

Tilraun til að kanna suðusvæði í Svartsengi.
Bráðabirgðaskýrsla

Knútur Árnason

Greinargerð KÁ-94-01

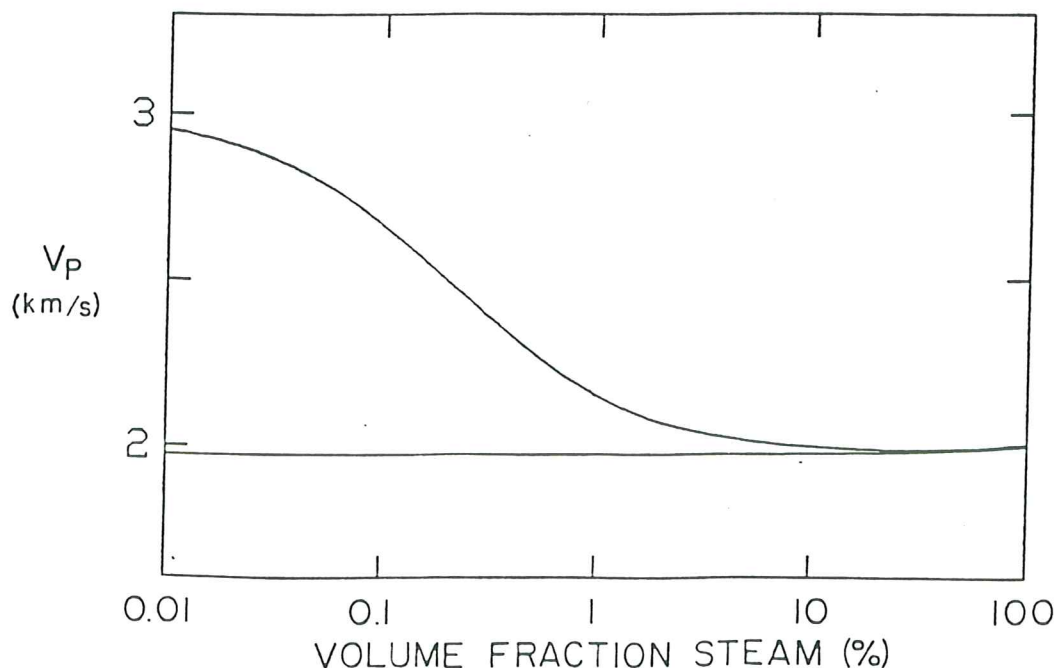
1994-01-4

TILRAUN TIL AÐ KANNA SUÐUSVÆÐI Í SVARTSENGI.

Bráðabirgðaskýrsla

Á fyrra ári var gerð tilraun til að kanna hvort sjá megi tilvist og útbreiðslu suðusvæðisins í Svartsengi með jarðeðlisfræðilegum mælingum á yfirborði. Þessi tilraun fólst í því að kanna breytileika í hljóðhraða bergsins undir Svartsengi, því ef gufa er til staðar í berginu ætti hún að hafa veruleg áhrif á hljóðhraðann.

Einar Kjartansson (1980) hefur kannað áhrif suðu á hljóðhraða í vatnsmettuðu bergi. Mynd 1 sýnir breytingar í hljóðhraða í bergi við 200 °C, sem fall af gufuhluta (í %) í porum bergsins. Gert er ráð fyrir að hljóðhraðinn í fullmettuðu bergi sé 3 m/ms (3 km/s) og 2 m/ms í þurru bergi. Efri ferillinn sýnir hvernig hljóðhraðinn breytist fyrir hljóðbylgjur með hárrí tíoðni þar sem ekki næst varmafræðilegt jafnvægi milli vatnsins og gufunnar í þrýstisveiflunum. Neðri ferillin sýnir hvernig hljóðhraðinn breytist fyrir hljóðbylgjur með mjög lágrí tíoðni, þar sem varmafræðilegt jafnvægi næst milli vatns og gufu. Það fer eftir tíoðni þrýstibylgnanna og stærð þora bergsins hvort og að hversu miklu leyti varmajafnvægi næst, en trúlega má gera ráð fyrir að við þær tíoðnir sem hér um ræðir sé hljóðhraðinn nær því að fylgja efri ferlinum en þeim neðri. Af mynd 1 er ljóst að hljóðhraðinn breytist verulega við það að suða verður í berginu og einungis virðist þurfa örlítinn gufuhluta til þess að hljóðhraðinn falli nánast niður í hraða í þurru bergi. Samkvæmt þessu ætti að vera vel mögulegt að sjá suðusvæðið með því að skoða breytingar í hljóðhraða og tilraunarinnar virði að reyna slíkt.



Mynd 1: Samband hljóðhraða og gufuhluta í bergi við 200 °C.

Tilraunin var gerð í tengslum við rannsókn á smáskjálftavirkni í Svartsengi. Liður í þeirri rannsókn var að framkalla skjálfta með sprengingum í og umhverfis vinnslusvæðið. Orkustofnun hafði um stundarsakir til afnota upptökutæki og kapal sem nota má til að nema jarðskjálfta- bylgjur í 48 nemum með 25 m milli nema. Ákveðið var að setja þessi tæki upp í Svartsengi og nema jarðskjálfta- bylgjur frá sprengingunum. Tilraunin var gerð í tveimur hlutum. Fyrri hlutinn fór fram dagana 15. og 16. júlí 1993 en seinni hlutinn 7. og 8. október 1993. Staðsetningar hlustunarkapalsins eru sýndar á mynd 2 ásamt sprengistöðum í nágrenni Svartsengis. Mynd 3 sýnir staðsetningar kapalsins og fjarlægari sprengistaði. Á þessum myndum merkir rómverska talan I legu kapals og sprengistaði 16-18. júlí, en II legu kapals og sprengistaði 7-8. október.

