



**ORKUSTOFNUN**

**Mat á lekahættu í fyrirhuguðum  
Hvalfjarðargöngum. Tillögur um  
rannsóknaraðferðir**

**Kristján Sæmundsson,  
Grímur Björnsson**

**Greinargerð KS-GrB-93-10**

27. júlí, 1993

## MAT Á LEKAHÆTTU Í FYRIRHUGUÐUM HVALFJARÐARGÖNGUM TILLÖGUR UM RANNSÓKNARAÐFERÐIR

### 1. INNGANGUR

Í bréfi dags 14. júlí 1993 óskaði Guðlaugur Hjörleifsson, fyrir hönd Spalar hf, eftir því að undirritaðir tveir starfsmenn Orkustofnunar aðstoðuðu við mat á lekahættu inn í fyrirhuguð Hvalfjarðargöng. Vísað var til þegar útgefina skýrslna um jarðfræði- og jarðeðlisfræðilegar athuganir á gangasvæðinu. Var óskað eftir tillögum um hvernig ætti að standa að frekari rannsóknum á lekt jarðlaga, einkum með borunum. Við höfum kynnt okkur þessar skýrslur og önnur tiltæk gögn sem hafa þarf til hliðsjónar við slíka tillögugerð, og setjum fram í þessari greinargerð hugmyndir okkar um hvernig eigi að standa að mati á lekahættu í fyrirhuguðum jarðgöngum.

Við hneigjumst að þeirri skoðun að ekki sé að vænta mikillar lektar bergs á fyrirhugaðri gangaleið í Hvalfirði. Það álit byggist á þeirri vitneskju að berglög þarna eru mjög holufyllt og allmjög ummynduð, einkum sunnan fjarðarins. Boranir í jafnholufyllt og ummyndað berg víða um land hafa, með fáum undantekningum, leitt í ljós litla lekt í því. Hins vegar geta komið þar fyrir staðbundin jarðhitakerfi þar sem heitt vatn hrærist í nær lóðréttum vatnsleiðurum. Aðstæður á gangaleiðinni í Hvalfirði eru þannig að jarðlagastafinn er skorinn af fjölda bergganga og misgengja. Fyrirfram er ekki hægt að fullyrða að allt slíkt sé þétt.

Þeir sem hér rita hafa það að meginstarfa að finna og afkastamæla "lóðréttá" vatnsleiðara í íslensku bergi. Við teljum að á gangaleiðinni í Hvalfirði stafi helst lekahætta frá slíkum vatnsleiðurum. Verða því hafðar að leiðarljósi þær rannsóknaraðferðir sem tíðkast hafa við leit að lóðréttum vatnsleiðurum, heitum ekki síður en köldum. Er mestar líkur á að lóðréttir vatnsleiðarar á gangaleiðinni, ef finnast, séu jafnframt jarðhitakerfi með ferskvatni.

### 2. SKILGREINING Á VATNSLEIÐURUM

Gera má ráð fyrir að vatnsæðar á fyrirhuguðu gangasvæði tengist fyrst og fremst eftirtöldum þeggeiginleikum:

1. *Lagskil og millilög.* Í svo til þéttum jarðlagastafla hefur sýnt sig að "lárétt" lekt fylgir helst lögum sem eru fergð milli basalhrauna og geta veitt eftir sér vatni með líttilli fyrirstöðu. Nær vonlaust er að meta vatnsgæfni þeirra á gangaleiðinni nema að undangenginni borun og ítarlegum lektarprófunum í holum.
2. *Bratt hallandi sprungur.* Reynslan af jarðhitaborunum svo og jarðgangagerð sýnir að helst er að vænta stórra vatnsæða við "lóðréttar" sprungur. Þær eru oftast misgengi eða við ganga. Sumar þeirra geta verið án sýnilegra ummerkja í yfirborði. Meginþraut rannsókna þar sem margir gangar og misgengi eru inni á sama svæðinu er að meta hver þeirra séu lek. Við matið er helst byggt á hitadreifingu í berginu, viðnámsmælingum og staðsetningu linda

og lauga þar sem slíkt er að finna.

