

Bjarni Richter og Steinar Þór Guðlaugsson

Yfirlit um jarðfræði Jan Mayen- svæðisins og hugsanlegar kolvetnislindir

Unnið fyrir lónaðarráðuneytið

ÍSOR-2007/004

Janúar 2007

ISBN 978-9979-780-51-9

Skýrsla nr. ÍSOR-2007/004	Dags. Janúar 2007	Dreifing <input checked="" type="checkbox"/> Opín <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill Yfirlit um jarðfræði Jan Mayen svæðisins og hugsanlegar kolvetnislindir	Upplag 25	
	Fjöldi síðna 33	
Höfundar Bjarni Richter Steinar Þór Guðlaugsson	Verkefnisstjóri Bjarni Richter	
Gerð skýrslu / Verkstig	Verknúmer 503-203	
Unnið fyrir Iðnaðarráðuneytið		
Samvinnuaðilar		
Útdráttur Tilgangur þessarar skýrslu er að gefa yfirlit um jarðfræði Jan Mayen-hryggjarins, rekja tilurð hans og leggja mat á verðmæti er þar kunni að leynast í formi olíu og gass. Verkið er hluti af þeirri umhverfisskýrslu sem unnið er að ásamt fleiri stofnunum, og mun liggja fyrir sem gagn er notað verður í undirbúningi við leyfisveitingarferli til olíuleitar í nánustu framtíð. Farið er yfir myndunarsögu Jan Mayen-hryggjarins allt aftur á perm tímabilið. Gliðnun meginlandsins og opnun norðaustur Atlantshafsins og eldvirkni á rekhryggjum er lýst. Rakið er ferlið við myndun olíulinda í ljósi þess hvort slíkar myndanir kunni að finnast á Jan Mayen-svæðinu.		
Lykilorð Jan Mayen, olía, gas, olíulindir, olíugildir, landrek, gliðnun, norðaustur Atlantshaf	ISBN-númer 978-9979-780-51-9	
	Undirskrift verkefnisstjóra	
	Yfirfarið af KE, PI	

Efnisyfirlit

1 Inngangur	7
2 Jan Mayen-svæðið.....	7
3 Jarðfræði Jan Mayen-svæðisins	8
4 Olíulíkur á Jan Mayen-svæðinu	17
5 Heimildalisti/ritaskrá.....	28

Töflur

Tafla 1. Jarðsögutímatatal.	12
----------------------------------	----

Myndir

Mynd 1. Yfirlitsmynd af hafsbotni norðaustur Atlantshafs.	8
Mynd 2. Nákvæmara kort af Jan Mayen-hryggnum og hafsbotninum í kringum hann..	9
Mynd 3. Segulfrávik í norðaustur Atlantshafi.	11
Mynd 4. Opnunarsaga Grænlands-Noregs hafsins	11
Mynd 5. Dæmigert, einfaldað þversnið yfir Jan Mayen-hrygginn eins og hann sést í hljóðendurvarpsmælingum..	14
Mynd 6. Endursköpun sögu Jan Mayen-hryggjarinn (backstripping).	15
Mynd 7. Jarðhnikskort og útbreiðsla innskota og hraunlaga á Jan Mayen-svæðinu, unnið út frá hljóðendurvarpsmælingum.	16
Mynd 8. Yfirlit yfir hlutfall olíu- og gas-myndunar eftir hitastigi og auknum þroska lífrænna efna.....	17
Mynd 9. Dæmi um myndun olíugildra, hvelfing	21
Mynd 10. Jarðhnikskort og útbreiðsla innskota og hraunlaga.	26
Mynd 11. Syðri hluti Jan Mayen-svæðisins.	27

1 Inngangur

Tilgangur þessarar skýrslu er að gefa yfirlit um jarðfræði Jan Mayen-hryggjarins, rekja tilurð hans og leggja mat á það hvort þar kunni að leynast verðmæti í formi olíu og gass. Verkið er hluti af þeirri umhverfisskýrslu sem unnið er að ásamt fleiri stofnunum, og mun liggja fyrir sem gagn er notað verður í undirbúningi við leyfisveitingarferli til olíuleitar í nánustu framtíð.

Lista yfir heimildir sem notaðar hafa verið við gerð þessarar skýrslu má finna aftast og er þeim skipt niður eftir efni. Vitnað er í myndir sem fengnar eru annars staðar frá á hefðbundinn hátt. Að öðru leyti eru tilvitnanir ekki í texta skýrslunnar.

2 Jan Mayen-svæðið

Jan Mayen-hryggurinn er áberandi í norðaustur Atlantshafi og teygir sig frá Jan Mayen þverbrotabeltinu og allt að 500 km til suðurs. Nyrst er hann nokkuð vel afmarkaður í landslaginu, en verður heldur ógreinilegri er sunnar dregur.

Þessi hryggur á sér nokkuð langa jarðsögu og er ólíkur hafsbotninum í kring (mynd 1). Eyjan Jan Mayen situr á norðurenda hryggjarins, rúmlega 550 kílómetra norð-norð-austur af Íslandi. Eyjan liggur á 71 gráðu norðlægrar breiddar og 8 ½ gráðu vestlægrar lengdar. Er hún um 53 kílómetra löng og allt að 16 kílómetra breið. Flatarmál hennar er um 380 ferkílómetrar.

a. Eldri rannsóknir

Jan Mayen-hryggurinn hefur verið kannaður nokkuð ítarlega í samanburði við önnur hafsvæði í kring. Margar þjóðir hafa komið að þessum rannsóknum. Á sjöunda áratug síðustu aldar voru m.a. gerðar víðtækar einrása hljóðendurvarpsmælingar og segulmælingar yfir hryggnum. Á áttunda áratugnum var síðan meira um að fjölrása hljóðendurvarpsmælingar væru gerðar yfir Jan Mayen-hrygginn og hafsbotninn í kring. Komu margar háskólastofnanir að því.

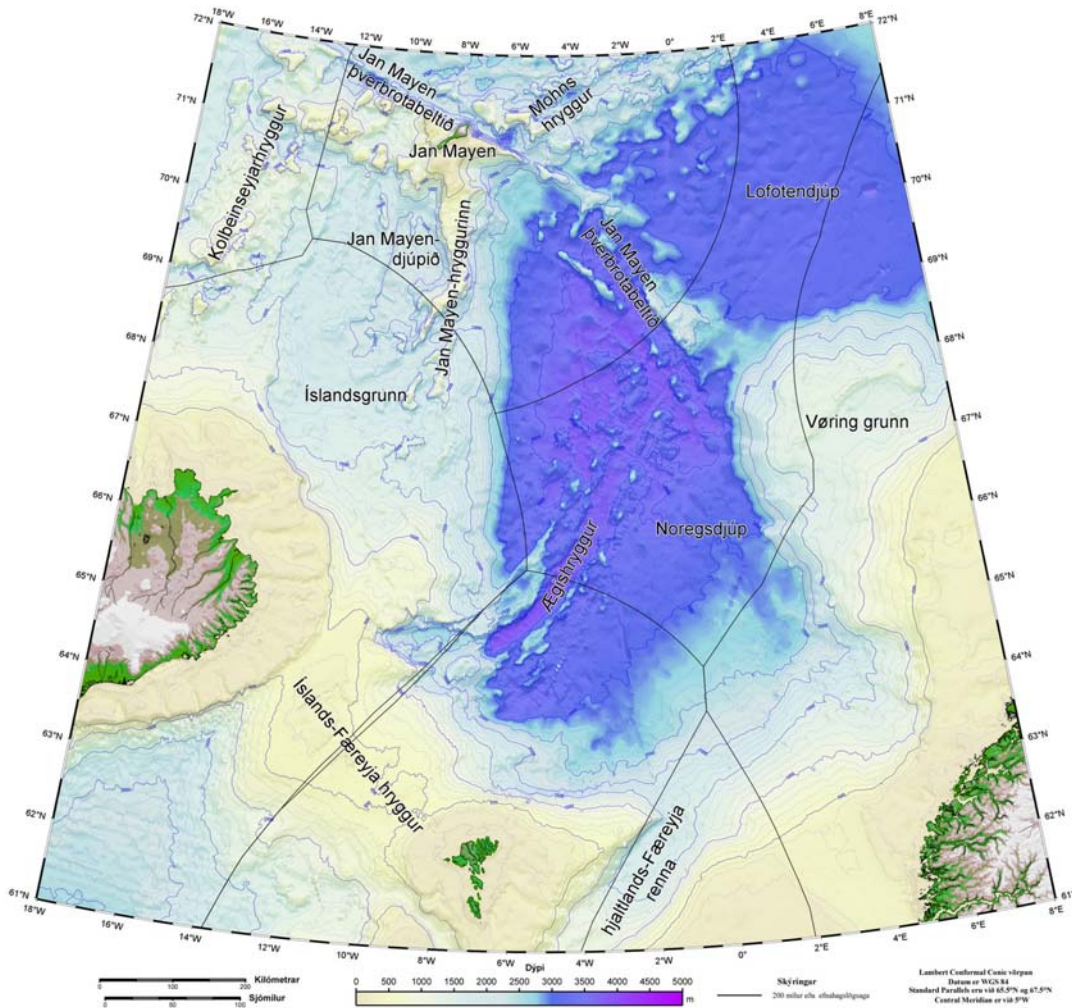
b. Nýrri hljóðendurvarps- og bylgjubrotsmælingar – JM1985

Víðtækasti og samfelldasti leiðangurinn til hljóðendurvarpsmælinga var þó farinn 1985. Þær mælingar hafa gefið besta innsýn í innviði hryggjarins og verið aðalgrunnurinn að þeirri vitneskju sem til er í dag um þetta svæði. Að leiðangrinum, sem einnig framkvæmdi bylgjubrotsmælingar, stóðu Norska olíustofnunin og Orkustofnun. Nýlega hafa síðan bæst í safnið hljóðendurvarpsmælingar sem InSeis gerði sumarið 2001 af Jan Mayen-hryggnum. eru þau gögn enn leynileg.

c. Boranir

Aðeins hefur verið borað í Jan Mayen-hrygginn í tengslum við DSDP (forveri ODP og IODP). Var það gert 1974. Nýttust einar fimm holur, en þær voru því miður ekki nægilega vel staðsettar með tilliti til þess að ná sýnum af elstu setlögum hryggjarinn.

Því náðu þær ekki til þeirra jarðlaga sem að öllum líkindum skipta mestu varðandi olíu- og gasauðlindir. Segul- og þyngdarmælingar hafa einnig verið gerðar á svæðinu í þeim tilgangi að finna m.a. mörkin milli meginlandsskorpu og úthafsskorpu. Einnig nýtast segulmælingar til að gefa vísbendingu um aldur úthafsskorpunnar á svæðinu.

