

**Karl Gunnarsson  
Þorsteinn Egilson  
Þórólfur Hafstað  
Ólafur G. Flóvenz  
Sigurður Örn Stefánsson  
Gunnar Hilmarsson  
Sigvaldi Thordarson**

## **Berggrunnskönnun á hugsanlegri jarðgangaleið milli lands og Eyja**

**Bylgjubrots- og flugsegulmælingar og  
athugun á gögnum úr borholum**

**Unnið fyrir Vegagerðina**

**ÍSOR-2005/033**

**Október 2005**

ISBN 9979-780-28-2

ÍSLENSKAR ORKURANNSÓKNIR

Reykjavík: Orkuáráður, Grensásvegi 9, 108 Rvk. – Sími: 528 1500 – Fax: 528 1699  
Akureyri: Rangárvöllum, P.O. Box 30, 602 Ak. – Sími: 528 1500 – Fax: 528 1599  
isor@isor.is – www.isor.is



Skýrsla nr. ÍSOR-2005/033	Dags. Október 2005	Dreifing <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill <b>Berggrunnskönnun á hugsanlegri jarðgangaleið milli lands og Eyja</b> Bylgjubrots- flugsegulmælingar og athugun á gögnum úr borholum		Upplag 40
		Fjöldi síðna 46
Höfundar Karl Gunnarsson, Þorsteinn Egilson, Þórólfur Hafstað, Ólafur G. Flóvenz, Sigurður Örn Stefánsson, Gunnar Hilmarsson, Sigvaldi Thordarson		Verkefnisstjóri Karl Gunnarsson
Gerð skýrslu / Verkstig Könnun berggrunns á jarðgangaleið		Verknúmer 8-600146
Unnið fyrir Vegagerðina		
Samvinnuaðilar		
Útdráttur Gerð er grein fyrir öflun grunnupplýsinga um jarðtæknilegar aðstæður til jarðgangagerðar milli lands og Vestmannaeyja. Rannsóknirnar fólust í flugsegulmælingum yfir Austur-Landeyjum, bylgjubrotsmælingum á landi og á sjó og athugunum á lekt jarðlaga á Heimaey. Með segulmælingunum er lagt gróft mat á hvar grynnt er á berggrunninn undir lausum setlögum, en með bylgjubrotsmælingunum er metinn hljóðhraði í jarðlögum, þykkt þeirra og dýpi niður á þétt berg. Gögn úr borholum gefa upplýsingar um lekt í jarðlögum á Heimaey og jarðlagagerð. Mælingarnar á Landeyjasandi leiða í ljós að grynnt er á berggrunn á svæðinu vestur af Krossi. Dýpið þar mælist minnst 35–40 m en er svolítið breytilegt. Hraði í berggrunni þar er mjög hár, víða yfir 5 km/s, og jafnframt eru þar áberandi toppar í segulsviði sem bendir til þess að berggrunnurinn sé að talsverðu leyti úr innskotum. Jarðlög ofan á berggrunninum í A-Landeyjum hafa lágan hljóðhraða og eru líklegast gerð að mestu úr lausum eða lítt samlímdum sandi og leir. Bylgjubrotsmælingar í sjó sýna að dýpi á fastan berggrunn á leiðinni milli lands og Eyja er allt að 170 m þar sem það er mest. Ofan þess eru allþykk setlög nema næst Heimaey þar sem móberg Vestmannaeyjamyndunarinnar er ekki hulið lausu seti. Næst Eyjum er berggrunnurinn gerður úr jarðmyndunum svipuðum og eru á Heimaey þó líklega sé hann heldur lausari og lekari. Norðurmörk móbergs Vestmannaeyjamyndunarinnar á yfirborði berggrunnins virðast liggja um 4,7 km norðan við Heimaey. Norðan við þessi mörk taka við jarðlög efst í berggrunni sem svara til bylgjuhraða í fremur ungum, lekum og lítt ummynduðum basalhraunum. Um þykkt þeirra er ekki vitað. Jarðlagagreiningar úr borholum í nágrenni Landeyja sýna að þar er lítið um hraunlög í efstu 300 m jarðar og þau sem finnast eru fremur þunn. Jarðgöng sem lægju milli Kross í A-Landeyjum og Heimaeyjar gætu á drjúgum hluta leiðarinnar legið í blöndu af bergi úr setlögum, móbergi með innskotum í og basalhraunum. Miðað við jarðlagaskipan í næstliggjandi borholum verður að hafa í huga að jarðlög á því dýpi sem jarðgöngin myndu liggja í þyrftu ekki að vera eins og þau sem mælast í efsta hluta berggrunnins.		
Lykilorð Vestmannaeyjar, Heimaey, Landeyjar, jarðgangaleið, berggrunnur, jarðlög, flugsegulmælingar, bylgjubrotsmælingar, hljóðhraði, lekt	ISBN-númer 9979-780-28-2	
	Undirskrift verkefnisstjóra	
	Yfirfarið af ÓGF, ÞE, KG	



## EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR.....	7
2	JARÐFRÆÐI HEIMAÆYJAR.....	7
3	JARÐLÖG Í BORHOLUM.....	9
3.1	Heimaey.....	9
3.2	Nágrenni Landeyja.....	10
4	FLUGSEGULMÆLINGAR.....	11
5	BYLGJUBROTSMÆLINGAR.....	13
5.1	Mælingar á landi.....	13
5.2	Samband hljóðhraða og berggerðar.....	16
5.3	Niðurstöður mælinga.....	16
5.3.1	ISOR1.....	17
5.3.2	ISOR2.....	18
5.3.3	ISOR3.....	19
5.3.4	ISOR4.....	19
5.3.5	ISOR5.....	20
5.3.6	ISOR6.....	21
5.3.7	ISOR7.....	21
5.3.8	ISOR8.....	22
5.3.9	ISOR9.....	22
5.3.10	ISOR10.....	26
5.4	Mælingar á sjó.....	26
5.4.1	VV1.....	29
5.4.2	VV2.....	33
5.4.3	VV3.....	35
6	UM LEKT Í BERGI Á HEIMAÆY.....	37
7	SAMANTEKT.....	40
8	HEIMILDIR.....	42
	SUMMARY IN ENGLISH.....	43
	VIÐAUKI.....	45

## MYNDIR

Mynd 1.	<i>Jarðfræðikort af Heimaey.</i> .....	8
Mynd 2.	<i>Einfaldað jarðlagasnið úr holu HH-8 á Heimaey.</i> .....	9
Mynd 3.	<i>Staðsetning borholna í grennd hugsanlegra Vestmannaeyjaganga.</i> .....	10
Mynd 4.	<i>Segulsvið yfir A-Landeyjum.</i> .....	13
Mynd 5.	<i>Staðsetning bylgjubrotsmælinga á Landeyjasandi sýndar á segulkorti.</i> .....	15

Mynd 6. Ferðatímagröf ásamt útreiknuðum hraða- og dýptarsniðum fyrir lögnina ÍSOR1. ....	17
Mynd 7. Ferðatímagröf ásamt útreiknuðum hraða- og dýptarsniðum fyrir lögnina ÍSOR2. ....	18
Mynd 8. Ferðatímagröf ásamt útreiknuðum hraða- og dýptarsniðum fyrir lögnina ÍSOR3. ....	19
Mynd 9. Ferðatímagröf ásamt útreiknuðum hraða- og dýptarsniðum fyrir lögnina ÍSOR5. ....	20
Mynd 10. Myndin sýnir frumgögn fyrir miðjuskotið og hvort sitt fjærendaskotið í lögn ÍSOR7. ....	21
Mynd 11. Ferðatímagröf ásamt útreiknuðum hraða- og dýptarsniðum fyrir lögnina ÍSOR8. ....	22
Mynd 12. Myndin sýnir öflugt endurvarp frá tveim spegilflötum sem ekki koma fram í bylgjubroti nema mjög ógreinilega frá skotum í mikilli fjarlægð og sýna þá lítinn hraða. ....	23
Mynd 13. Gögn og aflestur fyrstu bylgju frá skoti í 250 m fjarlægð frá vesturenda hljóðnemakapals. ....	24
Mynd 14. Gögn og aflestur (rauð merking) fyrstu bylgju frá skoti í 250 m fjarlægð frá austurenda hljóðnemakapals. ....	24
Mynd 15. Gögn og aflestur fyrstu bylgju frá skoti í 250 m fjarlægð frá austurenda hljóðnemakapals. ....	25
Mynd 16. Ferðatímagröf ásamt útreiknuðum hraða- og dýptarsniðum fyrir lögnina ÍSOR10. ....	26
Mynd 17. Handfærarúlla með tengivír vinstramegin. Hægra megin má sjá strákana vera að græja Lunda í skotseríuna fyrir VV2. ....	27
Mynd 18. Lega mælilína þar sem bylgjubrotsmælingar fóru fram á sjó. ....	28
Mynd 19. Geislagraf yfir túlkun línunnar milli lands og Eyja, 0-6 km eftir VV1. ....	30
Mynd 20. Geislagraf yfir túlkun línunnar milli lands og Eyja, 4-10 km eftir VV1. ....	30
Mynd 21. Geislagraf yfir túlkun línunnar milli lands og Eyja, 8-14 km eftir VV1. ....	31
Mynd 22. Þversnið sem sýnir dýpi á sjávarbotn og fastan berggrunn eftir línu VV1 ásamt hljóðbylgjuhraða í berggrunni og setlaginu ofan hans. ....	31
Mynd 23. Geislagraf yfir túlkun línunnar milli lands og Eyja. Neðri hluti myndarinnar sýnir mældan ferðatíma og reiknaðan ferðatíma. ....	33
Mynd 24. Hraðalíkan fyrir VV2. ....	34
Mynd 25. Geislagraf yfir túlkun línunnar milli Lands og Eyja. ....	35
Mynd 26. Hraðalíkan fyrir VV3. ....	36

<b>Tafla 1.</b> Niðurstöður bylgjubrotsmælinga á landi.....	25
---	----

### **Kort í kápuvasa:**

- 1: Segulmælingar A-Landeyjum
- 2: Jarðlagasnið skv. hljóðhraðamælingum

## 1 INNGANGUR

Vegagerðin samdi við Íslenskar orkurannsóknir (ÍSOR) í maí 2005 um að afla grunnupplýsinga svo unnt verði að meta jarðtæknilegar aðstæður til jarðgangagerðar milli lands og Vestmannaeyja. Í samningi Vegagerðarinnar og ÍSOR um könnun berggrunnins á hugsanlegri jarðgangaleið til Eyja er kveðið á um flugsegulmælingar yfir Austur-Landeyjum, bylgjubrotsmælingar á landi, bylgjubrotsmælingar á sjó og athuganir á lekt jarðlaga á Heimaey.

Tilgangur flugsegulmælinganna er að kortleggja segulmögnun jarðlaganna með tilliti til þess að leggja með fljótvirkum hætti gróft mat á hvar grynnt er á berggrunninn undir lausum setlögum. Þær eru þannig gerðar til að velja bylgjubrotsmælingum stað en þær mælingar eru mun dýrari en segulmælingarnar.

Tilgangur bylgjubrotsmælinganna er að meta hljóðhraða í jarðlögum, þykkt þeirra og dýpi niður á þétt berg sem túlka má sem efsta hluta berggrunnins.

Tilgangur þess að skoða gögn úr borholum var að fá upplýsingar um lekt í jarðlögum á Heimaey og að fá upplýsingar um jarðlagagerð sem bera mætti saman við niðurstöður bylgjubrotsmælinga.

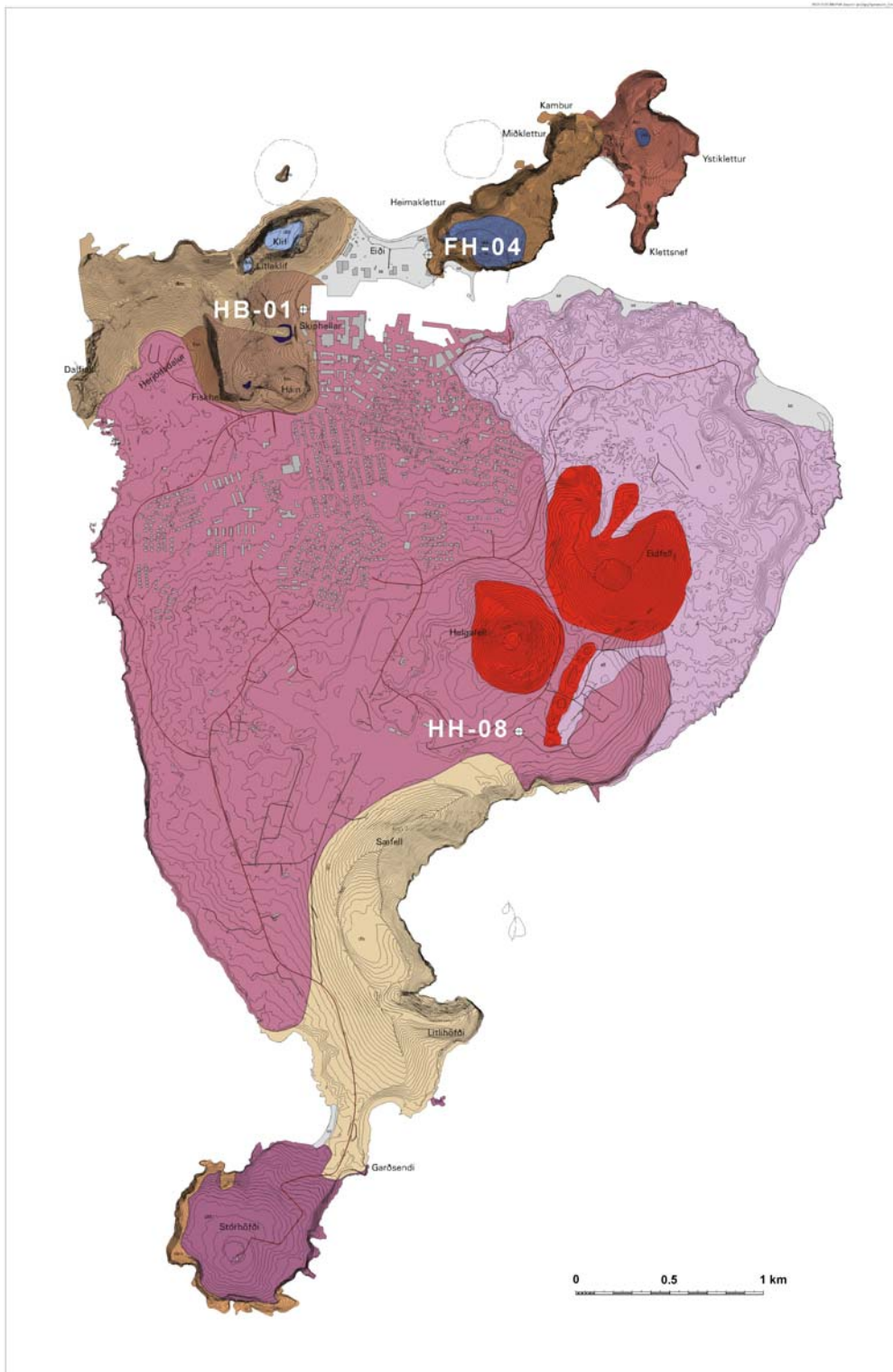
## 2 JARÐFRÆÐI HEIMAEYJAR

Á mynd 1 er sýnt einfaldað jarðfræðikort af Heimaey (Haukur Jóhannesson, 2002). Jarðmyndanir í Vestmannaeyjum skiptast í tvo meginflokka. Annars vegar er um að ræða móberg, sem oftast hefur myndast við gos undir jökli á ísöld ellegar í sjó. Hins vegar eru gosmyndanir frá nútíma, eða á síðustu 10 þús. árum.

Elst eru talin vera hraun og móberg sem kennt eru við Fiskhella og Hána. Þær myndanir eru taldar vera rúmlega 100 þúsund ára gamlar. Undir lok ísaldar myndast svo Ystiklettur, síðan Heimaklettur og yngst móbergsmyndana frá ísöld er Dalfjall-Klif.

Á nútíma er Stórhöfði elst þessara gosmyndananna og er hún talin hafa myndast fljótlega eftir að ísaldarjökla leysti. Sæfell er í raun hluti af stórum öskugíg og er hann um 6000 ára gamall. Litlu yngri er svo Helgafell, en hraun frá því mynda berggrunn í bænum. Áður en það brann voru þarna tvær aðskildar eyjur (Sæfell-Stórhöfði og Dalfjall-Háin). Helgafellshraunið hefur fyllt upp í sundið, sem var milli þeirra. Yngst er svo Eldfellshraun, sem brann 1973.

Á mynd 1 eru einnig sýndar holurnar HB-1, FH-4 og HH-8. Um þær er fjallað í kafla 6.



**Mynd 1.** Jarðfræðikort af Heimaey (Haukur Jóhannesson, 2002). Helgafellshraun (blátt) hefur fyllt geilina milli móbergssvæðanna á norður og suðurhluta eyjarinnar (brúnt).

Geological map of Heimaey showing hyaloclastic rock (brown) and basaltic lavas (blue).

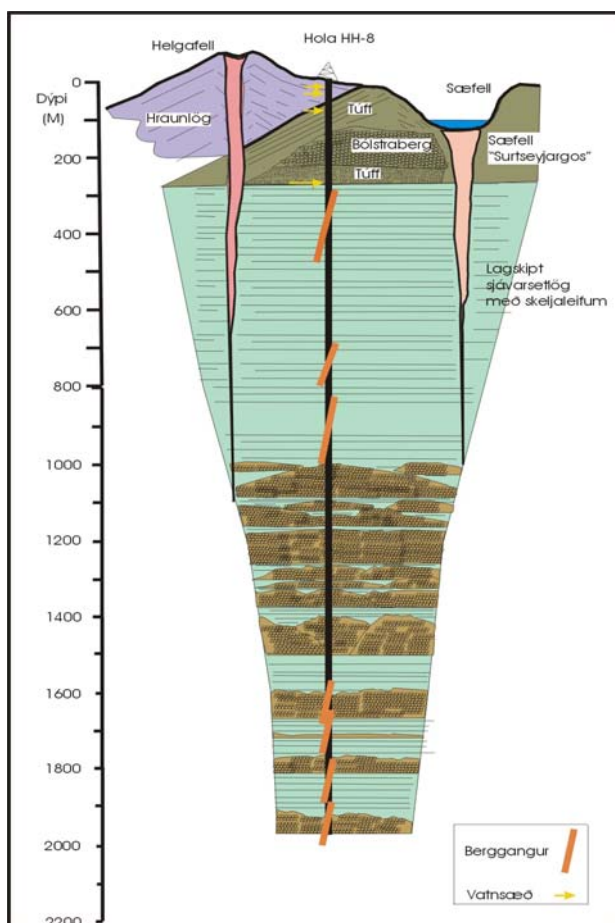


### 3 JARÐLÖG Í BORHOLUM

#### 3.1 Heimaey

Á Heimaey hafa verið boraðar tvær djúpar borholur. Sú fyrri, HB-1, var boruð árið 1964 en sú síðari, HH-8, 40 árum síðar. Greining á borsvarfi úr holunum báðum sýnir svipaða mynd af uppbyggingu jarðlaga á og undir Heimaey. Mynd 2 sýnir einfaldað jarðlagasnið Hjalta Franzsonar (óbirt gögn) af jarðlögum í holu HH-8 sem boruð var sunnan við Helgafell. Holutoppur er gróflega í um 100 m hæð yfir sjó en þegar vitnað er til dýpis í jarðlögum er jafnan átt við dýpi mælt frá holutoppi. Í fyrstu er borað gegnum Helgafellsmyndunina en síðan er komið í Sæfellsmyndunina sem er gosmyndun af Surtseyjargerð úr túffi og bólstrarbergi líkt og aðrar myndanir á Heimaey. Á tæplega 200 m dýpi undir sjávarmáli er komið niður úr þessum gosmyndunum og niður í lagskipt sjávarset með skeljaleifum sem ná niður á 1000 m dýpi en þar fyrir neðan kemur bólstraberg með setlögum inni á milli.

