



ORKUSTOFNUN

RANNSÓKNASVIÐ - Reykjavík, Akureyri

Niðurstöður efnagreininga á proska lífræna efna í Tjörnessetlögum

Lokaskýrsla



Bjarni Richter, Orkustofnun
Jørgen Bojesen-Koefoed, GEUS

Unnið fyrir Auðlindadeild Orkustofnunar

2002

OS-2002/004

Bjarni Richter, Orkustofnun
Jørgen Bojesen-Koefoed, GEUS

Niðurstöður efnagreininga á þroska lífrænna efna í Tjörnessetlögnum

Lokaskýrsla

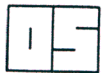
Unnið fyrir Auðlindadeild Orkustofnunar

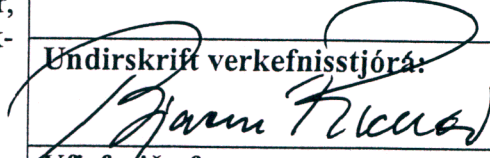
OS-2002/004

Janúar 2002

ORKUSTOFNUN – RANNSÓKNASVIÐ

Reykjavík: Grensásvegi 9, 108 Rvk. – Sími: 569 6000 – Fax: 568 8896
Akureyri: Háskólinn á Akureyri, Sólborg v. Norðurslóð, 600 Ak.
Sími: 463 0957 – Fax: 463 0998
Netfang: os@os.is – Veffang: <http://www.os.is>



Skýrsla nr.: OS-2002/004	Dags.: Janúar 2002	Dreifing: <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Niðurstöður efnagreininga um þroska lífrænna efna í Tjörnessetlögum Lokaskýrsla	Upplag: 20	
	Fjöldi síðna: 8-503100	
Höfundar: Bjarni Richter, Orkustofnun Jørgen Bojesen-Koefoed, GEUS	Verkefnisstjóri: Bjarni Richter	
Gerð skýrslu / Verkstig: Rannsókn setlaga, lokaskýrsla	Verknúmer: 8-503100	
Unnið fyrir: Auðlindadeild Orkustofnunar		
Samvinnuaðilar: GEUS – Kaupmannahöfn		
Útdráttur: Gerð er grein fyrir greiningum á þroskastigi lífrænna efna í setlögum á Törnesi og þeim niðurstöðum sem fyrir liggja. Verkið er framhald af borunum og sýnatöku sem fram fór fyrri hluta árs 2001. Í byrjun er lýst þrem helstu gerðum lífræns sets eftir samsetningu kolefnis í því, flokkað í kerogen tegundir I–III. Síðan er gefið yfirlit um þær greiningar sem gerðar hafa verið, tilgang þeirra og niðurstöður í hverju tilviki. Niðurstöðurnar úr hinum ýmsu greiningum eru allar á sama veg, þ.e. surtarbrandurinn í Tjörnessetlögum er fyrst og fremst af kerogen III gerð, sem þýðir að hann er aðallega sundurleitt lífrænt efni ættað af landi. Svokallaðir “biomarkers” gefa sterklega til kynna að lífræna efnið sé nánast eingöngu upprunnið sem háplöntur á landi, og endurkastsmælingar virðast sýna að efnið sé alveg óþroskað. Hvað varðar myndun olíu eða gass í setinu eru niðurstöður vænlegar, þ.e. við réttar aðstæður getur olía og gas auðveldlega myndast í setlögum af þessri gerð.		
Lykilorð: Gas, olía, settrog, kolefni, surtarbrandur, lignite, vitrinite reflectance, screening, Rock-Eval, biomarkers, Tjörnes	ISBN-númer:	
	Undirskrift verkefnisstjóra: 	
	Yfirfarið af: ÁsG, PI	

EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR	5
2	LÍFRÆN SETMYNDUN	5
3	”ROCK-EVAL”	6
4	”LECO - CHN”	8
5	”BIOMARKERS”	9
6	ENDURKASTSMÆLINGAR (VITRINITE REFLECTANCE)	10
7	SAMANTEKT NIÐURSTAÐNA	11
8	LOKAORÐ	14
9	HEIMILDIR.....	15
	Viðauki 1. Helstu niðurstöður úr greiningum úr Rock-Eval 6, LECO-CHN 2000 og Vitrinite refflectance.	17
	Viðauki 2. Sýnalisti.....	27

MYNDIR

Mynd 1. <i>Rock-Eval 6 greinirinn sem staðsettur er hjá GEUS í Kaupmannahöfn.....</i>	6
Mynd 2. <i>Skematísk mynd af því sem gerist í Rock-Eval 6 tækinu.....</i>	7
Mynd 3. <i>LECO tækið sem notað var til að staðfesta TOC-greininguna úr Rock-Eval 6.....</i>	8
Mynd 4. <i>Línurit sem sýnir hitastig hámarks bruna lífræns efnis og vetnisinnihald sýnanna.</i>	11
Mynd 5. <i>Hér má sjá að surtarbrandurinn í Tjörnessetlöggunum uppfyllir þau skilyrði, er snýr að kolefni og vetni, sem þarf til að kallast mjög gott móðurberg.....</i>	12
Mynd 6. <i>Gasið í Öxarfirði er hitaummyndað gas (thermogenic) skv. greiningu, líklega að mestu kolagas (þurrgas), en hugsanlega er eitthvað af oliugösum (condensate-blautgas).....</i>	13

1 INNGANGUR

Meginmarkmiðið með því verkefni sem hér er lýst var sá að ná sýnum úr Tjörneslögnum og greina gerð lífræns efnis í þeim, auk þess að meta þroskastig þess. Verkið var einnig unnið með hliðsjón af því að lífræn gös, sem fundist hafa í Öxarfirði, benda til þess að um olúgös sé að ræða (Magnús Ólafsson o.fl. 1993; Halldór Ármannsson o.fl. 1998; Bjarni Richter og Guðmundur Ómar Friðleifsson 1999). Um sýnatökuna og framgang hennar hefur áður verið fjallað (Bjarni Richter, 2001).

Auk þess að meta þroska lífrænna efna var jafnframt áhugi á að fá mat á möguleika surtarbrandsins til að mynda gas og olúu við réttar aðstæður.

Athugun á kolefni sem safnað var á Tjörnesi sumarið 2001 fór fram í rannsóknarstofum GEUS (Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser) frá 16/9 – 27/9 2001. Úrvinnsla og frekari greiningar hafa verið gerðar síðan.

Ekki eru öll kurl komin til grafar, m.a. á eftir að greina ísótópasamsetningu surtarbrandsins og eiginleika hans með tilliti til þess hvort hann geti gefið af sér olúu. Þegar þær niðurstöður liggja fyrir verður frá þeim greint í sérstakri greinargerð.

2 LÍFRÆN SETMYNDUN

Setmyndun úr lífrænu efni gerist aðallega á þrennan hátt og er í hverju tilfalli um mismunandi samsetningu að ræða. Þessi samsetning kemur síðan fram í mismunandi "kerogen" gerðum, en það er óuppleysanlegt, lífrænt efni. Þetta efni getur síðan myndað "bitumen", sem er uppleysanlegt og er virka efnið við myndun á þróaðri kolefnissamböndum, s.s. olúu og olúgösum.