Þess er að vænta að vatnsgæfni ofangreindra vatnsleiðara skiptist í tvö horn. Hraunlög og milli-lög eru að öllum líkindum með fremur lága lekt og hvert þeirra veitir því tiltölulega litlu magni inn í fyrirhuguð göng. Hins vegar getur heildarrensli úr þeim orðið nokkuð í göngunum öllum. Sumar "lóðréttu" myndanirnar gætu aftur á móti verið lekar og því varasamar fyrir gangagerðina. Lega þeirra getur því orðið afgerandi við nákvæmt val á gangaleið.

### 3. AÐFERÐIR TIL AÐ FINNA OG META LEKT VATNSÆÐA Á GANGALEIÐ

Segja má að þar falli athuganirnar í tvo flokka, annars vegar jarðfræðikortlagningu og leit að "lóðréttum" myndunum með jarðeðlisfræðiaðferðum, hins vegar beinar athuganir um borholur. Í fyrri flokkinn skipast fjölmargar mismunandi leitar- og kortlagningaraðferðir meðan sá síðari skorðast við tiltölulega fáar og vel afmarkaðar athuganir. Verða hér taldar upp þær aðferðir sem höfundar telja að helst koma til greina við leit að vatnsleiðurum. Í næsta kafla eru svo lögð drög að tímaáætlun fyrir rannsóknirnar.

#### 3.1 Borun skáholu frá Hjarðarnesi

Borun slíkra skáholna á gangaleiðinni er ótvírátt langbesta og öruggasta aðferðin við skoðun jarðlaga og mat á lekahættu í fyrirhuguðum göngum. Þar sem þessi greinargerð einskorðast við mat á lekahættu sýnist höfundum að eftirtaldir athuganir sé nauðsynlegt að gera í slíkum holum:

- *Lektarmæling með pakkara:* Að höfðu samráði við Bjarna Bjarnason hjá Jarðborunum hf sýnist okkur að fá megi mjög gott mat á lekt jarðlaga við skáholuna. Mælingarnar færu þannig fram að eftir borun hverra nýrra 20-30 m í holunni yrðu stangir dregnar til baka um svipaða vegalengd og pakkara rennt niður fyrir borkrónu. Að því búnu yrði dælt á bilið neðan pakkarans og rennsli og þrýstingur mælt nákvæmlega á yfirborði. Þau gögn sem þannig safnast yrðu síðan nýtt til að meta lekt jarðlaga á bilinu milli pakkarans og holubotns. Þessar upplýsingar má svo nota til að áætla vatnsleka inn í göngin í borun þeirra. Nákvæm tilhögun pakkana verður væntanlega ákveðin síðar og að einhverju leyti eftir þeirri reynslu sem safnast við borunina. Þar er t.d. átt við lengd á pökkunarbilum og eins þann þrýsting sem óhætt er að setja á bilið án hrunvandráða.
- *Ótruflaður þrýstingur í bergi:* Eftir að búið er að þenja pakkara í rannsóknarholunni, er rétt að beðið verði í 5-10 mínútur og þannig fengið mat á ótruflaðan þrýsting vatnsins innan pakk-arabilsins. Sá þrýstingur verður svo hafður til viðmiðunar þegar meta skal hugsanlegt magn vatns sem gæti runnið inn í göngin.
- *Hiti í bergi:* Þar sem miklar líkur eru til þess að lóðréttur vatnsleiðari sé annað tveggja óeðli-lega heitur eða kaldur miðað við berghita í nágrenni ganganna, þarf að leggja þunga áherslu á hitamælingar í fyrirhugaðri holu. Ekki er hlaupið að slíkum mælingum, því eina leiðin til að koma mæli niður nær lárétta holuna er að skola honum niður innan í stöngum. Við það raskast hitaástandið og þarf því að bíða svo dögum skiptir uns hægt er að fá sæmilegt mat á berghita. Hugsanlega tekst að leysa þetta vandamál með leigu eða smíði hitamælis sem keyr-ir á hjólum niður holuna. Ella þarf að gera ráð fyrir að borstrengur og hitamælir verði skilin eftir í holunni og þess beðið að holan jafni sig í hita áður en dregið er upp úr henni.
- *Selta í bergi:* Æskilegt er að skoða seltu í berginu við fyrirhugaða rannsóknarholu. Óvíst er að það takist með seltumælingu í holunni vegna örðugleika á að koma seltumæli til botns.

