



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

KALMANSTJÖRN

Dæluprófun KAL-10 og skipan berglaga

Sæpór L. Jónsson, Guðni Axelsson, Auður
Ingimarsdóttir og Hjalti Franzson

Unnið fyrir Silfurgun hf.

OS-89013/JHD-07 B

Mars 1989



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Verknr.: 625021

KALMANSTJÖRN

Dæluþrófun KAL-10 og skipan berglaga

Sæþór L. Jónsson, Guðni Axelsson, Auður
Ingimarsdóttir og Hjalti Franzson

Unnið fyrir Silfurgen hf.

OS-89013/JHD-07 B

Mars 1989

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	3
2. BERGLÖG Í HOLUM 9 OG 10	3
3. DÆLUPRÓFUN HOLU 10	3
3.1 Þrepaprófanir	4
3.2 Áhrif sjávarfalla	4
3.3 Langtímareynsludæling	4
4. EFNASAMSETNING VATNS ÚR HOLU 10	5
5. HELSTU NIÐURSTÖÐUR HEIMILDIR	6 7

TÖFLUSKRÁ

1. Áhrif sjávarfalla	5
2. Efnasamsetning vatns úr holu 10	6
3. Niðurdráttur vegna 300 l/s dælingar úr holu 10	7

MYNDIR

1. Afstöðumynd	8
2. Jarðlagasnið úr holum 9 og 10	9
3. Sjávarföll holu 10, 21.-24. júní 1988	10
4. Sjávarföll holu 10, 27.-29. júní 1988	10
5. Þrepaprófun holu 10	11
6a. Langtímaprófun holu 10, 5.-15. júní 1988	12
6b. Langtímaprófun holu 10, 5.-15. júní 1988	12
7. Langtímaprófun holu 10, 2.-5. nóv. 1988	13
8. Þrepaprófun holu 10	13
9. Samanburður á sjávarföllum í holum 9 og 10	14
10. Langtímaviðbrögð holu 10 leiðrétt f. sjávarföllum, dæling 140 l/s	14
11. Langtímaviðbrögð holu 10 leiðrétt f. sjávarföllum, dæling 240 l/s	15
12. Niðurdráttarspá	15

1. INNGANGUR

Hola KAL-10 við Kalmanstjörn í Hafna-hreppi var boruð með Ísbor fyrir Silfurgan hf. dagana 7. des. 1987 - 19. jan. 1988. Tilgangurinn var að afla jarðsjávar til fiskeldis. Holan er um 64 m djúp, fóðruð með 20" fóðurröri í 17,4 m, en boruð með 17 1/2" krónu neðan fóðringar. Áður hafði ein sjótökuhola verið boruð á svæðinu, hola KAL-6, en hola KAL-10 er mun víðari og ætti því að vera hægt að dæla mun meira af sjó úr henni en KAL-6.

Þessi skýrsla lýsir jarðfræði, efnafræði vatns og niðurstöðum dæluprófana sem gerðar voru á holu KAL-10 árið 1988. Holur KAL-6, KAL-7 og KAL-8 við Kalmanstjörn voru dæluprófaðar árin 1986 og 1987 og hefur niðurstöðum þeirra prófana verið lýst áður (Sæþór L. Jónsson o.fl., 1986 og 1987).

2. BERGLÖG Í HOLUM 9 OG 10

Hér er fjallað um jarðlagaskipan á borsvæði Silfurgens hf. við Kalmanstjörn á grundvelli greiningar á svarfsýnum. Ekki reyndist um auðugan garð að gresja með svarfsýni úr þeim 12 borholum sem boraðar hafa verið á þessum slóðum, þar sem aðeins voru tiltæk 2 sýni úr holu 9 og 9 sýni úr holu 10. Vitneskju um jarðlagaskipan á vinnslusvæðinu er því enn mjög ábótavant. Bent er á nauðsyn þess að sýni verði tekin reglulega í borun næstu hola, og að þeim verði komið, eins og lög gera ráð fyrir, í vörslu á Orkustofnun.

Tvö svarfsýni eru til úr holu 9; af 4 og 6 m dýpi. Heldur fleiri sýni fengust úr holu 10, eða frá 16 m niður í 32 m dýpi. Á mynd 2 eru sýnd jarðlög sem greind voru í borholunum. Öll berglögin í holunum teljast hraunlög. Samsetning þeirra er svonefnt ólívín-þóleiít. Tvö neðri lögin í holu 10 eru stakdílótt. Það einkenni er mögulegt að nota í framtíðinni til að tengja jarðlög á milli hola, en með því má greina hvort misgengi liggi í berggrunni. Hraunlögin eru öll mjög

blöðrótt og allt að frauðkennd, sem bendir til að þau geti verið fremur vatnsgæf. Engin merki fundust um bólstraberg eða breksíur, en slíkt berg hefur víða fundist nærri sjó á utanverðu Reykjanesi og myndast er hraun rennur í vatn. Reynslan hefur sýnt að slík berglög hafa alla jafnan góða lekt. Lítil líkindi eru til að finna þannig lög ofan 32 m dýpis austan hola 9 og 10 við Kalmanstjörn.

3. DÆLUPRÓFUN HOLU 10

Hola KAL-10 var fyrst prófuð dagana 21. júní til 15. júlí 1988. Fram til 29. júní var engu dælt úr KAL-10, en fylgst með vatnsborðsbreytingum vegna sjávarfalla í holunni og einnig í holum KAL-1 og KAL-9. KAL-1 er 41 m djúp rannsóknarhola og KAL-9 er 11 m djúp ferskvatnshola. Á mynd 1 sést innbyrðis afstaða þessara hola og afstaða þeirra til strandarinnar. Við mælingarnar var notaður sjálfvirkur gagnasöfnunar-búnaður Vinnslutæknideildar Orkustofnunar, og eru niðurstöðurnar sýndar á myndum 3 og 4.

Þann 29. júní hóst svo hin eiginlega prófun með því að KAL-10 var þrepprófuð. Notaður var dælubúnaður Silfurgens hf. og var dælt allt að 160 l/s. Gögnin úr þrepprófuninni eru birt á mynd 5. Að þrepprófuninni lokinni var síðan dælt stöðugt um 140 l/s úr holunni, í um 16 daga, til þess að kanna langtímaviðbrögð hennar og svæðisins umhverfis. Gögn síðustu 10 daganna eru birt á mynd 6.

Hola KAL-10 var aftur prófuð dagana 2. til 5. nóvember 1988 og þá með öflugri dælubúnaði. Í fyrstu var holan þrepprófuð á ný, en vegna bilunar í tölvubúnaði eru þau gögn nú glötuð. Síðan var dælt stöðugt um 240 l/s úr holunni og fylgst með viðbrögðum hennar og hola KAL-1 og KAL-9. Þau gögn eru birt á mynd 7. Gögnin úr þessari prófun hafa verið leiðrétt með tilliti til hæðarkvóta og er miðað við að kvótinn í dælubrunni sé 3,85 m y.s.

