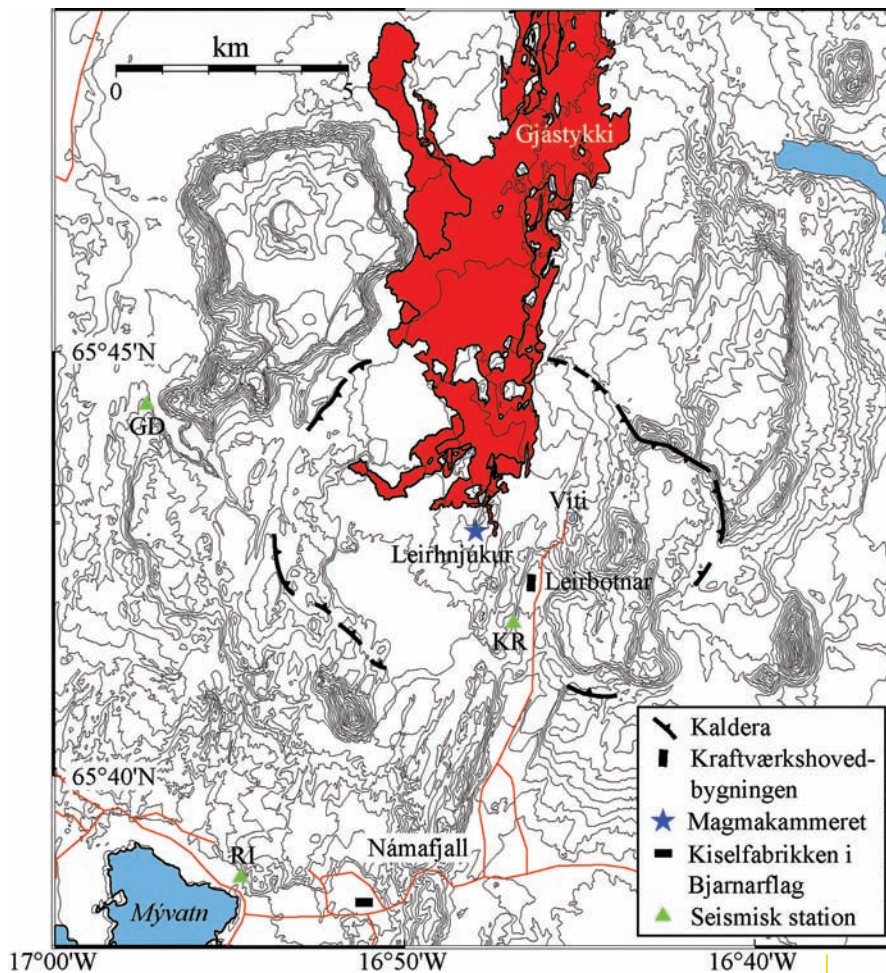
### Mývatnseldar

Der findes ingen beskrivelser i de historiske kilder af vulkansk aktivitet i Krafla før 1724, men netop dette år indledtes en 5 årig udbruds- og spredningsepisode, kaldet Mývatnseldar (Mývatns-brandene). Den 17. maj 1724 opstod en række eksplosionskratere, under den første spredningsepisode heriblandt krateret Víti ("Helvede") med en diameter på ca. 200 m. Aktiviteten i Víti varede kun to dage, men krateret var en kogende lergryde i de kommende hundrede år.

Den anden spredningsepisode varede fra april til september 1725. Ingen udbrud var forbundet med denne episode, i stedet størknede magma som intrusioner (gange) i skorpen. Siden noteredes ingen større aktivitet førend i august 1727, da en sprække i skorpen resulterede i udbrud ved Leirhnjúkur. Efterfølgende var der fire episoder med udbrud på samme lokalitet frem til september 1729. I april 1728 fulgte to små udbrud langs sprækker, hvor kiselabrikken ligger i dag.



