



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

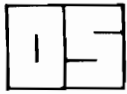
Lúðvík S. Georgsson
Guðmundur Ómar Friðleifsson
Magnús Ólafsson
Ómar Sigurðsson
Þórólfur H. Hafstað

Jarðhitadeild
GRÉTTISAFN

SKILYRÐI TIL FISKELDIS Í ÖXARFIRÐI
Ferskvatn, jarðsjór, jarðhiti og rannsóknarboranir
Sérverkefni í fiskeldi 1987 og 1988

21/
1989

OS-89041 / JHD-08
Reykjavík, nóvember 1989



ORKUSTOFNUN

Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

**Lúðvík S. Georgsson
Guðmundur Ómar Friðleifsson
Magnús Ólafsson
Ómar Sigurðsson
Þórólfur H. Hafstað**

**SKILYRÐI TIL FISKELDIS Í ÖXARFIRÐI
Ferskvatn, jarðsjór, jarðhiti og rannsóknarboranir
Sérverkefni í fiskeldi 1987 og 1988**

**OS-89041 / JHD-08
Reykjavík, nóvember 1989**

ÁGRIP

Í Öxarfirði hafa verið talin einhver bestu skilyrði til fiskeldis á Íslandi frá náttúrunnar hendi. Sumrin 1987 og 1988 vann Orkustofnun að sérverkefni í samvinnu við sveitarfélögin í héraðinu umhverfis Öxarfjörð, sem miðaði að því að afla grunnupplýsinga um ferskvatn og jarðhita á svæðinu og að kanna sérstaklega aðstæður til matfiskeldis í austanverðum Öxarfirði. Í því skyni voru m.a. boraðar 8 rannsóknarholur eftir jarðsjó og jarðhita. Í skýrslunni er sagt frá rannsóknunum og helstu niðurstöðum.

Ferskvatn er bæði mikið og gott í Öxarfirði. Í Kelduhverfi fær geysimikið grunnvatn framrás innan Kröflu- og Þeistareykjasprungubeltanna, sem leitar að nokkru upp á yfirborð þar sem sandurinn tekur við af hraunbreiðunum og fær framrás í Litluá og Lóni. Litluá tekur við um $10 \text{ m}^3/\text{s}$ en um Lónsós fara um $19 \text{ m}^3/\text{s}$. Áhrifa frá jarðhita gætir á báðum stöðum. Mikið ferskvatn en dreifðara kemur einnig upp í Öxarfjarðarhreppi og Núpasveit á sprungubeltinu sem þar liggur út héraðið. Þarna eru all mörg lindasvæði sem gefa af sér $0,5\text{-}3 \text{ m}^3/\text{s}$. Heildarafrennslíð er trúlega hátt í $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Vestanverð Slétta er aftur á móti sem næst afrennslislaus á yfirborði en vatnið fær líklega mest allt framrás um Blikalónsdal sem er sigdæld sem ristir Sléttuna að endilöngu. Það kemur síðan fram í Blikalóni við ströndina. Magnið gæti verið um $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Öflun jarðsjávar varð stærri þáttur í verkefninu en áætlað var. Í þeim tilgangi voru boraðar 4 holur við sjávarströndina, en árangur varð rýr. Með þessum borunum var talið fullreynt hvort verulegt magn af nýtanlegum jarðsjó fengist úr borholum á ströndinni frá Skógalóni, austur fyrir Buðlungahöfn. Óreyndir eru staðir þar norðaustur af, sem eru lofandi, en jafnframt fjær hitasvæðum og dregur það úr gildi þeirra. Því þarf að leita annarra leiða til að vinna sjó. Í því sambandi lofa tilraunir heimamanna með dælingu úr brunnum og drenlögnum við ströndina góðu

Í Stóranesi á austurbakka Brunnár, skammt frá ósnum, leiddu rannsóknarboranir óvænt í ljós gnótt af $35\text{-}36^\circ\text{C}$ heitu vatni á $60\text{-}100 \text{ m}$ dýpi. Frekari boranir heimamanna á Núpsmýri gáfu ennfremur til kynna að þarna má taka a.m.k. 400 l/s af köldu vatni með frekar litlum niðurdætti. Efnagreiningar sýna að vatnið er mjög vel hæft til fiskeldis. Í framhaldi af því ákváðu heimamenn að reisa þarna fiskeldisstöð, sem er nú, haustið 1989, í uppbyggingu.

Hitasvæðin úti á söndunum voru einnig skoðuð. Viðnámsmælingar voru gerðar til að afmarka þau betur en áður til norðurs. Grunnar rannsóknarholur voru boraðar á hitasvæðunum við Skógalón og Bakkahlaup og síðan dýpri hola (Æ-3) við Skógalón. Við Skógalón er talið vera lágheatasvæði og er efnahiti vatnsins 120°C . Hóla Æ-3 gefur $40\text{-}50 \text{ l/s}$ í sjálfrennslu af 96°C heitu vatni, sem vafalaust má auka með dælingu. Á austurbakka Bakkahlaups er talið vera háheatasvæði. Það er a.m.k. 10 km^2 stórt en norðurmörkin eru ekki þekkt. Virkasti hlutinn er syðst þar sem jarðhiti finnst á yfirborði á all stóru svæði. Þessi hitasvæði eru einstök á Íslandi, því að jarðhitinn kemur upp í setlagastafla sem er um 1 km þykkur.

Lífrænt gas svipað og finnst á olíusvæðum hefur greinst í sýnum sem tekin hafa verið úr borholunum við Skógalón. Slíkt gas hefur ekki fundist áður á Íslandi.

EFNISYFIRLIT

ÁGRIP.....	2
EFNISYFIRLIT.....	3
TÖFLUSKRÁ.....	4
MYNDASKRÁ.....	4
1. INNGANGUR.....	5
1.1 Markmið verkefnisins.....	5
1.2 Framvindan árið 1987.....	7
1.3 Framvindan árið 1988.....	7
2. LINDIR OG GRUNNVATN Í ÖXARFIRÐI.....	10
2.1 Jarðfræðilegar aðstæður.....	10
2.2 Presthólahreppur.....	12
2.3 Öxarfjarðarhreppur.....	13
2.4 Kelduhverfi.....	14
2.5 Efnagreiningar.....	17
3. JARÐSJÓR.....	18
3.1 Hola D-1 við Brunnárósa.....	18
3.2 Hola Æ-2 við Skógalón.....	20
3.3 Hola D-2 við Buðlungahöfn.....	23
3.4 Hola D-3 við Buðlungahöfn.....	24
4. VOLGT OG KALT VATN Á NÚPSMÝRI.....	28
4.1 Hola N-1.....	28
4.2 Hola N-2.....	32
4.3 Vinnsluboranir eftir volgu og köldu vatni á Núpsmýri.....	34
5. JARÐHITABORANIR.....	40
5.1 Jarðhitasvæðin í Öxarfirði.....	40
5.2 Hola Æ-1 við Skógalón.....	44
5.3 Hola B-1 við Bakkahlaup.....	45
5.4 Hola Æ-3 við Skógalón.....	46
5.5 "Olúgas" í Öxarfirði.....	54
6. HELSTU NIÐURSTÖÐUR.....	57
6.1 Staðan í dag.....	57
6.2 Framtíðarverkefni.....	58
HEIMILDIR.....	60

TÖFLUSKRÁ

1.	Lindir og lindasvæði í Presthólahreppi.....	12
2.	Lindir og lindasvæði í Öxarfjarðarhreppi.....	13
3.	Lindir og lindasvæði í Kelduhverfi.....	14
4.	Efnasamsetning vatns í Presthóla- og Öxarfjarðarhreppum.....	16
5.	Efnasamsetning vatns í Kelduhverfi.....	17
6.	Efnasamsetning vatns úr holu D-1.....	20
7.	Efnasamsetning vatns úr holu Æ-2.....	22
8.	Efnasamsetning sjávar í holu D-2 og Buðlungahöfn.....	22
9.	Efnasamsetning vatns í holum á Núpsmýri.....	32
10.	Borholur á Núpsmýri.....	34
11.	Viðbrögð ferskvatnskerfis við dælingu.....	38
12.	Efnasamsetning vatns úr holum Æ-1 og Æ-3.....	54
13.	Efnasamsetning gass úr holum Æ-1 og Æ-3.....	55
14.	Efnasamsetning gass úr Æ-1 og Æ-3 að frádregnum andrúmsloftsgösum.....	55

MYNDASKRÁ

1.	Jarðhiti og sprungubelti í Öxarfirði.....	6
2.	Lindasvæði sprungur í Öxarfirði og á Melrakkaslétu.....	11
3.	Upptök Litluár í Kelduhverfi.....	15
4.	Jarðlög og hitamælingar í holu D-1.....	19
5.	Jarðlög og hitamælingar í holu Æ-2.....	21
6.	Jarðlög og hitamælingar í holu D-2.....	23
7.	Jarðlög og hitamælingar í holu D-3.....	24
8.	Sjávarfallasveifla í holu D-3.....	25
9.	Vatnsborð í holu D-2 við loftdælingu úr holu D-3.....	27
10.	Vatnsborð í holu D-2 eftir loftdælingu úr holu D-3.....	27
11.	Staðsetning borhola á Núpsmýri.....	29
12.	Jarðlög og hitamælingar í holu N-1.....	30
13.	Jarðlög og hitamælingar í holu N-2.....	33
14.	Jarðlög í borholum á Núpsmýri.....	35
15.	Langtímadæling úr holu N-6.....	37
16.	Þrepaðæling úr holu N-6.....	37
17.	Vatnsborð í holu N-2 við dælingu úr holu N-4.....	39
18.	Vatnsborð í holu N-5 eftir dælingu úr holu N-6.....	39
19.	Eðlisviðnám bergs í Öxarfirði á 500 m dýpi undir sjávarmáli.....	41
20.	Viðnámssnið yfir háhitasvæðið við Bakkahlaup.....	42
21.	Hitasvæðið við Skógalón og staðsetning borhola.....	43
22.	Hitamælingar í holu Æ-1.....	44
23.	Jarðlög og hitamælingar úr holu B-1.....	45
24.	Jarðlög og jarðlagamælingar í holu Æ-3.....	48-49
25.	Hitamælingar í holu Æ-3.....	52
26.	Þrýstijöfnun í holu Æ-3 eftir lokun.....	53
27.	Afkastamælingar í holu Æ-3.....	53

1. INNGANGUR

1.1 Markmið verkefnisins

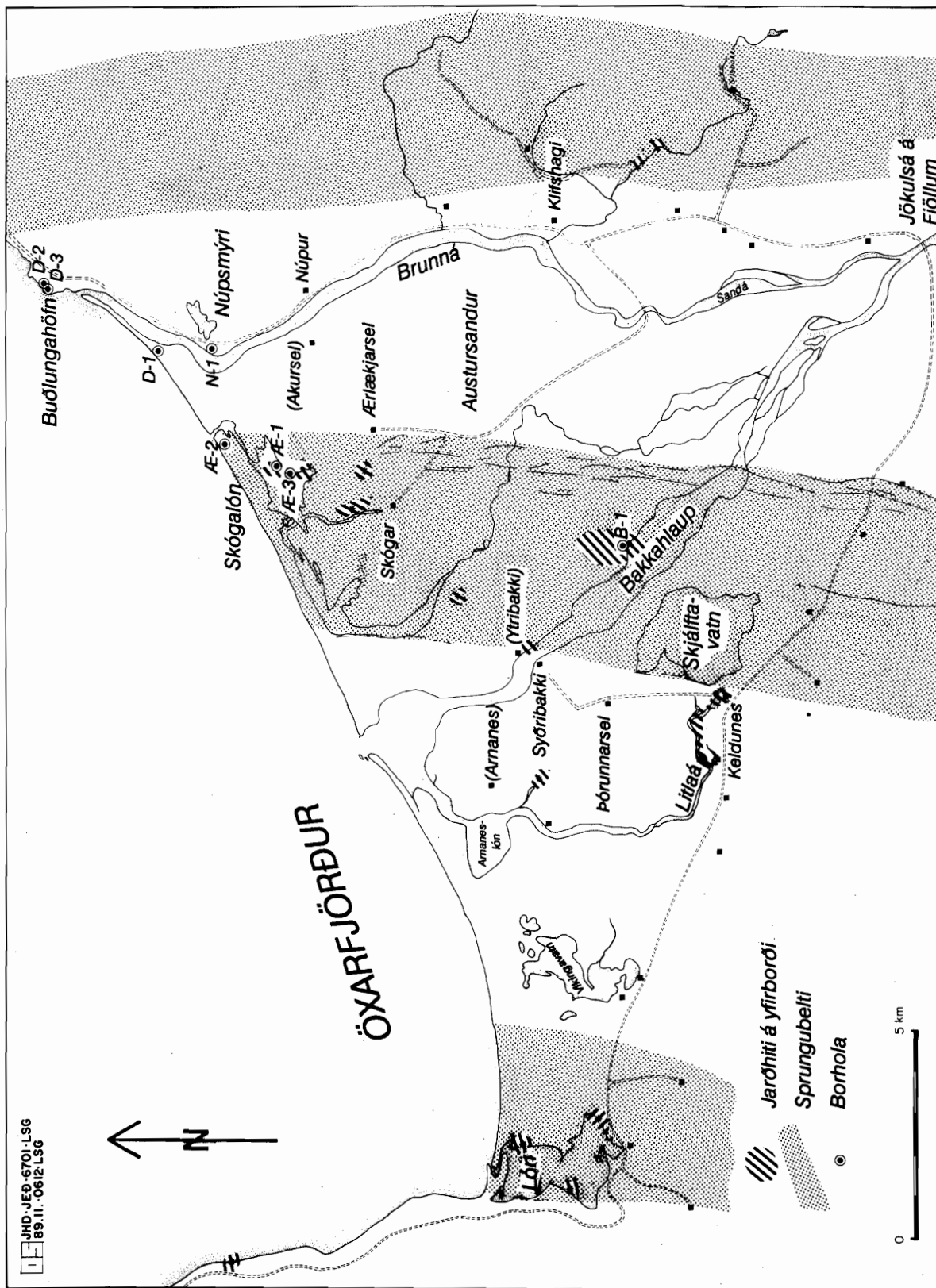
Í Öxarfirði hafa verið talin einhver bestu skilyrði til fiskeldis á Íslandi frá náttúrunnar hendi. Vatnasvið Öxarfjarðar er víðfeðmt og stór hluti af úrkomu á hálendinu umhverfis kemur fram í stórum lindasvæðum niðri á láglandi. Á afmörkuðum svæðum kemst grunnvatnið í snertingu við jarðhita og kemur þá ylvolt undan hraununum, svo sem við Keldunes og Lón í Kelduhverfi. Úti á söndunum eru öflug jarðhitasvæði, sem til skamms tíma hafa lítið verið rannsökuð eða nýtt. Þau helstu eru á austurbakka Bakkahlaups, sunnan Ytribakka, og við Skógalón nærri ströndinni (1. mynd). Þessi jarðhiti kemur upp á sprungubeltinu mikla sem nær sunnan frá Kröflu um Gjástykki norður í Öxarfjörð. Talsvert jarðrask varð í Öxarfirði 1976 og 1978 í tengslum við Kröfluelda eins og alkunna er.

Öxarfjörður er ein af úbyggðum Íslands. Sveitarfélögin eru þrjú, Kelduneshreppur eða Kelduhverfi, Öxarfjarðarhreppur og Presthólahreppur. Byggðin hefur staðið nokkuð höllum fæti undanfarin ár vegna samdráttar í landbúnaði og niðurskurðar bústofns vegna riðuveiki. Heimamenn hafa því horft til fiskeldis sem framtíðaratvinnuvegs í héraði. Bygging tveggja stórra fiskeldisstöðva á síðustu árum hefur ekki dregið úr þeirri trú. Fiskeldisstöðvar Ísnó hf í Lónum og Árlax hf í Ártungu við Keldunes nýta einstaklega hagstæðar ytri aðstæður, þar sem ómengað, volgt vatn streymir fram úr gjám og uppsprettum svo að nýta má það beint til fiskeldis. Þriðja svæðið, sem horft hefur verið til og þá einkum vegna matfiskeldis, er ströndin í námunda við hitasvæðið í Skógalóni. Töluverð óvissa hefur þó ríkt þar um ýmsa þætti, einkum virkjun jarðhitans og öflun sjávar.

Haustið 1986 lagði Orkustofnun fram tillögur um sérverkefni sem miðuðu að því að afla upplýsinga um náttúrleg skilyrði til fiskeldis víða á landinu. Eitt af þeim svæðum sem athyglin beindist strax að var Öxarfjörður. Markmið verkefnisins í Öxarfirði var tvíþætt. Annars vegar var ætlunin að safna grunnupplýsingum um ferskvatn og jarðhita í Öxarfirði. Hins vegar átti að kanna sérstaklega aðstæður til matfiskeldis í austanverðum Öxarfirði. Gert var ráð fyrir að verkefnið tæki tvö ár í framkvæmd. Tillögurnar skiptust í 3 meginþætti auk skýrslugerðar:

- i) *Ferskvatnsathuganir*, sem fólu í sér kortlagningu og rennislismælingar á lindum og uppsprettum og efnagreiningar á vatninu.
- ii) *Jarðsjávarleit*. Vegna hættu á brimróti og hafis við ströndina og jökulgormsmengunar frá Jökulsá á Fjöllum var álitnið að sjó þyrfti að vinna úr borholum. Því var fyrirhugað að bora eina eða fleiri rannsóknarholur úti við ströndina til að kanna gerð jarðsjávar, gæfni jarðlaga og efnainnihald vökvans með tilliti til fiskeldis.
- iii) *Jarðhitarannsóknir*. Áætlað var að bora nokkrar grunnar hitastigulsholur sumarið 1987 til að kanna hitaástand jarðhitasvæðanna. Jafnframt skyldu gerðar viðbótar yfirborðsmælingar til að afmarka svæðin betur. Dýpri rannsóknarhola var ráðgerð árið 1988.

Iðnaðarráðherra og sveitarfélögin samþykktu að taka að sér fjármögnun verkefnisins árið 1987 ásamt Orkustofnun. Fyrirtæki heimamanna, Seljalax hf, tók að sér skuldbindingar sveitarfélaganna. Alþingi og Seljalax hf tryggðu svo að seinni áfanginn var unninn samkvæmt áætlun á árinu 1988. Verkefnið var skipulagt og unnið í nánú samstarfi við heimamenn. Helsti fulltrúi þeirra hefur verið Björn Benediktsson stjórnarformaður Seljalax hf og oddviti Öxarfjarðarhrepps. Þetta samstarf hefur gengið sérstaklega vel og hefur aldrei fallið skuggi á.



1. MYND: Jarðhiti og sprungubelti í Öxarfirði

1.2 Framvindan árið 1987

Áætlun um rannsóknir ársins 1987 var lögð fram í ársbyrjun (Lúðvík S. Georgsson o.fl. 1987). Þar kemur fram að ætlunin var að kortleggja lindir og uppsprettur í héraðinu og kanna gæði vatnsins. Bora skuli eina vandaða sjótökuholu, a.m.k. 8" víða og allt að 100 m djúpa og reynt að meta möguleg afköst hennar. Einnig er ráðgert að bora 5 grunnar hitastigulsholur, m.a. á hverasvæðinu við Skógalón og hitasvæðinu við Bakkahlaup og í framhaldi af því eina dýpri holu við Bakkahlaup. Loks er fyrirhugað að gera nokkrar viðnámsmælingar til að afmarka hitasvæðin betur.

Til rannsókna ársins hafði verið ráðstafað 4,76 milljón kr. Þar af voru 3,76 milljón kr sér-fjárveiting iðnaðarráðherra en afgangurinn skiptist til helminga milli heimamanna og Orkustofnunar. Vinna hófst í maí 1987 og var haldið áfram með stuttum hléum fram í vetrarbyrjun. Samið var við Jarðboranir hf um borþáttinn og hófust boranir í lok júní. Alls voru boraðar 5 holur með jarðbornum Loka. Dýpi þeirra er á bilinu 50-150 m og er staðsetning sýnd á 1. mynd. Fyrst var boruð 70 m djúp rannsóknarhola, Æ-1, á hitasvæðinu við Skógalón í landi Ærlækjarsels. Þá var borað eftir jarðsjó og varð sá þáttur í borverkum ársins mun umfangsmeiri en reiknað hafði verið með. Fyrsta sjóholan, D-1, var boruð á sjávarkambinum um 2 km vestan Brunnárósa í landi Daðastaða. Hún varð 150 m djúp en gaf engan sjó, því að úr henni streymdi 9°C heitt ferskt vatn. Þá var haldið til vesturs út á sandinn og borað í sjávarkambinn norðan Skógalóns. Hola Æ-2 varð 101 m djúp og úr henni fékkst um 34°C heit sjóblanda, sem er þó ekki nýtanleg til fiskeldis vegna mikils járn- og manganinnihalds. Þriðja og síðasta sjóhola ársins var D-2 norðan við Buðlungahöfn í landi Daðastaða. Þar var boruð 51 m djúp hola, sem gaf nokkurt magn af 7-8°C heitum, fullsöltum jarðsjó. Því sem eftir var af rannsóknarfénu var varið til að bora 80 m djúpa rannsóknarholu, B-1, í hitasvæðið við Bakkahlaup. Boranir urðu heldur dýrari en áætlað var. Bæði reyndust aðstæður erfiðar og að mörgu leyti óvenjulegar og borinn var vanbúinn til að glíma við þær. Jafnframt borunum og borholurannsóknum voru gerðar 18 viðnámsmælingar til að afmarka betur hitasvæðin.

Lindasvæðin voru kortlögð í meginráttum sumarið 1987. Athyglinni var beint að lindum og grunnvatnsrennsli á láglandi austan frá Sigurðarstaðavík á Melrakkaslétu allt vestur að Tjörnesi. Suðurmörk athugunarsvæðisins miðuðust við upptakasvæði Landsár. Hins vegar eru víða blómleg lindasvæði utan svæðisins inn með Jökulsá á Fjöllum. Vatnssýni voru tekin til efnagreininga, hiti og rafleiðni vatnsins mæld og á þann hátt reynt að greina á milli grunnvatnsstrauma og lindasvæða. Rafleiðni, sem er mæld í μS , er gjarnan hærri eftir því sem vatnið inniheldur meira af uppleystum efnum og er oft gagnleg við sundurgreiningu þeirra.

Bráðabirgðaskýrsla um rannsóknir ársins kom út síðla árs 1987. Þar er sagt frá helstu niðurstöðum og lögð fram áætlun um seinni áfanga verkefnisins (Lúðvík S. Georgsson o.fl. 1987). Helstu niðurstöður verkefnisins voru einnig kynntar á fundi með heimamönnum í ársbyrjun 1988.

1.3 Framvindan árið 1988

Boranir og borholurannsóknir voru í forgrunni í fyrstu áætlun um verkefnið fyrir árið 1988. Þar mátti sjá að ætlunin var að bora víða jarðsjávarholu við Buðlungahöfn til langtímadælu-prófunar. Í hitasvæðið við Skógalón var fyrirhugað að bora um 500 m djúpa rannsóknarholu sem gæti einnig nýst sem vinnsluhola ef árangur yrði góður. Þá var ætlunin að bora tvær grunnar rannsóknarholur vegna ferskvatnsrannsókna. Loks var stefnt að því að dýpka holu B-1 við Bakkahlaup í um 300 m. Af öðrum rannsóknum er helst að nefna að fyrirhugað var að ljúka kortlagningu linda og jafnframt rennismæla nokkrar stærstu lindárnar til að fá betra mat á því magni ferskvatns sem vinna má á svæðinu (Lúðvík S. Georgsson o.fl. 1987).

Kostnaðaráætlun gerði ráð fyrir að heildarkostnaður við rannsóknir ársins yrði 11,64 milljón kr. Alls fengust 4,5 milljón kr með sérstakri fjárveitingu Alþingis. Hluttur heimamanna var 4,73 milljón kr, þar af fengust 3,0 milljón kr að láni úr Orkusjóði. Afgangurinn, 2,41 milljón kr, var tekinn af almennri fjárveitingu Alþingis til fiskeldisrannsókna á Orkustofnun.

Framkvæmdaáætlanir breyttust nokkuð þegar kom fram á vor. Í stað tveggja grannra ferskvatnshola var ákveðið að bora heldur eina víðari holu á Núpsmýri austan Brunnár til að kanna hvort ekki mætti ná um 9°C heitu vatni, svipuðu og fékkst í holu D-1 handan Brunnár. Jafnframt var ákveðið að fresta dýpkun B-1.

Þann 20. apríl var tilkynnt um opið útboð á borun þriggja rannsóknarhola, þ.e. heitavatnsholu Æ-3 við Skógalón, ferskvatnsholu N-1 á Núpsmýri og jarðsjávarholu D-3 við Buðlungahöfn (Sverrir Þórhallsson o.fl. 1988). Tvö tilboð bárust í verkið, annað var frá Ísbor hf, en hitt frá Jarðborunum hf. Bæði tilboðin reyndust verulega hærrí (40-50%) en áætlun og fjárveiting gerði ráð fyrir. Þeim var því báðum hafnað og ákveðið að hanna holurnar að nýju með það í huga að ná fram eins miklum sparnaði í efnis- og borkostnaði og unnt væri án þess að hnikað væri í verulegum mæli frá settum markmiðum. Endurhönnun grunnu holanna N-1 og D-3 leiddi af sér að fýsilegra var að nota minna bortæki við borun þeirra en áður var áætlað. Eftir að þau mál höfðu verið skoðuð var gengið til samninga við nýtt borfyrirtæki, Borverk hf, um borun þeirra og náðist sparnaður um allt að helming frá fyrri tilboðum. Eftir endurhönnun á Æ-3 voru tilboð Ísbors hf og Jarðborana hf í borun hennar metin jafnhá (munur innan við 0,2%). Eftir viðræður við borverktaka, þar sem lýst var breyttri hönnun holunnar, náðust hagstæðir samningar við Jarðboranir hf um borun Æ-3. Gengið var frá óformlegu samkomulagi um borun holunnar þann 1. júní, en formlegur samningur undirritaður þann 13. júní (Lúðvík S. Georgsson 1988).

Boranir hófust fljótlega eftir að jarðbor Borverks hf kom í héraðið þann 18. júní. Hann byrjaði á holu N-1 á Núpsmýri. Borverk hf notar tækni sem var talin henta vel í lausum og vatnsósa sandinum í Öxarfirði. Borun gekk þökkalega og varð holan um 71 m djúp. Árangur varð hins vegar óvæntur. Holan lenti í miklu vatni, um 35°C heitu. Í lok borunar runnu úr holunni um 7 l/s. Holan var síðar dýpkuð af heimamönnum í 106 m og jókst sjálfrennsli þá í 20-30 l/s af 36°C heitu vatni. Eftir nokkurt hlé tók borinn til við borun holu D-3 við Buðlungahöfn. Borun gekk vel og varð holan 95 m djúp. Sjór kom í hana á 23 m dýpi, eins og búist hafði verið við, en lektin reyndist hins vegar minni en vonast var eftir. Eftir hinn óvænta árangur af borun N-1 réðust heimamenn í frekari boranir á Núpsmýrinni, bæði eftir volgu og köldu vatni. Alls voru boraðar 7 holur til viðbótar, 2 eftir volgu vatni og 5 eftir köldu. Árangur varð mjög góður. Þarna má ná upp miklu magni af köldu og volgu vatni. Þessar boranir stóðu fram undir jól með nokkrum hléum þó.

Um miðjan júlí kom jarðborinn Glaumur frá Jarðborunum hf í héraðið og hóf borun Æ-3 við Skógalón, sem var ótvírætt stærsti verkþáttur sumarsins. Borun gekk vel í fyrstu, en þegar komið var á 136 m dýpi lenti borinn í heitri vatnsæð og við það hrundi holan og borstrengur festist. Af þessu hlutust verulegar tafir. Eftir tveggja vikna bras tókst að losa borstrenginn og í framhaldi af því var holan fóðruð. Aukakostnaður vegna festunnar varð um 2 milljón kr. Borun var svo haldið áfram niður á 322 m dýpi. Árangur varð mjög góður og fengust úr holunni um 45 l/s af um 95°C heitu vatni í sjálfrennsli. Þrátt fyrir að holan færi ekki í fulla dýpt varð aukakostnaður vegna festunnar svo mikill að fyrirsjáanlegur halli af verkefninu var umtalsverður. Þingmenn kjördæmisins tóku því að sér að útvega fé til að hægt yrði að ljúka nauðsynlegum rannsóknum á holunum, en til þess þurfti um 1,2 milljón kr.

Um sumarið var einnig lokið við kortlagningu lindasvæða. Þá voru helstu lindir og lindár rennislismældar eins og áætlað hafði verið.

Hér á eftir verður sagt frá einstökum þáttum verkefnisins. Byrjað er á að gefa yfirlit um kortlagningu á lindum og grunnvatnstreymi í Öxarfirði. Þá er sagt frá borunum eftir jarðsjó. Síðan verður fjallað um boranir eftir köldu og volgu vatni á Núpsmýri við Brunnárósa. Því næst er fjallað um jarðhitasvæðin og boranir á þeim. Í lokin eru svo kynntar helstu niðurstöður verkefnisins og mögulegar framhaldsrannsóknir.

