



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Verkfræðistofan Vatnaskil hf.
Jón Örn Bjarnason, OS
Benedikt Steingrímsson, OS
Guðjón Guðmundsson, OS

SVARTSENGI

- I Vatnsborðslækkun og vinnsla
- II Efnasamsetning jarðsjávar og gufu 1980 - 1983
- III Hiti og þrýstingur í jarðhitakerfinu

OS-83086/JHD-17
Reykjavík, nóvember 1983

Unnið fyrir
Hitaveitu Suðurnesja



ORKUSTOFNUN

Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

**Verkfræðistofan Vatnaskil hf.
Jón Örn Bjarnason, OS
Benedikt Steingrímsson, OS
Guðjón Guðmundsson, OS**

SVARTSENGI

- I Vatnsborðslækkun og vinnsla**
- II Efnasamsetning jarðsjávar og gufu 1980 - 1983**
- III Hiti og þrýstingur í jarðhitakerfinu**

OS-83086/JHD-17
Reykjavík, nóvember 1983

Unnið fyrir
Hitaveitu Suðurnesja

Dags.
 1984-09-27

 Tilv. vor
 SP/gb

Dags.

Tilv. yðar

...
 Hitaveita Suðurnesja
 Brekkustíg 36
 Y-Njarðvík
 ...
 230 KEFLAVÍK

Varðar: Vinnslueftirlit í Svartsengi.

Meðfylgjandi er skýrsla í þrem hlutum og fjallar hún um venjubundið eftirlit með vinnslu jarðhitans í Svartsengi sem Orkustofnun annast fyrir Hitaveitu Suðurnesja. Athuganir þessar ná fram til fyrsta ársfjórðungs 1983. Skýrslunni er skipt upp í þrjá hluta sem hver um sig fjallar um afmarkað svið.

Efnishlutarnir eru eftirfarandi:

1. Vatnsborðslökkun og vinnsla.
2. Efnasamsetning jarðsjávar og gufu 1980 - 1983.
3. Hiti og þrýstingur í jarðhitakerfinu.

Skýrslur sem þessi hafa komið út áður og eru þar settar fram allar niðurstöður mælinga sem gerðar eru í þessu skyni.

Þrýstilækkun hefur verið í jarðhitakerifnu frá upphafi vinnslu í Svartsengi og hafa verið gerð líkön um það og virðist samræmi gott. Nú koma fram áhrif kælingar í fyrsta sinn. Það olli því að ástæða þótti til að auka við hitamælingar til að fá staðfestingu á þessu. Í hluta 3 eru niðurstöður hita- og þrýstimælinga birtar og kemur þar fram tímabundin kæling við endurmælingu vorið 1984 líkt og árið áður. Þetta seinkaði útgáfu skýrslunnar.

Virðingarfyllst

Sverrir Þorhallsson
 Sverrir Þorhallsson

I. HLUTI

Vatnsborðslækkun og vinnsla

Verkfræðistofan Vatnaskil

YFIRLIT

Í febrúar síðastliðnum var undirritaður samningur milli Orkustofnunar og Verkfræðistofunnar Vatnaskil þar sem verkfræðistofunni var falin úrvinnsla gagna um vinnslu úr jarðhitasvæðinu í Svartsengi og vatnsborðsstöðu í holu H-4 tímabilið 1. mars 1982 - 1. mars 1983. Gögnin hafa verið færð í tölvuskrá á tölvu Orkustofnunar og eru því til á tölvutæku formi frá 18. október 1976 til 1. mars 1983. Vatnstaka og niðurdráttur frá upphafi eru sýnd á ársgrundvelli í töflunni hér á eftir. Vatnstakan hefur farið stigvaxandi og var lang mest árin 1981 og 1982. Niðurdráttur hefur því aukist samfara aukinni vinnslu.

Svartsengi - Vatnstaka og niðurdráttur á jarðhitasvæðinu

Ár	Heildar vatnstaka í árslok, milljón tonn	Vatnstaka á árinu, milljón tonn	Niðurdráttur í lok árs m	Niðurdráttur á árinu m
1976	0,21	0,21	2,4	2,4
1977	1,28	1,07	11,6	9,2
1978	2,91	1,63	20,0	8,4
1979	6,03	3,12	30,0	10,0
1980	10,61	4,58	47,0	17,0
1981	19,40	8,79	82,4	35,4
1982	28,13	8,73	98,7	16,3

Í framhaldi af úrvinnslu gagnanna var einingarniðurdráttur fyrir jarðhitasvæðið endurreiknaður. Í ljós kom að fyrri niðurstöður eru óbreyttar. Reiknaður var niðurdráttur á jarðhitasvæðinu með tveimur líkönum, svonefndu rennulíkani, sem hefur verið notað hingað til og gefið góða raun, og nýju líkani, svokölluðu suðuborðslíkan, sem gerir ráð fyrir að efri hluti jarðhitasvæðisins sé sjóðandi. Niðurstöður beggja líkana virðast gefa góða niðurstöðu. Samkvæmt suðuborðslíkaninu virðist suðan eiga sér stað á allstóru svæði og suðuborð hafa lækkað um rúma fjörutíu metra. Leggja ber áherslu á rannsóknir, sem geta skorið úr um, hvort nýja líkanið gefur réttari mynd af hegðun jarðhitasvæðisins og fundið það svæði, þar sem suða á sér stað, því að samkvæmt suðuborðslíkaninu gæti framreiknaður niðurdráttur orðið rúmlega 40% meiri en rennulíkanið sýnir. Ganga þarf úr skugga um þetta með niðurdráttarreikningum fyrir ákveðna vinnsluspá.

EFNISYFIRLIT

	Bls.
YFIRLIT.....	1
EFNISYFIRLIT.....	2
TÖFLU- OG MYNDASKRÁ.....	2
1 INNGANGUR.....	3
2 VINNSLUEFTIRLIT TÍMABILID 1. MARS 1982 TIL 1. MARS 1983.....	4
3 NIÐURDRÁTTARLÍKAN.....	5
3.1 Rennulíkan.....	5
3.2 Suðuborðslíkan.....	5
4 NIÐURSTÖÐUR.....	8
HEIMILDASKRÁ.....	9

TÖFLUSKRÁ

	Bls.
1 Vatnsborð í holu 4 í Svartsengi.....	10
2 Heildarvinnsla úr jarðhitasvæðinu.....	12

MYNDASKRÁ

	Bls.
1 Vinnslusaga 1982.....	13
2 Vinnslusaga 1983.....	14
3 Heildarvatnsmagn og niðurdráttur.....	15
4 Heildarblástur úr holum.....	16
5 Einingarniðurdráttur, rennulíkan.....	17
6 Niðurdráttur, rennulíkan.....	18
7 Suðuborðslíkan.....	19
8 Einingarniðurdráttur, suðuborðslíkan.....	20
9 Niðurdráttur, suðuborðslíkan.....	21

1 INNGANGUR

Í febrúar síðastliðnum var undirritaður samningur milli Orkustofnunar og Verkfræðistofunnar Vatnaskil og nær hann til úrvinnslu gagna, sem safnað hefur verið um vinnslu og niðurdrátt á jarðhitasvæðinu í Svartsengi á tímabilinu 1. mars 1982 - 1. mars 1983. Verkið, sem nú er lokið, fólst í eftirfarandi:

1. Gerð yfirlits yfir rennsli, holutoppsprýsting og heildarmagn fyrir hverja borholu, en gögn þessi eru skráð af Hitaveitu Suðurnesja.
2. Gerð skrár, sem sýnir mælda vatnsborðsstöðu og leiðréttta vatnsborðsstöðu vegna loftþrýstingsbreytinga í þeim borholum, sem síritandi vatnsborðsmælar hafa verið í.
3. Gerð teikningar, sem sýnir rennsli, heildarvatnsstöðu og niðurdrátt á svæðinu frá upphafi vinnslu til 1. mars 1983.
4. Færslu gagna um vinnslu og vatnsborðsstöðu inn á gagnaskrá á tölvu Orkustofnunar.
5. Athugun á því hvort niðurstöður útreikninga á einingarniðurdrætti hafi breyst með tilkomu meiri gagna.
6. Reikningi á niðurdrætti á jarðhitasvæðinu með tveimur líkönum, svokölluðu rennulíkani, sem hefur verið notað hingað til, og nýju líkani, svokölluðu suðuborðslíkani, sem er nánar lýst í skýrslunni.

Skýrsla þessi er ársyfirlit um vinnslu jarðhitans í Svartsengi og beint framhald af skilagreininum, "Vatnsborðslækkun og vinnsla í Svartsengi 1976-1981" og "Vatnstaka og vatnsborðslækkun í Svartsengi 1981". Þar eru birt gögn um vatnsborðslækkun í holum í Svartsengi og vinnslu úr jarðhitasvæðinu frá upphafi vinnslu til 1. mars 1982. Skilagreinarar voru viðbót við áður birt gögn í skýrslunum "Svartsengi. Athugun á vinnslu jarðhita", eftir Snorra Pál Kjaran o.fl. (1980) og "Svartsengi. Straumfræðileg rannsókn á jarðhitasvæði", sjá Jónas Elíasson o.fl. (1977). Útreikningar á einingarniðurdrætti fyrir jarðhitasvæðið í Svartsengi voru fyrst kynntir í skýrslu eftir Jonathan R. Regaldo, (1981) og frekari úrvinnsla var síðan birt í skýrslu unninni af Verkfræðistofunni Vatnaskil fyrir Hitaveitu Suðurnesja (1982). Útreikningar á niðurdrætti voru fyrst birtir samkvæmt

svonefndu rennulíkani í skýrslu eftir Snorra Pál Kjaran o.fl. (1980), og í skýrslu frá Verkfræðistofunni Vatnaskil (1982) er þeim reikningum nánar lýst jafnframt því sem rök eru leidd að því þar, að um suðu gæti verið að ræða í efri jarðlögum og þurfi því að taka tillit til þess í niðurdráttarreikningunum.

Í þessari skýrslu verður lítillega gerð grein fyrir líkani, sem tekur tillit til þessa atriða, og er greint frá fyrstu niðurstöðum útreikninga með því.

2 VINNSLUEFTIRLIT TÍMABILID 1. MARS 1982 - 1. MARS 1983

Úrvinnsla vatnsborðsmælinga með sírita og gagna um vinnslu á tímabilinu var gerð með hefðbundnum hætti. Vatnsborðsmælingar voru leiðréttar m.t.t. loftþrýstingsbreytinga og eru niðurstöður fyrir holu 4 sýndar í töflu 1. Þar er einnig sýndur niðurdráttur miðað við upphaflega vatnsborðsstöðu. Eins og fram kemur í töflunni hefur vatnsborð lækkað um rúmlega 103 m frá upphafi vinnslu 18. október 1976 til loka febrúar 1983. Vinnslusagan er unnin upp úr frumgögnum vélstjóra og eru niðurstöður fyrir allar holur á svæðinu sýndar á myndum 1 og 2. Heildarvinnsla úr jarðhitasvæðinu hefur síðan verið tekin saman í töflu 2. Eins og sést af töflunni hafa verið tekin um 30×10^9 kg upp úr svæðinu í byrjun mars 1983.

Mynd 3 sýnir síðan mældan niðurdrátt og heildarvatnsmagn sem tekið hefur verið úr jarðhitasvæðinu frá upphafi vinnslu. Mynd 4 sýnir heildarblástur úr holum á hverjum tíma frá upphafi vinnslu til 1. mars 1983. Niðurdráttur og blástur úr holum hefur verið fært í skrá í tölvu Orkustofnunar. Niðurdráttarskráin er "óformateruð" og heitir NH4.DAT: blástursskráin er einnig óformateruð og heitir BLASALL.DAT.

3 NIÐURDRÁTTARLÍKAN

3.1 Rennulíkan

Niðurstöður útreikninga á einingarniðurdrætti byggðar á gögnum fram til 1. mars 1982 eru birtar í skýrslu frá Verkfræðistofunni Vatnaskil (1982). Þeir reikningar voru endurteknir og gögn fyrir tímabilið 1. mars 1982 - 1. mars 1983 tekin með. Í stuttu máli sagt breytti það fyrri niðurstöðum ekkert, vegna þess að hér er um stutt viðbótar-tímabil að ræða. Fyrri niðurstaðan er sýnd á mynd 5. Myndin sýnir einnig fræðilegan einingarniðurdrátt með svonefndu rennulíkani (sjá Snorri Páll Kjarafl. 1980). Rennan er lokuð á þrjá vegu og er 1800-2500 metra breið með geymslustuðul 0,012 og leiðni 0,012 m²/s. Þetta svarar til að leiðnin sé um 100-150 millidarcy eða þar um bil, háð því hvaða þykkt á vatnsleiðandi lögum er reiknað með. Rennulíkaíð er óbreytt frá því sem var í eldri skýrslunni, nema rennan virðist breikka þegar fjær dregur miðju svæðisins. Áhrif breikkunarinnar virðast koma dálítið fyrr fram í holu H-4 en H-5. Að öðru leyti fylgja mældu punktarnir fræðilega ferlinum mjög vel. Eins og margsinnis hefur verið bent á, er samt sem áður ekki hægt að slá því föstu að umrædd renna sé raunverulega til, né benda á hvar hún liggur, til þess eru fyrirbyggjandi upplýsingar um jarðfræði svæðisins ekki nógu miklar. Á mynd 6 er sýndur mældur niðurdráttarferill ásamt niðurdráttarferli, sem er reiknaður út með því að nota einingarniðurdráttinn fyrir rennulíkanið á mynd 5 og raunverulega vinnslu sbr. mynd 4. Samsvörun milli mældra og reiknaðra gilda er mjög góð, helsta frávikið er í holu H-5, en þar gætir að hluta til áhrifa jarðsjálfta, sem varð 210 dögum eftir að mælingar hófust og lýst er í fyrri skýrslum. Auk þess eru frávik í holu H-4 þann tíma, sem niðurdæling á köldu vatni stóð yfir í holu H-12.

3.2 Suðuborðslíkan

Í skýrslu frá Verkfræðistofunni Vatnaskil (1982) er sýnt fram á að suða á sér stað í efri jarðlögum í jarðhitasvæðinu í Svartsengi. Geymsla í berginu gæti því fremur verið vegna áhrifa suðu en fjöðrunar jarðlaga. Ef þrýstingur lækkar niður fyrir suðumarksþrýsting getur vatnið horfið úr berginu og holrúmin fyllst af gufu í staðinn án þess að veruleg fjöðrun eigi sér stað. Geymslustuðull slíks forðageymis hlýtur að vera af sömu stærðargráðu og holrýmd bergsins. Hann er gefinn með:

$$S_1 = \psi(1 - S_w) \quad (1)$$

þar sem:

S_1 : geymslustuðull vegna suðu

ψ : groppa bergsins

S_w : rúmmálshlutfall vatns

Ef til dæmis groppan er 0,1 og rúmmálshlutfall vatnsins 90% fæst geymslustuðull 0,09 sem er mjög hátt gildi. Suðuborðslíkanið er sýnt á mynd 7. Gert er ráð fyrir að jarðhitasvæðið í Svartsengi sé eins og pottur, umlukinn þéttum veggjum á alla vegu. Efst er kerfið í suðu og þar er blanda af vatni og gufu. Neðar í kerfinu er eingöngu vatn. Borholur taka í flestum tilfellum vatn úr neðri hluta kerfisins. Gert er ráð fyrir, að áhrif niðurdráttar nái út í jaðra svæðisins, þannig að líkanið gildir ekki fyrstu daga vinnslunnar. Vatnið sem tekið er upp um borholurnar kemur því úr geymslu með tvennum hætti. Í fyrsta lagi vegna fjöðrunar í neðri jarðlögum og í öðru lagi vegna suðu í efri jarðlögum. Suðuborðslíkaninu má lýsa með eftirfarandi þremur jöfnum:

$$W = q + A_2 S_2 \rho_2 \frac{dh_2}{dt} \quad (2)$$

$$q = \rho_1 A_1 S_1 \frac{dh_1}{dt} \quad (3)$$

$$q = c(h_2 - h_1) \quad (4)$$

þar sem:

W : Vinnsla úr borholum, kg/s

q : Vatnsmagn úr geymslu vegna suðu, kg/s

A_1 : Flatamál jarðhitasvæðisins í efri jarðlögum, m^2

A_2 : Flatarmál jarðhitasvæðis í neðri jarðlögum, m^2

S_1 : Geymslustuðull vegna suðu

S_2 : Geymslustuðull vegna fjöðrunar

ρ_1 : Eðlismassi vatns í efri jarðlögum, kg/m^3

ρ_2 : Eðlismassi vatns í neðri jarðlögum, kg/m^3

h_1 : Lækkun á suðuborði, m

h_2 : Vatnsborðslækkun í neðri jarðlögum, m

t : Tími, sek.

c : Rennslisstuðull, kg/s/m

Lausnina á jöfnum 2-4 má skrifa á eftirfarandi hátt:

$$h_1(t) = C_3 \int_0^t M(t-\tau) e^{-\tau/k} d\tau \quad (5)$$

$$h_2(t) = C_1 M(t) - C_2 \int_0^t M(t-\tau) e^{-\tau/k} d\tau \quad (6)$$

$M(t)$ er heildarvatnsmagn, sem hefur verið tekið úr svæðinu frá upphafi, samanber mynd 3. Stuðlarnir eru skilgreindir á eftirfarandi hátt:

$$C_1 = \frac{1}{\rho_2 A_2 S_2} \quad (7)$$

$$C_2 = \frac{c}{(\rho_2 A_2 S_2)^2} \quad (8)$$

$$C_3 = c \frac{\rho_1 A_1 S_1}{\rho_2 A_2 S_2} \quad (9)$$

$$K = \frac{1}{c} \frac{(\rho_1 A_1 S_1) (\rho_2 A_2 S_2)}{\rho_1 A_1 S_1 + \rho_2 A_2 S_2} \quad (10)$$

Í reynd eru stuðlarnir C_1 , C_2 og K ákvarðaðir með því að bera saman mældan og reiknaðan niðurdrátt, og síðan ef ástæða þykir er hægt að reikna C_3 . Þetta hefur verið gert og mældur niðurdráttur á mynd 3 notaður. Niðurstaðan varð:

$$C_1 = 1,488 \cdot 10^{-8} \text{ m/kg}$$

$$C_2 = 8,716 \cdot 10^{-11} \text{ m/kg/dag}$$

$$K = 150 \text{ dagar}$$

Ef þessir stuðlar eru síðan notaðir til að reikna flatarmál jarðhitasvæðisins kemur í ljós að það er um 6 km^2 bæði í efri og neðri jarðlögum, þ.e. ef gert er ráð fyrir að groppa efri jarðlaga sé um 10%. Ef þessi groppa er meiri, t.d. vegna sprungna, minnkar flatarmál tilsvarandi. Hér er um nokkuð stórt flatarmál að ræða fyrir suðusvæðið og er vert að athuga þetta nánar. Kanna verður, hvort nokkrar sérstakar rannsóknaraðferðir séu tiltækar, sem nota megi til að finna það svæði þar sem suða á sér stað og mæla stærð þess. Reiknaði niðurdrátturinn er svo sýndur á mynd 9 og virðist um góða samsvörun að

ræða eins og fyrir rennulíkanið. Niðurdráttur mældist 103,3 m 25. febrúar 1983 en reiknaður niðurdráttur samkvæmt suðuborðslíkaninu reyndist vera 106,0 m. Nauðsynlegt er að sem fyrst verði skorið úr um hvort hér sé um raunhæfa stærð að ræða. Einingarniðurdráttur með suðulíkaninu er gefinn með eftirfarandi jöfnu:

$$F(t) = 1,56 \cdot 10^{-4} t + 0,169 (1 - e^{-t/150}) \quad (12)$$

þar sem t er tími í dögum.

