



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

NESJAVELLIR HOLA NJ-17

4. áfangi: Upphitun, upphleyping og blástur

Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur
af vinnuhópi JHD, JB og HR

OS-89010/JHD-04 B

Mars 1989



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Verknr.: 611113

NESJAVELLIR HOLA NJ-17

4. áfangi: Upphitun, upphleyping og blástur

Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur
af vinnuhópi JHD, JB og HR

OS-89010/JHD-04 B

Mars 1989

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	4
2. YFIRLIT YFIR TÍMABILIÐ 25. ÁGÚST 1986 - 31. DESEMBER 1988	4
2.1 Mælingar í upphitun	4
3. UPPHLEYPING	5
4. AFL OG AFKÖST	7
5. EFNI Í JARÐHITAVÖKVA.	8
6. ÁHRIF BLÁSTURS NJ-17 Á ÞRÝSTING Í NÆRLIGGJANDI HOLUM.	11
HEIMILDIR	12

TÖFLUSKRÁ

1 Yfirlit yfir tímabilið 86.08.25-88.12.31	5
2 Loftdæling á NJ-17 í júlí til september 1987	6
3 Aflmælingar á holu NJ-17	7
4 Efnasamsetning djúpvatns í holu NJ-17	8
5 Efnahiti	9
6 Gas í gufu við 7 bar-a þrýsting	10
7 Samsetning gass í gufu (%) við 7 bar-a þrýsting	10
8 Hitastig ópalmettunar við hvellsuðu í NJ-17	10

MYNDASKRÁ

1 Vatnsborð í upphitun	13
2 Þrýstimælingar í upphitun	14
3 Hitamælingar í upphitun	15
4 Hitamælingar eftir blástur	16
5 Blásturssaga NJ-17	17
6 Breytingar í styrk efna á blásturstíma	18
7 Efnasamsetning djúpvökva og jafnvægisferlar	21
8 Mettunarferill kalsíts	24
9 Vatnsborðsbreytingar í NJ-12 í september 1987 til október 1988	25
10 Vatnsborðslækkun í NJ-12 vegna blásturs NJ-17 og NJ-18	25
11 Vatnsborðsbreyting í NJ-12 vegna blásturs NJ-17	26
12 Vatnsborðshækkun í NJ-12 vegna lokunar NJ-17	26
13 Samspil vatnsborðs og loftþrýstings	27
14 Vatnsborðshækkun í NJ-12 vegna lokunar NJ-17 á lín-log skala	27
15 Nálgun vatnsborðsbreytinga í NJ-12 með líkanreikningum	28

1. INNGANGUR

Hola NJ-17 er staðsett innst í Kýrdal um 600 m suðvestan við holu NJ-12. Hún var boruð á tímabilinu frá 2. júní til 25. ágúst 1986 (sumarfrí bormanna var frá 12. júlí til 11. ágúst). Borunin tók 46 verkdaga. Holan var boruð í 2100 m dýpi og var vinnslufóðring (9 5/8") steypt niður á 763 m dýpi. Raufaður leiðari (7") nær frá 641,3 m niður á 1968,9 m dýpi, þar sem hann stöðvaðist í niðursetningu og gekk ekki neðar.

Frá borun holunnar hefur verið sagt í þremur áfangaskýrslum (sjá heimildir). Þessi skýrsla fjallar um þær athuganir sem gerðar hafa verið eftir að borun lauk til ársloka 1988.

Verkið var unnið í samræmi við rannsóknarsamning milli Hitaveitu Reykjavíkur og Jarðhitadeildar Orkustofnunar. Að verkinu unnu eftirtaldir: Guðjón Guðmundsson, Ómar Sigurðsson, Guðni Guðmundsson, Jósef Hólmjárn, Guðlaugur Hermannsson og Benedikt Steingrímsson frá JHD, Dagbjartur Sigursteinsson frá Jarðborunum H/F og Einar Gunnlaugsson frá HR.

2. YFIRLIT YFIR TÍMABILID 25. ÁGÚST 1986 - 31. DESEMBER 1988

Upphitun holunnar hófst þann 25. ágúst 1986, þegar þrepaðælingu lauk. Fylgst var með upphitun holunnar næstu mánuði og mældir hita- og þrýstiferlar ásamt vatnsborðsstöðu hverju sinni.

Upphitun holunnar var hæg ofan 650 m dýpis og fór hitastig aldrei yfir 100°C ofan 600 m. Þar fyrir neðan hitnaði holan einnig rólega og mældist heitust í upphitun eftir borun 234-235°C á dýptarbilinu 1300-1500 m.

Vatnsborð holunnar stóð mjög neðarlega. Við lok þrepaðælingarinnar, þegar dælingu var hætt, féll það og náði jafnvægi á 339 m dýpi. "Ótruflað" vatnsborð mældist síðan hæst í upphitun eftir borun á rúmlega 226 m

dýpi í júní 1987.

Upphleyping holu NJ-17 var undirbúin í júlí til september 1987 og holan loks dregin í blástur þann 23. september 1987. Blástursprófunin stóð fram til 18. desember 1987 þegar holunni var lokað. Toppþrýstingur hækkaði lítils háttar við lokunina, en féll síðan hratt og var holan orðin þrýstingslaus rúmum sólarhring eftir lokun. Hefur hún staðið þannig síðan, en fylgst er með vatnsborði, hita og þrýstingi í holunni líkt og í öðrum Nesjavallaholum, sem standa lokaðar.

Á meðan á blástursprófun NJ-17 stóð var fylgst reglulega með aflí holunnar og tekin vökvásýni til efnagreininga. Holan skilar við 7-8 bar mótþrýsting um 40-45 kg/s. Þar sem vermið er aðeins um 1000 kJ/kg samsvarar þetta tæplega 45 MW varmaafli, sem er nokkuð undir meðalafli Nesjavallahola.

Í töflu 1 er að finna yfirlit yfir helstu athuganir, sem gerðar voru á holu NJ-17 á tímabilinu 25. ágúst 1986 til ársloka 1988. Ekki er þar minnst á einstakar aflmælingar, en þær eru birtar í töflu 3 síðar í skýrslunni.

2.1 Mælingar í upphitun

Upphitun holunnar eftir borun stóð frá því að borun og þrepaðælingu lauk klukkan 01:03 aðfararnótt 25. ágúst 1986 fram til 23. september 1987, þegar holan var dregin í gos. Á þessu tímabili voru gerðar fimm hita- og þrjár þrýstimælingar í holunni og vatnsborð mælt fjórum sinnum (tafla 1).

Í þrepaðælingunni við borlok þann 25. ágúst var stöðugt vatnsborð holunnar 339 m og fimm dögum síðar (30. ágúst) við fyrstu hita- og þrýstimælinguna var það á 286 m dýpi. Vatnsborðið steig hægt og mældist það hæst í 226,1 m þann 10. júní 1987 (mynd 1). Þess má geta til samanburðar að vatnsborð í holu NJ-12 stendur rúmum 100 m hærra (124 m). Skýringin á þessum mun í vatnsborði er sú að hitastig við NJ-12 er mun hærra en við NJ-17 og er áþekkur "botnþrýstingur" í þessum holum.

TAFLA 1. Yfirlit yfir tímabilið 86.08.25-88.12.31

Dagsetn.	Tími	Mælingar	Athugasemdir
86.08.25	01:03	Vatnsborð 339 m	Upphitun hefst
86.08.30	21-23	Hiti og þrýstingur	Vatnsborð 286 m
86.09.08	14-15	Hiti	
86.10.02	14-18	Hiti og þrýstingur	Vatnsborð 254,3 m
86.11.21	17-19	Hiti	Vatnsborð 239,3 m
87.06.10		Hiti	Vatnsborð 226,1 m
87.06.11	08-11	Hiti og þrýstingur	
87.09.23	11:50		Hola dregin í gos
87.09.26		Efnasýni	Sýni nr. 87-5226
87.09.30		Efnasýni	Sýni nr. 87-5231
87.10.08		Efnasýni	Sýni nr. 87-5245
87.10.16		Efnasýni	Sýni nr. 87-5254
87.10.30		Efnasýni	Sýni nr. 87-5260
87.11.16		Efnasýni	Sýni nr. 87-5264
87.11.24	14-16	Hiti og þrýstingur	Eftir blástur
87.12.17		Efnasýni	Sýni nr. 87-5289
87.12.18	09:20	Þrýstingur 9,4 bar	Holu lokað. Po = 12 bar
87.12.18	11:35		Po = 6,9 bar
87.12.18	13:40		Po = 5,0 bar
87.12.18	16:30		Po = 3,5 bar
87.12.18	20:45		Po = 2,1 bar
87.12.19	08:20		Po = 0,5 bar
87.12.19	11:50		Po = 0,3 bar
87.12.19	17:45		Po = 0,0 bar
87.12.22	10:55		Vatnsborð 201,35 m
88.05.17	13-17	Hiti og þrýstingur	Vatnsborð 228,2 m
88.11.23	11-15	Hiti og þrýstingur	Vatnsborð 227,0 m

Á mynd 2 eru sýndar þrýstimælingarnar sem gerðar voru í upphitun í holu NJ-17. Þær sýna þrýstjafnvægi á 1600 m dýpi í holunni, þar sem ótruflaður þrýstingur er 123,7 kg/cm². Þar kom fram í hitamælingum við borlok ein af aðalæðum holunnar og stjórnar hún þrýstingi í holunni.

Mynd 3 sýnir hitamælingar, sem gerðar voru meðan á upphitun stóð. Þar sést að holan hitnar mjög hægt ofan 650 m dýpis og virðist berghiti þar innan við 100°C og áþekkur og berghiti á þessu dýpi í holu NJ-12. Heitust mælist holan í upphitun um 234-235°C á 1300-1500 m dýpi. Holan var svo mæld eftir um tveggja mánaða blástur og síðan tvívegis árið 1988 (mynd 4). Síðustu mælingarnar sýna nokkru hærri hita

neðan 1000 m dýpis en mældist í upphitun. Ennþá er þó hæstur hiti á bilinu 1300-1600 m, nú um 245-246°C. Ætla má að þessar mælingar liggi nærri ríkjandi berghita við holu NJ-17. Borið saman við berghita við NJ-12 er hitastig neðan 1000 m dýpis um 50°C lægra við NJ-17 en holu NJ-12.

3. UPPHLEYPING

Hola NJ-17 er eins og fleiri holur á Nesjavöllum tiltölulega köld efstu 600-700 metrana. Til að ná holunni í gos var beitt því ráði sem vel hefur dugað þ.e að draga holur í gos með bullu.

TAFLA 2. Loftdæling á NJ-17 í júlí til september 1987.

Dags.	Tími	Þrýstingur
87.07.06	12:00	Byrjað að dæla lofti.
87.07.07	00:00	20,0 bar
87.07.07	12:00	36,0 bar
87.07.07	18:00	40,0 bar
87.07.09	11:20	39,5 bar
87.07.13	14:55	39,0 bar
87.08.02		35,0 bar
87.08.20	08:30	Lofti hleypt af. Vatnsborð fór í 195 m, en var áður í 226 m.
87.08.20	10:00	Byrjað að dæla lofti.
87.09.02	11:20	28 bar, hleypt af niður í 18 bar.
87.09.02	11:30	Pressa ræst.
87.09.02	18:00	18 bar
87.09.02		21 bar
87.09.02	20:30	26 bar, stöðvað, WKM loka lokað.
87.09.03	09:15	22 bar ofan WKM loka.
87.09.03	09:17	26 bar eftir að WKM loki var opnaður.
87.09.03	09:20	26 bar, pressa ræst.
87.09.03	18:35	34,5 bar
87.09.03	21:00	36,5 bar
87.09.22	11:22	33 bar. Lofti hleypt af og byrjað að að draga holuna í gos.

Undirbúningur að upphleypingu holunnar hófst 6. júlí 1987, með því að lofti var dælt á holuna. Tafla 2 sýnir breytingar á þrýstingi meðan á þessari aðgerð stóð.

