Um dýpdarboringina í Vestmanna og í Lopra

(Scientific deep drilling in the Faeroes)

Arne Noe-Nygaard og Jóannes Rasmussen

Inngangur

Á heysti 1980, og aftur á sumri og út á heystið 1981, vórðu tvær jarðfrøðiligar boringar gjørdar í Føroyum, onnur í Vestmanna, hin í Lopra. Boringin í Vestmanna fór fram í døgunum 17. september til 1. november 1980, boringin í Lopra í døgunum 2. juli til 27. oktober 1981.

Forsøgan er í stuttum henda. Á vári 1978 heitti Føroya Landsstýri (løgmaður Atli Dam) á høvundarnar báðar at hesari grein um at útvega Landsstýrinum upplýsingar um, hvønn týdning ein vísindalig dýpdarboring hevði havt fyri framhaldandi jarðfrøðiligar kanningar í Føroyum, nú kortleggingararbeiðið á landi og botnkanningarnar á sjónum vóru av á hesum sinni, og um at kanna eftir og geva Landsstýrinum tilmæli um, hvussu ein tílík boring, um so var, átti at verið løgd til rættis.

Frágreiðing við tilmæli varð send Landsstýrinum, sum í februar 1979 samtykti at fara undir fyrireikingararbeiði til eina jarðfrøðiliga dýpdarboring. Ein arbeiðsbólkur varð settur at leggja uppgávuna til rættis og, tá samtykt var at fara undir sjálva boringina, eisini biðin um at taka sær av henni.

Í arbeiðsbólkinum vóru Arne Noe-Nygaard, professari, Jóannes Rasmussen, statsgeologur, Ole Berthelsen, stjóri fyri DGU, Mikkjal Helmsdal, landsverkfrøðingur, Tove Birkelund, professari og Einar Kallsberg, skrivstovustjóri. Landsstýrið

stóð fyri boringini og átók sær ta fíggjarligu ábyrgdina, tó so at Carlsbergfondet stuðlaði hana við 1 mill. kr. í treysti til tann vísindaliga týdning, hon var hildin hava.

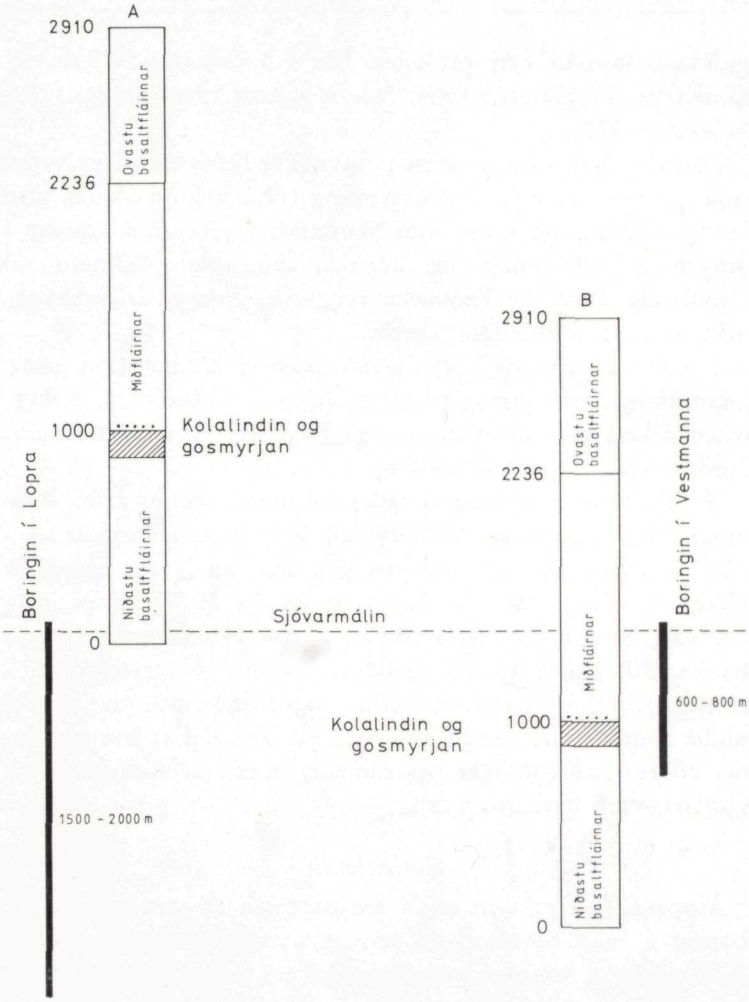
Báðar boringarnar vórðu gjørdar í samstarvi við Danmarks Geologiske Undersøgelse. Jarðfrøðingar teirra, Peder Hedebol Nielsen, Regin Waagstein, Stanley Fine og Knud Højgaard, laborantur, sum høvdu vaktartænastu alla tíðina, meðan borað varð, tóku sær av tí jarðfrøðiliga royndartilfarinum á staðnum. Hans Biskopstø og Gudfinn Olsen hjá landsverkfrøðinginum høvdu ta verkligu samskipanina í hondum. Báðar boringarnar vórðu gjørdar av íslendska orkustovninum (Orkustofnun, Jarðboranir ríkisins) við íslendskari manning.

