

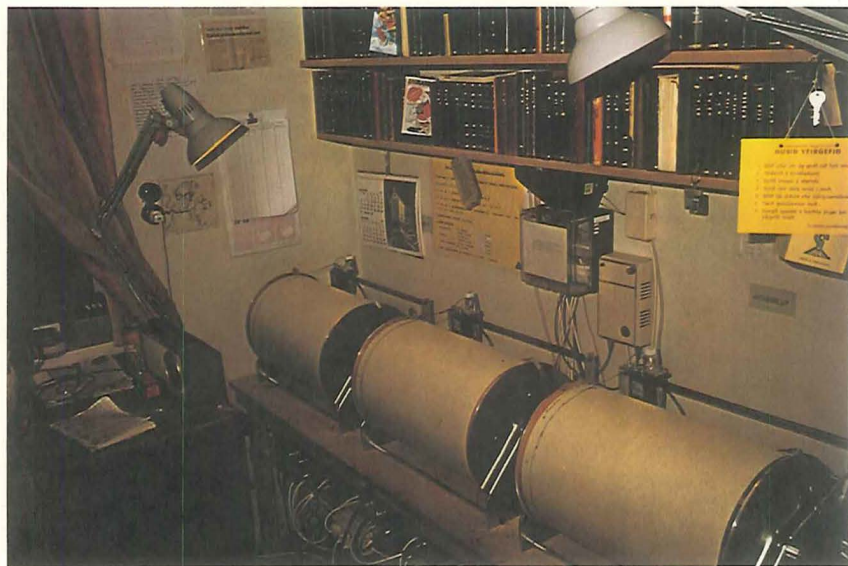
Vulkanvarsling

af Karl A. Jørgensen

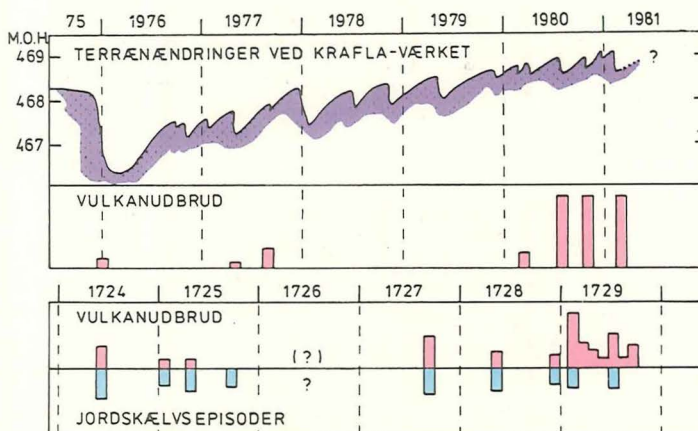
Krafla vulkanen på Nordisland har allerede haft to udbrud siden udbruddet 10. juli 1980 (VARV nr. 4, 1980) og et nyt udbrud kan ventes når som helst.

Disse udbrud indgår i en serie på ialt 7 udbrud siden 1975. Tilsvarende serier af udbrud er indtruffet med mellemrum siden vulkanen efter et meget voldsomt udbrud i sidste mellemistid fik sin nuværende grundform, en bred flad vulkan-kuppel med en stor central, næsten cirkelformet indsynkning, en såkaldt caldera.

Krafla er et af de fire vulkansystemer, der tilsammen udgør den nordlige gren af den tre-delte vulkanzone, der fortsætter den midatlantiske ryg over Island. Studiet af den nuværende udbredsserie har været banebrydende for forståelsen af de vulkanske processer, der foregår overalt på de midtoceaniske rygge. Da udbrudsserien i Krafla truer betydelige økonomiske interesser og den lokale befolkning, er det af stor betydning at få opbygget den bedst mulige vulkanvarsling.



Figur 1. Jordskælvsmålere i jordskælvsagten i Reykjavíkur. På væggen alarmknappen til alle distriktets beboere.



Figur 2. Calderabundens bevægelse i perioden 1975-1981, samt den forholdsmæssige størrelse af de forekommende vulkanudbrud, sammenlignet med udbrudsepisoden 1724-1729.