Holan stóð með 30-40 bar loftþrýstingi í hálfan annan mánuð eða til 20. ágúst, en þá var loftinu hleypt af holunni. Vatnsborð fór þá í 195 m en hafði áður verið á um 226 m dýpi. Strax var hafist handa við að dæla lofti aftur á holuna og stóð holan með rúmlega 30 bar þrýstingi til 22. september þegar uppdráttur hófst. Í byrjun gekk uppdráttur vel enda þótt sækja þyrfti "vatnið" niður á um 190 m dýpi. Farnar voru 10 ferðir og kom upp vatn í hverri ferð. Var það orðið snarpheitt, þegar hætta þurfti vegna þess að togvírinn trosnaði. Enn var lofti dælt á holuna á meðan vírinn var stytur um 40 m og hafist handa að nýju næsta dag um kl 10:30. Voru þá dregnar upp 33 ferðir áður en holan kom í blástur. Var aðgerðinni lokið kl 11:50. Samtals voru ferðirnar því 44 á þessum tveimur dögum. Ef gert er ráð fyrir að

um 10 m vatnssúlu sé dælt í hverri ferð samsvorar þetta um 440 m vatnssúlu.

4. AFL OG AFKÖST

Hola NJ-17 blés stöðugt frá 23. september til 18. desember 1987 að undanskildum mjög stuttum stoppum til að skipta um blendur og til hita- og þrýstimælinga í holunni. Allan tímann blés holan í gegnum 161 mm stút. Við legglökan var fyrst 150 mm blenda, en síðar 125 mm og 100 mm blendur. Afmælingar á holunni eru sýndar í töflu 3 og blásturssagan sýnd á mynd 5. Heildarrensli holunnar var um 45 kg/s við um 7 bar holutoppþrýsting, en minnkaði þegar holutoppþrýstingur hækkaði með þrengri blendum við legglökann. Vermis holunnar var nærri 1000 kJ/kg allan tímann. Í varmaafli gefur þessi hola um 40-45 MWt við 7-8 bar holutoppþrýsting.

TAFLA 3. Aflmælingar á holu NJ-17.

Dags.	Kl	Pver- mál stúts.	Po	Pc	Vatns- rennsli	Vermi H	Heild. rennsli Q	Gufa við 1 bar abs.	Gufa við 7 bar abs.	Afl	Athugasemd.	
		mm.	bar	bar	cm	kg/s	kJ/kg	kg/s	kg/s	MWt		
870924	1430 sj	161,0	6,8	1,30	23,9	36,85	892	46,6	9,8	4,5	42	150 mm blenda
870924	2210 sj	161,0	6,8	1,33	23,9	36,85	899	46,8	9,9	4,6	42	
870925	0900 sj	161,0	6,8	1,35	23,9	36,85	903	46,9	10,1	4,8	42	
870925	2120 sj	161,0	6,8	1,35	23,9	36,85	903	46,9	10,1	4,8	42	
870926	1020 sj	161,0	6,8	1,30	23,9	36,85	892	46,6	9,8	4,5	42	
870926	1600 eg	161,0	7,4	1,40	23,9	36,85	915	47,2	10,4	5,0	43	
870926	2100 sj	161,0	6,6	1,34	23,8	36,47	907	46,5	10,1	4,8	42	
870927	1010 sj	161,0	6,5	1,35	23,8	36,47	909	46,6	10,1	4,9	42	
870927	1935 sj	161,0	6,8	1,35	23,9	36,85	903	46,9	10,1	4,8	42	
870928	1010 sj	161,0	6,8	1,35	23,9	36,85	903	46,9	10,1	4,8	42	
870928	2100 sj	161,0	6,8	1,35	23,9	36,85	903	46,9	10,1	4,8	42	
870929	0920 sj	161,0	6,8	1,35	23,9	36,85	903	46,9	10,1	4,8	42	
870929	2140 sj	161,0	6,9	1,35	24,1	37,62	892	47,6	10,0	4,6	42	
870930	1100 eg	161,0	7,4	1,47	23,8	36,47	936	47,3	10,8	5,5	44	
871001	2200	161,0	6,9	1,35	23,7	36,08	915	46,2	10,2	5,0	42	
871002	2030	161,0	6,8	1,35	23,8	36,47	909	46,6	10,1	4,9	42	
871003	1905	161,0	6,8	1,35	24,0	37,23	897	47,2	10,0	4,7	42	
871005	2253	161,0	6,9	1,40	23,9	36,85	915	47,2	10,4	5,0	43	
871006	2130	161,0	6,9	1,40	23,9	36,85	915	47,2	10,4	5,0	43	
871007	1555	161,0	6,9	1,35	23,8	36,47	909	46,6	10,1	4,9	42	
871008	1400 eg	161,0	7,2	1,50	23,6	35,71	955	46,8	11,1	5,9	45	
871009	1150	161,0	7,0	1,39	23,7	36,08	924	46,5	10,4	5,2	43	
871010	1025	161,0	7,0	1,40	23,6	35,71	932	46,2	10,5	5,3	43	
871011	1020	161,0	7,1	1,30	23,4	34,96	921	45,0	10,0	4,9	41	
871012	1126	161,0	7,1	1,42	23,7	36,08	931	46,7	10,6	5,4	43	
871013	1635	161,0	7,1	1,39	23,8	36,47	918	46,8	10,4	5,1	43	
871014	1625	161,0	7,1	1,68	23,8	36,47	981	48,6	12,1	6,8	48	
871016	1400 eg	161,0	7,6	1,50	23,6	35,71	955	46,8	11,1	5,9	45	
871018	1255 sp	161,0	7,2	1,35	23,1	33,85	951	44,3	10,5	5,5	42	
871022	2200	161,0	7,2	1,82	23,8	36,47	1010	49,4	12,9	7,6	50	
871025	0000 sj	161,0	6,9	1,49	23,4	34,96	965	46,1	11,2	6,0	44	
871030	1100 eg	161,0	6,8	1,20	23,3	34,59	903	44,0	9,5	4,5	40	
871031	1655 sp	161,0	7,4	1,40	23,2	34,22	957	44,9	10,7	5,7	43	
871108	1335 sj	161,0	6,9	1,40	24,0	37,23	909	47,6	10,3	4,9	43	
871115	1410 jk	161,0	6,9	1,45	23,3	34,59	962	45,5	11,0	5,9	44	
871116	1400 eg	161,0	7,2	1,58	23,2	34,22	997	46,0	11,8	6,8	46	
871122	1440 sj	161,0	6,7	1,45	22,9	33,13	987	44,3	11,1	6,3	44	
871126	1745 jk	161,0	7,8	1,30	22,9	33,13	952	43,4	10,2	5,4	41	125 mm blenda
871127	1720 jk	161,0	7,8	1,30	22,9	33,13	952	43,4	10,2	5,4	41	
871128	1420 jk	161,0	7,8	1,30	22,9	33,13	952	43,4	10,2	5,4	41	
871129	1405 jk	161,0	7,9	1,25	22,7	32,41	952	42,4	10,0	5,3	40	
871201	1445 jk	161,0	7,8	1,25	22,9	33,13	940	43,1	9,9	5,1	40	
871206	1400 sj	161,0	7,6	1,20	22,3	31,01	966	40,9	9,9	5,4	40	
871208	1700 jk	161,0	9,2	0,80	21,0	26,70	941	34,7	8,0	4,1	33	100 mm blenda
871208	1735 jk	161,0	9,2	0,85	21,0	26,70	956	35,0	8,3	4,4	33	
871211	1100 jk	161,0	9,3	0,80	21,2	27,34	927	35,3	7,9	4,0	33	
871211	1415 jk	161,0	9,3	0,80	20,9	26,38	948	34,5	8,1	4,2	33	

TAFLA 4. Efnasamsetning djúpvatns í holu NJ-17. Miðað er við 250°C og reiknað vermi (1084 kJ/kg).

Sýni Dags.	87-5226 870926	87-5231 870930	87-5245 871008	87-5254 871016	87-5260 871030	87-5264 871116	87-5289 871217
SiO ₂	504,8	589,0	505,1	432,3	447,4	461,7	407,8
Na	123,4	124,1	129,6	132,0	134,7	134,5	125,5
K	17,5	17,6	18,7	18,6	19,8	19,8	17,0
Ca	0,72	0,97	0,49	0,49	0,40	0,49	0,53
Mg	0,018	0,049	0,002	0,006	0,002	0,013	0,017
SO ₄	13,7	14,5	12,2	12,6	21,1	9,6	14,7
Cl	16,3	3,7	16,8	10,2	13,4	12,7	
F	0,76	0,65	0,72	0,92	0,95	0,92	0,83
CO ₂	465,4	547,6	449,5	474,8	390,5	320,8	448,2
H ₂ S	109,3	133,2	123,8	127,1	88,7	87,4	151,8
H ₂	1,15	1,47	0,88	1,16	0,38	0,64	2,49
O ₂	0,85	0,27	0,20	0,09	0,02	0,23	0,89
CH ₄	4,35	6,76	11,1	3,74	1,48	1,41	4,33
N ₂	112,1	143,7	313,7	76,0	25,8	25,9	67,88

5. EFNI Í JARÐHITAVÖKVA.

Á blásturstímanum voru tekin 7 sýni til efnagreininga. Reiknuð efnasamsetning djúpvatns er sýnd í töflu 4. Er þá gert ráð fyrir 250°C djúphita og samsvarandi vermi. Tafla 5 sýnir útreiknaðan efnahita miðað við styrk kísils, natríum og kalíum og styrk gastegunda. Efnahiti miðað við kísil og alkálímálma gefur um 250°C hita, svipað og áætlaðan berghita, en gastegundirnar gefa lægri hita. Lágur hiti reiknaður út frá styrk gastegunda getur bent til þess að gufa hafi tapast, þ.e. að um soðið djúpvatn sé að ræða.

Á myndum 6a-6f er sýndar breytingar í styrk nokkurra efna á blásturstímanum. Styrkur nokkurra efna fer lækkandi með tíma, svo sem köfnunarefnis, kolsýru og metans. Lækkun á styrk köfnunarefnis með tíma stafar trúlega af minnkandi áhrifum skolvatns. Styrkur natríums og kalíums eykst heldur með tíma, nema í síðasta sýninu, en hlutfall þessara efna er nokkuð svipað og gefur það nánast sama alkálíhita allan tímann.

Á myndum 7a-7c er efnasamsetning djúpvökvans borin saman við "jafnvægisferla"

sem fengnir eru fram við að skoða valin sýni af jarðhitasvæðum, þar sem aðeins er ein vatnsæð og vel þekkt hitastig. Í ljós kemur að vatnið í holu NJ-17 er mjög nærri jafnvægi fyrir flest aðalefnin, ef undan eru skilin sýrumólíkúlin H₂CO₃ og H₂SO₄. Það má því ætla að vatnið sé í nokkuð góðu efnajafnvægi við áætlaðan berghita holunnar.

Gas í gufu í holu NJ-17 er að meðaltali 0.32% af þunga miðað við 7 bar-a þrýsting (tafla 6). Samsetning gassins er sýnd í töflu 7. Kolsýra og brennisteinsvetni eru 80-90% af gösunum. Styrkur vetnis er tiltölulega lágur og styrkur metan og argon tiltölulega hár, svipað og í öðrum lágvermiholum á Nesjavöllum.

Útreikningar benda til að vatn í holunni sé nærri mettunarferli kalsíts við áætlaðan berghita (mynd 8). Útreikningar benda og til að ópalmettun sé náð við 130 til 150°C eða 2,7 til 5,1 bar (tafla 8). Það er því ekki ráðlegt að reka holuna við lægri þrýsting en 5 bar-a.

TAFLA 5. Efnahiti.