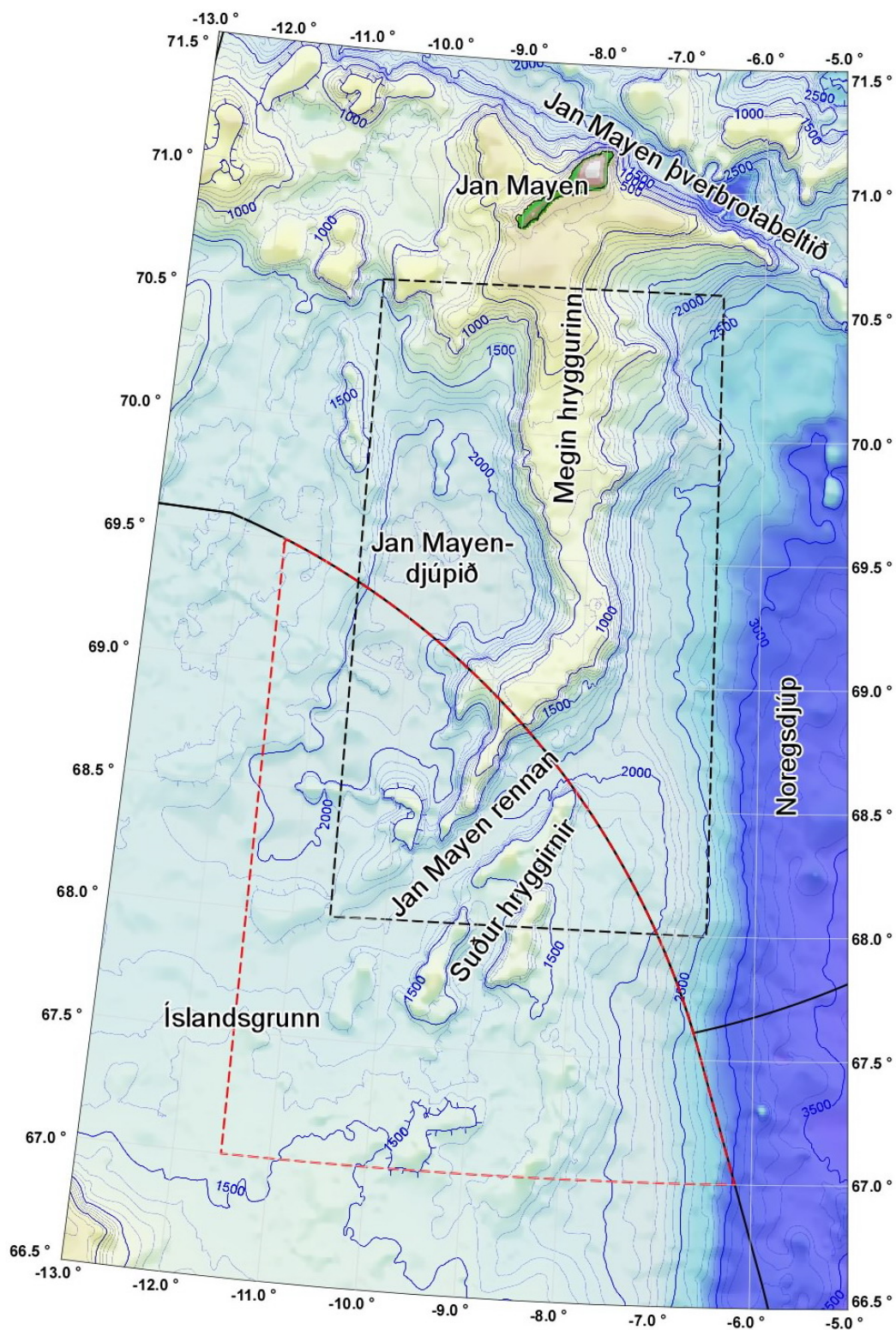


Mynd 1. Yfirlitsmynd af hafsbotni norðaustur Atlantshafs. Helstu einkenni hafsbotsins merkt. Heilar línur eru efnahagslögsögur aðliggjandi ríkja.

3 Jarðfræði Jan Mayen-svæðisins

Jan Mayen-hryggurinn er margþætt hryggjakerfi sem teygir sig til suðurs frá Þverbrótabeltinu í norðri. Þetta hryggjakerfi er talið vera að mestu gert úr meginlandsskorpu, en sýnir þó nokkur úthafsskorpueinkenni til jaðrana.

Gróflega er hægt að skipta hryggnum upp í tvo meginhluta, meginhrygginn í norðri og suður hryggina. Meginhlutinn nær frá Þverbrótabeltinu í norðri og allt að Jan Mayenrennunni, sem sker hrygginn frá suðvestri til norðausturs (mynd 2). Þessi hluti er nokkuð vel samhangandi, tiltölulega flatur í toppinn og stendur nokkuð hærra en syðri hlutinn.



Mynd 2. Nákvæmara kort af Jan Mayen-hryggnum og hafsbotninum í kringum hann. Lögsögumörk milli Jan Mayen og Íslands eru dregin með heilli svartri línu. Svarta strikalinan er samningssvæði Norðmanna og Íslendinga og rauða strikalinan er norðanvert Dreka-svæðið.

Syðri hluti Jan Mayen-hryggjarins samanstendur af fleiri minni hryggjum, sem verða ógleggri til suðurs og hverfa undir set- og hraunlög nær Íslandi. Austanmegin við Jan Mayen-hrygginn er Noregsdjúp, allt að 3500 metra djúpt. Vestanmegin er Íslandsgrunn, sem er mun grynna en Noregsdjúpið, eða um 1500-2000 metra djúpt. Næst hryggnum sjálfum er það þó heldur dýpra og myndar djúp sem kallað er Jan Mayen-djúpið.

Jan Mayen er virk eldfjallaeyja og hefur byggst upp úr sjó á síðastliðnum 700.000 árum. Eitt stórt eldfjall er áberandi á norðurhluta eyjunnar og nefnist Beerenberg, 2.277 metra hátt. Suðurhluti eyjunnar er hinsvegar aðallega lágur gígaraðir og eldhryggir. Jan Mayen liggur rétt sunnan við Jan Mayen-þverbrotabeltið er tengir Kolbeinseyjarhrygg og Mohns-hrygg. Jan Mayen liggur nánast í beinu framhaldi af Mohns hryggnum til suðurs en ekki hefur þó verið hægt að tengja eldvirknina við Mohns hrygginn beint, heldur frekar við sjálft þverbrotabeltið (Pedersen et al. 2001, Svellingen og Pedersen, 2003). Síðast gaus á Jan Mayen árið 1985. Eldvirknin á eyjunni hefur þó lítið eða ekkert með jarðsögu og jarðlaguppbyggingu Jan Mayen-hryggjarins að gera, en hann á sér miklu lengri myndunarsögu sem tengd er jarðlaguppbyggingu landgrunns Grænlands og Noregs.

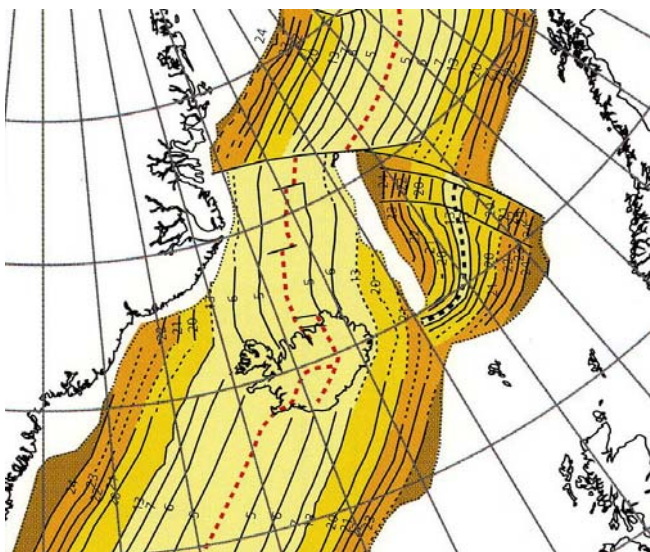
a. Jarðhnik og saga landreks

Almennt er talið að Jan Mayen-hryggurinn sé meginlandsfleki sem klofnað hefur frá meginlandi Grænlands, en þessi fleki hefur, sökum flókinnar opnunarsögu Noregs-Grænlands hafsins (norðaustur Atlantshafsins), færst með landrekinu frá Grænlandi og út á miðjan hafsbotn norðaustur Atlantshafsins.

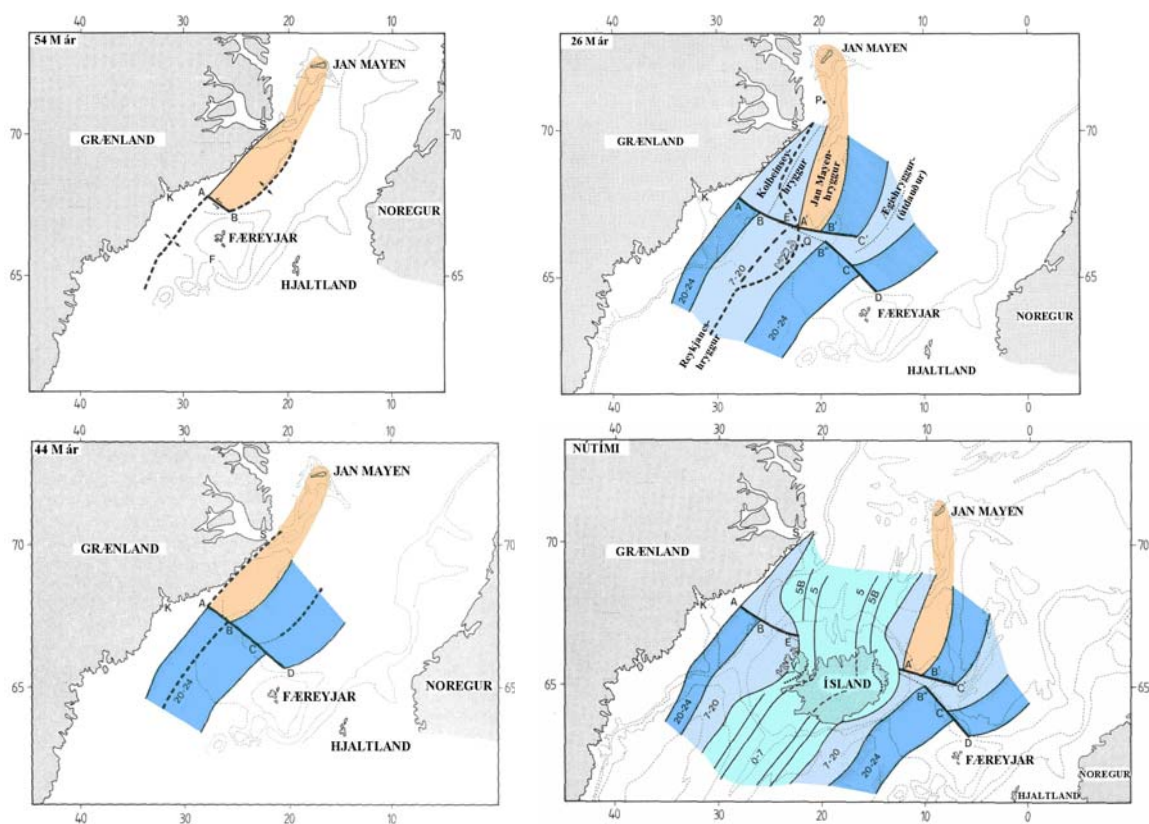
Bylgjubrotsmælingar hafa sýnt að hryggurinn er gerður úr meginlandsskorpu. Þyngdarmælingar sýna einnig að hryggurinn er gerður úr léttara efni en úthafsbotninn í kring auk þess sem segulmælingar sýna að segulstefnur almennt í hryggnum eru afar óljósar. Er þetta dæmigert fyrir meginlandsberg. Úthafsbotn hefur hinsvegar þann eiginleika að þegar hann myndast úr bráðinni kviku, fær hann segulstefnu þess tíma er hann myndast á. Þetta lýsir sér í frávikum frá núverandi segulstefnu. Hefur það orðið til þess að hægt er fá gróft mat á því hvenær einstakir hlutar sjávarbotnsins hafa myndast. Eftirfarandi kort (mynd 3) sýnir t.d. hvernig segulfrávikin raðast upp.

Þegar þessar upplýsingar liggja fyrir er hægt að rekja opnunarsögu svæðisins. Eftirfarandi myndaröð segir þessa sögu í nokkrum þrepum (mynd 4).

Í upphafi gliðunarsögu norðaustur Atlantshafsins fyrir allt að 57 milljónum ára, snemma á eósen tímanum (tafla 1), rifnaði meginlandsskjöldurinn frá suðri til norðurs. Áður hafði meginlandsskorpan þynnst eftir því sem að strekkist á henni og að lokum brotnaði hún upp í blokkir þar sem hún var veikust fyrir. Á því svæði tókst kviku úr möttlinum að þrengja sér upp í sprungur og misgengi og jafnvel upp til yfirborðs. Myndaðist þá basaltskorpa sem kölluð er úthafsskorpa og ás þessa svæðis, þar sem mest eldvirkni er til staðar, kallast rekhryggur.



Mynd 3. Segulfrávik í norðaustur Atlantshafi. Frávikin eru númeruð þannig að hærri númer svara til eldri úthafsskorpuna. Sem dæmi er frávik nr. 24, 54 m. ára gömul myndun, frávik 21 er 47 m. ár og frávik 13 er 33 m. ár. Þverbrotabeltin er tengja rekhyggina eru einnig áberandi og rauðu punktalínurnar eru virku rekbeltin í dag. Svört punktalína er Ægishryggurinn, en hann dó út á milli frávíka 7 og 13, eða fyrir um 33–25 m.ára síðan (frá Lundin, 2002).