Því þarf að kanna hvort ekki megi mæla seltu í borkjörnum. Með því fæst vitneskja um hvort saltar vatnsæðar tengi sjóinn við grunnvatnskerfi Hvalfjarðar. Höfundar telja líklegast að grunnvatn sé ferskt á gangaleiðinni og að innkoma salts vökva verði því skýr vísbending um lekt til yfirborðs. Til að þessi mæliaðferð virki, er nauðsynlegt að nota ferskvatn við borun holunnar.

- *Eðliseiginleikar borkjarna:* Gera þarf ráð fyrir að lekt og poruhluti verði mældur til viðbótar við aðrar athuganir á eiginleikum bergsins í holunni.
- *Skol:* Koma þarf upp búnaði til að mæla hugsanleg skoltöp/aukningu í borun skáholunnar. Breytingar þar á eru merki um vatnsæðar í holunni.
- *Hiti og leiðni skolvökva:* Rétt er að mældur verði hiti og leiðni skolvökvans meðan skáholan er boruð. Á það bæði við um skolið sem fer niður og eins það sem kemur upp. Með þessum mælingum má meta hvort æðar séu teknar að renna inn í holuna og hvort þær séu saltar.
- *Dæling úr borholu:* Að borun skáholunnar afstaðinni, sýnist álitlegt að dæla úr holunni í vikur eða mánuði og fylgjast með seltu og hita vatnsins sem upp kemur. Þessar athuganir eru gerðar til að fá fram langtímaviðbrögð og geta skorið úr um hvort vatnafræðileg tengsl eru milli grunnvatnskerfisins undir Hvalfirði og sjávar.

### 3.2 Vatnsgæfni holna í utanverðum Hvalfirði

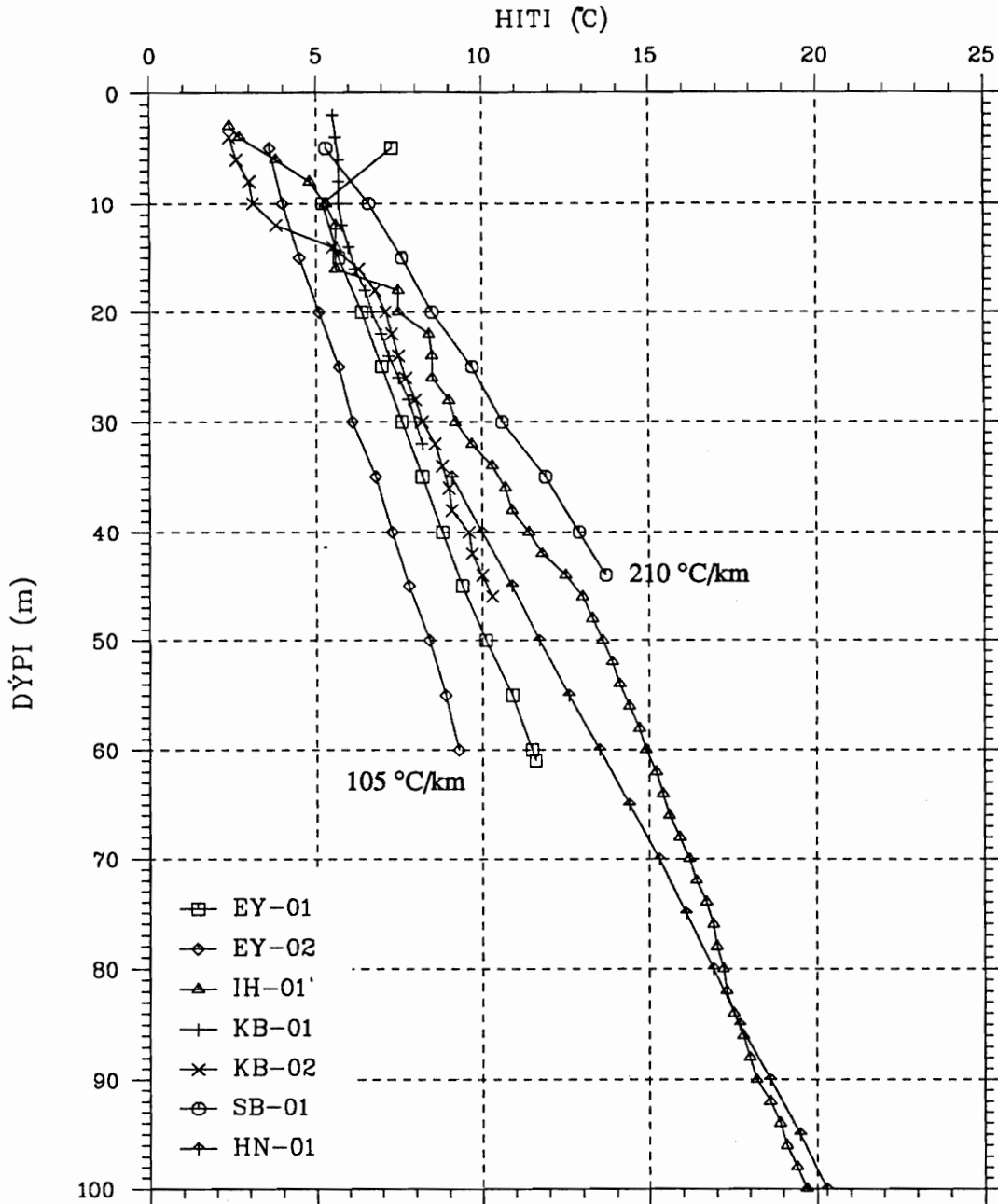
Allmargar grunnar holur (50-100 m) hafa verið boraðar í utanverðum Hvalfirði. Margar þeirra voru boraðar með lofti og eru til skráningar á hve mikið vatn fylgdi loftblæstrinum. Lagt er til að þessum gögnum verði safnað saman og athugað hverjar líkur eru á að fá umtalsvert vatn úr efsta hluta bergrunnisins á þessu svæði.