Sýni	TSiO ₂ A	TSiO ₂ B	TSiO ₂ C	TNaK D	TNaK E	TCO ₂ F	TH ₂ S G	TH ₂ H	TCO ₂ /H ₂ I
87-5226	253	278	251	249	245	210	218	230	249
87-5231	250	274	247	249	244	219	227	235	250
87-5245	253	278	251	251	246	212	223	226	241
87-5254	240	259	235	248	244	215	224	231	246
87-5260	243	263	238	252	248	200	200	212	222
87-5264	245	267	241	253	248	197	203	221	241
87-5289	236	251	229	245	241	209	229	247	278

- A) $t(^{\circ}\text{C}) = 1498 / (5,70 - \log(\text{SiO}_2)) - 273,15$ (180-300 $^{\circ}\text{C}$). Arnórsson o.fl. (1983b). Styrkur efna í mg/kg.
- B) $t(^{\circ}\text{C}) = 39,536 + 0,58127(\text{SiO}_2) - 6,1713 \cdot 10^{(-4)}(\text{SiO}_2)^2 + 3,7499 \cdot 10^{(-7)}(\text{SiO}_2)^3 + 19,985 \log(\text{SiO}_2)$ (180-340 $^{\circ}\text{C}$). Ragnarsdóttir og Walter (1983). Styrkur SiO₂ í mg/kg.
- C) $t(^{\circ}\text{C}) = -42,198 + 0,28831(\text{SiO}_2) - 3,6686 \cdot 10^{(-4)} \cdot (\text{SiO}_2)^2 + 3,1665 \cdot 10^{(-7)} \cdot (\text{SiO}_2)^3 + 74,034 \cdot \log(\text{SiO}_2)$ (0-330 $^{\circ}\text{C}$). Fournier og Potter (1982). Styrkur efna í mg/kg.
- D) $t(^{\circ}\text{C}) = 1217 / (\log \text{Na/K} + 1,483) - 273,15$ (100-300 $^{\circ}\text{C}$) Fournier (1979). Styrkur Na og K í mg/kg.
- E) $t(^{\circ}\text{C}) = 1319 / (1,699 + \log \text{Na/K}) - 273,15$ (250-350 $^{\circ}\text{C}$). Arnórsson o.fl. (1983). Styrkur efna í mg/kg.
- F) $t(^{\circ}\text{C}) = -44,1 + 269,25Q - 76,88Q^2 + 9,52Q^3$. Þar sem $Q = \log \text{CO}_2$ (mmole/kg). Arnórsson og Gunnlaugsson (1985).
- G) $t(^{\circ}\text{C}) = 173,2 + 65,04 \log \text{H}_2\text{S}$. Styrkur í mmole/kg. Arnórsson og Gunnlaugsson (1985).
- H) $t(^{\circ}\text{C}) = 212,2 + 38,59 \log \text{H}_2$. Styrkur í mmole/kg. Arnórsson og Gunnlaugsson (1985).
- I) $t(^{\circ}\text{C}) = 311,7 - 66,72 \log(\text{CO}_2/\text{H}_2)$. Styrkur í mmole/kg. Arnórsson og Gunnlaugsson (1985).
-

TAFLA 6. Gas í gufu við 7 bar-a þrýsting.

Sýni	Dags.	Gas í gufu (þyngdar %)
87-5226	87-09-26	0,33
87-5231	87-09-30	0,41
87-5245	87-10-08	0,44
87-5254	87-10-16	0,33
87-5260	87-10-30	0,23
87-5264	87-11-16	0,19
87-5289	87-12-17	0,30

TAFLA 7. Samsetning gass í gufu (%) við 7 bar-a þrýsting.

Sýni	CO ₂	H ₂ S	H ₂	O ₂	CH ₄	N ₂	AR
87-5226	70,92	10,29	0,18	0,13	0,67	17,43	0,38
87-5231	68,68	11,12	0,19	0,03	0,87	18,62	0,49
87-5245	51,14	8,48	0,10	0,02	1,33	37,94	0,98
87-5254	74,66	11,88	0,19	0,01	0,61	12,39	0,26
87-5260	85,66	8,05	0,08	0,00	0,33	5,74	0,14
87-5264	82,42	9,30	0,18	0,07	0,41	7,48	0,13
87-5289	68,42	15,14	0,54	0,00	0,94	14,78	0,19

TAFLA 8. Hitastig ópalmettunar við hvellsuðu í NJ-17.

Sýni	Ps (bar-a)	Hitastig ópalmettunar	P(ópal) bar-a
87-5226	6,2	153	5,1
87-5231	6,4	150	4,7
87-5245	6,7	153	5,1
87-5254	6,7	138	3,4
87-5260	6,2	141	3,7
87-5264	6,9	144	4,0
87-5189	9,3	131	2,7

6. ÁHRIF BLÁSTURS NJ-17 Á PRÝSTING Í NÆRLIGGJANDI HOLUM.

Hola NJ-17 fór í blástur 23. september 1987 um kl 11:50. Skömmu síðar tók vatnsborð í holu NJ-12 að lækka örar, en það var lækkaði fyrir vegna blásturs holu NJ-18, sem byrjaði að blása 11. september 1987. Mynd 9 sýnir vatnsborðsbreytingarnar sem urðu í holu NJ-12 á tímabilinu september 1987 til október 1988, en hola NJ-12 er í um 601 m fjarlægð norðaustur af holu NJ-17 og um 2245 m suðvestur af holu NJ-18. Mynd 10 sýnir betur vatnsborðslækkunina í holu NJ-12 þegar 6 holur NJ-17 og NJ-18 blésu samtímis. Á því tímabili lækkaði vatnsborð í holu NJ-12 um rúma 13 m, þannig að áhrifa blásturs hola NJ-17 og NJ-18 gætir sterklaga í þrýstingi í jarðhitakerfinu vestan Kýrdalshryggjar. Efstu 700 m vatnssúlunnar í holu NJ-12 kólnuðu líklega á þessu tímabili um tæpar 4°C að jafnaði. Þessi kæling getur valdið um 1-2 m vatnsborðslækkun, þannig að raunlækkun vatnsborðs í NJ-12 vegna blásturs hola NJ-17 og NJ-18 eru rúmir 11-12 m. Einnig sést á mynd 10 að vatnsborð í NJ-12 er byrjað að hækka aftur undir lok þessa tímabils, en þá er rennsli farið að minnka úr holu NJ-17 vegna þrengri blendna eða úr um 46,6 kg/s í 34,5 kg/s.

Þegar vatnsborðsbreytingin í holu NJ-12 er athuguð betur fyrir þann tíma sem hola NJ-17 blés, kemur í ljós að vatnsborðið lækkar nokkurnveginn línulega með kvaðratrótinni af tíma (mynd 11). Þannig hegðun er almennt túlkuð þannig að holur NJ-12 og NJ-17 liggi á afmarkaðri spildu sem líkist rennu (línuleg rás) eða að sprunga tengi holurnar saman. Þessi skýring fellur einnig vel að því sem vitað er um jarðfræði þess svæðis þar sem holurnar eru staðsettar.

Lokað var fyrir blástur úr holu NJ-17 þann 18. desember 1987 um kl 9:20. Fljótlega eftir lokun holu NJ-17 fer vatnsborð holu NJ-12 að hækka og er það hækkandi næstu tvo mánuði, en þá tekur það að lækka aftur vegna blásturs holu NJ-18. Vatnsborðs-

hækkunin í holu NJ-12 frá lokun holu NJ-17 og fram í byrjun maí 1988 þegar holu NJ-18 var lokað er sýnd á mynd 12. Eins og sjá má á mynd 12 eru töluverðar óreglulegar sveiflur á vatnsborðinu. Vatnsborð í holu NJ-12 fyrir mánuðina febrúar - apríl 1988 er því sýnt betur á mynd 13 ásamt breytingum á loftþrýstingi eins og hann var mældur á Veðurstofunni í Reykjavík á sama tíma. Áhrif loftþrýstibreytinga á vatnsborð í holum eru þannig að hækki loftþrýstingur þá lækkar vatnsborðið og öfugt. Þannig má sjá á mynd 13 að sterk fylgni er milli breytinga á loftþrýstingi og þessara óreglulegu breytinga á vatnsborðinu. Á mynd 13 er einnig búið að teikna inn leiðrétt vatnsborð, en þá er búið að reikna út fylgnistuðullinn (barometric efficiency) milli vatnsborðs- og loftþrýstingsbreytinga og síá áhrif loftþrýstingsbreytinganna frá. Fylgnistuðullinn reyndist vera um $BE = 0,85$, en hann getur legið á bilinu 0-1. Þetta hár fylgnistuðull bendir til að jarðhitakerfið sé lokað að ofan með þakbergi, þ.e. ofan á jarðhitakerfinu eru tiltölulega þykk og þétt jarðlög sem hindra rennsli grunnvatns niður í jarðhitakerfið.

Þegar litið er frekar á vatnsborðshækkunina í holu NJ-12 vegna lokunar holu NJ-17, kemur í ljós að á því tímabili sem vatnsborð er hækkandi, þá hækkar það nærri línulega með logarithmanum af tíma (mynd 14). Þannig hegðun bendir almennt til víðáttumikils vatnskerfis sem er að nokkru leyti andstætt við hegðun vatnsborðsins meðan hola NJ-17 var í blæstri. Blástur og lokun holu NJ-17 valda þannig mismunandi þrýstingsviðbrögðum í jarðhitakerfinu sem liggur umhverfis og milli hola NJ-12 og NJ-17. Vatnsleiðni á þessu svæði er því stefnuháð og er mest í stefnu frá holu NJ-17 að holu NJ-12 eða nokkurn veginn samsíða ríkjandi sprungustefnu á svæðinu. Blástur holu NJ-17 veldur því tiltölulega örur niðurdrætti í jarðhitakerfinu sem breiðist mest út samsíða sprungustefnunni. Þegar lokað er fyrir blásturinn safnast vatn í niðurdráttarkeiluna af víðáttumeira svæði, líka úr áttum þvert á sprungustefnuna þó rennsli úr þeim áttum sé mun tregara.

Í skýrslu um borholujarðfræði og vatnsgengd í jarðhitakerfinu (Hjalti Franzson, 1988) eru færðar líkur að tilvist misgengis milli hola NJ-12 og NJ-17 með mun norðlægari stefnu, en er ríkjandi sprungustefna nú á yfirborði. Misgengið er talið vera nokkrum tugum metra vestan við holu NJ-12 og stefna rúmum 100 m vestan við holu NG-8, þannig að það skerst undir um 30° horni á Kýrdalshrygg og sprungusveiminn þar fyrir vestan. Virkni þessa misgengis í vatnsgengd jarðhitakerfisins fyrir vestan Kýrdalshrygg getur hugsanlega haft áhrif á að þrýstiáhrifin vegna blásturs og lokunar holu NJ-17 berast með mismunandi hætti í jarðhitakerfinu að holu NJ-12.

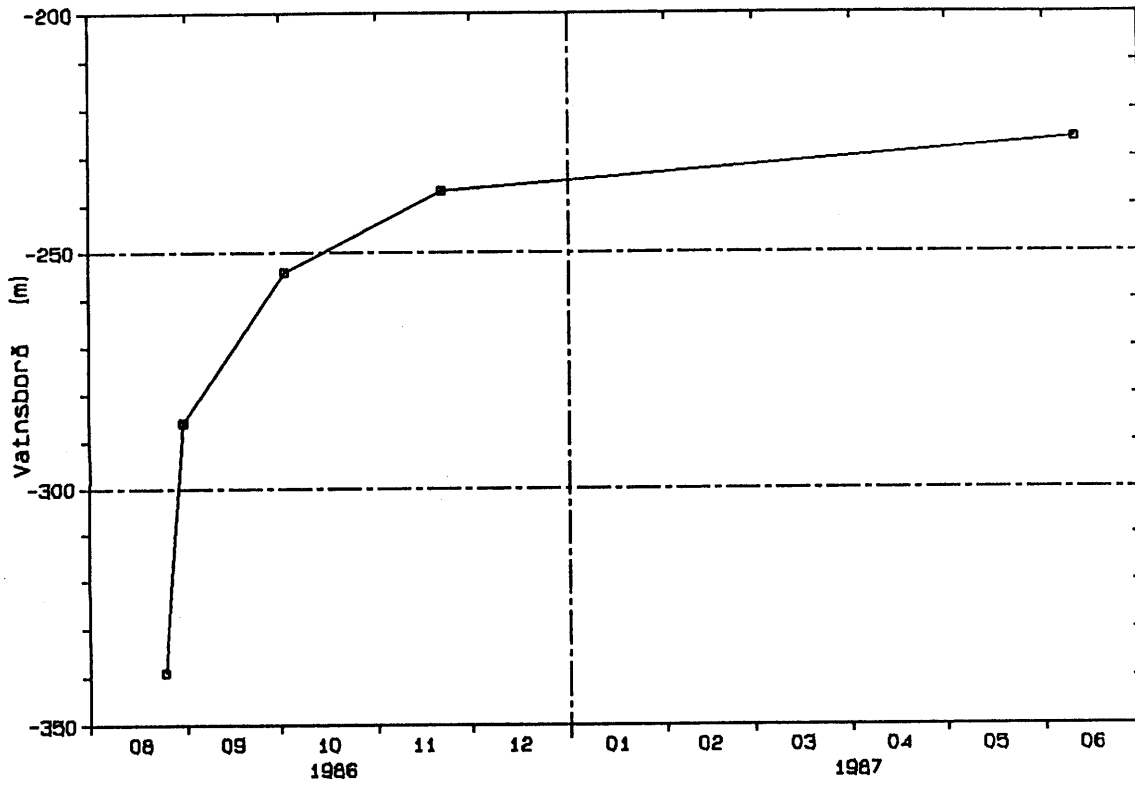
Reynt hefur verið að nálga vatnsborðsbreytingarnar sem mælast í holu NJ-12, vegna áhrifa frá vinnslu hola NJ-17 og NJ-18, með fræðilegu líkani sem gerir ráð fyrir víðáttumiklu vatnskerfi. Fyrst og fremst var reynt að nálga vatnsborðsbreytingarnar eftir lokun holu NJ-17 og eru niðurstöður líkansins sýndar á mynd 15. Líkanið bendir til að meðalvatnsleiðni á svæðinu milli hola NJ-12 og NJ-17 og reyndar líka á svæðinu milli hola NJ-12 og NJ-18 sé um $2,9 \times 10^{-7}$ m³/Pas. Þetta er um 4-5 sinnum hærri vatnsleiðni en fæst út frá prófunum í holunum sjálfum á þessu svæði. Við sambærilega athugun á þrýstiáhrifum milli hola NG-10 og NJ-15 á Nesjavöllum (Ómar Sigurðsson 1987) fékkst vatnsleiðnin milli holanna allt að tífallt hærri en í næsta umhverfi við þær. Síðari athuganir (Hjalti Franzson 1988) hafa bent til að misgengi leiði þrýstiáhrifin milli þessara hola. Vatnsrýmd metur líkanið sem $3,5 \times 10^{-8}$ m³/Pa sem er sambærilegt og fæst út frá öðrum prófunum í holunum sjálfum.

