

Dypt begravet kontinental jordskorpe under SØ-Island

R.G. Trønnes, Centre for Earth Evolution and Dynamics and Natural History Museum, Univ. of Oslo
<http://forskning.no/blogg/reidar-g-tronnes-blogg/dypt-begravet-kontinental-jordskorpe-under-so-island>

Island og det omliggende grunne Islandsplatået har tykk oseaanisk jordskorpe, bygd opp av unge magmatiske bergarter. Den tykke lagpakken, dominert av basaltiske lavaer, skyldes intens vulkanisme på Island knyttet til en vertikal strøm (søylestrøm) av faste, men varme, bergarter fra den nederste delen av Jordas mantel (ca. 2900 km dyp). Disse bergartene gjennomgår delvis oppsmelting nær overflaten, som følge av trykkavlastning. I en artikkel i *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* presenterer Torsvik et al. (2015) ulike data som tyder på at kontinental jordskorpe fra den ytre delen av Grønland's kontinentthylle ligger begravet under den unge basaltiske lagpakken i kystområdene på SØ-Island.

Da nordøst-Atlanteren begynte å åpne seg med havbunnsbredning for 55 millioner år siden (55 Ma), foregikk spredningen langs Ægir- og Reykjanes-ryggene henholdsvis NØ og SV for Island. Som vist i Fig. 1 danner disse to ryggene sammen en S-form. Den dype søylestrømmen (Island-søylen) lå under de østlige kystområdene på Grønland fram til ca. 30 Ma (Fig. 2), men platespredningen førte til at Grønland beveget seg mot NV i forhold til den tilnærmet stasjonære søylen. Bevegelsen av Grønland's østlige kontinentthylle over mantelsøylen førte til nye strekkspenninger og en ny periode med oppsprekking og rifting (Fig. 2). Den nye riften splittet den ytre delen av kontinentthylla fra SV mot NØ og flyttet det langstrakte Jan Mayen mikrokontinentet (JMM) ut fra kysten. Havbunnsbredningen fortsatte langs den nye Kolbeinsey-ryggen. Fra 30 Ma til i dag har den stasjonære Island-søylen ligget i nærheten av JMM som nå ligger midt i NØ-Atlanteren. Grensen mellom den Eurasiske og den Nord-Amerikanske platen, som i dag går langs Reykjanes- og Kolbeinsey-ryggene, forflytter seg mot NV i forhold til søylestrømmen under SØ-Island. Dette gjør at riftsonene på Island forflytter seg mot SØ for å holde seg nær den varme strømmen (Fig. 3 og 4).