### 3.3 Hitastigull í utanverðum Hvalfirði

Jarðhitarannsóknir í Hvalfirði hafa leitt í ljós að "lóðréttur", heitur vatnsleiðari liggur frá norðri til suðurs um Hvammsvík og Hrafnabjörg. Áberandi hæð í hitastigli fylgir þessari rás og varð fundur hennar reyndar til þess að tvær góðar vinnsluholur voru boraðar. Þá eru vísbendingar um annan en kaldari vatnsleiðara með sömu stefnu milli Hálsness og Saurbæjar á Hvalfjarðarströnd. Nauðsynlegt er að útiloka að slíkur vatnsleiðari sé á fyrirhugaðri gangaleið. Það er gert með  $\approx 50$  m djúpum hitastigulsholum sem boraðar yrðu beggja megin við utanverðan Hvalfjörð. Staðsetning slíkra holna myndi taka mið af holum sem þegar hafa verið boraðar svo og yfirborðsrannsóknum sem kunna að verða gerðar á þessum slóðum.

Þegar eru til 6 holur í næsta nágrenni gangamunnanna, þrjár hvoru megin fjarðarins. Hitastigull í þeim er allbreytilegur og ástæða til að ætla að jarðhitakerfi sé vestan við syðri gangamunnan (hár stigull við Saurbæ á Kjalarnesi). Vatnsleiðarinn þar gæti legið norður-suður og þá nærri fyrirhugaðri gangaleið. Mynd 1 sýnir hitamælingar úr þessum 6 holum.

27 Jul 1993 grb  
Oracle



**Mynd 1:** Hitamælingar í borholum við utanverðan Hvalfjörð. Hola HN-01 er við Hjarðarnes, hola SB-01 við Saurbæ, holur EY-01 og EY-02 við Eyri í Kjós, holur KB-01 og KB-02 eru í landi Kirkjubólis og hola IH-01 við Innri-Hólmi. Hitastiglar holna við Saurbæ (SB-01) og Eyri (EY-02) eru færðir inn á myndina.

### 3.4 Vatnsborð í holum við utanverðan Hvalfjörð

Nýleg hitamæling í borholu við Hjarðarnes svo og upplýsingar úr borun hennar, sýna að vatnsborð í holunni er u.þ.b. 25 m undir sjávarmáli. Það bendir til líttilla vatnafræðilegra tengsla milli sjávar og grunnvatnsins og hlýtur því að teljast góð fregn í fyrirhugaðri gangagerð. Því er lagt til að skoðað verði vatnsborð og þrýstingur í holum nærri gangasvæðinu og með því fengið mat á þrýstiástand grunnvatnskerfisins. Jafnframt er lagt til að vatnsborð holunnar í Hjarðarnesi verði skráð reglulega ef ske kynni að vatnsborð hennar sveiflaðist vegna vinnslu Hitaveitu Reykjavíkur. Eins að fylgst verði með vatnsborði holunnar yfir nokkur sjávarföll og metið í henni það sem nefnist á ensku "tidal efficiency". Með því má meta hvort vatnskerfið, sem æðar á 230 m dýpi í holunni tengjast, sé opið eða lokað frá yfirliggjandi sjó og grunnvatni.

