



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Umboð

KLAUSTURHÓLAR
Dæluþrófun KÍ-6

Sæþór L. Jónsson
Guðni Axelsson
Hrefna Kristmannsdóttir

Unnið fyrir Fjallalax hf.

OS-87025/JHD-16 B

Júní 1987



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknúmer : 699-233

KLAUSTURHÓLAR
Dæluþrófun KÍ-6

Sæþór L. Jónsson
Guðni Axelsson
Hrefna Kristmannsdóttir
Unnið fyrir Fjallalax hf.
OS-87025/JHD-16 B

Júní 1987

EFNISYFIRLIT

	bls.	
1	BORUN HOLU KÍ-6 Á KLAUSTURHÓLUM	3
2	DÆLUPRÓFUN	3
	2.1 Skilgreiningar	4
	2.2 Þrepaprófun	4
	2.3 Reynsludæling	5
	2.4 Kólnun	6
	2.5 Jöfnun vatnsborðs	7
	2.6 Niðurstöður dæluþrófunar	7
3	EFNASAMSETNING VATNSINS	8

MYNDASKRÁ

	bls.	
1	Yfirlitsmynd	10
2	Lagstreymistap - iðustreypistap	11
3	Þrepaprófun - gögn	11
4	Þrepaprófun holu 6	12
5	Reynsludæling - gögn	13
6	Reynsludæling - gögn	13
7	Einingarniðurdráttur	14
8	Mældur og reiknaður einingarniðurdráttur	14
9	Mæld og reiknuð kólnun	15
10	Jöfnun 1 - gögn	15
11	Jöfnun 2 - gögn	16
12	Jöfnun vatnsborðs 8. apríl 1987	16
13	Jöfnun vatnsborðs 16. apríl 1987	17
14	Niðurdráttarspá	17

1 BORUN HOLU KÍ-6 Á KLAUSTURHÓLUM

Hola KÍ-6 á Klausturhólum var boruð með Ísbor dagana 7. - 13. febrúar 1987. Holan er 202,3 m á dýpt, fóðruð með 8" í 76 m og holuvídd neðan fóðringar er 6 1/4". Í borun komu fram all vatnsmiklar æðar frá 24 m niður í 68 m. Rennsli úr þeim var í blæstri um eða yfir 20 l/s og hiti lengst af 8°C en fór upp í 11,5°C eftir að síðasta æðin opnaðist. Suðvestan við holuna er sprunga og á 57 m dýpi í holunni kom hún greinilega fram. Jarðlög eru mjög fersk að sjá niður í 76 m og var ákveðið að fóðra holuna þangað niður í von um að loka sem mest af kalda vatninu úti. Hitamæling að morgni 10. febrúar sýndi 20,4°C í botni og 10° hitaaukningu neðan við æðina í 57 m.

Eftir fóðrun var holan boruð á upb. 6 tímum niður í 184 m. Á þessu bili opnuðust æðar fyrst inn í holuna í 110 m en aðallega á milli 120 og 130 m. Rennsli í blæstri var þó lítið eða 3-4 l/s og hiti í frárennslinu var 49°C. Hitamæling að morgni 13.2. sýndi 105°C í botni. Var þá sýnt að tilgangslaust væri að bora öllu dýpra nema þá til að fá smáviðbót af heitara vatni en 100°C. Mikil viðbót væri hins vegar óæskileg vegna útfellingarhættu. Þó var ákveðið að dýpka holuna niður í a.m.k. 200 m og var borun hætt í 202,3 m. Ekki varð vart við vatnsaukningu. Hitamælt var í holunni þann 18.2. Rennsli úr henni var þá 1 l/s af 60°C heitu vatni. Æðakafli milli 110 og 125 m sést glögg í mælingunni og smáæðar neðar. Hiti í botni var 120,4°C, sbr. greinargerð KS-87/06.

Mynd 1 er yfirlitsmynd af svæðinu.

2 DÆLUPRÓFUN

Hola 6 á Klausturhólum var dæluprófuð dagana 8. til 21. apríl 1987. Dæluprófunin var þrjúþætt: Þrepaprófun við upphaf dæluprófunar, langtímareynsludæling sem stóð yfir í alls 13 daga og þrjár mælingar á jöfnun vatnsborðs. Holan var dæluprófuð með dælubúnaði Vinnslutækni-deildar OS. Við þann búnað var tengt sjálfvirkt gagnasöfnunartæki sem skráði dælinguna, hitastig vatnsins, vatnsborð í dæluholunni, vatnsborð í holu 4 í 500 m fjarlægð og loftþrýstingur. Hér að neðan verður fjallað um niðurstöður úrvinnslu þessara gagna.

2.1 Skilgreiningar

Við dæluþrófanir eru ýmsir stuðlar ákvarðaðir sem gefa vísbendingu um það hve miklu er unnt að dæla úr viðkomandi borholum eða jarðlögum. Verður gerð stuttlega grein fyrir nokkrum slíkra þrófana.

Lagstreymis- og iðustreymistap. Við dælingu úr borholum lækkar vatnsborð þeirra yfirleitt nokkuð. Þessi niðurdráttur stafar annars vegar af iðustreymistapi í holunni sjálfri og hins vegar af lagstreymistapi við að vatnið rennur um jarðlögin í átt að holunni (mynd 2). Iðustreymistap kemur yfirleitt fram strax við upphaf dælingar. Það er oft talið vera tengt dældu vatnsmagni í öðru veldi og nær endanlegri stærð mjög fljótt. Lagstreymistap er línulega háð dælumagninu. Það vex að jafnaði því lengur sem dælt er úr holunni og nær yfirleitt ekki endanlegi stærð nema við sérstakar aðstæður. Taka þarf tillit til beggja þessara þátta þegar metið er hvaða vatnsmagni er heppilegt að dæla úr viðkomandi holu þar sem þeir vaxa mishratt með aukinni dælingu.

Geymslustuðull S er mælikvarði á rúmmál þess vatns sem unnt er að taka úr jarðlögum.

Leiðnistuðull I vatnsleiðara er mælikvarði á hversu hratt vatn streymir eftir honum undan vatnshalla. Leiðnigildi vatnsleiðara eru á bilinu 10^{-5} m²/s - 10 m²/s. Vatnsleiðari sem hefur leiðnina 10^{-5} m²/s nægir tæpast fyrir einstaka sveitabæi, hins vegar er unnt að dæla 200 - 500 l/s úr jarðlögum sem hafa vatnsleiðni uppá 10 m²/s að því tilskyldu að vatn berist til leiðarans. Þetta vatnsmagn dugir vel fyrir flest iðnaðarnot, þar með talið fiskeldi.

2.2 Þrepaprófun

Tilgangur þrepaprófunarinnar var að meta afköst holunnar, þ.e. niðurdrátt við mismunandi dælingu, til skamms tíma. Gögn úr þrepaprófuninni eru birt á mynd 3, en hvert þrep var um 15 mín. Vatnsborð í lok hvers þreps, sem fall af dælingu, er sýnt á mynd 4. Stöðu vatnsborðs eftir 15 mín dælingu má nálga með jöfnunni:

$$h = -1,3 + 0,7 q + 0,24 q^2$$

þar sem h er dýpi á vatnsborð í metrum og q er dæling í l/s. Tekið er tillit til þess að 1,3 l/s sjálfrennsli var úr holunni fyrir prófunina. Annar liðurinn í jöfnunni lýsir þeirri vatnsborðslökkun sem verður vegna lagstreymisþrýstifalls í vatnskerfinu umhverfis holuna. Þessi liður er háður tíma og á því jafnan aðeins við um 15 mín

dælingu. Þriðji liðurinn lýsir hins vegar þeirri vatnsborðslækkun sem verður vegna iðustreymisþrýstifalls 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 4.

