

nr 40

december 2003

årgång 10

Geologiskt forum

Geologiska Föreningens populärvetenskapliga tidskrift

Vulkanjubileer

Kebnekaise – en 600 miljoner år gammal vulkan 4

Heimaey – 30 år 12

Surtsey – 40 år 18

Dessutom:

Mälardalsprojektet – ett tvärvetenskapligt geoprojekt 24

www.geologiskaforeningen.nu

Vi får aldrig slappna av

Detta skrives då årets Nobelfestligheter just avslutats. Under några få dagar står forskningen i fokus då världens mest prestigefyllda pris delas ut till de forskare som hjälpt till att utvecklat vetenskapen. Några dagar senare har vetenskapen åter fallit i glömska hos allmänheten. Under en lång rad av år har naturvetenskap och teknik fått allt svårare att rekrytera nya studenter, och det naturvetenskapliga kunnandet hos befolkningen verkar stadigt minska. Samtidigt dyker allt fler propåer upp om alternativa sätt att behandla kunskap och forskning. Forskarna tvingas tillämpa olika typer av politiskt initierade tolkningsperspektiv (genus-, ålders-, etniskt och etiskt) på allt de sysslar med. Ett synsätt som leder till att rena kunskaper trängs tillbaka på bekostnad av flumteorier. Detta i sin tur leder till en relativiserad bild av vetenskapen hos allmänheten; kunskap är relativt och kan förhandlas fram genom rundabordsamtal och kompromisser. Spelar då allmänhetens minskade förståelse av naturvetenskapen någon roll? Ja, förutom att allt färre förstår hur omgivningen de lever i fungerar, och att allt fler intresserar sig för olika typer av New Age-trams, så lurar mörkare krafter i bakgrunden. Jag syftar på kreationismen. Den är inte, som man kanske tror, en rörelse av fromma människor som försöker förstå världen utifrån ett religiöst perspektiv, utan det är en fundamentalistisk anti-vetenskap som angriper själva grunden för kritiskt och självständigt tänkande. I ett vetenskapsfilosofiskt perspektiv bygger forskning på falsifierandet av uppsatta hypoteser. Detta eftersom man faktiskt inte kan bevisa att något är absolut sant, men däremot är det relativt enkelt att visa att något är falskt (om så är fallet). Den vetenskapliga metoden utgår från att uppsatta hypoteser testas genom olika experiment. Exempelvis kan vi sätta upp hypotesen att jorden är rund. Ett lämpligt experiment är då att segla rakt västerut och se om man kommer tillbaka till utgångspunkten. Gör man detta har man inte bevisat att jorden är rund, men däremot har man gjort den hypotesen betydligt mer sannolik. Hade man istället seglat över kanten, så är det bevisat att jorden INTE är rund. Kreationismen arbetar åt helt fel håll. De utgår från vad de anser vara sanningen och konstruerar "experiment" för att bevisa denna sanning. Det blir som ett vetenskapligt *Jeopardy* där svaret är givet och det gäller att hitta en fråga som ger detta svar. Kreationismen ses fortfarande som en kuriositet i Sverige och Europa. Dock har den vuxit till på ett oroande sätt i vissa andra delar av världen. Men i en tid då allt fler tror att vetenskap och kunskaper är utbytbara, förhandlingsbara enheter och styrda av tillfälliga politiska trender, har kreationisterna även börjat vädra morgonluft i Sverige. På fullt allvar har det föreslagits att kreationistiska ideer ska läras ut inom biologin. Det är nu vi som sysslar med vetenskap och populärvetenskap, särskilt inom geo- och biovetenskaperna, måste börja stå emot och slå tillbaka. Vi får aldrig slappna av. Glöm inte att kreationismens fundamentalistiska anti-vetenskap inte bara är ett hot mot naturvetenskapen, utan i förlängningen även förnuftet och den fria tanken.

Joakim Mansfeld



Omslagsbilden

Vulkanön Surtsey söder om Island bildades vid en explosiv eruption. I december 1963 var ön hästskeformad med en öppning mot söder där havsvattnet flödade in i kratern. Läs mer om Surtseys bildning i artikeln av Erik Sturkell på sidorna 18–23. Foto Sigurður Þórarinnsson.



Geologiskt forum utges av Geologiska Föreningen (Sveriges riksförening för geologi), i samarbete med Föreningen för Geologins dag, och med ekonomiskt stöd från Sveriges geologiska undersökning.

SGU

Sveriges geologiska undersökning

Ansvarig utgivare, redigering och layout: Joakim Mansfeld

Foto och illustrationer (om inte annat anges): Joakim Mansfeld

Redaktionen adress:

GF:s redaktion, institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm, tel 08-674 77 27, fax 08-16 44 24; gff@geo.su.se; www.geologiskaforeningen.nu

Geologiskt forum trycks helt i fyrfärg i ca 1500 ex. av Alfa Print AB, Sundbyberg

Distribution, prenumerationsärenden, adressändring och köp av tidigare nummer:

Swedish Science Press, Box 118, 751 04 Uppsala, postgiro 489 78 50-6, bankgiro 914-4601, tel 018-36 55 66, fax 018-36 52 77; info@ssp.nu.

ISSN 1104-4721

Geologiskt forum (startår 1994) publicerar populärvetenskapliga artiklar inom geologins alla områden. Den informerar om litteratur, händelser och personer med geologisk anknytning, och är ett forum för åsikter och debatt.

Redaktionsråd:

Jan Bergström, Holger Buentke, Christer Carlberg (Hallands Geologisk klubb), Ingemar Cato, Rolf Frankenberg (Upplands Geologiska Sällskap), Emil Gregori (Tunabygdens Geologiska Förening), Dan Holtstam, Antti Hultström (Västerbottens Amatörgeologer), Mikael Jansson (Bergslagens Geologiska Sällskap), Erik Mofjell (Göteborgs Geologiska Förening).

Tidskriften ingår i det ordinarie medlemskapet i Geologiska Föreningen.

Annonser mottages gärna. Kontakta redaktören för uppgifter om digitala format, storlekar och priser.

Ordinarie lösnummerpris är 50 kr.



Geologiska Föreningens De Geerpris

Geologiska Föreningens medlemmar inbjudes att nominera en kandidat till föreningens första De Geer-pris som avser belöna insatser inom områdena kvartärgeologi, kvartär biostratigrafi, litostratigrafi och maringeologi.

De Geer-priset utdelas efter förslag från Geologiska Föreningens medlemmar. Förslag till mottagare skall ha inkommit senast fredagen den 20 februari. Förslagen skall vara motiverade och innehålla kort biografi och bibliografi. Inkomna förslag behandlas av Geologiska Föreningens styrelse, vid behov med bistånd av en ad hoc-kommitté. Nomineringsförslag skickas till Geologiska Föreningens sekreterare Mats Rundgren, Kvartärgeologiska avdelningen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund; e-post: mats.rundgren@geol.lu.se.

Beslut om prismottagare kommer att fattas av Geologiska Föreningens styrelse senast i samband med styrelsemöte i februari 2004. Minst fem ledamöter måste bifalla föreslagen kandidat. Pristagare meddelas snarast efter beslutet, varefter pressmeddelande utsänds. Priset utdelas vid föreningens årsmöte i maj 2004. Årsmötet, som äger rum i Lund i maj 2004 kommer av denna anledning att ha ett kvartärgeologiskt tema.

Geologiska Föreningens styrelse

Geologiska Föreningens pris för bästa kvartärgeologiska manuskript insänt till GFF 2004–2005

Geologiska Föreningens tidskrift *GFF*, grundad 1872, fyller en viktig uppgift genom att publicera artiklar av hög kvalitet om i första hand norra Europas regionalgeologi. Tidskriften har en stor ämnesmässig bredd, men för närvarande viss slagsida mot berggrundsgeologi och historisk geologi. Med ett pris för bästa kvartärgeologiska manuskript vill Geologiska Föreningen stimulera kvartärgeologer att publicera i *GFF*.

Prissumman 10 000 SEK tilldelas förste författaren av bästa kvartärgeologiska manuskript som inkommit till *GFF*s redaktion mellan den 1/1 2004 och 31/12 2005, och som publiceras i *GFF*. Pristagare meddelas vid föreningens årsmöte 2006. Geologiska Föreningens styrelse utser pristagare efter hörande med kvartärgeologisk expertis. Priset kan ej ges till styrelseledamot i Geologiska Föreningen.

Geologiska Föreningens styrelse

Sensationell upptäckt i svensk meteorit

Forskare vid Naturhistoriska riksmuseet och Stockholms universitet har upptäckt att det extremt sällsynta mineralet stishovit förekommer i en järnmeteorit från Norrbotten. Meteoriten tillhör den grupp av meteoriter som är känd från tidigare fynd i Pajala kommun och som går under namnet Muonionalusta.

Stishovit består, precis som det betydligt vanligare mineralet kvarts, av ren kiseldioxid, SiO_2 . Det bildas endast vid oerhört höga tryck (mer än 10 GPa = 100 kbar), och tidigare fynd anses vara resultat av chockomvandling av kvartsförande bergarter i samband med katastrofala meteoritnedslag på jorden, som också givit upphov till stora kraterbildningar.

Stishoviten i järnmeteoriten förekommer som tillplattade korn av några millimeters storlek. Den ursprungliga meteoriten före nedslaget antas ha varit ganska liten, så i detta fall är det inte troligt att stishoviten bildats vid kollisionen med jorden. Forskarna tror istället att en gigantisk kosmisk katastrof inträffade för nära 400 miljoner år sedan, då två asteroider krockade med varandra och bildade många mindre fragment, varav några så småningom har hamnat på vår planet.

Resultaten av undersökningen presenterades i novembernumret av den ansedda tidskriften *Meteoritics and Planetary Science*.

Källa: Naturhistoriska riksmuseet

Banverket fortsätter borra i Hallandsåsen

Båstad kommer att ge klartecken till Banverkets begäran om en ny arbetsplats på åsen. Från den nya arbetsplatsen ska tunnelbyggarna borra minst 800 hål ner i åsen för att förstärka och frysa berget. Borrplatsen ligger mitt i ett naturreservat, vilket gör frågan inte helt okontroversiell. Grundvattnet kan komma att påverkas av de 4 000 kubikmeter cement och tio mil järnrör i åsen, som ska borraras ned 1 700 meter ovanför kommunens vattentäkt. Även kylvätskan som sprutas in i berget kan påverka vattenkvaliteten.

Källa: Hans Dahlquist, Ny Teknik, 2003-12-10.

Gruv- och prospekteringsnytt

Svartliden Guld AB har fått Miljödomstolens tillstånd att bryta guldfyndigheten i Svartliden i gränstrakten mellan Lycksele och Storumans kommuner. Naturvårdsverket ville stoppa projektet eftersom de ansåg att det fanns en risk att dammen för anrikningssanden skulle brista, en risk som Miljödomstolen bedömde som osannolik.

Boliden ser ut att kunna fortsätta brytningen i Kristineberg ett bra tag framöver. Sedan fyndet av en rik zink-silvermalm på 900–1000 meters djup har ytterligare en rik koppar-guld-zinkmalm hittats i samma område.

Källa: SGU, Exploration Newsletter, November 2003 och Svenska Dagbladet.

“Norrbottens Hawaii”

– en vandring i Kebnekaises vulkaniska berggrund



Figur 1. Kebnekaise-massivet från Tarfaladalen. Isfallsglaciären och Norra Klippberget dominerar vyn. Tarafala vetenskapliga station skymtar till höger och i bakgrunden till vänster reser sig själva Kebnekaise.

När man vandrar kring Kebnekaise ser man – i vackert väder – de enorma fjällen torna upp sig som svarta eller mörkt grå pyramider, majestätiska och kanske lite hotfulla på samma gång. Berggrunden skiftar i olika nyanser av grått, stundom nästan svart, med invävda rödbruna slingor, ofta i invecklade och svårtydda mönster. Just här är berggrunden ett ovanligt märkbart inslag i naturen och det är uppenbart att de högsta fjällen också skiljer ut sig genom att ha en speciell bergartssammansättning.

AV OLAF SVENNINGSSEN

Vad består Kebnekaise, landets högsta berg av? Hur har den här berggrunden, fjällens kärna, bildats?

Om man lyckas tyda de komplicerade mönstren i berggrunden framträder en spännande historia. Kebnekaises berggrund har sitt ursprung i en jättelik basaltisk vulkan, eller kanske ett komplex av vulkaner, som låg väster om Lofoten när vulkanismen var aktiv. De numera slumrande bergen har en lång och dramatisk historia och för att kunna nysta upp den, måste man börja med att bekanta sig med:

Fjällkedjans långa geologiska liv

Den skandinaviska fjällkedjan har en längre historia än många andra bergskedjor på vår jord och kan med fog sägas vara en pigg åldring i de här sammanhangen. Till exempel är fjällkedjans och Himalayas respektive bildningar i många avseenden lika varandra, men våra fjäll är nästan tio gånger äldre än sin yngre motsvarighet. Himalaya bildades när Indien kolliderade med Asien för ca. 55 miljoner år sedan, medan motsvarande kollision för fjällkedjans del skedde mellan kontinenterna Baltica (omfattande Skandinavien och det

baltiska området) och Laurentia (Grönland och Nordamerika) under silurtiden, vilken inföll för ca. 400 till 425 miljoner år sedan. På samma sätt som Indien pressades och alltjämt pressas in under Asien, trycktes det som idag är Norge in under nuvarande Grönlands östkust. Mellan kontinentplattorna bildades bergskedjor genom att det som hamnade "i skarven" pressades ihop och upp. Processen kallas "orogenes", vilket översatt från grekiskan betyder just "bergbildning"!

Det hav som en gång fanns mellan kontinenterna Baltica och Laurentia kallas Iapetushavet och precis som

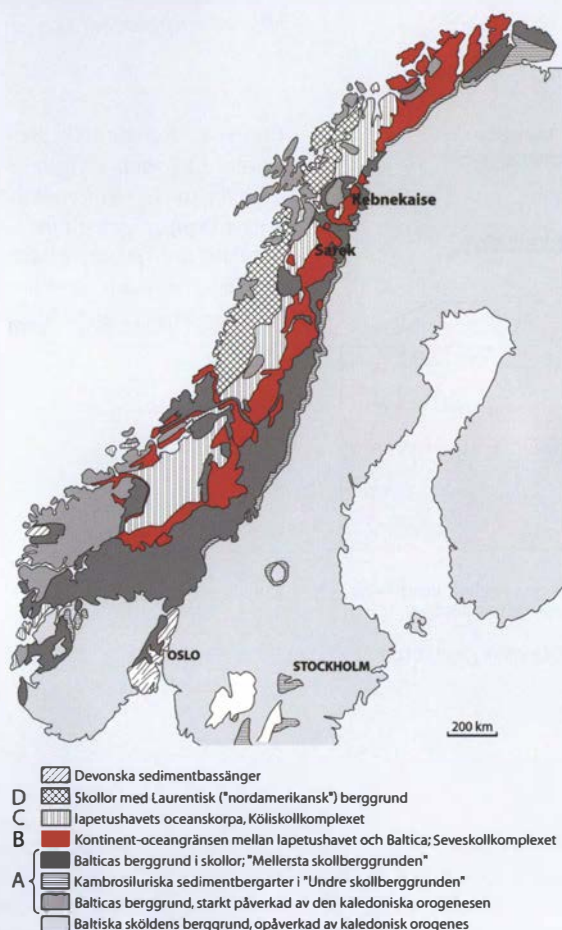
i dagens Atlantiska ocean fanns det inte bara oceanbotten i det, utan också bl.a. vulkaniska ögrupper och långa kuster med tillhörande shelfar (bild 3). Mycket av detta förstördes i kollisionen, men delar hyvlades av och släpades eller knuffades som stora skivor mellan kontinenterna, alltså in över Baltica (se bild 4). Dessa stora berggrundsskivor kallas för skollor och sådana dominerar fjällkedjans berggrund.

Den bergskedja som bildades under silurtiden, nöttes hastigt (geologiskt sett; i det här fallet över ett par tiotal miljoner år) ned av vind och vatten. Den berggrund som man idag ser i fjällväggarna låg kanske 3-5 km under markytan när "ur-fjällkedjan", eller Kaledoniderna, var som mäktigast. Namnet "Kaledoniderna" återspeglar att fjällkedjan ursprungligen hängde ihop med bergen i norra Skottland ("Kaledonien") och Irland. Dessutom fortsatte bergskedjan på det som idag är östra Grönland och hela vägen ned genom östra Nordamerika, där Appalacherna utgör Kaledonidernas södra fortsättning.