Einingarniðurdrátturinn er síðan sýndur á mynd 8. Mældum og reiknuðum einingarniðurdrætti ber vel saman nema fyrstu daga vinnslunnar, en það er eðlilegt eins og áður er getið. Af myndinni kemur einnig fram að einingarniðurdrátturinn eftir 10.000 daga eða um 27 ár er um 40% meiri samkvæmt suðuborðslíkaninu en rennulíkaninu. Ástæða væri til að gera niðurdráttarspá fyrir suðuborðslíkanið eins og gert hefur verið fyrir rennulíkanið (sjá Verkfræðistofan Vatnaskil 1982). Leggja ber áherslu á rannsóknir, sem geta skorið úr um, hvort líkanið gefi réttari mynd af jarðhitasvæðinu.

4 NIÐURSTÖÐUR

Unnið hefur verið úr vatnsborðsmælingum í holu H-4 og vinnslugögnum vélstjóra Hitaveitu Suðurnesja fyrir tímabilið 1. mars 1982 til 1. mars 1983. Gögnin hafa verið færð í tölvuskrá á tölvu Orkustofnunar. Einingarniðurdrátturinn hafði ekki breyst frá árinu áður. Mældur niðurdráttur er borinn saman við reiknaðan niðurdrátt með tveimur líkönum, rennulíkani og suðulíkani. Bæði líkönin gefa trúverðuga niðurstöðu. Leggja verður áherslu á rannsóknir sem gætu skorið úr um hvort líkanið gefur réttari mynd af jarðhitasvæðinu. Suðulíkanið gefur verulega meiri niðurdrátt þegar litið er til lengri tíma. Reiknaður niðurdráttur víkur verulega frá mældum niðurdrætti þann tíma sem niðurdæling fór fram á svæðinu, en þá kemur fram breyting á vatnsborði, sem ekki stafar af þrýstiáhrifum niðurdælingarinnar, heldur gasstreymi í holunni. Við viljum minna á, að það er tekið tillit til niðurdælingar þegar reiknaður er niðurdráttur, þannig að þrýstiáhrif niðurdælingar virðast skila sér á sama hátt og áhrif vinnslu.

HEIMILDASKRÁ

Jónas Eliásson, Sigurður St. Arnalds, Snorri Páll Kjaran 1977: Svartsengi, Straumfræðileg rannsókn á jarðhitasvæði. Orkustofnun, OSROD 7718, OSSFS, 37 s.

Snorri Páll Kjaran, Jónas Eliásson, Gísli Karel Halldórsson 1980: Svartsengi, Athugun á vinnslu jarðhita. Orkustofnun, OS80021/ROD10-JHD17, 98 s.

Gísli Karel Halldórsson 1981: Vatnsborðslækkun og vinnsla í Svartsengi 1976-1981. Orkustofnun GKH-81/02.

Regalado, Jonathan R. 1981: A Study of the Response to Exploitation of the Svartsengi Geothermal Field SW-Iceland. UNU Geothermal Training Programme, Iceland. National Energy Authority, Report 1981-7. 111 s.

Verkfræðistofan Vatnaskil 1982: Vatnstaka og vatnsborðslækkun í Svartsengi 1981. Unnið af Verkfræðistofunni Vatnaskil fyrir Orkustofnun vegna Hitaveitu Suðurnesja. OS82058/JHD11B, 19 s.

Verkfræðistofan Vatnaskil 1982: Svartsengi. Vatnsborðslækkun með vinnslu. Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja, 17 s.

TAFLA 1 Vatnsborð í holu 4 í Svartsengi

Dagsetning	Dagar frá upphafi vinnslu	Vatnsborð m u.s.	Leiðrétt vatnsborð vegna loftþrýstings	Niðurdráttur
82.03.01	1960	135,94	0,31	85,83
82.03.15	1974	136,94	0,08	86,60
82.03.19	1978	137,10	-0,02	86,66
82.03.24	1983	137,06	0,12	86,76
82.03.30	1989	137,02	0,12	86,72
82.04.01	1991	137,19	0,02	86,79
82.04.05	1995	137,42	-0,06	86,94
82.04.10	2000	137,64	-0,08	87,14
82.04.18	2008	137,76	0,03	87,27
82.06.02	2053	139,90	0,15	89,63
82.06.05	2056	140,22	-0,10	89,70
82.06.10	2061	140,41	-0,13	89,86
82.06.15	2066	140,48	-0,05	90,01
82.06.20	2071	140,68	-0,08	90,18
82.06.25	2076	140,78	-0,03	90,33
82.06.30	2081	140,76	0,05	90,42
82.07.05	2086	140,81	0,05	90,44
82.07.10	2091	140,96	0,02	90,56
82.07.15	2096	141,06	0,03	90,67
82.07.20	2101	141,15	-0,07	90,66
82.07.25	2106	141,36	-0,03	90,91
82.07.30	2111	141,44	0,01	91,03
82.08.03	2115	141,53	-0,04	91,07
82.08.18	2130	142,10	0,19	91,87
82.08.20	2132	142,53	0,02	92,13
82.08.25	2137	142,74	0,16	92,48
82.08.31	2143	143,22	0,10	92,90
82.09.05	2148	144,06	-0,10	93,54
82.09.10	2153	143,76	0,41	93,75
82.09.15	2158	144,35	0,16	94,09
82.09.21	2164	144,22	0,08	93,88
82.10.07	2178	38,94	-0,10	-11,58
82.10.12	2183	87,39	0,04	37,01
82.10.14	2185	96,09	0,04	45,71
82.10.15	2186	101,39	0,08	51,05
82.10.17	2188	114,39	0,23	64,20
82.10.18	2189	118,09	0,29	67,96

82.10.19	2190	120,69	0,40	70,67
82.10.20	2191	125,09	0,34	75,01
82.10.21	2192	128,69	0,33	78,60
82.10.22	2193	132,29	0,22	82,09
82.10.23	2194	135,49	0,20	85,27
82.10.25	2196	139,79	0,08	89,45
82.10.27	2198	140,92	0,36	90,86
82.10.28	2199	142,02	0,29	91,89
82.10.29	2200	143,22	0,19	92,99
82.10.30	2201	144,32	0,05	93,95
82.10.31	2202	145,42	0,13	95,13
82.11.01	2203	146,57	0,16	96,31
82.11.02	2204	146,72	0,05	96,35
82.11.03	2205	144,77	0,03	94,38
82.11.04	2206	142,87	0,10	92,55
82.11.05	2207	142,87	0,29	92,74
82.11.06	2208	143,02	0,18	92,78
82.11.07	2209	143,17	0,15	92,90
82.11.08	2210	143,32	0,24	93,14
82.11.09	2211	143,57	0,29	93,44
82.11.10	2212	143,72	0,38	93,68
82.11.11	2213	143,90	0,29	93,77
82.11.18	2220	144,71	0,31	94,60
82.11.25	2227	145,72	-0,03	95,27
82.12.02	2234	146,30	0,12	96,00
82.12.09	2241	146,74	0,35	96,67
82.12.16	2248	147,60	0,18	97,36
82.12.29	2261	148,81	0,19	98,58
83.01.07	2270	149,49	0,25	99,32
83.01.17	2280	150,62	0,18	100,38
83,01,25	2288	151,57	0,44	101,59
83,01,27	2290	151,97	0,21	101,76
83.02.02	2296	152,63	-0,09	102,12
83.02.08	2302	153,07	-0,07	102,58
83.02.16	2310	153,50	-0,12	102,96
83.02.25	2319	153,52	0,20	103,30

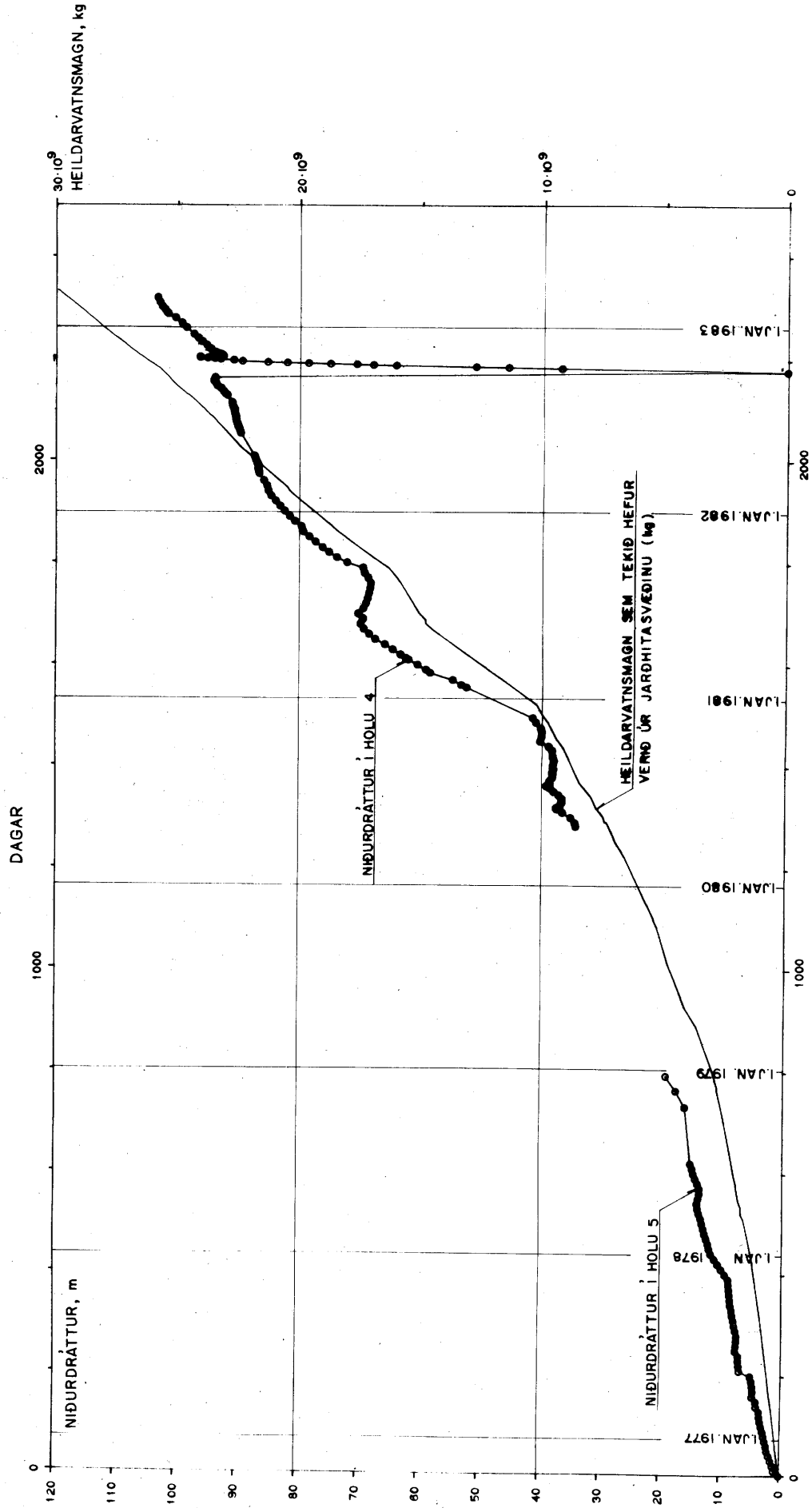
TAFLA 2 Heildarvinnsla úr jarðhitasvæðinu við Svartsengi

Dagsetning	Dagar frá upphafi vinnslu 76.10.18	Heildar blástur úr holum frá og með viðkom- andi degi kg/s	Vatnstaka úr svæðinu frá upphafi vinnslu kg
82.01.01	1901	299	19,42 x 10 ⁹
82.02.01	1932	245	20,22 "
82.02.06	1937	299	20,33 "
82.02.09	1940	275	20,40 "
82.02.16	1947	281	20,49 "
82.02.25	1956	284	20,71 "
82.05.05	2025	224	22,40 "
82.06.24	2075	221	23,37 "
82.07.30	2111	289	24,06 "
82.08.10	2122	250	24,34 "
82.08.17	2129	300	24,49 "
82.08.21	2133	288	24,59 "
82.08.25	2137	291	24,69 "
82.08.31	2143	311	24,84 "
82.09.03	2146	333	24,92 "
82.09.07	2150	283	25,04 "
82.09.14	2157	333	25,21 "
82.09.16	2159	268	25,25 "
82.09.28	2171	263	25,53 "
82.10.08	2182	318	25,78 "
82.10.10	2184	328	25,84 "
82.12.31	2265	328	28,13 "
83.02.23	2319	283	29,66 "
83.03.07	2331	328	29,96 "

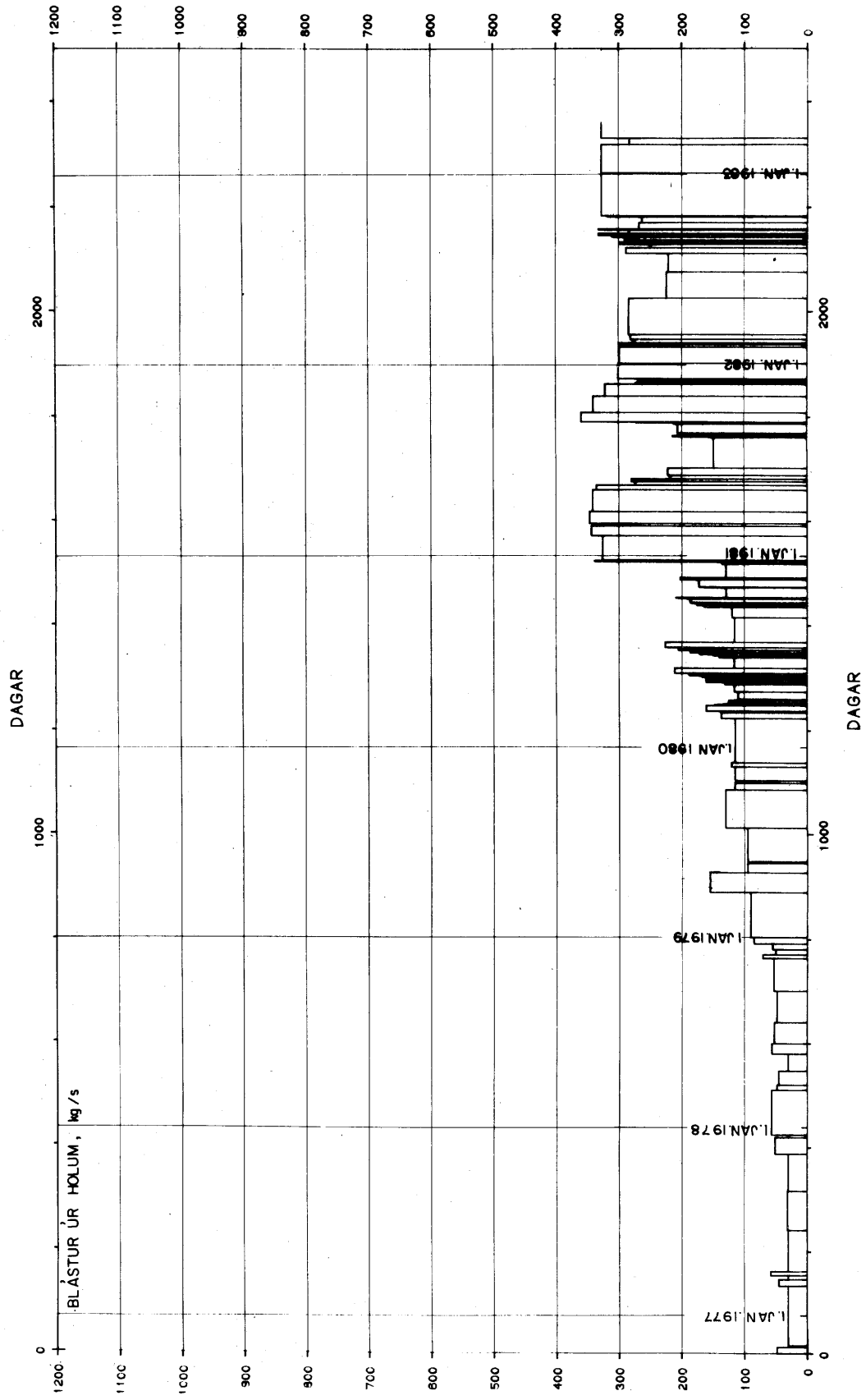
HOLUR	JANUAR		FEBRUAR		MARZ		APRIL		MAI		JUNI		JULI		AUGUST		SEPTEMBER		OKTOBER		NOVEMBER		DEZEMBER																								
	0	5	10	15	20	25	30	31	0	5	10	15	20	25	30	31	0	5	10	15	20	25	30	31	0	5	10	15	20	25	30	31	0	5	10	15	20	25	30	31	0	5	10	15	20	25	30
2	HEILDARVATNSMAGN (kg/s)																																														
	299 kg/s																																														
	LOKAD																																														
	0 kg/s																																														
3	LOKAD																																														
	0 kg/s																																														
4	SÍRITI Á HÖLUNNI																																														
	0 kg/s																																														
	P ₀ = 9.0-10.0																																														
	7.8-16.2 bar																																														
	PRÝSTIMELT																																														
	24 kg/s																																														
	0 kg/s																																														
	3 kg/s																																														
5	SÍRITI Á HÖLUNNI																																														
	0 kg/s																																														
	P ₀ = 17.5-18.0, 17.5-18.2 bar																																														
	0 kg/s																																														
	57 kg/s																																														
	P ₀ = 16.6-17.5, 17.0-17.9 bar																																														
	0 HITA-06																																														
	PRÝSTIMELT																																														
	50 kg/s																																														
	P ₀ = 17.0-18.0, 17.3-18.1 bar																																														
	0 HITA-06																																														
	PRÝSTIMELT																																														
	57 kg/s																																														
	P ₀ = 14.3-14.8, 15.0-15.5 bar																																														
	0.95 BLENDI																																														
	60 kg/s																																														
	P ₀ = 17.2-18.0, 17.5-18.2 bar																																														
	0 HITA-06																																														
	PRÝSTIMELT																																														
	57.0 kg/s																																														
	0 H. HEILDARSYNI																																														
	KG. GASSYNI																																														
	MYND I.																																														