Dagana 15. og 16. júlí 1993 var hlustunarkapallinn var lagður meðfram gufulögninni að holum H-2 og H-3, fram hjá orkuverinu og til suðvesturs út eftir veginum í átt að Eldvörpum. Lengd kapalsins er 1175 m og var norðausturendi hans (rás 1) á mótis við holu SG-6 (sjá mynd 2). Jarðskjálfta- bylgjurnar frá sprengingunum voru skráðar stafrænt fyrir hvern hinna 48 nema með þar til gerðum upptökutækjum (söfnunarbíl 2 ms). Sprengitíma og upphafi skráningar var stjórnað af nákvæmum og samhæfðum klukkum þ.a. skráning hófst um leið og sprengt var. Reyndar var örlítið rek í klukkunum, en það var mælt að kvöldi vinnudags og með því að gera ráð fyrir jöfnu reki má finna tímamun klukkanna við hverja sprengingu.

Að kvöldi 15. júlí var sprengt á um 560 m dýpi í holu SG-4 og á um 40 m dýpi í kaldavatnsholu HSK-1 norður með Grindavíkurvegi. Meðan þessar sprengingar fóru fram var aðeins norðausturhelmingar kapalsins (rásir 1-24) virkur. Daginn eftir var allur kapallinn virkur (rásir 1-48) og var þá sprengt vestast í Blálóninu, í Grindavíkurhöfn og aftur í holu HSK-1.

Verulegar truflanir voru á þeim rásum sem næstar voru orkuverinu, einkum rásum 5-18. Í ljós kom að truflanirnar stöfuðu einkum af raflögnum nálægt orkuverinu sem spönuðu suð í nemunum. Suðið var með ráðandi tíðir 25 og 50 rið og var til verulegs бага, einkum 25 riða þátturinn. Hann er nálægt ríkjandi tíðni í sveiflunum sem verið var að mæla og því erfitt að fjarlægja hann með síun.

Myndir 4 til 7 sýna skráðar skjálfta- bylgjur frá sprengingunum 17-18. júlí. Mynd 4 sýnir skráð- ar bylgjur frá sprengingunni í holu SG-4. Eins og áður segir var einungis norðausturhelmingur kapalsins virkur við þessa sprengingu. Á lóðréttum ási myndarinnar er tími í sekúntum eftir að sprengt er og er búið að taka tillit til reks milli klukkna upp á um 37 ms. Á láréttum ás er númer rásar, en eins og áður segir eru 25 m milli rása og rás númer 1 er á norðausturenda kapalsins. Þar sem þetta skot er nærri kaplinum er merkið frá því sterkt og stendur vel upp úr suðinu. Á myndinni sést að fyrstu komutímar bylgna eru nokkuð óreglulegir. Ef hljóðhrað- inn væri sá sami í öllu berginu á leið hljóðbylgna frá skotinu að nemunum ættu fyrstu komutímar bylgna að mynda fleygboga (hyperbólu) með topppunkt í þeirri rás sem næst er skotinu (rás 8). Fjarlægð milli skotsins og næstu rásar er um 570 m og á mynd 4 er sýnd- ur fleygbogi svarandi til fyrsta komutíma bylgna frá skotinu ef hljóðhraði bergsins væri allstað- ar 2.75 m/ms. Á myndinni sést að komutímar bylgna víkja nokkuð frá þessum boga og er einkum áberandi að hljóðhraðinn virðist vera verulega lægri á rásum 10-20, en einnig virðist koma fram lægri hraði á rásum 7-9 og virðist lægsti meðalhraðinn vera um 2.55 m/ms.

Mynd 5 sýnir skráningu frá skoti á um 40 m dýpi í kaldavatnsholu HSK-1. Holan er um 1.2 km norðnorðaustur af norðausturenda kapalsins (sjá mynd 2) og það langt frá að suðið í kaplinum er farið að verða til бага. Gögnin á mynd 5 hafa verið síuð með lághleypisíu við 20 rið. Út frá breytingu í komutíma bylgna á ytri hluta kapalsins má áætla sýndarhraða upp á um 4.1 m/ms. Þar sem kapallinn myndar um 39° horn við stefnu að skotpunkti svarar þetta til meðalhljóðhraða upp á 3.1 m/ms, en vegna afstöðu skots og kapals verður þetta að teljast frekar ónkvæmt mat á hraða.

Mynd 6 sýnir gögn sem skráð eru við skot veastast í Bláalóninu, lágshleypisáðir við 20 rið. Þó að skotstaðurinn sé tiltölulega nálægt upptökukaplinum eru fyrstu komutímar merkisins ógreinilegir og á norðausturhluta kapalsins er merkið nánast horfið í suði. Ástæður þessa lélega merkis eru trúlega tvær. Önnur er sú að sprengjan var ekki nema á 1-2 m vatnsdýpi og stór hluti orkunnar fór í að þeyta vatnssúlu í loft upp. Hin ástæðan er trúlega að Bláa lónið sé falskt vatnsborð þ.a. milli þess og raunverulegs vatnsborðs á svæðinu sé bergið ekki fyllilega mettað vatni en við slíkar aðstæður deyfast skjálftabylgjur verulega.

Mynd 7 sýnir skráningu við skot í Grindavíkurhöfn í um 4.9 km fjarlægð frá miðju kapalsins. Gögnin hafa verið lágshleypsiúð við 20 rið. Bylgjan frá sprengingunni sést greinilega á fyrstu 7 rásunum og rásum 18 til 48 en þar á milli er hún ógreinileg vegna suðs. Til frekari glöggvunar hafa verið dregnar línur eftir tveimur samsvarandi bylgju toppum til að sýna hvernig topparnir koma fram á hinum mismunandi rásum. Af myndinni sést að greinileg seinkun kemur fram á fyrstu 10 rásunum en fer síðan minnkandi og er að mestu horfin á rás 23.