Jarðfrøðiligar fyritreytir

Føroyar eru uppbygdar av storknaðum grótbræðingum (basaltlava), flógv oman á flógv (hamrar og brýr) við royðugróti ella botnsettum legugrýti ímillum. Fláirnar halla í eysturættirnar. Niðastu og elstu fláirnar eru tí vestantil í landinum, ovastu og yngstu fláirnar eystantil.

Føroyski basalthláslættin, t. e. allar fláirnar samanlagdar úr vestri í eystur, er um leið 3 km tjúkkur oman fyri sjóvarmálan. Hann verður sundurbýttur í 3 meginbólkar: *Niðastu basaltfláirnar* (um leið 900 m), *miðfláirnar* (um leið 1250 m) og *ovastu basaltfláirnar* (um leið 675 m). *Kolalindin*, sum skilir ímillum niðastu basaltfláirnar og miðfláirnar, sigur frá longum støðgi, tá ið eingi eldgos vóru. *Gosmyrjan*, sum í støðum (í Suðuroy og í Vágum) sæst millum kolalindina og miðfláirnar sigur frá einum knappligum hørðum spreingigosi júst um tað mundið, tá ið gosvirksemið, sum bygdi upp miðfláirnar, tók seg upp. Aftan á at basalthláslættin var liðugur, trokaðu grótbræðingar, innskot, seg einaferð enn upp úr neðra, men hesa ferð upp í rivur: gongir, og inn í millum fláir í basalthláslættanum, har veikast var fyri: óreglulig innskot og syllar (*Rasmussen & Noe-Nygaard* 1969).

Jarðalisfrøðiligar kanningar tykjast benda á, at tvær stórar kúpumyndanir eru undir niðastu basaltfláunum, onnur við



1. mynd. *Skurður í høvuðsdráttum gjøgnum føroysku fláarøðina í mun til sjóvarmálan (hallið gongur í eysturættirnar) A í Lopra, B í Vestmanna. Svarta strikan vinstrumegin A vísir boriætlanina í Lopra og svarta strikan høgrumegin B vísir boriætlanina í Vestmanna. Á myndini sæst at óneyðugt er at bora gjøgnum ovastu 900 m av niðastu basaltfláunum, tí tær eru oman fyri sjóvarmálan í Suðuroy.*

Fig. 1. *Schematic section through the lava sequence of the Faeroe Islands in relation to sea level A in Lopra and B in Vestmanna (easterly dip). Black line left of A = Bore hole in Lopra. Black line right of B = Bore hole in Vestmanna.*

miðdepli norðan fyri Mykines, hin við miðdepli í Suðuroy (*Saxov & Abrahamsen* 1964, *Noe-Nygaard* 1966, *Saxov* 1969, *Schrøder* 1971).

Føroyar liggja á mótinum millum Føroya-Rockall grunnin, sum gongur í landnyrðing-útsynning fram við bretska meginlandsstøðinum, og Grønlands-Skotlandsryggin, sum gongur í útnyrðing-landsynning úr bretska meginlandsstøðinum til Grønlands (Wyville-Thomson ryggurin, Føroya-Íslandsryggurin, Íslands-Grønlandsryggurin).

