



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

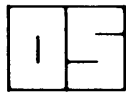
Guðni Axelsson

JARÐHITASVÆÐIÐ AÐ HAMRI Í SVARFAÐARDAL

Um afköst vinnsluhola Hitaveitu Dalvíkur

OS-88053/JHD-11
Reykjavík, nóvember 1988

Unnið fyrir
Hitaveitu Dalvíkur



ORKUSTOFNUN

Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Guðni Axelsson

JARÐHITASVÆÐIÐ AÐ HAMRI Í SVARFAÐARDAL

Um afköst vinnsluhola Hitaveitu Dalvíkur

OS-88053/JHD-11

Reykjavík, nóvember 1988

**Unnið fyrir
Hitaveitu Dalvíkur**

ÁGRIP

Árið 1988 var gerð forðafraeðileg athugun á jarðhitakerfinu að Hamri í Svarfaðardal, sem Hitaveita Dalvíkur nýtir. Tilgangur athugunarinnar var annars vegar að meta afköst nýrrar vinnsluholu, holu 11, og tengsl hennar við jarðhitakerfið. Í þeim tilgangi var gerð nákvæm prófun á viðbrögðum jarðhitakerfisins dagana 16. - 24. júlí 1988. Hins vegar var tilgangurinn að endurskoða eldri niðurdráttarspár í ljósi breytts söluþyrirkomulags og tilkomu holu 11.

Ársmeðalvinnsla að Hamri hefur minnkað úr um 41 l/s í um 27 l/s, eða um 34 %, eftir að farið var að selja heita vatnið samkvæmt magnmælum í stað hemla. Samfara minnkandi notkun hefur vatnsborð í jarðhitakerfinu hækkað um 7 m.

Með einföldu þriggja geyma þjöppuðu líkani hefur tekist að herma þrýstiviðbrögð jarðhitakerfisins að Hamri nokkuð nákvæmlega. Vatnsleiðni eða lekt er góð í innsta hluta kerfisins, þ.e. á núverandi vinnslusvæði og nánasta umhverfi þess, en jarðhitakerfið virðist lítið og aðstreymi að því takmarkað, og svo virðist sem það sé í tengslum við grunnvatnskerfið á svæðinu. Náttúrulegt varmafl kerfisins virðist mjög lítið samanborið við núverandi vinnslu. Vegna þess er hætta á því að kaldara vatn sé nú þegar tekið að streyma inn í jarðhitakerfið og að vatn úr vinnsluholunum muni fara kólnandi einhverju tímann í framtíðinni. Hvenær það verður er ekki hægt að segja að svo stöddu með neinni vissu.

Iðustreymistap er um helmingi minna í holu 11 en í holu 10. Hóla 11 er því hagkvæmari vinnsluhóla. Ekki er þó við því að búast að hún gefi verulega viðbót við það sem hóla 10 gefur. Ársmeðalvinnsla getur sennilega numið um 31 - 32 l/s næstu 20 árin án þess að síkka þurfi dælu í holu 11. Ef vinnslan verður aukin í 35 - 40 l/s þarf væntanlega að síkka dælu í holunni eftir um 10 - 15 ár. Ef dæla er síkkuð í 100 m má væntanlega dæla allt að 60 - 65 l/s að meðaltali úr holu 11.

Lögð er áhersla á að hitaveitan haldi áfram því góða vinnslueftirliti, sem hún hefur stundað síðastliðin sjö ár. Afar mikilvægt er að fylgst verði vel með hitastigi vatnsins og efnainnihaldi þess, en oft má sjá fyrirboða kólnunar í breytingum á efnainnihaldi vatnsins.

EFNISYFIRLIT

ÁGRIP	2
EFNISYFIRLIT	3
TÖFLUSKRÁ	3
MYNDASKRÁ	4
1. INNGANGUR	5
2. MÆLINGAR Í JÚLÍ 1988	6
3. ÚRVINNSLA MÆLINGA FRÁ JÚLÍ 1988	12
3.1 Þjöppuð líkön	12
3.2 Gögn úr holu 2	13
3.3 Gögn úr holu 10	13
3.4 Gögn úr holu 11	14
3.5 Gerð og eðli jarðhitakerfisins	14
3.6 Áhrif dælingar úr holu 9	16
4. VINNSLUSAGA TIL OKTÓBER 1988	25
4.1 Gögnin	25
4.2 Líkanið	25
4.3 Einingarniðurdráttur	26
5. VATNSBORÐSSPÁR	34
6. HELSTU NIÐURSTÖÐUR	37
HEIMILDASKRÁ	38