2. LINDIR OG GRUNNVATN Í ÖXARFIRÐI

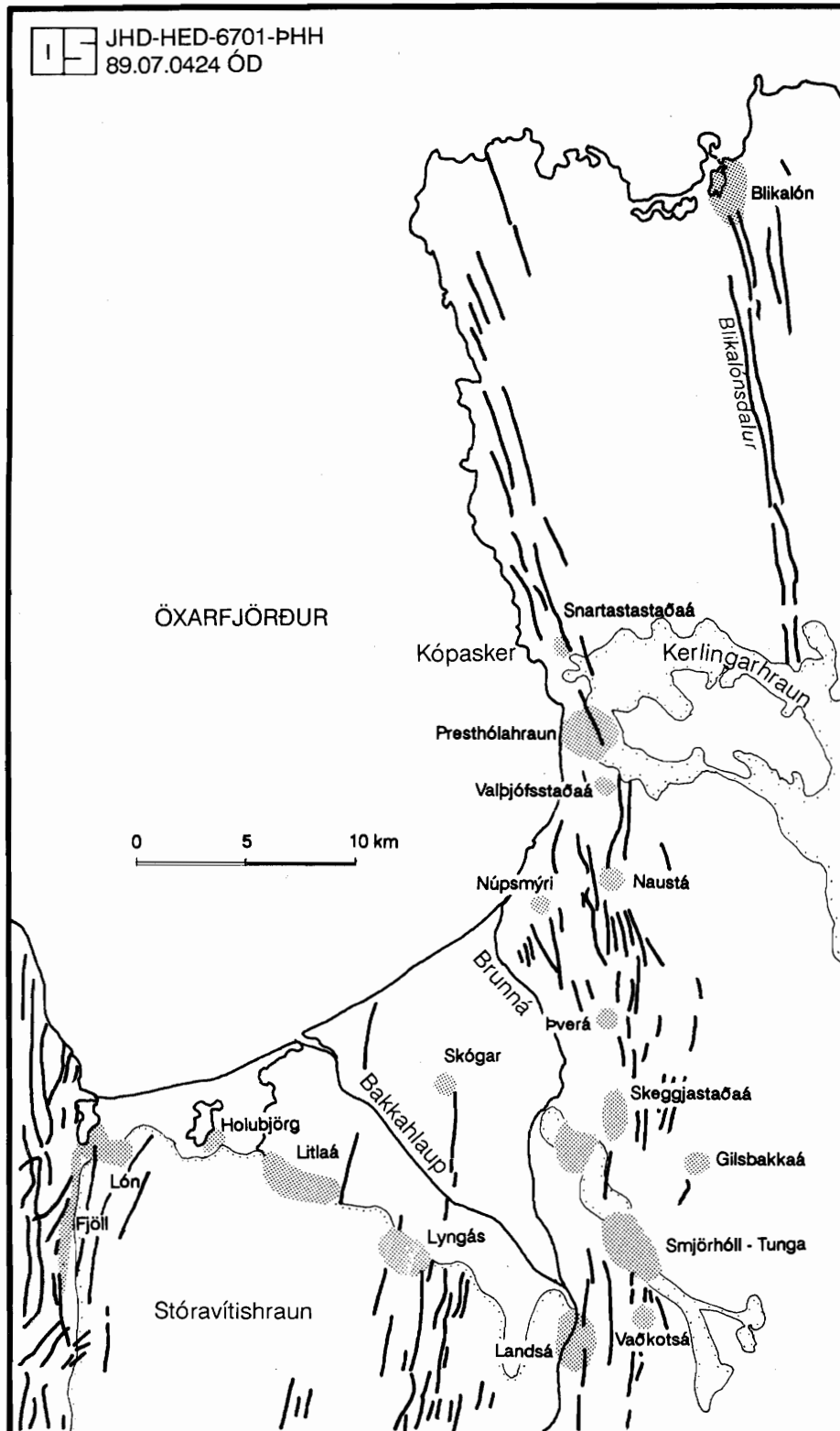
2.1 Jarðfræðilegar aðstæður

Afrennslisættir og grunnvatnsmyndun eru fyrst og fremst háð úrkomu og vatnsleiðnieiginleikum jarðlaganna sem hún fellur á. Á íslenskan mælikvarða er lítil úrkoma á norðausturhluta landsins. Meðalársúrkoma (1931 - 1960) er 451 mm á Mánárbakka, 530 mm á Raufarhöfn og aðeins 353 mm á Grímsstöðum (Veðurstofa Íslands 1970). Ekki skilar öll úrkoma sér til grunnvatnsins; hluti hennar gufar upp áður eða rennur burt á yfirborði. Svæðið meðfram Jökulsá á Fjöllum, allt ofan frá jökli og til sjávar er hið þurrasta á landinu; úrkoma er minni en möguleg árleg gnóttargufun ("potential evapotranspiration") (Markús Á. Einarsson 1972). Samkvæmt því mætti ætla að svæðið væri þurrt og skrælnað sem eyðimörk. Svo er þó ekki, því að raunveruleg uppgufun er töluvert minni en möguleg gnóttargufun. Meðalafrennsli er eigi að síður lítið í héraðinu, eða innan við 35 l/s af ferkílómetra, sem er um 65% af meðalafrennsli landsins (Sigurjón Rist 1956). Sú úrkoma, sem til jarðar fellur og ekki gufar upp eða rennur burt á yfirborði, sígur niður að grunnvatnsborði og leitar neðanjarðar til lægri staða. Þar sprettur grunnvatnið upp á tiltölulega afmörkuðum lindasvæðum og rennur svo til sjávar í stuttum lindám. Stór landsvæði eru þó alveg afrennslislaus á yfirborði.

Vatnafar í héraðinu dregur dóm af þeim jarðlögum sem mynda berggrunninn. Svæðið er að mestu innan virka gosbeltisins og eru jarðmyndanir ungar og alla jafnan vel vatnsleiðandi. Berggrunnur í Presthóla- og Öxarfjarðarhreppum er víðast ungt grágrýti, en í Leirhafnarfjöllum, Valþjófsstaðafjalli, Núpum, Sandfelli og Hafrafelli er móberg, sem alla jafna er þéttara. Nútímahraun teygja sig niður á láglandi sunnan við Kópasker og norðvestur af Hafrafelli. Hraun eru jafnan vel lek. Í Kelduhverfi mynda víðfeðm hraunlög berggrunninn, flest upp komin í grennd við Þeistareykjabungu. Tjörnesfjöll eru eldri, en fyrir fjarðarbotninum eru víðáttumikil setlög, sem eiga rætur að rekja til framburðar Jökulsár á Fjöllum, sem er afkastamikil í efnisflutningum, einkum í hamfarahlaupum sem í hana hafa komið (Haukur Tómasson 1973).

Uppkomustaðir lindanna verða einkum tengdir við nútímahraun eða sprungur, en oft eru þessir þættir töluvert samtvinnaðir. Áhrif sprungnanna eru ríkjandi einkenni, en að öðru leyti er vitað að grágrýtið, sem víða myndar berggrunninn, er oft ágætlega vatnsleiðandi. Sömu sögu er vísast að segja um einhvern hluta af hinu þykka framburðarseti fyrir fjarðarbotninum. Í höfuðatriðum má segja að sprungur beini grunnvatnsstraumum frá suðri til norðurs. Áhrifin eru áþekkt hvort sem þær eru betur eða verr vatnsleiðandi en bergið sem þær skera. Vel leiðandi sprungur beina vatni í stefnu sína. Það gera þéttar sprungur einnig, en hækka jafnframt vatnsborðið straummegin við sig og geta þvingað vatnið upp á yfirborðið í lindum. Einstakar sprungur eru hluti af víðtækari sprungubeltum, sem liggja út frá virkum megineldstöðvum. Fjögur sprungubelti ganga út héraðið, eins og fram kemur á 2. mynd.

- Austast er Blikalónsdalur, sigdæld sem ristir Melrakkaslétta að endilöngu. Hann skilar án efa töluverðu vatni til sjávar þó að næsta lítið sé annars um það vitað. Aðrennslissvæðið er stórt og af því nánast ekkert yfirborðsafrennsli. Ekki verður vart áhrifa jarðhita í vatninu, sem sprettur upp við Blikalón.
- Annað sprungubelti liggur út sveitina austan Jökulsár. Það breytir eilítið um stefnu við Núpa og stefnir rétt vestan við norður hjá Kópaskeri. Það liggur síðan út með ströndinni og hverfur á haf út frá norðvesturhorni Melrakkaslétta. Lindir spretta allvíða upp við sprungur á þessu beltum en norðan við Kópasker hafa þó engar fundist. Nútímahraun gleypa á stundum grunnvatnið sem berst með sprungunum og sjá um að skila því endanlega fram í lindum fjarri sprungubeltinu. Hiti vatnsins er yfirleitt lágur og jarðhitaáhrif heyrta til undantekninga.



2. MYND: Lindasvæði og sprungur í Öxarfirði og á Melrakkaslétu

- Sprungubeltið, sem oft er kennd við Kröflu, kemur ofan í Kelduhverfi milli Kelduness og Ásbyrgis og stefnir eilítið austan við norður. Við Bakkahlaup og Skóga kemur jarðhiti upp á brotum, sem eru hluti af þessu belt. Mikilla áhrifa frá jarðhita gætir í vatni sem kemur upp undan hraunbrúninni í Brunnnum, og þar hækkaði hiti mjög samfara umbrotunum á áttunda áratugnum. Kalt grunnvatnið leitar annars upp við hraunbrúnina, en verulegt vatnsmagn leitar einnig út í Sandinn.
- Í Lóni vestast í Kelduhverfi kemur sprungubelti, sem venjulega er kennt við Þeistareyki, niður í sveitina. Sömuleiðis eru misgengissprungur með norðlæga stefnu áberandi í landslaginu á austanverðu Tjörnesi, en norðaustlægrar stefnu gætir þó einnig nokkuð. Mjög mikið vatn kemur undan hrauninu, einkum í sprungum og gjám úti í Lóninu. Við það austanvert gætir jarðhitaáhrifa í grunnvatninu. Þá kemur nokkurt vatn fram við brot í neðanverðri fjallshlíðinni allt innundir Reykjaheiði.

Hér á eftir verður gefið yfirlit um helstu lindasvæðin (2. mynd). Lítt er skeytt um að greina frá þeim jarðfræðilegu aðstæðum er valda framrás vatnsins. Ekki er heldur gerð grein fyrir einstökum lindum né rennslismælingum á einstökum vatnsföllum. Gleggri upplýsingar um þessi atriði er að finna í skýrslu Þórólfs H. Hafstað (1989b).

2.2 Presthólahreppur

Hér sprettur grunnvatn einkum fram á tveim vel aðskildum svæðum sem tengjast tveim austustu sprungubeltunum, annars vegar við Blikalón og hins vegar við brotalamir og undan hraunbrúnum innan við Kópasker. Helstu einkennistökur lindasvæðanna koma fram í töflu 1.

TAFLA 1: Lindir og lindasvæði í Presthólahreppi

Nöfn lindasvæða	Rennsli m^3/s	Hiti $^{\circ}C$	Rafleiðni μS	Aðstæður
Blikalón	<5	3,8	>1000	Stórar fjörulindir tengdar brotum
Snartastaðaá	0,5	4,0	>330	Lind við misgengisbrot
Presthólahraun	~3	3,8-4,3	~90	Stórar hraunalindir tengdar brotum
Valþjófsstaðaá	0,5	4,1	108	Lind við brot
Naustaá	0,4	3,6	100	Lindasvæði tengt brotum

Landssvæðið frá Kópaskeri allt norður og austur fyrir Blikalón er að mestu leyti afrennslislaust á yfirborði. Flatarmál svæðisins er um $370 km^2$. Á þessu landshorni er úrkoma ekki mikil, en eigi að síður ætti heildarafrennsli að geta verið nálægt $6 m^3/s$. Hvergi hefur fundist neitt umtalsvert fjörurennsli nema út í Blikalón og verður að telja líklegt að verulegur hluti afrennslis af svæðinu sé við og úti í Lóninu.

Innan Kópaskers renna fjórar lindár til sjávar; Snartastaðaá, Klapparós, Valþjófsstaðaá og Naustaá. Einnig streymir töluvert grunnvatn til sjávar út í gegn um Presthólalón. Snartastaðaá vellur upp við misgengisbrot og urðu hreyfingar um það í umbrotunum á áttunda áratugnum. Vatnið er efnaríkt og benda efnagreiningar á því til smávægilegrar sjóblöndunar (Þóroddur F. Þóroddsson og Þórólfur H. Hafstað 1980; Þórólfur H. Hafstað 1986).

Svæðið frá Snartastöðum suður undir Valþjófsstaðafjall er að miklu leyti hulið tungum úr hinu mikla Kerlingarhrauni. Umhverfis hraunið eru lindir við sprungur, vatn safnast í læki og ár sem oft hverfa svo í hraunið. Þúfugerðisá á upptök sín í Vesturdal milli Valþjófsstaðafjalls og Daltunguháls. Kemur þar töluvert vatn af tiltölulega þröngu svæði. Áin rennur út í Prest-

hólakraun og hverfur við brotalöm. Ofan við brotin hefur hún mælst 1,2 m³/s. Undan hraunbrúnum sprettur lindavatn víða og er einhver hluti af því Þúfugerðisáin endurborin. Stærstu lindasvæðin eru upp undir Katastaðafjalli (> 1,5 m³/s), sunnan við Klapparós (0,5 m³/s) og úti í Presthólalóni.

Upptök Valbjófsstaðaár eru við brot norðan í Valbjófsstaðafjalli. Naustaá kemur upp við svipaðar aðstæður en upptökin eru heldur dreifðari.

2.3 Öxarfjarðarhreppur

Lindir í Öxarfjarðarhreppi eru fyrst og fremst tengdar sprungum þeim sem rista sveitina að endilöngu. Grunnvatnið virðist víðast vera þvingað upp við tiltölulega þétt misgengi. Grunnvatnsborð er því alla jafna hærra austan brotanna en vestan, en ekki er þetta þó algilt. Sprungur eiga líka þátt í þeim lindum, sem koma undan hrauninu, sem breiðir úr sér á láglandinu utan við Hafrafell.

Helstu lindasvæðin eru rakin í töflu 2. Þar eru sums staðar dregnar saman í dilka alldreifðar lindir sem vegna uppruna og eðlis eiga saman. Að Landsá undanskilinni eiga lindasvæðin það sameiginlegt að vera á vatnasviði Brunnár (Þórólfur H. Hafstað 1989a).

TAFLA 2: Lindir og lindasvæði í Öxarfjarðarhreppi

Nöfn lindasvæða	Rennsli m ³ /s	Hiti °C	Rafleiðni μS	Aðstæður
Núpsmýri	0,2	3,9	130	Smálindir, borholur
Þverá	0,6	3,6	70	Lindir tengdar brotum
Skeggjastaðaá	0,8	3,8-4,2	100	Lindasvæði við brot
Gilsbakkaá	>0,2	3,2	60	Dreifðar lindir tengdar brotum
Brunná	0,9	4,6	108-135	Alldreifðar hraunalindir
Smjörhóll-Tunga	2	4,2	90	Stór lindasvæði í hrauni
Vaðkotsá	0,6	4,0	-	Lindasvæði við misgengisbrot
Landsá	~0,6	5,6-6,6	130	Alldreifðar lindir tengdar brotum
Skógar	-	(3-5)	(140)	Bleytur, óbeint tengdar brotum

Stórilækur dregst saman úr smálindum á Núpsmýri. Boranir beggja vegna við ós Brunnár hafa leitt í ljós að undir þéttu seti er umtalsvert grunnvatn undir þrýstingi og gætir jarðhitaáhrifa í því, mismikið þó eins og fram kemur í kafla 4.

Þverá rennur í megindráttum þvert á sprungustefnu og verður hún að mestu til úr allstórum en dreifðum lindum. Upptök Skeggjastaðaár eru í brotalindum á tæplega kílómetra löngum kafla vestan undir Sandfelli. Lindir innan Leifsstaða eru sömu ættar og flokkaðar með. Gilsbakkaá er að verulegu leyti dragá, en á vatnasviði hennar eru samt sem áður dreifðar lindir, sem hafa sína sérstöðu. Þær eru flestar smáar.

Töluvert vatnsmiklar lindir koma undan hraunkanti vestan við Brunná allt neðan frá Klifshaga og inn á móts við Leifsstaði. Langmest kemur upp við Myllunes, 0,5 m³/s. Þetta eru ekki að öllu leyti dæmigerðar hraunalindir, því að undir hrauninu eru huldur sprungur sem veita grunnvatni upp í það. Á þessum slóðum er jarðhitavottur við og í ánni. Grunnvatnshiti og rafleiðni eru rétt merkjanlega hærri en almennt í grenndinni vegna annarra rennislíeða vatnsins, þ.e. um hraunið, en ekki vegna jarðhitaáhrifa. Innan við Smjörhól og Hafrafellstungu eru miklar lindir við hraunjaðarinn beggja vegna í dalkjaftinum. Frá þeim rennur Tunguá

annars vegar en Stórilækur hins vegar, um 0,6 m³/s hvor. Enn fremur eru verulega myndarlegar lindir í hrauninu inn með Smjörhólsánni. Talið er að mestallt grunnvatn, sem hér sprettur upp, eigi rætur að rekja til misgengja sem hraunið hefur hulið að mestu.

Vaðkotsá kemur upp við brotstall innan við Bjarnastaði. Á leið sinni niður á sand rennur hún yfir allmörg misgengi en við þau verður hvergi vart linda. Landsá safnast saman úr lindum sem dreifðar eru um töluvert stærra svæði en almennt gerist í Öxarfirði. Upptakavíslarnar eru þrjár og alls staðar nema í þeirri austustu mælist hiti um og yfir 6°C. Eins og víðar eiga lindirnar rót sína að rekja til sprungna. Á spildunni vestan Landsár beina gjár grunnvatnsstreymi til Jökulsár.

Á Austursandi er ekki hægt að tala um eiginleg lindasvæði þó svo að varla fari milli mála að verulega mikið grunnvatn leitar sér framrásar í tengslum við Kröflusprungubeltið, bæði í föstu bergi og hinum lekari lögum í sandinum ofan á því. Undan brotstöllunum innan við Skóga, þar sem land gekk til í Kröfluambrotunum, vætlar sums staðar töluvert vatn, en um eiginleg lindahæð er ekki hægt að tala. Svipaða sögu er að segja um Sandinn almennt beggja vegna Bakkahlaups.

2.4 Kelduhverfi

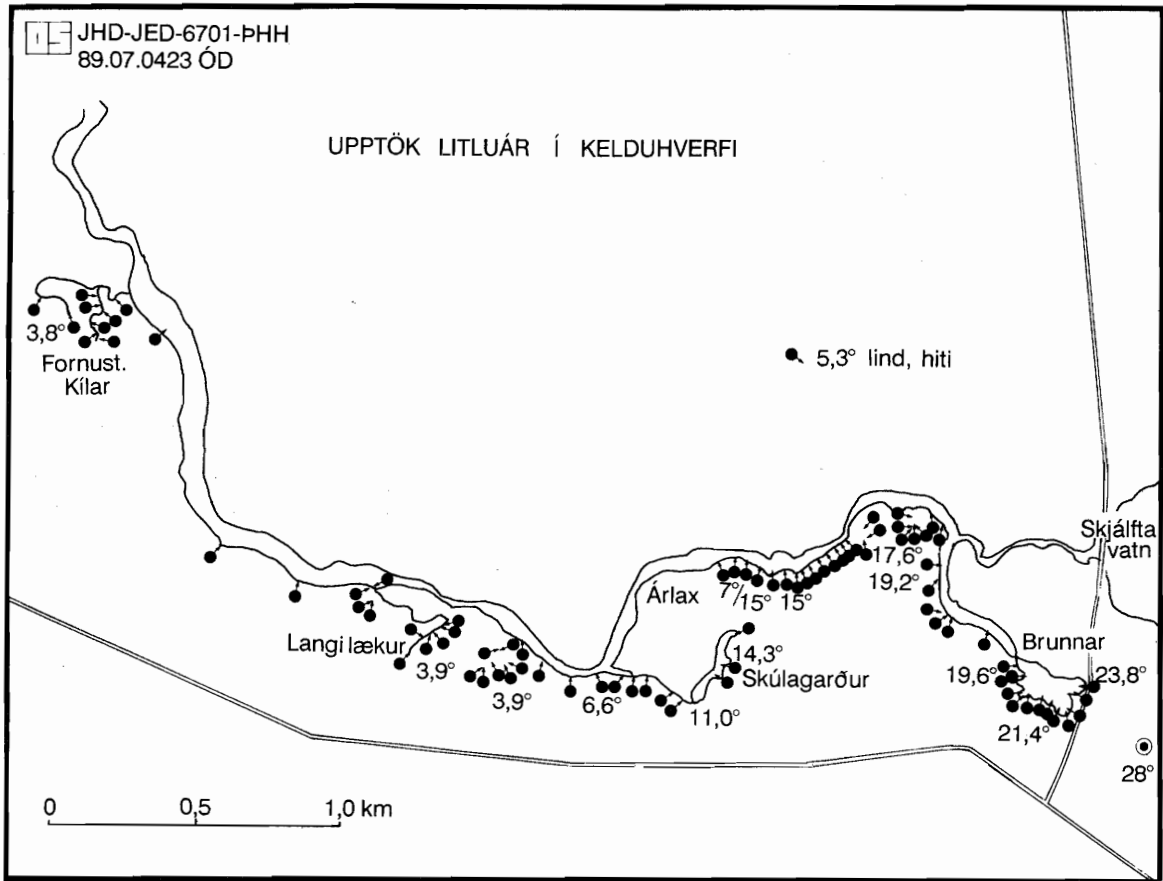
Framstreymi grunnvatns í Kelduhverfi er með eilítið öðrum hætti en austan við Jökulsá. Í megindráttum streymir vatnið fram í geysivíðáttumikilli hraunbreiðu, en þó einkum og sér í lagi í sprungum og gjám sprungubeltanna sem kennd eru við Kröflu og Þeistareyki. Grunnvatnið leitar að nokkru upp á yfirborðið þar sem sandinum mætir, því hann leiðir vatn ekki eins vel og hraunið. Mest ber á streyminu þar sem sprungur hafa brotið upp hraunið og sums staðar sígur það fram í gjám, misjafnlega vel opnum. Umtalsverðra jarðhitaáhrifa gætir í upptökum Litluár og við Lón austanvert. Kröflusprungubeltið setur töluverðan svip á vatnafarið, þar sem það gengur út í sandinn milli Ásbyrgis og Kelduness. Mikið vatn streymir fram í gjám, t.a.m. við Lyngás og við vesturjaðar beltisins verður Litlaá til. Samfara Kröfluambrotunum, sem hófust 1975, seig hér landspilda og til varð um 2,5 km² stórt stöðuvatn, Skjálftavatn, auk þess sem miklar breytingar urðu á lindarennslu og hita grunnvatns. Í vestanverðu Kelduhverfi hefur Þeistareykjasprungubeltið svipuð áhrif, þar sem það liggur út í Lónið og veitir fram í það geysimiklum grunnvatnsstraumi. Áhrifa jarðhita gætir í austurhluta hans en vesturhlutinn nærast að nokkru á köldu vatni undan rótum Tjörnessfjalla.

Í Kelduhverfi er greint á milli fimm lindasvæða, en mörk þeirra eru þó víða óljós. Helstu einkenni þeirra eru sett fram í töflu 3.

TAFLA 3: Lindir og lindasvæði í Kelduhverfi

Nöfn lindasvæða	Rennsli m ³ /s	Hiti °C	Rafleiðni μS	Aðstæður
Lyngás-Skjálftavatn	>0,6	4-5	110	Grunnvatn úr hrauni og gjám
Litlaá	10	3,8-30	130-480	Lindasvæði við hraunjaðar og brot
Holubjörg	>0,3	6,3	181	Allmikil lind tengd broti
Sultir-Lón	19	5-12	90-145	Grunnvatn í gjám og hrauni
Fjöll-Nesgjá	?	3,1-3,6	80	Dreifðar sprungulindir og gjá

Milli Lyngáss og útfallsins úr Skjálftavatni ber mest á vatnsstreymi út á sandinn í gjá við Lyngás og í Hólskróki, en einnig eru smærri lindir við sunnanvert vatnið og úti í því. Erfitt er að áætla heildarvatnsmagn því að sandurinn tekur við vatninu að nokkru leyti. Rennsli úr Skjálftavatni til Litluár er töluvert misjafnt, en mældist um $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ sumarið 1988.



3. MYND: Upptök Litluár í Kelduhverfi

Upptök Litluár eru sýnd á 3. mynd. Áin verður til úr ótölulegum fjölda linda á um þriggja kílómetra kafla. Allar eru lindirnar á mótum hrauns og sandsins sem Jökulsá hefur hlaðið undir sig í aldanna rás. Milli Kelduness og Garðs er hraunálma frá Kerlingarhól ofan á Stóra-vítishrauni, sem myndar berggrunn víðast hvar í Kelduhverfi og eru lindirnar í báðum hraun-unum. Svæðið er við vesturjaðar sigspildunnar og sprungur og gjár eiga verulegan þátt í að veita vatninu framrás. Í lindunum gætir áhrifa jarðhita. Heitt vatn blandast við kalt grunnvatnið og úr verður volg blanda, misheit eftir árferði. Þá eykst hlutur jarðhitans eða minnkar stundum í jarðskjálftahrinum eins og dæmin sanna. Eins og fram kemur á 3. mynd er vatnið heitast í Brunnum og hitinn lækkar síðan eftir því sem vestar dregur. Úr Brunnum renna um $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ og sameinast affalli Skjálftavats. Litlaá vex síðan furðu fljótt og er orðin $9 \text{ m}^3/\text{s}$ neðan við Langalæk og þar gætir áhrifa jarðhita ekki lengur í hita lindavatsins. Eftir það bætist ánni $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ úr Fornustekkjarkílum. Eldisstöð Árlax hf nýtir lindavatn sem upp sprettur í ár-bakkanum og vekur athygli að þar fæst úr brunnum hlið við hlið 7°C og 13°C heitt vatn. Sýni voru tekin til efnagreininga úr Fornustekkjarkílum og einni af lindunum í Brunnum, sbr. töflu 5. Til eru einnig nokkrar greiningar síðan á tímum Kröfluumbrotanna, en þá hitnuðu lindirn-

ar í Brunnum verulega. Síðan hefur vatnið verið að kólna þar þó hægt fari (Þóroddur F. Þór-oddsson, óbirt handrit).

Undan Holubjörgum sprettur lind undan kletti og rennur frá henni til Víkingavatns. Hvað hita og rafleiðni varðar sker vatnið sig dálítið frá öðru vatni í grenndinni sem og niðurstaða efnagreiningar sem sýnd er í töflu 5. Hugsanlega gætir hér vægra jarðhitaáhrifa.

Í Lóni er rekið töluvert fiskeldi enda er geysimikið grunnvatnsstreymi út í Lónið, einkum suðaustanvert milli Lónabotna og Nesgjár, en mestur hluti þess kemur þó upp úti í vatninu. Í Lónabotnum og gjám við Sultir gætir jarðhita í vatninu. Þá er jarðhitasvæði í sandinum við norðaustanvert Lónið. Grunnvatnshiti, mældur í lindum í fjörunni og í rannsóknarholum inn- an og austan Lónabotna, lækkar til vesturs. Hæstur hefur hann mælst um 11°C í brunnum seiðastöðvar ÍSNO, en hugsanlegt er að heitara vatn velli upp neðan vatnsborðs úti fyrir stöð- inni. Boraðar hafa verið tvær holur eftir jarðhita við norðaustanvert Lónið, en ekki er fjallað um þær hér (Guðmundur Ingi Haraldsson 1985; Guðmundur Ingi Haraldsson og Gunnar V. Johnsen 1986).

TAFLA 4: Efnasamsetning vatns í Presthóla- og Öxarfjarðarhreppum (mg/l)

Staður	Klappar- óslind	Naustaár- upptök	Sandfells- hagalind	Ærlækjar- upptök	Grjót- lækur	Sigtún; lind
Dagsetning Númer	87-07-27 9100	87-06-12 9052	87-06-12 9051	87-06-12 9053	87-06-12 9054	88-09-24 0148
Hiti (°C)	3,8	3,6	4,0	4,6	3,6	6,5
Súrefni (O ₂)	7					
Leiðni, (μS/°C)	86,7/21,8	97,1/23,6	98,8/23,7	131,3/23,8	112,0/23,7	-
Sýrustig (pH/°C)	8,31/19,7	8,95/23,9	9,00/24,2	8,26/23,8	8,34/24,3	8,6/15
Kísill (SiO ₂)	18,05	18,20	18,3	20,1	19,2	21,0
Natríum (Na)	9,89	10,31	11,70	16,14	13,32	25,1
Kalíum (K)	0,67	0,77	0,76	1,54	1,35	1,8
Kalsíum (Ca)	5,93	6,64	6,32	7,27	5,94	2,1
Magnesíum (Mg)	1,39	1,46	1,18	1,99	2,40	2,8
Járn (Fe)	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Mangan (Mn)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Karborat (CO ₂)	22,7	26,2	28,4	38,5	32,4	32,4
Nítrat (NO ₃)	0,24	0,20	0,17	0,29	0,47	-
Súlfat (SO ₄)	2,06	2,18	2,41	3,33	2,81	5,2
Brennistv. (SH ₂)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Klóríð (Cl)	8,57	8,31	8,29	11,12	6,92	6,4
Flúoríð (F)	0,062	0,057	0,065	0,093	0,082	0,18
Uppleyst efni	54,2	70,1	71,9	88,5	60,1	92

Klapparóslind er í austurkanti þjóðveggar sunnan við Klapparós, rennsli þaðan er um 500 l/s. Naustaárupptök. Sýnið er tekið í einni af efstu lindum árinna, rennsli þaðan er um 300 l/s. Sandfellshegalind. Sýnið er tekið úr vatnsbóli bæjarins, rennsli Skeggjastaðaár er um 800 l/s. Ærlækjarupptök. Sýni tekið á hlaðinu á Ærlæk. Rennsli lækjarins þar er um 30 l/s. Grjótækur. Sýnið er tekið úr um 15 l/s lind í læknum neðan við þjóðveginn innan við Sigtún. Sigtún. Sýni úr a.m.k. 30 l/s lind sem nýtt er til seiðaeldis. Talið betur lýsandi en Grjótækjarsýnið.

Í Nesgjá er hiti grunnvatnsins töluvert lægri en í lindum austar með strönd Lóns. Einnig mælist lágur hiti í smálinnum í hlíðarfæti Tjörnessfjalla. Frá þeim renna lækir út í hraunið og hverfa í það og er næsta víst að vatnið kemur fram á nýjan leik í Nesgjá, ásamt reyndar hlýrra vatni og væntanlega lengra að komnu.

2.5 Efnagreiningar

Hér að framan hefur verið greint á milli nítján lindasvæða í héraðinu umhverfis Öxarfjörð. Samhliða lindaskoðuninni voru tekin tíu vatnssýni til efnagreininga og eru niðurstöðurnar sýndar í töflum 4 og 5. Auk þess eru til allnokkrar greiningar frá umliðnum árum, bæði vegna neysluvatnsrannsókna fyrir Kópasker og vegna rannsókna á þeim breytingum sem urðu á grunnvatni samfara umbrotunum á síðasta áratugi. Þá hafa margar greiningar verið gerðar á vegum fiskeldisstöðvanna. Margar þessara greininga eru birtar í skýrslu Þórólfs H. Hafstað (1989b).

Eins og sést af greiningunum er vatnið alls staðar innan við 10°C nema sýnið sem tekið var í Brunnum. Ekkert sýnist benda til annars en að í öllum tilvikum sé um hið sæmilegasta fiskeldisvatn að ræða, a.m.k. greinist lítið járn og mangan, sem oftlega hefur verið til bölvunar.