Oversigtskort over Islands nordlige spredningszone. Hele området fra Mývatn til Öxarfjörður var aktivt i perioden 1975 til 1984. Stjernen markerer epicentret for det største jordskælv (magnitudo 6,5). Det gule område markerer sprækkezonen ved Krafla. (Grafik: Erik Sturkell)



Kort over stednavne omkring vulkanen Krafla. De seismiske stationer Reynihlið (RI), Krafla kraftværket (KR) og Gæsadal (GD) ligger i vulkanens umiddelbare nærhed. Centret for opløftning og indsynkning ved Leirhnjúkur er markeret med en stjerne. Kalderaens kontur er tegnet efter Kristján Sæmundsson (1991). Det røde felt viser udbredelsen af lavaen. Højdekurverne er indlagt med 20 meters ækvidistance. (Grafik: Erik Sturkell)

Da denne udbrudsepisode var overstået, nåede lavastrømmen til den nordlige strand af Mývatn. På sin vej havde lavaen begravet tre gårde og dækket et område på 33 km<sup>2</sup> med et beregnet volumen på ca. 0,25 km<sup>3</sup>. I 1746 rapporteredes jordskælv i området, og

man fandt ny lava langs 1727-29 sprækken, men det var kun meget små volumener. Herefter gik Krafla i dvale de følgende 229 år.

#### Noget begynder at ske

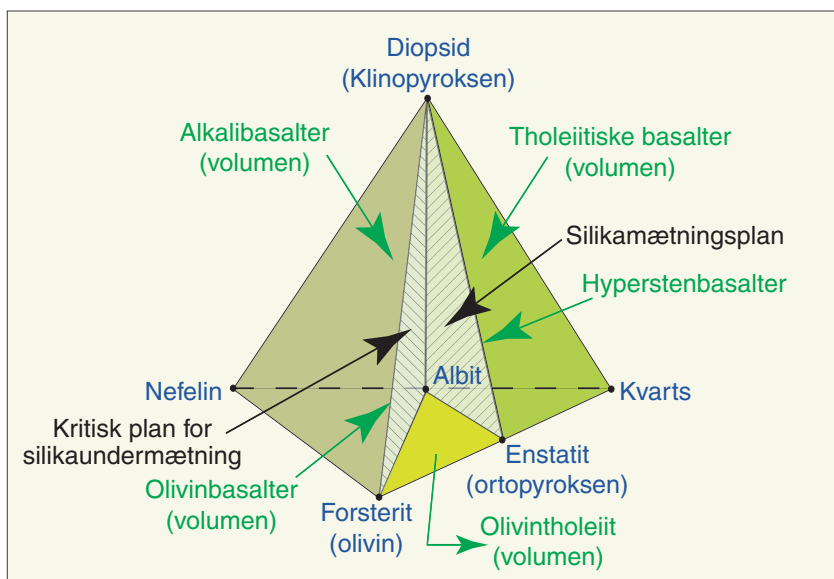
De første indikationer på ny aktivitet i Krafla

la sås efter installationen af et seismisk netværk i det nordlige Island i efteråret 1974 og sommeren 1975. Da man begyndte at analysere jordskælvne, stod det klart, at et stort antal skælv var lokaliseret under Leirhnjúkur (kortet ovenfor til højre). Denne aktivitet førte til, at det seismiske netværk udbyggedes yderligere med en station i Reynihlið (RI) cirka 10 km fra Leirhnjúkur i juli 1975.

De følgende måneder registreredes fortsat aktivitet, og mistanken, om at det ikke bare var "normal" baggrundsaktivitet, voksede. Jordskælvssværmene i området passede ikke ubemærket hen, eftersom de største skælv var nær størrelse 4 på Richterskalaen, og endnu en gang udbyggedes det seismiske net. Denne gang med yderligere to stationer, Krafla kraftværket (KR) og Gæsadal (GD), se kortet ovenfor til højre. Man spekulerede over betydningen af disse jordskælv og kom med forskellige hypoteser, men man havde ingen forestillinger om, hvad vulkanen Krafla skulle forårsage de næste ti år.