Í sunnara parti av Rockallgrunninum er havbotnurin gneis. Seismiskar kanningar og tyngdarmátingar tykjast vísa, at Føroya-Rockall grunnurin allur sum hann er, er sokkin meginlandsskorpa (*Bott et. alt.* 1974).

Botnkanningar okkara á landgrunninum seinnu árini hava m. a. víst, at basaltbotnurin eystan fyri Føroyar røkkur út á 200 m dýpi, áðrenn hann stingur seg inn undir legugrýti (*Nielsen*, *Waagstein*, *Rasmussen* og *Larsen* 1979); eisini hava tær víst, at basaltbotnurin røkkur vestur á bankarnar Føroya banka, Bill Bailey banka og Lousey banka (*Waagstein* 1977), men hvussu djúpt basalthåslættin gongur og hvussu undirstøðið undir honum annars er háttað, vita vit ikki. Til at kanna hesar og aðrar jarðfrøðiligar spurningar, t. d. jarðhitavøksturin, gjøllari, varð boringin gjørd.

Boriætlanin

Upprunaliga ætlanin snúði seg bara um at gera eina djúpa boring á hóskandi stað til tess at útvega okkum so hollan jarðfrøðiligan kunnleika sum gjørligt um basalthåslættan undir sjóvarmálanum, at kanna eftir jarðhitavøkstrinum, sum enn var ókendur í Føroyum og, um gjørligt, at bora niður ígjøgnum allan basalthåslættan niður í undirstøðið undir honum, sum flestir halda vera meginlandsskorpu eins og á Føroya-Rockallgrunninum sunnari (*Bott* 1975, *Roberts* 1975).

Gjøllari umhugsað varð boriætlanin seinni broytt soleiðis, at gerast skuldu tvær boringar, ein í Vestmanna (600—800 m) og ein í Lopra (um leið 2300 m) í staðin fyri bara eina boring

2. mynd. *Boristaðurin í Vestmanna.*
Fig. 2. *Drill site in Vestmanna.*

sum upprunaliga skotið upp. Henda broyting var hildin hava við sær, at meira fekst burtur úr fyri minni pening.

Á 1. mynd sæst ein skurður í høvuðsdráttum gjøgnum føroysku fláaskipanina, so sum hon er í mun til sjóvarmálan í Lopra (A) og í Vestmanna (B). Boriætlanin í Vestmanna sæst sum ein strika høgrumegin skurðin B, og boriætlanin í Lopra sum ein strika vinstrumegin skurðin A.