TÖFLUSKRÁ

1. Holur að Hamri notaðar í prófun í júlí 1988	7
2. Eiginleikar þjappaðra líkana sem byggð eru á vatnsborði holu 2	17
3. Áætlaðar stærðir geyma í þjöppuðum líkönum	17
4. Mánaðarmeðalvinnsla áætluð út frá vatnsborði í holu 2	28
5. Áætluð ársmeðalvinnsla að Hamri fram til 1981	28
6. Ársmeðalvinnsla að Hamri frá 1982	28
7. Eiginleikar þjappaðs líkans af jarðhitakerfinu að Hamri	28
8. Áætlaðar stærðir geyma í þjappaða líkaninu	28

MYNDASKRÁ

1. Afstöðumynd af vinnslusvæði Hitaveitu Dalvíkur við Hamar í Svarfaðardal	7
2. Dæling úr holum 10 og 11	8
3. Vatnsborð holu 2	8
4. Vatnsborð holu 4	9
5. Vatnsborð holu 5	9
6. Vatnsborð holu 7	10
7. Vatnsborð holu 10	10
8. Vatnsborð holu 11	11
9. Viðbrögð Hamarssvæðis við dælingu úr holu 9	11
10. Almennt þjappað líkan	18
11. Mæld og reiknuð viðbrögð holu 2 vegna vinnslu úr holu 10	18
12. Mæld og reiknuð viðbrögð holu 2 vegna vinnslu úr holu 11	19
13. Einingarniðurdráttur holu 2	19
14. Einingarniðurdráttur holu 2, lógaritmískur tímaskali	20
15. Mælt og reiknað vatnsborð holu 10	20
16. Mælt og reiknað vatnsborð holu 11	21
17. Iðustreymistap í vinnsluholum	21
18. Einingarniðurdráttur holu 2 og reiknuð viðbrögð einfaldra líkana	22
19. Vatnsborðsbreytingar í holum 2, 5 og 11	22
20. Vatnsborðsbreytingar í holum 2 og 5	23
21. Mæld og reiknuð viðbrögð hola 2 og 5 við vinnslu úr holu 9	23
22. Mæld og reiknuð viðbrögð holu 2 við vinnslu úr holu 9	24
23. Viðbrögð hola 10 og 11 við vinnslu úr holu 9	24
24. Vinnslugögn frá Hamri í Svarfaðardal	29
25. Samanburður á vatnsborði í holum 2 og 11	29
26. Vatnsborð holu 2 reiknað skv. líkani frá 1986	30
27. Þjappað líkan af jarðhitakerfinu	30
28. Mælt og reiknað vatnsborð holu 2	31
29. Áhrif breytts sölufyrirkomulags á jarðhitasvæðið	31
30. Einingarniðurdráttur holu 2	32
31. Einingarniðurdráttur holu 2, lógaritmískur tímaskali	32
32. Einingarniðurdráttur holu 2, skv. prófun og vinnslusögu	33
33. Einingarniðurdráttur holu 2 og reiknuð viðbrögð hálfúmslíkans	33
34. Vatnsborðsspá fyrir holu 10	36
35. Vatnsborðsspá fyrir holu 11	36

1. INNGANGUR

Hitaveita Dalvíkur hefur starfað frá því í lok árs 1969. Veitan nýtir jarðhitasvæðið að Hamri í Svarfaðardal og þar hafa nú verið boraðar 11 holur. Frá því árið 1977 og fram á mitt ár 1988 var hola 10 aðalvinnsluhola hitaveitunnar, en sumarið 1987 var boruð ný vinnsluhola við Hamar, hola 11.

Jarðhitasvæðið að Hamri hefur verið frekar lítið rannsakað, ef undan eru skilin fyrstu ár veitunnar og nú allra síðustu árin. Á vegum Orkustofnunar hafa komið út 5 skýrslur um svæðið. Þar er um að ræða skýrslur um jarðfræðirannsóknir á svæðinu (Kristján Sæmundsson, 1970), dæluþrófanir á nokkrum borholanna (Þorsteinn Thorsteinsson og fl., 1972), borholumælingar (Valgarður Stefánsson og Kristján Sæmundsson, 1975), úttekt á jarðhitasvæðinu (Ragna Karlsdóttir og Guðni Axelsson, 1986) og að lokum skýrsla um borun holu 11 (Ragna Karlsdóttir og fl., 1988). Í skýrslunni um úttekt á svæðinu er fjallað um viðnámsniðsmælingar, sem gerðar voru til þess að freista þess að finna uppstreymisrás heita vatnsins, og vatnafræðilega úttekt á vinnslusögu svæðisins, sem gerð var til þess að meta vinnslugetu þess. Samkvæmt þeirri skýrslu ætti vinnslugeta svæðisins að vera um 60 l/s að jafnaði næstu 20 árin miðað við minna en 100 m niðurdrátt. Hola 11 var staðsett með hliðsjón af niðurstöðum viðnámsniðsmælinganna. Einnig hafa um 8 sýni verið tekin til efnagreininga á vatni úr holu 10 á þeim 11 árum sem hún hefur verið nýtt (sjá m.a. Magnús Ólafsson, 1988).