#### Kröflueldar begyndelse

Udbruds- og spredningsepisoden fra 1975 til 1984 har fået navnet Kröflueldar (Krafla-brandene). Den har mange ligheder med de tidligere Mývatnseldar og er tillige den bedst



Basalttetraederet der viser den normative klassifikation. (Grafik: UVH modificeret efter Yoder og Tilley, 1962; Raymond 1995)



Guðmundur E. Sigvaldason fotografere lavafontænerne under udbruddet mellem den 18. og 23. oktober 1980. (Foto: Halldór Ólafsson den 19. oktober)

dokumenterede (foto øverst på næste side) spredningsepisode på en midt-oceanisk spredningsryg gennem tiderne.

Kröflueldar begyndte som en jordskælvsværm om formiddagen den 20. december 1975. Femten minutter efter, at jordskælvene begyndte, åbnede en kort sprække ved Leirhnjúkur. Udbruddet varede kun ca. 2 timer, men Krafla var vågnet. Jordskælvene fortsatte, og de var så kraftige at de kunne mærkes af beboerne i Mývatnsområdet. I efteråret 1975 påbegyndte man et stort projekt, der involverede adskillige geotermale borer og opførelsen af Krafla kraftværkets hovedbygning. Da man den 18. januar 1976 nivellerede den 70 meter lange støbte grundplade, så man, at den nordlige ende var sunket 48 mm relativt til den sydlige ende. Denne relative højdeforandring svarer til en indsykning på ca. 600  $\mu$ rad. I august 1976 installeredes en hældningsmåler bestående af en 69,5 m lang slange, oriente-

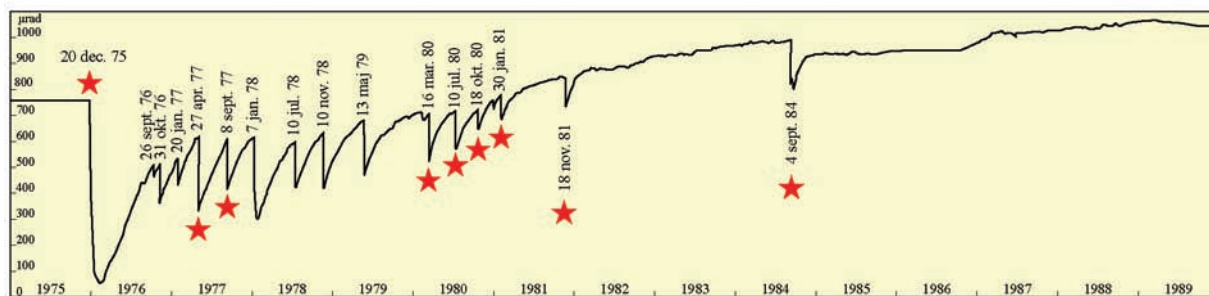
ret i N13°E med glasrør i enderne. Væskniveauet i glasrørene blev aflæst dagligt de kommende elleve år (figuren nederst på siden). I august 1977 installeredes en elektronisk hældningsmåler i kraftværket. Den elektroniske måler viste hældningsforandringen i to retninger, hvor den ene komponent havde samme orientering som kraftværkets længdeakse. Målinger foretaget med de to forskellige måleinstrumenter gav næsten identiske resultater. Det var en sammenstilling af målinger fra det seismiske net og hældningsmålerne, der under hele udbrudssekvensen ved Leirhnjúkur gav den bedste information om opløftning og indsykning af det lavtliggende magmakammer (på ca. 3 km dybde).

Jordskælvene den 20. december 1975 var koncentreret til to områder langs sprækkesværmene, en gruppe var centreret i nærheden af Leirhnjúkur, mens den anden gruppe migrerede mod nord ud fra Gjástykki (kortet

øverst til højre forrige side) til Kelduhverfi (kortet øverst til venstre forrige side) i løbet af bare nogle få timer. Jordskælvsaktiviteten fortsatte frem til marts 1976. Det største jordskælv i Krafla-området, blev målt til størrelse 5 på Richterskalaen. Det største jordskælv blev målt i Öxaffjörður (kortet til venstre foregående side) den 13. januar 1976 til størrelse 6,5.

