

# ISLAND

## - et enestående geodynamisk laboratorium

*Vulkanismen og skorpebevegelsene på Island viser at varme-strømmen fra dypet er konsentrert under Vatnajökull som ligger 200 km øst for plategrensen i Nordatlanteren. Øyas eksistens skyldes koblingen mellom den midt-atlantiske ryggen og en dyp vertikal mantelstrøm under Vatnajökull. Dagens skorpeprosesser på Island er unike i global sammenheng, men de kan likevel ha vært vanlige under Jordas tidligste skorpevekst.*

*Reidar Trønnes og Rósa Ólafsdóttir, Norræna Eldfjallastöðin (Nordisk Vulkanologisk Institutt), Reykjavík*

Hawaii er typeeksempelet på en øyrekke dannet ved intens vulkanisme over en vertikal søylestrøm fra den nederste delen av mantelen. Denne søylestrømmen treffer overflaten midt inne på Stillehavsplaten og produserer en kjede med vulkanske øyer på en gammel havbunnsplate som glir mot nordvest.

Island og de grunne havområdene fra Grønland til Færøyene er dannet ved vulkanisme over en tilsvarende søylestrøm. Men i dette tilfellet er søylen så nær den midtatlantiske ryggen at søylestrømmen blander seg med den passive oppflyttingen av varm astenosfære under midthavsryggen. Den unge og tynne litosfæren under de aktive vulkansonene på Island er så svak at den ikke tåler vekten av mye vulkansk materiale. Dette fører til innsynkning og nedgående massetransport som skiller Island fra Hawaii og andre søylestrøm-baserte øyer.

### Søylestrøm og plategrenser

Den aktive Islandssøylen har eksistert siden åpningen av Nordatlanteren for ca. 60 millioner år (Ma) siden. Like før åpningen hopet det seg opp en stor pute med varmt mantelmateriale tilført av søylestrømmen under bunnen av kontinentplaten. Den lette og varme puten med horisontal diameter omkring 2000 km løftet, strakk og tynnet litosfæren. Dette førte til kontinental rifting og intens basaltvulkanisme i Øst- og Vest-Grønland, de Britiske øyer, Færøyene, Vøringplatået og nærliggende grunnhav.

Under oppsprekkingen og den begynnende havbunnsbredningen lå søylestrømmen under Grønland. Den nye plategrensen og de tilgrensende kontinentene flyttet seg vestover i forhold til den stasjonære søylestrømmen med en relativ bevegelse på 3-4 cm/år. Da plategrensen var så nær Islandssøylen at det oppsto en

kobling mellom dem (45 Ma), ble en ny riftsone dannet inne på Grønlands kontinentalhylle. Denne nye riftsonen ble til Kolbeinseyryggen nord for Island, og spredningen langs den nå forlatte Ægirryggen sørøst for Jan Mayen sluttet fullstendig ved 26 Ma. Plategrensen passerte forbi søylestrømmen ved omkring 20 Ma og beveger seg stadig vestover. Dermed må de islandske riftsonene med jevne mellomrom (7-8 Ma) hoppe østover for å holde sin posisjon over søylen.