3.1 Preparaþrófanir

Preparaþrófanirnar voru framkvæmdar í þeim tilgangi að kanna hvernig skammtímaafköst holunnar breyttust með mismunandi dælingu. Eins og sjá má á mynd 5 þá var þreparaþrófunin í júní trufluð vegna áhrifa sjávarfalla. Það kom þó í ljós að þreparaðælingin hafði hvorki áhrif á holu KAL-1 né KAL-9. Því var leiðrétt fyrir áhrifum sjávarfalla í KAL-10 með því að draga vatnsborðsbreytingar í KAL-1 frá gögnunum um þreparaþrófun KAL-10. Niðurdráttur, eftir að 5 mínútur voru liðnar af hverju þrepi, er síðan sýndur, sem fall af dælingu, á mynd 8. Til viðbótar við gögnin frá því í júní er bætt inn á myndina niðurdrættinum sem mældist við 240 l/s dælingu í nóvember. Niðurdráttur eftir 5 mínútna dælingu má nálgast með jöfnunni:

$$\Delta h = 1,4 \times 10^{-3} Q + 5,0 \times 10^{-7} Q^2$$

þar sem Δh er niðurdráttur í m og Q er dæling í l/s. Fyrri liðurinn í jöfnunni lýsir vatnsborðslækkun sem verður vegna lagstreymisþrýstifalls í vatnskerfinu umhverfis holuna. Sá liður er háður tíma og á jafnan því aðeins við um 5 mínútna dælingu. Annar liðurinn lýsir hins vegar þeirri vatnsborðslækkun sem verður vegna iðustreymisþrýstifalls, eða iðustreymistaps, í holunni og næst henni. Þetta iðustreymistap kemur yfirleitt fram strax og dæling er hafin eða henni breytt. Iðustreymistapið veldur því að niðurdrátturinn er ekki línulega háður dælingu, eins og sést á mynd 8.

Niðurstöður þreparaþrófunarinnar benda til þess að úr holu KAL-10 megi dæla miklu magni af sjó. Er það m.a. vegna þess hve holan er víð, en það endurspeglast í því hve iðustreymistap er lítið í holunni (sjá jöfnu hér að ofan). Einnig virðist vatnsleiðni (eða lekt) jarðlaga næst holunni mjög mikil. Vatnsleiðnina má áætla á grundvelli líkans af óendanlegum láréttum vatnsleiðara, að þykkt h , út frá fyrri liðnum í jöfnunni hér að ofan. Þannig má áætla að leiðnistuðull jarðlaganna næst holunni sé

$$T = \frac{khg}{\nu} \approx 0,4 \text{ m}^2/\text{s}$$

þar sem k er lekt jarðlaganna, g þyngdarhröðunin og ν eðlissegja vatnsins. Vatnsleiðni leiðarans er þá k/ν . Hér er um mjög háan vatnsleiðnistuðul að ræða, en vegna þess hve þreparaþrófunin stóð stutt gildir þetta mat aðeins um næsta nágrenni holunnar. Til þess að meta eiginleika jarðlaganna yfir stærra svæði voru vatnsborðssveiflur vegna sjávarfalla einnig túlkaðar. Auk þess var KAL-10 dæluþrófuð í mun lengri tíma til þess að kanna hvort niðurdrátturinn breyttist við langtímadælingu.

3.2 Áhrif sjávarfalla

Eins og sést á myndum 3, 4, 6 og 7 þá eru vatnsborðssveiflur vegna sjávarfalla við ströndina mjög áberandi í gögnunum. Með því að bera saman sjávarfallasveiflur í holum KAL-1, KAL-9 og KAL-10 annars vegar og við ströndina hins vegar (Sjómælingar Íslands, 1987) má áætla vatnsleiðni jarðlaganna á svæðinum. Til grundvallar slíkri túlkun er lagt líkan af láréttum vatnsleiðara í tengslum við óendanlega og beina strönd.

Í töflu 1 eru síðan birtar niðurstöður þessa samanburðar. Annars vegar hlutfall sveiflnanna í holunum og sjávarfalla við ströndina og hins vegar seinkunin á sveiflunum í holunum. Þar sést að sáralítill munur er á áhrifum sjávarfalla í þessum þremur holum, enda eru þær allar nálægt hver annarri. Í töflunni er einnig birt túlkunin, en hún gefur hlutfallið T/S , þar sem T er leiðnistuðull jarðlaganna eins og áður hefur komið fram en S geymslustuðull þeirra. Ef gengið er út frá því að $S \approx 0,10$ fæst að leiðnistuðull jarðlaganna sé á bilinu 0,3 - 0,9 m^2/s , sem er í góðu samræmi við áætlað gildi hans samkvæmt þreparaþrófuninni.

3.3 Langtímareynsludæling

Eins og áður segir þá voru langtímaviðbrögð holu KAL-10 könnuð með því að dæla stöðugt um 140 l/s úr henni í 16 daga (mynd 6) og síðan um 240 l/s í 3 daga

TAFLA 1 Áhrif sjávarfalla

Hóla	Fjarlægð frá sjó (m)	A Hlutfall	B Seinkun (mín)	T/S (m ² /s)	
				út frá A	út frá B
KAL-1	190	0,42 ± 0,03	74 ± 8	3,4	6,5
KAL-9	240	0,40 ± 0,02	80 ± 7	4,8	8,9
KAL-10	240	0,40 ± 0,03	81 ± 8	4,8	8,7

(mynd 7). En vegna sjávarfallasveiflna er erfitt að greina nokkur langtímaviðbrögð í gögnunum. Á mynd 9 er sýndur samanturður á vatnsborðsbreytingum í holum KAL-9 og KAL-10 fyrir tvö tímabil. Þar sést að tímabilið þegar engu var dælt úr KAL-10 er samræmið mjög gott, einu vatnsborðsbreytingarnar eru vegna áhrifa sjávarfalla. Samræmið versnar verulega þegar dælt er úr KAL-10, væntanlega vegna einhverra langtímabreytinga á vatnsborði í holunni. Vegna áhrifa sjávarfallanna var því gripið til þess ráðs að draga vatnsborðsbreytingar í KAL-9 frá breytingunum í KAL-10. Gert var ráð fyrir að þannig mætti frekar greina langtímaviðbrögð holu KAL-10. Niðurstöðurnar eru birtar á myndum 10 og 11.

Á mynd 10 koma fram einhverjar langtímabreytingar, sem þó er ekki líklegt að endurspegli langtímaniðurdrátt í jarðlögunum umhverfis holu KAL-10. Á mynd 11 koma engar slíkar langtímabreytingar fram. Líklegt er því að langtímaniðurdráttur við langvarandi dælingu úr holu KAL-10 verði hverfandi. Skýringin á því er sú að hafið við ströndina heldur uppi föstum þrýstingi, óháð því hve miklu er dælt úr sjótökuholunni. Einnig er vatnsleiðni mjög há á svæðinu.