HEIMILDIR

- Fournier, R.O., 1979: A revised equation for Na/K geothermometer. Geothermal Resources Council Transactions, 3: 221-224.
- Fournier, R.O. and Potter, R.W., 1983: A revised and expanded silica (quartz) geothermometer. Geothermal Resources Council Bulletin, Nov. 1982: 3-9.
- Hjalti Franzson, 1988: Nesjavellir. Borholujarðfræði, vatnsgengd í jarðhitageymi. Orkustofnun, OS-88046/JHD-09, 58 s.
- Kristín Vala Ragnarsdóttir and Walter, J.B., 1983: Pressure sensitive "silica geothermometer" determined from quartz solubility experiments at 250°C. Geochim. Cosmochim. Acta, 47: 941-946.
- Ómar Sigurðsson, 1987: Nesjavellir. Lokun hola 7, 10, 12, 14 og þrýstijöfnun þeirra. Orkustofnun, OS-87010/JHD-09 B, 117 s.
- Stefán Arnórsson and Einar Gunnlaugsson, 1985: New gas geothermometers for geothermal exploration - Calibration and application. Geochim. Cosmochim. Acta, 49: 1307-1325.
- Stefán Arnórsson, Einar Gunnlaugsson and Hörður Svavarsson, 1983b: The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. Geochim. Cosmochim. Acta, 47: 567-577.
- Vinnuhópur JHD/JB, 1986: Nesjavellir, hola NJ-17, 1. áfangi. Borun fyrir 13 3/8" öryggisfóðringu frá 69 m í 271 m. Orkustofnun, OS-86043/JHD-14 B.
- Vinnuhópur JHD/JB, 1986: Nesjavellir, hola NJ-17, 2. áfangi. Borun fyrir 9 5/8" vinnslufóðringu frá 271 m í 773 m. Orkustofnun, OS-86049/JHD-16 B.
- Vinnuhópur JHD/JB, 1986: Nesjavellir, hola NJ-17, 3. áfangi. Borun vinnsluhluta holunnar frá 773 í 2100 m. Orkustofnun, OS-86-54/JHD-18 B.

JHD-8M-8715-GjG
88.10. T

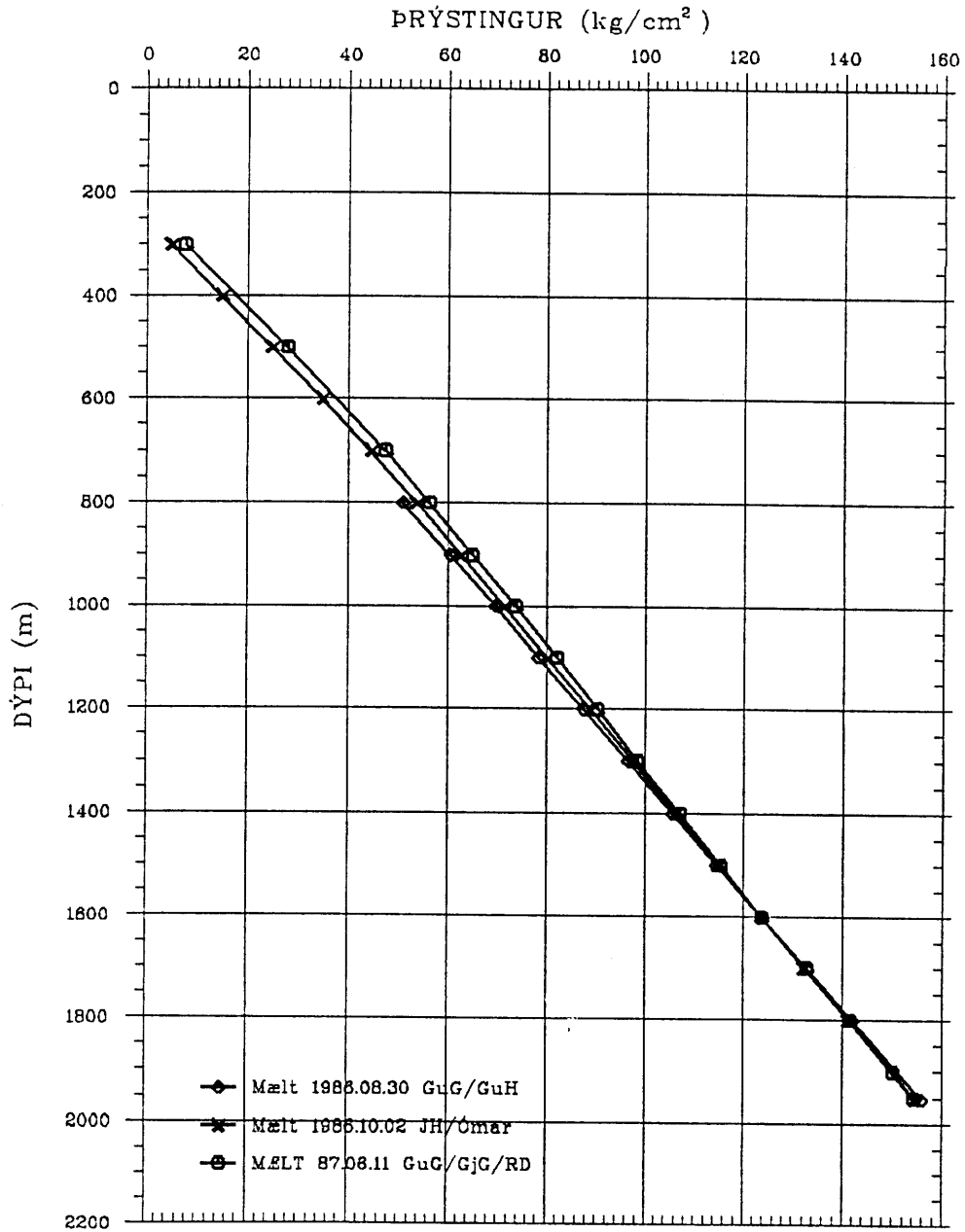
NESJAVELLIR HOLA NJ-17
VATNSBORÐ I UPPHITUN



MYND 1 Vatnsborð í upphitun

JHD-BM-8715 GuH
89.03.0123 T

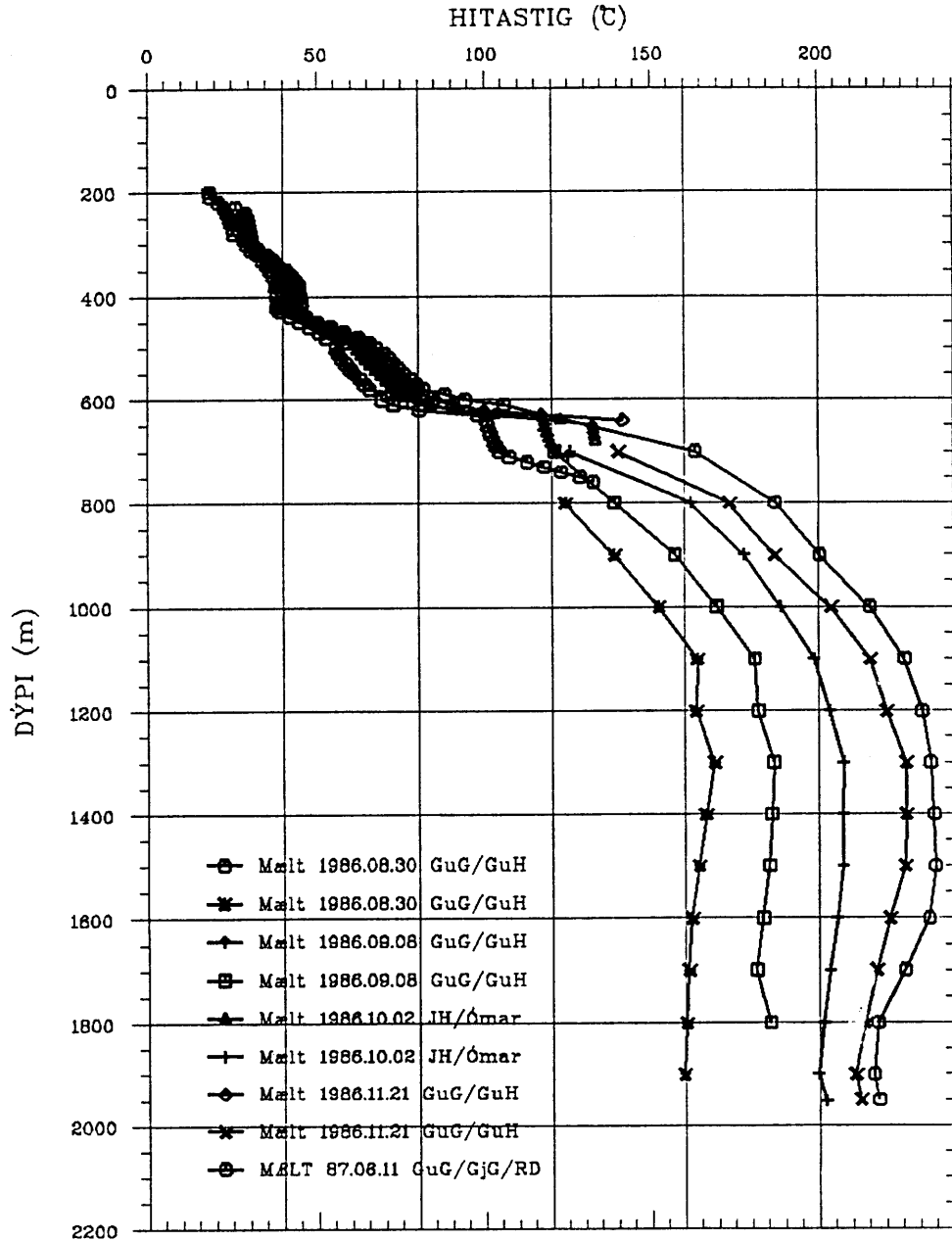
NESJAVELLIR HOLA NJ-17 ÞRÝSTIMÆLINGAR Í UPPHITUN