HOLUR

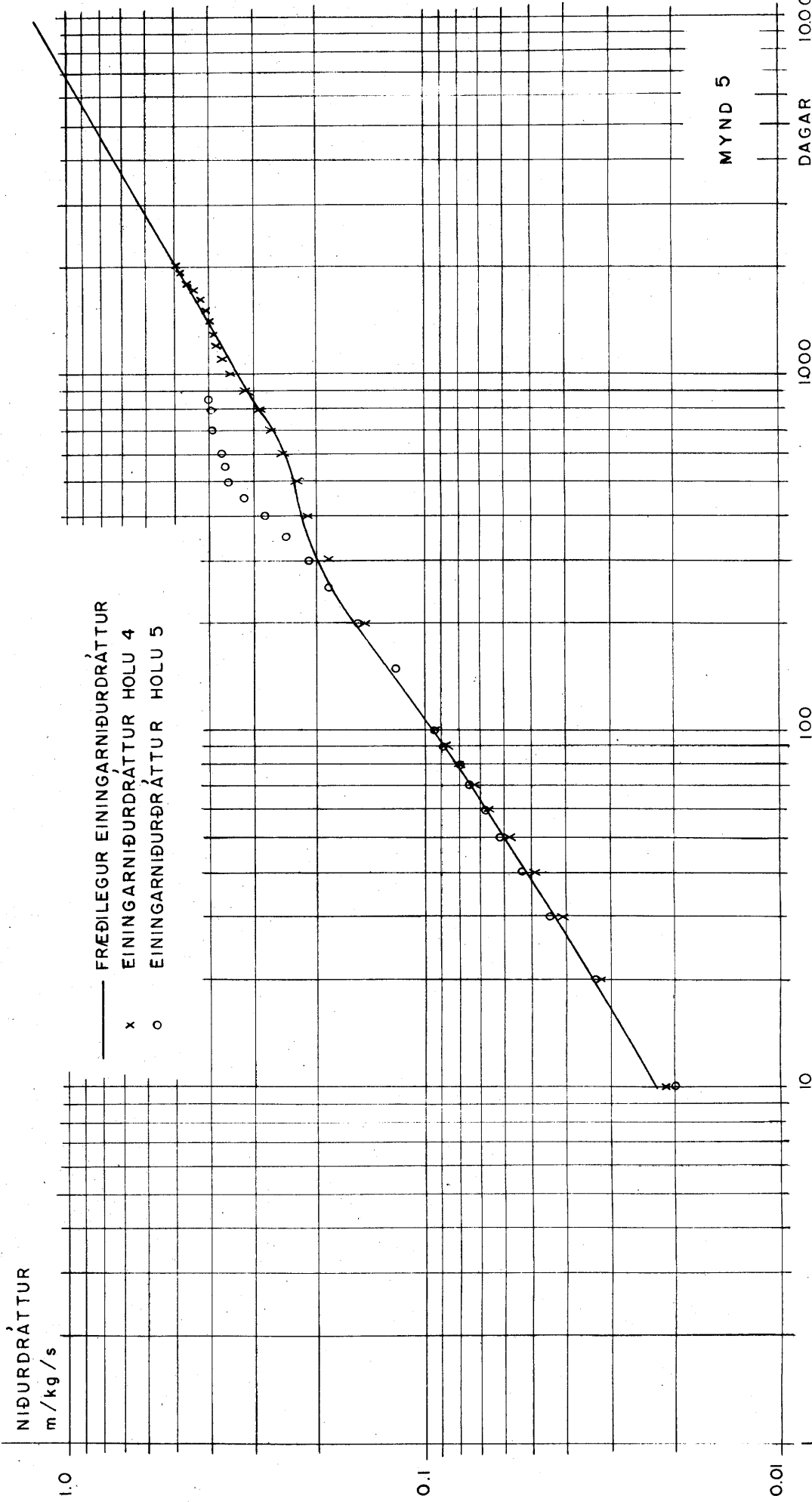
SVARTSENGI
 HEILDARVATNSMAGN OG NIÐURDRÁTTUR



SVARTSENGI
 HEILDARBLÁSTUR ÚR HOLUM

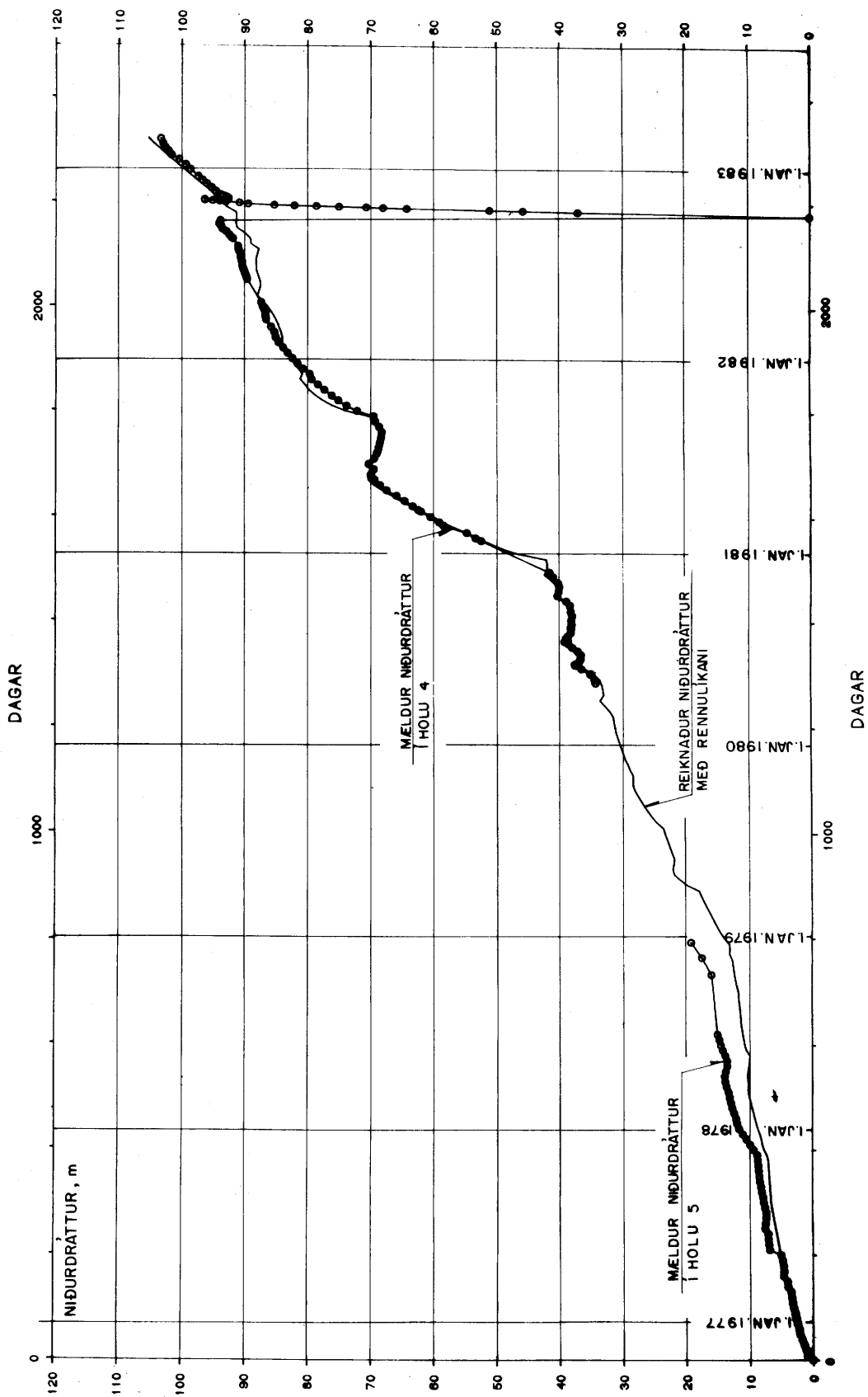


SVARTSENGI
EINGARNIÐURDRÁTTUR, RENNULÍKAN

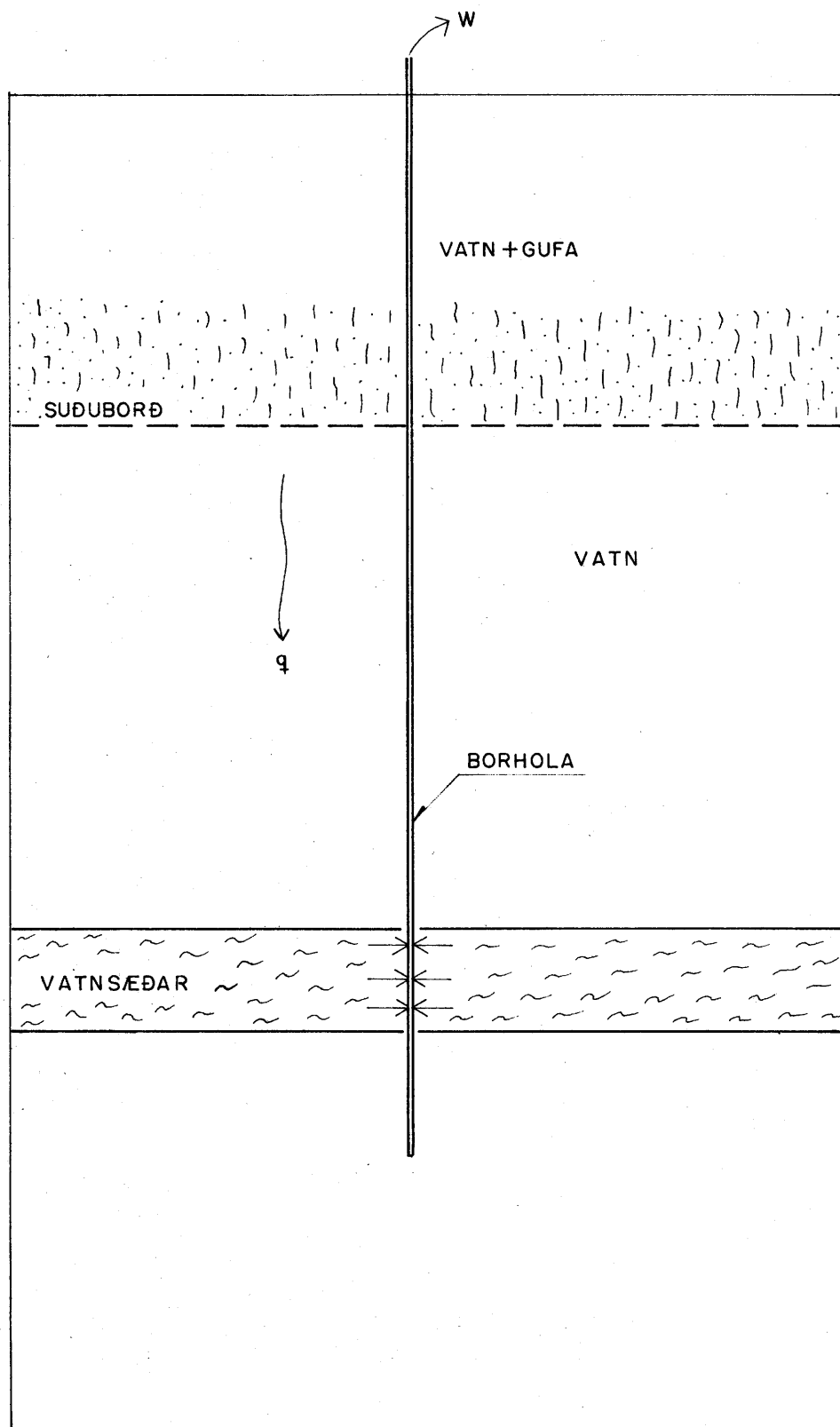


MYND 5

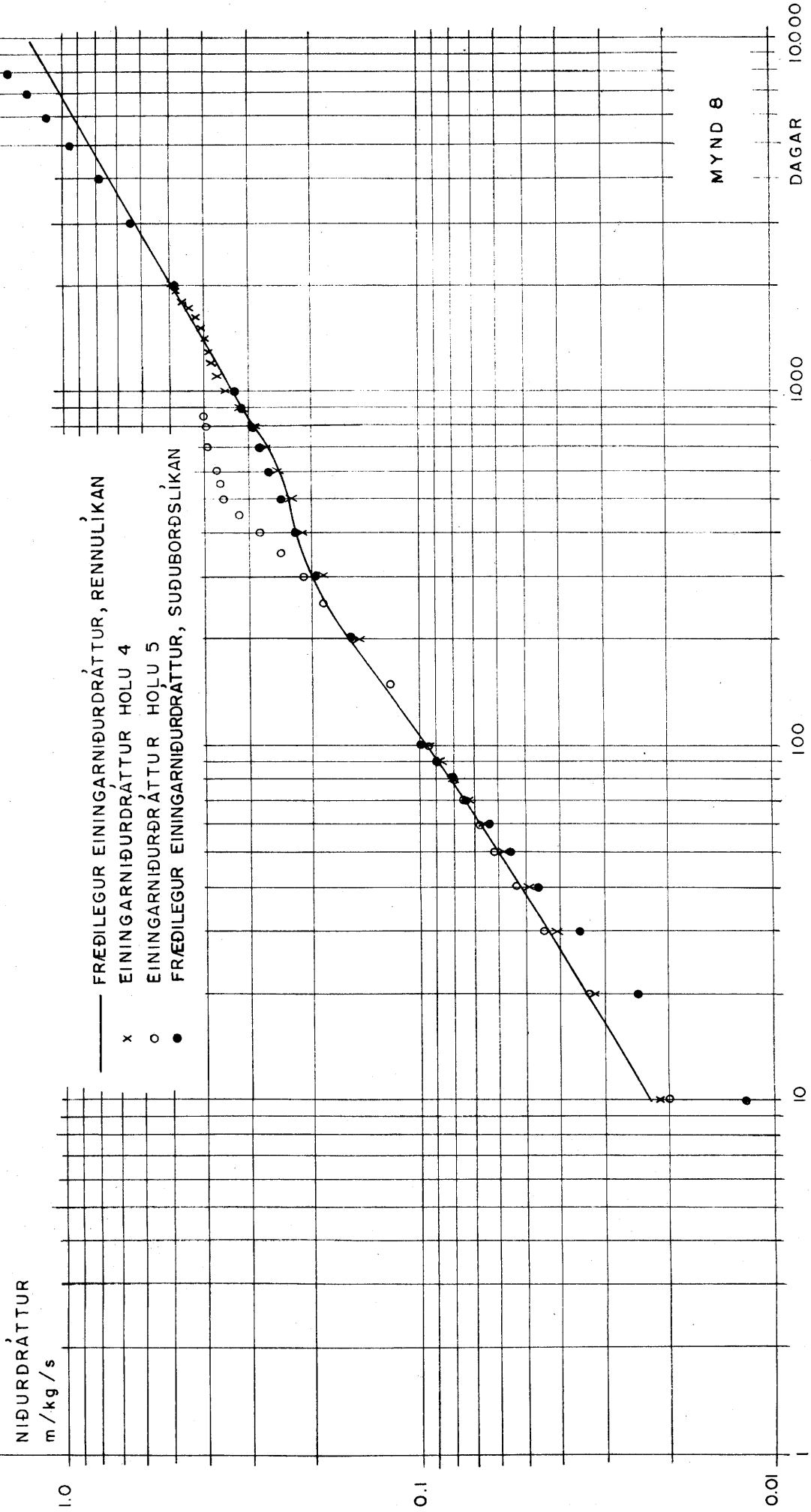
SVARTSENGI
NIÐURDRÁTTUR, RENNULÍKAN



**SVARTSENGI
SUÐUBORÐSLÍKAN**



SVARTSENGI
 EINGARNIÐURDRÁTTUR, SUDUBORÐSLÍKAN



MYND 8

DAGAR 10000

1000

100

10

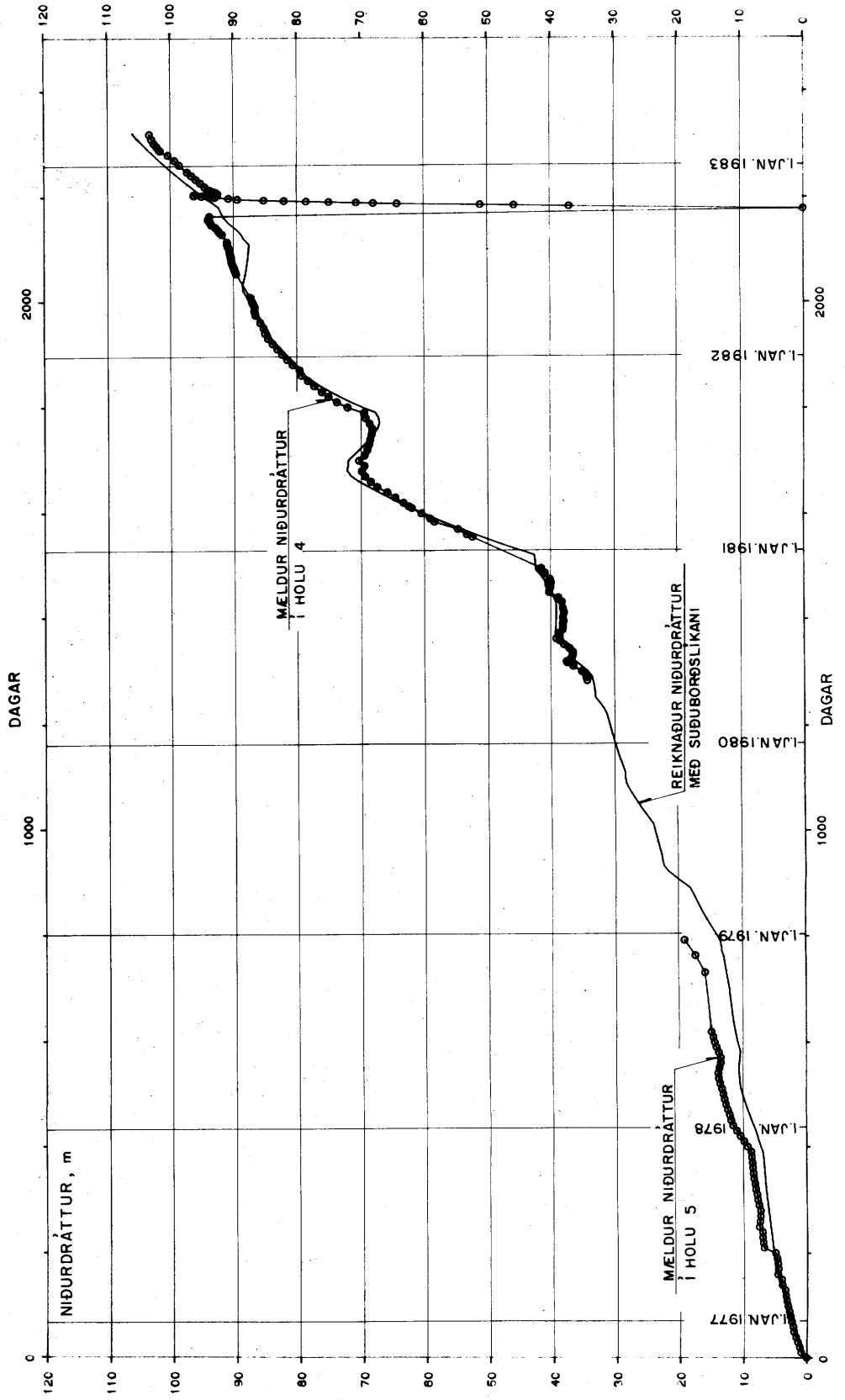
NÍÐURDRÁTTUR
 m / kg / s

1.0

0.1

0.01

SVARTSENGI
 NIÐURDRÁTTUR, SUBUBORÐSLÍKAN



II. HLUTI

**Efnasamsetning jarðsjávar og gufu
1980 - 1983**

Jón Örn Bjarnason

EFNASAMSETNING JARÐSJÁVAR OG GUFU Í SVARTSENGI 1980 - 1983

Greinargerð þessi er í þremur hlutum. Fjallar hinn fyrsti um niðurstöður heildargreininga á sýnum teknum úr borholum í Svartsengi frá því snemma á árinu 1980. Annar hlutinn hefur að geyma yfirlit yfir greiningar á gassýnum teknum veturinn 1982 - 1983. Í síðasta hluta er sett fram líkleg skýring á því hvers vegna kísilútfellingar eru mjög mismiklar við hinar ýmsu holur í Svartsengi.

