

Selected figures from reports prepared by
the National Energy Authority for the
Sudurnes Regional Heating Corporation on
the geothermal fields of Svartsengi and
Eldvörp

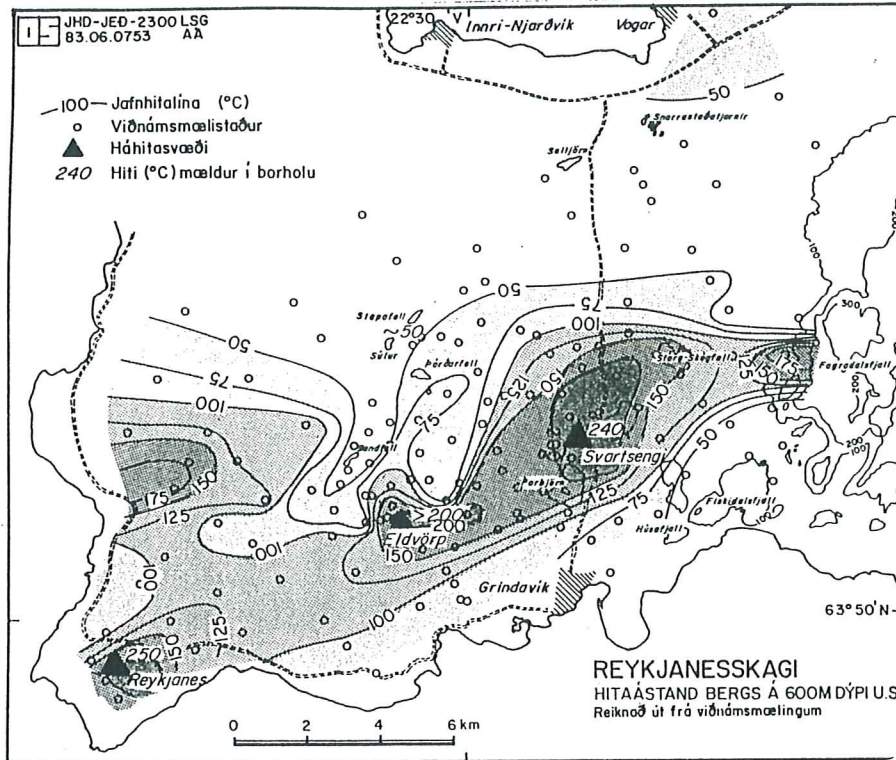
Sverrir Þórhallsson



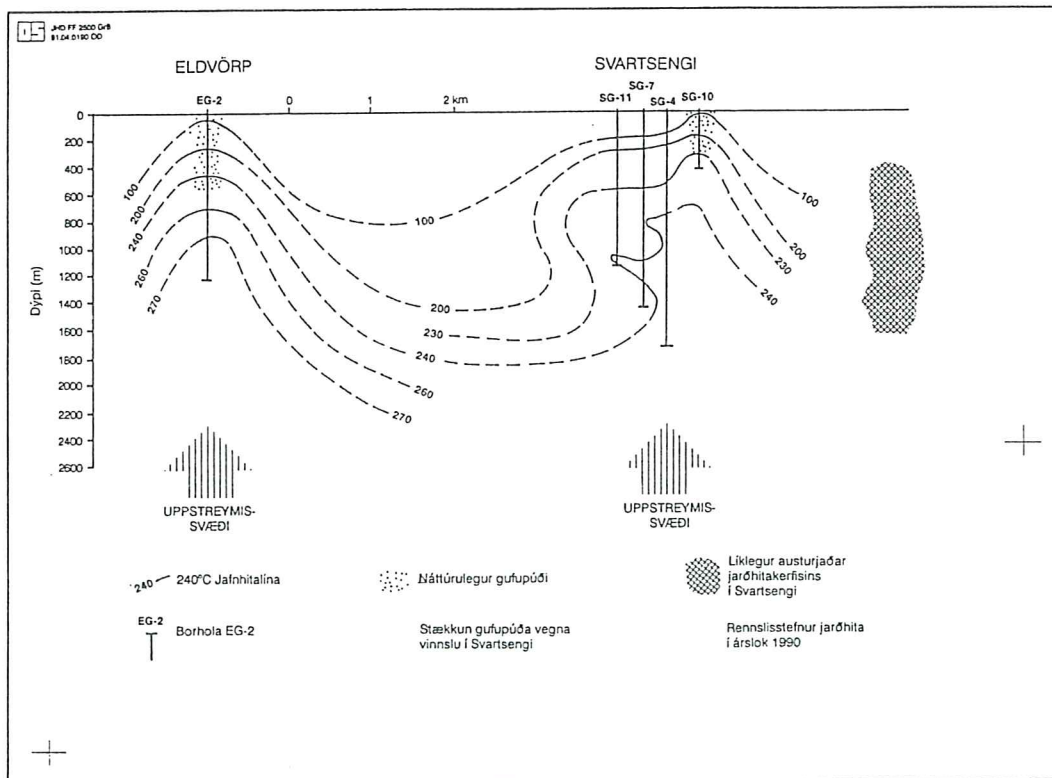
ORKUSTOFNUN
Jarðhitadæild

14. apríl, 1991
S. Þórh.

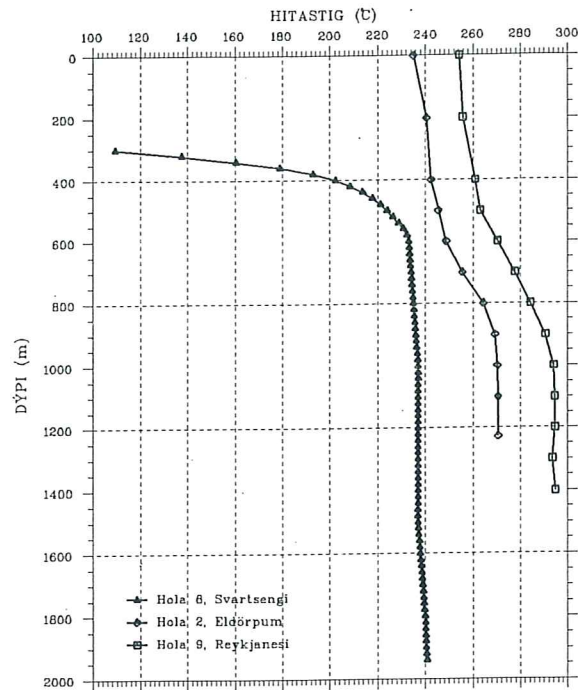
SELECTED FIGURES FROM REPORTS
PREPARED BY THE NATIONAL ENERGY AUTHORITY
FOR THE SUDURNES REGIONAL HEATING CORPORATION
ON THE GEOTHERMAL FIELDS OF SVARTSENGI AND ELDVÖRP



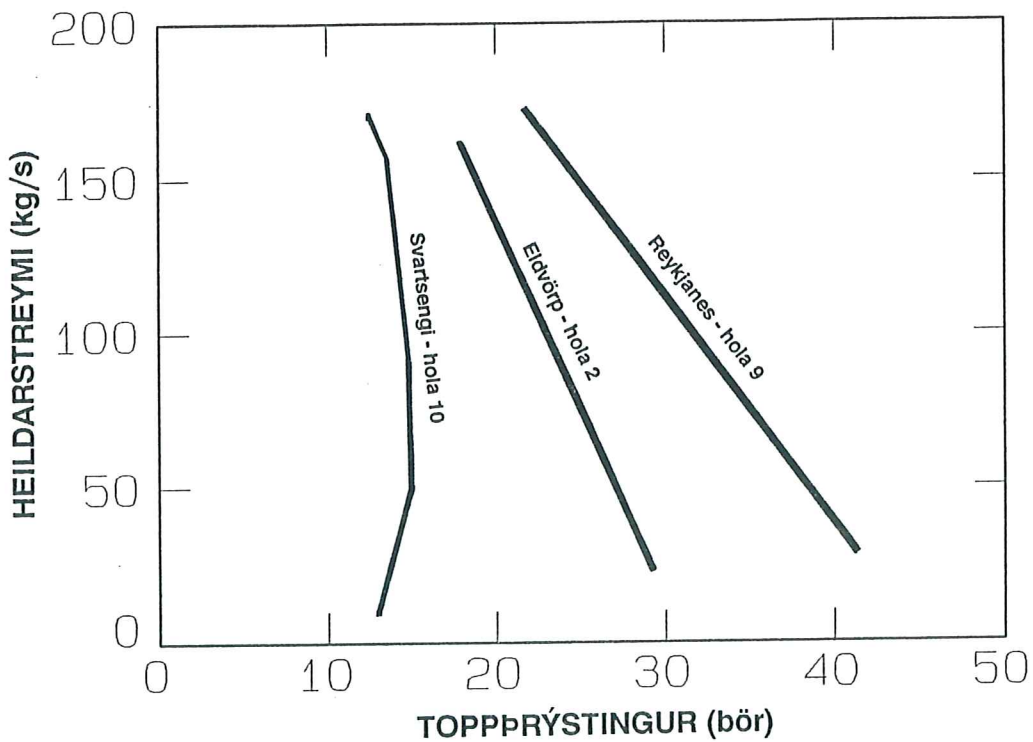
Mynd 1. Hitastig á 600 m dýpi á utanverðum Reykjanesskaga. Háhitasvæðin í Svartsengi, Eldvörpum og á Reykjanesi sjást greinilega sem toppar á undirliggjandi samfelldu svæði. ¹⁾



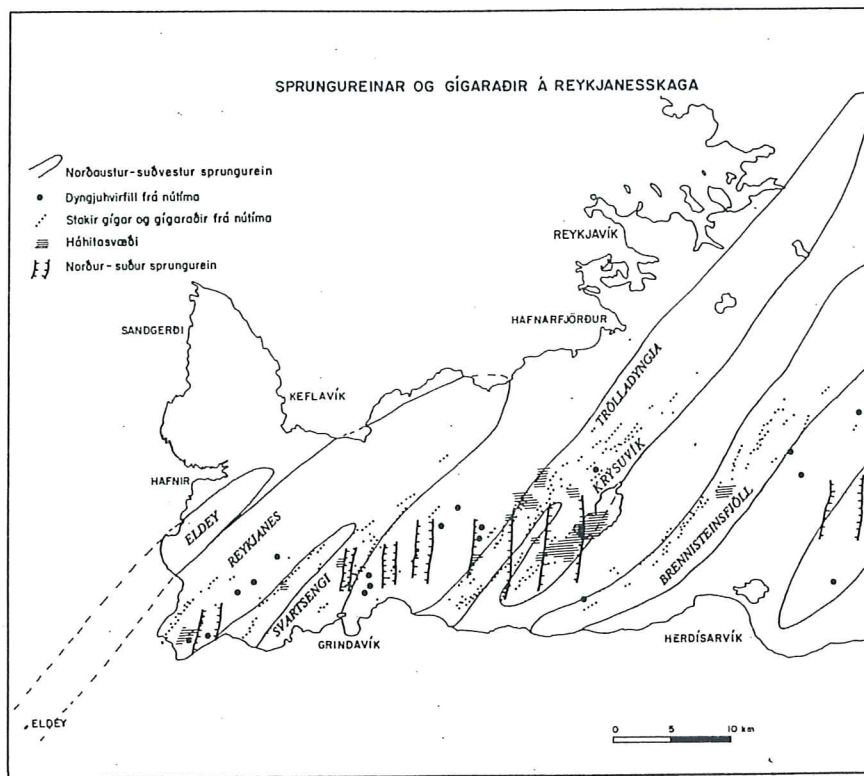
Mynd 2. Þversnið af Reykjanesskaga (Vestur-Austur). Útbreiðsla jarðhitans er eftir skjálftabeltinu og með uppstreymi í Svartsengi og Eldvörpum, en útbreiðslan er takmörkuð til norðurs og suðurs. Niðurdráttur í Svartsengi kemur einnig fram í Eldvörpum vegna samgangs milli svæðanna. ²⁾