4. EFNASAMSETNING VATNS ÚR HOLU 10

Meðan á dæluþrófun stóð voru tekin tíu vatnssýni úr holu 10, tvö heilsýni og átta hlutasýni til klóríðgreiningar. Sýnin voru tekin á tímabilinu 27. október til 6. nóvember 1988. Niðurstöður efnagreininga eru sýndar í töflu 2.

Selta sýnanna er á bilinu 23,0 ‰ - 25,0 ‰. Fyrra heilsýnið, tekið 27. október, hefur lægsta seltu. Þann dag var dæling aukin úr 150 l/sek í 250 l/sek. Innsog sjávar í holuna jókst og olli hækkun í klóríðstyrk, sem kom strax fram í sýni næsta dags.

Sveiflur í klóríðstyrk eru tölverðar og tengdar sjávarföllum. Þar sem sýnataka var fremur strjál (u.þ.b. eitt sýni á dag) er ekki reynt að segja nákvæmlega til um tengsl klóríðstyrks og sjávarfalla.

Sýrustig vatnsins er svipað og í sjó. Að öðru leyti virðast sýnin vera blanda að 2/3 hlutum sjór og 1/3 hluta grunnvatn.

Styrkur járns og mangans er mjög lítill í vatninu.

Styrkur súrefnis er tæplega 8 mg/kg. Í fyrra heilsýninu mældist súrefni 2-3 mg/kg en þar var mælingu ábótavant og niðurstaða því óábyggileg. Mettunarstyrkur súrefnis við 25 ‰ seltu og 7 °C er 10,3 mg /kg. Hér er því um nokkra undirmettun að ræða.

TAFLA 2 Efnasamsetning vatns úr holu 10 við Kalmanstjörn (mg/kg)

Dagsetning	881027	881028	881029	881030	881031	881102	881102	881104	881105	881106	Meðal-
Sýni nr.	889073	889080	889081	889082	889083	889074	889084	889085	889086	889087	samsætn.
Sýni tekið kl.	14.00	16.00	16.00	16.00	16.00	14.00	9.00	9.30	9.50	9.30	sjávar*
Hiti (°C)	7,2	-	-	-	-	7,2	-	-	-	-	-
Sýrustig (pH/°C)	8,0/21,4	-	-	-	-	7,97/23,3	-	-	-	-	8,0/25
Kísil (SiO ₂)	8,47	-	-	-	-	7,91	-	-	-	-	3
Natríum (Na)	7022	-	-	-	-	7642	-	-	-	-	10800
Kalíum (K)	301,8	-	-	-	-	324,7	-	-	-	-	390
Kalsíum (Ca)	260,2	-	-	-	-	275,7	-	-	-	-	410
Magnesium (Mg)	796,5	-	-	-	-	860,3	-	-	-	-	1290
Karbonsat(CO ₂)	77,4	-	-	-	-	83,1	-	-	-	-	102
Súlfat (SO ₄)	1712	1737	1745	1755	1781	1852	1813	1793	1785	1811	2710
Brennist.vetni (H ₂ S)	<0,03	-	-	-	-	<0,03	-	-	-	-	-
Klóríð (Cl)	12750	13200	13190	13300	13470	13750	13760	13480	13450	13740	19400
Flóríð (F)	0,42	-	-	-	-	0,45	-	-	-	-	1,3
Uppleyst efni	26205	-	-	-	-	28515	-	-	-	-	-
Járn (Fe)	<0,025	-	-	-	-	<0,025	-	-	-	-	0,004
Mangan (Mn)	<0,05	-	-	-	-	<0,05	-	-	-	-	0,0004
Brómíð (Br)	43,6	44,2	44,6	44,7	45,4	47,2	46,2	45,6	45,4	45,9	67
Súrefni (O ₂)	2-3	-	-	-	-	7,8	-	-	-	-	-
Selta (o/oo)	23,0	23,9	23,8	24,0	24,3	24,8	24,9	24,4	24,3	24,8	35

* Turekian, 1967
- ekki mælt

5. HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Samkvæmt þrepaprófun holu KAL-10 og mælingum á áhrifum sjávarfalla á vatnsborð í holum KAL-1, KAL-9 og KAL-10 er leiðnistuðull jarðlaganna, sem holurnar skera, mjög hár, eða af stærðargráðunni 0,5 m²/s. Þetta er í samræmi við niðurstöður fyrri prófana á svæðinu (Sæþór L. Jónsson o.fl., 1986 og 1987). Sökum þess hve hola KAL-10 er víð er iðustreymistap einnig mjög lítið í henni. Því er ljóst að dæla má miklu magni af sjó úr holu KAL-10. Í dæluþrófuninni var dælt allt að 240 l/s með innan við 40 cm niðurdrætti. Einnig er líklegt að langtímaníðurdráttur við langvarandi dælingu verði hverfandi þar sem hafið heldur uppi föstum þrýstingi við ströndina. Á mynd 11 er birt niðurdráttarspá fyrir holu KAL-10. Hún var reiknuð upp í 500 l/s, en hafa verður í huga að við svo mikla dælingu

er ónákvæmnin töluverð því spáin er byggð á innan við 250 l/s dælingu. Auk niðurdráttar vegna vinnslu verður svo allt að 1 m vatnsborðssveifla í holunni vegna sjávarfalla.

Spáin gerir ekki ráð fyrir að dælt sé úr öðrum holum á svæðinu. Áhrif dælingar úr ferskvatnsholum eru sennilega óveruleg og einnig eru áhrif dælingar úr sjötökuholunni KAL-6 á vatnsborð í KAL-10 væntanlega aðeins örfáir cm. En ef boraðar verða fleiri holur hannaðar líkt og hola KAL-10 þá munu slíkar holur hafa töluverð áhrif hver á aðra. Í töflu 3 eru birtar tölur yfir niðurdrátt í ímynduðum holum í mismunandi fjarlægð frá holu KAL-10, en þó sömu fjarlægð frá sjó og hún, eða c.a. 250 m. Gert er ráð fyrir 300 l/s dælingu úr KAL-10. Út frá töflunni má síðan áætla áhrif nokkurra sjötökuhola, sem dælt væri úr öllum samtímis. Hér að neðan verða birt tvö slík dæmi:

TAFLA 3 Niðurdráttur vegna 300 l/s
dælingar úr KAL-10

Fjarlægð samsíða strönd (m)	Niðurdráttur (m)
10	0,47
20	0,38
50	0,28
100	0,19
200	0,12
300	0,08
400	0,06
500	0,04

