

BÚÐARHÁLSVIRKJUN

JARDFRAÆDI- OG JARDVATNSRANNSÓKNIR

BJÖRN JÓNASSON
DAVÍÐ EGILSON
HALÍNA GUÐMUNDSSON
JÓSEF HÓLMJÁRN

UNNIÐ FYRIR
LANDSVIRKJUN

OS-ROD-7819

JÚLÍ 1978

ORKUSTOFNUN
RAFORKUDEILD

BÚÐARHALSVIRKJUN

JARDFRÆÐI- OG JARDVATNSRANNSÓKNIR

Björn Jónasson
David Egilson
Halína Guðmundsson
Jósef Holmjárn

OS-ROD-7819

UNNIB FYRIR
LANDSVIRKJUN
Júní 1978

E F N I S Y F I R L I T

		Bls.
SKRÁ YFIR FYLGIRIT		ii
SKRÁ YFIR TÖFLUR		ii
SKRÁ YFIR MYNDIR		iii
 0 AGRIP		 1
 1 INNGANGUR		 3
 2 SEGULMÆLINGAR		 4
 3 HLJÓÐBROTSMÆLINGAR		 6
3.1 Á hrauninu THi		6
3.2 Utan við hraunið THi		8
 4 KJARNABORHOLA ST-14		 9
4.1 Basalthraun THi		9
4.2 Set		9
4.3 Lektarprófanir		10
 5 JARDLAGASKIPAN OG JARDSSAGA		 11
 6 JARDVATN		 14
6.1 Almennt		14
6.2 Jarðvatnsstraumar		14
6.3 Nyrðri straumurinn		15
6.4 Syðri straumurinn		16
6.5 Hegðun straumannna		16
 7 TILRAUNAMÆLINGAR		 17
7.1 Viðnámsmæling		17
7.2 Bergmálsmæling		18
7.3 Niðurstaða		18

FYLGIRIT

TÖFLUR

MYNDIR

F Y L G I R I T

Segulmælingar	I
---------------	---

Jarðsveiflumælingar	II
---------------------	----

Viðnámsmælingar	III
-----------------	-----

T Ö F L U R

Segulmælingar. Staðsetning á mælilínum.	1
---	---

Hljóðbrotsmælingar. Staðsetning, hljóðhraði og þykktir hljóðhraðalaga.	2
---	---

Hljóðbrotsmælingar. Staðsetning, hljóðhraði og þykktir hljóðhraðalaga.	3
---	---

Hljóðbrotsmælingar. Staðsetning, hljóðhraði og þykktir hljóðhraðalaga.	4
---	---

Hljóðbrotsmælingar. Staðsetning, hljóðhraði og þykktir hljóðhraðalaga.	5
---	---

Staðsetning og dýpi kjarnaholu ST-14.	6
---------------------------------------	---

Upplýsingar varðandi sýni og sýnatöku úr efri hluta setsins í borholunni ST-14.	7
--	---

M Y N D I R

Yfirlits- og staðsetningarkort	1
Staðsetning segulmælinga	2
Segulmælingar	3
Staðsetning hljóðbrotsmælinga og sniða	4
Hljóðbrotssnið A-A og B-B	5
Hljóðbrotssnið C-C og D-D	6
Hljóðbrotssnið E-E	7
Hljóðbrotssnið F-F	8
Hljóðbrotssnið G-G	9
Kjarna-, lektar- og jarðvatnsútskýring	10
Snið af borholu ST-14	11
Kornadreifingarlínurit, sýni úr efri hluta setsins í borholunni ST-14	12
Jarðfræðikort	13
Jafnhæðarlínur jarðvatns	14
Jarðvatnshitamælingar í borholum ST-1, 3, 4, 5, 6, 8, 9 og 14	15
Jarðvatnshitamælingar í borholum TH-2, 3b, 4, HA-1 og SB-2	16
Jarðvatnshæðarmælingar í borholum TH-2, 3b og 4	17

0 AGRIP

Fjallað er um jarðfræði- og jarðvatnsrannsóknir á og í nágrenni stíflustæðis Búðarhálsvirkjunar, en staðsetning þess er fyrirhuguð í og utan við farveg Þjórsár, nánar tiltekið milli Búðarháls og Fitjaskóga. Stífla þessi mun mynda stórt uppistöðulón. Botn þess verður í u.p.b. 290 m y.s. næst stíflunni en yfirborð í u.p.b. 335 m y.s. Helztu niðurstöður rannsóknanna eru eftirfarandi:

Jarðfræði. Hrauntungan THi (nútímahraun) nær meira en 2,5 km frá Blautukvíslarfarveginum og inn eftir dalnum milli Búðarháls og Fitjaskóga. Hraunið, sem er a.m.k. 27 m þykkt um miðbik tungunnar, er afar sprungið og lekt, hefur greinilega runnið yfir votlendi (fyrir u.p.b. 3.000 árum), þ.e. áraura Þjórsár, en þetta styður kubbabergslegur kjarni, gervigigar á yfirborði, svo og set undir hrauninu. Þjórsá hefur flæmst yfir mest allt hraunið THi Þjórsármegin við Tungnaá, sbr. 2-6 m laust yfirborð (möl - sandur - silt - leir), en yfirborðskargi hraunsins er mjög leirfylltur. Undir hrauninu er afar þykkt, mjög siltríkt set (lónset), sem er >35 m þykkt. Hraunið THi hefur líklegast kaffært þann hluta hálsins, sem tengdi Valölduna og Búðarhálsinn saman. Övenju hár hljóðhraði mældist sums staðar í neðri hluta hraunsins THi eða örugglega allt að 3.4 km/sek. Ekki reyndist unnt með hljóðbrotsmælingu að finna þykkt hrauns THi vegna hins þykka setlags undir því. Viðnámsmæling gaf aftur á móti hraunþykktina en ekki setsins. Bergmálmsmæling var reynd, en heppnaðist ekki sem skyldi.

Jarðvatn. Tveir meginjarðvatnsstraumar eru á svæðinu, annars vegar svokallaður nyrðri straumur milli Sandafells-Fitjaskóga og Vaðoldu-Búðarháls, hins vegar svokallaður syðri straumur þar fyrir sunnan. Nyrðri straumurinn fær vatn úr tveimur misheitum kerfum úr grunnberginu, þ.e. $<2^{\circ}\text{C}$ og $20^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Meginvatnsleiðari nyrðri straumsins er nútímanyndanir, þ.e. hraun, árframburður og gjóska. Hitastig jarðvatnsins í straumnum vex er nálgast Vaðolduna úr $<2^{\circ}\text{C}$ í tæplega 3°C , en meginhluti vatnsins er kominn úr kalda kerfinu. Syðri straumurinn er samruni tveggja fjarlægari strauma, þ.e. svalvatnsstraums $3,5-4,5^{\circ}\text{C}$, sem kemur af svæðinu milli Búðarháls

og Langöldu og hlývatnsstraums, 5-6 °C, af svæðinu milli Langöldu og Valafells. Hitastig syðra straumsins er um 5 °C. Vatnsleiðarinn er nútímagyndanir, sbr. áður, en móberg kemur inn í myndina, a.m.k. ofar í báðum áðurnefndum straumunum. Í syðri straumnum verður helmingi stærri sveifla á jarðvatnsfirborði en í þeim nyrðri. Ennfremur verður sá nyrðri fyrir bakvatnsáhrifum af syðri straumnum.

1 INNGANGUR

Skýrsla þessi fjallar um jarðfræði- og jarðvatnsrannsóknir á og í nágrenni stíflustæðis áætlaðrar Búðarhálsvirkjunar og niðurstöður þeirra, en staðsetnin þess er fyrirhuguð milli Fitjaskóga og Búðarháls, þvert á farveg Þjórsár. Rannsóknirnar voru gerðar af Raforkudeild samkvæmt beiðni Landsvirkjunar.

Í júlí 1977 voru framkvæmdar jarðeðlisfræðimælingar (hljóðbrots- og segulmælingar) á og í allra næsta nágrenni vantanlegs stíflustæðis og í ágúst voru framkvæmdar frekari hljóðbrotsmælingar. Í lok þess mánaðar hófst kjarnaborun á fyrirhuguðu stíflustæði, sjá mynd 1. Hola þessi, ST-14, var staðsett út frá niðurstöðum hljóðbrotsmælinga, en þær gáfu til kynna, að hér væri fremur stutt niður á háhraðalag (3,1 - 3,4 km/sek), sem túnkað var sem grunnberg. Í lok september var borun hætt en holan var þá orðin um 66 m djúp. Í ljós kom, að Tungnaárhraunið THi náði niður á 30,5 m dýpi, eftir það var aðeins um set að ræða. Ósamræmið milli túlkunar á niðurstöðum hljóðbrotsmælinganna og borholunnar ST-14 áttu fyrst og fremst rætur að rekja til eftirfarandi atriða:

1. Óvenju hár hljóðhraði er í neðri hluta nútímahraunsins THi eða (a.m.k.) allt að 3,4 km/sek, en þessi hljóðhraði er hinn sami og í grunnberginu, t.d. fyrir utan hraunjaðarinn við rætur Búðarháls.
2. Afar þykkt set er undir hrauninu THi, þ.e. milli hraunsins THi og grunnbergs. Set þetta hefur mun lægri hljóðhraða en hraunið THi.

Auk ofangreindra rannsókna voru framkvæmdar lektarprófanir í borholunni ST-14, jarðvatnshæðar- og hitamælingar í borholum á svæðinu og lauslegar athuganir á lausum jarðefnum, einkum á lausa yfirborðslaginu á og í nágrenni hugsanlegs stíflustæðis. Landsvirkjun sá um allar staðsetningamælingar.

Þann 24. október 1977 voru að lokum framkvæmdar tilraunamælingar (viðnáms- og bergmálmælingar) yfir borholunni ST-14, einkum í ljósi þeirrar vitneskju, sem fékkst við borun holunnar.

2 SEGULMÆLINGAR

Til þessa verks var notaður svo nefndur "Proton-Magnetometer", sem er í eigu Jarðhitadeildar Orkustofnunar. Með honum reyndist mjög auðvelt að staðsetja hluta af suðausturjaðri hrauntungunnar THi, en jaðarinn er dreginn inn á myndir 2 og 4 með nokkurri ónákvæmni. Á mynd 2 er hann sums staðar dreginn fyrir utan mælilínurnar, en það stafar af því, að línum voru lagðar fyrst og segulmælt síðan. Segulmælingu var þó ekki hætt fyrr en öruggt var, að hraunjaðri væri náð. Mælilínurnar eru því settar inn á mynd 2 eins og þær voru mældar inn af mælingamönnum Landsvirkjunar.

Alls var mælt á 26 mælilínum (SM-0 - SM-25) með um 100 m millibili. Mælilínurnar voru lagðar u.p.b. þvert á hraunjaðarinn THi, Búðarhálsmeginn, sjá mynd 2, og er heildarlengd þeirra um 8000 m. Staðsetningar mælilínanna (hnitin) eru gefnar í töflu 1. Í framhaldi af númerum mælilínanna er -S og -N á víxl, en það þýðir hvort um suður- eða norðurendann er að ræða á línum. Slikar merkingar eru aftur á móti ekki á mynd 2.

Mæling fór þannig fram, að aflestur var tekinn með 5 m millibili og segulskýnjarí yfirleitt hafður í 2,45 m hæð yfir jörð, ef um einfalda mælingu var að ræða. Á sumum mælilínunum var framkvæmd tvöföld mæling með skynjarann mishátt yfir jörð (2,45 og 1,20 m). Á þann hátt átti að reyna mælingu á gerð hraunsins, (þétt, blöðrótt, kargaríkt o.s.frv.) og/eða relativri þykkt þess. Engar marktækjar niðurstöður komu út úr þessum hluta mælinganna nema þær, að nauðsynlegt er að auka fjarlægðina milli efri og neðri stöðu skynjarans, til þass að árangurs sé að vænta.

Á mynd 3 er sýndur segulstyrkur fjögurra mælilína, en segulmæling hófst alltaf í norðlægari enda mælilínanna á hrauninu THi. Staðsetning mælilína er sýnd á mynd 2. Eins og fram kemur er segulsviðið afar óreglulegt yfir hrauninu THi, en það stafar af óreglulegu yfirborði hraunsins, þ.e. ójafnri massadreifingu þess. Þegar farið er yfir jaðar hraunsins fellur sviðið afar mikil eða um allt að 3-4000 gamma. Þar sem

mælilínurnar ná eitthvað inn á grunnbergið, í þessu tilviki upp í rætur Búðarháls, stígur sviðið aftur og þá mjög reglulega, en það stafar af því að hlutdeild hins rétt segulmagnaða grunnbergs, sem er hér í rótum Búðarhálsins, eykst. Lágmarksstyrkur sviðsins bendir til, að þar sé dýpst á berg, en á svæðinu sem um ræðir er allt berg rétt segulmagnað. Eðlilegt virðist því að túlka lægðina í sviðinu þannig, að þar sé lausa yfirborðslagið þykkast, en það er einmitt milli hrauns (THi) og hliðar (Búðarhálsgrunnberg).

3 HLJÓÐBROTSMÆLINGAR

Allumfangsmiklar hljóðbrotsmælingar (seismic refraction) voru framkvæmdar á svæðinu frá Blautukvíslarfarvegi og u.p.b. 3 km upp með Þjórsá, sjá mynd 4. Til þessara mælinga var notaður ABEM-jarðsveifluriti, 12 jarðsveiflunemar og sprengiefni sem orkugjafi. Fjarlægð milli skotpunkta var yfirleitt á bilinu 100-130 m og voru gerðar um 70 mælingar. Helstu niðurstöður eru gefnar í eftirfarandi töflu:

Jarðlög	Algengur hljóðhraði km/sek	Athugasemdir
Yfirborð	0,3 - 0,8	Allt að 1,1 km/sek
Hraun, kargakennt-blöðrótt	1,5 - 2,2	Niður í 1,0 km/sek
Hraun, blöðrótt-pétt	2,5 - 3,1	Niður undir 2,2 og a.m.k. í allt að 3,4 km/sek
Set milli hrauns og hliðar	1,3 - 1,5?	
Grunnberg	3,4 - 4,2	Allt að 4,5 km/sek

Staðsetning hljóðbrotsmælinganna er sýnd á mynd 4. Hnit á skotpunktum (endapunktum) mælinganna ásamt hljóðhraða og þykkt hljóðhraðalanna eru í töflum 2,3,4 og 5, en vandinn er í því fólginn að túlka hljóðhraðalögum sem ákveðin jarðlög. Á myndum 5,6,7,8 og 9 eru svonefnd hljóðbrotssnið þar sem túlkun hljóðhraðalaganna eru gerð skil.

3.1 Á hrauninu THi

Laust yfirborðslag, 2-4 m þykkt, en sums staðar allt að 6 m, þekur hraunið THi. Lag þetta samanstendur aðallega af sandi-möl, viða mjög leirrikt, einkum 0,5 - 1,0 m undir yfirborði. Leirinn er gulleitur og sums staðar ríkjandi á áðurnefndu dýpi. Yfirborðslagið er yfirleitt þakið frostlyftum steinum úr yfirborðskarga hraunsins, nema norðaustast á svæðinu. Hljóðbrotsmælingarnar gefa yfirleitt lagamót yfirborðslags og karga eða

hljóðhraðann á bilinu 0,3 - 0,8 km/sek, en hljóðhraðinn fer alveg upp í 1,1 km/sek. Í þeim tilvikum er líklegt, að karginn komi einnig inn í myndina.

Mismundandi hljóðhraði í hrauninu THi bendir til þess, að hraunið sé tölувert breytilegt frá einum stað til annars hvað þéttleika snertir, en út frá mælingunum má ráða, að það sé almennt þéttara er neðar dregur, þ.e. aukinn hljóðhraði.

Ljóst er út frá niðurstöðum hljóðbrotsmælinganna, að karga- og blöðrótti hluti hraunsins er mjög misþykkur. Hljóðhraðinn nær þar allt að 2,2 km/sek (yfirleitt á bilinu 1,5 - 2,2 km/sek). Algeng þykkt þessa hljóðhraðalags (kargi og blöðrótt hraun) er á bilinu 5-10 m, en nær þó meiri þykkt einkum við jaðar hraunsins. Ekki er hægt að benda á gervigíga út frá hljóðbrotsmælingunum, en í nágrenni borholunnar ST-14 skagar einn slikur gígur nokra metra upp yfir umhverfi sitt.

Algengasti hljóðhraðinn í þéttari hluta hraunsins er á bilinu 2,5 - 3,1 km/sek. Óvenju hár hljóðhraði mældist viða í hrauninu eða 3,4 km/sek og jafnvel allt að 3,6 km/sek. Svo hár hljóðhraði hefur ekki áður mælst í hrauni frá nútíma svo vitað sé, og var því í upphafi túlkaður sem grunnberg, en borholan ST-14 sýndi, að hér var aðeins um fremur þétt til þétt nútímahraun að ræða. Þrátt fyrir háan hljóðhraða í nágrenni borholunnar ST-14 þá er bergið afar sprungið og kubbabergslegt, en án sprungu- og holufyllinga. Orsökin fyrir svo háum hljóðhraða hlýtur því að liggja a.m.k. að verulegu leyti í því, að jarðvatn stendur hér afar hátt, það er á 3-4 m dýpi, svo og að hraunið er viða bæði þéttara og heillegra en fram kemur í borholunni ST-14.

Á einstaka stað gefa hljóðbrotsmælingarnar til kynna, að grunnberg sé svo til beint undir hrauninu THi, t.d. í mælingum SS-8 og SS-20, þar sem hljóðhraðinn á bilinu 4-4,5 km/sek gefur þá vísbindingu, sbr. myndir 5 og 8. Annars gefa langflestir mælingarnar yfirleitt ekki meiri hraða en 3,4 km/sek en borholan ST-14 sýnir, að sá hraði er í nútímahrauninu THi. Það þýðir, að þykkt set er á milli þess og grunnbergsins, sbr. niðurstöður kjarnaborunarinnar í ST-14.

3.2 Utan við hraunið THi

Milli hrauns og hlíðar Búðarhálsins liggur misþykkt set ofan á grunnberginu. Er fjær dregur Blautkvíslarfarveginn sýna hljóðbrotsmælingar allt að 10-15 m þykkt set með hljóðhraða um 1,5 km/sek. Set þetta, a.m.k. efstu m, líkist efni því, sem er ofan á hrauninu THi, nema í því eru engir frostlyftir steinar úr hrauninu. Allra næst Búðarhálsinum hefur borist mikið af efni úr hlíðinni, og er það einkum mórena að uppruna. Ekki er ólíklegt að neðri hluti þessa sets, sé mórena, sbr. Búðarháismeginn, fjærst Blautkvíslarfarveginum. Undir setinu tekur grunnbergið við og er lægsti hljóðhraði þess eins og hann gerist mestur í nútímahrauninu THi, eða á bilinu 3,4-4,2 km/sek, en nær þó allt að 4,5 km/sek.

4 KJARNABORHOLA ST-14

Eins og fram hefur komið hér á undan var aðeins boruð ein kjarnaborhola, ST-14, í þessari lotu til könnunar á jarðlögum á væntanlegu stíflustæði milli Fitjaskóga og Búðarháls. Staðsetning hennar er sýnd á mynd 1. Borað var niður á tæplega 66 m dýpi, í gegnum hraunið THi og niður í þykkt silt-sandríkt set, sjá borholusnið á mynd 11.

4.1 Basalthraun THi

Á borholusniðinu sést, að bergið er afar sprungið. RQD (Rock Quality Designation) er viða 0, en yfirleitt mjög lágt, nema allra neðst í hrauninu. Þetta bendir eindregið til þess, að hraunið THi hafi orðið fyrir áhrifum vatnskælingar, þegar það rann yfir svæðið. Kjarnaheimtan er 100% nema allra efst. Vegna þess hve bergið er sprungið fleygaðist kjarninn fastur í kjarnarörinu og náðist aldrei meira en 2 m í einu í kjarnarörið sem tekur 3 m.

Aðeins kargakenndi hluti hraunsins, allra efstu metrarnir, er leirfylltur, að öðru leyti er hraunið með algjörlega ófylltar sprungur og blöðrur. Jarðvatnsborð er hátt eða á 3-4 m dýpi.

4.2 Set

Sýnataka úr setinu undir hrauninu THi tókst ekki sem skyldi. Þó náðust nokkur sýni úr efri hluta setsins. Sýnin eru misgóð, en öll hreyfð. Sýnin voru tekin með 66 mm kjarnaröri, að undanskylđu efsta sýninu, sem var tekið með Geonor sýnatökuröri, er var skrúfað á borstangirnar.

Í töflu 7 er gerð grein fyrir þeirri sýnatöku, sem skilaði jákvæðum árangri, með tilliti til gæða sýnatökunnar. Sýnin voru öll kornastæðar-greind og eru niðurstöður greininganna sýndar á mynd 12. Í gráfum dráttum, þ.e. í samræmi við niðurstöður borunar í setinu, er kornastærðin sandur-möl ríkjandi í ca. 3 efstu m setsins, en eftir það virðist silt-sandur ráða ríkjum, en leir og finmöl með einstaka steinum (hnnullungum) í fremur litlum mæli.