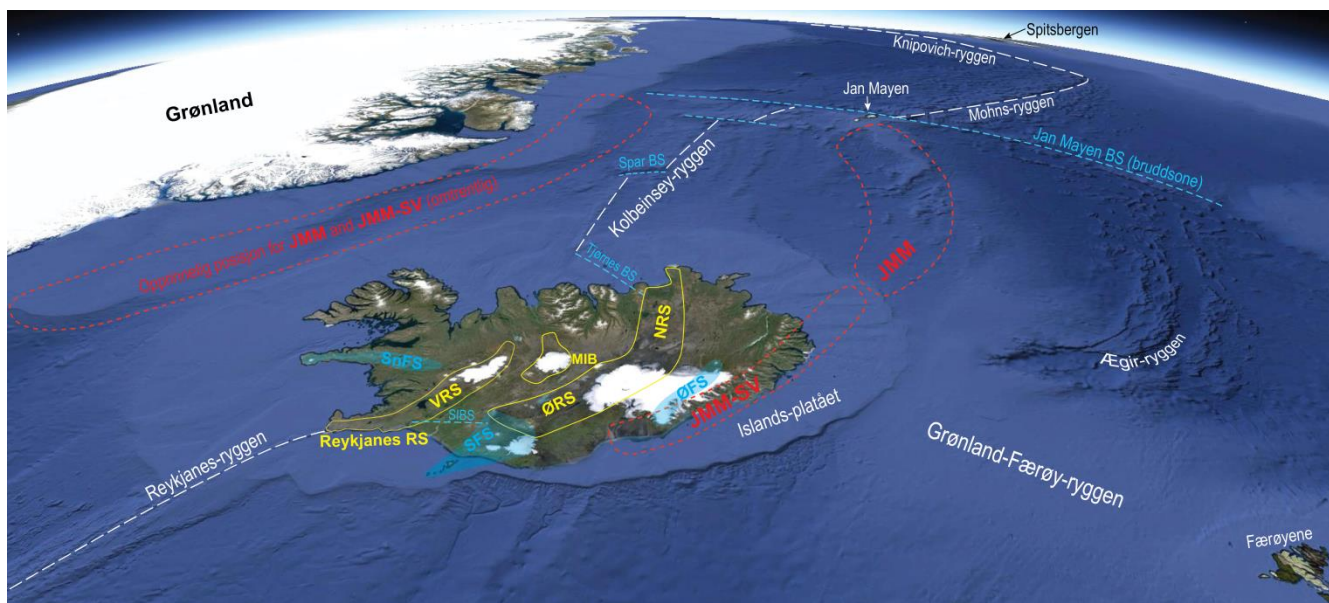


Fig. 1. NØ-Atlanteren med Grønland, Spitsbergen, Jan Mayen, Færøyene og Island (skrå utsikt mot nord, Google Earth). Aktive spredningsaksler og tverrgående bruddsoner er vist med hhv. hvite og blå stiplede linjer. Ægir-ryggen i Norskehavet var aktiv frem til ca. 27 Ma (d.v.s for 27 millioner år siden). Etter 27 Ma foregikk spredningen nord for Island langs Kolbeinsey-ryggen som opprinnelig ble til ved rifting og splitting av den ytre delen av kontinentthylla utenfor Øst-Grønland (Fig. 2). De utsplittede delene, Jan Mayen mikrokontinent (JMM) og den sørvestlige forlengelsen av dette (JMM-SV) danner nå et belte mellom Jan Mayen og SØ-Island. Ved hjelp av seismiske data kan en tydelig identifisere den kontinentale jordskorpen i JMM. Under Islandsplatået, derimot, har det foreløpig ikke vært mulig å fastslå tilstedeværelse av kontinental jordskorpe ved seismiske metoder. JMM-SV er derfor antatt på grunnlag av tyngdefelt-variasjoner og geokjemiske indikasjoner. Det er mulig at JMM-SV består av usammenhengende og tynne fragmenter av kontinental skorpe, delvis fordi JMM-SV kan ha blitt splittet og forstrukket under senere rift-hopp (ved 24, 15, 7 og 2 Ma), og delvis p.g.a. konvektiv erosjon og deloppsmelting i tilknytning til søylestrømmen (Fig. 3). De Islandske riftsonene (RS) er vist i gul farge. VRS, ØRS, NRS: Vestlige, Østlige og Nordlige riftsone. MIB: Midt-Islandske belte. Flankesonene (FS) har blå farge: SnFS, SFS, ØFS: Snæfellsnes, Sørilige og Østlige flankesone. Bruddsone (BS) er karakterisert ved sidelengs-forkastninger. SIBS: Sør-Islandske bruddsone.