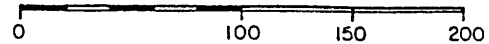
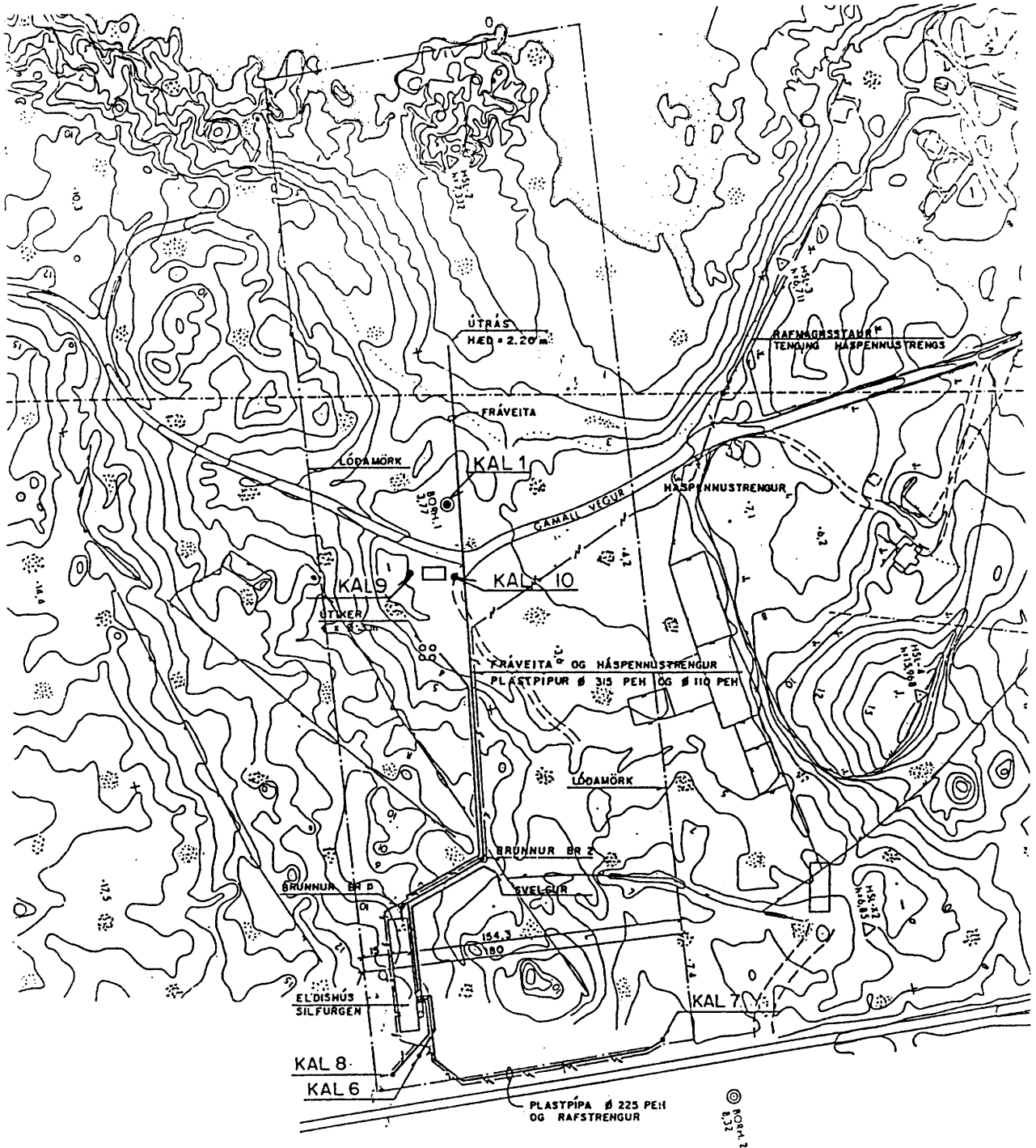
- Fimm sjótökuholur hafa verið boraðar með 100 m millibili og í 250 m fjarlægð frá ströndinni. Dælt er um 300 l/s úr hverri þeirra, alls um 1500 l/s. Mestur niðurdráttur verður þá í miðholunni, og má áætla að hann verði um 1,1 m. Það er um 0,6 m meiri niðurdráttur en búast má við að verði í KAL-10 við 300 l/s dælingu úr henni einni.
- Níu sjótökuholur hafa verið boraðar með 50 m millibili og í 250 m fjarlægð frá sjó. Dælt er um 300 l/s úr hverri þeirra, alls um 2700 l/s. Þá má áætla að niðurdráttur í miðholunni verði allt að 2 m. Það er um 1,5 m meiri niðurdráttur en áætlað er að verði í KAL-10 við 300 l/s dælingu úr henni einni.
- Vökvinn í holu 10 hefur svipað sýrustig og sjór. Sýnin virðast blanda að 2/3 hlutum sjór og 1/3 hluta grunnvatn. Styrkur járns og mangans er lágur. Klóríðstyrkur er breytilegur og háður sjávarföllum. Styrkur súrefnis, við 25 % seltu og 7°C, er undir metunarmörkum.

HEIMILDIR

Sjómælingar Íslands, 1987: Sjávarföll við Ísland árið 1988. Sjómælingar Íslands, Reykjavík, 17s.

Sæþór L. Jónsson, Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 1986: Kalmanstjörn. Dæluþrófun KAL-6. Orkustofnun OS-86055/JHD-19B, 16s., unnið fyrir Silfurlax hf.

Sæþór L. Jónsson, Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 1987: Kalmanstjörn. Dæluþrófun KAL-6, KAL-7 og KAL-8. Orkustofnun OS-87020/JHD-13B, 32s., unnið fyrir Silf-urgen hf.