Hornið milli stefnu kapalsins og stefnu frá miðjum kapli að skotstað er 72° þannig að suðvesturendi kapalsins er um 360 m nær skotstað en norðausturendinn. Bylgjubrotsmælilína frá Grindavík að Vogum sýnir að hljóðbylgjur frá sprengingu í Grindavíkurhöfn og numdar eru um 5 km norðar hafa borist að mestu eftir jarðlögum með hljóðhraða um 4.0 m/ms. (Guðmundur Pálmason, 1971). Með því að gera ráð fyrir að bylgjur sem kapallinn nemur í mismunandi fjarlægð frá skotstað hafi borist mislangan veg eftir lagi með hraða 4 m/ms má reikna út mismun í komutíma þeirra til kapalsins. Bylgjan ætti að berast um 90 ms seinna að norðausturendanum (rás 1) en suðvesturendanum (rás 48) vegna þess að norðausturendinn er 360 m fjær og tímamunur fyrir aðrar rásir fæst með línulegri brúun. Á mynd 7 hefur verið dregin lína sem svarar til þessa tímamunar vegna mismunandi fjarlægðar frá skotinu.

Eftir að tekið hefur verið tillit til tímamunar vegna afstöðu skots og kapals verður samt eftir seinkun upp á um 120 ms á fyrstu 10 rásunum. Þessi seinkun sýnir ótvírætt að bylgjurnar sem numdar eru á norðausturhluta kapalsins hafa farið í gegnum jarðlög með lægri hljóðhraða en þær sem numdar eru á suðvesturhlutanum.

Ef gert er ráð fyrir að hraðinn sem fram kemur við skotið í holu HSK-1, um 3 m/ms, sé dæmi-gerður fyrir efstu 500-1000 m skorpunnar og að bylgjan fari í gegnum 500 m þykkt lág-hraðalag, svarar seinkun upp á 120 ms til hraða tæplega 2 m/ms í lághraðalaginu. Þetta er í grófum dráttum í samræmi við þá hraðabreytingu sem fram kemur við suðu í vatnsmettuðu bergi við hitastig 200°C og sýnd er á mynd 1.

Þó svo að skotið í Grindavíkurhöfn sýndi verulega seinkun á svæðinu um og austan við stöðvarhúsið í Svartsengi var ekki talið að hægt væri að slá því föstu að hún sé vegna suðu í bergi á þessum slóðum. Hún gæti hugsanlega verið vegna þess að bergið á þessum slóðum sé brotnara en vestar á svæðinu. Einnig er á það að líta að nokkurt ósamræmi er í gögnunum því að bylgjur frá skotinu í holu SG-4 sem fara beint upp í gegnum efstu 570 metrana benda til hraða á bilinu 2.55 til 2.75 m/ms sem er verulega hærri en hraðinn sem áætlaður er út frá seinkuninni á mynd 7.

Þessar niðurstöður þóttu þó benda eindregið til þess að rétt væri að gera frekari tilraunir af þessu tagi. Því var ákveðið að leggja hlustunarkapalinn meðfram Grindavíkurveginum og sprengja í Grænavatni og í sjó vestan Reykjanesskagans. Með því móti ættu hljóðbylgjur sem berast eftir háhraðalögum djúpt í jörðu (lagi 3) og brotna síðan til yfirborðs að fara upp í gegnum svæðið kringum holur H-2 og H-3 þar sem vitað er að suða er til staðar í jörðu. Ef um er að ræða verulegan gufuhluta í berginu á þessum slóðum, ætti að koma fram seinkun í komutíma bylgnanna borið saman við svæði þar sem gufa er ekki til staðar.

Dagana 7. og 8. október var kapallin lagður frá afleggjaranum að malarnámunum vestan í Svartsengisfelli og norður með Grindarvíkurveginum og er lega hans sýnd á mynd 2 og merkt sem II. Suðurhluti kapalsins (rás 1 er syðst en rás 48 nyrst) lá yfir það svæði þar sem gufa sést á yfirborði, en norðurhluti hans er vel fyrir utan það. Sprengt var í kaldavatnsholunni HSK-1 nærri norðurenda kapalsins (sjá mynd 2), Grænavatni í Krísuvík og skammt utan hafnargarðsins í Höfnum. Tveir síðastnefndu skotstaðirnir eru sýndir á mynd 3 ásamt staðsetningu kapalsins (merkt með II). Bylgjir frá skotunum voru skráðar á öllum 48 rásum kapalsins.

Mynd 8 sýnir skráningu við skot í kaldavatnsholunni HSK-1. Ekki sést nein seinkun við syðri hluta kapalsins. Út frá breytingu í komutíma bylgnanna með fjarlægð frá skotstað má áætla hljóðhraðann í berginu sem bylgjan fer eftir um 2.7-2.8 m/ms. Þetta er í þokkalegu samræmi við þann hraða sem fengist hafði áður, einkum frá skotinu í holu SG-4. Út frá skoti í HSK-1 og með kapalinn til SV frá virkjuninni fékkst nokkuð hærri hraði eða um 3 m/ms en sú ákvörðun er frekar ónákvæm vegna þess hve skotið er langt til hliðar við línu kapalsins. Út frá þessum tilraunum virðist því mega gera ráð fyrir að hljóðhraðinn í efsta hluta skorpunnar á Svartsengissvæðinu sé á bilinu 2.7 til 2.8 m/ms.