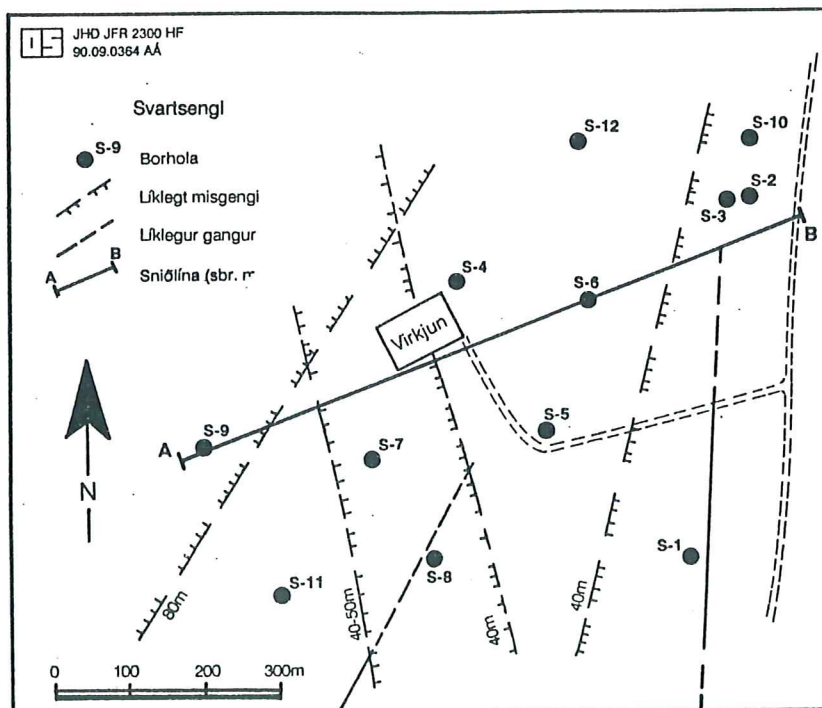
Mynd 3. Hitamælingar í borholum. Hitastig í jarðhitakerfinu í Svartsengi er 240 °C, Eldvörpum 270 °C, Reykjanesi 290 °C. ³⁾



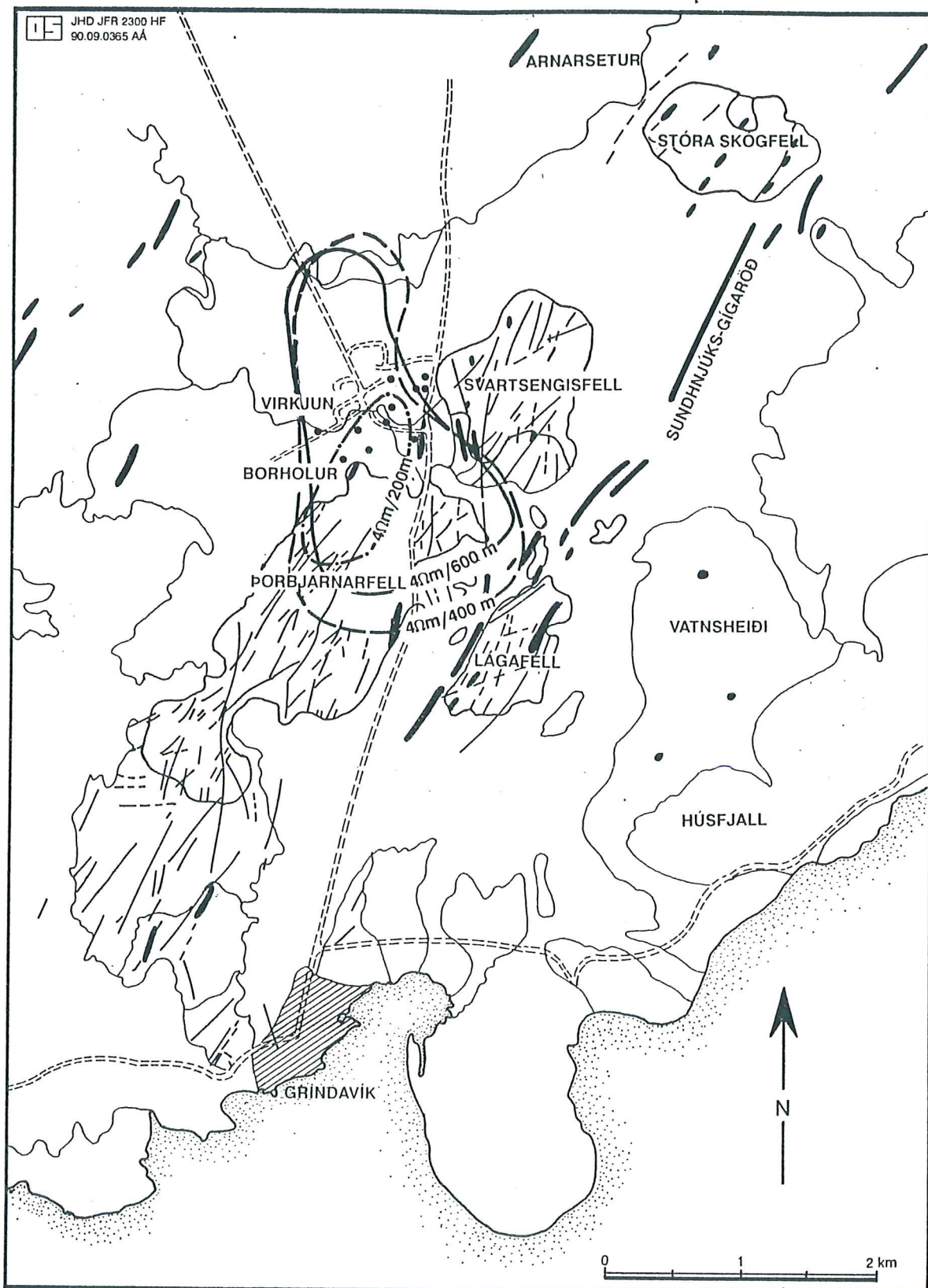
Mynd 4. Afliðlar háhitahola í Svartsengi, Eldvörpum og á Reykjanesi. Hámarksafköst mældust 180 kg/s. Holurnar í Svartsengi eru reknar við um 60 kg/s rennsli. ³⁾



Mynd 5. Yfirlitst kort af utanverðum Reykjaneskaga. ⁴⁾

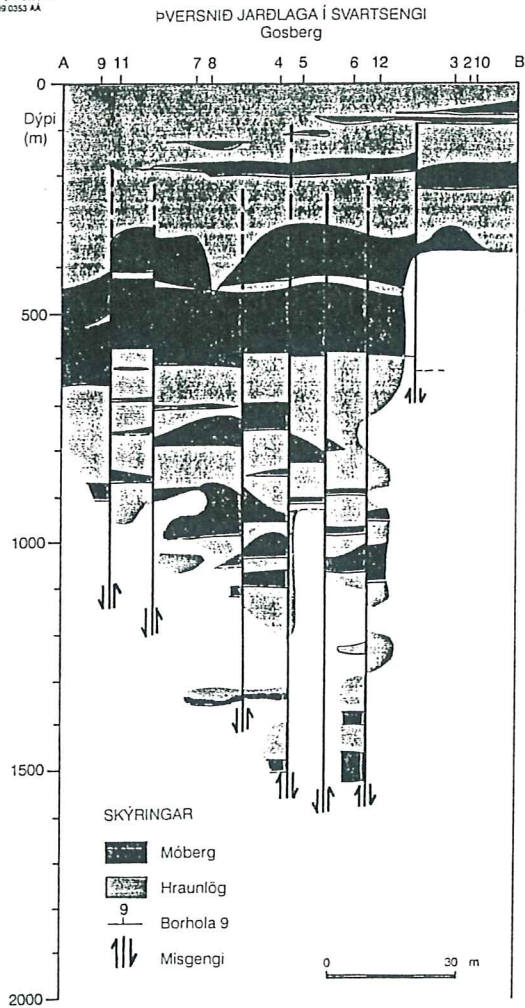


Mynd 6. Myndin sýnir helstu misgengin sem fundust þegar rannsókuð voru jarðlögin í borholunum, en þau eru hulin af ungum hraunlögum. Þar kemur fram áberandi NNV-SSA misgengi sem liggja sitt hvorum megin við holur 7 og 8. Þessi gögn benda mjög eindregið til að uppstreymi jarðhitakerfisins stjórnist (a.m.k. efstu 1000 m berggrunnisins) af NNV-SSA sprungum. ⁵⁾