### 3.5 Lektarprófanir í grunnum holum

Ef farið verður í að bora hitastigulsholur á ströndinni, beggja megin gangaleiðarinnar, er æskilegt að mæla lekt holnanna með pakkaraprófunum. Til staðar er í landinu tvöfaldur pakkari sem er notaður við að meta lekt í grönnum borholum. Þannig má skoða lekt millilaga í lóðréttum holum. Einnig má fá upplýsingar um lekt í "lóðréttum" myndunum með borun skáholna gegnum þekktanga og misgengi á ströndinni. Besta niðurstaða slíkra athugana, fyrir jarðgangagerðina, er að "lóðréttu" myndanirnar reynist torlekar. Þá er jafnframt minni ástæða til að óttast vatnsæðar í sams konar veilum úti í firðinum.

Rétt er að hefja þessar prófanir áður en til borunar skáholu kemur. Með því má stilla upp mælibúnaði og safna reynslu við pakkannir á bergi líku því sem borað verður í gegnum í skáholunni.

### 3.6 Yfirborðsmælingar

Fyrirhuguð jarðgöng liggja á 4 km kafla gegnum jarðlög þar sem beinum athugunum verður ekki komið við á misgengjum og göngum með NA-SV stefnu, en sú stefna er ríkjandi í brotamynstrinu við vestanverðan Hvalfjörð. Mælingar á yfirborði, hvort sem er hljóðbylgna-, viðnáms- eða segulmælingar þurfa því að kortleggja lóðréttu strúktúra í berggrunninum með þeirri nákvæmni sem hægt er að krefjast af slíkum mælingum. Með því móti einu er hægt með vissu að segja til um brotallnur á gangaleiðinni. Að fengnum þeim upplýsingum er aðeins hálfur sigur unnin, því þá er eftir að leggja mat á hvort gangarnir og misgengin séu lek eður ei. Við slíkt mat er nær eingöngu hægt að byggja á þeirri reynslu sem fá má um lekt í samskonar fyrirbærum þarna nærri, en einnig má hafa hliðsjón af almennri þekkingu um neðri hluta íslenska jarðlagastíflans.

Lagt er til að grynningarnar, sunnan til á Hnausaskersleið, verði segulmældar. Fást þannig upplýsingar um bergganga og misgengi á nærfellt hálfu því svæði sem fyrirhuguð gangaleið liggur um. Segulmælingar eru fljótlegar í framkvæmd og tiltölulega auðveldar í túlkun. Jafnframt mælingum á sjó þyrfti að segulmæla ræmur á ströndinni beggja megin fjarðarins. Þær upplýsingar sem þannig safnast má svo tengja jarðfræði skáholunnar. Gefur það færi á nákvæmari túlkun segulmælinga á svæðum sem skáholan nær ekki til, sérstaklega á kaflanum sem verður eftir á milli enda skáholunnar og fram á brún grynninganna. Að sama skapi gætu segulmælingarnar reynst gagnlegar við túlkun endurkasts- og bylgjubrotsmælinga.

Til viðbótar segulmælingunum kæmi til álita að beita viðnámsniðsmælingum (Kínamælingum) og þá helst norðan megin fjarðarins. Best væri að mæla á tveimur samsíða línum meðfram ströndinni. Þessar mælingar sjá niður í gegnum þykk laus jarðlög og gætu því bent á einstaka ganga og/eða lóðréttar uppstreymisrásir heits vatns.

### 3.7 Hiti í botnseti

Ef hitastigulsrannsóknir leiða í ljós að lóðrétt uppstreymisrás heits vatns sé á eða nærri gangaleiðinni, kæmi til greina að mæla hitastigul í botnseti Hvalfjarðar. Það yrði gert með þungum stautum sem yrðu látnir falla nokkra metra niður í botnlagið. Óvíst er að þessi rannsóknaraðferð beri árangur þar sem hætta er á að botnsetið sé of gróft til að varðveita teljandi hitafrávik.