Mynd 9 sýnir skráningu frá skoti utan við hafnargarðinn í Höfnum (skotstaður er sýndur á mynd 3). Nokkurt suð var frá austustu vinnsluholunum og sést það greinilega á rásum 5 til 22, en gögnin hafa verið lágheypisíuð við 25 Hz. Fjarlægðin í skotstað er það mikil að það tekur bylgjurnar hátt í 3 sekúndur að berast að kaplinum. Tímakvarðanum er því hliðrað til þ.a. bæta þarf 2 s við tölurnar sem sýndar eru á lóðréttum ás myndarinnar. Fjarlægðin frá skotstað að miðjum kapli er um 14500 m og ferðatími bylgjunnar að miðjum kapli er um 3.333 s. Bylgjubrotsmæligögn frá utanverðum Reykjanesskaga (Guðmundur Pálmason, 1971) sýna að þegar fjarlægð milli skots og nema er orðin yfir 10 km er hljóðbylgjan farin að berast eftir lagi 3 með hraða um eða yfir 6 m/ms. Meðalhraðinn milli skots og nema er hinsvegar verulega lægri (4.3m/ms) vegna þess að á leið til og frá yfirborði fer bylgjan um lög með lægri hraða.

Hornið milli stefnu kapalsins og stefnu frá miðjum kapli að skotstað er 67° og er norðurendi kapalsins um 460 m nær skotstað en suðurendinn. Þessa sér greinilega stað á mynd 9 því bylgjurnar koma því seinna sem sunnar dregur eftir kaplinum. Með því að gera ráð fyrir að bylgjur sem kapallinn nemur í mismunandi fjarlægð frá skotstað hafi borist mislangann veg eftir lagi 3 má reikna út mismun í komutíma[B þeirra til kapalsins. Ef gert er ráð fyrir hraða í lagi 3 upp á 6 m/ms ætti bylgjan að berast um 75 ms seinna að rás 1 en rás 48 vegna þess að hún er 460 m fjær. Tímamunur fyrir aðrar rásir fæst með línulegri brúun. Á mynd 9 hefur verið dregin lína sem svarar til þessa tímamunar vegna mismunandi fjarlægðar frá skotinu. Á myndinni sést að fyrstu komutímar bylgnanna falla vel að þessari línu, sem þýðir að ekki er sjáanleg breytileg töl í jarðlögum undir kaplinum.

Mynd 10 sýnir skráningu frá skoti í Grænavatni (staðsetning skots er sýnd á mynd 3). Eins og áður er nokkurt suð frá borholum á rásum 5 til 22 og hafa gögnin verið lágheypisíuð við 25 Hz. Fjarlægðin frá skoti í kapalinn er um 17850 m og það tekur bylgjurnar tæpar 4.5 s að berast til kapalsins. Tímakvarðanum á mynd 10 hefur því verið hliðrað þ.a. bæta þarf 3 s við þan tíma sem lesinn er á lóðréttum ás.

Eins og sést á mynd 3 er stefna frá kapli til skots nokkurnveginn þvert á línu kapalsins (87°) þ.a. ekki þarf að gera ráð fyrir mismunandi ferðatíma í lagi 3. Mynd 10 sýnir engan áberandi mun í fyrstu komutímum bylgnanna eftir kaplinum og, ef nokkuð er, er ferðatími bylgna sem fram koma á syðri hluta kapalsins heldur styttri en á norðurhlutanum. Gögnum frá skotunum í Grænavatni og Höfnum ber því saman um að ekki er að sjá neina marktæka töl á hljóðbylgjum sem fara upp í gegnum gufusvæðið á yfirborði við austustu vinnsluholurnar borið saman við bylgjur sem fara upp í gegnum jarðlög norðan þess.

Þessi niðurstaða kom nokkuð á óvart því seinkunina sem fram kom í skráningunni á skotinu í Grindavíkurhöfn virtist meiga skýra með tilvist gufu í berginu í austurhluta vinnslusvæðisins og stærðargráða seinkunarinnar virtist passa nokkurnveginn við það sem við mátti búast út frá breytingum í hljóðhraða við suðu í bergi. Skráningin á skotunum í Höfnum og Grænavatni sýnir enga marktæka breytingu í hljóðhraða frá malarnámunum við Svartsengisfellið og norður undir HSK-1. Þar sem einungis eru um eða innan við 300 m milli norðausturenda kapalsins í lögn I (í júlí) og suðurenda hans í lögn II (í október) verður að teljast ólíklegt að verulegur munur sé á meðalhljóðhraða efstu nokkur hundruð metra jarðskorpunnar undir þessum tveimur stöðum, en úr því verður hugsanlega hægt að skera þegar unnið hefur verið úr öðrum skjálftamæligögnum frá síðasta sumri. Að því gefnu verður að gera ráð fyrir því að hljóðhraðinn í efstu hundruð metrnum sé verulega lægri á svæðinu undir lögn II og norðausturhluta lagnar I en undir suðvesturhluta lagnar I. Þá vaknar sú spurning hvernig túlka beri slíka niðurstöðu og kemur þá tvennt til greina.

Hugsanlega er suða í berginu undir mun stærra svæði en ætla má út frá ummerkjum á yfirborði, en gufusvæðið á yfirborði er einkum takmarkað við nágrenni austustu vinnsluholanna. Þetta er vel hugsanlegur möguleiki því eins og fram kemur á mynd 1 þarf einungis örlítinn gufuhluta í þorum bergsins til að lækka hljóðhraðann verulega. Vel má hugsa sér að sjóðandi jarðhitakerfinu sé haldið niðri af þéttu bergi nema kringum austustu holurnar.