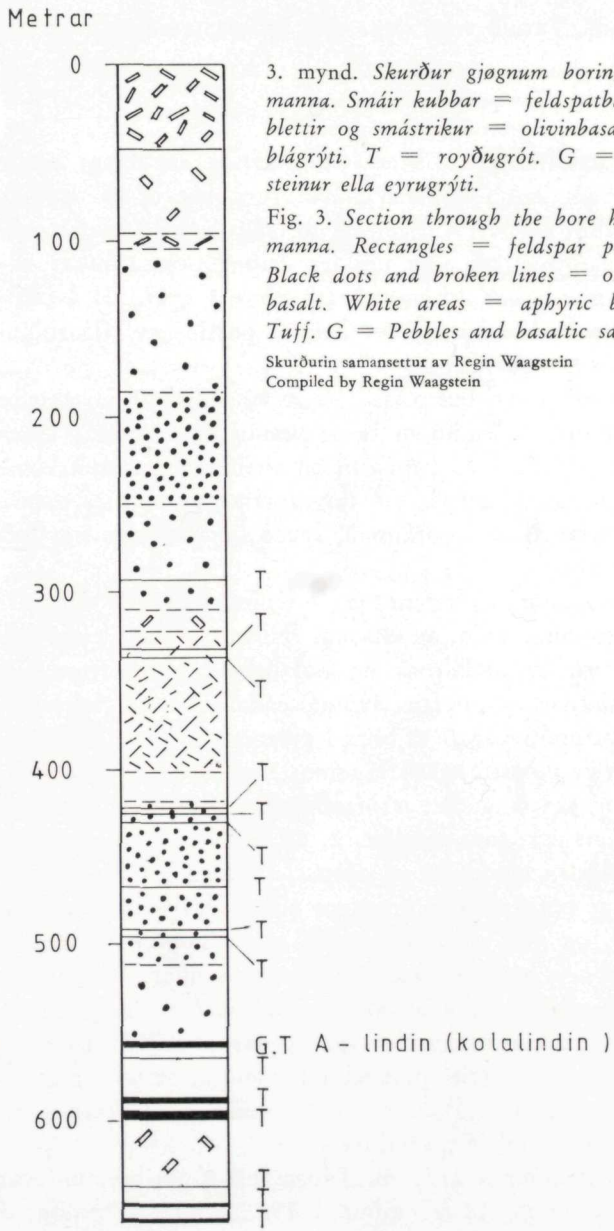
Boringin í Vestmanna

Høvuðsendamálið við boringini í Vestmanna var: *1.* at vita, um fláirnar vestantil í oyggjunum, niðastu basaltfláirnar og kolalindin hildu fram eystureftir, inn undir Streymoynna, og um so var, um tær vóru á tí dýpi undir sjóvarmálanum, sum tær áttu at vera, roknað eftir hallinum í Vágum, *2.* at kanna eftir jarðhitavøkstrinum har á staðnum og møguligari tilrenning av vatni.

Borimaskinan (Craelius XH-90LH) varð sett upp inni á Fjørð, beint norðan fyri Heljareyga (2. mynd). Boringin byrjaði tætt niðri við sjóvarmálan, í niðaru helvt av miðfláunum, og borað varð niður á 660 m. Grótkjarni var fingin upp við borinum allan vegin frá 4 m dýpi til 659,7 m. Tvørmátið á boriholinum var 75,7 mm og tvørmátið á kjarnanum 47,6 mm.

Skurðurin á 3. mynd samsvarar við borikjarnan; hann fevnir um 556 m av miðfláunum, kolalindina vit halda (3 m), og ovasta partin av niðastu basaltfláunum. Gosmyrju varð ikki rakt við í borikjarnanum, heldur ikki óreglulig innskot, so goskluft hevur helst eingin verið nærindis boristaðnum. Borað varð stívar 100 m (101 m) niður í niðastu basaltfláirnar; tær vóru fyri tað mesta blágrýtisfláir við royðugrýtislindum ímillum, líkar teimum ovastu 200 m av niðastu basaltfláunum í Suðuroy og í Vágum. Millum tær og miðfláirnar var á 556 m dýpi komið niður á eina um leið 3 m tjúkka lind (555,7 — 558,5 m), sum vit halda vera kolalindina. Kol var einki í henni, men grábrúnur basaltsandsteinur ovari og árundað eyrgrýti niðari. Somu viðurskifti hava vit verið varir við ymsastaðni í Suðuroy, t. d. norður móti Økslini í Prestfjalli, har heldur einki kol er í kolalindini, men sand- og eyrgrýti. Líkt kundi tí verið til, at vit á boristaðnum í Vestmanna, eins og vit halda undir somu viðurskiftum í Suðuroy, eru staddir úti við útjaðararnar á einari kolalind, við eina gamla vatnstrond, og at kol væl kann vera í lindini longri inn frá boristaðnum. Undir lindini (555,7 — 558,5 m) í Vestmanna er sigulmagnspólvísingin rættvend, oman á henni er hon øvut eins og hon er í Suðuroy (*Saxov & Abrahamsen* 1966). Niðasti parturin av miðfláunum, sum borað varð í gjøgnum, var allarmest olivinbasalt, ovastu 107 m feldspattbasalt.

Við tað at hitin í boriholinum verður ávirkaður av boringini og av skolivatni, sum verður pumpað niður, vórðu hitamátingar gjørdar um vikuskifti, tá ikki varð borað. Jarðhitavøksturin í boriholinum var um leið 40°C/km. Mesta vatntilrenningin var á 300 m dýpi, um leið 12 l/min. og á 600 m



3. mynd. *Skurður gjøgnum boringina í Vestmanna. Smáir kubbar = feldspatbasalt. Svartir blettir og smástrikur = olivinbasalt. Hvítt = blágrýti. T = royðugrót. G = basaltsandsteinur ella eyrugrýti.*

Fig. 3. *Section through the bore hole in Vestmanna. Rectangles = feldspar phyric basalt. Black dots and broken lines = olivine phyric basalt. White areas = aphyric basalt. T = Tuff. G = Pebbles and basaltic sandstone.*

Skurðurin samansettur av Regin Waagstein
Compiled by Regin Waagstein

dýpi 5 l/min. Vatnið sum rann upp úr boriholinum, var um leið 17°C.