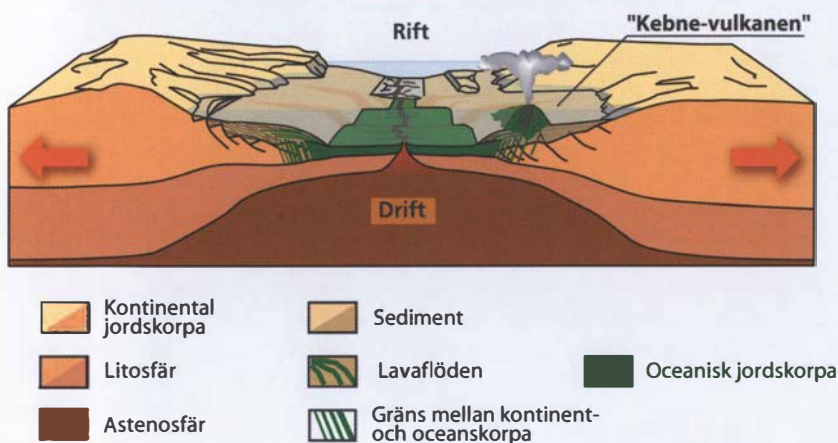
De berg, i bemärkelsen landformer, som utgör dagens fjällkedja är därför bara rester av den ursprungliga bergskedjan. Det mesta av formerna har mejslats fram under de senaste årmiljonerna, framför allt av is. Tack vare bergarternas olika hårdhet och seghet återspeglar landformerna ändå ganska troget berggrundens variation. Alla de riktigt höga fjällen—exv. Sylarna, Sarek, Kebnekaise—är uppbyggda av hårda, mörka vulkaniska och/eller metamorfa (omvandlade) bergarter i de så kallade Seve-skollorna. Vulkanismen som bildade dessa bergarter inträffade för ca. 610 miljoner år sedan, alltså långt innan fjällkedjan bildades. Det var när kontinenten Baltica sprack upp och nya oceanbassänger bildades, som manteln smälte upp och magman vandrade upp i systemet av sprickor och förkastningar—riften (se bild 3). De svenska högfjällens berggrund satt ursprungligen i övergången mellan kontinent- och oceanskorpa, flera hundra kilometer västerut, utanför den nuvarande norska kusten.

Kebnekaise

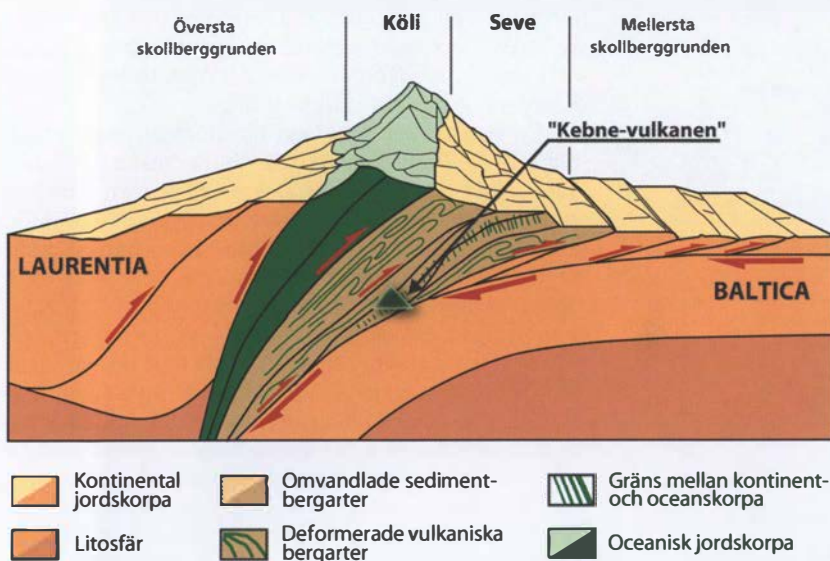
När man vandrar från Nikkaluokta upp mot Kebnekaise, går man nere i etthål genom skollorna—ett så kallat "tektoniskt fönster"—och marken under fötterna är inte egentlig fjällberggrund, eftersom den inte ingår i några skollor. När man styr upp mot Tarfaladalen kommer man in i skollberggrunden ungefär vid den hydrologiska stationen (bild 5). De olika skollorna sköts ihop så, att ju högre upp i skollpacken man kommer, desto längre har skollorna transporterats (jämför med bilderna 3 och 4). Medan urberget ligger där det uppkom, bildades de mörka bergarterna i Kebnekaises högfjäll så mycket som 600 till 700 km längre västerut.



Figur 2. Den skandinaviska fjällkedjans skollberggrund. Skollorna kan delas in fyra huvudgrupper beroende på deras ursprungsmiljöer (jämför med bild 3): A – skollor som har sitt ursprung i den Baltiska skölden; B – Skollor som bildades i övergången mellan kontinent och ocean; C – oceanisk jordskorpa från Iapetushavet och D – skollor vars berggrund ursprungligen hörde till Laurentia (Nordamerika/Grönland).



Figur 3. För 600 miljoner år sedan bildades många av de bergarter som bygger upp fjällkedjan när superkontinenten Rodinia sprack upp och nya oceanbassänger bildades. Bilden visar en ny oceanbassäng som håller på att öppnas; riften utvecklas till drift, eller havsbotten-spridning. Det vulkan-komplex som bygger upp Kebnekaise bildades som en följd av riftprocesserna.



Figur 4. Kaledonisk orogenes. Oceanen i figur 3 hade för ca. 425 miljoner år sedan krympt och Kaledoniderna höll på att bildas genom kollision mellan kontinenterna Laurentia och Baltica.

De understa skollorna, de som man först stöter på under vandringen upp Tarfaladalen, består mestadels av amfiboliter, glimmerskiffrar och gnejser; bergarter som manglades sönder under skolltransporten. De är ofta så misshandlade att det är mycket svårt att avgöra vad de ursprungligen varit, men ibland finner man linser av välbevarade graniter, gnejser eller olika sedimentbergarter. Dessa har en gång suttit i den baltiska kontinentens kant ut mot Lapetushavet (jämför bild 3). Utrymmet tillåter inte en närmare beskrivning av dessa bergarter, utan vi fortsätter uppåt mot Tarfala.

Strax norr om den vetenskapliga stationen passerar man den undre gränsen för den skolla som är kärnan i alla de vassa topparna runtomkring. Själva skollan är

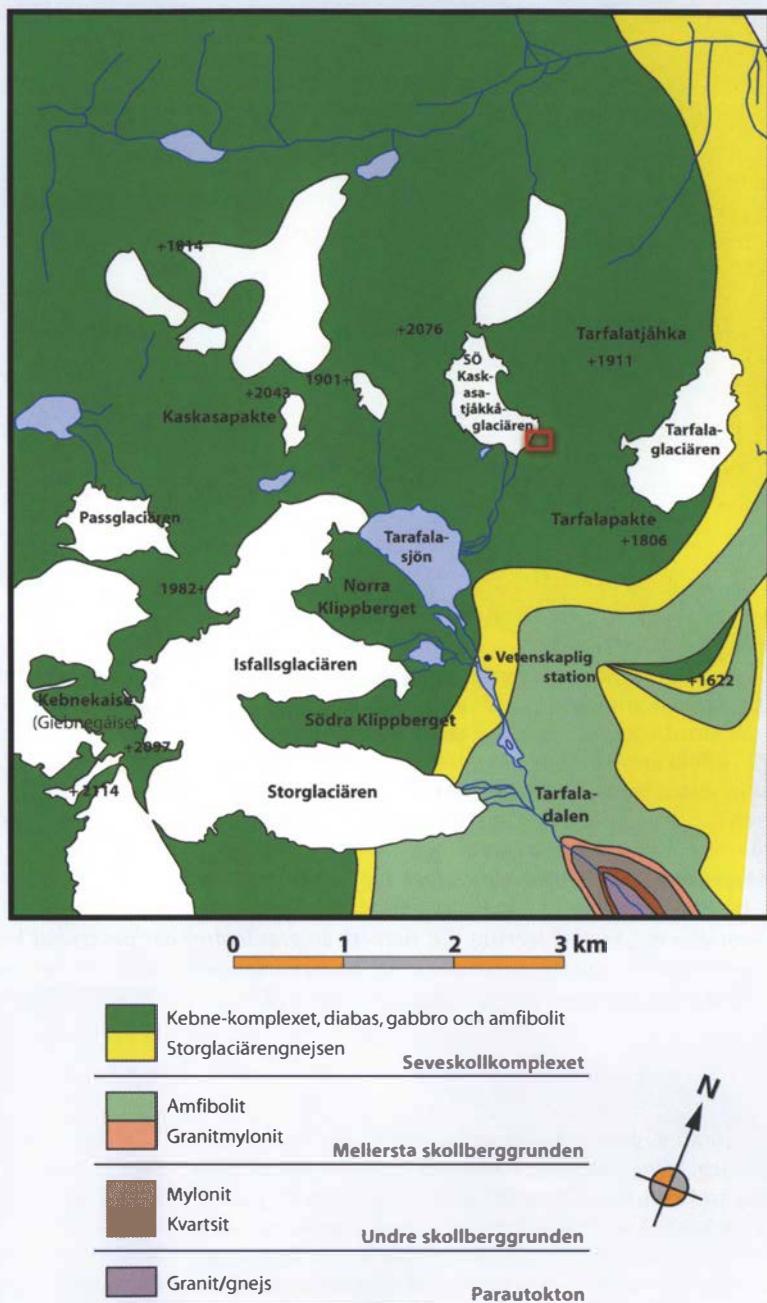
märkligt nog inte officiellt namngiven, men kallas i den här texten för Kebne-skollan, för enkelhetens skull. Kebne-skollan kan vid en snabb anblick framstå som bokstavligt talat grå och måttligt spännande, men den gömmer på en av fjällens mest spännande "hemligheter".

Kebne-skollan

De understa delarna av Kebne-skollan manglades ordentligt under skolltransporten och består av svartglänsande, strimmig granatamfibolit. I den stora hällen framför Isfallsglaciären (syns i bild 1) kan man studera de invecklade veck och andra strukturer som bildades

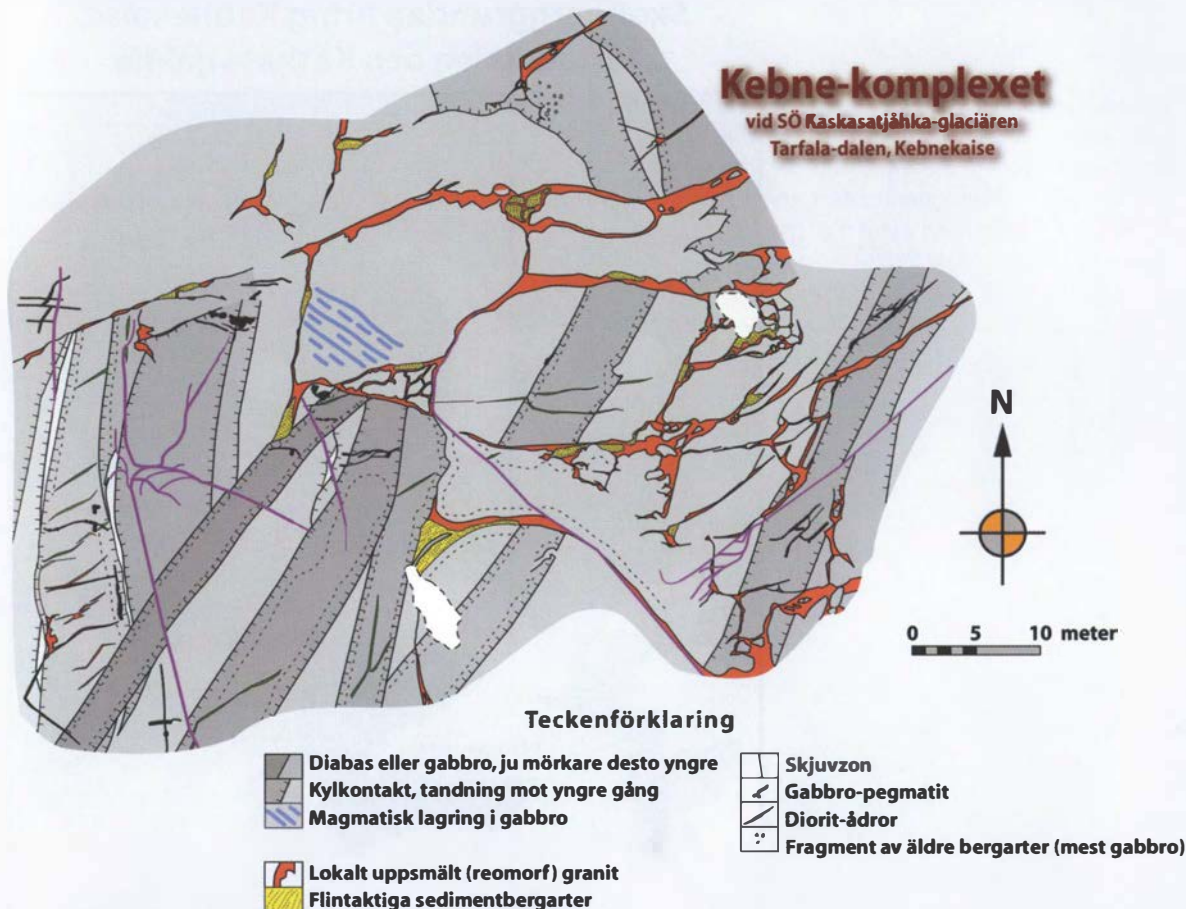
Skollberggrunden kring Kebnekaise, Tarfaladalen och Kaskasatjåkkå

Figur 5. Kebnekaises skollberggrund. Den bästa lokalen att studera Kebnekomplexet är i hällarna runt SÖ Kaskasatjåhkaglaciären. Läget för hällen i detaljskissen i bild 6 är markerad med en röd rektangel.



när skollans sula gled fram många kilometer under markytan under kontinentkollisionen. Amfiboliten innehåller ofta små, vackert röda granater. Om man förflyttar sig längre in i skollan, kommer amfiboliten gradvis att övergå i andra, gråare och till synes kanske ointressanta bergarter. Skenet bedrar dock.

Ett lämpligt ställe att studera Kebne-skollans geologi är runt Sydöstra Kaskasatjåhkaglaciären (bild 5 och 6). Den enhetligt grå, massiva bergarten som helt dominerar är antingen diabas eller gabbro. Skillnaden mellan de två bergarterna är hårfin: diabas bildas när lava stelnar i matarkanalerna till vulkaner, medan om



Figur 6. Kebne-komplexets geologi. De flesta berggrundsblottningar i högfjällen i Kebnekaise ser ut på ett liknande sätt, med svärmar av diabasgångar, som slår igenom diabasgångar, som i sin tur har trängt in en gabbro, som lokalt kan visa magmatisk lagring. Ett nätverk av granitådror har penetrerat hela komplexet och syns ofta på långt håll som roströdbruna färgvariationer. All denna variation är subtil och man måste träna sitt öga innan man lär sig att "läsa" berggrunden; jämför med bild 7, 8 och 11.

magman stelnar nere i magmakammaren, bildar den gabbro. Mineralkornen i diabas har ofta en storlek som är mindre än en millimeter, men övergången till gabbro (vars korn skall vara större än 1 mm) är glidande. Om kornstorleken hamnar runt 1 mm kan det var besvärligt, ja omöjligt, att skilja bergarterna åt utan att se dem i sitt sammanhang. Både gabbro och diabasen i Kebne-komplexet har enligt Murphys lag kornstorlekar runt millimetern och det kan därför vara utomordentligt svårt att skilja de två åt.

Diabas och gabbro bygger upp ca. 98–99% av fjälltopparna. I de hållar som slipats fram av glaciärerna kan man finna mängder av intressanta ledtrådar, som berättar hur berggrunden bildats (bild 6). Tunna, raka eller lite krokigt hackiga linjer löper ofta rakt genom

hällarna och om berget på ena sidan linjen är så finkornigt att man inte kan urskilja de enstaka mineralkornen, är det s.k. kylkontakter. Sådana bildas när magma tränger in i en spricka och hastigt kyls av det kallare sidoberget. Kristallerna närmast själva kontaktytan hinner inte växa till, utan blir väldigt små, men ju längre in i matarkanalen—gången—man kommer, destostörre blir kornen. Själva kylkontakterna är mellan några få och kanske tio centimeter breda. Kylkontakterna gör det möjligt att bestämma vilken gång som är yngst, vilken som är äldst och dessutom att med hjälp hur gångarna skär över varandra, ordna dem efter inbördes relativ ålder. Man kan t.ex. identifiera 7 olika "gång-generationer" i hållen i bild 6—räkna efter själv!

Figur 7. Magmatisk lagring i Kebne-komplexets gabbro. Lagringen syns som diffusa linjer som går diagonalt över bilden. Hammaren sträcker sig över två "lager".

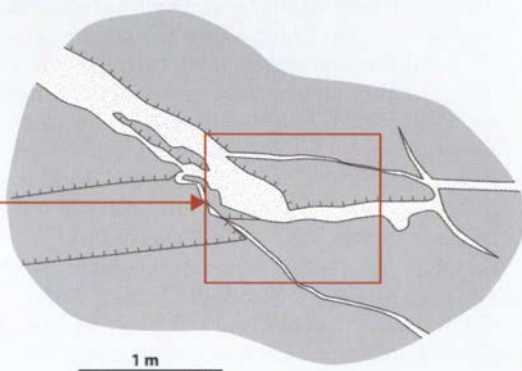


Diabasgångar är inte ovanliga, men det som gör Kebnekaise ovanligt är dels att det finns så många, dels att de har trängt in i varandra, den ena efter den andra (bild 6). Normalt utgör diabasgångar mindre än en procent av berggrunden, inte nästan hundra procent.