Skýrsla þessi fjallar um niðurstöður forðafræðilegrar athugunar á jarðhitakerfinu að Hamri samkvæmt samningi milli Hitaveitu Dalvíkur og Orkustofnunar. Tildrög þessarar athugunar voru annars vegar tilkoma nýju vinnsluholunnar, holu 11, og hins vegar þau að á fyrri hluta árs 1986 var tekið upp breytt sölufyrirkomulag og er nú allt heitt vatn selt samkvæmt magnmælum, en var áður selt samkvæmt hemlum. Afköst holu 11 voru aðeins prófuð lítillega við lok borunar, en þó virtist sem holan væri enginn eftirbátur holu 10. Tilgangur þessarar athugunar var því tvíþættur:

- Annars vegar að meta afköst holu 11 og þá sérstaklega hvort holan gefur einhverja viðbót við það sem hola 10 gefur. Einnig að kanna tengsl holu 11 við jarðhitakerfið.
- Hins vegar að endurskoða eldri spá um langtíma viðbrögð kerfisins (Ragna Karlsdóttir og Guðni Axelsson, 1986) í ljósi breyttra aðstæðna, þ.e. vegna breytts sölufyrirkomulags og vegna tilkomu holu 11.

Framkvæmd athugunarinnar var á þann veg að í fyrsta lagi voru gerðar nokkrar prófanir á jarðhitasvæðinu á tímabilinu 16. - 24. júlí 1988 ásamt nákvæmum mælingum á viðbrögðum þess. Síðan var unnið úr gögnum, sem þá var safnað. Í öðru lagi var unnið úr vatnsborðsgögnum úr holu 2, sem safnað hafði verið á tímabilinu janúar 1986 til október 1988. Í tengslum við það að dæla var sett í holu 11 og dælubúnaði breytt í holu 10 voru auk þess gerðar ýmsar borholumælingar í báðum holunum. Þeim mælingum hefur verið lýst annars staðar (Guðjón Guðmundsson, 1988).

Hér á eftir verður fjallað um þessa forðafræðilegu athugun og einfalda úrvinnslu þeirra gagna, sem safnað var. Í júlí 1988 var safnað mjög miklu af gögnum, en á þeim tíma, sem ætlaður var í verkið, var aðeins hægt að vinna úr þeim að hluta. Úrvinnslan nægir þó til þess að gefa nokkuð góða mynd af þrýstiviðbrögðum kerfisins við vinnslu úr holum 10 og 11, og til þess að gefa nokkrar upplýsingar um vatnafræðilega eiginleika jarðhitakerfisins. Hún nægir á hinn bóginn ekki til þess að gefa upplýsingar um smáatriði í innviðum kerfisins. Úrvinnslan nægir einnig til þess að spá allnákvæmlega vatnsborðsbreytingum á svæðinu í nánustu framtíð, en ekki til þess að segja fyrir um breytingar á efnainnihaldi og/eða hitastigi.

Í kafla 2 er fjallað nánar um prófunina í júlí 1988 og gögnin sem safnað var birt. Í kafla 3 er fjallað um úrvinnslu gagnanna. Í kafla 4 er síðan fjallað um athugun á vinnslusögu síðustu ára. Að síðustu verða svo í kafla 5 settar fram vatnsborðsspár fyrir vinnsluholurnar tvær.

2. MÆLINGAR Í JÚLÍ 1988

Eins og áður segir var gerð prófun á viðbrögðum jarðhitakerfisins að Hamri dagana 16. til 24. júlí 1988. Prófunin fór þannig fram að fylgst var með breytingum á vatnsborði í flestum borholum á svæðinu við mismikla dælingu, bæði úr holu 10 og holu 11. Mynd 1 sýnir afstöðu borhola á svæðinu, en í töflu 1 eru nánari upplýsingar um þær holur sem mælt var í. Til aðstoðar skýrsluhöfundu við prófunina var Guðmundur Árnason hitaveitustjóri.