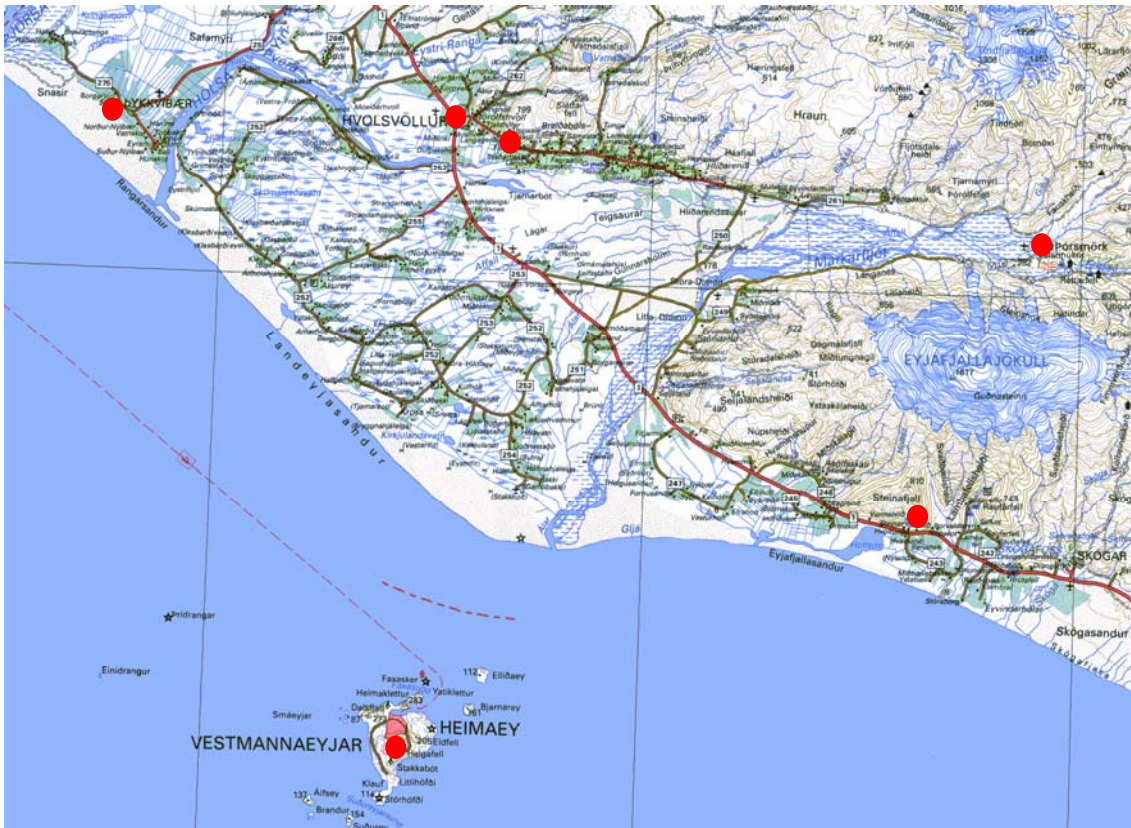
Við borun á holu HH-8 varð vart við talsverðan leka í jarðlögum ofan setlaganna en eftir að komið var niður í þau reyndist holan vel þétt.



**Mynd 2.** Einfaldað jarðlagasnið úr holu HH-8 á Heimaey. (Hjalti Franzson, óbirt gögn). Athugið að dýptarkvarði miðar við holutopp í u.þ.b. 100 m h.y.s. Rough geological section according to cuttings analysis and geophysical logging in well HH-8 at Heimaey (not published).

### 3.2 Nágrenni Landeyja

Engar djúpar borholur eru til í A-Landeyjum nálægt þeim stað þar sem líklega væri heppilegast að hafa uppkomustað ganganna. Þær djúpu holur sem næst liggja eru 15-25 km í burtu (mynd 3). Þær eru í kartöflugörðunum í Þykkvabænum (~1400 m djúp), á Hvolsvelli (~570 m), við Núp í Fljóthlíð (~300 m), í Húsadal í Þórmörk (~1000 m) og við Þorvaldseyri undir Eyjafjöllum (~1000 m). Til eru ýmsar upplýsingar um þessar holur í forum ÍSOR en í fæstum þeirra hafa greiningar jarðlaga verið fullunnar og birtar.



**Mynd 3.** Staðsetning borholna í grennd hugsanlegra Vestmannaeyjaganga.  
*Well locations in the neighbourhood of possible tunnel to Vestmannaeyjar.*

Af fyrirliggjandi upplýsingum má þó sjá eftirfarandi:

**Þykkvibær:** Frá yfirborði og niður á 300 m dýpi eru setlög með 3–4 hraunlögum inni á milli. Þar fyrir neðan tekur við lagskiptur basaltstafla.

**Hvolsvöllur:** Niður á 360 m er holan boruð í móbergs- og setlagastafla með fáeinum þunnum hraunum inni á milli. Þó eru basalhraun samfelt milli 210 og 300 m dýpis. Neðan við 360 m er komið í lagskiptan, líklega tertíeran basaltstafla (Kristján Sæmundsson, 1977).

**Núpur í Fljóthlíð:** Holan sem er 300 m djúp er svipuð holunni við Stórólshvol hvað jarðlög áhrærir. Í henni eru mest túfflög, breksía og setlög með fáeinum þunnum hraunlögum inn á milli. Ekki er komið niður í gamla berggrunninn á botni holunnar.

*Húsadalur:* Holan var boruð árin 2000 og 2004. Í efstu 100 m holunnar er borað gegnum setlög og túff en þar fyrir neðan er komið í basaltstafla. Hann nær niður á um 350 m þar sem við taka túff og bólstrabergslög með misþykkum setlögum milli laga. Á 483 m dýpi er komið niður í setlagastafla úr fíngerðu seti sem nær niður á 950 m dýpi. Þar kemur eitt basalhraunlag en síðan koma aftur fíngerð set niður á botn holunnar á 1026 m dýpi (Guðmundur Ómar Friðleifsson, 2004).

*Þorvaldseyri:* Holan á Þorvaldseyri er um 1000 m djúp. Í henni skiptast á setlög af mismunandi toga og basalhraun. Um 40% af bergi holunnar er basalt en 60% setlög samkvæmt bráðabirgðagreiningu á borsvarfi. Þessi jarðlagaskipan samrýmist því að holan sé í senn nærri strönd og virkri eldstöð, Eyjafjallajökli. Auk holunnar á Þorvaldseyri hafa verið boraðar nokkrar holur undir Eyjafjöllum og er þeim sameiginlegt að jarðlög í efstu 100–250 m þeirra eru nokkuð hrungjörn og lek (Kristján Sæmundsson, 1995).

Þessar fimm holur mynda ásamt djúpu holunum á Heimaey eins konar hring um hugsanlegan uppkomustað ganganna milli lands og Eyja. Öllum er það sameiginlegt að hafa lent í jarðlagastafla með miklum set-, túff og móbergslögum. Holurnar norðan og vestan við Kross eru að mestu boraðar í setlög niður á 300–360 m dýpi en þar tekur gamli og líklega tertíeri basaltstaflinn við. Holurnar austan og sunnan við eru hins vegar að mestu í setlögum en sumar með hraunlögum í bland. Í þeim er hvergi komið í gamla tertíera blágrýtisstaflann. Ef eingöngu er litið til þeirra upplýsinga sem borholurnar gefa mætti ætla að það dýpki á berggrunn til austurs frá holunum í Þykkvabæ og Hvolsvelli þar sem hann er á um 300 m dýpi. Því mætti álykta að jarðlagastaflinn í efstu 300 m á hugsanlegri jarðgangaleið milli lands og Eyja sé óreglulegur og að mestu úr setlögum, túffi og móbergi með e.t.v. fáeinum basalhraunlögum inni á milli. Þess ber þó að geta hér að 15–20 km eru frá umræddri jarðgangaleið að þessum borholum.

## 4 FLUGSEGULMÆLINGAR

Rannsóknirnar hófust með segulmælingum yfir Austur-Landeyjum. Nokkuð nýmæli er að beita slíkri aðferð við jarðtæknikönnun, en fræðilega getur hún gefið bæði mat á dýpi á segulmagnaðan berggrunn og gefið vísbendingar um mismunandi jarðlagagerðir. Fyrir lágu gömul bandarísk flugsegulgögn sem mæld voru eftir Surtseyjargos, og þau gáfu fyrirheit um að athyglisverð segulfrávik fyndust á svæðinu.

Til að ná viðunandi yfirferð og afköstum þótti skynsamlegast að gera flugsegulmælingar og nota þyrlu. Nýr segulmælir ÍSOR af gerðinni GEM GSM-19TW var aðlagður að flugmælingum, og tókst það bærilega enda þótt hann sé ekki sérstaklega ætlaður til slíkra nota. Til að koma í veg fyrir truflun frá segulmögnum málmum og raftækjum vélarinnar reyndist hæfilegt búa um nemann í „fugli“ sem hengdur var neðan í þyrluna í 13 m löngum spotta. Mælirinn hefur innbyggt GPS-staðsetningartæki. Vegna erfiðleika með fyrirkomulag loftnets varð hluti staðsetninganna gallaður, en úr því var bætt með því að nota gögn úr GPS-leiðsögutæki þyrlunnar. Ætla má að nákvæmni staðsetninga sé upp á fáeina tugi metra.

Mælingarnar voru gerðar á tveimur dögum, 12. og 16. maí 2005, með þyrlu Valfells ehf. Flugmaður var Walter Ehrat. Í bæði skiptin var lent í Vestmannaeyjum til að taka eldsneyti. Alls var flogið í um 13 klst. og samanlögð nothæf línulengd er rúmlega 600 km. Mælisvæðið nær í stórum dráttum yfir 16 km bil milli Affalls í vestri og Markarfljóts í austri, og er um 10 km breitt frá norðri til suðurs. Það teygist nokkuð út yfir sjóinn, eina

4 km að vestanverðu. Mælinlínur liggja í vest-suðvestlæga stefnu (um 108°). Í fyrri ferðinni voru flognar línur með 400 m millibili, en í seinni ferðinni var netið þétt í 200 m á þeim köflum þar sem ástæða þótti til, einkum yfir landi að vestanverðu. Flughæð var sem næst 20 m yfir yfirborði lands eða sjávar, og er þá miðað við hæð nemans. Mælipunktur voru teknir með um 25 m millibili eftir línu, einu sinni á hverri sekúndu.

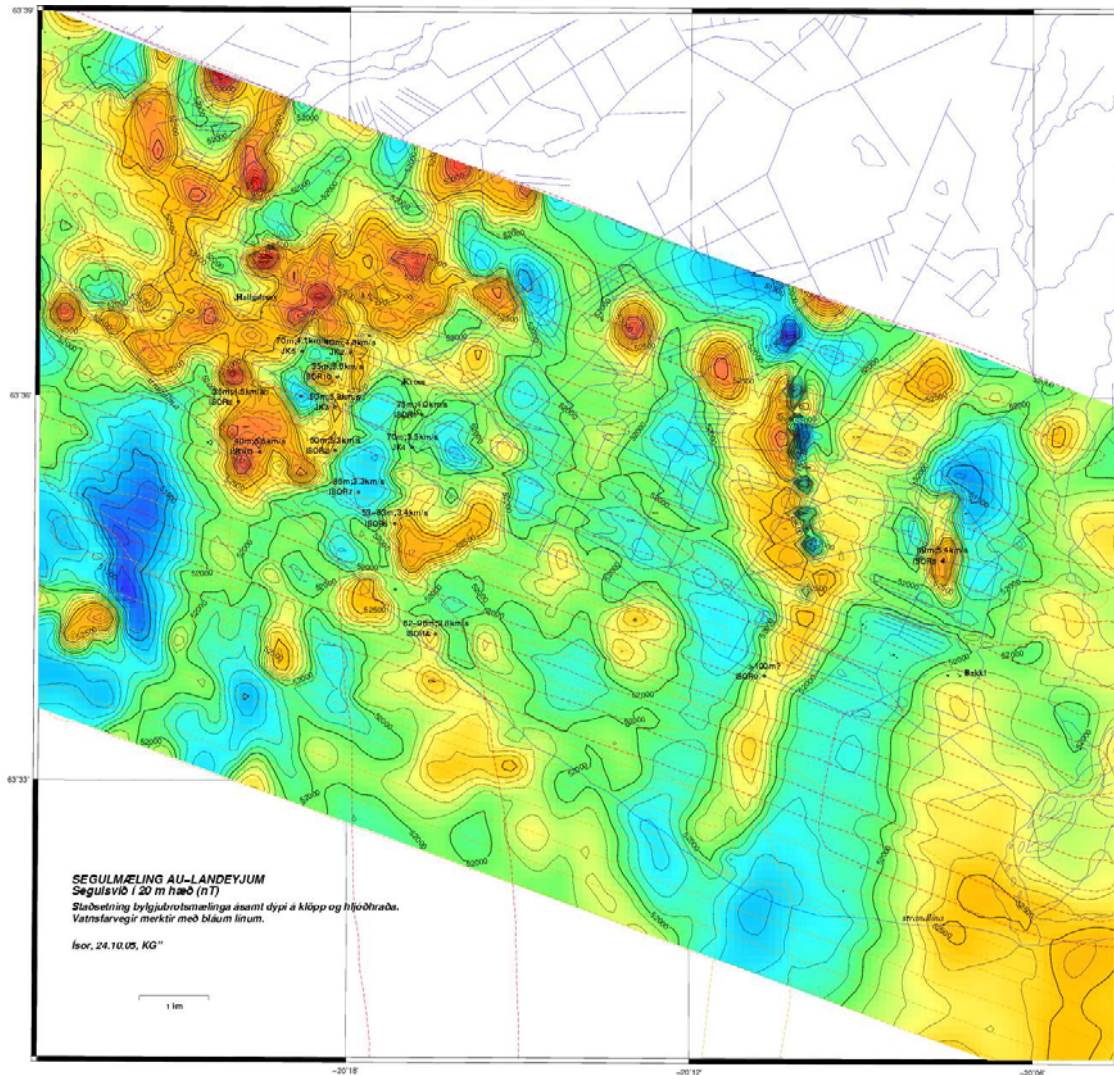
Niðurstöður mælinganna eru sýndar á meðfylgjandi segulkorti sem er að finna í kápuvasa en einnig á mynd 4 í smækkaðri útgáfu. Kortið sýnir segulsviðið (heildarsvið í nT) bæði með jafngildislínum og litakóða. Fluglínur eru merktar með daufum brotnum strikum. Kortið einkennist af kröppum afmörkuðum jákvæðum segulfrávikum, sem sýnd eru með rauðum lit. Næsta víst er að orsök þessara frávíka er að finna í berggrunni, fastri klöpp, því setlöggin þar ofan á valda lítt segulfrávikum. Ætla má að segulfrávikin stafi einkum af láréttum jarðlagabreytingum í berggrunni, svo sem vegna innskota eða afmarkaðra hraunlaga, t.d. bólstrabergshrúgalda. Mishæðir í berggrunni geta einnig valdið nokkrum frávikum. Háspennulína veldur truflun á austurparti kortsins (kröpp neikvæð frávik).

Skörpust eru frávikin á vesturhluta svæðisins, vestan við bæinn Kross. Með því að meta svokallaðan „Straight slope“ stuðul á jöðrum einstakra frávíka má meta gróflega dýpi á fast að því gefnu að segulfrávikin eigi upphaf sitt í berggrunninum. Minnstur virðist stuðullinn mælast um 50 m á svæðinu vestur og suðvestur af Krossi. Samkvæmt niðurstöðum bylgjubrotsmælinga samsvarar þetta um 55–60 m dýpi undir flughæð (40 m setlagabykkt að viðbætti 15–20 m flughæð). Hæfilegt er að margfalda stuðullinn með 1,15 til að fá dýpi undir flughæð. Austar á svæðinu dýpkar greinilega á berggrunninn, og er dýpi um 200 m suður og vestur af Bakka.

Í heild gaf segulmælingin til kynna svipaðar niðurstöður og lágu fyrir í bylgjubrotsmælingum Hreins Haraldssonar og Hans Palm frá 1980. Á grundvelli segulmælinganna mátti skipuleggja áframhald mælinga. Áhersla var lögð á könnun vesturhluta svæðisins með bylgjubrotsmælingum, og fóru flestar mælingar fram þar sem líklegast var að grynnt væri á fast berg.

Sjá má langan beinan segulhrygg með réttri segulmögnun vestan við Bakka og stefnir hann N23°V, álíka og sjá má í gossprungum Heimaeyjar, og er nokkuð í línu við þær. Ekki er ólíklegt að þessu valdi svipuð jarðlagahöggun, þ.e. um gæti verið að ræða gosmyndun (innskot eða móbergshrygg) sem tengist Heimaeyjareldstöðinni, hvort sem hún er enn virk á þessu svæði eða ekki.

Þá er nokkuð áberandi mjög hár hljóðhraði í berggrunni þar sem hin jákvæðu sterku segulfrávikin á kortinu koma fram, eins og fram kemur hér síðar. Þetta á bæði við um þau sem eru vestan við Kross og eitt sem er austan við fyrrnefndan segulhrygg og norðan við Bakka. Þetta er vísbending um að segulfrávikin stafi af innskotabergi í ungan jarðlagastafla sem líklega er annað hvort úr þéttum móbergsmýndunum í bland við þétt setlög eða úr ungunum lítt ummynduðum basalhraunum.



**Mynd 4.** Segulsvið yfir A-Landeyjum. Kortið er að finna í stærra broti í kápuvasa. Magnetic field over A-Landeyjar. The map is also given in larger scale in the back of the report.

## 5 BYLGJUBROTSMÆLINGAR

### 5.1 Mælingar á landi

Framkvæmd bylgjubrotsmælinga á landi var þannig að 24 hljóðnemar voru lagðir út eftir 230 m langri línu. Hljóðmerki voru gerð með sprengihleðslum (dynamíti, oftast 50–200 g) við báða enda og fyrir miðju lagnar, og síðan í 50–200 m fjarlægð frá hvorum enda – því lengra sem dýpi á klöpp reyndist meira. Mældur er ferðatími hljóðbylgna frá sprengistað að hverjum hljóðnema fyrir sig en út frá honum má reikna hljóðhraða jarðlaga og þykktir þeirra. Til að tryggja sem best gögn voru notaðir blautir skurðir. Með því að stinga nemunum niður í vatnsmettaðan jarðveg fæst góð kúplun á milli nema og jarðar og sneytt er hjá óreglulegri fartímatöf í efsta þurra jarðvegslaginu. Auðvelt var að grafa sprengihleðslurnar niður í skurðbotnanna. Við mælingarnar úti á sandi var notuð loftpressa til að blása lofti í gegnum um 2 m járnör og sandinum þannig rutt frá. Hleðslunni var síðan komið niður um járnörrið, það tekið

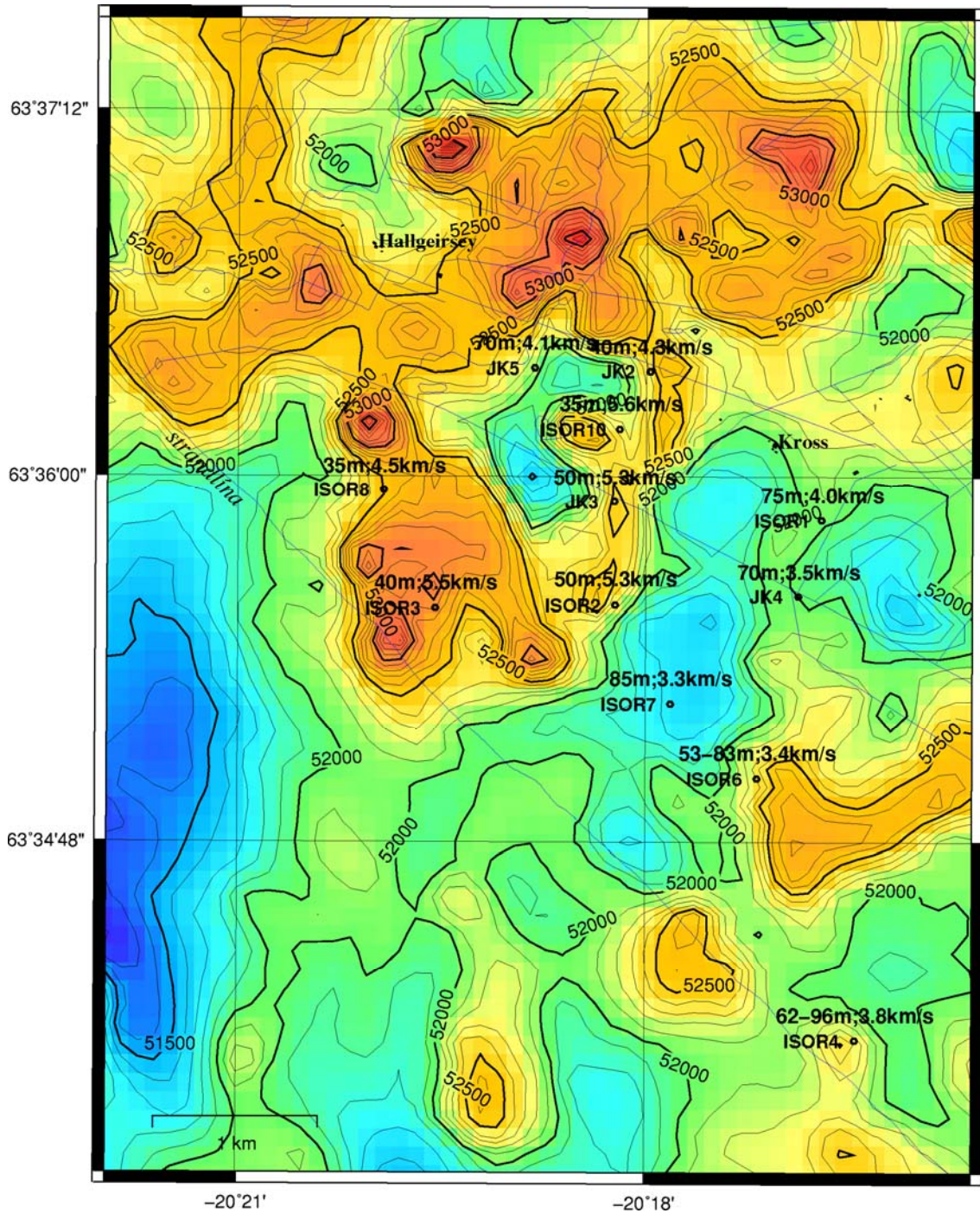
frá og pakkað að með sandi og vatni. Grunnar holur voru grafnar fyrir hvern nema. Aðferðin reyndist afar vel og reyndar framar vonum þar sem fyrirfram var álitid að mælingar á sandinum gætu reynst erfiðar m.t.t. gagnagæða.