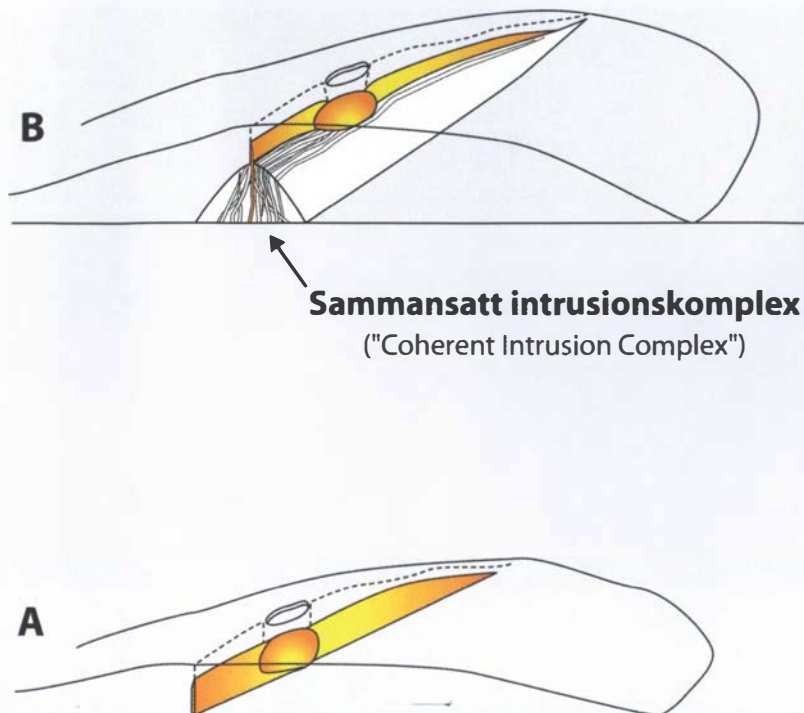
Om man inte finner kylkontakter över ett större område, men bergarten fortfarande är grå och massiv, har man antagligen funnit gabbro, som lokalt dominerar Kebne-skollan. I gabbro kan man hitta diffusa ränder i decimeter-meter-skala. Detta är magmatisk lagring, ett fenomen som typiskt bildas i

magmakammare, antingen genom gravitationens inverkan på mineralkorn av olika densitet, genom rörelser i magman eller en kombination av dessa.

De röda eller rostbruna färgskiftningar, som ofta bildar ett nätverk av ådror genom bergssidorna, kan vara mycket iögonfallande och är speciella för Kebnekaise. Den första basaltiska magman måste ju ha trängt in i andra bergarter än diabas eller gabbro. Detta ursprungliga sidoberg finns numera bara kvar som enstaka fragment av sedimentbergarter (markerade med gul färg i bild 6), mest sandstenar, men också lite



Figur 8. Kebne-komplexets egendomliga granitådring. Här ser diabasens kylkontakt (tandade linjer) ut att ha kylt mot graniten (prickmönster i teckningen), samtidigt som graniten uppenbart har trängt in i diabasen efter att denna stelnat. Denna skenbara självmotsägelse är tillräcklig för att driva en fältgeolog till vansinne och förklaringen beskrivs i texten. Fotot visar hur geologin bakom de uppsnyggade teckningarna verkligen ser ut. Ta dig gärna lite tid att se om du kan finna kylkontaktarna i fotot också!



Figur 9. En modell av hur "coherent intrusion complexes" bildas inne i stora sköldvulkaner. I första utbrottet sprider sig magman sidledes och uppåt, ut i sprickor och förkastningar, från magmakammaren. Den magma som inte kommer ut på ytan i utbrottet, utan stelnar nere i matarkanalerna, bildar diabasgångar.

Magman i magmakammaren stelnar också, från kanterna och inåt, men mycket saktare. Vid nästa utbrott måste magman alltså leta sig fram genom gabbro som precis bildats av samma smälta som magman härrör från. Det är lätt att förstå att det inte behövs så många utbrott innan en ofantligt invecklad struktur bildas. Alla tecken tyder på att Kebne-komplexet bildades i den här sortens miljö.

marmor. Orsakerna till att det finns så lite kvar av sidoberget är dels att volymen av diabas och gabbro var enorm, dels att värmen från den basaltiska magman var så stor att större delen av sandstenarna smälte och bildade en granitisk magma. Denna granitsmälta hade ingenstans att ta vägen, vilket fick märkliga resultat:

Basaltisk magma stelnar vid ca. 1000–1200°C, medan granitsmältor stelnar vid mycket lägre temperaturer, runt 700–900°C. När den basaltiska magman kristalliserade och bildade bergarterna diabas och gabbro, förblev granitsmältan flytande och kunde tränga in i diabasen/gabbro och bilda ett nätverk av ådror. Detta innebär förstås att det under avsvalningsprocessen måste ha funnits två magmor tillsammans, som av allt att döma oftast inte blandade sig med varandra. Låter det invecklat? Det är det också; titta på teckningen och fotot av ett jämförelsevis enkelt exempel i bild 8.

Den yngsta bergarten i Kebne-komplexet är en vit magmatisk bergart, som kallas för "Tarfala-graniten", trots att den egentligen inte är en granit. Den är yngre än diabasen och bildar små, mycket utsträckta massiv, som syns som vitaktiga fläckar i tex. högt upp i Norra Klippberget. Dess roll i Kebne-komplexets bildning är osäker.

Aloha Kebne!

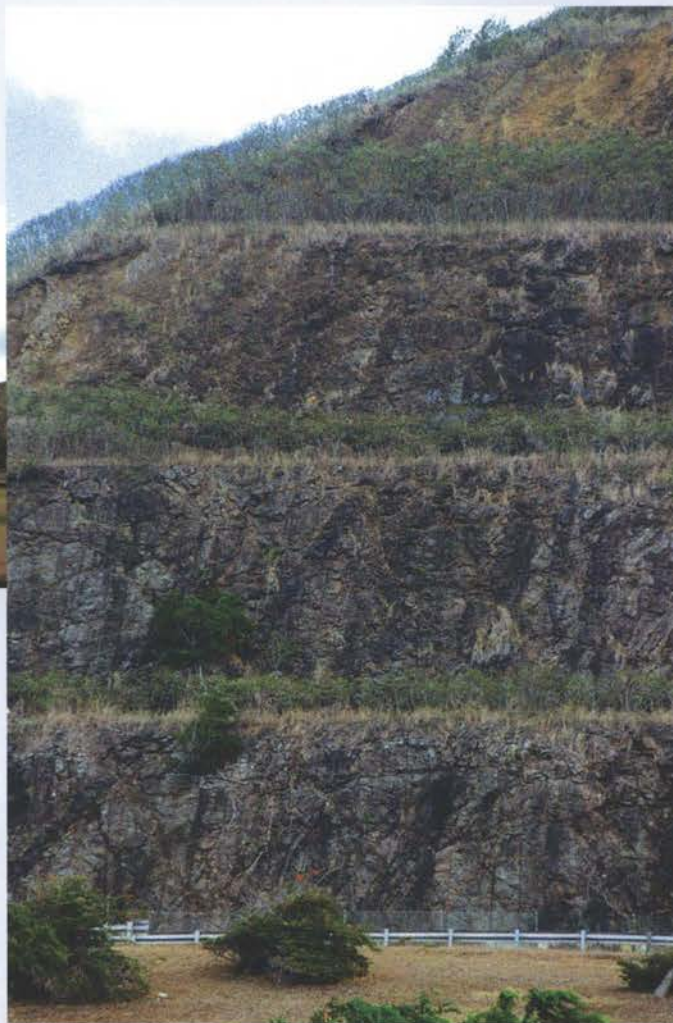
Den här specifika geologin—svärmar av diabasgångar, som trängt igenom gabbro och som ibland tar upp mer än hälften av bergvolymen—är typisk för stora basaltiska vulkaner och kallas för "coherent intrusion complexes", vilket fritt översatt blir "sammansatta intrusionskomplex". De utgör kärnan i stora sköld-



Bild 10. Utsikt över resterna av Koolau-vulkanen på norra Oahu, Hawaii. De uppstickande kullarna i bildens mitt är intrusionskomplexet.



Figur 11. Vägskärning i Koolau-vulkanens sammansatta intrusionskomplex. Formen på kullen har ingenting med vulkanens ursprungliga form att göra, utan är resultatet av erosionsprocesser. Svärmen av vulkaniska matarkanaler—diabasgångar—som här klipper igenom gabbro bildad när magma-kammaren stelnat, framträder tydligt, i synnerhet i närbilden till höger. Det bruna skiktet strax under markytan är vittring. Jämför de här fotografierna med skissen av Kebne-komplexet i bild 6.



vulkaner som t.ex. Etna på Sicilien, Teide på Teneriffa eller Mauna Kea och Mauna Loa på Hawaii. Intrusionskomplexen är naturligtvis inte blottlagda i aktiva vulkaner, eftersom de bildas i magmakamrarnas övre delar (se bild 9).

På norra delen av ön Oahu i Hawaiiögruppen finns en slöknad och nederoderad vulkan, Koolau-vulkanen, där det centrala intrusionskomplexet finns blottat och tillgängligt för studier. Fotona i bild 10 och 11 visar intrusionskomplexet i Koolau-vulkanen i en vägskärning, där svärmen av diabasgångar som tränger genom gabbro framträder tydligt. Jämför denna bild med kartan över hällen vid SÖ Kaskasjähkaglaciären; de är stort sett identiska. Skillnaderna är fragmenten av sedimentbergarter och ådrorna av granit som finns i Kebne-komplexet. Dessa berättar att Kebne-vulkanen

existerade i åtminstone delvis kontinental miljö, inte helt oceanisk, som Koolau och hela Hawaii-vulkankedjan.

En grå, massiv bergart behöver alltså inte vara tråkig. I det här fallet berättar den att Sveriges högsta berg bildades som kärnan i en gigantisk vulkan, som dessutom ursprungligen låg lika långt västerut, som Stockholm ligger från till exempel Lund och det är långt.

Dr Olaf Svenningsen arbetar som forskningssekreterare vid Uppsala universitet, han var tidigare Associate Research Scientist på Lamont-Doherty Earth Observatory vid Columbia University; olafms@mac.com

Att leva med en vulkan som granne: 30 år sedan utbrottet på Heimaey



Byn Vestmannaeyjar med eruptionspelare i bakgrunden. Eruptionspelaren nådde 8–9 km upp i atmosfären. Kyrkogården som ses i förgrunden begravdes under mer än en meter tjockt asktäckte under utbrottets gång. Foto Mats Wibe Lund®.

AV HANNES MATTSSON & RUNE S. SELBEKK

Islänningarna har lärt sig att leva i närheten av vulkaner. Invånarna på Heimaey (Hemön) söder om Island trodde dock att de var säkra på sin lilla ö. Deras vulkan hade slocknat för många tusen år sedan. Då, för trettio år sedan, vaknade vulkanen helt oväntat till liv igen. Här berättas om det överraskande utbrottet och de insatser som gjordes för att rädda människor och byn.

En sen januarinatt 1973 förändrades livet för många invånare på Heimaey, då ett vulkanutbrott började strax utanför byn. Heimaey var vid tidpunkten för utbrottet en av de största bosättningarna längs den isländska sydkusten (med ungefär 5000 invånare), samt en av de absolut viktigaste fiskebyarna i hela landet. Trots att vulkanen Helgafell dominerar landskapet på ön var det inte många som trodde att ett utbrott skulle inträffa igen, ön hade ju trots allt varit bosatt i över 1000 år utan att något inträffat (senaste utbrottet var Helgafell 5900 BP [Before Present]). Det mesta av informationen som ligger till grund för denna sammanfattning är hämtat från Sigurdsson (1974).

Utbrottet börjar

Klockan halv tio på morgonen den 22:a januari ringde en bonde i Skammadalshóli till Islands universitet och rapporterade att seismometern han hade i uppgift att avläsa hade registrerat omkring 400 svaga skalv föregående kväll. Skalven var belägna omkring 60–70 km från Skammadalshóli, men i vilken riktning kunde inte avläsas. Samma kväll kom dock en rapport från seismografstationen i Laugarvatn. Denna station hade registrerat skalven 90 km från seismometern. Med hjälp av de två stationerna kunde man nu lokalisera skalvens epicentrum till antingen Landmannalaugar eller Vestmannaeyjar (punkterna där cirklarna korsar varandra i figur 1). Eftersom jordskalv är vanligare i området runt Landmannalaugar trodde man att skalven epicentrum var belägna där. Detta skulle i efterhand visa sig vara fel då ett vulkanutbrott började på Heimaey klockan 01.55 den 23 januari 1973. På kvällen var vädret lugnt men sikten dålig. En av öns bofasta såg vad denna

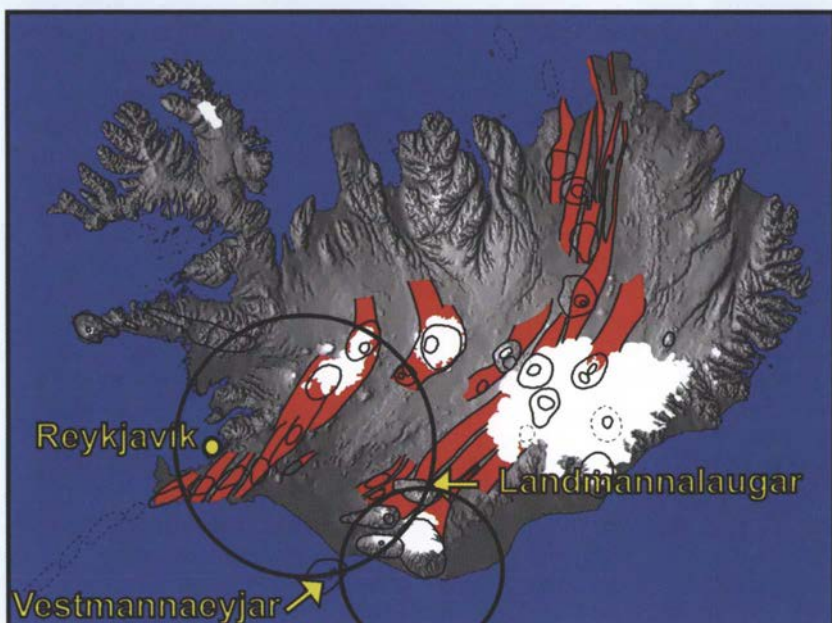
uppfattade som en brand i östra sidan av byn, och ringde genast till brandkåren. Det stod relativt snabbt klart att brandkåren inte skulle kunna släcka denna eld. Sirener ljöd i byn och evakueringen av invånarna inleddes omedelbart. Utbrottet började längs en NNE–SSW spricka och snart bildades ett draperi av lavafontäner som skar genom tvärs igenom den östra delen av ön (figur 2). Lavafontänerna slungade lava så högt som 150 m längs sprickans hela längd (1,6 km), och beläget bara ett par hundra meter ifrån byn var detta en skräckinjagande syn för invånarna.

Tursamt nog för befolkningen låg nästan hela fiskeflottan i hamn denna natt eftersom det blåst storm dagen innan, vilket innebar att byn inom loppet av ett dygn kunde evakueras utan förlust av människoliv. Vinden var för tillfället västlig vilket förde den vulkaniska askan ut över havet, och inte in mot byn och flygplatsen, vilket gjorde att flygplan kunde både lyfta och landa. Vindsituationen ändrades dock på utbrottets tredje dag och askan började falla över Vestmannaeyjar. Eruptionspelaren nådde vid denna tid 8–9 kilometer upp i atmosfären (vinjettbilden). Kvar på Heimaey blev 200–300 nyckelpersoner som arbetade med att försöka rädda sina egendomar, följa utvecklingen av utbrottet, och senare för att bygga barriärer mot lavaströmmen, skotta vulkanisk aska från hustak så att de inte kollapsade, samt pumpa havsvatten på lavafronten vid hamnen.

Huvudfasen

Den vulkaniska aktiviteten längs sprickan ändrades relativt snabbt, inom ett par veckor var all aktivitet koncentrerad till mitten av sprickan där den nya

Figur 1. Karta över Island som visar Vestmannaeyjars läge. Cirklarna visar de två jordskalvradierna som bestämdes i Laugarvatn (90 km) och Skammadalshóli (60 km). Skalven kunde bestämmas till Landmannalaugar eller Vestmannaeyjar med hjälp av de punkter där cirklarna skär varandra.