TAFLA 5: Efnasamsetning vatns í Kelduhverfi (mg/l)

Staður	Lyngás- gjá	Brunnar - Höfðabr.	Fornust. kílar	Holu- björg	Fjöll
Dags. Númer	87-07-27 9102	87-07-26 9097	87-07-26 9099	87-07-26 9101	87-07-27 9098
Hiti (°C)	4,8	21,4	4,7	6,2	3,0
Súrefni (O ₂)	11	5,5	9	-	7
Leiðni (μS/°C)	105,0/21,8	479/21,8	128,9/21,8	225/21,8	82,0/21,8
Sýrustig (pH/°C)	7,83/20	8,37/19,7	8,80/20,6	9,06/18,4	8,95/18,9
Kísill (SiO ₂)	20,49	39,1	20,42	22,92	11,4
Natríum (Na)	12,14	75,78	15,92	31,98	11,25
Kalíum (K)	1,18	7,84	1,18	1,61	0,14
Kalsíum (Ca)	4,82	12,51	6,62	8,43	5,82
Magnesíum (Mg)	3,20	3,88	2,99	3,63	0,45
Járn (Fe)	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,025
Mangan (Mn)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05
Karborat (CO ₂ (tot))	42,5	45,9	31,5	33,2	20,6
Nítrat (NO ₃)	0,22	-	0,24	0,40	0,09
Súlfat (SO ₄)	2,88	15,66	4,11	7,31	2,83
Brennist.vetni (SH ₂)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Klóríð (Cl)	8,12	99,53	13,06	36,04	8,19
Flúoríð (F)	0,114	0,170	0,121	0,200	0,043
Uppleyst efni	63,8	289,7	72,3	128,5	46,5

Lyngásgjá. Sýnið er tekið í gjánni undir vatnshæðarmælinum.

Brunnar - Höfðabrekka. Sýnið er tekið úr um 20 l/s lind í vatnsbakkanum niður af kofaræfli.

Fornustekkjarkílar. Tekið í efstu lind svæðisins en heildarrensli er yfir 800 l/s.

Holubjörg. Sýnið er tekið í aðalupptökum norðan undir Holubjörgum.

Fjöll. Sýnið er tekið úr um 10 l/s vatnsbólslind bæjarins að Fjöllum.

3. JARÐSJÓR

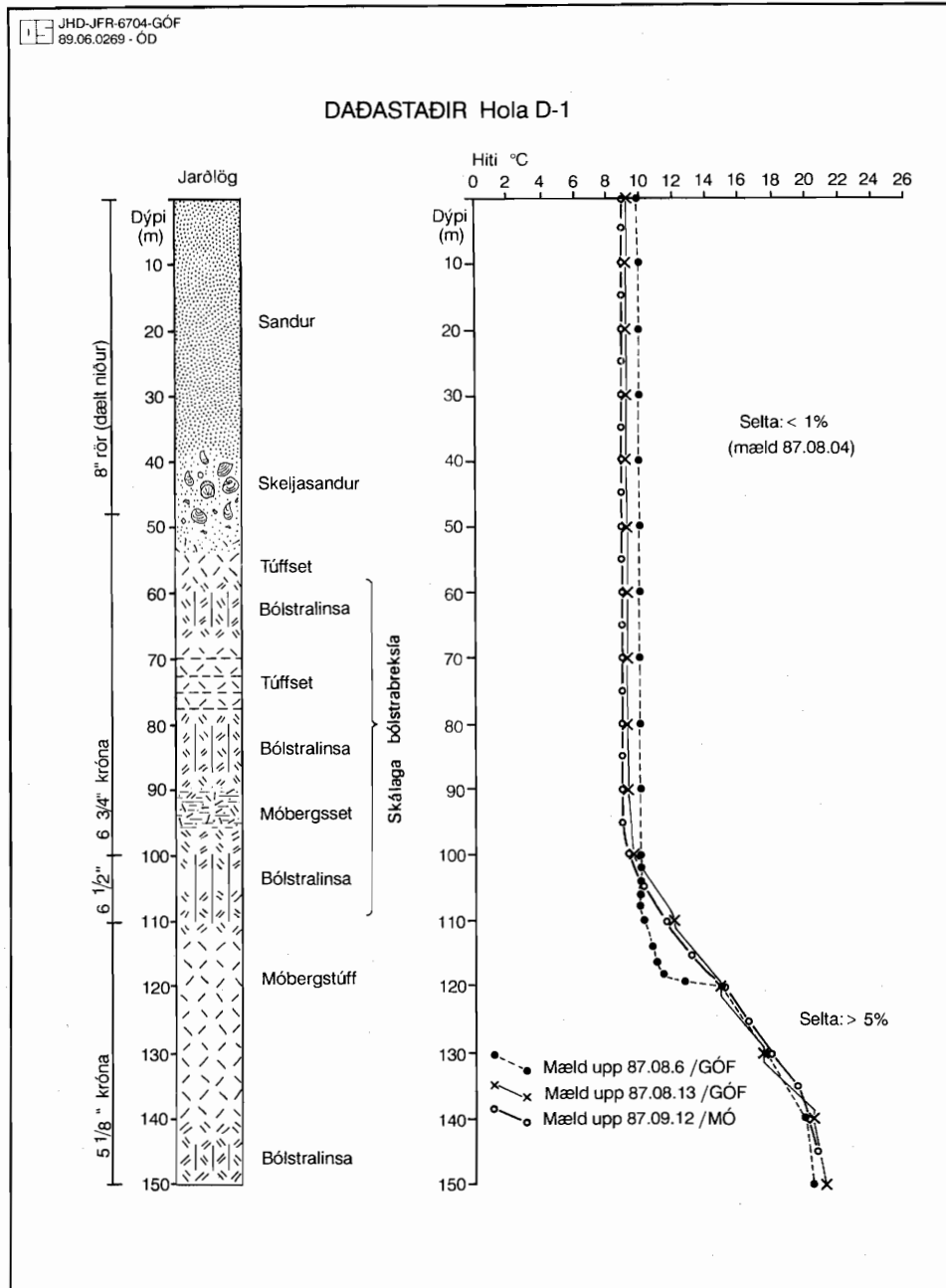
Boranir eftir jarðsjó sumarið 1987 urðu viðameiri og kostnaðarsamari en áætlað var í upphafi. Árangursrík leit að jarðsjó var þó talin lykiltríði og því voru boraðar alls 3 holur 1987 í stað einnar eins og upphaflega áætlunin hljóðaði upp á. Fjórdá holan var boruð sumarið 1988. Árangur varð minni en vonir stóðu til. Með þessu var talið fullreynt að ekki fengist nægjanlegt magn af nýtanlegum jarðsjó úr borholum við ströndina, hvorki úti á austanverðum sandinum né við Buðlungahöfn í landi Daðastaða.

3.1 HOLA D-1 VIÐ BRUNNÁRÓSA

Fyrsta sjóholan er á sandeyri um 40 m frá sjó og um 2 km vestan Brunnárósa. Þarna var talið vænlegt að leita jarðsjávar og góðar aðstæður til nýtingar hans í nágrenninu. Heimamenn dældu áður röri niður á um 48 m dýpi, en holan var dýpkuð með jarðbornum Loka og hófst borun 18. júlí 1987. Í fyrstu atrennu varð holan 100 m djúp. Hún fór í sjálfrennsli og gaf um 1 l/s af fersku vatni, 9-10°C heitu, úr æð á um 60 m dýpi. Leitin að jarðsjó hafði mistekist og því var ákveðið að halda borun áfram í 150 m í þeirri von að hann mætti finna neðar. Þetta gekk vandræðalítið og lauk borverkinu þann 4. ágúst en þá var holan orðin 150 m djúp. Engar umtalsverðar vatnsæðar komu inn, en sjálfrennsli úr efri æðum jókst í 2,5 l/s. Lítið bólaði á jarðsjó.

Jarðlagasnið og hitamælingar úr holunni eru sýnd á 4. mynd. Í efsta hluta holunnar var farið í gegnum lausan sand og setlög, m.a. kom mikið af skeljum upp af 40-48 m dýpi. Þar fyrir neðan er komið í móberg, sem samanstendur annars vegar af samlímdu fínmuldu glertúffi, sem er mjög þétt, og hins vegar af hríplekum bólstrabergslögum. Eins og sjá má á 4. mynd þá eru nokkurra metra þykkar bólstrabergslinsur í móberginu á um 60 m, 85 m og 100 m dýpi og loks í botni holunnar. Bergmyndunin í heild kallast skálaga bólstrabreksía og verður til þegar gosaska og bólstrahraun skriða undan halla í jökulvatnsgeil meðan á eldgosum undir jökli stendur. Slík gosmyndun sést í Öxarnúpi norðanverðum ofan Núpsmýrar og myndanir af þessu tagi eru algengar utan í móbergsfjöllum. Hér má koma fram að í fínmuldu borsvarfinu er engin leið að greina með vissu hvort um hallandi gosmyndun af þessu tagi sé að ræða því blöðrott hraunlög og samlímdur sandur úr glersalla líta eins út í borsvarfi. Á sama hátt er engin leið að greina í borsvarfinu hve mikið slíkri myndun hallar og því ógjörningur að meta stærð misgengja nema fleiri vísbendingar komi til. Með samanburði við borholurnar á Núpsmýri (boraðar 1988) og jarðlög á yfirborði í Öxarnúpi fengust slíkar upplýsingar og breyttu þær fyrri hugmyndum um jarðlagaskipan verulega. Í fyrri skýrslum var talið að tengja mætti saman jarðlög neðan 100 m í D-1 við svipuð jarðlög á yfirborði í svokölluðum Sveltingi, austan Brunnár (Lúðvík S. Georgsson o.fl. 1987). Frekar verður fjallað um nýja jarðlagalíkanið í kafla 4.

Vatnsæðar í holu D-1 eru bundnar við bólstrabergslinsurnar, sem eru mjög lekar, en móbergstúff eða túffset milli þeirra er þétt. Vatnið sem rennur upp úr holunni kemur úr æðum ofan 100 m dýpis og er rúmlega 9°C heitt. Að uppruna virðist vatnið í holu D-1 vera blanda í hlutföllunum 1:10 til 1:15 af vatni úr volga vatnskerfinu og kalda vatnskerfinu, sem fundust undir Núpsmýrinni, ef marka má seltu eða hita. Neðan 100 m dýpis niður á 140 m dýpi sýna hitamælingar úr holu D-1 háan hitastigul í þéttnu móbergstúffinu. Lítilsháttar breyting sést í stiglinum á 140 m dýpi. Þar er smá vatnsæð í bólstrabergi, rúmlega 20°C heitt, þ.e. mun heitari en efri æðar. Sú er ótengd vatnskerfinu ofan við, en gæti verið í beinum tengslum við volga vatnskerfið undir Núpsmýrinni. Vísbending um það er að selta mældist yfir 5% í vatni, sem dælt var upp í gegnum borstreng úr þessari æð, en selta volga vatnskerfisins undir Núpsmýrinni er sömuleiðis yfir 5%. Selta vatnsins, sem upp kemur, er hins vegar rétt um 0,3%.



4. MYND: Jarðlög og hitamælingar í holu D-1 við Brunnárósa

Í september var í tvígang dælt úr holunni rúmlega 11 l/s í um 4-5 klst. Hiti vatnsins hélt óbreyttur 9,1°C. Niðurdráttur var lítill og náði ekki meðalsjavarborði, en holutoppur er um 3 m yfir sjó. Þegar dælingu var hætt fór strax að renna upp úr holunni á ný og jókst sjálfrennsli nokkuð við þetta. Sýni voru tekin þrisvar úr holunni, síðast í dælingunni 12. sept. til könnunar á seltu vatnsins og járn- og manganstyrk þess (tafla 6). Dælingin virtist ekki hafa teljandi áhrif á efnasamsetningu vatnsins.

Það vakti nokkra furðu á sínum tíma að "sjóhola" þessi gaf eingöngu ferskvatn og því var ákveðið að dæla miklu magni úr henni til að kanna til þrautar hvort hún gæti gefið saltara vatn við aukinn niðurdrátt. Þann 1. nóvember var dælt úr holunni um 25 l/s í nokkurn tíma með

TAFLA 6: Efnasamsetning vatns úr holu D-1 (mg/l)

Dags. Númer	87-07-27 9103	87-08-18 9122	87-09-12 9160
Hiti (°C)	9,1	9	9
Súrefni (O ₂)	2,5		2
Sýrustig (pH/°C)	9,6/18		9,5/15
Kísill (SiO ₂)	21,2		22,1
Natríum (Na)	162		166
Kalí (K)	5,0		6,3
Kalsíum (Ca)	1,0		1,4
Magnesíum (Mg)	0,42		0,67
Járn (Fe)	0,03	0,06	<0,025
Mangan (Mn)	<0,05	<0,05	<0,05
Karbónat (CO ₂ (tot))	64,1		53,9
Súlfat (SO ₄)	30,2	34,4	33,9
Brennist.vetni (H ₂ S)	<0,03		<0,05
Klóríð (Cl)	159	192	181
Flúoríð (F)	0,46		0,54
Uppleyst efni	403		488
Rennsli (l/s)	0,5	2,5	
Dæling (l/s)			11
Reiknuð selta (‰)	0,3	0,3	0,3

brunadælu frá Kópaskeri. Við dælingu lækkaði vatnsborð strax í tæplega 4 m og hélst síðan stöðugt þar. Hiti vatnsins var í byrjun 9°C en hækkaði fljótlega í 9,5°C. Nokkur sýni voru tekin til seltumælinga meðan á dælingu stóð, en einnig var fylgst með seltu vatnsins á staðnum með leiðnimæli. Það er skemmst frá því að segja að dælingin breytti í engu seltu vatnsins sem upp kom. Hún dugði því ekki til að fá inn saltara vatn úr æðum nærri botni holunnar.

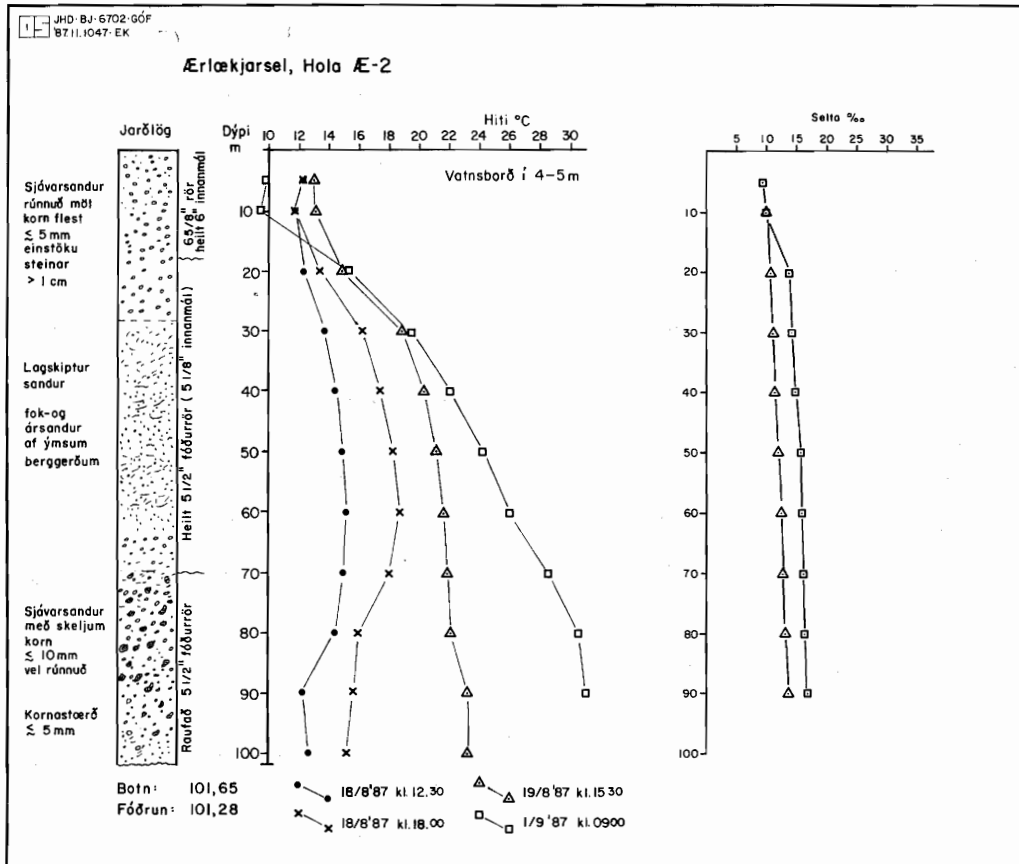
Vatnið úr holu D-1 er 9°C heitt og ferskt. Það virðist vera ágætlega hæft til seiða- og fiskeldis, enda járn- og manganstyrkur vart mælanlegur. Vatnið er þó súrefnissnautt en úr því er auðvelt að bæta með loftun. Svo sem fram kom hér að ofan virðist þetta vatn verða til við blöndun á heitu og köldu vatni í bólstrabergi undir Núpsmýrinni.

3.2 Hola Æ-2 við Skógalón

Þegar útséð var um árangur af borun holu D-1 var ákveðið að bora tvær holur til viðbótar með Loka til að leita að nýtanlegum jarðsjó, annars vegar úti á sandinum utan við Skógalón, en hins vegar á berggrunni austan við Buðlungahöfn austan Brunnárósa. Fyrst var ráðist í borun Æ-2 úti á sandinum. Henni var fundinn staður í landi Ærlækjarsels (1. mynd), um 30 m frá sjó vestan við svokallaðan Araós. Í ljósi fyrri "borana" Seljalax hf mátti búast við járn-mengaðri sjöblöndu í efstu 50 m (Magnús Ólafsson og Guðni Axelsson 1987) og var holan hönnuð með hliðsjón af því. Borun hófst 5. ágúst og lauk þann 18. sama mánaðar. Stýrifóðring var grafin um 4 m niður í sandinn. Holan var síðan boruð í einum áfanga niður á endanlegt dýpi, 101 m, og gekk borverkið sæmilega. Borað var með 7 7/8" krónu ásamt 8 1/2" rýmara og notuð borleðja. Holan var svo fódruð í einum áfanga, efstu 16 m með 6 5/8" rörum en þar fyrir neðan með 5 1/2" rörum. Neðstu 30 m þeirra voru með örmjóum raufum (1-

2 mm breiðum). Með þessari hönnun mátti koma 6" djúpdælu niður á 16 m dýpi í holunni.

Jarðlagasnið og hitamælingar eru á 5. mynd. Holan er öll boruð í sand, efstu 30 m eru úr tiltölulega grófum sjávarsandi, þá taka við um 40 m af lagskiptum ár- og foksandi og loks um 30 m af skeljasandi. Grófasti hluti sandsins er á 80-90 m dýpi. Skeljasandslagið gefur vísbendingu um að 30 m misgengi með sigi til vesturs geti verið milli holunnar og holu D-1.



5. MYND: Jarðlög ásamt hita- og seltumælingum í holu Æ-2 utan við Skógalón

Eftir fóðrun var holan skoluð og síðan loftdælt úr henni umtalsverðu magni af 30°C heitum ísöltum sjó (selta um 20‰), jafnframt voru tekin tvö sýni til seltu-, járn- og mangangreininga (tafla 7). Þann 8. september var sett djúpdæla niður á 15 m dýpi og dælt í rúman mánuð úr holunni. Í fyrstu var dælt 3 l/s, en dæling var aukin smátt og smátt uns hún var komin í 7 l/s 15. september og hélst hún óbreytt eftir það. Hiti vatnsins var í fyrstu 30°C en hækkaði smám saman í 34°C og hélst stöðugur eftir það. Vatnið úr holunni var skollitað allan tímann sem dælt var. Sýni til heildarefnagreiningar var tekið 13. september og annað til seltugreiningar þann 16. september. Selta jarðsjávarins fór vaxandi allt frá loftdælingu þar til síðasta sýnið var tekið (tafla 7). Við lok dælingar hafði sandur fyllt neðstu 10 m holunnar.

Vatnið, sem fékkst úr holu Æ-2, er ísalt og er seltan um 20‰. Það er súrefnissnautt, en járn- og manganstyrkur er því miður hár eins og í öðru ísöltu og volgu vatni á þessum slóðum. Jarðsjórinn úr Æ-2 er því ekki nothæfur til fiskeldis.

TAFLA 7: Efnasamsetning vatns úr holu Æ-2 (mg/l)

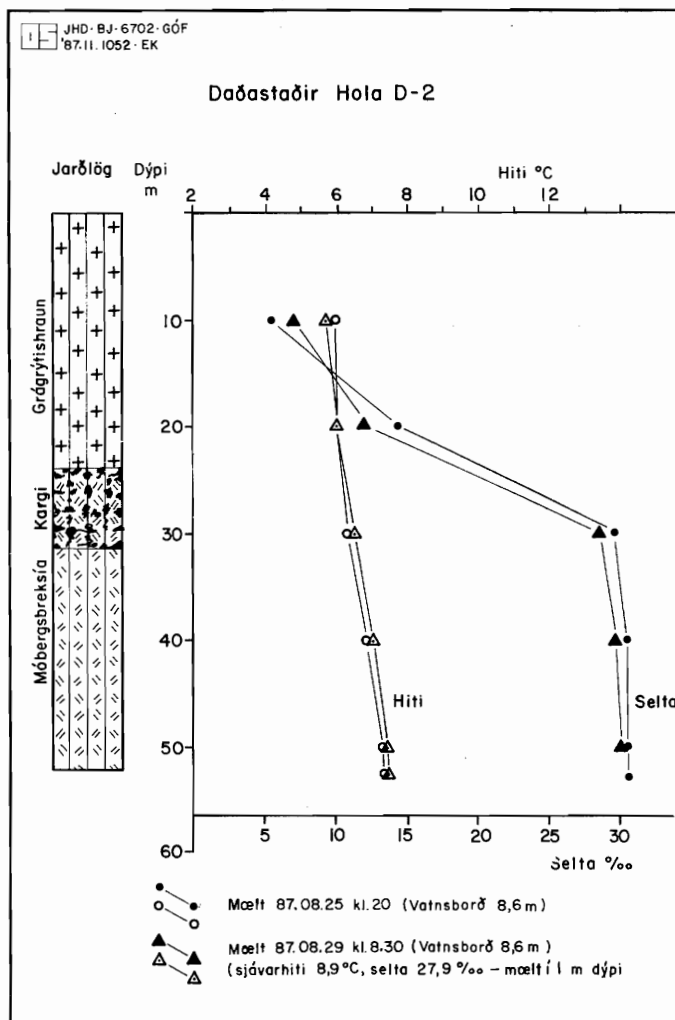
Dags. Númer	87-08-17 9119	87-08-17 9120	87-09-13 0120	87-09-13 0121	87-09-16 0123
Hiti (°C) Súrefni (O ₂)	24	27	32,5 0,05	32,2	34,3
Sýrustig (pH/°C)			7,5/15		
Kísill (SiO ₂)			42,2		
Natríum (Na)			5849		
Kalí (K)			296		
Kalsíum (Ca)			170		
Magnesium (Mg)			426		
Járn (Fe)	3,0	0,1	1,0		
Mangan (Mn)	1,0	0,5	0,9		
Karbónat (CO ₂ (tot))			564		
Súlfat (SO ₄)	409	430	395	390	388
Brennist.vetni (H ₂ S)			<0,05		
Klóríð (Cl)	10196	10412	10494	10563	10612
Flúoríð (F)			0,24		
Uppleyst efni			19565		
Dæling (l/s)	loftd.	loftd.	~6	~6	~7
Reiknuð selta (‰)	18,4	18,8	19,0	19,1	19,2

TAFLA 8: Efnasamsetning sjávar í D-2 og Buðlungahöfn (mg/l)

Staður Dags. Númer	D-2 87-08-20 9125	D-2 87-09-15 9164	D-2 87-10-30 0186	D-2 87-10-31 0187	D-2 87-11-01 0203	D-2 87-11-02 0210	D-2 87-11-04 0220	Buðlh. 87-11-03 0219
Hiti (°C) Súrefni (O ₂)	6,8	7,1 2	6,3 2	6,2	6,3	6,3	6,3	4,0
Sýrustig (pH/°C)		8,3/14	8,2/19			8,2/18		8,1/22
Kísill (SiO ₂)		8,9	10,1			10,3		1,7
Natríum (Na)		10417	8577			8704		10113
Kalí (K)		414	330			326		396
Magnesium (Mg)		1315	1117			1084		1162
Járn (Fe)	0,06	<0,025	0,025			0,025	<0,025	<0,025
Mangan (Mn)	<0,05	0,8	0,5			0,5	0,5	<0,05
Karbónat (CO ₂ (tot))		174	133			128		1162
Súlfat (SO ₄)	2292	2501	2210	2175	2170	2169	2172	2545
Brennist.vetni (H ₂ S)		<0,05	<0,03			<0,03		<0,03
Klóríð (Cl)	16446	18273	15593	15454	15501	15463	15458	18288
Flúoríð (F)		0,44	0,51			0,49		0,70
Uppleyst efni		37194	30428			30470		36110
Dæling (l/s)	loftd.	djúpsýni	12	12	12	12	12	
Dýpi (m)		45						
Reiknuð selta (‰)	29,7	33,0	28,2	27,9	28,0	27,9	27,9	33,0

3.3 HOLA D-2 við Buðlungahöfn

Hola D-2 var staðsett á fastri klöpp norðan við Buðlungahöfn í landi Daðastaða, um 10 m frá klettöttri ströndinni (1. mynd). Holan var boruð af jarðbornum Loka frá Jarðborunum hf eins og aðrar holur sem boraðar voru í Öxarfirði sumarið 1987. Borverkið gekk mjög vel, hófst 18. ágúst og lauk 20. ágúst, og varð holan 51 m djúp. Efst er 2 m löng 8 5/8" stýrifóðring, en að öðru leyti er holan 6 1/2" víð og ófóðruð.



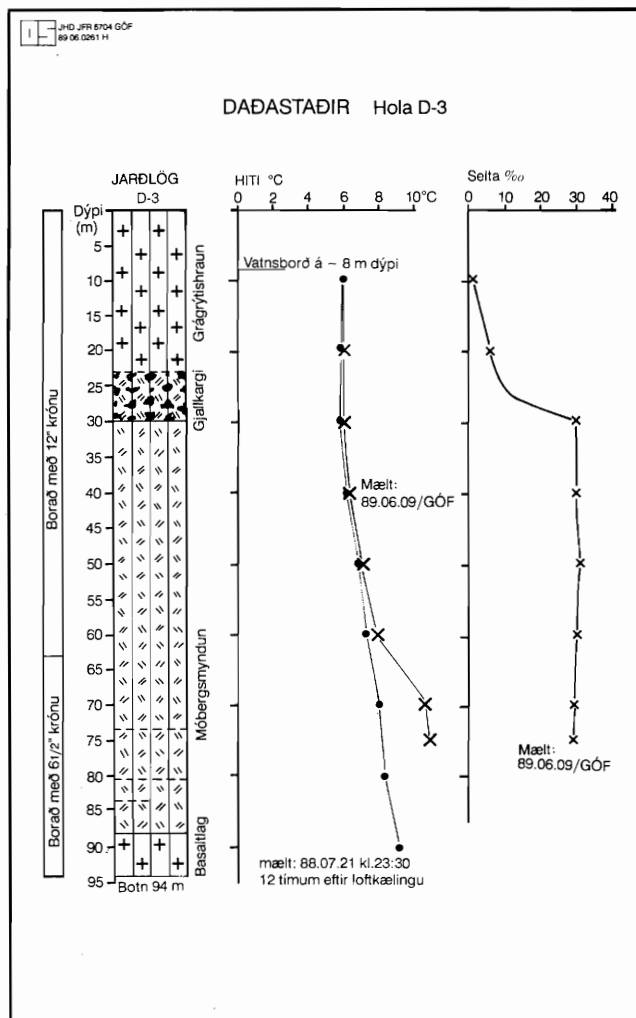
6. MYND: Jarðlög ásamt hita- og seltumælingum í holu D-2 við Buðlungahöfn

Jarðlagasnið og hitamælingar eru á 6. mynd. Holan er boruð í þétt hraunlag, sem nær frá yfirborði niður á 24 m dýpi. Undir því er 5-6 m þykkur gjallkargi, en þar fyrir neðan tekur móbergbreksía við. Sjór kom inn í holuna í kargalaginu. Þegar neðar dró jukust afköst í loftdælingunni upp í 20-30 l/s af 7-8°C heitum jarðsjó, nær fullsöltum.

Sýni var tekið úr holunni í loftdælingu þann 20. ágúst, þegar holan var um 30 m djúp. Í því var greind selta, járn og mangan. Síðan var tekið djúpsýni á 45 m dýpi þann 15. september, en þá hafði ekki verið dælt úr holunni í tæpar 4 vikur. Niðurstöður efnagreininga á djúpsýninu (tafla 8) voru á þann veg að vatnið var nánast fullsalt, járn magn var hverfandi en talsvert magn af mangani greindist aftur á móti (0,8 mg/l). Því var talið nauðsynlegt að dæla úr holunni í nokkurn tíma og taka jafnframt sýni til efnagreininga. Lítil djúpdæla var sett í holuna 29. október 1987. Dælt var í 40 klst. samfleytt. Afköst dællunnar voru um 12 l/s og niðurdráttur um 1,5 m frá vatnsborði á 8 m dýpi. Hiti sjávar, sem upp kom, var 5,9°C í byrjun en hækkaði

fljótlega í 6,3°C og breyttist ekki eftir það. Eftir 10 klst. hlé hófst dæling að nýju og var dælt í 4 sólarhringa. Á þessum tíma voru tekin 5 sýni til greininga, þar af 2 heilsýni. Til samanburðar var tekið sýni af sjó í flæðarmálinu neðan við holuna (tafla 8). Hins vegar fengust ekki haldgóð gögn til að meta afköst holunnar eða jarðsjávarlagnsins.

Helstu niðurstöður efnarannsókna á jarðsjó, sem dælt var úr D-2, eru þær að selta hans reiknast um 28‰, en í djúpsýninu (45 m dýpi) er selta áþekkt og í sjónum við ströndina eða um 33‰. Járn magn jarðsjávarins er hverfandi en manganmagn nokkuð hátt (0,5 mg/l). Dæling úr holunni virtist ekki hafa nein merkjanleg áhrif á efnainnhald jarðsjávarins.