Mynd 4. Opnunarsaga Grænlands-Noregshafsins (Norður Atlantshaf) sýnd í nokkrum þrepum (breytt frá Bott, 1985). Nákvæmari lýsing er í texta.

Tafla 1. Jarðsögutímatal.

Aldabil	Öld	Tímabil	Tími	Tímaspönn
Líföld	Ný-lífsöld	Kvarter	Nútími	- 0,1 m.ár
			Pleistósen	0,1-1,65 m.ár
		Tertíer	Plíósen	1,65-5 m.ár
			Míósen	5-24 m.ár
			Óligósen	24-37 m.ár
			Eósen	37-58 m.ár
			Paleósen	58-65 m.ár
	Mið-lífsöld	Krít		65-146 m.ár
		Júra		144-208 m.ár
		Trías		208-245 m.ár
	Forn-lífsöld	Perm		245-286 m.ár
		Kol		286-360 m.ár
		Devon		360-408 m.ár
		Silúr		408-438 m.ár
		Ordóvisíum		438-505 m.ár
		Kambríum		505-570 m.ár
	Frumlífsöld			
Upphaf söld				2.500-3.960 m.ár
Grá forneskja				3.960-4.600 m.ár

1. Fyrir um 54 m.ára, myndaðist rekhryggurinn austanmegin við Jan Mayen-flekann eins og við þekkjum hann (mynd 4, 54 m. ár). Grænland og Noregur fara að reka hvort frá öðru og fylgir Jan Mayen-flekinn með Grænlandi. Þessi rekás er nú kallaður Ægishryggur.

2. Rekið hélt áfram á þessum nótum þar til fyrir um 44 m. ára en þá fór nýr rekás að brjóta sér leið norður, vestan við Ægishrygginn (mynd 4, 44 M. ár). Sá rekshryggur klauf Jan Mayen-flekann frá meginlandi Grænlands og kallast hann Kolbeinseyjarhryggur. Ægishryggurinn og Kolbeinseyjarhryggurinn voru báðir virkir samhliða í um 18 m.ár.
3. Kolbeinseyjarhryggurinn var í fyrstu virkari á syðri hlutanum og færðist virknin norður með tímanum. Að sama skapi minnkaði virkni Ægishryggjarins frá suðri til norðurs (mynd 4, 26 M. ár). Það varð til þess að Jan Mayen-hryggurinn, sem lá þar á milli, snérist nokkuð rangsælis á þessu tímabili. Að lokum, fyrir um 26 milljón árum, dó eldvirknin út á Ægishrygg og allt rekið færðist yfir á Kolbeinseyjarhrygg.
4. Frá þeim tíma gliðnaði jafnt á öllum rekshryggnum og Jan Mayen-hryggurinn færðist jafnt og þétt frá Grænlandi. Ísland byrjaði að myndast á þessu tímabili (mynd 4, nútími).

b. Jarðlagauppbygging svæðisins og aldur

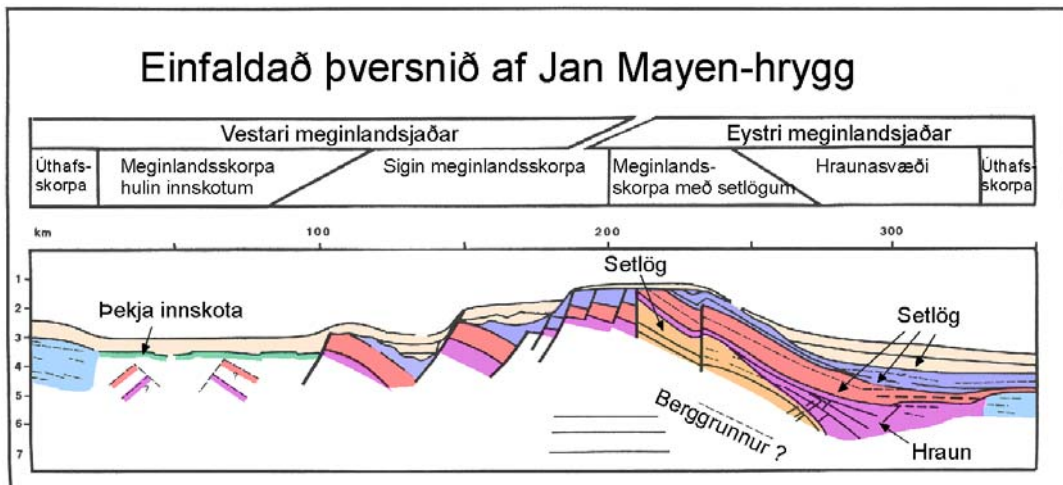
Eins og áður hefur komið fram sýna hljóðendurvarpsmælingar innri gerð hryggjarins, eða flekans að nokkru. Þar sjást dæmigerð einkenni meginlandsskorpu sem hefur teygst, brotnað upp og stórar blokkir snarast. Vegna eldvirkni á svæðinu í upphafi tertíer tímabilsins (tafla 1) er víða takmarkað hvað hægt er að sjá með hljóðendurvarpsmælingum niður í gegnum hraunlögin sem þekja stór svæði, sérstaklega á syðri hluta Jan Mayen-hryggjarins. Þrátt fyrir þetta sjást jarðlöginn víða undir hrauna- og innskotaþekjunni og eru sterkar vísbendingar í þá átt að um setlög sé að ræða, en aldur þeirra er óviss vegna skorts á gögnum sem fengjust með borholum.

Saga svæðisins milli Noregs og Grænlands einkennist af gliðnun, allt aftur á perm tímabilið. Því hefur töluvert af seti hlaðist upp á öllu þessu tímabili fram að opnun norðaustur Atlantshafsins. Teljast verður líklegt að undir hraunbreiðunum geti því leynst auðlindir. Þessi setlög, sem geta verið allt að 250 milljón ára gömul, hafa grafið djúpt og hitnað þannig að lífræna efnið í þeim gæti hafa ummyndast yfir í olíu og gas. Út frá hljóðendurvarpsmælingum er þó hægt að skoða með nákvæmni jarðlagauppbygginguna eftir að rekið hófst. Lýsandi þversnið yfir Jan Mayen-hrygginn má sjá á mynd 5. Þar má greinilega sjá hvernig jarðlagauppbyggingin og jarðhnik hefur verið frá opnun norðaustur Atlantshafsins.

Hér á eftir fer lausleg lýsing á einstökum jarðmyndunum, gerð þeirra og myndunarsögu. Á mynd 6 má síðan sjá hvernig sagan er rakin með röð þversniða er sýna útbreiðslu einstakra jarðmyndana í tíma og rúmi. Jafnframt er þróun jarðhniks á svæðinu sýnd. Á mynd 7 er síðan sýnt kort af jarðhniki svæðisins og útbreiðsla hraunlaga og innskota.

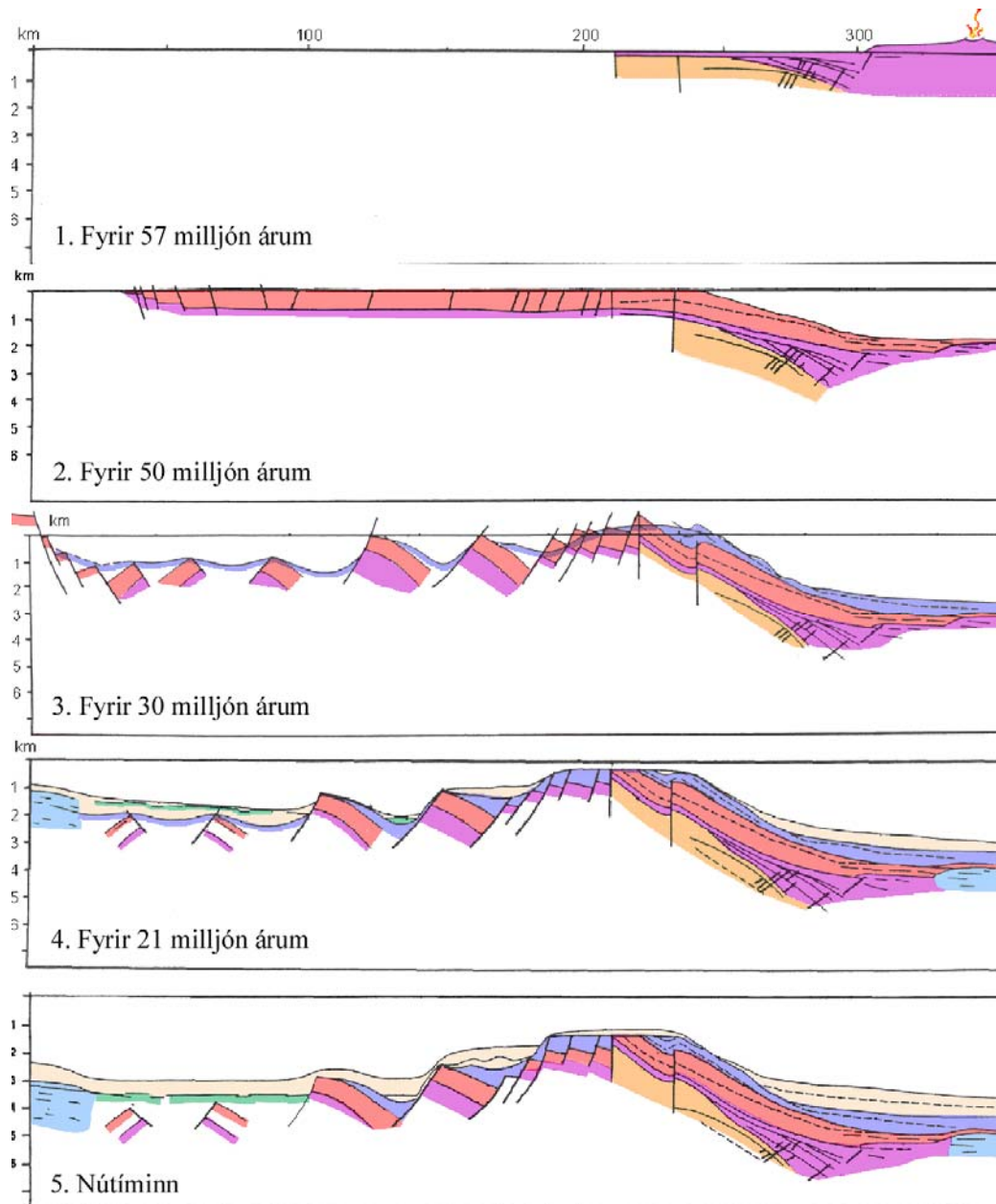
1. Dökkguli liturinn er að öllum líkindum setlög frá því fyrir tíma reksins. Víða á Jan Mayen-hryggnum, sérstaklega á meginhryggnum, sést niður í jarðlög sem eru eldri en eldvirknin á svæðinu. Einnig eru vísbendingar um að þessi lög séu vestanmegin við hrygginn. Nákvæmur aldur og gerð laganna er ekki þekkt.

- Fjólublái liturinn markar rek og eldvirkni á svæðinu. Basalt rennur út yfir og þrýstist inn (innskot) í jarðlögin út frá gosbeltinu. Með síendurteknum eldgosum, ásamt stöðugu reki út frá rekásnum, hleðst basaltið upp og eldri hraunlög síga smám saman niður. Verða því jarðlögin hallandi inn að mestu jarðлагаuppbyggingunni (seaward dipping reflectors). Er þetta sama ferlið og sjá má í hallandi jarðlögum á Íslandi, austan- og vestanverðu. Þessi eldvirkni er eingöngu tengd Ægishryggnum.