Mælistaðir voru valdir m.t.t. niðurstaðna úr bæði fyrri bylgjubrotsmælingum (Haraldsson og Palm, 1980) og úr segulmælingunum. Eins og fram kemur í kaflanum um segulmælingar komu í ljós jákvæð, sterk og fremur grunnstæð segulfrávik á svæðinu vestan og sunnan við bæinn Kross á vesturhluta mælisvæðisins. Athyglin beindist því einkum að þessu svæði og voru flestar bylgjubrotsmælingarnar þar sem vænta mátti að sem grynnt væri á fast. Einnig var þar mælt á stöðum þar sem lægð kom fram í segulsviði til að kanna samræmi milli dýpis á berggrunn og segulsviðsstyrks, svo sem mælingar ISOR1 og ISOR7. Mælingar ISOR6 og ISOR4 suður frá Krossi voru tilraunir til að kanna syðstu og austustu segulfrávikin kröppu, en þar reyndist heldur dýpra á fast. Þá voru teknar tvær mælingar austantil að svæðinu. ISOR5 er 1,5 km norðan við Bakka og var sett á krappasta segulfrávikid á austursvæðinu. ISOR9 er um 2 km vestan við Bakkflugvöll þar sem lögun á norð-norðaustlægum segulhrygg bendir til 200 m dýpis á fast, og var ætlað að staðfesta túlkun segulmælinganna og fyrri hugmyndir manna um þykk laus jarðlög á þessu svæði.

Lagnirnar bera nöfnin ISOR1 til ISOR10 og staðsetningar þeirra eru sýndar á mynd 5. Þær eru merktar inn á kort sem sýnir jafngildiskort af segulfrávikunum sem mældust í flugsegulmælingunni. Á kortid eru einnig merktar inn nokkrar sambærilegar bylgjubrotsmælingar sem framkvæmdar voru dagana á undan af nemendum í jarðeðlisfræðilegri könnun við Háskóla Íslands (Baldvin Jónbjarnarson o.fl., 2005). Gæði þeirra eru heldur slakari að jafnaði, en í grófum dráttum má treysta niðurstöðunum. Við hverja mælingu er merkt dýpi á fastan berggrunn og einkennandi hljóðhraði í berggrunninum. Niðurstöður bylgjubrotsmælinga á landi ásamt staðsetningum eru birtar í töflu (bls. 25).

Úrvinnsluaðferðin sem er beitt til túlkunar á bylgjubrotsmælingunum á landi er s.k. Generalized Reciprocal Method (GRM) sem hefur reynst einkar vel á gögn af þessu tagi (Palmer, 1980, 1986). Aðferðin notar „viðsnúin mæligögn“ til að skilgreina dýpi og hljóðhraða bylgjubrotsflatar (berggrunns) sem samfellt breytilegt fall eftir mælinú. Þessum skilyrðum var ekki eða illa fullnægt við lagnir ISOR4, ISOR6, ISOR7 og ISOR9, þar sem dýpi á fast fór verulega yfir 50 m, en því veldur takmörkuð lengd mælinunnar. Þar þurfti því að beita öðrum aðferðum sem jafna staðbundin áhrif bylgjubrotsflatarins en gefa að öðru leyti góð meðaltalsgildi fyrir dýpi og hraða en hins vegar er þá ekki unnt að kortleggja láréttar breytingar undir hljóðnemaögninni.

Almennt má segja að gæði gagnanna sem safnað var á landi hafi verið mjög góð, nokkuð sem tryggir öryggi túlkunarinnar sem er sýnd á myndum 6-16.



**Mynd 5.** Staðsetning bylgjubrotsmælinga á Landeyjasandi sýndar á segulkorti. Mælistaðir eru merktir ISOR 1, ISOR 2 o.s.frv. Mælistaðir með JK-númerum eru þar sem nemendur HÍ gerðu sínar mælingar. Tölurnar við mælistaðina tákna dýpi í metrum og hljóðhraða í berggrunni í m/s.

*Location of the refraction profiles taken at Landeyjasandur together with contoured magnetic anomalies. The seismic lines are marked ISOR1, ISOR2 etc and JK1, JK2 etc. The numbers written at each location refer to the depth to the refractor and the P-wave velocity in that refractor.*

## 5.2 Samband hljóðhraða og berggerðar

Gerðar hafa verið viðamiklar mælingar á hljóðhraða í íslensku bergi sem nota má til að tengja saman berggerðir og hljóðhraða. Þarna er um að ræða beinar mælingar á hljóðhraða í borholum, mælingar á hljóðhraða í bergsýnum og niðurstöður bylgjubrotsmælinga. Það er reynsla höfunda þessarar skýrslu að samband berggerðar og hljóðhraða í vatnsmettuðum jarðlögum sé sem hér segir:

Laus setlög	1400–1600 m/s
Lítt samlímd setlög	1600–2000 m/s
Samlímd setlög og þ.m.t. jökulberg	2000–2400 m/s
Vel samlímd setlög	2400–3400 m/s
Móberg með brotabergi og lausum jarðlögum í bland	2000–2500 m/s
Vel samlímt, nokkuð ummyndað og heilt móberg	2500–3500 m/s
Ung, óummynduð og mjög lek hraunlög	3000–3500 m/s
Lítt ummynduð og fremur lek hraunlög	3500–4000 m/s
Miðlungs ummynduð og þétt hraunlög	4000–4500 m/s
Mjög þétt ummynduð basalhraunlög	>4500 m/s
Þétt basísk innskot	4500–6000 m/s

Þegar talað er um lekt jarðlaga í þessu samhengi er átt við frumlekt bergsins, þ.e. lekt í gegnum jarðlagamassann sjálfan. Sprungulekt kemur hins vegar fram í öllum ofangreindum gosmyndunum og hefur þá þau áhrif að lækka hljóðhraðann umtalsvert frá umhverfinu. Þannig koma sprungubelti venjulega fram sem afmörkuð lækkun í hljóðhraða á mjóu svæði.

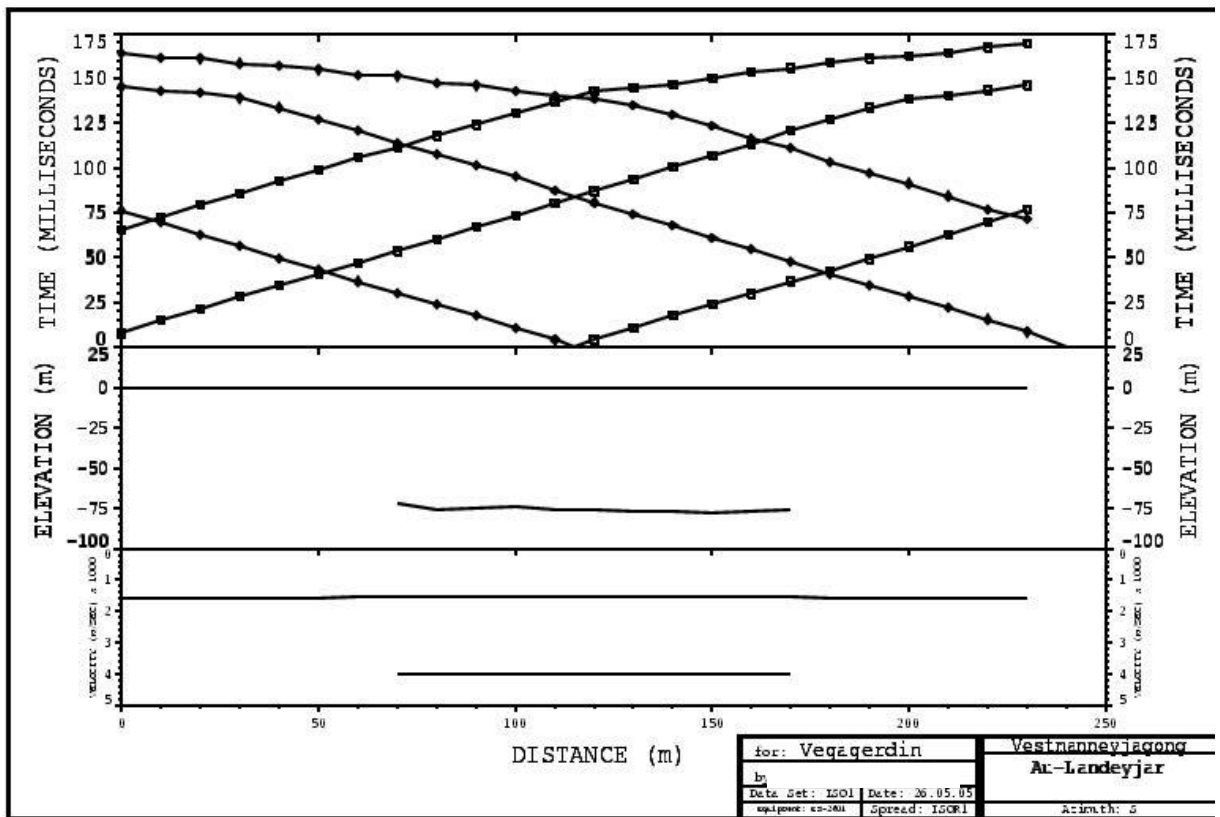
Mælingar, sem gerðar hafa verið á hljóðhraða á móbergssvæðum landsins, sýna yfirleitt hljóðhraða á bilinu 2,3–3,6 km/s. Móbergssvæðin eru yfirleitt fremur misleit, þar getur mjög þétt og lítt lekt móberg skipst á við laust og mjög lekt berg í líkingu við bólstraberg. Vænta má þess að hraðinn í þetta móberginu sé nærri efri mörkum hraðans á móbergssvæðunum (3,0–3,6 km/s) en hraðinn í því leka sé við neðri mörkin (< 3,0 km/s). Eina beina mælingin sem til er á hljóðhraða í Vestmannaeyjamynduninni er úr djúpri borholu sem boruð var árið 1964 (HB-1). Þar var meðalhraðinn mældur frá yfirborði í skrefum milli 300 og 950 m dýpis, þar sem þétt sjávarset er í holunni, og reyndist hann býsna jafn, um 3,34 km/s en lægri í móberginu í efstu 100–200 metrunum, eða um 3,0 km/s.

## 5.3 Niðurstöður mælinga

Hér verður greint frá niðurstöðum bylgjubrotsmælinganna úr hverri lögn fyrir sig. Vakin er athygli á því að í umfjöllun um dýpi í þessum mælingum er miðað við dýpi frá yfirborði jarðar.



### 5.3.1 ISOR1

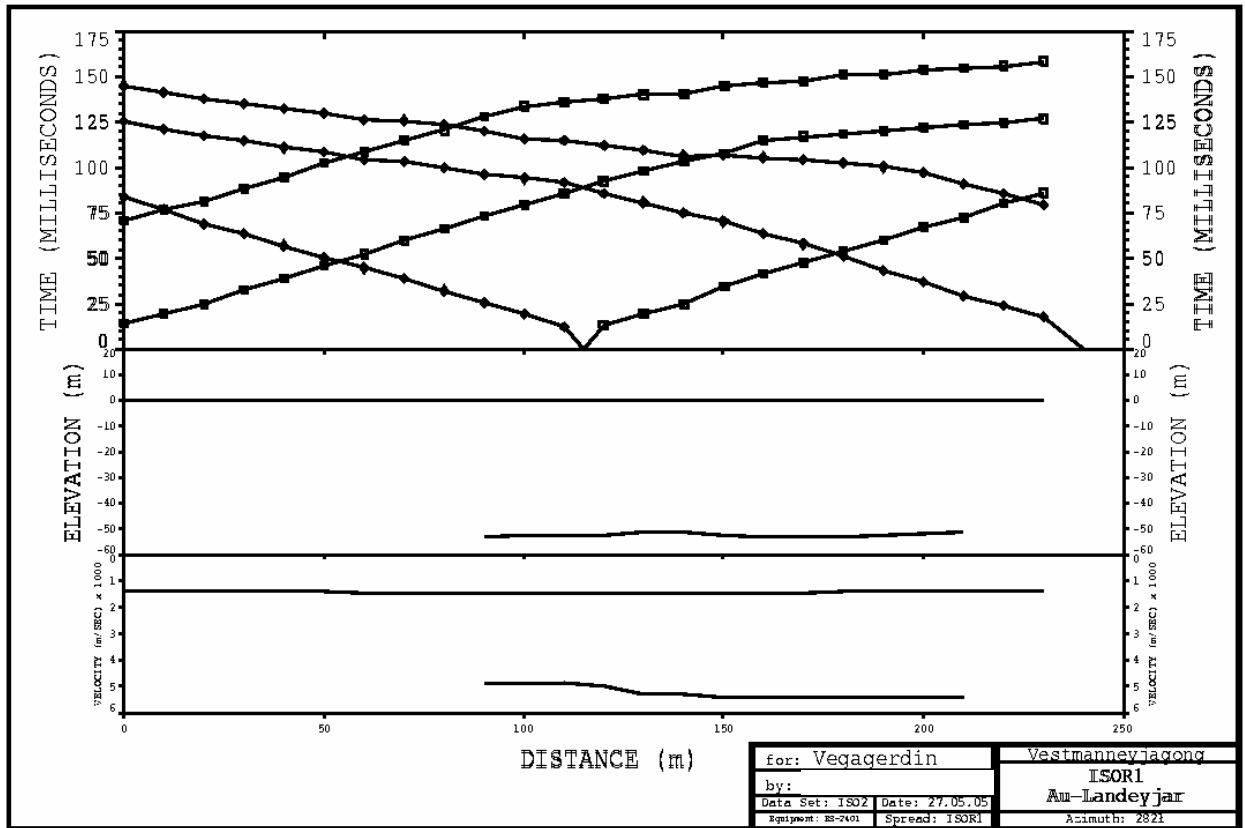


**Mynd 6.** Ferðatímagröf ásamt útreiknuðum hraða- og dýptarsniðum fyrir lögnina ÍSOR1.

*Picked 1st arrivals together with calculated refractor velocities and refractor elevation.*

Mælingin sem tekin er með norður-suður stefnu sýnir reglulegan og tiltölulega láréttan og sléttan bylgjubrotsflöt á 75 m dýpi og er þessi flötur túlkaður sem berggrunnslag. P-bylgjuhraðinn undir þessum fleti er 4 km/s sem er vísbending um þétt berg.

### 5.3.2 ISOR2

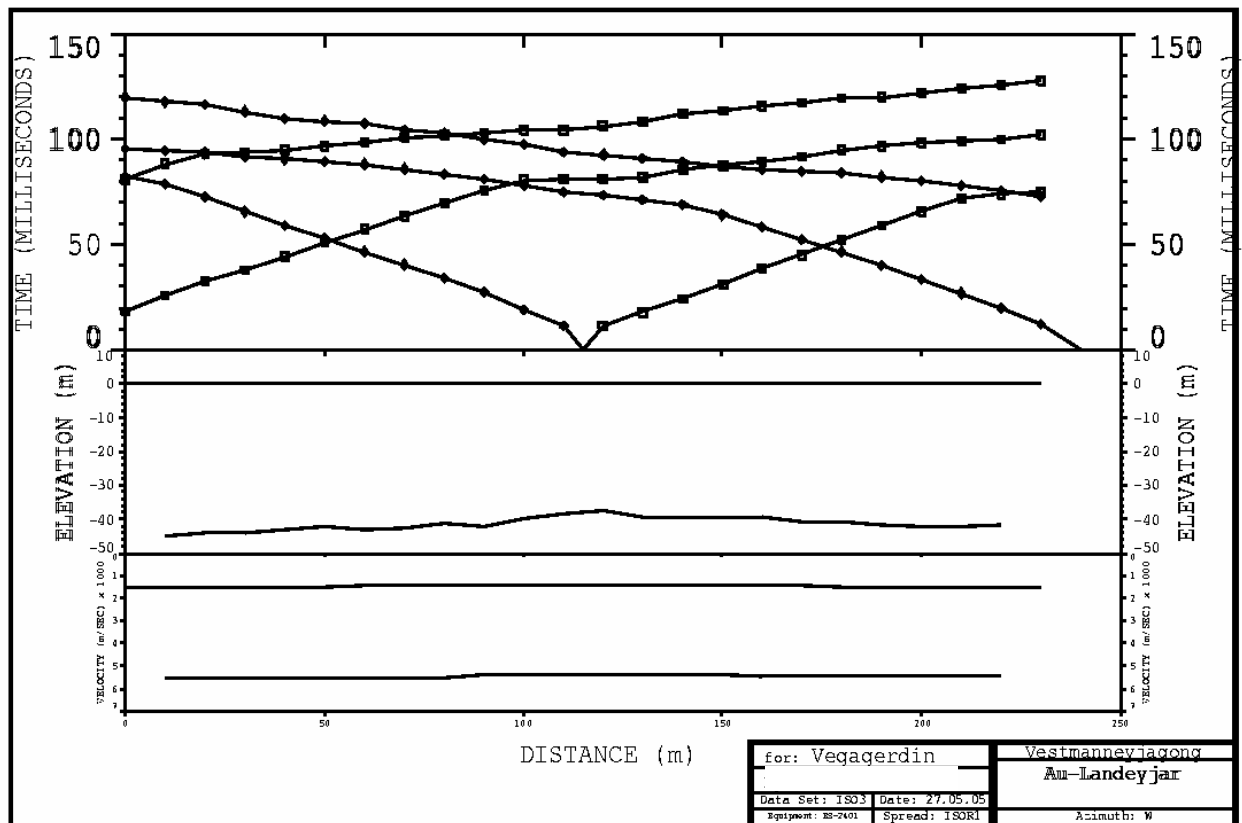


**Mynd 7.** Ferðatímagröf ásamt útreiknuðum hraða- og dýptarsniðum fyrir lögnina ÍSOR2.

*Picked 1st arrivals together with calculated refractor velocities and refractor elevation.*

Mælingin sem stefnir til vesturs sýnir reglulegan og tiltölulega láréttan og sléttan bylgjubrotsflöt á 50 m dýpis og er þessi flötur túlkaður sem berggrunnslag. P-bylgjuhraðinn í þessum fleti er frá 4,8 km/s austan til upp í 5,6 km/s vestan til. Þessi mikli hljóðhraði er vísbending um mjög þétt og heilt berg.

### 5.3.3 ISOR3



**Mynd 8.** Ferðatímagröf ásamt útreiknuðum hraða- og dýptarsniðum fyrir lögnina ÍSOR3.

*Picked 1st arrivals together with calculated refractor velocities and refractor elevation.*

Mælingin sem tekin er með norðvestur stefnu sýnir reglulegan bylgjubrotsflöt. Dýpið niður á hann er 44 m austan til en það grynnist upp á 36 m dýpi undir miðri lögninni en dýpkar með litlum halla niður á 42 m undir vesturenda lagnarinnar. P-bylgjuhraðinn í þessum fleti breytist lítillega úr 5,5 km/s vestan til niður í 5,2 km/s austan til. Þessi mikli hljóðhraði er vísbending um mjög þétt og heilt berg.