Boringin í Lopra

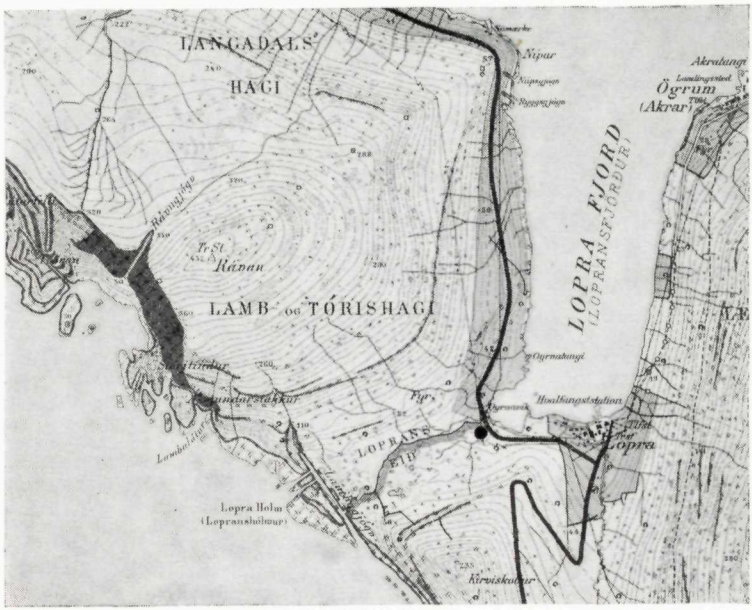
Niðastu basaltfláirnar, sum í Vestmanna eru langt undir sjóvarmálanum, eru í Suðuroy oman fyri sjógvin (1. mynd). Frá kolalindini norðuri á oynni og so langt suður (niður), sum til ber at eygleiða tær, eru tær um leið 900 m tjúkkar tilsamans. Tær eru allar atkomandi (skurðirnir I, II, III á jarðfrøðiliga Føroyakortinum), so henda partin av fláarøðini slapst undan at bora ígjøgnum.

Slættað varð tí fyri boriplássi (50 × 50 m) og borimaskinan (Dofri) sett upp á lendinum beint vestan fyri vegin í Ónavík, sum er so niðarlaga í niðastu basaltfláunum, sum atkomandi er (4. mynd). Fláirnar við sjóvarmálan vestantil á oynni, millum Beinisvørð og Lopranseið, eru á boristaðnum um leið 50 m undir sjónum.

Sum frammanundan nevnt var høvuðsendamálið við boringini í Vestmanna m. a. at vita um fláirnar vestantil í oyggjunum, niðastu basaltfláirnar og kolalindin, hildu fram inn undir oyggjarnar eystureftir. Høvuðsendamálið við boringini í Lopra afturímóti var *1.* at bora í gjøgnum stívar 2000 m av fláunum undir niðastu basaltfláunum í Suðuroy, sum vit einki vistu um, og fáa so góðan jarðfrøðiligan og jarðalisfrøðiligan kunnleika um tær, sum gjørligt, *2.* at fáa vita jarðhitavøksturin aðrastaðni í landinum og djúpari í fláarøðini enn í Vestmanna, *3.* at bora niður í gjøgnum allan basalthláslættan, um tað bar til, og vita um undirstøðið undir honum er meginlandsskorpa eins og á Rockall grunninum sunnari.

Ein skurður gjøgnum fláarøðina, sum borað varð ígjøgnum, sæst á 5. mynd. Tvørstrikurnar sipa til markið millum fláirnar, hvítu teigarnir til basalt (plussteknini merkja, at tað er grovkornut, doleritt) og tjúkku svørtu strikurnar, merktar s, til legugrýti (royðugrót, leir, sandur).

