

HÁSKÓLI ÍSLANDS

EÐLISFRÆÐISKOR

4. ÁRS VERKEFNI

HELGI ÓMAR BRAGASON

BERGSEGULMÆLINGAR

Á JÖKULDAL

JÚNÍ 1981

Verkefni það, sem eftirfarandi ritgerð fjallar um var unnið mestmegnis í frístundum, en að nokkru á launum hjá Raunvísindastofnun Háskólans (7 vikur '79)

Afnot fengust góðfúslega af mælitækjum og öðrum tækjabúnaði hjá R.H. eftir þörfum.

Verkefnið var unnið undir handleiðslu Leós Kristjánssonar, og kann ég honum beztu þakkir fyrir umburðarlyndi og uppfræðslu alla.

Gísla Víkingssyni Arnórsstöðum Jökuldal þakka ég dyggilega aðstoð við alla feltvinnu.

H.Ó.B.

EFNISYFIRLIT

Skrá yfir skýringarmyndir	bls.	2.
Formáli	-	3
Bergsegulmælingar		
1. Segulsvið jarðar	-	5
2. Segulmögnun í bergi - fornsegulmögnun ...	-	8
3. Mæliaðferðir	-	II
Fyrri rannsóknir á Jökuldal	-	I6
Örlög Gilsár-atviks 1966 - 1979	-	2I
Niðurstöður bergsegulmælinga á Jökuldal 1979	-	23
Lokaorð	-	27
Heimildaskrá	-	28
Tafla með mæliniðurstöðum og skýringarmyndir	-	30
Ljósmyndir af Jökuldal	-	37
Viðauki I.	-	4I
Viðauki II.	-	43
Viðauki III.	-	45
Viðauki IV.	-	47

SKRA YFIR SKYRINGARMYNDIR

I. Segulsviðsvektor, P, leystur upp í þætti	bls.	5
2. Segulsvið jafnt segulmagnaðrar kúlu	-	6
3. Hnitakerfi fyrir borkjarna í felti	-	12
4. Hnitakerfi fyrir bergsýni við malingu	-	12
5. Afstöðumynd af Jökuldal	-	32
6. Jarðlagasnið á Jökuldal	-	33
7. Breyting á sýndarstaðsetningu fornpóls (V.G.P) í hraunlagastafla Jökuldals	-	34
8. Jarðlagasnið eftir Wensink 1964	-	35
9. Jarðlagasnið eftir Wensink 1966, Watkins o.fl. 1975	-	36
10. Jarðlagasnið í Pyrli Hvalfirði	-	42
II. Jarðlagasnið í Ásgili Borgarfirði úr heimild 13.	-	44
12. Afstöðumynd af skynjurum Institut Dr. Förster segulm. lis R.H.	-	46

FORMALI

Á árunum um og eftir 1960 var hollendingurinn Wensink, ásamt fylgdarliði, við jarðfræðirannsóknir á Jökuldal og í Fljótsdal. Meðal annars voru gerðar bergsegulmælingar, sem túlkaðar voru þannig 1966, með hliðsjón af aldursgreiningum, að jarðlagastaflinn um miðbik Jökuldals spannaði tímabilið frá efri hluta Gilbert segulskeiðsins upp á efri hluta Matuyama segulskeiðsins. Í Gauss syrppunni (N_2) fannst eitt segulsvik ("event"), sem álitíð var sv.k. "Mammoth"-svik.

Í hraunlagasyrppunni frá Matuyama fundust tvö "rétt" segulmögnum hraunlög, hið efra reyndist við aldursgreiningu vera 1.60 milj. ára gamalt, eða all nokkru yngra en svo, að um gæti verið að ræða hraun frá "Olduvai"-atvikinu, sem á þessum tímum var álitíð 1.9 - 2.0 milj. ára gamalt. Þótti nú líklegt að fundið hefði verið nýtt segulsvik og var það nefnt Gilsársvik. Líklegt þótti, að neðra "rétt" segulmagnaða hraunlagið myndi hinsvegar vera frá "Olduvai"-tímabilinu, því að Wensink taldi nokkrar líkur á tilvist öfugt segulmagnaðs hrauns í millum téðra tveggja "réttu" hrauna.

Skemmst er frá því að segja, að Gilsár-atvikið hefur jafnan síðan átt harla erfitt uppdráttar í segulfræðiritum, þar eð ekki hefur tekist, að greina í millum Gilsár- og Olduvai-atvikanna í sama jarðlagasniði - með vissu.

1975 birta Watkins o.fl. niðurstöður bergsegulmælinga og aldursgreininga af slóðum meints Gilsár-segulsviks á Jökuldal. "Rétt" segulmögnum hraunin tvö voru nokkuð jafnaldra skv. aldursgreiningum, meðalaldur um 1.58 milj. ár. Ekkert "öfugt" millihraunlag fannst. Þótti einsýnt, að einungis væri um að

ræða eitt segulsvið, en ekki tekin afstaða til þess hvort þetta segulsvið muni vera Olduvai-atvikið eður annað yngra.

1979 gerði höfundur eftirfarandi greinargerðar tilraun til að uppræta efasemdir um tilvist Gilsár-segulsvíksins. Þessi "tilraun" var liður í 4. árs námi við eðlisfræðiskor verkfr. og raunv. deildar Háskóla Íslands, undir handleiðslu Leó Kristjánssonar.

Í júlí 1979 voru líkleg leitarsvæði á Jökuldal könnuð með litlum "fluxgate" bergsegulmæli, en síðan teknir borkjarnar úr um 60 hraunlögum með tilþess gerðum bor. Bergsýnin voru síðan mæld á jarðeðlisfræðideild Raunvísindastofnunar Háskólans veturinn 1979-'80 og nauðsynlegir útreikningar framkvæmdir.

Hér á eftir verða raktar niðurstöður þessara bergsegulmælinga. Í byrjun verður stuttlega gerð grein fyrir eðli bergsegulmælinga á all einfaldaðan máta. Síðan verða raktar allnáið fyrri ransóknir á Jökuldal og tíunduð afdrif Gilsár-atvíksins undir tímans tönn. Loks eru settar fram niðurstöður höfundar úr bergsegulmælingunum frá 1979 og ályktanir dregnar.

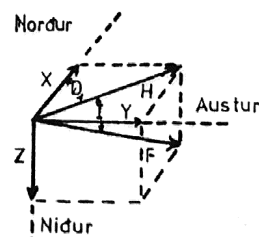
Í viðauka eru settar fram niðurstöður bergsegulmælinga í Þyrli í Hvalfirði sumarið 1979, en þar þótti í upphafi vænlegt að leita Gilsár- og Olduvai- atvíkanna í einu og sama sniði skv. ábendingu Kristjáns Sæmundssonar. Einnig eru í viðauka niðurstöður bergsegulmælinga í ofanverðum Borgarfirði, nærri Húsafelli (frá Leó Kristjánssyni).

BERGSEGULMÆLINGAR

- I. Segulsvið jarðar
2. Segulmægnun í bergi - fornsegulmægnun
3. Mæliaðferðir

I. Segulsvið jarðar

Um 1600 uppgötvaði bretinn Gilbert, að jörðin er í raun risavaxinn segull og segulsvið hennar í aðalatriðum eins og svið frá jafnt segulmagnaðri kúlu. Stefna kraftlína í segulsviðinu sést af hegðan frjálsrar segulnálar og er þessi stefna ákvörðuð með misvísun D (deklination) þ.e. frávik frá landfræðilegu norðri og halla I (inclination). Í mælist þósitíft niður á við, D mælist frá norðri yfir austur. Hérlandis er hallinn I ca. +76° og misvísunin er á bilinu -19° (austast) til -25° (vestast). Til hægðarauka er styrkleiki segulsvíðsins, F, oft leystur upp í tvo þætti annarsvegar þátt í láréttum fleti, H, og hinsvegar lóðréttan þátt, Z, sbr. mynd I.



MYND 1.

$$H = F \cos I \quad Z = F \sin I \quad X = H \cos D$$

$$Y = H \sin D \quad X^2 + Y^2 = H^2$$

$$X^2 + Y^2 + Z^2 = H^2 + Z^2 = F^2$$

Líta má svo á, að segulsvið jarðar stafi mestmegnis frá segultvípól staðsettum í miðju jarðar með sömu stefnu og snúningsás jarðar (axial geocentric dipole). Þetta gildir sem meðalástand um langan tíma, jarðsögulega séð. Á stað, í fjarlægð r frá jarðarmiðju, finnst "potential" tvíþólssviðs jarðar skv.

$$v = \frac{M \cos \theta}{r^2} \quad (2)$$

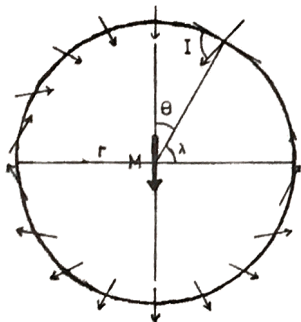
þar sem M er tvíþólmætti (dipolmoment) jarðar ($M=7.94 \cdot 10^{25} \text{ G. cm}^3$ skv. (I) bls. 2II), og $\theta=(90-\lambda)$ en λ er breidd staðar. Sjá mynd 2. Út frá jöfnu (2) og jöfnum Maxwells ($\vec{H}=-\text{grad } V$) fást að styrkur segulsviðsins er

$$F = M \cdot r^{-3} (1 + 3 \cdot \cos^2 \theta)^{1/2} \quad (3)$$

og einnig má sýna, að millum hallans I og breiddar λ frá segulmiðbaug gildi sambandið

$$\tan I = 2 \cdot \tan \lambda \quad (4)$$

(sjá nánar (I) bls. 2I2-2I3).



MYND 2.

Segulsvið jafnt segulmagnadrar kúlu.

Raunverulega hallar ás segulþvípóls miðað við snúningsás jarðar og er sá halli breytilegur (ca. 11° um þessar mundir) Auk þess lendar sá tvíþóll, sem bezt fellur að núverandi segulsviði, um 300 Km frá jarðarmiðju. Loks er þess að geta, að segulsvið jarðar er í raun ekki eingöngu tvíþólsvið, til viðbótar er óreglulegt svið (nondipole field), sem getur verið allt að 30% af styrkleika tvíþólsviðsins (I bls. 2I3-2I8).

Það er því nokkur einföldun mála að hugsa sér, að segulsvið jarðar stafi frá tvíþólslegli í miðju jarðar í stefnu snúningsáss, en þetta tvíþóllíkan dugar þó allvel til að skýra ýmis fyrirbrigði varðandi segulsvið jarðarinnar.

Ýmislegt er enn á huldu um eðli og einkum uppruna jarðsegulsviðsins. Líklegt hefur þótt, að orsök segulsviðsins sé rafstraumur í kjarna jarðar, sem tengdur sé iðustráumum utan um innri kjarnann. Óljóst er hvað knýr þennan straum.

Segulsvið jarðar er ýmsum breytingum undirorpið. Nefna má :

- 1) Örar breytingar eru á segulsviðinu (daglegar), einkum vegna áhrifa upphitunar af sólargeislum og vegna sólvinds (sólgoða). Þ.e. ástæður breytinga liggja utan jarðskorpunnar; rafstraumar í háloftunum. Þessi áhrif eru hverfandi lítil fyrir bergsegulmælingar.
- 2) Tvíþólmætti (dipolmoment) tvíþólsviðsins minnkar um 0.05% á ári hverju (I, bls. 224).
- 3) Stefnan D (deklination) breytist fremur ört, enda sveiflast segulásinn um meðalstefnu tvíþólsviðsins með tíðni ca. 100 - 1000 ár (2, bls. 3).
- 4) Óreglulega segulsviðið (nondipole field) hefur tilhneigingu til að farast í vesturátt (westward drift) um 0.2 lengdargráður á ári (I, bls. 224).

Aðrar langtímabreytingar eru:

- 5) Pólreið (polar wandering) (sjá (I) bls. 267-272).
- 6) Umpólun tvíþólláss (reversals in polarity) þ.e. skipti verða á segulskautum jarðar af lítt kunnum orsökum.

Sú skautun tvíþólsviðs jarðar, sem nú er við líði, er nefnd rétt (normal, N), en við umpólun verður hún öfug (reversed, R). Núverandi suðursegulskaut er í nánd við landfræðilegt norðurskaut þ.e. á $73.5^\circ N$ og $69^\circ V$ (I, bls. 257). Í gegnum jarðsöguna hafa ríkt til skiptis rétt og öfug segulskaið (epoch) mislöng, en inn á milli hafa orðið "stutt tíma" segulatvik (polarity event).