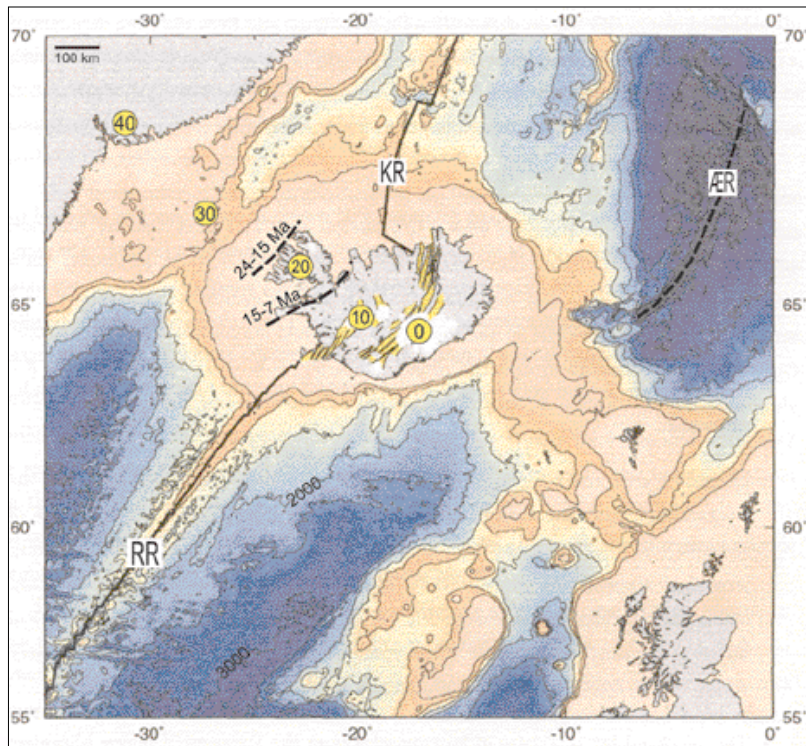
Islandssøylen er avbildet seismisk gjennom mantelens overgangssone (410 - 660 km dyp). Denne og andre dype mantelsøyler kommer sannsynligvis fra det 200-400 km tykke termiske grenselaget over kjerne-mantelgrensen (D''-laget). Fordelingen av jordas indre varmeproduksjon mellom mantel og kjerne og enkle fluid-dynamiske betraktninger viser at de fleste søylestrømmene gjennom jordas mantel må ha sitt utspring i dette laget. Isotopsammensetningen av basaltene på Island og i Nord-Atlanten tyder på at søylekilden inneholder resirkulert havbunnskorpe som ble subdu-



Utbrudd fra Grímsvötn-kalderaen, Vatnajökull, 18.-28. desember, 1998. Grímsvötn er en av de mest aktive vulkanene på Island med omtrent et utbrudd hvert tiår.  
Foto: Freysteinn Sigmunsson.



Forfatterne på kanten av krateret Ljótípollur som ble til under et utbrudd i 1477 AD. Utbruddet startet ved at basaltmagma ble presset sørvestover langs sprekkesvermen Veðivötn med utspring i Bárðarbunga sentralvulkan under Vatnajökull. Den varme basaltsmelten (1200°C) trengte inn i ryolittisk magma (800°C) under Torfajökull-vulkanen, med ukontrollert konveksjon og eksplosivitet som resultat.  
Foto: Paul Martin Holm.



Havdyp og tektonikk i Nordatlanten. Posisjonen til Islandssøylen i forhold Grønland og Island ved 40, 30, 20, 10 og 0 Ma (millioner år) er angitt i gule felter. Aktive og inaktive spredningsaksler er vist med hele og stiplede linjer. De aktive riftsonene på Island er vist ved individuelle sprekkesvermer i gul farge. RR, Reykjanes-ryggen; KR, Kolbeinsey-ryggen; ÆR, Aegir-ryggen (inaktiv etter ca. 25 Ma); GF, Grønland-Færø-ryggen; IP, Islandsplataet. Havdypkonturene har ekvidistanse på 500 m. Kartgrunnlag fra J.C. MacLennan (2000, Ph.D.-thesis, University of Cambridge).

sert i paleozoikum. Søylematerialet er trolig også forurenset med helium fra jordas ytre kjerne.

### Tre aktive riftsoner

Dagens situasjon med restene etter to forlatte riftsoner i nordvest-Island og et forgrenet system av

tre aktive riftsoner (NR, ØR, VR) er vist på de to kartene. Søylestrømmens posisjon i dag faller sammen med Vatnajökull i Sørøst-Island. Forbindelsen mellom de aktive riftsonene og spredningsaksene sør og nord for Island (Reykjanes- og Kolbeinseyryggene) blir opprettholdt gjennom side-

lengsbevegelser i to store bruddsoner med høy jordskjelvaktivitet.

Den høyrelaterale Tjörnes bruddsonen i nord omfatter flere NV-gående parallelle seismiske linjer. Grimseysonen lengst i nord og Husavik-sonen 40 km lenger sør har stor seismisk aktivitet, mens Dalviksonen ytterligere 35 km mot sør er mindre aktiv.

Den venstrelaterale sørislandske bruddsonen er et resultat av ny spredningsaktivitet langs den Østlige riftsonen så langt sør som til Hekla og Torfajökull, samtidig som aktiviteten i den Vestlige riftsonen har minket. Selv om det regionale stressfeltet her er venstrelateralt og Ø-V-rettet, foregår jordskjelvene ved brudd langs N-S-gående høyrelaterale forkastninger. De to store jordskjelvene i juni 2000 foregikk slik. Skissen ved siden av kartet over Island viser prinsippet for denne bokhylle-tektonikken.