MYND 2 Þrýstimælingar í upphitun

JHD-BM-8715 GuH
89.03.0124 T

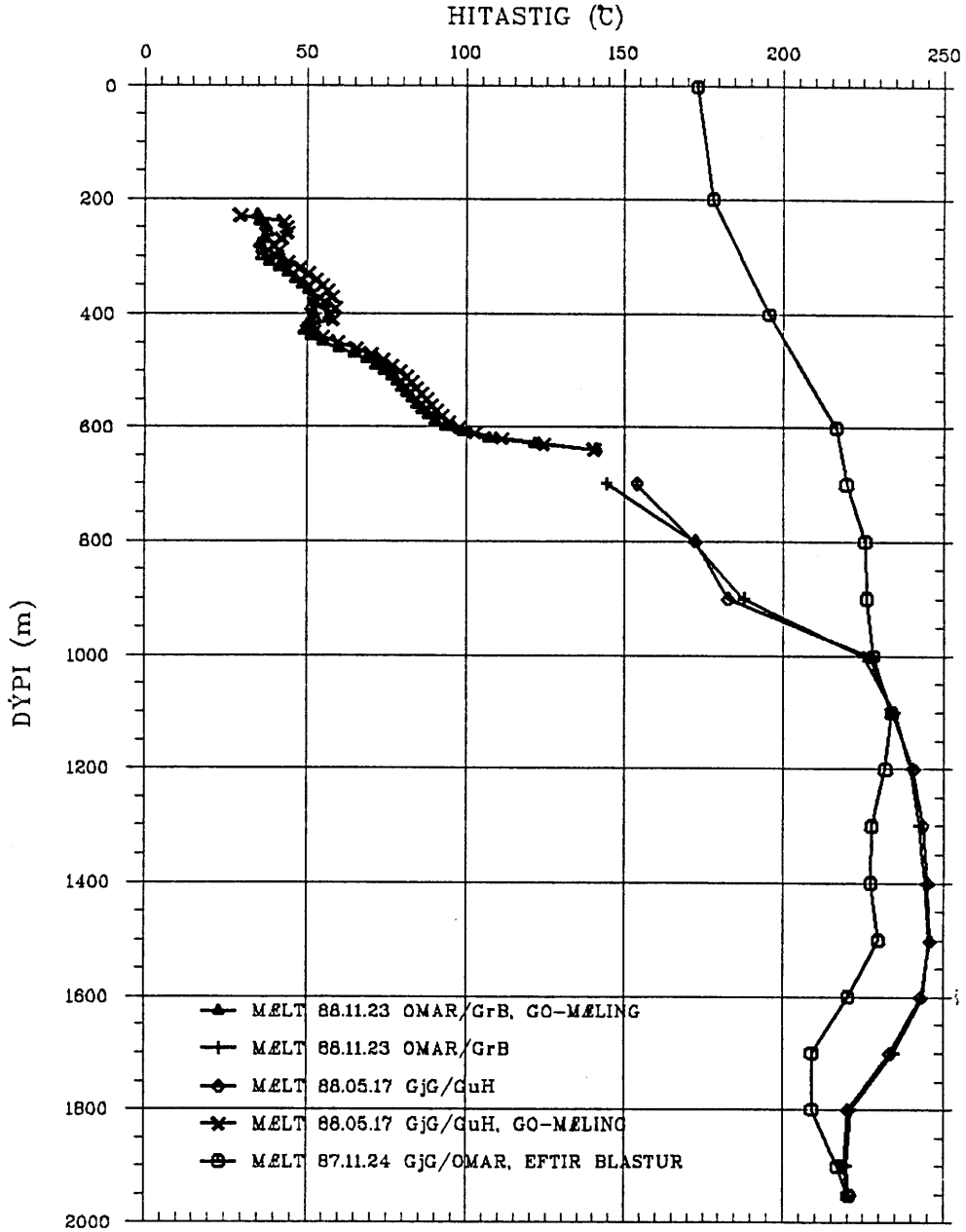
NESJAVELLIR HOLA NJ-17 HITAMÆLINGAR Í UPPHITUN