### 3.8 Líkanreikningar

Ef mikill hluti ofangreindra rannsókna verður að veruleika, er líklegt að takist að safna umfangsmiklum upplýsingum um eiginleika grunnvatnskerfisins undir botni Hvalfjarðar. Til greina kemur að setja upp þrívítt grunnvatnslíkan sem hermir mældu gögnin, og að því búnu "grafa" göngin í gegnum það og fá þannig mat á innstreymið. Fyrirséð er að töluverð óvissa verður í innstreymisþánum, sérstaklega þar sem lekt flestra lóðréttu myndananna á gangaleiðinni verður óþekkt. Samt sem áður gætu þær reynst haldgott innlegg í áætlanir um grautunarpörf í gangagreftrinum, svo og í mati á dælingarpörf.

### 3.9 Samtúlkun allra gagna

Í bréfi Spalar, frá 14. júlí síðastliðnum, er gert ráð fyrir að við lok yfirborðsrannsókna og borun skáholu, verði gengið í samtúlkun allra gagna og metið hvort næg víska er fengin um jarðlög og lekt á gangaleiðinni.

#### 4. RÖÐ RANNSÓKNA

Hér er sett fram tillaga um í hvaða röð eigi að gera fyrrgreindar lektarrannsóknir í Hvalfirði. Er þá miðað við þrú tímabil, fyrir, meðan og eftir að skáholan er boruð.

##### 4.1 Rannsóknir áður en skáholan er boruð

<i>Rannsóknar- aðferð</i>	<i>Markmið</i>	<i>Tækjabúnaður og undirbúningur</i>
Hiti og þrýst. í grunnnum holum	Útiloka tilvist "lóðréttra" rennislleiða vatns á gangaleið Safna upplýsingum um eðli grunnvatnskerfis.	Borun viðbótarholna. Hita- og vatnsborðsmælir tiltækir á OS og víðar. Fá leyfi landeigenda til borana og mælinga í holum.
Hola í Hjarðarnesi	Skýra lágt vatnsborð holunnar, e.t.v. vegna jarðhitavinnslu. Skoða "tidal efficiency"	Vatnsborðsmælir og gagnasöfnunartæki á holu. Tiltækt á OS og víðar. Athuga hvort tengja má rannsóknarstað sfmakerfinu.
Pökkun í grunnnum borholum	Öðlast reynslu í pökkunum áður en kemur til borunar skáholu Stilla upp búnaði til mælinga	Nákvæm elektrónísk tæki til mælinga á rennsli og þrýstingi við holutopp. Frágangur á gagnasöfnunarbúnaði (skrifari og tölva). Þennan búnað þarf að hanna og kaupa tímanlega af rafmagnsmenntuðum manni.
Vatnsgæfni grunnra holna í Hvalfirði	Fá fram líkindi á góðum vatnsæðum á litlu dýpi	Borskýrslur Jarðborana og Ræktunarsambandsins.
Yfirborðsmælingar	Að finna láréttar sem lóðréttar myndanir á gangaleið.	Mælingum verði hagað þannig að sem fjarlegastar upplýsingar safnist um slíkar myndanir.
Hitamælir á hjólum	Hægt verði að hitamæla skáholu á öllum tímum og án truflana af völdum skulunar	Kanna þarf möguleika á kaupum eða leigu á slíkum mæli, eða að hann verði smíðaður á OS.
Selta í borkjöllum	Að kanna hvort niðurrennsli sjávar eigi sér stað í Hvalfirði	Útbúa einfalt tæki til mælinga á leiðni borkjarna úr skáholu.