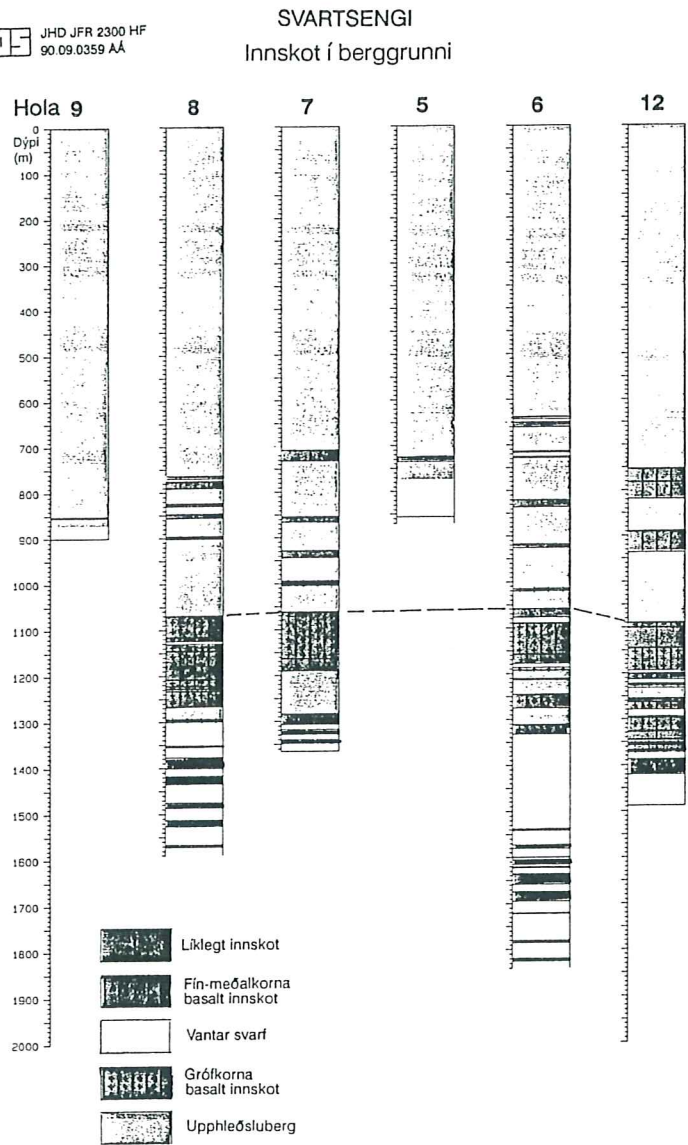
Mynd 7. Útlínur lágviðnáms í Svartsengi á mismunandi dýpi fyrir 4 ohm metra. Myndin sýnir stefnur sprungu- og gosrása í nágrenni Svartsengis. Lágviðnámssvæðið á 200 m dýpi liggur NA-SV eins og ríkjandi sprungustefna, en á 400 m og 600 m dýpi er stefnan NNV-SSA, eða í svipaða átt og sprungurnar sunnan háhitasvæðisins.⁵⁾

JHD JFR 2300 HF
90.09.0353 AA



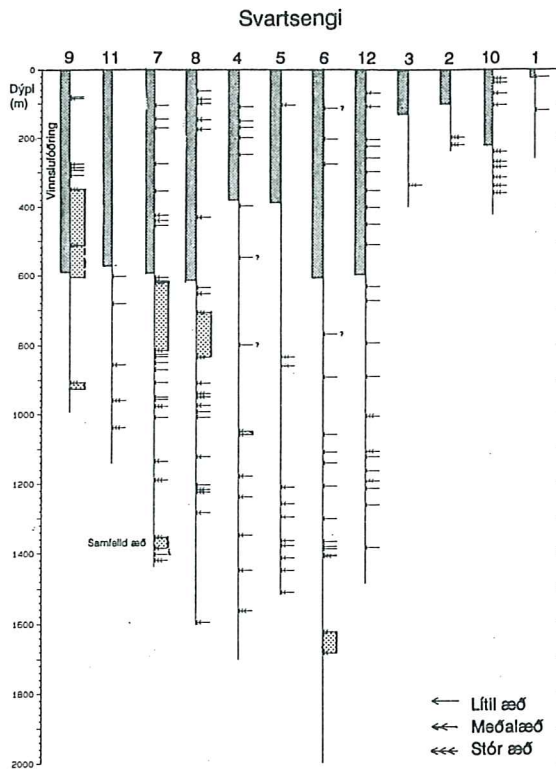
Mynd 8.

JHD JFR 2300 HF
90.09.0359 AA

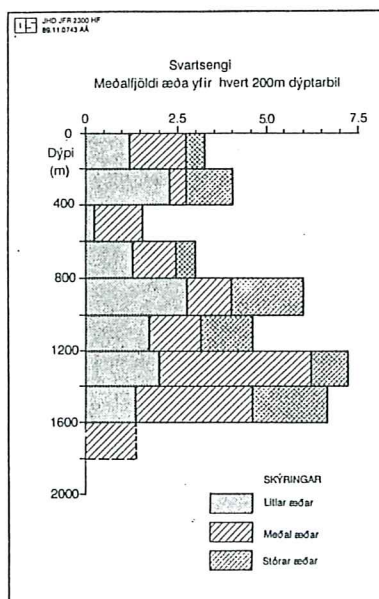


Mynd 9.

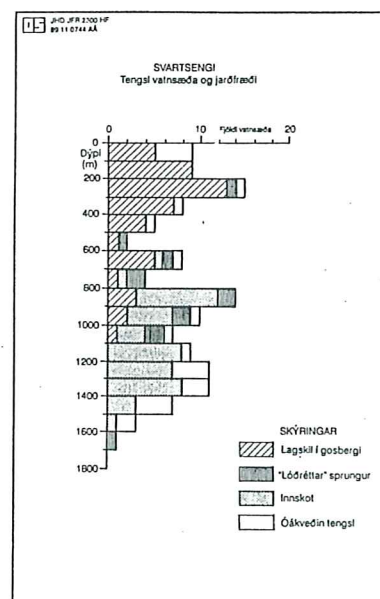
Myndir 8 og 9 sýna hvar borholurnar skera innskotsberg, en innskot er hraunkvika sem storknar undir yfirborði. Takið eftir að innskotin byrja ekki að koma fyrir en neðan 600 m dýpis og verða mjög algeng neðan 1000 m dýpis. Flestar vatnsæðar tengjast þessum innskotum og veldur það góðum tengslum á milli hola. ⁵⁾



Mynd 10. Myndin sýnir dýpið á þær vatnsæðar sem borholurnar skera. ⁵⁾

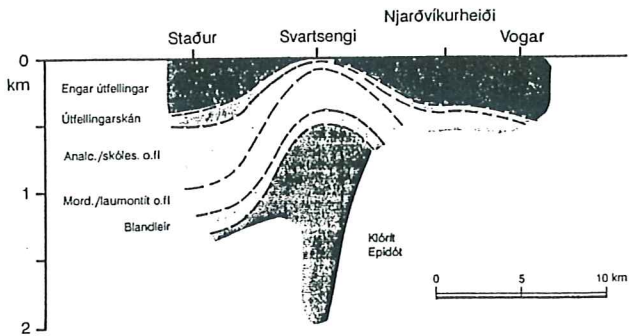


Mynd 11. Fjöldi vatnsæða og stærð þeirra breytist með dýpi. Æðarnar ofan 400 m dýpis teljast flestar til volgs grunnvatnskerfisins ofan jarðhitakerfisins, en jarðhitakerfið er neðan 600 m dýpis. Á skilunum á milli kerfanna eru vatnsæðar mjög fáar, sem bendir til að jarðhitakerfið sé tiltölulega vel einangrað frá grunnvatnskerfinu fyrir ofan.

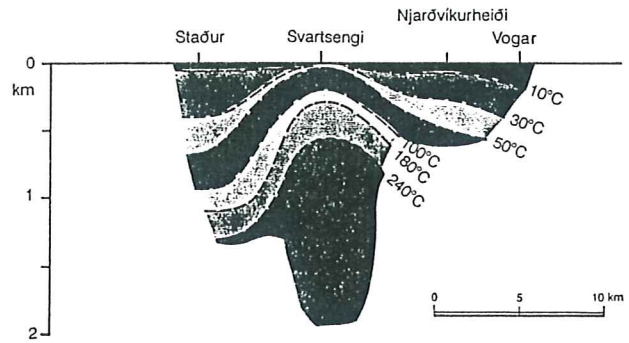


Mynd 12. Myndin sýnir hvernig vatnsæðarnar tengjast jarðfræði berggrunnnsins. Sérstaklega er athyglisvert að neðan 800 m dýpis tengjast vatnsæðarnar helst innskotsbergi. ⁵⁾

JHD JFR 2300 HF
89.11.0753 AA



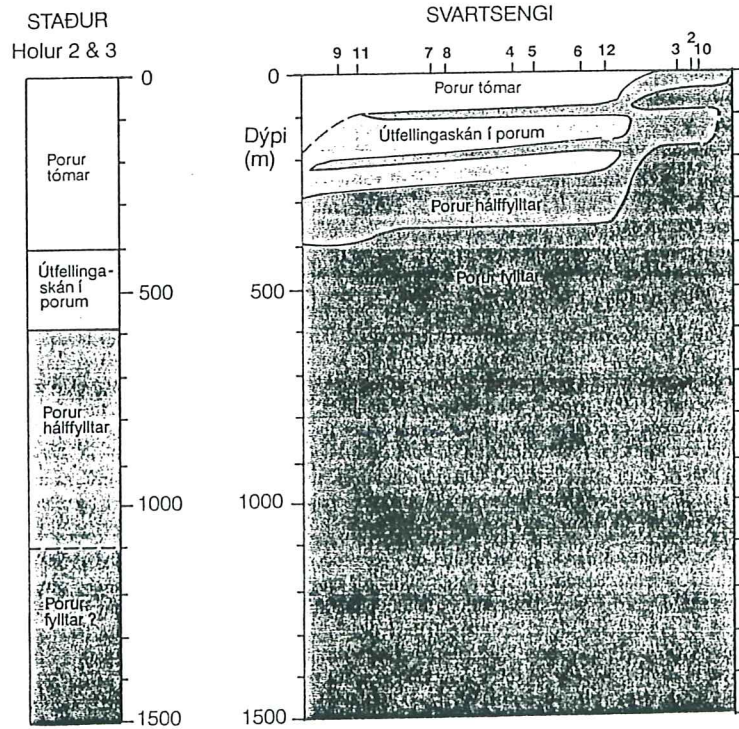
JHD JFR 2300 HF
89.11.0754 AA



Mynd 13. Myndir 13 a og 13 b eru þversnið yfir Reykjanes og sýnir dreifingu útfellinga í berggrunninum og hitadreifingu.⁵⁾

JHD JFR 2300 HF
90.09.0354 AA

Útfellingar í berggrunni



Mynd 14. Myndin sýnir að hve miklu leyti porurnar í berginu eru fylltar af útfellingum, en útfellingarnar minnka þann vatnsforða, sem unnt er að geyma í berginu. Minni vatnsforði er í fylltum porum innan háhitakerfisins en utan þess.⁵⁾

Ár	Vinnsla millj.tonn	Heildarvinnsla í árslok millj.tonn	Meðalvinnsla kg/s
1976	0,21	0,21	26,4
1977	1,07	1,28	33,9
1978	1,63	2,91	51,7
1979	3,19	6,10	101,2
1980	4,30	10,44	136,0
1981	7,48	17,92	237,2
1982	7,58	25,50	240,4
1983	7,60	33,10	241,0
1984	7,90	41,00	249,8
1985	7,75	78,75	245,8
1986	8,24	56,99	261,3
1987	8,00	64,99	253,7
1988	8,39	73,38	266,0
1989*	4,42	77,80	282,6

* Til 1.júlí 1989.