2. Segulmagnun í bergi - fornsegulmagnun.

Bergkvika, sem storknar í segulsviði jarðar, segulmagnast oftast varanlega (natural remanent magnetization, NMR). Segulmagnun hraunsins verður samsíða jarðsegulsviðinu eins og það er á storknunarstundu. Segja má, að hraunið "taki í sig" stefnu og halla (D og I) segulsviðsins, sem þannig geymist í hrauninu um ókomna framtíð. Slíkt nefnist fornsegulmagnun (paleomagnetism) og má með rannsóknum á henni rekja sögu segulsviðsbreytinga (um styrk, stefnu, halla og umpólun) afturábak í gegnum jarðsöguna um miljónir ára.

Með hjálp aldursgreininga (t.d. K/Ar) hefur mátt rekja skeiðréttrar og öfugrar segulpólunar aftur í tímann og fá þannig fram segul-tímakvarða, sem einkum er nýtilegur við jarðlagafraðilegar (stratigrafy) athuganir. Segulskiptakvarði þessi hefur þó sífellt orðið flóknari, því innan fyrr ákvarðaðra segulskaiða (epochs) hafa fundist á fleiri stuttvarandi umpólunir þ.e. segulatvik (events). Segulskiptakvarðinn er því sífellt í þróun. Greining í segulskaið og segulatvik verður á óljósari, enda virðast segulumpólunir fylgja "Poisson"-dreifingu í tíma.

Segulmagnun bergs er háð styrk jarðsviðsins svo og magni segulmagnanlegra steintegunda í bergkvikunni. Hlutur þessara steintegunda er venjulega aðeins fáeinir hundraðshlutar í berginu. Einkum er um að ræða títano - magnetít eður millistig ýmis millum ilmeníts og hematíts, þ.e. ýmskonar járn sambönd.

Hér verður ekki nánar fjallað um frumeðli segulmagnsins í þessum járnögnum svo sem "ferromagnetisma", "domain"-kenningar

frumorsakir segulmagns í atómkjörnum og þessháttar, en vísað skal til (1) bls. 245-252, (2) bls. II-I6 og (3) bls. 457-493.

Ákvarðandi þættir fyrir varanlega segulmagnun bergs NRM eru m.a. TRM, CRM og VRM, þar sem TRM er hitasegulmagnun (thermoremanent magnetization), CRM er efnasegulmagnun (chemical remanent magnetization) og VRM er seigsegulmagnun (viscous remanent magnetization).

TRM: Til einföldunar má líta á járnagnirnar áðurnefndu, sem litlar segulnálar dreifðar um bergmassann. Ofan við ákveðin hitastigsmörk, svk. Curie-hitastig (ca. 580°C fyrir magnetít), hafa segulnálar óreglulega legu (stefnu) þannig að heildarsegulmagnun bergsins er enginn. Neðan Curie-hitastigs T_C , hafa téðar segulnálar tilhneigingu til að raða sér eftir ákveðinni stefnu, stefnu ytra segulsviðs (jarðsviðsins). Neðan Bloch-hitastigs T_B , sem er nokkrum tugum gráða lægra hitastig en T_C , er stefna segulnála orðin föst en styrkur segulmagnunarinnar eykst með minnkandi hita. Þetta fyrirbæri er nefnt hitasegulmagnun TRM og er mjög stöðug jafnvel þótt ytra sviðið hverfi.

CRM: Efnasegulmagnun CRM kemur fram t.d. ef magnetít ildast ("oxiderast") yfir í hematít. Þetta getur gerst við lág hitastig í jarðsviðinu og valdið endurskipulagi á segulmagnun í samræmi við ríkjandi segulsvið jarðar.

VRM: Hitaáhrif (endurupphitun) geta valdið endusegulmagnun við hitastig undir Curie mörkum T_C . VRM segulmagnun lagast eftir ríkjandi ytra segulsviði, og ef það svið er frábrugðið því upprunalega sviði sem TRM myndaðist við, getur hinn annars stöðugi TRM segulmagnunarpáttur rýrnað nokkuð.

Í Íslenzku gosbergi er TRM segulmagnun talinn ríkjandi,

CRM segulmagnun er álitin lítil en VRM geti verið af stöðvar-
gráðunni ca. 10% og getur VRM í sumum tilvikum yfirgæft TRM í
bergi, sem upphaflega hefur verið öfugt segulmagnað (R).

Losna má við VRM úr berginu, því að í VRM taka þátt einungis
hinar "ístöðulausari" segulnálar. VRM er "þvegið" úr bergi
með því að afsegulmagna viðk. bergsýni þ.e. sýnið er sett í
ytra segulsvið, riðstraumssvið, sem mest verður t.d. 100 Örstet
eða 200 Örstet (jarðsviðið er upphafið meðan á þessu stendur).

Þessi afsegulmagnun er oft gerð í tvígang t.d. við 100 Ö og
aftur við 200 Ö. Styrkur TRM í bergsýninu minnkar nokkuð við
þessa meðferð, en ætlað er að stefna upphaflegrar segulmagn-
unar TRM varðveitist að mestu.

Einnig er þess að geta, að berg getur segulmagnast nokkuð
sterklega þegar eldingu lýstur niður í það. Áhrif eldingar
hverfa að mestu við afsegulmagnun bergsýnis.

Heildarsegulmagnun bergs M (tvípólmætti/cm³) er

$$\bar{M}_n = \bar{M}_r + \chi \bar{F} \quad (5)$$

þar sem \bar{M}_r er varanleg segulmagnun (remanence), χ segulhrifs-
stuðull (susceptibility) og \bar{F} er styrkur ytra segulsviðs (jarð-
sviðsins). Þegar ytra segulsviðið (jarðsviðið) er upphafið er
 $\bar{M}_n = \bar{M}_r$, svo mála má þá \bar{M}_r beint með segulmæli.

Fyrir storkuberg er M_n oftast á bilinu 10^{-2} til 10^{-7} emu
(I, bls. 25I).

3. Mæliaðferðir.

Segja má, að mælingar á fornsegulmagnun bergs þ.e. berg-
segulmælingar séu tvennskonar. Annarsvegar einfaldar en fremur
ónákvamar mælingar í felti en hinsvegar fjölbættar og ýtarlegar
mælingar á rannsóknarstofum sérþúnum.

1) Feltmælingar.

Með því að bera segulmagnaðan stein að áttavitanál og athuga
útslag hennar, má sjá í grófum dráttum hvort steinninn er rétt
eða öfugt segulmagnaður. Áður en steinn er brotinn úr hrauni
er heppilegt að rispa á hann ör, sem sýnir hvaða hlið snýr upp.
Ef sú hlið, er upp snéri, er borin að norðurenda frjálstrar átta-
vitanálar og nál dregst að steini, þá er steinn rétt segul-
magnaður. Með því að umsnúa steini í sífellu á að vera högt
að fá áttavitanálina til að sveiflast fram og til baka (4).

Nýttízkulegri aðferð til segulstefnumælinga í felti er notkun
"fluxgate" segulmælis, sem hér eftir er flosamælir nefndur.

Flosi mælir þann þátt segulsviðs, sem er samsíða ás tvö-
faldrar spólu í skynjara. Steinmoli er brotinn úr bergi á
sama hátt og lýst er hér ofar á blaði, og "efri" endi steins
borinn að skynjara flosamælis. Flosamælir sýnir þá beint hvort
um er að ræða N (rétt) eður R (öfugt) segulmagnað berg.

Hvort sem beitt er áttavitaaðferð eða flosamælisáðferð við
bergsegulmælingar í felti, þykir rétt að taka a.m.k. 3 - 4
sýni úr hverju hrauni til prófunar.

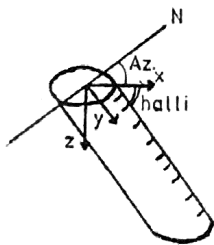
2) Mælingar í rannsóknarstofum.

Segulfræðilegar athuganir á bergi í rannsóknarstofum eru af

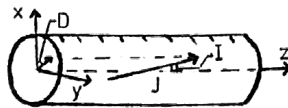
margvíslegum toga og mæliaðferðir fjölmargar. Hér verður aðeins lýst einni aðferð til ákvörðunar á fornsegulstefnu í bergi þ.e. þeirri aðferð, sem notuð var í því bergsegulmælinga verkefni er rit þetta fjallar um.

Mæliaðferðinni má skipta í þrennt þ.e. 1) sýnataka í felti, 2) beinar mælingar í rannsóknarstofu og 3) úrvinnsla mæligagna.

1) Í feltinu eru sýni tekin úr viðkomandi berglögum með vélknúnum kjarnatökubor. Kæla þarf borkrónu og sýni með vatni á meðan á borun stendur. Tekin eru 3 - 4 sýni úr hverju hraunlagi, helst nálagt botni þess. Áður en borkjarninn er brotinn úr holu sinni er borstefnan ákvörðuð með sóláráttavita. Sóláráttavitinn er stilltur í láréttu $x - y$ plani og lesið af honum hornið Az (Azimuth), sem mælist frá norðri yfir austur að x -ás sbr. mynd 3. Á borkjarnann er gert strik í $x - z$ plani og út frá því mörkuð þverstrik, sem sýna hvert y -ás veit. Loks er halli borkjarnans mældur í $x - z$ plani sbr mynd. Áður en sýnið er brotið úr berginu og það vendilega merkt, þarf að leiðrétta fyrir misvísun og truflunum frá nærliggjandi bergi á áttavitann. Þetta gert með því að taka mið á sól, ef henni þóknast sig að sýna, en annars er miðað á e-t kennileiti í landslaginu og eru þessi mæligögn síðar notuð til að finna "rétt" Az .



MYND 3.



MYND 4.

2) Eftir að bergsýnin hafa verið söguð til þ.a. lengd þeirra sé um 2.2 - 2.3 cm (þvermál er ca. 2.45 cm), þá er segulmögnun þeirra mæld í "fluxgate" segulmæli. Hér er um að ræða Institut Dr. Förster segulmæli (Oerstedmeter I.I07) sjá myndir bls. 46 (Takið er eign Jarðeðlisfræðideildar R.H.). Nánari lýsing á segulmælinum er í viðauka III. bls. 45.

Gert er ráð fyrir tvíþólmættisvektor í miðju sýni og eru með segulmælinum mældir x -, y - og z -þættir þessa vektors. Hnitakerfið er sýnt á mynd 4. Raunar eru sex vektorþættir mældir fjórum sinnum þ.e. x , $-x$, y , $-y$, z og $-z$ þættir. Segulsvið jarðar er upphafið meðan mælt er. Þessi mælingarsyrpa er fyrst gerð með óafsegulmagnað bergsýni en síðan endurtekin eftir afsegulmögnun í 100 Örsteda sviði og aftur eftir afsegulmögnun í 200 Örsteda sviði. Við afsegulmögnunina er bergsýnið látið snúast í ytra segulsviði (jarðsviðið upphafið), sem vex úr 0 Ö í 100 Ö (200 Ö) á ca. einni mín. og minnkar svo aftur í 0 Ö. Á bls. 46 er mynd af "segulþvottavél" R.H.

3) Úrvinnsla mæligagna fer fram í allmörgum skrefum.

Í byrjun er reiknað meðaltalsgildi fyrir x -, y - og z -þætti tvíþólmættis í sýni sbr. ofanskráð, sjá viðauka IV. bls. 47 sem er sýnishorn af mæliblaði fyrir eitt bergsýni. Stefna tvíþólmættisvektorsins finnst með því að reikna út tvö horn Dekl. og Inklination. $Dekl.$ = hornið frá x -ás að ofanvarpi tvíþólmættis á $x - y$ plan (sjá mynd 4.) = $\arctan \frac{y}{x}$, $0^\circ \leq Dekl. \leq 360^\circ$.
 $Inkl.$ = hornið frá $x - y$ planinu að tvíþólmættisvektor sýnis = $\arctan \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}$, Inkl. hefur sama formerki og z -þáttur þ.e. + ef tvíþólmættisvektor stefnir í bor-átt.

Stærð tvíþólmættis sýnis fæst skv $M = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ en þar sem x-, y-, og z-þættir eru lesnir af mælitæki í voltum, þarf að margfalda með kvörðunarfasta til að fá réttar einingar. Tvíþólmættið er = J·rúmmál, og er því auðvelt að reikna styrk segulmögnunar, J, að fundnu rúmmáli sýnis. (Ath. J er sama stærð og táknuð er með M_r á bls. 10, J hefur sömu stefnu og tvíþólmættið M).