Figur 2. När utbrottet började var aktiviteten koncentrerad längs en 1,6 km lång spricka som delade Heimaey i två delar. Öarna i bakgrunden är rester av äldre eroderade vulkaner. Fiskebåt ger skala. Foto Mats Wibe Lund[©].

vulkanen Eldfell började byggas upp. En stor del av de tidiga lavaflödena var s.k. reomorfa, d.v.s. att de bildas genom att glödande tefrafragment svetsas samman och tvingas flyta iväg på grund av sin egen överlagrande tyngd. Inom tre veckor nådde Eldfell över 200 m.ö.h. och den öppning som tidigare existerat på den norra sidan av vulkanen täpptes tillfälligt igen då konen fortsatte växa. Detta tillfälliga stopp varade dock inte länge då de svaghetszoner som fanns i konen snabbt fylldes med gångar av lava och som i sin tur skapade ytterligare svaghetszoner. Den 20:e februari kollapsade så slutligen Eldfells norra flank och lavaströmmade rann norrut, i riktning mot byn. En stor del av flanken åkte iväg som ett intakt stycke, kallad "Flakkarinn" (svenska: *vandraren*). Eftersom Flakkarinn bestod mestadels av scoria var den också betydligt lättare än lavan som strömmade ut. Detta gjorde att Flakkarinn, trots sin relativt stora volym ($1,8 \cdot 10^6$ m³), kunde röra sig så snabbt som 30 m per dygn innan den slutligen strandade 1,5 km från kratern. Vid ungefär samma tid som Flakkarinn begav sig iväg på sin resa började också byn täckas av en gråaktig dimma av giftiga gaser (främst CO₂, CO och H₂S). Räddningsarbetare som fortfarande befann sig på ön började hitta döda djur (mestadels katter och råttor), men även fåglar som inte kunnat flyga

p.g.a. askfallet och sökt skydd i byns byggnader. De vulkaniska gaserna skulle också visa sig vara orsaken till det enda dödsfallet i samband med utbrottet. Räddningsarbetarna fann en död man i källaren till en offentlig byggnad. Mannen tillhörde inte den frivilliga insatsstyrkan på ön och borde inte ha befunnit sig där (varken på ön eller i den byggnad han återfanns i). Faran med vulkaniska gaser var välkänt på Island sedan Heklas utbrott 1947–1948 då man fann fåglar, får och hästar döda i svackor där de tunga vulkaniska gaserna ansamlades. Den tjockflytande lavaströmmen hotade att ödelägga stora delar av bebyggelsen och stänga igen den så viktiga fiskehamnen. Askan som föll över ön samlades ihop och användes med hjälp av bulldozers till att bygga barriärer mot lavan i ett försök att skydda byn, detta visade sig dock ha ingen eller i alla fall mycket liten effekt. Man provade även att gräva diken för att förhindra lavafrontens framryckning, detta också utan resultat. Många personer arbetade med att placera korrugerad plåt över fönster på byns hus, allt för att vulkaniska bomber inte skulle antända dem. Detta arbete räddade flertalet byggnader på Heimaey, men det fanns inget som kunde stoppa den tjockflytande lavaströmmen. Ett stort antal byggnader blev helt eller delvis begravnade av lavaflödet (figur 3). Ett annat

Figur 3. Hus som delvis begravts av lava från 1973 utbrottet samt ett hus (till höger) som tursamt klarade sig oskadat. Foto Heidi Soosalu.



fenomen som sällan skådas i luften är transporten av ljudvågor, detta observerades dock under Eldfell utbrottet. När en explosion inträffade i kratern kunde man se hur ljudvågorna färdades genom luften i de askfyllda eruptionspelarna, ungefär som man ser ringar på vattenytan när man kastar i en sten.

Ett försök att stoppa lavan

Försöken att stoppa lavaflödets framryckning och den möjliga blockeringen av hamnen var kritiskt för överlevandet av byn på Heimaey. Om inte försöken hade lyckats hade det troligtvis inneburit slutet för byn Vestmannaeyjar eftersom det då inte skulle finnas någon hamn längs hela Islands sydkust från Reykjavík i väster till Höfn i öster (en sträcka på närmare 50 mil). Till en början så fanns bara fyra kraftiga pumpar tillgängliga, och detta visade sig vara allt för lite för att stoppa lavafrontens framryckning. Det flyttades därför dit 43 pumpar med flyg från USA. Var och en av dessa med en kapacitet på 800–1000 liter/minut, vilket ger en total pumpningshastighet på över 700 liter/sekund. Totalt så sprutades det ungefär 6,2 miljoner kubikmeter havsvatten på lavafronten. Man lyckades på detta sätt stoppa lavaflödet innan det blockerade hamnen, vilket också var första gången människor har lyckats stoppa eller påverka en lavafront i någon större grad. Projektet lyckades så bra att liknande teknik har provats på flera andra ställen i världen efter detta. Man lyckades inte bara stoppa lavaflödet, utan resultatet blev även att Heimaey idag har en mer skyddad hamn än innan utbrottet. På senare år har hamnen blivit mer känd i samband med försöken att få Keiko, späckhuggaren från Rädda Willy-filmerna, att anpassa sig till ett liv i frihet.

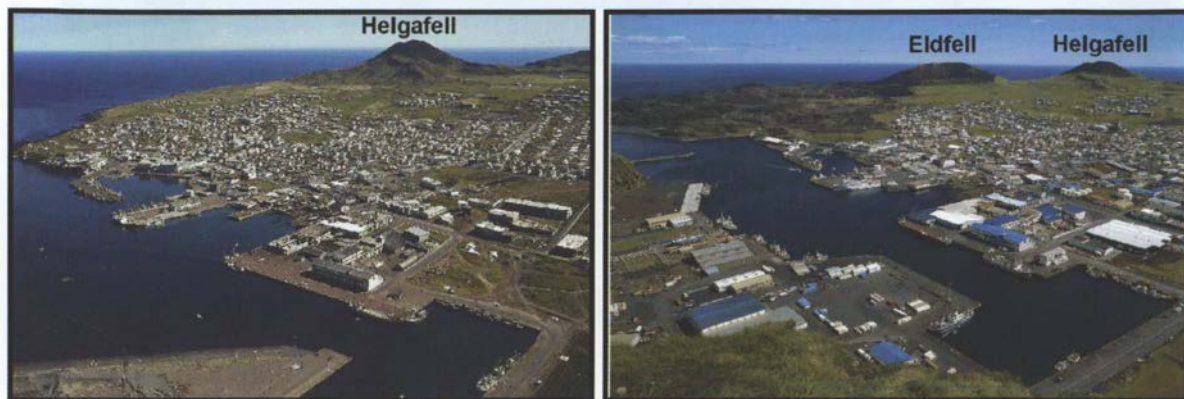
Utbrottet lider mot sitt slut

Den 26 juni deklarerades det att utbrottet var över. Under de fem månaderna som utbrottet pågick eruperade 0.2 km³ lava och området täckte 3.2 km² varav 2.2 km² var nytt land. Till detta kommer de 2.3 km³ vulkanisk aska som täckte ön. Heimaey hade också fått en ny 223 m.ö.h. vulkan, Eldfell. De materiella skadorna efter utbrottet var stora. Lavan och den vulkaniska askan hade förstört 417 hus och viktiga delar av infrastrukturen på ön (figur 4).

Ett stort kors restes som ett monument i kratern för att minnas utbrottet och påverkan på människorna. Utbrottet har även lämnat ett ytterligare tradition bland invånarna på ön. Den 29 juni varje år firas traditionellt slutet på utbrottet med en festival där många av invånarna samlas för att dricka och prata. Om man befinner sig på Island under denna tid och har möjlighet ska man inte missa denna högtid.

Kunde utbrottet förutsägas?

Borde inte geologerna kunnat förutse vad som inträffade på Heimaey? Geologer har länge förstått att området runt Vestmannaeyjar haft en relativt hög vulkanisk aktivitet, men eftersom det var så länge sedan det föregående utbrottet på Heimaey (nästan 6000 år) så har inte detta område prioriterats för maximal bevakning. Forskare har även idag stora problem med att kunna förutse när utbrott kommer att ske, detta trots att övervakningsutrustning blir bättre och bättre. Problemet är att vulkaner uppför sig olika, och vad som kan tyda på ett nära förutstående utbrott i en vulkan behöver inte betyda något om samma fenomen observeras vid en annan vulkan. Även om man tror sig ha förstått hur ett vulkaniskt system fungerar, så är det



Figur 4. Fotografier som visar Heimaey innan utbrottet (till vänster) samt efter utbrottet (till höger). Lägg märke till de många hus som begraves av lavaflödena. Foto Mats Wibe Lund®.

ingen garanti för att det ska inträffa på samma sätt i framtiden. En del vulkaner har ofta utbrott, medan andra kan ha lugna perioder på flera tusen år. Man trodde tidigare att Hekla hade utbrott ungefär vart 100 år, men plötsligt ändrades periodiciteten till omkring 10 år, något som ingen hade en möjlighet att förutsäga. På Heimaey har det varit 9 vulkanutbrott under perioden 10000–6000 år sedan, vilket följdes av nästan 6000 år utan något utbrott till en sen januarinatt 1973 då Heimaey-vulkanen ånyo vaknade upp. Surtsey och ett par andra submarina utbrott skulle kunna tolkas som varningar om att det även skulle kunna inträffa på Heimaey.

Geologer och geofysiker jobbar med metoder för att förutsäga vulkanutbrott, men även idag så är det långt ifrån enkelt och begränsar sig ofta till att konstatera att det kan vara nära förestående. Ibland kommer utbrotten mycket tidigare eller senare än vad som förutsagts, men oftast så uteblir utbrotten helt och hållet.

Inte bara nackdelar

De stora materiella förlusterna samt förlusten av ett människoliv i samband med utbrottet har märkt befolkningen för lång tid framöver, men utbrottet medförde inte bara nackdelar. Människor började snabbt återvända till Heimaey efter utbrottets slut. Idag är Heimaey igen en blomstrande by som har lika många invånare nu som innan utbrottet trots hotet om att fler vulkanutbrott med all säkerhet kommer att inträffa i framtiden. Efter utbrottet så genomfördes en stor nationell insats för återuppbyggnaden av samhället så att livsstilen snabbt kunde återgå till det normala. Hamnen blev bättre än den var innan utbrottet och turismen ökade. Flygplatsen fick tillgång till byggnadsmaterial, så att en andra landningsbana kunde byggas, alla ville se den nya vulkanen. Byn kunde också utnyttja

den nya geotermala energin till uppvärmning av byggnader, detta räckte dock bara en kort period efter utbrottet.

Utbrottet har också medfört ökat intresse för Heimaey bland geologer att förstå bildningen av ön, som också leder till bättre kunskap om vad man kan förvänta sig att inträffa på Heimaey i framtiden.

Framtiden

I dagens läge så finns det GPS-stationer, och en seismometer som mäter förändringar i jordskorpan och jordskalv. Ännu har det inte visats några tecken på att Heimaey håller på att vakna upp igen, men Vestmannaeyjar är ett ungt vulkaniskt system i vilken Heimaey troligen är det tidiga stadiet i utvecklingen av en centralvulkan liknande man finner på fastlandet (Hekla, Katla, o.s.v.). Nya utbrott kommer med all säkerhet att inträffa också i framtiden, och ett troligt scenario är bildningen av en halvö mellan Heimaey och resten av Island, men detta kommer att ta tusentals år.

Litteratur

Sigurdsson O. 1974. *Jarðeldar á Heimaey 1973*. Túli 4, 5–26.

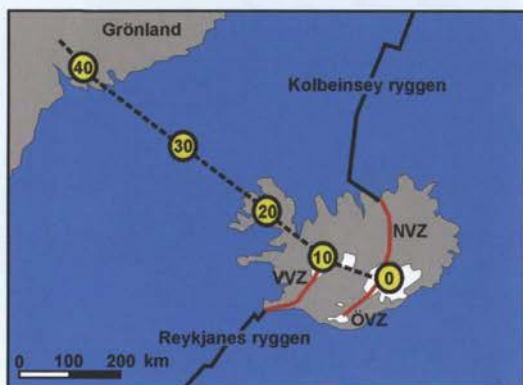
Hannes Mattsson är fil lic. och doktorand på Institutionen för geologi och geokemi vid Stockholms universitet, samt tidigare stipendiat på Nordiskt vulkanologiskt institut (Nordvulk); hannes.mattsson@geo.su.se.

Rune S. Selbekk är fil dr och postdoktorstipendiat vid Albert-Ludwigsuniversitetet i Freiburg, samt även han tidigare Nordvulkstipendiat.

Östra Vulkaniska Zonen – Islands propagerande rift

AV HANNES MATTSSON & ERIK STURKELL

Island ligger på Mittatlantiska ryggen och landets västra och östra delar rör sig från varandra med en hastighet av omkring 2 cm/år. På norra Island sker denna rörelse i den norra vulkaniska zonen (från Vatnajökull till Tjörnes). På södra Island finns två aktiva spridningszoner, västra och östra vulkaniska zonen. Plattgränsen driver hela tiden i NNW-riktning jämfört med den stationära mantelplymen under Island vilket gör det möjligt för rifterna att "hoppa" efter mantelplymen och den högre magmaproduktionen som är associerad med densamma. För ungefär 8 miljoner år (Ma) sedan utgjorde Snæfellsnes en aktiv rift, men redan för 7 miljoner år sedan började de västra och norra riftzonerna att bildas, och för 4 miljoner år sedan hade all plattspridning koncentrerats till dessa zoner.



Mantelplymens ungefärliga läge vid 40, 30, 20, 10 miljoner år sedan (gula cirklar), samt i dagsläget (0).

Bildning av en ny rift

För ungefär 2 miljoner år sedan började en ny rift bildas och röra sig söderut från norra riftzonens sydspets. Spetsen av denna rift, östra vulkaniska zonen, rör sig mot sydost med ca 4-5 cm per år. Plattspridningen manifesteras på markytan som förkastningar och spricksvärmar som återfinns ned till området runt Torfajökull. Riften är från denna punkt kilformad genom jordskorpan med spetsen belägen under Vestmannaeyjar.

På Island är det inte så lätt att avgöra vad som är en aktiv vulkan och vad som är något annat. Därför har termen vulkaniskt system införts för att beskriva ett område där utbrott av samma karaktär sker. Ett bra exempel på detta är Vestmannaeyjar som har haft runt 80 utbrott på en area av 850 km²,

där inte ett enda skett på samma ställe två gånger. Den östra vulkaniska zonen består av nio vulkaniska system, med olika geokemisk karaktär, från Bárdarbunga i norr till Vestmannaeyjar i söder. Den norra delen är dominerad av tholeiitiska basalter medan den södra delen av fastlandet består av Fe-Ti-basalter. I de senare områdena finns också de mest utvecklade bergarterna (ryoliter och daciter). Längst i söder, i Vestmannaeyjar, är bergarterna uteslutande alkalibasalter och hawaiiiter.

Vestmannaeyjar: vid riftens spets

De flesta utbrotten i Vestmannaeyjar börjar under vatten, s.k. phreatomagmatiska, där magman fragmenteras vid kontakt med vattnet och bildar finkorninga tuffer (<2 mm). Vanliga landformer som bildas vid sådana utbrott är tuffkoner eller tuffringar. När en tuffkon byggs upp tillräckligt mycket för att kunna förhindra att vatten har tillträde till kratern övergår utbrottet till stromboliskt eller hawaiiiskt (effusivt). De äldsta delarna av Vestmannaeyjar är drygt 10 000 år, och bara två utbrott är kända med säkerhet sedan bosättningen av Island (~870 e.kr.). Dessa två utbrott, Surtsey och Hemön, skapade båda tidningsrubriker världen över.

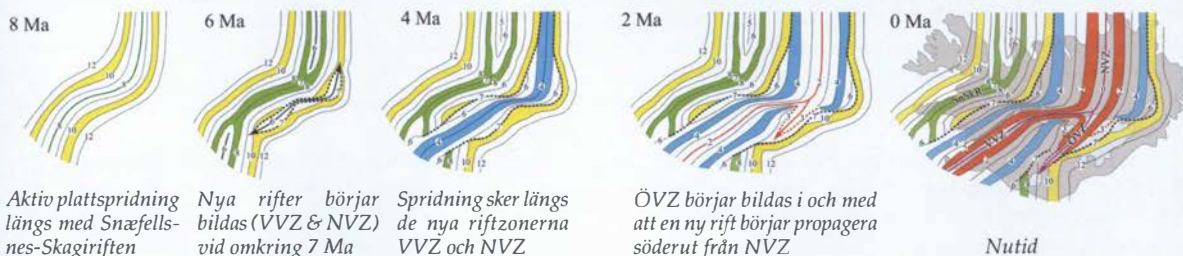
Vad händer i framtiden?

Forskare spekulerar i vad som kommer att ske med riften i framtiden. Det finns i stort sett två olika scenarion. Antingen "dör" riften och en ny rift börjar bildas någon annanstans, eller så fortsätter ÖVZ att röra sig söderut och kommer då troligen i framtiden att helt sammanbinda den submarina Reykjanes-ryggen söder om Island med den norra vulkaniska zonen. Om detta inträffar innebär det att den västra vulkaniska zonen skulle bli en s.k. utdöd rift. Emellertid visar den västliga zonen inte några tecken på att dö ut. Lika stora delar av spridning har skett i både den västra och i den östra vulkaniska zonen under de senaste 10 000 åren. Den östliga zonen har dock varit den mest aktiva under de senaste 1000 åren, med några av (världens?) mest voluminösa utbrott i historisk tid (Eldgjä 18.1 km³ och Laki 14.7 km³).