Þar sem annar liðurinn í jöfnunni hér að ofan (þrýstifallið í vatnskerfinu) vex með tíma nægir slík þrepaprófun yfirleitt ekki til þess að meta langtímaafköst borhola. Því er nauðsynlegt að reynsludæla holur í lengri tíma.

2.3 Reynsludæling

Reynsludælingin var gerð til þess að kanna hvernig niðurdráttur í holunni breyttist með tíma og jafnframt afla upplýsinga um vatnafræðilega eiginleika vatnskerfisins sem holan tengist, eins og um vatnsleiðni þess, takmörk o.fl. Gögn úr langtímaprófuninni eru birt á myndum 5 og 6.

Í fyrstu var dælt um 8 l/s, en eftir 25 klst. var dæling aukin í 9,6 l/s. Næstu 7 sólarhringana var hún nokkuð stöðug, en var þó minnkuð niður í 9,1 l/s. Þá (eftir 8 sólarhringa) var gert um einnar klst. hlé á langtímaprófuninni. Fylgst var með jöfnun vatnsborðs í hléinu (sjá mynd 11), en seinna verður gerð grein fyrir þeirri athugun. Síðan var dæling hafin á ný og nú dælt um 6 l/s í tæplega 5 sólarhringa (sjá mynd 6). Vegna bilunar í gagnasöfnunarbúnaði eru þó aðeins til gögn frá fyrstu 50 klst. þessa seinni þáttar langtímaprófunarinnar.

Gögnin úr langtímaprófuninni fela í sér mikilsverðar upplýsingar um viðbrögð vatnskerfisins við vinnslu, en vegna breytilegrar dælingar er erfitt að nota gögnin beint. Hér er því gripið til þess ráðs að reikna svokallaðan einingarniðurdrátt. Einingarniðurdrátturinn lýsir viðbrögðum holunnar við stöðugri 1 l/s dælingu. Ekki er þó reiknað með iðustreymistapi. Einingarniðurdráttur holu 6 er birtur á mynd 7.

Gögn eins og hér um ræðir eru venjulega túlkuð á grundvelli líkans af óendanlegum láréttum vatnsleiðara, lokuðum að ofan og neðan, með því að fella fræðileg viðbrögð líkansins að gögnunum. Það líkan virðist vera viðeigandi hér, en er þó ekki eina mögulega líkanið. Túlkunin gefur þá ákveðið mat á eiginleikum hins raunverulega kerfis, t.d. á vatnsleiðni þess. Það mat er þó líkanháð og ber aðeins að skoða í ljósi líkansins. Segja má að slíkt mat gefi sýndareiginleika kerfis.

Einingarniðurdráttur holu 6 hefur verið túlkaður á þennan hátt og eru niðurstöðurnar birtar á mynd 8, sem sýnir reiknaðan feril ásamt

gögnunum. Mynd 8 er með lógaritmískum tímaskala. Eins og sést þá fellur reiknaði ferillinn nokkuð vel að gögnunum. Leiðnistuðull vatnskerfisins er metinn

$$k_{hg/v} = 1,6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

þar sem k er lekt kerfisins, h þykkt þess, g þyngdrarhröðunin og v eðlissegja jarðhitavöðvans. Erfiðara er að meta geymslustuðul kerfisins þar sem um vatnsborðsmælingu í sjálfri dæluholunni er að ræða. Ekki varð vart við takmörk á vatnskerfinu.

Tæplega 50 cm vatnsborðslækkun varð í holu 4 meðan reynsludælingin stóð yfir. Þetta lítil vatnsborðslækkun bendir til þess að tengsl milli holanna séu ekki greið.

2.4 Kólnun

Hitastig vatnsins sem dælt var í reynsludælingunni er sýnt á myndum 5 og 6. Þar sést að um verulega kólnun er að ræða, mesta fyrst en mun hægari síðar. Vatnið kólnar úr 76°C niður í 45°C á um vikutíma. Ekki er hægt á grundvelli fyrirliggjandi gagna að fullyrða um orsök kælingarinnar, en um tvo möguleika er að ræða:

i) Blöndun í vatnskerfinu, þ.e. að kaldara vatn leki inn í aðal vatnsleiðarann.

ii) Blöndun í holunni sjálfri, þ.e. að tvær misheitar æðar gefi inn í holuna. Jafnvel er mögulegt að um leka bak við fóðringu sé að ræða.

Á þessu stigi málsins virðist ii) ólíklegri kostur því í þrepa-dælingunni (mynd 3) kemur ekki fram greinilegt samband milli vatnsborðs og kólnunar. Rétt væri þó að kanna hversu vel fóðringin er steypt með CBL-mælingu.

Hér verður því stuðst við möguleika i). Hitastigi vatnsins má þá lýsa með jöfnunni

$$T = T_0 + A \exp(-aQ) + B \exp(-bQ)$$

þar sem

$$A + B = T_i - T_0$$

T_0 = hitastig blöndunarvatnsins, C

T_i = upphaflegt hitastig jarðhitavatnsins, C

a, b = fastar háðir jarðhitakerfinu

Q = magn sem dælt hefur verið frá upphafi dælingar, m^3

Með þessari jöfnu má lýsa hitastigi vatnsins mjög nákvæmlega og er reiknuð og mæld kólnun sýnd á mynd 9. Samkvæmt því virðist hitastig blöndunarvatnsins vera $T_0 = 44,4$ C og að vatnið muni því ekki kólna verulega í viðbót við það sem varð í reynsludælingunni. Þó er rétt að leggja mikla áherslu á það að hitastig blöndunarvatnsins gæti lækkað með tíma og einnig gæti sú túlkun sem hér er byggt á verið röng. Því er mögulegt að vatnið kólni meira í framtíðinni en hér er spáð. Þess vegna er mikilvægt að fylgjast vel með hitastigi vatnsins, og jafnframt efnainnihaldi þess, svo sjá megi áframhaldandi kólnun fyrir.

2.5 Jöfnun vatnsborðs

Jöfnun vatnsborðs í holunni var mæld þrisvar meðan hlé var gert á dælingu. Fyrst eftir þrepaprófunina (jöfnun 1) og eru þau gögn birt á mynd 10. Síðan í lok 8. sólarhrings reynsludælingarinnar (jöfnun 2) og eru þau gögn birt á mynd 11. Að lokum var jöfnun mæld eftir reynsludælinguna (jöfnun 3), en í þeirri jöfnun kemur fram óregla sem gerir gögnin illtúlkunleg. Gögn úr jöfnun 1 og 2 eru túlkuð hér til þess að fá annað mat á vatnsleiðni vatnskerfisins. Þó er það mat mun ónákvæmara en mat á vatnsleiðninni útfrá langtímaprófuninni, enda byggt á 60 mín. í stað 11500 mín. Jöfnunargögnin eru túlkuð á grundvelli sama líkans og langtímadælugögnin og niðurstöður birtar á myndum 12 og 13. Leiðnistuðull vatnskerfisins er metinn

$$\text{khg/v} = 2,6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{skv. jöfnun 1}$$

$$\text{khg/v} = 1,3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{skv. jöfnun 2}$$

Leiðnistuðullinn skv. jöfnun 2 er í góðu samræmi við stuðulinn skv. langtímaprófuninni. Stuðullinn skv. jöfnun 1 er ekki í eins góðu samræmi, enda túlkun þeirra gagna óvissari vegna breytilegrar dælingar fyrir jöfnunina (sjá mynd 3).