Eins og sést í viðauka IV. er Dekl., Inkl. og J fundið þrisva fyrir hvert sýni þ.e. án afsegulmögnunar og eftir 100 Ö og 200 Ö afsegulmögnun. Fylgst er með hvort Dekl. og Inkl. eða J taki verulegum breytingum við afsegulmögnunina.

Næsta skref er að reikna út deklination D og inklination I fyrir hvert sýni eins og það snéri í sínu hrauni í feltinu og eru fyrrnefnd stefnuhorn Az og halli sýnis (sbr. bls. 12) notuð til þessarar "leiðréttingar".

Að fenginni D og I fyrir hvert sýni eins og það snéri í felti er reiknað út meðal D og I fyrir hvert hraun þ.e. fundin er meðalstefna þess segulsviðs, sem ríkjandi var á þeim stað og þeirri stundu er viðkomandi hraunlag storknaði. Í þessu skyni er notuð tölfræði kennd við Fisher sjá (2, bls. 58-63). Fisher sýndi fram á (1953), hvernig reikna ætti meðalstefnu, \bar{D} og \bar{I} , N sýna (N = fjöldi sýna) út frá summu einingarvektora, R, og summu stefnuosínusa:

$$\tan \bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i}{\sum_{i=1}^N l_i} \quad (6)$$

$$\sin \bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i}{R} \quad (7)$$

þar sem l_i , m_i , n_i eru stefnuosínusar i-tu stefnu (i-ta sýni)

Skv. Fisher er beztá mat nákvæmninnar

$$K = N - 1 / N - R \quad (8)$$

95% óvissuhorn meðalstefnu, α_{95} , (radius of the circle of confidence) finnst skv.

$$1 - \cos \alpha_{95} = \frac{N-R}{R} \left(\left(20 \right)^{\frac{1}{N-1}} - 1 \right) \quad (9)$$

má jafna við 2 staðalfrávik í normal-dreifingu.

Að fenginni meðalstefnu fornsegulmögnunar í hverju hrauni, er hægt að reikna út tilsvarendi hnattstöðu fornsegulpólís, en áður er þó leiðrétt fyrir halla jarðlaga á sýnatökustað. Til reikninga eru valin gögn sem gefa lægra α_{95} eftir afsegulmögnun við 100 Ö eða 200 Ö. Hraun með $\alpha_{95} \geq 20-30^\circ$ þykja vafasöm og sé $\alpha_{95} \geq 60^\circ$ telst hraunið ónothæft til frekari úrvinnslu.

Sýndarstaða fornsegulpólís er fundin með

$$\text{Plat} = \sin^{-1} (\sin \lambda \cdot \cos \theta + \cos \lambda \cdot \sin \theta \cdot \cos D) \\ \dots (-90^\circ \leq \text{Plat} \leq 90^\circ) \quad (10)$$

$$\text{Plon} = \phi + b, \\ \dots (\cos \theta \geq \sin \lambda \cdot \sin \text{Plat}) \\ \text{Plon} = \phi + 180^\circ - b \\ \dots (\cos \theta < \sin \lambda \cdot \sin \text{Plat}) \quad (11)$$

$$\text{þar sem } b = \sin^{-1} (\sin \theta \cdot \sin D / \cos \text{Plat}) \\ \dots (-90^\circ \leq b \leq 90^\circ) \quad (12)$$

$$\theta = \cot^{-1} (\tan I / 2) \\ \dots (0 \leq \theta \leq 180^\circ) \quad (13)$$

varðandi θ og λ sjá mynd 2.

ϕ er lengd sýnatökustaðar, ϕ er + ef á bilinu 0-180°E, - ef á bilinu 0-180°W.

atg

FYRRI RANNSÖKNIR Á JÖKULDAL

Árið 1964 birtir hollendingurinn Wensink tvær greinar um at-
huganir sínar og samstarfsmanna á uppbyggingu jarðlaga á Jök-
uldal (5),(6). Samfelld jarðlagasnið var gert frá Hjarðarhaga
upp að Hákonarstöðum, eða því sem næst um miðbik Jökuldals. Sjá
mynd 5. (yfirlitsmynd) og mynd 8. (jarðlagasnið Wensinks) bls. 32
og 34.

Tilgang þessara rannsókna segir Wensink þann verið hafa að
byggja upp jarðlagafraði (stratigrafy) og aldursákvarða jökul-
menjar, sem séu inn á milli basalt hraunanna í "the Graue Stufe"
(6, bls. 365). Jarðlagafraði svæðisins var ákvörðuð með hjálp
fornsegulmælinga og bergfræðilegra athugana á bergi. Forn-
segulmælingarnar voru gerðar í feltinu með venjulegum jarð-
fræðiáttavita (sjá bls. 11 hér að framan). Auk þessara felt-
mælinga á segulstefnu hraunlaganna, tók Wensink sýni úr I7 hraun
um til nánari segulstefnumælinga í rannsóknarstofu.

I. stuttu máli þá eru niðurstöður Wensinks þær, að á þessu af-
markaða svæði séu þrjár segulstefnusyrpur, sem ofanfrá talið er
 R_1 (öfug stefna), N_2 (rétt) og R_2 . Nánar er ekki kveðið á um
þessar segulsyrpur nema að þar séu frá Plíó - Pleistósen. Hins
vegar kemur fram hjá Wensink, að í hvorri syrpu um sig, R_1
og N_2 , séu tvö til þrjú hraunlög, sem hafi segulstefnu mótsetta
við segulstefnu umliggjandi hraunlaga. "In both series a
maximum of three basalt flows is intercalated with an inverted
direction of magnetization." (5, bls. 403). Svipað orðalag kemur
allsstaðar fyrir þar sem minnst er á þessi hraunlög. Wensink
veltir því fyrir sér nokkuð hvernig geti staðið á þessum "um-
snúnu" hraunlögum í R_1 og N_2 . Líklegar ástæður telur Wensink

geti verið annarsvegar endurpólan vegna hitaáhrifa ("self re-
versal"), eður hinsvegar umpólan vegna staðbundinna áhrifa frá
nærleggjandi jarðlögum (5, bls. 410). Ekki kemst Wensink þó að
ákveðinni niðurstöðu um þessi mál, en bendir þó á, að oftast geti
hafa orðið umsnúningar á segulsviði jarðar á Plíó - Pleistósen
tímabilinu heldur en þá hafði áður verið talið (þ.e. fyrir
1964, sjá síðar hér um).

Eins og áður segir, tók Wensink sýni úr I7 hraunum til nákvæm-
ari segulstefnuákvarðana og eru birtar niðurstöður um segulstefnu-
ur í I6 hraunlögum svo og hvar segulpóll hafi verið þá hraun
þessi brunnu (5, bls. 403). Sextánda hraunið er ekki á skrá og
fylgir engin skýring á því (þetta er neðra N hraunið í R_1 syrpu-
unni).

Niðurstöður ofangetinna bergsegulmælinga eru síðan aftur sett-
ar fram 1966 með tilliti til K/Ar aldursákvarða (7), sjá mynd 9
bls. 36. Nú eru syrpuarnar R og N ákvarðaðar sem Matuyama segul-
skeið og Gauss segulskeið. Aldursgreining á næsta hraunlagi
undir öfugu hraunlögnum þrem á Gauss skeiðinu gaf aldurinn
 3.10 ± 0.10 milj. ár, og þar með þótti líklegt, að þessi hin
öfugu hraun myndu frá Mammoth-segulatvikinu vera. — Aldurs-
greining þessi er líklega merkilegust fyrir þá sök, að ofaná
hinu aldursgreinda hrauni liggur elsta jökulberg sem finnst á
Jökuldal - og þar með á Plíó - Pleistósen tíma. Aldursgreining-
in hafði því mikið að segja í sambandi við að marka upphaf jök-
ultímans á Íslandi.

Aldursgreining á efra rétt segulmagnaða hrauninu (nr. I7 á
mynd 9. bls. 36.) frá Matuyama segulskeiðinu (R_1) gaf aldurinn
 1.60 ± 0.05 milj. ár. Þegar hér var komið sögu segulskeiða-
kvörðunar, var álitid, að á Matuyama skeiði væri eitt segulatvik

svo nefnt Olduvai-atvik, sem líklegt þótti að væri ca. 1.9 - 2.0 milj. ára gamalt. Efra rétt segulmagnaða hraunið áðurnefnd (nr. I7) þótti því of ungt til að geta verið frá Olduvai tíma, og þessvegna var sett fram sú hugmynd, að um áður óþekkt segul-atvik væri að ræða og hlaut það nafnið "Gilsár-atvik". Segul-atvikum hefur jafnan verið nafn gefið eftir örnefnum á fyrsta fundarstað og virðist því sem hið nýja segulatvik hefði átt að nefnast "Hnjúksár-atvik", því að upp með Hnjúksá (sjá mynd 5. bls. 32.) safnaði Wensink þeim bergsýnum, sem notuð voru til segulstefnumælinga og aldursákvarðana sbr. mynd 9. bls. 36 hraun númeruð I2 til I7. Þó getur Wensink þess, að upp með Gilsá hafi fyrst fundist rétt segulmagnað hraun í R₁ hraunlaga syrpu- unni.

Hraun nr. I6 á mynd 9. þ.e. neðra rétt segulmagnaða hraunið í Matuyama syrpuunni, var álitnið tilheyra Olduvai-atvikinu, enda gert ráð fyrir, að millum þessara hraunlaga (I6 og I7) væri til 3fugt segulmagnað hraun (R? í ritum Wensinks). "The presence of two normally magnetized flows between which occurs a lava of apparent reversed polarity in this sequence suggests that two brief intervals of normal polarity may be represented..." (7, bls. 234). Tekið er fram, að sýni til aldursgreiningar hafi ekki verið fyrir hendi úr hraunlagi I6 þ.e. neðra rétt segulmagnaða hrauninu fyrrnefnda.

Árið 1971 birtir Trausti Einarsson segulstefnukort af ofan verðum Jökuldal og Fljótsdal, byggt á rannsóknum hans og fleiri á segulstefnum í bergi (með áttavita) á þessum slóðum, sem fóru fram 1956 (8). Meðal annars kemur fram hjá Trausta, að hann

tók segulstefnusnið í Búðará, Kringilsá, Hnjúksá og Hnappá á Efra Jökuldal (sjá mynd 5.) og að í þessum sniðum hafi komið fram um 60 m rétt segulmögnuð hraunlagasyrpa, sem Trausti kallar NG. Þessi NG-syrpa mun svara til Gilsár/Olduvai-syrpu Wensinks, en ekki fundu Trausti og félagar þess merki, að NG-syrpan skiptist í tvennt með 3fugt segulmögnuðu hrauni.

Árið 1975 birtist svo grein Watkins o. fl. (9) varðandi nánari gaumgæfingu greinaraðila á því svæði, sem Gilsár-segul-atvikið á að leynast á, samkvæmt fyrrgetnum rannsóknum Wensinks.

Beitt var bersegulmælingum og aldursgreiningum. Bergsegulmælingar voru gerðar í þremur sniðum, sem voru í Kringilsá, Tregagilsá og Hnjúksá með tengingu í Arnórsstaðahnjúk (sjá mynd 5. bls. 32).

Niðurstöður bergsegulmælinganna voru í helztu dráttum þær, að staðfestar voru segulstefnuniðurstöður Wensinks, nema hvað ekki fundust nein merki um "R?" hraunlagið, sem skv. Wensink átti að greina í sundur Gilsár- og Olduvai-segulatvika (sjá mynd 9. bls. 36). Þess er getið til, að hraunlag með óstöðugri segulstefnu hafi villt um fyrir Wensink. Ekki fundust heldur merki um rétt segulmagnað hraun ofarlega í Tregagilsársniði eftir tilvísan Wensinks.

Aldursgreiningar gáfu, að aldur efra rétt segulmagnaða hraunins í Matuyama-syrpuunni (í Hnjúksá) væri 1.55 ± 0.01 milj. ár, en að aldur neðra N-hraunsins væri 1.63 ± 0.06 milj. ár. Niðurstaðan varð sem sagt sú, að aðeins væri um eitt segulatvik að ræða, hvers meðalaldur mundi vera 1.58 ± 0.08 milj. ára. Ekki var tekin afstaða til þess, hvort segulatvik þetta vera mundi

Olduvai-atvikið eða hugsanlega yngra atvik þ.e. Gilsár-atvikið en bent er á, að fram hafi verið settar tilgátur um, að Olduvai-atvikið hafi spannað í mesta lagi 1.6 - 1.9 milj. ár B.P. en í minnsta lagi 1.70 - 1.75 milj. ár B.P. (9, bls. 443).