7. MYND: Jarðlög ásamt hita- og seltumælingum í holu D-3 við Buðlungahöfn

3.4 HOLA D-3 VIÐ BUÐLUNGAHÖFN

Hola D-3 var önnur hola sem jarðbor Borverks hf boraði í héraðinu sumarið 1988. Sú fyrsta var hola N-1. Um hana er fjallað í kafla 4.1 og þar er bornum og boraðferðinni lýst lauslega. Hola D-3 var staðsett 28 m suðvestan við holu D-2 á klöpp við ströndina norður af Buðlungahöfn. Borun hófst ekki fyrr en 16. júlí, rúmum hálfum mánuði eftir að borun N-1 lauk. Borað var beint í klöppina án yfirborðsfóðringar og notaður 12" lofthamar. Borun gekk hægt fyrstu 3 dagana vegna sífelltra bilana í glussamótor. Að kvöldi 19. júlí var borinn kominn niður á 20 m dýpi. Morguninn eftir komst hann niður úr grágrýtinu á 23 m dýpi. Þar kom sjór inn í holuna eins og í holu D-2 og gekk borun síðan mun betur. Á tveimur tímum var bor-

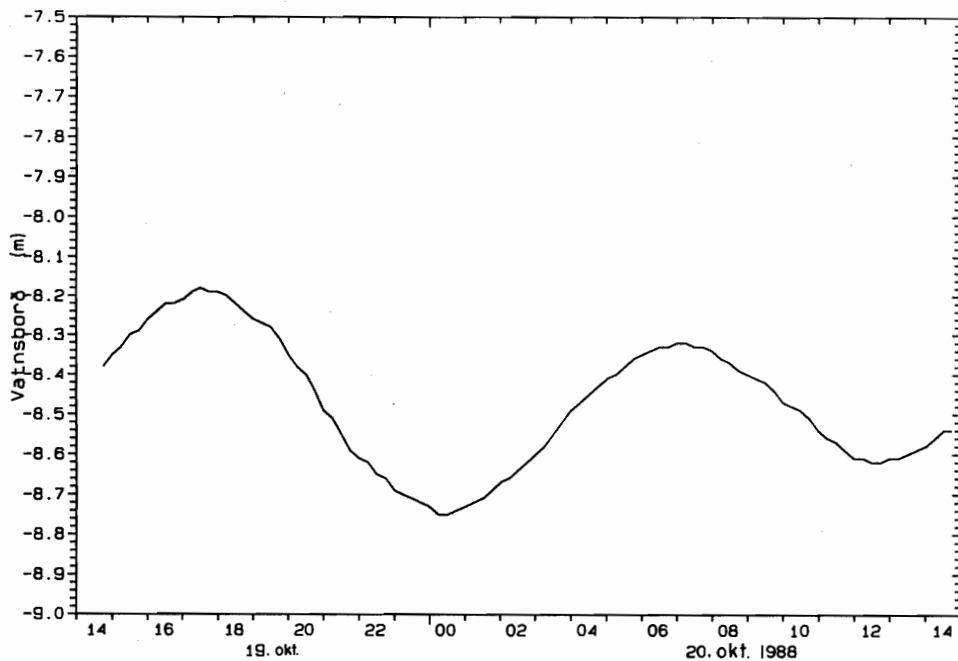
að niður á 62 m dýpi. Þar var skipt yfir í 165 mm lofthamar og borað niður í endanlegt dýpi sem varð 95 m. Daginn eftir þann 21. júlí var loftdælt um tíma úr holunni. Fylgst var með vatnsborðsbreytingum í holu D-2 samtímis loftdælingunni, svo og magni því sem dælt var úr holu D-3.

Jarðlagasnið ásamt hita- og seltumælingum er sýnt á 7. mynd. Lítil sem enginn munur er á jarðlögum í holum D-2 og D-3. Grágrýtishraunið nær niður á 23 m dýpi. Undir því er um 5 m þykkur gjallkargi. Karginn er míglekur og er svo að sjá að jarðsjórinn, sem næst upp með dælingu, sé að mestu kominn úr þessu lagi. Frá 28 m og niður á 87 m dýpi var borað í móbergsmýndun. Hún er samsett úr samlímdu móbergstúffi og basalt- eða bólstrabreksíu, og er magn hveirrar bergtegundar breytilegt milli svarfsýna. Á 75-80 m dýpi finnast jafnframt brot úr móbergssetlögum í svarfblöndunni. Móbergsmýndunin er því óreglulega lagskipt. Neðst í holunni var borað í þétt basaltlag, trúlega hraunlag.

Holan var hita- og seltumæld viku eftir borun og aftur 12 tímum eftir loftdælingu. Þriðja mælingin var svo gerð í byrjun júní 1989 eftir að holan hafði staðið óhreyfð í tæpt ár. Eitthvað ferskvatn virðist koma inn í gegnum grágrýtið, en neðan þess er strax komið í nær fullsantan jarðsjó svo sem sést á seltumælingunni. Á síðustu mælingunni sést að hiti jarðsjávarins er 6°C skammt neðan við grágrýtishraunið og hækkar smám saman í tæpar 11°C á 75 m dýpi, en dýpra tókst ekki að mæla. Engin sýni voru tekin úr holunni til efnagreininga, en vegna þess hve stutt er yfir í D-2 eiga greiningar á jarðsjó úr þeirri holu örugglega jafnt við þessa holu.

JHD-VT-6704-SLJ
89.01.0038 T

ÞADASTAÐIR HOLA D-3



8. MYND: Sjávarfallasveifla mæld í holu D-3 við Buðlungahöfn

Út frá mælingum á sjávarföllum í borholum nærri sjávarströnd má oft meta hlutfallið milli vatnsleiðni og vatnsrýmdar í jarðlögum sem leiða þrýstibreytinguna milli sjávar og borholu. Vatnsleiðni og vatnsrýmd eru eðliseiginleikar vatnsveitisins. Vatnsleiðnin, T, gefur til kynna

hversu greiðlega vökvi getur streymt um veitinn, en vatnsrýmdin, S , er mælikvarði á gæfni veitisins, þ.e. segir til um hversu greiðlega veitirinn getur tekið við eða gefið frá sér vökva.

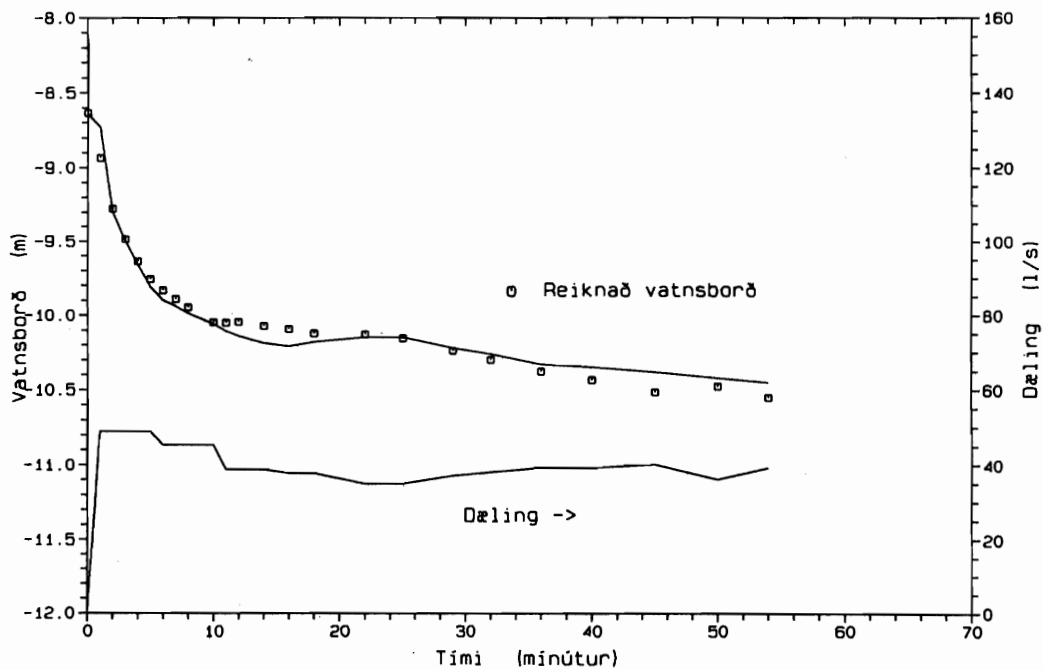
Dagana 18.-20. október 1988 var fylgst með vatnsborðsbreytingum af völdum sjávarfalla í holum D-2 og D-3. Sjávarfallasveiflan sést mjög vel í vatnsborði holanna og er mæling úr holu D-3 sýnd á 8. mynd. Með samanburði við sjávarföll fyrir Kópasker (Sjómælingar Íslands 1988) fæst að sveifluhæðin í holunum er yfir 90% af ódempaðri sjávarfallasveiflu og taftíminn milli sjávarfalla við ströndina og í holunum er 5-15 mín. Erfitt er að ákveða þetta nákvæmar út frá þessum mælingum, þar sem aðeins var lesið af mælinum á 15 mínútna fresti. Þá fara aðrir þættir eins og loftþrýstingsbreytingar, vindar o.fl. að hafa áhrif á niðurstöðurnar þegar mismunurinn er orðinn þetta lítill.

Við lok borunar holu D-3, 21. júlí, var loftdælt úr holunni í u.þ.b. eina klukkustund. Rennsli var mælt með V-yfirfalli, en vatnsborðsbreytingar voru mældar í holu D-2, sem er 28,1 m frá holu D-3. Þar var einnig fylgst með vatnsborði eftir að dælingu lauk. Gögnin hafa verið felld að fræðilegu líkani sem gerir ráð fyrir einsleitum víðáttumiklum vatnsveiti. Góð samsvörun fékkst milli reiknaðs og mælds vatnsborðs og eru niðurstöður reikninganna sýndar á 9. og 10. mynd. Sá mismunur, sem er þar milli reiknaðs og mælds vatnsborðs stafar að nokkru leyti af ónákvæmni í rennismælingum. Samkvæmt líkaninu er vatnsleiðnin $T = 7,06 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ og vatnsrýmdin $S = 3,24 \times 10^{-4}$. Þetta gefur hlutfallið $T/S = 21,8 \text{ m}^2/\text{s}$. Sé þetta hlutfall notað við reikninga fyrir sjávarföll fæst að um 93% af sjávarfallasveiflunni ætti að mælast í holunum og taftíminn ætti að vera rúmlega 8 mínútur. Þessu ber því mjög vel saman við niðurstöður sjávarfallamælinganna. Líkanið bendir einnig til að í veitinum sé lítill rennlistregða í næsta nágrenni við holu D-3 ($s = -0,43$).

Niðurstöður þessara prófana gefa til kynna að vatnsleiðni jarðlagsins, sem veitir jarðsjó að holunum, sé góð. Aftur á móti er rýmd þess lítill, trúlega vegna lítillar þykktar, og er það í samræmi við jarðlagasniðið. Þá gerir líkanið ráð fyrir að rennsli til veitisins að ofan og neðan sé takmarkað og styðja niðurstöður reikninga það. Lítil rýmd veldur því að niðurdráttur í sjávartökuholunum verður nokkur. Ef dælt er 50 l/s úr holu D-3 má áætla að meðalvatnsborð í veitinum sé á 18,4 m dýpi við holu D-3 og á 11,8 m dýpi við holu D-2. Ef dæling er aukin í 100 l/s þá fer vatnsborðið niður á 28,3 m dýpi við holu D-3 og niður á 15,3 m dýpi við holu D-2. Dýpi á meðalvatnsborð er um 8,2 m við holu D-2 og um 8,5 m við holu D-3. Niðurdráttur verður því verulegur og útbreiddur um veitinn. Því er æskileg fjarlægð milli sjávartökuhola ekki minni en 200-300 m. Þá verður kostnaður við dælingu töluverður vegna mikillar lyftihæðar. Að lokum er rétt að benda á að þessar niðurstöður byggja á stuttum athugunum úr einstakri holu og verða að skoðast með þeim fyrirvara. Þær segja þó að á svæði, sem er innan 0,5 km fjarlægðar frá holu D-3, sé vinnsla jarðsjávar í verulegu magni óhagstæð.

JHD-BM-6704-Omar
89.01.0039 T

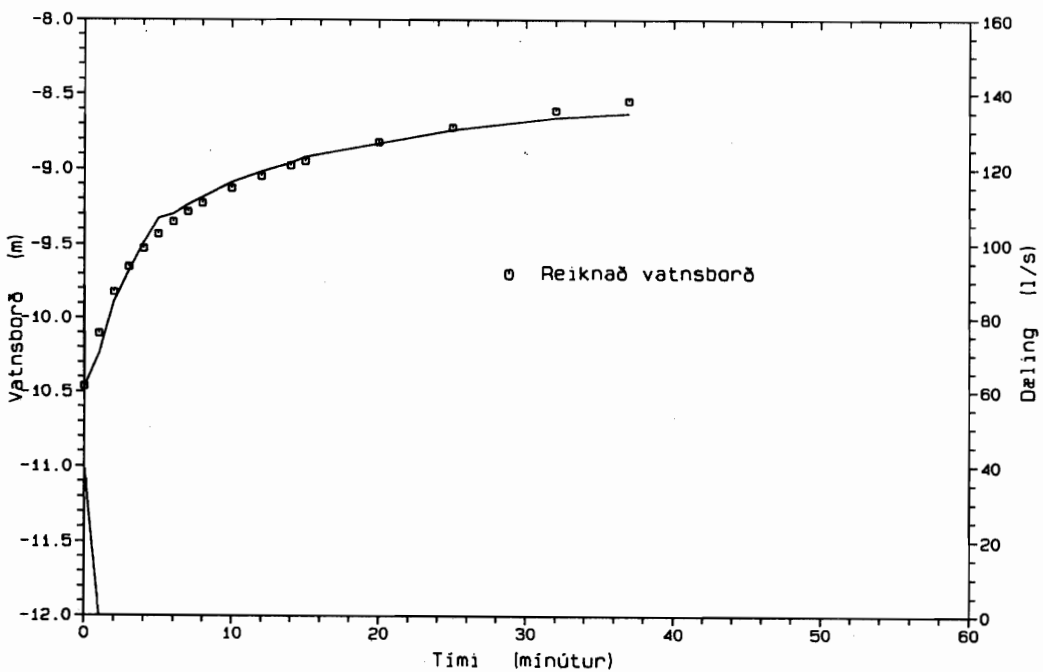
DADASTAÐIR



9. MYND: Vatnsborð í holu D-2 við Buðlungahöfn við loftdælingu úr holu D-3

JHD-BM-6704-Omar
89.01.0040 T

DADASTAÐIR



10. MYND: Vatnsborðshækkun í holu D-2 eftir að hætt var að loftdæla úr holu D-3

4. VOLGT OG KALT VATN Á NÚPSMÝRI

4.1 Hola N-1

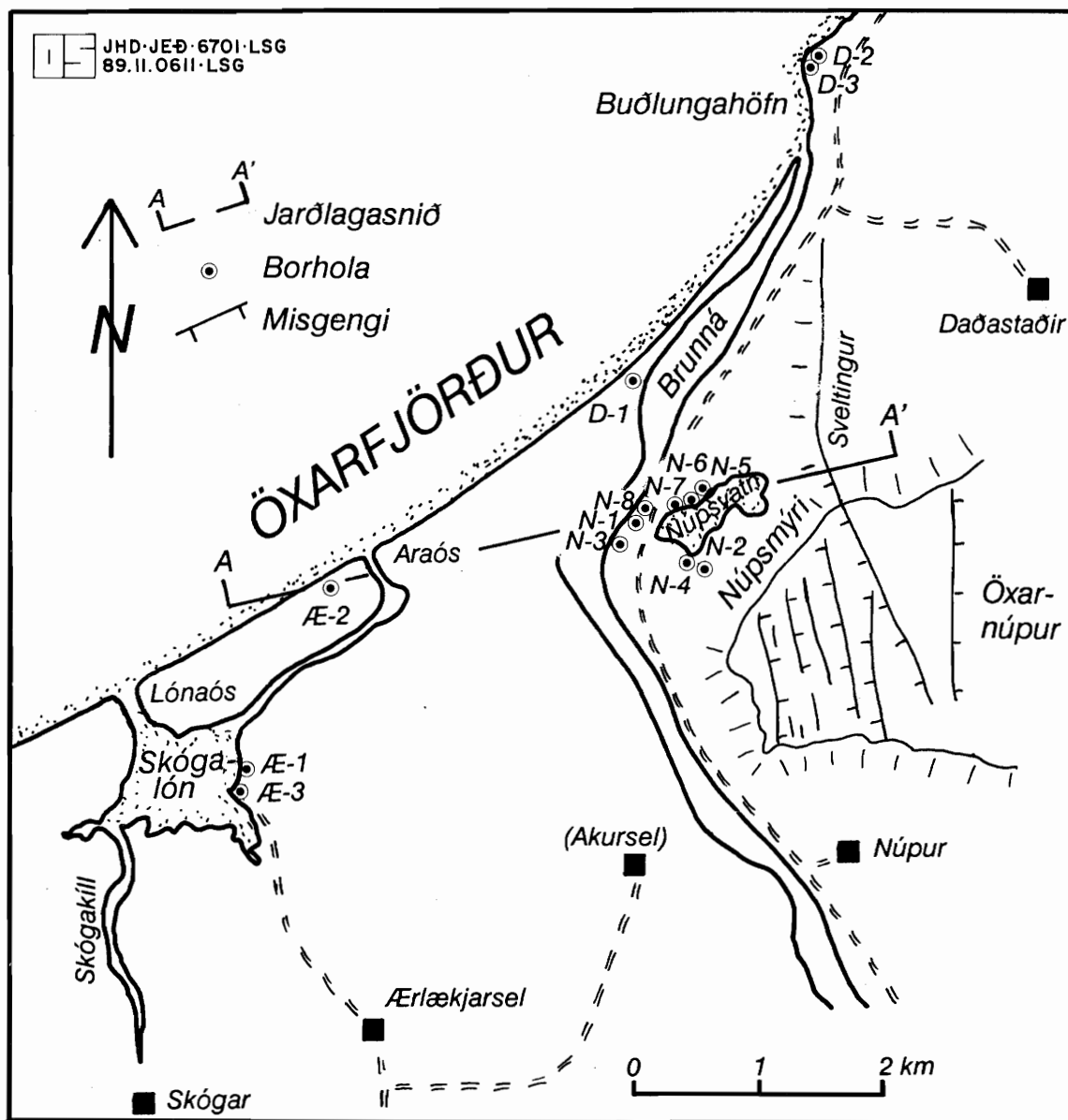
Árangur af borun holu D-1 sumarið 1987 varð töluvert annar en stefnt var að, þegar í ljós kom að úr henni fékkst 9°C heitt ferskt vatn en enginn jarðsjór. Í framhaldi af því vöknudu hugmyndir um hvort ekki mætti ná svipuðu vatni innar í landinu og þá helst austan Brunnár. Í því sambandi beindist athyglin einkum að Stóranesi á svokallaðri Núpsmýri, sem er í landi jarðarinnar Núps í Öxarfirði. Þarna voru taldir góðir landkostir fyrir fiskeldisstöð. Þessi skiki er rúmlega 1 km suður af holu D-1 og líkur voru taldar góðar á að þarna mætti ná svipuðum árangri og varð af borun hennar.

Hola N-1 var staðsett í Stóranesi skammt vestan við smástall, þar sem misgengi var talið liggja (1. og 11. mynd). Holustæðið er um 1200 m beint suður af holu D-1 og var talið vera á sömu bergspildu. Holunni var ætlað að verða 70-100 m djúp. Ofan til var reiknað með að borað yrði í sand og sjávarset með skeljum á 40-50 m dýpi. Þar fyrir neðan var reiknað með að holan skæri lekt hraunlag, þar sem vonast var eftir svipuðu vatni og í holu D-1. Talið var að þetta vatnskerfi næði niður á um 100 m dýpi ef marka mætti holu D-1.

Eins og áður hefur komið fram var holan boruð af Borverki hf. Jarðborinn getur notað tækni sem talin er hentug fyrir borun í laus og hrungjörn jarðlög, eins og vænta mátti ofan til í holu N-1. Hún felst í því að borað er með hjámiðja lofthamri og holan fódruð með stálfóðringu jafnóðum og borað er. Nafnið ODEX-borun er dregið af þessu, þ.e. Overburden Drilling with EXcentric method. Þessa aðferð átti að nota við borun N-1 og væntu menn að borverkið yrði auðveldara en með Loka árið áður (Guðmundur Ómar Friðleifsson 1988).

Framan af líktist borverkið meira niurdælingu en borun. Áhrif af loftdælingu með bor virtust svipuð og þegar heimamenn dældu fódurrörum niður með vatni, nema kröftugri. Sandurinn skolaðist undan fódringunni og myndaði þar skáp. Fódringin sat föst þar til skápurinn var orðinn það stór að rörið og sandurinn næst því fóru saman af stað niður á við með nokkrum hasti. Engin leið var þá að halda í rörið og svæðið umhverfis bullaði og kraumaði sem í grautarpotti. Geil myndaðist umhverfis rörið samfara siginu, og stækkaði sífellt. Fylla þurfti reglulega upp í hana með mól og sandi og jafnframt varð að gera ráðstafanir til að styrkja borplanið svo að borinn stæði uppi. Það var leyst með því að láta borinn hvíla á keflis-hlemmum og gömlum símastaurum. Reynslan af borun fyrstu holunnar var sú að óþarft hefði verið að nota ODEX-tækni framan af, en um leið og setlöginn hörðnuðu kom hún að gagni og reyndist nauðsynleg í harðara bergi þar sem lemja þurfti fódringu niður. Síðar um sumarið kom í ljós að losna mátti við geilmyndun utan með fódurröri með því að leggja meiri þunga á borstrenginn en gert var við borun fyrstu holanna. Þegar upp er staðið eftir borun átta hola á Núpsmýrinni, verður ODEX-aðferðin að teljast einkar hentug boraðferð við aðstæður eins og í Öxarfirði, að því tilskildu að henni sé beitt af kunnáttu.

Borun holu N-1 hófst 20. júní 1988. Borað var með 215 mm ODEX-krónu og fódrað með sérstakri 254 mm (utanmál) fódringu, sem átti að passa nákvæmlega fyrir krónuna. Borun gekk fremur hægt en það stafaði að mestu af eðlilegum byrjunarörðugleikum sem og reynsluleysi. Umtalsverðar tafir urðu vegna vandræða við sandausturinn úr holunni. Loftið bullaði upp utan með fódringunni og djúp geil, um 1-2 m í þvermál, myndaðist umhverfis fódurrörið samtímis því að það seig hratt niður. Að kvöldi 23. júní var búið að bora og fódra niður á 61 m dýpi. Á þessu dýpi var ODEX-borun hætt en borað niður úr fódringunni með 8 1/2" lofthamri. Sand- og leirburður hélt þó áfram og sömuleiðis fódringin, svo að bæta þurfti við hana uns hún staðnæmðist á 63 m dýpi. Þar kom fyrsta vatnsæðin inn í holuna. Borun vinnsluhluta holunnar gekk brösótt og var þar einkum bilunum um að kenna. Um síðir voru boraðir um 6 m með hamrinum (63-69 m) sem ekki virkaði eðlilega. Eftir frekari viðgerðir



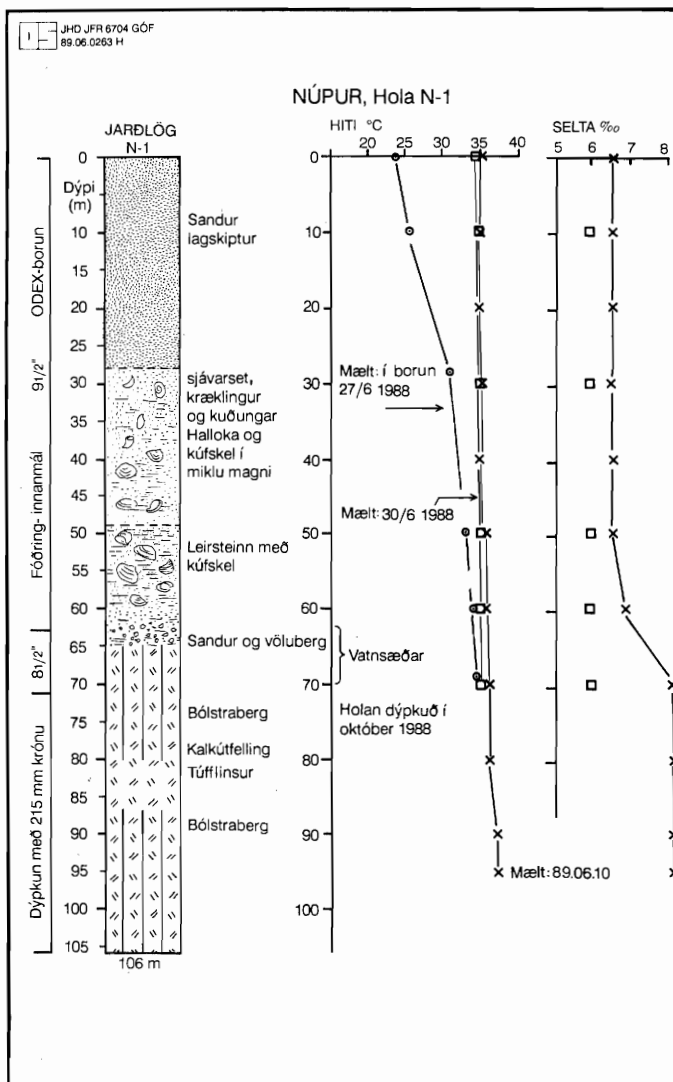
11. MYND: Staðsetning borhola á Núpsmýri

tókst að bora rúmlega 2 m til viðbótar niður á 71,4 m dýpi þann 27. júní. Þá hætti hamarinn að lemja og festist stöðugt þegar hann var dreginn upp eða slakað niður. Holan virtist orðin skökk og áframhaldandi borun með óbreyttri aðferð gekk ekki og því sjálfhætt. Holan var hreinsuð með lofti í 3 tíma eftir þetta. Vatnsmagn jókst nokkuð meðan á borun neðstu 8 m stóð og í lok borunar runnu úr holunni 2 l/s. Vatnið var hins vegar mun heitara en gert hafði verið ráð fyrir, eða yfir 30°C.

Stutt dæluþrófun var framkvæmd í lok borunar í júnílok (28. júní) til að fá bráðabirgðamat á holuna. Dælt var með lítilli dælu um sogbarka í mælikar með V-yfirfalli til rennslismælinga. Hvert þrep stóð í nokkrar mín. nema það fyrsta sem stóð í 1,5 klst. Fyrst var dælt 14 l/s og var niðurdráttur í upphafi 2,33 m en jókst smám saman í 2,48 m. Síðan var bætt við þremur þrepum og dælt 10 l/s, 7,2 l/s og 5 l/s. Samsvarandi tölur fyrir niðurdráttinn voru 1,62 m, 0,9 m og

0,59 m. Samkvæmt þessum tölum var ljóst að vænta mátti verulegs niðurdráttar ef dælt yrði 30-50 l/s úr holunni. Jafnframt sást að minni rennslistregða yrði í dýpri holu, sem næði neðar í sama vatnskerfi.

Í nóvemberlok var ákveðið að gera tilraun til að dýpka holuna, enda var borinn þá orðinn betur tækjum búinn en áður og reynslan orðin meiri. Verkið var kostað af Silfurstjórnunni hf, sem stóð að vinnsluborunum á Núpsmýri, eins og betur kemur fram síðar. Verkið gekk nú mjög vel og tók tvo daga (1.-2. desember). Dýpkunin var unnin með 8 1/2" hjólakrónu og loftskolun og var holan boruð niður á 106 m dýpi. Á eftir var holan hreinsuð með loftdælingu í eina klukkustund. Við þetta jókst sjálfrennsli mikið og fór upp í 20-30 l/s. Nokkrar sveiflur eru í því, trúlega mest vegna áhrifa frá sjávarföllum, en meðalgildið er nærri 25 l/s. Hitinn hækkaði jafnframt örlítið, upp í 35-36°C. Skömmu eftir að dýpkun lauk var sett dæla í holuna og dælt úr henni um 40 l/s í nokkrar vikur. Við það lækkaði vatnsborð lítillega og sveiflaðist niðurdrátturinn í kringum 1,2 m. Holan hefur verið nýtt á þessu ári (1989). Teknir hafa verið 12 l/s úr henni eða nálega helmingur sjálfrennslis.



12. MYND: Jarðlög ásamt hita- og seltumælingum í holu N-1 í Stóranesi

Jarðlög í holu N-1 ásamt hita- og seltumælingum eru sýnd á 12. mynd. Lagskiptur ár- og foksandur er í efstu 28 m holunnar. Skeljabrot sjást í sýni frá 25 m dýpi, og neðan 28 m dýpis er greinilega komið í sjávarset. Lagskipt sjávarset finnst svo þaðan og niður á 63-64 m dýpi. Efst finnast aðallega smáskeljar af kræklingi, fjörubobbum, olnbogaskel og hrúðurkarli í silt-bornum sandi. Síðan bætist hallloka í hópinn ásamt kúfskel og gimurskel. Frá 40 m dýpi eru stórar kúfskeljar mjög áberandi. Allar þessar tegundir þrífast við strendur landsins í dag á grunnsævi. Ekki er vitað um aldur þeirra í setlögum Öxarfjarðar. Á 50-60 m dýpi var farið í gegnum leir, sem er það þéttur að tala má um leirstein. Hann veðst þó út áður en upp kemur og er því lítt harðnaður. Leirlagið kom aðeins á óvart því að þess varð ekki vart í holu D-1. Leirlagið skýrir hins vegar ágætlega að vatn skuli koma upp í sjálfrennsli. Neðan 60 m verður aftur vart við sand og grjót í setinu, allt niður á 64-65 m dýpi, en þar fyrir neðan er komið í svipað berg og í D-1. Eins og í D-1 kom vatnsæð fram á 63 m dýpi í þessu lagi. Hvað jarðlög snertir var árangur af borun holu N-1 því eins og búist var við, og holur D-1 og N-1 virtust vera á sömu bergspildu. Meginmunur er hins vegar að vatnskerfið er um 26°C heitara í N-1, sem kom á óvart og var mikill ávinningur fyrir fiskeldisáætlanir heimamanna. Önnur hita-mælinganna var gerð tveim sólarhringum eftir að borun lauk í fyrra skiptið. Holan var í sjálfrennsli (um 3-4 l/s) og botnhiti mældist þá 34,9°C, en hiti við holutopp var 34,6°C. Seinni mælingin var gerð 10. júní 1989. Hún nær ekki niður úr vatnskerfinu, sem nær því a.m.k. niður undir 100 m. Botnhiti (á 95 m dýpi) mældist þá 37,5°C en hiti á holutoppi um 35°C.