4.3 Lektarprófanir

Holan var aðeins rennslisprófuð efst, en eftir það var lekt hennar prófuð með einföldum pakkara eftir því sem borun miðaði áfram. Ekki var kleyft að lektarprófa nema allra efstu m setsins, sbr. mynd 11. Það var gert á þann hátt, að pakkað var neðst í péttasta hluta hraunsins.

Eins og fram kemur á borholusniðinu er lekt hraunsins mikil, en hún minnkar eftir því sem neðar dregur og er í lágmarki í neðsta og péttasta hluta þess (\approx 230 LU). Aftur á móti sækir í sama horfið, er komið er niður úr því, þ.e. í botnkargann og efstu metra setsins.

Lektin reyndist það mikil í flestum tilvikum, að afköst lektarprófunartækjanna nægðu ekki, og er því yfirleitt merkið meira en (>) fyrir framan útreiknuð lektargildi viðkomandi prófunarbils.

5 JARÐLAGASKIPAN OG JARÐSAGA

Ljóst virðist út frá fyrrgreindum rannsóknum svo og út frá fyrri jarðfræðirannsóknum á nærliggjandi svæðum (Sultartangi, Jarðfræðiskýrsla, Orkustofnun, Raforkudeild, 1972 og Sultartangi Hydroelectric Project, Geological Report, OS-ROD-7539), að djúpur dalur sé til staðar upp með Þjórsá, milli Búðarháls og Fitjaskóga. Dalbotninn er fylltur seti, sem er hulið af nútímahrauninu THi (Búrfellshrauni). Dalur þessi er sorfinn niður í grunnbergið af jökli síðustu jökulskeiða.

Út frá borholusniðum og jarðvatnsrannsóknum virðist enn fremur ljóst, að Búðarháls hefur verið ofanjarðar a.m.k. vestur að Vaðöldu og að hraunið THi hefur kaffært þann hluta hálsins, sem tengdi Vaðolduna og Búðarhálsinn saman. Líklegt er að Vaðoldu-Búðarhálshryggurinn hafi náð lengra til suðvesturs. Ljóst er, að hraunið THf (Kvíslahraun, næsta hraun undir THi), sem finnst í borholunni TH-3b og ST-3, sjá mynd 13, hefur runnið vestur fyrir Vaðolduna og þaðan til norðausturs upp á milli Sandfells og Vaðoldu. Þá hefur farvegur Tungnaár sennilegast verið fyrir sunnan Vaðoldu - Búðarhálshrygginn og hafa ármót Tungnaár og Þjórsár verið sunnan eða suðvestan Vaðoldunnar. Á svipaðan hátt rann hraunið THi nema hvað það náði að renna yfir Vaðoldu - Búðarhálshrygginn og yfir allt svæðið milli Sandfells og Búðarháls svo og inn eftir dalnum milli Búðarháls og Fitjaskóga eða til norðausturs, þar sem hraunið kaffærði misþykkt setlag, sem hvílir á grunnberginu.

Af hjöllum í nágrenninu, sem eru a.m.k. 3, má ráða, að meginjökull síðasta jökulskeiðs, sem var fyrir austan og sunnan Búðarhálsinn, hafi stíflað dalinn milli Vaðoldu-Búðarháls og Sandafells-Fitjaskóga. Hjallar þessir eru t.d. afar áberandi í Skúmstungum (400 m y.s.) og Fitjaskógamegin gegnt borholu ST-14. Daljökull (skriðjökull) hefur enn fremur a.m.k. á einhverju stigi, gengið út í lónið, sem meginjökullinn hefur stíflað uppi. Ár og jökull hafa borið ógrynni efnis fram í lónið, sem hefur líklega haft afrennsli milli Sandafells og Fossheiðar um eitthvert skeið. Er meginjökullinn hopaði varð geysihratt rof á framburðinum þar til rofplanið hafði náð niður að yfirborði líklegs þróskulds.

Við samanburð á borholusniðum af svæðinu og nágrenni þess, sérstaklega borholunum TH-3b, ST-3 og ST-14 (sjá mynd 13) má draga eftirfarandi ályktanir:

Þar sem dýpst er á grunnbergi ST-14 (>15 m dýpra en í hinum borholunum) er líklegast, að þar sé gildra, þ.e. þröskuldur, sem hefur haldið setinu a.m.k. neðri eða neðsta hluta þess. Nútímahraunin, sem runnið hafa milli Valafells og Langoldu í átt að Búrfelli hækkuðu landið. Þannig hefur Kvíslarhraun (THf), en þetta hraun kemur fram í borholunum ST-3 og TH-3b (THf er næsta hraun undir THi) getað myndað skilyrði fyrir aukinni setmyndun í dalnum milli Búðarháls og Fitjaskóga. Vöntun á hrauninu THf í borholunni ST-14 bendir þó til hins gagnstæða, þ.e. til þess, að þröskuldur sé þar til fyrirstöðu. Eftir að Kvíslarhraun (THf) rann virðist hafa komist á jafnvægisástand, alla vega á milli ST-3 og ST-14, en þykk setmyndun á hrauninu THf í borholunni TH-3b er illskýr-anleg með tilliti til farvegar Þjórsár. Hér hljóta Kaldakvísl og/eða Tungnaá að eiga hlut að máli, hvort sem hún/bær hafa þá að einhverju eða öllu leyti runnið yfir hálsinn milli Vaðoldu og Búðarháls eður ei. Vist er, að hraunið THi (Búrfellshraun) hefur hindrunarlaust eða lítið runnið yfir svæðið (f.u.þ.b. 3000 árum), sem var þá líklegast víðáttumikið áraurasvæði.

Niðurstöður þessara hugleiðinga eru því þær, að líklegast sé þröskuldur til staðar, sem haldið hefur setinu frá lokum síðasta jökluskeiðs, sbr. ST-14, fremur en að efri hluti setsins hafi myndast sem afleiðing af aukinni hraunupphleðslu á nálægum svæðum. Samkvæmt sniði af borholunni ST-14 og áðurrituðu, sjá mynd 11, gæti efsti hluti þröskulds náð a.m.k. 260 m y.s.

Fjölmargir gervigígar í hrauninu THi bera þess vitni, að hraunið THi hafi runnið yfir votlendi á Sultartangasvæðinu, en það þarf alls ekki að þýða að lón hafi verið til staðar heldur líklegast að viðáttumiklar áreyrar með fjölmögum kvíslum hafi verið á svæðinu líkt og nú er t.d. upp með Þjórsá, milli Búðarháls og Fitjaskóga.

Gervigígarnir eru í mismiklum mæli á Sultartangasvæðinu, að því er best

verður séð. Í nágrenni væntanlegs stíflustæðis fyrir norðaustan Blautukvíslarfarveginn er aðeins sjáanlegur 1 gervigígur, skammt frá borholunni ST-14, en greinilegt er, að Þjórsá hefur þar um slóðir flæmst um yfirborð hraunsins THi á undanförnum 3000 árum enda er yfirborðskarginn þar mjög silt- og leirfylltur. Ennfremur þekur u.p.b. 2-6 m setlag (leir-sandur-möl), sem er framburður Þjórsár, allt hraunið THi. Samkvæmt þessu virðist líklegt að gervigigar séu miklu víðar til staðar á og í nágrenni hugsanlegs stíflustæðis, en Þjórsá hafi skolað sjálfum gígunum burt og/eða kaffært í framburði sínum. Mjög sprunginn og kubbabergslegur basaltkjarni úr borholunni ST-14 styður þetta enn frekar.

6 JARÐVATN

6.1 Almennt

Á undanförnum árum hefur smám saman verið safnað gögnum varðandi jarðvatnið á svæðinu, þ.e. mælingum á jarðvatnshæð og hita í borholum. Eftir því sem borholum hefur fjölgæð á svæðinu, hefur jarðvatnsmyndin skýrst, en allar mælingar á jarðvatninu verða að fara fram í borholum, þar sem engar lindir eru á svæðinu, sem þakið er hraunum og lausum jarðlöögum (árset, gjóska, fokmold). Áðurnefndar jarðvatnsmælingar í borholum ásamt vaxandi jarðfræðilegri þekkingu fara því saman og veita hvert öðru aukið gildi við túlkun gagna þeirra, sem aflað er.

Í borholunum fást langbestar upplýsingar um jarðvatnið. Þar sem allar borholurnar á svæðinu eru fyrst og fremst kjarnaholur, boraðar til könnunar á jarðlöögum í sambandi við þær virkjanahugmyndir, sem fram hafa komið á undanförnum árum, er dreifing þeirra ekki í samræmi við hinn jarðvatnsfræðilega þátt. Á svæðinu hefur til þessa ekki verið boruð ein einasta hola (piezometric hole) eingöngu til jarðvatnsmælinga, sjá jarðvatnskort, mynd 14. Þörf slíkra hola er augljós á fyrirhuguðum virkjunarvæðum, ef unnt á að vera að safna upplýsingum og túlka þær áður en ráðist er í framkvæmdir við viðkomandi virkjun. Á þann hátt lægju jarðvatnsfræðilegir eiginleikar svæðanna fyrir áður en í framkvæmdir væri ráðist. Holurnar (piezometric holes) nýtast áfram á meðan og eftir að virkjunin er tekin til starfa.

6.2 Jarðvatnsstraumar

Eins og sést á mynd 14 eru tveir meginjarðvatnsstraumar á svæðinu, annars vegar svonefndur nyrðri straumur milli Vaðoldu-Búðarháls og Sandfells-Fitjaskóga eða á fyrirhuguðu Þjórsártíflustæði Búðarhálsvirkjunar og hins vegar syðri straumur fyrir sunnan Vaðoldu-Búðarháls. Vegna þess hve borholurnar eru misdreifðar um svæðið er viða erfiðleikum bundið að draga jafnhæðarlínurnar og þarf sums staðar að "interpolera" allt að

4 km bil eins og t.d. á milli TH-3b og ST-14 í nyrðri straumnum og á milli TH-2 og TH-4 í syðri straumnum.

6.3 Nyrðri straumurinn

í þennan straum kemur vatn úr tveimur misheitum kerfum, sem bæði eiga rætur að rekja til grunngergsins, sjá mynd 14. Megin vatnsleiðari nyrðra straumsins er nútímagyndanir, þ.e. hraun, árframburður og gjóska. Kaldara kerfið, sem er ríkjandi í straumnum, er um 2°C , en það heitara er með hitastigulinn $20^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

í borholunni ST-14, sem er efsta holan í nyrðri straumnum, er hitastigið $<2^{\circ}\text{C}$, um eða yfir 2°C í ST-1 og ST-3, en farið að nálgast 3°C í TH-3b, sjá myndir 15 og 16. Þessi hitnun stafar líklegast af blöndun við heita kerfið. Heita kerfið kemur greinilegast fram í neðri hluta borholanna ST-1,3 og TH-3b, sbr. hitamælingarnar, en snögg hitaukning á sér stað nákvæmlega í yfirborði grunngergsins. Greinilegt er út frá hitamælingum í borholunum ST-1,3 og TH-3b, að kalda kerfið er miklu vatnsmeira en það heita, þó er blöndun í gangi á milli kerfanna eins og fyrr segir en hún er t.d. í borholunum ST-4, 5 og 6, sjá mynd 15.

Eftirfarandi tafla sýnir hvaða kerfi, með tilliti til hitastigs, koma fram í borholum þeim, sem eru í nyrðri straumnum, sjá jafnframt jarðvatns-hitamælingar á myndum 15 og 16.:

Nyrðri straumur

Borholur	kalt	blandað	heitt
ST-14	↔		
ST- 8	← ? →		
ST- 1	↔		
ST- 3	↔		
TH-3b	↔		
ST- 4		↔	
ST- 5		↔	
ST- 6		↔	
SB- 2		↔	

því fremur hæpið að draga of miklar ályktanir af einni slíkri mælingu. Ennfremur er rétt að ítreka það, að þetta viðnámslag þarf ekki að samsvara setfyllingunni. Borhola getur skorið úr um hvort svo er.

7.2 Bergmálsmæling

Hljóðhraða- og eðlisþyngdarmunur milli hraunsins THi og undirliggjandi sets er það mikill, að bergmálsmæling ætti að vera heppileg til að finna lagamót þeirra. Mæliaðferðin er þó ekki alltaf nothæf, þegar hljóðhraðamótin eru eins grunnt liggjandi og á svæðinu (<30 m). Því þarf að kanna í hvert skipti hvernig mæliaðferðin reynist.

Tilraunamælingin er afar trufluð og í raun er lítið á henni að byggja. Má m.a. kenna þar um óhentugum tækjabúnaði. Verið er að vinna að endurbótum hans, en miklar vonir eru bundnar við mæliaðferðina. Í sumar eru tilraunir með endurbættum tækjabúnaði fyrirhugaðar.

7.3 Niðurstaða

Tilraunamælingin sýnir, að hægt er að ákvarða hraunþykktina með viðnámsmælingu. Óvissan í slíkri þykktarákvörðun ætti að vera um eða innan við 20%. Erfiðara er að segja til um bergmálsmælinguna. Endanleg umsögn um hana verður að bíða uns tilraunamælingu með samlagningarminni er lokið.

F Y L G I R I T I

S E G U L M Æ L I N G A R



Segulmælingar

1978-06-20

SEGULMÆLINGAR

Inngangur

Segulmælingar hafa mikið verið notaðar hér á landi við að kortleggja misfellur í berggrunni, sem eru huldar lausum yfirborðslögum, t.d. árframburði, skriðum og jarðvegi. Slikar misfellur eru t.d. gangar, misgengi, sprungur og hraunjaðrar. Mælingarnar eru mjög fljótgerðar og fremur ódýrar.

Eðli segulmælinga

Hraunkvika sem storknar í segulsviði jarðar, segulmagnast oftast varanlega. Segulmognun hraunsins verður samsíða stefnu jarðsviðsins þegar kvikan storknar. Styrkur segulsviðs frá hrauninu er háður styrk jarðsviðsins og magni segulmagnanlegra steintegunda í kvíkunni. Segulsvið jarðar er stöðugum breytingum undirorpis og hefur margsinnis breytt um stefnu og styrk á síðustu milljónum ára. Markverðasta breytingin er þegar stefna svíðsins snýst alveg við en sílkt gerist með óreglulegu millibili. Aðstæða er a.m.k. 60 slíkar kollsteypur hafi orðið á segulsviði jarðar á síðustu 20 milljónum ára p.e. á þeim tíma er Ísland hefur verið að hlaðast upp.

Talað er um rétta segulstefnu þegar segulnorðurþóllinn er nærrí landfræðilega suðurskautinu og um öfuga stefnu þegar segulnorðurþóllinn er nærrí landfræðilega norðurskautinu. Núverandi segulstefna er rétt og hér á landi er hún hallandi niður til norðurs um 75° frá láréttu og 24° til vesturs frá réttvisandi norðri. Breytingarnar á segulsviðinu valda því að hraunlög frá mismunandi jarðsögulegum tíma eru yfirleitt ekki eins segulmognuð. Með því að mæla segulstefnuna í hraunum má oft ákvároða aldur þeirra. Mæling á segulstyrk gerir oft kleift að greina í sundur jarðmyndanir sem ekki verða aðgreindar á annan hátt.

Notagildi

Segulmælingar hafa mest verið notaðar hér á landi við að leita uppi og kortleggja bergganga, misgengi og sprungur. Þær hafa gefist einkar vel við kortlagningu bergganga og innskotsлага í grennd við jarðhitasvæði á blágrýtissvæðum landsins. Innskot myndast er hraunkvika treðst upp um sprungur og misgengi eða á milli hraunlaga og storknar þar. Innskot myndast því seinna en bergið umhverfis og eru því oft öðruvísi segulmognuð. Sá hluti innskota sem storknað hefur í sprungum nefnist berggangar. Þeir eru vanalega hornrétt á aðliggjandi jarðlög. Sé segulsvið mælt yfir berggangi kemur venjulega fram frávik frá ótrufluðu jarð-

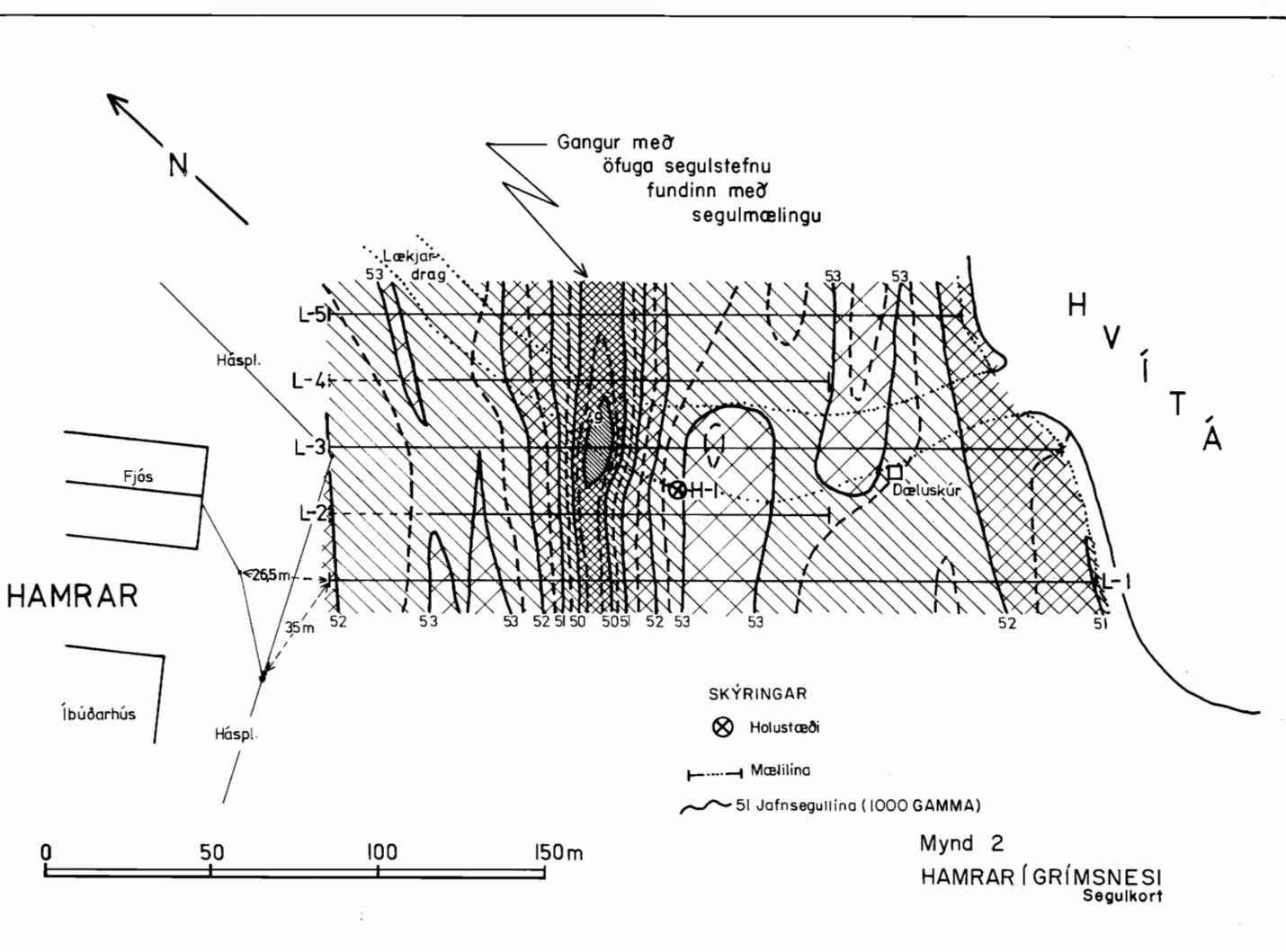
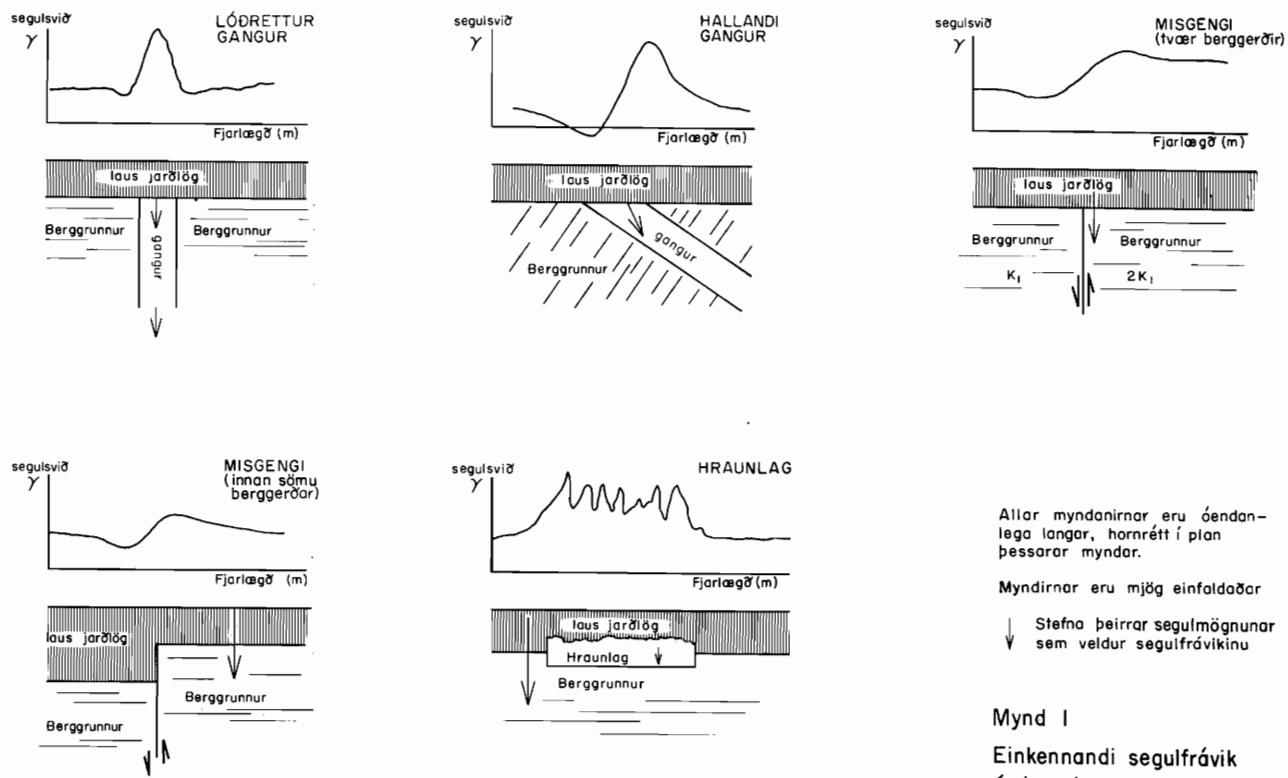
sviði. Frávikið er jákvætt yfir rétt segulmognuðum gangi, þ.e. þar mælist sterkara segulsvið en neikvætt yfir öfgut segulmognuðum gangi, þ.e. veikara segulsvið.

