



ORKUSTOFNUN  
Vatnsorkudeild

Hitaveita Sauðárkróks  
Rannsóknarhóla við Fornós

Þórólfur H. Hafstað

Unnið fyrir Hitaveitu Sauðárkróks

OS-88068/14 B

Desember 1988



ORKUSTOFNUN  
Vatnsorkueild

Verknr. 648.300

Hitaveita Sauðárkróks  
Rannsóknarhola við Fornós

Þórólfur H. Hafstað

Unnið fyrir Hitaveitu Sauðárkróks

OS-88068/<sup>V00</sup>14 B

Desember 1988

## 1. Inngangur

Þetta er greinargerð um rannsóknarholu við Fornós í útjaðri Sauðárkróksbæjar. Holan var boruð til að kanna skipan jarðlaga og lekt þeirra. Höfuðmarkmiðið var að kanna líkur á öflun jarðsjávar. Ýmis atriði réðu staðarvali auk möguleikans að komast ofan í sjó, bæði landamerkjalegar og afstaða til jarðhitasvæðis utan við Áshildarholtsvatn.

Í sem stystu máli benda niðurstöður þessarar könnunar ekki til að vinnsla á jarðsjó upp úr Borgarsandi sé fýsileg. Að sönnu virðist vera sæmilega vel vatnsleiðandi jarðlag á um 25 m dýpi í sandinum, en vatnið sem úr því fæst er talsvert mengað. Talið er einsýnt að að þó það takist að hitta á fyrrnefnt vel leiðandi jarðlag nær ströndinni og draga sjó inn í holu þar, þá muni þetta glundur stöðugt sækja í að blandast þeim sjó, a.m.k. um all langan tíma.

Einnig er líklegt að nefnt malarlag sé töluvert misþykkt og jafnvel ekki víst að það sé samfelld. Þó svo væri er ekki hægt að reikna með að fá megi meira en 10 - 20 l/s úr vinnsluholum væru þær boraðar í Borgarsand. Sennilegt er því að fjárhagslega hagkvæm sjávaröflun í stórum stíl verði að fara fram með öðrum hætti hér um slóðir.

## 2. Holan

Rannsóknarholan er um 80 m frá sjó sunnan og austan vegamóta í landi kaupstaðarins við Fornós. Staðsetning hennar er sýnd á mynd 1. Hún var boruð með landráðabor Ræktunarsambands Flóa og Skeiða dagana 11. og 12. október 1988. Notuð var 4" víð vinnufóðring til að verjast sífelldu hruni í holunni. Hún náði niður á um 36 m dýpi en þar fyrir neðan var borað með 3" krónu niður í fast berg, sem hér er á um 40 m dýpi. Alls voru boraðir 42 m.

Áður en vinnufóðring var dregin upp var sett í holuna 63 mm vítt plaströr sem nær niður alveg niður undir berg. Plastið var gegnumgatað með 6 mm bor á 20 cm fresti frá botni og upp í 22 m en er ógatað þar fyrir ofan, því gert var ráð fyrir að sandurinn myndi að öðrum kosti skríða þar inn. Á bilinu 22 til 27 m eru götin margfalt þéttari, enda var búist við að á því bili væri helst að vænta innstremmis í holuna ef dælt yrði úr henni.

Borunin gekk ákaflega vel og var nánast engin fyrirstaða á niðurganginum nema helst í malarlaginu í kring um 25 m dýpið. Í því lagi eru allstórir steinar og reyndist það vera nokkuð hrungjarnt.