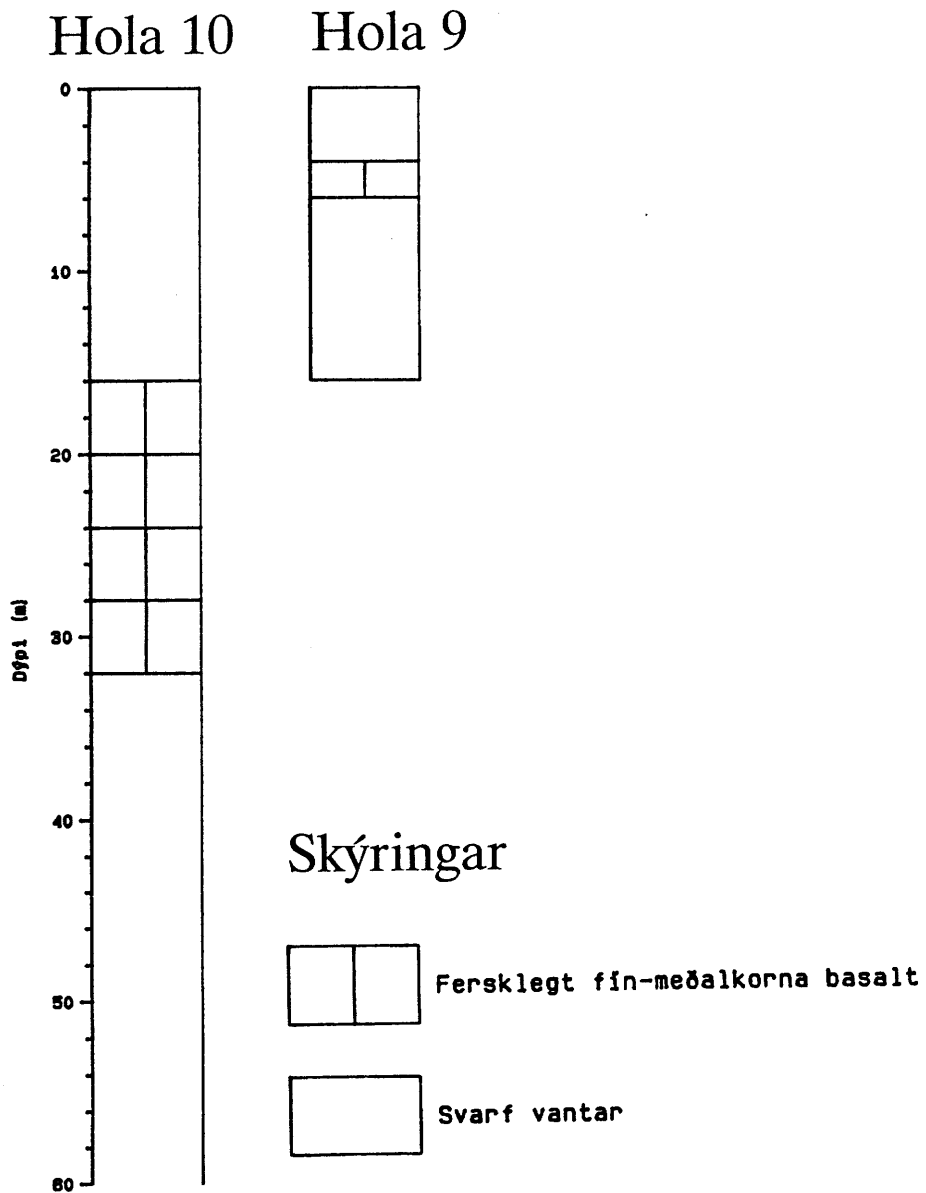
MYND 1 Afstöðumynd

	SILFURGEN
	SILFURGEN VÍÐ KALMANSTJÖRN ELDISHÚS OG LAGAR WIALITS MYND
	ALMENNA VERKFRÆÐISTOFAN HF <small>FRÉTTIÐ 2011 100.000.000.000.000.000</small>
<small>Skala: 1:5000</small>	<small>Skala: GRD</small>
<small>Útgáfa: 17.2.07</small>	<small>896 FÍO IA</small>