Ved Leirhnjúkur sank jordoverfladen med mere end 2 meter, de gamle sprækker udvidedes, og nye sprækker opstod. Sprækkesværmene strakte sig fra Mývatnsområdet i syd til Öxaffjörður i nord. I Kelduhverfi åbnedes sprækker med en vidde på 1-1,5 m, og den centrale del af sprækkesværmene sank med cirka 1 m.

Allerede i januar 1976 var Leirbotnar området (kortet til højre på foregående side) mættet med afgasset magmatisk CO<sub>2</sub>. Dette medførte at de kemiske egenskaber i det geotermiske system var ændret betydeligt



Tidsserie med hældningsmålinger udført i Krafla kraftværkets hovedbygning. Stigende mikro-radianer viser opløftning af skorpen over magmakammeret ved Leirhnjúkur. De ni udbrud er markerede med stjerner. I august 1976 installeredes en væske-hældningsmåler langs væggen i hovedbygningen. Før dette blev hældningsforandringer beregnet ud fra ud fra nivellerings af kraftværkets fundament. (Billedet er redigeret efter Tryggvason (1995))



Kiselfabrikken med Mývatn i baggrunden. Billedet er taget fra Námafjall. Omkring fabrikken blev der bygget beskyttelsesvolde, der skulle afværge evt. lavastrømme, dog var Krafla udbruddenes forløb således at disse volde ikke behøvedes. (Foto: Erik Sturkell)

fra resultaterne under prospekteringen. Fumarolernes afgangning steg kraftigt, og fluiderne i borehullerne blev mere gasberigede (fotoet nederst på denne side).

Mod slutningen af september 1976 tiltog jordskælvsaktiviteten på ny, og jordoverfladen sank atter. Dette indikerede, at magma forlod magmakammeret, men det førte ikke til noget udbrud! I forbindelse med, at jordoverfladen sank, noteredes det, at jordskælvene migrerede cirka 15-20 km langs sprækkesværmen nord om kalderaen. Dette tolkedes, som at en gang byggedes, og at magmaen størknede på nogle kilometers dybde.