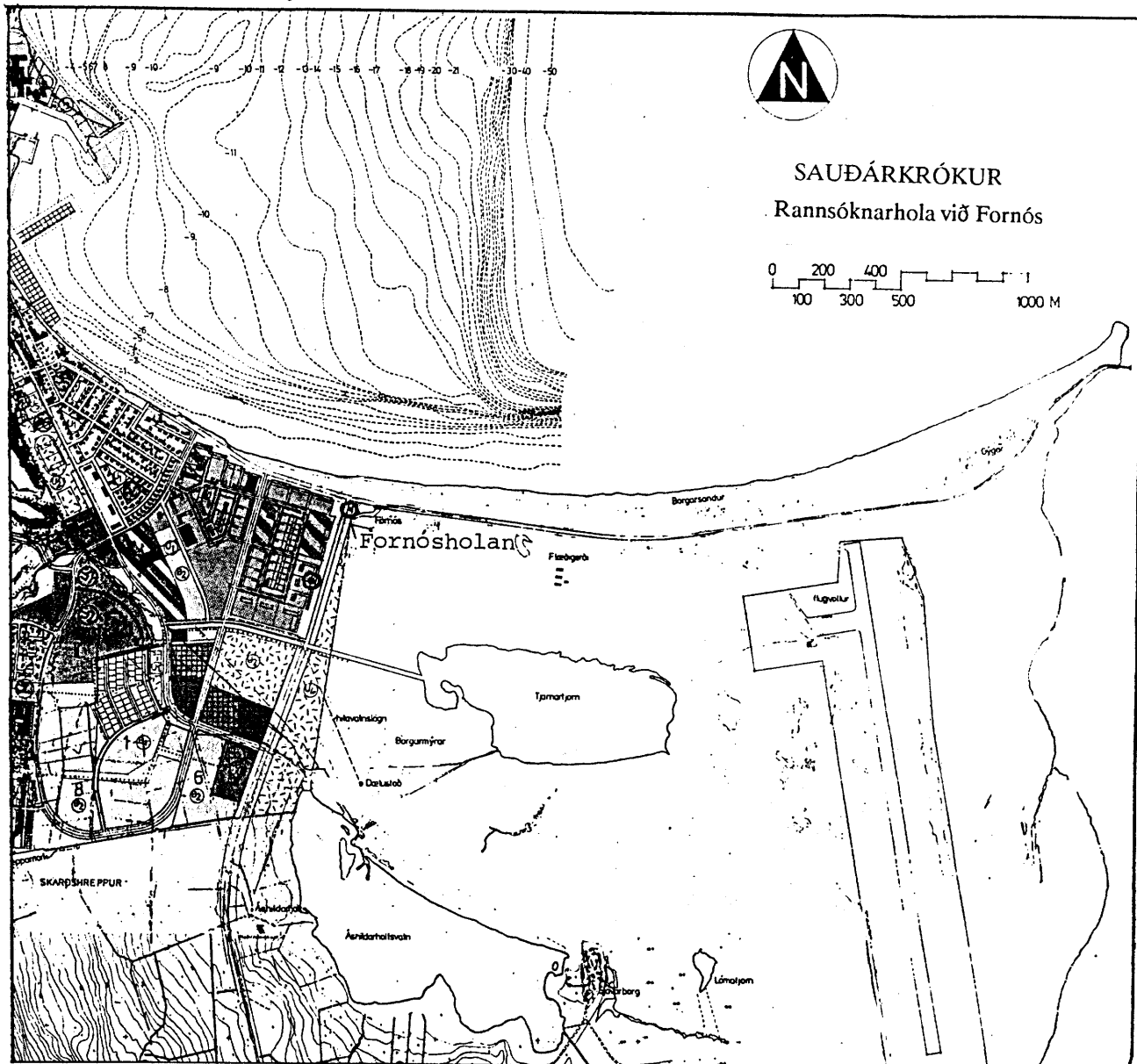
## 3. Jarðlagaskipan

Tekin voru svarfsýni til nánari skoðunar á 1,5 m fresti frá 6 m dýpi og niðurúr. Sniðið á mynd 2 sýnir jarðlagaskipanina. Efst er ægisandur allt niður á ríflega 22 m dýpi. Líkast til hefur megnið af honum sest til í sjó ekki ýkjafjarri árósi, eða við næsta áþekkar aðstæður og eru hér úti fyrir ströndinni. Í sandinum finnast einstaka skeljabrot og mosaklær á stangli.

Undir sandinum er sand- og malarlag, allt að 5 m þykkt. Í því eru hnullungssteinar á stangli og það virðist vera töluvert vatnsleiðandi, a.m.k. ef miðað er við lögin ofan þess og neðan.

Undir mölinni er þéttur sjávarleir sem verður sandblandnari er neðar dregur. Leirinn hefur sest til á allnokkru sjávardýpi, en ekki fannst neitt merki um skeljar eða önnur kvikindi í sýnunum.