Foruten de tre aktive riftsonene med ca. 19 vulkansystemer som produserer tholeiittiske magma, finnes tre vulkanske flankesoner som produserer svakt alkaline og alkaline-tholeiittiske overgangsmelter fra 13 vulkansystemer. De aktive riftsonene er omtrent 50 km brede og omfatter 3-4 delvis parallelle vulkansystemer. Hvert av disse har et vulkansk sentralområde og en tilhørende sprekke- og gangsverm med 5-15 km bredde og opptil 200 km lengde. De vulkanske flankesonesystemene har lite utviklete eller ingen sprekkesvermer. Vulkansystemene kan utvikle sentralvulkaner med ryolittiske utbrudd og kalderaer over tid. Vulkansentrene har også intens jordvarme og varmtvannsomvandling av bergartene.

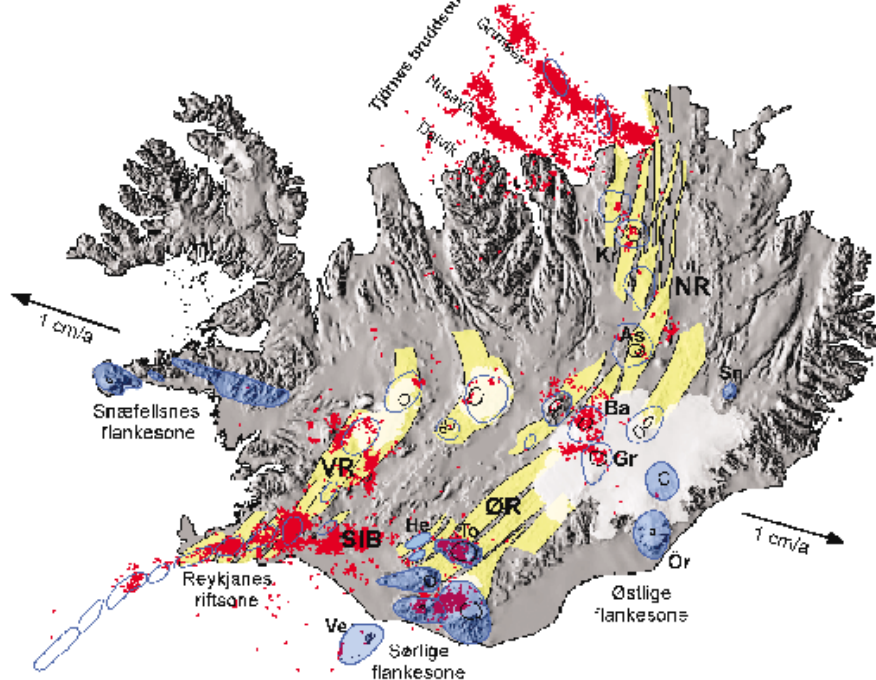


## De vulkanske produktene

Ved subglasial sprekkevulkanisme produseres rygger av hyaloklastittmateriale (putelava, putebreksje og hyaloklastitt-tuff). Dersom utbruddene skjer fra et sentralt subglasialt krater, vil det bygges opp et fjell av hyaloklastittmateriale. Når slike fjell bygges opp over isoverflaten eller smeltevannsoverflaten, kan de bli overlageret av lavastrømmer. Hyaloklastittfjell dekket av en horisontal lavapakke har bratte sider, og kalles bordfjell (se bildet).

Gangsvermene leverer basaltiske smelter med moderat og relativt konstant differensieringsgrad. Vulkansentrene derimot produserer et større spektrum av sammensetninger, inkludert ryolitter. Mellom vulkansystemene i riftsonene finnes det også små og store skjoldvulkaner som produserer meget primitive lavaer. Lavaskjoldaktiviteten har overveidende vært kortvarig og intens og foregikk hovedsakelig like etter isavsmeltingen(e), med en sterk alderskonsentrasjon rundt 9-10.000 BP. Det antas at selv de største monogenetiske skjoldvulkanene med volum som overstiger 10 km<sup>3</sup> ble til i løpet av meget korte perioder, sannsynligvis mindre enn 100 år. Tidsskalaen for utviklingen av et vanlig riftsone-vulkan-system er 0.5-2 Ma.