2.6 Niðurstöður dæluþrófunar

Nú er hægt að spá fyrir um framtíðarviðbrögð holu 6 með aðstoð líkansins sem notað var til þess að túlka langtímagögnin, með leiðnistuðli $\text{khg/v} = 1,6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Niðurstöðurnar eru birtar á mynd 14, en þar er einnig tekið tillit til iðusreymistaps (skv. jöfnu í kafla 2.2). Á mynd 14 sést að ef halda á vatnsborði innan fóðringar næstu tvö árin virðist ekki mega dæla meiru en 8 l/s úr holunni. Þess ber þó að geta að hér er aðeins um spá að ræða. Rétt er því að fylgjast vel með dælingu og vatnsborði svo unnt sé að endurskoða spána ef þurfa þykir.

Athugun á kólnun vatnsins bendir til þess að vatnið muni, a.m.k. í fyrstu, varla kólna niður fyrir 44°C. Þó er rétt að ítreka að kólnunin gæti orðið meiri, eins og bent er á í kafla 2.4, og því mjög mikilvægt að fylgjast vel með hitastigi vatnsins, eins og áður sagði.

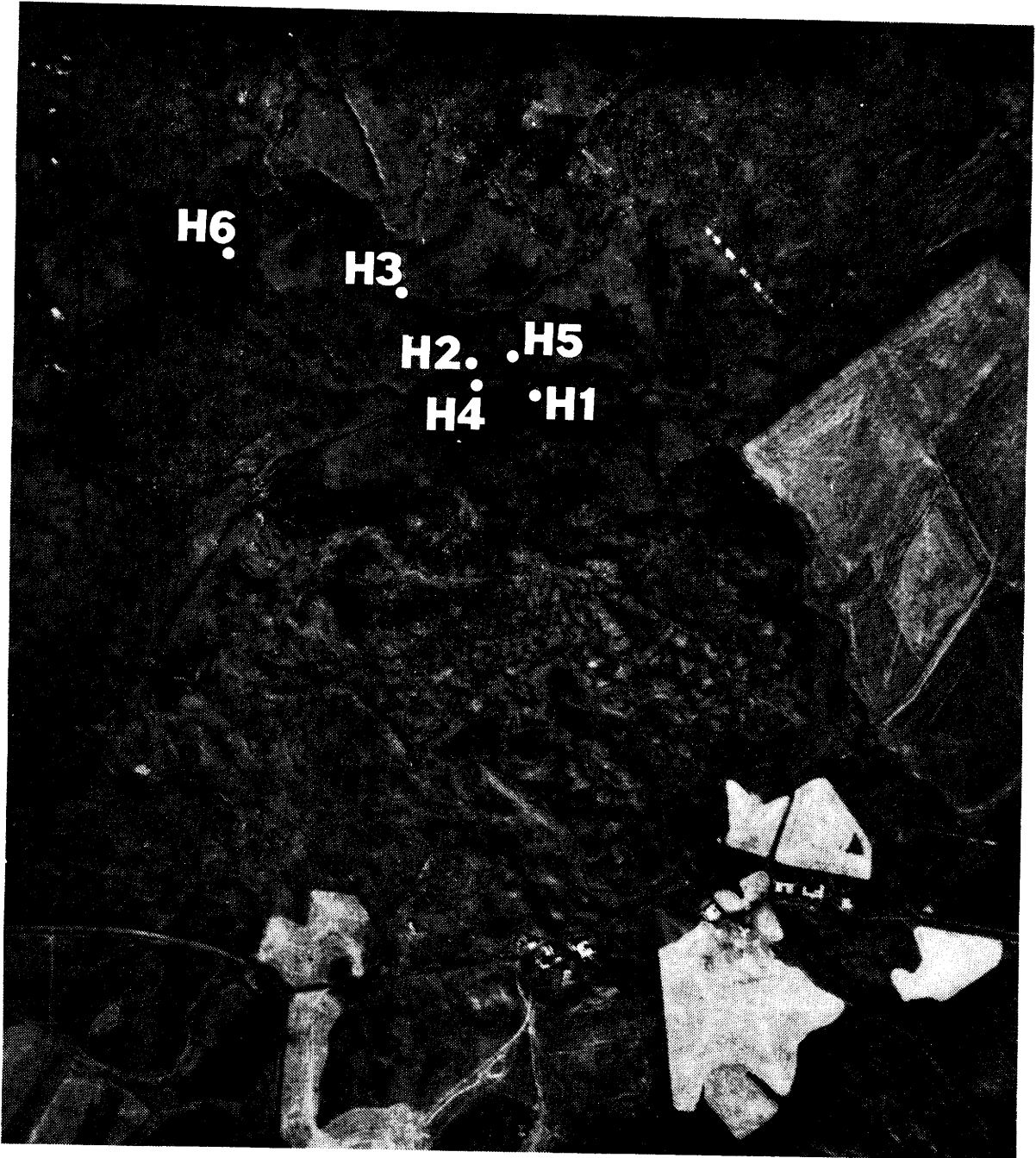
3 EFNASAMSETNING VATNSINS

Tekin voru tvö sýni til efnagreiningar úr holu KÍ-6 annað við sjálfrennsli (1 l/s), fyrir dæluprófun og hitt meðan á dæluprófun stóð. Niðurstöður eru sýndar í meðfylgjandi töflu ásamt efnasamsetningu vatns úr holu 1 á Klausturhólum. Fyrra sýnið, sem tekið var við sjálfrennsli úr holunni, um 73°C heitt, hefur svipaða seltu og sýnin af vatninu úr heitu holunni, holu 1. Það gæti verið afrennsli frá sama vatnskerfi og fæðir þá holu, lítilsháttar blandað köldu vatni. Járnstyrkur, fluoríðstyrkur og karbonatstyrkur er mun hærri í þessu vatni en því úr heitu holunni. Vatnssýnið sem tekið var í dæluprófuninni er augljóslega blanda af köldu vatni og vatni úr heitu æðunum og er ekki í efnajafnvægi við það hitastig sem það hefur nú. Járnstyrkur er tífalt lægri en í fyrra sýninu og súrefni talsvert hátt. Járnnoxýð fellur fljótt úr vatni þegar súrefni kemst í það. Styrkur mangans er talsvert hár í fyrra sýninu og einnig talsverður í því síðara. Hlutfallslegur styrkur mangans miðað við járn er hærri í síðara sýninu, sem bendir til að járníð í vatninu oxist hraðar en manganið. Önnur efni, sem ekki hvarfast við blöndun benda til rúmlega helming blöndunar af köldu vatni í heita vatnið en ekki er hægt að reikna það nákvæmlega nema þekkja efnasamsetningu kalda vatnsins. Efnasamsetning kalda vatns, sem tekið var sýni af í landi Hallkelshóla 1985, er tekin með til samanburðar í töflunni, en ekki er víst að kalda vatnið, sem inn í holuna rennur, sé af alveg sömu samsetningu.