Mynd 1. sýnir áhrif ýmissa berghryndana á segulsviði. Að gefnum ákvæðum forsendum er unnt að reikna út lögur og dýpi þeirra myndana er valda mældu staðbundnu fráviki á heildarsviðinu. Nákvæmni í staðsetningu þeirra berghryndana er valda fráviki er að mestu háð þykkt yfirborðslaganna, gerð og halla myndananna, halla segulsviðsins og þéttleika mælinganna. Best er að staðsetja lóðréttu bergganga. Yfirleitt er hægt að staðsetja þá með 2 m óvissu undir 4 m þykum yfirborðslögum. Hallandi ganga og misgengi er mun erfiðara að staðsetja en óvissumörkin eru þó yfirleitt talin vera innan við 20 m undir 4 m þykum yfirborðslögum.

Stundum eru staðbundin áhrif frá jarðmyndunum það veik að þau valda ekki marktæku segulfráviki. Segulmælingar gagna að sjálfsögðu ekki þar, við að greina í sundur jarðmyndanir sem eru huldar lausum yfirborðslögum.

Mæliaðferð og mannaflí

Segulmælingar eru oftast gerðar með segulmæli sem mælir heildarstyrk svíðsins (prótónusegulmælir). Mælt er í um það bil 2,5-4 m hæð yfir jörðu eftir ákvæðum línum eða í neti. Fjarlægð á milli lína eða punkta í neti fer eftir því hve örar breytingar verða á segulsviðinu og þeirri nákvæmni og upplausn sem krafist er í hvert skipti. Við kortlagningu ganga er oftast mælt eftir beinum línum og eru 20-30 m á milli mælilína en 5 m á milli punkta á hverri línu. Netið er lagt út með hornamælingum og mælisnúmer áður en segulmælingarnar hefjast. Tveir menn framkvæma segulmælingar og lætur nærrí að þeir komist yfir um 3-4 km á dag en það er þó mjög háð aðstæðum. Niðurstöður eru venjulega birtar á korti með jafnsviðslínum og helstu kennileitum, sbr. mynd 2. Jafnsviðslínur sýna því styrk segulsviðsins á svipaðan hátt og hæðarlínur sýna hæð lands yfir sjó á venjulegu landakorti. Það fer eftir stærð og lögur segulfrávika hve þétt jafnsviðslínur eru dregnar en oft er nægilegt að hafa eitt mikrotesla (1000 gamma) á milli lína. Við minniháttar verkefni er oft látið nægja að birta einstaka mæliferla og kort sem sýnir staðsetningu þeirra. Þetta á sérstaklega við ef langt er á milli mælilína.



F Y L G I R I T II

J A R D S V E I F L U M Å L I N G A R

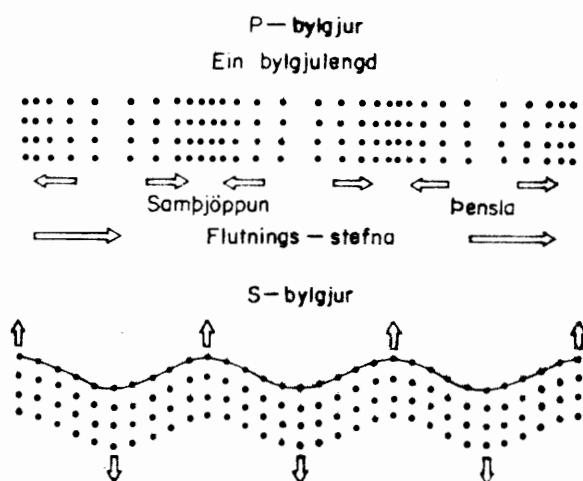
JARÐSVEIFLUMÆLINGAR

1. Inngangur

Jarðsveiflumælingar (seismic prospecting) eru einkum notaðar í tvennum tilgangi við undirbúningsrannsóknir fyrir mannvirkjagerð. Annars vegar og mest, til að mæla dýpi á lagamót og þykkt jarðlaga. Hins vegar til að gefa hugmynd um gerð og styrk jarðlaga. Hér verður greint lauslega frá einstökum þáttum þessara mælinga og leitast við að skilgreina takmörk og notagildi hinna ýmsu aðferða.

2. Gerð bylgna.

Jarðsveiflumælingar byggjast að mestu á mælingu á útbreiðsluhraða hljóðbylgna í jarðlögum. Það myndast aðallega þrjár tegundir bylgna þegar orka er leyst úr læðingu í föstu efni. Þar af eru P og S bylgjur mikilvægastar (mynd 1).



Mynd 1. Afmyndun efnis sem bylgjur fara um a) P-bylgjur b) S-bylgjur

- a) P-bylgjur eru þrýstibylgjur (compressional waves) Þær afmynda efnis í útbreiðlustefnu sína og breiðast út í öllum formum efnis. P-bylgjur breiðast hraðast út af öllum bylgjum og eru því mest notaðar við jarðsveiflumælingar.

- b) S-bylgjur eru skerbylgjur (Shear waves), þær afmynda efnið hornrétt á útbreiðslustefnu og breiðast aðeins út í föstu efni. Útbreiðsluhraði þeirra fer eftir skerstyrk efnisins en hlutfallið V_p/V_s fer eftir stælni þess. S-bylgjur hafa lítið verið notaðar fram að þessu af tæknilegum orsökum. Búast má við að með bættri tækni verði þær notaðar í auknum mæli til mælinga á eðliseiginleikum jarðlaga.
- c) R- og L-bylgjur eru yfirborðsbylgjur. Þær berast um yfirborðs fasts efnis með lágum hraða. Þær hafa ekki nota-gildi við jarðsveiflumælingar en valda oft truflunum við mælingar.

3. Útbreiðsla hljóðbylgna.

Þættir sem skipta mestu máli við útbreiðslu hljóðbylgna eru eftirfarandi: a) Hljóðhraði, b) deyfing, c) hljóðbrot og d) hljóðspeglun.

a) Hljóðhraði

Útbreiðsluhraði P-bylgna í jarðögum sem við koma mannvirkja-gerð á Íslandi er á bilinu 300 - 5000 m/s. Hljóðhraði í jarðögum fer eftir eðlisástandi þeirra. Í ósprungun bergi fer hann mest eftir eðlisþyngd og poruhlutfalli en aðrir þættir hafa minni áhrif. Sprunguhlutfall, sprungustefna, sprungufyllingar og vatnsstaða hafa auk þess mikil áhrif í sprungnu bergi. Í lausum jarðögum hafa þéttleiki, samlíming og raki mest áhrif á hljóðhraða. Vatnsmettum lausra efna breytir hljóðhraða þeirra mjög. Breytingin er oft frá 300 - 500 m/s ef um ósamlímd jarðefni er að ræða og upp í u.p.b. hljóðhraða vatns c.a. 1500 m/s, við mettun. Hljóðhraði í lausum jarðögum eykst að vissu marki með dýpt en í bergi hefur dýpi oftast lítið að segja.

Eftirfarandi yrðingar gilda yfirleitt um ýmis áhrif á hljóðhraða en þó ekki alltaf:

Hljóðhraði er meiri í:

- basisku storkubergi en súru bergi
- storkubergi en seti
- samlímdu seti en ósamlímdu
- vatnsmettuðu ósamlímdu seti en þurru ósamlímdu
- blautum jarðvegi en þurrum jarðvegi
- ólífrænum jarðvegi en lífrænum
- heilu bergi en sprungnu
- þéttu bergi en blöðróttu
- eldra bergi en yngra

TAFLA 1

Algengur hljóðhraði í íslenskum jarðlögum.

	Vp km/s	Vs	log Deyfing
Þétt storkuberg, ósprungið	3-4		1-2
Þétt storkuberg, sprungið	1,5-3		3-5
Ung hraun leirborin } * blöðrótt með litlun	1,2-3,5		3-4
Ung hraun m. gjósku }	eða engum holufyllingu	0,6-3,5	5
Vel samlimt setberg	2,2-3		2-3
Móbergstúff - bólstraberg	2-2,8		2-4
Samanlímdur leir og mórena	1,4-2,2		2-3
Blaut möl árvegur	1,2-1,6		2-3
Þurr möl sandur	0,5-0,8		3-4
Lífrænn jarðvegur	0,3-0,6		4-5
Vatn	1,5		1
Loft	0,33		3

* Verulegur hraðamunur er innan einstakra hraunlaga. Gjóska og kargi eru yfirleitt 0,6-1,5 km/s en kjarni hraunlaganna getur náð 3,5 km/s.

b) Deyfing

Deyfingarstuðull hljóðbylgna í jarðögum er að flestu leiti háður sömu skilyrðum og hljóðhraði í þeim. Í lausum jarðögum getur deyfingin orðið það mikil að mæling verði erfioð eða útilokuð, þrátt fyrir kraftmikinn orkugjafa (stóra sprengju). Deyfing hljóðbylgju í einleitu efni (homogen) fylgir likingunni.

$$I = I_0 \frac{e^{\alpha r}}{r}$$

þar sem:

I Bylgjustærð í fjarlægð r frá upptökum.

I_0 Upphafsbrylgjustærð.

α Deyfingarstuðull efnisins.

Auk þessarar deyfingar tapast orka vegna hljóðbrota og speglana. Í sprungnu efni verður því viðbótar orkutap í hverri sprungu og því heildartapið meira.

c) Hljóðbrot

Um hegðun hljóðbylgju við lagamót milli efna með mismunandi eðliseiginleika gilda sömu reglur og hegðun ljóss þ.e.

1. Bylgja berst beint í efni með einleitum eðliseiginleikum.
2. Þegar bylgja fer yfir lagamót milli efna með mismunandi eðliseiginleika (hljóðhraða) brotnar hún. Brothornið ákvarðast samkvæmt Snells lögmaли.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$$

þar sem i er innfallshornið

r er útfallshornið

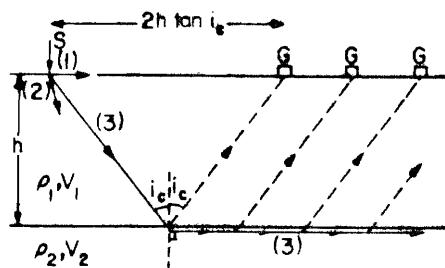
bæði mæld frá falllinu (normal) lagamótanna.

v_1 er útbreiðsluhraðinn í laginu sem bylgjan berst úr

v_2 er útbreiðsluhraðinn í laginu sem bylgjan berst inn í.

Við ákveðið innfallshorn i _C (markhorn) verður útfallshornið 90° þ.e. bylgjan berst eftir lagamótunum (réttara: eftir yfirborði háhraðalagsins). Bylgjan berst frá yfirborði háhraðalagsins undir markhorninu í átt að yfirborðinu. Þessi regla er meginundirstaða hljóðbortsmælinga (refraction seismic).

Mynd 2.



Geisli bylgju sem brotnar undir markhorni (critical angle) og sendir frá sér orkugeista (head wave) til yfirborðsins.

c) Speglanir

Hluti orku geisla sem fellur á lagamót tveggja efna með mismunandi eðliseiginleika speglast inní sama efnið aftur undir sama horni þ.e. innfallshorn er sama og útfallshorn miðað við falllinu lagmótanna. Hlutfall infallsorku A_i og spegl-aðrar orku A_r fylgir jöfnunni

$$R = \frac{A_r}{A_i} = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{P_2 V_2 + P_1 V_1}$$

þar sem P_1 , P_2 er eðlisþyngd og V_1 , V_2 útbreiðsluhraði í efnunum.

R er oft nefnt speglunarstuðull og hefur meginþýðingu í hljóðspeglunarmælingum.

4. Mæliaðferðin

Við jarðsveiflumælingar eru notaðar tvær megináðferðir, hljóðbrotsmælingar (refraction) og hljóðspeglunarmælingar (reflection).

Hljóðbrotsmæling er mest notuð við grynnri mælingar í tengslum við mannvirkjagerð. Hún er einnig notuð við visindarannsóknir á dýpri jaröögum.

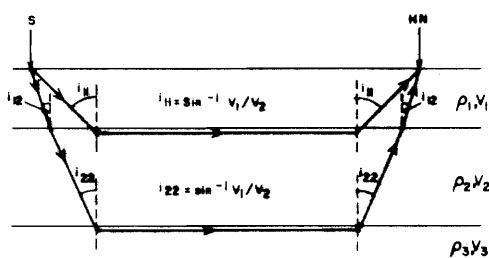
Speglunarmæling er hinsvegar mest notuð í oliuleit og hefur þróast mjög á þeim vígstöðvum.

4. a) HLJÓÐBOTSMÆLING. (SEISMIC REFRACTION).

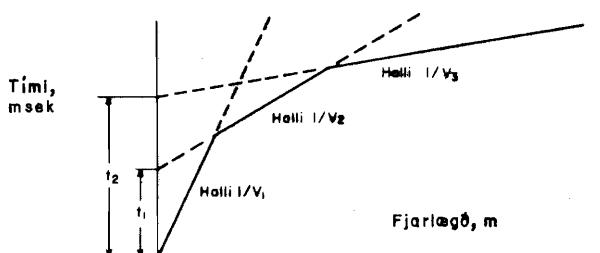
Í hljóðbrotsmælingu eru hljóðnemarnir (geophones) lagðir út í beinni línu. Fjarlægð milli einstakra hljóðnema getur verið breytileg eftir því dýpi sem kanna á en er yfirleitt 5-20 m. Mælingin hefst á því að hljóðbylgju er komið af stað, annað hvort með sprengingu eða höggi. Stysti tími sem tekur bylgjuna að berast frá upphafsstæð að hverjum hljóðnema er síðan mældur. Komutími hennar í hvern hljóðnema er háður þeirri leið sem bylgjan berst um jaröögini og hljóðhraða í hverju lagi (mynd 3 a)

Hljóðhraðinn í hverju lagi er fundinn með því að teikna komutíma bylgjunnar í hvern hljóðnema á móti fjarlægð hans frá upphafspunkti. (Mynd 3 b) Þá er hægt að reikna út dýpi á hvert hljóðhraðalag með því að byggja á eftirfarandi forsendum:

a)



b)



MYND 3. HLJÓBBROTSMÆLING

- a) Eljótunda leið brotinnar bylgju á milli hljóðgjáfa (S) og hljóðnema (HN) eftir lagskiptri jörð.
b) Hljóðmáðalínurit. Fyrsti komutími P-bylgna.

1. Hljóðhraði innan hvers lags sé sami.
2. Hljóðhraði vaxi með dýpi.
3. a) Hljóðhraðalög fari þykkandi niður á við
b) Hljóðhraðaukning milli laga sé það mikil að hvert
hljóðhraðalag komi fram á hljóðhraðalinuritinu.

Margháttar skekkjur geta komið fram í dýptarákvörðun hljóðhraðalaga ef þessum forsendum er ekki fullnægt t.d.

1. Hraðabreyting innan hljóðhraðalags er túlkuð sem breyting á dýpi.
2. Þar sem dýpri lög hafa lægri hljóðhraða en yfirborðslög sýnist dýpra á háhraðalag en er í raun.
3. Óheppilegt hljóðhraða- og þykktarhlutfall laga getur valdið því að þunnt hljóðhraðalag "sjáist" ekki. Dýpi á háhraðalag er grynnra í raun en sýnist.

Þykktarákvörðun með hljóðbrotsmælingu er í eðli sínu óbein, þ.e. þykktin er ekki mæld beint. Nákvæmni í þykktarákvörðun er því að mestu háð því hversu vel mæliaðstæður fylgja ofangreindum forsendum.

Standist þær forsendur ekki getur komið fram rangtúlkun sem veldur mikilli skekkju. EKKI má heldur gleymast að þykktarákvörðun með jarðsveiflumælingu gefur einungis þykkt hljóðhraðalaga. Það hlýtur alltaf að vera matsatriði hvort eða hvaða hljóðhraðalög samsvara ákveðnum jarðmyndunum. Það er því afar nauðsynlegt að slikar þykktarákværðanir hafi stuðning frá beinum mælingum (t.d. borholum) sem gerðar eru á svæðinu til samanburðar. Ef nauðsyn krefur er hin jarðeðlisfræðilega mynd leiðrétt á slíkum samanburðarpunktum. Borhola getur t.d. veitt vitneskju um tilvist og hraða í lághraðalagi sem liggur milli laga sem hafa hærri hljóðhraða.

Hljóðbrotsmælingarnar eru mjög óheppilegar við slikar kringumstæður, þó reikningslega sé hægt að taka þessar upplýsingar inn í myndina. Aðrar mæliaðferðir t.d. viðnáms og hljóðspeglunarmælingar geta hentað betur þegar þannig stendur á. Það þarf þó alltaf að meta á hverjum stað i ljósi tilgangs, kostnaðar og nákvæmni.

Við venjulegar aðstæður, þar sem frumforsendurnar gilda hefur samanburður við beinar mælingar (borholur, gryfjur, borrobora o.fl.) sýnt að skekkjumörkin í þykktarákvöðun eru u.p.b.

$\pm 1 \text{ m}$ við dýpi minna en 10 m
 $\pm 10\%$ - - meira en 10 m.

F Y L G I R I T III

V I Đ N A M S M Ä L I N G A R

VIÐNÁMSMÆLINGAR

Frumkönnun fyrir mannvirkjagerð

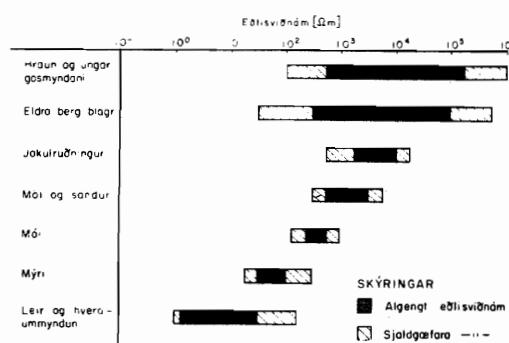
1978-09-04

1. Inngangur.

Viðnámsmælingar hafa verið notaðar hér á landi við jarðhitaleit í nokkra áratugi og gefist mjög vel. Á seinni árum hefur þeim einnig verið beitt með góðum árangri við ferskvatnsleit og frumkönnun fyrir mannvirkjagerð. Grein þessi fjallar um notkun, túlkun og notagildi viðnámsmælinga við slika frumkönnun. Markmið viðnámsmælinga þar er að finna þykkt laga með mismunandi eðlisviðnámi. Þessi viðnámslög gefa vísbindingu um jarðlagaskipan á mælistæð.