Vulkanismen i flankesonene er henholdsvis forløper til og avslutning av den tholeiittiske riftsonevulkanismen. De østlige (fra Öræfajökull til Snæfell) og vestlige (Snæfellsnes-halvøya) flankesonene representerer henholdsvis begynnende og avsluttende alkaline vulkanisme. Den sørlige flankesonen (fra Torfajökull til Vestmannaeyjar) er en propagerende rift som er i ferd med å etablere seg i den sørlige forlengelsen av den østli-



*Tettonovulkansk kart over Island. Små røde kryss viser episentrene til de ca. 25.000 største og best lokaliserte jordskjelvene i perioden 1994-2000 (fra Gunnar Guðmundsson, Veiðurstofa Íslands). Vulkansystemene i riftsonene: vulkansentre og kalderaer er omgitt av blå og svarte linjer. Sprekke- og gangsvermene er i gul farge. Vulkansentrene i flankesonene har lys blå fargefyll. Tilleggsfiguren viser prinsippet for bokhylletektonikken langs den sørislandske bruddsonen.*

*Kartografi: Rósa Ólafsdóttir*

ge riftsonen. Aktiviteten i de alkaline flankesonene på Island svarer til de tidlige og sene stadiene med alkaline vulkanisme før og etter hovedstadiet med oppbygning av store tholeiittiske skjoldvulkaner på Hawaii.

### Løftende mantel, vulkaner og is

Islandsplataet er et stort grunnhav rundt hele Island som står 2500 m høyere enn dyphavet omkring (se kartet). Plataet skyldes den dynamiske løfteeffekten til lett og varmt materiale som stiger i den vertikale mantelsøylen. De grunne havområdene fra Grønland til Færøyene skyldes tykk skorpe, og beltet

med høy skorpetykkelse langs GF-ryggen er mye smalere enn Islandsplataet.

Det høyeste området på Island er Vatnajökull-området. Her finner vi også den største skorpetykkelsen på opptil 45 km. Den gjennomsnittlige skorpetykkelsen er 25-30 km, med et minimum på 15-20 km på Reykjaneshalvøya. Den tykke skorpen under Vatnajökull er trolig et resultat av høy vulkansk produktivitet over selve Islandssøylen.

Isbreer som dekker aktive vulkaner vil i seg selv bidra til raskt økende topografi. Dette skyldes at subglasiale utbrudd produserer høye rygger og fjell av hyaloklastisk materiale (putelava,

*Utsikt fra Askja-området til det store bordfjellet Herðubreið. De svarte lavastrømmene i forgrunnen er 1961-lavaen som har rent ut av Askja-kalderaen. Snødekte Herðubreið (1682 m o.h) reiser seg mer enn 1000 m over det flate høylandet i den nordlige riftsonen og er synlig over store deler av nordøst-Island. Fjellet er bygget mot slutten av siste istid. Den nederste delen som omfatter ryggen lengst til høyre, består av putelava og hyaloklastitt-tuff avsatt i en bredemt sjø. Dette er overlageret av lavastrømmer avsatt over vannflaten. Den øverste delen ble til under den siste klimaforverringen med en istykkelse på 1 km og består av enda en sekvens av pute-lava og tuff med en liten skjoldvulkan på toppen.*

*Foto: Erik Sturkell.*

## Skorpen synker og smelter

De ca. 50 km brede riftsonene med 2-4 parallelle vulkansystemer blir stadig dekket med nye lavastrømmer og hyaloklastittfjell. I forhold til den lave spredningshastigheten på 10 km/Ma (1 cm/a) i hver retning er produksjonen av vulkansk materiale som blir pålagt overflaten meget høy. Den tynne og svake litosfæren fører til at jordskorpen synker i takt med den vulkanske pålagringen.

Skissen viser skjematisk prinsippet for den såkalte Palmason-modellen for den islandske riftsonedynamikken. De vulkanske produktene som ligger godt innenfor riftsonene, vil raskt pålagres og gradvis forsvinne i dypet. Store og lange lavastrømmer som renner utenfor eller nær riftsonenes grenser vil forbli på overflaten når den unge jordskorpen sakte driver bort fra riftsonene med en hastighet på 10 km/Ma. Samtidig vil pålagringsvekten og innsykningen i riftsonene bøye den vulkanske lagpakken slik at den heller inn mot de aktive eller de forlatte riftsonene. De tertiære lavapakken som er eksponert øst og vest for de aktive riftsonene har gode dybdesnitt langs isbre-skulpturerte dalsider. Snittene viser at lavaenheter heller litt innover mot riftsonene og at lagene øker i tykkelse i retning mot riftsonene (se foto fra Breiðdalsvík).