Til eru þrjár gerðir kerogens eftir samsetningu lífræns kolefnis í því (Taylor, G.H et al. 1998):

- **Kerogen I:** Stöðuvatnaset eða setmyndun á vatnasvæðum. Oft er setmyndun á þessum svæðum hæg og lítið um straua, auk þess sem iðulega eru vötnin súrefnissnauð í botni og kemur það í veg fyrir að lífræna efnið oxist (rotni). Þessi vötn eru oftast en ekki gróðrarstía fyrir þörungum- og bakteríugróður, sem er aðaluppistaðan í kerogen I. Það myndar nánast eingöngu olúu og er best til vinnslu.
- **Kerogen II:** Aðallega grunnsævi. Blanda af lífrænu efni myndað í sjó og landrænt lífrænt efni, t.d. háplöntur eða þörungagróður. Það myndar aðallega olúu, en einnig eitthvað af gasi (blautgas og þurrgas).
- **Kerogen III:** Er eingöngu kolefni myndað úr háplöntum af landi og tilflutt að ströndu eða óseyri. Það fellur iðulega til nærri strönd. Þetta er sundurleitt kolefni. Þetta myndar mikið af þurrögösum, en getur einnig gefið af sér olúu en hlutfallslega minna en kerogen I.

Hér á eftir verður tekið saman yfirlit yfir þær greiningar sem hafa verið gerðar og tilgang þeirra, auk þess sem niðurstöður eru ræddar í hverju tilfalli. Að lokum er síðan samantekt niðurstaðna.

3 "ROCK-EVAL"

Fyrsta greiningin sem gerð var er svokölluð skönnun (screening) en það er gert með Rock-Eval tæki (Rock-Eval 6) (1. mynd).



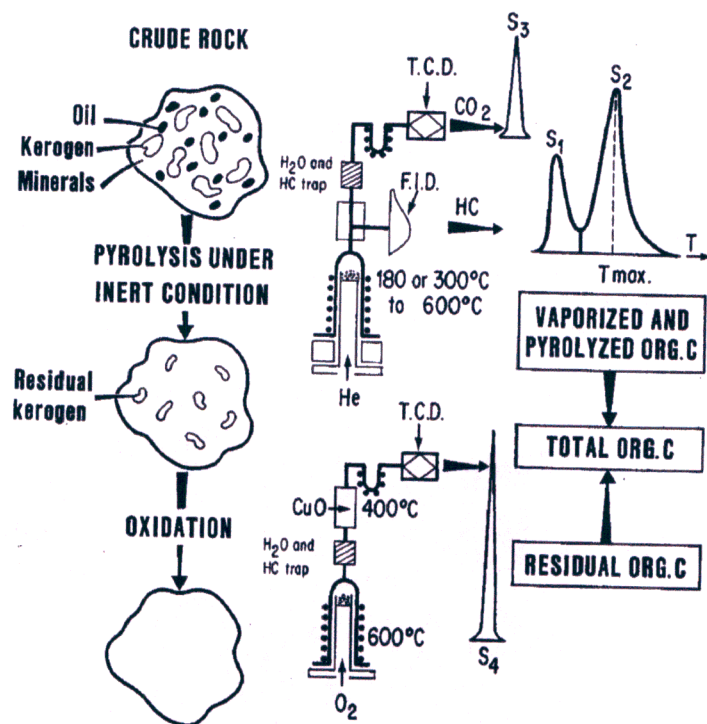
Mynd 1. Rock-Eval 6 greinirinn sem staðsettur er hjá GEUS í Kaupmannahöfn.

Í þessu tæki eru um 50 mg af sýni fyrst hituð upp í 300°C, síðan áfram í smástökkum allt upp í um 850°C og þar með brennur lífræna kolefnið í sýninu. Þetta er kallað "pyrolysis". Fyrst brenna burt við 300°C öll laus kolefnissambönd, s.s. gas og olía. Þetta gefur ákveðið útslag í mælingu sem kallast S₁. Það gefur vísbendingar um hve mikið af olíu og gasi hefur þegar myndast (2. mynd).

Eftir því sem hitinn hækkar, brennur kolefnið í sýnunum upp auk allra súrefnis-sameinda. Kolefnið sem brotnar niður gefur vísbendingar um þroskastig efnisins og hvaða möguleika það hefur til að gefa af sér olíu og gas. Það gefur útslag sem kallast S₂. Hitastigið þar sem S₂ er í hámarki gefur vísbendingar um við hvaða hita sem mest af eftirstandandi kolefnum geta brunnið. Við hátt þroskastig er aðallega eftir kolefni sem hefur hátt hitaþol (annað kolefni er þegar búið að mynda olíu og gas).

Ef hitinn er lágur gefur það til kynna að lítið eða ekkert af kolefninu hafi horfið burt og myndað olíu eða gas. Þessi vendipunktur kallast T_{max}. S₃ kemur líka fram á þessu stigi og er það mælikvarði á laust súrefni í sýninu sem gefur af sér CO₂. Þetta gerist á hitabilinu 300-390°C. Vetrissambönd (HI – Index) eru líka mæld og gefur það til kynna magn vetnisatóma. HI-index og T_{max} eru því góður mælikvarði á hverskonar kerogen er á ferðinni og við hverju megi búast. Virkt kolefni er þó aldrei meira en u.þ.b. 83% af heildarkolefninu.

Að lokum er afgangurinn af kolefninu brenndur upp með súrefni og gefur það S₄. Þessar niðurstöður eru síðan notaðar til að meta heildarmagn lífræns kolefnis (TOC).



Mynd 2. Skematísk mynd af því sem gerist í Rock-Eval 6 tækinu. Um nánari útlitun á einstökum liðum vísast í textann. Frá Taylor et. al. 1998.

Þessi aðferð er eins og áður sagði fyrst og fremst til að skilja á milli sýna sem annarsvegar hafa ekki neina möguleika á að vera upprunaberg fyrir olíu og gas og hins vegar þeirra sem geta myndað þróuð kolefnissambönd. Yfirleitt er þumalfingursreglan sú að TOC innan við 0,5% er ekki vænlegt. Ef kolefnið í setinu er kerogen III verður að reikna með a.m.k. 1% áður en það er talið vænlegt. Með þessu er hægt að taka frá þau sýni sem ljóst er að ekki geta gefið af sér gas eða olíu að neinu ráði.

Í fyrstu umferð virðast eingöngu vera nægilega góð sýni af kolefni í setlögnum úr holum HV-01 og HV-02 (sjá niðurstöður greininga í viðauka). Skv. Rock-Eval virðast þau vera fremur af kerogen III gerð, eins og yfirleitt hefur verið haldið fram, en kerogen II. Eitt sýni virðist þó innihalda nægilega mikið af vetni (H) til að flokkast undir Kerogen II (sýni -6568). Því er mögulegt að eitthvað af "stöðuvatnaseti" (lacustrine) og hugsanlega lífrænu efni úr sjó sé blandað saman við. Einnig er hugsanlegt að þessi gildi komi úr vaxi frá landrænum háplöntum (sjá kafla 5), en það - ekki síður en stöðuvatna- og sjávarset - getur gefið þurr- og blautgös lík þeim er finnst í Öxarfirði (sjá nánar í 7. kafla).

4 "LECO - CHN"

Þar sem kol eru annarsvegar getur Rock-Eval tækið ekki alltaf mælt nægilega vel kolefnisinnihaldið í sýnunum, og því þurfti einnig að nota LECO CHN-2000 til að greina kolefnið (3. mynd). CHN stendur fyrir Carbon (kolefni), Hydrogen (vetni) og Nitrate (köfnunarefni) og greinir tækið magn þessara frumefna í sýnum. Greiningin er aðallega gerð til að staðfesta TOC-greiningu Rock-Eval tækisins.



Mynd 3. LECO tækið sem notað var til að staðfesta TOC-greininguna úr Rock-Eval 6.

Í öllum tilfellum voru greiningarnar nánast samhljóða, en niðurstöður úr CNH eru notaðar þar sem tækið vinnur úr meira magni af sýninu og gefur nákvæmari niðurstöðu.

Í fyrstu umferð er TC (Total Carbon) mælt, síðan er saltsýra sett í til að fjarlægja ólífrænt kolefni. Að því loknu er aftur mælt í CHN-2000.