1 HEILDARGREININGAR

Síðan skýrsla Orkustofnunar "Svartsengi, efnasamsetning heits grunnvatns og hitaveituvatns" (Trausti Hauksson 1980) birtist hefur verið greint á Orkustofnun samtals 31 heilsýni af borholuvökva úr Svartsengi. Þar til haustið 1982 voru öll sýnin tekin við holutopp. Í október það ár kom hinsvegar til álita að framvegis yrðu öll sýni tekin úr skiljum við orkuver. Til þess að ganga úr skugga um að sýni tekin þaðan væru sambærileg við fyrri sýni, var ákveðið að í október yrði öllum sýnum safnað í tvítaki, einu við holutopp og öðru við skiljustöð. Þá var einnig ákveðið að gera slíkt hið sama næst þegar sýni yrðu tekin úr öllum holum og hætta ekki sýnatöku við holutopp nema viðunandi samkvæmni fengist milli sýnatökustaða í báðum yfirferðum.

Heildargreiningar úr Svartsengi frá mars 1980 til október 1982 dreifast sem hér segir:

Úr holu	6,	fjögur sýni,	þar af eitt við skiljustöð
" "	7,	þrjú	"
" "	8,	sex	" " " eitt " "
" "	9,	sex	" " " tvö " "
" "	10,	sex	" " " tvö " "
" "	11,	fimm	" " " eitt " "
" "	12,	eitt	"

Þegar tekið er heilsýni úr háhitaholu, er safnað vatni, gasi og þéttivatni og hver þessara fasa efnagreindur sér. Með því að sýnin eru skilin við mismunandi þrýsting, gefa hráar efnagreiningar óglögga hugmynd um samsetningu borholuvökva. Er því ekki talin ástæða til að hafa þær með hér. Þannig þarf fyrst að reikna þá vökvasamsetningu sem samsvarar mældum niðurstöðum - "reikna saman vatn og gufu" - fyrir tiltekinn skiljuþrýsting. Við reikningana þarf, auk efnagreininganna og skiljuþrýstingsins, að styðjast við hitastig eða enþalpiú í holu. Hér eru hitamælingar Orkustofnunar frá 1982 lagðar til grundvallar.

Niðurstöður þessara reikninga eru sýndar í töflum I til VII og er viðmiðunarhitastigið skráð efst í hverri töflu. Þegar um er að ræða tvö sýni úr sömu holu sama dag, er hið síðara tekið úr skilju við orkuver. Þess má geta, að fyrir holur 7 til 12 eru þetta öll heildarsýni sem tekin hafa verið á vegum Orkustofnunar.

Þegar niðurstöður þessar eru skoðaðar kemur eftirfarandi í ljós. Mjög miklar sveiflur eru í gasmagni í öllum borholum. Þó eru þær langmestar í holu 10, sem er jafnframt gasríkasta hólun. Sveiflurnar eru langt utan óvissumarka í sýnatöku og efnagreiningu. Hvorki verður séð að magn gass í gufu sé að aukast eða minnka þegar til lengri tíma er litið, því sveiflurnar eru bæði örur og óreglulegar. Ekki er ljóst af hverju þessar sveiflur stafa.

Þess má geta, að sveiflur þær sem hér um ræðir eru mest áberandi í gasmagninu, miklu minna þær á sveiflum í innbyrðis hlutföllum lofttegunda. Ástæða þessa er hve yfirgnæfandi styrkur kolsýrunnar er, en þar til áhrifa niðurdælingar þeirrar, sem framkvæmd var haustið 1982, tók að gæta, var hlutur kolsýru um 95% - 98% af rúmmáli gass í öllum holum í Svartsengi.

Við efnagreiningar á Orkustofnun er sá háttur hafður á, að á að giska 20 sýni eru tekin saman í svonefndan sýnahóp og styrkur hvers efnis mældur í öllum sýnum í hópnum. Síðan er næsta efni tekið fyrir og svo koll af kolli. Í ljós hefur komið, að samkvæmni mælinga er talsvert mismunandi eftir því hvaða efni er greint, eins og fram kemur í greinargerð Orkustofnunar "Athugun á samkvæmni efnagreininga" (Gestur Gíslason 1981). Þá er samkvæmni mælinga sama sýnis nokkru betri ef tvítökin eru í sama sýnahóp en ef þau eru sitt í hverjum hóp.

Ef litið er á styrk salta (þ.e. uppleystra efna annarra en lofttegunda) í hverri holu fyrir sig, kemur ekki í ljós nein ákveðin breyting með tíma, hvorki til hækkunar né lækkunar. Það sem meira er, samkvæmni milli sýna úr sömu holu frá mismunandi tímum er mjög áþekk þeirri samkvæmni, sem fæst þegar sýni er greint í tvítaki í mismunandi sýnahópum. Það hafa m.ö.o. ekki mælst marktækar breytingar með tíma á uppleystum söltum í Svartsengi. Undantekning frá þessu er þó súlfat, en sveiflur í styrk þess eru vel utan óvissumarka. En hér gildir það sama og um gasið; breytingarnar eru örur og algjörlega óreglulegar að því er best verður séð. Þótt örugg skýring á þessu sé ekki augljós ber þess að gæta að í Svartsengi er styrkur súlfats aðeins 1% - 2% af styrk í sjó, en þar á talsverður hluti borholuvökvans uppruna sinn. Mismunurinn mun hafa fallið út sem anhydrit og gefur auga leið að ekki þarf jafnvægi að hafa raskast mikið til þess að verulegar breytingar verði þegar um jafnmikinn mismun í styrk er að ræða og hér.

Ef borin eru saman sýni tekin sama dag úr sömu holu, annað við holutopp en hitt úr skilju við orkuver, kemur í ljós, að munur á gasmagni milli þeirra er áþekkur og milli annarra sýna úr sömu holu, sem oft eru tekin með margra mánaða millibili. Hið sama gildir um súlfatið. Klórstyrk ber álika vel saman milli þessara sýna og þegar eitt sýni er greint í tvítaki, sitt eintakið í hvorum sýnahóp. Samkvæmni í styrk annarra salta er betri eða ámóta og þegar eitt sýni er greint í tvítaki í sama sýnahóp. Svo virðist því sem sýnum teknum við holutopp beri mjög vel saman við sýni tekin við skiljustöð, einkum þegar það er haft í huga, að sveiflur í gasmagni og súlfati virðast raunverulega vera mjög örur.

Efnainnihald jarðhitavatns gefur upplýsingar um hitastig djúpt í jörðu, þar sem vatnið var síðast í jafnvægi við berg. Af þeim efnahitamælum, sem fyrir hendi eru, er talið, að kvarshitamæli sé best treystandi á svæði eins og Svartsengi. Í töflu VIII er sýnt kvarshitastig reiknað út frá samsetningu umræddra sýna. Ekki er langtímabreytingu að sjá í neinni holu.

Í fyrrnefndri skýrslu Trausta Haukssonar kom fram að ekki urðu marktækar breytingar á samsetningu borholuvökva í Svartsengi á árunum 1972 - 1979. Þó verður að undanskilja gas, en á því voru einnig miklar sveiflur á þessu tímabili. Í skýrslu hans var

fjallað um eldri holur, sem ekki hafa verið í gangi nýlega eða ekki verið hægt að taka sýni úr og er því náinn samanburður erfiður. Þó virðist ljóst, að engar langtímabreytingar á styrk salta hafi orðið í Svartsengi. Þetta kemur glögg fram á myndum 1 og 2, en á þeim er sýndur styrkur ýmissa salta í borholuvökva í Svartsengi yfir tíu ára tímabil. Hafa ber í huga þegar myndirnar eru skoðaðar, að ekki er um sömu holur að ræða síðustu þrjú ár og þar á undan.

2 GASGREININGAR

Á meðan niðurdæling í holu 12 stóð yfir, haustið 1982, varð vart gasútstreymis úr holu 4, en hún var þá ekki í vinnslu og stóð opin. Sýni af gasi þessu var greint og eru niðurstöður sýndar í Töflu IX. Til samanburðar er sýnd í töflunni samsetning dæmigerðs gassýnis úr Svartsengi svo og samsetning andrúmslofts. Sýnt þykir, að verulegt magn af andrúmslofti hafi komið með því vatni, sem dælt var niður enda hafi súrefnið eyðst eins og eðlilegt er. Vegna þessa varð það úr, að fylgst var með samsetningu og magni gass í holum 6,8,9,10 og 11 veturinn 1982 - 1983.

Veruleg breyting varð á samsetningu gass í tveimur af þeim fimm holum sem fylgst var með. Á mynd 3 er sýndur hundradshluti köfnunarefnis í gasi úr holum 6 og 10 sem fall af tíma. Í október 1982 var köfnunarefni að rúmmáli um fjórðungur gass í þessum holum. Síðan minnkar hlutur köfnunarefnis smám saman og í febrúar 1983 eða þar um bil má heita að áhrifa niðurdælingarinnar á gasið sé hætt að gæta. Í holum 8,9 og 11 varð aldrei marktæk aukning köfnunarefnis, og ekki sýnileg önnur breyting á gasi af völdum niðurdælingarinnar.

Á myndum 4, 5 og 6 er sýnt magn gass í gufu í holunum. Hér kemur mjög glögg fram hve miklar og örvar breytingar á gasmagni í gufu um er að ræða. Oft eru helmings breytingar eða meira á milla sýna. Bent skal á, að gasið er langmest í holu 10 og er því skalinn á mynd 6 hafður tífaldur á við skalann á myndum 4 og 5. Erfitt er að lesa nokkuð úr þessum gögnum. Ekki verður þó séð nein langtímabreyting, hvorki til hækkunar né lækkunar.

Vegna þess hve miklar breytingar eru á magni gass í holunum eru meðaltöl um það lítt til glöggvunar. Almennt er þó unnt að segja, að minnst gas sé í holum 8 og 11 en nokkru meira í holu 9. Í holu 6 er yfirleitt tvöfalt til fjórfalt meira gas en í áður nefndum þremur holum. Langmest er gasið í holu 10, eða um 10 til 30 sinnum meira en í holum 8, 9 og 11.

3 KÍSILÚTFELLINGAR

Við nýtingu jarðhitavætns í Svartsengi hefur komið í ljós, að kísilútfellingar í lágprýstiskiljum eru mjög mismiklar eftir því hvaða hola á í hlut. Mismikilla útfellinga hefur einnig gætt við aflmælingar á holum. Tvennt kemur hér einkum til greina. Annað, að magn þess kísils, sem fallið getur út sé mjög mismunandi eftir holum, en hitt að útfellingarhraðinn sé mismunandi. Skal þetta nú athugað nánar.

Jarðsjórinn í Svartsengi inniheldur liðlega 400 ppm af kísilsýru og er í jafnvægi við kvars. Við ríkjandi hitastig, 230 - 240°C, næst þetta jafnvægi fljótt; á fáeinum klukkustundum að því er talið er. Ef nú jarðsjórinn er látinn hvellsjóða við 100°C eykst styrkur kísilsýrunnar sem nemur gufu þeirri er tapast við suðuna, og verður 500 - 600 ppm. Leysni ópals við 100°C er um 365 ppm en leysni kvars um 49 ppm. Vatnið er því yfirmettað með tilliti til beggja, en þó mun meira með tilliti til kvars. Við 100°C er útfellingarhraði kvars hins vegar mjög lítill þannig að það er ópal sem fellur út. Magn þess kísils sem getur fallið út úr hverju kg jarðsjávar við 100°C er því einfaldlega mismunur á kísilstyrk í hvellsöðnum jarðsjó og leysni ópals (365 ppm við 100°C).

Um útfellingahraða gegnir dálítið öðru máli. Hann er háður hitastigi, yfirmettun, seltu og tegund streymis og yfirborðs svo eitthvað sé nefnt. Sem fyrstu nálgun er ekki fjarstæðukennt að gera ráð fyrir því, að aðstæður séu þær sömu við allar skiljur að yfirmettun fráatalinni. Rétt ofan leysnimarka eykst útfellingahraði hlutfallslega mjög ört með vaxandi kísilstyrk en hægar þegar yfirmettunin verður meiri. Þannig getur mjög lítill munur heildarkísilstyrks komið fram sem geysilegur munur útfellingahraða við réttar aðstæður.

Ef notuð eru þau hitastig og meðaltöl kísilstyrks sem gefin eru í töflum I-VII má fá hugmynd um hlutfallslegan útfellingahraða ópals úr hinum ýmsu holum í Svartsengi. Í töflu X eru sýndar niðurstöður útreikninga á hlutfallslegum útfellingahraða fyrir tvö tilfelli. Í fyrra tilvikinu er gert ráð fyrir suðu í tveimur þrepum, fyrst frá hitastigi T niður í 155°C, sem lætur nærri að sé það hitastig, sem háprýstiskiljurnar vinna við. Í seinna þrepinu er soðið við 70°C. Í síðara tilfellingu er hins vegar soðið í einu þrepi, frá T niður í 100°C. Í töflunni er sýnt hlutfallið á milli

kísilstyrks í vatni fyrir og eftir suðu, R, fyrir hvort tilvikið fyrir sig og hverja holu fyrir sig. Þá er sýndur lokastyrkur kísils, S, og hlutfallslegur hraði útfellinga, k, og er þá útfellingahraðinn í holu 10 tekinn sem 1. Útfellingahraðinn er reiknaður með aðferð Weres et al. (O. Weres, A. Yee og L. Tsao: Kinetics of Silica Polymerization, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley 1980). Þess ber að gæta að útfellingahraði er mjög háður hitastigi og því gefa tölurnar í töflu X einungis samanburð á holum við tiltekið suðuhitastig; ekki er hægt að bera beint saman niðurstöður fyrir 70°C við tölur reiknaðar fyrir 100°C.

Af töflunni sést, að útfellingahraði kísils reiknast minnstur úr holu 10, en heldur meiri úr holu 9. Þá koma holur 6,7 og 11 og síðan hola 8 en í henni reiknast útfellingahraði 42% og 76% meiri en í holu 10 eftir því hvort skilið er við 70°C eða 100°C. Hæst er hola 12 með 47% meiri hraða en hola 10 við 70°C og 84% meiri hraða við 100°C. Hafa verður þó í huga, að úr holu 12 er aðeins um að ræða eitt sýni.

Lögð skal áhersla á, að tiltölulega litlar sveiflur eða ónákvæmni í mældum kísilstyrk geta breytt þessum tölum verulega. Sem dæmi um þetta má nefna, að ef sýni 82-10-14 0144 úr holu 10 og sýni 81-02-24 0032 úr holu 8 eru borin saman, en þessi sýni gefa minnstan og mestan útfellingarhraða, kemur í ljós, að útfellingarhraði reiknast 2,3 sinnum meiri fyrir seinna sýnið en það fyrra ef soðið er við 70°C, en 3,8 sinnum meiri ef soðið er við 100°C. Þannig getur ca. 15% munur á kísilstyrk og 10°C munur á upphafshitastigi nærri fjórfaldað útfellingarhraðann við síðartaldar aðstæður. Við lítið breyttar aðstæður (t.d. hækkaðan suðuhita) eða svolítið aukinn munur á kísilstyrk eða holuhitastigi gæti munur á útfellingahraða orðið enn miklu meiri.

Ef á hinn bóginn er athugað það magn ópals, sem mest getur fallið út úr vatni hinna ýmsu hola kemur í ljós, að aðeins munar um 23% á holu 8 og 10 ef soðið er við 100°C, en 13% ef soðið er við 70°C. Á holum 10 og 12 munar 25% og 14%, en minna á öðrum. Þessi munur er ekki ýkja mikill og breytist tiltölulega miklu minna með heildarkísilstyrk en útfellingahraðinn. Dvalartími vatnsins í skiljunum er væntanlega of skammur til að kísillinn nái allur að falla út þar. Þannig má teljast ólíklegt, að magn þess kísils sem mest getur fallið út ráði því hve mikill kísill raunverulega sest í skiljurnar.

Þeirri hugmynd hefur verið varpað fram, að uppleyst efni í litlu magni, einkum ál, geti haft veruleg áhrif á útfellingu kísils og sé þetta ástæðan fyrir mismunandi útfellingum í skiljum í Svartsengi. Ekki virðist þurfa að grípa til slíkra skýringa hér; mismunur á útfellingahraða af völdum yfirmettunar sýnist nægja.

Að öllu athuguðu verður því að telja líklegt, að mismunandi útfellingahraði sé skýringin á mismiklum kísilútfellingum í hinum ýmsu holum í Svartsengi. Fernt er það einkum sem styður þetta. Í fyrsta lagi er mismunur milli hola á því magni kísils, sem mest getur fallið út ekki ýkja mikill. Í öðru lagi er dvalartími vatnsins í skiljunum vafalítið of skammur til þess að jafnvægi við ópal náist yfirleitt. Í þriðja lagi getur lítill hlutfallslegur munur á styrk uppleysts kísils skilað sér sem talsvert meiri hlutfallslegur munur í yfirmettun þegar vatnið er soðið, og í fjórða lagi breytist útfellingahraði mjög ört með yfirmettun.