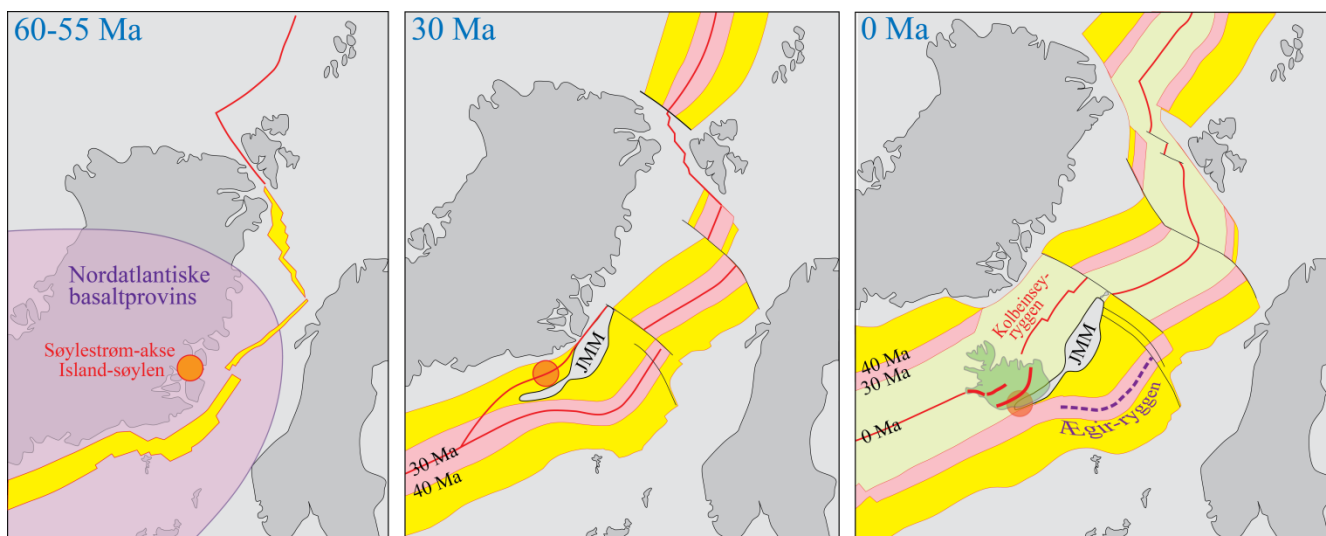


Fig. 2. Skjematisk og omtrentlig utvikling av NØ-Atlanteren, basert på Torsvik et al. (2015). **60 Ma:** Oppsamling av store mengder med varme og lette steinmasser i den øverste delen av mantelen. Massene ble tilført gjennom søylestrøm-kanalen til den unge Islandssøylen, brente seg ut over et område på ca. 2000 km i diameter mellom Baffin Island, Lofoten og Irland og gjennomgikk betydelig oppsmelting som førte til dannelsen av den Nordatlantiske basaltprovinsen. **55 Ma:** Rift-dannelse og begynnende havbunnsbredning øst for Grønland. Spredningen foregikk langs Reykjanes- og Ægir-ryggene fram til ca. 30 Ma. Ved 45 Ma ble det åpnet en ny rift fra SV mot NØ som splittet av den ytre delen av Grønland's kontinentthylle. Denne lange og smale kontinentstripen kalles Jan Mayen mikrokontinent (JMM). **30-0 Ma:** Havbunnsbredningen døde ut langs Ægir-ryggen og fortsatte langs den nye Kolbeinsey-ryggen frem til i dag. Den sørvestligste delen av JMM har tilsynelatende ligget like ved den varme Island-søylen og ganske nær østflanken til de Islandske riftsonene gjennom de siste 30 Ma (se også Fig. 4).

Geokjemiske og geofysiske indikasjoner på kontinental skorpe under SØ-Island

Sentralvulkanene Öraefajökull og Snæfell i den Østlige flankesonen (ØFS, se Fig. 3) har en unik isotop-geokjemisk sammensetning som skiller seg fra andre bergarter på Island og i NØ-Atlanteren. De eneste andre basaltene som viser svake tegn til denne unike isotop-sammensetningen finnes i den nærliggende Østlige riftsonen (ØRS, Fig. 3). I tidligere studier er denne litt gåtefulle sammensetningen tilskrevet resirkulerte kontinentale sedimenter som har sunket ned i mantelen med subduserte havbunnsplater og brakt opp til overflaten med søylestrømmer, f.eks. Island-søylen. Den kjemiske komponenten fra slike resirkulerte kontinentale sedimenter betegnes som EM2 (Enriched Mantle - 2).

Vi kan ikke utelukke at den geokjemiske signaturen i ØFS- og ØRS-basaltene skyldes en EM2-komponent, men modellen til Torsvik et al. (2015), som innebærer at et dyptliggende fragment av JMM under Öraefajökull-området forurenses de "ordinære" mantel-smeltene, har flere fortrinn. En slik lokal kilde kan lettere forklare at den unike geokjemiske signaturen er tydelig kun i ØFS-basaltene og svakere i de mest anrikede ØRS-basaltene og fraværende fra ØRS-basalter dannet ved stor grad av oppsmelting. JMM kan observeres i de seismiske dataene fra NØ-grensen av Islandsplatået og videre nordover langs Jan Mayen-ryggen mot selve Jan Mayen. Tilstedeværelse av en sørvestlig utløper av JMM (JMM-SV) er hittil ikke påvist seismologisk under SØ-Island eller Islandsplatået fordi tykke lagpakker av unge basalter vil "kaste sterke skygger" over slike kontinentalskorpe-rester. Det er mulig at seismiske undersøkelser med bedre oppløsning vil kunne avsløre det foreslåtte JMM-SV i fremtiden. Den meget tykke skorpen langs SØ-kysten av Island (Kumar et al. ; Torsvik et al. 2015) er imidlertid en indikasjon på en uvanlig skorpestruktur i dette området. Dessuten gir rekonstruksjonen av de NØ-Atlanteren med platebevegelser tilbake til åpningsfasen ved 55 Ma god støtte til et JMM-SV.