Litteraturkällor

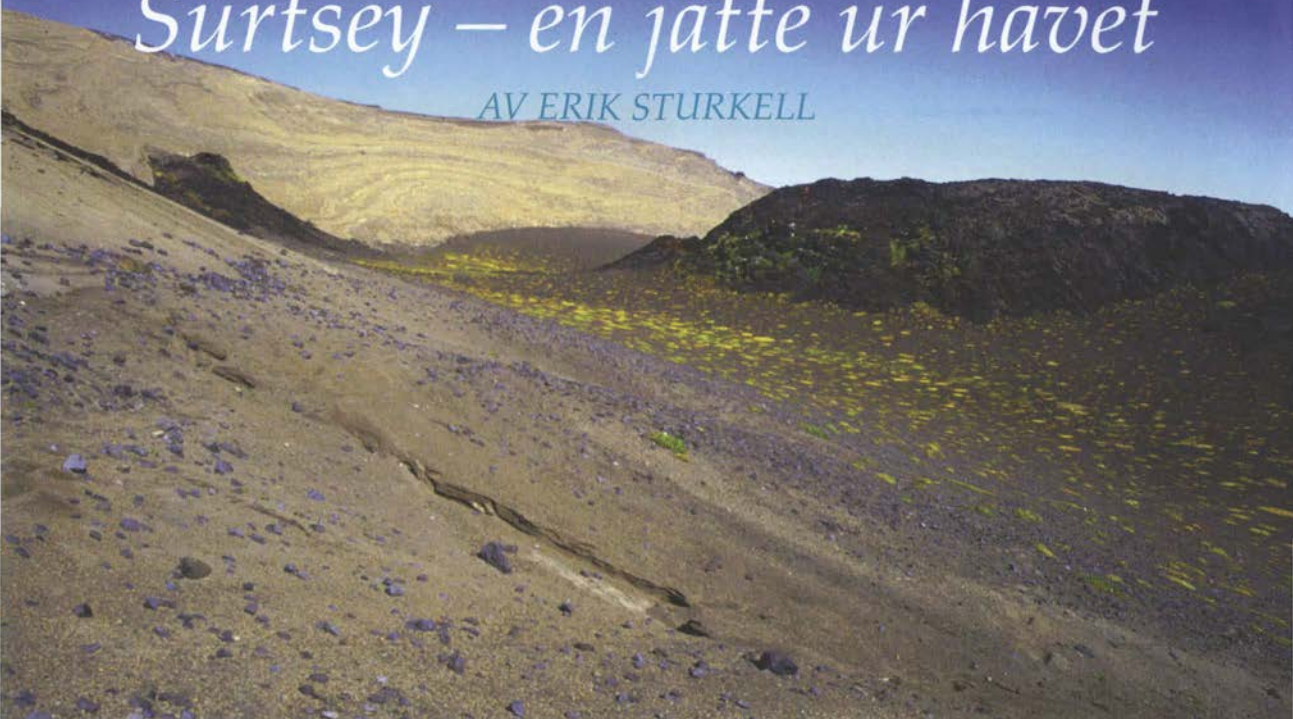
- Ivarsson, G. 1992. *Geology and petrochemistry of the Torfajökull central volcano in central South Iceland, in association with the Icelandic hot spot and rift zones*. PhD-thesis, University of Hawaii: 351 pp.
 Johanneson, H. 1980. *Evolution of rift zones in western Iceland*. *Naturufraedningurinn* 50: 13-31.
 Mattsson H. & Höskuldsson Á. I press. *Geology of the Heimaey volcanic centre, South Iceland: early evolution of a central volcano in a propagating rift?* *Journal of Volcanology and Geothermal Research*.
 Sæmundsson, K. 1979. *Outline of the geology of Iceland*. *Jökull* 29: 7-28.

Utveckling av riftzoner på Island (baserat på Ivarsson 1992; Sæmundsson 1979; Jóhannesson 1980)



Surtsey – en jätte ur havet

AV ERIK STURKELL



Surtur I-tuffkonen på Surtsey bildades mellan den 14 november 1963 och den senare delen av januari 1964. Dess senare lavakrater var verksam mellan 19 december 1966 till slutet av Surtseyepisoden den 15 juni 1967. I tuffkonens södra vägg (insidan) öppnades en liten krater i januari 1967 och den var verksam några dagar. I sanden mellan tuffkonen och kratern trivs saltarv (Honkenya peploides) som kom till ön 1967, och på lavakraterkanten frodas gräs som får rikligt med gödsel från fåglarna.

2003 firade ön Surtsey sin fyrtioårsdag, normalt en ålder vid vilken man börjar uppmärksamma jubilarens ålder i tryck. Själva förlossningen var explosiv och de som var närvarande kunde bara observera födelsen. Efter de vilda ungdomsåren har tillvaron blivit lugnare, men linjerna är i ständig förändring.

Morgonen den 14 november 1963 var fiskebåten Ísleifur II från Heimaey tre sjömil västsydväst om Geirfuglasker (se kartan motstående sida), då besättningen fick bevittna början på en submarin eruption. Strax efter tiotiden kunde man från luften observera en femhundra meter lång eruptionsspricka i 35° riktning med eruptionskägglor på fyra ställen. Före utbrottet hade havet varit 130 meter djupt, men morgonen därpå kunde man, tack vare en fördelaktig vind, dock bara för en kort stund, se att en ny ö hade bildats.

Mycket snart under eruptionen diskuterades ett lämpligt namn på den nya ön. Det var Sigurður Þórarinnssons förslag att kalla den Surtsey efter en text i Völuspá [nr 50 i Konungsbók Codex Regius]. Där sägs att

Surtur kommer från söder och att eld följer vart han går och att han lämnar ödeläggelse och död efter sig. Jätten Surtur är en av Ásgards största fiender och när han kommer är Ragnarök här! Det är alltså ett dåligt tecken att Surtur kommer; den här gången gick det emellertid inte så illa utan jätten blev kvar i havet.

Surtsey är den näst största ön i gruppen Vestmannaeyjar som består ett flertal öar (se karta motstående sida) där Heimaey, med sina närmare 5000 bofasta, är den största.

Tack vare Surtseys tillblivelse har förståelsen för subakvatisk vulkanism ökat avsevärt. Under utbrottet hade forskarna möjligheten att följa processerna nästan på plats. Den här artikeln baserar sig framför allt på en

parallell med den aktiva sprickan på ön. Man observerade eruptionen under tio dagar, men det är emellertid troligt att den pågick under en något längre tid. En 800 meter lång och 80–90 meter hög rygg bildades på havsbotten under utbrottet, men någon ny ö bildades inte. Eruptionen byggde upp ryggen till 23 meters djup och man döpte platsen till Surtla.

Utbrott i närvaro av vatten

Det första stadiet av Surtseys utbrott var explosivt och det skulle senare definieras som ett surtseyiskt utbrott. Lava sönderdelas vid kontakt med vatten, och en god tillgång på vatten ger en hög grad av fragmentering, vilket i sin tur ger finkornigt pyroklastiskt material. Bildning och tillväxt av pyroklastiska aggregat (accretionary lapilli) sker vid fragmentens passage genom eruptionsmolnet. Aggregaten blir runda (den minimala ytan) och får koncentrisk lager. Lapilli är italienska och betyder liten sten, och definitionsmässigt är de 2–64 mm stora. Det luftburna materialet som deponerats på Surtsey är lagrade och dåligt sorterade pyroklastiska aggregat (accretionary lapilli), sideromelan (basaltiskt glas) och xenoliter. Surtseys kärna består av tuff med vilket menas material som är omvandlat efter deponeringen, dvs materialet har upplevt diagenes och blivit en bergart.

A detailed map of the study area in the North Atlantic. The main map shows the Reykjanes Ridge and surrounding islands. Labels include Pridrangar, Einidrangur, Elliðaey, Bjarnarey, Heimsey, Álsey, Brandur, Hellisey, Surtsey, Geirfuglasker, and Súlmasker. A scale bar indicates 5 km. An inset map shows the location of the study area within the North Atlantic Ocean, with Reykjavík marked on the Icelandic coast.

Topografi og batimetri píl og verkling Surtsey

Batymetriska málningar, júlí 1967
strandling og topografi upantí
den 7. júlí, 1968

Eftir líflaga frá Norman (1970)

Surtur I
Surtur II
Surtur III
Surtur IV

Surtlingur

Jólnir

Surtla

0 500 1000 m

63°18'N
63°17'N

20°38'W 20°36'W 20°34'W

Topografisk och batymetrisk karta över Surtsey och havsområdet omkring. Havsdjupet var före eruptionen cirka 130 meter. De nederoderade resterna av öarna Syrtlingur och Jólnir ligger nordöst och sydväst om Surtsey. Två kilometer åt nordost ligger eruptionsplatsen döpt till Surtla, där eruptionen inte bröt havsytan. De fem eruptionssprickornas ungefärliga placering är tecknade med röda streck. Forskningsstationen Pálsbær (senare nummer 1) var uppförd på norra delen av ön vid lagunen. Kartan är omritad efter en förlaga av Norrman (1970).



Den effusiva fasen av Surtur II-kratern, med en öppen lavakanal ned mot havet. Foto Sigurður Þórarinnsson.

Det vulkaniska material som producerades under utbrottet är en homogen alkali-olivinbasalt. Lavan innehåller strökorn av olivin och plagioklas. Plagioklas-kornen kan vara upp till 5 cm stora. Det bör noteras att inga strökorn av pyroxen har observerats. Surtsey-basalterna ligger nära den så kallade Hawaii-linjen i ett alkali/kiseldiagram, och det är natrium som är det dominerande alkaligrundämnet.

Surtur II

Under de första dagarna i februari 1964 öppnade sig en ny eruptionsspricka ca 500 m nordväst om Surtur I. Aktiviteten ökade och efter några dagar var utbrottet lika kraftigt och explosivt som det initiala utbrottet. I början var flera kratrar, förutom huvudkratern, som döptes till Surtur II, verksamma längs sprickan. En krater var verksam på norra delen av ön, norr om den pyroklastiska kon, som bildats under Surtur I-episoden. Denna krater var bara verksam någon vecka i slutet av februari och när den upphörde hade en mindre lagun bildats (se karta föregående sida). Det var vid den västra stranden av denna sjö som den första forskningsstationen sattes upp.

Eruptionen i Surtur II började explosivt eftersom vatten flödade ner i kratern. De pyroklastiska aggregaten

byggde upp en ny kon nordväst om Surtur I-konen. Den nya konen byggdes upp framför allt i norr och väst, eftersom havet länge höll den sydliga delen öppen. Den västra kraterkanten byggdes upp till en höjd av 174 m vilket var Surtseys högsta punkt. Den explosiva eruptionsstilen fortsatte i Surtur II till och med den 4 april, då vattnet inte längre hade tillträde till kratern. Resten av utbrottet blev effusivt (dominerat av lavaflöden). Lavafontänerna ur kratern nådde en höjd av mellan 50 och 100 meter. Under den första tiden fylldes kratern ofta tills lava rann över dess bräddar och ned mot havet med en hastighet på upp till 10 m/s. Lavan följde då gärna kanaler som ledde ner från lavadomen (foto ovan). Med tiden övergick de öppna kanalerna till tunnlar. Under vintern 1964/1965 observerade man nästan ingen lava på ytan, eftersom den rann i tunnlar den största delen av vägen mot havet. När lavan nådde havet fragmenterades den till största delen och bildade hyaloklastit. Surtsey byggdes successivt ut mot söder, med deposition av hyaloklastit (såsom ett delta) upp till havsnivån där den överlagrades av lavaflöden och bildade en flack lava-platå. Lavaproduktionen ur Surtur II höll på till och med den 17 maj 1965. Detta betydde dock inte slutet för den eruptiva verksamheten, utan var bara en kort halvtidsvila.

Syrtingur och Jólnir

Den 22 maj 1965 (kanske så tidigt som den 11 maj) kom indikationer på submarin aktivitet cirka 600 meter östnordöst om Surtsey (se karta sidan 19), och den 28 maj nådde den submarina eruptionen havsytan för första gången. Den 16 juni var den nya ön 16 meter hög och hade en diameter på 170 meter. Ön var som störst runt den 15 september, när aktiviteten avtog och de erosiva krafterna blev övermäktiga. Aktiviteten upphörde kring den 17 oktober, och 24 oktober, efter en stormig vecka, hade ön uppslukats av havet. Ön hann aldrig få något officiellt namn men kallas Syrtlingur (den lilla Surtur).

Den 26 december 1965 inträdde nästa fas i utbrottet då man för första gången observerade att något skedde sydväst om Surtsey (foto t.h.). Den nya ön bröt havsytan för första gången den 28 december. Ön bildades och sveptes nästan omgående bort av vågorna. Detta upprepades ett flertal gånger under den första tiden. Med den produktionstakt som observerats under utbrottet torde det ha tagit omkring två månader att bygga upp ryggen från havsbotten. Eruptionssprickan hade en orientering i nordnordost (bäring 25°) och det var troligen två kratrar som var aktiva. Man väntade inte för länge med att döpa den nya ön, och den fick namnet Jólnir (ett av många namn på Oden). Efter den 20 januari var det främst en krater som stod för aktiviteten (foto t.h.). I slutet av februari hade Jólnir spolats bort tre gånger för att sedan återuppstå. Den 28 februari var Jólnir 500 meter lång. Inte ens denna storlek var tillräcklig, eftersom ön försvann ytterligare två gånger under våren för att åter resa sig ur havet. Från flygbilder tagna den 14 juni beräknades öns storlek till 28 hektar, och i början av augusti var ön 70 meter hög. Detta var Jólnirs höjdpunkt samtidigt som det markerade slutet av eruptionen. I och med detta var Jólnirs slutgiltiga förfall inlett och den 10 augusti hade dess storlek reducerats till 16 hektar, och den 20 september var endast en bråkdel kvar. Då var Jólnir en tioalet meter lång "ö" som bara var synlig vid lågvatten. De båda sprickerupptionerna i Syrtlingur och Jólnir var enbart explosiva, eftersom lavan i kratern alltid hade kontakt med havsvattnet.

Surtur I igen

Den 19 augusti 1966 började den effusiva eruptionen på Surtsey på nytt. Det var den ursprungliga kratern Surtur I, vilken hade varit inaktiv sedan januari 1964, som reaktiverades. En cirka 200 m lång eruptionsspricka öppnades och 80 meter syd om denna hade en lavansamling bildats, som under kvällen flödade över sina bräddar. Nästa morgon var två kratrar aktiva i den nyöppnade sprickan, och på kvällen samma dag nådde lavaflödet havet. Ur den nordligaste kratern reste sig lavaföntäner och utbrottet hade en hawaiiansk karaktär. Under hösten och vintern var endast en krater aktiv av de



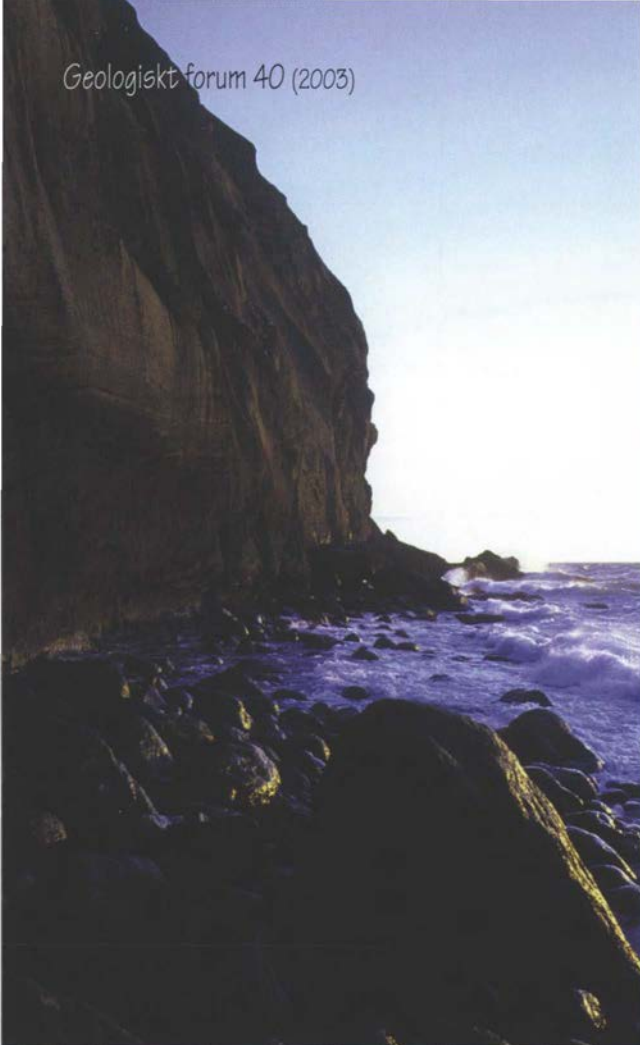
Ön Jólnir sydväst om Surtsey existerade mellan 28 december 1965 och omkring 20 september 1966. Foto Sigurður Þórarinnsson.

ursprungligen tre. Den reaktiverade Surtur I hade nu en liknande form som Surtur II, dock en storlek mindre. Från och med början av december flöt nästan all lava i lavatunnlar ned mot havet.

Den 12 december observerades att ånga steg upp ur en spricka på den nordvästra insidan av Surtur I:s tuffkon. Endast små mängder av lava strömmade ur denna spricka och flöt in mot den aktiva Surtur I-kratern. Den första januari 1967 hade en ny spricka öppnats på den norra (yttre) kanten av Surturs I:s tuffkon. Från denna spricka flödade lava ned mot den lilla sjön på Surtseys norra del. Nästa dag hade lavan fyllt ut halva sjön och lavanspred sig i västlig riktning mot forskningsstationen. Redan nästa dag, den tredje januari, hade utbrottet kommit av sig och det kom endast små mängder lava från den nedersta kratern längs sprickan. Forskningsstationen var räddad för denna gång.

Samtidigt med utbrottet i norra sidan av tuffkonen hade en spricka öppnat sig på den södra (inre) kanten av tuffkonen. De två sprickorna ligger på en nordsyd linje och dessa två följer samma spricksystem. En mindre mängd av lava kom ur den sydliga eruptionssprickan. Dessa sprickor ligger radiellt ut från Surtur I och utbrotten var små och varade endast några dagar.

Alla utbrott under Surtseyepisoden började med ett sprickutbrott, och de fem största hade sina huvudsprickor parallella, orienterade i 25–35°, och sprickorna arrangerade en échelon (se karta sidan 19). Utbrottet i Surtur I-kratern och därmed hela eruptionsssekvensen på Surtsey upphörde den 15 juni 1967. Under den tre år och sju månader långa eruptionen hade cirka 1,1 km³ vulkaniska produkter genererats.