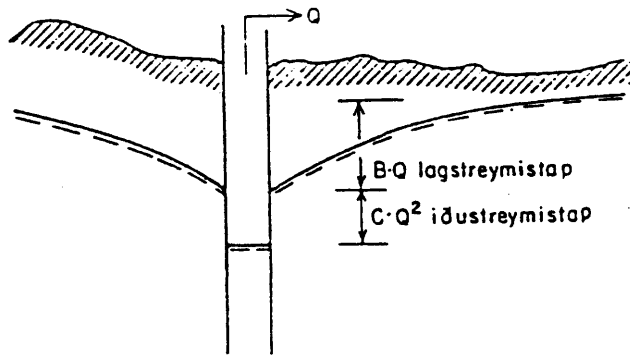
Með tilliti til neysluhæfni er vatnið ekki sérlega gott. Hætta er á bæði tæringu og útfellingum við nýtingu og það er ekki drykkjarhæft.

Efnasamsetning vatns úr holu KÍ-6 og holu 1 á Klausturhólum og köldu vatni í lind við Rauðhól.

Staður	Hola KÍ-6	Hola KÍ-6	Hola I	Hola I	Hola I	Lind við Rauðhól
Dagsetning	870319	870414	781209	790522	831107	851118
Hiti °C	72,7	45,4	103	103	120 (0,5 bar)	5
pH/°C	7,02/20	7,14/21	6,88/19	6,63/21	6,92/20	8,30/22
SiO ₂ mg/kg	166,8	83,7	223	248,9	222,2	18,4
Na -	255,4	107,8	179	185,4	195,2	7,8
K -	9,2	3,9	11,9	13,1	14,6	1,1
Ca -	26,7	9,7	24,3	24,2	12,7	4,9
Mg -	2,98	1,0	7,10	5,65	5,02	2,4
Heildarkarbonat sem CO ₂ mg/kg	446	196	332	326	273	23,6
SO ₄ -	64,8	25,2	79,8	83,1	77,9	2,3
H ₂ S -	0,055	<0,05	1,79	2,58	3,77	0,0
Cl -	99,3	40,3	98,7	107,7	113,0	7,8
F -	1,52	0,808	0,99	1,08	1,08	0,07
Uppleyst -	904	394	834	857	895	53
O ₂ -	-	0,6	-	-	-	-
Cu -	<0,0002	<0,0002				
Fe -	0,63	0,05		0,14		0,0
Mn -	0,3	0,06				
Br -	0,34	0,19				
Gassamsetning í rúmmáls %						
CO ₂		5,64				
H ₂ S		0,00				
H ₂		0,00				
O ₂		0,61				
CH ₄		0,00				
N ₂		92,74				
Ar		1,02				