Vi har modellert utviklingen av isotopforholdene for grunnstoffene Sr, Pb og Nd i basaltene i ØFS, ØRS med forurensing fra ulike kontinentale skorpekomponenter (Torsvik et al. 2015). Utgangspunktet for den kontinentale forurensingen var vanlige riftsone-smelter fra sentralvulkanen Hofsjökull i det Midt-Islandske beltet (MIB). Disse modellene viser at forurensing med små mengder kontinentalt materiale er tilstrekkelig for å anrike ØFS-basaltene i radiogent Sr og Pb til de observerte isotopforholdene. De ment anrikede basaltene i ØRS og sentralvulkanene Öraefajökull og Snæfell svarer til henholdsvis 1-2%, 2-4% og 3-6% kontinentalt materiale.

Dypt begravet Jan Mayen Mikrokontinent (JMM-SV)

Den unike isotopkjemiske signaturen i Öraefajökull sentralvulkan er homogen over hele spennet av bergartstyper, fra basalt til rhyolitt (Prestvik et al 2001). Dette tyder på at forurensingen fra kontinental skorpe har foregått under smelteutviklingen nær skorpe-mantel-overgangen (Moho), før de primitive basalt-smeltene utviklet seg

videre til hawaitter, mugearitter, benmoreitter og rhyolitter, hovedsakelig ved fraksjonert krystallisasjon. For å muliggjøre denne dype kontinent-forurensingen må JMM-SV være helt nederst i den tykke skorpen ved SØ-kysten av Island (Fig. 4).

De skjematiske NV-SØ-gående snittene gjennom den Islandske skorpen i Fig. 4 illustrerer mekanismen som er ansvarlig for den dype begravningen av kontinentsskorpe under SØ-Island. Vi må da anta at JMM-SV har vært relativt nær østgrensen av de aktive riftsonene gjennom de siste 30-24 Ma (Fig. 2 og 3). Fordi den NØ-Atlantiske plategrensen, representert ved Reykjanes- og Kolbeinsey-ryggene har drevet sakte mot NV i forhold til den stasjonære søylestrømmen, har riftsonene på Island hoppet østover med mellomrom på 5-9 Ma: ved 24, 15, 7, og 2 Ma (Fig. 3 og Harðarson et al., 2008). Disse hoppene har ført til at JMM-SV kunne ligge under de østlige flankesonene i lange perioder (Fig. 4). Pålagringen med flankesone-basalter, i tillegg til store lavastrømmer som har rent ut fra riftsonene, kan dermed ha muliggjort den dype begravningen.