1.1. Eðlisviðnám.

Eðlisviðnám er mælikvarði á það hve vel efni leiða rafstraum. Algengasta eining þess er Ωm (ohm-m). Margir þættir ráða eðlisviðnámi jarðlaga en mest áhrif hefur vatnsmagn í jarðlögunum og magn uppleystum efna (t.d. salts) í vatninu. Flestar berg og steintegundir leiða rafstraum afar illa þegar þær eru þurrar. Venjulega er vatn með uppleystum efnum í jarðlögunum. Slikar vatnslausnir leiða rafstraum mun betur en fasta efnið og hafa því afgerandi áhrif á hve vel jarðlögini leiða, þar sem þær skammhleypa rafstraumnum framhjá háviðnáminu. Mynd 1 sýnir algengt eðlisviðnám jarðlaga hérlandis.



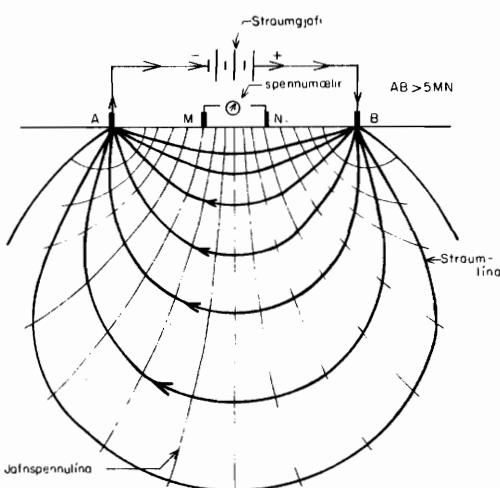
Mynd 1 Algengt eðlisviðnám notkun jarðlaga

Myndin er mjög einfölduð og byggir ekki á skipulegri gagnasöfnun, helstu frávik eru ekki innfalið í henni

1.2. Eðli mæliaðferðar.

Mælingin er fólgin í því að rafstraumur er sendur gegnum jarðlögini um tvö skaut A og B, og spennufallið milli annarra tveggja skauta M og N síðan

mælt (sjá mynd 2). Viðnámið sem ákvárdast af mældum straum- og spennugildum og uppröðun rafskauta kallast sýndarviðnám (ρ_a). Má líta á það sem eins konar meðaltal af eðlisviðnámi undirliggjandi jarðlaga. Margs konar uppsetningar á

Mynd 2
VIÐNÁMSMÆLING - SCHLUMBERGER UPSETNING

Straumur er sendur eftir jarðlögunum um skautin A og B. Spennufallið sem verður við það, er mælt milli tveggja annara skauta, M og N

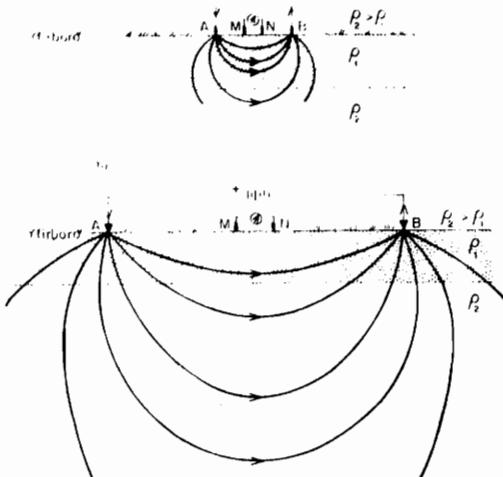
rafskautum hafa verið reyndar, en sú sem mest hefur verið notuð undanfarið er hin svokallaða Schlumberger uppsetning (mynd 2). Hún hefur marga kosti umfram aðrar og er mælt með notkun hennar.

2. Mæliaðferðir.

Tvær algengustu aðferðir viðnámsmælinga eru dýptarmælingar og lengdarmælingar.

2.1. Dýptarmæling.

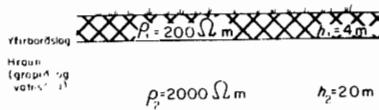
Dýptarmæling er notuð til að kanna fjölda, eðlisviðnám og þykkt mismunandi viðnámslaga undir mælistæð. Hún er framkvæmd með því að lengja bilið milli straumskauta eftir hvern einstakan aflestur. Við það eykst hlutfallslega rafstraumurinn sem fer eftir dýpri jarðlögum (mynd 3). Sýndarviðnám er reiknað fyrir hvert skautabil og teiknað upp á móti lengd straumarms ($AB/2$) á log-log pappír. Ferillinn sem kemur fram við það er nefndur mæliferill.



Mynd 3
DÝPTARMÆLING

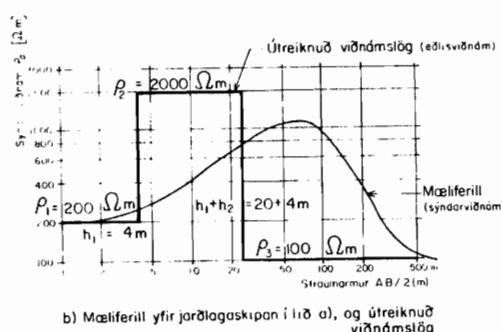
Þegar bílinn milli straumskautanna er aukinð eykst sá hlut straumsins sem fer eftir dýptu jordlögum

Upplýsingar um eðlisviðnám og þykkt undirliggjandi viðnámslagu eru fólgunar í mæliferlinum. Markmið úrvinnslu dýptarmælinga er að leysa mæliferillinn upp í þessi lög (mynd 4). Nefnist það túlkun.



Sett
 $\rho_2 = 2000 \Omega\text{m}$
 $\rho_3 = 100 \Omega\text{m}$

a) Þaumum hugsalega viðnáms- og jordlaga skípan



b) Mæliferill yfir jordlagaskípani í a), og útreiknuð viðnámslög

Mynd 4
DÝPTARMÆLING

Túlkun dýptarmælinga byggist á eftirfarandi forsendum:

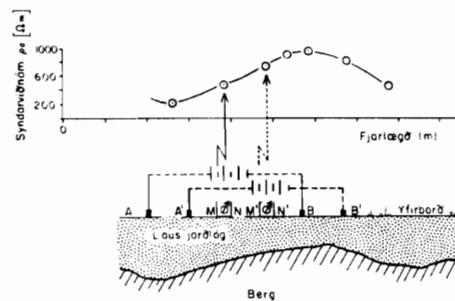
- Hvert viðnámslag hafi óbreytt eðlisviðnám og nái i láréttu plani töluvert út fyrir svæði sem hefur fjarlægð milli straumskauta að þvermáli.
- Viðnámslögin liggi hallalítio hvert ofan á öðru.

3) Hvert viðnámslag sé það greinilegt að það komi skýrt fram við mælingu. Við túlkun er mæliferillinn borinn saman við ferla sem eru reiknaðir út frá láréttum lögum með gefnum viðnáms- og þykktarhlutföllum. Mæliferillinn endurspeglar lög af sömu viðnáms- og þykktarhlutföllum og sá reikniferill sem fellur best að honum.

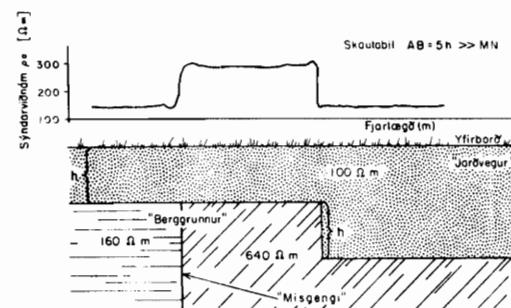
Viðnámslögin má síðan tengja jarðfræði svæðisins og fá þannig nákvæmari mynd af svæðinu. Á það skal leggja ríka áherslu að slik tenging verður ávallt matsatriði þar sem viðnámslög burfa ekki að fylgja jarðlagaskipan, þótt þau geri það oft.

2.2. Lengdarmæling.

Lengdarmæling hefur yfirleitt þann tilgang að fá vitneskjú um hve þykkur jarðvegur liggur ofan á fôstu bergi. Mæliaðferðin hefur einnig verið notuð til að finna huldar sprungur og misgengi.



a) Skautin eru oft færð til, eftir hvern aflestur og annar tekinn. Sýndarviðnám er reiknað út í hverjum mælipunkti og teiknað á móti fjarlægð hans frá upphafsstöðu



b) Breyting á jorðvegsþykkt getur hugsalega haft sömu áhrif á sýndarviðnám eins og breyting í viðnámslögum

Mynd 5
LENGDARMÆLING

Lengdarmæling er framkvæmd með því að mæla breytingu á sýndarviðnámi eftir einhverri ákveðinni línu fyrir tiltekið fast skautabil. Miðja mæliuppsetningar er því flutt eftir hvern aflestur og annar aflestur tekinn í næsta mælipunkti. Sýndarviðnám í hverjum

mælipunkti er teiknað á móti fjarlægð hans frá upphafspunkti mælilínu (mynd 5a). Lögun þess ferils sem við það fæst, getur endurspeglad breytilega jarðvegsþykkt á línumni eða óreglu í jarðlagaskipan eins og ganga, sprungur eða misgengi (mynd 5b). Slik túlkun verður þó ávallt að taka mið af jarðfræði svæðisins, öðrum jarðeðlisfræðilegum, mælingum eða borholum.

3. Nákvæmni, notagildi og kostnaður.

Þessi kafli fjallar einungis um grunnar mælingar (0-100 m). Notagildi viðnámsmælinga við könnun á dýpri jarðögum er háð allt öðrum forsendum.

3.1. Notagildi.

Frumkönnun fyrir mannvirki byggir að mestu á þykktarákvörðun og styrkleikamati jarðlaga. Þykktarákvörðun er yfirleitt mun fljótvirkt og ódýrari með viðnáms- og jarðsveiflumælingum en beinum mælingum (boranir og gryfjutaka).

Hljóðbrotsmæling (seismic refraction) er að mörgu leyti heppilegri en viðnámsmæling við síða frumkönnun. Hún er nákvæmari í dýptarákvörðun og mælir hljóðhraða í jarðögum sem gefur vísbindingu um styrkleika þeirra. Rétt er þó að hafa í huga að túlkun allra jarðeðlisfræðilegra mælinga byggist á gefnum forsendum. Veruleg frávik frá pessum forsendum geta komið fram á einstökum svæðum. Túlkun mælinga nað verður þá mjög frábrugðin raunveruleikanum. Þess vegna er mikill kostur að hafa borholu á svæðinu til að sannreyna túlkunina. Þegar borholu er ekki til staðar er mjög æskilegt að nota dýptarmælingu til að kanna hvort forsendur túlkunar á hljóðbrotsmælingunni standist. Í dýptarmælingu mælast aðrir eiginleikar jarðlaganna en í hljóðbrotsmælingu. Þá er því afar sjaldgæft að forsendur beggja mæliaðferðanna bresti samtímis. Dýptarmælingar eru annars sjaldnast notaðar nema þegar saman fer að mjög dýrt er að beita beinum mælingum og hljóðbrotsmælingarnar bregðast. Dæmi um síkar aðstæður er þegar ákvárdar þarf þykkt á hraunlagastafla sem liggur ofan á þykku seti.

Lengdarmælingar eru sérlega hentugar til að meta þykkt lausra jarðlaga í fljótandi myrum þar sem erfitt er að koma við þungum tækjum og hljóðbrotsmælingarnar bregðast algjörlega. Einnig er hagkvæmt að nota lengdarmælingu til að tengja á milli beinna mælinga. Þá má fækka dýrum athugunum án þess að nákvæmin skerðist að nokkrum mun.

3.2. Nákvæmni.

Nákvæmni viðnámsmælinga við þykktarákvörðun er að mestu háð því hversu réttar þar forsendur eru sem notaðar eru við túlkun (sbr. kafla 2). Standist þær

forsendur ekki getur komið fram mikil skekkja. Aðrir óvissupættir og skekkjuvaldar eru einnig hugsanlegir: Mæliferill yfir þunnu lagi með háu viðnámi getur t.d. litið svipað út og mæliferill yfir þykkara lagi með lægra viðnámi. Stundum getur orðið mjög erfitt að greina þar á milli. Starstu og alvarlegustu skekkjurnar verða þó þegar viðnámskíl falla ekki saman við jarðlagaskil. Sem dæmi má nefna að þar sem jökulruðningar og basaltklöpp hafa svipuð viðnámsgildi er stórr hættá að talið verði að allt viðnámslagi sé basaltklöpp þótti raun liggi þykkur jökulruðningur ofan á klöppinni. Frávikin í sílum tilfellum geta numið mörg hundruð prósentum. Þykktarákvárðanir út frá viðnámsmælingu verða því að hafa stuðning frá beinum mælingum, t.d. borholum eða öðrum mælingum sem gerðar eru á svæðinu til samanburðar. Ef nauðsyn krefur er hin jarðeðlisfræðilega mynd leiðrétt á sílum samanburðarpunktum. Yfirleitt er talið að dýptarákvörðun við sammilegar aðstæður og dýpi minna en 100 m sé nákvæm upp á ± 15%.

3.3. Kostnaður.

Yfirleitt vinna 4 menn að dýptarmælingu, þótt hægt sé að komast af með þrjá við bestu skilyrði. Fjórði maðurinn gerir kleift að grófvinna út mælingum á staðnum. Þannig er strax hægt að fá lauslegar niðurstöður og mat á gæðum mælingarinnar. Í ljósi þessa mats er síðan tekin ákvárdun um frekari aðgerðir. Í fjögurra manna flokki er verkaskiptingin þannig: Einn mælir, annar reiknar út og vinnur úr niðurstöðum og tveir færa rafskautin til.

Timinn sem fer í mælingarnar er mjög háður lengd mælinanna, yfirferð á mæliland og þeim tíma sem tekur að aka milli mælistáða. Við góðar aðstæður þar sem stutt er á milli mælinga og land er slétt, má búast við eftirfarandi fjölda dýptarmælinga á dag:

	350 m straumarmur	1500 m straumarmur
4 menn	6 mæl/dag	2 mæl/dag
3 "	4-6 " "	1-2 " "
Dagur er hér skilgreindur sem 12 tímar. Yfirferð í lengdarmælingu með 4 mönnum og 25 m færslu ætti að vera í kringum 2 km á dag. Miðað við verðlag í maí 1978 er kostnaður á mælidag áætlaður:		
	Einingarverð:	Heildarverð
Menn (4)	50	200
(kaup, gisting, fæði)		
Bíll	10	10
Tækjaleiga	20	20
Túlkun		
(auk skrst. kostn)	20	20
	Samtals	250 kkr.

Ófyrirséð er 10%.

Kostnaður á dag er því um 280 þús. kr.

T Ö F L U R

TAFLA 1

SEGULMÆLINGAR. STADSETNING Á MÆLILÍNUM

Númer endahæla í mælilinum.	STADSETNING	
	Y-Hnit	X-Hnit
SM-0-S	412.036.7	571.822.2
" -0-N	412.254.4	572.097.9
" -1-S	411.665.5	571.951.0
" -1-N	412.185.3	572.865.1
" -2-S	411.565.1	572.038.4
" -2-N	411.814.4	572.528.8
" -3-S	411.719.4	571.930.0
" -3-N	411.978.3	572.298.9
" -4-S	411.846.5	571.938.4
" -4-N	411.990.7	572.143.2
" -5-S	411.812.7	571.917.6
" -5-N	412.067.8	572.076.3
" -6-S	411.970.5	571.893.5
" -6-N	412.137.0	572.004.2
" -7-S	412.114.0	571.756.2
" -7-N	412.253.5	571.964.5
" -8-S	412.241.5	571.768.6
" -8-N	412.351.5	571.936.3
" -9-S	412.334.4	571.728.7
" -9-N	412.449.0	571.892.9
"-10-S	412.404.2	571.654.4
"-10-N	412.516.6	571.820.2
"-11-S	412.505.1	571.625.7
"-11-N	412.588.7	571.751.0
"-12-S	412.581.4	571.557.4
"-12-N	412.683.8	571.667.5
"-13-S	412.622.1	571.454.9
"-13-N	412.758.8	571.601.7
"-14-S	412.697.0	571.389.3
"-14-N	412.833.8	571.535.9

TAFLA 1 frh.

SEGULMÆLINGAR. STÆDSETNING Á MÆLILÍNUM

Númer endahæla í mælilinum.	STÆDSETNING	
	Y-Hnit	X-Hnit
SM-15-S	412.770.3	571.325.7
"-15-N	412.908.9	571.470.0
"-16-S	412.807.6	571.226.6
"-16-N	412.984.0	571.404.1
"-17-S	412.882.3	571.160.5
"-17-N	413.059.1	571.338.2
"-18-S	412.918.6	571.055.3
"-18-N	413.134.3	571.272.4
"-19-S	412.945.9	570.944.2
"-19-N	413.157.2	571.155.6
"-20-S	413.017.4	570.882.0
"-20-N	413.221.5	571.025.4
"-21-S	413.021.2	570.762.0
"-21-N	413.266.4	570.932.6
"-22-S	413.114.0	570.708.9
"-22-N	413.312.4	570.861.7
"-23-S	413.136.1	570.600.
"-23-N	413.373.9	570.783.8
"-24-S	413.190.6	570.515.8
"-24-N	413.430.3	570.694.4
"-25-S	413.287.9	570.463.6
"-25-N	413.448.0	570.582.9



TAFLA 2
HLJÓÐBROTSMÆLINGAR

Staður:

BÚÐARHÁLSVIRKJUN

Hæll nr.	Staðsetning		Hæð m.y.s.	Hljóðhraði, km/s				þykkt, m		Dýpi, m á 3. lag H ₂		
	Y - hnit	X - hnit		V ₁	V ₂		V ₃		I. lag h ₁	2. lag h ₂		
					V _u og V _d	V _t	V _u og V _d	V _t				
SS - 1A	412.048.9	573.271.0		0,5	1,6		3,2		1,9	11,0	12,9	
B	412.127.1	573.179.2		0,3	1,4	1,5	3,3		1,9	7,8	9,7	
SS - 2A	412.084.2	573.375.5		1,0	1,9		3,6					
B	412.142.1	573.295.0		1,1	1,9	1,9	4,0					
SS - 3A	411.382.9	572.170.5		0,6	2,0		4,1		1,6	7,4	9,0	
B	411.468.3	572.128.7		0,8	1,4	1,6	3,4		1,6	4,9	6,5	
SS - 4A	411.685.2	572.467.7		0,6	2,7	2,7			2,0			
B	411.752.6	572.407.2		0,3	2,6				2,0			
SS - 5A	411.714.0	572.095.6		0,4	1,9	1,9	3,9		4,2	10,6	14,8	
B	411.791.1	572.032.0		0,3			3,4		4,7			
SS - 6A	411.942.9	572.184.9		0,3	2,5				2,4			
B	412.016.8	572.120.9		0,3	2,6	2,5			3,4			
SS - 7A	412.151.6	572.331.8		0,3	2,1	2,3	3,3		2,1	8,3	10,4	
B	412.222.3	572.262.6		0,4	2,5		3,5		2,7	11,6	14,3	
SS - 8A	412.368.8	572.480.3		0,4	2,2	2,2	4,9		2,9	17,1 ?	20,0 ?	
B	412.433.3	572.403.9		0,5	2,2		3,5		3,7	13,5 ?	17,2 ?	
SS - 9A	412.598.1	572.620.9		0,4	2,7	2,7			3,2			
B	412.648.1	572.536.2		0,4	2,7				3,2			
SS - 10A	412.680.7	572.680.7		0,4	1,7	1,5	2,9		1,9	6,7	8,6	
B	412.718.3	572.590.7		0,4	1,4		2,8		1,9	4,7	6,6	
SS - 11A	412.921.7	572.385.7		0,8	1,6	1,6	2,5		1,4	5,7	19,1	
B	412.986.6	572.314.7		0,8			2,7	V ₄ =4,6	2,2	~3,0	19,6	
SS - 12A	411.964.4	571.889.4		0,4	3,5				3,4			
B	412.042.8	571.829.9		0,4	4,0	3,7			4,0			
SS - 13A	412.073.0	571.965.7		0,3	2,2	2,2			2,3			
B	412.141.8	571.895.1		0,3	2,2				2,3			
SS - 14A	412.223.4	572.058.6		0,4	1,5	1,5	2,2		2,5	13,4	15,9	
B	412.293.9	571.988.7		0,4	-		2,8		1,9	6,0	7,9	
SS - 15A	412.402.6	572.154.3		0,4	1,4	1,5	2,7		2,7	3,8	5,7	
B	412.454.9	572.069.6		0,4	1,6		2,7		1,9	3,9	5,8	
SS - 16A	412.557.9	572.158.1		0,5	2,7	2,7			2,0			
B	412.607.0	572.073.4		0,5	2,7				2,6			
SS - 17A	412.709.2	572.269.7		0,4	2,5	2,5			2,8			
B	412.771.5	572.190.4		0,4	2,5				3,7			
SS - 18A	412.979.8	572.222.8		0,7	1,4	1,6	2,8		1,7	3,7	5,4	
B	413.027.0	572.136.0		0,5	2,0		2,8		1,7	6,3	8,0	
SS - 19A	412.155.6	571.754.7		0,4	3,8				4,7			
B	412.229.9	571.688.6		0,4	3,2	3,5			3,3			
SS - 20A	412.323.9	571.832.4		0,3	2,0	1,6	4,8		2,9	21,9	24,8	
B	412.391.7	571.760.0		0,3	1,4		3,9		2,0	13,2	15,2	
SS - 21A	412.449.0	571.892.9		0,5	2,9	2,8			2,9			
B	412.516.6	571.820.2		0,4	2,7				2,1			
SS - 22A	412.653.8	571.956.6		0,4	2,7	2,7			2,5			
B	412.718.7	571.880.9		0,4	2,7				2,5			

Ath.