5 "BIOMARKERS"

Jørgen Bojesen-Koefoed hjá GEUS, Kaupmannahöfn, ritaði þennan kafla og verður hann á ensku þar sem ekki er fýsilegt að snara honum á íslensku að svo stöddu:

Biological markers ("biomarkers", "geochemical fossils", "molecular fossils") are defined by MacKenzie (1984) as "...any organic compound detected in the geosphere, whose basic skeleton suggests an unambiguous link with a known contemporary natural product". Biomarkers comprise a number of chemical compounds classes, that are found in oils, rock extracts and pyrolysates, which may be related to a specific precursor organism or group of organisms. Examples include compounds derived from plant pigments such as chlorophyll and carotene, from plant resins and cuticular lipids, and from procarote and eucariote cell membrane lipids, known as hopanoids and steroids, respectively. The difference between compounds found in extant organisms, and biomarkers are caused by transformations occurring during burial and diagenesis over geological time. Such transformations may include saturation and defunctionalisation, i.e. elimination of chemical double bonds and functional groups containing elements other than C and H (typically N, S, O, P, known as "heteroatoms" in order to distinguish them from C and H), whereby "biological heterocompounds" are transformed into "geological hydrocarbons". Another important process is known as isomerization. Biomarkers as well as their precursors are often complex molecules containing several (commonly 4-6) 6-member carbon rings, with several sidechains attached at a number of positions. Hence, even though the chemical formula of a compound may be fixed, its actual three-dimensional structure is not, since the positions of sidechains can be shifted without altering the chemical formula. Such compounds, having identical formulae, but different physical structures are known as isomers. Organisms have preferences, and in general synthesize only one specific structure/isomer. As biological compounds are released to the geosphere, thermodynamic processes assume control, leading to the a distribution of isomers primarily governed by the relative thermodynamic stability of the individual isomers in the actual environment. The ratio between various isomers may thus be used to describe thermal/subsidence history.

The transformations are broadly dependant on geological processes, and thus form the basis for the utility of biomarkers in petroleum geology and geochemistry. Hence, biological marker studies are used in the assessment of the origin of petroleum, the depositional environment of source rocks (salinity, oxygen level, marine versus terrigenous, etc.), the levels of thermal maturity and biodegradation, mixing of different types of petroleum, and much more. For an introduction to biological marker studies, see Waples and Machihara (1991) and Peters and Moldowan (1993).

The studies carried out on samples from the Tjörnes area show that the transformations mentioned above have not proceeded very far, i.e. the level of thermal maturity is very low. The organic matter type is, not surprisingly, terrestrial, and one sample (-6568) show increased proportions of diterpanes of the phyllocladane and isopimarane series, suggesting increased proportions of plant resins. Coals with high proportions of resinite may constitute excellent source rocks for both liquid and gaseous hydrocarbons, see eg. Bojesen-Koefoed et al. (1996) and references therein.

6 ENDURKASTSMÆLINGAR (VITRINITE REFLECTANCE)

Þessi greining er gerð til að meta þroska lífræna efnisins. Hún er framkvæmd á þann hátt að ljósgeisli er sendur inn í lítinn bita af efninu og endurkast þess mælt. Því meir sem endurkastast, því þroskaðra og einsleitara er efnið. Þetta gefur stuðulinn R_0 , sem staðlaður er út frá hreinsaðri olíu með gildið 1,0.

Upphaf olíumyndunar í lífrænu efni hefst þegar kolefnið fer að þroskast og R_0 sýnir 0,4–0,5% endurkast. Þegar endurkast af lífræna efninu (R_0) sýnir 0,4–1,35% er það farið að gefa af sér olíu. Þar fyrir ofan myndast þurrög (Taylor, G.H et al, 1998). R_0 er m.a. notað sem einn af þáttunum við að líkja eftir þróun setlagatrog (basin modelling) og gefur oft hitasögu setlaganna.

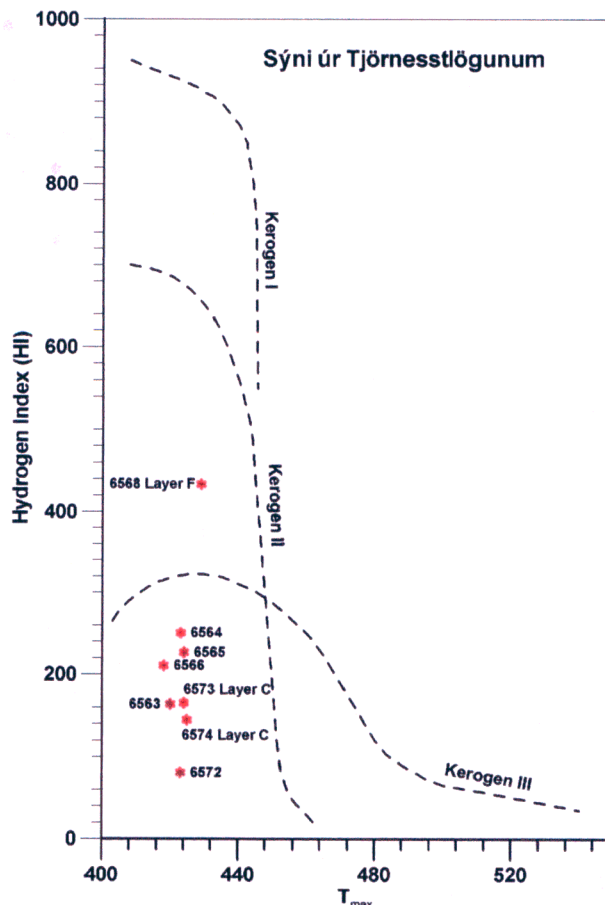
Ekki er víst að niðurstaðan hér komi að notum fyrir allt trogið, þar sem búast má við að hitadreifing innan trogsins sé mjög sundurleit (misdreifð), auk þess sem Tjörnes-setlögin sjálf hafa líklega farið í gegnum minni upphitun en víðast annars staðar í troginu, sökum þeirrar upplyftingar sem þau urðu fyrir.

Erfitt getur verið að fá ákveðið, stöðugt gildi fyrir R_0 ef efnið er mjög lítt ummyndað, þar sem efnið sjálft getur verið mjög sundurleitt. Það gerist sökum þess að ýmist lendir geislinn í umfrymi eða frumuveggjum. Hinsvegar gefur þroskað efni, sem er orðið einsleitt, mjög stöðugt gildi.

R_0 fyrir þrjú sýni úr Tjörneslögunum, þar sem hvert sýni var mælt tvisvar, 25–68 punktar í hvert sinn, gefur meðaltal $R_0 = 0,26–0,28\%$. Það gefur vísbendingar um að þroskun lífrænna efna sé mjög skammt á veg kominn og flokkast sem óþroskað. Niðurstöður endurkastsmælinganna má finna í viðhengi 1.

7 SAMANTEKT NIÐURSTAÐNA

Niðurstöður úr hinum ýmsu greiningum eru allar á sama veg. Surtarbrandurinn úr Tjörnesstlögum er fyrst og fremst af kerogen III gerð, sem er aðallega sundurleitt lífrænt efni ættað af landi. Þó er möguleiki á að eitthvað af lífrænu efni úr sjó eða stöðuvötnum sé saman við. Þetta virðist koma fram í eftirfarandi línuriti, en hafa verður í huga að skýringin getur einnig verið sú að um óvenjumikið af trjákvöðu og/eða vaxi úr laufblöðum sé að ræða (4. mynd).