De synkende vulkanske lagene i riftsonen inneholder grunnvannsprekker og porevann i tillegg til hydrert hyaloklastittmateriale og store sentralvulkaner med intens varmtvannsomvandling. Når lagene beveger seg nedover i den varme skorpen, vil de gjennomgå gradvis metamorfose via zeolitt-, grønnskifer- og amfibolittfacies. Der innsykningen er stor (nær midten av riftsonene) vil grønnsteiner og amfibolitter bli utsatt for delvis oppsmelting med ryolittiske smelter som resultat. Disse prosessene, som i liten grad foregår langs normale midthavsrygger og på vulkanske havøyer som Hawaii, forklarer det store innslaget av ryolitt på Island. Betingelsen for slike innsynkingsprosesser langs en spredningsakse er høy vulkansk produksjon i kombinasjon med lav spredningshastighet. Dagens normale midthavsrygger har for lav vulkansk produktivitet, men det er sannsynlig at en tilsvarende Islands-dynamikk var vanlig i jordas tidlige historie. Grønnsteinsbeltene som er meget utbredte i arkeiske og tidlig-proterozoiske kontinentkjerner, har mange trekk som kan forklares ved oppsmelting av metamorfe basalter i et tilsvarende geologisk miljø.

putebreksje og tuffavsetninger) med liten horisontal utstrekning, i motsetning til subaerile utbrudd som produserer reaktivt tynne lavastrømmer eller askelag med stor utbredelse. De høytliggende områdene under de fire store breene i den sørlige delen av Island, og spesielt under Vatnajökull, er således preget av akselerert vekst i forhold til landområdene i nærheten gjennom en periode på over 3 Ma med minst 16 vekslinger mellom istid og mellomistid. Etterhvert som disse områdene ble så høye at iskappene kunne overleve gjennom størsteparten av en mellomistid, vokste områdene i høyden, raskere enn andre produktive områder innenfor de vulkanske sonene.

## Trykkavlastning og smelting i mantelen

Den varme og lette mantelen under Island stiger sakte oppover på samme måte som en isbre siger nedover langs en dal. Mantelstrømmen henger delvis sammen med bevegelsen i selve søylestrømmen, men skyldes også at litosfæreplattene skiller lag, slik at varm peridotitt (astenosfære) stiger opp og fyller åpningen mellom plattene.

Den varme peridotitten som stiger oppover smelter gradvis fordi trykket blir mindre. Den indre varmen bevares men temperaturen synker litt i takt med trykkavlastningen (adiabatisk gradient). Smeltepunktet synker imidlertid mer enn den adiabatiske gradienten. Smeltene er anrikt i de fleste grunn-

stoffer, men er fattige på magnesium, i forhold til den peridotitten som smelter. Ved kontinuerlig smelting og fjerning av smelten fra mantelperidotitten blir restmaterialet og dermed også de siste smeltefraksjonene anrikt på magnesium. Periodene med isavsmelting er preget av intens vulkanisme med utbrudd av slike magnesium-rike lavaer.

## Isavsmelting gir intens vulkanisme

Isavsmeltingen og den påfølgende landhevingen i Island ved slutten av siste istid var fullført i løpet av et kort tidsrom på omtrent 1000 år. Dette viser at mantelen flyter mye lettere under Island enn under kontinentene (viskositeten er minst 10 ganger lavere).

Når innlandsisen smelter, fører trykkavlastningen i den varme mantelen til akselerert smelting og intens vulkanisme. Vulkanismen, målt i volum av utbruddsprodukter per år, var under og like etter avsmeltingen ca. 30 ganger mer intens enn dagens vulkanisme, som også svarer til den stasjonære vulkanismen i andre mellomistider. Under maksimal nedising ble den vulkanske aktiviteten redusert til halvparten av dagens nivå.