V = velocity / hljóðhraði

u = up-dip / hallar upp

d = down-dip / hallar niður

t = true / réttur

26,2
24,8



TAFLA 3
HLJÓÐBROTSMÆLINGAR
Staður:

BÚÐARHÁLSVIRKJUN

.....

Hæll nr.	Staðsetning		Hæð m.y.s.	Hljóðhraði, km/s				þykkt, m		Dýpi, m á 3. lag H_2
	Y - hnit	X - hnit		V_1	V_2 $v_u \text{ og } v_d$	V_t	V_3 $v_u \text{ og } v_d$	V_t	1. lag h_1	
SS -23A	412.849.6	572.009.1		0,4	2,8				2,4	
B	412.910.8	571.929.8		0,5	2,6				2,4	
SS -24A	413.075.5	572.035.9		0,6	1,7	1,8	3,0	3,0	1,9	6,2
B	413.043.2	571.942.2		0,5	1,9		3,1		1,9	7,1
SS -25A	413.092.9	572.210.6		0,6	1,6	1,6	2,9	2,8	1,7	3,9
B	413.155.8	572.136.6		0,6	1,6		2,8		1,7	5,6
SS -26A	413.288.8	572.037.8		0,8	2,9	2,9			3,8	
B	413.241.4	571.951.2		0,8	2,9				3,8	
SS -27A	413.288.4	571.796.7		0,6	2,0	1,8	2,9	2,9	1,7	5,8
B	413.238.7	571.712.6		0,6	1,7		2,9		1,7	3,9
SS -28A	413.050.9	571.789.8		0,7	2,9	2,9			2,7	
B	413.106.9	571.708.2		0,7	2,8				3,1	
SS -29A	412.349.5	571.605.0		0,3	3,8				2,7	
B	412.410.7	571.527.9		0,4	3,1	3,5			2,5	
SS -30A	412.495.5	571.694.2		0,4	1,6	1,5	4,2	4,5	1,9	15,9
B	412.558.9	571.618.1		0,3	1,4		4,7		1,9	13,4
SS -31A	412.670.5	571.760.5		0,5	2,7	2,7			2,9	
B	412.833.8	571.684.4		0,4	2,7				2,5	
SS -32A	412.503.7	571.304.4		0,5	3,5	3,4			2,7	
B	412.561.0	571.223.3		0,6	3,3				2,5	
SS -33A	412.634.0	571.402.1		0,6	4,5	4,2			4,5	
B	412.718.5	571.315.6		0,7	4,0				4,5	
SS -34A	412.833.4	571.515.1		0,5	1,7	1,7	2,9	3,0	1,8	5,3
B	412.901.6	571.442.9		0,5	1,8		3,1		2,0	4,9
SS -35A	413.054.7	571.595.8		0,6	2,3	2,2	3,1	3,1	2,0	9,1
B	413.118.1	571.520.1		0,5	2,1		3,1		2,0	10,8
SS -36A	412.708.6	570.929.6		0,6	4,0				2,5	
B	412.772.4	570.854.7		0,8	4,0	4,0			4,0	
SS -37A	412.878.9	571.032.0		0,6	1,4	1,4	3,0	3,6	1,8	9,4
B	412.944.4	570.957.9		0,5	1,4		4,4		1,7	14,8
SS -38A	412.951.3	571.087.6		0,8	2,3	2,2	4,7	4,1	4,5	24,2
B	413.034.5	570.999.6		0,9	2,2		3,7		3,2	22,3
SS -39A	413.026.1	571.136.1		0,9	3,1	3,1			5,4	
B	413.103.3	571.043.2		1,0	3,2				6,1	
SS -40A	413.152.6	571.218.0		0,9	2,9	2,9			4,4	
B	413.202.9	571.108.C		1,0	2,9				5,2	
SS -41A	413.020.2	570.783.6		0,8	1,3	1,3	4,4	4,1	2,1	17,2
B	413.103.6	570.695.2		1,0	1,3		3,8		2,1	19,9
SS -42A	413.177.0	570.864.9		0,8	3,1	3,1			5,4	
B	413.253.C	570.770.3		1,0	3,0				5,7	
SS -43A	413.264.5	570.928.9		1,0	3,0	3,0			5,3	
B	413.334.2	570.829.8		1,0	3,0				5,3	
SS -44A	413.129.0	571.466.7			3,0	3,0				
B	413.154.2	571.347.3			3,0	3,0				

Ath.

V = velocity / hljóðhraði

u = up-dip / hallar upp

d = down-dip / hallar niður

t = true / réttur



TAFLA 4
HLJÓÐBROTSMÆLINGAR

Staður:

BÚÐARHÁLSVIRKJUN

.....

Hæll nr.	Staðsetning		Hæð m.y.s.	V _I	Hljóðhraði, km/s				þykkt, m		Dýpi, m á 3. lag H ₂			
	Y - hnit	X - hnit			V ₂		V ₃		I. lag h ₁	2. lag h ₂				
					V _U og V _D	V _f	V _U og V _D	V _f						
SS -45A	412.973,5	571.692,7					3,1							
B	413.052,3	571.598,6					3,3		3,2					
SS -46A														
B														
SS -47A														
B														
SS -48A	412.861,1	572.459,9												
B	412.949,7	572.376,9												
SS -49A	412.963,2	572.360,3		1,2	2,6					3,9				
B	413.001,2	572.246,8		1,5	2,9					5,4				
SS -50A	412.653,4	572.526,1		0,4	2,7		2,7			3,4				
B	412.701,0	572.415,5		0,4	2,7					2,8				
SS -51A	412.300,6	572.555,6		0,4	2,8		2,7			3,4				
B	412.381,8	572.466,4		0,4	2,6					2,8				
SS -52A	412.449,0	572.380,4		0,5	2,7		2,7			2,9				
B	412.513,5	572.278,2		0,5	2,7					3,3				
SS -53A	412.065,1	572.429,4		0,4	2,5		2,5			2,3				
B	412.144,9	572.338,7		0,4	2,5					2,8				
SS -54A	412.877,9	572.226,2		0,8	3,4		3,2			3,2				
B	412.998,2	572.221,4		0,9	3,0					2,8				
SS -55A	412.701,0	572.415,5		0,3	2,7		2,7			3,0				
B	412.698,2	572.295,6		0,5	2,7					2,4				
SS -56A	412.513,6	572.279,3		0,6	2,5		2,7			4,5				
B	412.552,8	572.166,7		0,5	2,8					4,5				
SS -57A	412.250,4	572.256,7		0,5	2,8			3,1		3,4	14,5			
B	412.351,3	572.217,8		0,4	2,5		2,7	3,3		2,8	8,0			
SS -58A	412.345,3	572.228,8		0,4	2,1			3,0		2,0	6,5			
B	412.414,6	572.129,9		0,3	1,9		2,0	2,5		2,0	8,5			
SS -59A	412.098,7	572.098,7												
B	412.214,2	572.064,1												
SS -60A	411.998,9	572.124,8		0,5	2,7		2,8			2,7				
B	412.107,6	572.094,8		0,4	2,9					2,5				
SS -61A	411.880,4	572.098,6		0,3	2,8		2,8			2,5				
B	411.979,3	572.030,4		0,3	2,9					3,1				
SS -62A	412.816,7	572.387,2		0,7	2,4		2,2	3,8		3,5	11,9			
B	412.926,5	572.386,3		1,0	2,1			3,5		3,0	11,2			
SS -63A	412.707,4	572.393,8		0,6	2,9			3,0		4,6				
B	412.816,7	572.387,2		0,5	3,2					4,6				
SS -64A	412.598,8	572.399,8		0,7	2,9					3,9				
B	412.707,4	572.393,8		0,7	2,8		2,9			3,8				
SS -65A	412.488,5	572.406,5		0,8	2,6		2,8	5,0?		3,9	29,6			
B	412.598,8	572.399,8		0,7	3,2			4,8?		4,8	28,7			
SS -66A	412.372,8	572.351,9		0,8	2,5		2,7	3,2		3,5	7,6			
B	412.468,5	572.404,1		0,7	2,8			3,7		3,8	11,1			
										10,6	14,4			

Ath.

V = velocity / hljóðhraði

u = up-dip / hallar upp

d = down-dip / hallar niður

t = true / réttur



Ath.

V = velocity / hljóðhráði
u = up-dip / hallar upp
d = down-dip / hallar niður
t = truð / réttur

TAFLA 6

Staðsetning og dýpi kjarnaborholu

Hola	Hnít	Hæð fóðurrörs m y.s.	Dýpi m	Hæð botns m y.s.
ST-14	412.422	572.379	290,8	65,8

TAFLA 7

Upplýsingar varðandi sýni og sýnatökum úr efri hluta setsins í borholunni ST-14.

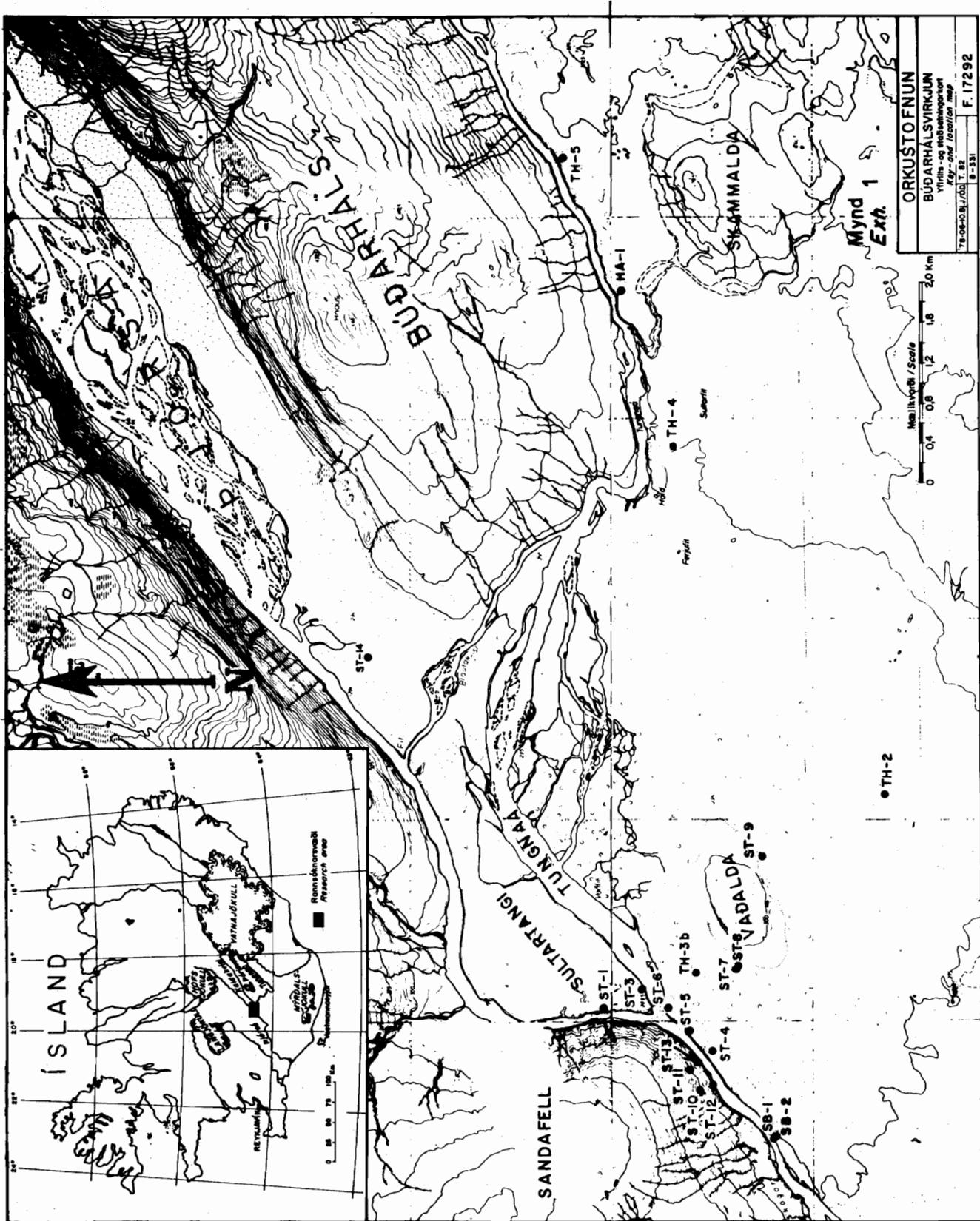
Númer sbr. korna- dreifingarlínu- rit á mynd 12	Sýnis Tekið á dýptarbilinu skv. borskýrslum sjá borholusnið	Tilheyrrir dýptar- bilinu	Sýnataka tókst í 1. eða 2. lotu	Skolað óskolað	Fyngd í g	Athugasemdir
*	1	31,8 - 34,8	30,5 - 34,8	1.	S?	6022
*	2	36,5 - 37,8	30,5 - ~37,8	2.	S	620
*	3	36,5 - 37,8	36,5 - 37,8?	2.	Ø	255
*	4	38,0 - 40,6	38,0 - 40,6?	1.	Ø	72
	5	44,0 - 50,4	30,5 - 50,4	2.	S	2628
*	6	50,0 - 50,4	44,0 - 50,4	2.	Ø	36

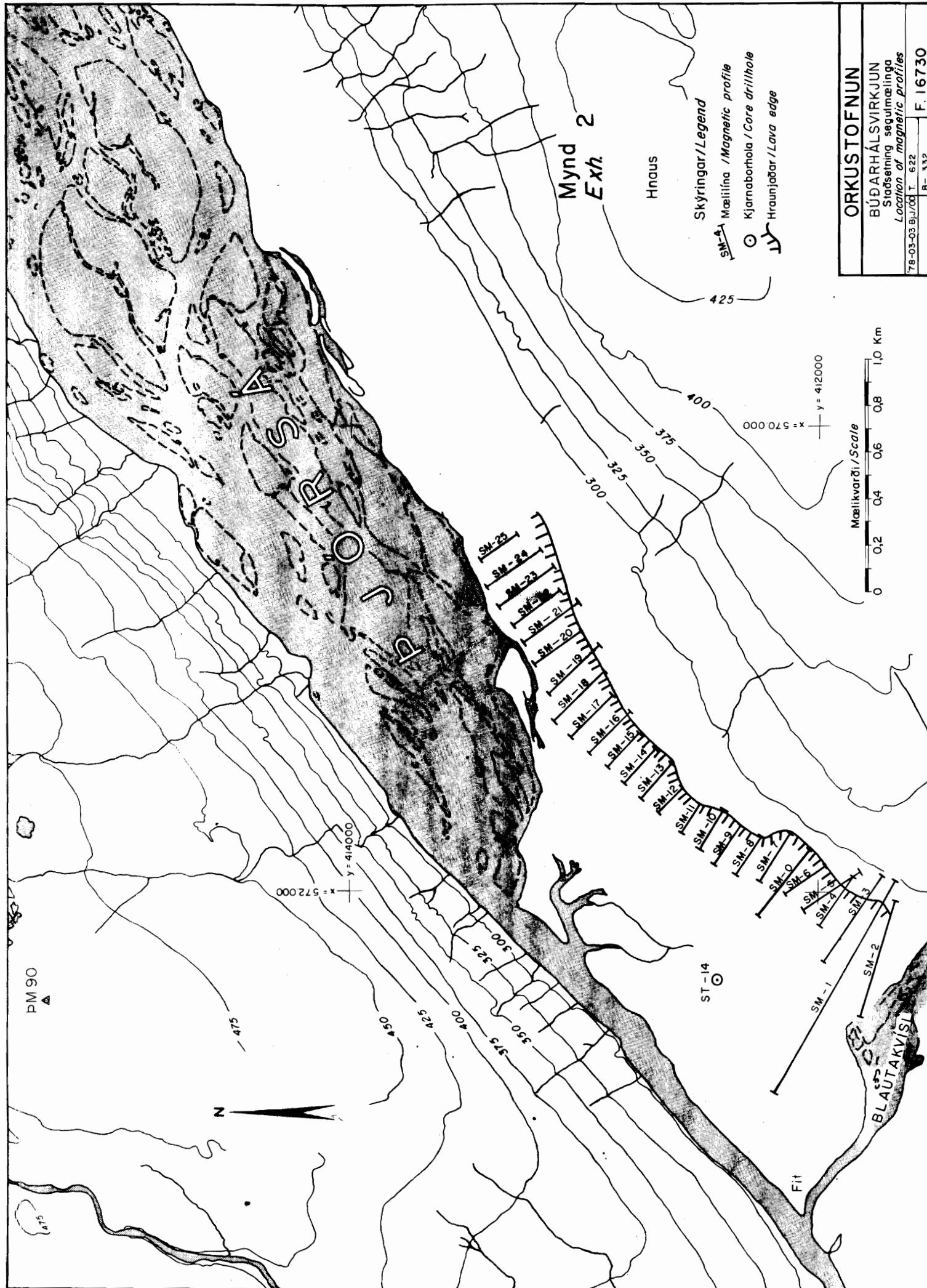
* = Sýni tilheyra að mestu leyti bilinu sem þau eru tekin í (ekki hrún), sýni óskoluð (sbr. þó 1).

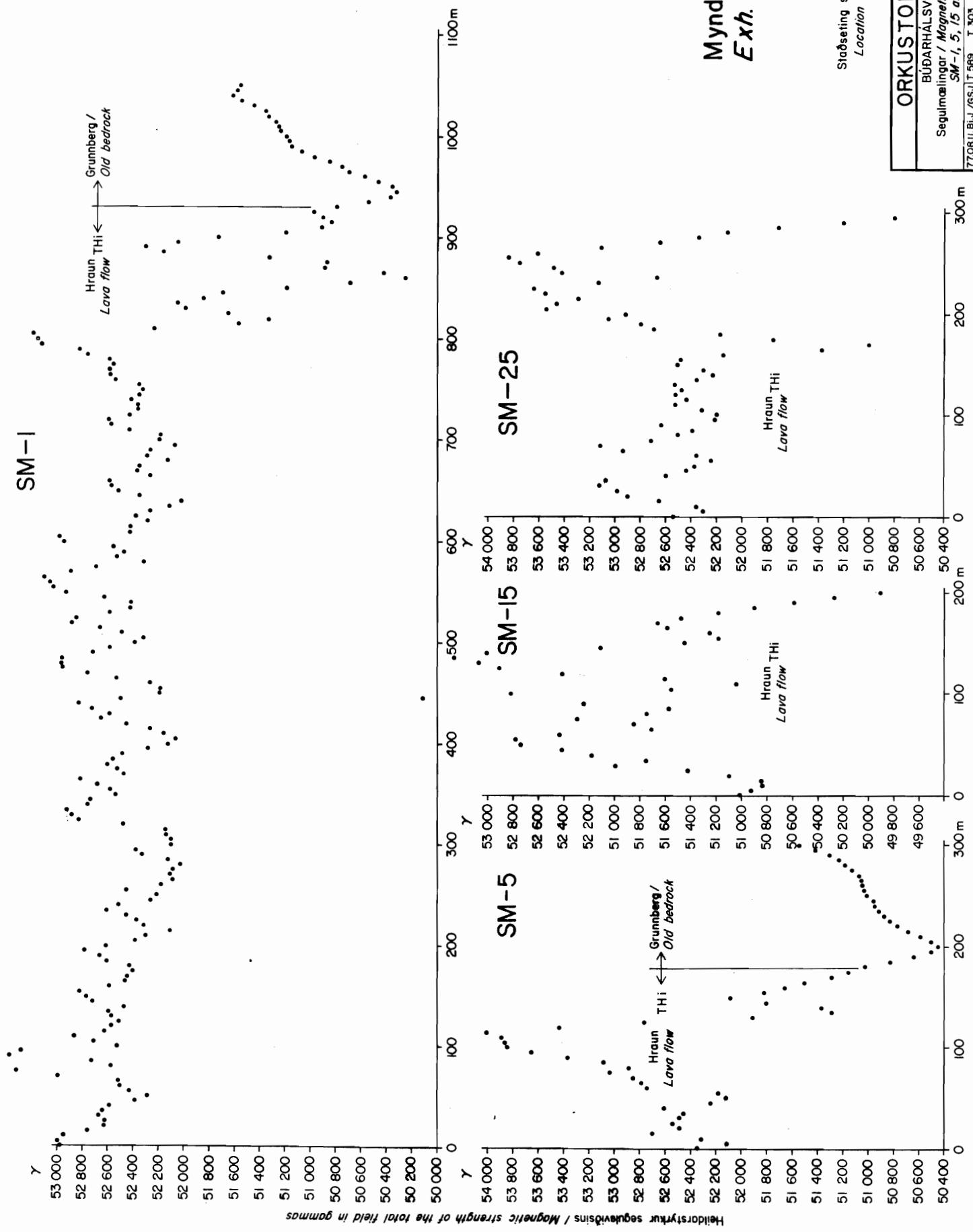
Tilheyrrir dýptarbilinu = Sýnið er komið úr viðkomandi dýptarbili.