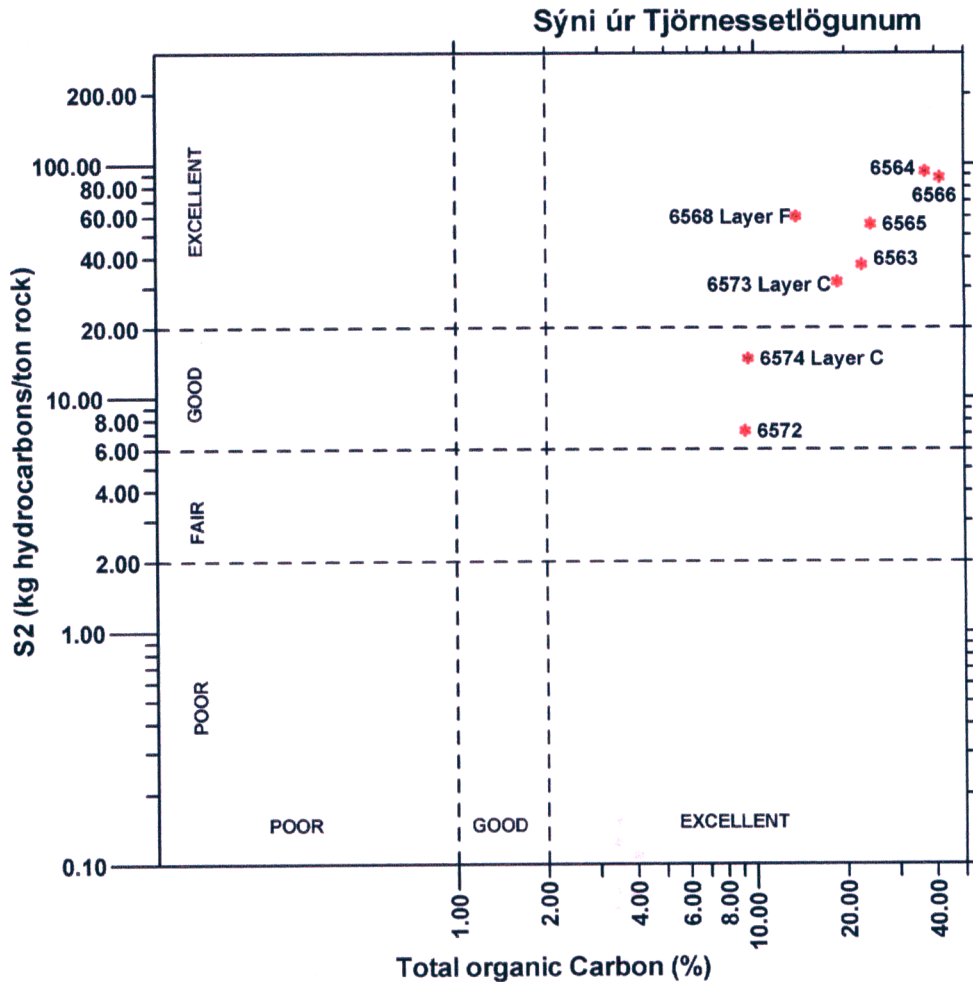
Mynd 4. Línurit sem sýnir hitastig hámarks bruna lífræns efnis og vetnisinnihald sýnanna. Ef ekki er nægilegt vetni til staðar til að bindast kolefnisatómum, getur ekki myndast olía eða gas að neinu marki. Flest flokkast sýnin sem kerogen III (landrænt kolefni). Eitt sýni (-6568) virðist lenda hærra en önnur, og gæti það hugsanlega verið uppsprettan fyrir blautgösin sem er hluti þess sem finnst í Öxarfirði.

Einnig virðist sem endurkastsmælingarnar (vitrit reflectance) sýni að efnið sé alveg óþroskað (0,26–0,28%).

Um uppruna lífræna efnisins segja "biomarkers" mest. Þar virðist koma berlega í ljós að lífræna efnið sé eingöngu, eða nánast eingöngu, ættað frá háplöntum af landi.

Ef litið er á þessar niðurstöður með tilliti til hugsanlegs móðurbergs, má segja að þær séu vænlegar með tilliti til olíu- og gasmyndunar. Á mynd 5. má sjá hvar sýnin lenda með tilliti til magns kolefnis í seti og þess kolefnis sem er virkt og getur myndað olíu

og gas með lausum vetnissameindum sem finnast í sýnunum. Er því ljóst að við réttar aðstæður (meiri hita) getur olía og gas auðveldlega myndast úr setlögum sambærilegum þeim sem er að finna í Tjörneslögum, en hitastigull þar er fremur lágur.



Mynd 5. Hér má sjá að surtarbrandurinn í Tjörnessetlögum uppfyllir þau skilyrði, er snýr að kolefni og vetni, sem þarf til að kallast mjög gott móðurberg. Til þess að mynda olíu og gas þarf efnið að þroskast mun meira til að gefa af sér þróuð kolefnissambönd. Telja verður líklegt að slíkar aðstæður séu að finna í Tjörnes-troginu sjáfu.

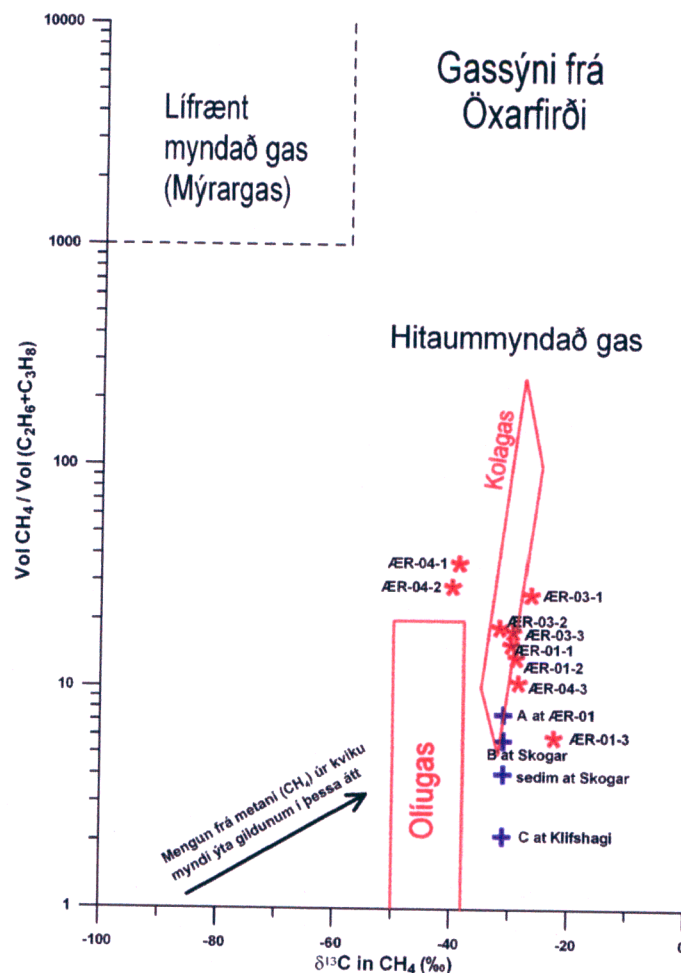
Ein af þeim spurningum, sem leitast var við að svara, er sú hvort að gasið sem finnst í Öxarfirði gæti verið upprunnið úr surtarbrandslögum ekki ósvipuðum þeim sem finnast nú í Tjörneslögum. Þessi hugmynd var viðruð í greinum Magnúsar Ólafssonar et al. 1993 og Halldórs Ármannssonar et al. 1998. Ekki hefur enn verið líkt eftir þroskun surtarbrands í rannsóknarstofu, en þegar því er lokið, má líklega leiða að því sterkar líkur úr hverskonar efni gasið kemur. Á eftirfarandi mynd (6. mynd) eru kolefnisísótópar, sem greindir hafa verið í gasi frá Öxarfirði, skoðaðir með tilliti til uppruna. Þar kemur berlega í ljós að allt gas sem safnaðist er svokallað hita-ummyndað gas en ekki lífrænt myndað gas, eða mýrargas, en það er aðallega metan sem myndast við rotnun lífræns efnis. Rauðu stjörnur eru sýni sem safnað var og greynd á árunum 1987-1994 (Magnús Ólafsson et al. 1993 og Halldór Ármannsson et

al. 1998). Hin (bláir krossar) voru greynd í gasgreini 1998 (Bjarni Richter og Guðmundur Ómar Friðleifsson 1999), en ísótópasamsetning þeirra var ekki mæld. Því var reiknað meðaltal úr eldri greiningunum og það notað þar til betri upplýsingar fást.