MYND 1 Yfirlitsmynd

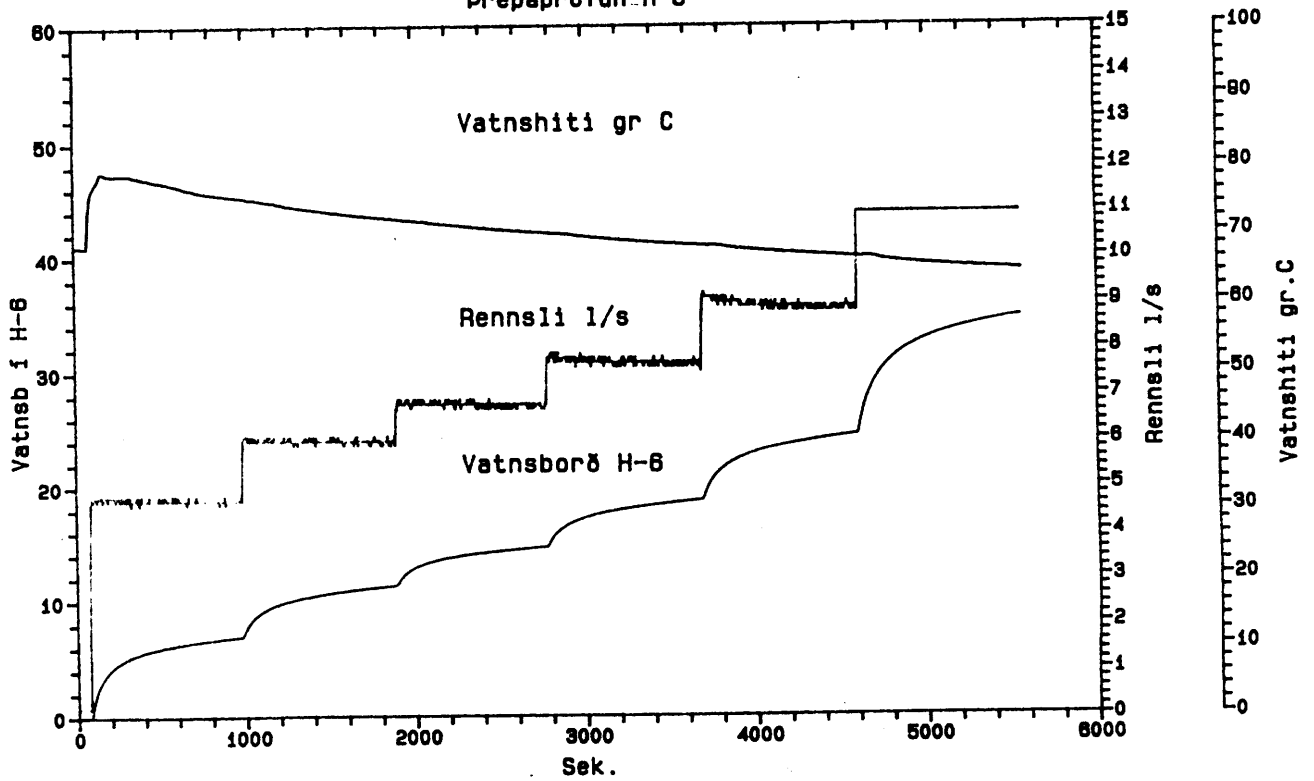


MYND 2 Lagstreymistap - Iðustreymistap

JHD-VT-8713-SLJ
87.04.0387.01 T

Klausturhólar
Þrepaprófun H-6

Fjallalax hf

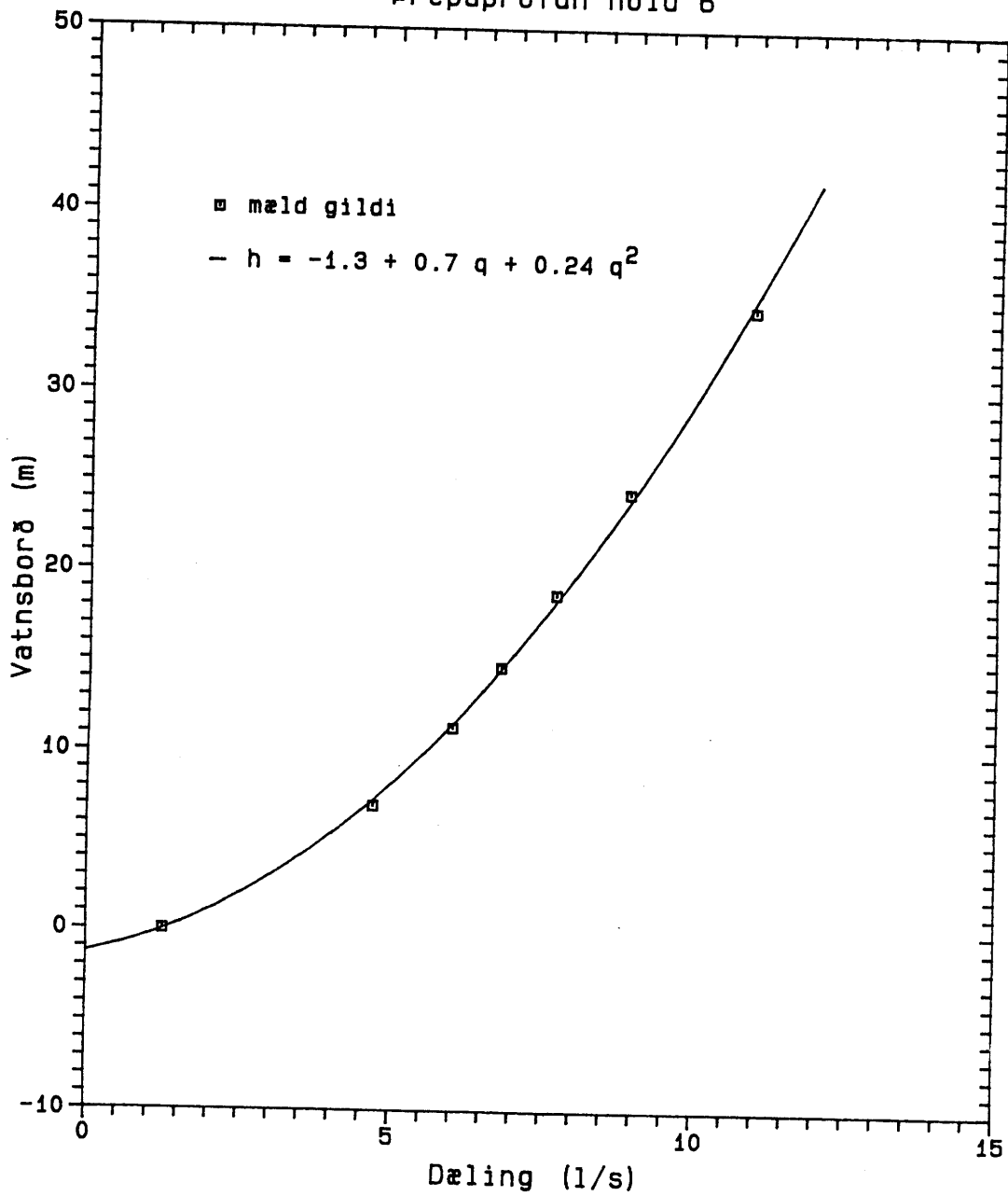


MYND 3 Þrepaprófun - gögn

JHD-BM-8713 GAx
87.05.0411 T

Fjallalax hf

Klausturhólar Þrepaprófun holu 6

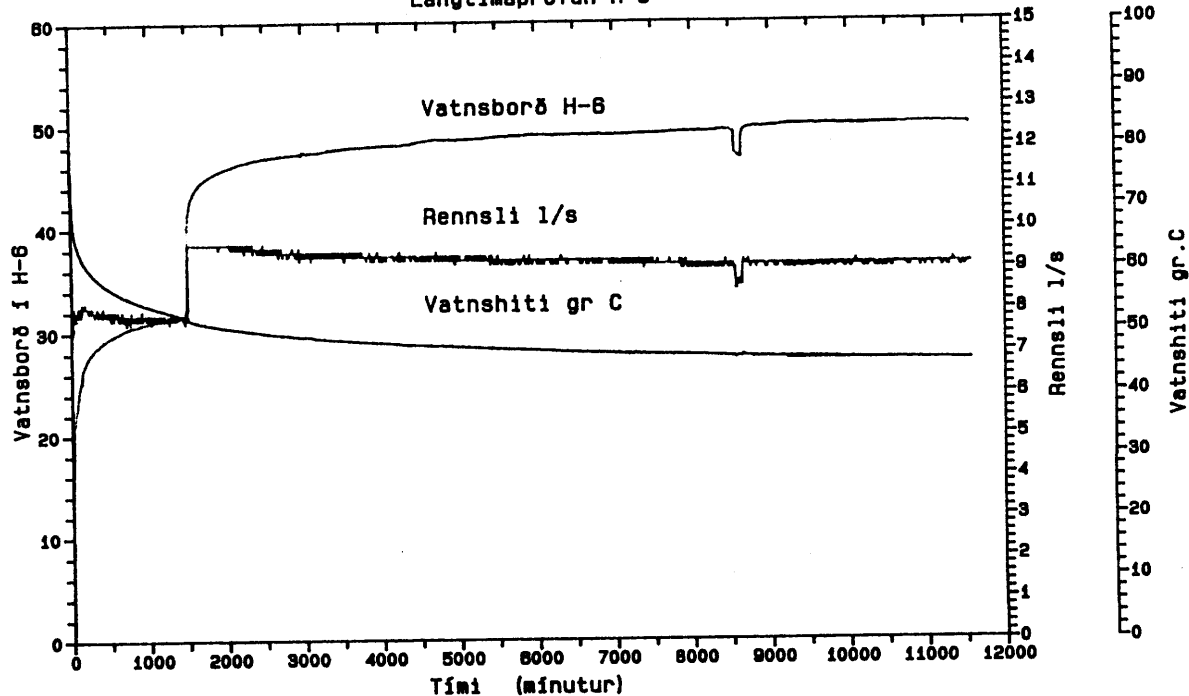


MYND 4 Þrepaprófun holu KÍ-6

JHD-VT-8713-SLJ
87.04.0367.03 T

Fjallalax hf