Prófunin var í sjö hlutum, en dagana fyrir prófunina hafði verið dælt um 14 l/s að jafnaði úr holu 10. Í fyrsta hlutanum, sem stóð frá kl 16:05 þann 16. til kl 13:32 þann 18., var dælt um 49 l/s úr holu 10. Síðan var dælingunni breytt og í öðrum hlutanum, sem stóð til kl 9:36 þann 20., var dælt um 18,5 l/s úr holu 10. Þá var dælingu hætt og í þriðja hlutanum, sem stóð til kl 13:02 sama dag, var engu vatni dælt úr jarðhitakerfinu. Fjórdi hlutinn stóð frá kl 13:02 þann 20. til kl 13:14 þann 22. og var þá dælt um 48 l/s úr holu 11. Þá var dælingunni breytt á ný og í fimmta hlutanum, sem stóð til kl 16:05 þann 23. var dælt um 18 l/s úr holu 11. Í sjötta hlutanum var dælingu hætt í um 3 1/2 klst. og stóð sá hluti til kl 19:39. Í sjöunda og síðasta hluta prófunarinnar, eða frá kl 9:55 til kl 17:12 þann 24., var dælt um 21 l/s úr holu 9.

Meðan á prófuninni stóð var vatnsborð í holu 2 mælt samfelld með síritandi vatnsborðsmæli. Vatnsborð í holum 4, 5, 6, 7 og 10 var mælt af og til með rúllumælum. Í holu 11 var vatnsborð mælt þannig að köfnunarefni var blásið eftir loftröri niður á um 45 m dýpi og var dýpi á vatnsborð síðan áætlað útfrá þrýstingi á köfnunarefninu. Dæling úr holum 10 og 11 var einnig mæld reglulega, en rennismælur eru á lögnum frá báðum holunum. Einnig er rennismælir á lögnum til Dalvíkur. Dæling úr holu 9 var að nokkru leyti byggð á þeim mæli og að nokkru leyti áætluð.

Gögn úr prófuninni eru birt á myndum 2 til 9 hér á eftir. Myndir 2 til 8 sýna fyrstu sex

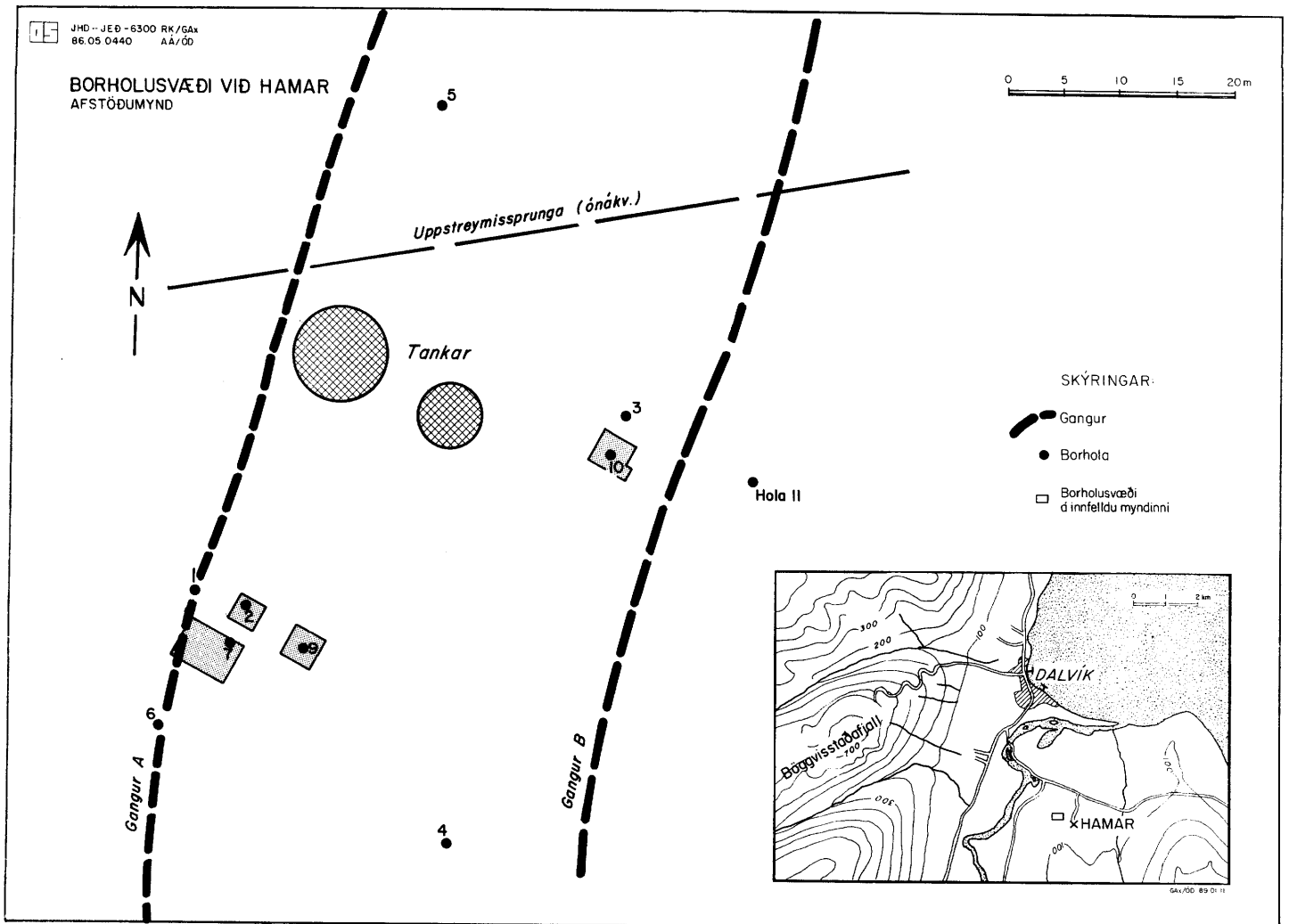
hluta prófunarinnar er holur 10 og 11 voru í vinnslu. Mynd 2 sýnir vinnslu úr holum 10 og 11 og myndir 3 til 8 sýna vatnsborð í holum 2, 4, 5, 7, 10 og 11. Vatnsborð í holu 6 breyttist lítið það tímabil er prófunin stóð yfir og ekki í samræmi við vinnslu úr kerfinu. Ekki verður því fjallað frekar um gögnin úr holu 6 hér. Að síðustu sýnir mynd 9 þau gögn er safnað var síðasta hluta prófunarinnar er hola 9 var í vinnslu.