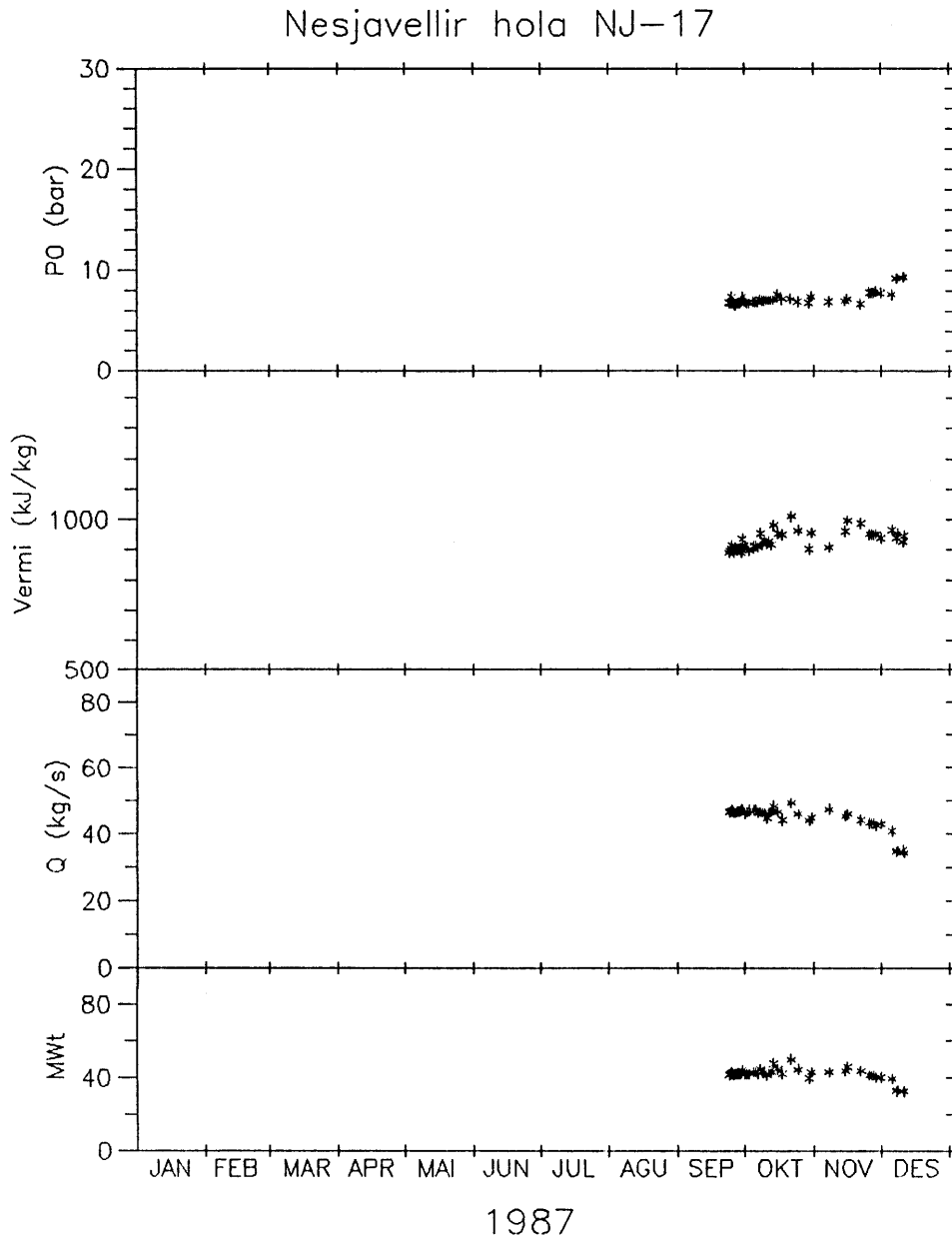
MYND 3 Hitamælingar í upphitun

JHD-BM-8715 GuH
88.06.0351 T

NESJAVELLIR HOLA NJ-17 HITAMÆLINGAR EFTIR BLÁSTUR

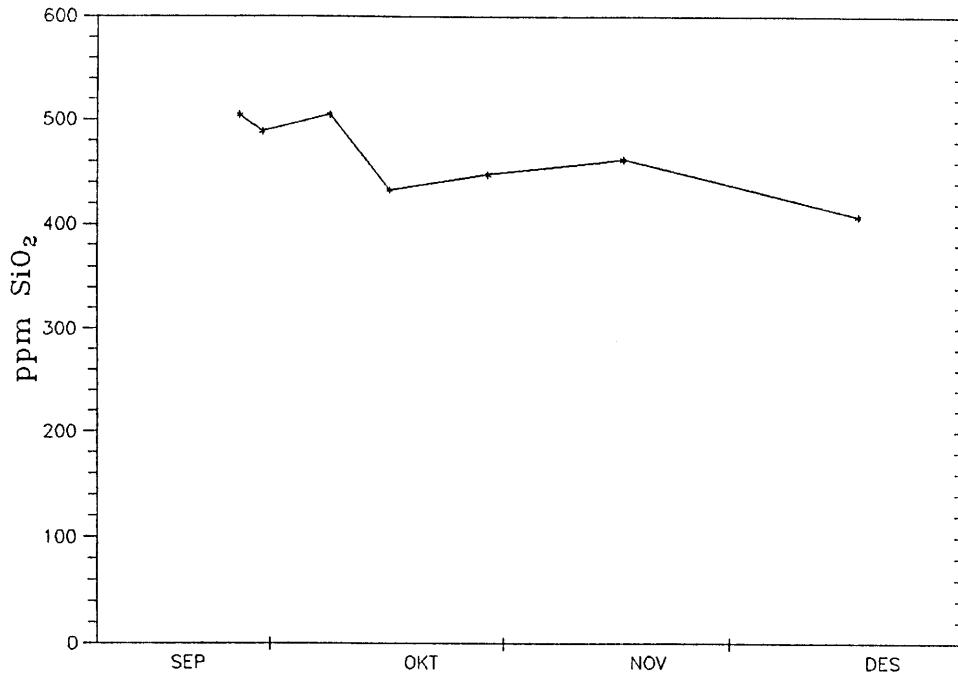


MYND 4 Hitamælingar eftir blástur

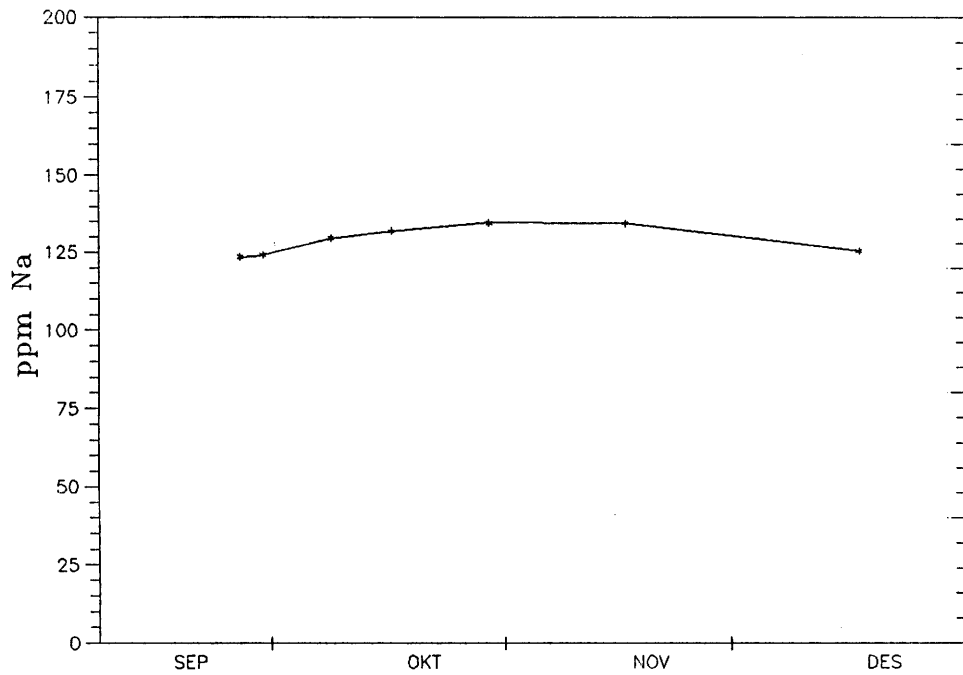


MYND 5 Blásturssaga NJ-17

Nesjavellir hola NJ-17

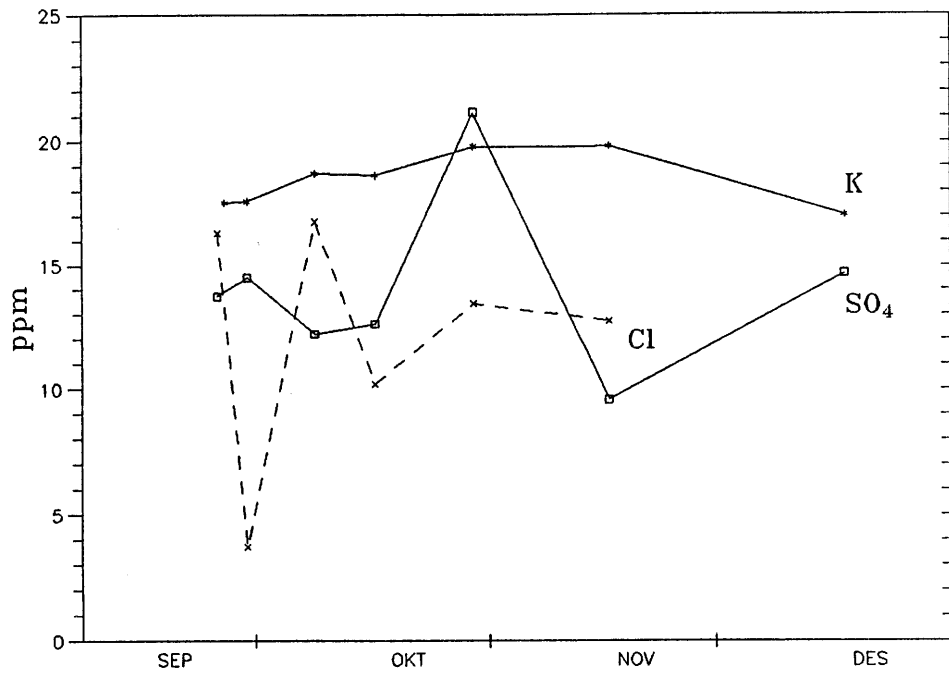


MYND 6a Breytingar í styrk efna á blásturstíma, SiO₂

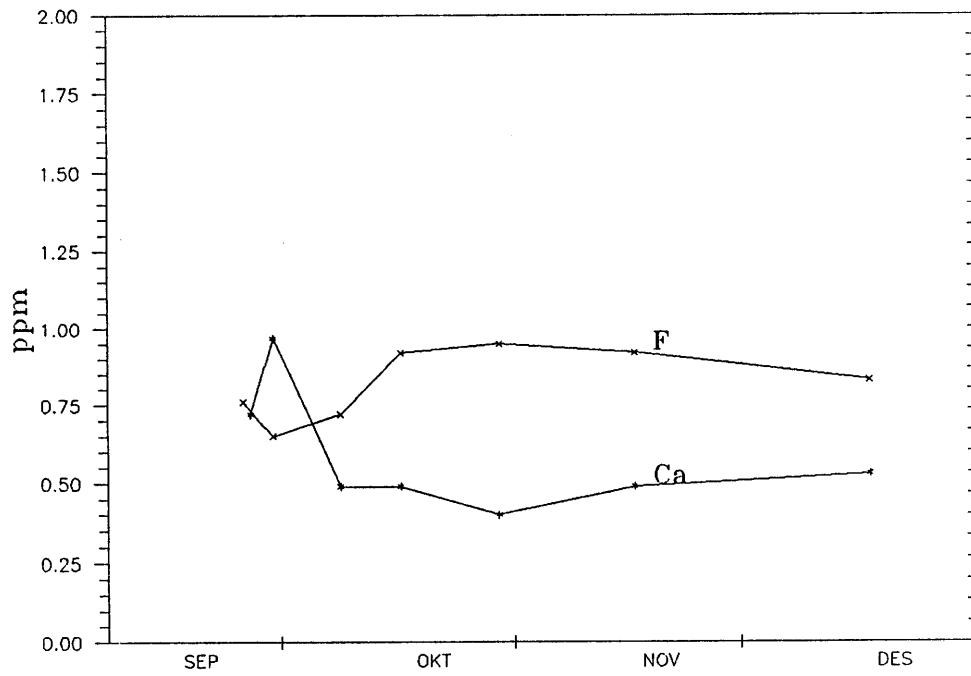


MYND 6b Breytingar í styrk efna á blásturstíma, Na

Nesjavellir hola NJ-17

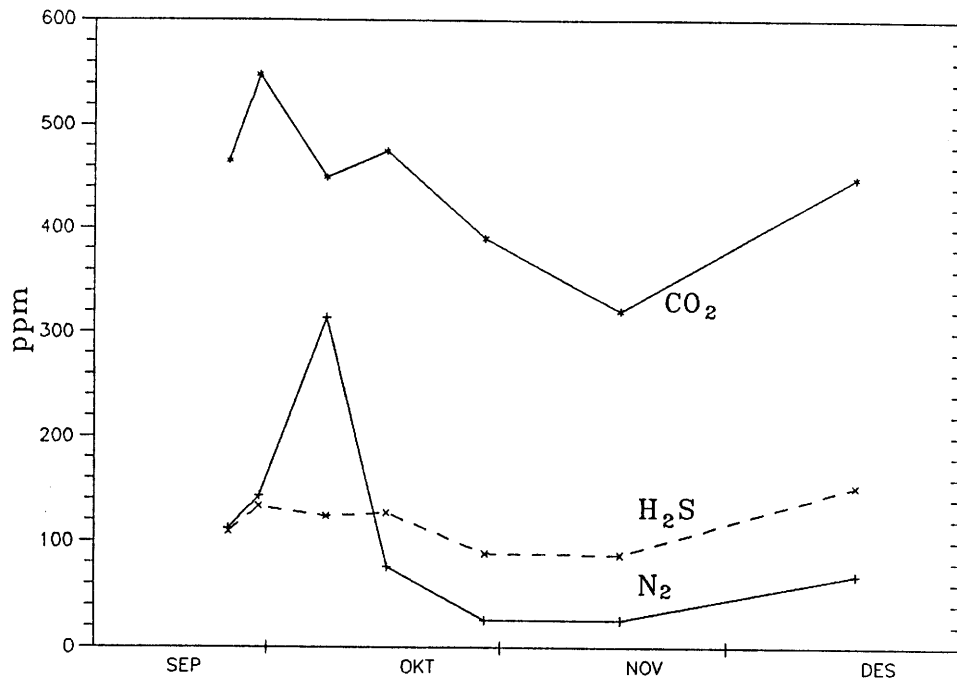


MYND 6c Breytingar í styrk efna á blásturstíma, K, SO₄

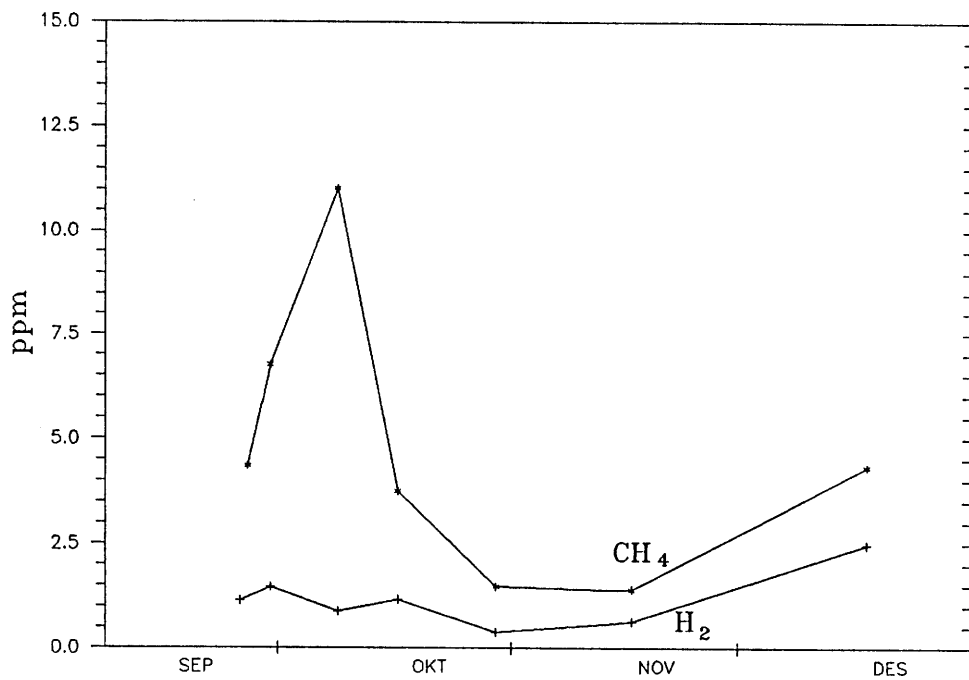


MYND 6d Breytingar í styrk efna á blásturstíma, F, Ca

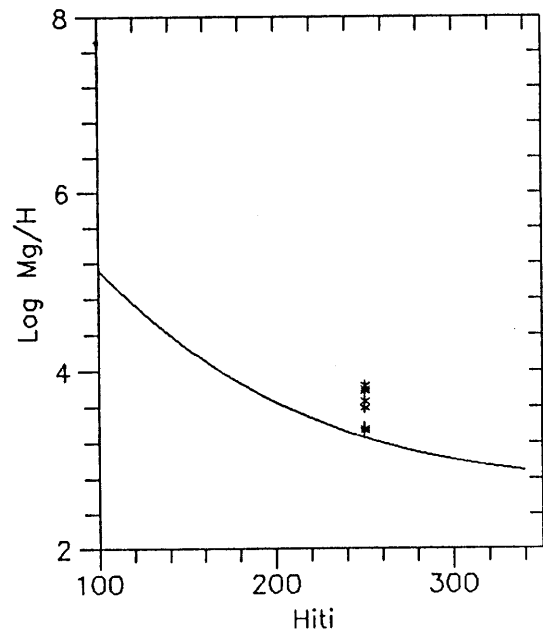
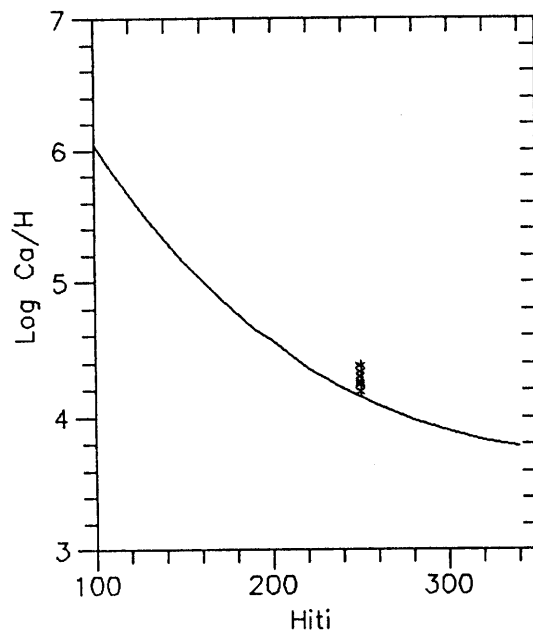
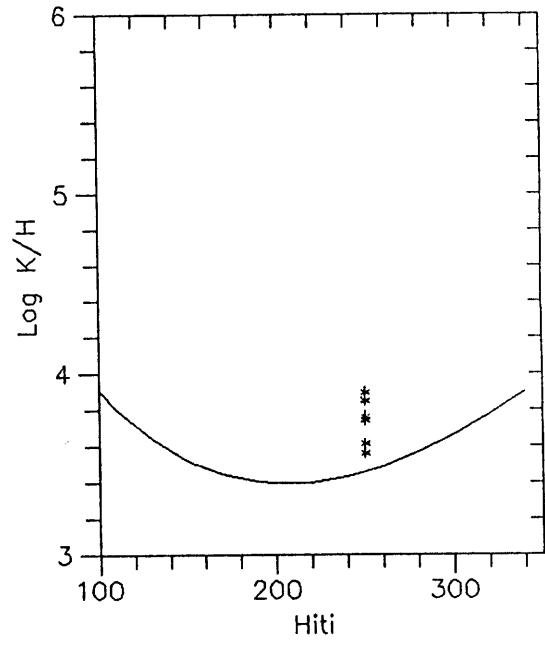
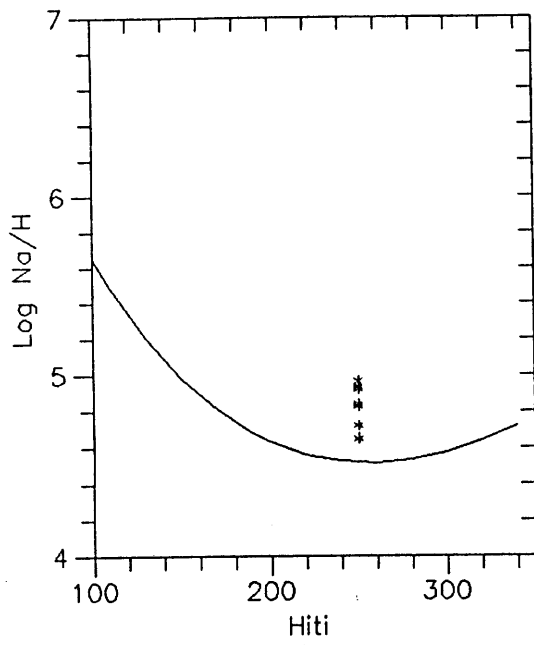
Nesjavellir hola NJ-17