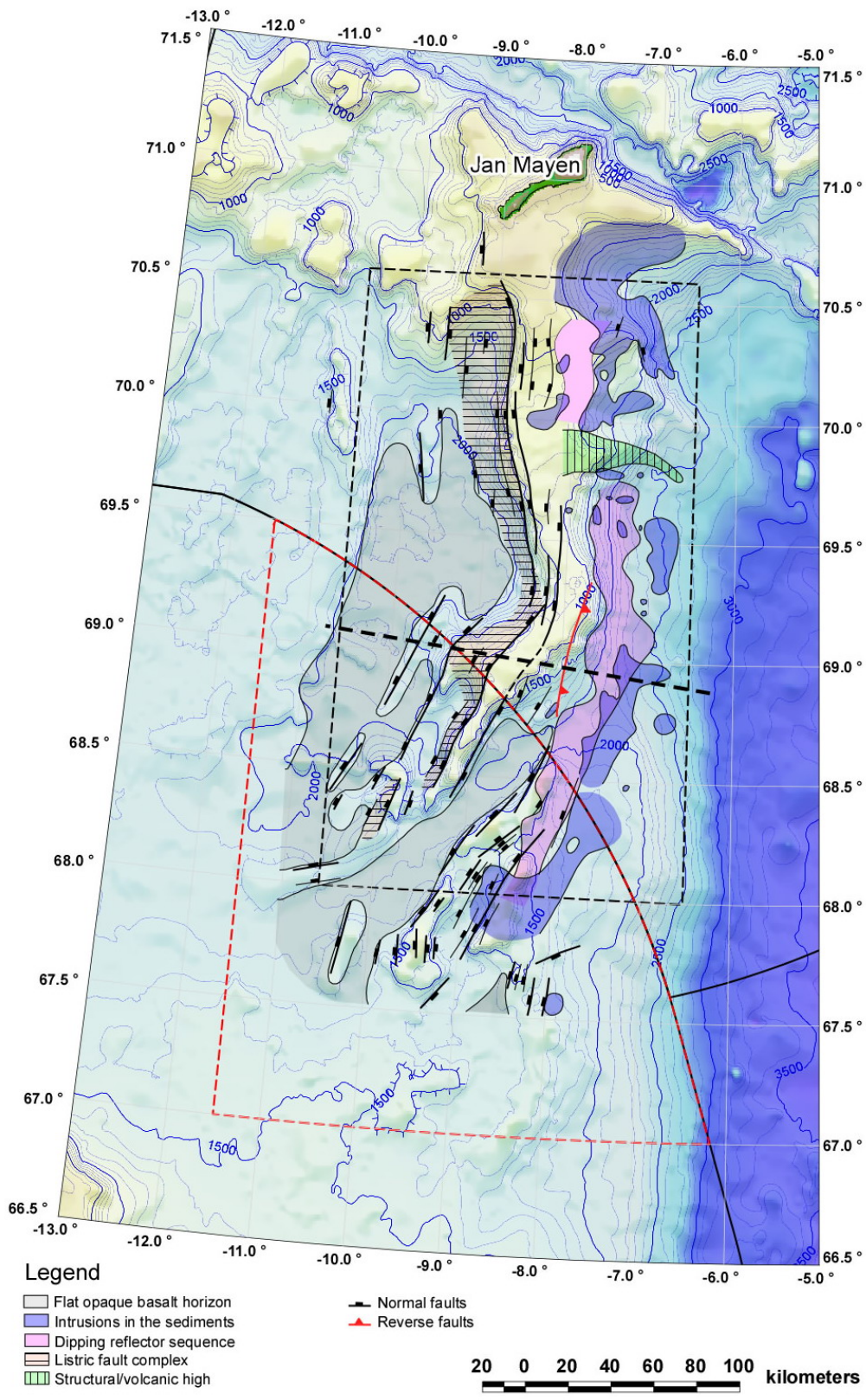


Mynd 5. Dæmigert, einfaldað þversnið yfir Jan Mayen-hrygginn eins og hann sést í hljóðendurovarpsmælingum. Lýsingu á einstökum jarðmyndunum má finna í texta. Staðsetning þversniðsins er sýnd á mynd 7 (Gunnarsson et al., 1989).

- Appelsínuguli liturinn sýnir setлагаuppbygginguna eftir að Jan Mayen-hrygginn hefur rekið nægilega langt frá rekás Ægishryggjarins til að basaltuppbyggingin nái ekki inn á svæðið. Þetta set er fyrst og fremst ættað frá Grænlandi, enda hryggurinn enn fastur við meginlandið í vestri. Sjá má þó merki um syllur (lárétt basaltinnskot) inni á milli setlagana austast í sniðinu.
- Blái liturinn sýnir setlög sem myndast á sama tíma og rekið er smám saman að færast yfir á Kolbeinseyjarhrygginn. Allt svæðið hefur lyfst upp fyrir sjávarmál og mikið rof verður ofan af Jan Mayen-hryggnum, allt að 1000–1500 metrar. Leggjast setlögin aðallega til austurs og vesturs út frá honum. Jarðskorpan vestan megin við hrygginn hefur teygst og brotnað upp, þegar virkni Kolbeinseyjarhryggjarins gætir í vestri, og leggjast setlögin þar yfir stórar misgengisblokkir af eldri hraunum og setlögum. Tímabilinu lauk með því að víðáttumikil breiða af hraunum og/eða innskotum þakti sléttunar vestur af hryggnum áður en eiginlegt rek hófst á Kolbeinseyjarhrygg.
- Ljósbrúnn litur sýnir að lokum setmyndun á í rólegu umhverfi á hafsbotni. Jan Mayen-hryggurinn hefur sigið aftur vel niður fyrir sjávarmál þar sem hann hefur fjarlægst verulega Kolbeinseyjarhrygginn og áhrifa hans gætir mun minna en áður.



Mynd 6. Endursköpun sögu Jan Mayen-hryggjarinn (backstripping). Fyrir 57m. ára gætir reks á Ægishrygg. Hraunlög leggjast yfir eldri jarðlög á svæðinu. Fyrir um 45–50 m.ára leggst set yfir hraunlögin og áhrifa frá Kolbeinseyjarhrygg fer að gæta. Strekkist á jarðskorpu og hún byrjar að brotna. Fyrir um 26–30 m. árum var Kolbeinseyjarhryggur farinn að teygjast til norðurs og gliðnun jarðskorpunar á undan honum fer að hafa áhrif á Jan Mayen-hrygginn. Ægishryggur er að sama skapi farinn að deyjja út. Hafsbotninn vestan Jan Mayen brotnar upp og hryggurinn lyftist upp fyrir sjávarmál. Mikið rof verður og setið leggst yfir snaraðar misgengisblokkir. Á tímabilinu frá um 21 milljón ára og fram á nútíma rekur Jan Mayen-hrygginn frá Kolbeinseyjarhrygg, hann kólnar og sígur aftur í sæ. Setmyndun í tiltölulega rólegu umhverfi og stöku innskot (syllur) myndast á fyrri hluta tímabilsins. Nánari lýsingu myndunar og jarðhníks svæðisins má lesa í texta (Gunnarsson et al., 1989).



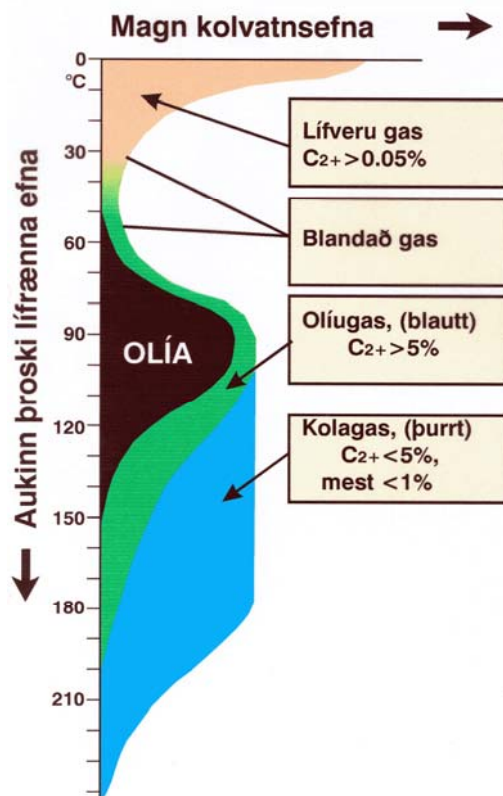
Mynd 7. Jarðhníkskort og útbreiðsla innskota og hraunlaga á Jan Mayen-svæðinu, unnið út frá hljóðendurvörpsmælingum. Lögsögumörk eru heildregin og strikálínan sýnir nokkurn veginn legu dæmigerða þversniðsins af Jan Mayen-hryggnum (breytt frá Åkermoen 1989).

4 Olíulíkur á Jan Mayen-svæðinu

Upplýsingar um olíulíkur á Jan Mayen-svæðinu eru af mjög skornum skammti enda hefur fram að þessu ekki verið sérlega mikill áhugi á þessu svæði til olíuleitar. Eins og fram hefur komið þá eru ekki til neinar borholur er ná niður í þá hluta hryggjarins þar sem líklegast er að finna nægilega ummyndað lífrænt efni. Þrátt fyrir þetta er hægt að leiða líkum að því hvar vænlegast er að leita olíu- og gass á svæðinu, út frá þeim hljóðendurvarpsmælingum sem til eru og með hliðsjón af þroskunar sögu olíulinda Noregs og Grænlands.

a. Móðurberg á svæðinu og þroskun þess

Til að yfirleitt sé hægt að tala um auðlind verða að vera til staðar setlög sem innihalda nægilegt magn af lífrænu efni sem hefur varðveist. Þegar lífrænt efni sest til á hafsbotni er yfirleitt ógrynni lífvera sem nýta þau til fullnustu. Ef aðstæður eru hinsvegar þannig að afar lítið eða ekkert súrefni er til staðar á hafsbotni getur það gerst að lífrænt efni grefst í set án þess að rotna. Þetta getur gerst þar sem straumar eru litlir eða engir eða jafnvel setmyndun svo hröð að allt grefst áður en það er fullnýtt. Slík setlög geta í tímans rás hugsanlega myndað olíu og gas og eru kölluð móðurberg.



Mynd 8. Yfirlit yfir hlutfall olíu- og gas-myndunar eftir hitastigi og auknum þroska lífrænna efna.

Næsta skref er að þetta móðurberg grafist enn frekar í set og hitni upp. Með þessu móti þroskast lífræna efnið og ummyndast smám saman yfir í olíu og gas. Ekki má það þó hitna of mikið, því þá gengur á olíuforðann og hann umbreytist að mestu í eðlislétt gas og restin verður að bikkendu efni sem erfitt eða útilokað er að ná. Þetta hitabil, þar sem hlutfallslega mest myndast af olíu, er kallað olíuglugginn (mynd 8). Þegar reynt er að horfa til hugsanlegs móðurbergs í tengslum við Jan Mayen-hrygginn, verður að meta bæði setlög in sem mynduðust eftir rekið, sem og setlög sem mynduðust fyrir rekið.

Setlög, eldri en rekið:

Ekki eru til beinar upplýsingar úr Jan Mayen-hryggnum sjálfum. Því verður að líta til nágrennasvæðanna, sem voru að öllum líkindum nálægt hryggnum fyrir rek. Helstu olíusvæðin eru:

- **Að vestan:** Jameson-lands setlagatroggið á austanverðu Grænlandi. Þar hefur myndast olía og hún náð að safnast saman í gildirur sem eyðilögðust síðar við landlyftingu og rof. Móðurbergið var leirsteinn frá mið- og síðjúra, en það stendur fyrst og fremst undir mestallri olíu- og gasvinnslu á landgrunnssvæðum umhverfis norðaustanvert Atlantshaf. Einnig er til móðurberg sem er leirsteinn frá efra-perm, og kalksteinn frá trías.
- **Að austan og norðan:** Haltenbanken, úti fyrir mið-vestur Noregi. Þar er nú mikil olíu- og gasvinnsla. Einnig er síð- og miðjúra leirsteinninn hér í stóru hlutverki, eins og á Jameson-landi. Móðurberg hér er einnig kvarssandur með kolalögum frá snemm júra. Mæris- og Væringja-djúp (Møre- og Vøring basin) lágu á milli Haltenbanken og Jan Mayen fyrir rek. Þar er mjög djúpt á móðurberg og ekki hefur enn fundist vinnanleg olía á svæðinu, en dálítið hefur fundist af vinnanlegu gasi eins og er. Móðurberg er óþekkt, en líklega er um sama móðurberg að ræða og í Haltenbanken. Þetta svæði er flokkað sem líklegt gassvæði í framtíðinni.
- **Að suðaustan:** Víkingatroggið (Vikinggraben), á landgrunni Noregs í Norðursjó. Mikil olíu- og gasvinnsla er á svæðinu. Móðurbergið er fyrst og fremst mið- og síðjúra leirsteinn, líkt og á Jameson-landi og Haltenbanken. Hjaltlands-Færeyjarrennan og landgrunn Hjaltlands. Þar er olíu- og gasvinnsla hafin. Nýlega fannst olía nyrst á svæðinu, þ.e. á þeim hluta sem lá næst Jan Mayen-hryggnum fyrir rek. Hér, eins og víðast hvar annars staðar, er það leirsteinninn frá mið- og síðjúra sem er helsta móðurbergið.