### 5.3.4 ISOR4

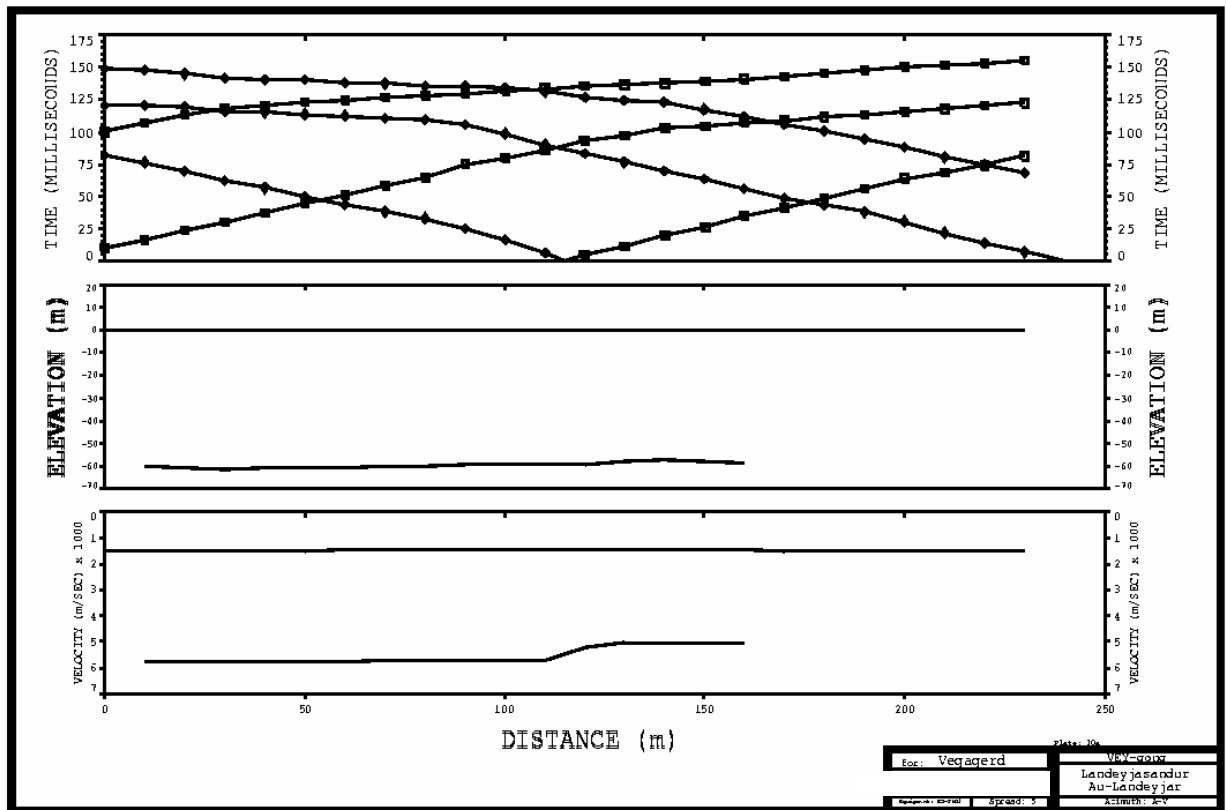
Sem fyrr segir náðist ekki að fá viðsnúin gögn frá berggrunni á nægjanlega löngum kafla á þessari línu til að unnt væri að beita GRM aðferðinni. Því var valið að nota hefðbundna aðferð sem gerir ráð fyrir láréttum eða hallandi einsleitum lögum, þ.e. gert er ráð fyrir föstum bylgjuhraða í sérhverju jarðlagi undir mælilínunni.

Við skoðun á mæligögnum má greinilega sjá tvo bylgjubrotsfleti. Þeir voru reiknaðir hvor í sínu lagi og forritið GREMIX notað til að reikna sýndarhraðana. Bylgjur sem bárust eftir efri fletinum sýna svipaðan sýndarhraða í báðar áttir, sem gefur til kynna að flöturinn sé nær láréttur. Með því að nota lárétt lagskipt líkan fæst að hann liggur á um 30 m dýpi. Hraðinn í lausu lögunum ofan hans mældist um 1520 m/s að meðaltali en neðan hans 1810 m/s. Hraðinn neðan þessa flatar bendir til lausra jarðlaga sem eru lítið eitt samlímdari en ofan hans. Bylgjur sem bárust eftir neðri fletinum sýna mismunandi sýndarhraða í mótsettar áttir sem þýðir að fletinum hallar. Var því ákveðið að nota

tveggja laga líkan með hallandi fleti til að reikna dýpi á hann og hraða neðan hans. Með því að nota tveggja laga líkan voru tvö efri lögín meðhöndluð sem eitt lag með meðalhraða 1570 m/s. Þar sem lítil hradamunur er í þessum tveimur efri lögum og lagmótin milli þeirra er nær lárétt felur það litla skekkju í sér að nálga þau með einu lagi. Niðurstöður af útreikningum urðu að dýpið á neðsta lagið er á bilinu 62–96 m, hallandi niður til NNV. Meðalhraðinn efst í neðsta laginu mælist 3750 m/s sem svarar til berggrunns sem trúlega er úr basalhraunum þótt mjög þétt set- og móbergslög séu ekki útilokuð.

### 5.3.5 ISOR5

Mælingin sem tekin er við segulhæð um 1,5 km norðan við bæinn Bakka í Austur-Landeyjum sýnir reglulegan og tiltölulega sléttan bylgjubrotsflöt á 60 m dýpi. Hraði í setlögum þar yfir mælist um 1,5 km/s. Þar undir er hljóðhraðinn hár, allt að 5,8 km/s sem er vísbending um mjög þétt og heilt berg, basalhraun eða innskot.



**Mynd 9.** Ferðatímagröf ásamt útreiknuðum hraða- og dýptarsniðum fyrir lögnina ÍSOR5.

*Picked 1st arrivals together with calculated refractor velocities and refractor elevation.*

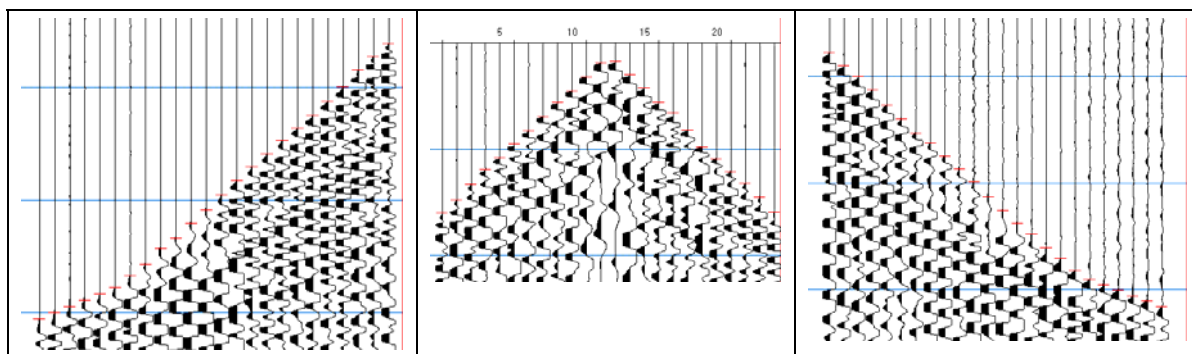
### 5.3.6 ISOR6

Staðsetning þessarar lagnar er neðarlega á Landeyjasandi beint sunnan við Kross og er stefna hennar austur-vestur.

Mælingar á þessari línu sýna hliðstæðar niðurstöður og mælingar á ÍSOR4, þ.e. nær flatliggjandi lagamót inni í setlögnum og hallandi berggrunnur þar undir. Mælingarnar voru unnar á sama hátt og lýst er fyrir línu ÍSOR4. Niðurstöðurnar eru þær að á um 30 m dýpi eru nær lárétt lagamót innan í setlögnum. Ofan þeirra er hraðinn 1480 m/s sem er dæmigert fyrir lausan sand en neðan hans um 2000 m/s sem svarar til nokkuð samlímdra setlaga eða jökulbergs. Á 53–83 m dýpi koma fram lagamót og er meðalhraðinn neðan þeirra 3350 m/s sem svarar til berggrunns úr móbergi eða lítt ummynduðu basalti. Yfirborði berggrunnsins hallar niður til VNV.

### 5.3.7 ISOR7

Staðsetning þessarar lagnar miðast við segullægð sunnan til á Landeyjasandi (sjá meðfylgjandi segulkort) með það að augnamiði að kanna sambengið milli segullægðar og aukins dýpi niður að berggrunninum. Í gögnunum sem söfnuðust með þessari lögn kemur ekki fram skörun bylgja í berglaginu (sameiginlegir brotstaðir) frá andspænis-skotum og því er ekki unnt að beita GRM aðferðinni á gögnin. Bylgjan að hljóðnemunum í efsta laginu er með mjög reglubundna komutíma og frá fjærskotunum tveim sést greinileg og regluleg innkoma bylgja frá berggrunninum. Þess vegna er hér notuð einföld túlkun fyrir jafnt hallandi einsleitt jarðlag en gögnin benda eindregið til þess að svo sé. Út frá komutímum hinna mismunandi bylgjufasa reiknast einsleitir hraði í efsta jarðlaginu út frá öllum skotunum fimm en mismunandi sýndarhraðar í berglaginu leiða til þess að halli berglagsins er allt að 5° til austurs þannig að dýpið niður á fast berg undir vesturenda lagnarinnar er 85 m og 103 m undir austurenda hennar. Hljóðhraðinn í yfirborðsjarðlaginu er 1,6 km/s og hljóðhraðinn í bergrunnslaginu er 3,3 km/s sem bendir til berggrunns úr móbergi. Þá má einnig túlka segullægðina sem ábendingu um að móbergið sé lítt segulmagnað.

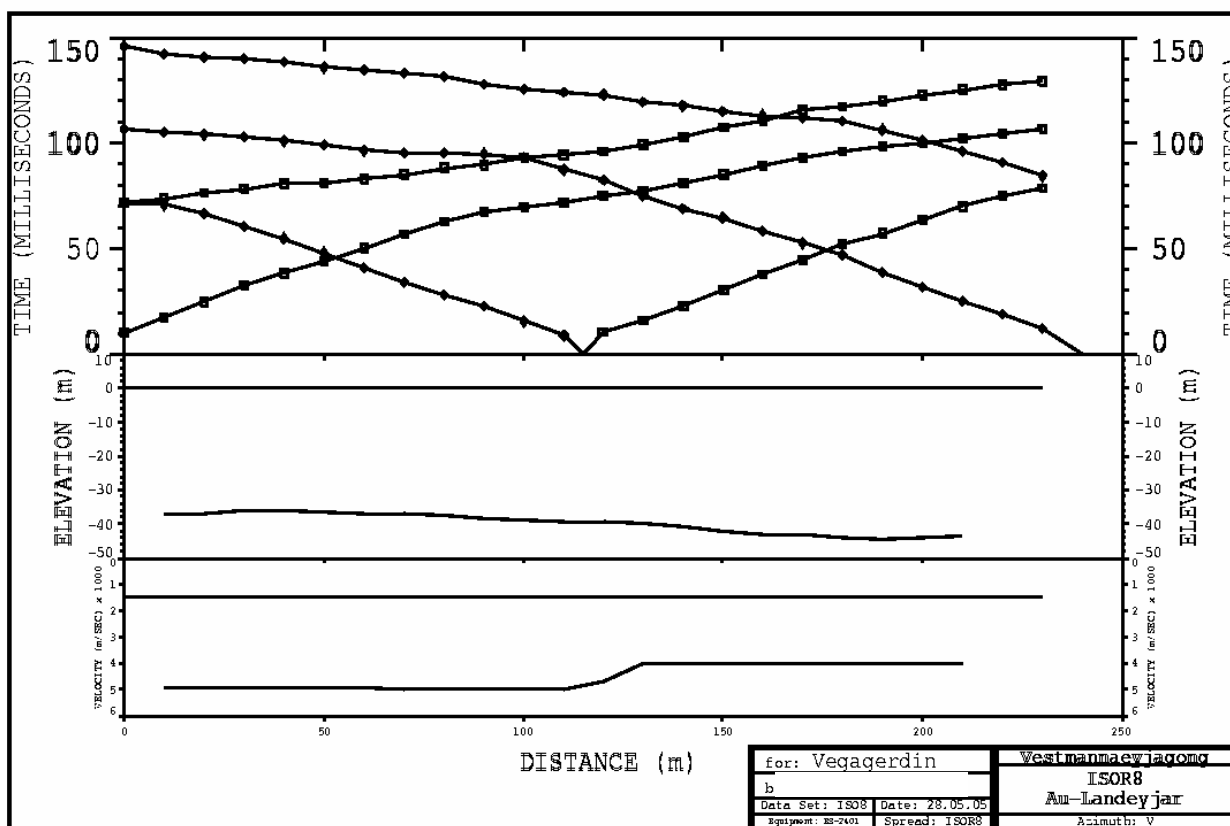


**Mynd 10.** Myndin sýnir frumgögn fyrir miðjuskotið og hvort sitt fjærendaskotið í lögn ÍSOR7. Regluleg innkoma bylgjulestanna leyfa nálgun með líkani fyrir slétt-hallandi bylgjubrotsfleti.

*Original data for ISOR7. Regular arrival times of the wave trains allow an approximation interpretation as a dipping refractor with constant sound velocity.*

### 5.3.8 ISOR8

Mælingin sem stefnir til norðvesturs sýnir reglulegan og tiltölulega sléttan bylgjubrotsflöt sem dýpkar frá 38 m við austurenda lagnarinnar niður á 43 m dýpi við vestur- endann. Þessi flötur er eins og áður túlkaður sem berggrunnslag en P-bylgjuhraðinn í honum breytist nokkuð á milli enda lagnarinnar eða úr 5 km/s niður í 4 km/s og er sú breyting nokkuð skörp. Hár hljóðhraði er vísbending um þétt og heilt berg.



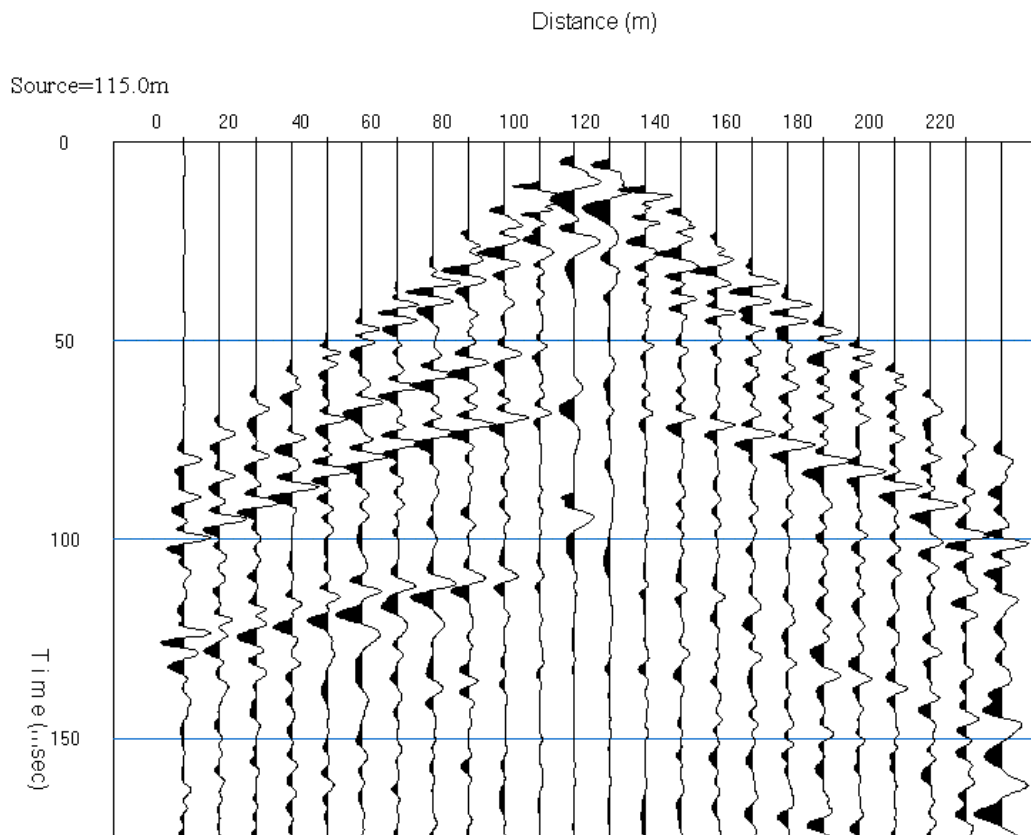
**Mynd 11.** Ferðatímagröf ásamt útreiknuðum hraða- og dýptarsniðum fyrir lögnina ISOR8.

*Picked 1st arrivals together with calculated refractor velocities and refractor elevation.*

### 5.3.9 ISOR9

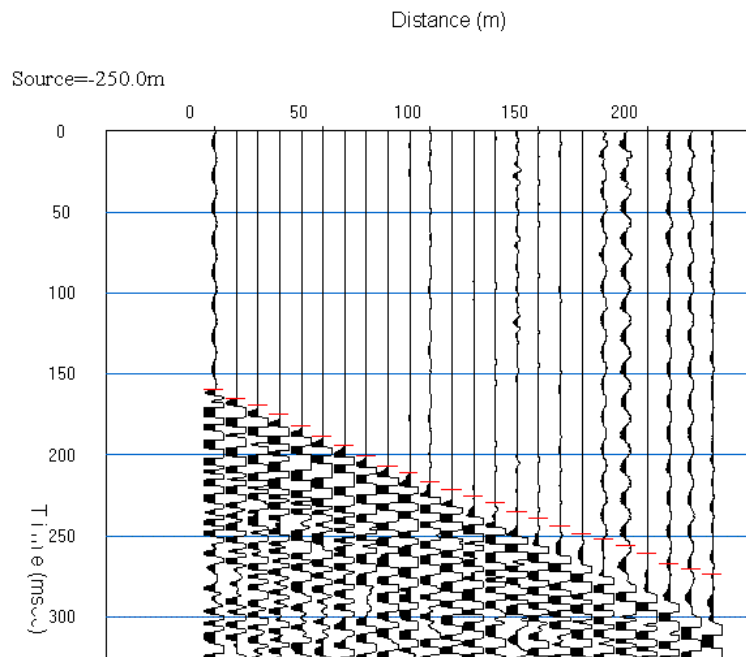
Þessi mæling var tekin um 2 km vestur af flugvelliðum við Bakka í Austur-Landeyjum og við hana var tekin eins löng skotlögn og tiltæk verkfæri dugðu til en þrátt fyrir það náðist ekki að fá fram brotna bylgju frá þéttari berggrunni. Þetta er einungis vísbending um mjög þykk laus jarðlög. Hins vegar kom fram dugmikið endurvarp í mælingunni (mynd 12). Endurvarpið sýnir að um er að ræða lagskiptingu sem kemur fram í 35–40 m þykkum jarðvegi ofan á tiltölulega lausum sandlögum þar sem hljóðhraðinn er svipaður og jafnvel minni (lághraðalag) en í efsta jarðvegslaginu. Í þeim tveim skotum sem voru tekin fjærst hljóðnemakaplinum má greina afar dauft merki frá bylgjubrotsfleti þar sem hljóðhraðinn er 2,1 km/s (myndir 13 og 15). Með því að beita reglu fyrir sléttan bylgjubrotsflöt reiknast dýpi niður á hann 55 m. Þessi lági hraði er vísbending um jökulruðning og er í samræmi við fyrri mælingar á þessu svæði og túlkun á þeim

(Hreinn Haraldsson, 1981). Berggrunnur sést ekki í þessari mælingu en hlýtur að vera á töluverðu dýpi, og er það ísamræmi við segulmælingarnar sem gefa þarna 200 m dýpi.



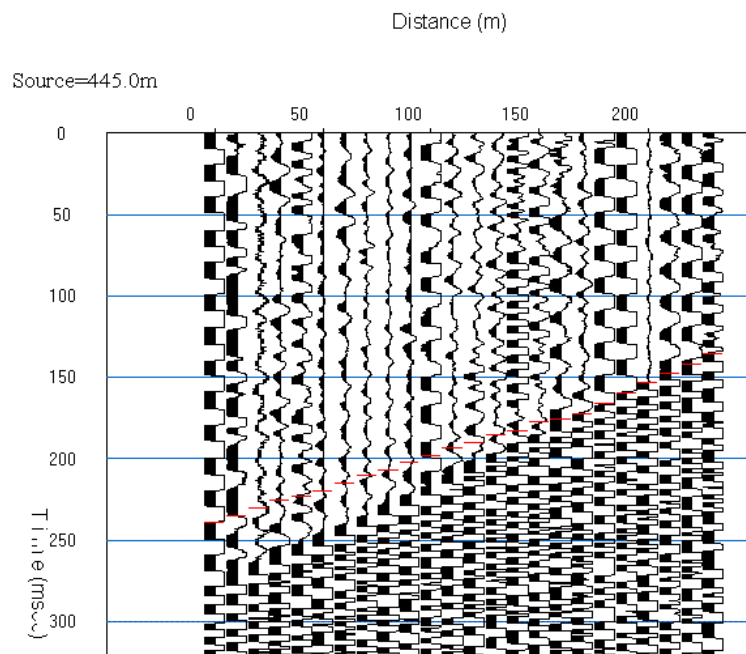
**Mynd 12.** Myndin sýnir öflugt endurvarp frá tveim spegilflötum sem ekki koma fram í bylgjubroti nema mjög ógreinilega frá skotum í mikilli fjarlægð og sýna þá lítinn hraða. Líklegt er að efra spegillagið hafa lægri hraða en moldarlagið sem liggur ofan á.

*Two strong not so deep reflectors are clearly marked but they don't show up as refractors except maybe the lower one.*



**Mynd 13.** Gögn og aflestur (rauðu strikin) fyrstu bylgju frá skoti í 250 m fjarlægð frá vesturenda hljóðnemakapals. Brotin bylgja sem kemur inn á 100–110 m er mjög dauf.