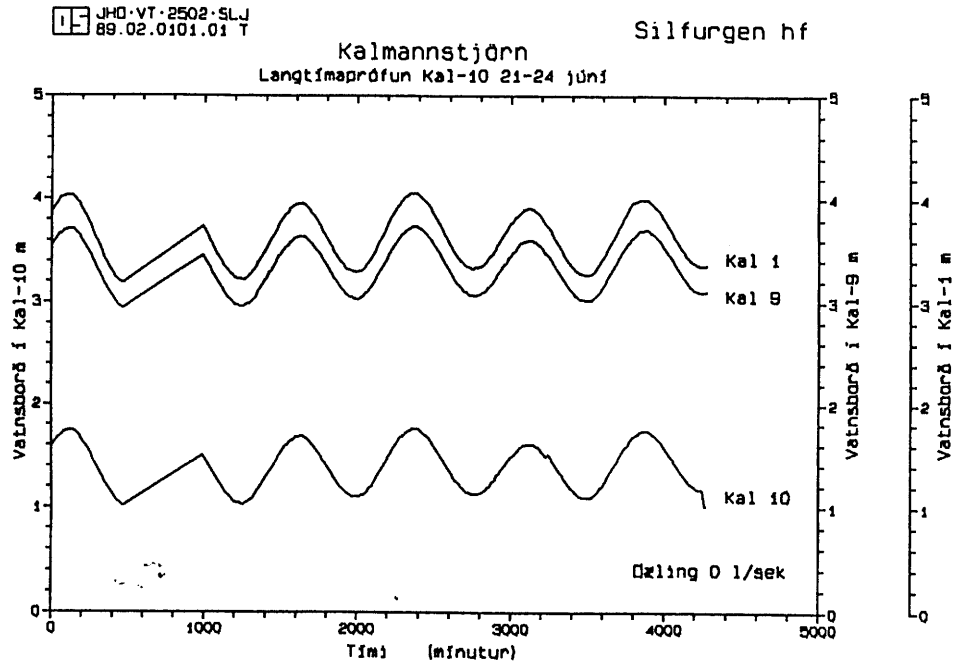
JHD-BJ-2502-HF
88.09.-0547-T

KALMANSTJÖRN

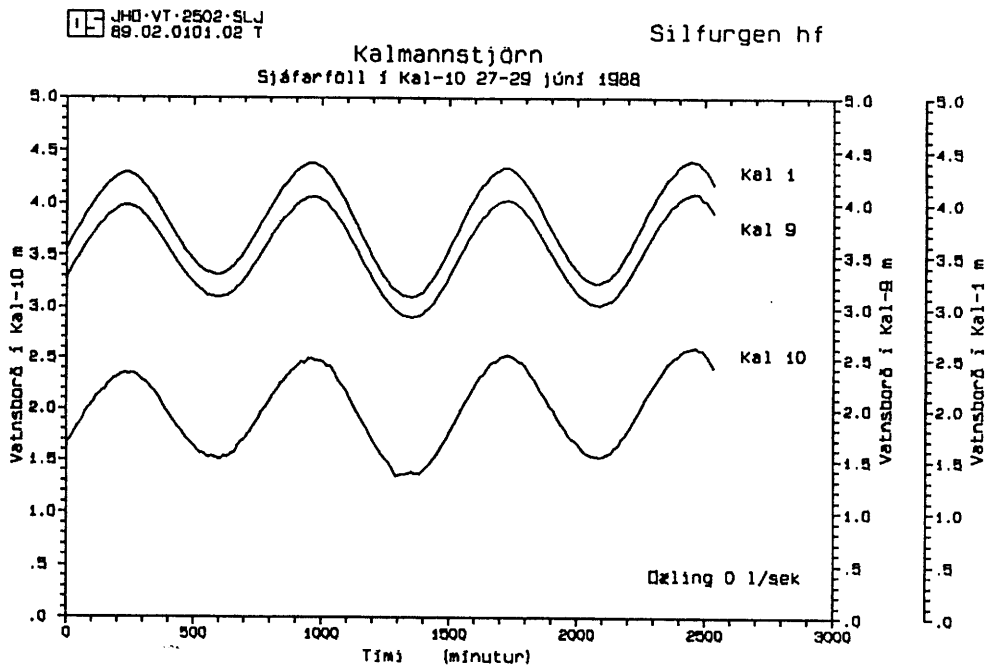
Jarðlagasnið



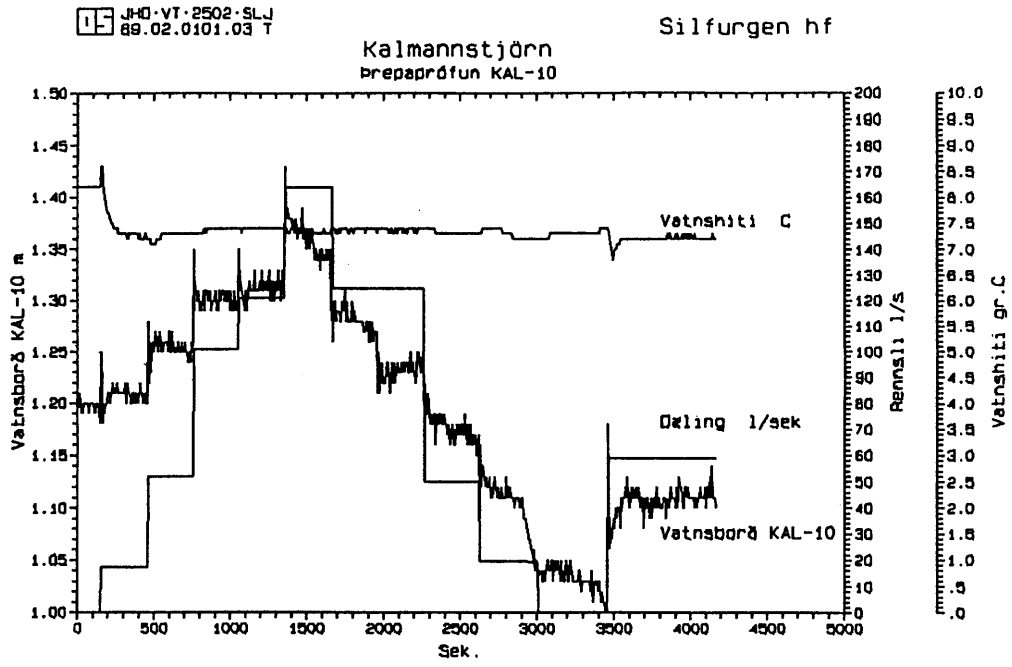
MYND 2 Jarðlagasnið úr holum 9 og 10



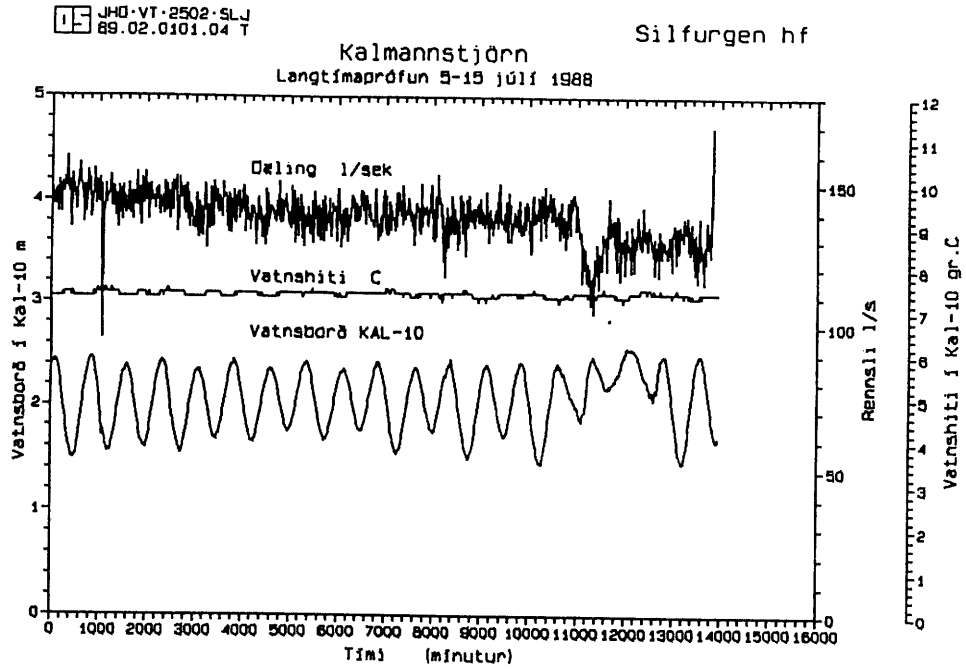
MYND 3 Sjávarföll holu 10, 21.-24. júní 1988



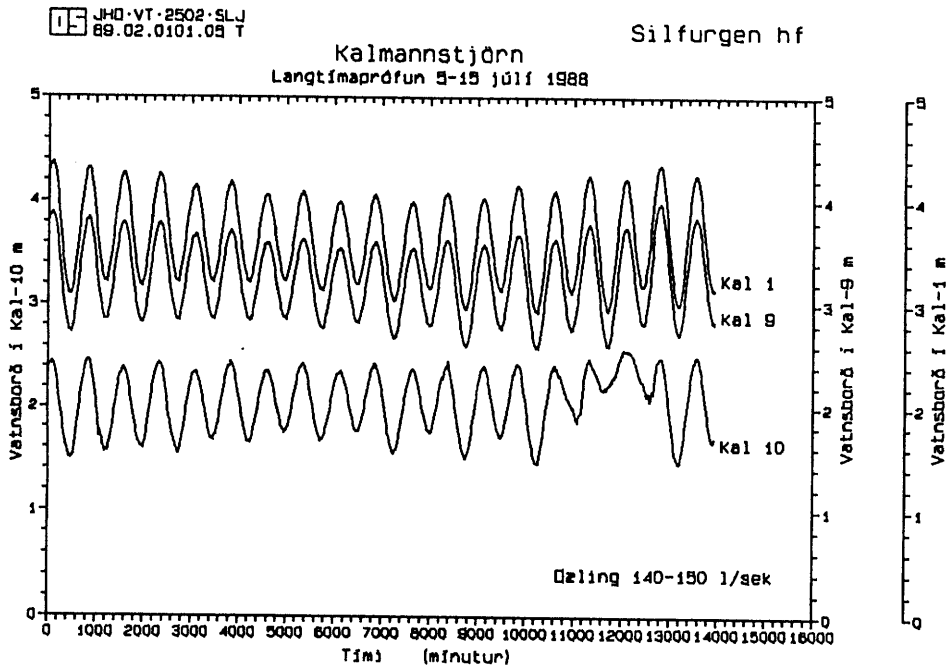
MYND 4 Sjávarföll holu 10, 27.-29. júní 1988