Ef gögnin fyrir holur 2, 4, 5 og 7 eru skoðuð, að síðasta hluta prófunarinnar undanskildum, sést að sáralítill munur er á vatnsborðsbreytingum í þessum holum. Þó má greina að vatnsborðsbreytingarnar í holu 5 séu örlítið hægari en í hinum holunum. Af þessum sökum verður fyrst og fremst stuðst við mælingarnar úr holu 2 í þeirri túlkun, sem lýst verður hér að neðan. Að sjálfsögðu verður einnig stuðst við vatnsborðsmælingar úr holum 10 og 11.

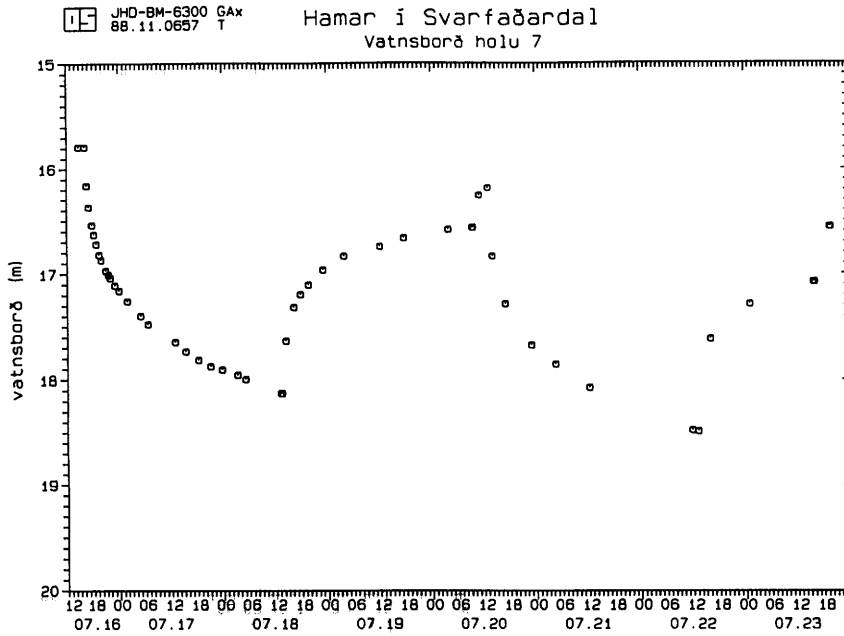
Af ýmsum ástæðum eru mælingar úr holum 10 og 11 þó ekki eins nákvæmar og mælingar úr hinum holunum. Í fyrsta lagi er vatnsborð í vinnsluholum mun næmara fyrir minnstu truflunum í dælingu en vatnsborð í mælingaholu í nokkurri fjarlægð. Í öðru lagi var vatnsborð í holu 11 mælt með köfnunarefni. Slíkar mælingar eru a.m.k. stærðargráðu ónákvæmari en mælingar með rúllumælum. Í þriðja lagi er töluverð óvissa í vatnsborðsmælingum úr holu 10 eftir að slökkt var á dælu í henni og hola 11 tók við. Stafar það af því að þá tók vatnssúlan í holunni að kólna, og dragast saman, og veldur það verulegri skekkju í vatnsborðsmælingunum. Í fjórða lagi þá var efsti hluti vatnssúlunnar í holu 11 kaldur í upphafi prófunarinnar. Þetta veldur einnig skekkju, sem þó er hægt að leiðrétta að einhverju leyti, því til er hitamæling úr holunni frá því í maí 1988 (Guðjón Guðmundsson, 1988). Samkvæmt þeirri hitamælingu má áætla að vatnsborð í holu 11 sé um 2,7 m lægra þegar hola er köld. Vatnsborðsgögnin á mynd 8 hafa verið leiðrétt um þennan mun þannig að samræmi sé á milli gagnanna þegar hola 11 er í vinnslu og þegar svo er ekki.