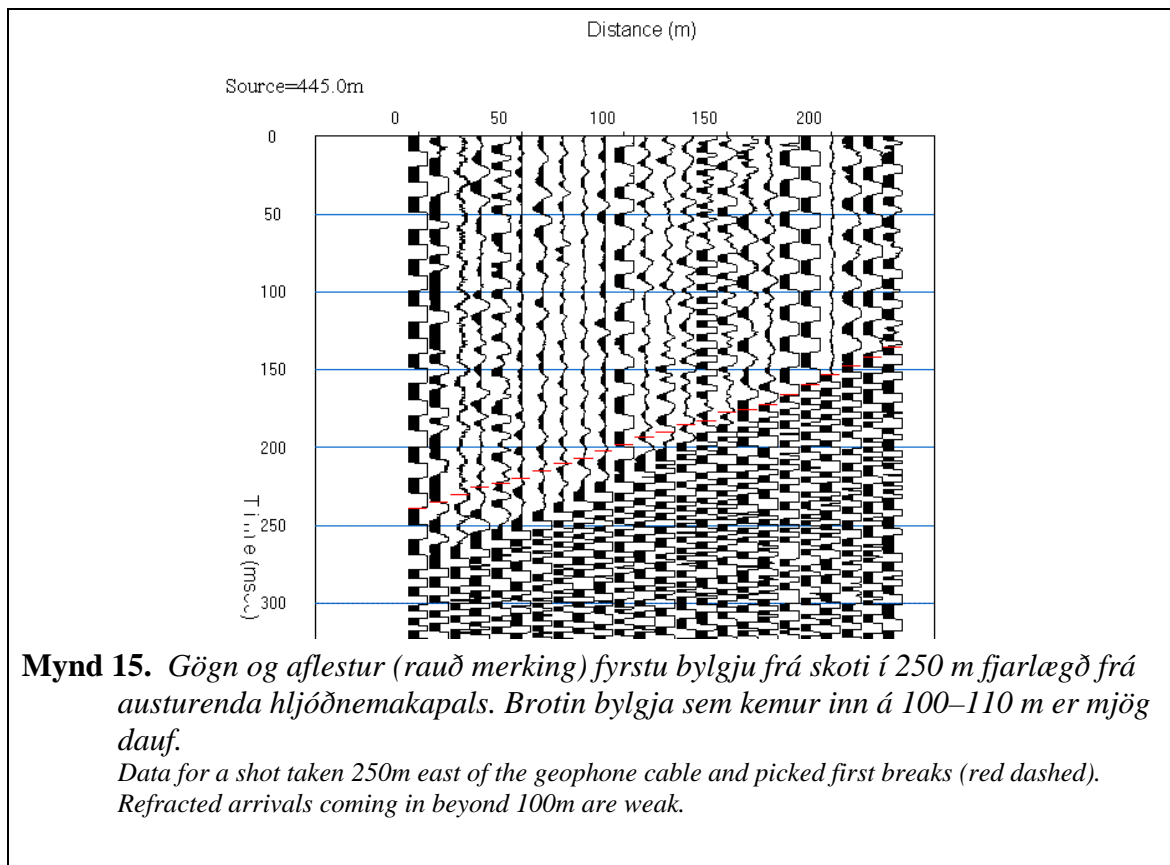
Data for a shot taken 250m west of the geophone cable and picked first breaks (red dashed).  
Refracted arrivals coming in beyond 100m are weak.



**Mynd 14.** Gögn og aflestur (rauð merking) fyrstu bylgju frá skoti í 250 m fjarlægð frá austurenda hljóðnemakapals. Brotin bylgja sem kemur inn á 100–110 m er mjög dauf.

Data for a shot taken 250m east of the geophone cable and picked first breaks (red dashed).  
Refracted arrivals coming in beyond 100m are weak.





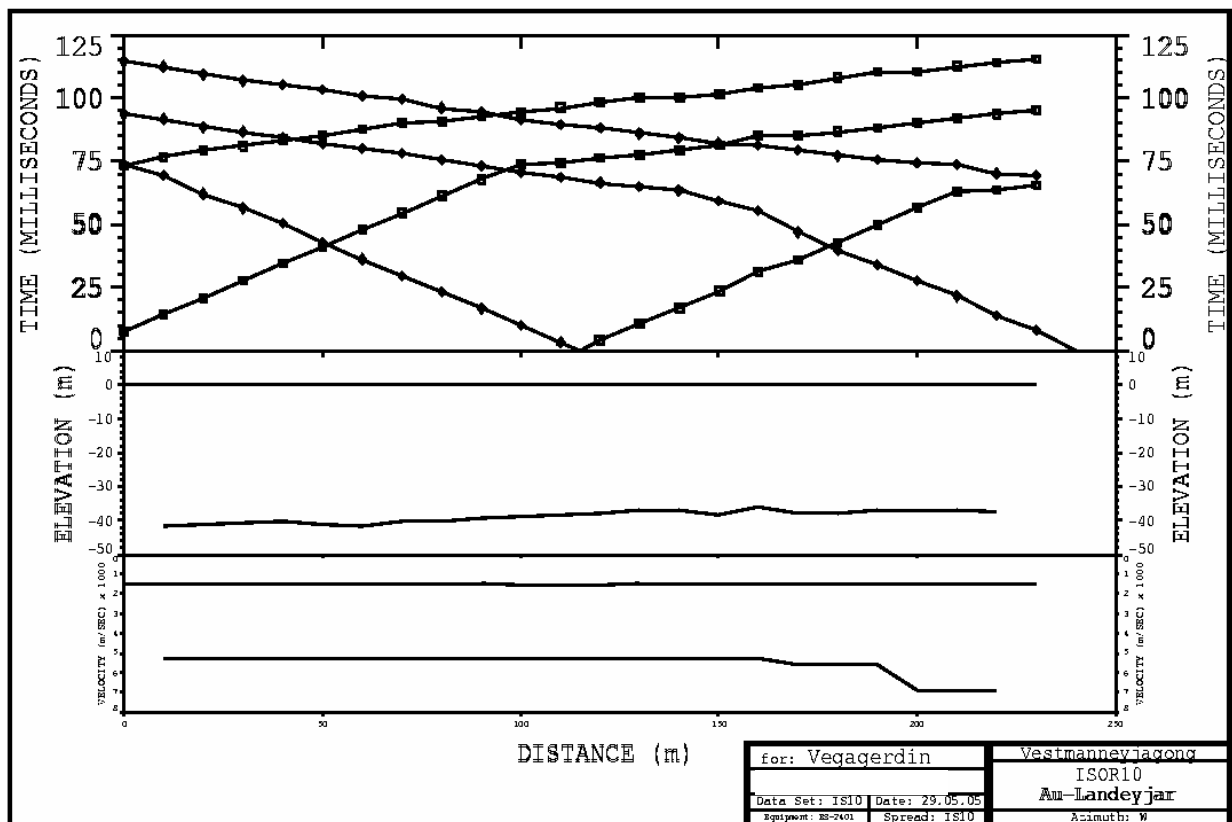
Samantekt á staðsetningum og niðurstöðum bylgjubrotsmælinga á landi er birt í töflu 1.

**Tafla 1.** Niðurstöður bylgjubrotsmælinga á landi.

Lögn	Staðsetning (°N og °V)		Stefna mælinú (°)	Dýpi á berggrunn (m)	Hljóðhraði í berggrunni (km/s)
ISOR 1	63.59762°N	20.27848°V	195	75m	4.0km/s
ISOR 2	63.59297°N	20.30380°V	282	50m	5.3km/s
ISOR3	63.59278°N	20.32580°V	308	40m	5.5km/s
ISOR4	63.56920°N	20.27428°V	340	62-96m	3.8km/s
ISOR5	63.578870°N	20.126420°V	283	60m	5.4km/s
ISOR6	63.583480°N	20.286360°V	286	53-83m	3.4km/
ISOR7	63.587590°N	20.296950°V	305	85m	3.3km/s
ISOR8	63.599250°N	20.332140°V	311	35m	4.5km/s
ISOR9	63.563830°N	20.178230°V	294	100m?	
ISOR10	63.602590°N	20.303250°V	296	35m	5.6km/s

JK2	63.60575°N	20.29953°V		40m	4.3km/s
JK3	63.59863°N	20.30392°V		50m	5.3km/s
JK4	63.59345°N	20.28132°V		70m	3.5km/s
JK5	63.60592°N	20.31370°V		70m	4.1km/s

### 5.3.10 ISOR10



**Mynd 16.** Ferðatímagröf ásamt útreiknuðum hraða- og dýptarsniðum fyrir lögnina ÍSOR10.

*Picked 1st arrivals together with calculated refractor velocities and refractor elevation.*

Mælingin sem stefnir til vesturs sýnir reglulegan og tiltölulega láréttan og sléttan bylgjubrotsflöt á 50 m dýpi sem þó gryn timer aðeins til vesturs og er þessi flötur túlkaður sem berggrunnslag. P-bylgjuhraðinn í þessum fleti er um 5,3 km/s. Þessi mikli hljóðhraði er vísbending um mjög þétt og heilt berg. (Hinn hái hraði í vesturenda er vafasamur).

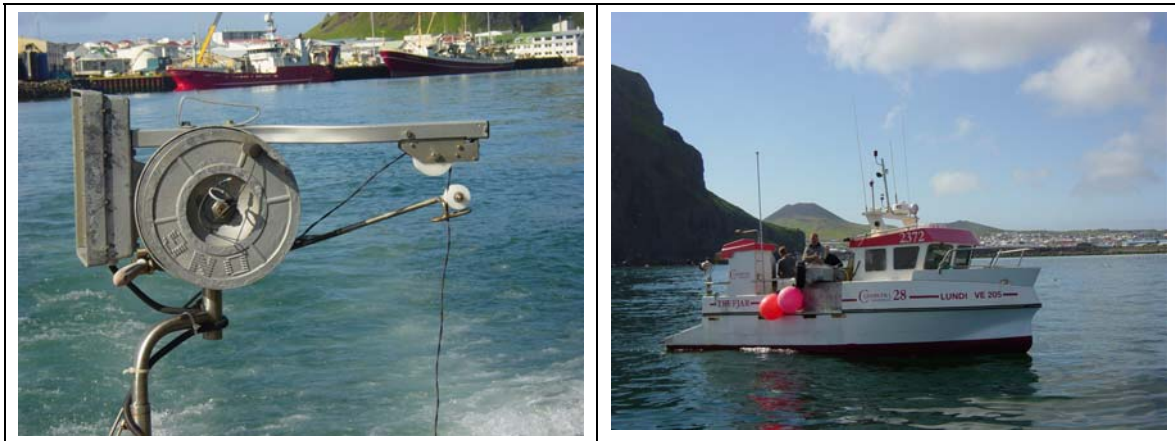
## 5.4 Mælingar á sjó

Tilgangur bylgjubrotsmælinganna á sjó var að fá gróft mat á þykkt setlaga ofan á berggrunni og gróft mat á hljóðhraða í berggrunni til að meta eiginleika bergsins á hugsanlegri jarðgangaleið millilands og Eyja. Hugmyndin var að fá þessar upplýsingar með sem ódýrustum hætti þannig að niðurstöður gætu orðið gagnlegt innlegg í forathug-

anir vegna hugsanlegra jarðganga. Ekki var til þess ætlast að niðurstöður væru það nákvæmar að þær nýttust við verkhönnun á jarðgöngum. Einnig þarf að hafa í huga að þessar mælingar hafa ekki næga upplausn til að greina hugsanleg brotabelti í berggrunninum. Mælingar sem gefa fullnægjandi nákvæmi til verkhönnunar kosta margfalt meira en sú aðferð sem beitt var hér. Hér var því hannað afbrigði af bylgjubrotsmælingum á sjó sem fullnægði þeim nákvæmni- og kostnaðarmörkum sem hæfðu markmiði mælinganna.

Við framkvæmd mælinganna var notaður 230 m langur hljóðnemakapall með nemum á 10 m millibili, sem flaut í sjólokunum. Kapallinn var dreginn á eftir skráningarbáti, sem aftur var dreginn af sprengibáti. Öll trossan var dregin á hægri ferð og á svo sem 100–200 m millibili voru sprengihleðslur sprengdar við sjávarbotn aftan við sprengibátinn. Botnskot minnka óæskileg áhrif vatnslagsins á gagnasöfnunina Þannig framkvæmd er mun fljótgerðari en botnlagnir, en gefur ekki sömu upplausn eða nákvæmni. Bátur Hafrannsóknarstofnunar, Friðrik VE-177, var notaður sem skráningarbátur en Lundi VE-205 í eigu Vals Andersen sem skotbátur. Skotum var hleypt af í gegnum rafmagnsnúru á milli bátanna. Með því að stilla fjarlægð milli báta og í nermalengjuna mátti koma því þannig fyrir að bylgja frá berggrunninum væri fyrsta bylgjan í mælistrengnum Oftast var 300–320 m fjarlægð frá skoti í fyrsta nemann, en styttra þar sem grunnt var á fast. Einnig voru tekin strjál skot frá skráningarbáti, þ.e. í styttri fjarlægð frá nemastrengnum, í þeim tilgangi að kanna hraða í setlögnum næst undir hafsbotni.

Framkvæmd skotanna var með þeim hætti að sprengiefninu var slakað ásamt blýlóði með handfærarúllum (mynd 17) sem reyndust lykiltæki við þessar mælingar. Í stað fiskigarns var tvíþráða rafvír (jöklavír) undinn upp á rúlluna. Með því að hafa tvær handfærarúllur tiltækar á hvorum báti fyrir sig náðist að skjóta svo þétt sem óskað var en í áætlunum var reiknað með því að ná skoti á u.þ.b. 100 m fresti. Fyrir kom að lóðin sprengdust frá línunni en það var ekki til vandræða.



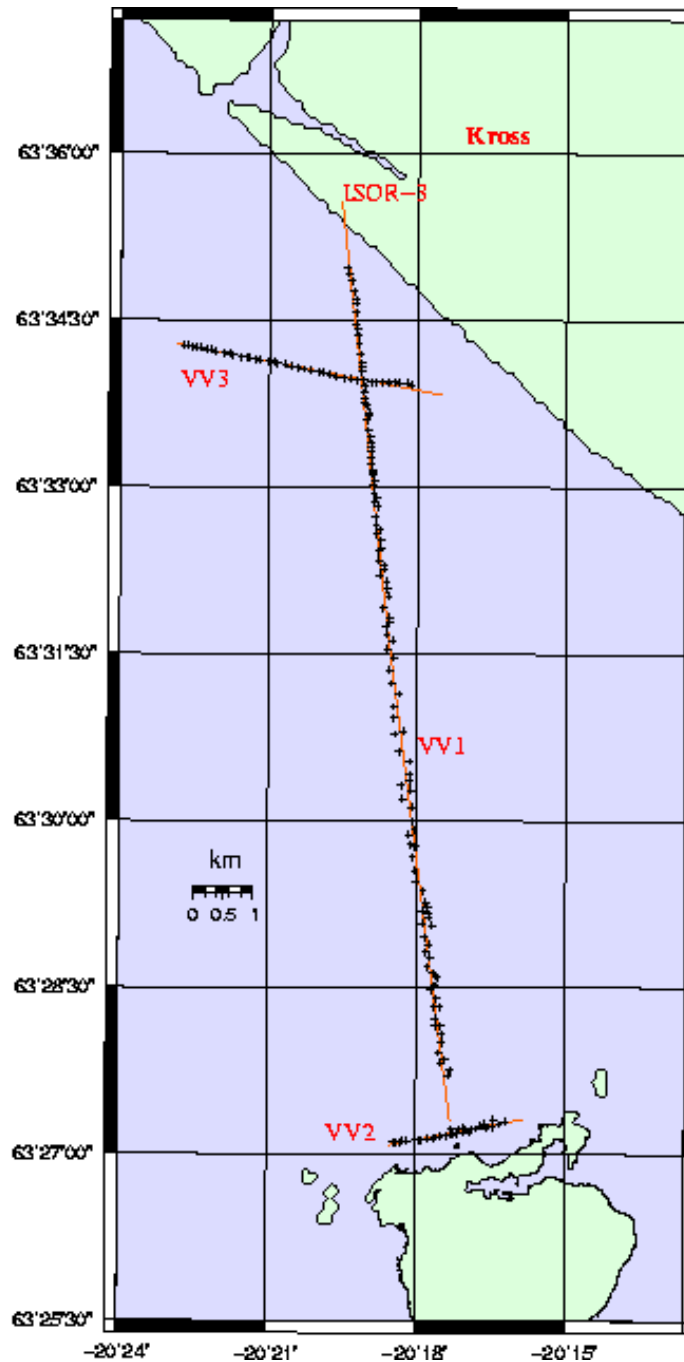
**Mynd 17.** Vinstra megin, handfærarúlla með tengivír. Hægra megin má sjá strákana vera að græja Lunda í skotseríuna fyrir VV2.

*Left: The fishwiner prepared with wire for firing the explosives.*

*Right: Lundi was the main firing boat pulling the registration boat*

Teknar voru þrjár mælinúr,

1. Löng lína milli Heimaeyjar og lands , frá Stóra-Erni yfir Sandagrunn í stefnu á mælipunkt ISOR-3 á Krossfjöru. (VV1)
  2. Stutt lína með A-V stefnu norðan Heimaeyjar (VV2)
  3. Stutt þverlína með A-V stefnu sunnan Landeyjasands (VV3)
- og er lega þeirra sýnd á mynd 18 en endahnit eru í töflu í viðauka.



**Mynd 18.** Lega mælinúra þar sem bylgjubrotsmælingar fóru fram á sjó. Rauðar línur samsvara tálkuðum sniðum, svartir krossar eru mældir skrásetningarpunkturar.  
*The three profiles, VV1, VV2 and VV3 are shown on this map.*

Ólíkt mælingunum sem fóru fram á landi var ekki um að ræða gagnstæð (reversed profiling) skot heldur var aðeins skotið öðru megin frá inn á hljóðnemakapalinn. Þetta gerir það að verkum að GRM aðferðinni verður ekki beitt til túlkunar gagnanna. Í staðinn er notað hermílikan, þ.e. leitað er að líkani innan ákveðinna marka sem fellur eins vel að mældum gögnum og næst að gera með ítrekuðum keyrslum. Forritið sem notað er við þessa túlkun er RAYINVR (Zelt, 2004). Þar sem skotin eru það þétt að samfelld skörun fæst fyrir berggrunnsbylgjuna eru þessar mælingar í raun sambærilegar við viðsnúnar mælingar, nema hvað upplausnin fyrir láréttar breytingar í berggrunns-hraða er ekki betri en skotbilið, eða nokkur hundruð metra.

Gæði gagnanna sem fengust með bylgjubrotsmælingum á sjó eru mun lægri en þeirra gagna sem aflað var á landi. Aflestur og úrvinnsla sjógagnanna reyndist því afar tíma-frek og vandasöm. Staðsetningar skráningarbáts voru teknar jafnóðum með GPS- mælingu og staðsetning skotbátsins var miðuð við kaðalinn á milli bátanna. Til þess hins vegar að ákvarða, eins nákvæmlega og hægt er, afstæða fjarlægð skots frá hljóðnema-kaplinum er beitt þeirri aðferð að nota hljóðbylgjuna sem berst hljóðnemunum beint frá skotinu í gegnum sjóinn og þar notast við þekkt sjávardýpi og vel þekktan hljóðhraða í vatni, 1,5 km/s. Með þessu móti hefur náðst að fá mjög góða afstæða staðsetningu á skoti og hljóðnemum en raunstaðsetning fyrir hvert skot er háð nákvæmni GPS tækisins í skráningarbátinum sem er  $\pm 8$  m, en þó í raun nokkuð verri vegna þess að straumar báru strenginn út úr línu.

#### 5.4.1 VV1

Lína VV1 (mynd 18) var skotin í tveimur áföngum þ.a. í heildina var safnað gögnum með um 100 m bili. Siglt var eftir ákveðinni braut og hélt fremri báturinn sig alfarið á henni en vegna vinda og strauma gat hljóðnemakapallinn lagst nokkuð út frá línunni og gat sú stefna orðið allt að  $30^\circ$ . Þar sem lega kapalsins var ekki nákvæmlega sú sama í báðum ferðum má búast við að láréttar breytingar/ójöfnur á hafsbotni í A-V stefnu valdi óvissu í túlkun gagnanna.