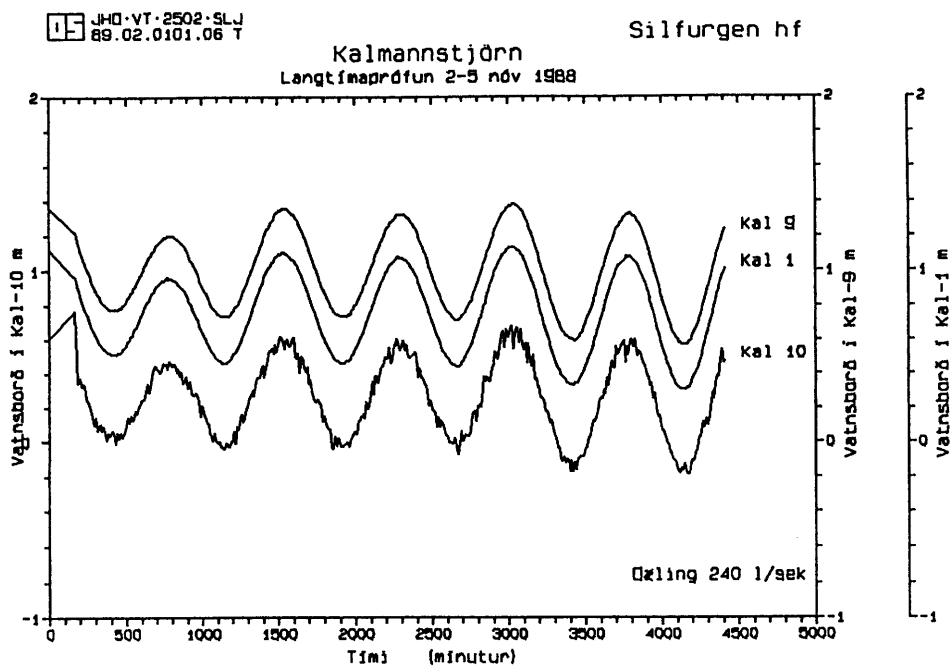
MYND 5 Þrepaprófun holu 10



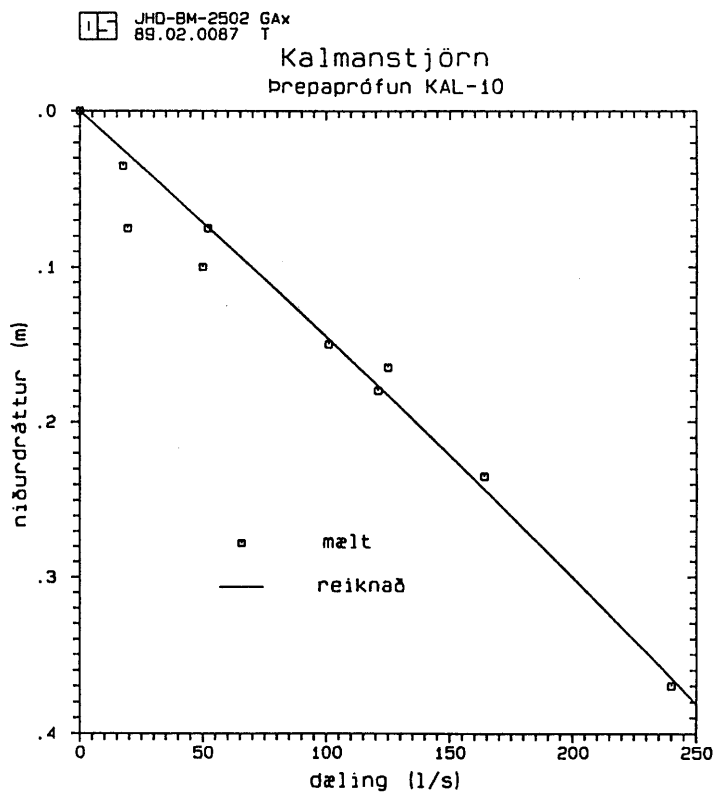
MYND 6a Langtímaprófun holu 10, 5.-15. júní 1988



MYND 6b Langtímaprófun holu 10, 5.-15. júní 1988



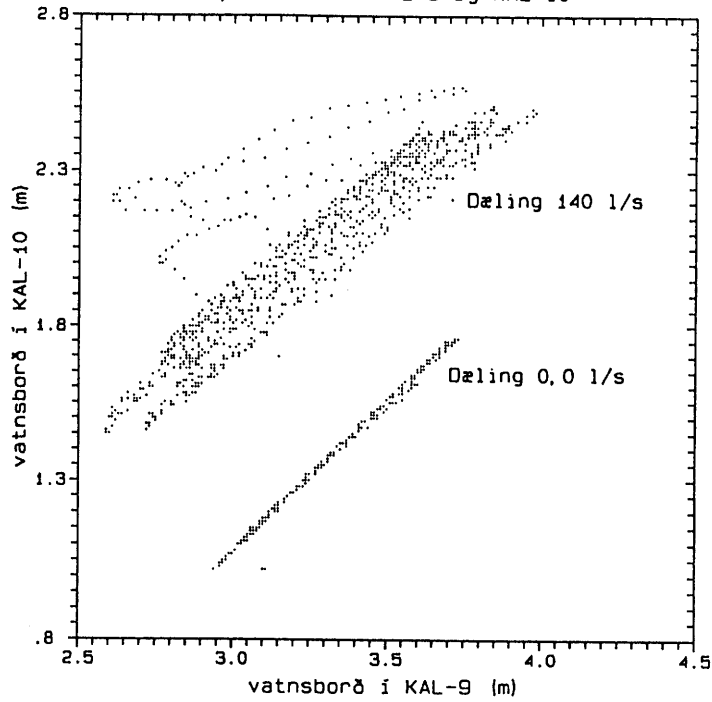
MYND 7 Langtímaþrófun holu 10, 2.-5. nóv. 1988