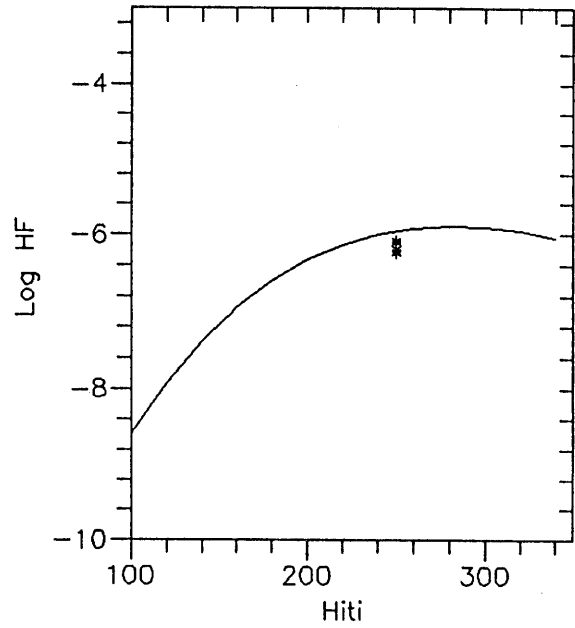
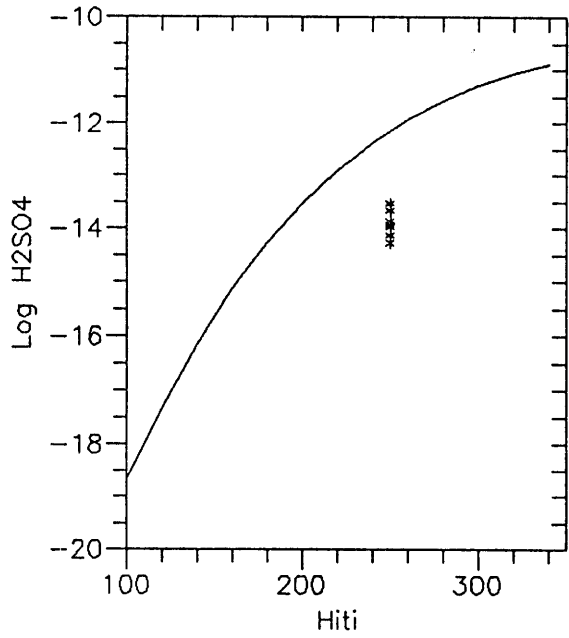
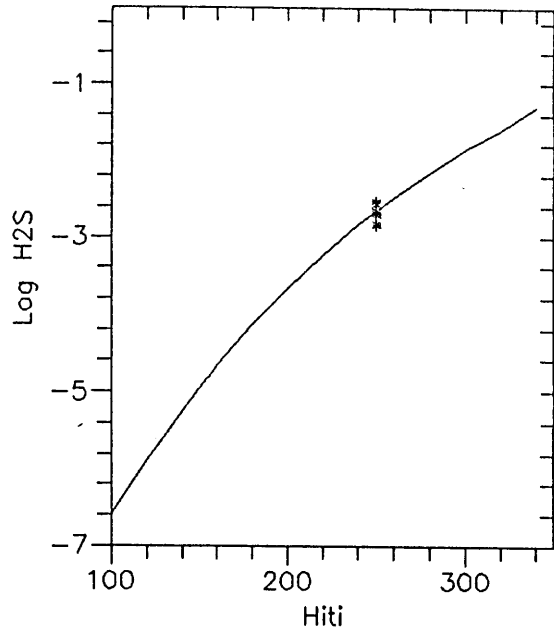
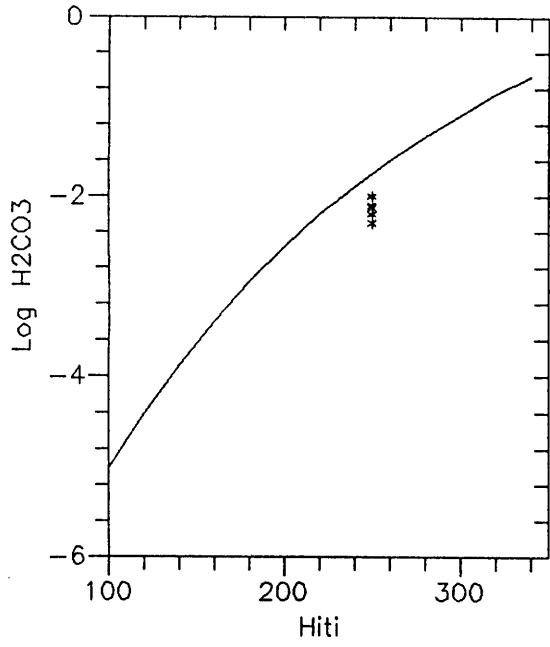
MYND 6e Breytingar í styrk efna á blásturstíma, CO₂, H₂S, N₂



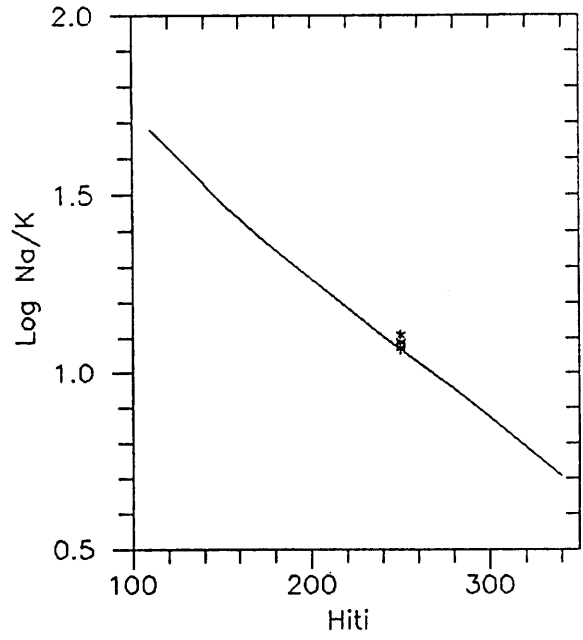
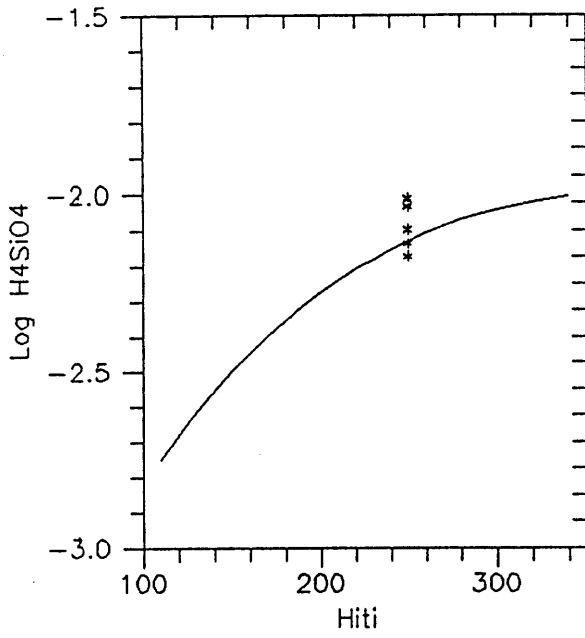
MYND 6f Breytingar í styrk efna á blásturstíma, CH₄, H₂