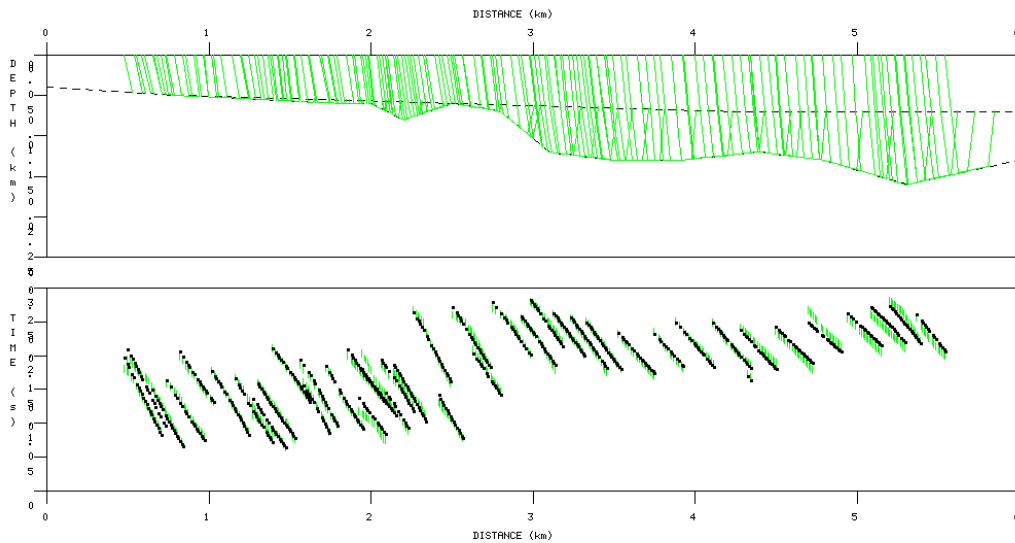
Við túlkun gagnanna sem söfnuðust eftir VV1 var línunni skipt í þrjá hluta sem hver um sig er um 8 km að lengd en 2 km skörun var höfð á milli þeirra:

- 0-6 km
- 4-10 km
- 8-14,43 km

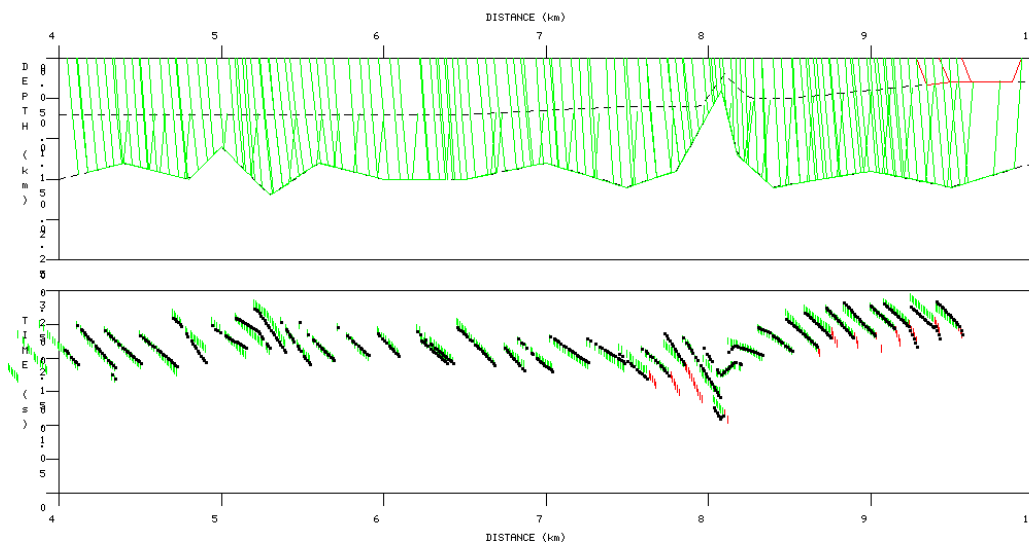
Myndir 19–21 sýna útreiknaðan geislagang fyrir hljóðbylgjurnar um líkanið miðað við skotstaði og staðsetningu hljóðnema við framkvæmd mælinganna. Efri hluti myndanna sýnir líkanið ásamt geislagangi en neðri hluti þeirra sýnir hversu vel hefur gengið að finna líkan sem fellur að gögnunum. Grænu strikin sýna aflestur komutíma berggrunns-bylgjunnar en þau rauðu tákna bylgju úr setlögnum ofan berggrunns. Svörtu punktarnir sýna útreiknaðan ferðatíma fyrir hljóðbylgjuna samkvæmt líkaninu. Mynd 22 sýnir hraða- og dýptarsnið fyrir línuna VV1 í heild.

Fyrir flest skotin tekst þetta vel en þó eru kaflar þar sem erfitt er að fella útreikninga að gögnum og geta ástæður verið nokkrar:

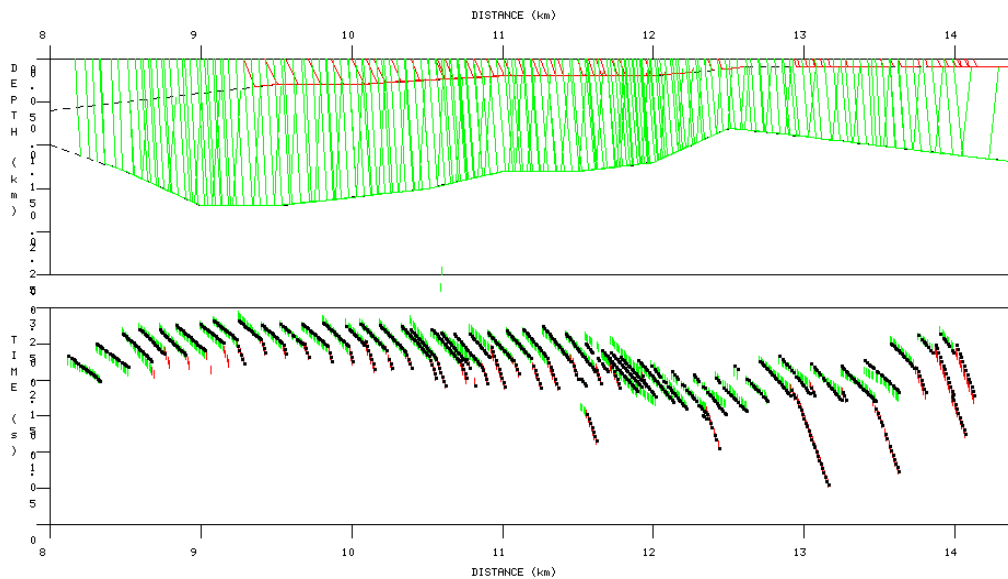
- Ójafn botn
- Mælingin tekin í tveimur þrepum og lega kapals ekki nákvæmlega sú sama í bæði skiptin (mynd 22) og botndýpi undir honum mismunandi
- Staðbundnar jarðfræðilegar ójöfnur sem líkanið getur ekki leyst upp.



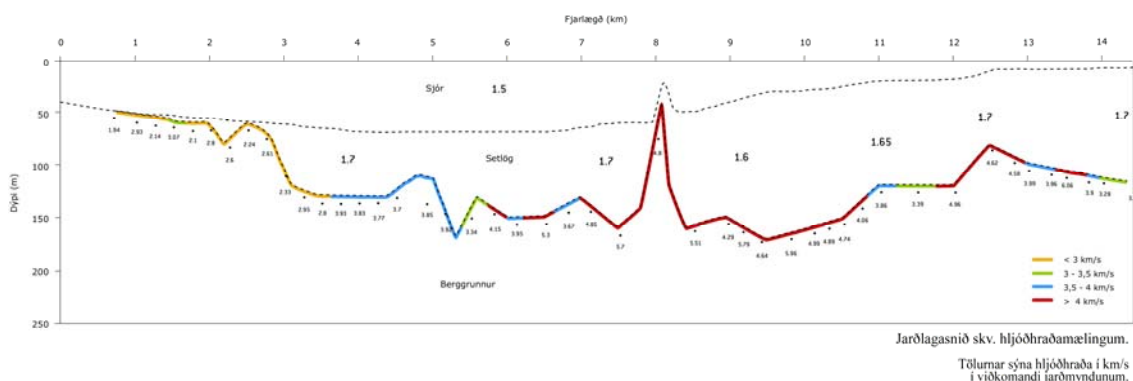
**Mynd 19.** Geislagraf yfir túlkun línunnar milli lands og Eyja, 0–6 km eftir VV1. Neðri hluti myndarinnar sýnir mældan ferðatíma (græn strik) og reiknaðan ferðatíma (svartir punktar). Grænu geislarnir sýna ferð hljóðsins um neðri bylgjubrotsflötinn, þ.e. berggrunn.  
 Ray diagram for the interpretation of the VV1 profile. 0-6 km. The green rays travel in the basement refractor. The lower part of the picture shows both measured and calculated travel times (black dots).



**Mynd 20.** Geislagraf yfir túlkun línunnar milli lands og Eyja, 4–10 km eftir VV1. Neðri hluti myndarinnar sýnir mældan ferðatíma (rauð og græn strik) og reiknaðan ferðatíma (svartir punktar). Rauðu geislarnir sýna ferð hljóðbylgjunnar um setið undir hafsbötni og grænu geislarnir sýna ferð hljóðsins um berggrunn.  
 Ray diagram for the interpretation of the VV1 profile. 4-10 km.



**Mynd 21.** Geislagraf yfir túlkun línunnar milli lands og Eyja, 8–14 km eftir VV1. Neðri hluti myndarinnar sýnir mældan ferðatíma (rauð og græn strik) og reiknaðan ferðatíma (svartir punktar). Rauðu geislarnir sýna ferð hljóðbylgjunnar um hafsbotslagið og grænu geislarnir sýna ferð hljóðsins um neðri bylgjubrotsflötinn.  
Ray diagram for the interpretation of the VV1 profile. 8–14 km.



**Mynd 22.** Þversnið sem sýnir dýpi á sjávarbotn og fastan berggrunn eftir línu VV1 ásamt hljóðbygljuhraða í berggrunni og setlaginu ofan hans. Heimaey er um 1,2 km frá upphafspunkti línunnar. Þetta er sýnt í stærri kvarða á korti 2.  
Interpreted section along VV. The model shows three layers, sea sediments and basement. This figure is attached as a larger scale plate in a back cover jacket.

Í mælingunni sem tekin var milli lands og Eyja (VV1) reiknast fjarlægðir til norðurs en mælinílan er rúmir 14 km. Hér á eftir er niðurstöðum lýst og er þá margsinis vitnað til fjarlægðatalna sem ávallt eru fjarlægðir mældar eftir línunni frá upphafi hennar við Heimaey samkvæmt mynd 18. Staðsetning línunnar er gefin með hnitum og fjarlægðum í töflu sem birt er í viðauka.

Það sem einkennir gögnin norður frá Eyjum framan af mælinílu VV1 er að ekki greinast nein laus setlög heldur svarar hljóðhraðinn í hafsbotslaginu til hljóðhraða í leku móbergi, jökulbergi eða nokkuð samlímdum setlögum. Þetta er nokkuð lægri meðalhraði en mælist í efstu 300 m borholunnar við Hána, sem bendir til þess að hafsbotninn

út frá Heimaey sé ekki eins samlímdur og þéttur og lögin sem komu fram í holunni, þótt bergið geta annars verið svipað og sést í eynni sjálfri.

Fyrstu 3,5 km eftir línunni er hljóðhraðinn 2–3 km/s. Við 2,1 km kemur inn seinkun á bylgjunni úr þessu lagi sem er túlkuð þannig að áhrifa sjávarseta gæti þótt ekki hafi tekist að sjá brotna bylgju frá þeim í gögnunum, og reiknast dýpið á berggrunninn 70–75 m. Á bilinu 2,5–2,7 km er sem lausa setlagið þynnist aftur. Við 2,8 km fara lausu setlögin að þykkna verulega við 3 km hefur dýpið niður á berggrunninn náð um 100 m og við 3.3 km er dýpið á hann um 140 m.

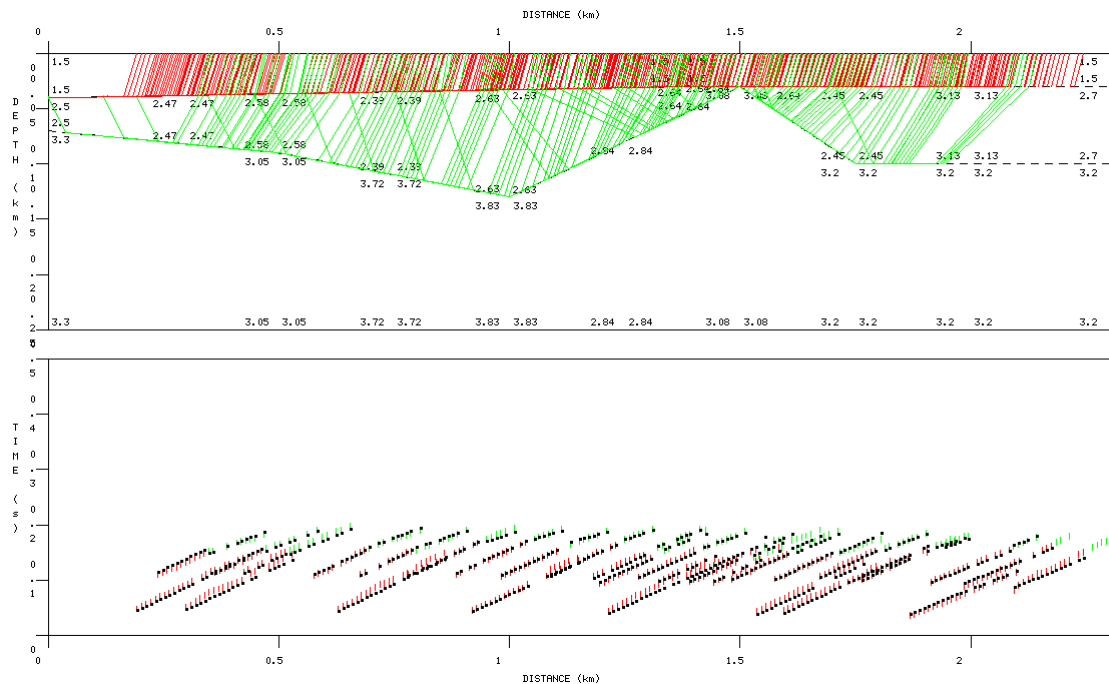
Þar sem bylgjan sem fer um hafbotnslagið er illgreinanleg í gögnum norður undir 9 km byggir túlkunin á því að setlagið, sem kemur inn við 2,7 km, hafi svipaða eiginleika norður línuna og mælast norðan við 9,3 km en þar kemur hún vel inn. Meðalhraði hljóðsins í laginu er mjög nálægt 1,7 km/s. Við 3,5 km hækkar hljóðhraðinn í berggrunninum og mælingarnar sýna hraða frá 3,8–4,0 km/s en það er ávísun á þéttara berg og norður undir 6,5 km eru hraðagildin rétt neðan við 4 km/s nema í undantekningatilfellum. Þennan hluta berggrunnins er helst að túlka sem lítið ummynduð og fremur lek basalhraun en vel þétt og samlímt móberg er ekki hægt að útiloka. Einnig er dregin sú ályktun að við 3,5 km vegalengd eftir VV1 séu norðurmörk móbergsmyndunarinnar, sem kennd er við Vestmannaeyjar, að finna á yfirborði berggrunnins. Ekki er þó unnt að útiloka að Vestmannaeyjamyndunin nái alveg að 6,5 km fjarlægðarpunktinum. Eins er vert að athuga að hér er verið að tala um mörk Vestmannaeyjamyndunarinnar við yfirborð berggrunnins. Þar sem hljóðhraðamælingarnar skynja aðeins fáeina tugi metra niður í berggrunninn segja þær ekkert um það hvort þessi skil eru lóðrétt eða halli í aðra hvora áttina. Þannig má hvort sem er hugsa sér að Vestmannaeyjamyndunin fleygist inn undir basalhraun sem runnið hafa frá landi eða að hún leggist að basalhraunum sem þá halli niður undir hana sjálfa.

Á bilinu 6,5–10,5 km hækkar hljóðbylgjuhraðinn í berggrunnslaginu í 4,8–5,5 km/s að jafnaði sem svarar til hljóðhraða í þéttum basalhraunlögum eða jafnvel innskotabergi Ójöfnurnar í kringum 8 km eru þar sem mællínan fer yfir Sandagrunn. Vegna lögunar nabbans sem myndar Sandagrunn þá munar nokkru á fartímagögnum milli ferðanna þar yfir vegna misjafnrar legu hljóðnemakapalsins á eftir skráningarbátinum vegna mismunandi strauma. Þetta veldur óvissu og smávegis ósamræmi við að fella líkanið að mældum fartímagögnum. Hljóðbylgjuhraðinn mælist um eða yfir 5 km/s hvoru megin í berggrunni Sandagrunns en 4,8 km/s í toppi þess en það bendir til þess að það sé innskot sem myndi toppinn á gamalli eldstöð. Á þessu bili eftir VV1, 6,5–1,5 km, eru allnokkrar breytingar á dýpinu niður á berggrunninn en það verður mest um 170 m við 9,5 km, og þar er setþykktin mest, um 140 m.

Frá 10,5 km til norðurs mælist hljóðhraðinn í berggrunni að jafnaði lægri en 4,5 km/s og gryn timer dýpið niður á hann úr 150 m niður á um 75 m við 12,5 km en þaðan hallar berggrunnslaginu niður inn til lands og við enda línunnar er dýpið niður á fast um 120 m. Þar fer hljóðhraðinn í berggrunninum lækandi og nálgast þau gildi sem víða má sjá í mælingunum á berggrunnshraða undir Landeyjasandi. Þarna er annað hvort um að ræða berggrunn úr fremur þéttu móbergi eða lekum ungum basalhraunlögum.



## 5.4.2 VV2



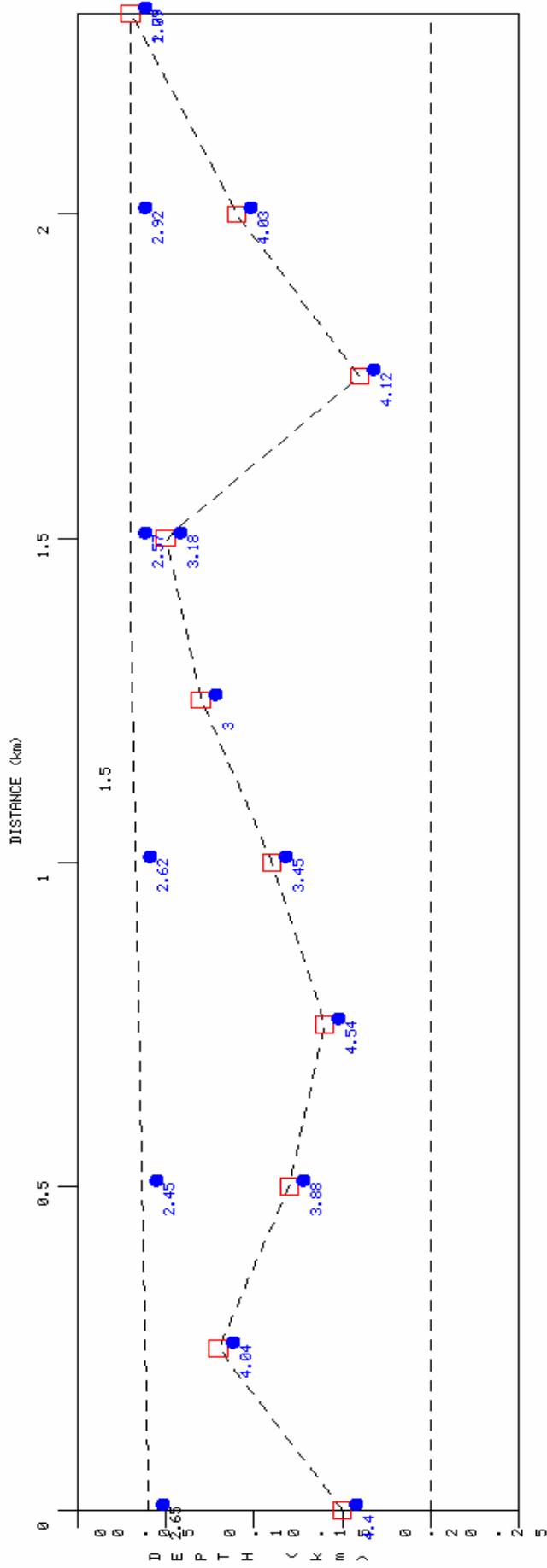
**Mynd 23.** Geislagraf yfir túlkun línu VV2. Neðri hluti myndarinnar sýnir hvernig reiknaðir ferðatímar (svartir punktar) falla að mældum Rauðu geislarnir sýna fer hljóðbylgjunnar um hafsbotslagið og grænu geislarnir sýna ferð hljóðsins um neðri bylgjubrotsflötinn.  
Ray diagram for the interpretation of the VV1 profile. The red rays are the ones travelling in the sub-bottom layer and the green ones travel in the lower refraction. The lower part of the picture shows both measured and calculated (black dots) travel times.

Sniðið liggur frá vestri til austurs norðan Heimaeyjar og er túlkað hraðalíkan birt á mynd 24. Hljóðhraðinn í efsta laginu er á bilinu 2,3–3,1 km/s sem er meiri hraði en lausum setlögum. Það er því ljóst að laus setlög er tæpast að finna þarna og hraðinn í hafsbotslaginu svarar til frekar lausbundinna móbergslaga. Síðan er í gögnunum annar bylgjubrotsflötur sem vestan til kemur fram á 75 m dýpi (miðað við hafflötinn). Ekki er um stórvægilegan hraðamun að ræða en hljóðhraðinn í þessu neðra lagi mælist 2,8–3,8 km/s. Þarna er væntanlega um að ræða móberg eða vel samlímd setlög eins og koma fram neðan 200 m dýpis undir sjávarmáli í borholum í Vestmannaeyjum.

Frá vestri til austurs byrjar flöturinn með halla og dýpkar á hann til austurs þ.a. hann er á 140 m dýpi í 1 km vegalengd eftir línunni.