Með þessu var mikilvægum stöðum kippt úr röksemdabyggingu Wensinks um tilvist Gilsár-segulatviks, þ.e. ekki um tvö segulatvik að ræða, aldursmunur rétt segulmögnuðu hraunlaganna og líftill og algerður skortur á 3fugt segulmögnuðu hrauni millum þeirra.

ÖRLÖG GILSÁR-ATVIKS 1966 - 1979

Gilsár-atvikið var, eins og áður er fram komið, kunnert 1966 en festist lítt í sessi er frá leið, því hvergi á jörðinni fékkst greint á milli Gilsár- og Olduvai-atvika í sama jarðlagasniði með vissu. Hinsvegar þótti sýnt, að Olduvai-atvikið væri mun yngra en í fyrstu var talið eða hefði byrjað fyrr, þ.a. Gilsár-atvikið væri í raun yngri hluti Olduvai-atviks.

Lengi vel voru tímamörk Matuyama segulskeiðsins á reiki, svo og tímamörk fyrir segulatvik á skeiðinu, einnig var fjöldi segulatvikanna breytilegur. Við uppbyggingu segultímakvarðans hafa verið notuð gögn úr bergsegulmælingum (storkuberg), segulstefnumælingum á borkjörnum úr úthafsseti og segulsviðsmynstri mældu yfir úthafshryggjum.

Í yfirlitsgrein N.D. Watkins frá 1972 (10) um sögulega þróun segultímakvarðans, kemur fram, að 1964 - 1965 er fyrst haldið fram tilvist Olduvai-segulatviksins og tilgreindur aldurinn 1.9 milj. ár. 1966 er fyrst getið Jaramillo-segulatviksins og aldur þess sagður um 0.9 milj. ár. Sama ár er Gilsár-atvikið skráð á spjöld sögunnar. Eftir þetta helzt Jaramillo-atvik all traust í sessi, en mörk Olduvai-atviks reika mjög og lítt eru menn sammála hvort segulatvik á Matuyama séu þrjú eður aðeins tvö. 1967 er birt aldursgreining frá Nunivak eyju, sem kunngerði 1.65 ± 0.09 milj. ára gamalt rétt segulmagnað hraun, og þótti styðja tilvist Gilsár-atviksins. Eftir 1968 fer að bera á uppástungum um segulatvik, sem sé um og yfir 2.0 milj. ára gamalt og 1969 eru tvö slík atvik tilnefnd, sem eftir 1971 eru kölluð Reunion-atvik (ýmist eitt eða tvö). 1969 -1971 eru segulfræðingar mjög í vafa hvort Gilsár- og Olduvai-atvik séu

eitt og hið sama segulsvið eður sundurslitinn, en lægsti aldur fyrir Olduvai-atvik virtist þá 1.71 milj. ár. Hér verður ekki nánar fjallað um segulkvarðasögu Watkins enda er sagan sú margslungin. Rétt er að geta þess, að í téðri grein Watkins setur hann fram tilgátu þess efnis, að auk segulsviðanna geti verið fyrir hendi svk. "excursions" þ.e. einhverskonar sýndarumpólun sem stafar frá hinu óreglulega aukasegulsviði jarðar (nondipole field). Áhrifa slíkra "excursions" myndi líklega gæta á takmörkuðu svæði á jarðarkringlunni.

1977 var birtur segulskali (II) þar sem Matuyama segulskeiði er talið vara frá 0.70 milj. árum B.P til 2.41 milj. ára B.P.

Tveggja segulsviða er getið: Jaramillo 0.89 - 0.95 milj. ár og Olduvai 1.62 - 1.83 milj. ár B.P. Tekið er fram, að öllum atvikum styttri en 40 þús. ár sé sleppt svo og öllum hugsanlegum "excursions", enda sé margt óljóst um þau mál.

1979 var birtur segulkvarði (I2) gerður eftir K/Ar aldursgreiningum á bergi. Aldursgreiningar voru víða að og hinar eldri höfðu verið leiðréttar út frá nýjum stuðlum í K/Ar aðferð

Gert er ráð fyrir í þessum skala, að á Matuyama skeiðinu séu Jaramillo- og Olduvai-atvik, auk þess tilnefnd tvö Réunion-atvik (sjá mynd 7.). Annars eru mörk segulskeiða og segulsviðanna sem hér segir svk. segulkvarða þessum:

Brunhes skeið	0 - 0.73 milj. ár
Matuyama skeið	0.73 - 2.48 milj. ár
Jaramillo-atvik	0.90 - 0.97 - " -
Olduvai-atvik	1.67 - 1.87 - " -
Réunion-atvik	2.01 - 2.04 og 2.12 - 2.14 milj. ár
Gauss skeið	2.43 - 3.40 milj. ár
Kaena-atvik	2.92 - 3.01 - " -
Mammoth-atvik	3.05 - 3.15 - " -

NIBURSTÖÐUR BERGSEGULMÆLINGA Á JÖKULDAL 1979

Greinarhöfundur tók sumarið 1979 bergsýni úr þeirri jarðlagasýrpu á Jökuldal, er Wensink fyrr kortlagði og áður er búið að fjalla um (sjá mynd 8.). Sýnatökusnið voru tekin í Garðá við Hjarðarhaga, Yztu - Rjúkandi, Gilsá og Hnappá. Einnig var tekið úr hraunlögum í Arnórsstaðahnjúk í framhaldi af Hnappár-sniði. Fáein sýni voru tekin úr Hnjúksá. Sjá mynd 5., sem er yfirlitskort af sýnatökusvæðinu. Áður en sýnasöfnun fór fram, var svæðið og næsta nágrenni kannað með litlum flosamæli (sbr. bls. 11).

Á mynd 6. bls. 33. er jarðlagasnið af sýnatökusvæðinu '79 og eru þar tilgreind númer og pólstefna (N eða R) þeirra hrauna, sem borað var í til sýnatöku. Jarðlagasnið þetta er í nokkru frábrugðið sniði Wensinks á mynd 8. bls. 35. Tengingar eru nokkuð ljósar millum sniða, nema hvað tengingar við Gilsársnið eru vafasamar. Opnur eru góðar í Garðá og Yztu-Rjúkandi, en slamar í Hnappá og Arnórsstaðahnjúk sbr. ljósmyndir bls. 37.

Vísað er til rita Wensinks um bergtegundir svæðisins, en þar segir, að basalt í R₁ syrpu sé 50% tholeiit, 40% porphyritic basalt og 10% ólivínbasalt, en í syrpu N₂ sé 44% tholeiit, 39% porph. basalt og 17% ólv. basalt. Aðrar teg. storkubergs finnast ekki, hraunlög má yfirleitt rekja langar leiðir í landslagi og nálægðar fornra eldstöðva verður lítt vart í bergstafla þessa svæðis, en ofan Hákonarstaða verður jarðfræði svæðisins all flókin. Að áliti Wensinks hallar berglögum til vesturs um 4° til 5° neðst en 2° til 3° efst. Um setgerðir, sem finnast í jarðlagastaflanum, verður ekki fjölyrt hér (sjá (6)). Jökulberg kemur víða fram greinilega, en sumsstaðar leikur vafi á

hvort um er að ræða jökulberg eða leirfylltan gjallkarga (leirinn gæti verið úr jökulám). Jökulbergsstaðsetningar í sniðum á mynd 6. ber að taka með fyrirvara. Hæðarkvarði myndar 6. er fremur óáreiðanlegur vegna ónákvæms mælitækis (Thommen hæðarmalir).

Niðurstöður sjálfra bergsegulmælinganna eru birtar hér í töflu I., en fyrr hefur verið lýst hvernig að þeim mælingum var staðið. Mæld sýni úr hverju hraunlagi eru oftast þrjú og ber þeim í öllum tilvikum vel saman innbyrðis um segulstefnu. Að eins í fáum tilfellum er α_{95} stærra en 10° og verður hvergi yfir 14° , má því vel tala um "góðar" mæliniðurstöður.

Í töflu I. er útreiknuð stefna, \bar{D} og \bar{I} , þess segulsviðs, sem viðkomandi hraun storknaði í, einnig er útreiknuð hnattstaða hins forna segulpóls, Lon og Lat (staða "suðurrpólsins"). R og alf eru stærðir úr Fishers tölfræði, sem áður er um getið sbr. bls. 14. Í töfluna eru valdar þær niðurstöður fyrir hver sýni, sem gáfu betri niðurstöðu þ.e. lagra α_{95} við $100 \text{ } \bar{O}$ elleg 200 \bar{O} afsegulmögnum. Loks er í töflu I. skráður meðaltals segulmögnumarstyrkur fyrir hvert hraun eftir $100 \text{ } \bar{O}$ afsegulmögnum þ.e. J_{100} .

Mynd 7. lýsir því, hvernig sýndarstaða fornsegulpóls (virt ual geomagnetic pole, VGP), þ.e.s. breidd fornpóls, breytist upp eftir ástluðum heildar bergstaflanum. Til hliðsjónar er segulstefnukvarði frá 1979 (I2) og tekið er mið af þeim aldurs ákvörðunum sem gerðar hafa verið á svæðinu (7),(9), sbr. bls. 16 til 19.

celus eð gort um það hvort
B-hraun um síðfok lög?

Niðurstöður bergsegulmælinganna eru í samræmi við þær staðhæfingar Wensinks, að berg í neðanverðri Garðá sé frá ofanverðu Gilbert segulskeiði en síðan taki við Gauss segulstefnusyrpa sem náí allt upp í Hnappá. Eitt segulatvik kemur fyrir í Gauss syrpu og er það í Yztu-Rjúkandi, líklega Mammoth-atvik.

Óljóst er hvort hér er um að ræða tvö eða þrjú R segulmögnumhraun, því skil millum RJ 4 og 5 eru harla óljós. Eins og áður er fram komið er næsta hraun undir þessum R hraunum 3.I0 \pm 0.I0 milj. ár (7) eða 3.I3 \pm 0.05 milj. ár skv. leiðréttingu 1979 (I2). Hraunin gætu því hvort heldur sem er, verið frá Mammoth-atviki eða Kaena-atviki. Jökull sá er lagði til jökulbergið undir neðsta R hraunið, gæti fullt eins hafa þurkað út merki um Mammoth-atvikið (sem er eldra en Kaena-atvikið).

Hraunstafla með öfugri segulstefnu, þ.e. Matuyama skeið, hefst í neðanverðri Hnappá og nær upp á Arnórsstaðahnjúk, en þessi öfuga syrpa er slitin sundur af tveimur rétt segulmögnumhraunlögum, sem rekja má eftir sniðum í Hnappá, Arnórsstaðahnjúk og Hnjúksá. Hið efra N hraun er í töflu I. númer HP II og HA 2, en hið neðra er nr. HP IO og IOB, HA I og HN I5B og I5C. Hér bendir allt til að einungis sé um eitt segulatvik að ræða í samræmi við skoðanir Watkins o.fl., en ekki tvískipt svo sem Wensink ætlaði. Hvergi finnst minnsti vottur um "R?"-hraun það er Wensink hélt, að mundi ef til vill vera í millum téðra N hrauna. Milli hraunlaga IO og II í Hnappá er allþykkt jökulberg og má rekja það um Arnórsstaðahnjúk og Hnjúksá. Samkvæmt Watkins o. fl. (9) er aldur hraunsins HA 5 I.32 \pm 0.06 milj. ár (nr. GL 4 í (9)) og aldur HA 2 er I.53 \pm 0.07 milj. ár (nr. GL I í (9)). Aldur neðra N hraunsins er líklega nálægt I.63 \pm 0.06 milj. ár skv. (9), ef gert er ráð fyrir sama hrauni í Hnappá og aldursgreint var í Hnjúksá.