Eftir að búíð var að dýpka holu N-1 frá 71 m í 106 m dýpi, kom í ljós að holan hafði verið boruð í samfelld bólstraberg frá 63 m dýpi í 106 m dýpi. Bólstrabergsmyndun þessa virðist mega tengja beint við móbergs- og bólstrabergsmyndun í Öxarnúp. Samkvæmt því hefur fjall-íð í upphafi náð mun vestar en nú sést. Þessi niðurstaða breytti fyrri hugmyndum um jarðlagalíkan af svæðinu og varð til þess að jarðlagagreining af holu D-1 var endurskoðuð og túlk-úð upp á nýtt. Í D-1 virðist sem borað hafi verið í lek skálaga bólstrabergshraun eða breksíur með hallandi túfflögum á milli, en slíkar skálaga syrpur eru ekki óalgengar í jöðrum móbergs-fjalla. Ekki er ljóst hversu mikið móbergið hefur sigið vestan Öxarnúps, en trúlega er bólstra-bergið undir Núpsmýrinni úr rótum hins forna fjalls. Vestan núverandi Öxarnúps hefur efri hluti þess rofist burt af skriðjöklum ísaldar.

Þrjú sýni hafa verið tekin úr holu N-1 til efnagreininga, öll fyrir dýpkun, það síðasta í sept-ember 1988 en hin í loftdælingu daginn eftir að borun lauk. Niðurstöðurnar eru sýndar í töflu 9. Ekki er margt um þær að segja. Sýrustig volga vatnsins er um 8, en seltan nálægt 5‰. Járn- og manganstyrkur er nokkuð hár (samtals 0,2-0,3 mg/l) eins og títt er um volgt vatn í Öxarfirði, sem mun vera nærri hættumörkum fyrir fiskeldi.

Selta var mæld með leiðnimæli á borstað í og eftir borun í júní, og mældist vera 3-4‰. Holan var svo seltumæld þann 10. júní 1989 (12. mynd) og hafði selta vatnsins við holutopp þá hækkað í 6,5‰. Á 95 m dýpi mældist seltan enn meiri eða 8,2‰. Holan var ekki mæld strax að dýpkun lokinni, svo að ekki er vitað hvort breytingar á seltu stafa af dýpkuninni einni eða hvort seltan hafi aukist smám saman eftir að holan var dýpkuð. Hækkun seltu í volga vatninu er fremur til bóta fyrir fiskeldið, svo framarlega sem styrkur járn og mangans aukist ekki að sama skapi. Því er full ástæða til að fylgjast vel með þessu í næstu framtíð.

Niðurstöður af borun holu N-1 voru mjög jákvæðar og breyttu töluvert þeim hugmyndum sem voru uppi um fiskeldi á svæðinu. Ljóst varð að vinna mátti mikið magn af volgu vatni af 60-100 m dýpi á flangri bergspildu samsíða Brunná. Stóranesið er allt á þessari spildu. Þetta leiddi jafnframt af sér miklar vangaveltur um öflun kalds vatns á þessum slóðum.

TAFLA 9: Efnasamsetning vatns úr holum á Núpsmýri (mg/l)

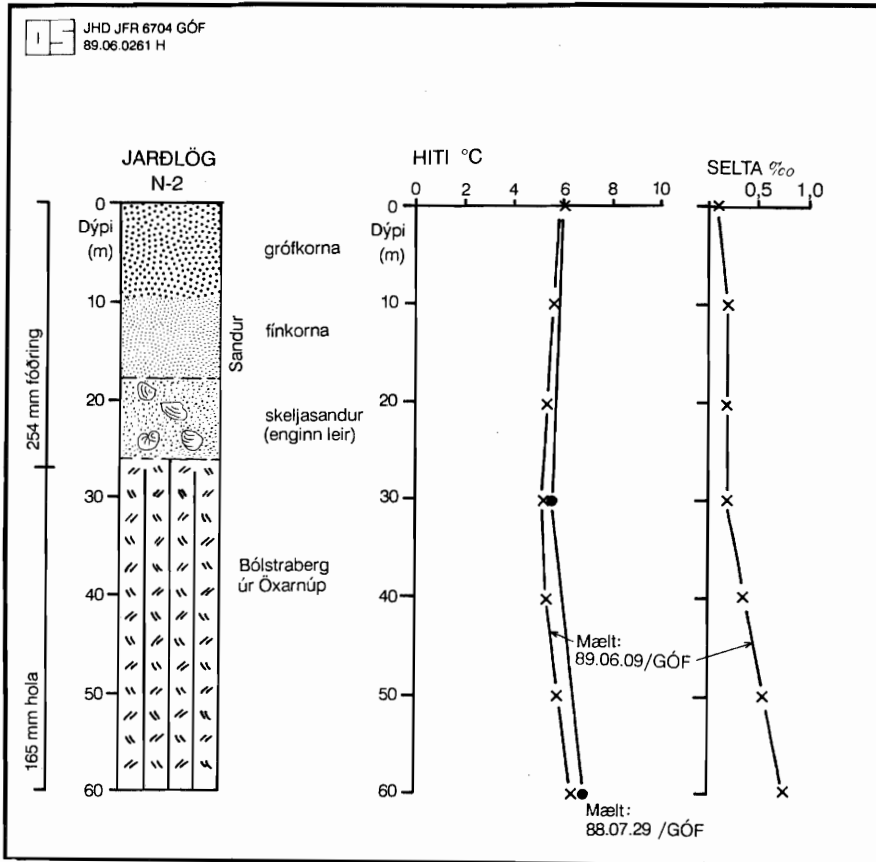
Hola Dags. Númer	N-1 88-06-28 0077	N-1 88-06-28 0078	N-1 88-09-24 0147	N-2 88-09-24 0146	N-5 88-09-24 0145	N-6 88-10-13 9078	N-6 88-10-14 9079	N-6 88-10-14 0166
Hiti (°C)	-	34	34,2	6,0	5,1			5,4
Súrefni (O ₂)	-	-	0,1	7	9			9
Sýrustig (pH/°C)	8,0/21	8,0/21	7,8/15	9,6/15	9,3/15			9,6/16
Kísill (SiO ₂)	32,2	31,0	36,5	19,0	18,2			18,3
Natríum (Na)	1511	1507	1865	78,1	77,1			63,9
Kalí (K)	69,5	69,3	86,4	3,3	4,0			3,7
Kalsíum (Ca)	115	114	152	1,1	2,2			1,4
Magnesíum (Mg)	39,3	39,1	60,1	0,85	1,8			1,3
Járn (Fe)	0,05	0,05	0,1	<0,025	0,2			0,025
Mangan (Mn)	0,15	0,15	0,2	<0,05	0,05			<0,05
Karborat (CO ₂ (tot))	59,1	56,7	58,6	60,1	33,3			42,5
Súlfat (SO ₄)	309	314	390	10,4	14,0	11,2	11,2	11,2
Brennist.vetni (H ₂ S)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03			<0,03	<0,03
Klóríð (Cl)	2340	2371	2937	41,5	74,7	47,1	47,8	48,1
Flúoríð (F)	0,41	0,41	0,36	0,30	0,18			0,21
Uppleyst efni	4563	4593	4430	220	229			174
Dæling (l/s)	14	14				40	40	40
Rennsli (l/s)			3	mikið				
Reiknuð selta (‰)	4,2	4,3	5,3	0,07	0,13	0,08	0,08	0,09

4.2 HOLA N-2

Eftir borun holu N-1 var ljóst að vinna mátti talverða varmaorku í landi Núps svo að ekki þurfti fyrst um sinn að sækja hana frá hverasvæðinu við Skógalón. Ef nýta átti þetta volga vatn til fiskeldis í ferskvatni þurfti að afla kalds vatns og fyrir laxfiskeldi þurfti sjó. Ferskvatn var hægt að taka úr upptakalindum Naustaár í landi Daðastaða, 2-3 km austan við Núpsmýrina. Áður en gripið væri til þessa möguleika þótti full ástæða til að kanna hvort ekki mætti afla þess nær, á Núpsmýrinni. Vitað var um litlar lindir við sunnanvert Núpsvatn, sunnarlega á Núpsmýri. Orkustofnun mælti með tilraunaborunum til að skera úr um hve mikið vatn væri þarna á ferðinni. Þetta verk var utan við fiskeldisverkefnið, sem hér er fjallað um, en þó svo nátegt því að full ástæða þykir að gera grein fyrir niðurstöðunum í þessari skýrslu.

Hola N-2 var staðsett við lindir á suðurbakka vatnsins (11. mynd). Markmiðið var að skera lekt hraunlag, sem þarna var talið vera á litlu dýpi, og misgengi, sem lindin var talin koma upp með (Guðmundur Ómar Friðleifsson og Freysteinn Sigurðsson 1988). Að boruninni stóð Silfurstjarnan hf, sem stofnuð hafði verið til að reisa fiskeldisstöð á þessum slóðum, og er fyrirtæki heimamanna, Seljalax hf, annar af tveimur stærstu eignaraðilunum. Holan var boruð af bor Borverks hf. Borun hófst 26. júlí og lauk þann 28. júlí. Borað var með 215 mm ODEX-krónu og fódrað með 10" rörum sem var raunverulega blásið niður í holuna, því að þau sigu sjálfkrafa niður á eftir krónunni og þurfti ekki að ýta á þau. Fóðringin stöðvaðist á 27 m dýpi og var borað niður úr henni með 165 mm lofthamri. Mikið vatn kom í holuna nærri fódurrörsenda og var það um 6°C heitt. Borun var hætt á 60 m dýpi þegar loftpressan réði ekki lengur við vatnsmagnið.

Jarðlög í holu N-2 ásamt hita- og seltumælingum eru sýnd á 13. mynd. Í efstu 10 m er fremur grófkorna sandur, t.d. virtist vera malarlinsa á 3 m dýpi. Milli 10 og 18 m dýpis er sandurinn finkornóttari, en síðan tekur skeljasandur við og nær hann niður á 26 m dýpi. Neð-



13. MYND: Jarðlög ásamt hita- og seltumælingum í holu N-2 á Núpsmýri

an 26 m dýpis var hins vegar borað í samfelld bólstraberg. Í fyrstu var ekki ljóst hvort um fast bólstraberg væri að ræða eða skriðu úr Öxarnúp. Að loknum borunum á Núpsmýri, og þá ekki síst dýpkun holu N-1 og borun holu N-8, er einsýnt að bólstrabergið er myndað á staðnum og tilheyrir sömu myndun og Öxarnúpur er gerður úr.

Hitamæling frá 29. júlí 1988, sýnir að vatnshiti efst í bólstraberginu er 5,8°C en um 7°C á 60 m dýpi. Selta mældist mjög lítil. Sjálfrennsli úr holunni var um 17 l/s af 6°C heitu vatni strax að lokinni borun. Holan var mæld aftur í júní 1989 og reyndist hitinn vera mjög svipaður.

Efnagreiningar af vatni úr N-2 eru í töflu 9. Sýrustig vatnsins er 9,6 sem er talsvert herra en í volga vatninu, en seltan er hins vegar mjög lítil eins og fram hafði komið í seltumælingum. Járn og mangan er nánast ekkert. Ekkert er því til fyrirstöðu að nýta vatnið til fiskeldis.

Þegar holan var seltumæld í júní 1989 (13. mynd) kom fram marktæk hækkun á seltu, frá 0,2‰ á 30 m dýpi í 0,8‰ á 60 m dýpi. Þetta ásamt örlítilli hækkun í hita, gæti gefið til kynna að volga vatnskerfið sé þarna að finna undir kalda vatnskerfinu. Úr þessu verður þó ekki skorið nema með dýpri borun (Guðmundur Ómar Friðleifsson 1989).

Vinnsluþrófanir voru ekki gerðar á N-2 að borun lokinni. Hins vegar voru viðbrögð ferskvatnskerfisins skoðuð um haustið að loknum vinnsluborunum og er fjallað um það í næsta kafla.

4.3 Vinnsluboranir eftir volgu og köldu vatni á Núpsmýri

Eftir þennan góða árangur af borun N-1 og N-2 ákvað Silfurstjarnan hf að bora fleiri holur á Núpsmýri bæði eftir volgu og köldu vatni. Í töflu 10 má lesa upplýsingar um staðsetningu, dýpi, fódringu, hita og seltu, en staðsetning þeirra er sýnd á 11. mynd. Hér á eftir verður gefið örstutt yfirlit um borverkið og niðurstöður borana. Holurnar voru allar boraðar af jarðbor Borverks hf.

TAFLA 10: Borholur á Núpsmýri

Hola	Staður	Dýpi m	Fóðr. vídd mm	Fóðr. dýpi m	Vídd neð.fóð. mm	Hiti °C	Selta ‰	Athugasemdir
N-1	Stóranes	106	254	63	216	35	6,5	Mikið sjálfrennsli
N-2	Sunnan Núpsvatns	60	254	27	165	6	lítill	
N-3	Stóranes	62	254	62	-	>25	~4,5	Eyðilagðist í borun
N-4	Sunnan Núpsvatns	40	254	32	216	6,8	lítill	
N-5	Norðan Núpsvatns	62	254	35,5	216	5,0	lítill	
N-6	Norðan Núpsvatns	65	254	43	216	~5	lítill	
N-7	Norðan Núpsvatns	60	254	42	216	~5	lítill	
N-8	Stóranes	106	254	55	216	34	5,3	Svipuð N-1

Fyrst var á dagskrá að bora aðra holu eftir volgu vatni í Stóranesi, um 200 m suðvestan við N-1. Borun holu N-3 hófst 17. ágúst og lauk 23. ágúst. Holan var boruð niður á 62 m dýpi og fódruð. Þar var komið í volgt vatn og hraun, eins og í holu N-1. Við upptekt vegna krónuskipta festist krónan í fódringunni og borstrengur slitnaði. Ekki tókst að ná krónunni upp, svo að ákveðið var að bora holuna að nýju. Þá var reynt að draga upp fódringu til endurnýtingar, en ekki tókst betur til en svo að fódringin slitnaði á um 8 m dýpi og eyðilagðist holan algjörlega við það. Jarðlög í N-3 eru að mestu leyti svipuð og í N-1, en sandurinn neðst er ekki leirborinn, og heldur grófari en í N-1. Samkvæmt bormönnum kom 25°C heitt vatn upp úr holunni meðan síðustu metrarnir voru boraðir.

Hola N-4 var boruð til að ná í meira ferskvatn á Núpsmýrinni. Hún er við sunnanvert Núpsvatn um 200 m norðvestur af N-2. Borun hófst 27. ágúst. Holan var fódruð niður á um 32 m dýpi en síðan boruð með hjólakrónu neðan á lofthamri niður á 40 m dýpi. Mikið af 6-7°C heitu vatni kom í holuna. Borun lauk þann 11. september en tæp vika hafði þá farið í biðtíma.

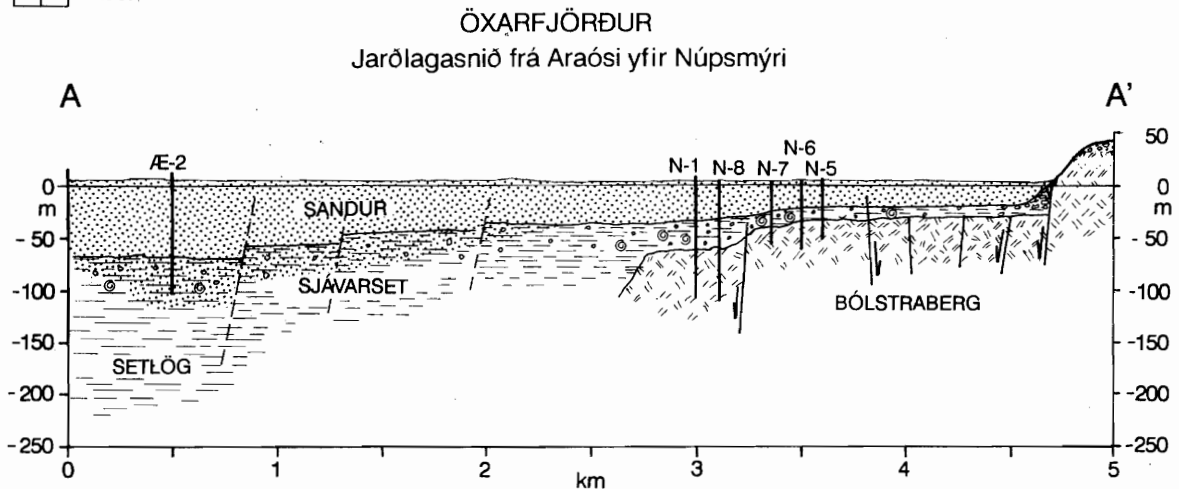
Hola N-5 er einnig ferskvatnshola, en staðsett norðan Núpsvatns, um 700 m norður af N-2 og 600 m austan við N-1. Borun hófst þann 12. september. Holan var fódruð niður á 36 m dýpi en síðan boruð niður niður á 62 m dýpi. Þar var borun hætt þann 17. september, þegar ekki varð lengra komist vegna mikils vatnsausturs úr holunni.

Hola N-6 er einnig á norðurströnd Núpsvatn skammt suðvestur af N-5. Borun hófst 19. september. Nokkrar tafir urðu þegar ODEX-krónan festist inni í fódringunni. Eftir að tekist hafði að losa hana var holan boruð og fódrað niður á 43 m dýpi, en það gekk af ýmsum orsökum nokkuð hægt. Loks var borað áfram niður á 65 m dýpi með hjólakrónunni. Borun lauk 5. október. Reynt var að hita- og seltumæla holuna í júní 1989, en mælir komst aðeins niður á 45 m dýpi.

Hola N-7 var síðasta ferskvatnsholan sem boruð var 1988. Enn var borað við norðurströnd Núpsvatns um 150 m vestan N-6. Borinn kom á staðinn 9. október en vegna bilana hófst borun ekki fyrr en 11. október. Verkið sóttist vel og 13. október var búið að bora og fódra niður á rúmlega 42 m dýpi. Þann 14. október var vinnsluhlutinn boraður frá 43 m dýpi í 60 m.

Síðasta holan sem boruð var á árinu 1988 var N-8, eða N-3B eins og hún hefur einnig verið kölluð. Hún er á Stóranesi um 100 m austan við holu N-1. Borun hófst 5. desember og lauk 16. desember og varð holan 106 m djúp og er fódruð í 55 m. Áður hafði hola N-1 verið dýpkuð í sama dýpi. Með borun N-8 var ætlunin að ná í meira af volgu vatni. Árangur varð mjög góður, holan gefur mikið magn af 35°C heitu vatni og líkist holu N-1 að því leyti. Nokkur munur er þó á jarðlögum, því að meira er af móbergssæti milli bólstralinsa í N-8. Þetta bendir til að vesturjaðar hins forna móbergssjalls sé undir eða nærri Stóranesi.

JHD JFR 6704 GÓF
89.10.0581 ÓD



14. MYND: Einfaldað jarðlagasnið frá holu Æ-2 utan við Skógalón, austur yfir Núpsmýri (holur N-1, N-8, N-7, N-6 og N-5), í Svelting

Jarðlög hafa verið greind úr öllum holum Silfurstjörnnunnar hf á Núpsmýri og eru jarðlagasniðin birt í sérstakri greinargerð (Guðmundur Ómar Friðleifsson 1989). Helstu niðurstöður koma fram á 14. mynd, sem sýnir einfaldað jarðlagasnið gegnum holu Æ-2 utan við Skógalón austur yfir Núpsmýrina (sjá staðsetningu sniðlínu á 11. mynd). Það sem helst vekur athygli á myndinni er að 20-30 m hæðarmunur er milli vatnsgæfa bólstrabergsins á austanverðu og vestanverðu svæðinu, sem stafar annað hvort af halla eða misgengi með sigi til vesturs. Hér er misgengisskýringin talin líklegri eins og 14. mynd gefur til kynna. Trúlegt er að náíð og jafnframt viðkvæmt samband sé milli volga og kalda vatnskerfisins. Það þarf því að fylgjast vel með vinnsluholunum í framtíðinni og haga vatnstöku samkvæmt því. Hola D-1 sýnir að blöndun milli vatnskerfa á sér a.m.k. stað norðan við Núpsmýrina. Með hliðsjón af jarðlagalíkaninu má telja líklegt að á þessum slóðum megi finna heitara vatn en fæst úr holu N-1. Fýsilegast virðist að leita til suðvesturs frá N-1 en jafnframt dýpra.

Stærð grunnvatnsgeymisins má meta lauslega út frá jarðlagagreiningum. Ætla má að hann markist u.þ.b. af Öxarnúpi frá norðri til suðurs (um 5 km) og til vesturs náí hann a.m.k. að Brunná (um 2 km). Þykktin er óþekkt en ef gert er ráð fyrir að hún sé um 100 m, þá er stærð hans um 1 km³. Ef vatnsinnihald bergsins er 10-20%, sem verður að telja líklegt, ætti vatns-

magn í geyminum að vera 0,1-0,2 km³.

Sýni hafa verið efnagreind úr holum N-5 og N-6 (tafla 9). Nokkuð greindist af járn og mangan í vatni úr holu N-5, en skýringin kann að vera sú að rennsli var nánast ekkert úr holunni og því hafði vatnið staðið í fódurrörinu um nokkurn tíma.

Í október fóru fram allítarlegar vinnsluprófanir á ferskvatnskerfinu á Núpsmýri. Dagana 12.-19. okt. var hola N-6 dæluprófuð. Í um viku samfleytt var dælt úr holunni rúmum 34 l/s (15. mynd), en fyrir og eftir var dælt úr henni í stuttum þrepum. Þrepaðælingin gefur hugmynd um skammtíma afköst holunnar fyrir mismunandi dælingu. Vatnsborðið í lok hvers þreps er sýnt á 16. mynd ásamt reiknuðum ferli sem fellur best að mæligildunum. Þessir reikningar gefa til kynna að rennslistöp í holunni sjálfri vegna viðnáms frá holuveggjum eða fódringu auki töluvert á niðurdrátt í holunni við dælingu ($C = 0,00073 \text{ m}/(l/s)^2$). Út frá línulega hluta ferilsins má hins vegar áætla að vatnsleiðnin, T, við holu N-6 sé á bilinu 0,07-0,09 m²/s. Samkvæmt því verður niðurdráttur í holu N-6 við 40 l/s dælingu um 1,77 m og vatnsborð verður samkvæmt því á 2,66 m dýpi. Þar af valda rennslistöp í holunni 1,17 m vatnsborðslækkun, en niðurdráttur í vatnskerfinu sjálfu við holuna veldur aðeins 0,60 m vatnsborðslækkun.

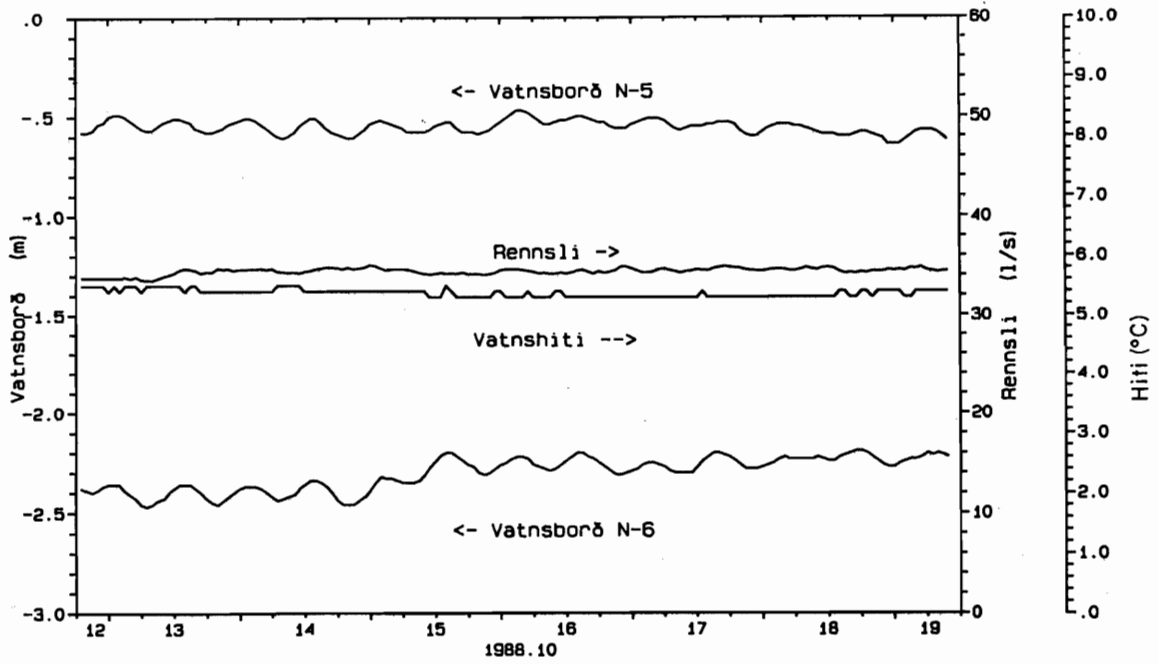
Það er erfitt að túlka einstök þrep í þrepaðælingunni vegna óstöðugleika í aflestri fyrir vatnsborð og dælingu. Þá dregur einnig úr dælingu með tíma í hverju þrepi. Í slíkum tilvikum er oft reiknaður svonefndur einingarniðurdráttur. Það var gert fyrir þessi gögn. Töluvert dreifing varð á niðurstöðunum en þó bentu þær til að vatnsleiðni við holu N-6 væri $T = 0,08 \text{ m}^2/\text{s}$ og vatnsrýmdin allt að $S = 2,6 \times 10^{-3}$. Í þessum reikningum er vatnsrýmdin þó illa ákvörðuð, þar sem hún getur breyst mikið án þess að það valdi breytingu í vatnsleiðni.

Á 15. mynd, sem sýnir langtímadælinguna, kemur fram að sjávarfalla gætir töluvert í holunum þó að fjarlægð þeirra frá sjó sé 1200-1500 m. Í holum N-5 og N-6 mælist sveifluhæðin um 9,2% af því sem hún er við ströndina og taftíminn er um 60 mínútur. Þegar hlutfallið milli vatnsleiðni og vatnsrýmdar (T/S) er reiknað út frá þessu fæst sitt hvor niðurstaðan eftir því hvort reiknað er út frá öldudempun eða taftíma. Til að samræma þetta þarf að gera ráð fyrir líkani þar sem vatnsleiðarinn er lokað lag sem nær vel inn undir sjávarbotninn. Stífni ofanálíggjandi jarðlaga og vatnsleiðarans valda því aukinni öldudempun umfram það sem yrði, ef vatnsleiðarinn væri í beinu þrýstisambandi við sjó. Fyrir þannig líkan virðast aðeins 15% af þrýstíáhrifum af völdum sjávarfalla (tidal efficiency) ná til vatnsleiðarans.

Að svo stöddu er ekki hægt að segja til um hvort vatnsborð lækki í holunum með tíma. Um er að ræða breytingar upp á nokkra sentimetra, en truflanir vegna sjávarfalla eru af sömu stærðargráðu. Þá varð einhver hreyfing á vatnsborðsnemum í holunum. Til að mynda er líklegt að kapall hafi vafist um dælurörið í holu N-6, svo að neminn lyftist. Í holu N-5 var nemnum hins vegar lyft og síðan sökkt aftur til að auðvelda skráningu mælinga. Í dælugögnunum (17. og 18. mynd) sést ótvírætt að dæling úr holu N-6 hefur áhrif á vatnsborð í holu N-5 og eins eru gögn sem sýna að dæling úr holu N-4, sunnan Núpsvatns, hefur áhrif á vatnsborð í holu N-2. Leitast var við að fella fræðilegt líkan að mæligögnum fyrir þessi víxláhrif á milli hola. Líkanið, sem féll best að þeim, gerir ráð fyrir víðáttumiklu einsleitu vatnskerfi, þar sem rennsli er takmarkað frá ofanálíggjandi jarðlögum til vatnskerfisins, en það hins vegar tengt sterkum veiti í ákveðinni fjarlægð (constant head boundary). Það vill segja að vatnsborðslækkun vegna vinnslu er horfin, þegar komið er í nálægð þessa sterka vatnsveitis, og hann veitir álíka miklu vatnsmagni inn í vatnskerfið og unnið er úr því. Út frá líkaninu má áætla að veitirinn sé um 500 m frá holu N-2 og 700 m frá N-5. Þetta bendir til að innstreymi kalds vatns inn á vinnslusvæði holanna sé suðaustan Núpsvatns. Niðurstöður líkansins gefa enn fremur til kynna að vatnsleiðnin milli hola N-2 og N-4 sé $T \approx 0,048 \text{ m}^2/\text{s}$ og vatnsrýmdin $S \approx 1 \times 10^{-4}$ (17. mynd). Líkanið gefur óvenjuháa leiðni, T, milli hola N-5 og N-6, eða á bilinu

JHD-BM-6702-Omar
89.01.0032 T

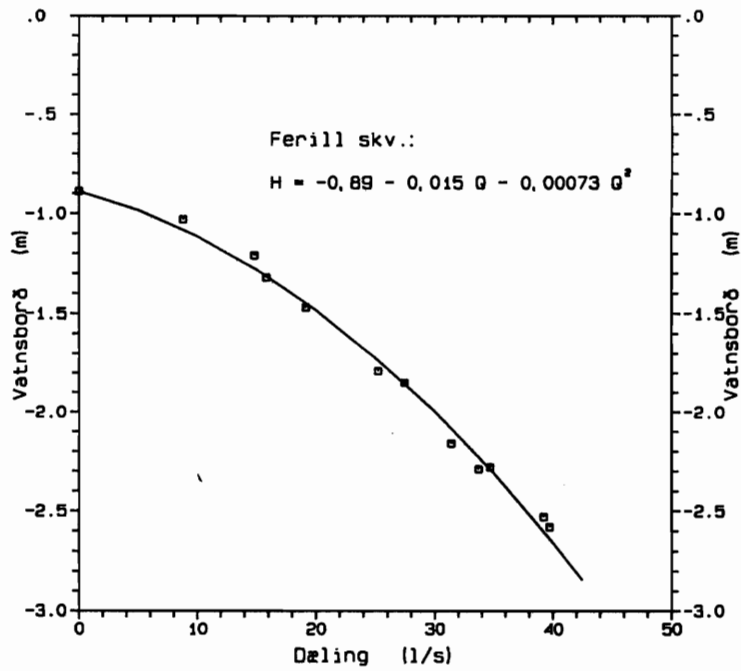
NÚPUR HOLA N-6



15. MYND: Vatnsborð í holum N-5 og N-6 við langtímadælingu úr holu N-6

JHD-BM-6702-Omar
89.01.0033 T

NÚPUR HOLA N-6



16. MYND: Þrepadæling úr holu N-6

0,32-0,45 m²/s, og vatnsrýmd, S, á bilinu 0,3-1,26 x 10⁻⁴ (18. mynd). Þetta er 4-8 sinnum hærri vatnsleiðni en telja verður líklegt meðaltal fyrir svæðið.