Klausturhólar
Langtímaþrófun H-6

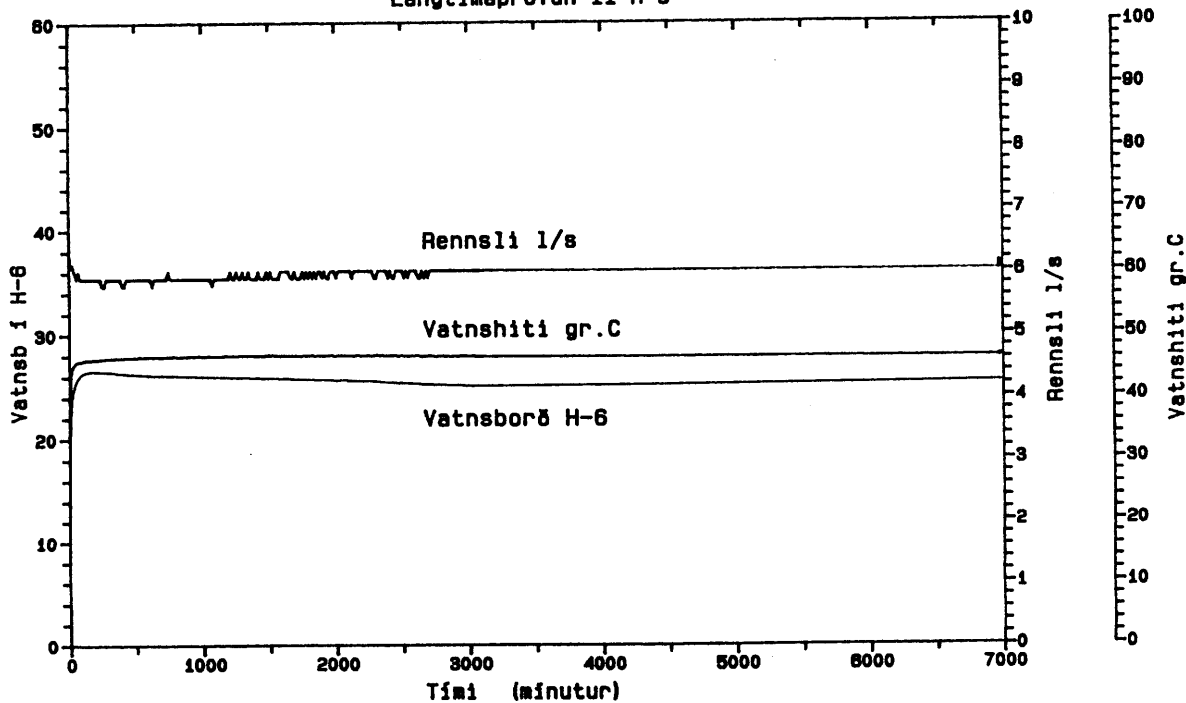


MYND 5 Reynsludæling - gögn

JHD-VT-8713-SLJ
87.04.0367.05 T

Fjallalax hf

Fjallalax
Langtímaþrófun II H-6

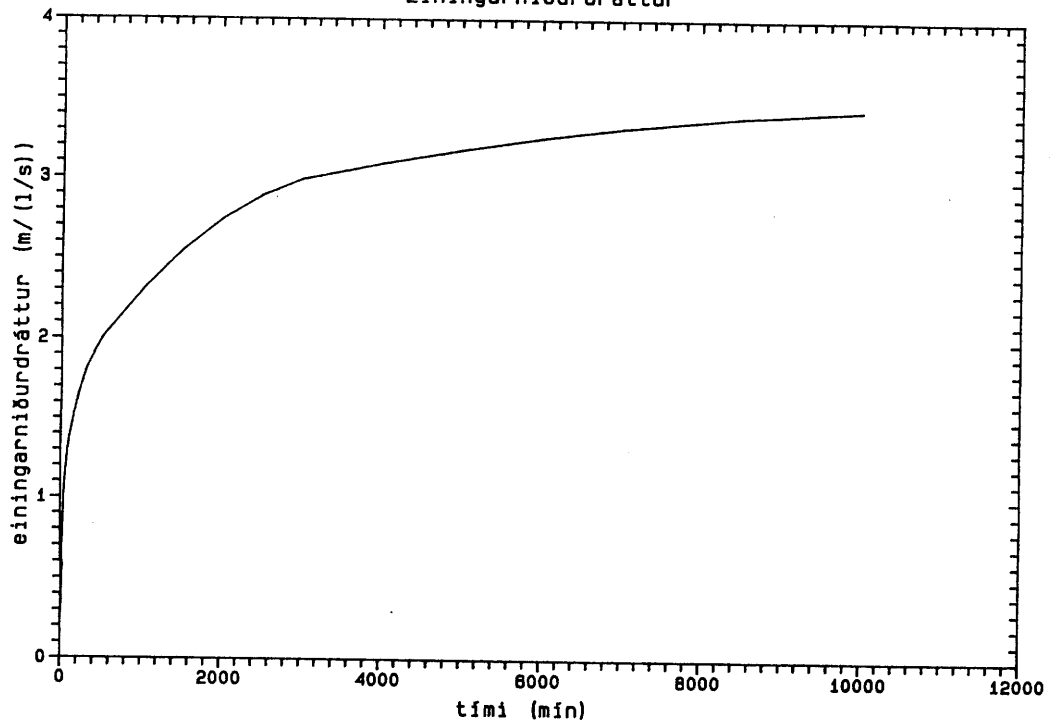


MYND 6 Reynsludæling - gögn

JHD-BM-8713 6Ax
87.05.0412 T

Klausturhólar hola 6
Einingarniðurdráttur

Fjallalax hf

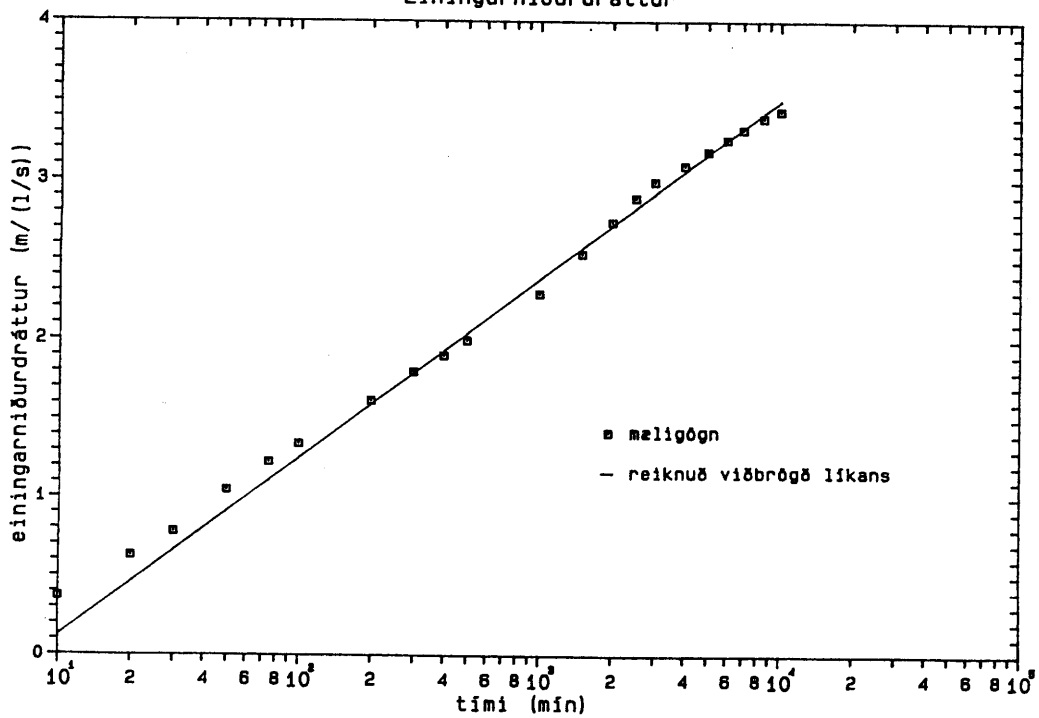


MYND 7 Einingarniðurdráttur

JHD-BM-8713 6Ax
87.05.0413 T