Borað varð niður á 2178 m. Tvørmátið á boriholinum var 15" niður á 43 m, 12¼" niður á 192 m og 8½" niður á



4. mynd. *Boristaðurin í Lopra.*
Fig. 4. *Drill site in Lopra.*

2178 m. Royndarlutir av uppskolaðum, knústum gróttilfari vórðu tiknir fyri hvørjar 2 m niðureftir. Heilir kjarnar vórðu tiknir við størri gloppi ímillum; teir eru avmerktir á 5. mynd: 1. kjarni á 340 m dýpi (1,63 m), 2. kjarni á 860 m dýpi (2,65 m), 3. kjarni á 1220 m dýpi (1,80 m), 4. kjarni á 1570 m dýpi (0 m), 5. kjarni á 1925 m dýpi (0,72 m) og 6. kjarni á 2178 m dýpi (0,72 m).

Basaltfláirnar í fláarøðini, sum borað varð ígjøgnum, vóru um leið 120 í tali; tær vóru í miðal 15—20 m tjúkkar; onkrar fláir vóru meira enn 40 m til tjúktar, tær tynstu vóru heilt tunnar. Viðvíkjandi útsjónd og samanseting eru tær líkar niðastu basaltfláunum oman fyri sjóvarmálan og eiga helst at vera taldar upp í tær, sum framhald teirra niðureftir. Niðastu basaltfláirnar verða tá longdar niðureftir við meira enn 2000 m til um leið 3 km, og føroyska fláarøðin, øll sum hon

er, verður tí meira enn 5 km, eitt tal sum samsvarar væl við tjúktina á basaltfláarøðini í Eysturgrønlandi. Sigulmagnspólvísingin tykist vera øvut gjøgnum alla fláarøðina, sum borað varð ígjøgnum. Grótslagið er fyri tað mesta fínkornut, stundum ítinnut. Á 600 m dýpi og á 800 m dýpi er grótslagið meira grovkornut basalt (doleritt).

Legugrýtislindirnar (royðugrót, leir, sandur) millum basaltfláirnar eru, hendir seg, um leið 5 m, men vanliga eru tær nógv tynri. Tað tykist sum tær eru færri og tynri niðari, enn tær eru ovari í fláarøðini; tað kundi bent á, at gosvirksemi niðari, í fyrstani, hevur verið virknari við títtari eldgosum enn ovari, seinni.

Mátingar av jarðhitavøkstrinum í Lopra vístu, at hann var um leið hin sami sum í Vestmanna, kanska heldur lægri. Hesar mátingar verða uppafturtiknar seinni fyri at fáa neyvari úrslit.