Á 39 m dýpi er sandurinn orðinn ráðandi og á neðsta metranum er hann fínmalarblandinn og líklega orðinn dálítið vatnsleiðandi.



Mynd 1. Rannsóknarhola við Fornós í útjaðri Sauðárkrúksbæjar.

Komið var ofan í fast berg á tæplega 41 m dýpi. Svarfsýnið þaðan er töluvert mengað af hruni úr fínmalarlaginu en berggrunnurinn virðist vera þétt þóleið-basalt.

Boruð var hola með cobra-bor við tilraunaholuna til að kanna hvort vart yrði við malarlagið. Hér er aðeins um eina holu að ræða og tímatakan við borunina ekki mjög nákvæm, enda fyrst og fremst borað í forvitnisskyni.

Eigi að síður virðist mölin koma sæmilega glögg í ljós á borferlinum til hægri á mynd 2. Samt er ekki víst að einhlítt sé að nota cobra-bor til að kortleggja þykkt malarlagsins. Borferillinn lýsir viðnámi jarðlagsins gegn niðurrekstri, sem þarf alls ekki að vera háður vatnsleiðnieiginleikum malarinnar.



Jarðlagaskipan í Fornósholunni, sem sýnd er á mynd 2, er í góðu samræmi við jarðlagasnið 40 m djúprar höggborsholu, sem boruð var árið 1969 við þáverandi flugvöll, en er núna skammt sunnan við athafnasvæði Vegagerðarinnar. Þar var jarðlagaskipan í grófum dráttum svona:

- 0 - 4 m: Möl með járnmenuðu vatni.
- 4 - 24 m: Leirblandinn sandur, finn neðst.  
Lítið innstreymi.
- 24 - 25 m: Fín, leirblandin möl.  
Skeljar og kalkþörungur.
- 25 - 40 m: Leir, saltur og þéttur.

(Sjá greinargerð Kristjáns Sæmundssonar 1970; Athuganir varðandi neyzluvatn fyrir Sauðárkrók.)

Hér er malarlagið á sínum stað, en án efa þynnra og ekki eins steinótt. Fjarlægðin milli holanna er nálægt 300 m. Samanburð við snið hola á vinnslusvæði Hitaveitunnar enn sunnar er ekki hægt að gera með neinu öryggi (sjá þó jarðlagasnið holu 13 í útboðslýsingu Fornósholunnar). Það virðist því rétt að líta á þetta malarlag sem staðbundið og að alls ekki sé víst að það sé að finna undir öllum Borgarsandi.

#### 4. Sjávarfallamæling

Mælingar á sjávarföllum í borholum miða að því að fá hugmynd um vatnsleiðni þeirra jarðlaga sem holan er boruð í. Annars vegar er seinkun fallabylgjunnar mæld, þ.e. hversu munnar á flóði og fjöru í holunni miðað við sjóinn úti fyrir. Hins vegar er dempum fallanna mæld.

Fylgst var með vatnsborðsbreytingum með síritandi þrýstingsskynjara sem látinn var vera í holunni í sólarhring (tvö flóð). Tölur um flóðhæð og tíma voru fengnar úr Sjávarfallatöflum Sjómælinga Íslands. Auk þess var sjávarhæðin mæld og skráð með síríta í smábátahöfninni á Sauðárkróki. Þeim mælingum bar mætavel saman við töflurnar, enda urðu litlar breytingar á loftþrýstingi meðan á athuguninni stóð.

Tafla 1  
Sjávarföll í höfn og holu.

Föll á Skróki	Sjávarhæð	Hæðarmunur	Seinkun falla í holu	Vatnsh í holu	Hæðarmunur
881013					
fj kl.0525					
f kl.1130	1.3 m				
fj kl.1746	0.2 m	1.1 m	25-40 mín	1.49 m	
f kl.2343	1.3 m		<42 mín ?	1.13 m	0.36 m
881014					
fj kl.0553	0.1 m	1.2 m	>25 mín ?	1.44 m	0.31 m
f kl.1158	1.3 m		<36 mín	1.08 m	0.36 m
fj kl.1817	0.2 m	1.2 m			

Vatnsborðsbreytingarnar í holunni eru sem næst 30% af sjávarföllumum og seinkun bylgjunnar ríflega hálf tími.