Eins og komið hefur fram er helsta móðurbergið á öllu svæðinu umhverfis Norðaustur Atlantshaf leirsteinn frá mið- og síðjúra en einnig er þekkt eldra móðurberg frá trías, perm og jafnvel kolatímabilinu. Núverandi þekking bendir til að á öllu þessu svæði sé ekki til, eða lítið um móðurberg frá krít og síðar.

Þar sem útbreiðsla leirsteinsins frá mið- og síðjúra virðist vera beggja vegna Atlantsála, er fremur líklegt að hann sé einnig til staðar í Jan Mayen-hryggnum. Hugsanlegt er að hryggurinn hafi legið í vesturjaðri Mæris-/Væringjatroggsins, sem myndaðist á krít, og haft svipaða stöðu og Haltenbanken við austurjaðarinn.

Setlög, yngri en rekið:

Óbeinar upplýsingar úr hljóðendurvarpsmælingum nægja til að fá góða hugmynd um hvers eðlis setið er, sem myndaðist eftir að opnun norðaustur Atlantshafsins hófst. Líklegt er að í austurhlíðum Jan Mayen-hryggjarinnis og yfir hryggnum sjálfum séu sandlög ættuð frá Grænlandi frá tímabilinu fljótlega eftir að rek hófst (eósen). Hryggurinn var þá enn fastur við Grænland og set þaðan lagðist í totur í lægðum ofan á hraununum og í sigdældum inn á milli misgengisblokka. Síðar, er setmyndunarumhverfið róaðist nokkuð, er gert ráð fyrir að leirríkt set, sem flutt er stutta leið og lítt sorterað, leggist yfir sandlögin. Mikið er af kísli (er síðar myndar ópalútfellingar) í setinu þar fyrir ofan, mynduðu úr kísilþörungum. Núverandi þekking bendir til að á öllu þessu svæði sé ekki til móðurberg frá krít og síðar, og hafa boranir á stöku stað á hryggnum einnig bent til skorts á lífrænu efni. En hugsanlegt er þó að lítil trog hafi myndast við upphaf reks, þar sem skilyrði voru súrefnissnaud og því hafi lífrænt efni sem þar féll til, getað myndað móðurberg síðar. Það getur skipt miklu máli fyrir olíulíkur á Jan Mayen-svæðinu að til staðar sé móðurberg frá eósen.

b. Geymisberg, þakberg og gildrur

Til þess að olíu- eða gaslind myndist, verður að vera til staðar geymisberg. Olían og gasið þarf að safnast einhversstaðar saman. Geymisberg þarf að vera þannig að poruhluti þess sé nokkuð hár. Ofan á slík setlög leggst síðan fínkorna set sem hindrar að olían og gasi leiti upp úr geymisberginu. Er það svokallað þakberg. Þetta tvennt þarf að mynda lokaða gildru, sem ekki hleypir neinu upp fyrir sig en hleypir efnunum inn í sig að neðan.

Geymisberg:

Það finnst að heita má á öllu svæðinu umhverfis Norðaustur Atlantshaf sandsteinn sem er geymisberg á þeim stöðum þar sem myndun er í gangi.

- Fyrir Haltenbanken og Víkingatroggið er um sandstein frá júra að ræða sem myndar geymisbergið.
- Vitað er að á Grænlandi (Jameson-landi) hefur olía safnast fyrir í sandsteini frá júra, á sama hátt og á Haltenbanken og Víkingatroginu, en vegna upplýftingar og rofs síðar meir hafa gildrurnar eyðilagst og olían og gasið sloppið til yfirborðs.
- Í Hjaltlands-Færeyjarennunni, á landgrunni Hjaltlands og á stöku stað á norska landgrunninu er það sandsteinn frá yngri hluta krít og elsta hluta tertíer sem myndar geymisbergið. Þetta eru aðallega sandkeilur og/eða totur sem hafa myndast við upphaf gliðnunar og setflutning út í trogið, líkt og búast má við í austurhlíðum Jan Mayen-hryggjarinnis.

Ekki er ástæða til að halda (engar beinar upplýsingar fyrir hendi) að um annars konar geymisberg sé að ræða á Jan Mayen-hryggnum en á nágrannasvæðunum í norðaustur Atlantshafinu. Ekki er heldur gert ráð fyrir að hraunlög og innskot geti verið geymisberg, en það er þó talið ólíklegt að slík jarðlög geti yfirleitt verið nægilega gropin til að rúma gas eða olíu, né að porur í slíkum jarðlögum séu almennt nægilega tengdar innbyrðis til að leyfa að olía eða gas geti streymt inn í þau.

Út frá hljóðendurvarpsmælingum er hægt að draga ákveðnar ályktanir um geymisberg á Jan Mayen-hryggnum. Skipta verður staflanum í tvennt, fyrir og eftir rek.

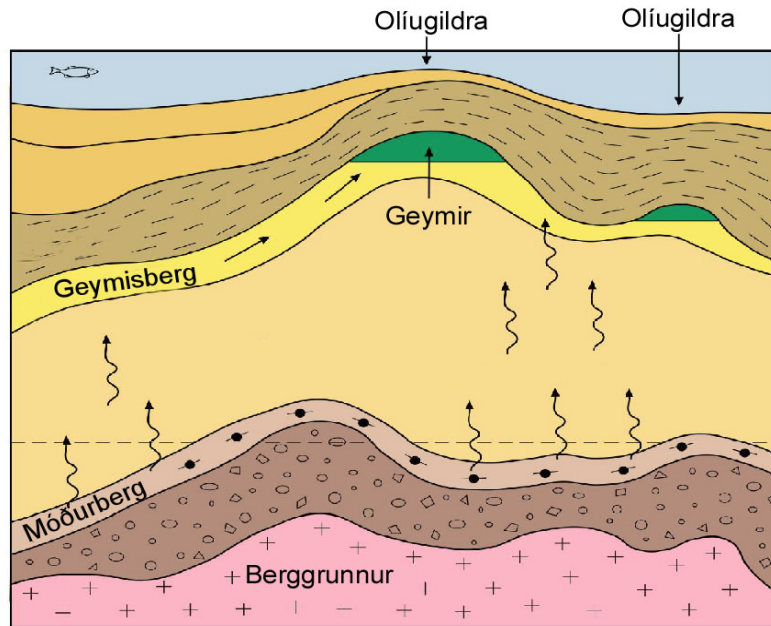
- *Fyrir rek:* Hér er líklega fyrst og fremst um að ræða sandstein frá júra og síðla á krít. Líklega sandsteinn frá Grænlandi. Landlyftingarsaga svæðisins fyrir rek er ekki nægilega þekkt til að meta hvort júra sandsteinninn hafi rofnað burt. Ekki er vitað hvort krítarsandsteininn hafi náð að þekja hrygginn. Jafnvel þó að þessi lög séu ekki til staðar, er hugsanlegt að til sé enn eldra geymisberg sem hafi varðveist, eins og t.d. sandsteinn frá trías.
- *Eftir rek:* Ástæða er til að ætla að neðri hluti staflans eftir að rek hófst, innihaldi sandsteinslög sem gæti verið gott geymisberg, líkt og geymisbergið í Hjaltlands-Færeyja-rennunni og á stöku stað í Norðursjó. Fyrir a.m.k. 30 milljón árum síðan byrjar Jan Mayen-hryggurinn að einangrast frá meginlöndunum og setið sem þá fer að setjast til er fínkornaðra en áður, og inniheldur ösku og kísilefju. Þetta eru mjög óheppilegt fyrir geymisberg. Hafa þarf einnig í huga að í lok þessa tímabils lyftist hryggurinn upp fyrir sjávarmál og rofnaði, en við það myndast set sem ætla má að sé ekki heldur heppilegt geymisberg. Neðri og eldri hlutinn er hins vegar miklu áhugaverðari, því meðan Jan Mayen-hryggurinn var áfastur Grænlandi hefur borist mikið set frá meginlandinu út á og yfir hrygginn og niður í austurhlíðarnar. Líklegt er að þetta set sé ættað frá ævafornum grunni Grænlandsskjaldarinnis og gæti myndað heppilegt geymisberg. Sýnt hefur verið fram á að í austurhlíðunum sé mikið kerfi af setkeilum sem gæti innihaldið heppilegan sand fyrir geymisberg. Þessi sandur getur legið víða um hrygginn, en þó aðallega í austurhlíðum hans og í dældum milli meginlandsblokka frá þeim tíma er hryggurinn klofnaði frá og einangraðist.

Pakberg:

Á öllum nágrannasvæðunum í norðaustur Atlantshafi er það fyrst og fremst leirsteinn frá krít og tertíer sem sem leggst yfir geymisbergið og lokar gildrunum. Boranir og hljóðendurvarpsmælingar benda til að sama eigi við um Jan Mayen-hrygginn.

Gildirur:

Á öllum olíusvæðunum við norðaustur Atlantshaf hafa olíugildirurnar myndast við svipaðar aðstæður. Þegar meginlandið gliðnar og sígur myndast grunnsævi á svæðinu. Á mið- og síðjúra myndaðist leirsteinn fullur af lífrænu efni. Áður en myndun leirsteinsins lauk, mynduðust einnig stöku sandsteinslög. Stórar misgengisblokkir snarast og síga og mynda hálftrög. Setið safnast fyrir jafnóðum í lögðunum. Að lokum minnkar umrótið, sig og upphleðsla heldur þó áfram vegna kólnunar jarðlaga undir setlögnum. Síðar tekur rekið sig aftur upp en nú slitna löndin að lokum frá hvort öðru og úthafsskorpa myndast. Þessir atburðir taka mjög langan tíma, eða frá því um fyrir 180–55 milljónum ára. Tognunin, snörunin og sigið gerist á misunandi tíma á misunandi stöðum. Að lokum grafast síðan blokkirnar í fínna set, er hafdypi er orðið mun meira.



Mynd 9. Dæmi um myndun olíugildra, hvelfing (breytt frá Sagex 2006).

Í þessum jarðmyndunum er aðallega um þrennskonar gildirur að ræða.

- *Blokk-gildirur:* Blokkir, með sandlögum sem snöruðust og sigu með blokkinni. Leir þekur blokkina og lokar gildrunni. Olía og gas getur leitað upp gegnum gegndræp lög, en ekki upp fyrir leirinn. Þetta er algengasta tegund af olíugildrum.
- *Stratigrafískar gildirur:* Gildirur sem eru orðnar til við totur, breiður og keilur úr sandi sem hafa runnið niður í dældirnar áður en leir er hættur að setjast til. Leirinn leggst síðan áfram ofan á og einangrar þessar stöku sandlinsur. Örlítil bungumyndun getur breytt slíkri gildru í hvelfingu (hér á eftir). Einnig algengt fyrirbæri.
- *Hvelfingar:* Seinni tíma jarðhnik myndar bungur eða hvelfingar í jarðlagastaflanum. Jafnframt sveigjast sandlög (geymisberg) jafnt og fínni efni (þakberg) með og mynda bungu, þar sem gas og olía leitar upp í og safnast fyrir. Dæmi um slíkt má sjá á mynd 9.

Lang algengustu gildirurnar í Norðursjó og norðar á landgrunni Noregs eru blokk-gildirur, en hinar gerðirnar eru einnig til staðar. Stratigrafískar gildirur hafa fundist á landgrunni Hjaltlands. Þriðja gerðin finnst t.d. úti í Mæris- og Væringjadjúpi þar sem risastórar hvelfingar hafa myndast.