Størsteparten av de holocene lavaskjoldene ble til umiddelbart etter isavsmeltingen. Langs riftsonene finnes også tilsvarende skjoldvulkaner fra siste mellomistid (eem). Graden av oppsmelting i mantelen var maksimal under og like etter isavsmeltingen, og de mest magne-



Lavautbrudd fra sprekkese i Krafla-området, 1977, utsikt mot nord. Legg merke til den ca. 10 km lange aktive sprekkese og segmentet med sammenhengende lavafontener og brede lavastrømmer midt på bildet. Tydelige normalforkastninger kan sees til venstre og i forgrunnen.

sium-rike utbruddsproduktene stammer fra slike trykkavlastningsperioder. Andelen av ryolitter og magnesium-fattige basalter, derimot, er størst i perioder med tykt isdekke. Disse bergartstypene opptrer i første rekke innenfor sentralområdene i de vulkanske systemene.

Du kan lese mer om Islands geologi og vulkaner i:

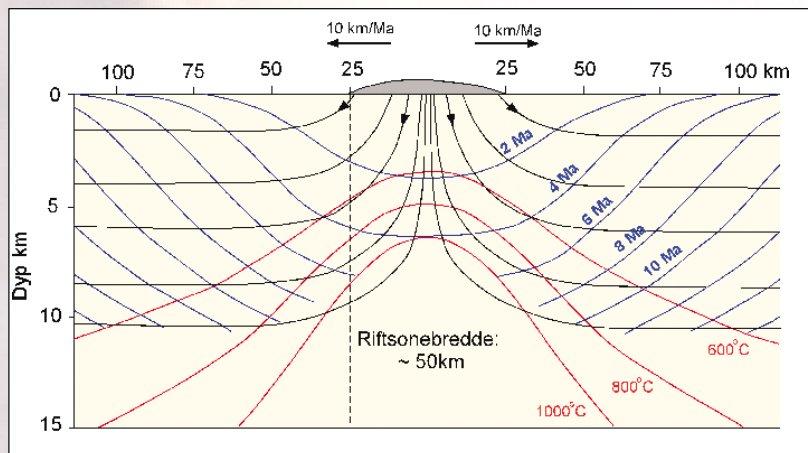
Þorleifur Einarsson: *Geology of Iceland. Rocks and Landscape*. 309 s., Mál og menning. Reykjavík, 1994.

Ari Trausti Guðmundsson, 1996: *Volcanoes in Iceland*, 136 s., Vaka-Helgafell, Reykjavík

Hjemmeside, Nordisk Vulkanologisk Institutt: <http://norvol.hi.is/>



Utsikt til iserodert fjordside med lavaenheter som heller vestover og innover mot den aktive riftsonen. Bildet er fra Breiðdalsvík, øst-Island. Foto: Reidar Trønnes.



Forenklet modell for Islandsk riftsonedynamikk (Palmasson-modellen). De svarte, blå, og røde linjene viser massestrøm, alderskoter (Ma) og temperaturkoter (°C). Under sentrale deler av riftsonen begynner delvis oppsmelting av hydrert basalt på ca. 5 km dyp ved 700-800 °C.

## Ordforklaringer

**Adiabatisk gradient** er sammenhengen mellom trykkavlastning og temperaturfall i et materiale som ikke utveksler varme med omgivelsene.

**Basalt** er en lavabergart fra en tyntflytende smelte med ca. 50% SiO<sub>2</sub> og 5-15% MgO. De viktigste mineralene er plagioklas, klinopyrokсен og olivin. Alkaline basalter har høyere innhold av grunnstoffer som Na, K, Ti og P enn tholeiittiske basalter.

**Hyaloklastitt** er en bergart som består av glassfragmenter. Fragmenteringen foregår ved eksplosiv kontakt mellom vann (f.eks subglasialt smeltvann eller havvann) og smelte. Hyaloklastitt-materiale omfatter både aske og tuff (<2mm), samt større fragmenter i form av putebruddstykker (putebreksje) eller puter (putelava).

**Kaldera** er et nesten sirkulært eller elliptisk innsunken område, oftest 2-25 km i diameter. Innsinkingen skjer fordi et underliggende magmakammer tømmes ved vulkanutbrudd.

**Peridotitt** er en bergart med 45% SiO<sub>2</sub> og 38% MgO og olivin og pyrokсен som hovedmineraler. Jordas mantel har overveiende peridotittisk sammensetning.

**Ryolitt** er en lavabergart fra en tyktflytende smelte med ca. 70 % SiO<sub>2</sub> og <1% MgO, med kvarts og alkalifeltspat som dominerende mineraler.

**Skoria** er biter (>2mm i diameter) av porøst basaltisk glass som størkner under fall fra lavafontener