MYND 8 Þrepaprófun holu 10

JHD-BM-2502 GAX
89.02.0088 T

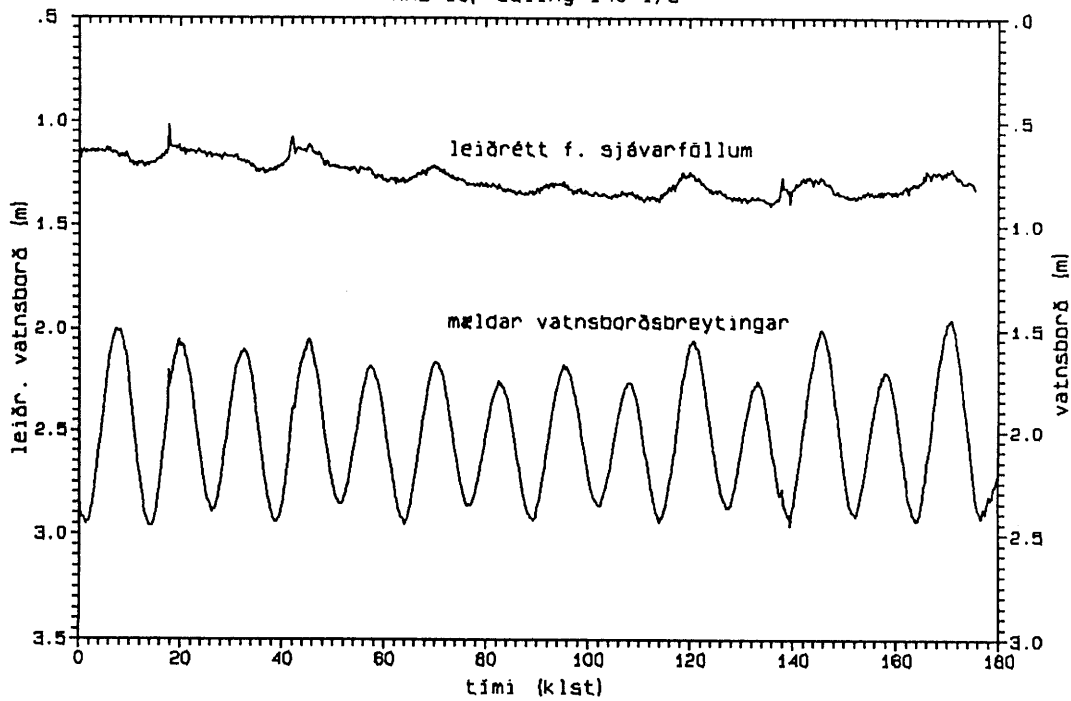
Kalmanstjörn
Sjávarföll í KAL-9 og KAL-10



MYND 9 Samanburður á sjávarföllum í holum 9 og 10

JHD-BM-2502 GAX
89.02.0089 T

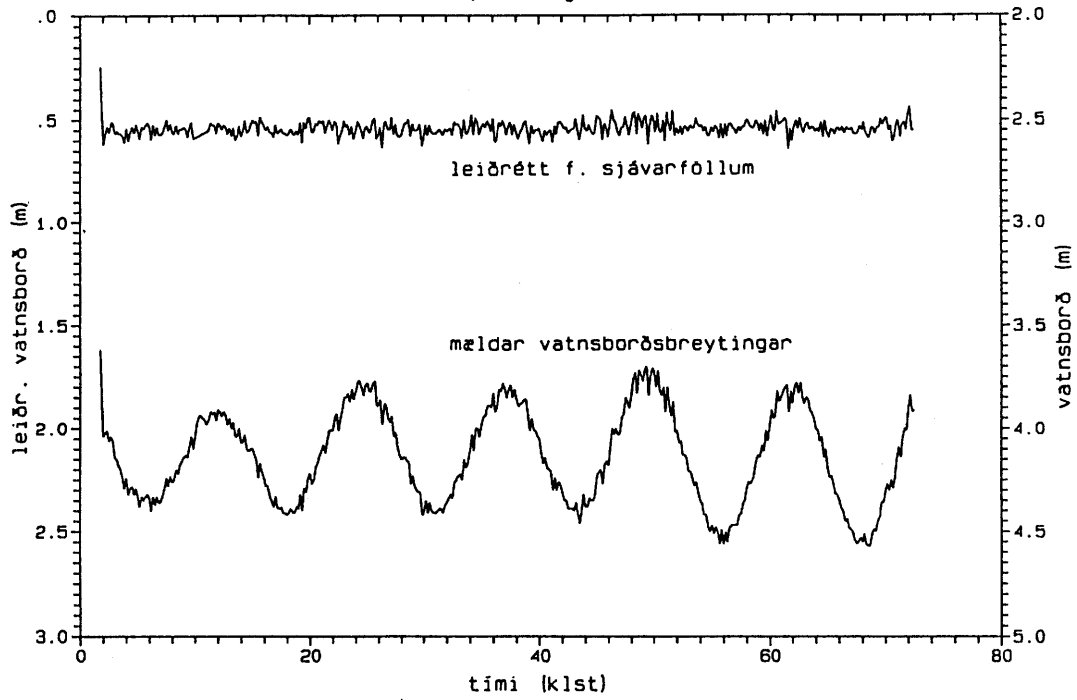
Kalmanstjörn júlí 1988
KAL-10, dæling 140 l/s



MYND 10 Langtímaviðbrögð holu 10 leiðrétt f. sjávarföllum, dæling 140 l/s

JHD-BM-2502 GAx
89.02.0090 T

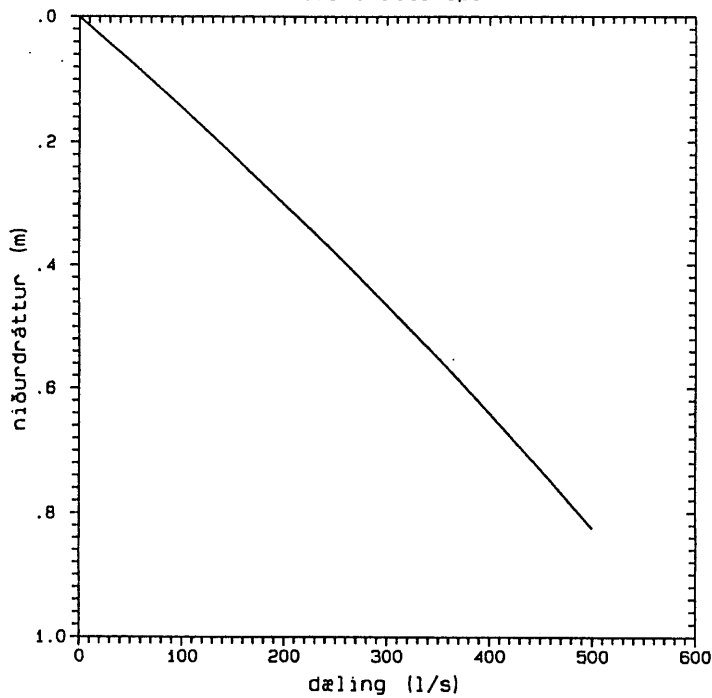
Kalmanstjörn nóvember 1988
KAL-10, dæling 240 l/s



MYND 11 Langtímaviðbrögð holu 10 leiðrétt f. sjávarföllum, dæling 240 l/s

JHD-FF-2502 GAx
89.02.0091 T

Kalmanstjörn KAL-10
Niðurdráttarspá



MYND 12 Niðurdráttarspá