1. lota, 2. lota = 1. kjarnarör hefur ekki komist fyrir niður á viðkomandi bil;
2. kjarnarör hefur farið dýpra og þá án þess að ná sýni.

M Y N D I R







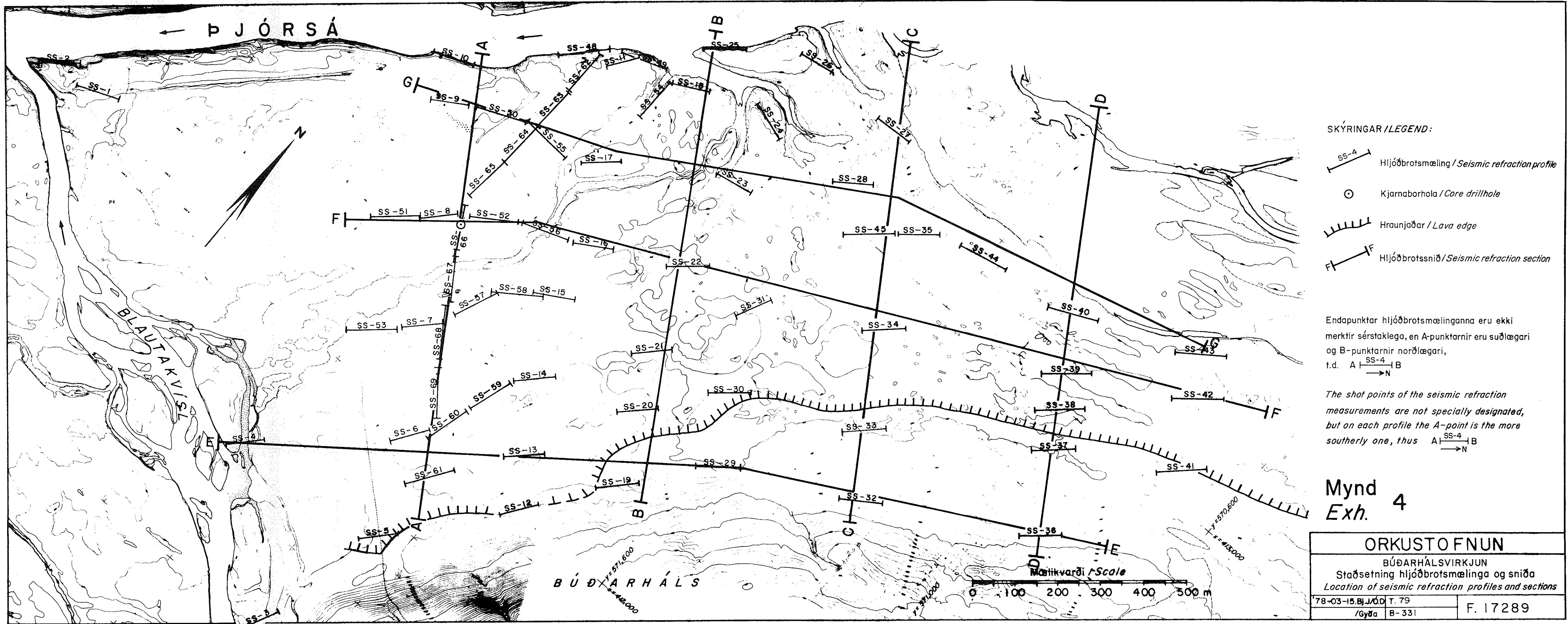
Staðsettning sjá mynd 2
Location see exh.

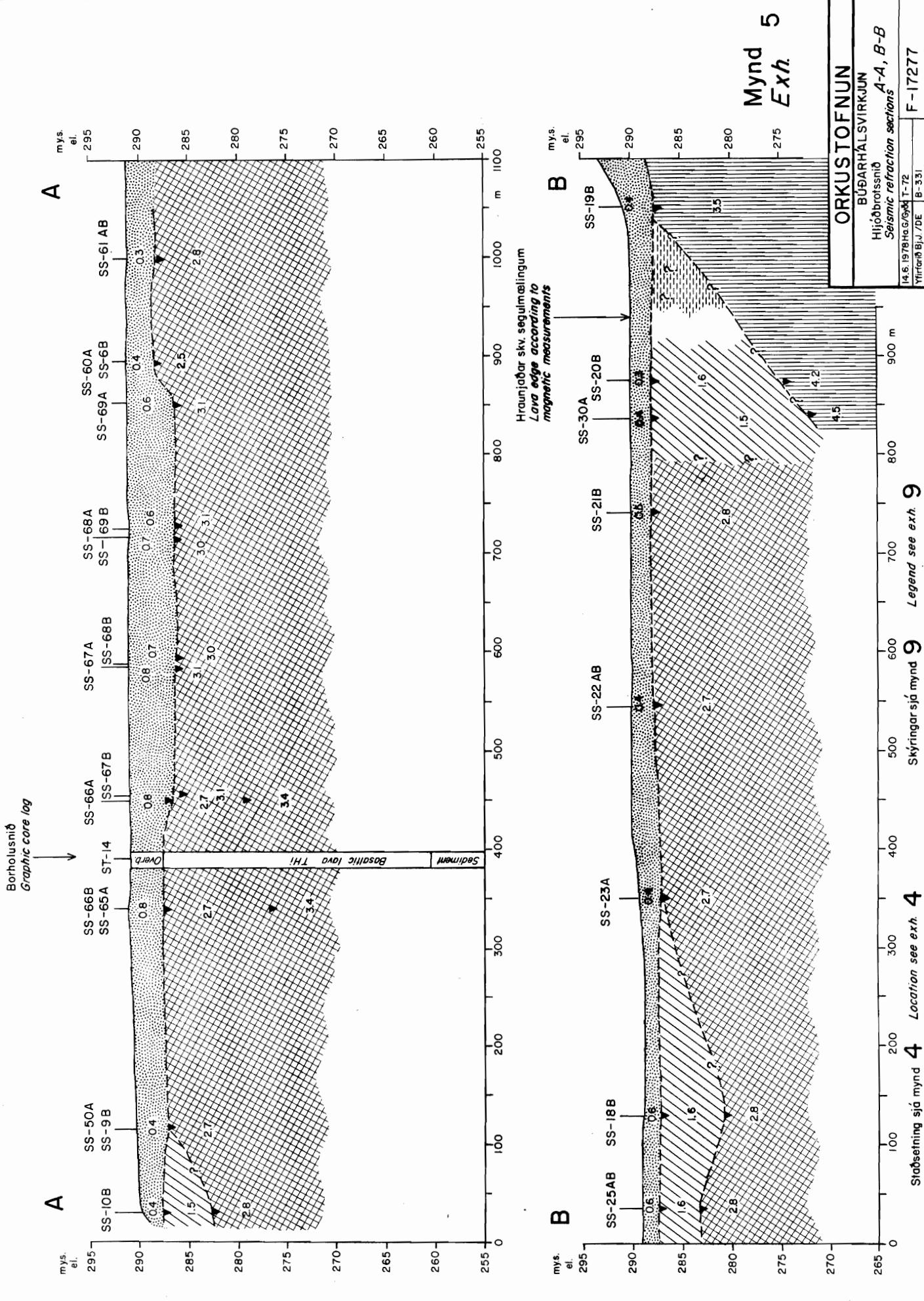
ORKUSTOFNUN	BÚDARHALSVERKJUIN	Bæggumálaðir / Magnetic measurements	SM-I, 5, 15 and 25	F. 6038
Bi.J / GSJ	T. 569	T. 303		B-332-J-Segnum.

ORKUSTOFNUN

BÚÐARHAL SVIRKJUN
Segulmálinningar / Magnetic measurements
SM-1, 5, 15 and 25

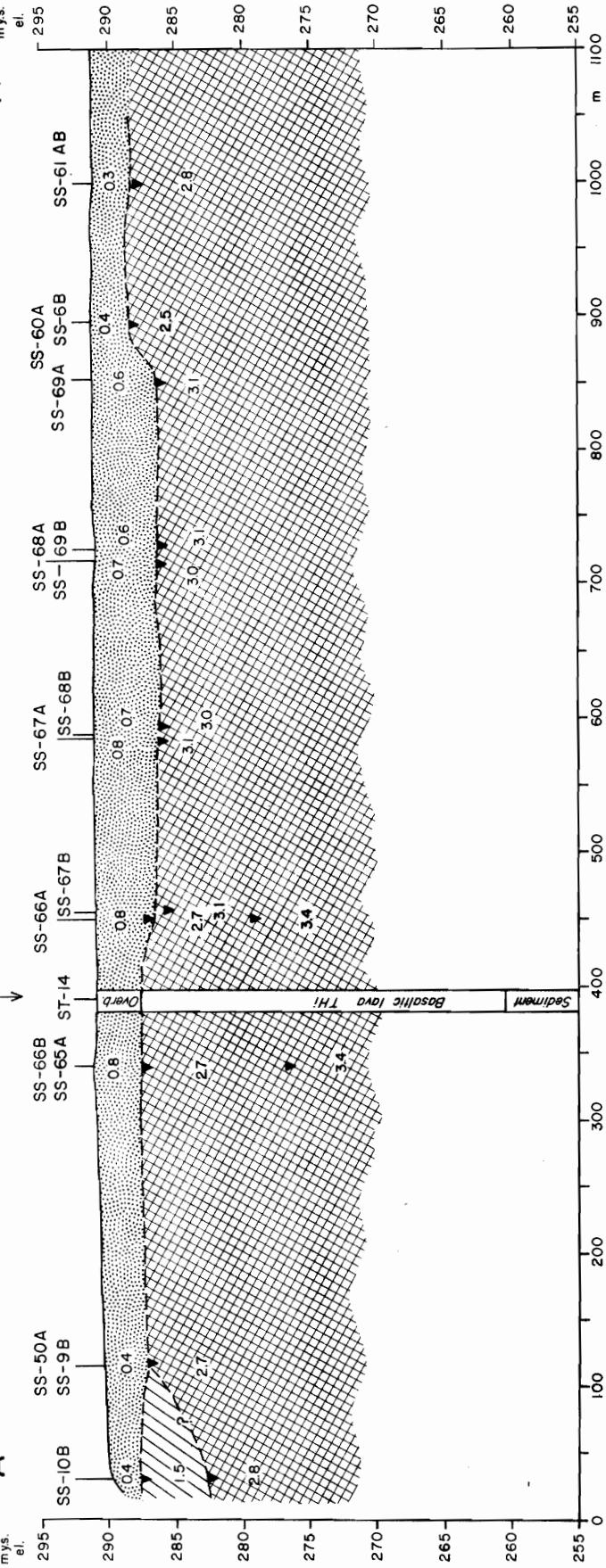
I. BÍJ. /OSJ.	T. 589	T. 303	F. 16038
B-332	J-Segulm.		





Borholusnið
Graphic core log

A



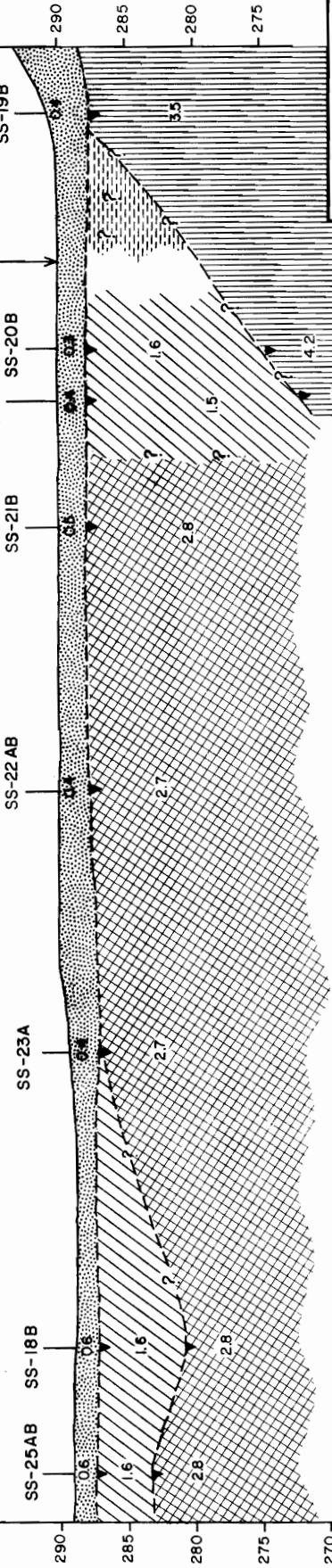
m.s.
el.



m.s.
el.

Hraunjáðar skv. segulmælingum
Lava age according to
magnetic measurements

B



m.s.
el.

Mynd
Exh. 5

ORKUSTOFNUN

BÚÐARHÁLSVÍRKJUN

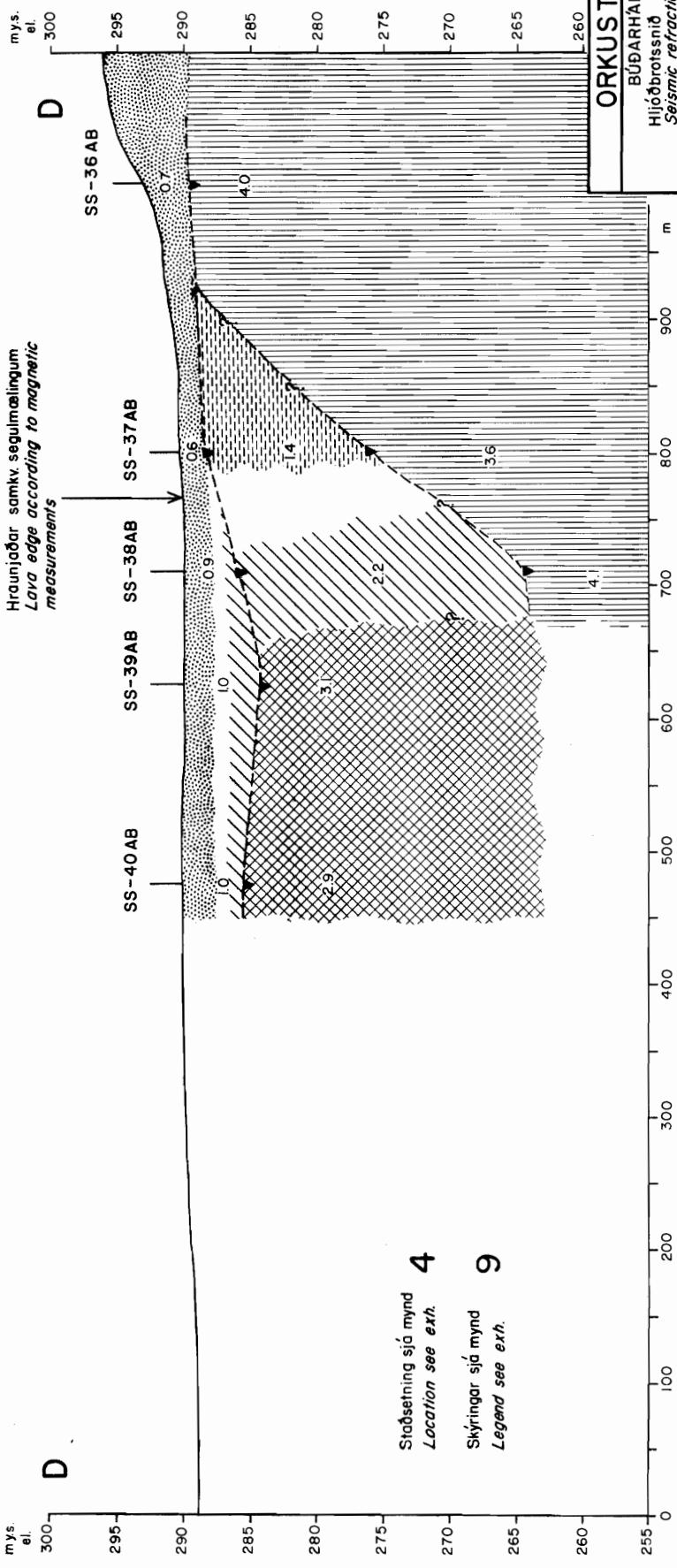
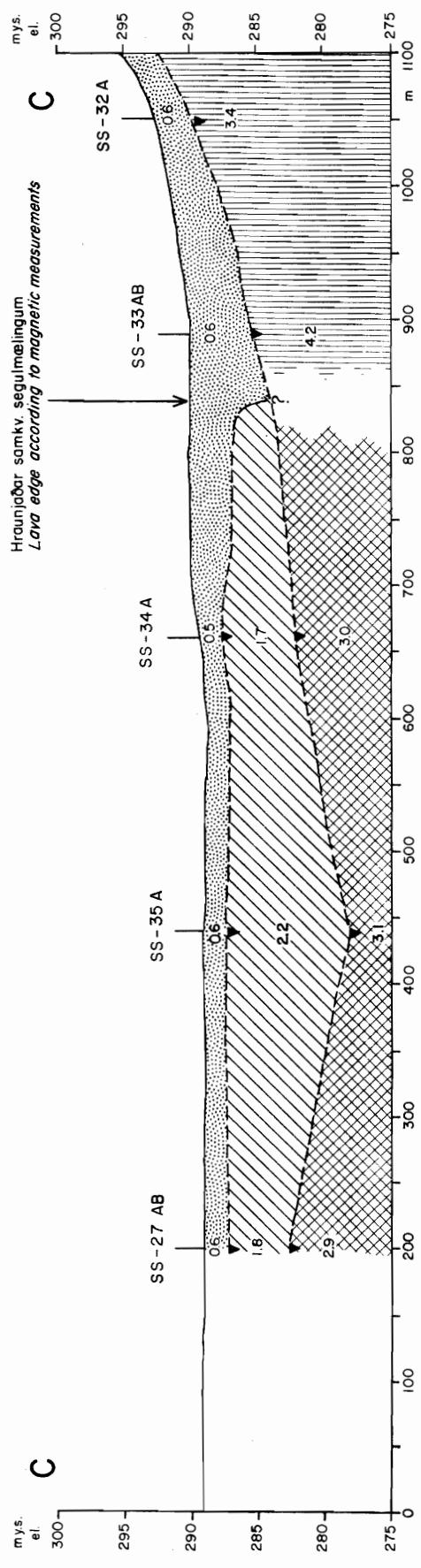
Hljóðbrottsnái
Seismic refraction sections

A-A, B-B
F-17277

Legend see exh. 9

Staðsettning sjá mynd 4 Location see exh. 4

9



Staðsetning sú mynd
Location see exh. 4
Skringar sú mynd
Legend see exh. 9

Mynd 6
Exh.

ORKUSTOFNUN
BÚDARHÁLSVIRKJUN
Hljóðarmálið
Seismic refraction sections
C-C-D
15.6.1978 Hafn/Syðða T-73
Yfirlit Bj.J./DE B-331
F-17278

m.s.
el.