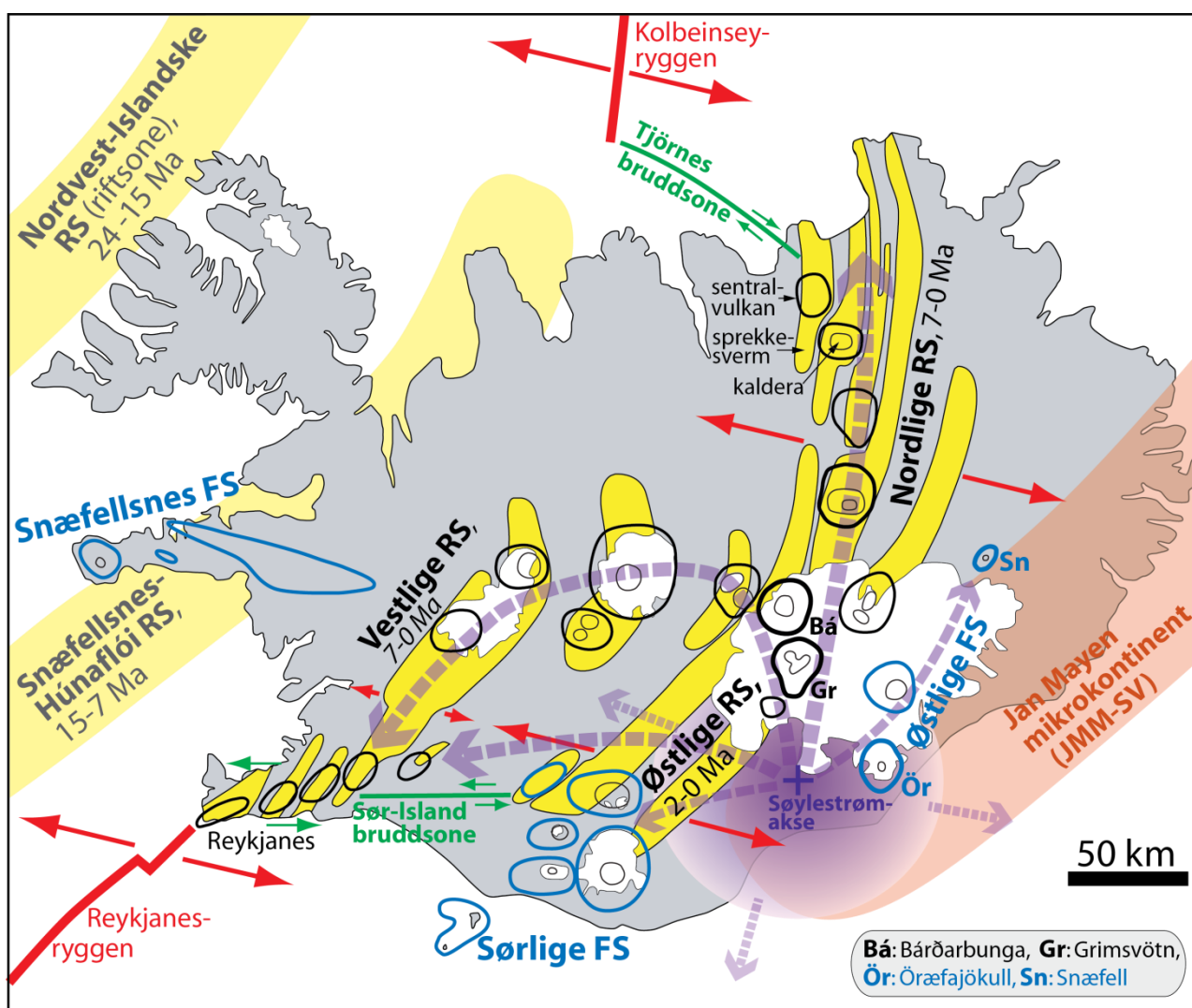


Fig. 3. De Islandske riftsonene og flankesonene med vulkansystemer. Røde piler viser platebevegelsene. Vulkan-systemene i riftsonene består av sentralvulkaner (tykke svarte ringe) og sprekkesvermer (gule felter). Flankesone-systemene (sentralvulkaner markert med blå ringe) har i liten grad utviklet sprekkesvermer. Noen av sentralvulkanene har også en eller flere sentrale innsynkningområder, såkalte kalderaer. Vulkan-systemene er basert på Jóhannesson & Sæmundsson (1998) og Þórðarson & Höskuldsson (2008). Kartet viser også de tidligere riftsonene: Nordvest-Islandske RS (aktiv: 24-15 Ma) og Snæfellsnes-Húnaflói RS (aktiv 15-7 Ma). Den omtrentlig utbredelse av den sørvestlige delen av Jan Mayen mikrokontinent (JMM-SV) og den islandske søylestrøm-aksen (Shorttle et al., 2010). Når overflaten vil materialet i den dype, nær vertikale søylestrømmen bli avbøyd i horisontal retning ut fra sentralområdet. Mesteparten av materialet vil bli avbøyd mot de aktive riftsonene der det foregår plateseparasjon, delvis oppsmelting og magma-tilførsel til overflaten. Disse laterale (nær horisontale) strømmene ut fra sentralområdet er vist med delvis transparente tykke og stiplede pilene. De to svært aktive sentralvulkanene Bárðarbunga og Grimsvötn 50-70 km nord for søylestrøm-aksen er uthevet på kartet. Oppsmelting og vulkansk produktivitet er høyest her. Dette fører til ekstra tykk skorpe, og ulike geofysiske studier har også konkludert med at søylestrøm-aksen ligger i Bárðarbunga-Grimsvötn-området. Trønnes & Torsvik (2015), derimot, påpeker at en søylestrøm-akse som vist i figuren er i full overensstemmelse med stor lokal oppstrømming og smelting i den øvre mantelen under Grimsvötn og Bárðarbunga .