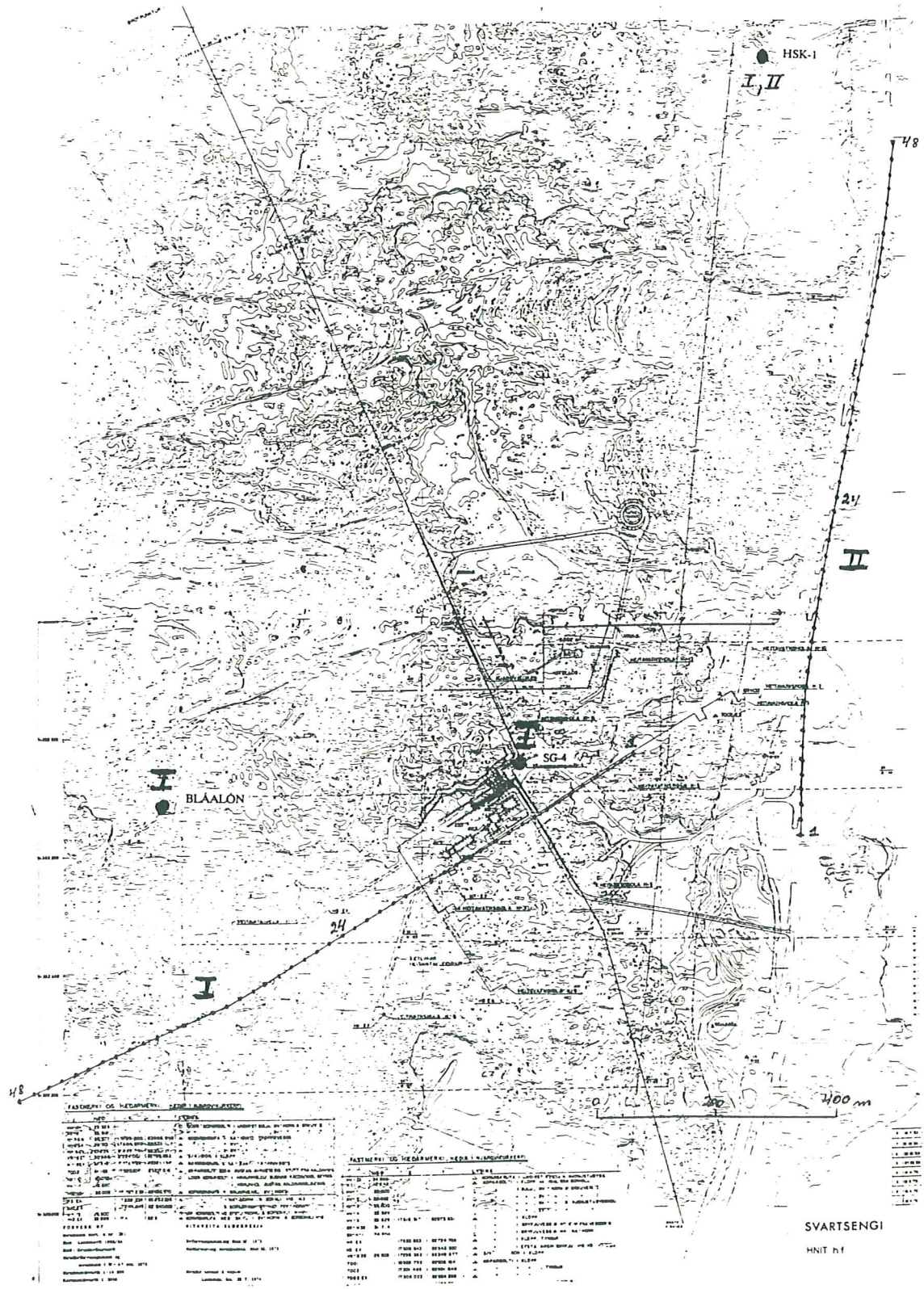
Annar möguleiki er að lægri hljóðhraði undir og norðaustan við virkjunið sé ekki vegna gufu í bergi heldur vegna þess að jarðfræðilegar aðstæður séu aðrar þar en vestar. Lægri hljóðhraða má hugsa sér að skýra með hærra hlutfalli móbergs og/eða mun brotnara bergi. Munur í hljóðhraða undir norðaustur- og suðvesturhluta kapalsins í lögn I virðist vera það mikill að hann verði varla skýrður með hærra hlutfalli móbergs austantil. Út frá áætluðum hljóðhraðamun í móbergi og hraunlögum virðist sem þar þyrftu að vera nokkrum hundruðum metra þykkri móbergslög en vestantil. Þessa sér ekki stað í jarðlagasniðum sem byggð eru á jarðlagagreiningu úr borholum (Hjalti Franzson, 1990). Þau sýna heldur minna mógerg í vestustu holunum (SG-9 og SG-11) en í holum austar, en sá munur er hvergi nærri nægur til að skýra þann mun sem virðist vera í hljóðhraðanum.

Ef berg er mjög brotið hefur það lægri hljóðhraða en ella. Austurhluti kapalsins í lögn I og allur kapallinn í lögn II gætu hugsanlega legið yfir brotarein með NA-SV stefnu sem hefur lægri hljóðhraða en bergið vestan hennar. Slíkrar brotareinar sér lítinn stað á yfirborði utan brota í þorbirni, en brot og misgengi á láglandinu geta verið hulin ungum hraunum. Á það verður þó að líta að til að fá jafn mikinn mun í hraða og hér virðist vera um að ræða þarf bergið að vera mjög brotið.