Greinilegt virðist að sýnin séu svokallað kolagas, þurrög. Þó er það ekki alveg víst, þar sem hugsanlega er um einhverja mengun að ræða, bæði frá lífrænt mynduðu gasi (lækkar gildið) og frá metani úr kviku (hækkar gildið).

Fremur ólíklegt er að um mengun frá "mýrargasi" sé að ræða, þar sem afar lítið lífrænt efni finnst í setinu í Öxarfirði, allavega ofan 400 metra. Hinsvegar er líklegt að einhver mengun gæti stafað frá metani úr kviku og myndi það hækka $\delta^{13}\text{C}$. Ef tekið væri tillit til þessa, myndu sýnin flest færast nær olúgasglugganum og jafnvel inn í hann. Nánari athugun ætti þó að skera úr um það.

Því má að svo stöddu segja með nokkurri vissu að olú- og gasmyndun geti átt sér stað í Tjörnsetlögum við réttar aðstæður, og gasið í Öxarfirði sé líklega komið úr þesskonar seti. Einnig má fastlega búast við að þetta gerist einnig víðar í Tjörnestroginu sjálfu, en spurning hvort finnst heppilegt geymsluberg.



Mynd 6. Gasið í Öxarfirði er hitaummyndað gas (thermogenic) skv. greiningu, líklega að mestu kolagas (þurrgas), en hugsanlega er eitthvað af oliugösum (condensate-blautgas). Ísótópasamsetning gassins bendir þó til að um kolagas sé að ræða, en hafa verður í huga að mengun af metani getur hækkað hlutfallið verulega.

8 LOKAORÐ

Eins og komið hefur fram áður eru ekki öll kurl komin til grafar, en þær athuganir sem eftir er að gera eru:

- Ísótópamælingar á surtarbrandinum í Tjörnesetlögunum (er í vinnslu)
- Suða á sýnum til að kanna hverskonar olía myndast, auk hlutfalls olíu og gass (er í vinnslu).
- Hugsanlega verður farið í að greina einnig gös sem myndast við slíka suðu, auk ísótópamælinga á þeim (verður líklega gert síðar á árinu).
- Gaskortlagning í Öxarfirði, ásamt greiningum á gasgerðum og ísótópum (verður líklega gert síðar á árinu).

Niðurstöður þær sem berast síðar verða birtar sem greinargerð og/eða skýrsla og verða varðveittar sem slíkar á bókasafni Orkustofnunar.

9 HEIMILDIR

- Ármannsson, H., Ólafsson, M., Friðleifsson, G.Ó., Darling W. G. og Laier, T. 1998. *Organic gas in Öxarfjörður, NE Iceland. Water-Rock Interaction. Proceedings of the 9th international symposium on water-rock interaction-WRI-9/Taupo/New Zealand/30 March - 3 April 1998.* s. 609–612.
- Bjarni Richter og Guðmundur Ómer Friðleifsson, 1999. *Gassöfnun og gaskortlagning í Öxarfirði.* Orkustofnun, greinargerð BR-GOF-99/01, 12 s.
- Bjarni Richter, 2001. *Kjarnaborun í Tjörnessetlögin til að meta þroska lífrænna efna. Áfangaskýrsla.* Orkustofnun, OS-2001/051, 29 s.
- Bojesen-Koefoed, J. A., Christiansen, F. G., Petersen, H. I., Piasecki, S., Stemmerik, L. og Nytoft, H. P. 1996. Resinite-rich coals of northeast Greenland – a hitherto unrecognised highly oil-prone Jurassic source rock. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 44: 458–473.
- MacKenzie, A. S. 1984. *Application of biological markers in petroleum geochemistry.* Í: Brooks, J. og Welte, D. H. (ritstj.) *Advances in petroleum geochemistry #1*, Academic Press, 115–214.
- Ólafsson, M., Friðleifsson, G.Ó., Eiríksson, J., Sigvaldason H. og Ármannsson, H. 1993: *On the origin of organic gas in Öxarfjörður, NE-Iceland.* Orkustofnun, OS-93015/JHD-05, 76 s.
- Peters, K. E. og Moldowan, J. M. 1993. *The biomarker guide.* Prentice Hall, Englewood Cliffs. 363 s.
- Taylor, G.H., Teicmüller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, R. og Robert, P. 1998. *Organic petrology : a new handbook incorporating some revised parts of Stach's textbook of coal petrology.* Berlin Gebrüder Bornträger xvi, 704 s.
- Waples, D. W. og Machihara, T. 1991. *Biomarkers for geologists – a practical guide to the application of steranes and triterpanes in petroleum geology.* AAPG Methods in Exploration #9, 91 s.

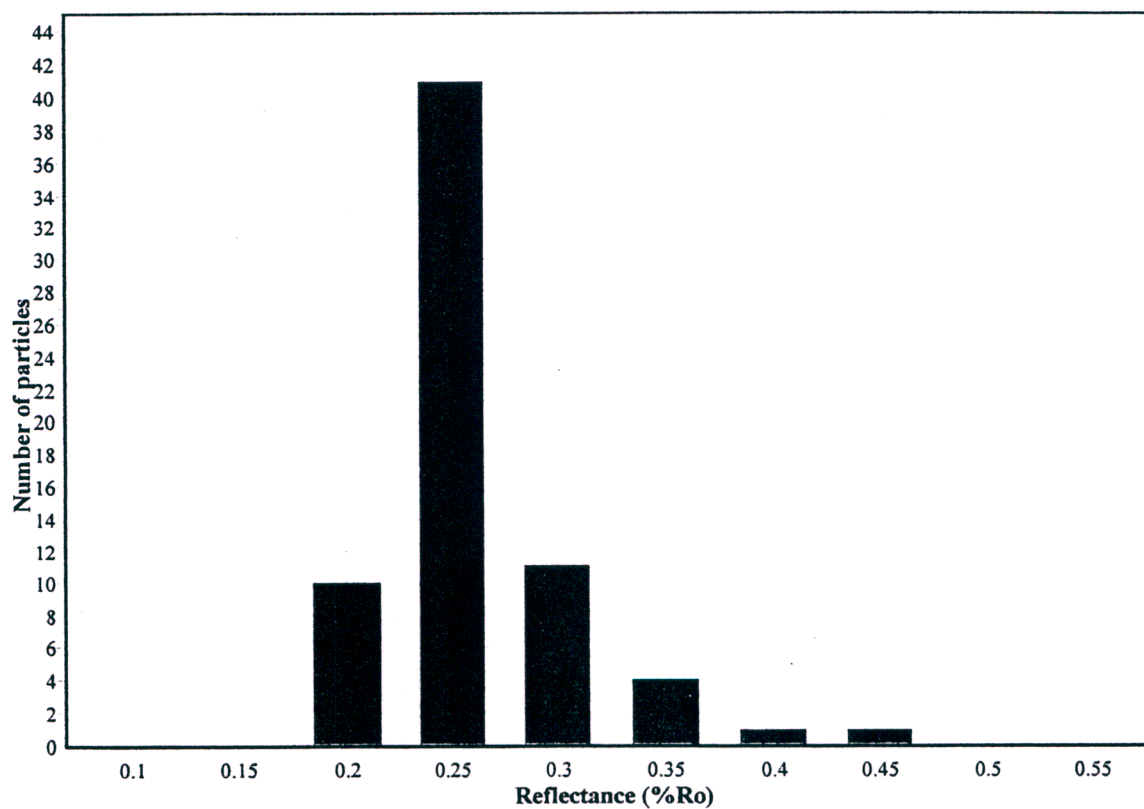
VIÐAUKI 1. Helstu niðurstöður úr greiningum úr Rock-Eval 6, LECO-CHN 2000 og Vitrinite reflectance.