Tímasetning myndana:

Ekki er nóg að öll þessi fyrirbæri sem hafa hér verið talin upp séu til staðar, heldur þarf heil rás atburða að gerast í réttri röð á hæfilega löngum tíma. Ef eitthvað af þessum atriðum vantar, eða myndast ekki í réttri röð, verða olíu- og gaslindir ekki til.

- Móðurbergið þarf að myndast og þroskast við hæfilegan hita og farg.

- Olían og gasið þarf að geta leitað upp frá móðurbergi í gegnum gegndræp yfir- liggjandi jarðlög og inn í geymisberg.
- Geymisberg, ásamt þakbergi, þarf að hafa myndað þetta gildru áður en olían leitar þangað inn.

Staðan á Jan Mayen-hryggnum:

Eins og fram kemur hér á undan er líklegt að móðurberg sé til staðar í eldri set- lögnum frá því fyrir rek. Einnig er möguleiki að í elsta hluta yngri setlagana, frá því í upphafi reks, sé móðurberg til staðar. Sýnt hefur verið fram á að líklegt geymis- og þakberg sé til staðar auk mögulegrar myndunar á gildrum. En hvernig er með þroskun móðurbergsins miðað við hitafarssögu jarðlaga í Jan Mayen-hryggnum? Lauslegt mat hefur verið gert á hitasögu jarðlaganna (Gunnarsson et al. 1989). Þar kemur fram að hugsanlegt móðurberg af eósen aldri (eftir rek) hafi sennilega náð inn í olíugluggann í vestur- og austurhlíðum hryggjarins. Undir háhryggnum eru eldri setlögin líklega í miðhluta eða seinni hluta olíugluggans, en í austurhlíðunum eru þau líklega enn í seinni hluta olíugluggans eða byrjun gasgluggans. Í Jan Mayen-djúpinu, vestan hryggjar, eru mestar líkur á að hiti hafi verið svo hár að allt set frá því fyrir rek sé ofþroskað. En þó að móðurberg sé ofþroskað er það þó líklega búið að gefa af sér nokkuð af olíu og gasi áður sem hefur leitað hærra upp í staflann og í minni hita. Er hugsanlegt að það geti setið í gildrum í enn yngri, grynnri jarðlögum, þó það sé frekar ólíklegt miðað við jarðhnikssögu svæðisins.

Hvar er þá best að leita eftir olíu og gasi á Jan Mayen-hryggnum? Þegar upplýsing- arnar sem koma fram hér á undan eru skoðaðar með tilliti til þess hvað í raun gæti leitt til fundar á olíu og gasi á Jan Mayen-hryggnum, er hægt að stilla upp þremur mis- munandi leitarlíkönum (plays). Þar er undirstrikað það sem hafa þarf í huga varðandi hugsanlegar auðlindir og legu þeirra.

Leitarlíkan 1.

- *Svæði:* Vestur- og austurhlíðar meginhryggjarins, ásamt suðurhryggjakerfinu
- *Móðurberg:* Eósen eða eldra móðurberg
- *Geymisberg:* Eósen/olígósen sandsteinn
- *Þakberg:* Eósen eða yngri leirsteinn.
- *Gildirur:* Stratigrafískt einangraðar gildirur byggðar upp af sandsteinlinsum, s.s keilum, totum eða breiðum í setlagalægðum við misgengisblokkir eða í hlíðum þeirra.
- *ATH.* Líklegt er að eldra móðurberg en frá eósen sé ofþroskað í vesturhlíðum meginblokkarinnar. Ekki er vitað hvort það eigi einnig við um suðurhryggina.

Leitarlíkan 2.

- *Svæði:* Allur hryggurinn
- *Móðurberg:* Eósen eða eldra móðurberg
- *Geymisberg:* Eósen og eldri sandsteinslög
- *Þakberg:* Leirsteinn frá miðlífsöld eða yngri

- *Gildrur*: Strúktúrgildirur í misgengisblokkum sem innihalda sandsteinslög. Blokkirnar hafa snarast og grafist í yngri leirsteinslögum
- *ATH*: Líklegt er að gildrur af þessu tagi geti lekið á toppi meginhryggjarins og sumstaðar á suðurhryggjunum þar sem blokkirnar hafa ekki grafist nægilega vel. Líklegt er að eldra móðurberg en frá eósen sé ofþroskað í vesturhlíðum meginblokkarinnar. Ekki er vitað hvort það eigi einnig við um suðurhryggina.

Leitarlíkan 3.

- *Svæði*: Vestur- og austurhlíðar meginhryggjarins, ásamt suðurhryggjakerfinu
- *Móðurberg*: Eósen eða eldra móðurberg
- *Geymisberg*: Eósen/ólígósen sandsteinn
- *Þakberg*: Eósen eða yngri leirsteinn.

Gildrur: Sandsteinslög, mynduð í setlagalægðum, sem síðar verpast og mynda lágreistar hvelfingar.

c. Vísbendingar um olíu og gas

Nokkrar vísbendingar um olíu og/eða gas hafa sést í gögnum frá Jan Mayen-svæðinu. Engin óyggjandi gögn liggja þó fyrir um það og verður vart fyrr en búíð er að bora á vænlegustu svæðunum og sannreyna hvort slíkar auðlindir séu raunverulega til staðar.

Eitt af því sem getur gefið vísbendingar um auðlindir eru hljóðendurvarpsmælingar. Það sem í þeim kemur fram er einkum eftirfarandi:

- *Frávik í styrk hljóðendurvarps (amplitude anomalies)*.
 - *Bjarmablettur (bright spot)*: Hluti endurkastsflatar þar sem endurkastið er mun sterkara (bjartara) en endurkastið á öðrum hlutum hans. Orsakast af breyttum hljóðendurvarpseiginleikum setlaganna vegna gass í þorum jarðlaganna.
 - *Flöt (flat spot)*: Endurkastsflötur, nær láréttur með takmarkaða útbreiðslu sem sker sig frá nærliggjandi endurkastsflötum vegna lögunnar sinnar og afstöðu til hinna. Endurkastflötur milli gasfasa og vökvafasa í olíu/gas gildru.
 - *Botnfylgja (bottom simulating reflector)*: Hljóðendurvarpsflötur sem alltaf kemur fram á svipuðu dýpi undir hafsbotni og gengur iðulega þvert á aðra endurkastsfleti. Skýringar:
 - Þar sem þrýstingur er nægilega hár og hitastig nægilega lágt getur myndast ís með metani sem kallast gashýdrat. Neðri jaðar gashýdratslags sem myndast á þennan hátt er endurkastsflötur. Gashýdröt eru ekki auðlind sem stendur og því tæknin til vinnslu er ekki enn fyrir hendi. Getur verið vísbending um að olíugas geti verið til staðar.
 - Kísilútfellingar vegna kísildýra (coccoliths) sem hafa sest til í seti. Við rétt hitastig og þrýsting myndast útfellingar sem lýsa sér á svipaðan hátt og gashýdröt. Oft er erfitt að greina þar á milli.

- **Holur og grópir (pockmarks).** Í hljóðendurvarpsmælingunum á Jan Mayen-hryggnum má víða sjá lægðir eða grópir á yfirborði hafsbotsins. Eru slíkar myndanir vel þekktar víða að úr heiminum og iðulegar tengdar gasi sem streymir upp í gegnum setlöggin og upp í vatnsmassann. Við það hreinsast laust set á yfirborði hafsbots og grunnar holur myndast (2–10 m djúpar), sem eru yfirleitt nokkrir tugir metrar í þvermál. Enn stærri grópir finnast þó einnig.
- **Gas í yfirborðsseti og í sjó.** Bein ummerki um gas hafa einnig fundist á Jan Mayen svæðinu, bæði í grunnum kjarnaholum sem teknar voru fyrir aldarfjórðung síðan, sem og mælst í vatnsmassanum ofan við hafsbotninn. Er aðallega um metan að ræða en einnig eitthvað af þyngri og þróaðri kolvetnissamböndum. Nánari athugun leiddi í ljós að þessar gasgreiningar væru ekki afgerandi um það hvort gasið væri lífmyndað (mýrargas) eða hvort um hitaummyndað lífrænt gas væri að ræða.

Mikilvægt er að hafa í huga að þessi atriði eru einvörðungu vísbendingar en ekki sannanir og hafa menn oft ruglast á þessu og öðrum jarðfræðilegum fyrirbrigðum. En slíkar upplýsingar gefa þó hugmynd um hvar sé einna helst að finna auðlindirnar, séu þær yfirleitt til staðar.

d. Auðlindamat

Þó að ýmsar vísbendingar séu fyrir hendi er varðar hugsanlegar olíu- og gaslindir á Jan Mayen-svæðinu, verður að hafa það í huga að engar óyggjandi vísbendingar hafa enn komið fram. Endanlegrar niðurstöðu er að líkindum ekki að vænta fyrir en boranir hafa farið fram, og jafnvel ekki fyrir en niðurstöður nokkurra borana liggja fyrir.

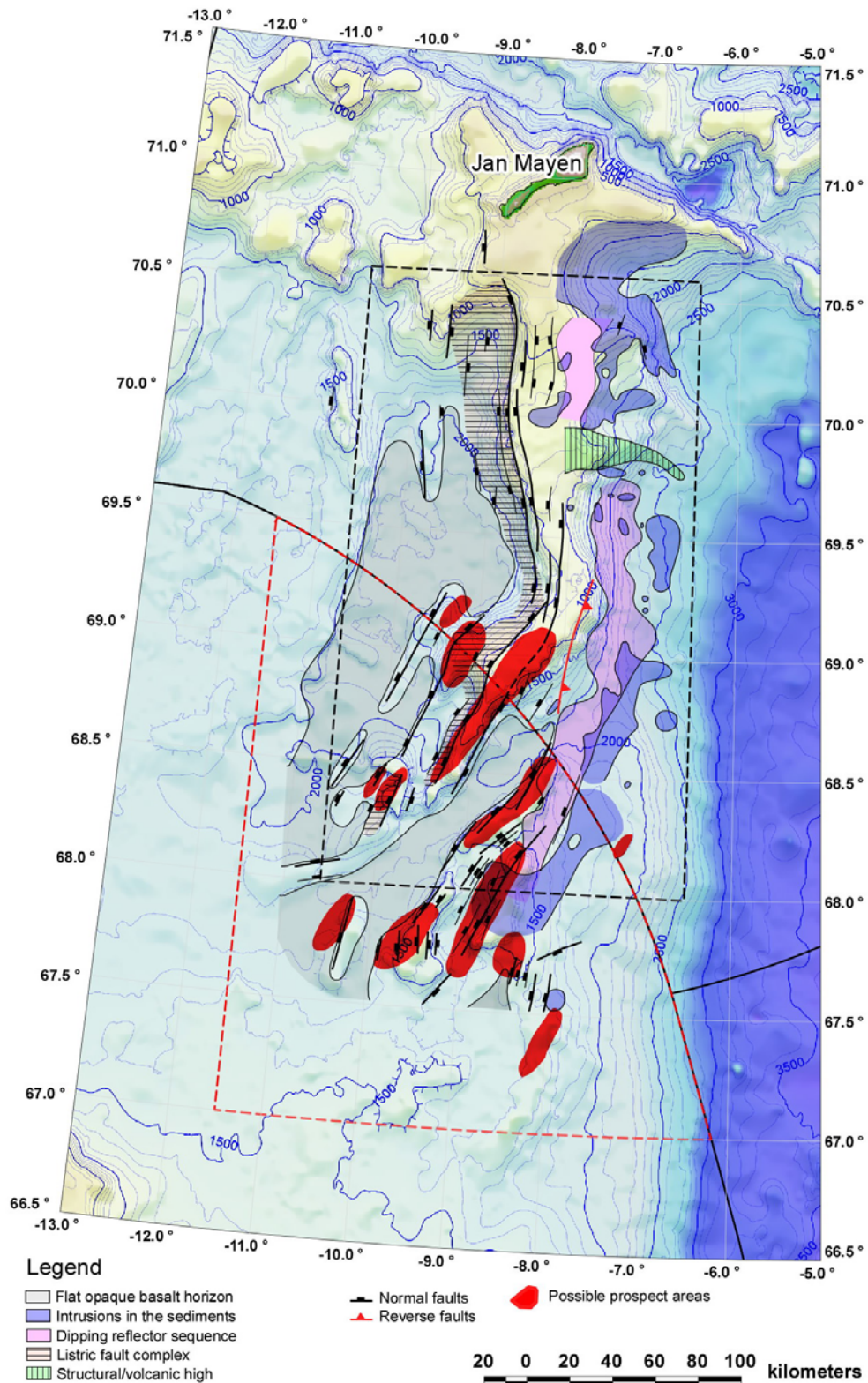
Eins og lauslega hefur verið imprað á áður er eitt stærsta vandamálið við kortlagningu setlaganna með hljóðendurvarpsmælingum það að basaltþekjan, sem myndaðist í upphafi reksins, hylur bróðurpartinn af svæðinu, sérstaklega syðri hlutann. Víða er þó hægt að sjá í eldra set undir basaltinu. Basalthulan tvístrar og endurkastar megninu af hljóðinu sem notað er til kortlagningar staflans, en það getur dregið verulega úr þeim upplýsingum sem hægt er að vinna úr. Á þeim svæðum sem upplýsingar fást má sjá jarðlög sem hugsanlega gætu innihaldið olíu og gas. Frekari rannsóknir gætu leitt það í ljós.