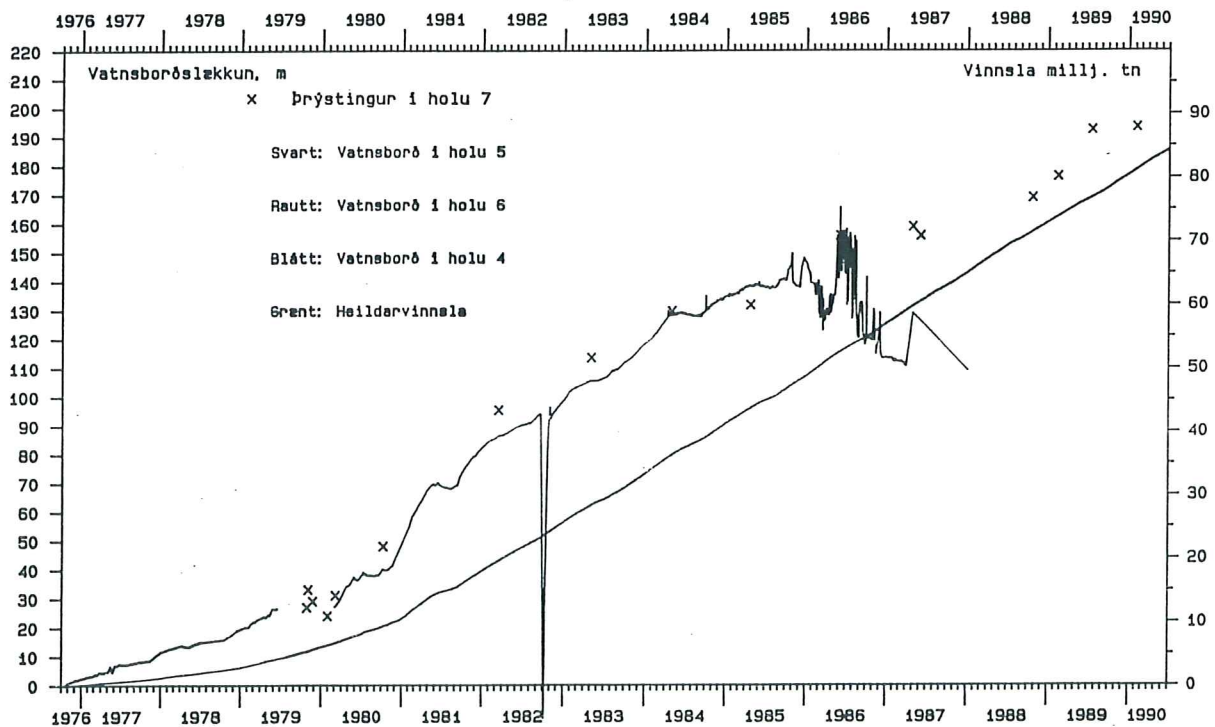
Mynd 15. Taflan sýnir árlegt vatnsnám frá því vinnslan hófst haustið 1976. ⁶⁾

VERKFRÉDISTOFAN 85.11
VATNASKIL 90-07-23 SPK

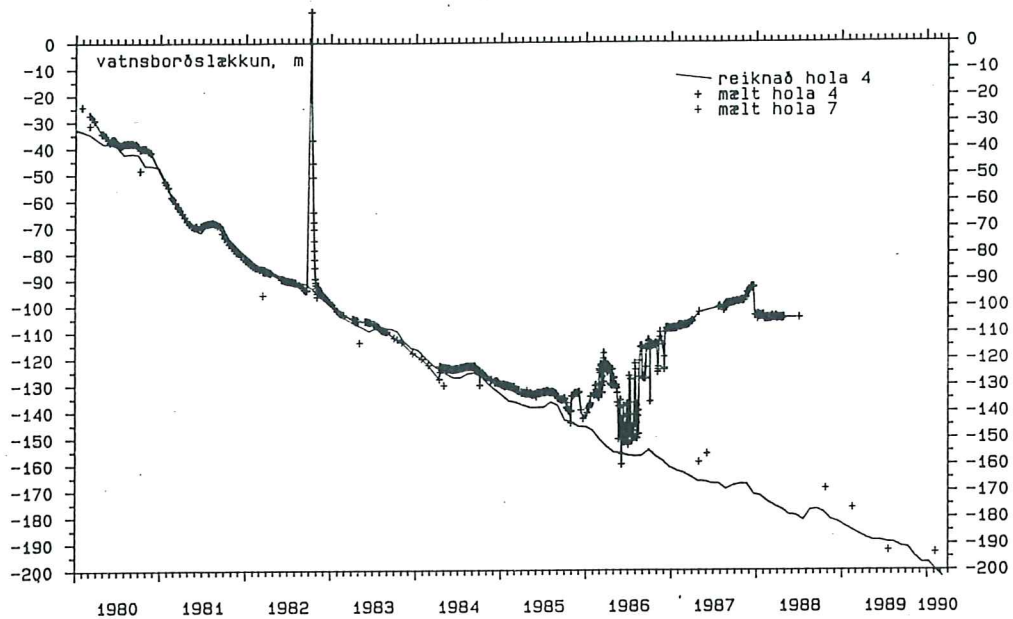
SVARTSENGI

HITAVEITA SUÐURNESJA

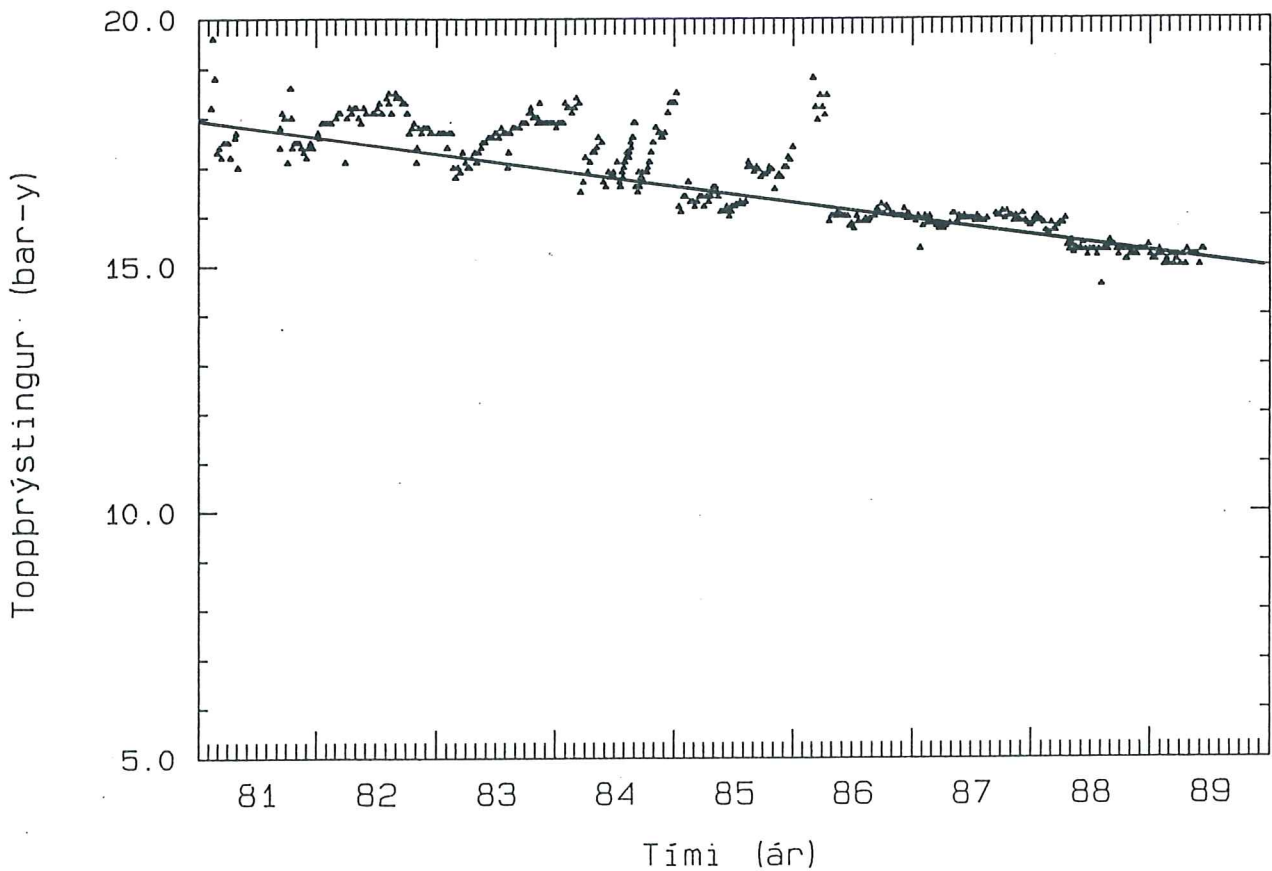
Heildarvinnsla og vatnsborð 1976 - 1990



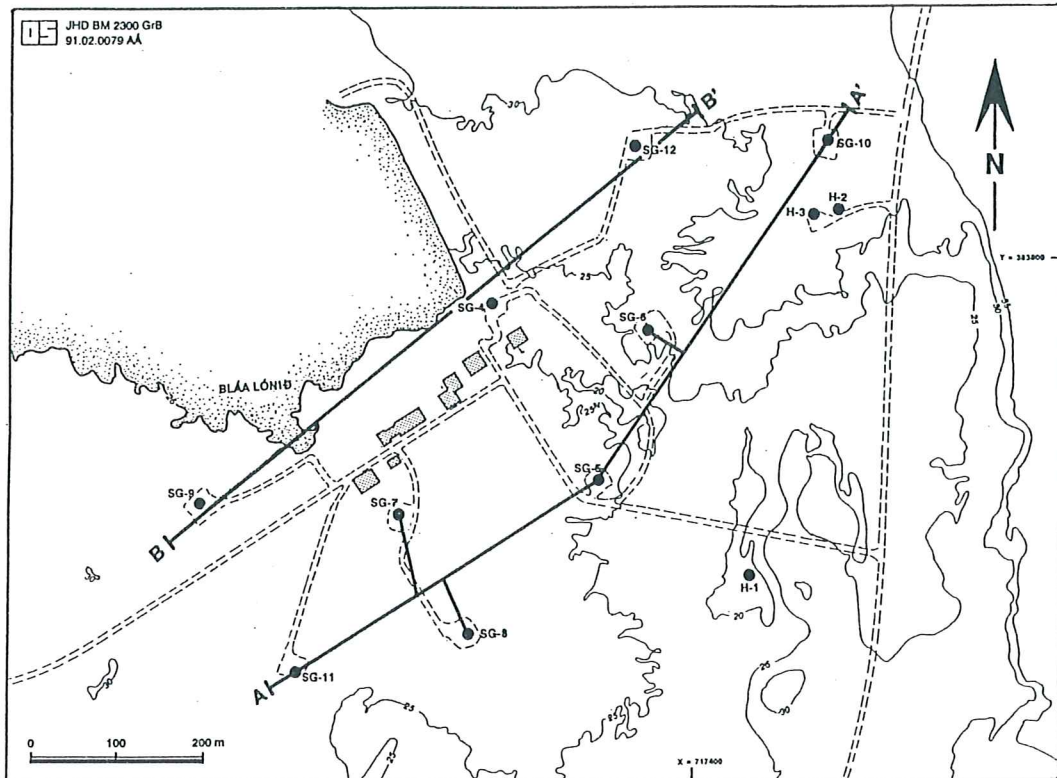
Mynd 16. Vatnsborð lækkar í takt við vinnsluna. Árið 1990 höfðu samtals 84 milljón tonn verið numin úr svæðin (ásinn til hægri) og niðurdráttur orðinn meir en 200 m (vinstri ásin). ⁷⁾