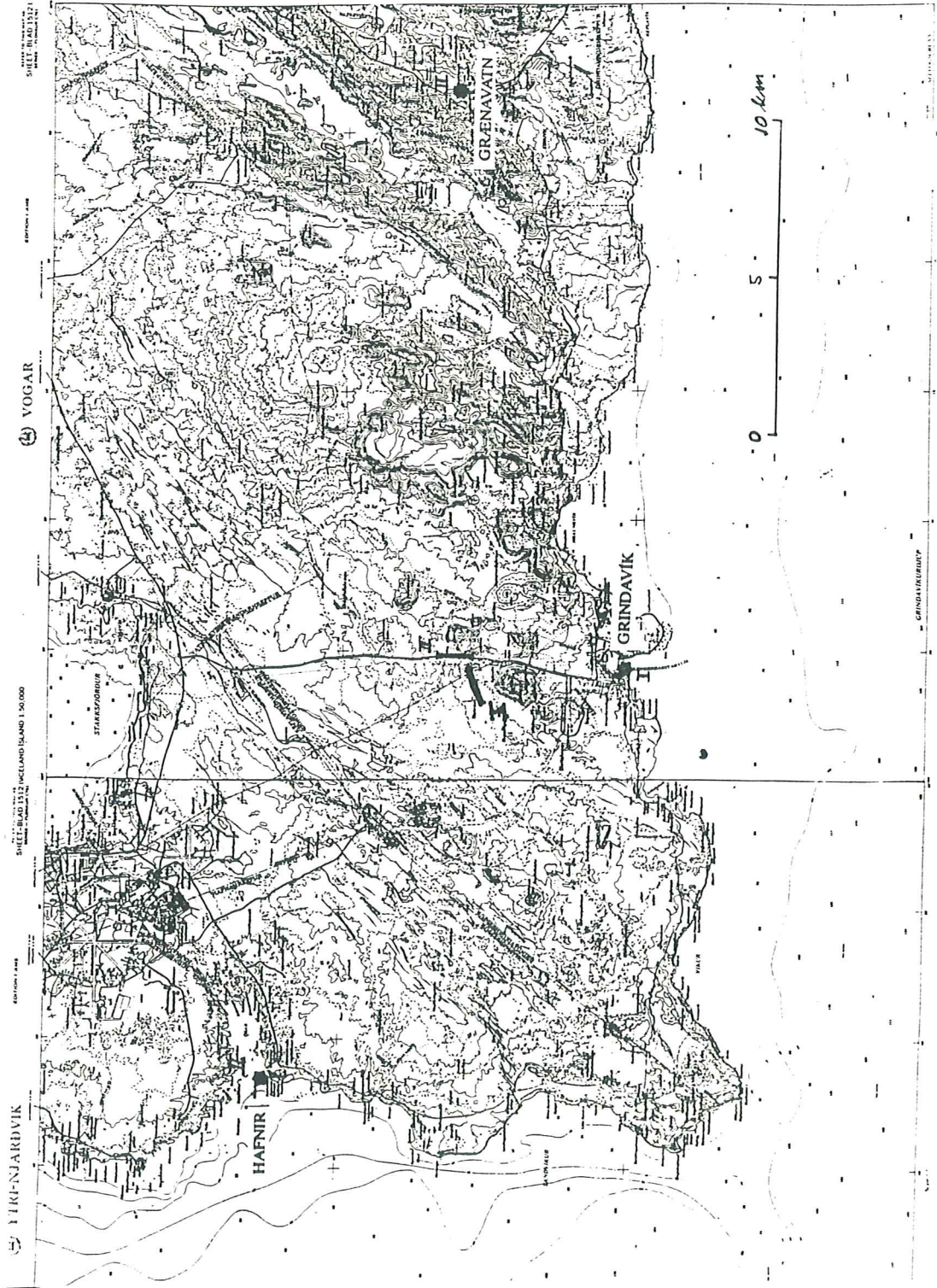
Niðurstaða þessara tilrauna er því sú að þær benda til þess að hljóðhraði í efstu nokkur hundruð metrum jarðskorpunnar við Svartsengi sé verulega lægri í austurhluta vinnslusvæðisins en vesturhluta þess. Ekki er ljóst hvort lágur hraði tengist suðu í bergi, en til þess að svo sé virðist þurfa að gera ráð fyrir að suðusvæðið sé verulega stærra en hingað til hefur verið talið. Sú tilraun sem hér er lýst var gerð með það fyrir augum að þreifa á vandamálinu með lágmarks tíma og tilkostnaði til að fá vísbendingar um hvort hljóðhraðamælingar gætu nýst við kortlagningu suðusvæðisins. Til að fá úr því skorið hvort hinn lági hraði tengist suðu í berginu þarf að kortleggja útbreiðslu lághraðasvæðisins mun betur en gert hefur verið og gera líkanreikninga þar sem tekið er tillit til fyrirliggjandi gagna úr borholum á svæðinu.

HEIMILDIR

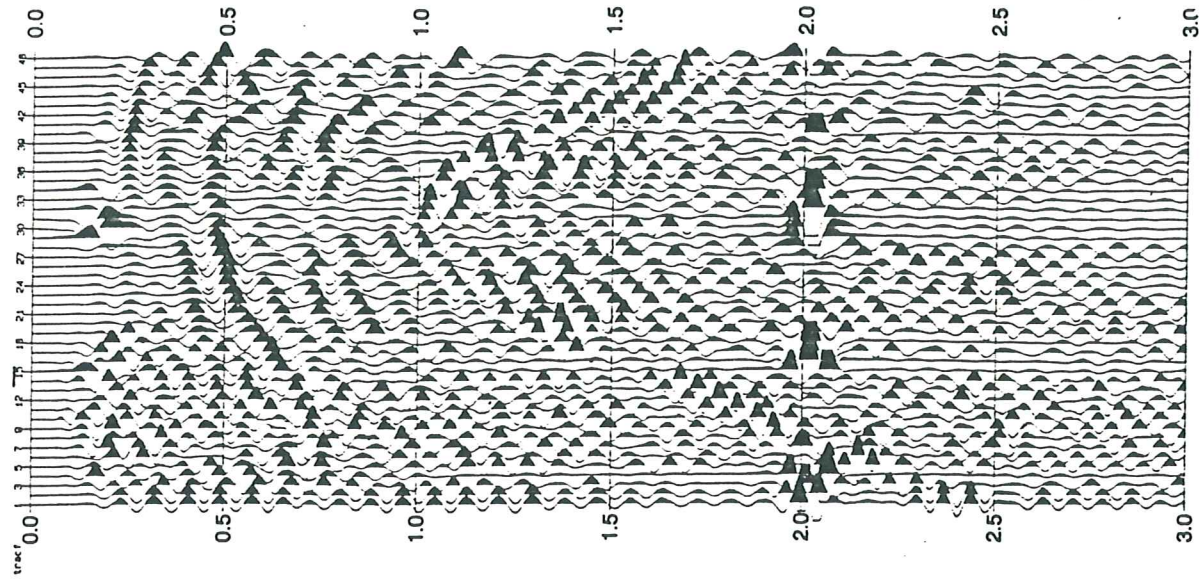
- Einar Kjartansson, 1980: Attenuation of Seismic Waves in Rocks and Application in Energy Exploration. Doktorsritgerð prentuð sem Stanford Rock Physics Project Report No. 8, Stanford, 147 s.
- Guðmundur Pálmason, 1971: Crustal Structure of Iceland from Explosion Seismology. Vísindafélag Ísl. rit 40, 187 s.
- Hjalti Franzson, 1990: SVARTSENGI. Jarðfræðilíkan af háhitakerfi og umhverfi þess. Orkustofnun, OS-90050/JHD-08, 41 s.