4 SAMANDREGNAR NIÐURSTÖÐUR

Frá 1980 til 1982 urðu ekki marktækar breytingar á uppleystum efnum í borholuvökva í Svartsengi, að súlfati og gösum undanskildum, en á þeim eru óreglulegar og mjög örar sveiflur, sem ekki er augljós skýring á. Greiningum á sýnum teknum við holutopp ber ágætlega saman við greiningar á sýnum teknum úr skiljum við orkuver, að súlfati og gösum frátöldum.

Greiningar á gasi úr skiljustöð veturinn 1982 - 1983 leiddu í ljós verulega aukningu köfnunarefnis í holum 6 og 10 vegna niðurdælingar í holu 12. Köfnunarefnið minnkaði eftir því sem á veturinn leið og hafði náð venjulegu gildi á útmánuðum 1983.

Orsök mismikilla útfellinga kísils úr vatni úr hinum ýmsu holum er talin vera sú, að skammt ofan leysnimarka ópals getur lítill munur í styrk uppleysts kísils komið fram sem mikill munur útfellingahraða.

Jón Örn Bjarnason

KUSTOFNUN JHD
83-06-10 JÖB

HOLA SG-6 (T=238 C)
Styrkur efna i ms/ks

Tafla I

AGS	NUM	PO	HO	SI02	NA	K	CA	MG	SO4	CL	F	UE	CO2	H2S	H2	CH4	N2
0515	0065	7.2	1027.	393.	6833.	1073.9	898.0	1.04	42.8	12742.	0.09	21533.	410.	5.9	0.00	0.08	5.17
0220	0029	14.0	1027.	437.	6478.	935.6	938.3	0.57	28.1	13926.	0.19	21406.	662.	6.2	0.00	0.09	2.79
1007	0132	13.5	1027.	413.	6122.	1080.0	904.9	0.94	25.5	12130.	0.09	20289.	524.	1.0	0.03	0.09	70.97
1007	0133	5.5	1027.	404.	6078.	1123.1	898.6	0.95	33.8	12001.	0.09	19933.	673.	0.4	0.07	0.09	89.20
DALTAL		10.1	1027.	412.	6378.	1053.1	909.9	0.88	32.6	12700.	0.12	20790.	567.	3.4	0.03	0.09	42.03
ADALF. %		43.0	0.0	4.6	5.5	7.7	2.1	23.4	23.6	6.9	41.7	3.8	22.0	92.1	91.4	7.3	106.0

KUSTOFNUN JHD
83-06-10 JÖB

HOLA SG-7 (T=242 C)
Styrkur efna i ms/ks

Tafla II

AGS	NUM	PO	HO	SI02	NA	K	CA	MG	SO4	CL	F	UE	CO2	H2S	H2	CH4	N2
00317	0028	18.7	1046.	391.	6480.	1040.5	933.2	0.88	29.3	11533.	0.09	20579.	188.	1.7	0.01	0.03	5.92
0220	0028	19.0	1046.	444.	6633.	939.5	937.7	0.44	49.9	13915.	0.25	21184.	276.	2.3	0.00	0.03	0.00
11201	0211	19.0	1046.	401.	6450.	1101.3	975.9	0.94	31.8	12240.	0.11	21387.	664.	5.1	0.00	0.00	1.12
DALTAL		18.9	1046.	412.	6521.	1027.1	948.9	0.75	37.0	12563.	0.15	21050.	376.	3.0	0.00	0.03	3.52
ADALF. %		0.9	0.0	6.9	1.5	8.0	2.5	36.1	30.4	9.7	58.0	2.0	67.5	60.2	0.0	15.8	96.3

ORKUSTOFNUN JHD
1983-06-10 JÖB

HOLA SG-8 (T=242 C)
Stærkur efna í ms/ks

Tafla III

DAGS	NUM	PO	HO	SI02	NA	K	CA	HG	S04	CL	F	UE	CO2	H2S	H2	CH4	N
800711	0115	18.0	1046.	401.	6653.	1018.5	924.4	0.79	30.6	0.	0.10	21181.	21.	1.0	0.00	0.00	0.0
810224	0032	18.5	1046.	454.	6415.	954.9	954.9	0.48	45.3	13444.	0.18	21495.	872.	9.5	0.00	0.03	0.1
811202	0212	18.5	1046.	421.	6507.	1087.8	980.7	0.95	39.2	12280.	0.11	21398.	807.	6.5	0.00	0.05	0.0
820603	0080	18.0	1046.	423.	6430.	1036.8	959.1	0.86	27.7	12738.	0.12	21424.	627.	7.3	0.04	0.11	5.1
821008	0136	17.0	1046.	416.	6434.	1123.6	971.8	0.83	32.4	12580.	0.09	21738.	551.	3.5	0.03	0.12	5.2
821008	0137	5.5	1046.	413.	6471.	1104.3	969.0	0.88	25.5	12708.	0.10	21754.	345.	2.7	0.01	0.03	1.1
MEDALTAL		15.9	1046.	421.	6485.	1054.3	960.0	0.80	33.4	12750.	0.12	21498.	537.	5.1	0.03	0.07	2.9
STADALF. %		32.2	0.0	4.2	1.4	6.0	2.1	20.8	22.4	3.4	29.9	1.0	58.7	62.8	64.8	67.2	90.

* Drýstingur ekki mældur, settur 18 bar

ORKUSTOFNUN JHD
1983-06-10 JÖB

HOLA SG-9 (T=241 C)
Stærkur efna í ms/ks

Tafla IV

DAGS	NUM	PO	HO	SI02	NA	K	CA	HG	S04	CL	F	UE	CO2	H2S	H2	CH4	N
801112	0158	20.4	1041.	403.	6200.	962.3	1053.4	1.09	31.1	12546.	0.08	21328.	627.	6.5	0.00	0.10	1.7
811201	0209	18.0	1041.	388.	6295.	1038.7	1004.0	0.80	24.1	11987.	0.11	21061.	5411.	3.7	0.00	0.00	62.9
821007	0134	17.5	1041.	408.	6370.	1111.7	995.7	0.94	26.0	12657.	0.08	21283.	600.	3.5	0.00	0.06	0.6
821007	0135	5.5	1041.	407.	6475.	1113.7	993.0	0.99	23.7	12112.	0.08	21318.	432.	2.0	0.01	0.03	0.32
821014	0141	17.5	1041.	407.	6422.	1130.5	969.7	0.94	44.1	12421.	0.07	21341.	661.	5.0	0.00	0.07	0.73
821014	0142	5.5	1041.	404.	6444.	1162.4	982.4	1.00	31.3	13200.	0.07	21291.	713.	6.2	0.00	0.08	0.24
MEDALTAL		14.1	1041.	403.	6368.	1086.6	999.7	0.96	30.1	12487.	0.08	21270.	1408.	4.5	0.00	0.07	11.1
STADALF. %		47.7	0.0	1.8	1.6	6.7	2.9	9.9	25.4	3.5	18.3	0.5	139.5	38.1	93.0	33.6	228.9

ARKUSTOFNUN JHD
 983-06-10 JÖR

HOLA SG-10 (T=232 C)
 Styrkur efna í ms/ks

Tafla V

AGS	NUM	PO	HO	SI02	NA	K	CA	MG	SO4	CL	F	UE	CO2	H2S	H2	CH4	N2
0513	0064	15.0	998.	399.	6951.	1108.5	906.3	0.47	47.1	13328.	0.09	22466.	250.	2.9	0.02	0.02	1.32
1014	0148	16.0	998.	423.	6915.	1126.1	997.9	0.29	24.3	12568.	0.11	22911.	783.	5.7	0.00	0.10	1.75
1006	0130	14.5	998.	402.	7029.	1180.7	942.5	0.26	30.1	13839.	0.10	23003.	844.	2.8	0.10	0.12	110.03
1006	0131	5.5	998.	403.	6888.	1199.1	983.1	0.28	25.2	13817.	0.12	23192.	2875.	3.2	0.63	0.50	512.75
1014	0143	15.0	998.	399.	7021.	1248.3	1026.7	0.28	33.8	14049.	0.09	23256.	2576.	7.4	0.25	0.38	666.53
1014	0144	5.5	998.	393.	6967.	1282.1	995.9	0.25	29.3	14825.	0.09	23157.	5414.	32.4	0.52	0.78	1208.74
DALTAL		11.9	998.	403.	6962.	1190.8	975.4	0.30	31.7	13738.	0.10	22997.	2124.	9.1	0.30	0.32	416.85
ADALF, %		41.8	0.0	2.5	0.8	5.7	4.5	27.3	26.2	5.5	12.9	1.3	90.7	127.8	87.2	92.1	114.4

ARKUSTOFNUN JHD
 983-06-10 JÖR

HOLA SG-11 (T=240 C)
 Styrkur efna í ms/ks

Tafla VI

AGS	NUM	PO	HO	SI02	NA	K	CA	MG	SO4	CL	F	UE	CO2	H2S	H2	CH4	N2
1009	0152	19.0	1036.	423.	6382.	857.8	1040.8	1.06	34.5	12563.	0.10	21243.	523.	6.4	0.02	0.11	4.73
1201	0210	19.0	1036.	403.	6538.	1066.7	973.3	1.00	25.1	12228.	0.11	21457.	632.	5.9	0.00	0.00	0.82
0608	0083	17.5	1036.	421.	6212.	1032.0	965.3	0.91	34.2	12545.	0.11	21444.	808.	7.1	0.00	0.00	0.85
1008	0138	18.0	1036.	414.	6512.	1170.0	957.4	0.86	20.7	12180.	0.09	21802.	476.	4.8	0.01	0.05	0.88
1008	0139	5.5	1036.	412.	6493.	1070.9	981.5	1.04	59.7	12990.	0.07	21773.	336.	0.6	0.00	0.02	0.32
DALTAL		15.8	1036.	415.	6427.	1039.5	983.7	0.97	34.8	12501.	0.10	21544.	555.	5.0	0.01	0.06	1.52
ADALF, %		36.6	0.0	1.9	2.1	11.0	3.4	8.8	43.4	2.6	17.1	1.1	31.9	52.4	82.5	75.0	118.8

ORKUSTOFNUN JHD
1983-06-10 JÖR

HOLA SG-12 (T=230 C)
Stærkur efna i ms/ks

Tafla VII

DAGS	NUM	PO	HO	SI02	NA	K	CA	HG	SO4	CL	F	UE	CO2	H2S	H2	CH4	N2
820902	0117	17.0	989.	438.	7350.	1224.7	1038.3	0.96	57.1	14522.	0.09	24170.	315.	3.9	0.01	0.03	1.04
MEDALTAL		0.0	0.	0.	0.	0.0	0.0	0.00	0.0	0.	0.00	0.	0.	0.0	0.00	0.00	0.00
STADALF. Z		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

TAFLA VIII. Kvarshiti, Tq

Hola 6			Hola 7			Hola 8		
Dags	Sýni nr	Tq	Dags	Sýni nr	Tq	Dags	Sýni nr	Tq
80-05-15	0065	232,5	80-03-17	0028	232,7	81-02-24	0032	243,6
81-02-20	0029	240,2	81-02-20	0028	242,0	81-12-02	0212	238,3
82-10-07	0132	236,0	81-12-01	0211	234,9	82-06-03	0080	238,6
82-10-07	0133	234,5				82-10-08	0136	237,3
						82-10-08	0137	236,8
Hola 9			Hola 10			Hola 11		
Dags	Sýni nr	Tq	Dags	Sýni nr	Tq	Dags	Sýni nr	Tq
80-11-12	0158	235,0	80-05-13	0064	232,7	80-10-09	0152	238,3
81-12-01	0209	232,5	81-10-14	0148	236,7	81-12-01	0210	234,8
82-10-07	0134	235,9	82-10-06	0130	233,1	82-06-08	0083	237,8
82-10-07	0135	235,7	82-10-06	0131	233,3	82-10-08	0138	236,7
82-10-14	0141	235,8	82-10-14	0143	232,6	82-10-08	0139	236,6
82-10-14	0142	235,2	82-10-14	0144	231,6			
Hola 12								
Dags	Sýni nr	Tq						
82-09-02	0117	238,8						

TAFLA IX. Samsetning gass, % rúmmáls

	CO2	N2	O2	Ar	Annað
Hola SG-4 82-10-06	6,52	92,16	0,27	1,02	0,03
Dæmigert sýni úr Svartsengi	97,37	1,34	0,26	0,05	0,98
Andrúmsloft	0,03	78,09	20,95	0,93	<0,002

TAFLA X Kísilstyrkur og hlutfallslegur hraði útfellinga

	Hola 6	Hola 7	Hola 8	Hola 9	Hola 10	Hola 11	Hola 12
T=238	T=242	T=242	T=241	T=232	T=240	T=230	
U=412	U=412	U=421	U=403	U=403	U=415	U=438	
Suða við 70 C	R=1,440	R=1,456	R=1,456	R=1,452	R=1,416	R=1,448	R=1,409
	S=593,2	S=599,9	S=613,0	S=585,2	S=570,6	S=600,9	S=617,2
Leysni = 245	k=1,218	k=1,287	k=1,426	k=1,138	k=1,0	k=1,298	k=1,472
Suða við 100 C	R=1,370	R=1,386	R=1,386	R=1,382	R=1,346	R=1,377	R=1,339
	S=564,3	S=570,9	S=583,4	S=556,8	S=542,6	S=571,7	S=586,4
Leysni = 365	k=1,364	k=1,494	k=1,765	k=1,228	k=1,0	k=1,51	k=1,837

T: Viðmiðunarhitastig, Celcius

U: Meðalgildi kísilstyrks í djúpvatni mg/kg (ppm)

R: Hlutfall kísilstyrks fyrir og eftir suðu

S: Kísilstyrkur eftir suðu (ppm)

k: Hlutfallslegur útfellingahraði (Hola 10 = 1)

Leysni í ppm

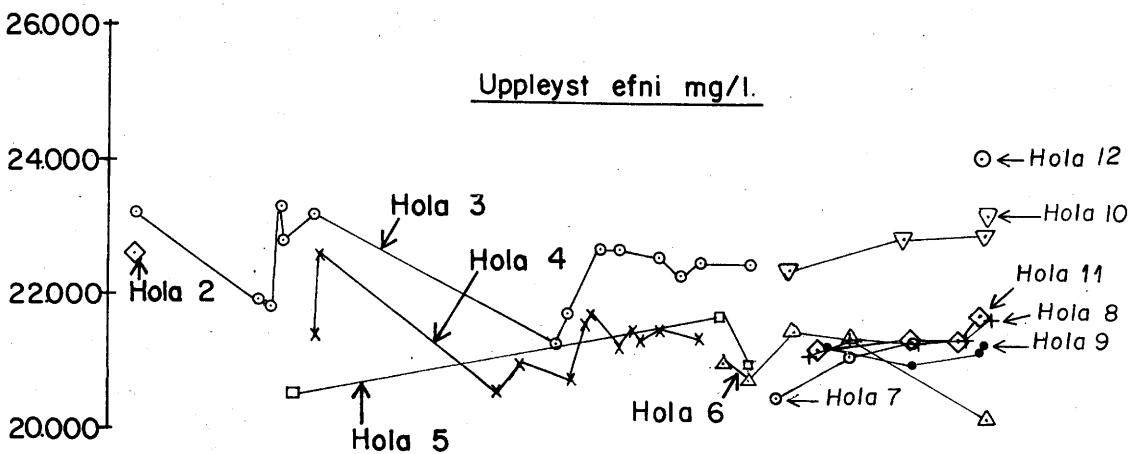
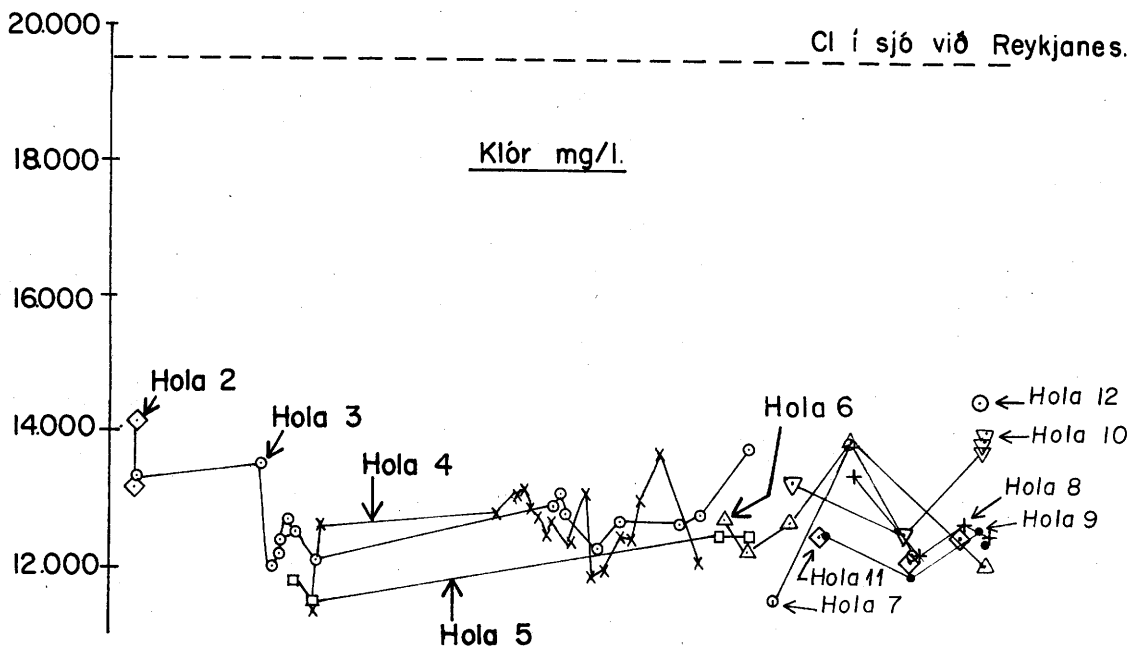
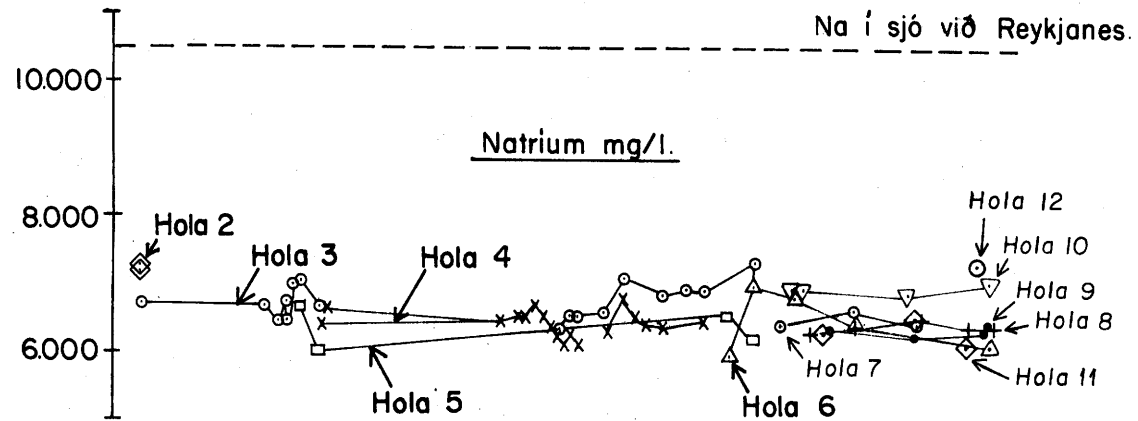