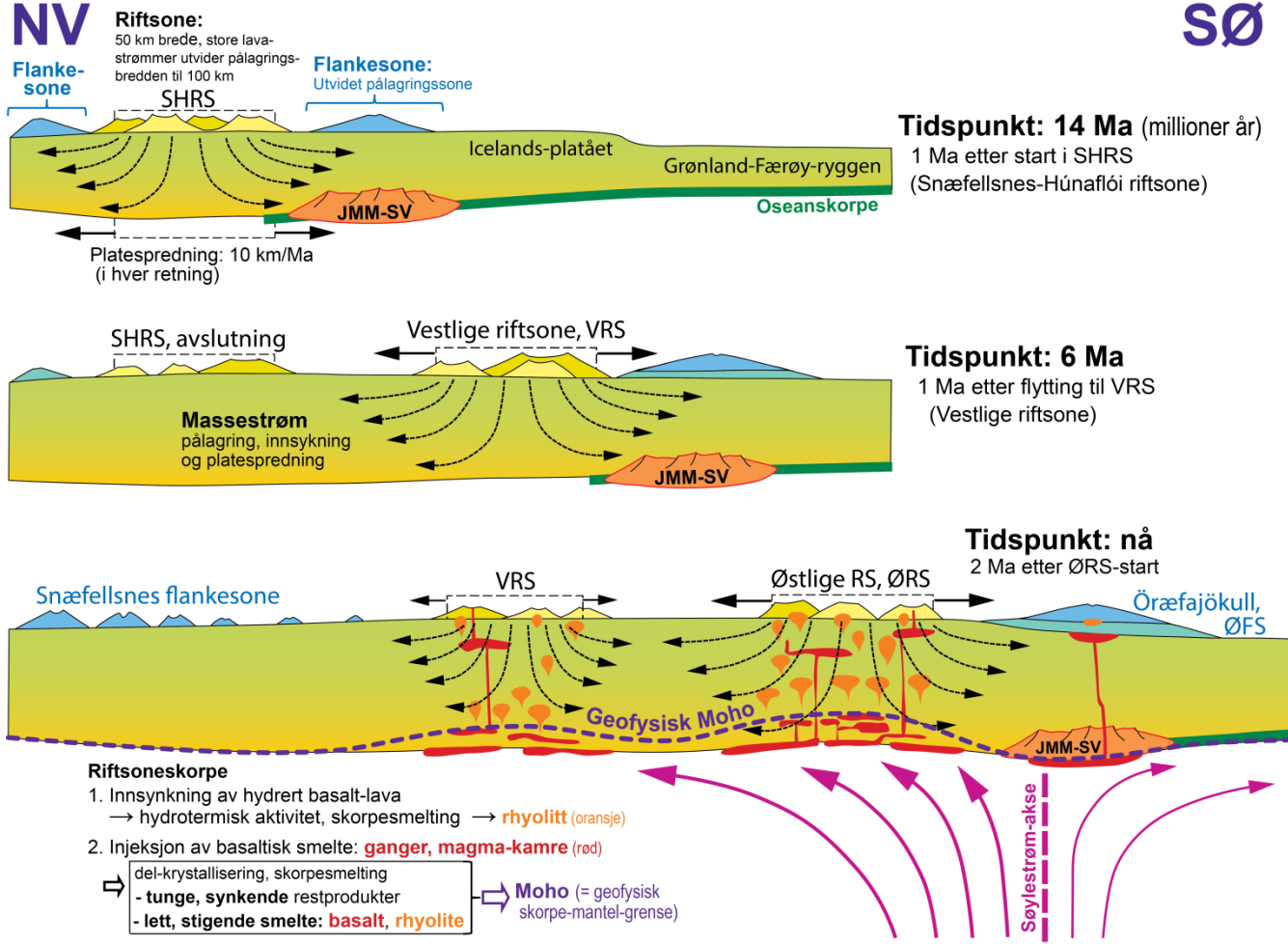


Fig 4. Forenklete og skjematiske snitt i retning NV-SØ gjennom den Islandske jordskorpen ved tre ulike tidspunkt: 14 Ma, 6 Ma og 0 Ma. Basert på Torsvik et al. (2015). Snittene viser hvordan den sørvestlige delen av Jan Mayen mikrokontinent (JMM-SV) blir begravd under en tykk lavapakke. Den NØ-Atlantiske plategrense driver sakte mot NV i forhold til den mer stasjonære søylestrømmen. Derfor må de Islandske riftsonene flytte seg (hoppe) mot SØ for å holde seg nær søylestrøm-aksen. Disse hoppene skjedde ved ca. 24, 15, 7 og 2 Ma og medførte at JMM-SV kunne opprettholde sin posisjon nær østgrensene til de aktive riftsonene. Dette førte til stadig pålagring av basaltiske lavastrømmer over mikrokontinentet (JMM-SV). Det nederste figurpanelet viser dagens situasjon (2 Ma etter åpningen av den Østlige riftsonen) med Öræfajökull i den Østlige flanquesonen, i tillegg til søylestrøm-aksen og den geofysiske observerte skorpe-mantel-grensen (Moho). Som vist i figuren utvikles Moho inder Island i stor grad som et resultat av separasjon av lette smelter som stiger og tyngre restprodukter som synker.

Lokalisering av søylestrøm-aksen

Shorttle et al. (2010) beregnet en ny posisjon for sentralaksen i den varme Island-søylen (Fig. 2-4), som ligger 50-70 km sør for de posisjonene som er foreslått i de fleste tidligere geofysiske arbeider (se referanser i Shorttle et al. 2010). Den "nye" posisjonen for søylestrøm-aksen er i overensstemmelse med spredningen av den kontinentale forurensingen mot N og NV i ØRS. En enkel forklaring på avviket mellom den sørlige posisjonen for søylestrøm-aksen og de tidligere foreslåtte posisjonene i området til sentralvulkanene Bárðarbunga og Grimsvötn, er at disse to svært produktive vulkanene er preget av stor oppsmelting og lave seismiske hastigheter i den øvre mantelen nær overgangen fra ØRS til den Nordlige riftsonen (NRS, Fig. 3). Trønnes & Torsvik (2015) påpeker at en søylestrøm-akse som vist i Figurene 2 og 3 er i overensstemmelse med sterk lokal oppstrømning i dette området.