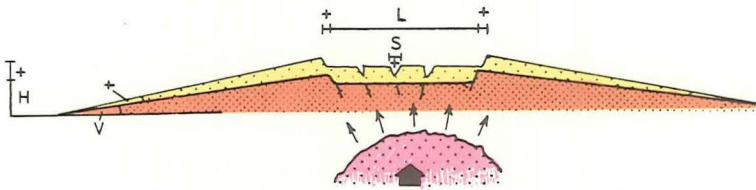
I dag findes konstant bemandedt jordskælvsvagt i den lille by Reykjahlid på sydvestsiden af vulkanen, fig. 1. Vulkanologer overalt i verden har arbejdet med at finde metoder til at forudsige vulkanudbrud med en rimelig sikkerhed, og en række af disse metoder har været afprøvet og er blevet videreudviklet på Krafla.

Jordskælv og gangdannelse

Når et magma (en smeltetmasse) trænger frem mod overfladen, vil det skubbe til sine omgivelser og fremkalde jordskælv. Islandske vulkan-forskere har derfor i løbet af de sidste 10 år opbygget et tæt net af stationer med jordskælvsmålere (seismografer) over hele Island. Det var dette net, der afslørede, at noget usædvanligt var i gære i Krafla-området, idet mængden af jordskælv her voksede støt i løbet af året 1975 indtil det første udbrud i den nuværende udbredsserie indtraf 20. december, midt i calderaen. Det der derefter skete, var imidlertid ret uventet. Jordskælvscentrene begyndte at flytte sig nordpå op gennem spaltesystemet, indtil et voldsomt jordskælv (6.3 på Richterskalaen) væltede en del af den lille by Kopasker, 80 km nord for Krafla. Dette mønster med vandrende jordskælv har siden gentaget sig yderligere 16 gange, de 6 af gangene i forbindelse med vulkanudbrud, fig. 2. Årsagen til disse jordskælvsvandringer er, at magma fra et kammer under calderaen løber ud i spaltesystemet, og jordskælvene viser så, hvor langt magmaet er nået. Når magmaet bremses op og standser, indtræffer særlig mange jordskælv, der koncentrerer sig i de yderste par kilometer af det gennemløbne område. Lægger man disse særlige jordskælvrige partier sammen dækker de idag hele området fra Axarfjord i nord til ca. 20 km syd for calderaen, ialt et ca. 100 km langt stykke.

Magmakammerets beliggenhed

Den hastighed hvormed magmaet er løbet under jorden har oftest ligget omkring 1/2 m pr. sekund, og gangdannelsen finder almindeligvis sted i området mellem 2 og 5 km dybde. Jordskælvene har også kunnet give oplysninger om kildeområdets omtrentlige form og udstrækning, idet den type jordskælvsbølger, der kaldes S-bølger, ikke kan trænge igennem væsker. Ved at studere de jordskælv, der mangler S-bølger, har man så kunnet beregne, at det er et magmakammer lige under calderaen, med en diameter på et par km og en dybde af 3-7 km, der "skygger" for jordskælvene. Jordskælvenes karakter kan også vise noget om, hvorvidt faren for et udbrud er overhængende eller ej. Når magmaet begynder at trænge op gennem de sidste par kilometer mod jordoverfladen opstår der uafbrudt små jordskælv, såkaldte "harmoniske" rystelser, der på jordskælvs måleren tegner sig som en tydelig zig-zag linie. Fænomenet er velkendt fra mange vulkaner, og betragtes almindeligvis som et af de mest sikre tegn på, at et udbrud er ved at begynde.



Ved magmaindstømning i et overfladenært magmakammer er observeret:

Forøgelse af	Formindskelse af
højde	vandafstrømning
længde	tyngdefelt
terrænhældning	magnetfelt
spaltebredde	elektrisk modstand
overfladetemperatur	S-bølgehastighed
brintudstrømning	termale damptryk
ædelgasudstrømning	

- idet forøgelsen er vist med tynd streg eller (+).

Figur 3. Fysisk-kemiske ændringer i forbindelse med en vulkansk episode.

Højde, afstand og kippmålinger

Når et magma trænger op mod overfladen og ind i et magmakammer, presser det på de overliggende lag, der så kan bøje sig ganske lidt eller brække, så jordskælv indtræffer, fig. 3. Hvis de bøjes, vil vulkanens overflade hæve sig ganske lidt. Denne opbulning kan måles med særligt fintfølelse instrumenter, både som en forøgelse af vulkanens højde, en forøgelse af afstande over vulkanen samt som en forøgelse af terrænoverfladens hældning. Måling af de to førstnævnte ting er meget tidskrævende, og foretages derfor kun med mellemrum, medens hældningsændringen, kipningen, kan måles i et hvilket som helst punkt på vulkanens overflade. Man indretter derfor faste opstillinger af kippmålinger, (tiltmeter), der måler denne ændring med korte mellemrum. Mere udviklede kippmålere har automatisk, løbende udskrift.