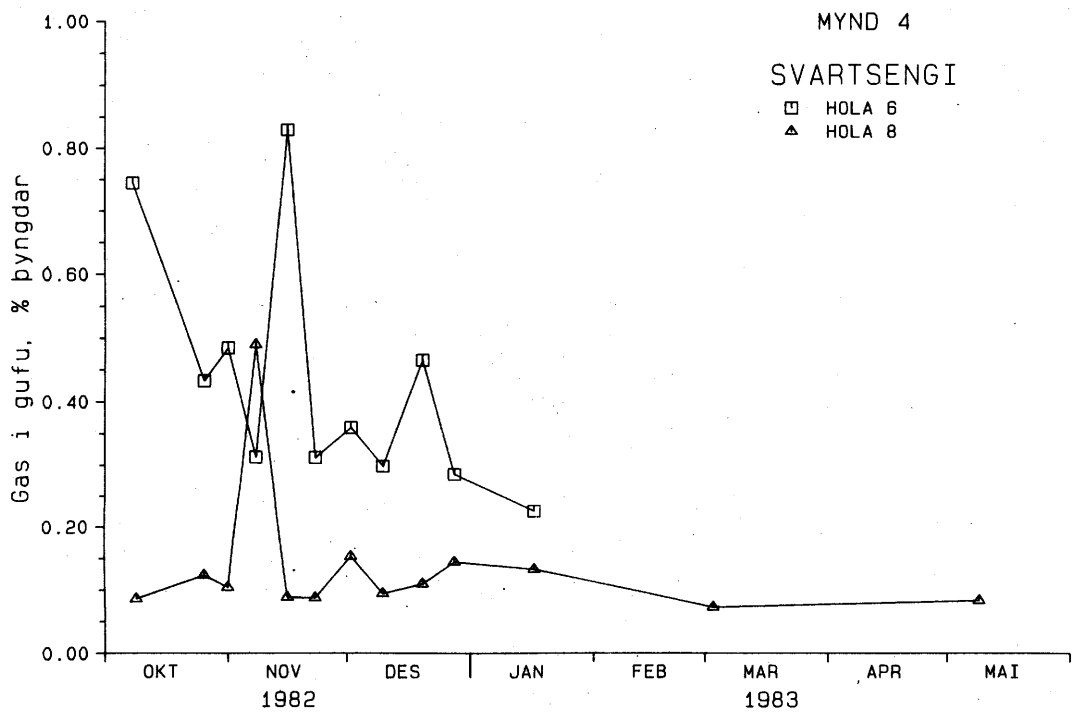
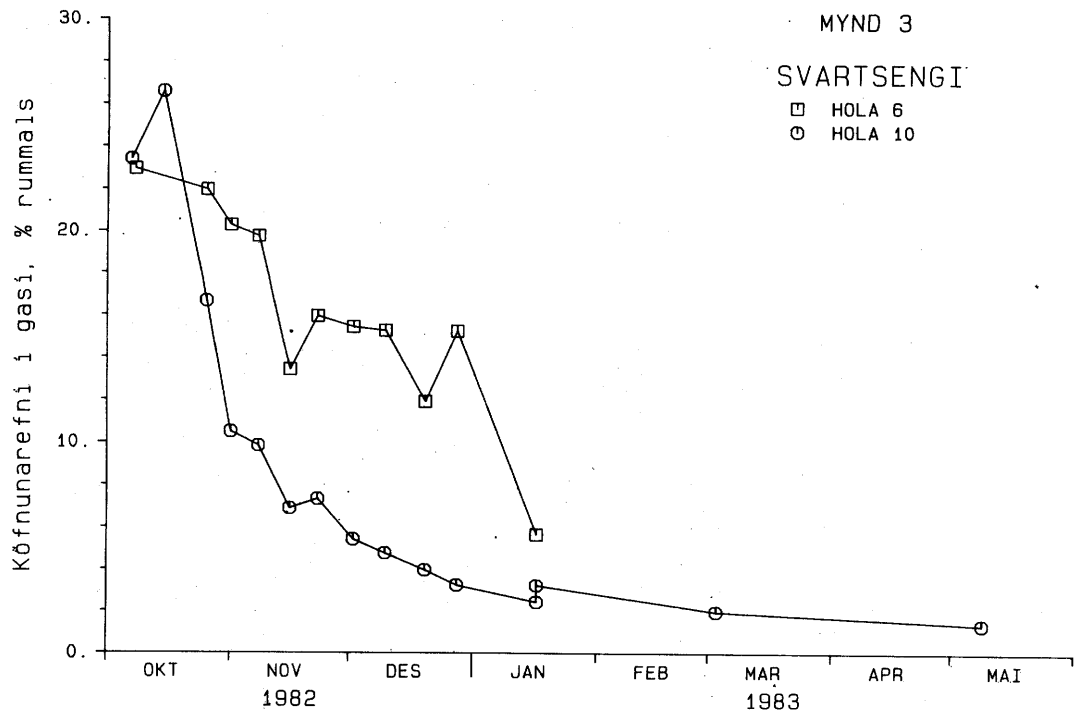
SVARTSENGI

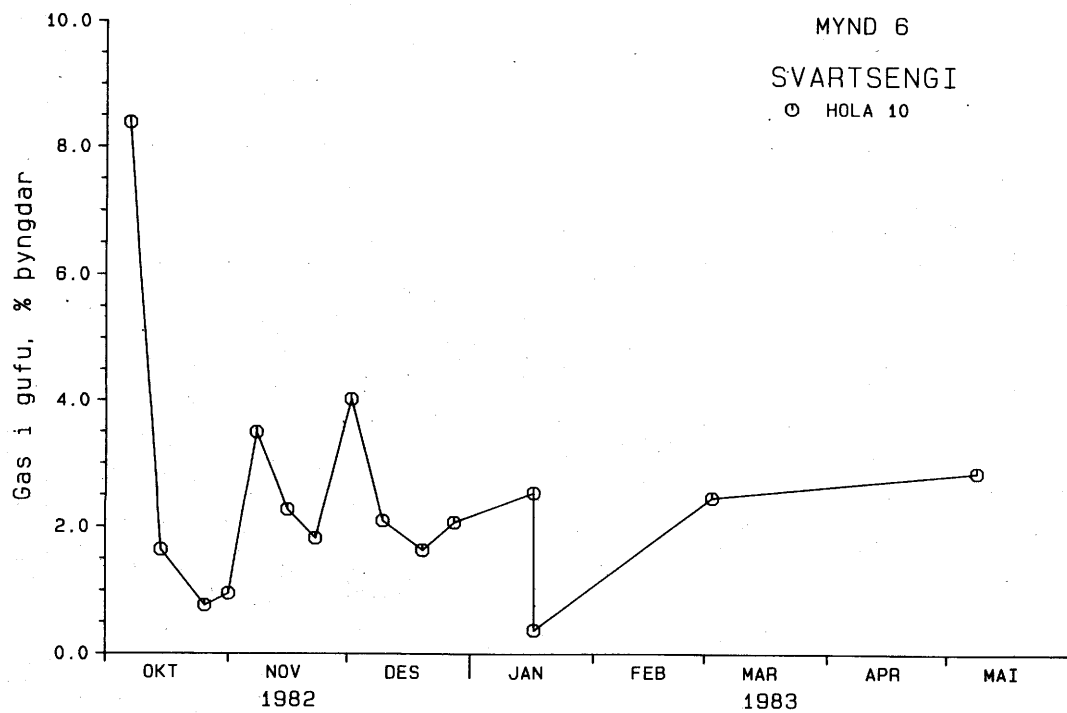
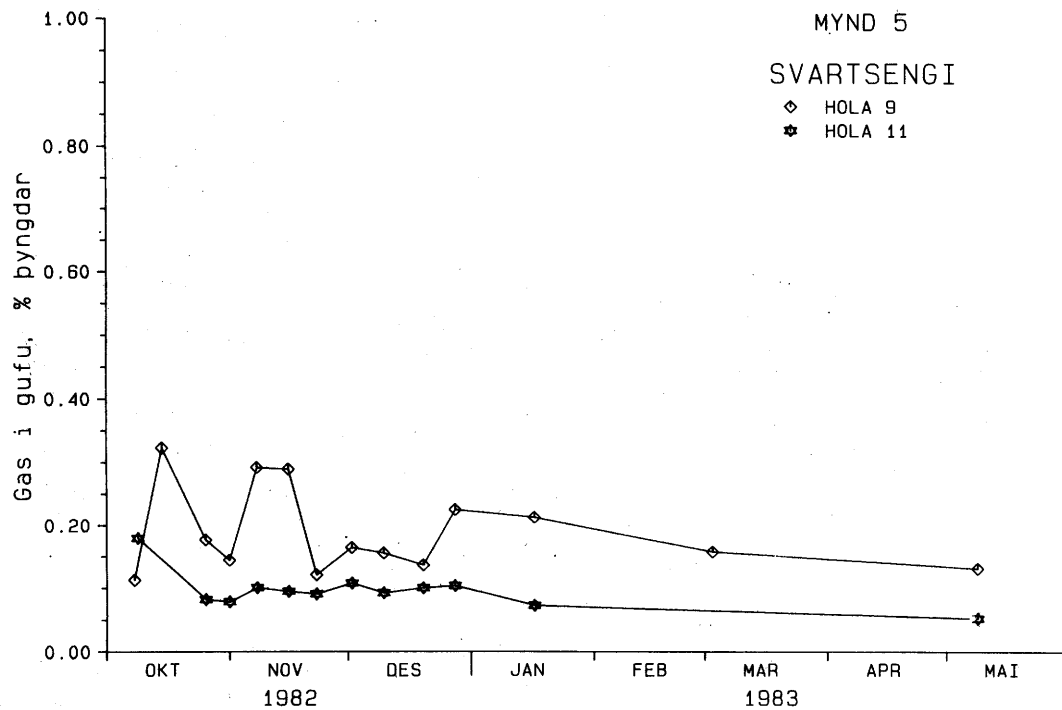
Efnastyrkur heits grunnvatns (Na,Cl,uppleyst efni).

Mynd 2.

72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | Ár.







III. HLUTI

Hiti og þrýstingur í jarðhitakerfinu

Benedikt Steingrímsson

Guðjón Guðmundsson

EFNISYFIRLIT

- 1 INNGANGUR
- 2 ÞRÝSTIMÆLINGAR
- 3 HITAMÆLINGAR
- 4 LOKAORÐ

MYNDIR

- 1 Þrýstingur á 700 m dýpi 1976-1983
- 2 Þrýstingur á 1300 m dýpi 1976-1983
- 3 Hola SG-5. Hitamælingar
- 4 Hola SG-6. Hitamælingar
- 5 Hola SG-7. Hitamælingar
- 6 Hola SG-8. Hitamælingar
- 7 Hola SG-9. Hitamælingar
- 8 Hola SG-10. Hitamælingar
- 9 Hola SG-11. Hitamælingar
- 10 Hola SG-12. Hitamælingar
- 11 Staðsetning borhola. Kæling svæðis 1982-1983

HITI OG ÞRÝSTINGUR Í JARÐHITAKERFINU Í SVARTSENGI

1 INNGANGUR

Hitaveita Suðurnesja hóf vinnslu úr jarðhitakerfinu í Svartsengi síðla árs 1976. Sumarið áður en vinnslan hófst gerði JHD fyrir hitaveituna þrýsti- og hitamælingar í þeim fjórum holum, sem þá voru á svæðinu.

Tilgangur mælinganna var að kanna ótruflað þrýsti- og hitaástand Svartsengiskerfisins, svo hægt væri útfrá síðari mælingum að sjá hver áhrif vatnstaka hitaveitunnar hefði á kerfið.

Síðan 1976 hefur hitastig og þrýstingur verið mældur í borholunum í Svartsengi á 1-2 ára fresti og er markmiðið með þessari greinargerð að skýra í stuttu máli frá því helsta sem komið hefur fram í mælingunum.

2 ÞRÝSTIMÆLINGAR

Þrýstingur í jarðhitakerfinu í Svartsengi hefur lækkað stöðugt síðan vinnsla hófst líkt og komið hefur fram í vatnsborðsmælingum í borholum. Vatnsborðsmælingunum hefur hins vegar einungis verið við komið í einstaka holum, þegar þær hafa ekki verið í vinnslu.

Á myndum 1 og 2 er sýnt hvernig þrýstingurinn í kerfinu hefur þróast síðan 1976 á 700 og 1300 metra dýpi. Kemur þar fram að niðurdrátturinn er svipaður í borholunum óháð því hvar þær eru.

Alls er niðurdrátturinn frá árinu 1976 orðinn um 13-15 bar og virðist hann vera ívið meiri djúpt í kerfinu en grynna þó tæplega sé hér um marktækan mun að ræða. Síðasta árið hefur niðurdrátturinn aukist um 2,5 - 3 bar og er það svipuð aukning og undanfarin ár.

3 HITAMÆLINGAR

Síðan vinnsla hófst í Svartsengi og fram til 1983 hafa hitamælingar í borholum í Svartsengi ekki sýnt neinar marktækar hitabreytingar á milli ára. Hitastig djúpt í holum (neðan 600 m dýpis) hefur yfirleitt mælst $240^{\circ} + 2^{\circ}\text{C}$ í öllum djúpum borholum óháð því hvar á svæðinu þær eru. Frávik frá þessari reglu hafa einungis sést skömmu eftir borun eða hreinsun hola, og því verið auðskýrð sem afleiðing skolvatnskælingar.

Í hitamælingum á tímabilinu mars-júní 1983 kom hins vegar fram að hitastig djúpt í borholunum í Svartsengi hafði lækkað verulega. Mest var kælingin í holu SG-11 um $12,5^{\circ}\text{C}$, en einhver kæling mældist í öllum holunum.

Vegna ofangreindrar kælingar var ákveðið að mæla holurnar aftur á síðastliðnu hausti. Fóru mælingarnar fram á tímabilinu 19. okt - 21. nóvember 1983. Nú brá svo við að í öllum holum að holu SG-12 undanskilinni mældist hitinn um 240°C , eða svipaður og mældist 1982 og fyrr. Í SG-12 var hitastig neðan 600 m dýpi að meðaltali um 234°C en mældist hæst í botni (1455) 237°C .

Niðurstöður hitamælinganna 1983 eru sýndar á meðfylgjandi myndum (myndir 3-10) ásamt eldri mæliferlum. Sýnir mismunurinn á ferlunum hve kælingin vorið 1983 var mikil í hverri holu. Í töflu 1 hér á eftir er sýnt hver kælingin var að meðaltali í hverri borholu.

TAFLA 1 Hóla nr. Meðalkæling 1982-83
 $^{\circ}\text{C}$

SG-5	3,5
SG-6 1)	<2
SG-7	5,5
SG-8	5,0
SG-9	6,0
SG-11	12,5
SG-12 2)	>7

- 1) Þar sem holan var dýpkuð vorið 1982 er stuðst við mælingu frá 1981.
- 2) Þar sem holan var boruð vorið 1982 er mælingin frá júlí 1982 væntanlega trufluð af skolvatnskælingu. Mismunur milli ára gæti því verið mun meiri.

Mest var kælingin í suðvestur horni borsvæðisins við holu SG-11 (12,5°C) og í norðaustur horninu við SG-12 en mun minni um miðbik svæðisins og t.d hverfandi við holu SG-6 (sjá mynd 11). Samkvæmt því hvernig kælingin dreifist um jarðhitakerfið er freistandi að álykta að um tímabundið aðstreymi kaldara vatns inn í kerfið hafi verið að ræða. Hefur streymt inn í kerfið úr tveimur gagnstæðum áttum suðvestri og suðaustri. Ríkjandi sprungustefna á Svartsengissvæðinu er einmitt suðvestur - norðaustur stefna, og liggur því beint við að álykta, að það séu SV-NA sprungur sem hafi veitt "kalda" vatninu inn í kerfið.

Hitamælingar haustið 1983 sýna að svæðið hefur hitnað að nýju, og náð fyrra hitastigi í flestum borholanna, nema e.t.v. í holu SG-12, en þar mældist um 3-6°C lægra hitastig en í öðrum holum. Samkvæmt ofangreindri tilgátu um orsakir kælingarinnar í Svartsengi vorið 1983 þýðir upphitun svæðisins að nýju, að dregið hafi úr innstreymi kaldara vatns inn í kerfið. Minnkandi sprunguleiðni gæti orsakað minna aðstreymi, en annað atriði, sem haft gæti áhrif á aðstreymi í kerfið er vatnstakan úr svæðinu. Á undanförunum vetrum hefur vatnstakan úr svæðinu verið um 350 kg/s en yfir sumartímann er einungis tekinn um eða innan við 200 kg/s úr svæðinu.