Geofysiske og geokjemiske undersøkelser med forbedret oppløsning vil øke vår innsikt i samspillet mellom den sterke Islandske søylestrømmen og plategrensen i NØ-Atlanteren. Jones et al. (2014) har nylig påpekt at Island-søylen trolig er Jordas kraftigste søylestrøm med en fluks på 40-60 km³/år, som er 4-10 ganger så stor som under Hawaii. Utvidete isotopgeokjemiske studier med forbedret nøyaktighet og presisjon for å kartlegge utbredelsen av den unike kontinentale signaturen i ØFS og i større områder i ØRS, NRS og SFS, og dessuten i litt eldre, basalter i de sentrale til sørøstlige delene av Island, kan gi ny og forbedret innsikt.

References

- Jones, S.M. *et al.*, 2014: A joint geochemical–geophysical record of time-dependent mantle convection south of Iceland. *Earth Planet. Sci. Lett.* 386, 86-97.
- Jóhannesson and Sæmundsson, 1998: Geological map of Iceland, 1:500.000. Tectonics. Icelandic Institute of Natural History and Iceland Geodetic Survey, Reykjavík
- Kumar et al. 2007: Crustal structure of Iceland and Greenland from receiver function studies. *J. Geophys. Res.* 112, B03301.
- Prestvik et al. 2001: Anomalous strontium and lead isotope signatures in the off-rift Öraefajökull central volcano in south-east Iceland. Evidence for enriched endmember(s) of the Iceland mantle plume? *Earth Planet. Sci. Lett.* 190, 211-220
- Þórðarson and Höskuldsson, 2008: Postglacial volcanism in Iceland. *Jökull* 58, 197-228
- Shorttle et al. 2010: Control of the symmetry of plume - ridge interaction by spreading ridge geometry. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 11, Q0AC05
- Sigmundsson et al. 2014: Segmented lateral dyke growth in a rifting event at Bárðarbunga volcanic system, Iceland. *Nature* 517, 191-195
- Torsvik et al. 2015: Continental crust beneath southeast Iceland. *Proc. Natl. Acad. Sci.*
www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1423099112
- Trønnes & Torsvik, 2015: Dispersion of a continental crust component by the Iceland plume. Abstract, Goldschmidt Conf. *Mineral. Mag.*