De västra strandklipporna på Surtsey består av tuff. Här går erosionen långsamt eftersom bergarten står emot nedbrytningen väl. Strand-”gruset” består av stora, välrundade stenar utan tillstymmelse till något finmaterial.

Palagonitiseringen

Palagonitisering av basaltiskt glas (sideromelan och tachylit) sker genom urlakning och omvandling. De är huvudsakligen Na_2O , CaO , Al_2O_3 , K_2O , SiO_2 och MgO som urlakas, och sideromelanet hydreras och Fe^{2+} oxideras till Fe^{3+} . Det senare ger palagoniten dess rostbruna färg. Jonerna som lakas ur bildar sekundära mineral, vilka bidrar till en ytterligare cementering av bergarten. De vanligaste sekundära mineralen på Surtsey är kalcit, opal och zeolitmineralen chabasit, analcit och phillipsit. Palagonitiseringen av basaltiskt glas är främst avhängig av fuktighet och temperatur. Bergartsbildningen till palagonitisk tuff gick snabbare än vad man tidigare hade trott. Det finns till exempel bevarade fotsteg

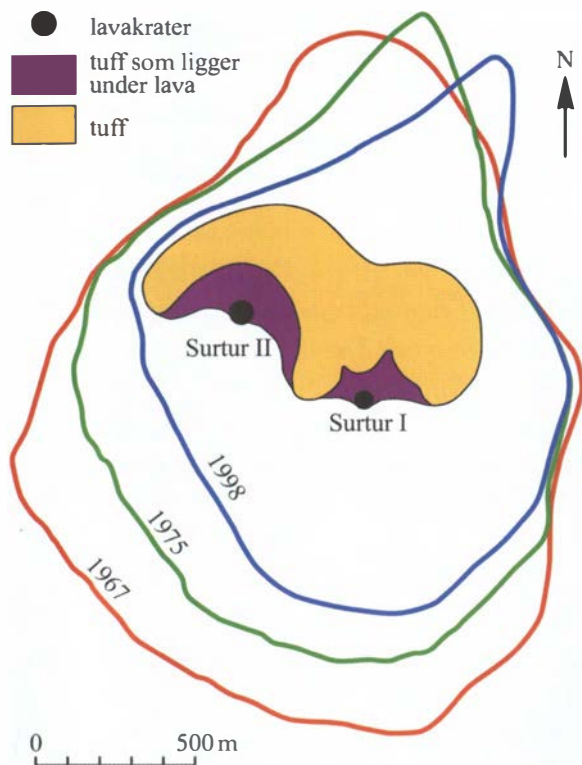
i tuffen på Surtsey. Det var tack vare ett verksamt hydrotermalsystem (80–100°C) som palagonitiseringen gick snabbt och redan efter två år hade palagonit bildats. Palagonitisering i ytlager som utsätts för vädrets makter och där temperaturen sällan överstiger 20°C går betydligt långsammare. Här kan det ta tusentals år innan någon betydande palagonitisering sker.

Forskningen på Surtsey

Den sjätte december 1963 landsteg de första människorna på den nya ön, och det var till stort förtret ett par journalister från Paris Match. År 1965 bildades Surtseyjarfélagið (Surtseyföreningen) som skulle styra forskningen på och omkring Surtsey. Samma år deklarerades Surtsey som naturreservat. Under själva utbrottet var det främst geologer som besökte den nya ön. Sedan eruptionen upphörde har besökarna varit biologer som följer växtinvasionen av det jungfruliga landet, och geologer som bygger upp kunskaperna kring subakvatisk vulkanism och de processer som formar den nya ön. Surtsey är en perfekt plats för att studera hur nytt land koloniserar av vegetation. Biologerna har från början följt utvecklingen och 1964, nästan direkt efter Surtseys tillkomst, observerades den första växten, en typ av alg. Den första kärlväxten att invadera det nya landet var arktisk marviol (*Cakile arctica*). År 1967 kom saltarv (*Honkenya peploides*) som nu är vida spridd (vinjettfiguren). Den trivs bra i sanden, liksom växten strandråg (*Leymus arenarius*), som har haft stor succé i den sandiga miljön. Vid en forskningsresa år 1998 kunde man konstatera att ön hade 47 olika kärlväxter. Dessa bör ha vandrat in naturligt, eftersom det är förbjudet att föra in växter till Surtsey. År 1966 byggdes en forskningsstation på norra delen, den döptes till Pálsbær efter amerikanen Paul S. Bauer som skaffade finansiering till en stor del av huset. Havet åt sig allt närmare huset och det övergavs 1985, då ett nytt hus (Pálsbær II) hade byggts på en ”säkrare” plats av Surtseyjarfélagið. Där Pálsbær I stod är det idag hav. Pálsbær II kan förhoppningsvis stå säkert många årtionden framåt. Fram till och med mitten av åttiotalet var det möjligt att landa med små flygplan på Surtsey. ”Landningsbanan” försämrades i och med de ständiga förändringarna av landskapet; det blev fler och större stenar i ”landningsbanan”. Det gick att landa med långsamma små plan med stora däck fram till och med början av nittioalet. Nu har man anlagt en helikopterplatta just söder om Pálsbær II. Det är också numera besvärligt att landstiga med båt, eftersom sandstranden har spolats bort och det bara återstår en ”block”-strand (foto till vänster). Landstigning är endast möjlig i mycket gott väder.

Nedbrytningen av ön

Havets erosiva krafter satte in direkt vid Surtseys bildning. Det var dessa som höll den explosiva fasen



Förändringen med tiden av Surtseys kustlinje. År 1967 var storleken 2,65 km² och år 1998 hade storleken minskat till 1,47 km². Den mest motståndskraftiga delen av ön består av tuff som är överlagrad av lava. Det är dessa delar som kommer att vara kvar om cirka 150 år enligt den senaste modellen. Bilden är omritad efter en förlaga från Jakobsson med flera (2000).

igång under en längre tid än vad som skulle ha skett i stilla vatten. De erosiva krafterna härrör även från vinden. Ön utsätts för en effektiv sandblästring då vinden har fritt spelrum. Det är emellertid havet som är mest effektivt i nedbrytningen. Havet ligger på och hela norra Atlantens kraft bearbetar den lilla ön. De nedbrytande krafterna framgår också av att man efter endast en vinter observerade att strandstenarna (blocken) hade blivit rundade. Surtsey överlevde den första svåra tiden och blev tillräckligt stor. I och med att utbrottet fortsatte, gick den inte samma öde till mötes som Syrtlingur och Jólnir, som försvann ner i djupet. På de små öarna hann aldrig det pyroklastiska materialet palagonitiseras och de var därmed ett lätt byte för havets krafter.

Det är lavaflödena som eroderas snabbast då havet oavbrutet pumpar in våg efter våg. Lavan är nämligen uppsprucken och vågornas kraft pressar in vatten i

sprickorna och vidgar dessa; visserligen mycket lite varje gång men till slut rämnar en bit av berget. Havserosionen har skulpterat 10–20 meter höga strandklippor i lavaflödet och erosionen åter sig vidare inåt mot kärnan (se skissen intill). På den nordvästra delen av Surtsey bildar tuffen en branthavsklipa. Här har havserosionen nästan stannat av eftersom tuffen är ytterst motståndskraftig då den är mer massiv och har mycket färre sprickor än lavan. Norra delen av Surtsey är en udde som består av lösa strandavlagringar (sand och sten). Med tiden har denna udde vridit sig mot öster. Surtsey var som störst vid slutet av eruptionen sommaren 1967. Då var ön 2,65 km² stor. De första åren minskade ytan snabbt och år 1998 hade storleken reducerats till 1,47 km². Lavan kommer med tiden att nästan försvinna helt; i ett längre tidsperspektiv är det endast den palagonitiserade kärnan av tuff som kommer att finnas kvar. Tuffkärnan är cirka 0,4 km² och med den observerade nedbrytningshastigheten, vilken avtar med tiden och nu är omkring 2 hektar per år, kommer ön att närma sig sitt slutliga utseende (med bara kärnan) omkring år 2115. Då kommer Surtsey att se ut som en av de små öarna i Vestmannaeyjargruppen.

När tiden är kommen sätter jätten Surtur sig åter i rörelse och nästa gång kanske hans färd inte avstannar så snabbt, utan han kommer kanske att orsaka än mera ödeläggelse — Ragnarök?

Referenser

- Einarsson, Þ., 1965: *The Surtsey eruption, in words and pictures*. Heimskringla, Reykjavík, 23 pp.
- Jakobsson, S.P., 1998: Surtsey 35 ára. *Náttúrufræðingurinn* 68, 83–86.
- Jakobsson, S.P., 2000: Geological map of Surtsey, scale 1:5000. Icelandic Institute of Natural History and Surtsey Research Society, Reykjavík.
- Jakobsson, S.P., Gudmundsson, G. & Moore, J.G., 2000: Geological monitoring of Surtsey, Iceland, 1967–1998. *Surtsey Research Progress Report* 11, 99–108.
- Norman, J.O., 1980: Coastal erosion and slope development in Surtsey island, Iceland. *Zeitschr. Geomorph. N.F.* 34, 20–38.
- Thorarinsson, S., 1965: The Surtsey eruption course of events and the development of the new island. *Surtsey Research Progress Report* 1, 51–55.
- Thorarinsson, S., 1966: The Surtsey eruption course of events and the development of Surtsey and other new islands. *Surtsey Research Progress Report* 2, 117–123.
- Thorarinsson, S., 1967: The Surtsey eruption course of events during the year 1966. *Surtsey Research Progress Report* 3, 84–91.
- Thorarinsson, S., 1968: The Surtsey eruption course of events during the year 1967. *Surtsey Research Progress Report* 4, 143–148.

Erik Sturkell, fil dr, är geofysiker på Veðurstofa Íslands (Islands meteorologiska institut). Han fick chansen att besöka Surtsey sommaren 2002; erik@vedur.is

Västra Mälardalsprojektet

Sveriges geologiska undersökning (SGU) satsar på att täcka de viktigare tätortsområdena med geovetenskaplig information. Efter det initiala projektet över Göteborgs kommun, med fortsättning i norra Göteborg och Trestad, kom projekten Västra Skåne och Västra Mälardalen igång. Västra Mälardalen, som omfattar fem kommuner samt hela Mälaren, är det enskilt största projektet. En komplett geoinformation är en förutsättning för att nödvändig resurshantering och planering ska kunna ske.

AV LARS PERSSON, MADELEN ANDERSSON, CECILIA JELINEK, ILDIKÓ ANTAL LUNDIN,
AGNETA LARSSON & GÖRAN RISBERG

Inledning

Geovetenskaplig information är av vital betydelse för samhället. Informationen kan vara i form av till exempel kartor och databaser, som berör naturresurser som t.ex. malmer, mineral, bergarter, grundvatten, grus, sand och lera. För att kunna fungera som underlag för planering och markanvändning, bör informationen vara så detaljerad och innehållsrik som möjligt. Efterfrågan på denna typ av information med inriktning mot tillämpad geologisk information ökar definitivt. SGU har därför startat flera projekt för att förse de mest tätbefolkade områdena i Sverige med detaljerad geovetenskaplig information. Ett tiotal områden har valts ut. (Ett tätbefolkat område motsvarar en region som inom en radie av 30 km har åtminstone 100 000 invånare eller en enskild kommun med detta invånarantal.)

SGU möter här de behov som finns rörande generell geovetenskaplig information, men också med aspekter mot exempelvis grundvatten och grundvattenskydd, permeabilitet, försurningsaspekter, konflikthantering i samband med t.ex. användning av grus/sand kontra krossberg, strålning, erosionsrisk, skred, ras, tungmetaller i jord och naturligt vatten, naturskydd osv. Genom att integrera dessa olika typer av information ökar kunskapen avsevärt om de geologiska förutsättningarna. Det finns dessutom ett stort behov av samarbete mellan geologi, geoteknik och ingenjörss-

geologi. Information kan och bör hämtas från väg- och järnvägsbyggen, tunnlar, bergrum och liknande. 3D- och 4D-modeller kan skapas genom att jämföra information från ytskiktet, inklusive geofysisk information, med den från djupet, något som idag görs i många städer i världen.

Västra Mälardalsprojektet

Västra Mälardalsprojektet är ett flerdisciplinärt, geovetenskapligt projekt i ett tätbefolkat område som omfattar Västerås, Eskilstuna, Kungsörs, Hallstammars och Köpings kommuner. Projektet påbörjades 2000 och avslutas i slutet av 2003, förutom de geokemiska undersökningarna av Västerås tätort som kommer att avslutas under 2004. Ett övergripande Östra Mälardalsprojekt planerades, men genomförs istället som ett antal delprojekt med början under 2003. Avsikten är att hela Mälardalen ska bli täckt med modern grundläggande, geovetenskaplig information.

Följande aktiviteter är involverade i Västra Mälardalsprojektet: berggrundsgeologi, bergkvalitet, jordartsgeologi, geofysik och geokemi, grundvatten och maringeologi. Radonundersökningar har också pågått och pågår fortfarande inom området. Arbetet påbörjades i liten skala under 2000 med berggrunds-

geologi och grundvatten. De andra aktiviteterna kom igång under 2001. All information görs kommunvis, lagras digitalt och presentationerna görs i skala 1:50 000.

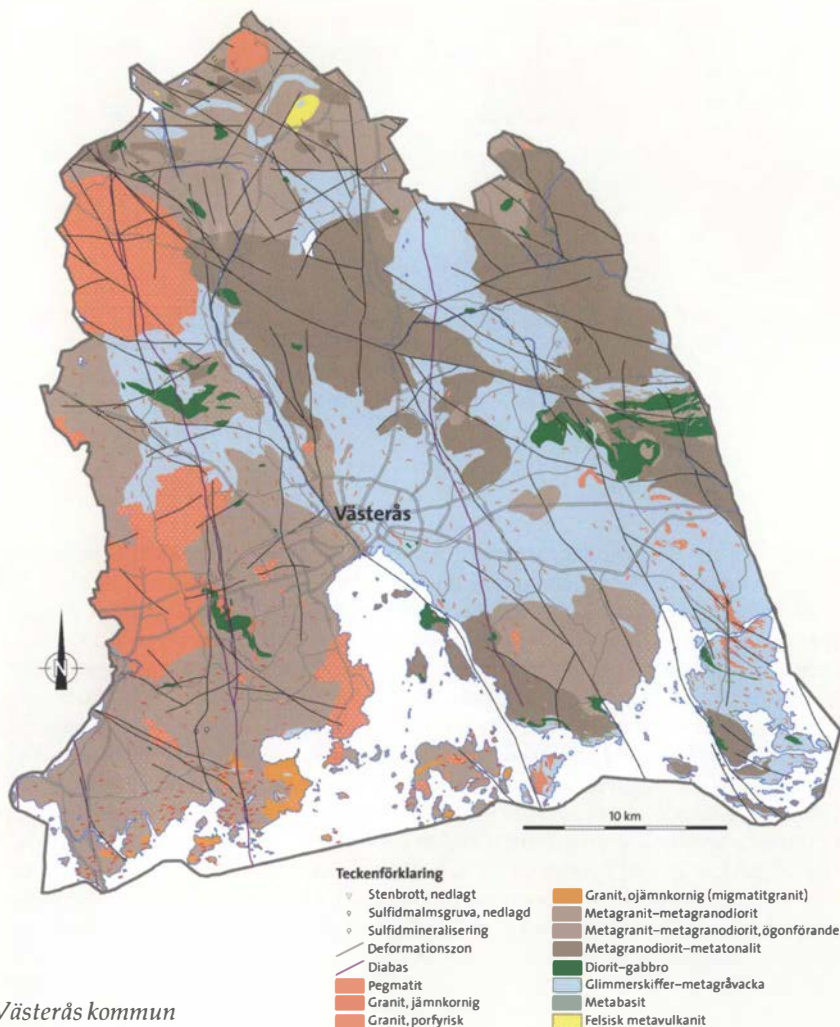
Projektområdet är idag täckt med moderna flyggeofysiska data. Dock saknas elektromagnetiska (VLF-) data inom Köpings och Kungsörs kommuner samt från delar av Hallstahammars och Eskilstuna kommuner. Flyggeofysisk information tillsammans med tyngdkraftsdata utgör ett mycket viktigt underlagsmaterial för berggrundskartering, bergkvalitetsundersökningar och hydrogeologiska undersökningar. De jordartsgeologiska undersökningarna var redan klara då projektet startade. Informationen har sedan sammanställts kommunvis för att kunna användas av övriga geodiscipliner på SGU, men även av externa användare. Maringeologiska undersökningar har utförts i hela Mälaren, inkl. Mälarens botten, och involverar miljö-

geokemisk provtagning, undersökning av subakvatiska, glaciala avlagringar samt sediment. Viss information erhålls om underliggande berggrund eller blottat berg. Urban geokemi utförs för att bestämma metallkoncentrationerna i relation till den naturliga geologiska bakgrunden.

Det samarbete som SGU har inlett med informationsanvändarna, dvs. tjänstemän och handläggare på de olika kommunerna, är grundläggande för projektet.