300

295

290

285

280

275

270

265

260

255

250

245

240

235

230

225

220

215

210

205

200

195

190

185

180

175

170

165

160

155

150

145

140

135

130

125

120

115

110

105

100

95

90

85

80

75

70

65

60

55

50

45

40

35

30

25

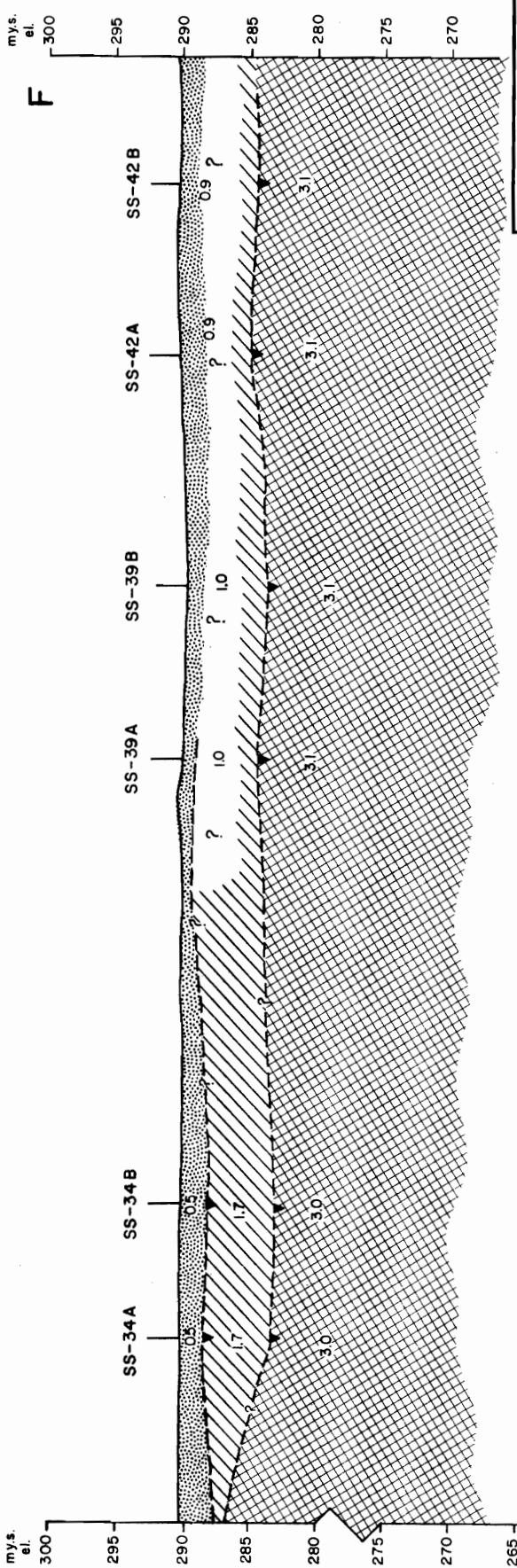
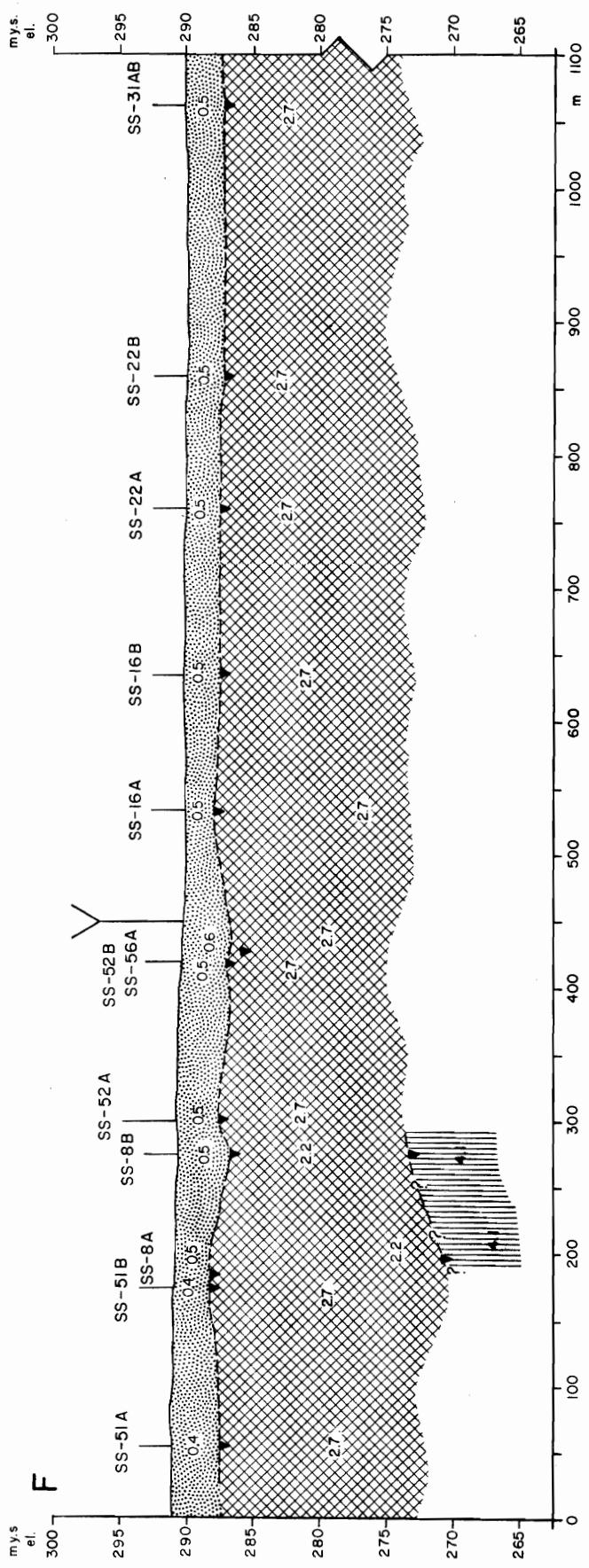
20

15

10

5

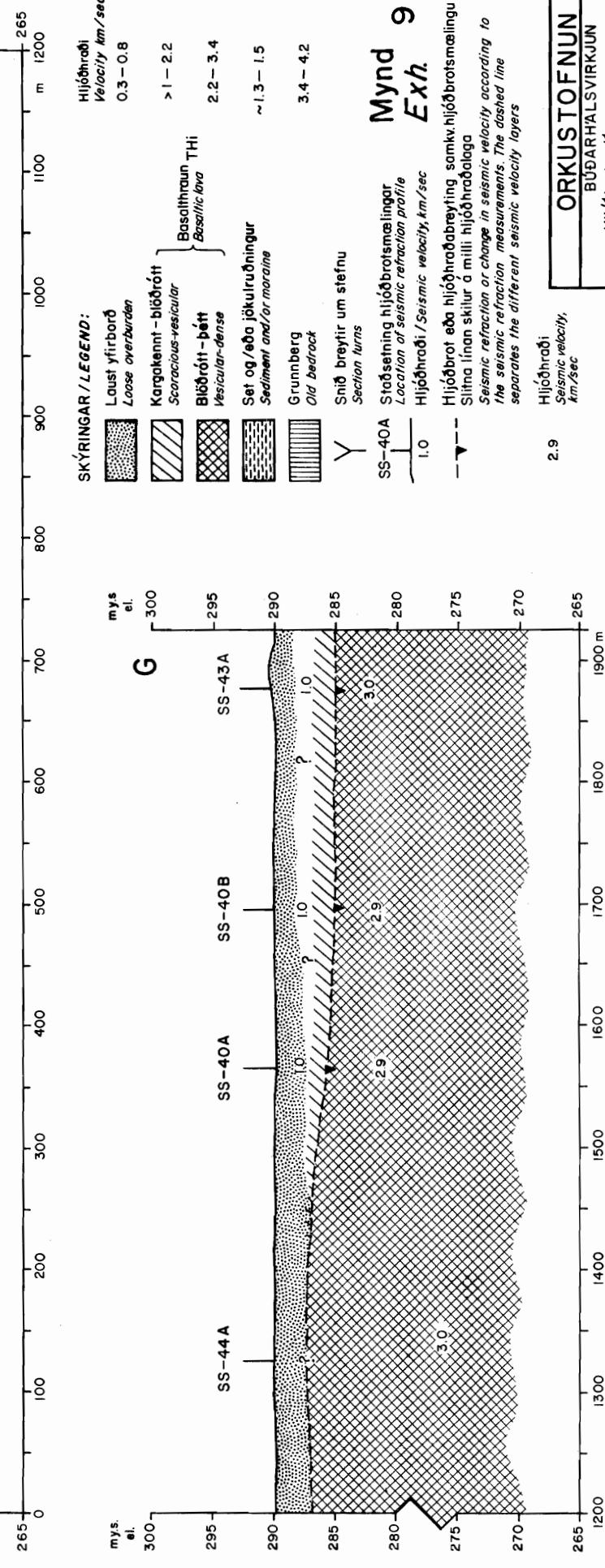
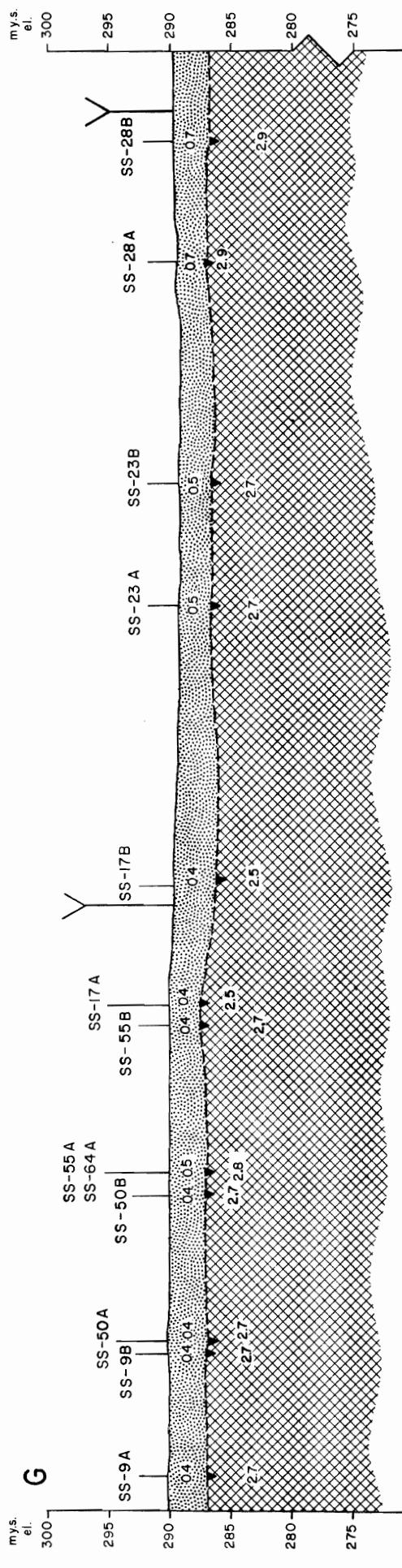
0



ORKUSTOFNUN	BUDARHÁLSVIRKJUN Hljóðbrarossnáið <i>Seismic refraction section</i>	F-1	F-17280
15.678 Hug (9400) - T-75	15.678 Hug (9400) - B-331		

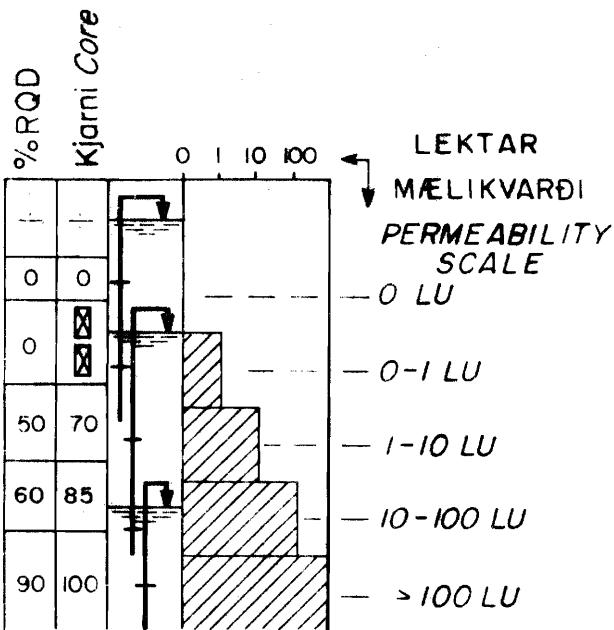
9 *Skiðingar sjá mynd
Legend see exh.*

Stadsettning sjá mynd
Location see exh. 4





**Mynd
Exh. 10**



LEKTAR-OG JARÐVATNSÚTSKÝRING
NOTE ON PERMEABILITY AND GROUND WATER

Jarðvatnsbord er sýnt með örbum. Neðri endi örvarinnar og þverstrikin sýna holudýpið, þegar jarðvatnsborðið var mælt. Ef jarðvatn breytist ekkert í borun, nær örín í botn.

Ground water levels are shown by arrows. Base of the arrows and the horizontal bars indicate the hole depth when the water level was measured. If no change in level was observed during drilling, the line reaches the bottom of the hole.

1 LU = Lugeon Unit = 1 l/min/m^2 i $76 \text{ mm} \varnothing$ holu við þrýsting 10 kg/cm^2
1 LU = Lugeon Unit = 1 l/min/m in $76 \text{ mm} \varnothing$ hole at pressure 10 kg/cm^2

Hæðartölur jarðvatns eru ritaðar smærra letri en hæðartölur bergs, á borholusniðum.

Figures for ground water levels are shown with smaller lettering on graphic core logs.

Kjarni: Tölur sýna kjarnaheimtur í % - kjarnataka ekki reynd.

Core: Numbers indicate % core recovery - core sampling not attempted.

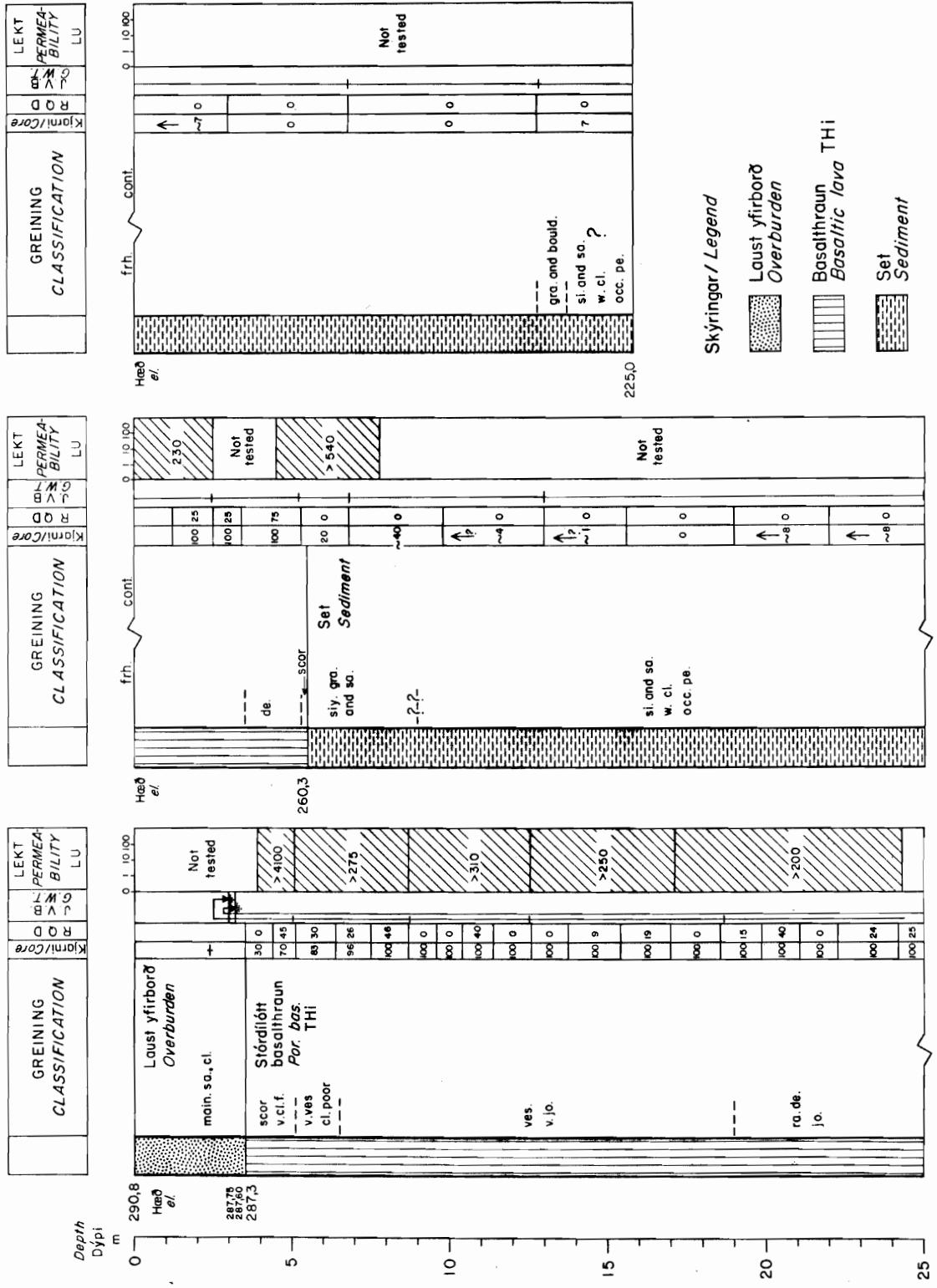
RQD: Kjarnaheimta þegar ekki eru taldir með kjarnabútar styttri en 10 cm .

RQD: Modified core recovery - core pieces less than 10 cm long not taken into account.

(RQD : Rock Quality Designation)



Jarðvegssýni - Soil samples



Staðsetning sjá mynd 1

Kjarna-, lektar- og jarðvatnsútskýring sjá mynd
Note on core permeability and ground water

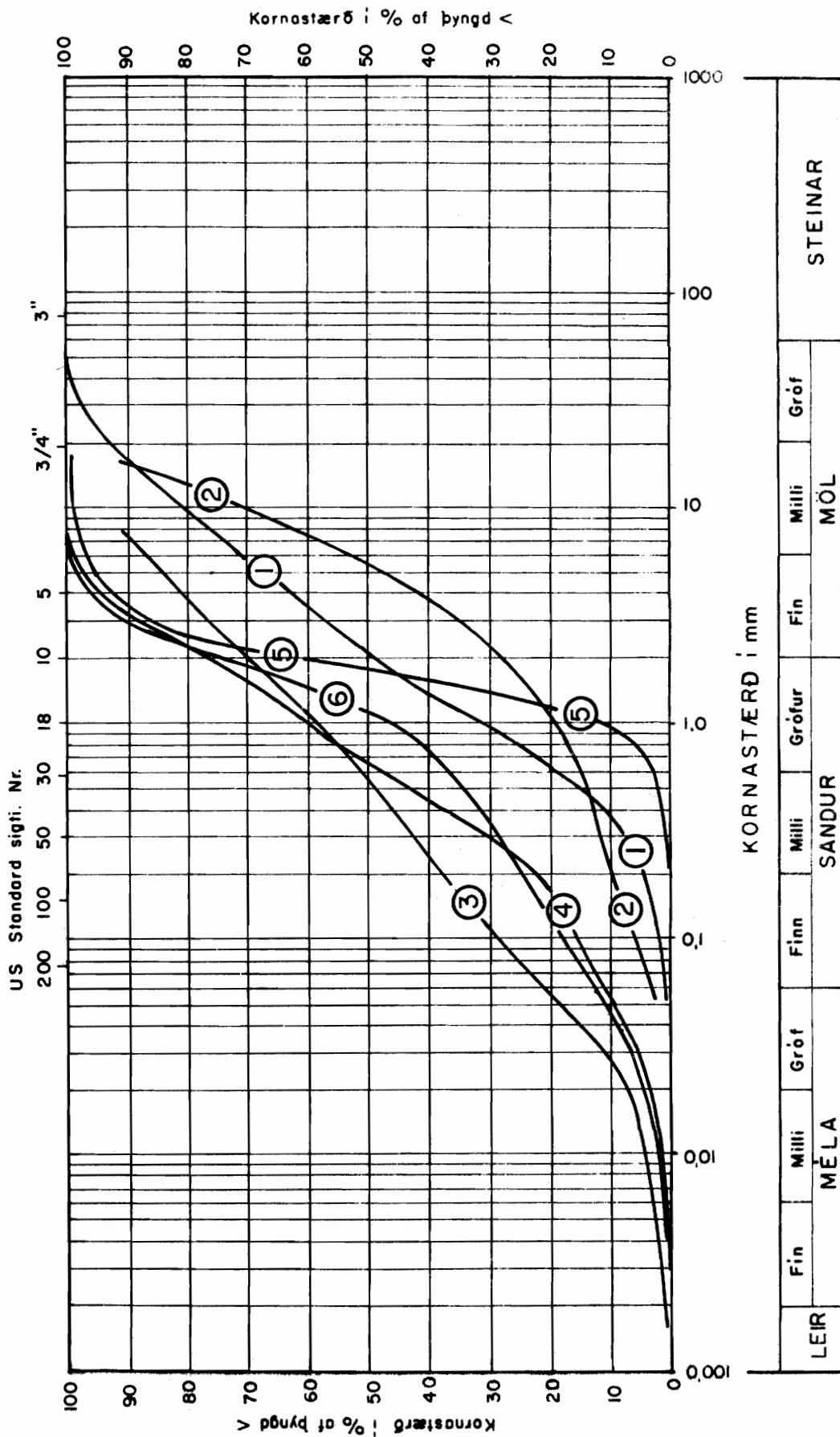
Mynd 11
Exh.