Ved Krafla måler man alle de nævnte ændringer, idet calderaen samt en rute ned over vulkanen (dækkende ca. 20 km) regelmæssigt opmåles for højdeændringer. Afstandsmålinger med geodimeter og teodolit udføres ligeledes regelmæssigt. De dækker ca. 200 km .

Kipningsmålinger udføres med tre forskellige systemer. For det første et tiltmeter lavet af to vandrør, der er 69 m i N-S retning og 20 m i Ø-V retning, og som aflæses dagligt. Dernæst ved hjælp af 4 elektroniske borehuls-tiltmetre med løbende udskrift, og endelig ved måling af kipningen af et større antal flader



Figur 4. Krafla kraftværket i calderaen, i baggrunden ses Myvatn søen.

rundt omkring på vulkanen ved cirkelnivellering, dvs nivellering fra en centrumstation til punkter i en omgivende "cirkel". Fladerne opmåles regelmæssigt, hvorved oplysningerne fra de faste tiltætte suppleres.

Virker det ?

De væsentligste resultater af målingerne har været bekræftelsen af, at vulkanen udvider sig støt imellem jordskælvsepisoderne, afbrudt af større eller mindre indsynkninger, størst under december 1975 episoden, hvor bunden af caldera-indsynkningen sænkede sig 2 m, fig. 2.

Det har desuden vist sig, at jordskælvsepisoderne indtræffer, når calderabunden når eller overstiger den højde, den indtog lige før sidste indsynkning.

Udvidelserne og indsynkningerne er afhængige af den mængde magma, der strømmer ind i og ud af magmakammeret, og beregninger viser, at der gennemsnitligt strømmer 5 m^3 magma ind i kammeret per sekund, hvilket vil sige, at der i de 6 år episoden nu har været er strømmet ca. 1 km^3 magma ind i kammeret.

Derimod var der indtil marts 1980 kun strømmet $1/2 \text{ km}^3$ ud af kammeret, hvoraf kun 0.2 % kom op til overfladen. Siden er yderligere 0.1 km^3 strømmet ud af kammeret, hvoraf 100 % er nået overfladen. Udstrømningsmængden har under episoderne ligget mellem 600 m^3 per sekund i rent underjordiske løb til 2000 m^3 per sekund under udbrudsperioder.

På grundlag af ændringerne i terrænet har man kunnet beregne dybden til centret i opløftningen til at ligge 2.9 km under overfladen og næsten lige under den lille tufryg Leirhnukur midt i calderaen, fig. 4. Under indsynkningsepisoder skifter centret beliggenhed. Det tyder på, at magmakammerets øverste del består af indbyrdes forbundne småkamre, der tømmes på skift.

Gas og livsfarligt badevand



Under den nuværende udbrudsepisode har også andre målemetoder været benyttet i Krafla, dels for at undersøge deres anvendelighed til vulkanvarsling, dels for at skaffe yderligere oplysninger om de fysisk-kemiske forhold der hersker i et aktivt vulkankompleks. Særlige gode resultater er opnået med tyngdemålinger (gravimetri), medens målinger af det magnetiske felt (magnetometri) og de elektriske modstande i bjergarterne (restivitetmålinger) har givet vanskeligt fortolkelige resultater.

Der har løbende været målt gassammensætninger i udstømningsfelter (fumarolefelter) og i borehullerne, der driver de to geotermale kraftværker i området: Krafla-værket på 47 megawatt i calderaen (fig. 4) og Bjarnarflagi-værket (5 megawatt) i den sydlige spaltezone.

Gasmålingerne har vist systematiske ændringer med tiden, med forøget udstrømning af brint, kuldioxid og sulfat før indsynkningsepisoder. Tilsvarende er



Figur 5. Spalter nær grottebadene ved Myvatn. Spalterne skærer igennem moræneryggen i billedets baggrund, og er yngre end 10.000 år.

målt en forøgelse i mængden af kviksølv og ædelgassen radon. Vandtemperaturen i området som helhed er også steget med det resultat, at de kendte grottebade ved Myvatn nu har en vandtemperatur på 62°C , og er derfor livsfarlige at springe i, fig. 5. Med et nyt udbrud op i mente er det i øvrigt heller ikke helt ufarligt at opholde sig i Krafla-området, selv om man afholder sig fra at tage varmt bad.