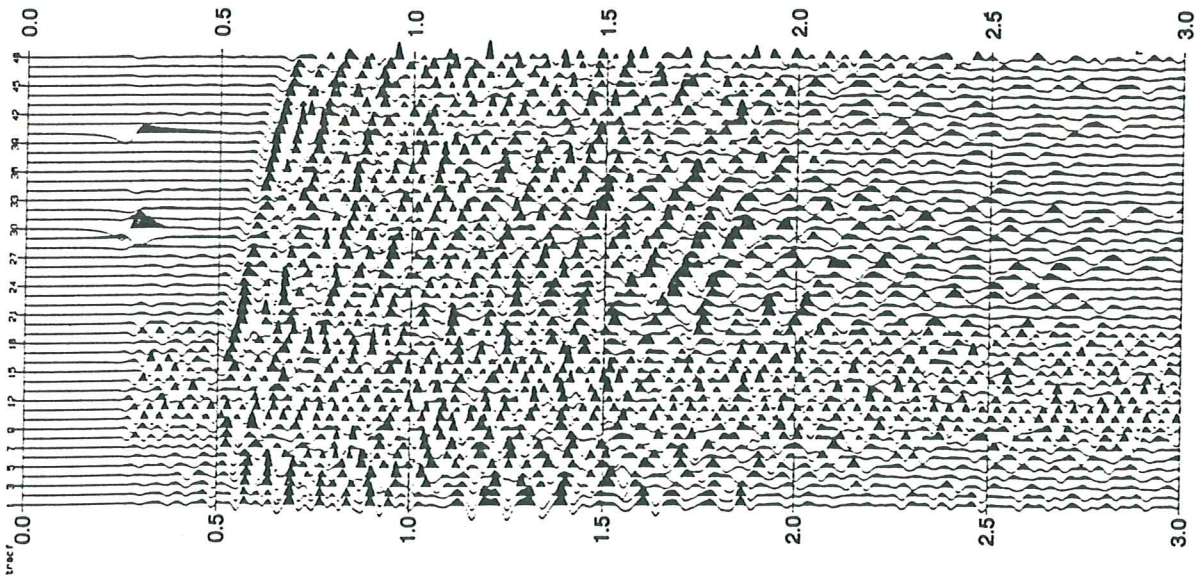
Mynd 2: Staðsetning kapla og skota í næsta nágrenni Svartsengis.



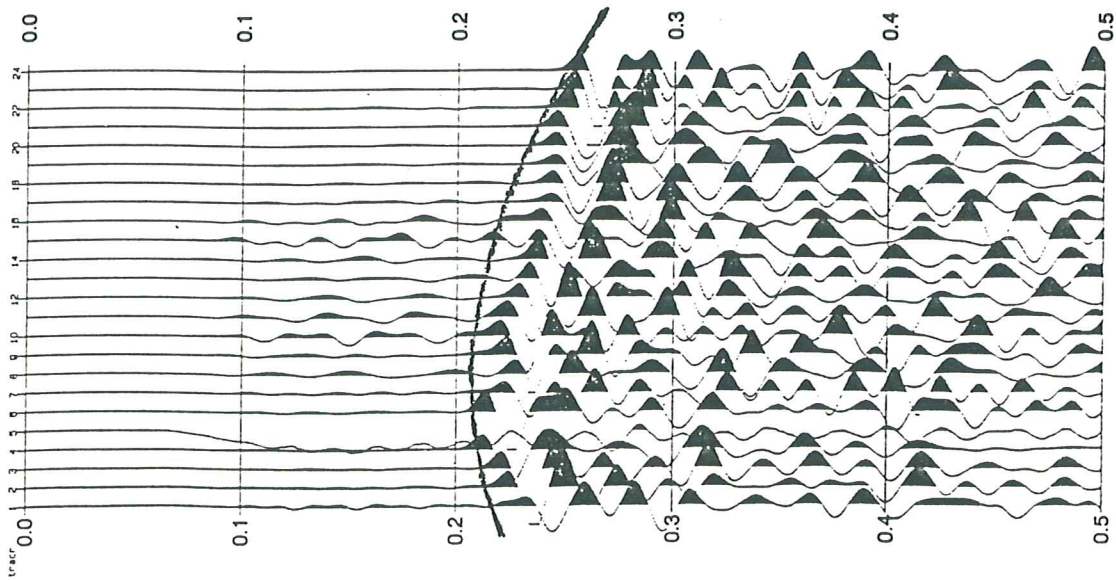
Mynd 3: Staðsetning kapla og fjarlægari skota.