Hola	Sýni	Dýpi	Synanr.	TOC-CHN (wt-%)	Tmax (°C)	S1	S2	S3	HI	HI-gr-TOC	OI	OI-gr-TOC	PI (mg HC/g rock)	PC	C-reac %	C-inert %	Cr %	Ci %	Vit-ref R ₀ %
nr.	m.	(GEUS)				(mg HC/g rock)													
HV-02	S-1	14,00	2001049 - 6563	22,71	420,00	1,78	37,20	15,42	164,00	37,24	68,00	15,44	0,05	3,24	3,24	19,47	14,25	85,75	
HV-02	S-2	14,40	2001049 - 6564	37,00	423,00	5,88	92,87	21,21	251,00	92,87	57,00	21,09	0,06	8,20	8,20	28,80	22,15	77,85	0,26
HV-02	S-3	15,20	2001049 - 6565	24,33	424,00	2,53	55,27	15,82	227,00	55,23	65,00	15,81	0,04	4,80	4,80	19,53	19,72	80,28	
HV-02	S-4	18,00	2001049 - 6566	41,41	418,00	4,39	87,54	28,04	211,00	87,38	68,00	28,16	0,05	7,63	7,63	33,78	18,43	81,57	
HV-02	S-5	20,00	2001049 - 6567	0,79	406,00	0,01	0,15	1,06	19,00	0,15	130,00	1,03	0,06	0,01	0,01	0,78	1,68	98,32	
HV-02	S-6	21,00	2001049 - 6568	13,76	429,00	2,43	59,69	18,72	434,00	59,72	140,00	19,26	0,04	5,16	5,16	8,60	37,47	62,53	0,28
HV-02	S-7	23,50	2001049 - 6569	0,05	382,00	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00	520,00	0,26	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	100,00	
HV-01	S-8	22,50	2001050 - 6570	0,12	386,00	0,00	0,01	0,51	20,00	0,02	1020,0	1,22	0,00	0,00	0,00	0,12	0,69	99,31	
HV-01	S-9	37,50	2001050 - 6571	0,11	372,00	0,00	0,01	0,47	20,00	0,02	940,00	1,03	0,00	0,00	0,00	0,11	0,75	99,25	
HV-01	S-10	46,50	2001050 - 6572	9,24	423,00	0,09	7,16	5,70	81,00	7,48	64,00	5,91	0,01	0,60	0,60	8,64	6,51	93,49	
HV-01	S-11	50,70	2001050 - 6573	18,81	424,00	0,45	31,55	12,62	166,00	31,22	66,00	12,41	0,01	2,66	2,66	16,15	14,12	85,88	
HV-01	S-12	51,60	2001050 - 6574	9,45	425,00	0,40	14,69	6,41	145,00	13,70	63,00	5,95	0,03	1,25	1,25	8,20	13,25	86,75	0,28
HV-01	S-13	53,50	2001050 - 6575	0,09	341,00	0,01	0,02	0,49	40,00	0,04	980,00	0,88	0,33	0,00	0,00	0,09	2,77	97,23	
TG-01	S-14	20,60	2001051 - 6576	0,29	428,00	0,01	0,07	0,32	29,00	0,08	133,00	0,39	0,13	0,01	0,01	0,28	2,29	97,71	

Vitrinite Reflectance (Random)

Locality: Iceland
Depth: 14.40 m
Material: Coal
Seam:
Interval:
Formation:
Age:

Lab. no.: 6564a
Activity no.: 2001049
Date: 21.11.01
Operator: hip
Standard: 0.515%R
Client:



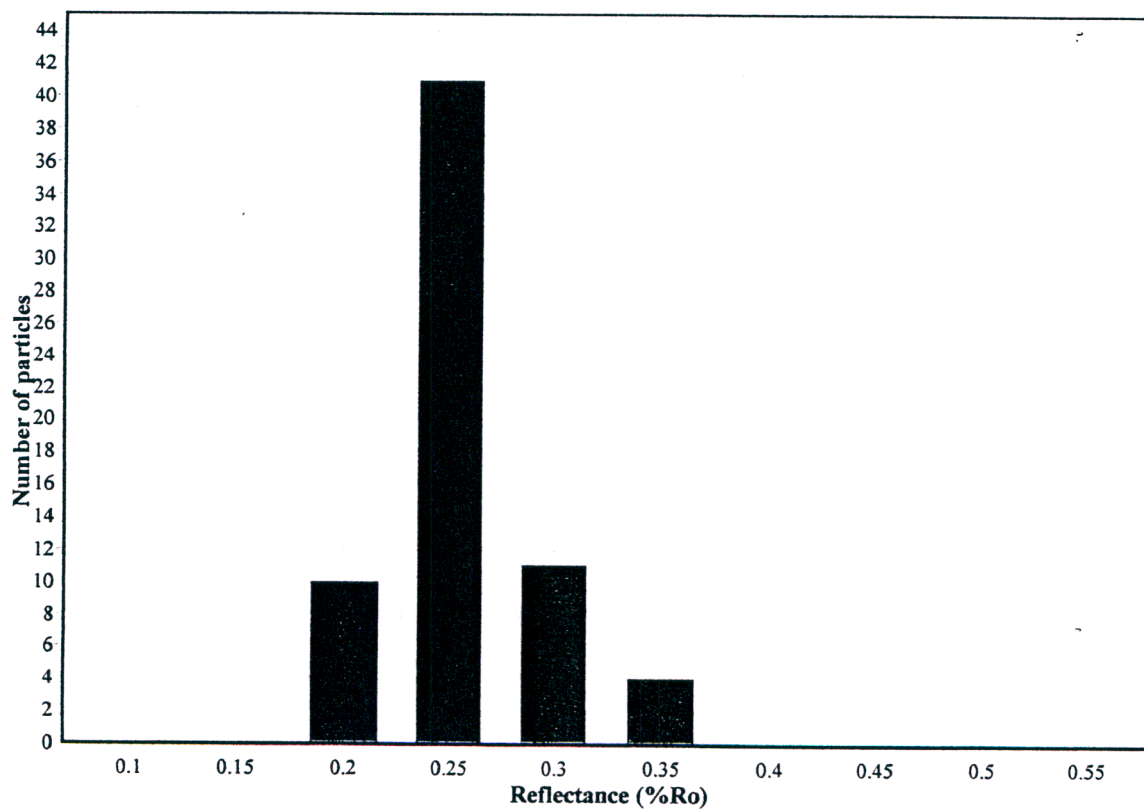
Mean %R= 0.26 Minimum %R= 0.21 Maximum %R= 0.43
Standard deviation= 0.047 Number of particles= 68

Comments: Very little well-defined eu-ulminite.
Considerable variation in the reflectance of huminite.

Vitrinite Reflectance (Random)

Locality: Iceland
Depth: 14.40 m
Material: Coal
Seam:
Interval:
Formation:
Age:

Lab. no.: 6564a
Activity no.: 2001049
Date: 21.11.01
Operator: hip
Standard: 0.515%R
Client:



Mean %R= 0.26 Minimum %R= 0.21 Maximum %R= 0.37
Standard deviation= 0.039 Number of particles= 66

Comments: Very little well-defined eu-ulminite.
Considerable variation in the reflectance of huminite.