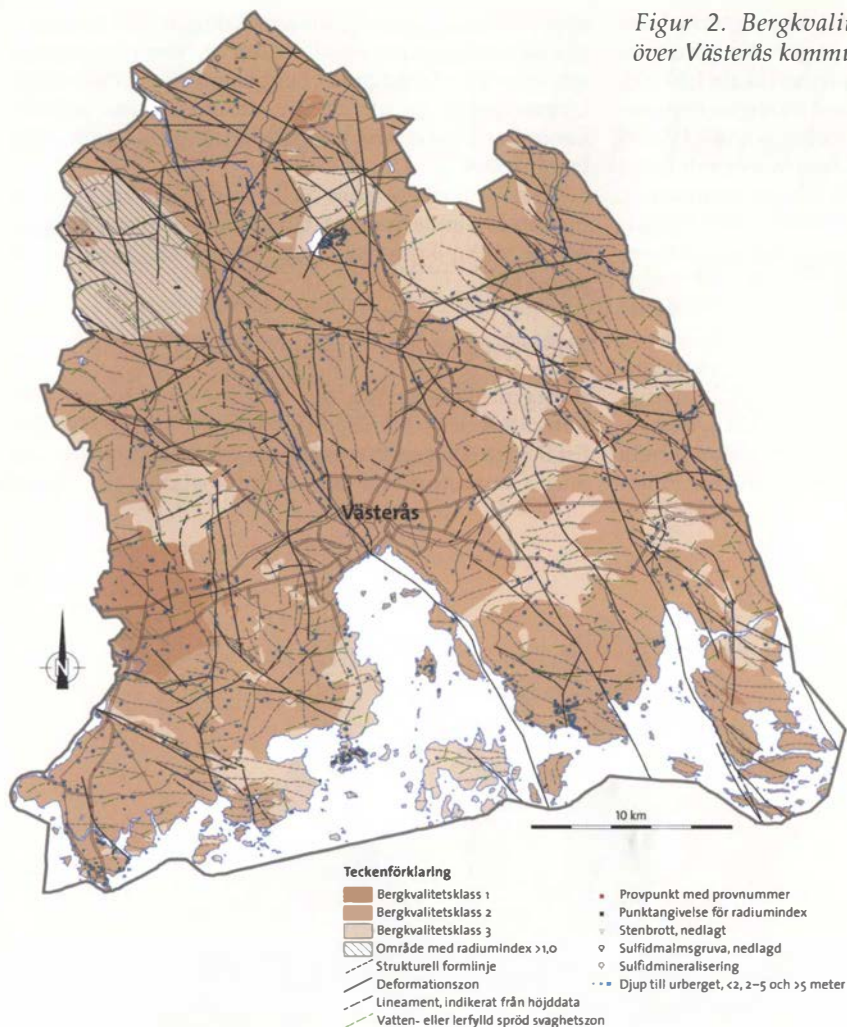
Involverade geodiscipliner

Berggrundskartering har utförts i två av de fem kommunerna, nämligen Västerås (figur 1) och Eskilstuna. Den relativt moderna informationen över de andra kommunerna har sammanställts (jfr. Antal



Figur 1. Berggrundskarta över Västerås kommun

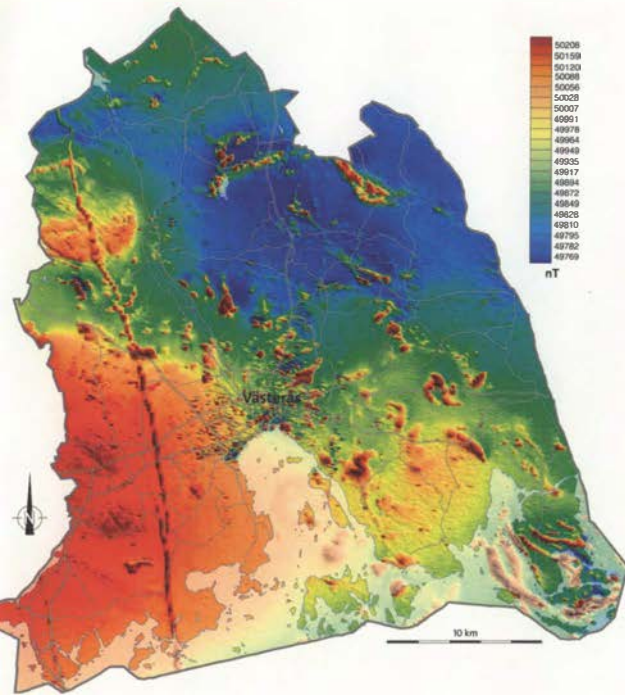
Figur 2. Bergkvalitetskarta
över Västerås kommun



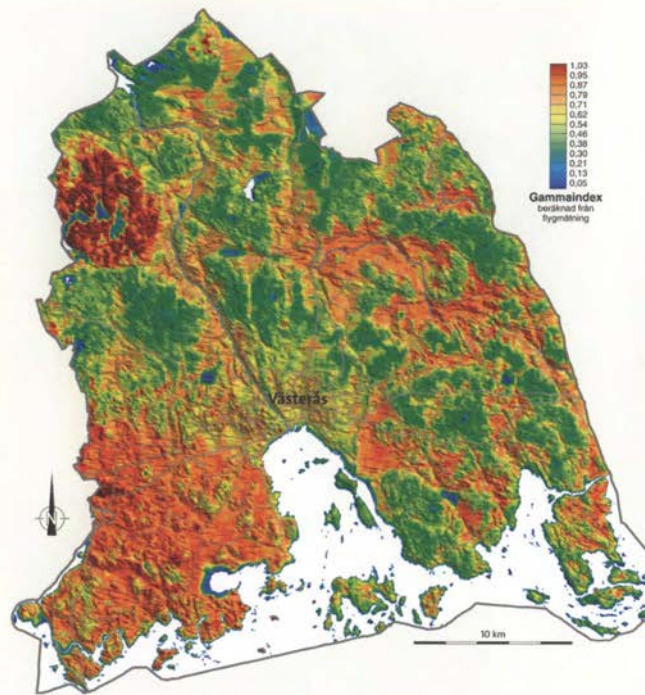
Lundin m.fl. 2003). Berggrunden består av svekofenniska metavulkaniter och metasedimentära bergarter som intruderats av djupbergarter (gabbro-tonalit-granodiorit-granit). Dessa bergarter är omvandlade och deformerade (gnejsiga). Omvandlingen med ny granitbildning, s.k. migmatitisering och/eller ådergnejsbildning, är ovanligt stark i området som omfattar kommunerna Kungsör och Eskilstuna. Så kallade yngre graniter, ca 1800 miljoner år gamla, intruderade senare. Ytterligare något yngre massiv av granit och basiska djupbergarter förekommer. Berggrunden genomsätts av diabasgångar av olika åldrar, den senaste är omkring 900 miljoner år. Deformationen är mycket stark i hela projektområdet och särskilt då i öst-västliga riktningar. Denna deformation har senare påverkat uppsprickningen.

Bergkvalitetskartorna kompletterar berggrundskartorna i skala 1:50 000 och görs för att underlätta tolkningen av berggrundsegenskaperna (figur 2). Det huvudsakliga ändamålet är att utvärdera det bästa användningsområdet för de olika bergarterna som ballastmaterial för väg, järnväg och betong. De är också värdefulla för planering av materialresurser och vid infrastrukturarbeten, även underjordsarbeten (jfr. Persson 2000). Kvalitetsklassning av alla typer av bergmaterial bör göras för korrekt hantering av de resurser som finns, dvs. om de ska bevaras eller exploateras. Vid eventuell exploatering bör materialet användas till rätt ändamål vilket är avgörande för kvalitet, miljö och ekonomi.

SGU har gjort **markgeofysiska undersökningar** inom projektområdet i syfte att följa upp och undersöka



Figur 3. Magnetisk totalfältskarta över Västerås kommun



Figur 4. Gammastrålningskarta över Västerås kommun

orsaken till förekommande anomalier och på så sätt länka ihop geofysisk information och berggrundsgologi. Bergarternas densitet och magnetiska egenskaper har undersökts. Genom magnetiska och elektromagnetiska markprofilmätningar har vi fått mer detaljerad information om vissa bergartskontakter, deformationszoner, diabaser samt vattenförande kross-zoner. Gammastrålningsmätningar (vilka indikerar koncentrationerna av uran, torium och kalium i översta delen av marklagret) har gjorts på berghällar och gammaindex och radiumindex har beräknats för olika bergarter inom projektområdet. Radiumindex är ett mått på radiuminnehållet i ett material och skall för byggnadsmaterial vara mindre än 1,0 (Åkerblom m.fl. 1990, jfr. BFS 1990). Det beräknas genom bestämning av urankoncentrationen i materialet. 12,3 ppm uran motsvarar 200 Bq/kg radium-226, vilket i sin tur motsvarar radiumindex 1,0. Gammaindex m beräknas enligt

$$m = C_K/3000 + C_{Ra}/300 + C_{Th}/200$$

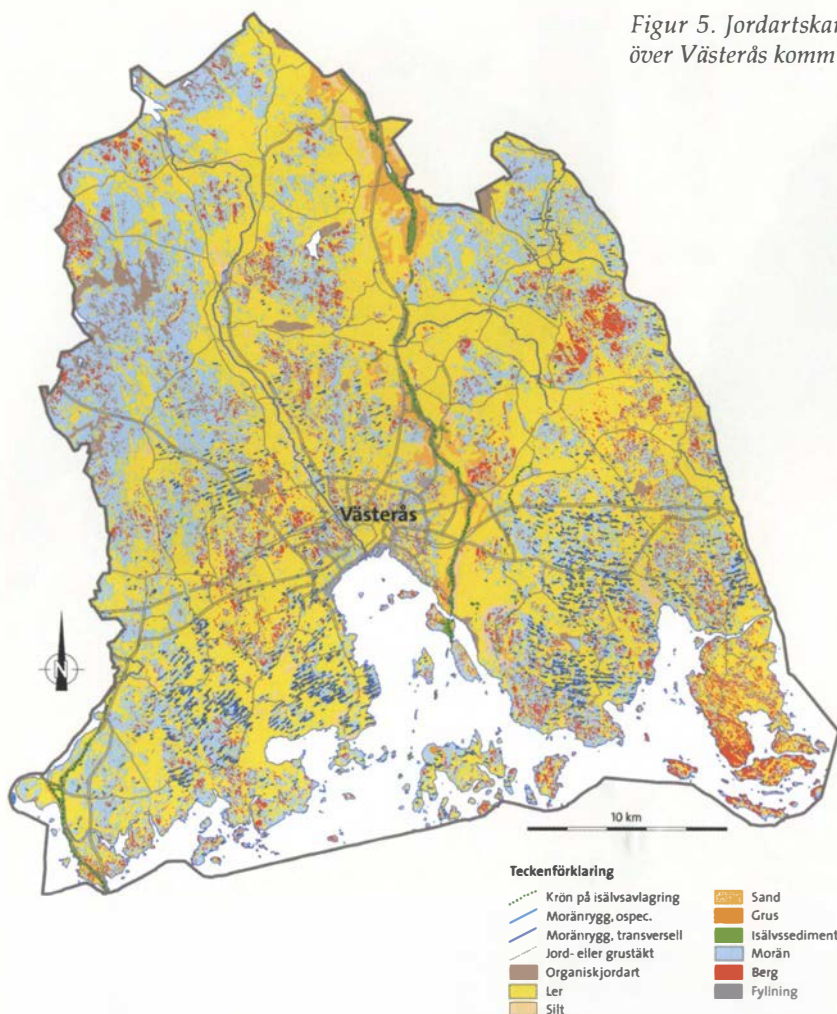
där, C_K , C_{Ra} och C_{Th} är koncentrationen av kalium-40, radium-226 respektive torium-232, alla i enheten Bq/kg.

Enligt rekommendationer från de nordiska ländernas strålskyddsinstitut bör gammaindex för byggnadsmaterial vara mindre än 2 (The Radiation Protection Authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden 2000). Den flygmagnetiska kartan och gammastrålningskartan över Västerås kommun visas i Fig. 3 och 4.

Moderna jordartsgeologiska undersökningar hade redan genomförts i området. Sammanställningar har utförts kommunvis (Fig. 5). Jordartskartorna är viktiga för planering och markanvändning. Restriktionerna mot användandet av de glaciofluviala avlagringarna i framtiden beror främst på att de är omfattande vattenreservoarer. Vissa fraktioner i dessa avlagringar är dock fortfarande av betydelse, t.ex. 0–8 mm till betong i stället för maskinsand, men kan ersättas, dock med högre kostnad som följd.

Grundvattenundersökningar utförs som kartläggning av grundvattenförekomster i jord och berg och som dokumentation av lokala data avseende grundvattentäkt, grundvattenutredningar, grundvattenuttag och kvalitet (Fig. 6). Vid kartläggning av grundvatten-

Figur 5. Jordartskarta
över Västerås kommun

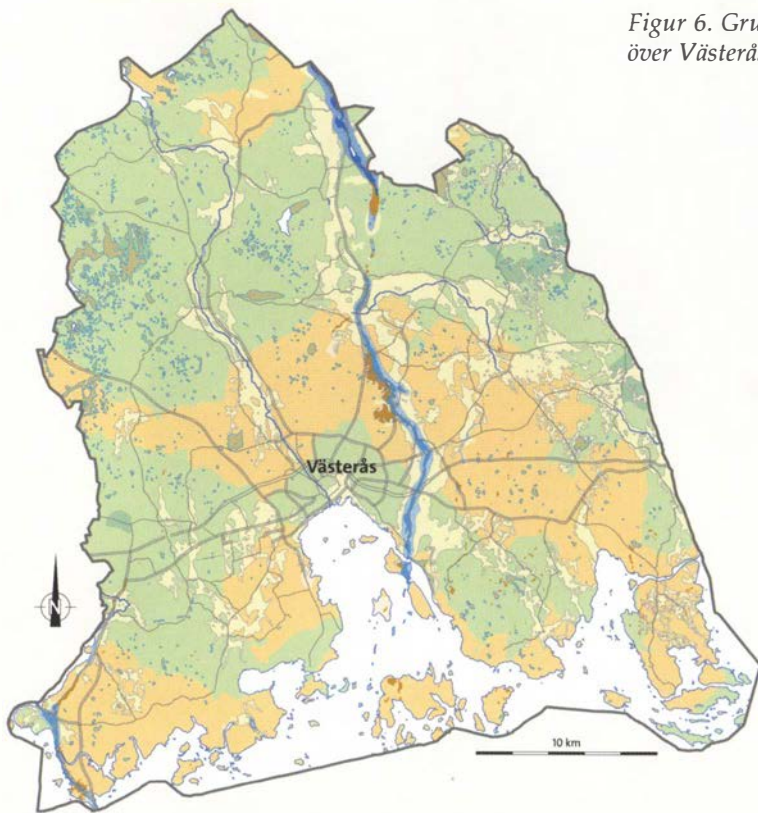


förekomster redovisas bl.a. grundvattnets strömningsriktning, hydrauliska gränser samt uttagbara vattenmängder. Grundvattenkartan är framarbetad och anpassad till kommunala behov. Diskussioner förs också fortlöpande med kommunrepresentanter rörande planering av arbetet och dess omfattning. SGU har ett nationellt grundvattennät och ett mycket använt brunnarsarkiv.

Geokemiska undersökningar utförs i samtliga fem kommuner. En något mera detaljerad tätortsundersökning görs i Västerås stad. Närvaron av vatten är viktig hur lätttrörliga metallerna är i den geokemiska cykeln, där metallerna huvudsakligen har sitt ursprung i berg- och jordlager. I detta projekt undersöks jord-

lagren, men även äldre information från biogeokemiska undersökningar används. Sedan 1982 pågår en biogeokemisk undersökning i Sverige för att kartlägga förekomsten av metaller i den naturliga miljön och den kemiska variationen av metaller i jordlager och i vatten. Med hjälp av denna information kan man utläsa effekterna från olika utsläpp. Undersökningarna ger information om de starkt varierande bakgrunds-koncentrationerna av bland annat tungmetaller i miljön, vilka är av betydelse för diskussionerna om förgiftning, förorening osv. Analyser av vattenvegetationen avslöjar en kombination av naturliga koncentrationer och antropogen, d.v.s. mänsklig påverkan. Moränen är dock normalt antropogent opåverkad och analyser av morän

Figur 6. Grundvattenkarta över Västerås kommun



Teckenförklaring

BEDÖMDA GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN I JORDLAGREN

Sand och grus huvudsakligen isälvsavlagringar

Mycket stor grundvattentillgång, 25–125 l/s

Stor grundvattentillgång, 5–25 l/s

Måttlig grundvattentillgång, 1–5 l/s

Liten eller ingen grundvattentillgång, <1 l/s

Sand- och gruslager under finkorniga sediment

Grundvattentillgång: sand- och gruslager under

jordlager som är täta eller har dålig genom-

släpplighet, främst lera. Grundvattentillgång

och uttagsmöjligheter enligt färgskalan ovan.