HEIMILDIR

1. Stacey, F.D.,: Physics of the Earth. 2. útg. Willey 1977, bls. 211-274.
2. Irving, E.,: Paleomagnetism and Its Application to Geological and Geophysical Problems. Willey 1964.
3. Kittel, C.,: Introduction to Solid State Physics. 5. útg. Willey 1976, bls. 433-493.
4. Einarsson, Tr.,: Magneto-geological mapping in Iceland with the use of a compass. Philos. Mag. (Suppl.) 6, 232-239, 1957.
5. Wensink, H.,: Secular variation of earth magnetism in Pliocene basalts of eastern Iceland, Geol. Mijnb. 43, 403-413, 1964.
6. Wensink, H.,: Paleomagnetic stratigraphy of younger basal and intercalated Plio-Pleistocene tillites in Iceland, Geol. Rundsch. 54, 364-384, 1964.
7. McDougall, I., Wensink, H.,: Paleomagnetism and geochronology of the Pliocene-Pleistocene lavas in Iceland, Earth Planet. Sci. Lett. I, 232-236, 1966.
8. Einarsson, Tr.,: Magnetic polarity groups in Fljótsdalsheiði area, including Gilsá, Jökull 21, 53-58, 1972.
9. Watkins, N.D., Kristjánsson, L., McDougall, I.,: A detailed paleomagnetic survey of the type location for the Gilsá geomagnetic polarity event, Earth and Planetary Sci. Lett. 27, 436-444, 1975.
10. Watkins, N.D.,: Review of the development of the geomagnetic polarity time scale and discussion of prospects for its finer definition, Bull. Geol. Soc. Am. 33, 551-574, 1972.
11. LaBrecque, J.L., Kent, D.V., Cande, S.C.,: Revised geomagnetic polarity time scale for Late Cretaceous and Cenozoic time, Geology 5, 330-335, 1977.
12. Mankinen, E.A., Dalrymple, G.B.,: Revised geomagnetic polarity time scale for the interval 0 - 5 m.y. B.P., J. Geophys. Res. 34, 615-626, 1979.
13. McDougall, I., Sæmundsson, K., Jóhannesson, H., Watkins, N.D., Kristjánsson, L.,: Extension of the geomagnetic polarity time scale to 6.5 m.y.: K-Ar dating, geological and paleomagnetic study of 3.500-m lava succession in western Iceland, Bull. Geol. Soc. Am. 38, 1-15, 1977.
14. Sæmundsson, K., Noll, H.,: K/Ar ages of rocks from Húsa-fell Western Iceland, and the development of the Húsa-fell central volcano, Jökull 24, 40-59, 1974.
15. Einarsson, Tr.,: Upper Tertiary and Pleistocene rocks in Iceland, Soc. Scientiarum Islandica 36, 148-159, 1962.
16. Einarsson, Tr.,: Eðlisbættir Jarðarinnar og Jarðsaga Islands, Alm. Bókafél. R.vík 1972.
17. Kristjánsson, L., Friðleifsson, I.B., Watkins, N.D.,: Stratigraphy and Paleomagnetism of the Esja, Eyrafjall and Akrafjall Mountains, SW-Iceland, J. Geophys. 47, 31-42, 1980.
18. Dobrin, M.B.,: Introduction to Geophysical Prospecting, 3. útg. McGraw-Hill 1976, bls. 476-532.
19. Watkins, N.D., McDougall, I., Kristjánsson, L.,: Upper miocene and pliocene geomagnetic secular variation in the Borgarfjörður area of western Iceland, Geophys. J. R. astr. Soc. 49, 609-632, 1977.
20. Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., Keys, D.A.,: Applied Geophysics, Cambridge University Press 1976.

Tafla I.

No.	N	D	I	Lon	Lat	alf	R	μ_{100}
HN Hafjósá								
HN 18	3	3	3	165.2	-54.1	6.1	2.9952	2.4
HN 17	3	3	3	151.3	-76.4	2.9	2.9939	0.6
HN 15C	3	3	3	109.3	74.4	3.7	2.9932	6.3
HN 15B	3	3	3	123.2	70.4	6.8	2.9939	4.0
HA Arnórstaðahjúkur								
HA 6	3	4	3	181.6	-71.9	10.5	2.9355	6.4
HA 5	4	4	3	299.5	-35.7	4.0	3.9942	1.6
HA 4	3	3	3	220.1	-53.5	13.0	2.9731	5.8
HA 3	3	3	3	130.7	-59.1	1.7	2.9996	4.2
HA 2	3	3	3	331.6	74.8	6.1	2.9951	6.3
HA 1	4	4	3	23.6	67.0	4.4	3.9931	1.7

No.	N	D	I	Lon	Lat	alf	R	μ_{100}
HP Hrappá								
HP 13	3	5	3	236.9	-63.4	5.4	2.9962	2.0
HP 12	3	5	3	216.2	-72.6	4.8	4.9843	4.8
HP 11	4	4	3	336.6	76.6	2.7	3.9974	9.5
HP 10B	4	4	3	107.5	84.6	8.2	2.9966	2.6
HP 10	4	4	3	156.7	37.4	3.0	3.9933	2.8
HP 9	3	4	3	101.7	-30.3	2.2	5.9873	2.0
HP 8B	3	4	3	192.3	-63.4	3.4	4.9954	8.0
HP 8	5	5	3	164.7	-69.9	2.6	2.9997	5.1
HP 7	3	3	3	232.3	-77.0	1.7	2.9997	5.2
HP 6B	3	3	3	238.6	-82.7	1.6	3.9964	6.4
HP 6	4	4	3	229.8	-84.2	3.2	2.9970	16.9
HP 5	4	4	3	170.6	-66.8	3.2	3.9964	0.9
HP 4B	3	4	3	104.9	-81.2	4.4	2.9984	3.6
HP 4	3	3	3	166.0	-79.1	3.8	2.9997	3.9
HP 3	3	3	3	40.2	59.9	1.6	2.9997	7.9
HP 2	2	2	3	235.7	67.6	12.4	2.9801	0.6
HP 1	4	4	3	21.1	78.5	5.1	3.9907	5.3
HP 1A	3	3	3	332.2	85.2	4.4	2.9974	0.4

No.	N	D	I	Lon	Lat	alf	R	μ_{100}
GI Gilsá								
GI 8	3	3	3	171.9	-73.6	4.0	2.9979	20.3
GI 7	3	3	3	35.3	-52.1	5.1	2.9978	1.2
GI 6	3	3	3	25.1	82.2	4.1	2.9957	7.2
GI 5	4	4	3	316.9	79.3	2.1	2.9957	2.3
GI 4	3	3	3	353.8	76.3	6.9	2.9937	2.2
GI 3	4	4	3	323.0	81.1	1.7	3.9990	0.9
GI 2	3	3	3	340.2	64.5	3.7	2.9982	6.8
GI 1	3	3	3	338.5	61.6	2.8	2.9989	3.7

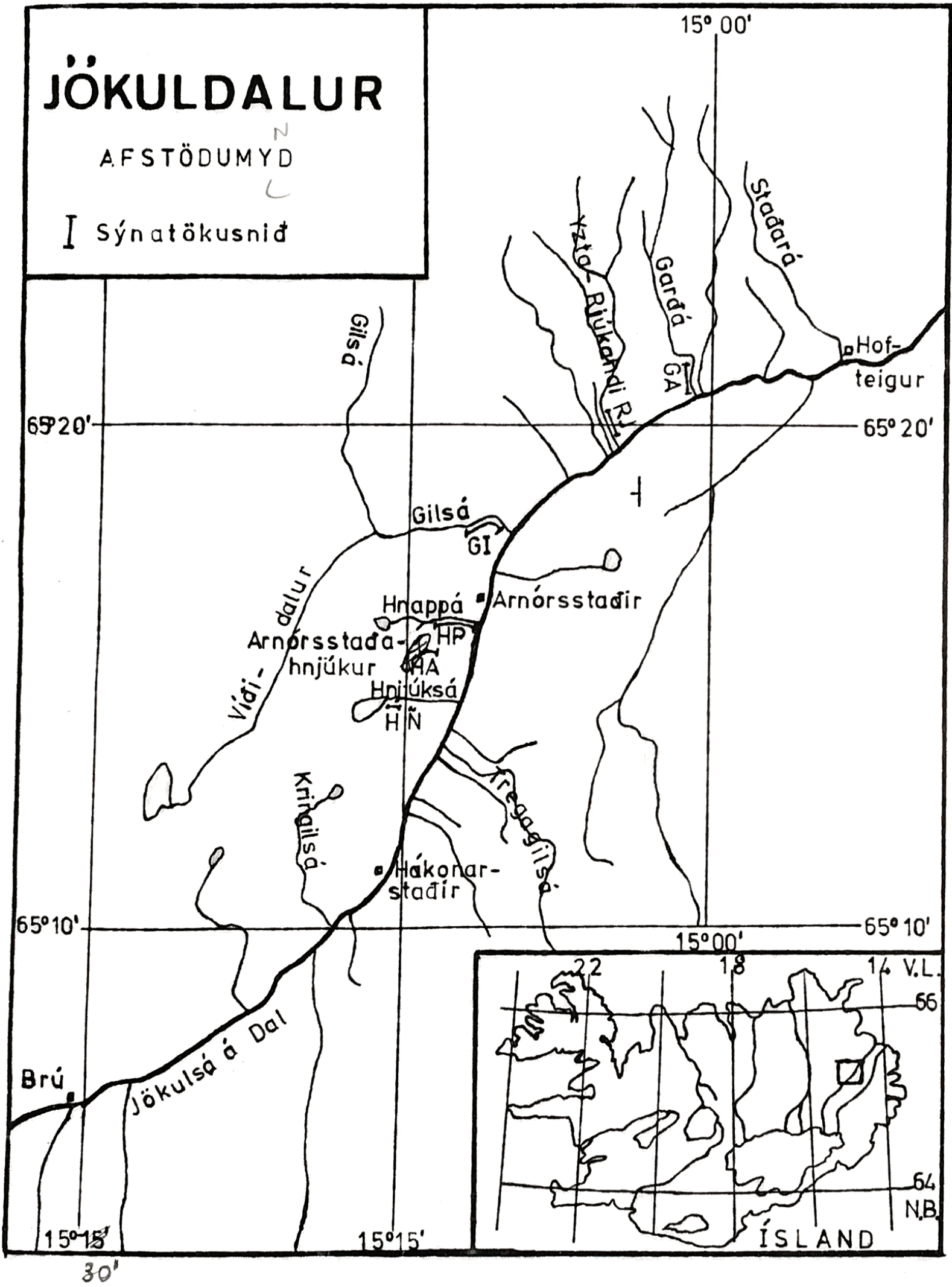
Tafla I. frh.

No.	N	D	I	Lon	Lat	alf	R	μ_{100}	Pol	
RJ Yzta - Rjúkandi										
RJ 11	3	3	3	21.7	73.8	151.0	34.3	6.7	2.9942	13.2
RJ 10	3	3	3	336.5	70.8	223.0	74.1	7.8	2.9920	3.4
RJ 9	3	3	3	340.2	58.3	193.1	61.2	3.0	2.9988	1.6
RJ 8	3	3	3	67.1	77.4	42.9	63.6	2.6	2.9991	1.2
RJ 7	3	3	3	26.8	83.4	9.2	75.7	3.8	2.9981	6.9
RJ 6	3	3	3	159.8	-75.9	70.7	-81.0	1.4	2.9997	5.2
RJ 5	3	3	3	194.9	-83.2	181.2	-77.8	1.6	2.9997	3.0
RJ 4	3	3	3	176.0	-82.1	153.3	-80.7	7.2	2.9933	2.7
RJ 3	3	3	3	34.8	78.5	49.1	76.1	14.0	2.9745	5.4
RJ 2	3	3	3	360.0	66.1	165.0	69.1	7.9	2.9919	5.1
RJ 1	3	3	3	23.1	87.8	349.9	69.4	5.6	2.9953	4.0

No.	N	D	I	Lon	Lat	alf	R	μ_{100}	Pol	
GA Gardá við Hjarðarhæga										
GA 14	3	3	3	286.6	34.3	317.2	66.2	5.6	2.9958	5.6
GA 13B	3	3	3	14.9	68.6	123.6	74.5	3.5	2.9984	6.9
GA 13	3	3	3	351.7	67.0	134.6	73.7	5.5	2.9960	11.4
GA 12	3	3	3	178.9	37.1	345.2	59.7	4.2	2.9977	2.3
GA 11	3	3	3	325.6	75.9	263.0	75.1	2.7	2.9990	2.3
GA 10	3	3	3	336.8	74.4	242.0	78.6	3.2	2.9937	13.0
GA 9	3	3	3	347.9	75.0	226.7	33.5	10.0	2.9370	4.0
GA 8	3	3	3	177.7	-66.1	350.2	-73.0	4.0	2.9979	4.0
GA 7	3	3	3	197.1	-73.8	222.6	-82.7	3.9	2.9980	4.1
GA 6	4	4	3	155.5	-35.4	151.7	-73.3	4.9	3.9914	3.2
GA 5	3	3	3	179.7	-79.7	163.7	-85.3	3.6	2.9983	3.9
GA 4	3	3	3	35.8	-82.2	133.0	-60.3	7.5	2.9927	6.6
GA 3	3	3	3	173.1	-77.2	30.3	-37.1	12.1	2.9309	2.4
GA 2	3	3	3	160.0	-73.6	51.9	-79.1	2.6	2.9991	4.6
GA 1	3	3	3	243.4	-74.5	234.0	-62.3	7.0	2.9935	1.7