TAFLA 1. Holur að Hamri notaðar í prófun í júlí 1988.

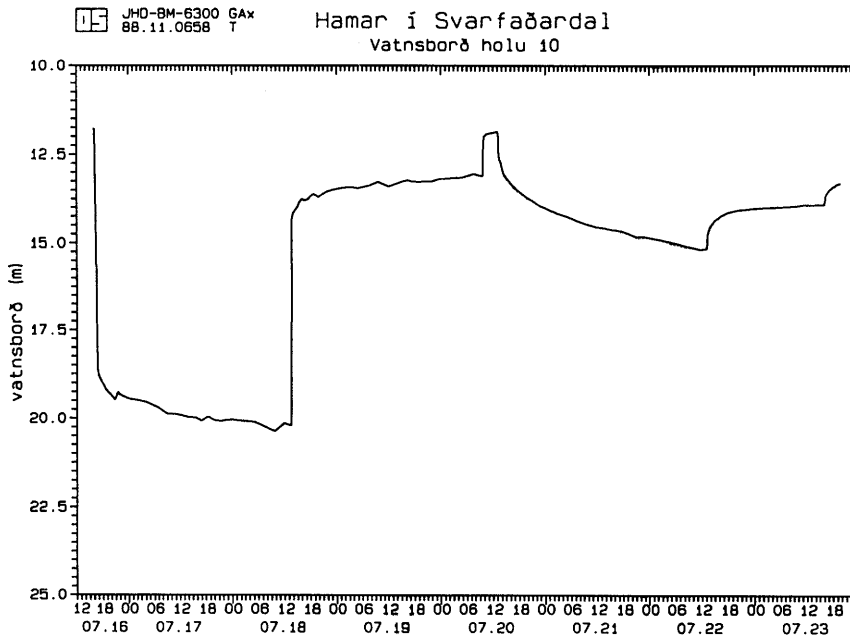
Hola	Borun lokið	Dýpi (m)	Fóðring (m)	Aðalæðar (m)	Vinnsluhola
2	01.69	300	38	186-226	1970-1975
4	06.69	303	28	205-215	nei
5	02.71	587	c.a. 5	óþekktar	nei
6	03.71	373	3	óþekktar	nei
7	07.71	302	109	óþekktar	nei
9	09.75	253	229	229-253	1975-1977
10	09.77	838	175	818	1977-1988
11	08.87	860	254	506-533	1988-



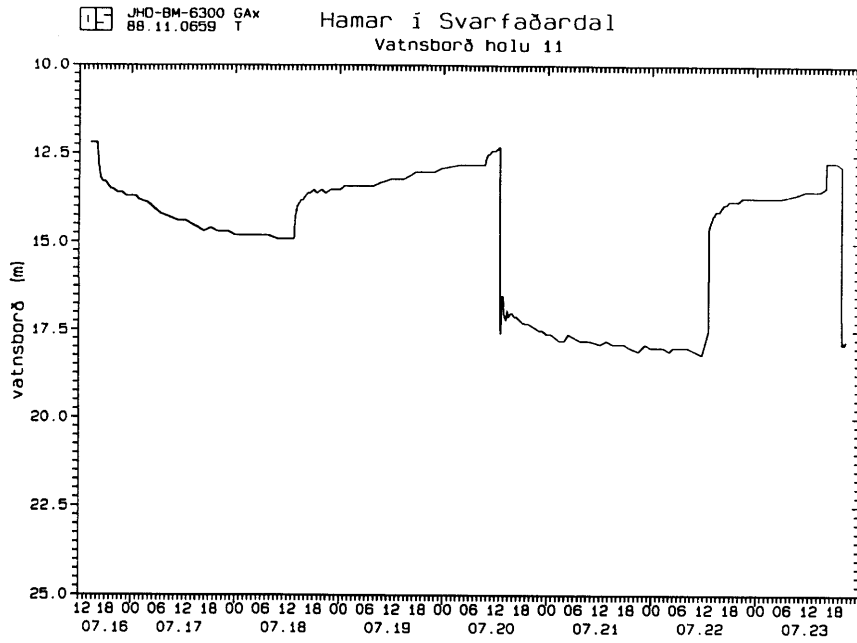
MYND 1. Afstöðumynd af vinnslusvæði Hitaveitu Dalvíkur við Hamar í Svarfaðardal