4 LOKAORÐ

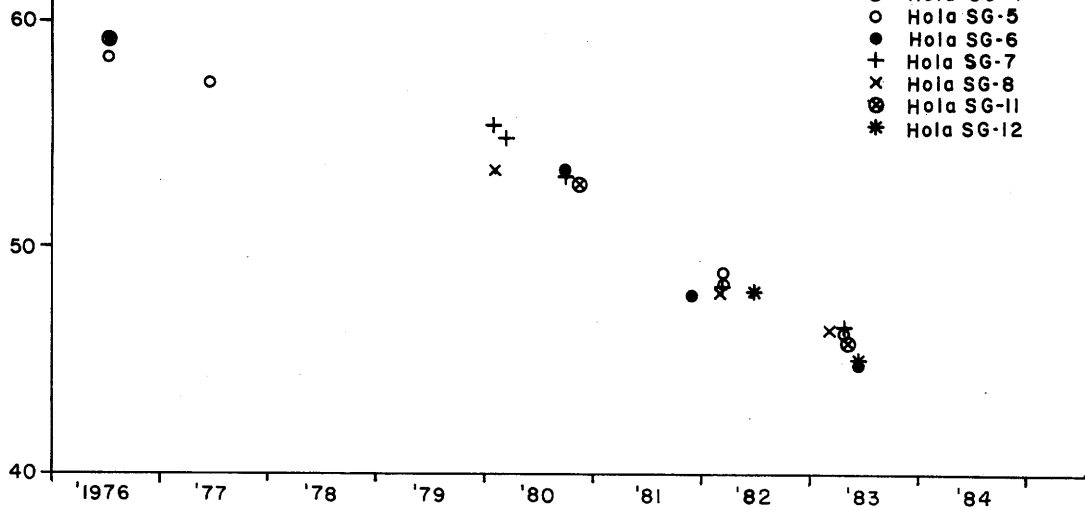
Erfitt er að véfengja áreiðanleika hitamælinganna vorið 1983. Mælingarnar voru gerðar með nýkvörðuðum hitamæli, en auk þess var gerð samanburðarmæling með öðrum mæli í tveimur borholanna. Fengust mjög áþekkar niðurstöður með báðum mælum ($\Delta T_{\max} \approx 2^\circ\text{C}$). Kælingin var þar að auki mjög mismunandi í holunum sem bendir ekki til að kvörðunarskekkja hafi verið ástaðan fyrir lægri hitagildum en áður. Líta verður svo á að um marktæka kælingu á Svartsengissvæðinu hafi verið að ræða, og enda þótt kælingin hafi gengið til baka, er þetta aðvörun um hvað gæti gerst í jarðhitakerfinu í framtíðinni.

JHD-BM-2300. B.S.
83.03.0915. Sy.J.

SVARTSENGI: PRÝSTINGUR Á 700M DÝPI 1976-1983

Mynd 1

Prýst
[kg/cm²]

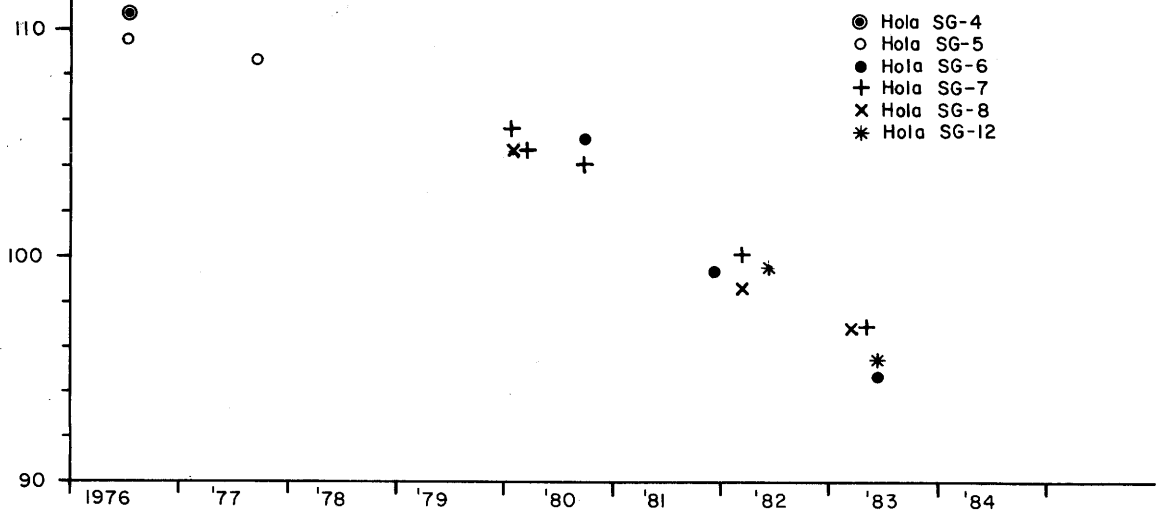


JHD-BM-2300. BS.
83.08.0914. AA

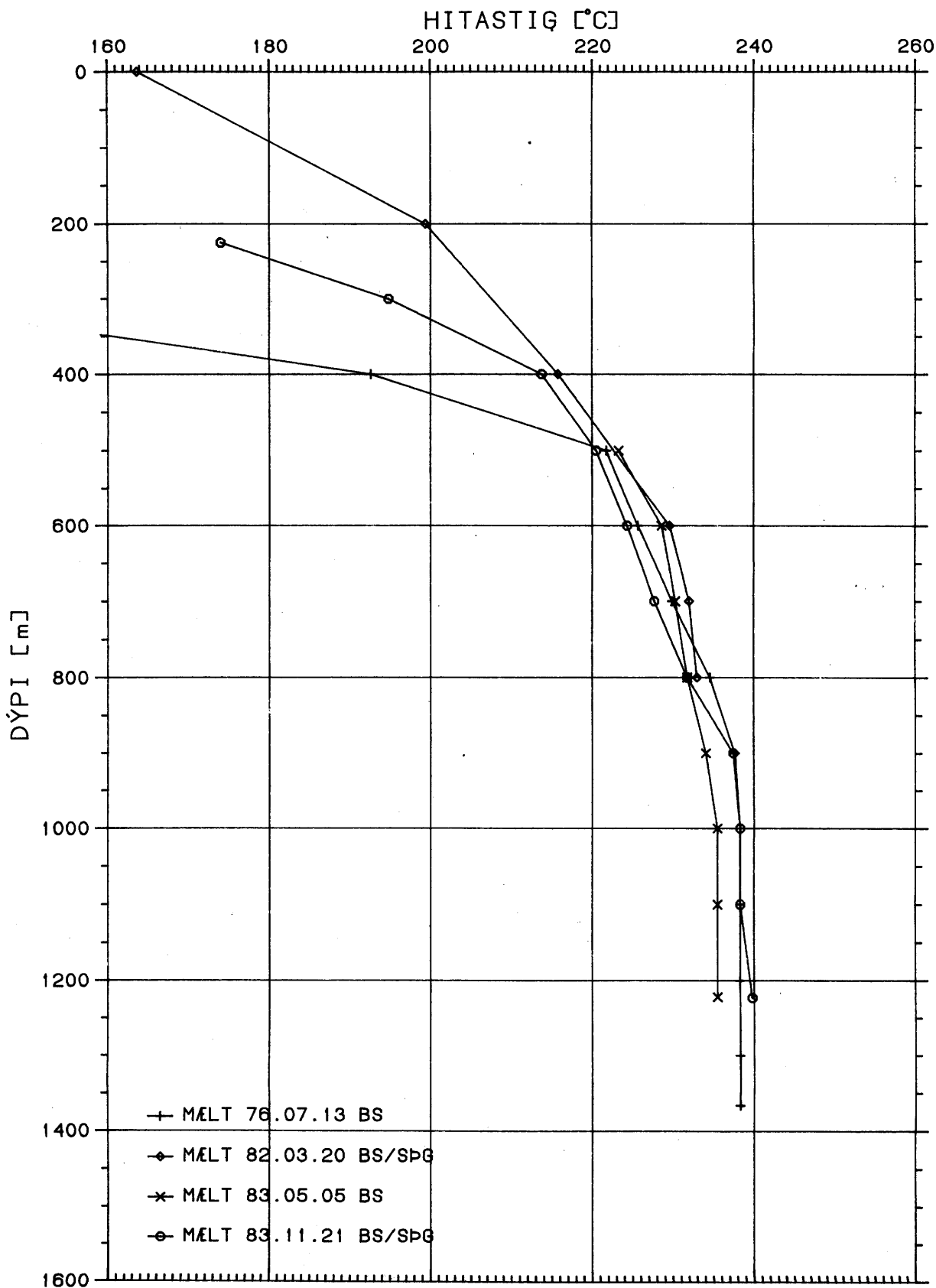
SVARTSENGI: PRÝSTINGUR Á 1300M DÝPI 1976-1983

Mynd 2

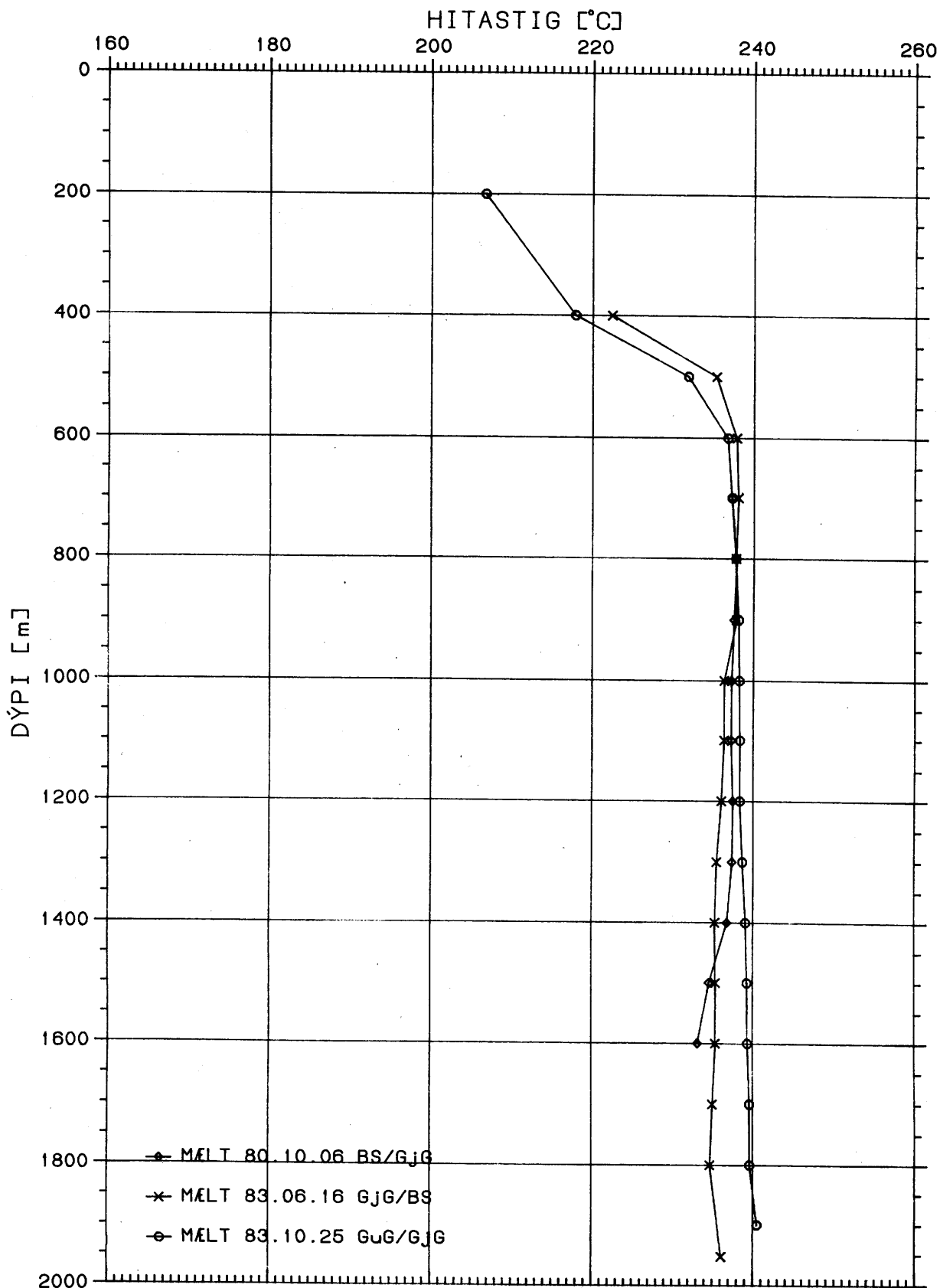
prýst
[kg/cm²]