Klausturhólar hola 6
Einingarniðurdráttur

Fjallalax hf

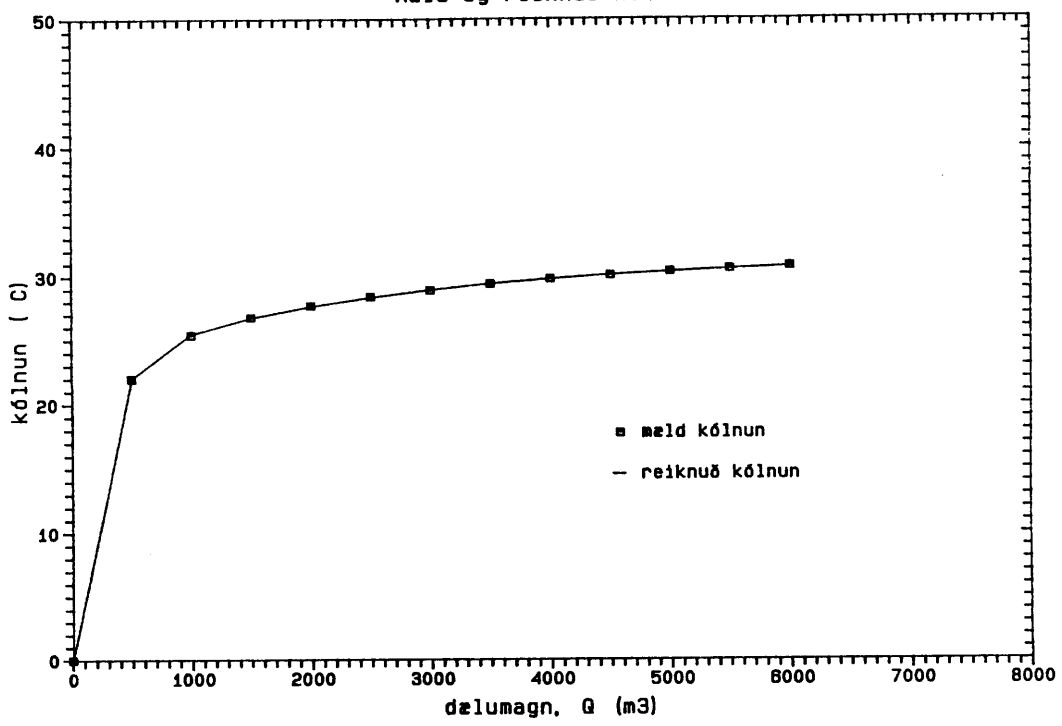


MYND 8 Mældur og reiknaður einingarniðurdráttur

JHD-BM-8713 6Ax
87.05.0414 T

Fjallalax hf

Klausturhólar hola 6 Mæld og reiknuð kólnun

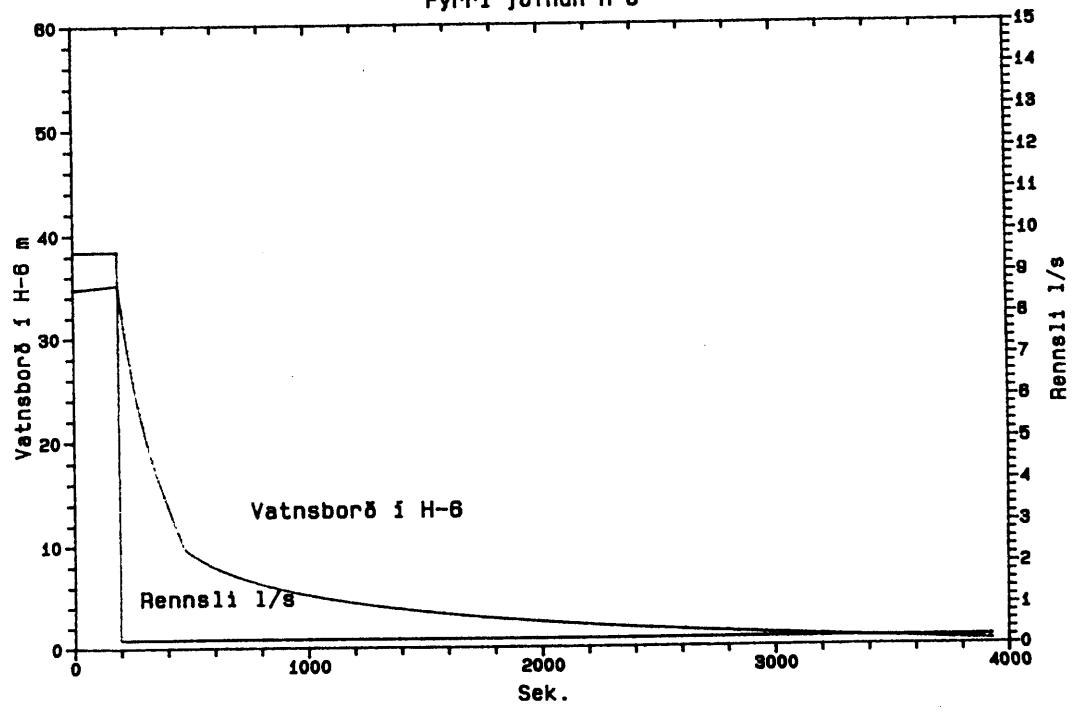


MYND 9 Mæld og reiknuð kólnun

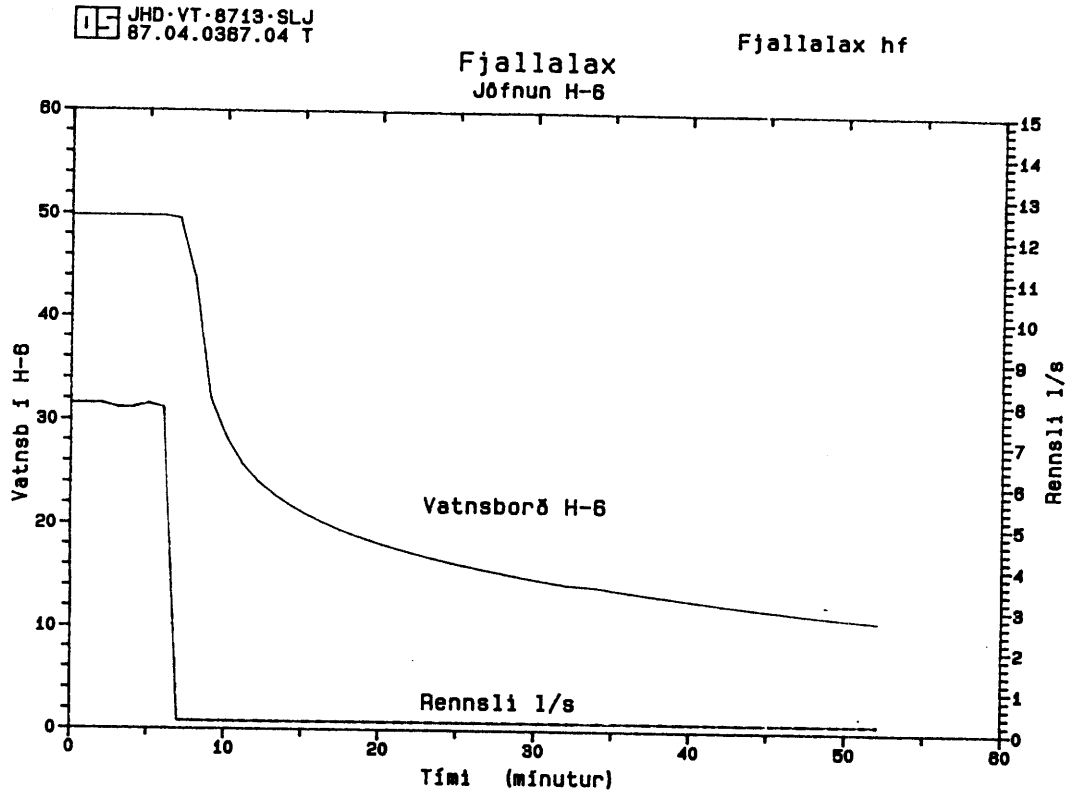
JHD-VT-8713-SLJ
87.04.0387.02 T

Fjallalax hf

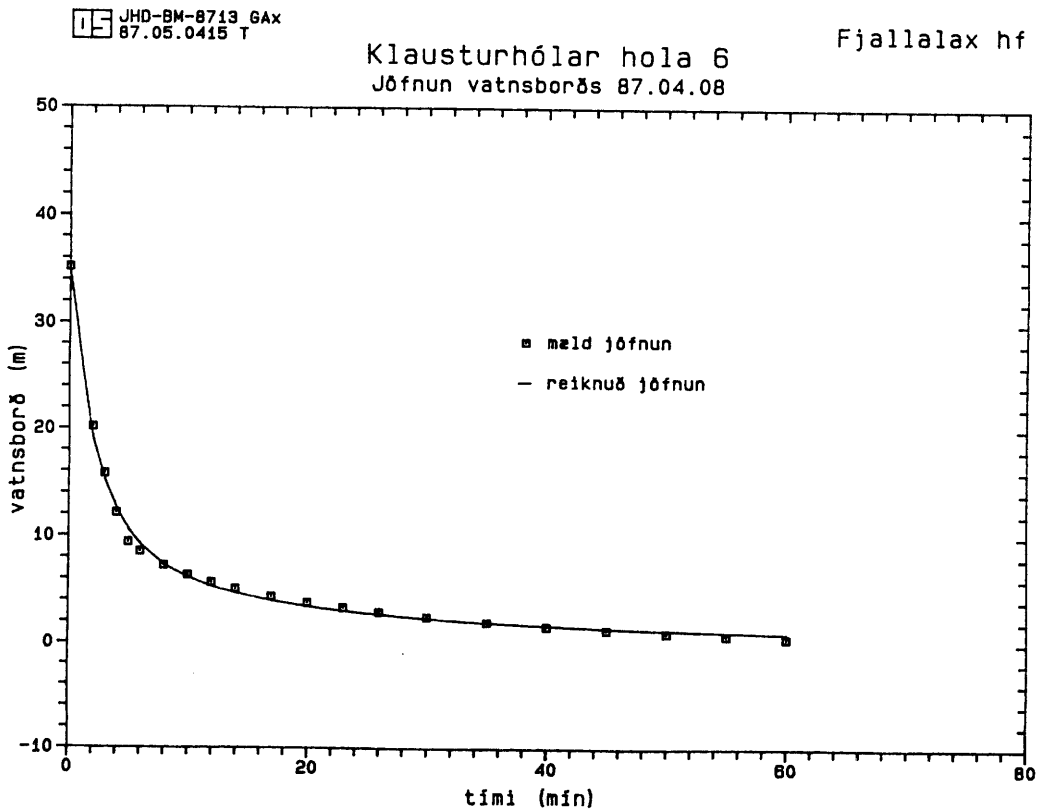