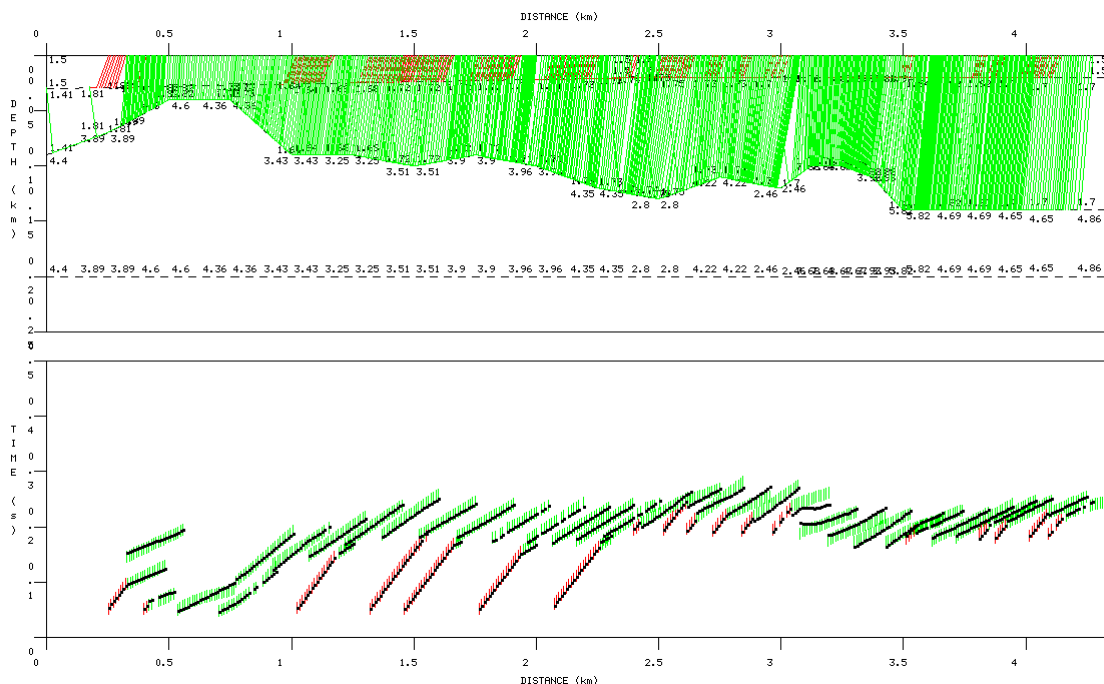
Eftir það grynast á flötinn en vegna lítils hraðamunar má þó eins segja að lagskiptingin verði ógreinileg. Þarna vottar fyrir eilítið auknum hraða með dýpi, en ætla má að lagskipting sé verulega óregluleg í móbergshraukunum. Þar sem hraði setlaganna undir Heimaey neðan 200–300 m dýpis mældust um 3,3 km/s (Guðmundur Pálmason o.fl. 1965) myndi varla greinast mismunur þeirra og þessarar móbergmyndunar.

Við túlkun línunnar náðist að herma mældu gögnin nokkuð vel og hvergi er um mikil frávik að ræða milli mælinganna og reiknaðra komutíma samkvæmt líkaninu (mynd 23).



**Mynd 24. Hraðalíkan fyrir VV2 frá vestri til austurs. Bláu punktarir sýna hvar hraðagildin mega breytast en rauðu kassarnir sýna hvar mörk jarðlaganna mega færast á meðan tölvan finnur bestu aðlögun mældra og reiknaðra komutíma.**  
*Velocity model calculated by the RAYINVR program. The blue dots are locations where velocity values are calculated and varied as the inversion process goes on. The red boxes are locations where boundaries of the refractor are allowed to move up and down to improve the fit.*

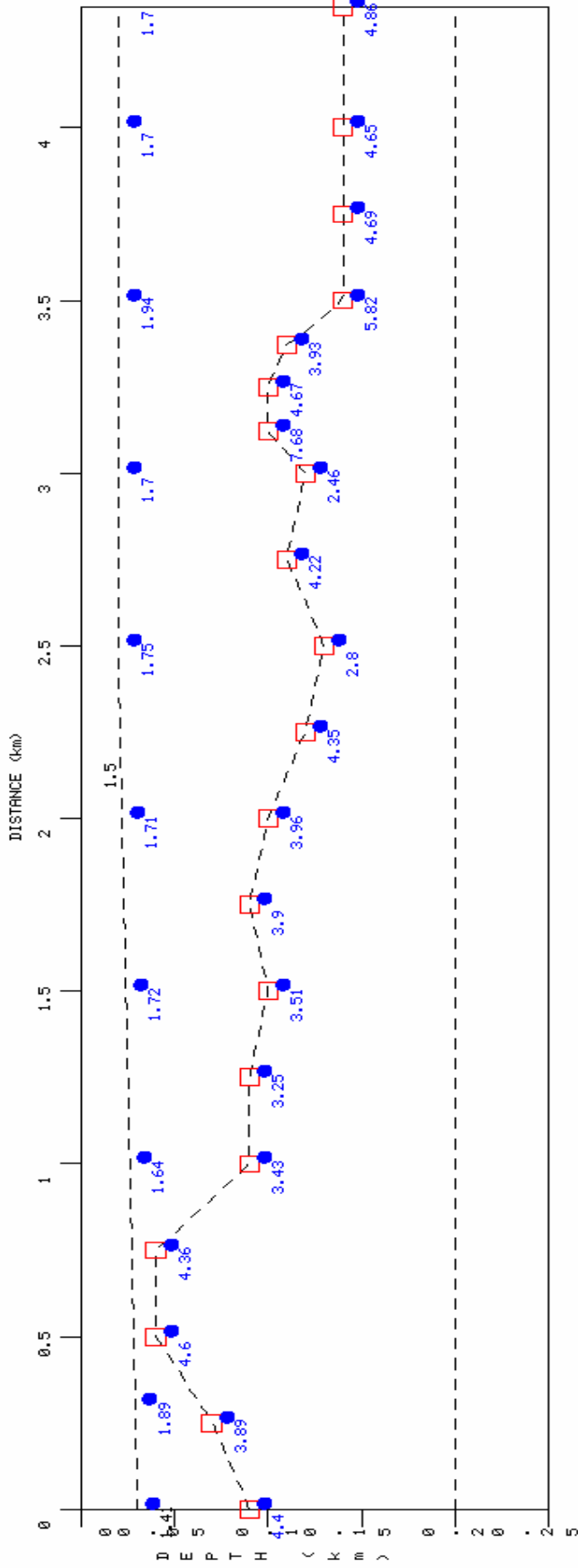
### 5.4.3 VV3



**Mynd 25.** Geislagraf yfir túlkun línu VV3. Neðri hluti myndarinnar sýnir sýnirhvornig reiknaðir ferðatímar (svartir punktar) falla að mældum. Rauðu geislarnir sýna fer hljóðbylgjunnar um hafsbotslagið og grænu geislarnir sýna ferð hljóðsins um neðri bylgjubrotsflötinn.

Ray diagram for the interpretation of the VV1 profile. The red rays are the ones travelling in the marine bottom layer and the green ones travel in the lower refractor. The lower part of the picture shows both measured and calculated (black dots) travel times.

Sniðið liggur frá vestri til austurs 1–3 km undan Landeyjasands og er túlkað hraðalíkan birt á mynd 26. Mælingarnar gefa til kynna greinilegan berggrunnsflöt þar sem hraðinn svarar víðast hvar til hljóðhraða í basalhraunum, en sums staðar gæti verið um að ræða þétt móberg. Einnig er greinilegt að hljóðhraðinn í hafsbotslaginu er lágur og er dæmigerður fyrir laus setlög. Túlkun gagnanna sýnir að vestast, þar sem hraðinn í berggrunnslaginu er 3,9–4,6 km/s, er efsti hluti þess á um 40 m dýpi (miðað við sjávarborð) þar sem grynst er, en þar er hafdýpið um 25 m. Austar dýpkar nokkuð niður á berggrunnsflötinn og er hann á bilinu 90–140 m dýpi. Á bilinu 1–1,5 km mælist hljóðhraði um og neðan við 3,5 km/s sem svarar til þétts móberg eða ungra óummyndaðra basalhrauna. Segulmælingarnar ná út yfir þessa línu, og sýna að sterkt jákvætt segulfrávik er yfir hnúknum í vesturendanum, en yfir lághraðaberginu er neikætt frávik og sléttara. Eðlilegt er að túlka þetta sem skörp mót þéttra hrauna eða innskota og setmóbergs. Við 2,5 km og 3,0 km kemur líkanið upp með staðbundinn lágan hraða sem erfitt er að útskýra en einmitt á þessu bili næst ekki gott samræmi á milli gagna og útreiknaðs ferðatíma. Þrátt fyrir ítrekaða yfirferð frumgagna náðist ekki að lesa út úr þeim meiri hraða en hér kemur fram. Ef þessir lágu hraðagildi eru raunverulegir gætu þau bent til brotasvæða í berggrunni. Frá 3,5 km og austur línuna koma fram greinileg gögn um þétt basalhraun þar sem hljóðhraðinn er að mælast á bilinu 4,7–5,8 km/s á allt að 140 m dýpi.



**Mynd 26.** Hraðalíkan fyrir WV3 frá vestri til austurs. Bláu punktarir sýna hvar hraðagildin mega breytast en rauðu kassarnir sýna hvar mörk jarðlaganna mega færast á meðan tölvun finnur bestu aðlögun mældra og reiknaðra komutíma.

Velocity model calculated by the RAYINVR program. The blue dots are locations where velocity values are calculated and varied as the inversion process goes on. The red boxes are locations where boundaries of the refractor are allowed to move up and down to improve the fit.

## 6 UM LEKT Í BERGI Á HEIMAÆY

Samkvæmt mælingum í borholum sem staðsettar eru á Eiðinu á Heimaey kemur fram allmikil lekt í móberginu sem þær fara í gegnum. Upplýsingar og beinar mælingar eru af skornum skammti og er umfjöllunin þar af leiðandi frekar almenns eðlis. Í umfjölluninni hér á eftir er víða vísað til dýpis í borholum og er þá alltaf átt við dýpi mælt frá holutoppi nema annað sé tekið fram. Í stórum dráttum er berggrunnur eyjanna ungur og það út af fyrir sig bendir alla jafna til töluverðrar lektar. Þarna er að finna móberg myndað við gos í sjó, nútímahraun, sem runnið hafa í sjó fram og síðan á þurru og setlög uppbyggð af efni sem til varð við rof á gosefnunum.

*Nútímahraun* eru alla jafnan verulega lek þegar á heildina er litið. Í miðju þeirra er oftast þéttur kjarni en í yfirborðs- og einkum botnkarga er oftast ákaflega mikil lekt. Svipaða sögu er að segja um bólstraberg og líklega bólstrabrotaberg.

*Móberg* er myndað í jökli eða neðan sjávar og lektin í því er ýmist sáralítill (t.a.m. í vel samlímdu túffi) eða mikil (eins og í bólstrabergi eða einhverju ruslbergi).

*Setlög* geta verið misgróf og lekt þeirra er eftir því mismikil. Oft skiptast á gróf og fínkornótt lög, sem valda gjarnan misleitni í lekt.

Á Heimaey fellur mikil úrkoma, eða um 1590 mm á ári að jafnaði, sem gróft séð gæti samsvarað 50 l/s heildarafrennsli af hverjum ferkílómetra. Afrennsli á yfirborði er nær ekkert og sú úrkoma, sem ekki gufar upp sígur í jörð að mestu leyti. Öll þessi úrkoma ætti að geta myndað allþykka grunnvatnslinsu, líkt og til að mynda gerist í hraunabankanum á Reykjanesskaga, þar sem aðstæður eru annars með samanberanlegum hætti. Ferskvatnslinsuna (fljótandi ofan á jarðsjónum) vantar hins vegar nokkurn veginn alveg í Eyjum. Margar grunnar holur hafa verið boraðar; fáeinar eftir ferskvatni en þó fleiri eftir jarðsjó upp á síðkastið. Flestar sjóholurnar eru niðri í bænum sjálfum en uppi í nýja hrauninu eru allmargar rannsóknarholur.

Ferskvatnslagið niðri í bænum hefur verið talið vera rúmlega 50 cm þykkt (Snorri P. Snorrason, 1982) og er þá átt við vatn, sem hefur innan við 15% af seltu sjávar. Slíkt vatn er í raun alveg ódrekkandi þannig að ferskvatnsþykktin er töluvert ofmetin. Þetta var í megindráttum staðfest með seltumælingum og úttekt á öllum þeim holum, sem í varð komist árið 2002, þó þykktin á þessu blandvatni hafi þá ekki verið mæld eins ofurnákvæmlega og fyrr var gert (Þórólfur H. Hafstað o.fl., 2002). Jarðsjó er afar auðvelt að fá úr holum í Vestmannaeyjabæ og hafa allmargar sjóholur bæst við síðan þessi úttekt var gerð og síðast fjórar sumarið 2005.

Í frekar einfaldaðri mynd birtist flotjafnvægi ferskvatns og sjávar þannig, að ef grunnvatnsborð (í holu) mælist 1 m ofan við (meðal)hæðina yfir sjávarmáli, þá má búast við að í holunni sé orðinn allt að fullsaltur jarðsjór á tæpum 40 m neðan vatnsborðs. Ef jarðlög eru illa vatnsgeng, stendur grunnvatnsborð tiltölulega hátt, ekki síst ef úrkoma, sem á landið fellur, er mikil. Hins vegar hripar úrkoman greiðlega niður í lek jarðlög og sameinast grunnvatni og jarðsjó fljótt og vel og vatnsborðið hækkar sáralítið þrátt fyrir ábótina vegna lektarinnar. Hér verður að auki veruleg uppblöndun ferskvatns og jarðsjávar; kannski vegna mikilla áhrifa sjávarfallanna, en stundum þykir það líka benda til að lóðrétt lekt sé álfka mikil og sú lárétta.

Hægt er að gera grein fyrir vatnsleiðni jarðlaga milli hafs og borholu með mælingum á dempun og seinkun sjávarfallasveiflunnar. Þannig mælingar hafa verið gerðar á vegum Hitaveitu Vestmannaeyja (Snorri P. Snorrason, 1982). Athuginin beindist helst að þremur holum í bænum (í Löngulág; við Kirkjubæjarbraut og Heimatorg) en þær eru

allar boraðar í Helgafellshraunið. Niðurstaða sjávarfallamælinganna benti til mjög mikillar leiðni (transmissivity); eða ca. 5 m<sup>2</sup>/s. Þessi niðurstaða virðist nokkuð áreiðanleg og ekki er umtalsverður munur á útkomunni, hvort heldur sem reiknað er samkvæmt seinkun eða dempum bylgjunnar. Svona mikil lekt þekkist í nútímahraunum, sbr. tölur í viðauka (Árni Hjartarson, 1994). Á þessum slóðum er líklegt að hraunið hafi runnið í sjó fram. Líklegt er að myndast hafi bólstraberg neðan sjávarborðs en beltaskipt hraun síðan hlaðist upp eftir að á þurrt var komið. Veitirinn (aquiferinn) er sem sé að verulegu leyti hríplekt hraun og kargi og jafnvel bólstraberg. Ekki er vitað um hver þykktin á Helgafellshrauninu er þarna. Undir því og neðan sjávarmáls eru sjávarsetlög ríkjandi. Reiknað er með svipaðri lekt í Eldfellshrauni þar sem það nær niður fyrir sjávarmál. Til þess benda t.a.m. niðurstöður skammtímadælingar ( $T > 0,1 \text{ m}^2/\text{s}$ ) (Sæþór L. Jónsson o.fl., 1987). Sjávarfallamæling gaf heldur lægra gildi þá. Þarna mælist sáralítill niðurdráttur við úrdælingu (Þórólfur H. Hafstað, 2005).

Niðurstaðan varðandi hraunin er því sú, að þrátt fyrir mikla úrkomu er grunnvatnsborð sem næst við sjávarmál. Fersk grunnvatnslinsa myndast ekki svo heitið geti. Ástæðan er líkast til mikil vatnsleiðni (og lekt) jarðlaga, sem liggja neðan sjávarmáls. Eftir þeim flæðir sjór til þess að gera óhindrað inn undir eyjuna. Þetta gildir í það minnsta hvað varðar hraunin (Helgafells- og Eldfellshraun). Ekki er vitað um þykkt þeirra en hún er mismikil.

Lektin í undirstöðum móbergsmýndananna er þó vafalaust töluvert minni en í hraununum, en um það er í raun minna vitað þrátt fyrir að nokkrar borholur hafi verið beinlínis boraðar niður í móbergsmýndanir á Heimaey. Inn af Friðarhöfn ná nokkrar grunnar holur stutt ofan í móbergið (Háin) og einnig djúpa holan frá 1964; HB-1. Gerð var ýtarleg grein fyrir borun hennar á sínum tíma (Guðmundur Pálmason o.fl., 1965) en efstu og lekustu lögin voru fóðruð af niður í 190 m. Um lekt í þeim er því ekki nógu mikið vitað. Þá var holan FH-4 boruð niður í 120 m dýpi á Eiðinu árið 2002, alveg austur undir Heimakletti og væntanlega ofan í móberg, sem kennt við klettinn (Haukur Jóhannesson, 2002). Hún er fóðruð í 50 m. Svarf úr henni finnst ekki og frekar lítið er á dælingu úr henni að græða. Þá ber að nefna nýju holuna, HH-8, sem boruð var síðast liðið vor, en neðan hraunlaganna sker hún móbergsmýndanir og nær ofan í setlögina á tæplega 200 m dýpi (sjá mynd 1).

**Hola HB-1** undir Hánni í um 10 m y.s.: Upplýsingar eru dálítið misvísandi hvað lekann varðar í efsta hluta djúpu holunnar en þó er ljóst að hann er víðast sáralítill neðan fóðringar, sem nær í 190 m. Um efstu 80 metrana segir: “Á þessum kafla var borað í gegn um mörg hraunlög. Var oft mikill leki og þurfti oft að steypa í holuna til að þetta hana” (Guðmundur Pálmason o.fl. 1965). Ef eitthvað marktækt er unnt að álykta um lekt samkvæmt svarfgreiningu má benda á að á þessu bili er sandur og túff áberandi, en tvisvar greinist svarfið vera (glerjað) basalt og í bæði skiptin kemur fram, að þar boraðist hratt (19–28 m og 40–52 m). Ekki þykir ósennilegt að hér gæti verið um bólstraberg að ræða eða eitthvað því um líkt og þá eftir því lekt (allt að 0,1 m/s). Verra er að gera sér grein fyrir lekt í kraðaki af móbergstúffi og sandi/sandsteini en venjulega er lítið á að þar sé lektin mun lakari (minni en 0,001 m/s). (Árni Hjartarson 1994). Fiskhellamóberg myndar hér berggrunn (Haukur Jóhannesson, 2002) og er leki víða mikill og töluverður ofan 80 m en óvissara um bilið þaðan niður í 190 m. Efalauft er lektin ærið misjöfn þarna og væntanlega eru sum af setlögum illa eða alls ekki samlímd og gæti þess vegna verið um ósamlímdan vikurbunka að ræða. Samkvæmt svarfgreiningu eru þau víða laus í sér og þurfa þess vegna fulla styrkingu ef göng yrðu gerð gegn um þau án tillits til leka-vandamála. Neðan 190 m virðist bergið jafnan þéttara en þar er komið í gömul samlímd setlög.

**Hola FH-4** undir Heimakletti var boruð að því virtist stórvandræðalaust niður í 50 m dýpi enda var það gert með borleðju og hjólakrónu. Fyrir bragðið er nánast ekkert að fréttu um lekt og stæðni utan það að á 16–18 m dýpi varð algjört skoltap; sem sagt verulegur lekastaður, sem svo þéttist af gelinu. Síðan var borað í allhörðu (mó)bergi niður í 86 m en þá jókst vatn í gjallkenndu bergi. Holan varð 120 m djúp og neðstu 5 m í hrynjandi (lausum) sandi. Loftdæling gaf um 30 l/s af 12°C sjó, og bendir hitaferill til að allur vökvinn komi úr vatnskerfi neðan við 86 m. Hegðun vatnsborðs eftir dælingu og hitastig vökvans þykir benda til að þarna sé allstór (láréttur) vatnsleiðari. Ályktunin er því eins og vænta má að í rótum Heimakletts sé ýmist þétt móbergstúff með lekum (bólstrabergs?) lögum inn á milli og neðan við 100 m endar holan í hrungjörnum sandi af óþekktum uppruna. Ekki er annað vitað en hann sé bærilega vatnsleiðandi og gæti því verið um vikurlag að ræða sem verður að sandsalla við borun.

**Hola HH-8** er í undirhlíðum Helgafells í um 100 m hæð y.s., eins og sýnt er á sniðinu á mynd 1. Rétt neðan við sjávarmál borast hún niður úr Helgafellshrauninu ofan í (þétt?) móbergstúff, sem neðar breytist í þykkt (og lekt) bólstrabergslag. Aftur greinist móbergstúff rétt ofan við lagamótin við setlagabunkann, sem hér virðist koma fram um 180 m neðan við sjávarmál. Helstu lekastaðirnir eru sagðir vera uppi í hrauninu, sem vonlegt er og síðan einnig niðri við setlögin. Ef að líkum lætur er lektin líka mikil í bólstraberginu, en við borun er ekki víst að lekabreytingarnar komi eins glögg fram, þar sem ekki er um að ræða snöggsbornar „æðar“. Í bólstrabergi er um samfellda (og mikla) lekt að ræða, sem ekki berður vart á sama hátt. Samkvæmt viðteknum hugmyndum um mögulega vatnsleiðni (transmissivity) í bólstrabergi gæti hún verið á bilinu 1,0–0,001 m<sup>2</sup>/s í þessum ca. 100 m þykka bólstrabunka, sem þar er inni á milli túfflaganna (Árni Hjartarson, 1994).