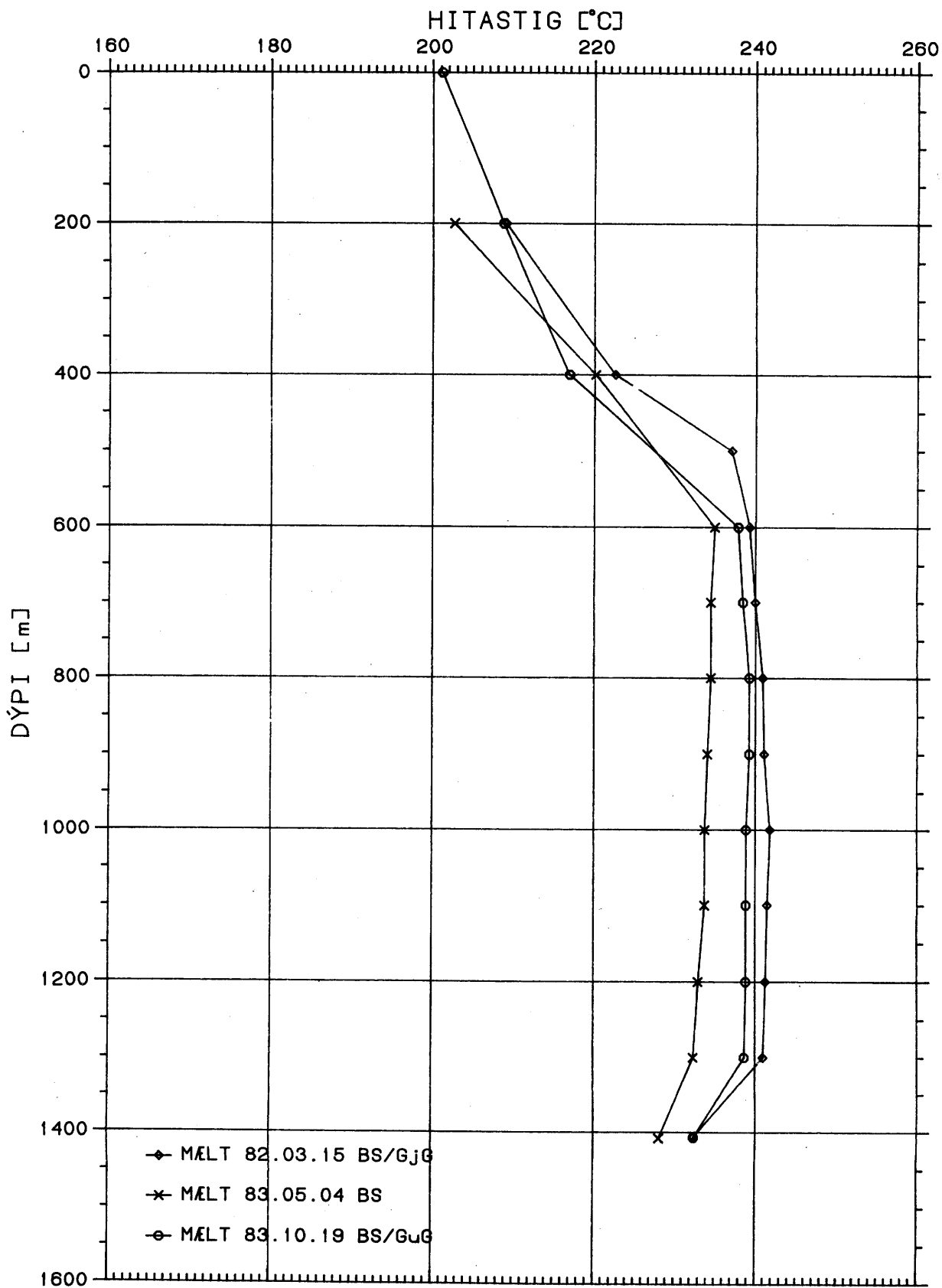
SVARTSENGI HOLA SG-5 HITAMÆLINGAR



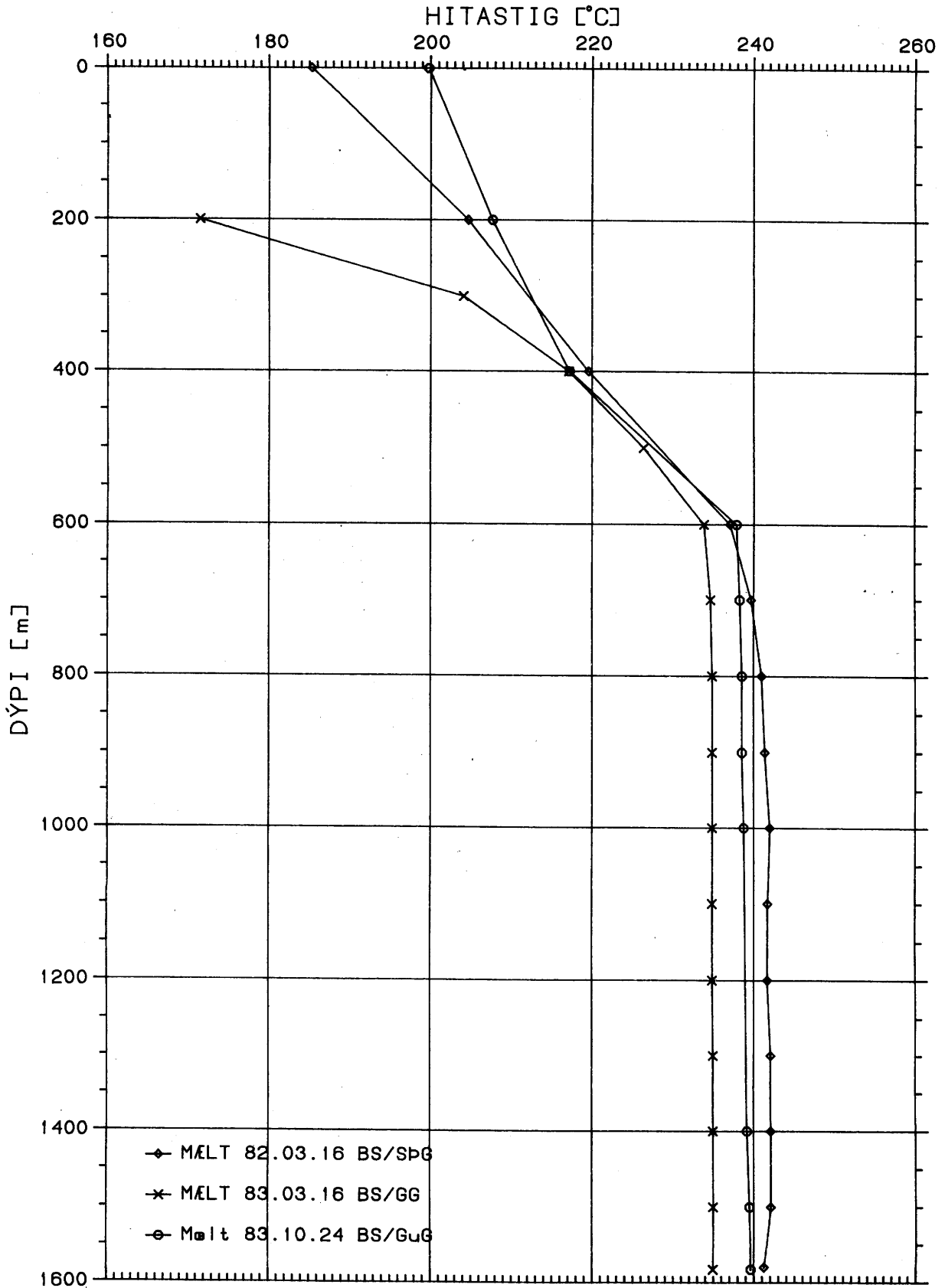
SVARTSENGI HOLA SG-6 HITAMÆLINGAR



SVARTSENGI HOLA SG-7 HITAMÆLINGAR

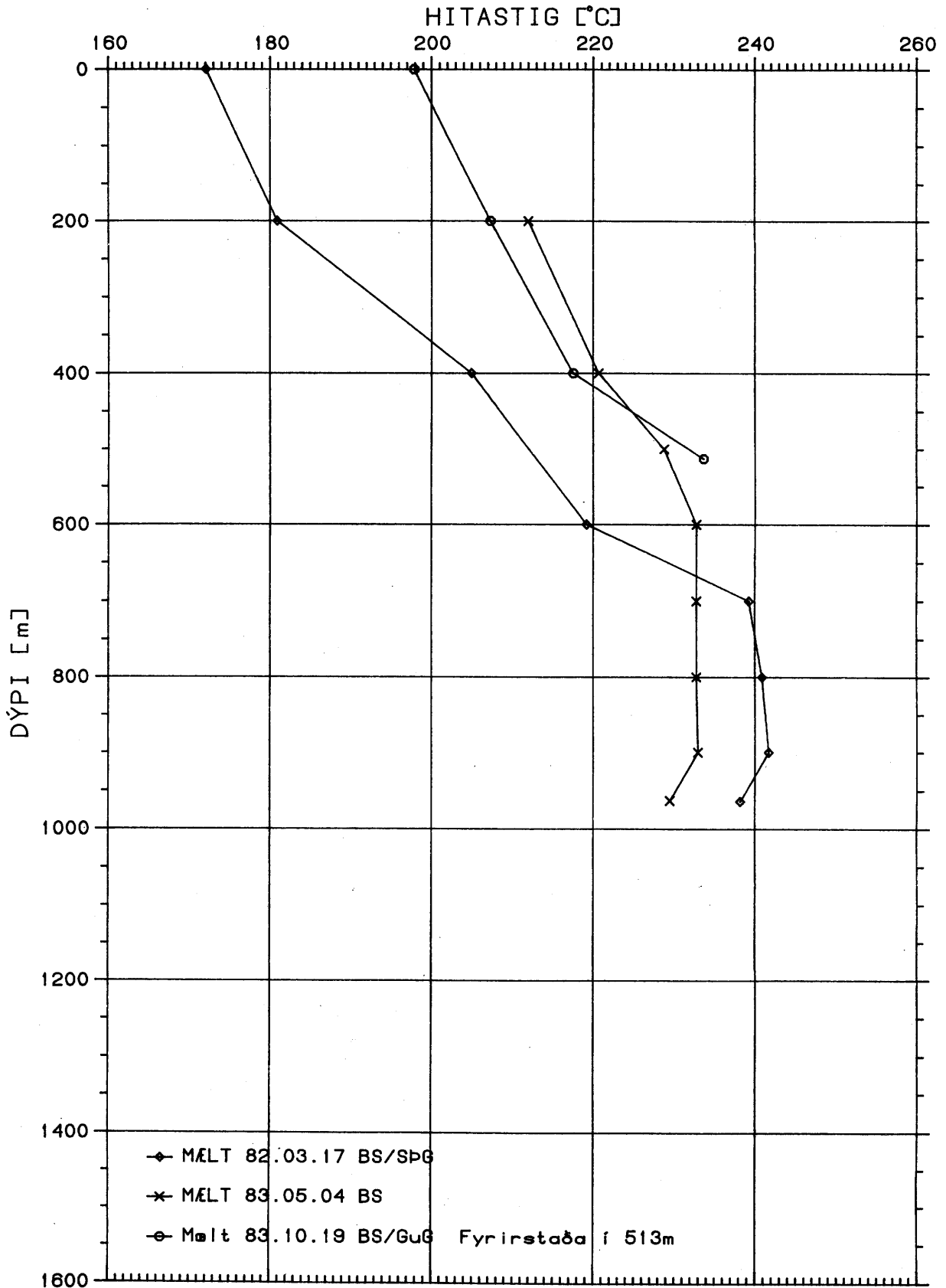


SVARTSENGI HOLA SG-8 HITAMÆLINGAR



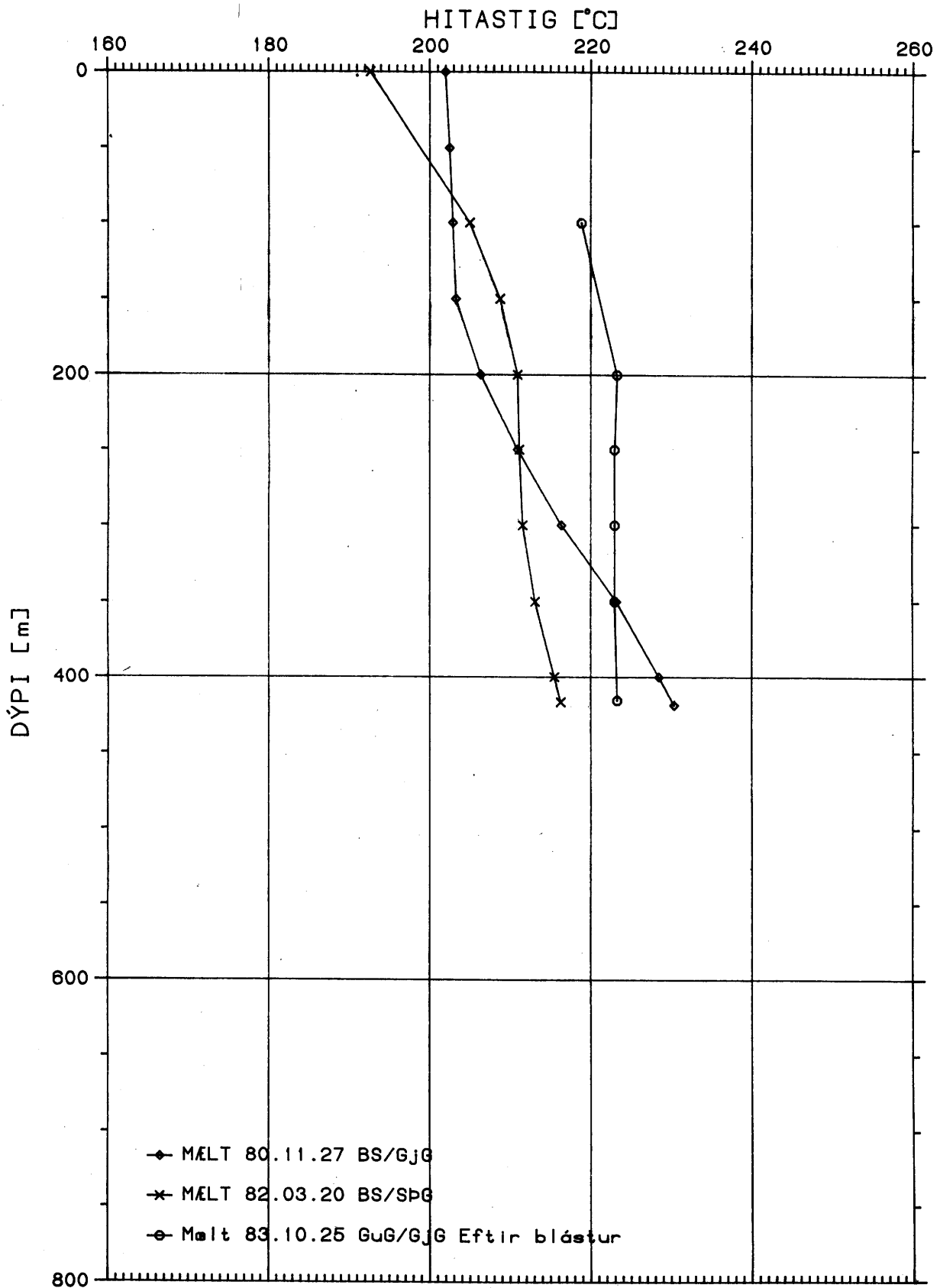


SVARTSENGI HOLA SG-9 HITAMÆLINGAR



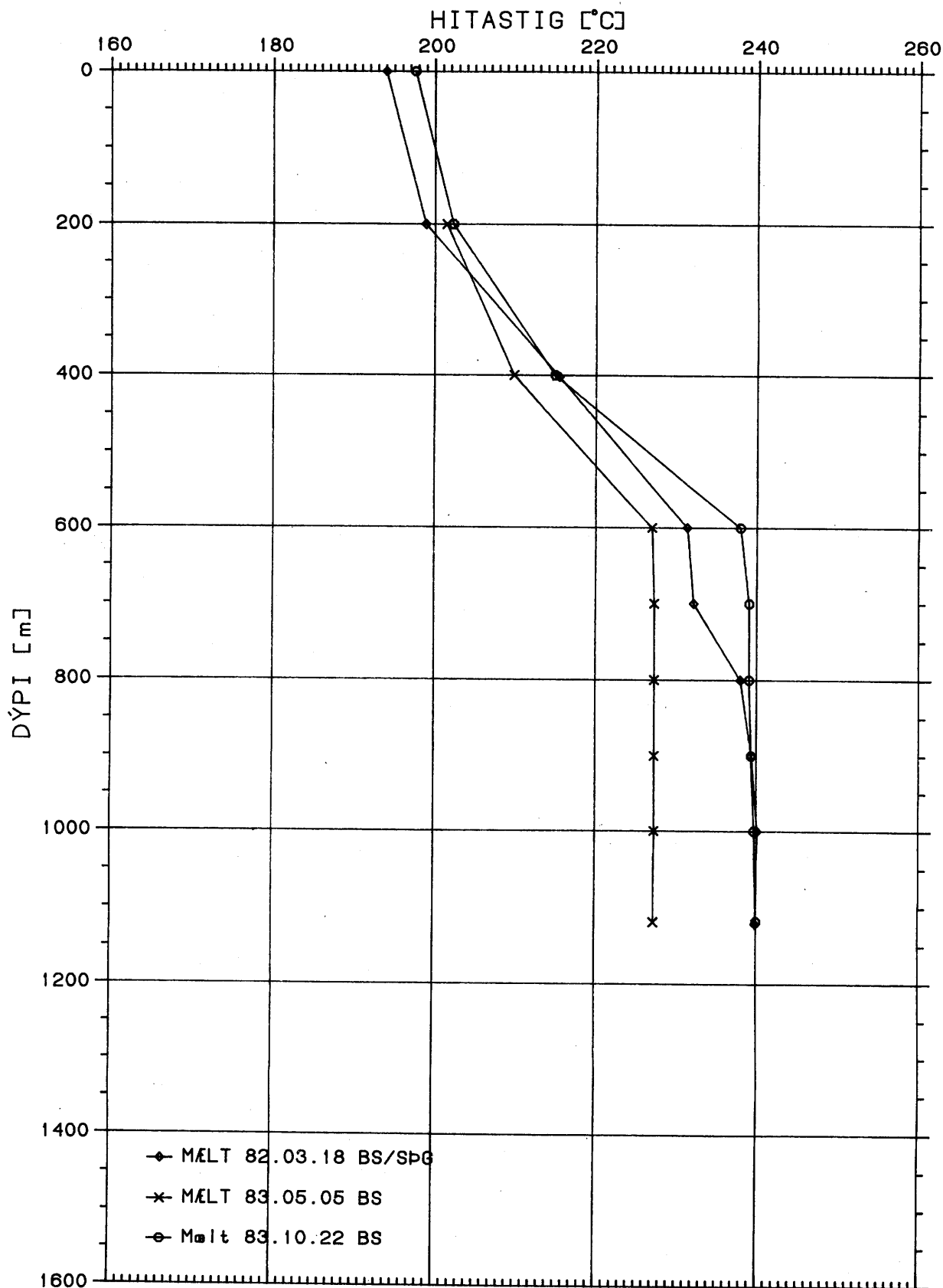


SVARTSENGI HOLA SG-10 HITAMÆLINGAR

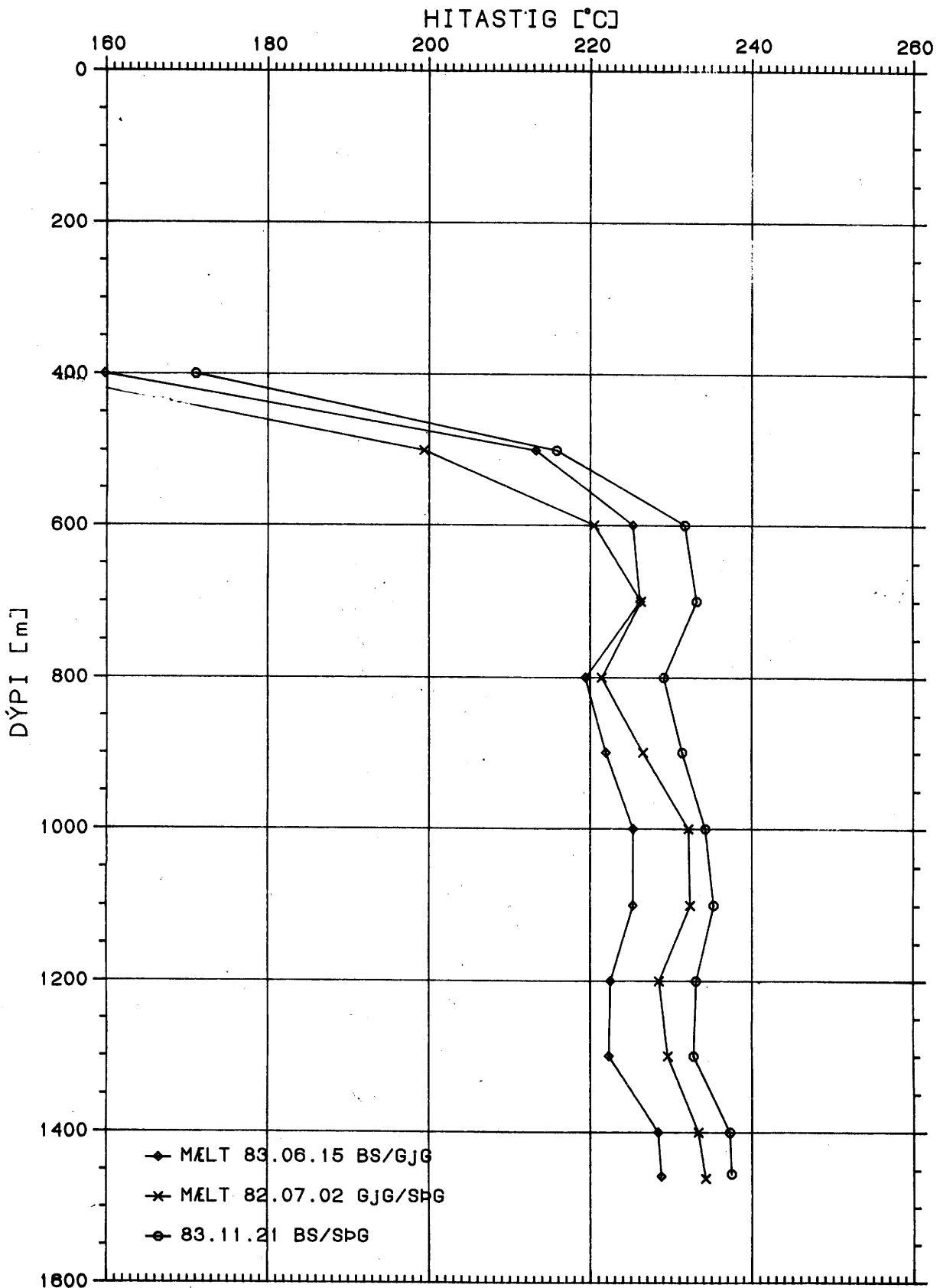




SVARTSENGI HOLA SG-11 HITAMÆLINGAR

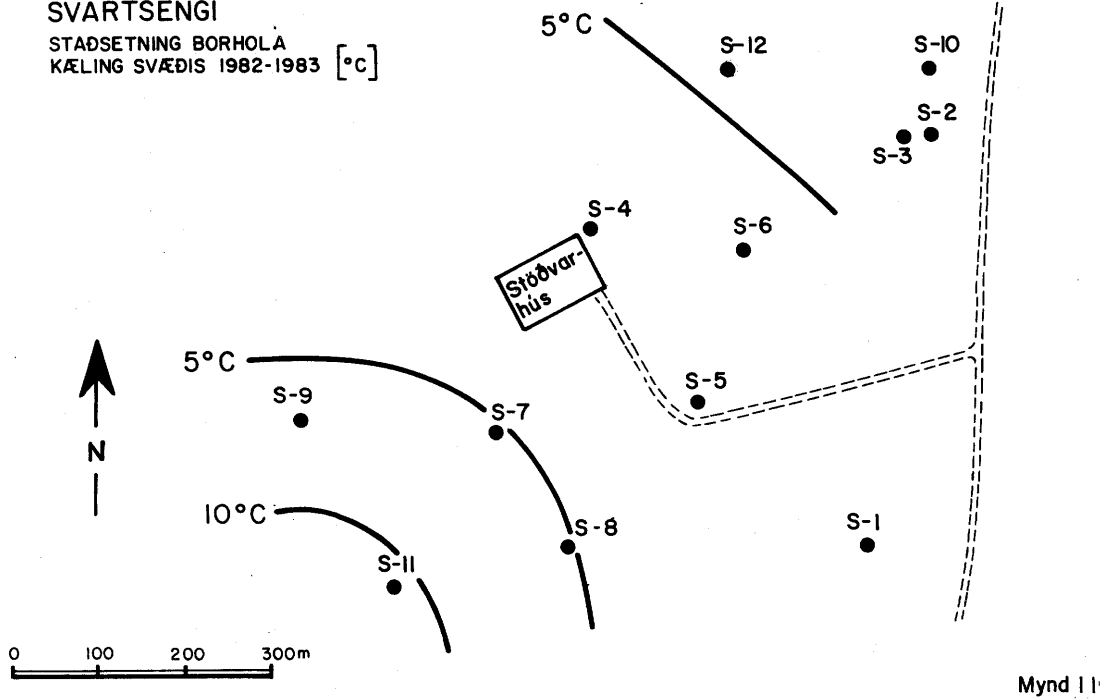


SVARTSENGI HOLA SG-12 HITAMÆLINGAR



JHD-BM-2300 BS
83.09.1252 AA

SVARTSENGI
STADSETNING BORHOLA
KÆLING SVÆDIS 1982-1983 [°C]



Mynd 11