Lauslega er hægt að flokka svæðin innan norður hluta Drekasvæðisins í þrennt, eftir því hversu aðgengileg þau eru með tilliti til frekari rannsókna og hvar helstu líkur séu á að olíu- og gaslindir sé að finna miðað við þær upplýsingar sem núna eru fyrir hendi.

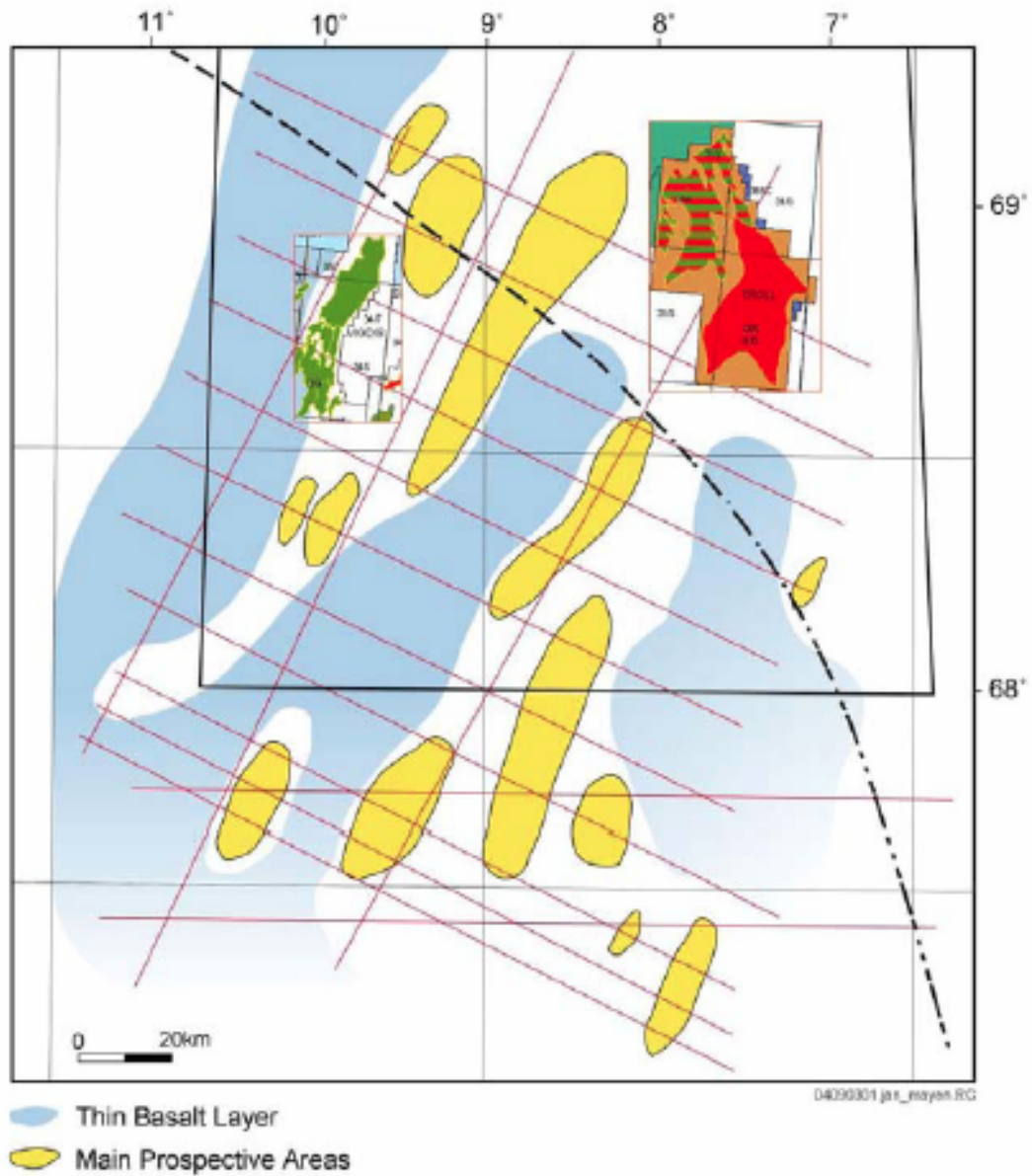
1. Aðal hryggjasvæðið þar sem hraun og innskot takmarka ekki rannsóknir með hljóðendurvarpsmælingum. Þetta er aðgengilegasta svæðið.
2. Svæði hulin hraunlögum eða innskotum þar sem líkur eru á eldri setlögum undir.
3. Jaðarsvæði sem liggja nálægt eða á úthafsskorpu. Þetta eru svæðin norðvestast og suðaustast á norðurhluta Drekasvæðisins.

Aðgengilegustu svæðin innan norðurhluta Drekasvæðisins til frekari rannsókna eru þá um 10000 ferkílómetrar, yfir suðurhryggjakerfinu og syðsta hluta meginhryggjarins, en þar af hefur Sagex metið allt að 3600 ferkílómetra af því svæði sem hugsanlegt svæði fyrir olúgildirur.

Sett hefur verið fram dæmi um stærð þeirra svæða, þar sem Sagex telur að finna megi olúgildirur, í samanburði við einstök olúvinnslusvæði Norðmanna. Segja má að ef einhverja olú er að finna á svæðinu gæti það verið í töluverðu magni. Mynd 11 sýnir vel þennan samanburð. Þar eru stærðir olú- og gaslindanna á Snorra- og Trollsvæðunum bornar saman við líklegustu blettina á Jan Mayen-svæðinu. Snorra svæðið inniheldur um 242 milljónir rúmmetra af olú og 6,4 milljarða rúmmetra af gasi. Trollsvæðið innihélt upphaflega um 233 milljónir rúmmetra af olú og 1318 milljarða rúmmetra af gasi.



Mynd 10. Jarðhníkskort og útbreiðsla innskota og hraunlaga. Einnig eru hér sýnd svæði þar sem að mati Sagex (2006) má hugsanlega finna olíugildirur (rauðir flekkir). Lauslega áætlað þekja þær um 4400 ferkílómetra. Rauðar brotalínur sýna Drekasvæðið sem er tæplega 43000 ferkílómetrar og svört brotalína sýnir samningsvæði Norðmanna og Íslendinga, sem er tæplega 46000 ferkílómetrar (breytt frá Åkermoen 1989).



Mynd 11. Syðri hluti Jan Mayen-svæðisins. Brotin lína sýnir efnahagslögsögu Íslands og heila línan samningssvæði Norðmanna og Íslendinga. Bláu flekkirnir sýna gróflega útbreiðslu basalts á svæðinu og þeir gulu hugsanlegar olíugildir. Til samanburðar má sjá stærð olíuvinnslusvæðisins Snorra (grænt) og gasvinnslusvæðisins Troll, sem eru í eigu Norðmanna (Sagex, 2006).

5 Heimildalisti/ritaskrá

Samningurinn um Jan Mayen-svæðið

Agreement on the Continental Shelf Between Iceland and Jan Mayen, 22 October 1981.
<http://www.un.org/Depts/los/LEGISLATIONANDTREATIES/PDFFILES/TREATIES/ISL-NOR1981CS.PDF>

Conciliation Commission (Richardson, E.L., Andersen, H.G., Evensen, J.), 1981. Report and Recommendations to the Governments of Iceland and Norway of the Conciliation Commission on the Continental Shelf Area between Iceland and Jan Mayen. Washington, D.C., 1981. 60 pp.

Landrek

Bott, M.H.P., 1985. Plate tectonic evolution of the Icelandic transverse ridge and adjacent regions, *J. Geophys. Res.*, 90, 9953-9960.

Doré, A.G., Lundin, E.R., Jensen, L.N., Birkeland, Ø., Eliassen, P.E., Fichler, C., 1999. Principal tectonic events in the evolution of the northwest European Atlantic margin. In: Fleet, A.J., Boldy, S.A.R. (Eds.), *Petroleum Geology of Northwest Europe: Proceedings of the Fifth Conference*, Geological Society of London, pp. 41-61.

Grønlie, G., 1979. Tertiary paleogeography of the Norwegian-Greenland Sea. *Norsk Polarinstitut, Skr.* 170, 49-61.

Grønlie, G., Chapmann, M. & Talwani, M., 1979. Jan Mayen Ridge and Iceland Plateau: Origin and evolution. *Nor. Polarinst. Skr.*, 170, 25-47.

Johnson, G.L. & Heezen, B.C., 1967. Morphology and evolution of the Norwegian-Greenland Sea. *Deep Sea Res.*, 14, 755-771.

Larsen, H.C., 1988. A multiple and propagating rift model for the NE Atlantic. In: Morton, A.C. and parson, L.M. (eds), 1988, *Early Tertiary Volcanism and the Opening of the NE Atlantic*, Geological Society Special Publication No. 39, pp. 157-158.

Lundin, E., 2002. North Atlantic – Arctic: Overview of sea-floor spreading and rifting history. In: Eide, E.A. (coord.), *BATLAS – Mid Norway plate reconstruction atlas with global and Atlantic perspectives*. Geological Survey of Norway, pp. 40-47.

Lundin, E.R., Doré, A.G., 2002. Mid-Cenozoic post-breakup deformation in the 'passive' margins bordering the Norwegian-Greenland Sea. *Marine and Petroleum Geology* 19, 79-93.