Klausturhólar Fyrri jöfnun H-8



MYND 10 Jöfnun 1 - gögn



MYND 11 Jöfnun 2 - gögn

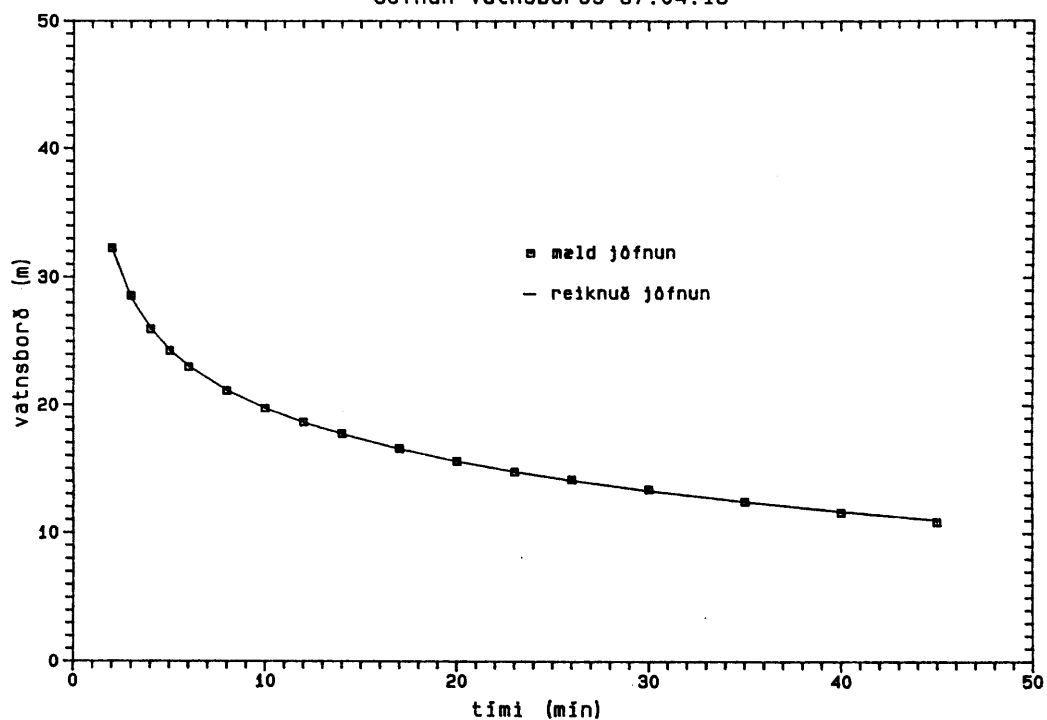


MYND 12 Jöfnun vatnsborðs 8. apríl 1987

JHD-BM-8713 6Ax
87.05.0416 T

Klausturhólar hola 6
Jöfnun vatnsborðs 87.04.16

Fjallalax hf

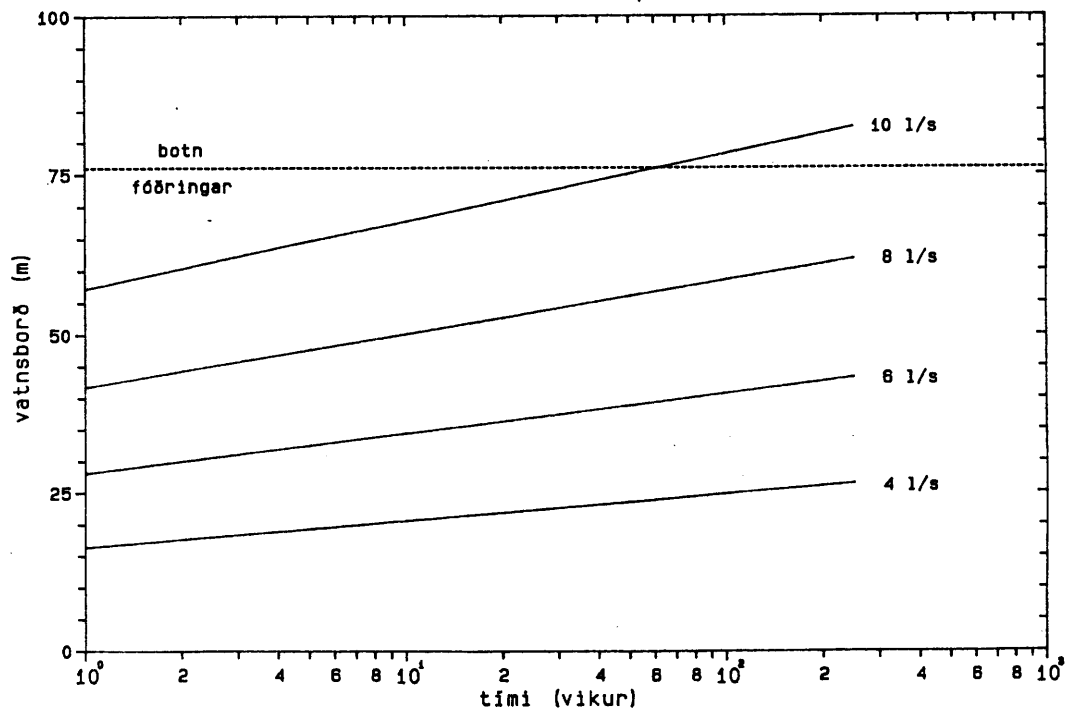


MYND 13 Jöfnun vatnsborðs 16. apríl 1987

JHD-BM-8713 6Ax
87.05.0417 T

Klausturhólar hola 6
Niðurdráttarspá

Fjallalax hf



MYND 14 Niðurdráttarspá