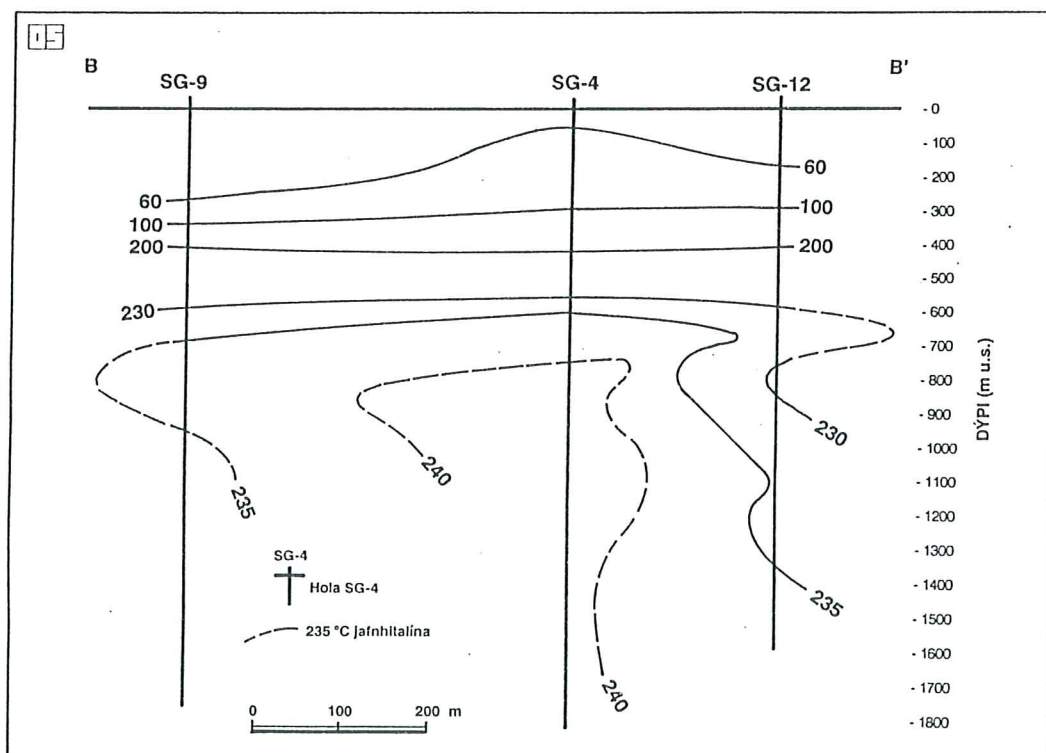
Mynd 17. Vatnsborðslækkun í Svartsengi er orðin rúmlega 200 m og er lækkandi. ⁷⁾



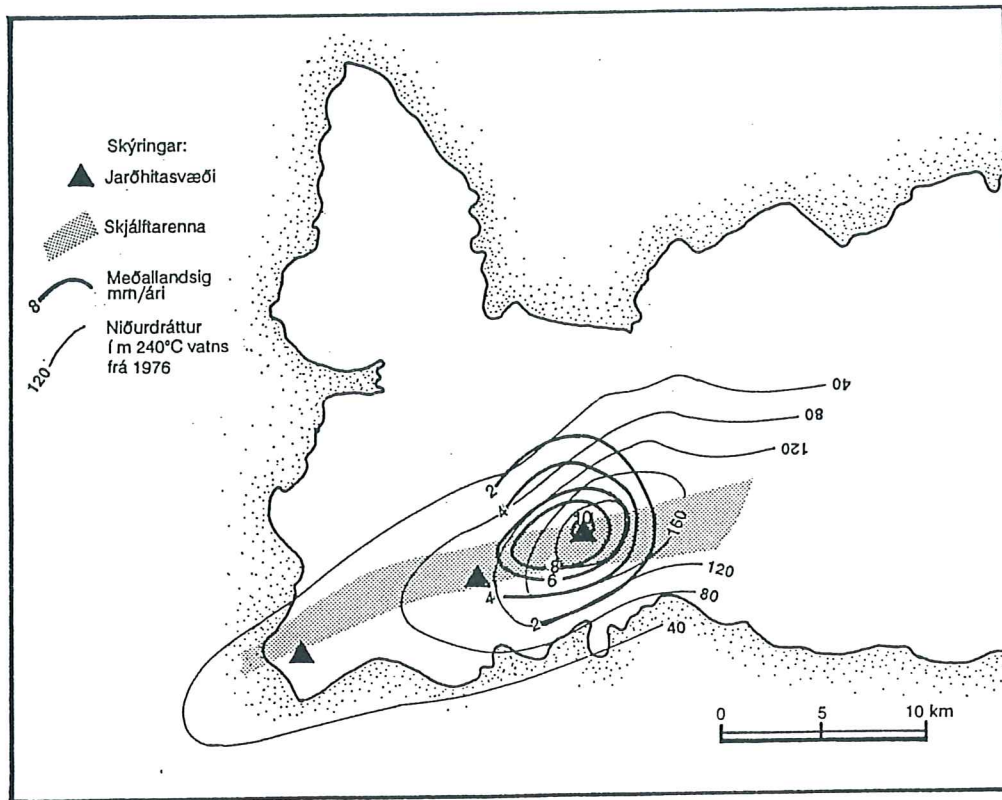
Mynd 18. Lækkun holutoppþrýstings holu SG-7 nemur 0,3 börum á ári, sem orsakast af sífelldri aukningu niðurdráttar. Með sama áframhaldi mun hola verða úr leik eftir 20-30 ár, vegna ónógs toppþrýstings (< 6 bar). ²⁾



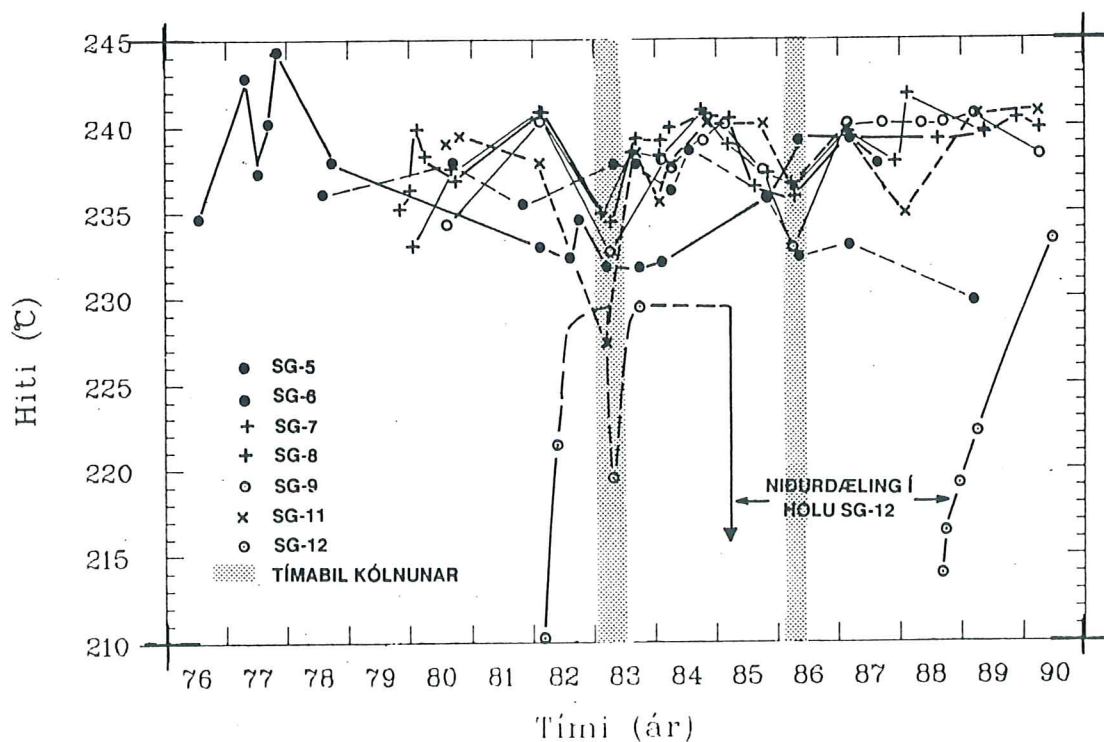
Mynd 19. Staðsetning borhola í Svartsengi. Mynd 20 sýnir snið B - B'.²⁾



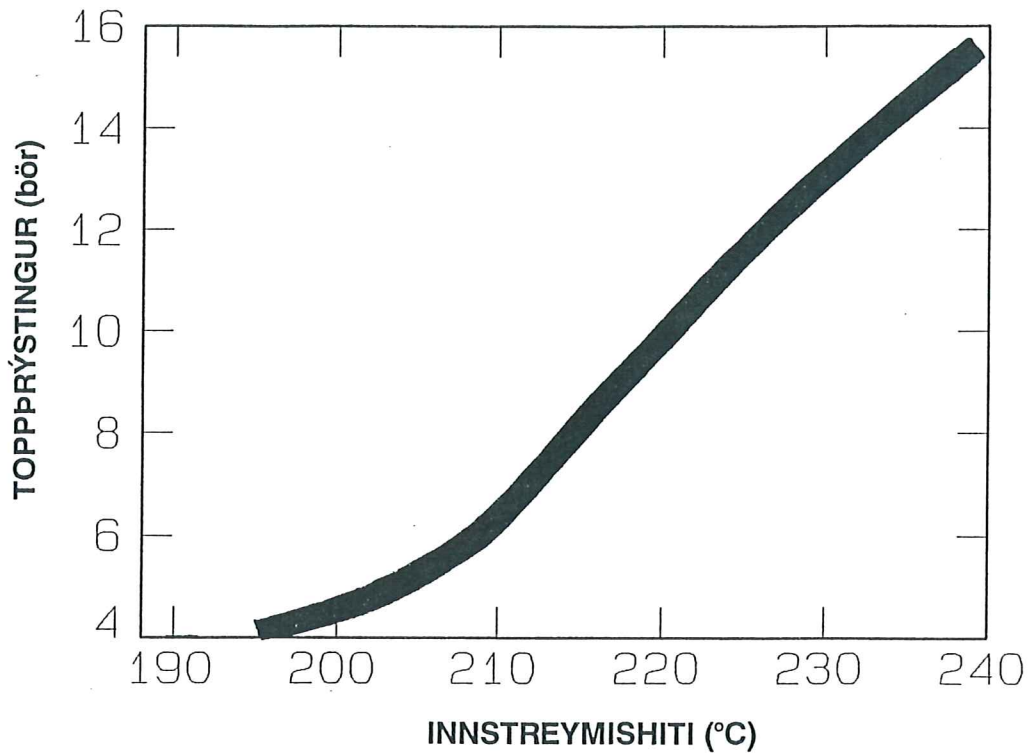
Mynd 20. Kerfisbundin skoðun 250 hitamælinga leiddi í ljós að dauft hitahámark er um mitt vinnslusvæðið. Þetta hámark er væntanlega uppstreymisrás svæðisins. Er hæstur hiti á línu sem liggur til suðurs um holu SG-4. Einnig komu fram staðbundin hitahámörk í holum kringum 700 m dýpi og á 1100-1300 m dýpi. Þessi hitahámörk falla saman við góðar æðar á þessum dýptarbilum.²⁾