Lundin, E. and Doré, T. (2004). The Iceland "Anomaly" – An Outcome of Plate Tectonics. <http://www.mantleplumes.org/Iceland2.html#Discussion>

Lundin, E.R., Doré, A.G., 2005. NE Atlantic break-up: a re-examination of the Iceland mantle plume model and the Atlantic-Arctic linkage. In: Doré, A.G., Vining, B.A. (Eds.), *Petroleum Geology: North-West Europe and Global Perspectives—*

- Proceedings of the Sixth Petroleum Conference, Geological Society of London, pp. 739–754.
- Mosar, J., Torsvik, T.H. and the BAT team. Opening the Norwegian and Greenland Seas: Plate tectonics in Mid Norway since the Late Permian .North Atlantic – Arctic: Overview of sea-floor spreading and rifting history. In: Eide, E.A. (coord.), BATLAS – Mid Norway plate reconstruction atlas with global and Atlantic perspectives. Geological Survey of Norway, pp. 48-59.
- Olesen, O., Ebbing, J., Lundin, E., Mauring, E., Skilbrei, J.R., Torsvik, T.H., Hansen, E.K., Henningsen, T., Midbøe, P. & Sand, M. (in press). An improved tectonic model for the Eocene opening of the Norwegian–Greenland Sea: Use of modern magnetic data. *Marine and Petroleum Geology* (2007), doi:10.1016/j.marpetgeo.2006.10.008
- Nunns, A.G., 1980. Marine geophysical investigations in the Norwegian-Greenland Sea between latitudes of 62°N and 74°N. Ph.D. thesis., Univ. Of Durham, 185 pp.
- Nunns, A.G., 1983a. Plate tectonic evolution of the Greenland-Scotland Ridge and surrounding regions. In: Bott et al. (eds.), *Structure and Development of the Greenland-Scotland Ridge: New Methods and Concepts*. Nato Advanced Research Institute/Plenum Press, New York, 11-30.
- Nunns, A.G., 1983b. The structure and evolution of the Jan Mayen Ridge and surrounding regions. In Watkins, J.S. and Drake, C.L. (eds), *Continental Margin Geology*. Mem. Assoc. Petrol. Geol., 34, 193 - 208.
- Nunns, A.G., Talwani, M., Lorentzen, G.R., Vogt, P.R., Sigurgeirsson, T., Kristjánsson, L., Larsen, H.C., & Voppel, D., 1983. Magnetic anomalies over Iceland and surrounding areas. In: Bott, M.H.P., Saxov, S., Talwani, M. & Thiede, J. (eds.), *Structure and Development of the Greenland-Scotland Ridge*. Plenum Press, New York, pp. 661-678.
- Rowley, D.B. & Lottes, A.L., 1988. Plate-kinematic reconstructions of the North Atlantic and Arctic: Late Jurassic to Present. *Tectonophysics*, 155, 73-120.
- Skogseid, J., Eldholm, O., 1987. Early Cenozoic crust at the Norwegian continental margin and the conjugate Jan Mayen Ridge. *Journal of Geophysical Research* 92, 11471–11491.
- Talwani M. & Eldholm O., 1977. Evolution of the Norwegian-Greenland Sea: Recent results and outstanding problems. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 88, 969–999.
- Unternehr, P., 1982. Étude structurale et cinématique de la mer de Norvège et du Groenland. Evolution du microcontinent de Jan Mayen. Thèse de Doctorat de 3ème cycle, L'Université de Bretagne Occidentale, Brest, 228 pp.
- Vogt, P.R., Johnson, G.L. and Kristjánsson, L., 1980. Morphology and magnetic anomalies north of Iceland. *Journal of Geophysics*, 47, 67-80.

Jarðfræði Jan Mayen-hryggjar og nærliggjandi hafsvæða

- Eggen, S.S., 1984. Jan Mayen-ryggens geologi. Norwegian Petroleum Directorate Contribution 20, 29pp.
- Fedorova, T., Jacoby, W.R., & Wallner, H., 2005. Crust-mantle transition and Moho model for Iceland and surroundings from seismic, topography, and gravity data, 2005. *Tectonophysics* 396, 119–140.
- Gairaud H., Jacquart G., Aubertin F., Beuzart P., 1978. The Jan Mayen Ridge synthesis of geological knowledge and new data. *Oceanologica Acta*, 132, 335–358.
- Garde S.S., 1978. Zur geologischen Entwicklung des Jan Mayen Ruckens nach geophysikalischen Daten. Dissertation, University of Clausthal, Germany, 74pp.
- Gunnarsson, K., Sand, M. and Gudlaugsson, S.T., 1989. Geology and hydrocarbon potential of the Jan Mayen Ridge. Oljedirektoratet, OD-89-91 and Orkustofnun OS-89036/JHD-07, report, 143pp, 5 appendices incl. 9 maps. (restricted)
- Gunnarsson, K., 1990. Olíuleit á Jan Mayen-hrygg. Árbók Verkfræðingafélags Íslands, 1989/1990, bls. 171-181.
- Gudlaugsson, S.T., Gunnarsson, K., Sand, M. & J. Skogseid, 1988. Tectonic and volcanic events at the Jan Mayen Ridge microcontinent. In Morton, A.C. & Parson, L.M. (eds.), 1988, Early Tertiary volcanism and the opening of the NE Atlantic, Geological Society Special Publication No. 39, pp. 85-93.
- Hood, A. et al., 1976. Petroleum-generating potential and thermal history of DSDP leg 38 sediments. In: Talwani, M., Udintsev, G., et al., Initial reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. 38, U.S. Government Printing Office, Washington, 801-804.
- Hooft, E., Brandsdóttir, B., Barclay, A., Aanensen, O., Mjelde, R., Shimamura, H., Murai, Y., Watanabe, T., Yamashina, T., & Takanami, T., 2000. KRISE fieldwork team (2000): KRISE-2000: constraining the dynamics of plume–ridge interaction to the north of Iceland. *InterRidge News* 9, 37– 40.
- Imslund, P., 1980: The petrology of the volcanic island Jan Mayen, Arctic Ocean. Nordic Volcanological Institute, University of Iceland. 501 pp.
- Johansen, B., Eldholm, O., Talwani, M., Stoffa, P.L. & Buhl, P., 1988. Expanding spread profile at the northern Jan Mayen Ridge. *Polar Research*, 6, 95-104.
- Johansen, J.-M., 1992. Modelling av det magnetiske anomalifeltet over Jan Mayen-ryggen. Cand. scient. oppgave i anvendt geofysikk, Universitetet i Oslo. 111 sider, 24 siders appendiks.
- Kodaira, S., Mjelde, R., Gunnarsson, K., Shiobara, H. & Shimamura, H., 1997. Crustal structure of the Kolbeinsey Ridge, North Atlantic, obtained by use of ocean bottom seismographs. *J. Geophys. Res.*, 102, 3131-3151.
- Kodaira, S., Mjelde, R., Gunnarsson, K., Shiobara, H. & Shimamura, H., 1998. Evolution of oceanic crust on the Kolbeinsey Ridge, north of Iceland, over the past 22 Myr. *Terra Nova*, 10, 27-31.

- Kodaira, S., Mjelde, R., Gunnarsson, K., Shiobara, H. & Shimamura, H., 1998. Structure of the Jan Mayen microcontinent and implications for its evolution. *Geophys. J. Int.*, 132, 383-400.
- Kuvaas, B. & Kodaira, S., 1997. The formation of the Jan Mayen microcontinent: the missing piece in the continental puzzle between the Møre-Vøring Basins and East Greenland. *First Break*, 239-247.
- Kvenvolden, K.A., 1976. Organic geochemistry, leg 38: Introduction to studies. In: Talwani, M., Udintsev, G., et al., Initial reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. 38, U.S. Government Printing Office, Washington, 783-784.
- Leftwich, T.E., von Frese, R.R.B., Potts, L.V., Kim, H.R., Roman, D.R., Taylor, P.T. & Barton, M., 2005. Crustal modeling of the North Atlantic from spectrally correlated free-air and terrain gravity. *Journal of Geodynamics*, 40, 23-50.
- Myhre, A.M., Eldholm, O. & Sundvor, E., 1984. The Jan Mayen Ridge: present status. *Polar Research*, 2, 47-59.
- Navrestad, T., & Jørgensen, F., 1979. Aeromagnetic investigations on the Jan Mayen Ridge. Norwegian Petroleum Society NSS/9, 12pp.
- Ólafsson, I., 1983. The Jan Mayen Ridge and surrounding areas – a marine geophysical study. Cand. Real. Thesis, Univ. of Bergen, 127 pp.
- Ólafsson, I. & Gunnarsson, K., 1989. The Jan Mayen Ridge. Velocity structure from analysis of sonobuoy data. Orkustofnun, Reykjavík, Report OS-89030/JHD-04, 62 pp.
- Pedersen, R.B.; Svellingen, W.; Hellevang, B.; Thorseth, I.; Sand, M., 2001: Jan Mayen, related to ridge-transform-plume or ridge-transform interactions? American Geophysical Union, Fall Meeting 2001, abstract #T32C-01. 2001: American Geophysical Union
- Pelton, C.D., 1985. Geophysical interpretation of the structure and evolution of the Jan Mayen Ridge. Institute of Oceanographic Sciences Report, No. 205, 38pp.
- Rudjord, J.E., 1990. Jan Mayen-ryggen – seismiske hastigheter og tyngdemodellering. Cand. scient. oppgave i anvendt geofysikk, Universitetet i Oslo. 119 sider, 16 siders appendiks.
- Sundvor, E., Gidskehaug, A., Myhre, A.M. & Eldholm, O., 1979. Marine geophysical survey on the northern Jan Mayen Ridge. *Seismol. Obs. Univ. Bergen, Sci. Rept. No. 6*, 17pp.
- Svellingen, W and Pedersen, R.B., 2003. Jan Mayen: a result of ridge - transform - micro-continent interaction. EGS - AGU - EUG Joint Assembly, Abstracts from the meeting held in Nice, France, 6 - 11 April 2003, abstract #12993, EGU 2003.
- Talwani, M., Udintsev, G., et al., 1976. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. 38, U.S. Government Printing Office, Washington, 1256pp.
- Åkermoen, T., 1989. Jan Mayen-ryggen: Et seismisk stratigrafisk og strukturelt studium. Cand. scient. oppgave i anvendt geofysikk, Universitetet i Oslo. 183 sider, 9 kart.

Jarðfræði fyrrum grannsvæða Jan Mayen-hryggjar

Austur-Grænland

- Fechner, N. & Jokat, W., 1996. Seismic refraction investigations on the crustal structure of the western Jameson Land Basin (East Greenland). *J. Geophys. Res.*, 101, 15867-15882.
- Larsen, H.C., 1984. Geology of the East Greenland Shelf. In: Sprenger A.M. (ed.), *Petroleum Geology of the North European Margin*, Graham & Trotman, 329-340.
- Larsen, H.C., 1990. The East Greenland Shelf. In: Grantz, A., Johnson, L. & Sweeney, J.F. (eds.), *The Geology of North America: The Arctic Ocean region*, Geological Society of America, Boulder, Co, 185-210.
- Mandler, H. & Jokat, W., 1998. The crustal structure of Central East Greenland: results from combined land-sea seismic refraction experiments. *Geophys. J. Int.*, 135, 63-76.
- Surlyk, F., 1990. Timing, style and sedimentary evolution of Late Paleozoic-Mesozoic extensional basins of East Greenland. In Hardman, R.F.P. & Brooks, J. (eds.), *Tectonic Events Responsible for Britain's Oil and Gas Reserves*, Geol. Soc. Spec. Publ., 55, 107-125.
- Surlyk, F., 1991. Sequence stratigraphy of the Jurassic-lowermost Cretaceous of East Greenland. *AAPG Bulletin*, 75, 1468-1488.
- Surlyk, F., Clemmensen, L.B. & Larsen, H.C., 1981. Post-paleozoic evolution of the East Greenland continental margin. In: Kerr, J.W. & Ferguson, A.J. (eds.), *Geology of the North Atlantic borderlands*. *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.*, 7, 611-645.
- Surlyk, F. et al., 1984. The Permian Basin of East Greenland. In: Spencer, A.L. (ed), *Petroleum Geology of the North European margin*, Graham & Trotman, 303-316.
- Surlyk, F., Piasecki, S. & Rolle, F., 1986. Initiation of petroleum exploration in Jameson land, East Greenland. *Rapp. Grønlands Geol. Unders.*, 128, 103-121.
- Schmidt-Aursch, M.C. & Jokat, W., 2005. The crustal structure of Central East Greenland –II: From the Precambrian shield to the recent mid-oceanic ridges. *Geophys. J. Int.*, 135, 63-76.

Færeyjar

- Ziska, H. & Andersen, C., 2005. Exploration opportunities in the Faroe Islands. *Faroe Islands Explorations Conference, Proceedings of the First Conference*. *Annales Societatis Scientiarum Færoensis, Supplementum 43*, Tórshavn, 2005, 146-162.

Noregur

- Brekke, H. 2000. The tectonic evolution of the Norwegian Sea Continental Margin with emphasis on the Vøring and Møre Basins. In: Nøttvedt, A. et al. (eds), *Dynamics of the Norwegian Margin*. Geological Society, London, Special Publication, 167, 327-378.

Brekke, H., Sjulstad, H.I., Magnus. C. & Williams. R.W., 2001. Sedimentary environments offshore Norway - an overview. In: Martinsen, O.J. & Dreyer, T. (eds), Sedimentary Environments Offshore Norway Palaeozoic to Recent. Elsevier, Amsterdam, 10, 7-37.

Ýmislegt

Sagex 2006. Preparations for awarding licenses for exploration and production of hydrocarbons, Project G-1, Basic premises, possible development paths and Scenarios. Ministry of Industry, Iceland. Sagex NO 988 120 545 MVA.