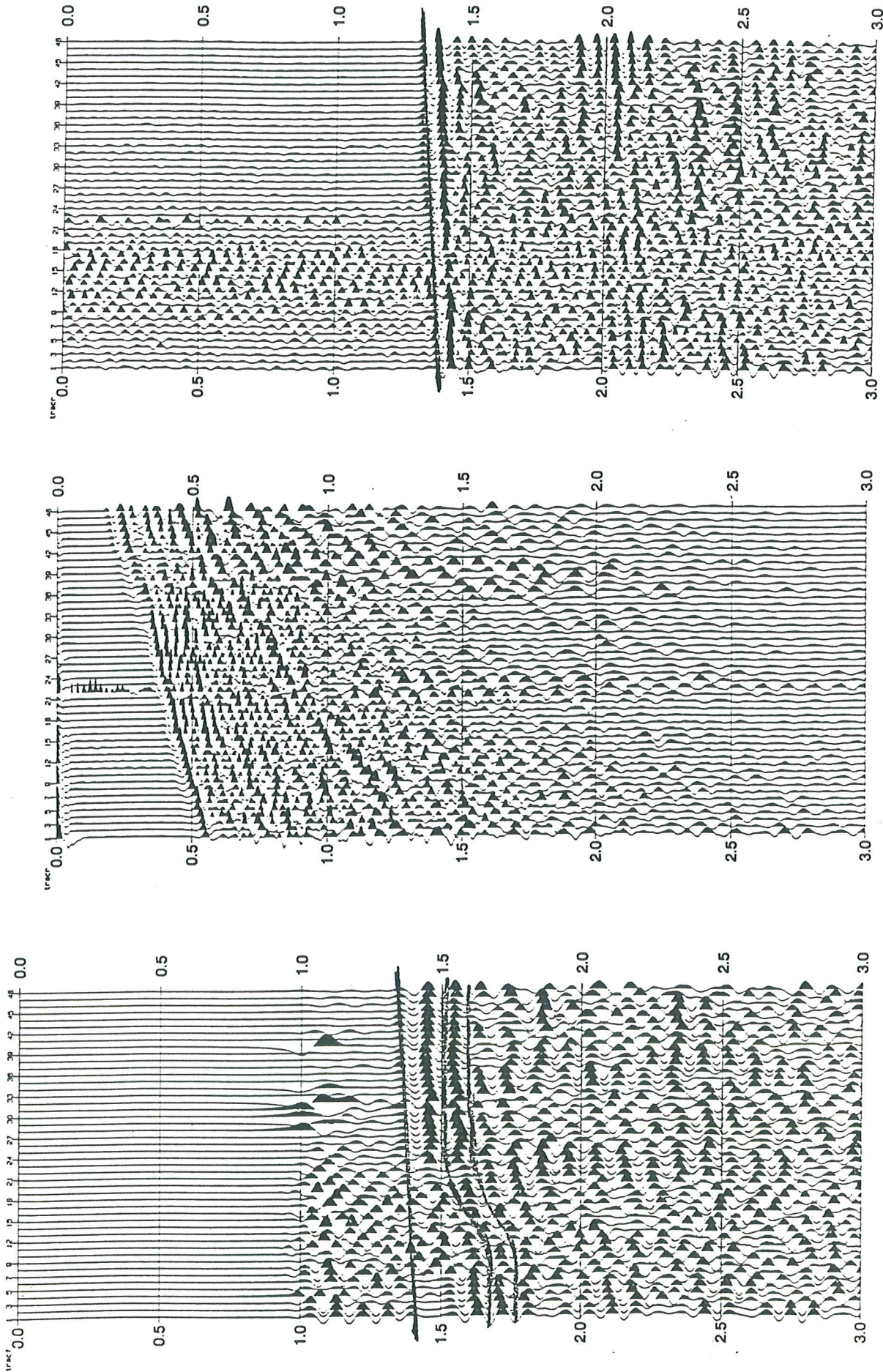
Mynd 6: Skot í Bláalóni



Mynd 5: Skot í holu HSK-1,
skræð á kapal I



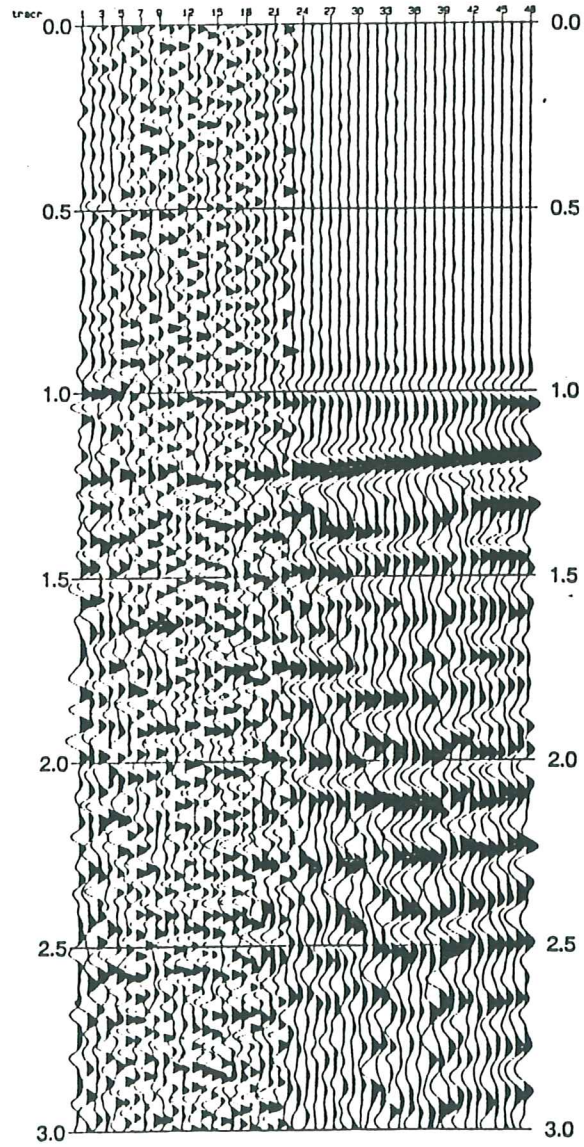
Mynd 4: Skot í holu SG-4



Mynd 9: Skot í Höfnum

Mynd 8: Skot í holu HSK-1,
skráð á kapal II

Mynd 7: Skot í Grindavíkurhöfn



Mynd 10: Skot í Grænavatni