Mynd 21. Líkanreikningar spá víðtækum niðurdrætti umhverfis holurnar í Svartsengi. Þrýstimælingar í Eldvörpum staðfesta þá niðurstöðu. Áhrif niðurdráttar koma einnig fram í landhæðarbreytingum. Þannig hefur vinnslan í Svartsengi myndað u.þ.b. 15 cm djúpa skál landsigs sem teygir sig til VSV frá holunum. Lítið landsig til austurs bendir til að austurjaðar svæðisins sé all skarpur og nálægt Svartsengi. ²⁾



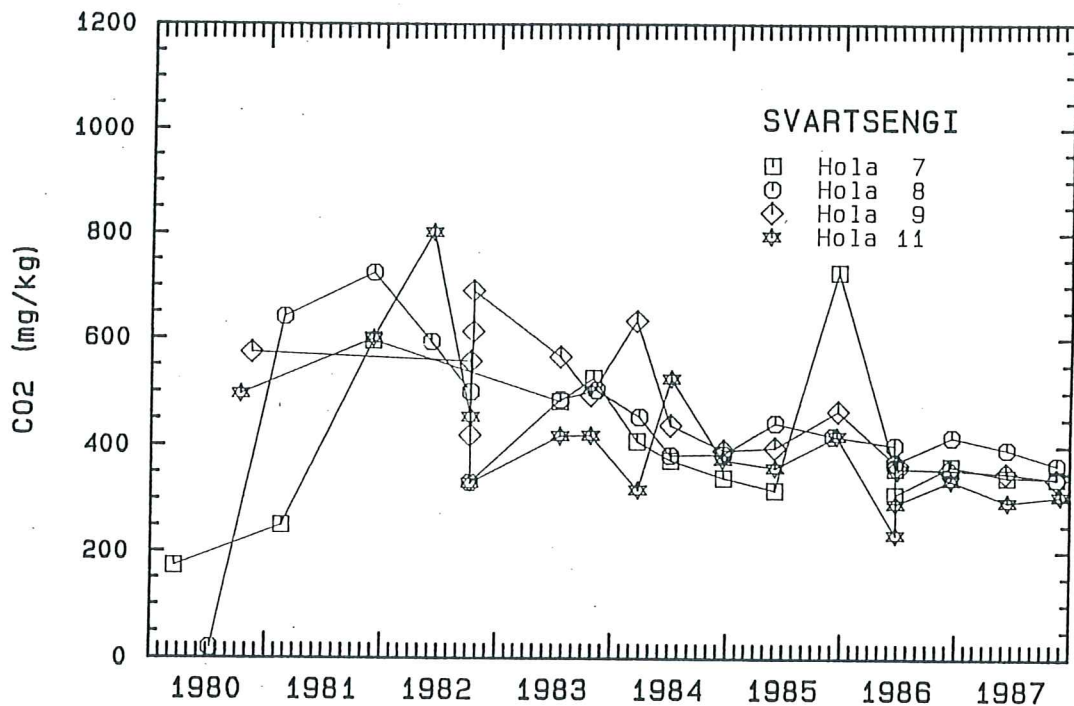
Mynd 22. Myndin sýnir hitasögu allra holna í Svartsengi. Á myndinni eru auðkennd tvö tímabil mikillar kólnunar, þegar hitinn féll um 13 °C og holutoppsþrýstingur lækkaði verulega. Kalda vatnið braust inn um æðakafla á 1000-1300 m dýpi og kólnuðu holur 9,11 og 12 mest, enda eru þær í mestri fjarlægð frá uppstreyminu við holu 4. ²⁾



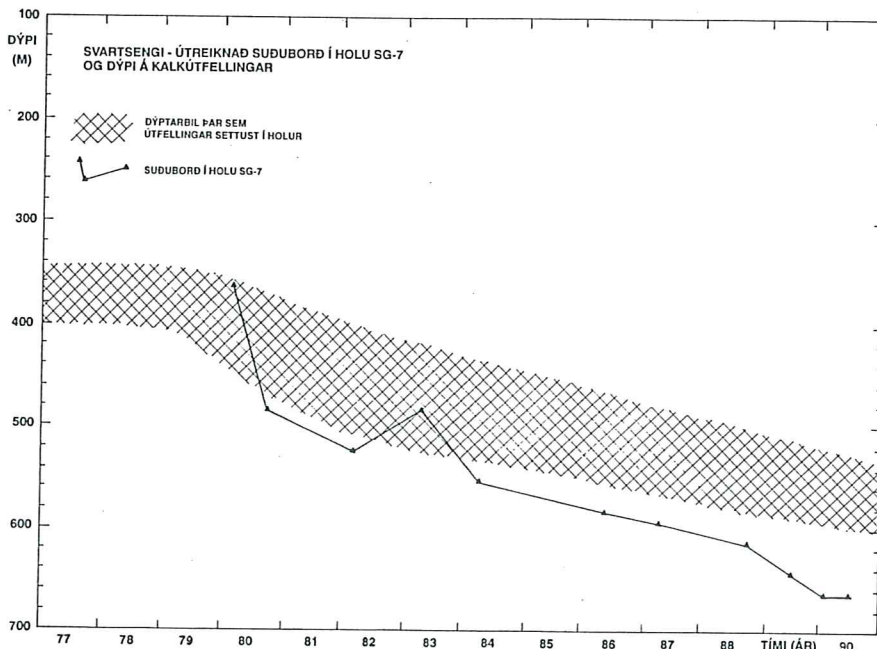
Mynd 23. Mesta hætta aukins niðurdráttar í Svartsengi er kólnun vegna innrásar kaldara vatns inn í sprungunet jarðhitakerfisins. Ljóst er að kæling niður fyrir 210 °C mun fella vinnsluþrýsting holanna niður fyrir þrýsting sem nauðsynlegur er á gufuveitu (6-7 bar) og gera þær ónothæfar fyrir orkuverið í núverandi mynd.²⁾

Efni	Styrkur, mg/kg
Kísill (SiO ₂)	430
Klóríð (Cl)	12700
Natríum (Na)	6400
Kalíum (K)	1060
Kalsíum (Ca)	985
Súlfat (SO ₄)	30
Magnesíum (Mg)	0.8
Koldíoxíð (CO ₂)	400
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	6

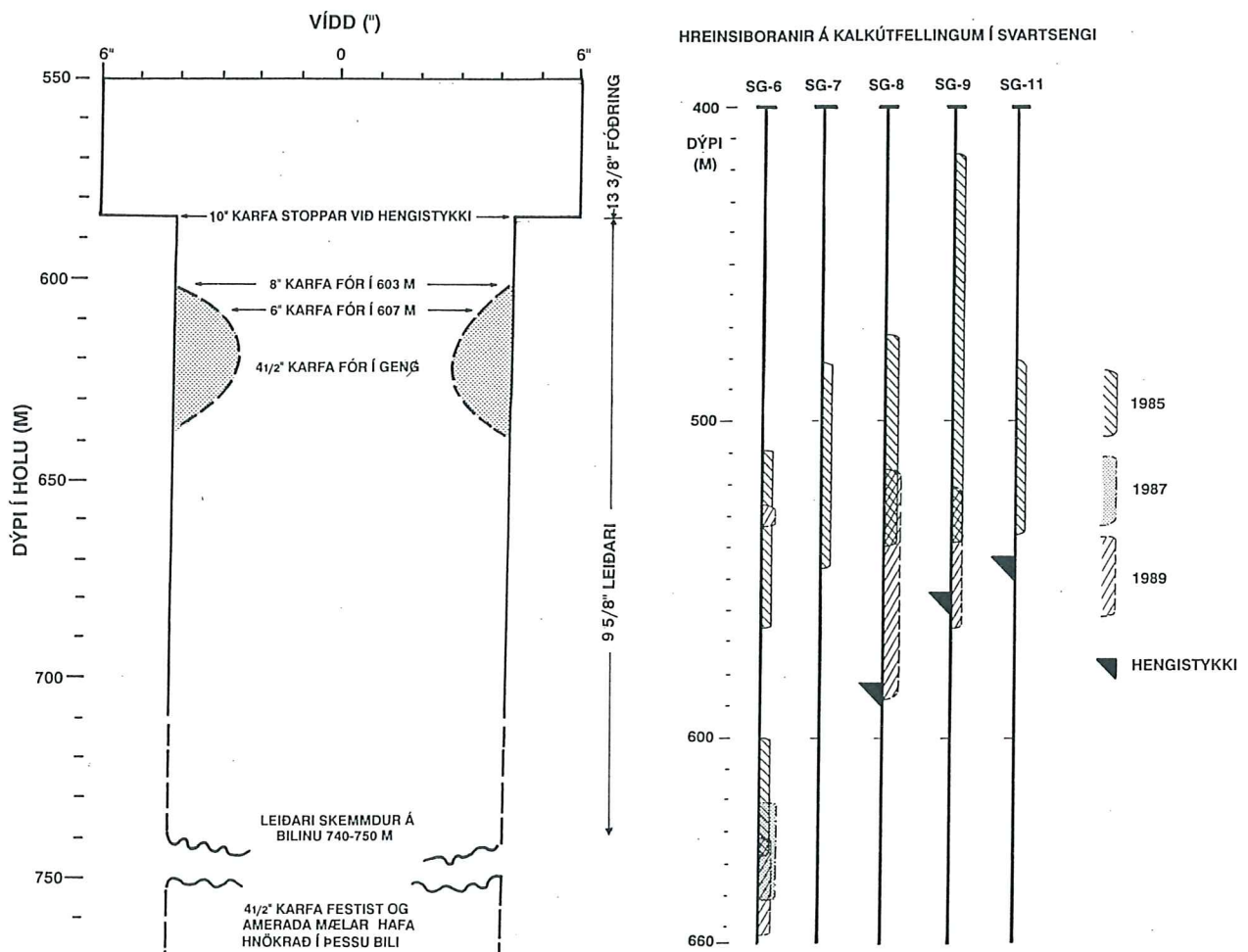
Mynd 24. Taflan sýnir efnasamsetningu jarðhitavökva í Svartsengi.³⁾