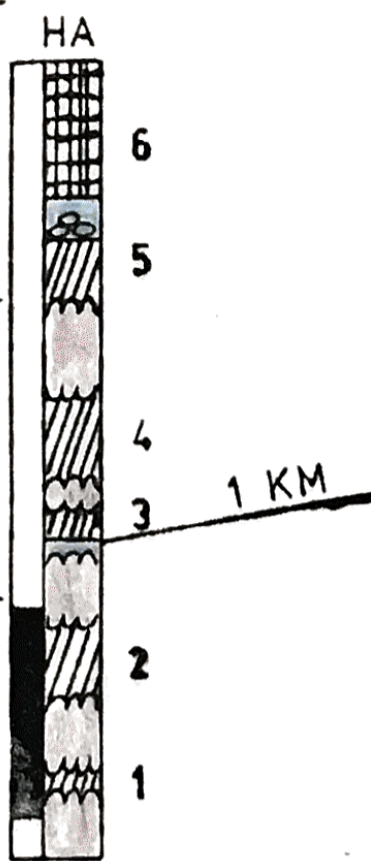
Skýringar:

No. : Númer sfnatökuhrauna í hverju sniði.
 N : Fjöldi sýna úr hverju hrauni.
 D, I : Declination (mæld frá norðri yfir austur) og inclination (mæld við lárétt plan, + niður) fyrir meðalstefnu varanlegrar segulmagnunar hvers hrauns eftir afsegulmagnun við 100 ó eða 200 ó ríðstraums-segnisvið. Leiðrétt er fyrir jarðlagahalla & svæðinu.
 Lon, Lat : Sýndarstaða fornsegulþóls, landfræðileg lengd og breidd. Lon mælt í austur frá Græwich, Lat er + & norður-hveli jarðar.
 alf : α_{95} : 95% óvissuhorn meðalsviðs.
 R : Summa einingarektora, hvert sýni með einingarektor fyrir segulstefnu.
 μ_{100} : Meðaltalsstyrkur segulmagnunar eftir 100 ó afsegulmagnun, mælt í Amper/m eða 10³Gauss.
 Pol : segulstefna hvers hrauns, N rétt (normal), R ófug (reversed), RP ef |Lat| < 40°

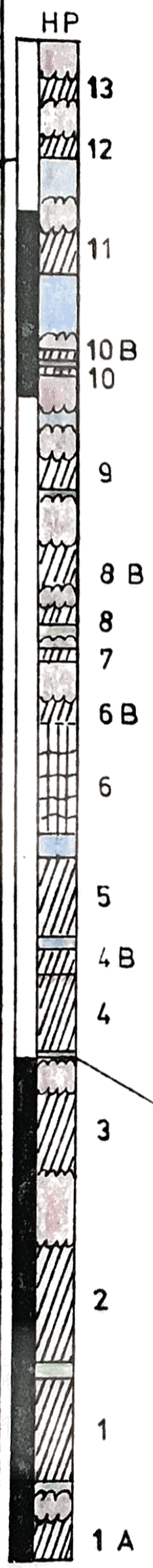


M'YND 5.

ARNÓRSTAÐA - HNJÚKUR

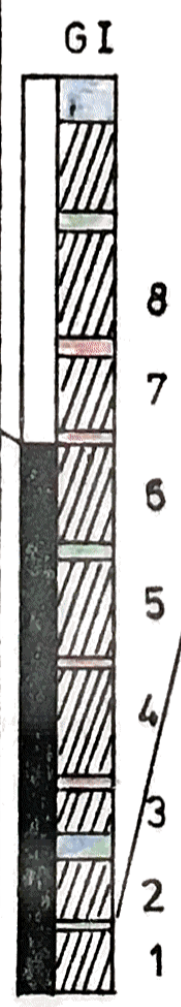


HNAPPÁ



1 KM

GILSÁ

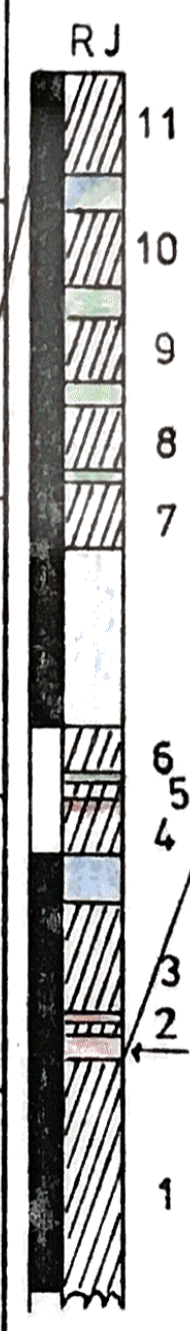


3,7 KM

MYND 6.

JARÐLASNIÐ Á JÖKULÐAL

YZTA-RJÚKANDI



5,5 KM

3,5 KM

GARÐÁ



RML

RML

m.y.s.

650

600

550

500

450

400

350

300

250

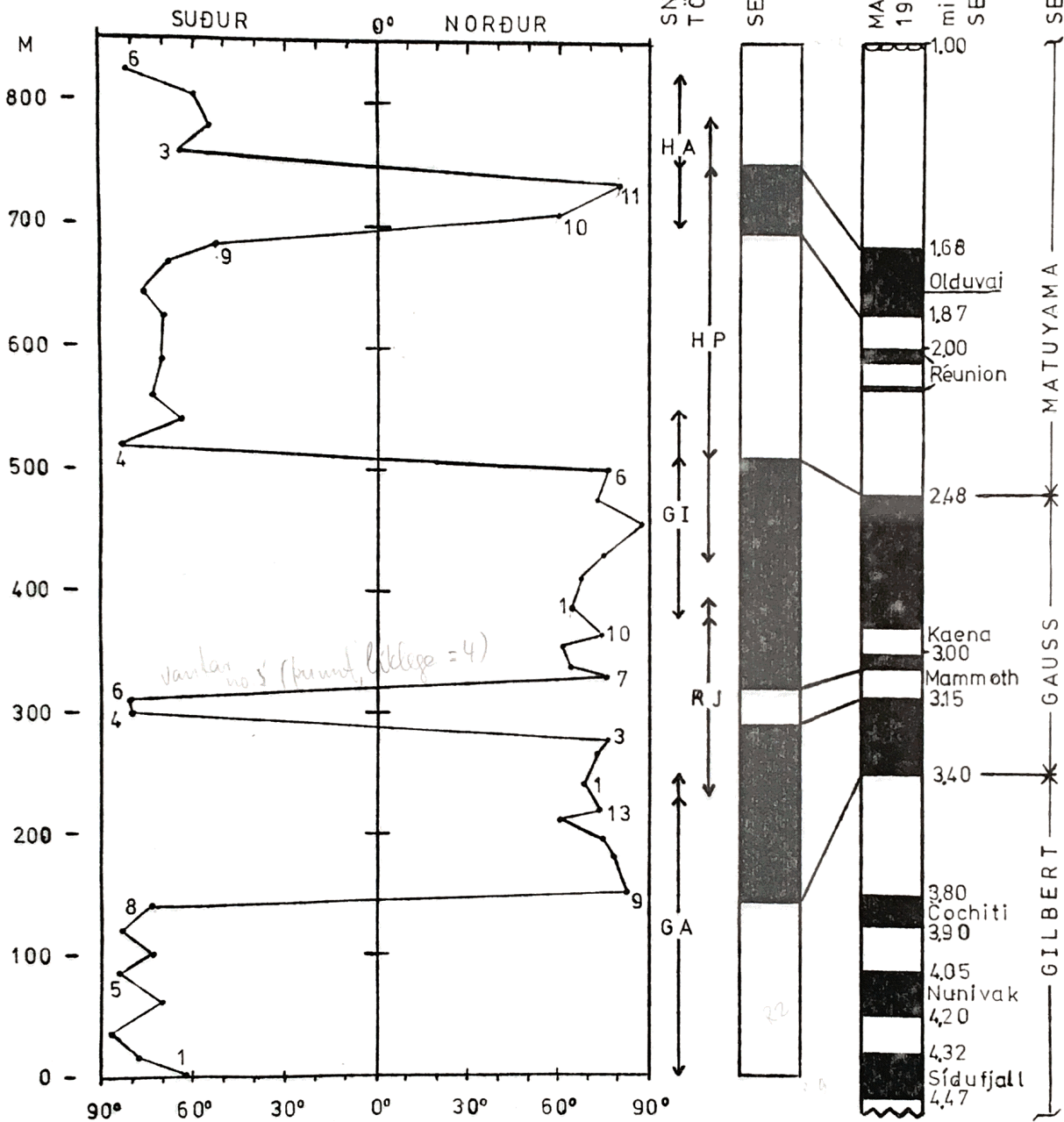
200

150

- | | | | |
|-------------------|-----------------------|--|---------------------------|
| | BASALT | | EYÐA |
| | BÓLSTRABROTA-
BERG | | ÞURSABERG
OG ANNAÐ SET |
| | JÖKULBERG | | RÉTT SEGULSTEFNA |
| | BAKAÐ SET | | ÖFUG SEGULSTEFNA |
| RML=RAUÐ MILLILÖG | | | |

SÝNDARSTAÐA FORNPÓLS
V.G.P.
BREIDD, Plat

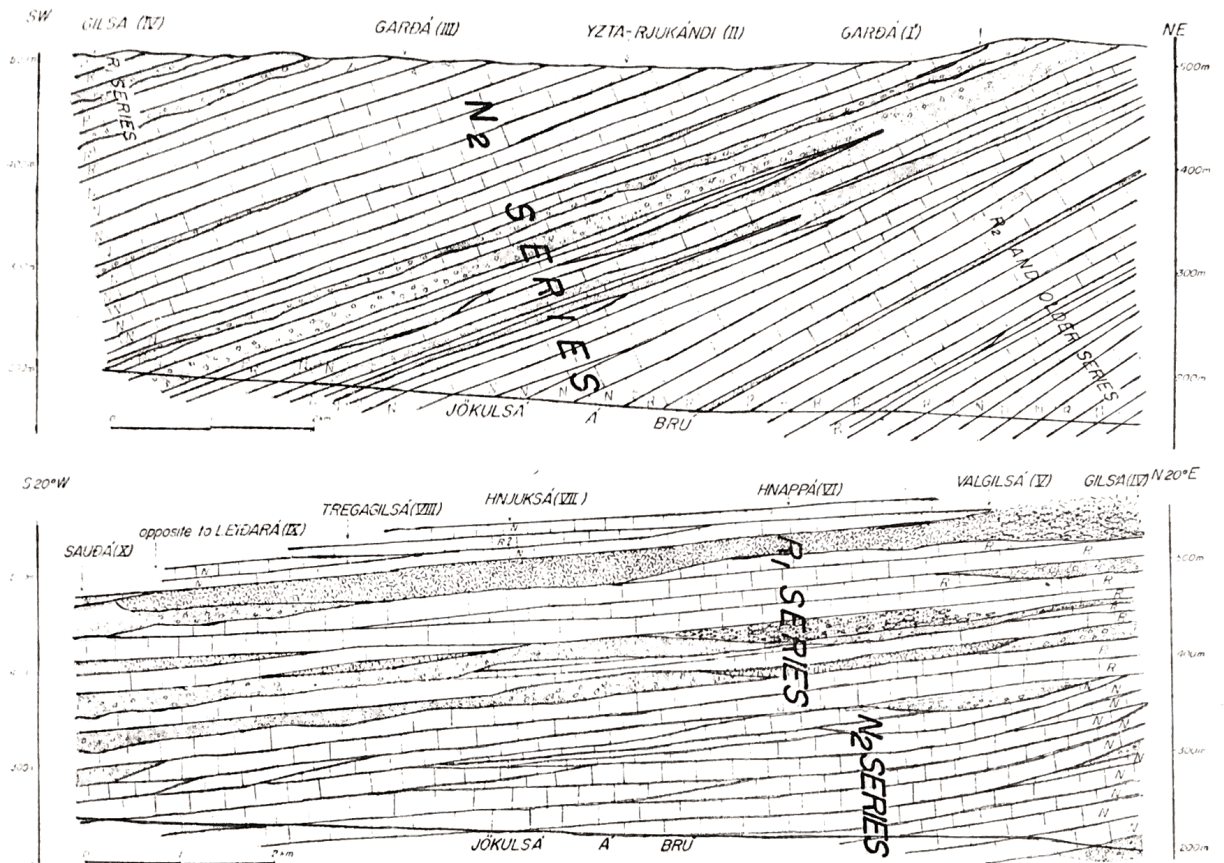
ÞYKKT



MYND 7.