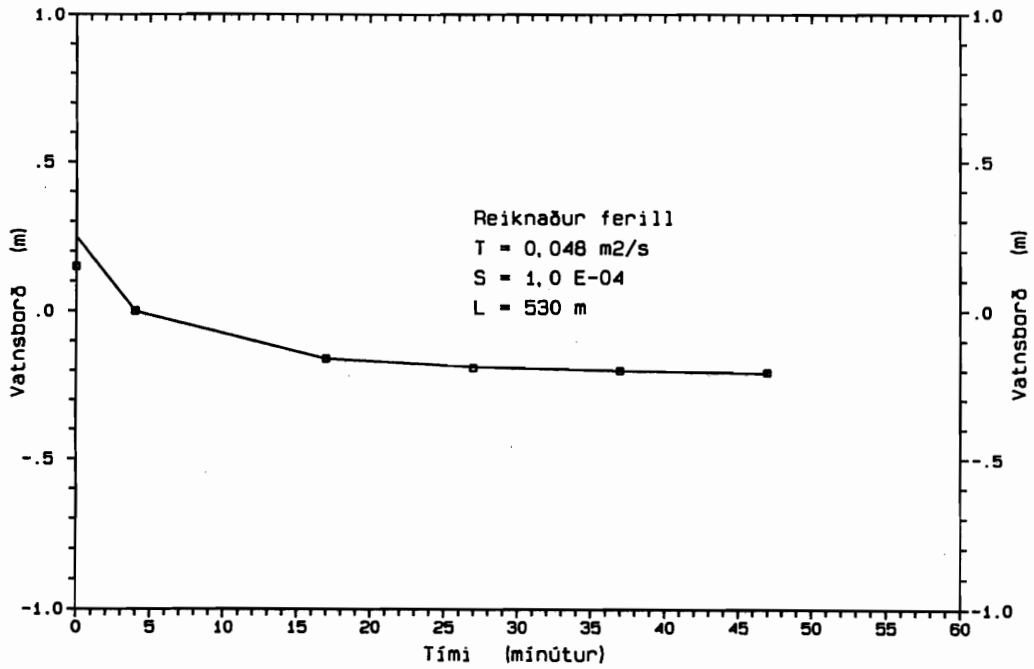
TAFLA 11: Viðbrögð ferskvatnskerfis við dælingu

Vinnsla l/s	Niðurdráttur í vatnskerfi m	Vatnsborð N-6 m
50	0,3	3,7
100	0,6	4,0
150	0,9	4,3
200	1,2	4,6
300	1,9	5,3
400	2,5	5,9

Í heild má segja að vatnsleiðni á vinnslusvæði ferskvatnsholanna sé mjög góð en nokkurar misleitni gætir eftir stefnum. Ekkert í fyrirliggjandi gögnum bendir til að aðstreymi sé á nokkurn hátt takmarkað að svæðinu. Því virðist hægt að vinna þarna mikið magn af köldu vatni með frekar litlum niðurdrætti. Vegna rennslistapa í holunum er niðurdráttur í þeim þó nokkru meiri en í vatnskerfinu sjálfu. Æskileg fjarlægð milli vinnsluhola er um 100 m. Sé miðað við þá fjarlægð gefur tafla 11 grófa hugmynd um niðurdrátt í vatnkerfinu fyrir mismikla vinnslu, og dýpi á vatnsborð í holu N-6 þegar rennslistöp eru tekin með. Gert er ráð fyrir að 50 l/s sé dælt úr holu N-6.

JHD-BM-6702-Omar
89.01.0034 T

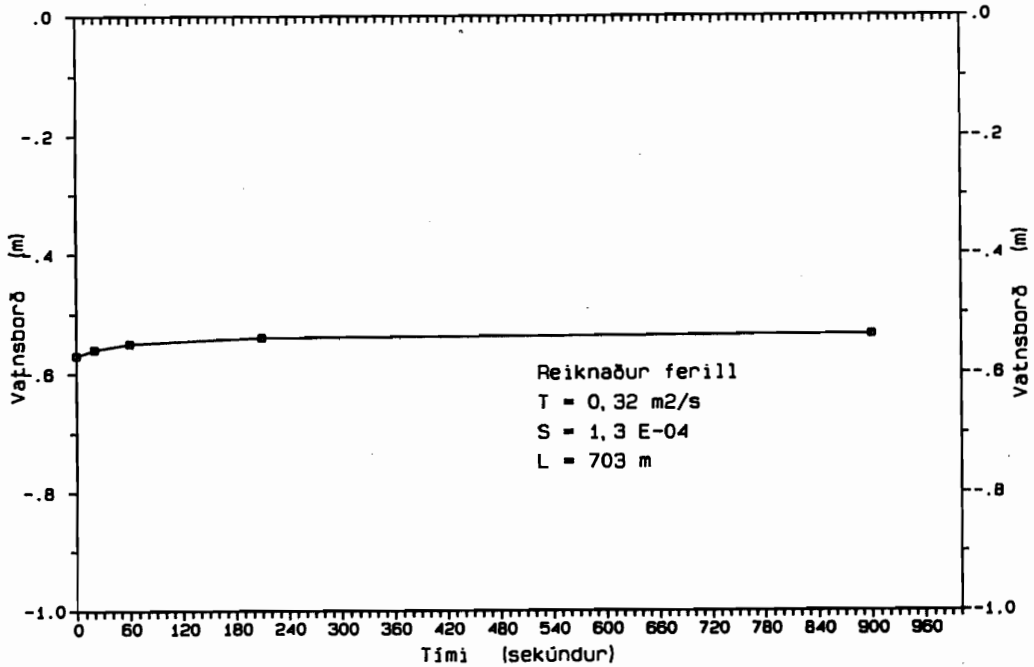
NÚPUR HOLA N-2



17. MYND: Breyting vatnsborðs í holu N-2 við loftdælingu úr holu N-4

JHD-BM-6702-Omar
89.01.0035 T

NÚPUR HOLA N-5



18. MYND: Vatnsborðshækkun í holu N-5 eftir að hætt var að loftdæla úr holu N-6

5. JARÐHITABORANIR

5.1 Jarðhitasvæðin í Öxarfirði

Orkustofnun hefur staðið að all umfangsmiklum yfirborðsrannsóknum á jarðhita í Öxarfirði. Upphaf þeirra var á miðjum síðasta áratugi, en síðan hefur þráðurinn tvisvar verið tekinn upp aftur. Skýrsla um niðurstöður þessara rannsókna er í auglýsingu, svo að ástæðulaust er að að fjalla hér ítarlega um jarðhitann. Hér á eftir verður þó gefið örstutt yfirlit um jarðhitasvæðin og niðurstöður viðnámsmælinga.

Öxarfjarðarhérað er á norðurenda gosbeltisins. Um það liggja þrjú sprungubelti, sem öll tengjast virkum eldstöðvarkerfum (1. mynd). Yfirborðseldvirkni virðist þó ekki ná niður á láglandið. Engu að síður ráða þessi sprungubelti miklu um uppruna og dreifingu jarðhitans í héraðinu og reyndar um allt grunnvatnsstreymi. Niðri á láglandi finnst víða jarðhiti á yfirborði, allt frá Skeiðsöxl á Tjörnesi í vestri til Klifshaga í austri. Hér er bæði um að ræða sjálfstæð hitasvæði og volgt lindavatn sem að uppistöðu er kalt grunnvatn sem blandast hefur afrennslisvatni frá hitasvæðum inni á heiðum.

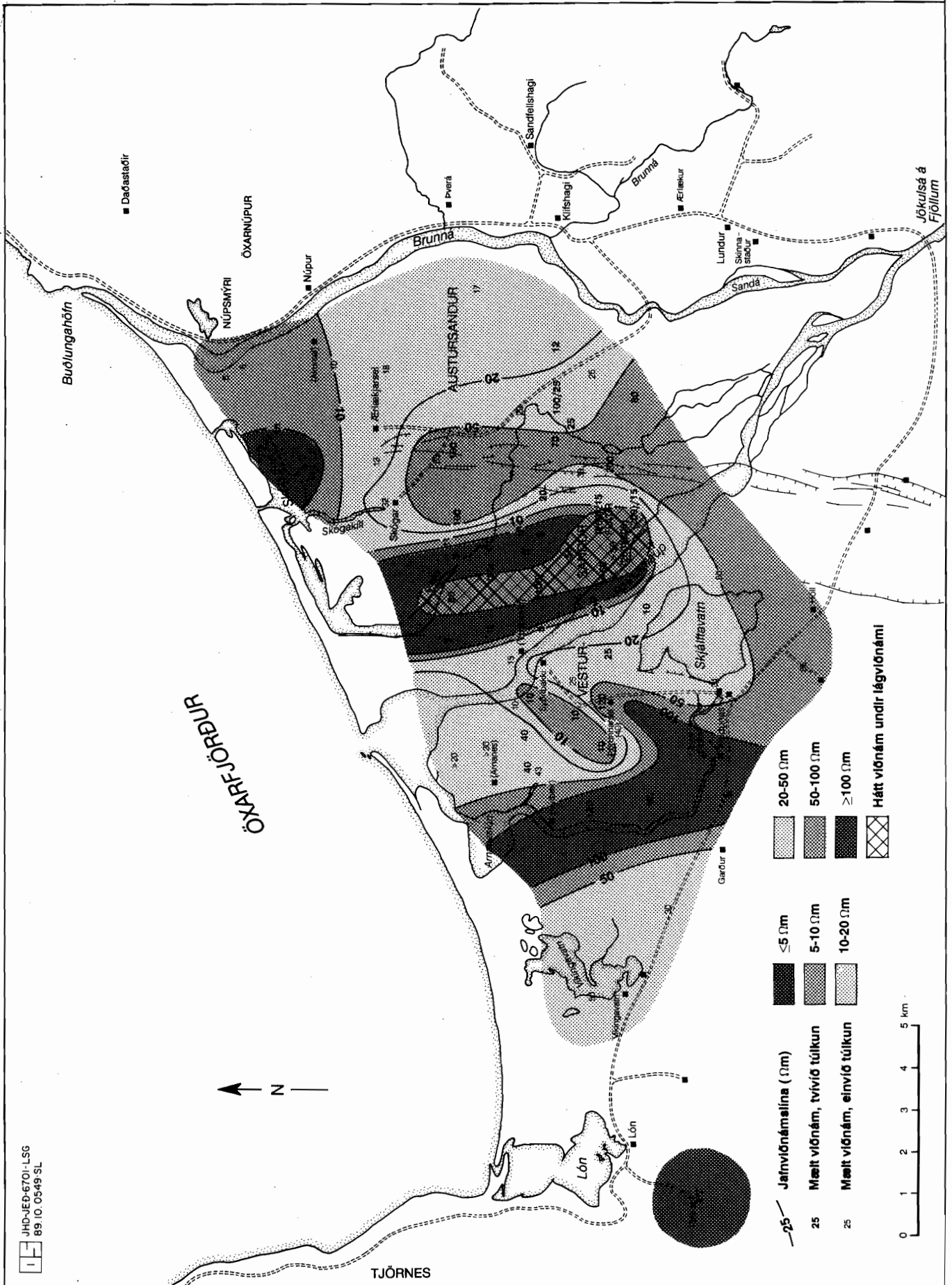
Öflugustu hitasvæðin (1. mynd) eru innan Kröflusprungubeltisins. Í byggð er mestur hiti á yfirborði við Skógalón (100°C), á austurbakka Bakkahlaups (82°C) og við Skóga eða réttara Skógakíl (94°C), en nokkra velgju má finna á þremur stöðum í viðbót á þessum slóðum. Inni á heiðum, í Gjástykki, eru víða hitur. Þarna, á mörkum Norður- og Suður-Pingeyjarsýslu, er talið vera háhitasvæði. Næsta lítið er vitað um það enda ekkert verið rannsakað. Í Keldunesi kemur hins vegar fram mikið af volgu lindarvatni í gjám og uppsprettum við hraunbrúnina. Þar er auðsæilega á ferðinni grunnvatn sem komist hefur í snertingu við eða blandast afrennslisvatni frá jarðhitunum í Gjástykki.

Í Lóni, þar sem Þeistareykjasprungubeltið kemur niður á láglandi, sprettur einnig fram feiknamikið af volgu vatni í gjám og lindum. Trúlega er þetta afrennslitraumur frá háhitasvæðinu á Þeistareykjum. Þá hefur fundist töluverður jarðhiti í Ytra-Lóni nærri ströndinni, en ekki er enn ljóst hvers eðlis hann er. Heimildir eru um 82°C hita þarna, en nú mælist þar mest 50°C. Loks verður að nefna laugar í Skeiðsöxl á Tjörnesi, en þar hefur fundist allt að 49°C hiti. Sá hiti verður þó traudla nýttur vegna aðstæðna.

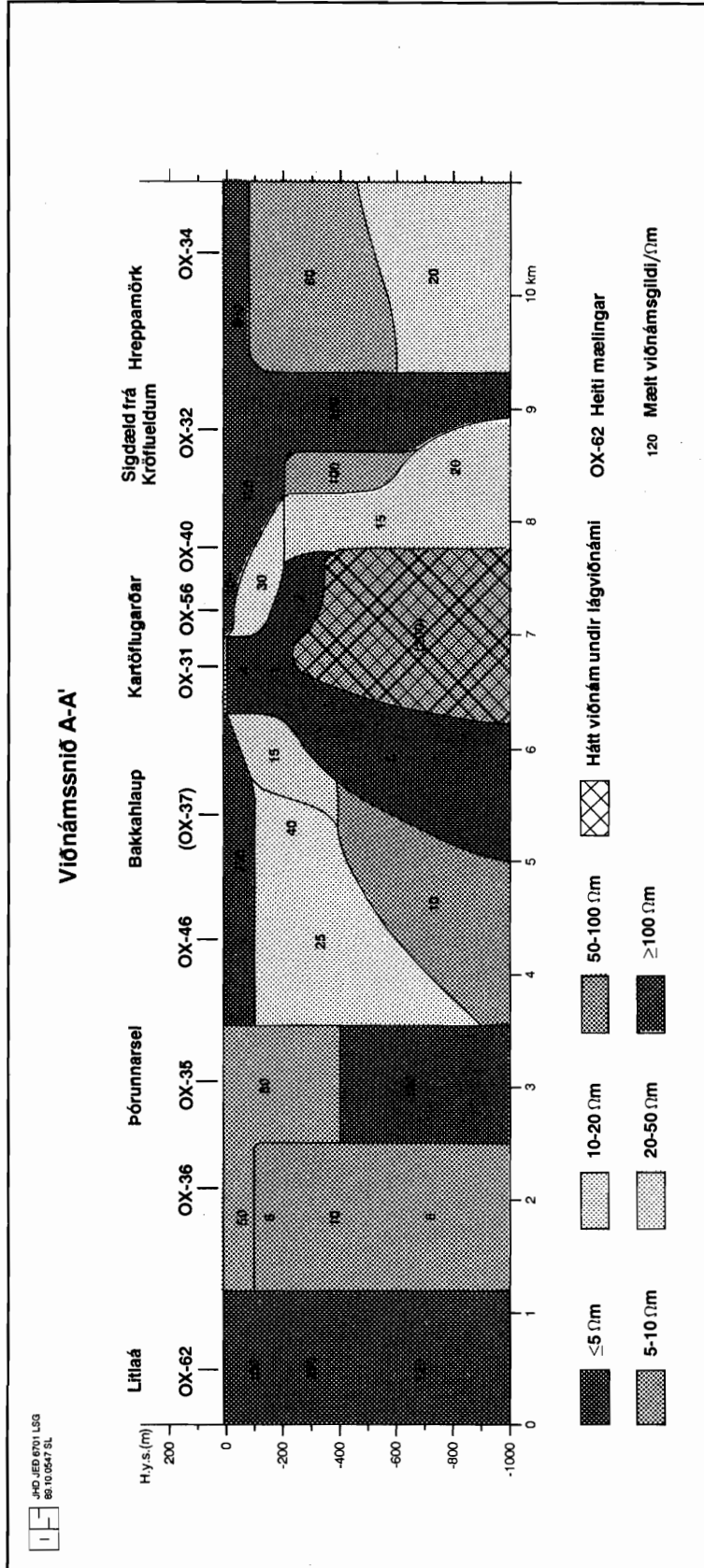
Utan sprungubelta er hiti á tveimur stöðum. Í Kílfarvegi í landi Arnaness kemur upp töluvert af 35°C heitu vatni. Þá eru tvær volgrur á austurbakka Brunnár í landi Klifshaga, 12-19°C heitar. Við þetta má svo bæta 36°C heita vatninu sem kom upp við boranir á Núpsmýri en þar var ekki jarðhiti á yfirborði.

Af yfirborðsrannsóknum á jarðhita verður að geta viðnámsmælinga og efnagreininga á jarðhitavatni auk kortlagningar hitasvæðanna. Nokkuð var viðnámsmælt þarna á árunum 1973-1977 og svo aftur 1984. Frekari mælingar voru svo gerðar 1987 og voru þær þáttur í því verkefni sem hér er fjallað um. Helsti tilgangur þeirra var að afmarka hitasvæðin betur en áður hafði tekist, einkum til norðurs. Á 19. mynd er sýnt eðlisviðnám í Öxarfirði á 500 m dýpi undir sjávarmáli og á 20. mynd er viðnámsnið þvert yfir hitasvæðið á austurbakka Bakkahlaups. Niðurstöðurnar gefa eindregið til kynna að þarna, í miðju Kröflusprungubeltinu, sé öflugt hitasvæði og að öllum líkindum háhitasvæði. Svæðið virðist vera a.m.k. 10 km² stórt, en norðurmörkin eru ekki þekkt. Virkasti hlutinn er syðst þar sem jarðhiti er mestur á yfirborði. Efnagreiningar á jarðhitavökvanum hafa ekki gefið óyggjandi svör um hita í djúpkerfinu en líklegt verður að telja að hann sé yfir 200°C (sbr. einnig niðurstöður borunar holu B-1).

Hitasvæðið við Skógalón (21. mynd) kemur einnig mjög skýrt fram í mælingunum og virðist líka öflugt. Ekki var þó hægt að mæla þar sem skyldi vegna lónsins og nálægðar sjávar. Efnagreiningar gefa til kynna að djúphiti þar sé a.m.k. 130°C. Við Skóga er djúphiti um eða



19. MYND: Eðlisviðnám bergs í Öxarfirði á 500 m dýpi undir sjávarmáli

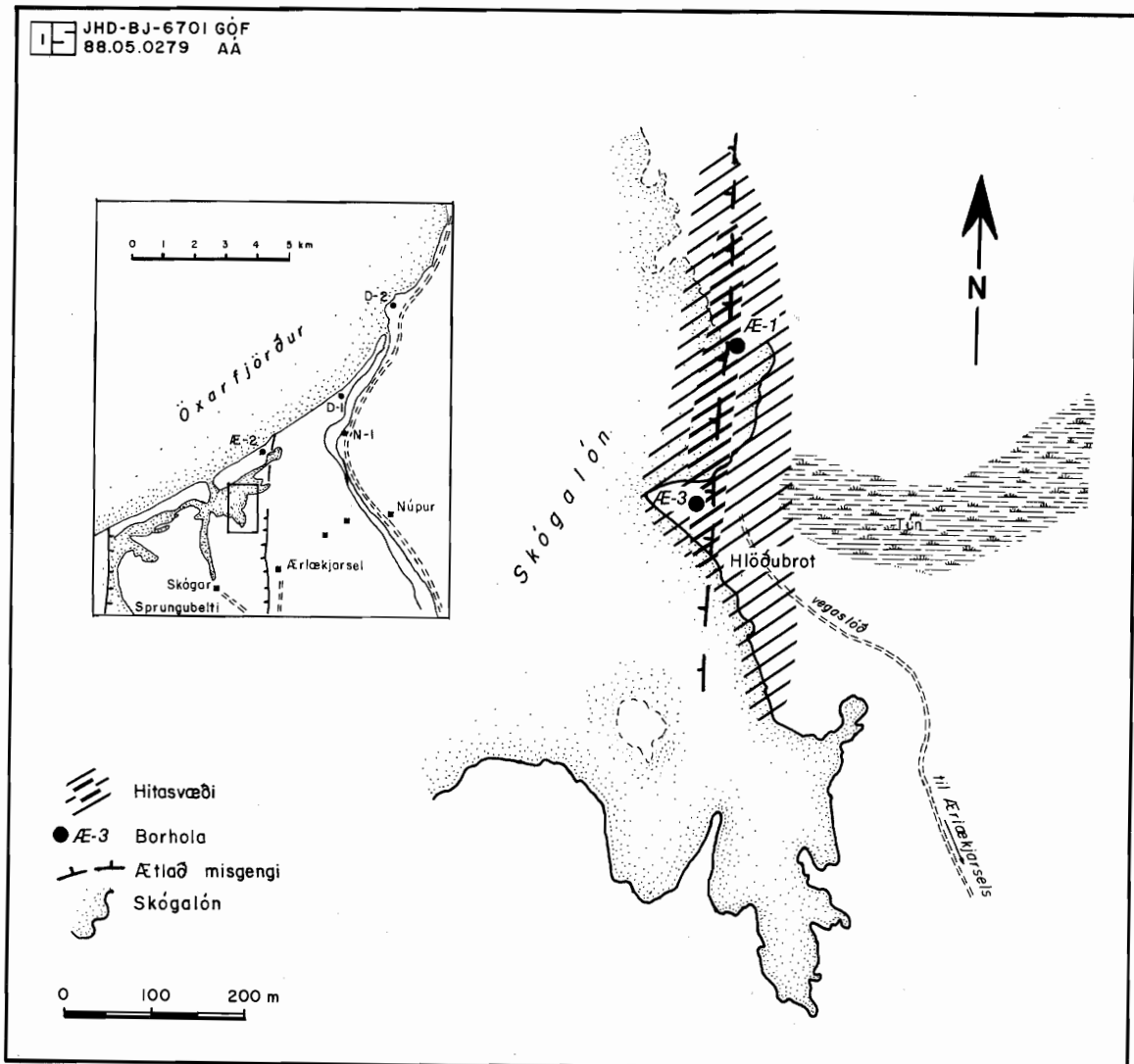


20. MYND: Viðnámssnið A-A' sem liggur A-V, þvert yfir hitasæðið á austurbakka Bakkahlaups

yfir 120°C, en jarðhitinn þar virðist ná yfir mun þrengra svæði.

Niðurstöður þyngdar- og jarðsveiflumælinga gefa til kynna að setlagastaflinn sé um eða yfir 1000 m þykkur nærri ströndinni innan Kröflusprungubeltisins. Samkvæmt því eru hita-svæðin úti á söndunum einstök á Íslandi, því að allur annar jarðhiti kemur upp í berglagastafla ef frá eru talin þunn yfirborðslög.

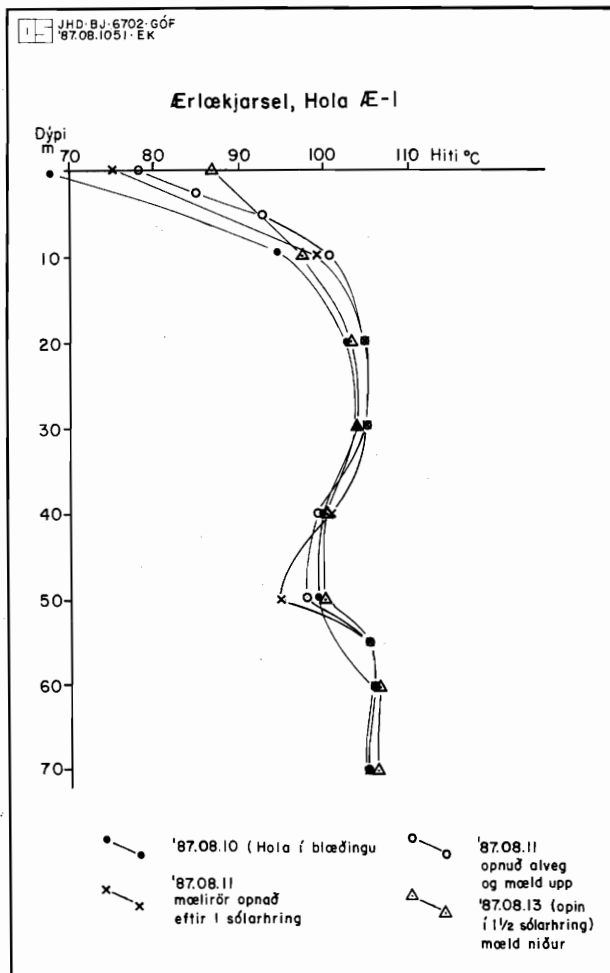
Annars staðar ber jarðhitavatn einkenni blöndunar við kalt grunnvatn. Sjávaráhrifa gætir í efnasamsetningu heita vatnsins, og er seltan mest úti við ströndina en minnkar er fjær dregur sjó.



21. MYND: Hitasvæðið við Skógalón og staðsetning borhola

5.2 Hóla Æ-1 við Skógalón

Hóla Æ-1, sem var boruð í hverasvæðið við Skógalón, var fyrsta rannsóknarholan á svæðinu. Hún var boruð beint í hverasprunguna á austurströnd Skógalóns, rétt ofan vatnsborðs lónsins eins og það er að sumarlagi (21. mynd). Þegar ósar lokast á veturna er holustæðið hins vegar á um 1 m dýpi í lóninu. Heimamenn byrjuðu á því að dæla 10" fóðringu niður á 23 m dýpi. Borverk með Loka hófst 30. júní 1987 og lauk ekki fyrr en 17. júlí. Undirbúningur reyndist tafsamur því að borinn kom vanbúinn á staðinn. Borun gekk sömuleiðis hægt og fóðrun illa. Allt hafðist þetta þó að lokum. Holan var boruð í 71 m og fóðruð með 5 1/2" rörum í 69 m. Þar af voru neðstu 30 m raufaðir. Að lokum var hún skoluð í botn.



22. MYND: Hitamælingar í holu Æ-1 við Skógalón

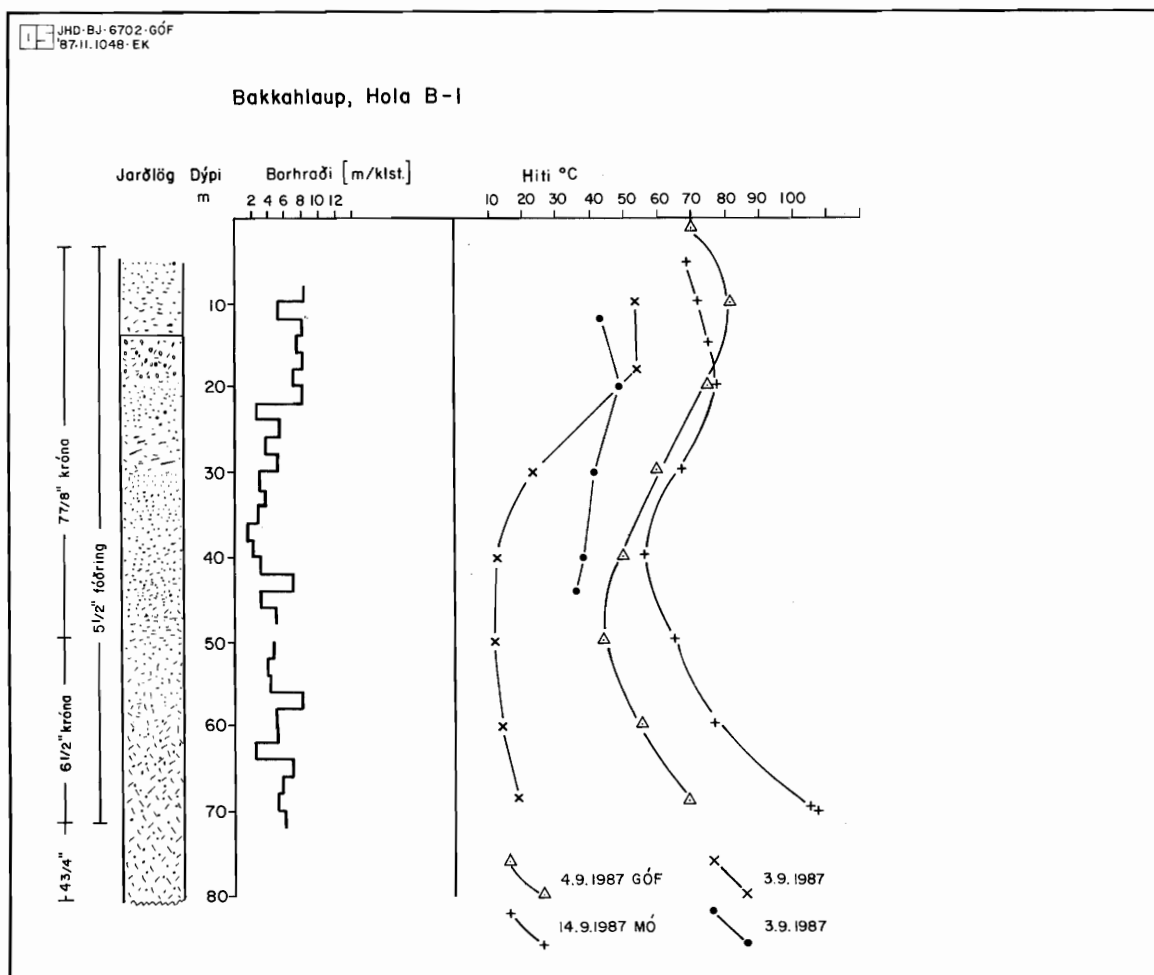
Holan fór fljótlega í sjálfrennsli en fylltist af sandi upp á 40 m dýpi, á móts við efri enda raufaða kaflans. Hvað þetta gerðist snögglega mátti rekja til of breiðra raufa á fóðringu. Sú reynsla, sem síðar fékkst úr sjávarholunni Æ-2, sýndi þó að ekki dugði heldur að nota grannar raufar. Sandurinn komst samt inn. Gert var við holuna í lok júlí. Niður í hana var slakað snittuðum 2" rörum með traktorsgröfu. Neðan 40 m dýpis var þeim dælt niður og holan jafnframt hreinsuð niður í botn. Reynt var að hafa neðstu 12 m raufaða, en það gekk ekki. Þá var grófri harpaðri mól hellt niður með 2" rörinu svo að ytri fóðringin fylltist ekki af sandi aftur. Með þessum frágangi var hægt að hitamæla holuna í botn, og dæla lofti niður í 2" rörið til að koma henni í blástur svo að taka mætti sýni af djúpvatni.