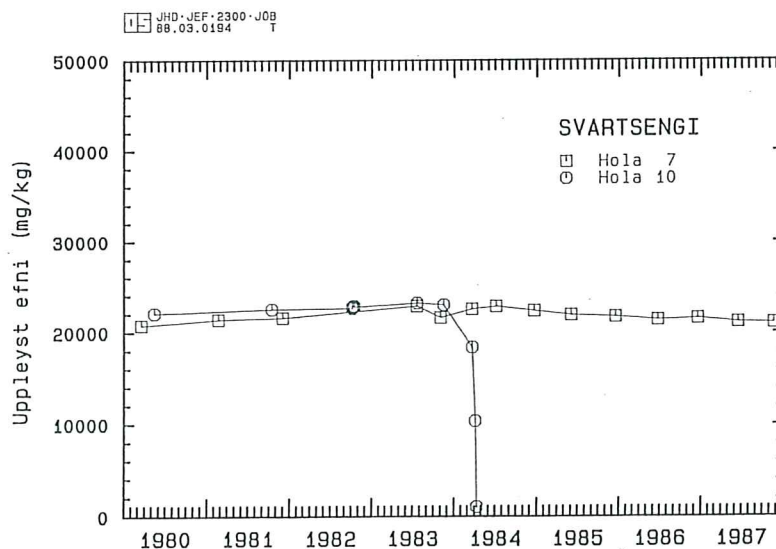
Mynd 25. Myndin sýnir hvernig styrkur koldíoxíðs, CO₂, í holum í Svartsengi hefur smátt og smátt farið minnkandi, en gasið er að langmestum hluta (96%) koldíoxíð. Ástæða minnkunarinnar er sú að vökvinn í jarðhitageyminum sýður. Við suðuna losnar gas úr vökvunum, og mest af þessu gasi skilar sér út um holu SG-10, en hún virkar eins og einskona gasháfur á svæðið.⁸⁾



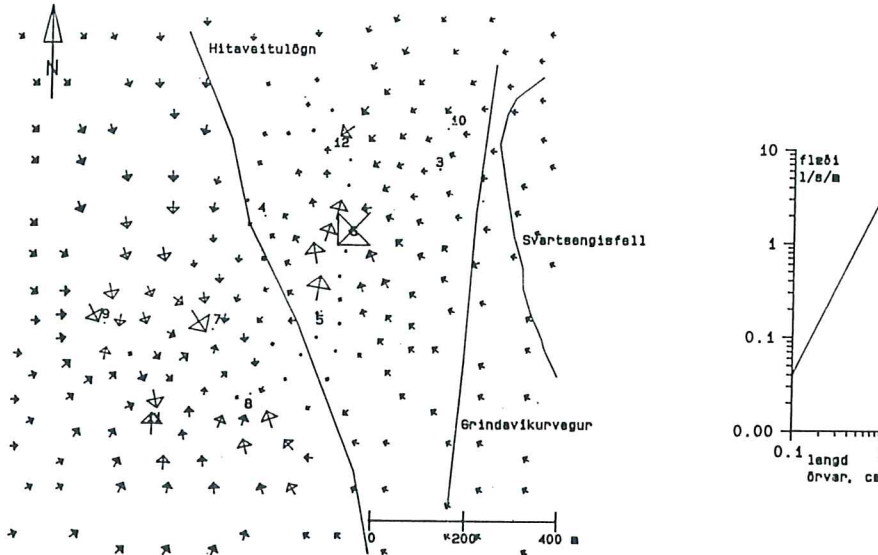
Mynd 26. Niðurdrátturinn veldur því að suðuborðið færir sig sífellt neðar í holunum. Kalkútfellingin sem stíflar holurnar, verður í suðuborðinu sem nú er á 650 m dýpi. Kalktappinn hefur nú færst úr vinnslufóðringunni í leiðarann. Þar er minna pláss fyrir kalksöfnun og mikil hættu á að leiðarinn sem er ósteyptur skaddist við hnjask sem verður við hreinsiborun (sbr. SG-8). Einnig er hættu á að raufarnar stíflist.²⁾



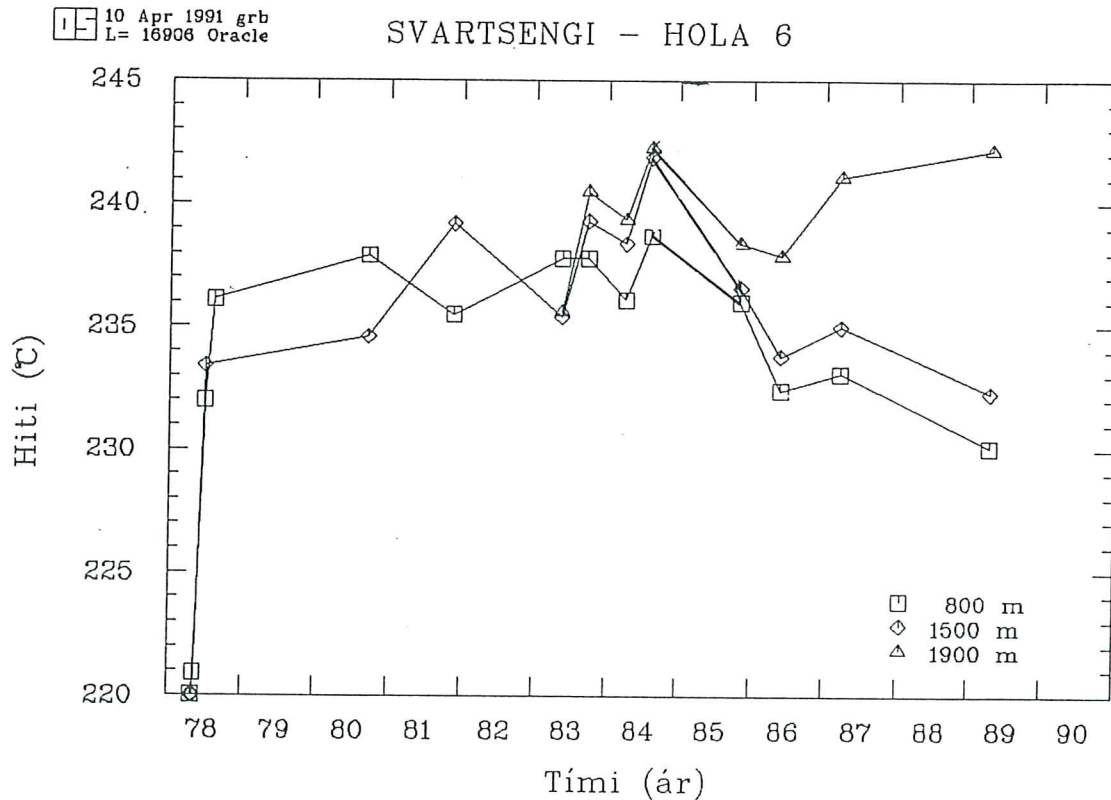
Mynd 27. Kalktappinn er kominn niður í leiðara holu SG-8 og hefur leiðarinn laskast, líklega í hreinsiborun. Myndin til hægri sýnir tilfærslu kalktappans og það dýptarbil sem þarf að hreinsa á tveggja ára fresti.²⁾



Mynd 28. Hóla SG-10 þornaði á tiltölulega skömmum tíma á útmánuðum 1984. Á fáum vikum minnkaði styrkur allra uppleystra steinefna niður í brot af venjulegu gildi, áður en vatnið hvarf með öllu. Gufan sem nú berst úr holunni er aftur á móti mjög gasrík (5%) og kemur um 90% af öllu gasi í Svartsengi úr holunni (0,9 kg/s).⁸⁾

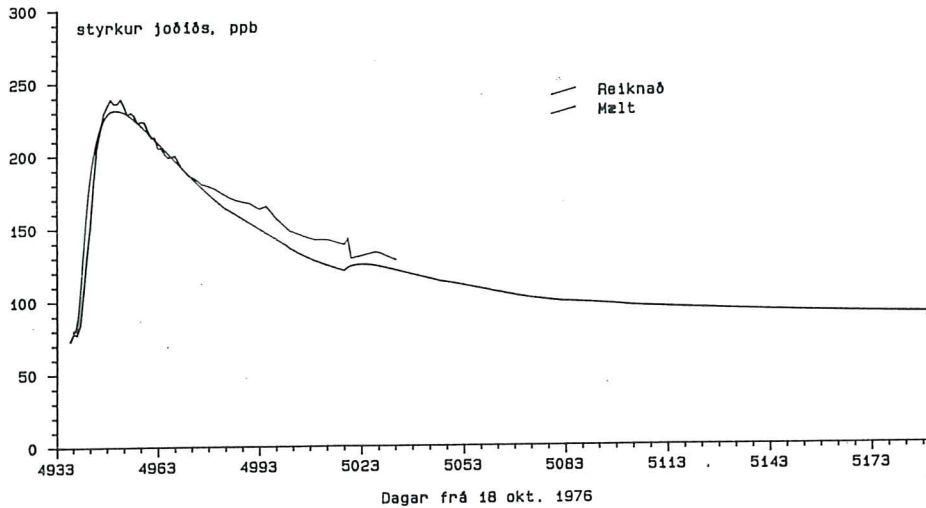


Mynd 29. Vinnsla í holum í Svartsengi í upphafi niðurdælingartilraunar í apríl 1990. Örvanar sýna straumstefnuna og flæði. ⁷⁾