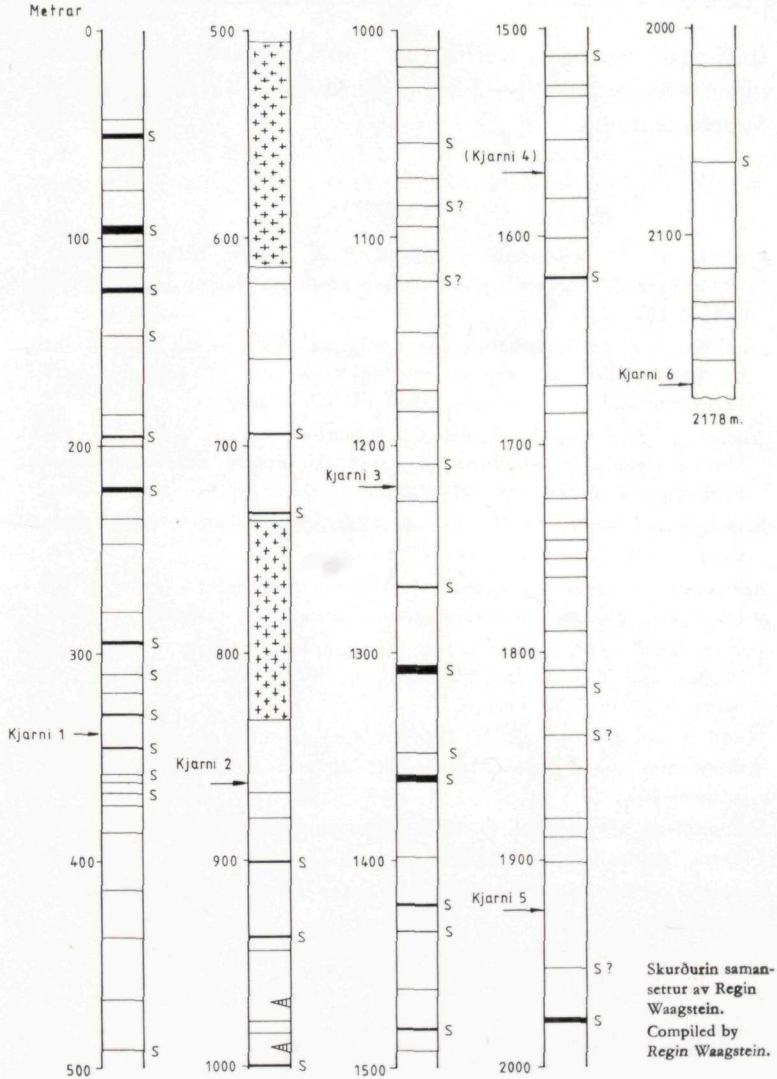
Fyribils úrslit

Samanumtikið kann verða sagt um boringarnar: Í Vestmanna varð komið niður á A-lindina (markið millum niðastu basaltfláirnar og kolalindina) á tí dýpi, sum roknað var við. Borikjarnin sum heild samsvarar væl við fláarøðina oman fyri sjóvarmálan vestantil í Vágum og vísir, at fláirnar vestantil í Vágum ganga inn undir Streymoynna, har kolalindin, sum fer í sjógv í Bíggjarurð og á Víkum, er 556 m undir sjóvarmálanum á sjálvum boristaðnum.

Í Lopra eru allar fláirnar, sum borað varð ígjøgnum, 2178 m, myndaðar á turrum lendi oman fyri sjóvarmálan, og landið er tí sokkið meira enn 2000 m, síðan tær vórðu til. Tað er ikki óhugsandi, at hesar fláir nú ganga langar leiðir eystur eftir havbotninum, og har tekja lækkar við botnsettum grótsløgum (legugrýtislækkar) sum teir sunnan fyri Hetlandsrennuna.

Mátingar av jarðhitavøkstrinum vísa, at hann er heldur ovari, umleið 40°C/km, enn miðaljarðhitavøksturin í Europu, sum er 30°C/km.

Boritilfarið, bæði gróttilfar frá sjálvari boringini og jarðalis-



5. mynd. *Skurður gjøgnum boringina í Lopra. Tvørstrikur = mark í millum fláirnar. Hvítu teigarnir = basalt (plusstekin, grovkornut, doleritt). S = legugrýti (royðugrót, leir, sand- ella eyrgrýti).*

Fig. 5. *Section through the bore hole in Lopra. Horizontal lines = flow boundaries. White areas = basaltic lava. White areas with small crosses = doleritic intrusions. S = sediments.*

frøðiligar mátingar, verður nú gjølla kannað, og tá tað er liðugt viðgjørt, um 1—2 ár, givið út í bók (Fróðskaparrit — Supplementum).

BÓKMENTIR

Bott, M. H. P., Sunderland, J., Smith, P. J., Casten, U., and Saxov, S. 1974: Evidence for continental crust beneath the Faeroe Islands. Nature 248, p. 202—204.

Bott, M. H. P. 1975: Structure and Evolution of the North Scottish Shelf, the Faeroe Block and the Intervening Region. In : Woodland, A. W.: Petroleum and the continental Shelf of NW. Europe.

Nielsen, P. Hedebol, Waagstein, R., Rasmussen, J., and Larsen, B. 1979: Marine seismic Investigation of the Shelf around the Faroe Islands. Fróðskaparrit 27. bók, p. 102—112.

Noe-Nygaard, A. 1966: The invisible Part of the Faroes. Medd. Dansk Geol. Foren. Bd. 16, p. 191—195.