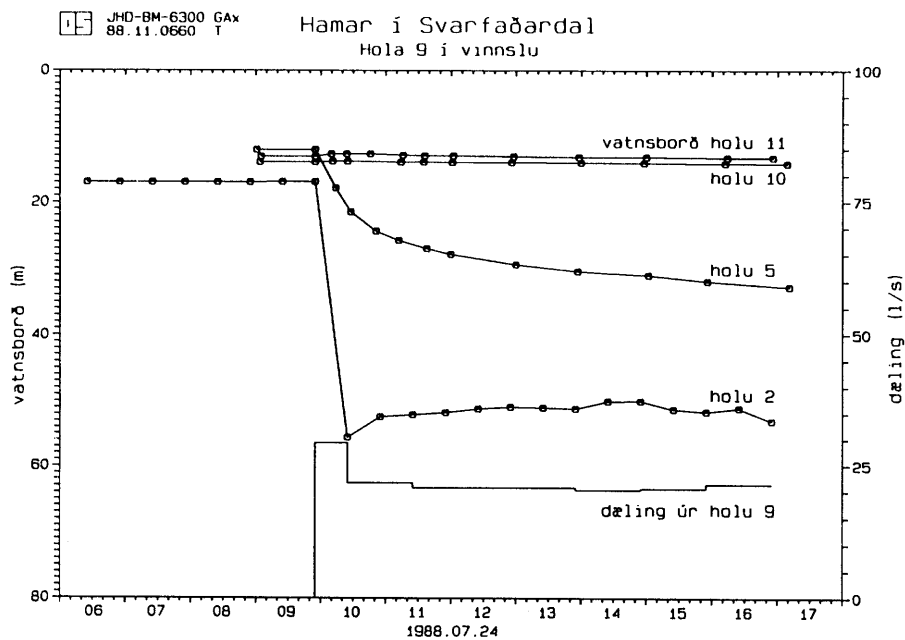
MYND 6. Vatnsborð holu 7



MYND 7. Vatnsborð holu 10



MYND 8. Vatnsborð holu 11



MYND 9. Viðbrögð Hamarssvæðis við dælingu úr holu 9

3. ÚRVINNSLA MÆLINGA FRÁ JÚLÍ 1988

Við úrvinnsla gagnanna, sem safnað var í júlí 1988, var það haft að leiðarljósi að hægt yrði að henni lokinni að svara eftirfarandi spurningum:

1. Hver er munurinn á áhrifum hola 10 og 11 á þrýstiástand (vatnsborð) í jarðhitakerfinu? Ef hola 11 tengdist óþekktum hluta þess, ættu áhrif hennar á vatnsborð í holu 2 að vera minni en áhrif holu 10.
2. Hvað má segja um vatnafræðilega eiginleika jarðhitakerfisins, t.d um stærð kerfisins, um takmörk þess og um vatnsleiðni (lekt) í því?
3. Hver er niðurdráttur í vinnsluholum, þegar þær eru í vinnslu? Niðurdráttur er meiri í vinnsluholum en í vatnsborðsholu eins og t.d. holu 2, m.a. vegna iðustreymistaps í vinnsluholum.
4. Hver er munurinn á viðbrögðum jarðhitakerfisins við vinnslu úr holu 9 annars vegar og holum 10 og 11 hins vegar og af hverju stafar sá munur?

Hér að neðan verður reynt að svara þessum spurningum, en svörin við spurningum 1 og 2 verða síðan notuð ásamt niðurstöðum úr kafla 4 til grundvallar vatnsborðsspám fyrir vinnsluholurnar tvær. Þess ber að geta að hér á eftir verður byggt á vatnsborðsbreytingum í holunum. Hæðarmunur vatnsborðs í þeim holum, sem ekki eru í vinnslu, samsvarar að miklu leyti mismunandi hæð þeirra yfir sjávarmáli.