Locality: Iceland
 Sample: HV-02
 Depth: 14.40 m

Lab. no.: 6564A
 Activity no.: 2001049
 Date: 21.11.01
 Operator: hip
 Standard: 0.515%R

File: 6564A
 Reflectivity[%]

 Lambda : 546 nm
 Minimum : 0.208
 Maximum : 0.429
 Mean_Value : 0.262
 Standard-Dev. : 0.047
 Variance : 0.002
 Rel.Var.-Coeff. : 2.20%
 Total N : 68

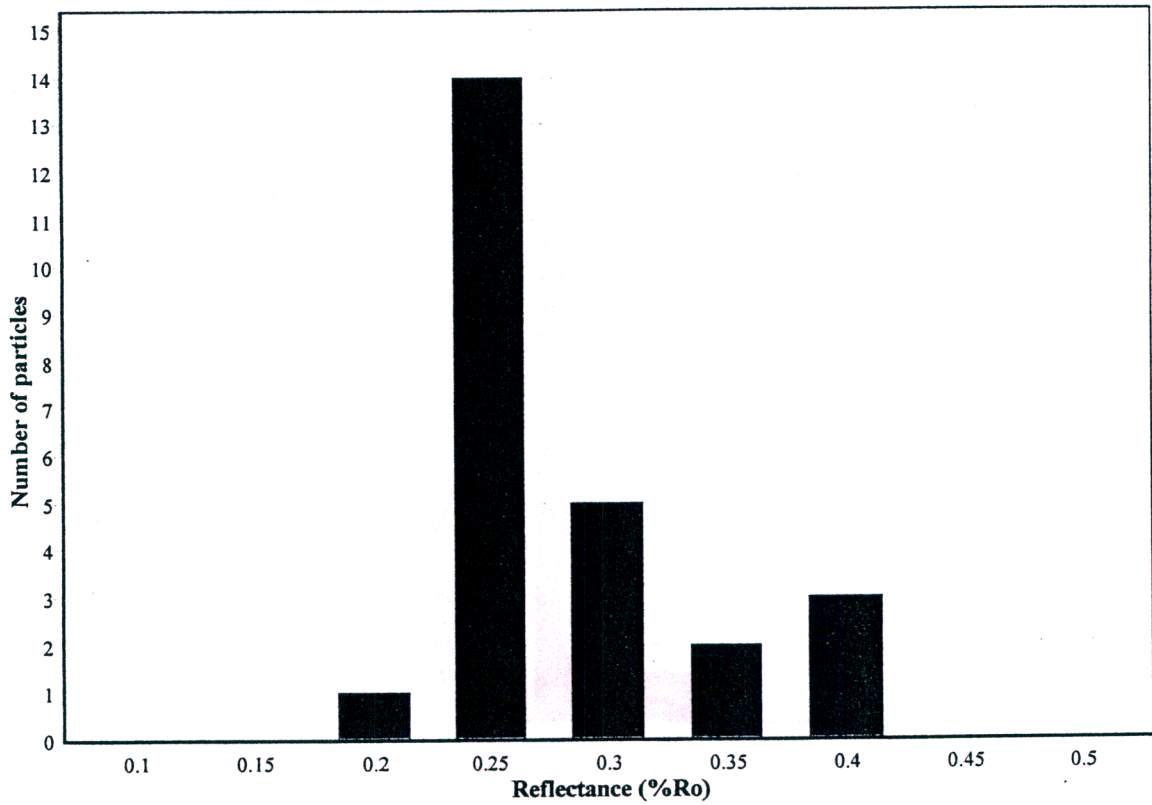
File: 6564A
 Reflectivity[%] at 546 nm

No.:	values										mean
1	0.241	0.302	0.274	0.212	0.210	0.230	0.254	0.251	0.242	0.429	0.26
11	0.258	0.316	0.232	0.324	0.222	0.237	0.210	0.208	0.228	0.229	0.25
21	0.230	0.226	0.213	0.258	0.229	0.216	0.229	0.319	0.228	0.232	0.24
31	0.283	0.233	0.236	0.209	0.237	0.247	0.270	0.249	0.268	0.266	0.25
41	0.255	0.231	0.258	0.290	0.247	0.262	0.402	0.369	0.303	0.274	0.29
51	0.235	0.327	0.308	0.362	0.219	0.222	0.314	0.278	0.271	0.248	0.28
61	0.256	0.226	0.311	0.250	0.360	0.232	0.249	0.243			0.27

Vitrinite Reflectance (Random)

Locality: Iceland
Depth: 51.60 m
Material:
Seam:
Interval:
Formation:
Age:

Lab. no.: 6574A
Activity no.: 2001050
Date: 22.11.01
Operator: hip
Standard: 0.515%R
Client:



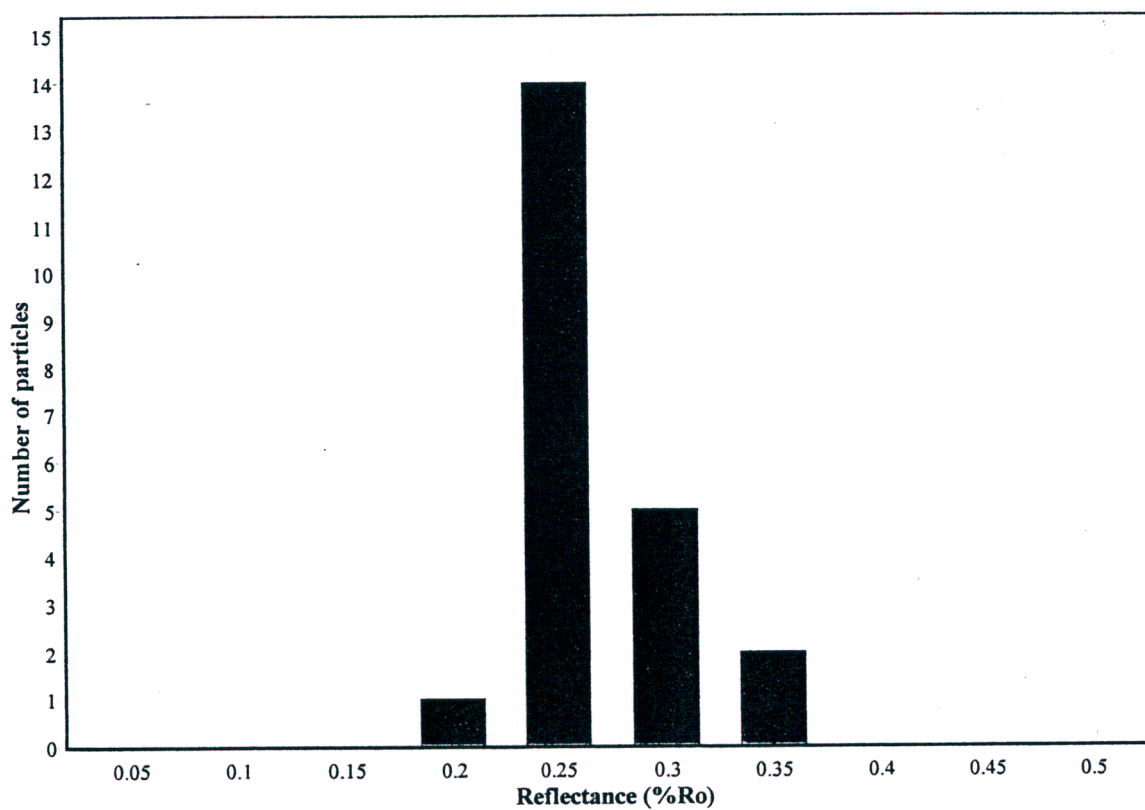
Mean %R= 0.28 Minimum %R= 0.21 Maximum %R= 0.39
Standard deviation= 0.052 Number of particles= 25