Rasmussen, J. og Noe-Nygaard, A. 1969: Beskrivelse til geologisk Kort over Færøerne. Danmarks Geologiske Undersøgelse, 1 Rk. Nr. 24, 370 p.

Roberts, D. G. 1975: Tectonic and Stratigraphic evolution of the Rockall Plateau and Trough. In: Woodland, A. W.: Petroleum and the continental Shelf of NW. Europe.

Saxov, S. og Abrahamsen, N. 1964: A note on some gravity and density measurings in the Faroe Islands. Boll. di geofis. Teor. ed Appl. Vol. 4, p. 249—260.

Saxov, S. og Abrahamsen, N. 1966: Some geophysical investigations in the Faroe Islands. Zeitschrift für Geophysik 32, pp. 455—471.

Saxov, S. 1969: Gravimetry in the Faroe Islands. Geodætisk Institut, Medd. Nr. 43.

Schrøder, N. F. 1971: Magnetic anomalies around the Faeroe Islands. Fróðskaparrit 19. bók, 20—29.

Waagstein, R. 1977: The Geology of the Faeroe Plateau. (Licentiatritgerð, Københavns Universitet 195 p.)

SUMMARY

A 1:50.000 geological map of the Faeroe Islands was published in 1969 with a shortened English edition in 1970. It was based on strictly chronostratigraphic principles. A total sequence of 3 km of tholeiitic basalt lavas

was divided into a lower basalt series (about 900 m); a coal bearing sediment series (about 10—15 m); a middle basalt series (about 1250 m) initiated by explosive volcanism producing agglomerates and tuffs, the tuff-agglomerate zone; and an upper basalt series (about 675 m). Minor intrusions occur in form of dikes, sills and irregular intrusive bodies. The plateau has a low-angle easterly dip and the lavas of the lower basalt series are updomed in two areas, Vágar—Mykines and Suðuroy.

Geological and geophysical investigations were continued out on the shelf around the islands and on the Faeroe bank, Bill Baily bank and Lousy bank to the west.

Further geological information was obtained from two bore holes, one drilled in the summer 1980 at Vestmanna on Streymoy and the second in the summer and autumn of 1981 near the village of Lopra on Suðuroy (Fig. 1).

The faeroese government organized, and was economically responsible for the drill project, which was carried out in collaboration with the Geological Survey of Denmark. The drilling work was entrusted to the icelandic »National Energy Authority« (Orkustofnun). The drilling project was supported by the Carlsberg Foundation because of its scientific significance.

The bore hole at Vestmanna was drilled to determine if the lower basalt series and the coal bearing sediment series from Vágar could be traced down dip below sea level as far east as Streymoy, and to get information on the regional thermal gradient.

The bore hole at Vestmanna (Fig. 2) was drilled from just above sea level with full core to a depth of 660 m (Fig. 3).

The coal bearing sedimentary series from Vágar was found at 556 m. Here it was 3 m thick and contained basaltic sand and pebbles, but not coal. The tuff-agglomerate zone did not occur at the drill site in Vestmanna. The drilling continued 101 m into the upper part of the lower basalt series. The thermal gradient was 40°C/km.

The Lopra bore hole was planned to penetrate at least 2 km into the unknown sequence below the known part of the lower basalt series and to obtain further thermal gradient data.

The drill site was located west of the village Lopra a few m above sea level, as low in the known part of the lower basalt series as possible (Fig. 4). A section through the bore hole reaching 2178 m below sea level is shown on Fig. 5. Six cores were taken (one core lost) at different levels and cuttings collected for each two m drilled. The drilled sequence consist of about 120 subaerially erupted lava flows indicating a subsidence of more than 2000 m. The lava flows average about 20 m in thickness while the intercalated sediments are up to 5 m. The drilled sequence consists of aphyric to feldsparphyric tholeiitic basalts and must be considered as a

continuation af the lower basalt series. The thickness of the total lava pile on the Faeroes is therefore at least 5 km and the early Tertiary basalt plateau on the European side of the North Atlantic, the Faeroe Islands, then reaches a thickness which is directly comparable with that on the East Greenland side of that ocean. The thermal gradient was about the same as in Vestmanna.

Final scientific results will be published in Fróðskaparrit (supplementa) in 2 years.