#### Spredningsepisoden 1975-1984

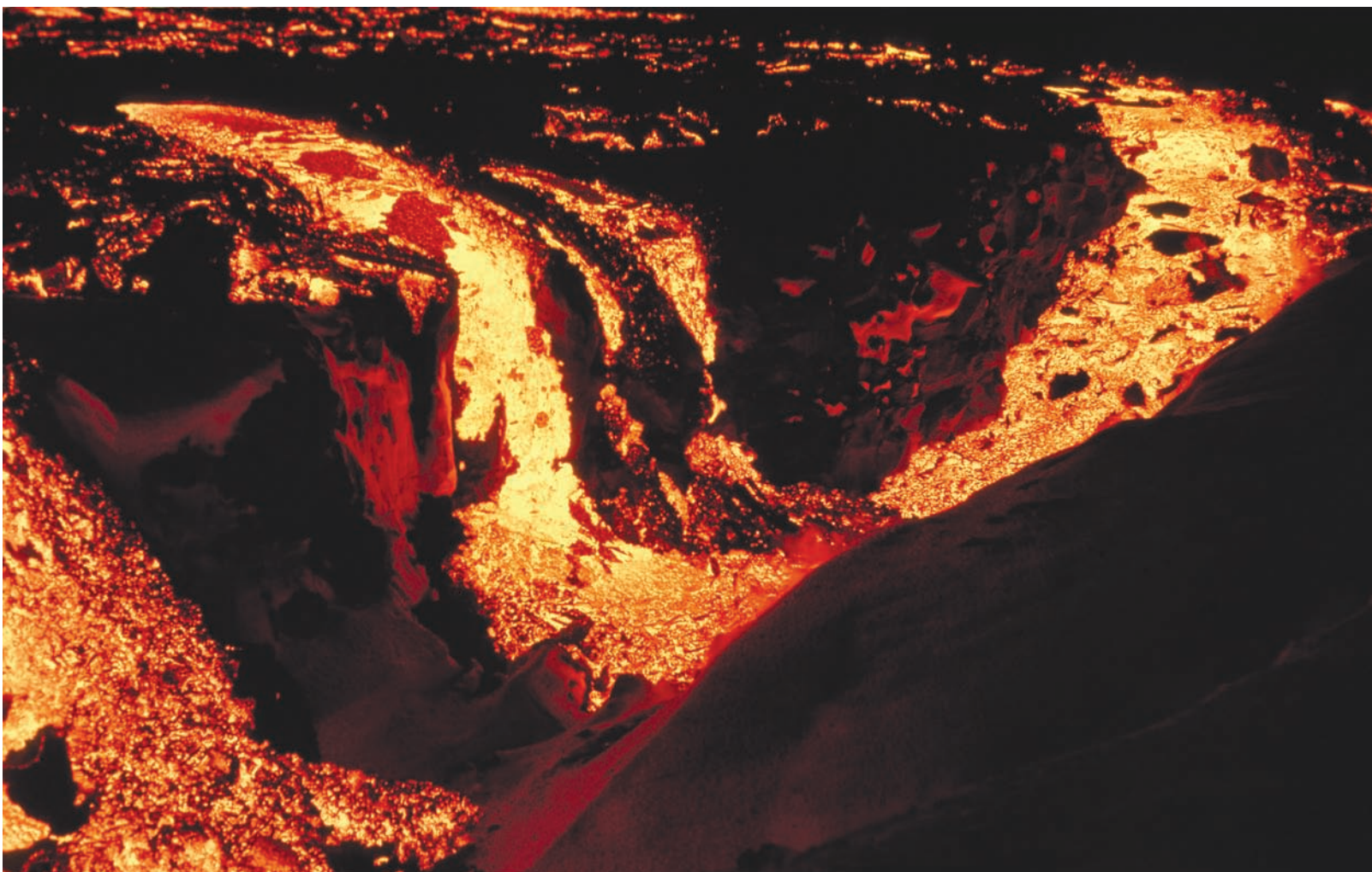
Dette mønster med indsynkning ved Leirhnjúkur, migration af jordskælv og ganges opståen gentog sig flere gange. Man begyndte også at se et mønster i, hvor meget jordskorpen havde hævet sig, når jordskælvsaktiviteten tiltog. Havde jordskorpen hævet sig mere end ved det seneste tilfælde, efter at magma havde forladt magmakammeret, da kunne man forvente jordskælvssværme. Dette scenario indtraf i slutningen af oktober 1976, i slutningen af januar 1977 (figuren nederst på foregående side) og atter fra februar til marts 1977. Herefter sank jordskorpen, og jordskælvene tiltog. Derpå, i april 1977, migrerede jordskælvene mod syd til Bjarnarflag. Denne dag hærgede en snestorm i området, og sammen med sneen kom

mørke partikler (aske). Dette opfattedes som en mulig indikation på et udbrud. Næste dag, da vejret klarede op, blev det klart at et lille udbrud havde fundet sted ved Leirhnjúkur.

Den 8. september 1977, begyndte en ny periode med indsynkning og jordskælvssværme. Lava strømmede ud langs en 900 meter lang sprække. Sprækken lå i den nordlige del af kalderaen. Om aftenen begyndte



Eysteinn Tryggvason, Hjörtur Tryggvason, Guðmundur E. Sigvaldason, Magnus Ólafsson, Karl Grönvold og Páll Einarsson studerer brændende vulkanske gasser på oktober-udbruddets tredje dag. Størstedelen af gasserne består af vanddamp og  $CO_2$ . De brændbare gasser, der udgør hen imod en tredjedel af den totale gas-mængde, består hovedsagelig af  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$  og  $SO_2$ .  $SO_2$  oxideres til  $SO_3$ , der med vand danner svovlsyre (svovlsyretråber er en del af eruptionsprodukterne). (Foto: Halldór Ólafsson den 20. oktober, 1980)