Til að meta vatnsleiðni jarðlaganna milli holu og hafs eru eftirtaldar stærðir þekktar og notaðar í viðurkenndar jöfnur:

$$\begin{aligned}
 x &= \text{fjarlægð frá strönd: } 80 \text{ m} \\
 t_0 &= \text{sveiflutími sjávarfallabylgjunnar: } 44220 \text{ sek} \\
 t_1 &= \text{tímamunur falla við strönd og holu: } 2100 \text{ sek} \\
 h_x/h_0 &= \text{deyfiing sjávarfallabylgjunnar: } 0,36/1,20
 \end{aligned}$$

Reiknað er hlutfallið T/S, þar sem T er leiðnin (transmissivity) en S er forðastuðull (storage coefficient), sem álitinn er samsvara virkri groppu (porosity) jarðlagsins; 10 - 20%. Sé leiðnin reiknað út frá dempun bylgjunnar fæst

$$\frac{T}{S} = \left( \frac{x}{\ln \frac{h_x}{h_0}} \right)^2 \cdot \frac{\pi}{t_0} \quad (1)$$

$T = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  
en ef reiknað er samkvæmt seinkun bylgjunnar:

$$\frac{T}{S} = \left( \frac{x}{t_1} \right)^2 \cdot \frac{t_0}{4\pi} \quad (2)$$

$$T = 8 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$$

Hér er verulegur munur á og verður að álíta að samband jarðlagsins við hafið sé flóknara en þessir líkingar gera ráð fyrir. Áhrifa fallabylgjunnar gætir bæði fljótt og vel í holunni, en samkvæmt risi vatnsins eftir dælingu má gera ráð fyrir að jarðlagið sé töluvert treggengara en hér reiknast. Væru þessar tölur réttar hefði niðurdráttur við dælingarnar varla verið mælanlegur (sbr. töflu 3). Af því leiðir að rétt er að á horfa á þessar niðurstöður með mjög gagnrýnu hugarfari.

## 5. Dæling og sýnataka

Strax að loknum hita- og seltumælingum eftir sjávarfallamælinguna, var lítil, bensínknúin dæla tengd við holutopp og dælt vatni úr holunni í þrjá klukkutíma samfleytt. Upp vall gulleitur vökvi, nær ósaltur og heldur óásjálegur.

### Tafla 2

Stutt dæling úr Fornósholu 14. okt.

tími	hiti	leiðni	magn
	°C	μmhos	l/s
15:45	dæla í gang		
16:10	12,4	4,0	
16:45	11,6	1490	4,0
17:45	11,4	1540	4,0
18:40	11,4	1550	4,0
18:45	Slökkt á dælu, dælt var 43 m <sup>3</sup>		

Áður en slökkt var á dælu var tekið sýni af vatninu ef ske kynni að ekki yrði um frekari dælingu að ræða. Vatnið var síað og reyndist vera mikið af óhreinindum í því. Það þótti þess vegna ráðlegt að láta efnainnihald þess liggja á milli hluta að sinni og vonast til að hreinni vökvi fengist við frekari úrdælingu.

Um leið og dælingu lauk var sogbarkinn aftengdur og fylgst í tæpan klukkutíma með hækkun vatnsborðsins í holunni. Eftir því að dæma er líklegt að niðurdráttur rétt utan við holuvegg hafi verið allt að 1,2 m meðan á dælingu stóð. Reiknað samkvæmt aðferð Jackobs má ætla að vatnsleiðni sé ekki fjarri því að vera  $T = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Þá var hita- og seltumælt og er nánar um það fjallað síðar. Eftir þessa dælingu var ljóst að holan gat gefið a.m.k. nokkra sekúndulíttra og þótti það vera forvitnilegt að dæla úr henni nokkra hríð og láta á það reyna hvort vökvinn breyttist eitthvað við það og hvort hita- og seltumæliferlar tækju einhverjum breytingum.