ORKUSTOFNUN	
BÚÐARHÁLSVÍRKJUN	
Borholusnir	ST-14
<i>Graphic core log</i>	
78-06-14 B1	T-78
	B-331
	F-17283

Kornadreifingarlínurit. Sýni úr efri hluta setsins í borholunni ST-14
Gradation curves. Samples from upper part of the sediment in
drillhole ST-14

'78.06.21.Bj.J/Sv.P/Ó.D.
T. 84
B-331
F.17296

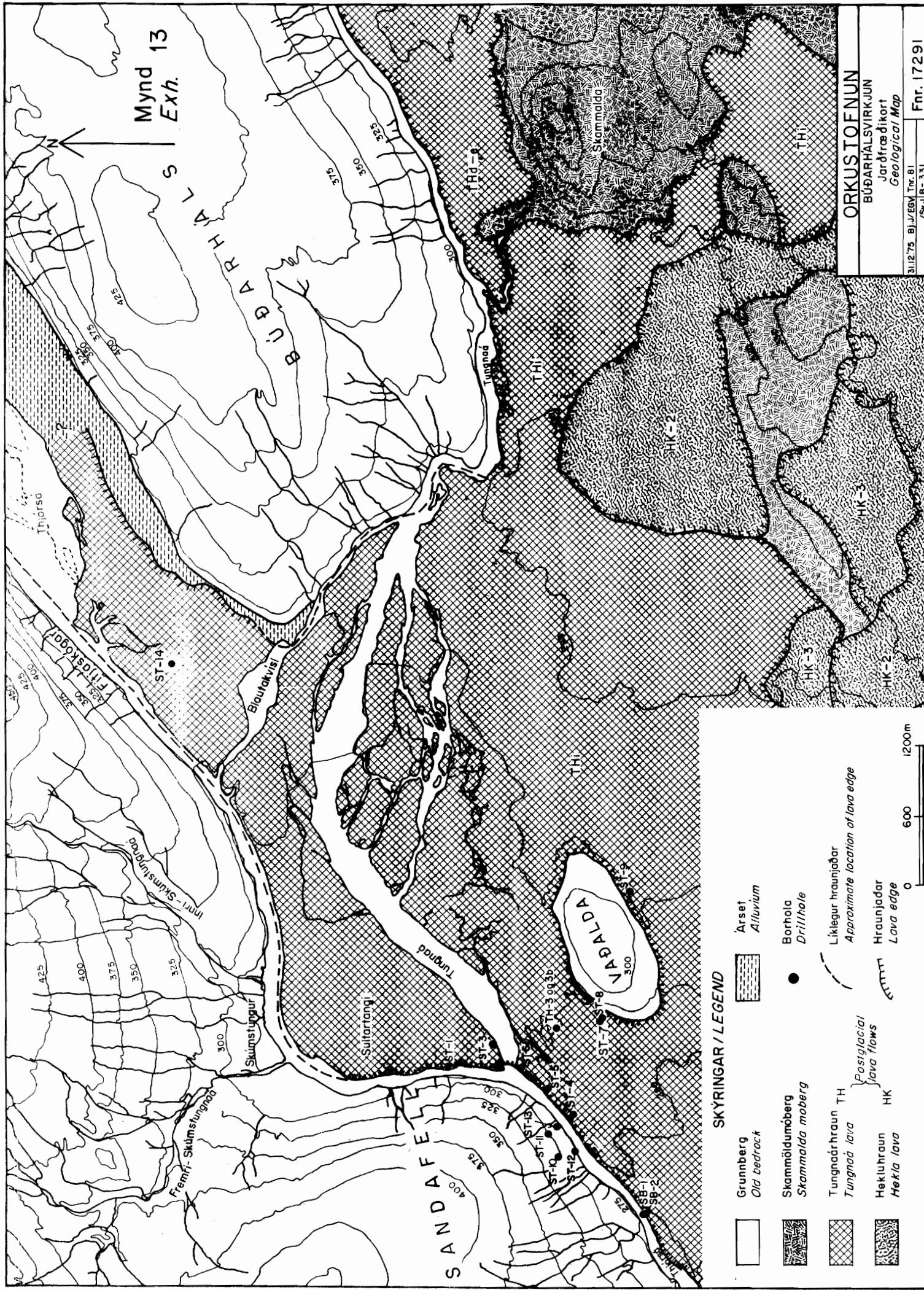
Mynd
Exh. 12

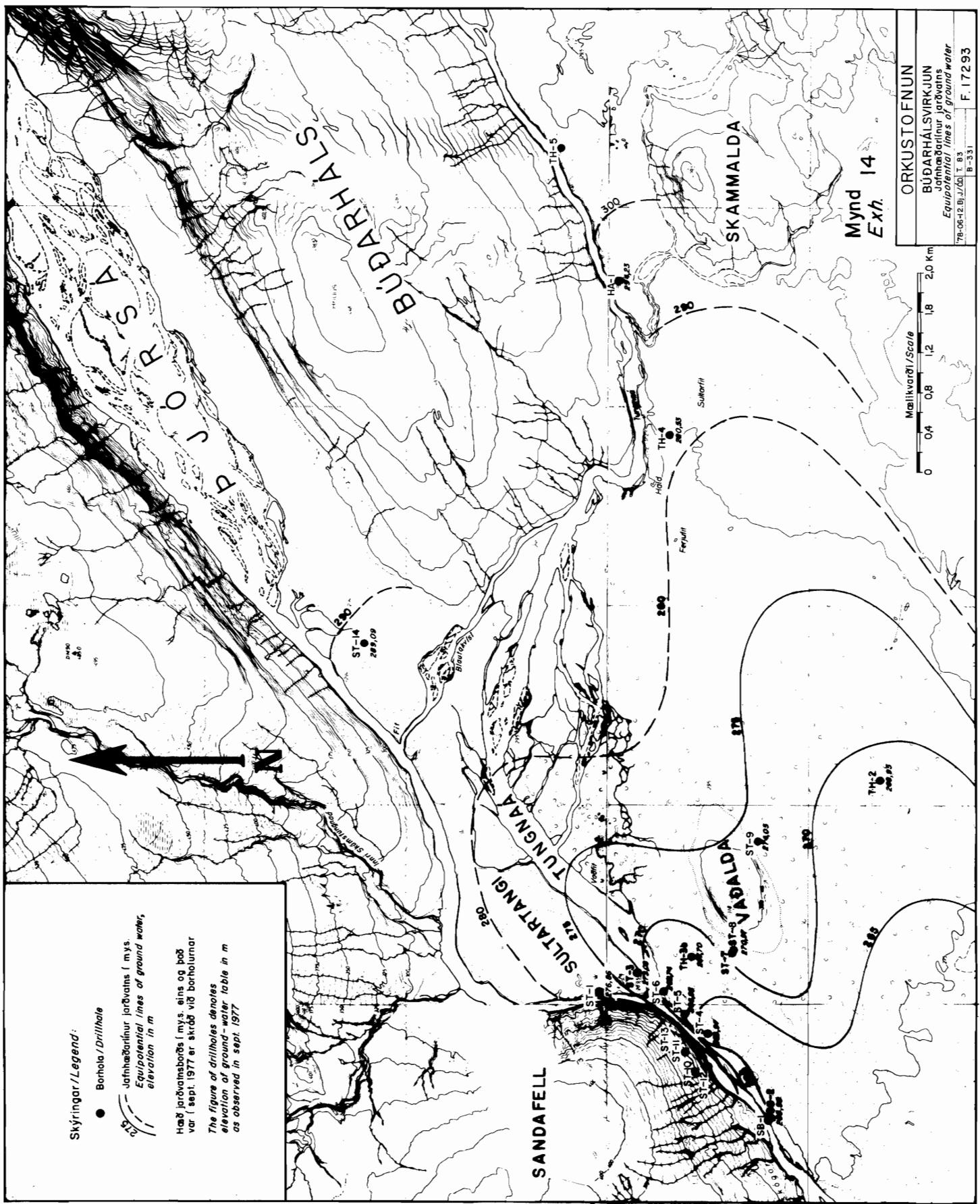


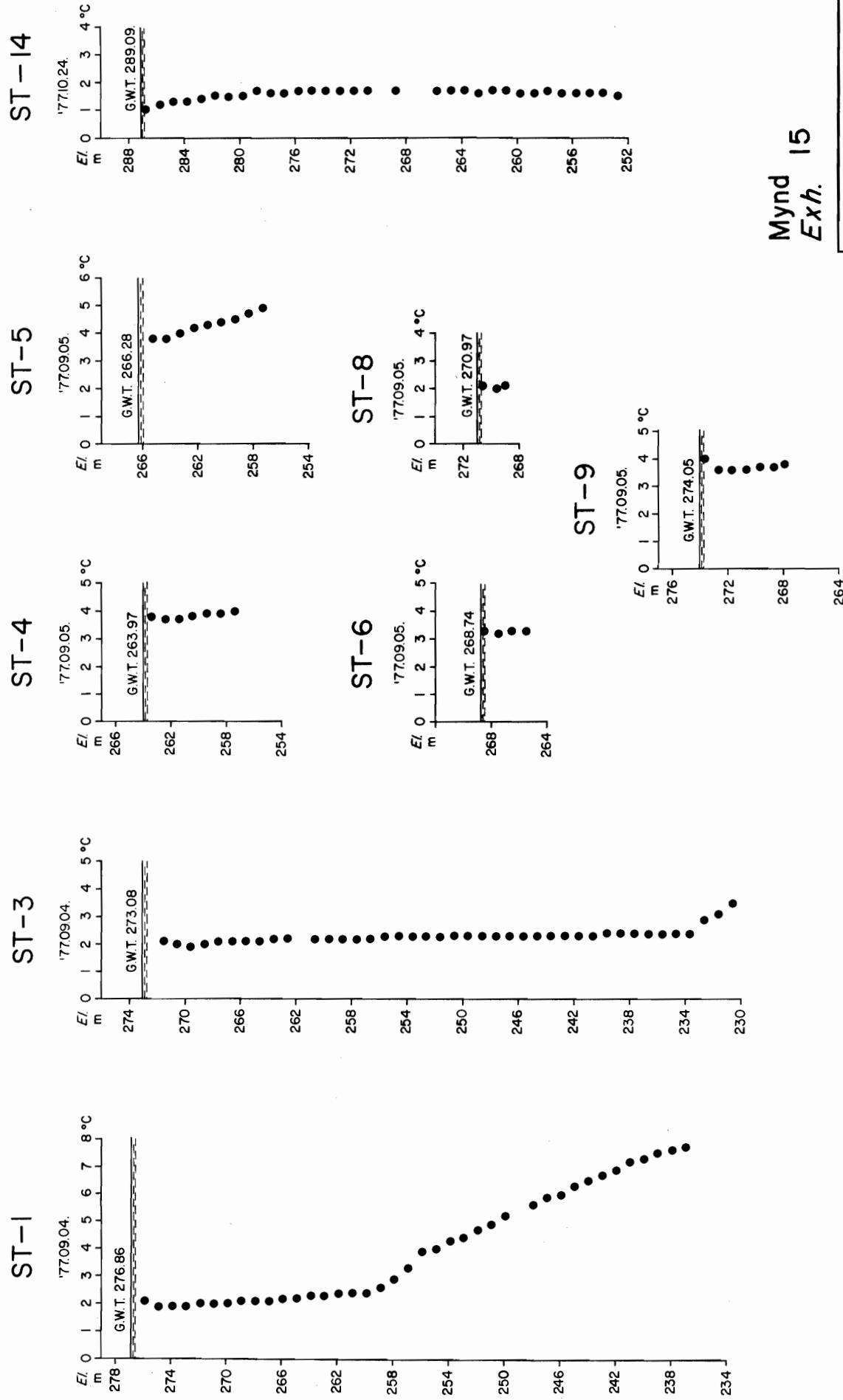
Skyringar, sjá töflu 7 og kafla 4

Legend, see table 7 and chapter 4

Mynd 13



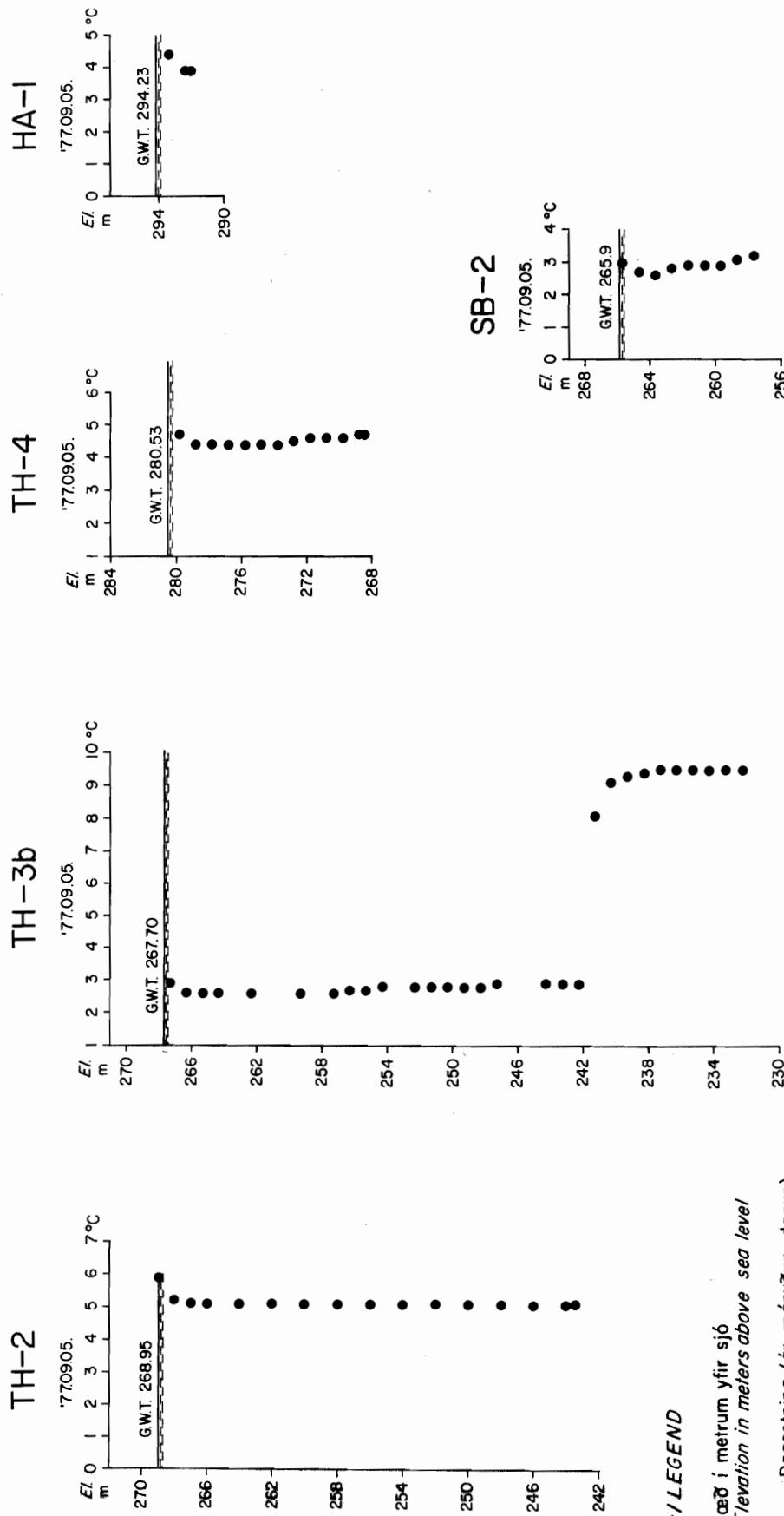




Skýringar sjá mynd 16
Legend see exh.

Staðsetning sjá mynd 1
Location see exh.

ORKUSTOFNUN
BÚDARHÁLSVIÐJUN
Jardvansháttarmælingar í borholum
Ground-water temperature measurements in boreholes
ST-1,3,4,5,6,8,9,14
78 06.3. BIJGSU T.71
F. 17215
B-331



Skrýringar / LEGEND

E, m = Hæð í metrum yfir sjó
Elevation in meters above sea level

77. 09. 04. = Dagsetning (ár, mánuður, dagur)
Date (year, month, day)

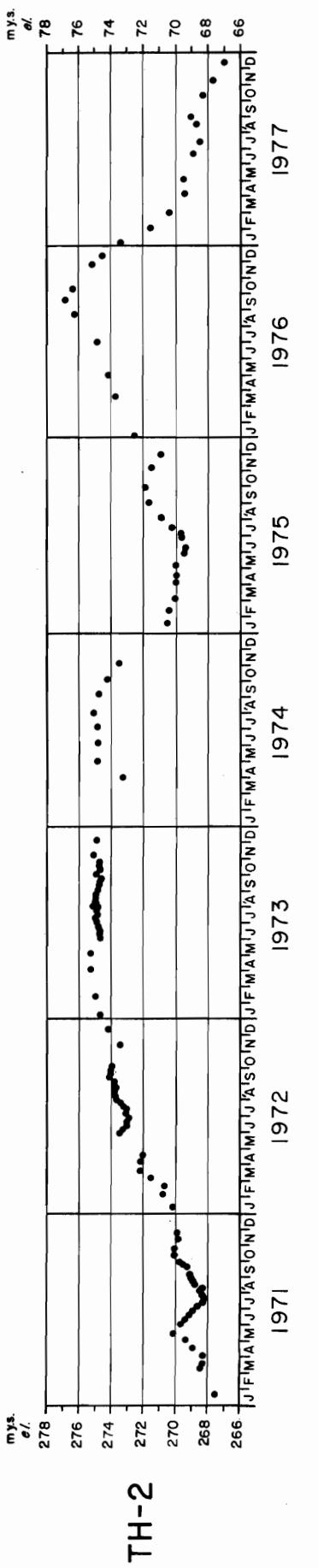
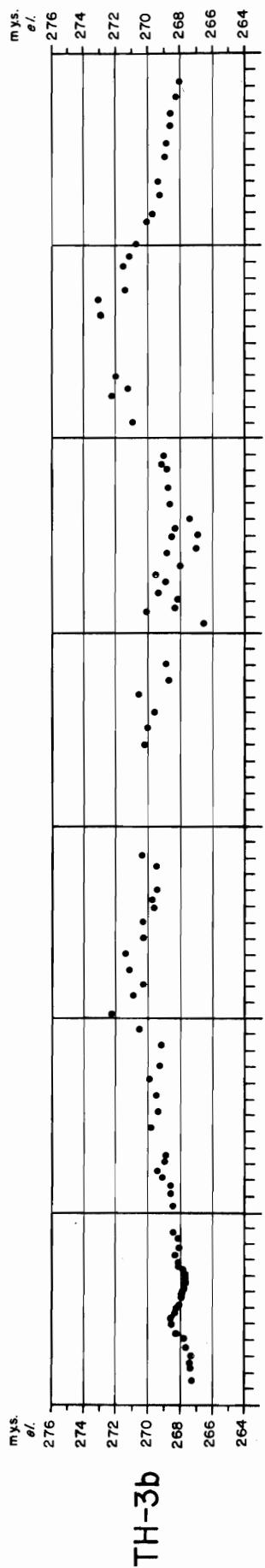
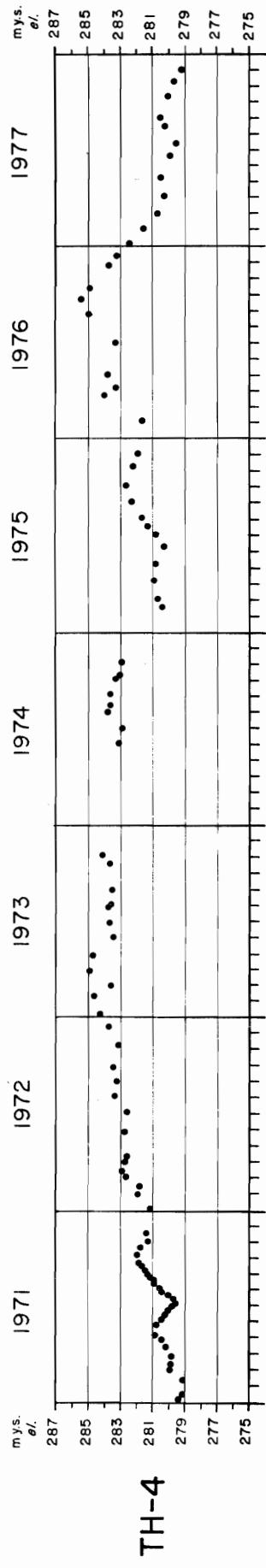
1-2-3-4-5 °C = Hitastig í gráðum á Celcius
Temperature in Celsius degrees

G.W.T. 276, 86 = Hæð jarðvatnsborðs í my.s.
Elevation of ground-water table.
● = Einstakur aflestur í hitamælingu
= Individual temperature reading

Staðsettning sjá mynd 1
Location see exh. 1

ORKUSTOFNUN

BÚDARHALSVERKJUN
Jarðvatnshitaðingar í bortholum
Ground - water temperature measurements in boreholes
TH-2, 3b, 4, HA-1, SB-2
78.06.13 Blj./GSJ 1. TO
B - 331
F. 17214



Staðsetning sjá mynd
Location see eth.
14

ORKUSTOFNUN
BÚÐARHÁLSVÍRKJUN
Jaðvinsþredarmælingar borgarhlum
Ground-water flow measurements in borgholes
(9.6.1978 Blj/Göð T-80 B-33) F-17290