Í stuttu máli má segja þetta um lektina í efstu 200 m jarðar neðan sjávarmáls undir Heimaey út frá holum:

- Hraunin á Heimaey eru verulega lek og neðst í þeim er líkast til bólstraberg, sem er líkast til mjög hrungjarnt. Þykkt þessa bergs er óþekkt en mismikil.
- Móbergsmýndanir eru ýmist þéttar og ábyggilegar ellegar töluvert mikið lekar og hrungjarnar. Ýmist er þétt túff en á milli er lítt samlímdur sandur, sem ekki er vitað um lekt á, ef þetta reynist vera vikur er hún mikil.
- Setlögin sem holurnar fara í gegnum neðan 200 m dýpis undir sjávarmáli virðast vel þétt. Ekkert er visst um stæðni þeirra.

## 7 SAMANTEKT

1. Rannsóknir í Austur-Landeyjum hafa leitt í ljós að grynnt er á berggrunn á svæðinu vestur af Krossi. Dýpið er þar svolítið breytilegt en minnst mælist það 35–40 m. Ein eldri mæling (Hreinn Haraldsson og Hans Palm, 1980) gaf til kynna 50 m dýpi sunnan við Kross, og er hér samræmi á milli. Vegalengd milli lands og Eyja er mun styttri austar í sveitinni en þar er mun dýpra á berg en við Kross. Samkvæmt samtúlkun segulmælinga og bylgjubrotsmælinga er þar allt að 200 m dýpi, og er það í samræmi við fyrri rannsóknir (Björn A. Harðarson og Hreinn Haraldsson, 2000). Þarna austan til fannst grynntur punktur um 1,5 km norðan við Bakka þar sem er um 60 m dýpi á klöpp. Að því gefnu að sem grynnt verði að vera á klöpp við gangamunna má ætla að ekki finnist vænlegur staður austan við Kross.
2. Jarðlög ofan á berggrunninum í A-Landeyjum hafa lágan hljóðhraða og eru líklegast gerð að mestu úr lausum eða lítt samlímdum sandi og leir. Þó benda sumar mælingarnar til að sums staðar sé setið heldur betur samlímt á dýpi.
3. Þar sem grynnt er á berggrunn í A-Landeyjum, vestan við Kross, er hraði í berggrunni mjög hár, víða yfir 5 km/s, og jafnframt eru þar áberandi toppar í segulsviði. Þetta þykir benda til þess að berggrunnurinn sé að talsverðu leyti úr innskotum á þessum slóðum. Utan segulsviðstoppanna mælist hljóðhraði þar 3,3–4,0 km/s sem bendir til þéttra setlaga og móbergs eða ungra lekra hraunlaga. Því er líklegt að segultopparnir tákni kjarna ungra en rofinna eldvarpa í jarðlagastafla sem að öðru leyti svipar til þess sem finnst í næstliggjandi borholum.
4. Bylgjubrotsmælingar í sjó sýna að dýpi á fastan berggrunn á leiðinni milli lands og Eyja er allt að 170 m þar sem það er mest. Ofan þess eru allþykk setlög nema næst Heimaey þar sem móberg Vestmannaeyjamyndunarinnar er ekki hulið lausu seti.
5. Berggrunnurinn á hafsbotni næst Eyjum er gerður úr jarðmyndunum svipuðum og eru á Heimaey þó líklega sé hann heldur lausari og lekari. Ofan til í honum er hraðinn fremur lágur sem bendir til fremur lausrar og lekrar móbergsmyndunar svipað og kemur fram í borholum á Heimaey á 0–200 m dýpi undir sjávarmáli.
6. Norðurmörk móbergs Vestmannaeyjamyndunarinnar á yfirborði berggrunnins virðast liggja um 3,5 km norðan við upphaf mællínu VV1, þ.e. um 4,2 km norðan við Heimaey. Norðan við þessi mörk taka við jarðlög efst í berggrunni sem svara til bylgjuhraða í fremur ungum, lekum og lítt ummynduðum basalt-hraunum. Um þykkt þeirra er ekki vitað, þau þurfa ekki að vera meira en nokkurra tuga metra þykk til að koma fram í mælingunum og því vel hugsanlegt að þau séu fremur þunn og undir þeim séu setlög líkt og neðan 200 m undir Heimaey. Þessar niðurstöður tryggja því ekki að hraunlögin nái niður á það dýpi sem jarðgöng þyrftu að liggja í. Til þess að kanna það betur þyrfti mun ítarlegri bylgjubrots- og endurkastmælingar. Það er hins vegar ekki unnt að útiloka alveg að þessi hraðar geti komið frá mjög þéttu móbergi þótt það teljist ólíklegt. Í því tilviki næði Vestmannaeyjamyndunin um 3 km norðar.
7. Jarðlagagreiningar úr borholum í nágrenni Landeyja sýna að þar er lítið um hraunlög í efstu 300 m jarðar og þau sem finnast eru fremur þunn. Ætla má að þau sem finnast séu stakir hraunstraumar sem runnið hafa til sjávar frá gosstöðvum langt inn í landi líkt og t.d. Þjórsárhraunin, sem renna til sjávar í Flóanum. Í þessu sambandi má benda á að 20 m þykkt hraunlag liggur í setlaga-



bunkanum rétt ofan 200 m dýpis í Þykkvabæ, þ.e. á samsvarandi dýpi og líkleg hraunlög sem eru undir lausu setlögnum undir línu VV1. Þetta gefur ástæðu til að hafa þann möguleika í huga, að basalt hraunlögin, sem mælingar benda til að séu undir setlögnum á mið og nyrðri hluta VV1 kunni að vera þunn og neðan þeirra geti aftur komið setlög, túff og móberg.

8. Á bilinu 6–7 km frá upphafi línu VV1, sem er á og í kringum Sandagrunn, sést hár hraði í berggrunni sem bendir til þess að berggrunnurinn þar sé úr þéttum hraunum eða innskotum.
9. Upplausn mæliaðferðarinnar sem beitt var nægir ekki til að segja til um hugsanleg brot og sprungusvæði í berggrunni og eru því alls ekki fullnægjandi til að byggja á neins konar verkhönnun jarðganga.
10. Athuganir á gögnum sem aflað hefur verið í tengslum við borholur á Heimaey benda til þess að í efstu 100–200 m jarðlaga þar megi vænta þess að fá blöndu af vel þéttu móbergi og mjög lekum og hrungjörnum gosmyndunum.

Í stuttu máli leiða mælingarnar sem gerðar voru og athuganir á borholum á Heimaey til eftirfarandi ályktana:

- Jarðgöng sem lægju milli Kross í A-Landeyjum og Heimaeyjar gætu á drjúgum hluta leiðarinnar milli lands og Eyja legið í blöndu af bergi úr setlögum, móbergi með innskotum í og basalhraunum.
- Miðað við jarðlagaskipan í næstliggjandi borholum verður að hafa í huga að jarðlög á því dýpi sem jarðgöngin myndu liggja í þyrftu ekki að vera eins og þau sem mælast í efsta hluta berggrunnsins.
- Á uppkomustað hugsanlegra jarðganga við Kross þurfa þau að liggja gegnum 35–40 m þykk laus setlög en þar fyrir neðan eru jarðlög líkast til úr innskotum, (e.t.v. kjörnum ungra eldstöðva) í móbergs- og setlagastafla.
- Á þeim hluta jarðganganna sem næst lægi Heimaey þyrftu þau að fara í gegnum um 200 m þykka óreglulega jarðmyndun úr móbergi, túffi og bólstra-bergi með lausum sandlinsum inn á milli. Hluti þessar myndunar er bæði hrungjarn og mjög lekur. Til að koma jarðgöngum upp gegnum þessa 200 m þykku jarðmyndun með eðlilegum veghalla þyrftu göngin að liggja í þessari jarðmyndun á 4–5 km löngum kafla.

Þessar upplýsingar nægja vonandi til að unnt sé að meta gróflega tæknilega eiginleika og kostnað við gerð ganganna og segja til um hvort það sé fjárhagslega skynsöm framkvæmd.

Ef ákveðið verður að halda áfram við þetta verkefni þarf næst að leggja í mjög viðamiklar og kostnaðarsamar rannsóknir til undirbúnings verkhönnunar á göngunum. Þær rannsóknir myndu t.d. þurfa að innifela endurkastmælingar og mun nákvæmari bylgjubrotsmælingar milli lands og Eyja og við uppkomustað gagnanna í Landeyjum en einnig talsverðar boranir og lektarprófanir. Kostnaður við rannsóknirnar myndi eflaust hlaupa á hundruðum milljóna og þær gætu hugsanlega leitt í ljós atriði sem torvelduðu gangagerðina. Ljóst er að slíkar rannsóknir tækju talsverðan tíma, trúlega fáein ár, og þær verða ekki framkvæmdar með stöðluðum aðferðum heldur mælingum sem yrði að sérmiða við jarðfræðilegar aðstæður á þessum slóðum. Taka verður fram að jarðfræðilegar aðstæður þarna eru mjög frábrugðnar aðstæðum í dæmigerðum basalhraunastafla eins og t.d. í Hvalfirði, Fljótsdalsheiði eða í Færeyjum eða í bergmyndunum Skandi- navíu.

## 8 HEIMILDIR

- Ármann Höskuldsson, 2003: Marine geophysical surveys around the island of Heimaey, Iceland. Preliminary report, 10 s.
- Árni Hjartarson, 1994: *Vatnafarskort og grunnvatnaskortlagning*. Ritgerð til meistara-gráðu við Háskóla Íslands.
- Baldvin Jónbjarnarson, Birgir Viðarsson, Björn Oddsson, Guðmundur Sigurbergsson, Guðni Karl Rosenkjær, Halldór Ö. Stefánsson, Sæmundur A. Halldórsson og Þorbjörg Ágústsdóttir, 2005: *Jarðeðlisfræðileg könnun 2005*. Eðlisfræðiskor Háskóla Íslands, 83 s.
- Björn Harðarson og Hreinn Haraldsson, 2000: *Vegtenging milli Vestmannaeyja og lands*. Forkönnun. Vegagerðin.
- Guðmundur Ómar Firðleifsson, 2004: Dýpkun holu TM-5 í Þórsmörk. ÍSOR, geinargerð ÍOSR-04130, 7 s.
- Guðmundur Pálmason, Jens Tómasson og Jón Jónsson og Ísleifur Jónsson 1965: *Djúpbörun í Vestmannaeyjum*. Raforkumálastjóri. Jarðhitadeild og Jarðboranir ríkisins.
- Haukur Jóhannesson, 2002: *Vestmannaeyjar. Könnun á jarðfræði og tillögur um boranir eftir heitu vatni*. Orkustofnun, OS-2002/068.
- Hreinn Haraldsson, 1981: *The Markarfljót sandur area, Southern Iceland. Sedimentological, petrographical and stratigraphical studies*. Striae 15, 65 s
- Hreinn Haraldsson og Hans Palm, 1980: *A seismic investigation in the Markarfljót sandur area, Southern Iceland*. Striolae 2, 54
- Kjartan Thors og Jóhann Helgason, 1988: *Jarðlög við Vestmannaeyjar. Áfangaskýrsla um jarðlagagreiningu og könnun neðansjávareldvarpa með endurvarpsmælingum*. Hafrannsóknarstofnun, fjölrít nr. 16, 41 s.
- Kristján Sæmundsson, 1977: *Skýrsla um hitastigulsboranir á árinu 1976*. Orkustofnun, OS JHD 7731, 38 s.
- Kristján Sæmundsson, 1995: *Heitavatnslíkur í Skógum, Austur Eyjafjallahreppi*. Orkustofnun, greinargerð KS-95/02, 7 s.
- Palmer, D., 1980: *The generalized reciprocal method of seismic refraction interpretation*. Society of Exploration Geophysicist.
- Palmer, D., 1986: *Refraction seismics: the lateral resolution of structure and seismic velocity*. Geophysical Press
- Snorri P. Snorrason, 1982: *Grunnvatnsathuganir fyrir Hitaveitu Vestmannaeyja*. Orkustofnun, skilagrein OS82032/VOD20 B. 7 s, 8 m.
- Sæþór L. Jónsson, Guðni Axelsson og Hrefna Kristmannsdóttir 1987: *Vestmannaeyjar. Dæluþrófun á holu VG-7*. OS-87039/JHD-23 B.
- Staff of Interpex Ltd, Golden, CO, 1990: *GREMIX Seismic Refraction Data Interpretation Software*. User's manual.
- Zelt, Colin A., 2004: *RAYINVR, Documentation and related programs*. <http://www.geoph.ubc.ca/people/gorman/rayin>
- Þórólfur H. Hafstað, Þorgils Jónasson og Sigurlaug Hjaltadóttir 2002: *Vestmannaeyjar. Borholur á Heimaey og mælingar í þeim*. Orkustofnun, grg. ÞHH-ÞJ-SHj-2002-13.
- Þórólfur H. Hafstað 2005: Hitaveita Suðurnesja. Um skolvatn vegna áformaðrar djúpbörunar í Vestmannaeyjum. Minnisblað frá 3. janúar 2005.

## SUMMARY IN ENGLISH

On basis of low-level aeromagnetic surveying conducted over the Landeyjar area, 10 refraction profiles were planned for investigating the depth to the basement rock and determining the P-wave velocities in the layers. To the west of the farm Kross strong magnetic anomalies of shallow origin were found. The seismic refraction experiment in that area measured the depth to the basement refractor to be 35–40 m at the shallowest and its sound velocity to vary from 4 km/s to 5.5 km/s, which is P–wave velocity corresponding to a highly dense basaltic rock, probably intrusions in this case. For data interpretation the generalized reciprocal method (GRM) introduced by Palmer (Palmer 1980) was applied where there was sufficient overlap in rays from opposite shots in the refractor. All depths are referred to the land surface.

Three profiles were taken offshore, VV1 between Vestmannaeyjar and the main land of Iceland, VV2 with east-west direction right north of Heimaey and VV3 with east-west direction near the shore. The scope of these surveys was to map refractor velocities and refractor elevation in order to estimate density of the basement rocks and the thickness of the unconsolidated sediments above them.

Along the profile VV1 the hyaloclastite/tuff formation found in Heimaey seems to reach about 3½ km north of the origin of line VV1, i.e. about 4.2 km north of Heimaey. Between 3½ km and 6½ km from the origin of the line, the P-wave velocity of the basement rock increases to 3.8–4.0 km/s. There the basement rock is interpreted as almost unaltered and rather porous basaltic lava but it is not possible to exclude packed and cemented hyaloclastite. In that case the Vestmannaeyjar formation reaches all the way out to 6½ km along VV1. In this context the Vestmannaeyjar formation refers to the basement surface.

The interval 6½ km–10½ km along the line VV1 is characterized by P-wave velocity as high as 4.8–5.5 km/s. This corresponds to velocity in rather dense and impermeable basaltic lava, but could as well be intrusion structures in hyaloclastite or sedimentary environment rather than conventional basaltic lava.

Beyond 10½ km the P-wave velocity generally lowers and is mostly in the range 4–5 km/s. The depth to the top of the basement varies from 150 m at 10½ km up to 75 m at 12½ km. This refers most likely to basement rock of young and porous basaltic lava. Figures 19, 20 and 21 show ray diagrams for the interpretation model displayed in figure 22.

Along the profile VV2 there was a clear indication that no loose sediments are present and the sound velocity in the sea bottom material corresponds to the one in hyaloclastite which is the main constituent of the Vestmannaeyjar formation. There is an indication of slight increase of velocity with depth. The interpretation model is shown in figure 24.

The profile VV3 shows the loose sedimentary layer and the deeper refractor comes out clearly with varying sound velocity which indicates variable basement rocks along the profile, but mostly dense material. The depth to the basement rock varies from 40 to 125 m depth from sea level and the interpretation model is shown in figure 26. A positive magnetic anomaly is associated with the basement high at the western end, suggesting similar geological formations as observed on land to the north.

Borehole data suggest that the Heimaey volcanic rock formation is very inhomogeneous in nature. Its characteristics change rapidly from one place to another in the sense that in

some places is very leaky (porous and/or fractured) and unstable. At Heimaey there is no build-up of a groundwater lens of fresh rainwater and the groundwater level is very close to sea level. Also, boreholes investigated on Heimaey point to leaky, fractured and collapsible formation down to 200 m.

1. Refraction seismic investigation has shown that near the farm Kross the depth down to a high velocity refractor is 35–40 m. This refractor is interpreted as the rock basement layer either consisting of intrusions in sedimentary and hyaloclastite host rock or dense and rather altered basaltic lava. Further east along the coast this depth is a lot greater.
2. In this shallow basement area the P-wave velocity is very high and the magnetic field also shows strong positive anomalies. This indicates a cluster of intrusion rocks in this area.
3. Surface layers at A-Landeyjar have a low P-wave velocity and are mostly made of loose or poorly cemented sand and/or clay.
4. Results of the refraction seismic survey between Vestmannaeyjar and the Iceland mainland show that the depth down to the basement rock is down to 165–170 m where deepest. On top of the basement there are sediments, except nearest to Heimaey where the sea bottom is part of the hyaloclastite formation building up that island.
5. The sea bottom near Vestmannaeyjar is made of similar rock formation as seen on Heimaey. Relatively low P-wave velocities which dominate the uppermost layering indicate a loose and possibly leaky hyaloclastite formation. According to borehole data this formation reaches down to 200 m.
6. The hyaloclastite formation of the Vestmannaeyjar type seems to extend 3½ km from the origin of line VV1. North of this border the P-wave velocity in the basement rock corresponds to young, porous and unaltered lava. Their thickness is not known but they might possibly be rather thin and overlaying similar sediment layers as detected below 200 m at Heimaey. The data are inconclusive.
7. Borehole data near to the Landeyjar (see the red dots on figure 3) show sedimentary rock down to 300–1000 m with few interbedded basaltic lava flows. This indicates that any basaltic layer along the possible tunnel route could possibly be underlain by hyaloclastite material and sediments.
8. Irregularities in seismic basement velocities indicate local geological anomalies (fractures/intrusion) but data resolution does not allow any small scale interpretation.
9. Borehole data gathered in various wells at Heimaey indicate that the uppermost 100–200 m of the ground layer can change between dense hyaloclastite and loose, leaky and collapsible volcanic material.

## VIÐAUKI

### Yfirlit um lekt og leiðni í íslenskum jarðlögum

Jarðlag	Lekt K m/s	Leiðni T m <sup>2</sup> / s (50 m þykkt)
Hraun og kargi	10 <sup>0</sup> - 10 <sup>-2</sup>	5 10 <sup>1</sup> - 5 10 <sup>-1</sup>
Meðal hraun	10 <sup>-1</sup> - 10 <sup>-3</sup>	5 10 <sup>0</sup> - 5 10 <sup>-2</sup>
Grágryti	10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>-4</sup>	5 10 <sup>-1</sup> - 5 10 <sup>-3</sup>
Bólstraberg	10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>-4</sup>	5 10 <sup>-1</sup> - 5 10 <sup>-3</sup>
Kubbaberg	10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>-4</sup>	5 10 <sup>-1</sup> - 5 10 <sup>-3</sup>
Grágr. og mób.	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-5</sup>	5 10 <sup>-2</sup> - 5 10 <sup>-4</sup>
Móberg	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-6</sup>	5 10 <sup>-2</sup> - 5 10 <sup>-5</sup>
Setberg	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-6</sup>	5 10 <sup>-2</sup> - 5 10 <sup>-5</sup>
Árkvarter stafli	10 <sup>-4</sup> - 10 <sup>-6</sup>	5 10 <sup>-3</sup> - 5 10 <sup>-5</sup>
Tertíer stafli	10 <sup>-5</sup> - 10 <sup>-7</sup>	5 10 <sup>-4</sup> - 5 10 <sup>-6</sup>
Ummyndað berg	10 <sup>-5</sup> - 10 <sup>-8</sup>	5 10 <sup>-4</sup> - 5 10 <sup>-7</sup>

(Freysteinn Sigurðsson, óbirt gögn. Sjá einnig Árni Hjartarson 1994).

**Staðsetning mællína á sjó. Lengdarhnitin sýna lengd mælda eftir viðkomandi línu eins og kemur fram á viðkomandi sniðum og í umfjöllum í texta.**

	Lengd (°)	Breidd (°)	Lengdarhnit, km
<b>Lína VV1</b>			
Suðurendi	-20,2885	63,4551	0,0
Sandagrunn	-20,3096	63,5271	
Norðurendi (ISOR-3)	-20,3258	63,5929	15,423
<b>Lína VV-2</b>			
Vesturendi	-20,30893	63,4514	0,0
Austurendi	-20,26355	63,4554	2,3
<b>Lína VV-3</b>			
Vesturendi	-20,38166	63,5715	0,0
Austurendi	-20,29163	53,5639	4,535