Tengd var lítil dæla við holuna og hún látin totta hana. Dælingin var ekki alveg samfelld í byrjun, en eftir byrjunartruflanir var dælt viðstöðulaust í vikutíma 1,2 l/s. Þá var nýtt sýni tekið til efnagreiningar, þó ekkert virtist vökvinn vera geðslegri en í hið fyrra sinnið. Alls var því dælt ekki minna en 725 m<sup>3</sup> í þessari lotu.

Slökkt var á dælu á morgni 31. okt og fylgst með risi vatnsborðsins sem fyrr og varð niðurstaðan,  $T = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , sambærileg. Ekki er hægt að segja að fullri vissu hver niðurdrátturinn við þessa dælingu var þar sem náttúrulegt vatnsborð er síbreytilegt vegna sjávarfallanna, en gróft séð er hann 30 - 40 cm.

Nota má aðferð Logans til að fá hugmynd um hugsanlegn niðurdrátt í, eða öllu heldur rétt utan við dæluholu:

$$\Delta h = \frac{1,22 \cdot Q}{T} \quad (3)$$

( $\Delta h$  = niðurdr.,  $Q$  = rennsli,  $T$  = vatnsleiðni.)

Samkvæmt þessu mætti búast við neðanskraðum niðurdrætti við mismikla dælingu. (Tölur í sviga eiga við opinn vatnsgeymi, en hér er hann líkast til lokaður).

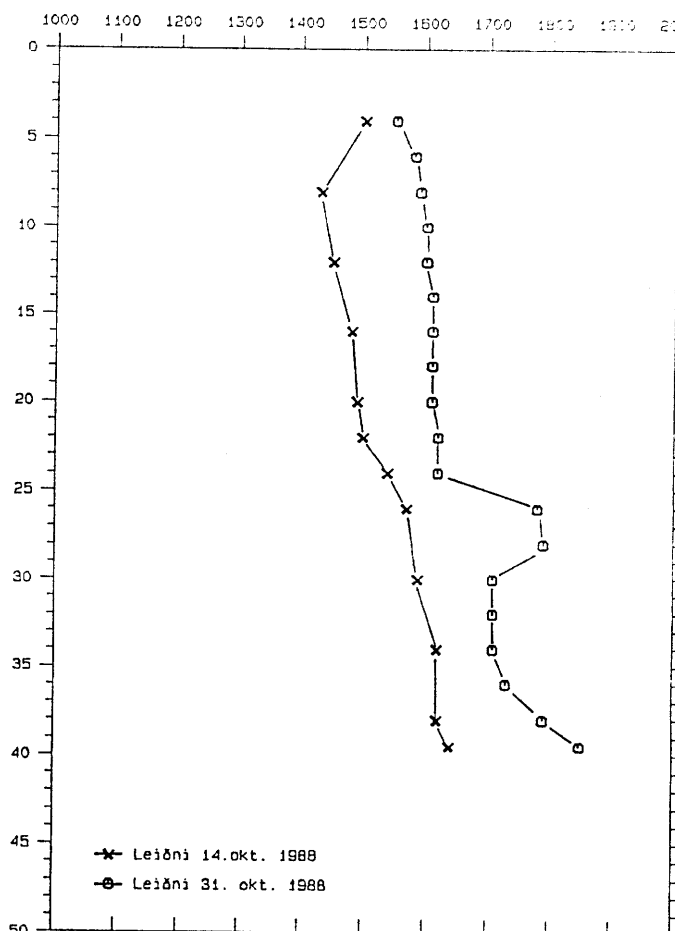
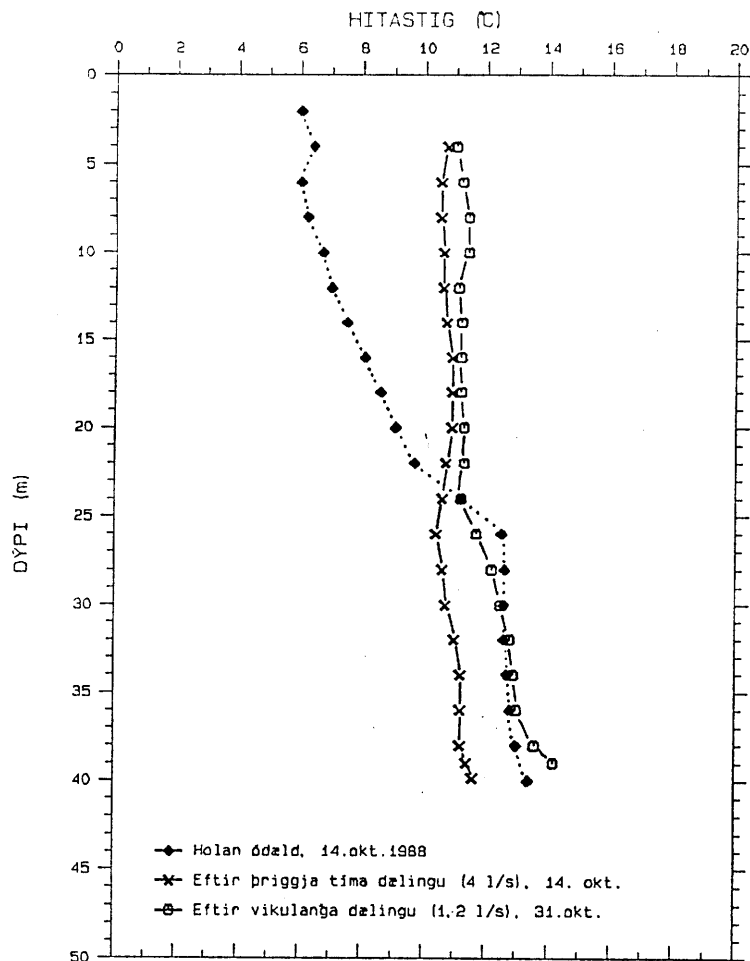
### Tafla 3