MYND 7a Efnasamsetning djúpvökva og jafnvægisferlar

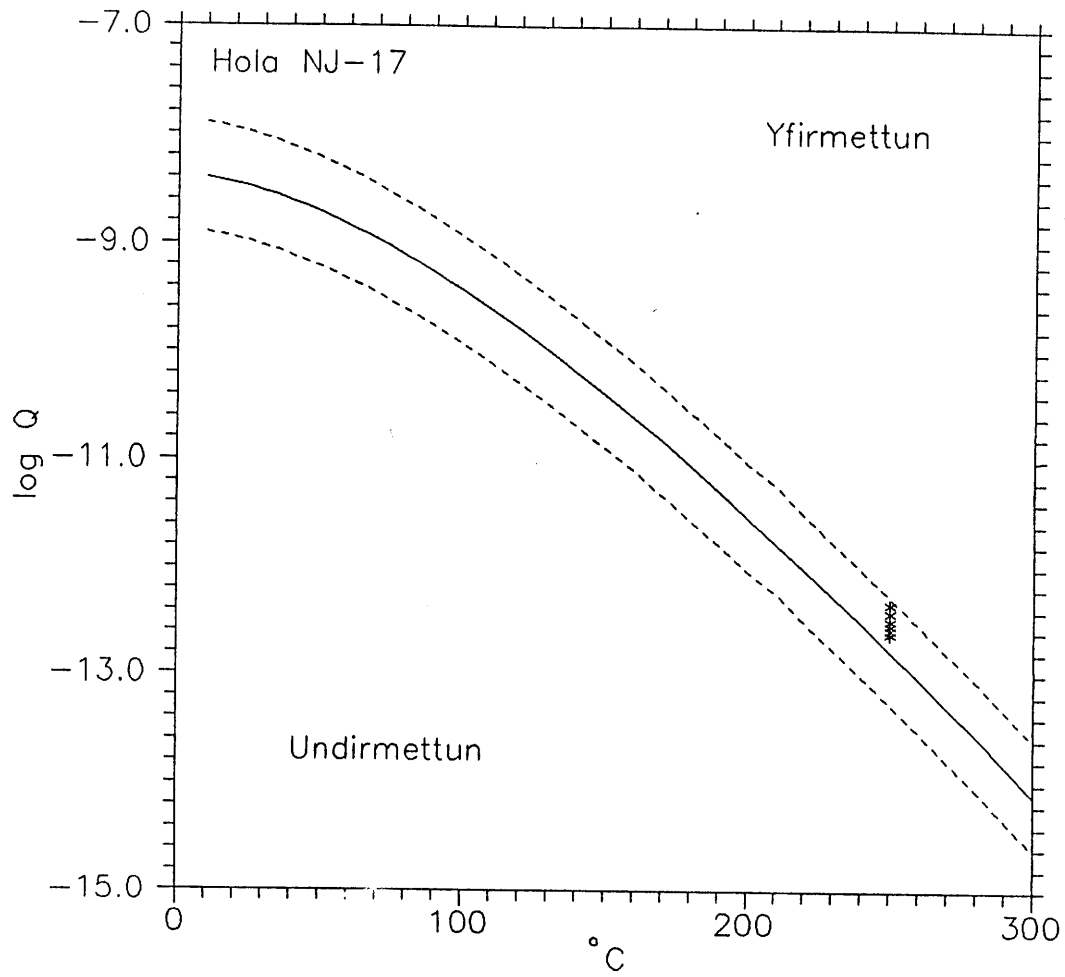


MYND 7b Efnasamsetning djúpvökva og jafnvægisferlar

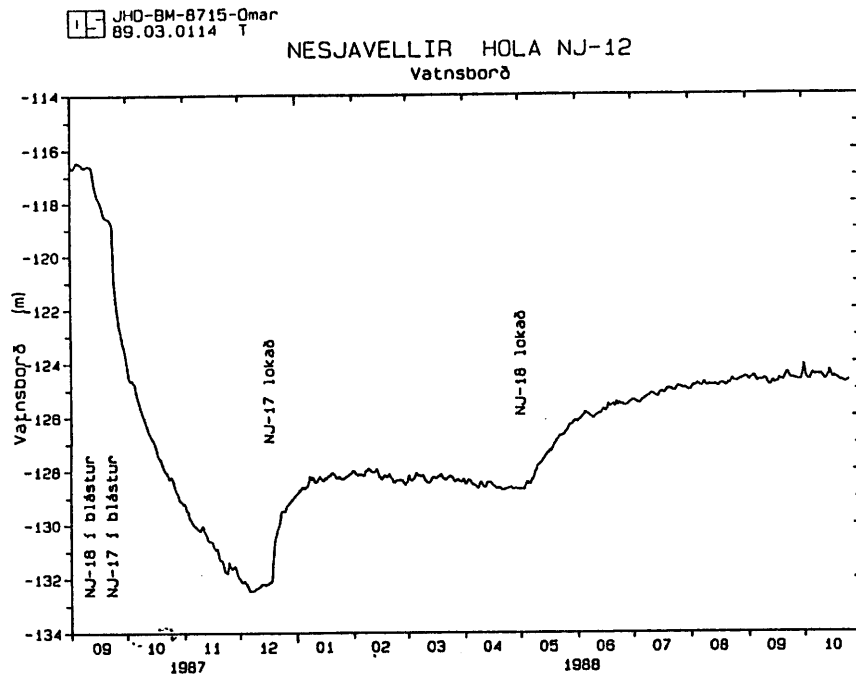


MYND 7c Efnasamsetning djúpvökva og jafnvægisferlar

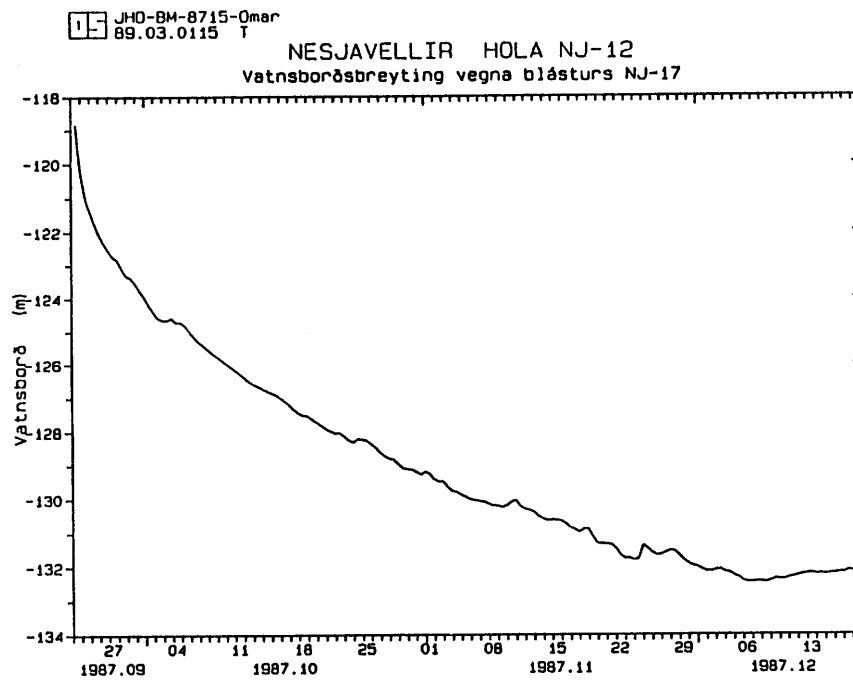
KALSIT



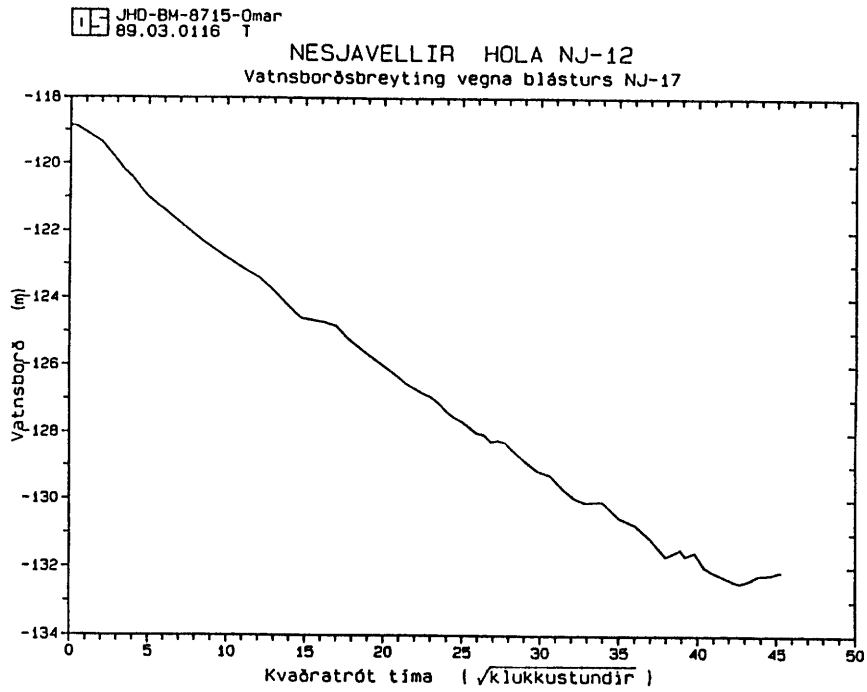
MYND 8 Mettunarferill kalsíts



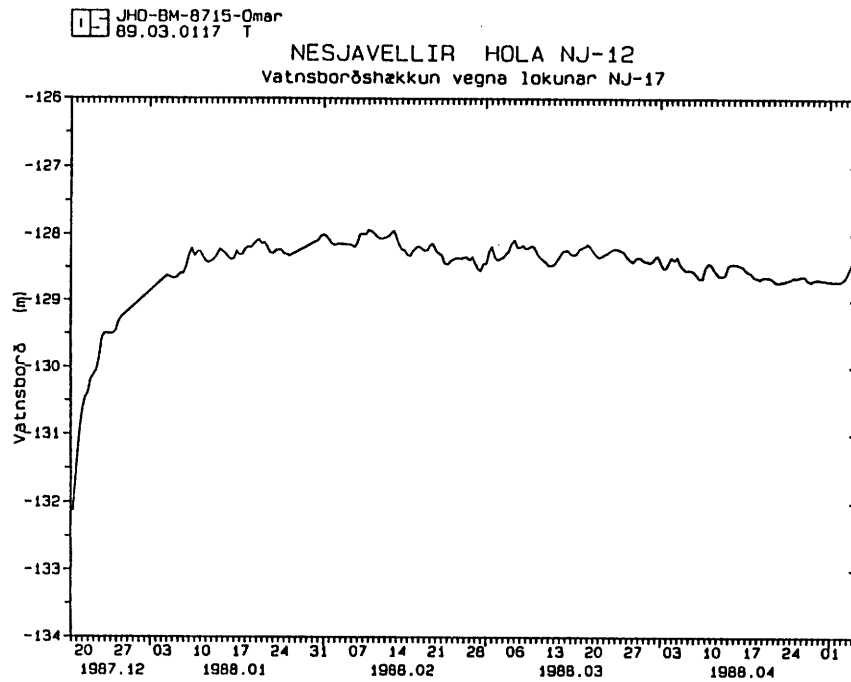
MYND 9 Vatnsborðsbreytingar í NJ-12 í september 1987 til október 1988



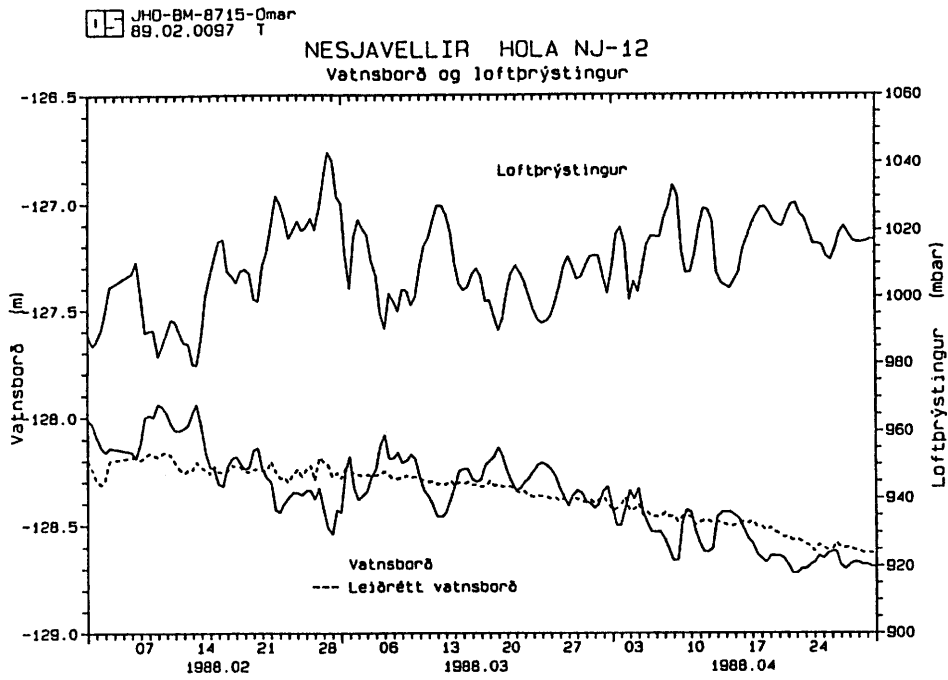
MYND 10 Vatnsborðslökkun í NJ-12 vegna blásturs NJ-17 og NJ-18



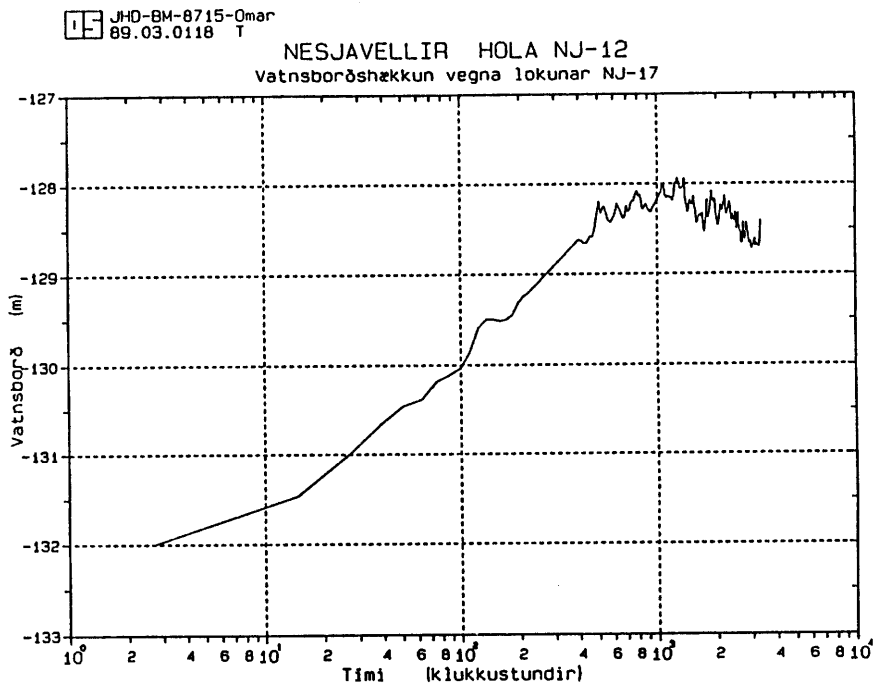
MYND 11 Vatnsborðsbreyting í NJ-12 vegna blásturs NJ-17



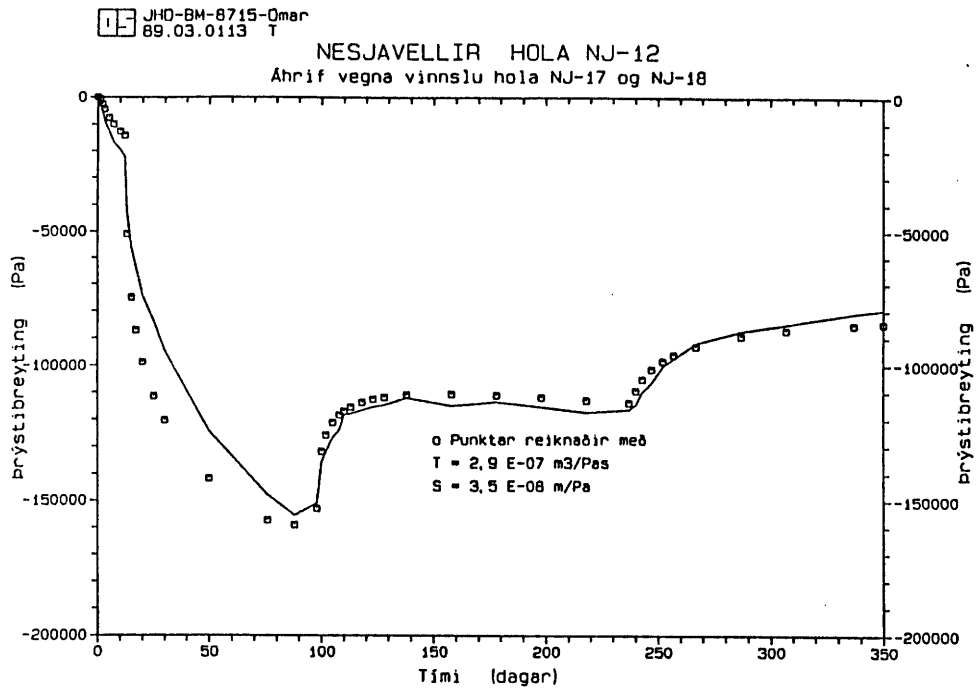
MYND 12 Vatnsborðshækkun í NJ-12 vegna lokunar NJ-17



MYND 13 Samspil vatnsborðs og loftþrýstings



MYND 14 Vatnsborðshækkun í NJ-12 vegna lokunar NJ-17 á lín-log skala



MYND 15 Nálgun vatnsborðsbreytinga í NJ-12 með líkanreikningum