Comments:

Vitrinite Reflectance (Random)

Locality: Iceland
Depth: 51.60 m
Material:
Seam:
Interval:
Formation:
Age:

Lab. no.: 6574A
Activity no.: 2001050
Date: 22.11.01
Operator: hip
Standard: 0.515%R
Client:



Mean %R= 0.27 Minimum %R= 0.21 Maximum %R= 0.35
Standard deviation= 0.037 Number of particles= 22

Comments: Sample: HV-01

Locality: Iceland
Sample: HV-01
Depth: 51.60 m
Lab. no.: 6574A
Date: 22.11.01
Operator: hip
Standard: 0.515%R

File: 6574A
Reflectivity[%]

Lambda : 546 nm
Minimum : 0.212
Maximum : 0.389
Mean Value : 0.281
Standard-Dev. : 0.052
Variance : 0.003
Rel.Var.-Coeff. : 3.79%
Total N : 25

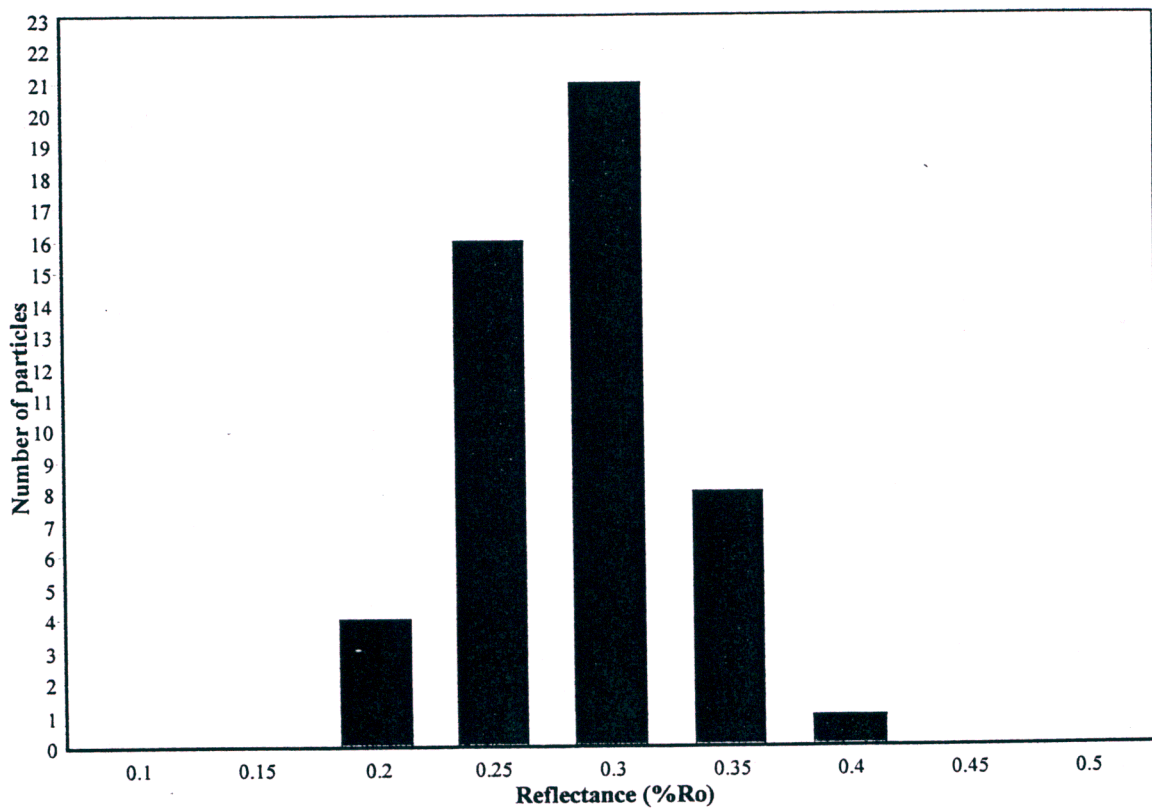
File: 6574A
Reflectivity[%] at 546 nm

No.:	values										mean
1	0.242	0.239	0.212	0.229	0.349	0.332	0.229	0.236	0.389	0.309	0.28
11	0.262	0.376	0.263	0.251	0.266	0.290	0.274	0.309	0.387	0.282	0.30
21	0.232	0.307	0.253	0.229	0.267						0.26

Vitrinite Reflectance (Random)

Locality: Iceland
Depth: 21.00 m
Material: Coal
Seam:
Interval:
Formation:
Age:

Lab. no.: 6568A
Activity no.: 2001049
Date: 21.11.01
Operator: hip
Standard: 0.515%R
Client:



Mean %R= 0.28 Minimum %R= 0.21 Maximum %R= 0.4
Standard deviation= 0.045 Number of particles= 50

Comments: Very little eu-ulminite.
Considerable variation in reflectance of huminite due to very low thermal maturity.

Locality: Iceland
 Sample: HV-02
 Depth: 21.00 m

Lab. no.: 6568A
 Activity no.: 2001049
 Date: 21.11.01
 Operator: hip
 Standard: 0.515%R

File: 6568A
 Reflectivity[%]

Lambda : 546 nm

Minimum : 0.206
 Maximum : 0.402
 Mean_Value : 0.285
 Standard-Dev. : 0.045
 Variance : 0.002
 Rel.Var.-Coeff. : 2.25%
 Total N : 50

File: 6568A
 Reflectivity[%] at 546 nm

No.:	values										mean
1	0.240	0.240	0.237	0.245	0.220	0.323	0.296	0.328	0.317	0.282	0.27
11	0.329	0.349	0.305	0.287	0.279	0.284	0.247	0.358	0.370	0.222	0.30
21	0.278	0.302	0.267	0.240	0.293	0.319	0.281	0.242	0.206	0.305	0.27
31	0.341	0.222	0.252	0.246	0.402	0.311	0.258	0.246	0.240	0.369	0.29
41	0.314	0.284	0.284	0.227	0.269	0.316	0.277	0.286	0.252	0.337	0.28

VIÐAUKI 2. Sýnalisti.

GEUS

Sýnanúmer Dýpi (m) Lýsing

Activity no: Lab. No:

HV-02 S-1	14,00	Surtarbrandur	2001049	6563
HV-02 S-2	14,40	Surtarbrandur	2001049	6564
HV-02 S-3	15,20	Surtarbrandur	2001049	6565
HV-02 S-4	18,00	Surtarbrandur	2001049	6566
HV-02 S-5	20,00	Sandsteinn	2001049	6567
HV-02 S-6	21,00	Surtarbrandur. Lag F (Strauch)	2001049	6568
HV-02 S-7	23,50	Sandsteinn. Lag E (Strauch)	2001049	6569
HV-01 S-8	22,50	Surtarbrandur? Kannski neðsta eining D?	2001050	6570
HV-01 S-9	37,50	Sandsteinn. Inniheldur eitthvað af kolum.	2001050	6571
HV-01 S-10	46,50	Surtarbrandur	2001050	6572
HV-01 S-11	50,70	Surtarbrandur. Blandað seti. Lag C (Strauch)	2001050	6573
HV-01 S-12	51,60	Surtarbrandur. Blandað seti. Lag C (Strauch)	2001050	6574
HV-01 S-13	53,50	Sandsteinn.	2001050	6575
TG-01 S-14	20,60	Surtarbrandur, örþunnur.	2001051	6576
TG-01 S-15	22,80	Surtarbrandur, örþunnur.	2001051	6577