Hugsanlegur niðurdráttur

Rennsli	leiðni	leiðni
Q, l/s	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
5 l/s	1,5 - 2 m	ca. 1 cm
10 l/s	3 - 4 m	ca. 25 cm
20 l/s	6 - 8 m (5,5 - 7 m)	ca. 50 cm
50 l/s	15 - 20 m (13 - 15 m)	ca. 1,2 m

Hola við  
Fornós  
Saudárkróki

Hola við Fornós  
Saudárkróki  
Rafleiðni, yohms



Mynd 3. Hita- og rafleiðnimælingar í Fornósholunni.

Hér af sést að leiðnigildið sem fékkst við sjávarfallamælinguna,  $5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ , er í litlu samræmi við niðurdráttinn strax eftir dælingu. Á hinn bóginn samsvarar niðurstaða jöfnunar vatnsborðs ( $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ) mæta vel við þennan reikning. Þó að hér sé um grófa nálgun að ræða gefur taflan þó nokkra hugmynd um hve mikils niðurdráttar er að vænta ef gerðar yrðu dæluholur á þessum slóðum.

Flest bendir því til að rétt sé að reikna með að jarðlögin séu heldur treggæf og að ekki fáiast verulegt vatnsmagn úr hverri holu. Benda má á að næsta vísit er að til viðbótar

þeim niðurdrætti sem hér er reiknaður, megi bæta nokkru við vegna iðustreymis þegar vatn fossar inn í holu úr tiltölulega afmörkuðu svæði (malarlaginu).

Með þessum dælingum breyttist hiti og selta vatnsins í holunni dulítið. Engra breytinga varð varð vart á tærleikanum. Það þykir þess vegna reynandi að dæla duglega úr henni nokkra hríð til að fá úr því skorið hvort hægt mundi vera að draga sjó að holunni og þá einnig hvort hann væri eitthvað minna efnamengaður.



## 6. Hita- og seltumælingar

Á mynd 2 er "ótruflaður" hitaferill holunnar sýndur; þ.e. áður en farið var að andskotast með dælur í henni. Í megindráttum stígur hitinn úr 6°C við yfirborð upp í 9°C á 20 m dýpi. Þar hlýnar vökvinn örar og er kominn í 12,5°C á 26 m dýpi. Eftir það hitnar rólega til botns. Þessar hitastigsbreytingar virðast falla vel að jarðlagasniði holunnar; ylurinn sem á rót sína að rekja neðan úr berggrunninum leitar upp í leka malarlagið og blandast kaldara streymi í því.