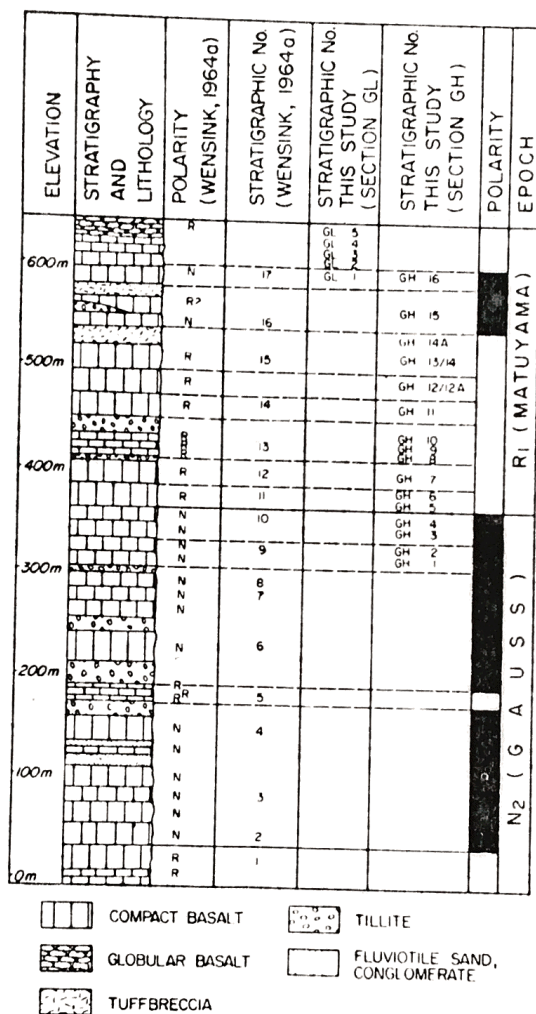
Á myndinni er upp sett sýndarpólbreidd fornsegulpóls (virtual geomagnetic pole; VGP) ákv. töflu I. í samanburði við þykkt jarðlagastafans á Jökuldal. Jarðlagabykktn er metin út frá jarðlagasniði á mynd 8. (Wensink 1964b), en annars er miðað við jarðlagasnið á mynd 6. og töflu I. Á VGP-mynd eru sýnd nokkur númer hraunlaga til samanburðar við töflu I. Segulstefnusúla er gerð í samræmi við VGP-mynd, en til hliðsjónar er hluti af segulstefnukvarða Mankinen og Dalrymple frá 1979 (kvarðinn nær yfir 0-5 milj. ár B.P. Dökk súla táknar rétta segulstefnu.

~ 800 m / 2 1/2 my ≈ 300 m / my



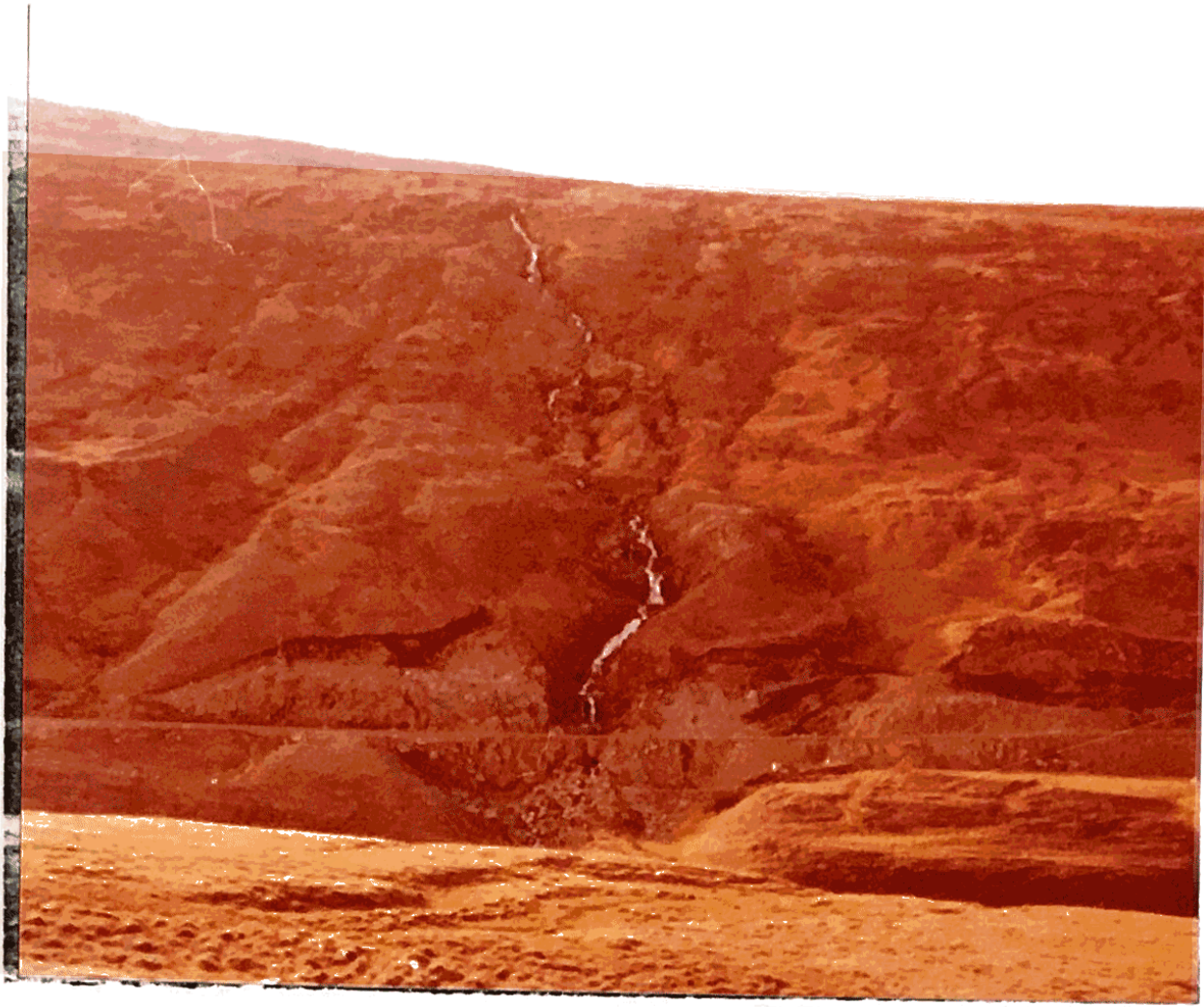
MYND 8.

Jarðlagasnið af Jökuldal, lengdarsnið samfellt frá Hjarðarhaga (Garðá) upp að Hákonarstöðum (Sauðá).
Myndir 3. og 4. bls. 373 (6) (Wensink 1964b).



MYND 9.

Jarðlagasnið af Jökuldal með segulstefnugreiningum, mynd 2. bls. 438 (9). Myndin er í aðalatriðum bergsegulmalingasnið Wensinks frá 1964 (5) þ.e. hraun nr. I-I7 (I2-I7 eru hraun í Hnjúksá). Til hliðsjónar eru bergsegulmalingasnið Watkins o.fl. 1975; GL í Arnórsstaðahnjúk og GH í Hnjúksá. Sýni nr. HN I5B og I5C í töflu I. bls. 30 eru líklega úr hrauni merktu GH I5 mynd 9., en sýni nr. HN I7 og I8 (töflu I.) voru tekin ofan við hraun GH I6 í Hnjúksá.



Hnappá, snið HP. Efst til vinstri sér aðeins í Arnórsstaðahnjúk.



Hraun HP II í Hnappá (foss efst), N segulmagnað. Undir er jökulberg.



Mið-Rjúkandi til vinstri, Yzta-Rjúkandi
til hægri.



Yzta-Rjúkandi, snið RJ.

- (1) hraun nr. RJ 3
- (2) hraun nr. RJ 4 (Mammoth-atvik)
- (3) jökulberg undir hrauni nr. RJ7.



Garðá innan við Hjarðarhaga, snið GA.



Staðará við Hofteig (t.h.), Vikalækur
lengst til vinstri.

(I) mislægi.

VIÐAUKAR

- Viðauki I. : Bergsegulmælingar í Pyrli í Hvalfirði.
Viðauki II. : Bergsegulmælingar í Asgili Borgarfirði.
Viðauki III. : Institut Dr. Förster segulmæli lýst.
Viðauki IV. : Mælingareyðublað fyrir bergsegulmælingar
með Inst. Dr. Förster segulmæli R.H.

VIÐAUKI I.

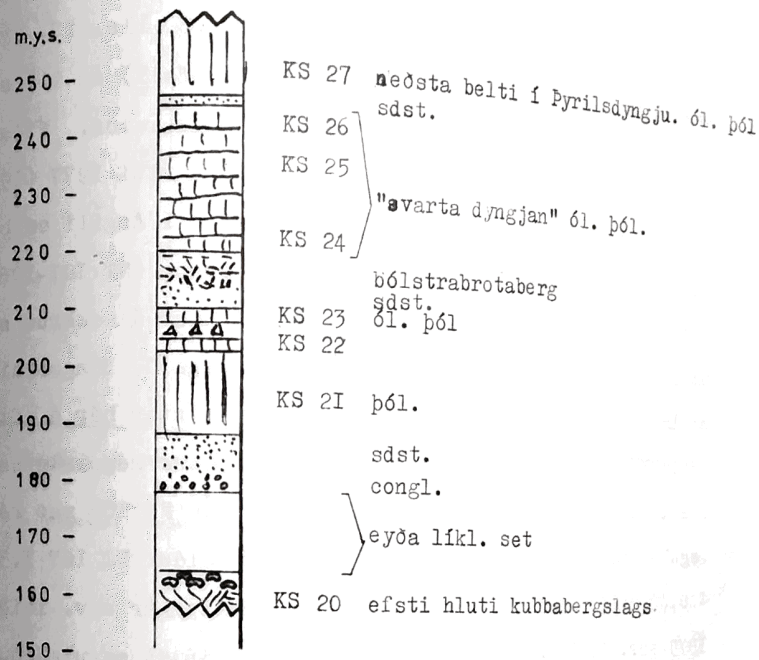
Í júní 1979 voru gerðar bergsegulmælingar í Pyrli í Hvalfirði, ef ske kynni að þar myndi hægt að greina í sundur Gilsár og Olduvai-atvik. Þetta var gert eftir ábendingu Kristjáns Sæmundssonar, sem áleit að í Pyrli gæti verið að finna tvö segulatvik frá Matuyama. Sýni til bergsegulmælinga voru tekin í sniði í gegnum neðra hugsanlega atvikið, þ.e. KS 2I - 23 í töflu (N segulstefna eða vafasöm í þessum hraunum að álitni Kristjáns).

Niðurstöður bergsegulmælinganna eru í töflu 2. hér að neðan, ekkert segulatvik kom fram og var frekari athugunum á svæðinu hætt. Í vafahraunum KS 2I - 23 er mjög líklega um seigsegulmögnum að ræða (sjá bls. 9), sem yfirgnæfir TRM við venjulegar segulstefnumælingar í felti með flosamæli.

Varðandi skýringar við töflu 2. sjá töflu I. bls. 29. Í töflu 2. hefur verið leiðrétt fyrir jarðlagahalla, sem álitinn var 18° og stríkstefna NA-SV (downdip = 135°). Á bls. 42 er jarðlagasnið það, sem sýni voru tekin úr.

Tafla 2.

Nr.	N	D	I	Lat	Lon	R	alf	J	Pó
KS 20	4	170.2	-83.3	150.0	-76.3	3.9834	6.8	15.9	
KS 21	6	111.9	-76.0	98.6	-61.6	5.9780	4.5	2.8	
KS 22	4	257.9	-81.4	197.2	-62.8	3.9864	6.2	3.9	
KS 23	4	270.2	-81.4	193.8	-59.6	3.9901	5.3	3.4	
KS 24	3	10.6	-77.6	153.1	-40.9	2.9810	12.1	0.6	
KS 25	3	56.3	-77.2	128.9	-46.3	2.9967	5.0	0.6	
KS 26	3	38.3	-78.5	139.4	-45.0	2.9988	3.0	2.1	
KS 27	4	351.8	-81.2	162.3	-47.2	3.9965	3.2	3.1	



Mynd 10.