## 4.2 Rannsóknir meðan á borun skáholu stendur, aðrar en kjarnagreining

<i>Rannsóknar- aðferð</i>	<i>Markmið</i>	<i>Tækjabúnaður og undirbúningur</i>
Borholumælingar	Að fylgjast með hita, halla og e.t.v. fleiri eiginleikum skáholunnar	Ákveða þarf tilhögun borholumælinga, t.d. hvort OS leggi til mælingabíll og mannskap eða notaðar handrúllur og borspil. Mælar verði klárir í upphafi verks.
Lektarprófanir	Að meta lekt jarðlaga á gangaleið og ótruflaðan þrýsting grunnvatnskerfisins	Þar sem gera má ráð fyrir að stór hluti bortfmans fari í þennan verkþátt, er gert ráð fyrir að búnaðurinn hafi þegar verið þróaður og prófaður í lóðréttum holum og verði því tilbúinn til notkunar. Ákveða þarf hverjir annist mælingarnar.
Skolvatnsmælingar	Að staðsetja vatnsæðar sem borað er í gegnum og meta lauslega þrýsting þeirra	Búnaður sem mælir skolrennsli í og úr holu, svo og hita þess og leiðni. Best væri að hafa hann sem sjálfvirkastan og að gögnum verði safnað í tölvu. Hugsanlega verður þegar búið að hanna búnaðinn í þökkunarprófunum. Ath. að nauðsynlegt er að ferskt vatn verði notað í boruninni. Gæti því þurft að undirbúa vatnsveitu.
Mælingar á bor- kjörnum	Eðliseiginleikar og selta bergsins á gangaleiðinni	Ákvarða þarf hvaða eiginleikar eru mældir á borstað eða í rannsóknarstofum. Tækjabúnaður í samræmi við það.

Þar sem við því er að búast að margir aðilar komi að borun skáholunnar, sýnist höfundum æskilegt að Spölur hf myndi verkþóp sem hittist reglulega og ræði undirbúning og framkvæmd borverksins. Með því fást skýrar línur um verkaskiptingu, markmið, framkvæmd og úrvinnslu hinna einstöku verkþátta.

## 4.3 Rannsóknir eftir borun skáholu

<i>Rannsóknar- aðferð</i>	<i>Markmið</i>	<i>Tækjabúnaður og undirbúningur</i>
Borholumælingar í skáholu	Að mæla hita og e.t.v. fleiri eiginleika skáholunnar með tilliti til vatnsæða	Þess er að vænta að slíkar mælingar verði komnar í nokkuð fastan farveg meðan á borun stendur og ætti því ekki að þurfa sérstakan undirbúning eða tækjabúnað.
Dæling úr skáholu	Kanna tengsl grunnvatnskerfis og sjávar og fá fram langtíma-viðbrögð grunnvatnskerfisins	Djúpdæla eða loftdæling. Rafmagn við holutopp og búnaður til mælinga á rennsli, vatnsborði, leiðni og hita. Hér má líklega notast við sama búnað og var notaður við lektarpróf í skáholunni.
Lekt í berggöngum og misgengjum	Að meta líkindi á vatnsæðum á þeim hluta gangaleiðarinnar sem skáhola nær ekki til	Borun og lektarpröfun skáholna í þekkt misgengi og bergganga á ströndinni. Nákvæm tilhögun ákveðin í ljósi upplýsinga sem fást í skáholu.
Hitastigull á gangaleið	Útilokun nær lóðréttra leiðara heits (kalds) vatns nærri jarðgöngum	Hugsanlegt er að upplýsingar um berghita á gangaleið gefi tilefni til frekari athugana með nýjum, grunnum borholum eða með hitamælingum í botnseti. Búnaður til verksins er tiltækur hjá erlendum háskólum og hjá Hafrannsóknarstofnuninni.
Kínamælingar (viðnámssniðsmælingar)	Nákvæmar athuganir á legu heitra vatnsleiðara eða bergganga á ströndinni	Búnaður tiltækur á OS.
Líkanreikningar	Að steypa saman í eitt líkan niðurstöðum sem flestra rannsóknarþátta. Notað líkanið til að áætla leka inn í jarðgöng	Reiknilíkönn og mannskapur tiltækur á OS og víðar.

## 5. LOKAORÐ

Í þessari greinargerð eru taldar upp flestar þær rannsóknir sem höfundum sýnist að komi til álita við mat á lekt jarðlaga í utanverðum Hvalfirði. Ljóst er að margar aðferðir koma til greina, mistúmafrekar og kostnaðarsamar, og að þær gefa ýmist bein eða óbein svör um lekt jarðlaga á rannsóknarsvæðinu. Frekar er oftalið en vantalið og því framundan að rannsóknaraðilar setjist niður og fínstilli áætlanir sínar.

*Reykjavík, 27. júlí 1993*

*Kristján Sæmundsson  
Grímur Björnsson*