Hitaferillinn tekur róttækum breytingum við dælingu, eins og fram kemur á mynd 3. Mælt er strax að lokinni dælingu 14. október og er hitinn þá sem næst jafn; 10,5°C til 12,5°C frá toppi til botns. Rétt er að hafa í huga að holufóðringin er ógötuð ofan ca. 22 m og þess vegna gætir ekki kaldara vatns, sem efalaust er í sandinum þar, en er utan við ógatað rörið. Upp komið var vatnið 11,4°C.

Enn verða breytingar á ferlinum við "löngu dælinguna" og þó svo uppkomið vatn hafi verið með svipað hitastig og fyrr (11,2°C), þá eru áhrifin á neðri hluta mæliferilsins lítil. Þar hefur vatnið heldur hitnað sé miðað við ótruflað ástand.

Seltumælingar gefa líka ástæðu til að ætla að obbinn af því vatni sem upp er dælt sé ættaður úr malarlaginu á um 25 m dýpi. Á mynd 4 er sýnd rafleiðni vatnsins, en hún endurspeglar seltuinnihaldið, sem þrátt fyrir allt er ekki nema rétt um 1 promill (fullsaltur sjór er rúmlega 30 promill). "Stutta dælingin" virðist draga tiltölulega ferskt vatn að holunni í malarlaginu. Eftir "löngu dælinguna" er þetta öfugt; þá virðist örlítið saltari vökví vera farinn að þrengja sér að holunni um malarlagið á ríflega 25 m dýpi og einnig niður undir botni.

Þessar breytingar eru allt of smávægilegar til að draga af þeim stórar ályktanir. Á það ekki síst við um rafleiðnina ("seltuna"). Freistandi er þó að ætla, að við "fyrri dælinguna" dragist 10 - 11°C vatn alls staðar inn í holuna, þ.e.a.s. þar sem plastfóðringin

er götuð, mest þó og ferskast þar sem götunin er þéttust og jarðlagið best leiðandi.

Við "seinni dælinguna" er vatnsmagnið mun minna og verður hitaferillinn þess vegna svipaður og í ódældri holunni að öðru leyti en að heldur hefur hlýnað við botninn. Einnig virðist seltan eitthvað aukast þar og einnig í neðri hluta malarlagsins. Það gæti bent til að vökvinn yrði smám saman saltari við dælingu en eigi að síður bendir selta í vökvanum uppkomnum ekki til að neinnar marktækrar sjómengunar; 0,75 promill.

Vel er hugsanlegt að 5 - 10 l/s dæling um nokkra hríð geti varpað skýrara ljósi á hvort nokkur von sé til að draga megi sjóinn inn. Þessi dæling yrði að vera það mikil að hún ofbyði ferskvatnskerfinu. Ef tekið er tillit til víðáttu landsins inn af Borgarsandi og öllu því vatni sem þar í getur leynst, verður það að teljast líklegt að í besta falli fáist dauf saltblanda úr þessari holu.

## 7. Efnainnihald vökvans

Sýni sem tekið var eftir vikulanga úrdælingu þann 31. október 1988 gaf engan veginn ástæðu til að ætla að vatnið væri hæft til neyslu havð þá heldur fiskeldis. Segja má að það hafi verið engu líkt og ef til vill þess vegna ákaflega forvitnilegt að fá á því efnagreiningu.

Í vatninu var mikið af sallaflínu, gulgráu gruggi, sem síað var úr fyrir efnagreiningu, en þrátt fyrir það varð sýnið ekki tært. Greiningin er af þeim efnum sem eru í upplausn en ekki af grugginu sem sat eftir á síunum. Sennilegt er að í því sé nokkuð af efnasamböndum sem fallið hafa úr vatninu, eins og t.d. járn. Hvað sem því líður er ljóst að í vatninu er töluvert af óhreinindum sem illmögulegt er að losna við, bæði uppleyst og sem grugg.

Magn efna í töflu 4 er í milligrömmum í lítra ("parts per million")

#### Tafla 4

Efnagreining vatns úr Fornósholunni.

Sýni tekið 30. okt. 1988.