Lavastrømme fra eruptionssprækken, der åbnede sig om aftenen den 18. oktober 1980. (Foto: Halldór Ólafsson den 19. oktober)

jordskælvene at migrere syd ud mod Bjarnaflag. Næste dag konstaterede man, at der havde været et lille udbrud (2 tons materiale) op igennem et borehul (B-04) i Bjarnaflag. Ved udbruddet åbnedes sprækker på cirka en meter. Man blev urolig for, at en lavastrøm skulle kunne ødelægge den nærliggende kiselfabrik, og man opførte derfor en vold omkring fabrikken for at lede eventuelle lavastrømme bort (foto øverst på foregående side). Cyklen, hvor jordskorpen hævede sig og siden hurtigt sank i forbindelse med, at jordskælvene tiltog for derpå at migrere nord ud, gentog sig fire gange (figuren nederst på side 24).

Den 16. marts 1980 indtraf næste periode med indsynkning, hvor en eruptionssprække åbnedes nord for Leirhnjúkur. Udbruddet fra sprækken varede kun i 6-7 timer, men jordskælvene varede ved og migrerede sydover, således at sprækken var aktiv både nord for Leirhnjúkur og sydpå til Bjarnaflag.

Under udbruddet i marts var Eysteinn Tryggvason og Halldór Ólafsson ude for at gennemføre geodætiske målinger. Da det var vinter, kørte de på snescootere. De så, hvordan en eruptionssprække åbnede sig, og hvordan en lavafontæne rejste sig, og hvorledes lavaen kom strømmende ned af den lille bakke mod dem. Imens Halldór fotograferede udbruddet (foto øverst på næste sidste side), indså de, at lavaen kom mod dem i høj hastighed! Snescooterne svigtede dem ikke, og de forlod stedet i fuld fart mod højre ni-

veau. De undslap begge den hurtigt strømmende lava, der praktisk taget løb som vand! Grunden til lavaens lave viskositet var, at den (relativt lille) mængde vand, som lavaen indeholdte, var fuldstændigt opløst i lavaen. Mellem sneen og lavaen dannedes et lag af dampe. Dette lag fungerede som en slags luftpude, hvorpå lavaen flød, og bare en lille bakke kunne derfor give lavaen en høj hastighed.

Nu begyndte eruptionssekvensernes karakter at ændres fra at være domineret af migrerende jordskælv og intrusioner af gange til deciderede udbrud.

I maj 1980 havde jordskorpen hævet sig mere end under den foregående periode, og jordskorpen hævedes fortsat frem til juli, da pludselig indsynkning tog over, som resultat fulgte jordskælv, der migrerede mod nord. Til at begynde med strømmede lavaen ud fra flere sprækker umiddelbart syd for Gjástykki, men efter en dag koncentreredes udbruddet til et enkelt område og fortsatte dér den følgende uge. Næste udbrud indtraf i midten af oktober 1980, og det fulgte det typiske mønster. En 2,3 km lang eruptionssprække åbnedes nord for Leirhnjúkur i den indledende fase, og efter bare nogle få timer var sprækken 7 km lang (fotoet på artiklens første side og fotoet ovenfor) og opdelt i flere segmenter. Efter nogle dage koncentreredes aktiviteten til et mindre område, hvor et krater opstod. Dette udbrud varede fra den 18. til den 23. oktober.

I slutningen af januar 1981 gentog den nu karakteristiske sekvens sig. Udbruddet fulgte den første nat en 2 km lang sprække, men den aktive del af sprækken blev kortere med tiden. Dette udbrud varede i fem dage. Aktiviteten begyndte igen den 18. november 1981, da en eruptionssprække åbnede sig 1 km nord for Leirhnjúkur. Efter tre timer havde udbruddet nået sit klimaks, og en 8 km lang sprække var aktiv. Udbruddet stod på til den 23. november.