Sammanhängande område med måttlig lera

ORGANISKA JORDARTER

Mosse, kärr, gytta, ofta utströmningsområden

BEDÖMDA MÖJLIGHETER TILL UTTAG AV GRUNDVATTEN I BERGGRUNDEN

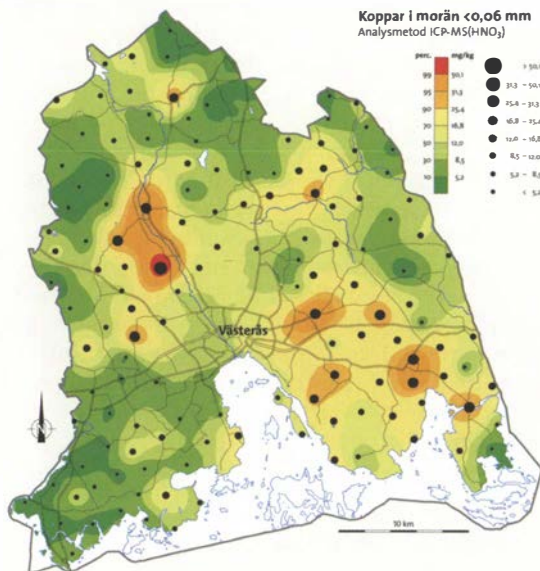
Goda uttagsmöjligheter, medianskapacitet 2000–6000 l/h

Tämligen goda uttagsmöjligheter, medianskapacitet 600–2000 l/h

Mindre goda uttagsmöjligheter, medianskapacitet 200–600 l/h

Liten uttagsmöjlighet, medianskapacitet <200 l/h

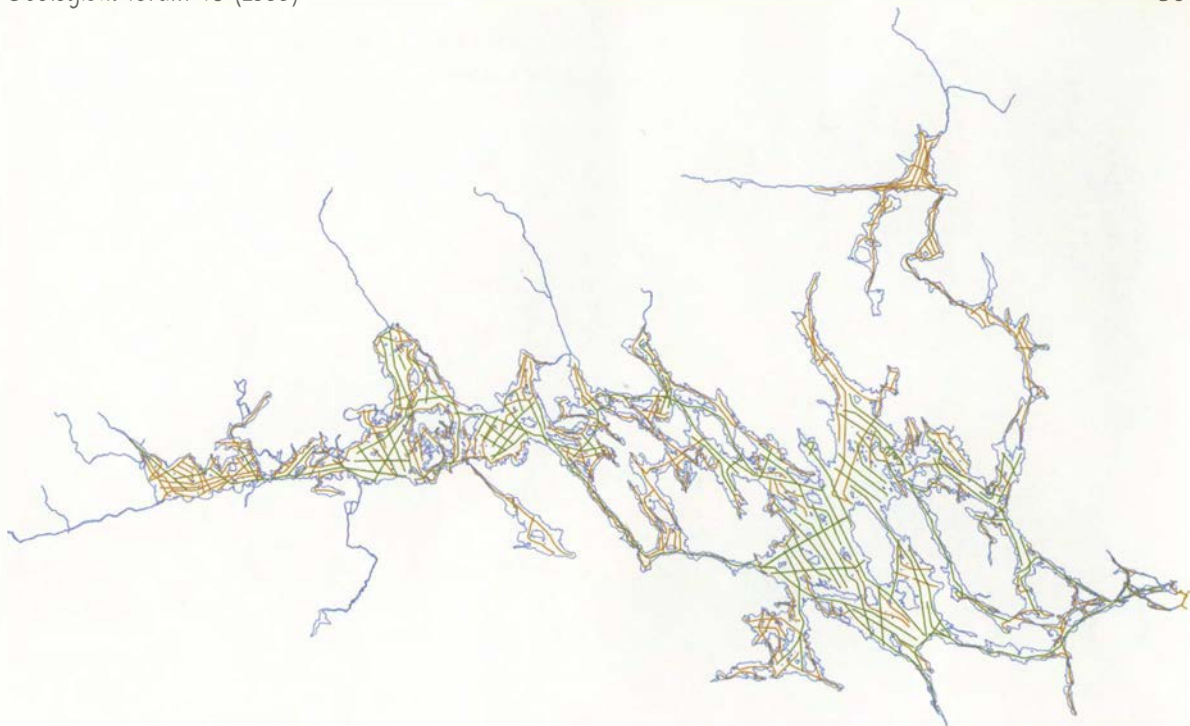
Koppar i morän <0,06 mm

Analysmetod ICP-MS(HNO₃)

och andra sediment är därför också viktiga för att visa de naturliga bakgrundshalterna i miljön. Figur 7 visar kopparhalter i morän.

Maringeologiska undersökningar har utförts i hela Mälaren. Mälaren är Sveriges tredje största sjö och täcker ungefär 1 140 km². Dess största djup ligger på omkring 65 m. Nivåskillnaden till Östersjön är ca 0,5 m. De maringeologiska undersökningarna är i första hand en kartering av sediment- och bergformationernas utbredning samt bottenens vertikala uppbyggnad, t.ex. framkommer åsarnas fortsatta utbredning under vattnet. Vidare undersöks sjöbottenens geokemiska sammansättning på ett tjugotal platser. Den geokemiska

Figur 7. Kopparhalter inom Västerås kommun



Figur 8. Undersökningslinjer i Mälaren

undersökningen visar människans påverkan av Mälaren. Fältarbetet utförs till största delen från ett speciellt undersökningsfartyg som ägs av SGU, Ocean Surveyor (Fig. 8).

Regionala radonundersökningar har utförts i samtliga fem kommuner. Fältmätningarna har slutförts under sommaren 2003. Radonhalten i markluften har mätts i olika jordarter (figur 9) och gammaspektrometermätningar har gjorts i jord. I radonundersökningen används också de strålningsmätningar som gjorts från flygplan och på håll i samband med de geofysiska mätningarna. Generellt kan sägas att en tät jordart (exempelvis lera) innebär låg radonrisk även om den innehåller mycket radium, medan en porös jordart (t.ex. isälvsmaterial) kan innebära hög radonrisk även med lågt radiuminnehåll. Detta beror på de stora mängder markluft som kan transporteras in till inomhusluften. Information från berggrunds- och jordartsundersökningarna används därför också för att ge en översiktlig bild av i vilka områden förhöjda radonhalter i hus kan misstänkas.

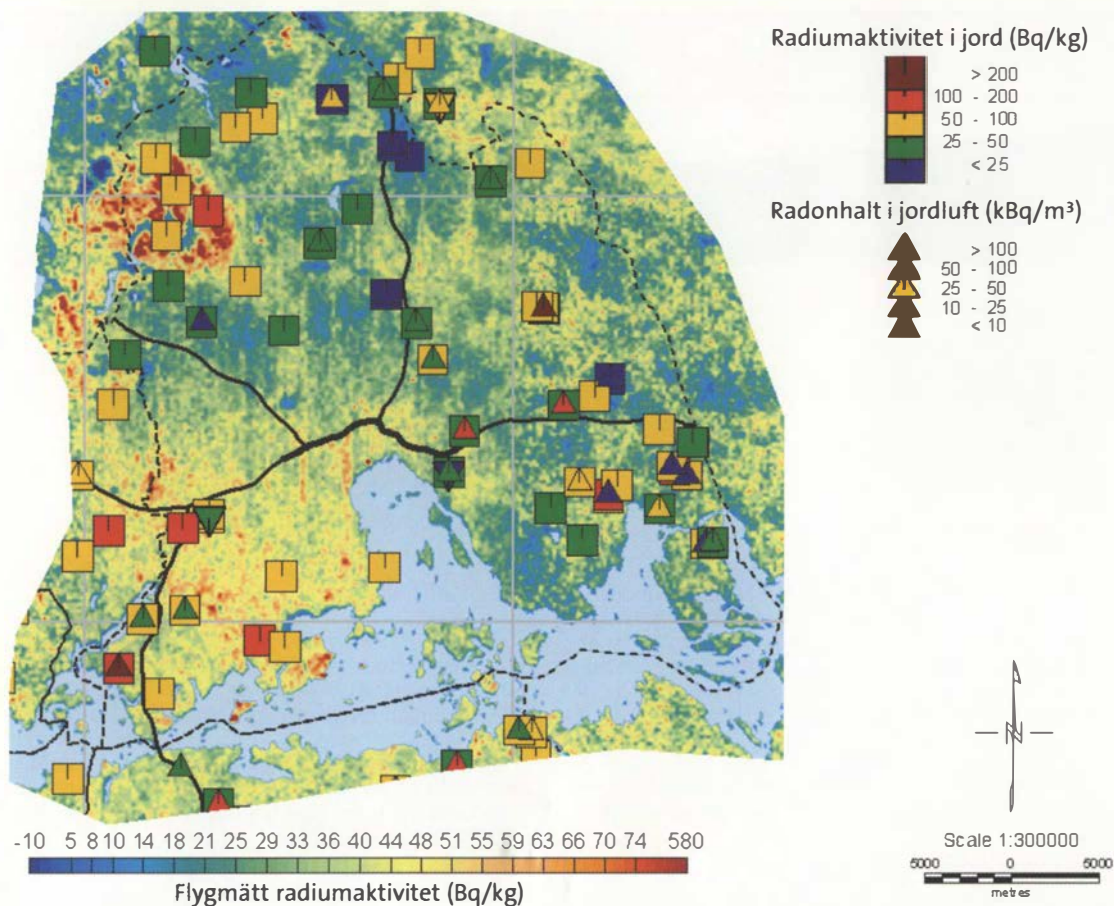
Avslutande anmärkningar

Projektets syfte är att producera en komplett information inom området avseende samtliga geodiscipliner. Inom projektet har de olika geodisciplinerna

på SGU haft ett nära samarbete, vilket både lett till ökad förståelse för de olika ämnesområdena men också till ett bättre slutresultat. Redan från början har SGU inlett ett produktivt samarbete med de olika (externa) användarna av informationen. Informationsmöten har hållits och samarbetsprojekt har diskuterats för framtiden. Det är naturligtvis av vikt att den erhållna informationen kan nyttjas för maximal nytta. All geovetenskaplig information, så detaljerad som möjligt, är nödvändig för effektiv markanvändning och planering. Resursplanering har nämligen stor betydelse för både miljö och ekonomi. Geologisk, geoteknisk och ingenjörsgelogisk information från olika infrastrukturarbeten bör även inkluderas i framtiden så att totalinformationen lättare kan användas i bygg- och anläggningsverksamhet men också för planering i stort. Som jämförelse kan hänvisas till nyttan av SGUs Brunnsarkiv. En komplett, god kunskap om de geologiska grundförutsättningarna leder till att olika typer av miljörelaterade åtgärder i samhället kan vidtas i förebyggande i stället för som idag mer eller mindre uteslutande reparerande syfte.

Tackord

Andra SGU-anställda som i det här fallet inte är medförfattare men gjort insatser i projektet är Tomas Aneblom, Mikael Carlsson, Anders Elhammer, Mattias Göransson, Lisbeth Hildebrand, Kerstin Johansson,



Figur 9. Uppmätta radonhalter i markluft i Västerås kommun

Lutz Kübler, Kaj Lax, Tomas Lindberg, Sven Lundqvist, Sten-Åke Ohlsson, Helge Reginiussen, Peter Slagbrand, Malin Sträng, Hans Söderholm, Johan Söderman, Sam Sukotjo och Bo Wållberg. Jeanette Bergman Weihed har redigerat bildmaterialet till denna artikel.

Litteratur

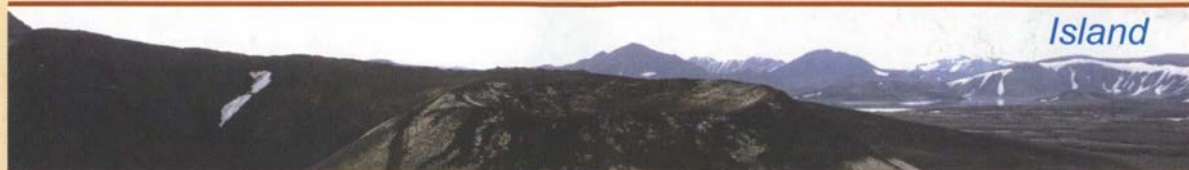
- Antal Lundin, I., Hildebrand, L. & Persson, L. 2003: Berggrundsgeologisk undersökning. Sammanfattning av pågående verksamhet 2002. Hans Delin (red.) *Sveriges geologiska undersökning. Rapporter och meddelanden* 112, 85–95.
- BFS, 1990: *Nybyggnadsregler ändringar*. Boverkets författningssamling. BFS 1990:28, Nr.2. Stockholm, ISBN 91-38-12510-2.
- Persson, L. 2000: Bergkvalitet – geologisk information för planering och byggverksamhet. *Geologiskt forum* 26, 13–17.

- The Radiation Protection Authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden 2000: *Naturally Occurring Radioactivity in the Nordic Countries – Recommendations*. ISBN 91-89230-00-0.
- Åkerblom, G., Petterson, B. & Rosén, B., 1990: Markradon. Handbok för undersökning av markradonförhållanden. *Byggeforskningsrådets rapport R85:1988*, reviderad utgåva 1990, 160 s.

Lars Persson, Madelen Andersson, Cecilia Jelinek, Ildikó Antal Lundin, Agneta Larsson och Göran Risberg arbetar samtliga vid *Sveriges geologiska undersökning i Uppsala*; sgu@sgu.se

GEONYTT

Under rubriken "Geonytt" upplåter Geologiskt forum kostnadsfritt plats för information relevant för föreningens medlemmar eller geointresserad allmänhet. Har du något du vill upplysa om, sänd informationen till tidningen senast 30/2 (adress, fax och e-post, se sid. 2). Nästa nummer kommer i mars.



Islandskurs

Naturforums 5-poängskurser i geologi, Geologiska processer på Island, kommer sommaren 2004 att ges i samarbete med Umeå universitet. Information finns på Naturforums hemsida: www.naturforum.se. Du kan också kontakta kursledaren Karin Eriksson, tel: 0225-129 13, för information.

Geologins dag 2004

Geologins dag kommer i år utökas till två dagar: Fredag 17 september för skolklasser och lördag 18 september för allmänheten. Anledningen är dels besökarnas positiva reaktioner på Geologins dag 2003, men kanske främst de goda erfarenheter Stockholms och Uppsala universitet fick av att bjuda in mellanstadie- och gymnasieklasser dagarna före själva Geologins dag. Skolbarnen erbjöds experiment med konstgjorda floder, jordbävningar, kontinentbyggen, kristallbyggen mm.

Sammanfattningen och utvärderingen av Geologins dag 2003 kan beställas gratis via www.geologinsdag@nrm.se

En prenumeration

på Geologiskt forum 2004 (nr 41–44) kostar 160 kr.

Gör så här: betala 160 kr till **Swedish Science Press** på postgiro 489 78 50-6 eller bankgiro 914-4601. Märk inbetalningskortet Geologiskt forum 2004.

Islandsstipendier

Vill du arbeta med vulkaner och vara med där det händer, sök då till det Nordiska vulkanologiska institutet (NordVulk) i Reykjavik som utlyser fem forskartjänster inom vulkanologi för året 2004–2005. Tjänsten är ettårig men kan bli förlängd upp till tre år. Ett minimumkrav är att den sökande har tagit grundexamen. Sista datumet för ansökan 2004 är 10 mars 2004. Mer information finns på NordVulks hemsida: <http://www.norvol.hi.is>.

Medlemskap i Geologiska Föreningen

kostar 400 kr/år inkluderande Geologiskt forum och den engelskspråkiga vetenskapliga tidskriften GFF. Studerande betalar dock endast 200 kr/år (under max. 4 år). Medlemskap enbart inkluderande Geologiskt forum kostar 250 kr/år. Enbart medlemskap, utan prenumeration, kostar 100 kr/år.

Gör så här: betala medlemsavgiften till **Geologiska Föreningen** på postgiro 2108-9. Märk inbetalningskortet Ny medlem (alt. ny studerandemedlem) i Geologiska Föreningen, avgift för 2004.

Skriv tydligt namn och adress på inbetalningskortet, tack!

Information angående äldre volymer av Geologiskt forum fås via redaktionen; gff@geo.su.se, eller beställs av Swedish Science Press (se sidan 2 för information).

Ordinarie lösnummerpris Geologiskt forum nr 40 är 50 kr.

GEOLOPPIS

Under rubriken "Geoloppis" intas gratis annonser från privatpersoner. Det kan gälla böcker, utrustning, samlingar, etc. Beskriv objektet, ange pris, avsluta med telefon-, faxnummer eller e-postadress. Sänd Din annons till tidningen senast 30/2 (adress, fax och e-post, se sid. 2). Nästa nummer kommer i mars.

KÖPES: Mineralsamlingar med dokumentation. Speciellt sökes äldre mineral med originaletiketter och askar och gärna förvaringsmöbel. Även äldre litteratur, instrument,

kristallmodeller, förvaringsmöbler etc. för mineral köpes. Tel.: 0584-20041, e-post: urban.strand@telia.com.

GEOLOGISKA FÖRENINGENS STYRELSE 2004

Birger Schmitz, ordf., Inst. för geovetenskap, Göteborgs universitet, Box 460, 405 30 Göteborg, tel. 031-773 49 02; birger@gvc.gu.se
Mats Rundgren, sekr., Kvartärgeologiska avd., Lunds universitet, Tornavägen 13, 223 63 Lund, tel. 046-222 78 56; mats.rundgren@geol.lu.se
Katarina Persson, skattm., Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala, tel. 018-1793 58; katarina.persson@sgu.se
Joakim Mansfeld, red., Institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm, tel. 08-674 77 27; gff@geo.su.se
Dan Holtstam, ledam., Sekt. f. mineralogi, Naturhistoriska riksmuseet, Box 50007, 104 05 Stockholm, tel. 08-5195 40 76; dan.holtstam@nrm.se
Ulf Quarfort, ledam., Inst. för geovetenskaper, Uppsala universitet, Villav. 16, 752 36 Uppsala, tel. 018-471 25 68; ulf.quarfort@natgeo.uu.se
Pär Weihed, ledam., Luleå tekniska universitet, 971 87 Luleå, tel. 0920-491371; par.weihed@sb.luth.se



den svenska föreningen för vetenskaplig, tillämpad och populär geologi

<http://www.geologiskaforeningen.nu>