Borsvarfi var ekki safnað svo að upplýsingar um jarðlög eru byggðar á borskýrslu. Þar kemur fram að sandur nær niður á 55 m dýpi en þar fyrir neðan er sandsteinn. Á hitamælingunum (22. mynd) má sjá að botnhiti er um 107°C. Jafnframt kemur fram kæling á 50 m dýpi nærri mótum lausa sandsins og sandsteinsins.

Holan var tvívegis loftdæld í stuttan tíma og tvö sýni tekin til efnagreininga. Í dælingu fór hún í gos, sem hélst í um 15 mín. eftir að loftdælingu lauk. Járn- og manganmagn vatnsins er svo lágt, að það er vart mælanlegt og seltan er um 4,5‰ (tafla 12). Nánar verður fjallað um efnainnihald þess í kaflanum um holu Æ-3.

5.3 HOLA B-1 VIÐ BAKKAHLAUP

Fyrsta og eina holan í jarðhitasvæðið við Bakkahlaup var boruð í byrjun september 1987 og var þetta síðasta holan sem boruð var það sumar. Þegar hér var komið sögu var fjárskortur farinn að segja til sín og því var ákveðið að forbora holuna eingöngu. Holan er í lægð skammt frá Bakkahlaupi (1. mynd). Hún var boruð niður á 72 m dýpi og 5 1/2" fóðring steyp t í botn. Síðan var holan boruð áfram í 81 m. Borun og fóðrun gekk vel og tók aðeins 5 verk-daga, þ.e. frá 1. til 5. september.



23. MYND: Jarðlög og hitamælingar í holu B-1 á hitasvæðinu við Bakkahlaup

Holan var öll boruð í mjög ummyndaðan, túffríkan, fínkornóttan sand (23. mynd). Sandurinn er rækilega samlímdur af ummyndun og holuveggir standa það vel að ekki þurfti að nota gel við borunina. Ummyndun bergsins er fyrna mikil og samanstendur að mestu af leir, og nokkrum gerðum zeólíta. Svipaðar ummyndunarsteindir finnast nærri yfirborði í íslenskum háhitasvæðum, meðan hiti er undir 120°C. Reyndar má einnig finna flestar þeirra á lághitasvæðum, en ekki í slíku magni sem hér um ræðir. Ólíklegt verður því að teljast að nokkuð annað en háhitavirkni hafi getað valdið ummynduninni.

Holan var hitamæld nokkrum sinnum. Þegar mælt var 10 dögum eftir borlok hafði neðsti hluti hennar lagst saman, en botnhiti á 71 m dýpi reyndist vera 107°C (23. mynd). Sá hiti er reyndar nær hinn sami og mælist á sama dýpi í holu Æ-1 og svæðin því lík hvað hita á 70 m dýpi áhrærir.

Djúpsýni var tekið úr holunni en reyndist mengað, líklega af sápu sem notuð var við borun, og er efnagreining þess marklaus.

5.4 HOLA Æ-3 VIÐ SKÓGALÓN

Hola Æ-3 var staðsett á litlum tanga út í Skógalón um 30 m vestan við ætlaða hverasprungu og rúma 100 m sunnan við holu Æ-1 (21. mynd). Eins og fram kemur í verklýsingu (Sverrir Þórhallsson o.fl. 1988), þá var ætlunin að bora niður á um 500 m dýpi, þar af yrði holan fóðruð niður á 120-200 m dýpi. Búist var við lausum sandi niður á rúmlega 50 m dýpi en þar fyrir neðan setlögum, svo sem sandsteini, leir eða sjávarseti. Áður en borun hófst höfðu heimamenn dælt 14" fóðringu niður, eins djúpt og þeir gátu. Ætlunin hafði verið að koma rörlinu niður á fast eða því sem næst, þ.e. niður á um 50 m dýpi, en rörið stoppaði á hörðum leirlinsum á 30 m dýpi og varð ekki komið neðar þrátt fyrir margar tilraunir. Gengið hafði verið frá kjallara og var hann smíðaður úr gömlum símastaurum. Sömuleiðis höfðu verið lagðir símastaurar í borplanið til að styrkja það. Loks hafði verið lagður um 2 km langur vegur frá Ærlækjarseli út að Skógalóni.

Holan var boruð með jarðbornum Glaumi frá Jarðborunum hf og kom hann á staðinn þann 20. júlí 1988, en borun hófst þó ekki fyrr en 26. júlí. Unnið var á vöktum og var ætlunin að halda því áfram þangað til búíð væri að fóðra. Borað var með geli og 12 1/4" hjólakrónu með tvo 12 1/4" rýmara niður úr yfirborðsfóðringunni. Sandurinn tók að harðna á 54 m dýpi og þar fyrir neðan var borað í gegnum misharðan sandstein. Klukkan hálfimm að morgni þann 27. júlí, þegar borinn var kominn niður á 136 m dýpi, lenti hann í vatnsæð og tapaðist borleðjan út í æðina, svo að efsti hluti holunnar neðan fóðringar féll saman. Við það tók yfirborðsfóðring að síga og síðan sandurinn í kringum kjallarann og loks kjallarinn sjálfur. Við þetta festist borstrengurinn og borinn sjálfur stóð uppi á nokkrum símastaurum. Þetta leit "hálf illa út", eins og segir í borskýrslunni (Jarðboranir hf 1988).

Eftir að borinn hafði verið færður af holunni hófust björgunaraðgerðir. Ofan á festuna bættist að veðurfar var mjög slæmt þessa daga, svo að elstu menn mundu ekki slíka sumarúrkomu. Við það hækkaði mjög í lóninu og vegurinn út að Skógalóni varð ófær flestum bílum og tafði þetta hvort tveggja fyrir björgunaraðgerðum. Byrjað var á að reyna að laga kjallarann, sem var illa missiginn. Það tókst ekki svo að byggt var ofan á lægri hliðarnar til bráðabirgða. Eftir það var borinn settur aftur á holuna. Þegar tekið var á borstrengnum var hægt að snúa honum en ekki hægt að þoka honum upp. Þá var farið í að leita að enda á yfirborðsfóðringu og fannst hann á 4-4,1 m dýpi. Að því loknu var farið í helgarfrí að kvöldi 29. júlí. Meðan bor-menn voru í helgarfrí var vegur lagfærður. Á erfiðustu köflunum var notaður jarðvegsdúkur og gafst það vel.

Eftir helgarfrí var aðeins unnið á einni vakt. Vinna hófst aftur 2. ágúst og var fyrsta verkefnið að ná tókum á yfirborðsfóðringunni. Reynt var að þræða 16" rör utan yfir hana og berja það fast en það tókst ekki. Þá var dæminu snúið við og reynt að reka 13 3/8" rör inn í fóðringuna. Eftir nokkurt bras tókst þetta, rörið gekk 2,27 m inn og festist kirfilega. Þar með var fyrsta vandamálið leyst og kominn 4. ágúst. Næsti áfangi var að bora niður með borstrengnum til þess að losa eitthvað um hann. Farið var með 5 7/8" krónu niður og byrjað á að hreinsa yfirborðsfóðringu, sem náði nú niður á 34 m dýpi. Að því loknu var borað áfram með leðju niður á 98 m dýpi, en þar stíflaðist krónan og því var tekið upp. Þá var tekið á fasta borstrengnum. Leðju var dælt niður en ekki náðist snúningur í fyrstu. Hann náðist þó smám saman og með því að dæla lofti niður ásamt leðjunni fór borstrengurinn að mjakast upp. Um miðja nótt var búið að taka upp 3 stengur, krónan var nú á 114 m dýpi og erfiðasti hjallinn að baki. Daginn eftir, þann 6. ágúst, var haldið áfram að taka upp. Fyrstu metrarnir voru erfiðir en um kvöldmatarleytið var krónan komin upp í 53 m og festan að baki.

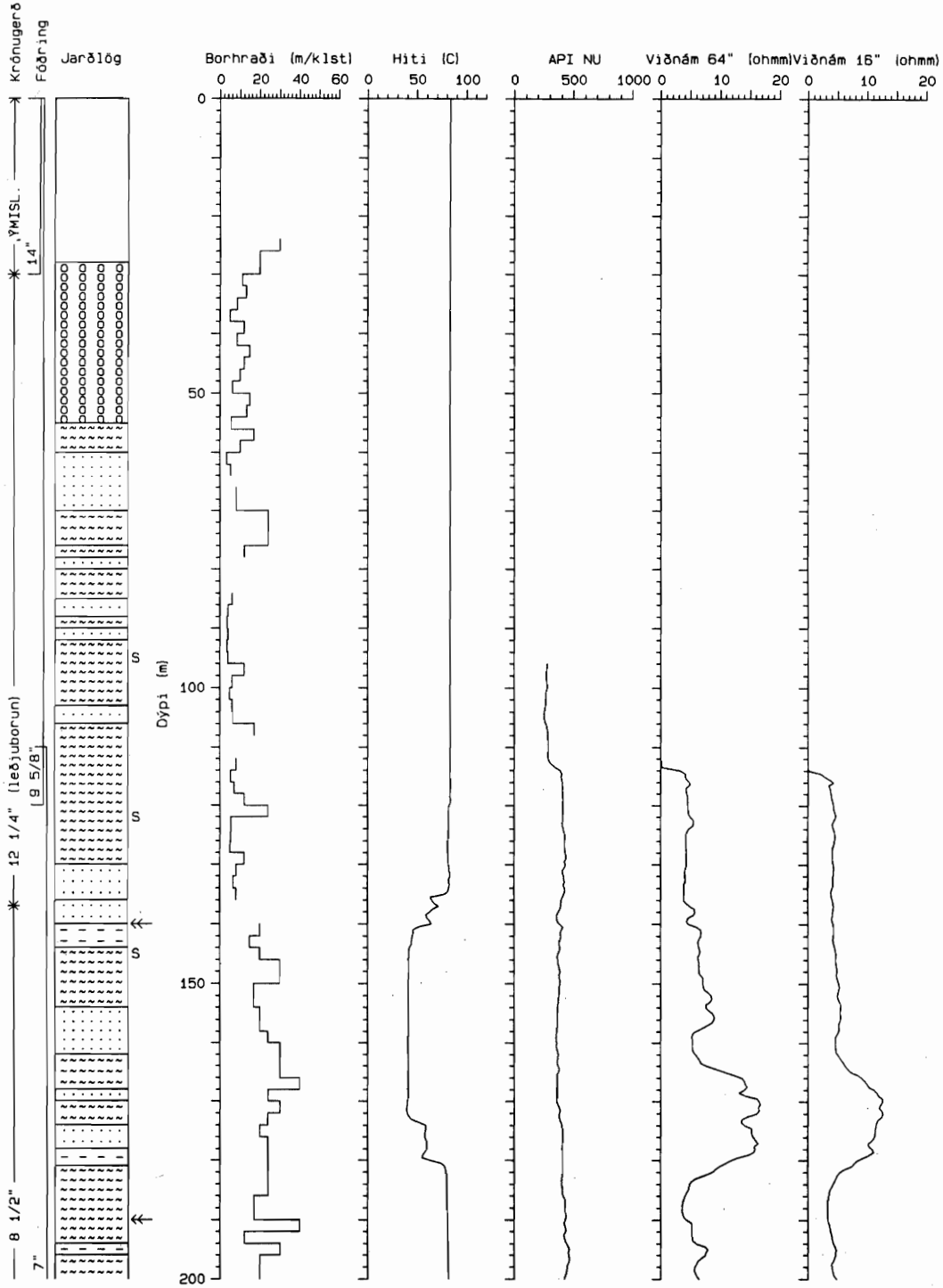
Þann 7. ágúst var farið að undirbúa fóðrun. Fyrst var holan hreinsuð og rýmuð niður á 119 m dýpi en neðan þess virtist hún þétt. Hún var síðan fóðruð með 9 5/8" rörum niður í 119 m. Fóðrun var tafsöm, þar sem rörin voru í lengra lagi fyrir borinn, en gekk vandræðalaust. Að því loknu var steyp t úr 160 sementspokum. Steypunni var dælt á holutoppinn og 4200 l af vatni á eftir. Þessu lauk að kvöldi 9. ágúst. Þar með var holan talin tilbúin til frekari borunar.

Næstu dagar fóru í að lagfæra kjallara og styrkja borplan. Kjallarinn var fullur af sandi og geli. Nú var lagt frá honum nýtt frárennsli og hann styrktur með plönkum og staurum og loks klæddur með krossviði til að fá hann þéttan. Staurar og fóðurrör voru lögð í planið til að styrkja það. Þann 12. ágúst að þessu loknu var farið í helgarfrí. Vinna hófst að nýju 16. ágúst og var byrjað á að ganga frá holutoppi og undirbúið fyrir áframhaldandi borun. Sprungið millistykki milli öryggisloka og holuloka og breytingar á rýmara töfðu þó borun um 1 dag í viðbót. Þann 18. ágúst var steypan boruð út. Við þrýstiprófun kom í ljós að steypan hélt ekki alveg og því var ákveðið að steypa úr 36 pokum til viðbótar. Daginn eftir var borað niður úr steypunni og holan hreinsuð með vatni niður í botn á 136 m dýpi. Þar hvarf skolvatn smástund en kom fljótt aftur. Borun var síðan haldið áfram og var borað niður á 217 m dýpi um kvöldið. Stórar vatnsæðar komu inn á um 140 m dýpi. Um kvöldið að lokinni borun var sjálfrennsli um 15 l/s og náði vatnið fljótlega nálega 100°C hita. Daginn eftir, þ.e. 20. ágúst, var borun haldið áfram og gekk nú allt að óskum. Borað var niður á 322 m dýpi og voru þessir 105 m boraðir á tæplega 8 tímum. Jarðlög voru lengst af leir og mishörð setlög. Um kvöldið var holan hita- og rennslismæld. Sjálfrennsli var komið í 37 l/s af um 84°C heitu vatni. Við smá mótþrýsting hitnaði vatnið enn frekar. Næsti dagur fór í jarðlagamælingar. Ákveðið var að bora ekki dýpra, enda leyfði fjárhagur það ekki og árangur þegar orðinn mjög góður. Aukakostnaður af festunni var um 2 milljónir króna og lítið svigrúm til að mæta slíku áfalli, þar sem verkefnið var á lokastigi. Til að tryggja holuna fyrir frekari áföllum var ákveðið að setja í hana 7" raufaðan leiðara. Leiðarinn stendur á holubotni og nær upp á 95 m dýpi, þ.e. 24 m upp í vinnslufóðringu. Niðursetning leiðarans ásamt frágangi á holutoppi tók tvo verkdaga. Að morgni 24. ágúst var farið að taka saman og flytja bordótið af sandinum og þar með var borun lokið.

Hola Æ-3 var ekki dæluprófuð í borlok til að meta vatnsgæfni, eins og algengt er. Fyrir því lágu fleiri en ein ástæða. Holan var í sjálfrennsli. Með tilliti til þeirra jarðlaga, sem hún sker, og dýpt fóðringar þótti lítið svigrúm til að setja þrýstiálag á hana með ádælingu. Þá var og talið að hiti í vatnsæðum í vinnsluhluta væri vel yfir 100°C, þannig að hætta væri á að við loftdælingu myndast súða í henni og hún færi í gos. Loks er óæskilegt að hafa mælitæki lengi í svo heitri holu og jafnframt erfitt að athafna sig við hana ef hún er í gosi. Því var ákveðið að rennslismæla holuna síðar með rennsliskari, gufuskilju og þrýstimæli á holutoppi.

JHD-JFR/BM-6702-60F/HS
89.10.0493/1 T

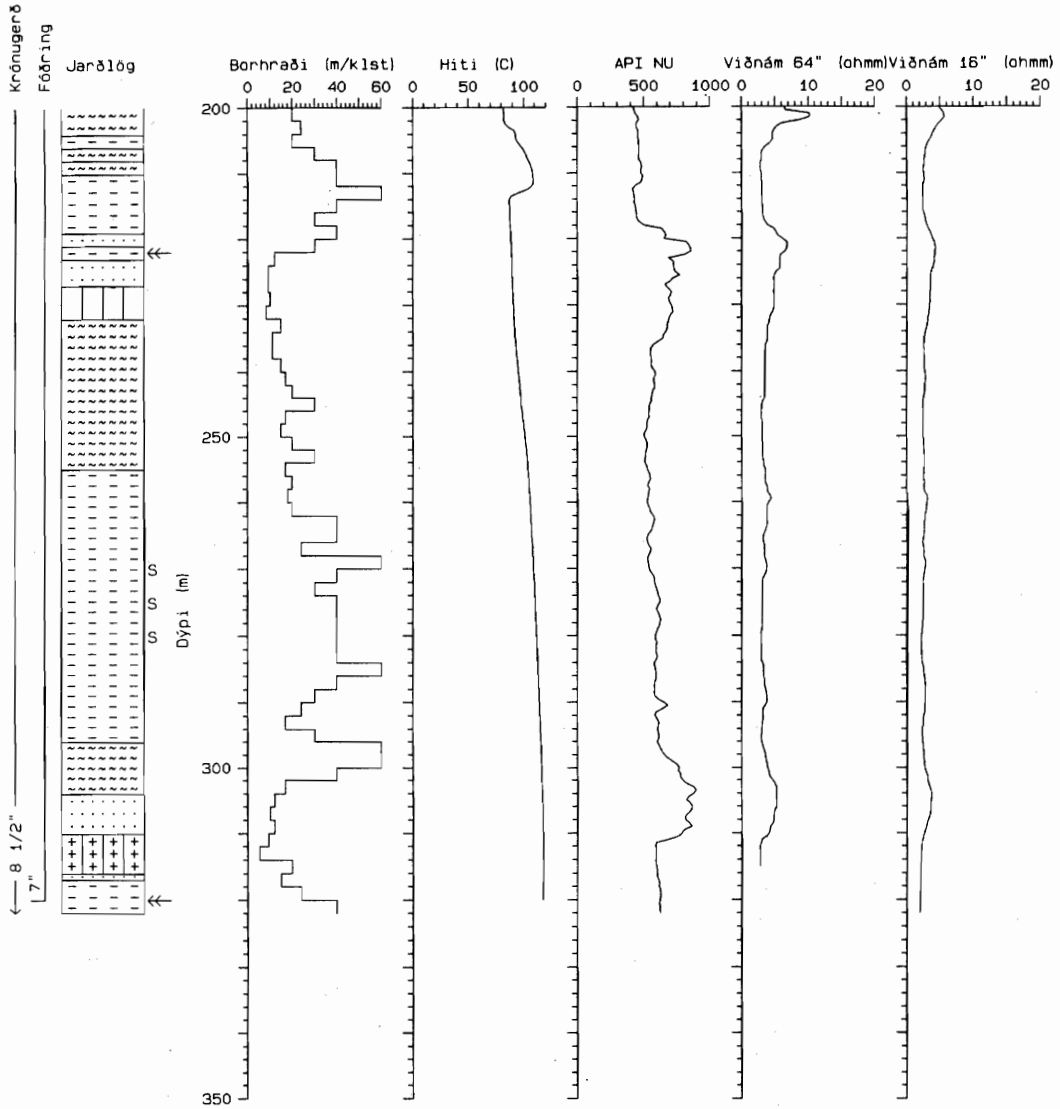
ÆRLÆKJARSEL HOLA Æ-3 JARÐLÖG OG MÆLINGAR










24. MYND: Jarðlög og jarðlagamælingar í holu Æ-3 við Skógalón

JHD-JFR/BM-6702-GOF/HS
89.10.0493/2 T

ÆRLÆKJARSEL HOLA Æ-3 JARÐLÖG OG MÆLINGAR



Skýringar við jarðlagasnið

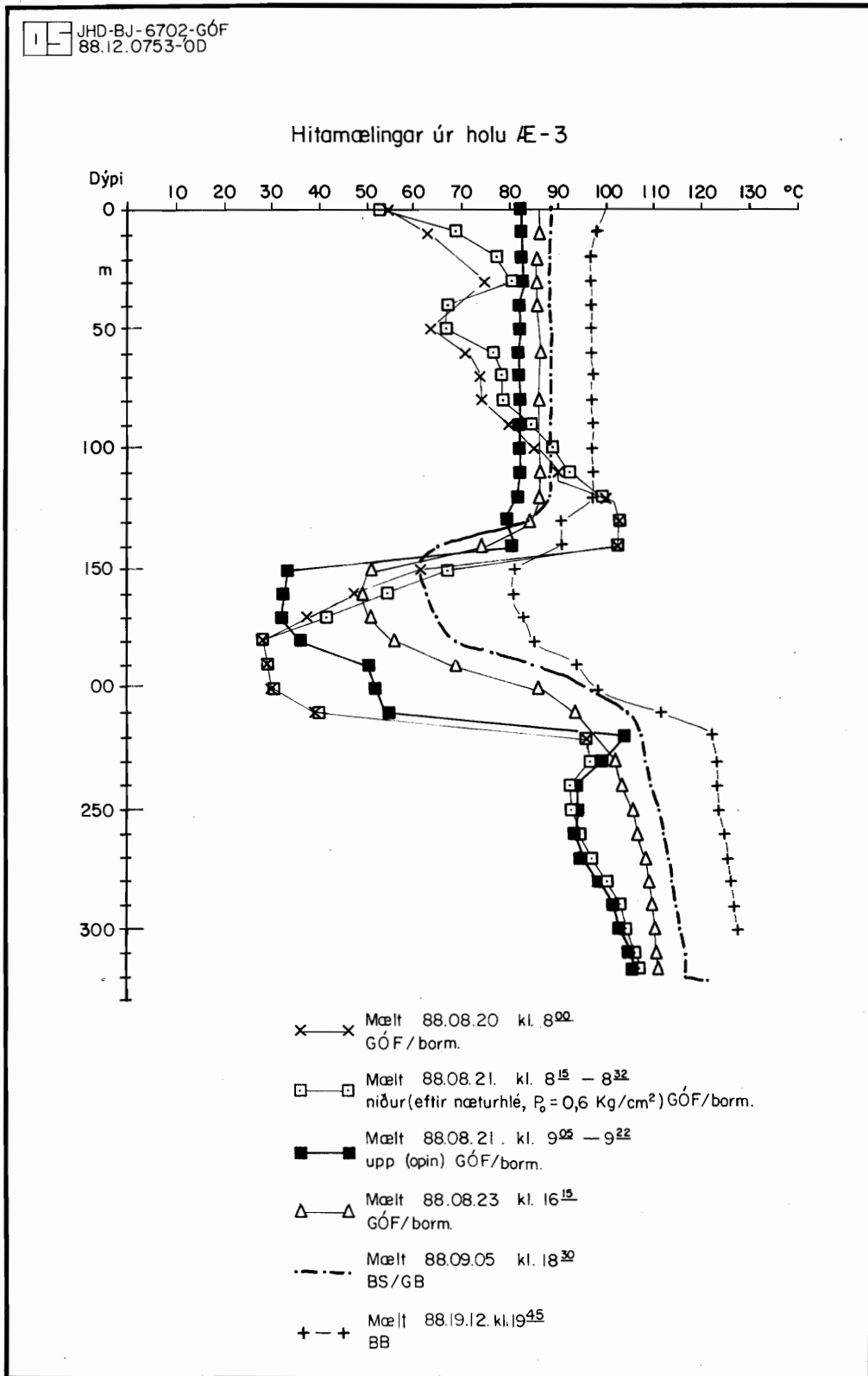
- | | | | |
|---|---------------------------------|---|---------------|
|  | Ummyndað fin-meðalkorna basalt |  | Sjávarset |
|  | Ummyndað meðal-grófkorna basalt |  | Svarf vantar |
|  | Fínkornótt set |  | Leirsteinn |
|  | Grófkornótt set | S | Skeljaleg |
| | | ← | Meðal vatnsáð |

Vinnsluhluti holunnar var jarðlagamældur strax eftir borun og eru niðurstöður mælinganna ásamt borhraða sýndar til hliðar við jarðlagasniðið á 24. mynd. Jarðlög í holu Æ-3 hafa enn aðeins verið frumgreind og var það gert meðan á borun stóð. Sýni af borsvarfi voru skoluð í vatni og skoðuð í smásjá. Svarfið var svo grófflokkað í mismunandi jarðlög eftir samlímingu og minnkandi kornastærð, í sand, sandstein, siltstein og leirstein. Engin hefð er hérlendis í svarfgreiningu setlaga og hér er aðeins um frumgreiningar að ræða sem hefur ekki verið dýptarleiðrétt vegna taftíma skolvatnsins. Því gætu niðurstöðurnar breyst nokkuð við nánari úrvinnslu. Til að mynda má ætla að ítarleg kornastærðargreining gæti leitt af sér að orðinu leirsteinn yrði strangt til tekið hafnað, eins og það er notað hér. Jarðlagagreiningin, eins og hún er sýnd á 24. mynd, gefur því frekar hugmynd um kornastærð setlaganna en endanlega flokkun og nákvæma dýpt og ber að hafa það í huga við skoðun hennar. Gerðar hafa verið tillögur um nánari rannsóknir á borsvarfinu og er vonast til að veitt verði fjármagni í það í nánustu framtíð. Hér á eftir verður fjallað um núverandi þekkingu á jarðlögum í holu Æ-3.

Viddarmæling sýnir að engin umtalsverð útvíkkun varð í holunni í borun og að ekki hefur hrunið úr holuveggjum við vatnsæðar, en þær eru sýndar með örvum við jarðlagasniðið. Ekki var unnt að mæla náttúrulega gammageislun vegna of hás hita í holunni. Hins vegar var hægt gera nifteindarmælingar, en þær gefa upplýsingar um vatnsinnihald bergsins og má umreikna niðurstöðurnar í poruhluta. Slíkir útreikningar voru gerðir með kvörðun fyrir setlög. Þeir leiddu í ljós að poruhlutinn er að meðaltali um 26% ofan 215 m dýpis, sem virðist nærri lagi fyrir lítt hörðnuð setlög. Þar fyrir neðan lækkar hann í um 15% og fer það saman við að ferging setlaganna eykst með dýpi og jafnframt minnkar vatnsinnihaldið. Tvö lög skera sig úr með poruhluta 6-9%, það efra á 215-235 m dýpi og það neðra á 300-310 m dýpi.

Viðnámsferlarnir eru nánast beinir niður alla holuna. Það gefur til kynna að bergið sé mjög einsleitt og fellur það ágætlega að svarfgreiningunni, sem sýnir fínkorna setlög niður svo gott sem alla holuna. Hærra viðnám mælist á 170-180 m dýpi. Sömuleiðis sést smávægileg hækkun í viðnámi á rúmlega 220 m dýpi og aftur á rúmlega 300 m dýpi þar sem poruhlutinn var lægstur.

Í jarðlagagreiningu skera tvö lög sig úr, efra lagið er hraun- eða grjótlag en það neðra hraunlag. Þetta eru að öllum líkindum sömu jarðlög og nefnd eru hér að ofan og gáfu lægstan poruhluta. Þau koma hins vegar fram aðeins neðar í óleiðréttu jarðlagasniðinu. Vatnsæðin á 220 m dýpi kann að vera í neðra laginu. Viðnámsþækkunin á 170-180 m dýpi kemur ekki sérstaklega fram í jarðlagasniðinu, en þarna koma kaldar vatnsæðar inn í holuna. Að undanskildum hraunlögum tveimur var öll holan boruð í setlagastafla. Laus sandur er í efstu 55 m holunnar en neðar skiptist á samlímdur sandstein, siltsteinn eða leirsteinn, og eru lagskipti tíð. Jarðlagagreiningin takmarkast þó af því að svarfsýni eru aðeins tekin á 2 m fresti. Trúlega er lagskipting mun finni en sýnt er á 24. mynd. Eitt aðaleinkenni setlagastaflans er hve setlögin eru öll fínkornótt, jafnframt sjást í þeim skeldýraleifar á a.m.k. 4 stöðum (merktir með S í jarðlagasniði). Þetta bendir til að setlögin neðan 70-80 m dýpis hafi að mestu leyti myndast á sjávarbotni. Skeldýraleifarnar eru merkilegar, því að þær má nota til aldursgreininga. Aldur setlaga og setmyndunarhraði er með þeim atriðum sem mestu máli skipta í sambandi við myndun lífræns gass. Tillögur um aldursgreiningu skeljanna liggja fyrir (Guðmundur Ómar Friðleifsson og Jón Eiríksson 1988). Í þessu sambandi má nefna að skeljar, sem fundust á 70-100 m dýpi í holu Æ-2, voru aldursgreindar sumarið 1988 og benda frumniðurstöður til að þær séu 3000 ára gamlar (Árný Sveinbjörnsdóttir persl. uppl.). Svipaðar skeljar fundust ofan 100 m dýpis í holu Æ-3. Ef ofangreindur aldur er réttur og gert er ráð fyrir svipuðum setmyndunarhraða niður á 300 m dýpi gæti allur setlagastaflinn, sem holan sker, verið yngri en 10000 ára. Að öðru leyti verður ekki fjölyrt um setlögin hér, en vísað til greinargerðar um frekari rannsókn þeirra (Guðmundur Ómar Friðleifsson og Jón Eiríksson 1988).