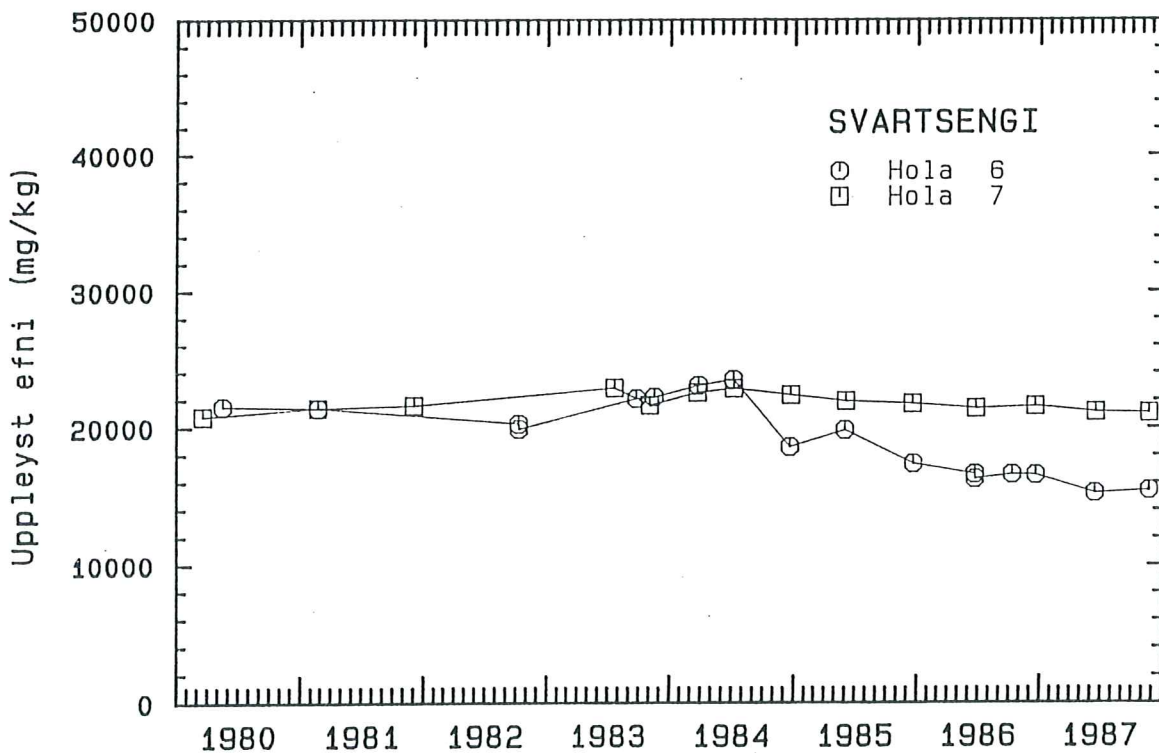
Mynd 30. Dæling á 70°C stiga heitu vatni í holu SG-12 olli 6-8 °C kólnun vatnsæðar holu SG-6. Æðin er á 1600 m dýpi og kólnar holan ofan æðarinnar frá upphafi niðurdælingarinnar árið 1984, meðan þétti kafllinn undir er jafnheitur eða lítillega hitnanadi. ²⁾

SVARTSENGI
Styrkur jóðíða í holu 6
apríl - des 1990

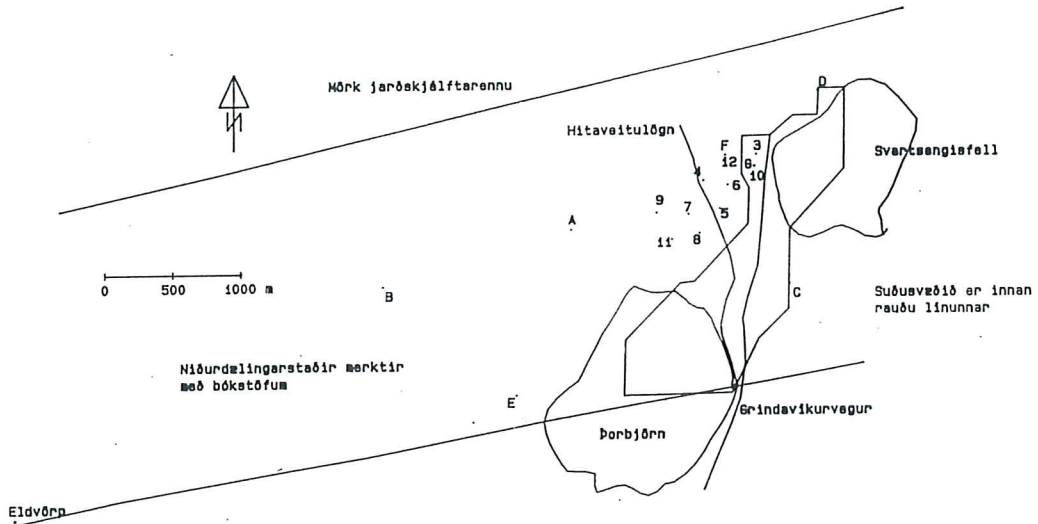


Mynd 31. Efni berast á nokkrum dögum milli hola í Svartsengi. ⁷⁾

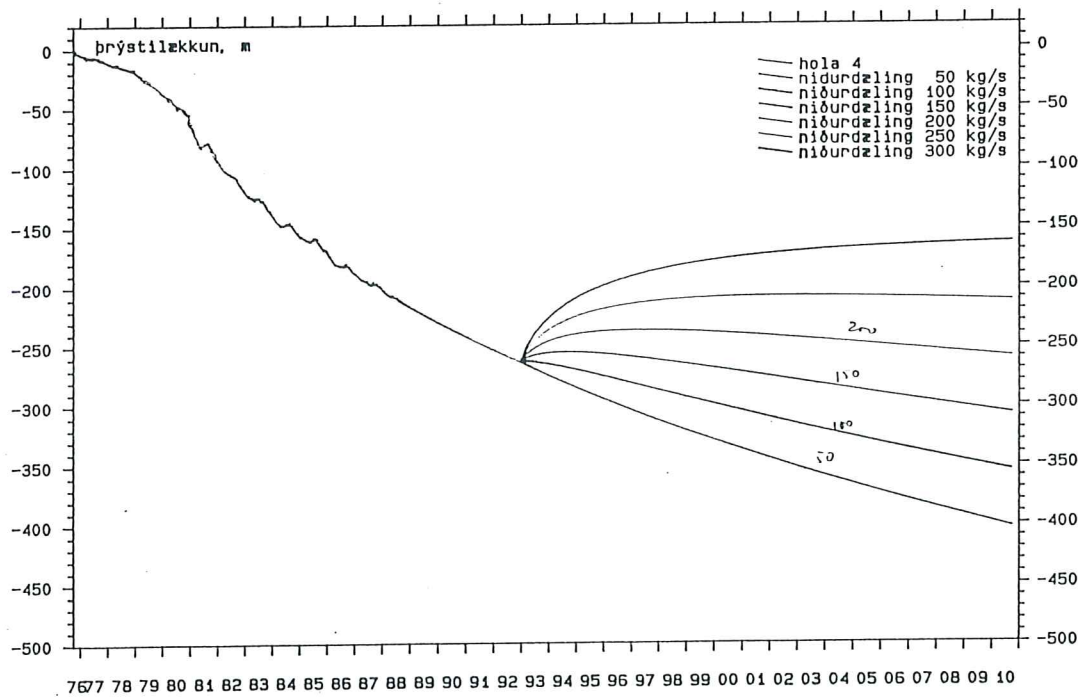
JHD·JEF·2300·JOB
88.03.0181 T



Mynd 32. Styrkur uppléstra efna í vökva úr holu SG-6 minnkaði efri að niðurdæling ferskvatns í holu 12 hófst. Þynningarhrif ferskvatnsins eru greininleg, einkum þegar hafður er samanburður við holu 7. ⁸⁾



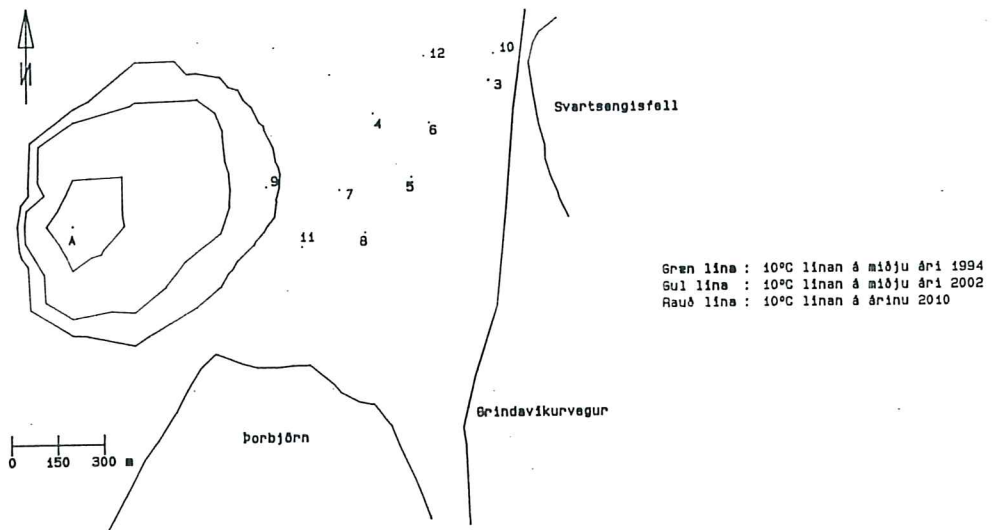
Mynd 33. Hugsanlegir staðir til niðurdælingar í framtíðinni sem líkanreikningar voru gerðir fyrir. ⁹⁾



Mynd 34. Óbreytt vatnsborð krefst 200 kg/s niðurdælingar. ⁹⁾

SVARTSENGI

Reiknuð færsla 10°C kólnunar
linunnar vegna 200 kg/s niður-
dælingar af 70°C vatni á stað A



Mynd 35. Árið 2010 er 10°C kólnunar farið að gæta á vinnslusvæðinu í Svartsengi. ⁹⁾

HEIMILDIR

1. Lúðvík S. Georgsson og Helga Tuliníus 1983: *Viðnámsmælingar á utanverðum Reykjanesskaga 1981 og 1982*. Orkustofnun, OS-83049/JHD-09, 70 s.
2. Grímur Björnsson og Benedikt Steingrímsson, 1991: *Hiti og þrýstingur í jarðhitakerfinu í Svartsengi. Upphafsstand, vinnslubreytingar og áhrif þeirra á borholur*. Orkustofnun, í útgáfu.
3. Upplýsingar lesnar úr Oracle gagnasafnskerfi Orkustofnunar.
4. Haukur Jóhannesson 1989: *Jarðfræði Reykjanesskaga Í: Náttúrufar á Sunnanverðum Reykjanesskaga*, ritstjóri Kristbjörn Eyjólfsson.
5. Hjalti Fransson 1990: *Svartsengi - Jarðfræðilíkan af háhitakerfi og umhverfi þess*. Orkustofnun, OS-90050/JHD-08.
6. Vatnaskil 1989: *Svartsengi - Vinnslueftirlit júlí 1988 - júlí 1989*. Verkfræðistofan Vatnaskil/Orkustofnun, OS-89062/JHD-09.
7. Vatnaskil 1991: *Niðurdælingartilraun í Svartsengi 1990*. Verkfræðistofan Vatnaskil/Orkustofnun, í útgáfu.
8. Jón Örn Bjarnason 1988: *Svartsengi - Efnaeftirlit 1980 - 1987*. Orkustofnun, OS-88001/JHD-01
9. Vatnaskil 1989: *Svartsengi - Reiknilíkan af jarðhitakerfinu*. Verkfræðistofan Vatnaskil/Orkustofnun, OS-89031/JHD-05.