Frem til august 1982 havde vulkanen perioder, hvorunder jordskorpen hævede sig, samtidig med at jordskælvsintensiteten øgedes, for senere at falde til ro. Jo længere et forløb, desto mere sporadisk blev aktiviteten, og en relativt stor lokal forhøjning i jordskorpen over magmakammeret gav ophav til diskussioner om, hvorvidt udbrudsepisoden var ovre.

Den 4. september 1984 endte diskussionen, ved at endnu et udbrud indledtes. Skorpen revnede to steder sent om aftenen den

## Vidste du:

At du kan købe alle de tidligere, ikke-udsolgte numre (p.t. 61 stk.) for kun 300 kr. (ekskl. porto 63,00 kr.)?



Den 16. marts 1980 åbnedes en ny eruptionssprække i Krafla, og straks rejste sig en væg af lavafontæner. Det skal bemærkes, at væggen ikke indeholdte eksplosionssøjler eller aske, hvilket indikerede lavt gasindhold i lavaen. Lavaen var meget lidt viskøs grundet det opløste vand, hvilket Eysteinn og Halldór hurtigt bemærkede. (Foto: Halldór Ólafsson)

4. september, sprækkerne voksede og dannede en væg af ild. Efter en time var der aktivitet langs en 8,5 km lang sprække (opdelt i flere segmenter). Den 7. september havde udbruddet koncentreret sig til to steder langs sprækken, og udbruddet endte den 18. september. Dette sidste udbrud var det største under hele Kröflueldar.

Efter udbruddet i september 1984 observeredes indstrømning af magma i magmakammeret (forhøjning i skorpen) frem til 1989. Da havde jordskorpen ved Leirhnjúkur hævet sig 1,5 m over niveauet for det første udbrud i 1975. Lavaen fra Kröflueldar dækker et areal på 36 km<sup>2</sup> og har et volumen på 0,25 km<sup>3</sup>, som er meget tæt på den mængde af lava, der genereredes ved Mývatnseldarna. Man har beregnet, at op imod 1 km<sup>3</sup> materiale intruderede den øvre skorpe under hele spredningsepisoden. Endvidere var ca. 80 km af pladegrænsen aktiv, og spredningen nåede op på 9 meter.

#### Hvad skete der senere?

År 1989 ændredes bevægelsen af skorpen fra opløftning til indsynkning over det lavtliggende magmakammer ved Leirhnjúkur. Eysteinn Tryggvason bemærkede, at indsynkningshastigheden i løbet af de første år var ca. 5 cm pr. år. Dette tolkede man som en indikation på, at magmaet var begyndt at størkne, idet et magmas volumen formindskes med 10-12 % når det afgasses og krystalliserer. I Krafla var det dog ikke bare det størknende magmakammer, som forårsagede indsynkning, det var også udvindingen af geotermal energi. De fleste produktionsboringer ligger i forbindelse med Krafla kraftværket i Leirbotnar (kortet øverst til højre på side 23). I begyndelsen af halvfemserne var det indsynkningen ved Leirhnjúkur

(magma-kammeret), der var dominerende. Men hen mod slutningen af årtiet var indsynkningshastigheden aftaget til ca. 0,5 cm pr. år, og indsynkningen i Leirbotnar var den mest dominerende.

Kröflueldar gav meget information om, hvordan mekanismerne i forbindelse med sprækkedannelse fungerer. Formentlig må vi vente længe, inden pladegrænsen ved Krafla bliver tilsvarende aktiv igen, men dette gør ikke Krafla og Mývatns-området mindre interessant, for hvem ved, hvornår magma begynder at samles ved andre spredningssegmenter. Når dette sker, vil observationerne fra Krafla være yderst betydningsfulde.

#### Litteratur:

Garðarsson, A. & Einarsson, Á. eds. 1991: *Náttura Mývatns*.

Tryggvason, E., 1995: *Optical leveling tilt stations in the vicinity of Krafla and the Krafla fissure swarm. Observations 1976 to 1994. Nordic Volcanol. Inst., Reykjavík, Rep. 9505, 218.*



Lavafontæne fra en sprække, der åbnedes 1 km nord for Leirhnjúkur i november 1981. (Foto: Halldór Ólafsson den 20 november)