Hiti, °C.....11,2

pH/°C.....9,05/18,2

Ωm/°C.....1895/22,0

SiO<sub>2</sub>.....16,8 ppm

Na.....383,8 ppm (487,2)

K.....18,01 ppm

Ca.....2,70 ppm

Mg.....5,00 ppm

CO<sub>2</sub>.....247,3 ppm

SO<sub>4</sub>.....59,09 ppm

H<sub>2</sub>S..... <0,03 ppm

Cl.....415,8 ppm

F.....1,022 ppm

Uppl.....1196,2 ppm

Fe.....0,15 ppm

Mn.....0,15 ppm

NO<sub>3</sub>.....0 ppm

PO<sub>4</sub>.....8,73 ppm

Br.....1,74 ppm

Miðað við "venjulegan" grunnvatnshita má ljóst vera, eftir hitastigi vatnsins úr holunni að dæma, að grunnvatnið er hér jarðhitablandað (ca. 10%). Sé gert ráð fyrir að sá vökvi sé aftur blanda af Mg-lausu hitavatni og sjó, sem leggi til 5 ppm Mg<sup>2+</sup>, þá er hægt að reikna sér til að vökvinn úr Fornósholunni sé saman settur úr eftirfarandi frumbáttum:

#### Tafla 5

Samsetning vökvans.

90%: Efnamengað grunnvatn úr lausum jarðlögum, þar með selta úr sjávarleir (0,4 promill) og 0,3% sjór (vegna særoks).

9%: Jarðhitavatn ættað úr berggrunninum

1%: Heitur sjór, ættaður úr berggrunninum.

Þessa niðurstöðu verður að skoða sem tillögu um uppruna vatnsins, tillögu þar sem margir endar eru lausir og sumir illskýranlegir; til að mynda er magn SiO<sub>2</sub> í lægra lagi. Greining var í því tilfelli nokkrum örðugleikum bundin vegna óvenjulegs litarafsts vökvans. Einnig er hlutfall Cl og Na sérkennilegt. Eðlilegt er að telja að vökvinn sé ekki í jafnvægi við

umhverfi sitt.

Rétt er að hafa í huga að efalaust mun efnasamsetningin breytast ef duglega og lengi er dælt. Hvort hlutfall sjávar muni aukast við það skal ósagt látið, en samkvæmt þessum skilingi er ekkert farið að kræla á innstreymi frá sjó vegna dælingar.

Vera má að úr víðari holu sem staðsett væri nær sjó og hægt væri að dæla meiru úr, færi sjávar fyrir að gæta. Lárétt lagskiptingin veldur því hins vegar að búast má við að ósalt vatn teygi sig alllangt til norðurs fyrir neðan sjávarmál. Fyrir bragðið getur það orðið tímafrekt að ná sjónum inn og til þess að það geti tekist verður niðurdráttur að vera töluvert mikill

Í stuttu máli má segja að einhverjar líkur séu á að ná sjó úr borholum austur undir miðjum sandi og þá sem allra næst sjávarmáli. Hins vegar þykja meiri líkur benda til að árangur þar yrði sambærilegur og við Fornós.

Öngvar líkur eru taldar á að fá ferskara grunnvatn á þessum slóðum við langtíma úrdælingu. Möguleikar á ferskvatnsöflun í stórum stíl eru því ekki fyrir hendi. Hins vegar er ekki fullreynt hvort vinna megi vatn í smáum stíl úr þunnu malarlagi, sem er ofan á sandinum sums staðar í grenndinni. Þetta eru fornir fjörुकambar og eru þeir með mjög takmarkaða útbreiðslu. Vatni úr þeim yrði náð úr grunnum brunnum eða "drenlagn" og gæti nýst tímabundið fyrir Vatnsveitu Sauðárkróks. Þessu möguleiki er þó ennþá ókannaður, en þó er óhætt að fullyrða að með þessu móti geta aldrei fengist nema í besta falli fáeinir sekúndulítrar.

## EFNISYFIRLIT

1. Inngangur	2
2. Holan	2
3. Jarðlagaskipan	2
4. Sjávarfallamæling	5
5. Dæling og sýnataka	6
6. Hita- og seltumælingar	8
7. Efnainnihald vökvans	8