25. MYND: Hitamælingar í holu Æ-3 við Skógalón

Hitamælingar í holu Æ-3 eru sýndar á 25. mynd. Af þeim má sjá að í henni eru þrjú vatnskerfi. Efsta æðin er á um 140 m dýpi og þar kemur bróðurparturinn af vatninu inn. Þessi æð er líklega um 105°C heit. Þar fyrir neðan og niður fyrir 200 m dýpi eru mun kaldari æðar, trúlega 30-40°C heitar. Þær helstu eru á um 170 m og 185-205 m dýpi. Neðstu æðarnar eru neðan 220 m dýpis. Þær eru 110-120°C heitar, en engar stórar æðar er þarna að finna. Út frá hitamæliferlunum og öðrum gögnum má draga þá ályktun að um 2/3 hlutar rennslisins komi úr efstu vatnsæðinni í 140 m. Þegar þrengt er verulega að holunni og rennsli haldið innan við 10 l/s er óverulegt rennsli úr neðstu æðunum svo að viðbótin kemur að mestu úr köldu vatnsæðunum. Þegar opnað er meira frá koma heitar vatnsæðar neðan 220 m dýpis inn og eykst hlutur þeirra í heildarrennslinu á kostnað köldu æðanna eftir því sem holan er opnuð meira. Eftir að borun lauk náði hiti vatnsins, sem úr henni rann, fljótlega um 90°C. Hann hafði svo hækkað upp í um 96°C vorið 1989 og hiti nærri botni í 121°C.

Hola Æ-3 var rennslisprófuð á tímabilinu 13. október til 3. desember 1988. Hún hafði verið í sjálfrennsli frá borlokum og mældist það við byrjun mælingatíma tæpir 38 l/s. Byrjað var á að loka fyrir hana og síðan fylgst með hvernig þrýstingur á holutoppi hækkaði við lokun. Toppþrýstingur mældist hæstur 0,36 bar rúmum sólarhring eftir að lokað var fyrir rennsli. Þá var vatn í efsta hluta holunnar farið kólna og heldur þar með aftur af frekari þrýstingshækkun. Fyrir ótruflað hitaástand í holunni yrði þessi lokunarþrýstingur eitthvað hærri. Til að fá mat á vatnsleiðni og vatnsrýmd þeirra vatnskerfa, sem holan sker, var þrýstingshækkunin fyrsta sólarhringinn eftir lokun nálgueð með fræðilegu einsleitu líkani sem gerir ráð fyrir mjög víðáttu miklu vatnskerfi. Niðurstöðurnar eru sýndar á 26. mynd. Líkanið gefur:

$$\begin{aligned} \text{Vatnsleiðni við holu: } T &\simeq 0,012 \text{ m}^2/\text{s} \quad (\text{kh}/\mu = 1,26 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{Pas}) \\ \text{Vatnsrýmd: } S &= 4,7 \times 10^{-4} \quad (\phi c_{th} = 5,03 \times 10^{-8} \text{ m}/\text{Pa}) \end{aligned}$$

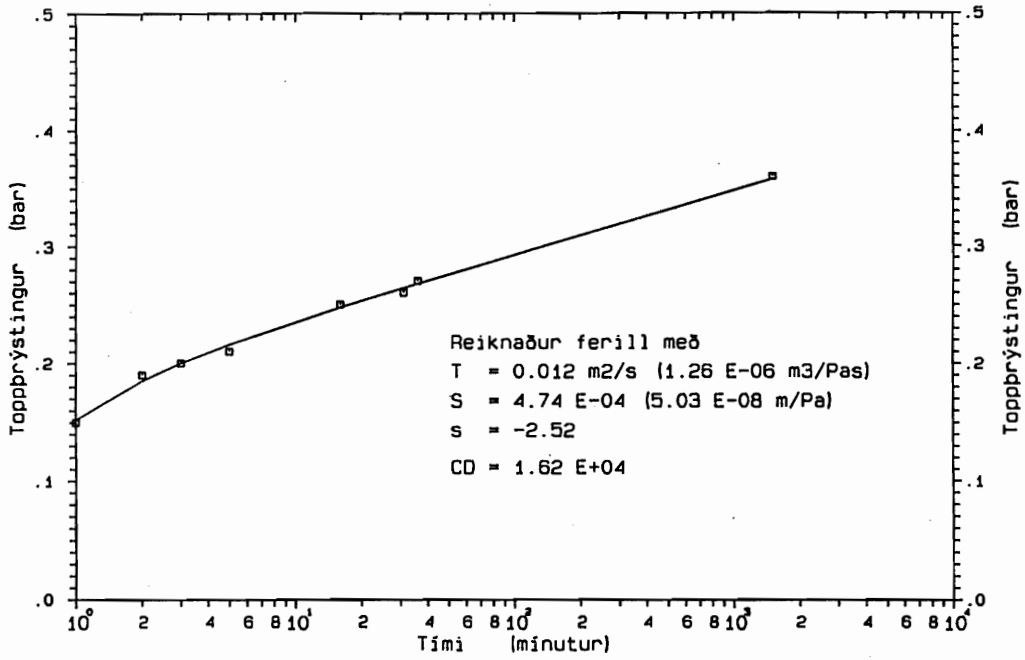
Þá benda niðurstöður líkansins til að streymi úr vatnsæðum í holunni sé greitt eða um sprungur (neikvæður tregðustuðull, $s = -2,5$).

Holan stóð síðan lokuð til 18. október, en þá var byrjað að opna fyrir rennsli úr henni í áföngum og var hún fullopnuð 2. nóvember. Fylgst var með hvernig holutoppþrýstingur féll eftir því sem holan var meira opnuð, sömuleiðis hvernig rennsli úr henni jókst og hiti vatnsins breyttist. Við hverja breytingu á opnun komst jafnvægi á toppþrýsting og rennsli. Á 27. mynd má sjá toppþrýsting og rennsli holunnar í lok hvers þreps og afkastaferil hennar. Ferillinn sýnir nokkurn veginn línulegt samband milli rennslis og toppþrýstings. Þetta segir að rennslistöp vegna viðnáms eða iðustreymis í holunni séu mjög lítil. Lokunarþrýstingur er um 0,4 bar og hámarksrennsli samkvæmt mælingunum tæpir 43 l/s. Rennslisíhiti í fullopinni holu var þá 92°C en var enn að hækka. Hún var fullopin allan veturinn og í júní 1989 mældist sjálfrennsli 47 l/s og hiti vatnsins hafði þá náð jafnvægi við 96°C.

Í töflu 12 eru sýndar niðurstöður efnagreininga á vatnssýnum úr holum Æ-1 og Æ-3. Þar kemur fram að vatnið úr holunum er lítillaga yfirmettað með tilliti til kalks (CaCO_3) eins og algengt er um jarðhitavatn hér á landi. Vatnið er salt, þó að verulegur munur sé á styrk klóríðs og virðist seltan minnka eftir því sem vatnið kemur af meira dýpi. Erfitt er þó að fullyrða nokkuð um þetta þar sem hola Æ-3 tekur vatn úr a.m.k. tveimur vatnskerfum og mismunandi selta í þeim gæti skýrt muninn. Útfellingar, sem teknar voru á rörenda í útrennsli frá holu Æ-3 í byrjun júní 1989, reyndust vera halít (NaCl eða matarsalt), sylvít (KCl) og anhýdrít (CaSO_4), en allar þessar steindir myndast við uppgufun á sjó eða söltu vatni. Þar sem vatnið er svo salt sem raun ber vitni má búast við kalkútfellingum við nýtingu þess. Það er ekki nýtanlegt til beinnar upphitunar t.d. í hitaveitu, en trúlega má nota það á varmaskipta. Slíkt þyrfti þó að kanna betur áður en ráðist yrði út í kostnaðarsamar framkvæmdir til að nýta það. Selta vatnsins reiknast 3-4,5% og járn- og manganstyrkur þess er hverfandi lítill. Efnahiti vatns úr

JHD-BM-6702-Omar
89.01.0036 T

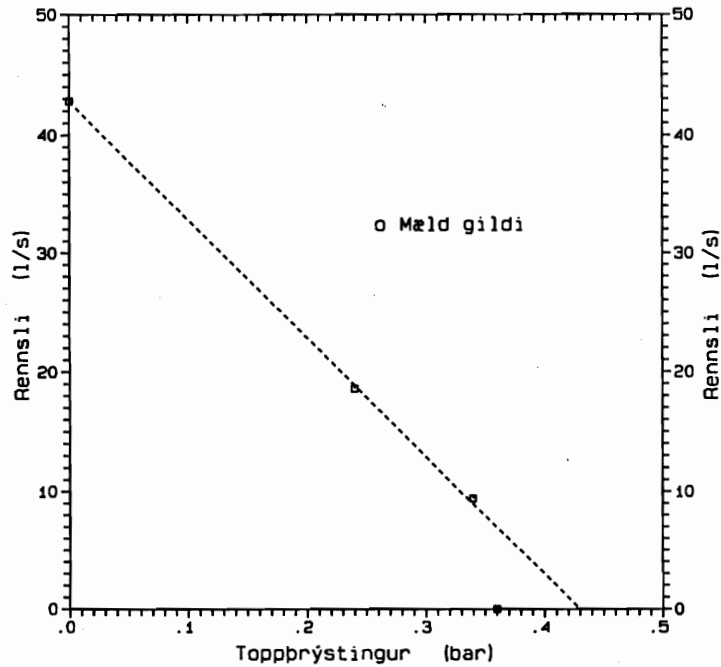
ÆRLÆKJARSEL HOLA Æ-3



26. MYND: Þrýstingsjöfnun fyrsta sólarhringinn eftir lokun holu Æ-3

JHD-BM-6702-Omar
89.01.0037 T

ÆRLÆKJARSEL HOLA Æ-3



27. MYND: Afköst holu Æ-3 við mismunandi mótþrýsting

TAFLA 12: Efnasamsetning vatns úr holum Æ-1 og Æ-3 (mg/l)

Hola Dags. Númer	Æ-1 87-08-19 9123	Æ-1 87-08-19 9124	Æ-1 87-09-13 0119	Æ-3 88-09-25 0149
Hiti (°C)			98	90
Sýrustig (pH/°C)			9,5/15	8,1/16
Kísill (SiO ₂)			139,0	125,6
Natríum (Na)			1250	870
Kalí (K)			77,3	48,3
Kalsíum (Ca)			259	160
Magnesíum (Mg)			0,18	0,46
Járn (Fe)	0,3	0,04	<0,025	<0,025
Mangan (Mn)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Karbónat (CO ₂ (tot))			12,4	21,7
Súlfat (SO ₄)	133	143	138	90,3
Brennist.vetni (H ₂ S)			<0,05	<0,05
Klóríð (Cl)	2409	2535	2460	1560
Flúoríð (F)			0,65	0,21
Uppleyst efni			4630	2982
Dæling Rennsli (l/s)	loft	loft	loft	35
Reiknuð selta (‰)	4,4	4,6	4,4	2,8

báðum holum reiknast um 120°C, ef reiknað er með að það hafi verið í jafnvægi við kalsedón. Aðrir efnahitamælar gefa talsvert hærri hita, allt upp í 160°C. Í þeim þarf þó að byggja á blöndunarútreikningum og þar sem vatnafræðin í setlögnum, sem holurnar skera, er flókin með tilliti til misheitra og missaltra vatnskerfa, þá er erfitt að meta hversu öruggir þeir eru. Búast má við að djúpsýni úr Æ-3, sem tekið yrði neðan við köldu æðarnar í holunni, gæti gefið betri upplýsingar um hitann í djúpkerfinu. Talsvert gasuppstreymi er úr báðum holum, en vegna sérstöðu þess verður fjallað sérstaklega um það í næsta kafla.

Óhætt er að segja að borun holu Æ-3 hafi gengið brösótt. Árangur varð aftur á móti mjög góður eins og marka má af 40-50 l/s sjálfrennsli af 96°C heitu vatni. Úr hitasvæðinu við Skógalón má augljóslega vinna mikinn varma.

5.5 Olúgas í Öxarfirði?

Eftir að borun holu Æ-1 lauk kom í ljós að holan safnaði fljótt á sig töluverðu gasi er henni var lokað. Þegar vatnssýni voru tekin til efnagreiningar úr holu Æ-1 í september 1987 var einnig tekið gassýni, sem var safnað beint af holutoppi. Sýnið var greint í gasgreini Orkustofnunar og reyndist að mestum hluta köfnunarefni eins og títt er um gas á lághitasvæðum hérlandis. Þá var töluvert af metan eða mýragasi í því, en sérstaka athygli vakti að fram kom vísbending um etan, en það hafði ekki áður greinst í jarðhitagasi á Íslandi (tafla 13). Sýnið var sent utan til frekari greiningar, sem staðfesti þessar niðurstöður og leiddi auk þess í ljós að í því var vottur af öðrum kolvetnum, þ.e. própán, bútan og pentan. Eftir að borun holu Æ-3 lauk voru tekin ný sýni af gasi úr báðum holum (Magnús Ólafsson og Halldór Ármannsson

TAFLA 13: Efnasamsetning gass úr holum Æ-1 og Æ-3 (rúmm. %)

Hola Dags. Númer	Æ-1 87-09-13 0119	Æ-1 88-05-07 0211	Æ-3 88-09-25 0149
Koldíoxíð (CO ₂)	0,15	0,14	0,08
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	0	0	0
Vetni (H ₂)	0,12	0,12	0,04
Súrefni + Argon (O ₂ + Ar)	1,74	1,22	1,72
Metan (CH ₄)	3,66	3,93	3,66
Köfnunarefni (N ₂)	94,33	94,17	94,43
Etan (C ₂ H ₆)*	~0,3	~0,4	~0,3

* Greint sem etan, en um er að ræða etan og nokkur önnur kolvetni.

1988). Sýnin voru fyrst greind hér á landi en síðan send utan. Nýju greiningarnar staðfestu fyrri greiningar (tafla 13).

TAFLA 14: Hlutfallsleg samsetning gass með metan í eftir að andrúmsloftsgös (köfnunarefni, súrefni og argon) hafa verið reiknuð burt (tölur í %)

Tegund gass	Háhitagas Krafla KG-8	Lághitagas Urriðavatn UN-8	Mýragas Lagarfljót Vallholt	Öxarfjörður Æ-1	Öxarfjörður Æ-3
Koldíoxíð (CO ₂)	80,7	51,0	1,8	1,5	e.f.
Brennisteinsve. (H ₂ S)	6,8	e.f.	e.f.	e.f.	e.f.
Vetni (H ₂)	5,5	e.f.	e.f.	e.f.	0,5
Metan (CH ₄)	7,0	49,0	98,2	81,8	93,5
Etan (C ₂ H ₆)	e.f.	e.f.	e.f.	8,0	3,9
Própan (C ₃ H ₈)	-	-	-	5,8	1,3
Bútan (i-C ₄ H ₁₀)	-	-	-	0,9	0,2
Bútan (n-C ₄ H ₁₀)	-	-	-	1,0	0,4
Pentan (i-C ₅ H ₁₂)	-	-	-	0,5	0,1
Pentan (n-C ₅ H ₁₂)	-	-	-	0,5	0,2
Þróuð kolvegös. (C ₂₊)	e.f.	e.f.	e.f.	16,7	6,1

e.f. = ekki finnanlegt

Í töflu 14 hafa andrúmsloftsgös (köfnunarefni, súrefni og argon) verið reiknuð frá heildarefnasamsetningu gassins. Til samanburðar eru sýnd dæmigerð gassýni frá háhita- og lághitasvæði. Sömuleiðis er þarna gassýni frá Lagarfljóti, sem er óþroskað lífverugas eða mýragas. Eins og sjá má finnst metan í öllum sýnunum í töluverðum mæli og langmest í Lagarfljótssýninu, enda er metan uppistaðan í mýragasi. Hins vegar finnast þróaðri kolvetnisgös aðeins í Öxarfirði. Samkvæmt flokkun Schoell (1980) þá er gasið í Öxarfirði dæmigert olúgas. Þessar niðurstöður hljóta að vekja athygli. Própan, bútan og pentan hafa ekki áður greinst í gasi hérlendis svo kunnugt sé. Í framhaldi af því má velja því fyrir sér hvernig standi á þessum kolvetnum í gasinu. Vitað er að þykkur setlagastafli er fyrir botni Öxarfjarðar og holur Æ-1 og Æ-3 skera efsta hluta setlaganna, en ekki er vitað hvað leynist í þessum stafla. Efnasam-

setning gassins bendir eindregið til að það sé að hluta til myndað vegna niðurbrots lífræns efnis. Nánari túlkun gasgreininganna verður að bíða betri tíma, þegar frekari rannsóknir á gasinu hafa farið fram. Hér er þó rétt að fram komi umsögn enska sérfræðingsins sem greindi sýnin: "I think the results are interesting; the $C_1/\Sigma C_n$ ratio seems to put the gas in the catagenetic hydrocarbon group - i.e. oil-associated gas."

Gerðar hafa verið áætlanir um frekari rannsóknir á gasinu og setlögum í Öxarfirði (Ólafur G. Flóvenz 1988; Magnús Ólafsson og Halldór Ármannsson 1988; Guðmundur Ómar Friðleifsson og Jón Eiríksson 1988; Ólafur G. Flóvenz o.fl. 1989). Fjármagn hefur enn ekki fengist til þessara rannsókna og því verður framtíðin að leiða í ljós hvaða þýðingu þessi merki gasfundur á eftir að hafa.

6. HELSTU NIÐURSTÖÐUR

6.1 Staðan í dag

Ferskvatn:

- Ferskvatn er bæði mikið og gott í Öxarfjarðarhéraði, þó að ekki séu þar allir jafn vel í sveit settir (2. mynd). Í Kelduhverfi streymir grunnvatnið fram í geysivíðfeðmri hraunbreiðu. Megnið af vatninu fær framrás innan marka sprungubeltanna, þar sem það sigur fram í misjafnlega vel opnum gjám. Það leitar að nokkru upp á yfirborðið þar sem sandurinn tekur við af hrauninu, því að hann leiðir vatnið ekki eins vel. Litlaá tekur við vatninu úr Kröflusprungubeltinu, en rennsli hennar er talið vera um $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Um Lónsós fara um $19 \text{ m}^3/\text{s}$, en í Lóni kemur Þeistareykjasprungubeltið niður á láglandið. Áhrifa frá jarðhita gætir í báðum tilfellum.
- Í Öxarfjarðarhreppi og Núpasveit kemur einnig mikið vatn upp á því sprungubelti sem þar gengur út, en mun dreifðar. Nútímahraun gleypa stundum grunnvatnið aftur og sjá þá um að skila því endanlega fram í lindum við hraunbrúnina. Þarna eru allmörg linda-svæði sem gefa af sér $0,5\text{-}3 \text{ m}^3/\text{s}$, en heildarafrennslið er trúlega hátt í $10 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Vestanverð Melrakkaslétta er sem næst afrennslislaust á yfirborði. Úr Blikalónsdal, sigdæld sem ristir Sléttuna að endilöngu, beljar aftur á móti töluvert vatn til sjávar sem kemur fram í Blikalóni. Erfitt er að meta magnið en það gæti verið um $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Jarðsjór:

- Boranir eftir jarðsjó urðu stærri þáttur í verkefninu en áætlað var. Mikilvægt var talið að fá úr því skorið hvort vinna mætti sjó úr borholum við ströndina í austanverðum Öxarfirði. Alls voru boraðar 4 holur í þessum tilgangi. Fyrsta holan D-1 var boruð í landi Daðastaða vestan Brunnárósa. Úr henni fékkst enginn sjór, heldur 9°C heitt ferskvatn. Næsta hola, Æ-2, var boruð úti á sandinum nærri Skógalóni. Þar fékkst volgur en mjög járnmengaður jarðsjór. Loks voru holur D-2 og D-3 boraðar í grágrýtisklöpp við Buðlungahöfn austan Brunnárósa. Þarna fékkst nothæfur sjór. Vatnsrýmd reyndist aftur á móti ekki nægilega góð svo að vinnsla í verulegu magni er óhagstæð.
- Árangur af borunum eftir jarðsjó varð því rýr. Til að mynda virðist ekki fýsilegt að vinna jarðsjó úr sandinum með borunum bæði vegna lélegrar lektar og járnmengunar. Óreyndir eru staðir norðan Buðlungahafnar sem virðast lofandi. Þeir eru þó jafnframt töluvert fjær hitasvæðunum, sem dregur úr gildi þeirra fyrir fiskeldi vegna langra lagna. Það þarf því að leita annarra leiða til að vinna sjó. Heimamenn hafa gert tilraunir með dælingu sjávar úr brunnum og drenlögnum við ströndina og lofa þær góðu.

Volgt og kalt vatn á Núpsmýri:

- Jákvæðasti þáttur verkefnisins, sem kom jafnframt nokkuð á óvart, var góður árangur af borunum eftir volgu og köldu vatni í Stóranesi á Núpsmýri austan Brunnár. Með borun N-1 í Stóranesi var ætlunin að vinna um 9°C heitt vatn svipað og fannst í holu D-1 um 1 km norðar. Árangur varð vonum fremri því að eftir borun og síðar dýpkun í 105 m gefur holan um 25 l/s í sjálfrennsli af $35\text{-}36^\circ\text{C}$ heitu vatni, og meira með dælingu.
- Eftir þennan árangur ákváðu heimamenn að fiskeldisstöð yrði reist á þessum slóðum. Í framhaldi af því hófu þeir vinnsluboranir bæði eftir meiru af volgu vatni og einnig köldu vatni á Núpsmýri. Árangur varð góður. Boraðar hafa verið 2 holur eftir volgu vatni. Ljóst er að vinna má mikið magn af því á 60-100 m dýpi á ílangri spildu meðfram Brunná austanverðri og er Stóranesið allt á henni. Þá hafa verið boraðar 5 holur eftir

köldu vatni á Núpsmýri bæði norðan og sunnan við Núpsvatn. Talið er að þar megi taka mikið magn af köldu vatni með frekar litlum niðurdrætti. Til að mynda er reiknað með að niðurdráttur vatnskerfisins verði 2,5 m við 400 l/s vinnslu og með 100 m milli vinnslu-hola. Efnagreiningar sýna að vatnið er mjög vel hæft til fiskeldis.

Jarðhiti:

- Viðnámsmælingar voru gerðar til að afmarka betur stærð hitasvæðanna úti á sandinum. Boraðar voru 2 grunnar rannsóknarholur á hitasvæðunum við Skógalón (Æ-1) og Bakkahlaup (B-1) og síðan djúpri hola við Skógalón (Æ-3), sem var hönnuð með mögu-lega vinnslu í huga.
- Hitasvæðin úti á söndum Öxarfjarðar eru einstök á Íslandi, jarðhitinn kemur upp í set-lagastafla sem er um 1 km þykkur.
- Við Skógalón er lághitasvæði og efnihiti vatnsins a.m.k. 120°C. Boranir þar báru mjög góðan árangur. Hola Æ-3, sem er 322 m djúp, gefur 40-50 l/s í sjálfrennsli af 96°C heitu vatni, sem má vafalaust auka töluvert með dælingu. Selta vatnsins er um 2,8‰. Í hol-unni eru nánast eingöngu setlög.
- Viðnámsmælingar hafa gefið til kynna að á austurbakka Bakkahlaups sé öflugt hita-svæði og að öllum líkindum háhitasvæði. Svæðið virðist vera a.m.k. 10 km² stórt, en norðurmörkin eru ekki þekkt. Virkasti hlutinn er syðst þar sem jarðhita gættir á yfir-borði á all stóru svæði. Hola B-1, sem er 80 m djúp, var boruð þar í mjög ummyndaðan sand. Ummyndunin er firna mikil að magni og staðfestir að þarna er háhitavirkni. Hol-an er 107°C heit í botni.

Annað:

- Mikil og góð reynsla hefur fengist af borunum í þykk, laus setlög í Öxarfirði. Þessi reynsla á eftir að nýtast við frekari boranir þar í framtíðinni og annars staðar þar sem aðstæður eru svipaðar.
- Lífrænt gas, svipað gasi frá olíusvæðum, hefur greinst í sýnum sem tekin hafa verið úr holunum við Skógalón. Auk metans greinist í því etan, própán, bútan og pentan. Slíkt gas hefur ekki áður fundist á Íslandi

6.2 Framtíðarverkefni

Með þessari skýrslu er lokið fiskeldisverkefni Orkustofnunar í Öxarfirði. Þar með er ekki sagt að öllum spurningum hafi verið svarað og öll vandamál leyst. Ýmis verkefni bíða í rann-sóknum á auðlindum Öxarfjarðar og hugsanlegri nýtingu þeirra. Þau helstu eru:

- Að finna nýtanlegan jarðsjó eða leiðir til að vinna sjó á öruggan hátt sem víðast við ströndina. Þetta er lykillinn að frekari eflingu fiskeldis í Öxarfirði. Tilraunir Silfur-stjörnunna hf með drenlagnir og brunna í sjávarkambinum lofa góðu um að þetta megi leysa á hagkvæman hátt.
- Að reyna að rekja volga vatnskerfið, sem fannst undir Núpsmýrinni innar í landið. Jafn-framt þyrfti að skoða betur jarðhitavottinn við Brunná í landi Klifshaga. Fundur heits vatn í innanverðum Öxarfjarðarhreppi væri mikill akkur fyrir byggðina þar.
- Að bora 500-1000 m djúpa rannsóknarholu í háhitasvæðið við Bakkahlaup til að fá mat á vinnslueiginleikum þess. Háhitasvæði í byggð og á bökkum stórflyóts gefur ýmsa mögu-leika hvað varðar virkjun eða nýtingu varmans.

- d. Að rannsaka uppruna "olíugassins" við Skógalón. Ekki er líklegt að olíu sé að finna í jörðu í Öxarfirði, en tilvist gassins bendir þó til að þar sé að finna a.m.k. hluta þeirra skilyrða sem þarf til að olíulindir geti myndast í jörðu. Það er sjálfsagt að fylgja þessum einstæða fundi eftir með ítarlegri rannsókn, sem gæti einnig haft talsverða þýðingu fyrir mat manna á líkum þess að olíu- eða gaslindir sé að finna einhvers staðar í þeim þykku setlögum sem finnast undan Norðurlandi. Jafnframt mundu þessar rannsóknir nýtast vel til undirbúnings borana í háhitasvæðið í Öxarfirði.

HEIMILDIR

- Guðmundur Ómar Friðleifsson 1988: *Borun holu N-1*. Orkustofnun, greinargerð GÓF-88/02, 6 s.
- Guðmundur Ómar Friðleifsson 1989: *Borholur í Núpsmýri*. Orkustofnun, greinargerð GÓF-89/04, (í undirbúningi).
- Guðmundur Ómar Friðleifsson og Freysteinn Sigurðsson 1988: *Ferskvatnsöflun í landi Núps, Öxarfirði*. Orkustofnun, greinargerð GÓF-FS-88/01, 2 s.
- Guðmundur Ómar Friðleifsson og Jón Eiríksson 1988: *Setlagarannsóknir í Öxarfirði vegna fundar lífræns gass*. Orkustofnun, greinargerð GÓF-JE-88/03, 9 s.
- Guðmundur Ingi Haraldsson 1985: *Athugun á volgu vatni fyrir seiðastöð ISNÓ í Lóni í Kelduhverfi*. Orkustofnun, greinargerð GIH-85/04, 5 s.
- Guðmundur Ingi Haraldsson og Gunnar V. Johnsen 1986: *Jarðhitakönnun fyrir ÍSNÓ við Ytra Lón í Kelduhverfi*. Orkustofnun, greinargerð GIH-GVJ-86/3, 7 s.
- Haukur Tómasson 1973: Hamfarahlaup í Jökulsá á Fjöllum. *Náttúrufræðingurinn*, 43. árg., 12-34.
- Jarðboranir hf 1988: *Borskýrslur Narfa*.
- Lúðvík S. Georgsson 1988: *Um útboð borframkvæmda í Öxarfirði*. Orkustofnun, greinargerð LSG-88/04, 2 s.
- Lúðvík S. Georgsson, Einar Tjörvi Elíasson og Freysteinn Sigurðsson 1987: *Sérverkefnið "Fiskeldi í Öxarfirði"*. Orkustofnun, greinargerð LSG-ETE-FS-87/01, 3 s.
- Lúðvík S. Georgsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Magnús Ólafsson, Þórólfur Hafstað og Freysteinn Sigurðsson 1987: *Rannsóknir í Öxarfirði, staðan í október 1987*. Orkustofnun, OS-87044/JHD-26B, 16 s.
- Magnús Ólafsson og Guðni Axelsson 1987: *Skógalón í Öxarfirði, rannsóknir í október 1986*. Orkustofnun, OS-87015/JHD-11B, 13 s.
- Magnús Ólafsson og Halldór Ármannsson 1988: *Gas í borholum við Ærlækjarsel í Öxarfirði*. Orkustofnun, greinargerð MÓ-HÁ-88/22, 5 s.
- Markús Á. Einarsson 1972. *Evaporation and Potential Evapotranspiration in Iceland*. Veðurstofa Íslands, 25 s.
- Ólafur G. Flóvenz 1988: *Hugmyndir um setlagarannsóknir í Öxarfirði*. Orkustofnun, greinargerð ÓGF-88/04, 2 s.
- Ólafur G. Flóvenz, Guðmundur Pálmason og Lúðvík S. Georgsson 1989: *Hugmynd að rannsóknnum á auðlindum í jörðu í Öxarfirði*. Orkustofnun, greinarg. ÓGF-GP-LSG-89/04, 3 s.
- Schoell, Martin 1980: The hydrogen and carbon isotopic composition of methane from natural gases of various origins. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44, 649-661.
- Sigurjón Rist 1956: *Íslensk vötn 1*. Raforkumálastjóri, 127 s.
- Sjómælingar Íslands 1988: *Sjávarföll við Ísland árið 1988*. 35. árg., 17 s.
- Sverrir Þórhallsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson og Lúðvík S. Georgsson 1988: *Borun þriggja rannsóknarhola í Öxarfirði sumarið 1988, verklýsing*. Orkustofnun, OS-88008/JHD-04B, 14 s.

Veðurstofa Íslands 1970: *Veðráttan, ársyfirlit 1969.*

Þóroddur F. Þóroddsson: *Hitabreytingar í nokkrum lindum í Litlá í Kelduhverfi 1975-1985.* Óbirt handrit, 6 s.

Þóroddur F. Þóroddsson og Þórólfur H. Hafstað 1980: *Greinargerð varðandi neysluvatnsmál á Kópaskeri.* Orkustofnum, greinargerð PFP-PHH-80/05, 5 s.

Þórólfur H. Hafstað 1986: *Um möguleika á öflun neysluvatns í grennd við Kópasker.* Orkustofnun, greinargerð PHH-86/01, 4 s.

Þórólfur H. Hafstað 1989a: *Um rennsli í Brunná í Öxarfirði.* Orkustofnun, greinargerð PHH-89/04, 2 s.

Þórólfur H. Hafstað 1989b. *Öxarfjörður. Grunnvatnsathuganir 1987-1988.* Orkustofnun, OS-89039/VOD-08B, 22 s.