Jarðlagasnið til bergsegulmælinga í Pyrli Hvalfirði (jún. '79)
Mynd þessi er gerð eftir teikningu Kristjáns Sæmundssonar frá 20/6 '79. Sniðið er upp af og austan við aflagða líparít-námu Sementsverksmiðju Ríkisins við Bláskeggssá.
Öll hraunin í sniðinu eru öfugt segulmögnuð.

VIÐAUKI II.

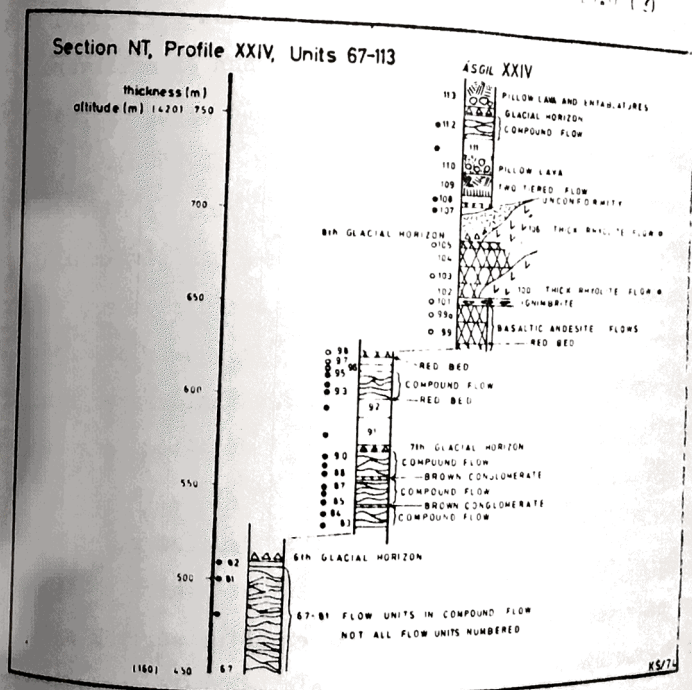
I977 birtist grein McDougall o.fl. (I3) varðandi aldursgreiningar svo og jarðlagafraðilega og bergsegulfræðilega uppbyggingu í Borgarfirði (vestra). Í téðri grein, mynd 5. bls. I2, er í skyn gefið, að efst í Ásgili (í nánd við Húsafell) sé til staðar rétt segulmagnað segulvatvik frá Matuyama segulskeiði. Niður-stöðutölur bergsegulmælinganna birtust í öðru riti I977 (I9), og skv. þeim tölum var ekkert segulvatvik efst í Ásgili en þó reyndist allóftstöðug segulstefna í tveim hraunum (NT IO7-I03).

Vorið I979 voru bergsegulmælingar endurteknaðar á nokkrum stöðum í Borgarfirði af Leó Kristjánssyni og Helga Ó. Bragasyni, en mæliniðurstöður (endurbættu) úr Ásgili eru birtar hér á eftir í töflu 3., sjá einnig mynd II. Skv. töflu 3. er segulstefna hraunsins NT IO7 öfug, en hugsanlega er hraun NT IO3 með rétta segulstefnu. Skv. McDougall o. fl. '77 er aldur NT IO7 I.59 ± 0.02 milj. ár (I3) (þ.e.s. I.64 ± 0.02 milj. ár skv. leiðr. I979 sbr. (I2)). Ofan á NT IO3 eru síðan öfugt segulmögnað hraun, en ofar (?) í bergstaflanum tekur við rétt segulmögnað hraunsyrpa sbr. (I4), (I5), sem m.a. finnst í Bæjarfelli við Húsafell. Nánari athugana, jarðfræðilegra og bergsegulfræðilegra, er þörf á svæðinu áður en segulvatviki (Gilsá?) efst í Ásgili er endanlega hafnað.

Tafla 3.

NT BORGARFIRÐUR - UPPER SECTIONS								
Nl.	N	D	I	LTM	LAT	ALF	J	POL
NT 112	3	255	-42	251	-27	7	1.8	RT
NT 111	3	277	-39	302	-43	5	2.4	R
NT 110	4	200	12	318	-18	28	4.0	RT*
NT 109	5	248	-44	255	-35	30	0.7	RT*
NT 107	3	264	-63	230	-41	7	1.3	R
NT 106	3	162	-52	5	-56	17	7.4	R
NT 105	3	224	-51	269	-57	10	14.0	R
NT 104	3	220	-60	266	-63	5	8.4	R
NT 103	3	176	-50	304	-63	10	0.6	R
NT 102	3	132	-71	70	-65	8	5.1	R
NT 100	3	134	-71	66	-65	7	0.6	R
NT 99A	3	169	-69	7	-75	4	3.9	R
NT 99	4	174	-67	353	-74	19	0.7	R

NT 98	5	174	-70	357	-75	17		
NT 97	3	247	-41	255	-37	5	2.4	R
NT 96	3	244	-49	257	-37	15	0.6	RT
NT 95	3	267	-35	242	-19	11	0.7	RT
NT 94	3	253	-35	245	-20	23	0.6	RT
NT 93	5	224	-32	235	-34	41	0.5	RT
NT 92	3	37	71	35	72	10	0.4	RT*
NT 91	4	35	72	77	70	5	13.2	R
NT 90	3	53	64	75	55	4	6.4	R
NT 89	3	7	73	149	83	5	5.1	R
NT 88	3	27	75	55	77	8	2.2	R
NT 87	4	7	68	139	75	3	3.7	R
NT 86	3	354	71	155	70	2	1.2	R
NT 85	3	11	65	129	76	5	2.1	R
NT 84	3	357	74	162	76	5	1.9	R
NT 83	3	5	52	150	57	4	1.4	R
NT 82	3	275	74	242	59	4	1.7	R
NT 80	3	355	74	184	85	3	5.2	R
NT 75	3	7	74	145	72	3	4.8	R
NT 68	3	17	70	125	72	3	9.9	R
NT 67	4	353	73	163	53	4	9.9	R
							0.5	R
MEAN DIRECTION NOT SIGNIFICANT								
NT 108	3	TWO	DIR.	DIR.	DIR.	DIR.	DIR.	DIR.
NT 101	3	THIN,	BAKED					
							2.2 (I3)	
							14.0 (?)	



MYND II.

Jarðlagasnið í Ásgili í Borgarfirði. Þetta er hluti myndar 2. bls. 7 í (I3).

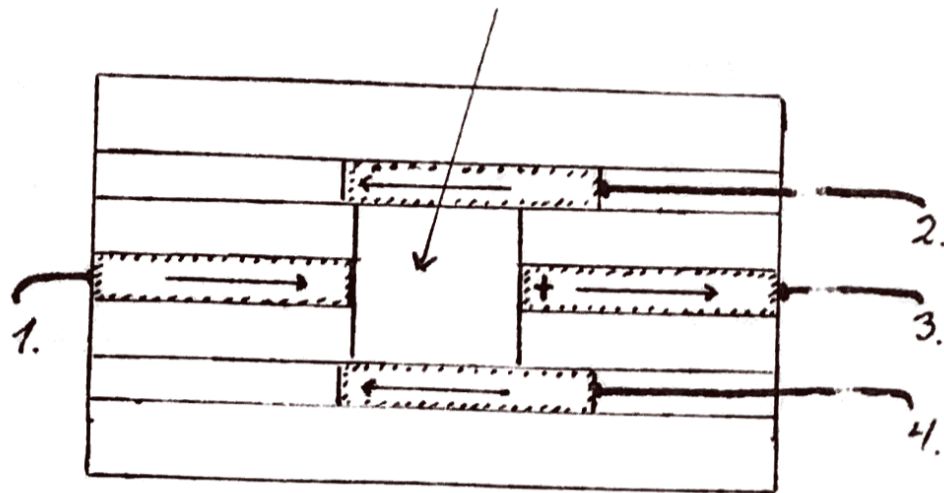
VIÐAUKI III.

Institut Dr. Förster segulmælir R.H. er af gerðinni Oersted-meter I.107 (sjá mynd bls. 46). Mælisvið er 0-10000 uT. Mælirinn er "fluxgate"-mælir, en mæling segulsviðs meður þannig mælum felst í grófum dráttum í því, að mældur er sá þáttur segulsviðsins, sem er samsíða ás tvífaldrar spólu. Spólan er vafin utanum stöng úr sérstökum auðsegulmögnum málm. Riðstraumur er sendur inn í I. spólu þar til málmstöngin metast segulmagni (gerist við lágt svið). Lögum segulflæðis, B, í málmnum ræðst af tíðni riðstraumsins + "odd harmonics". Ef um leið verkar DC segulsvið (jafnstraumssvið) á málminn, batast við "even harmonics" af grunntíðninni. Spenna í 2. spólu ræðst einnig af þessum "even harmonics". Sú spenna er mælikvarði á það DC segulsvið, sem verkar á málm og spólur og er það svið er mæla á. Sjá nánar (20, 130-132) og (18, 507-508).

Uppsetning skynjara (Förster probes) er eins og sýnt er á mynd I2. Þessi uppsetning ræðst af lögum sýna (sívalningar), en mismikill efnismassi sýnis liggur við hvern skynjara eftir því hvernig sýni er snúið við mælingar. Skynjarar eru fjórir.

Sýni er við mælingu sett í sérstaka plasthaldara og stungið í ferkantað gat milli skynjaranna og veit sá þáttur segulmögnumunar, sem mæla á, að + merki. Mælisvið er síðan stillt á tæki, en aflestur er tekinn af spennumæli tengdum við tæki (max. 1.5 V DC) í stað þess að lesa beint af kvarða tækis (meiri nákvæmni fæst). Til kvörðunar er notuð sérstök spóla (sett í stað sýnis við og við) og fundin margföldunarfasti fyrir spennumælinguna.

Sýni sett hér við malingu.
Gat ca. 3 x 3 cm.



MYND 12.

Afstöðumynd af skynjum (örvar) segulmælitakis Institut
Dr. Förster. Séð ofanfrá, hlutföll ekki alveg rétt.
Leiðslur I-4 liggja til mælitakis.



Institut Dr. Förster segulmælir R.H. "Segulþvottavél" R.H., í hverri
bergsýni eru afsegulmögnuð,
(sýnin snúast í riðstraumssviði).

VIÐAUKI IV.

RAUNVÍSINDASTÖFNUN HÁSKÓLANS

Sýnishorn af mælieyðublaði útfylltu sbr.

BERGSEGULMÆLINGAR

FÖRSTERSONDE

SÝNI HP 11-1

0 2/11/79 100

d = 2.48 cm

l = 2.24 cm

rúmm. = 70.8

200

cm³

	+x	-x	+y	-y	+z	-z
1	- .242	+ .211	- .166	+ .140	+ .592	- .613
2	.239	.217	.167	.147	.591	.616
3	.232	.213	.162	.147	.590	.615
4	.233	.211	.167	.137	.589	.614
	-----	-----	-----	-----	-----	-----
av.	- .225		- .154		+ .603	

NRM = 0
 Dekl. 214
 Inkl. + 65
 Ampl. .66
 x 5 = 3.30
 = mom. = J
 = 151.5510
 J₀ = 14.03

	+x	-x	+y	-y	+z	-z
1	- .216	+ .187	- .136	+ .111	+ .548	- .570
2	.218	.192	.139	.114	.546	.571
3	.208	.188	.132	.119	.545	.570
4	.210	.186	.138	.108	.546	.570
	-----	-----	-----	-----	-----	-----
av.	- .201		- .125		+ .558	

Afseg. 100
 Dekl. 211.9
 Inkl. + 67
 Ampl. .606
 x 5 = 3.03/v
 = 138.80 10⁻³
 J₁₀₀ = 12.85 · 10⁻³
 J/J₀ = .92 Δ

	+x	-x	+y	-y	+z	-z
1	- .430	+ .400	- .253	+ .229	+ 1.141	- 1.182
2	.434	.391	.261	.208	1.139	1.188
3	.4144	.394	.262	.219	1.141	1.182
4	.4148	.401	.268	.224	1.139	1.183
	-----	-----	-----	-----	-----	-----
av.	- .418		- .241		+ 1.162	

Afseg. 200 0
 Dekl. 210.0
 Inkl. + 67.5
 Ampl. 1.258 vol
 x 2 = 2.516 v
 = 115.25 10⁻³
 J₂₀₀ = 10.67 · 10⁻³
 J/J₀ = .76 Δ²