3.1 Þjöppuð líkön

Við túlkun á viðbrögðum jarðhitakerfisins og einstakra hola voru notuð svokölluð þjöppuð líkön ("lumped models", sjá Guðna Axelsson, 1985). Líkönin voru notuð þannig að þau voru látin herma, eins nákvæmlega og hægt var, vatnsborðsbreytingar vegna vinnslu úr svæðinu. Hermireikningarnir fara þannig fram að fræðileg viðbrögð hins

þjappaða líkans eru felld sjálfvirkt með tölvu að mældum breytingum á vatnsborði í viðkomandi holu.

Þjöppuð líkön hafa verið notuð með góðum árangri við hermireikninga fyrir nokkur önnur jarðhitakerfi á Íslandi. Má þar nefna jarðhitasvæðið við Laugarnes í Reykjavík (Orkustofnun og Verkfræðistofan Vatnaskil, 1986), jarðhitasvæðið að Laugalandi í Holtum (Lúðvík S. Georgsson og fl., 1987) og jarðhitasvæðið í Skútudal við Siglufjörð (Ómar Sigurðsson og fl., 1987). Mjög fljótlegt er að nota þjöppuð líkön og má herma vatnsborðsbreytingar mjög nákvæmlega með slíkum aðferðum.

Þjöppuð líkön eru gagnleg þegar einungis þrýstiviðbrögð (niðurdráttur) kerfis við vinnslu eru til athugunar og aðeins er byggt á vatnsborðsgögnum úr einni holu eða í mesta lagi örfáum holum. Þjöppuð líkön nýtast illa ef túlka á vatnsborðsgögn úr mörgum holum og eins ef jarðhitakerfi er í tengslum við önnur jarðhitakerfi, sem nýtt eru. Þjöppuð líkön, eins og hér eru notuð, nýtast ekki ef túlka á eða spá breytingum á efnainnihaldi eða hitastigi.

Þjappað líkan er byggt upp af nokkrum vatnsgeymum, sem eru innbyrðis tengdir með viðnámmum, og er almennt þjappað líkan sýnt á mynd 10. Í stuttu máli líkja geymarnir eftir vatnsrýmd vatnskerfis og er rýmd (κ) geymis skilgreind þannig að geymir svarar viðbótarmassa Δm með þrýstibreytingu $\Delta p = \Delta m / \kappa$. Viðnámin líkja eftir straumviðnámi eða vatnsleiðni (lekt) kerfis og er leiðni þeirra (σ) skilgreind þannig að ef massastraumur um leiðarann er q þá verður þrýstifallið $\Delta p = q / \sigma$ yfir hann. Rýmd vatnskerfis stjórnar því hve mikið vatn fæst úr kerfinu við ákveðna þrýstibreytingu (sbr. hugtakið geymslu-stuðul) og þá að nokkru leyti því hve hratt þrýstingsbreytingar verða í vatnskerfinu við vinnslu. Ef rýmd er mikil þá er kerfið gjöfult og þrýstibreytingar í því hægar. Leiðnin (lektin) stjórnar því hve greiðlega vatn streymir um kerfið og þá hve miklar þrýstibreytingarnar verða í því við vinnslu. Ef lekt kerfis er mikil þá getur vatnsstreymi

verið mikið en þrýstibreytingar samfara því litlar.

Ekki er hægt að segja að til hvers og eins af geymunum á mynd 10 svari tiltekin jarðfræðilega afmörkuð svæði. Líta ber á geymana og viðnámin sem líkan sem bregst eins við og jarðhitakerfið við vinnslu. Þó má líta svo á að fyrsti geymirinn (κ_1) sé hliðstæður þeim hluta jarðhitakerfisins, sem er nánasta umhverfi borholanna, eða innsta kjarna þess. Vatni er dælt úr geymi 1 og hermir þrýstingur í þeim geymi þrýsting í vatnsborðsholu á viðkomandi jarðhitasvæði. Einnig má líta svo á að annar geymirinn svari til hluta jarðhitakerfisins sem er utan við og dýpri en nánasta umhverfi holanna og að sá þriðji svari til hluta kerfisins sem er enn utar og dýpra. Þriðji geymirinn er síðan í tengslum við þá hluta kerfisins, sem verða fyrir áhrifum við langtímavinnslu (sjá kafla 4).

3.2 Gögn úr holu 2

Eins og áður segir var aðallega stuðst við gögnin úr holu 2 í túlkun á viðbrögðum jarðhitakerfisins. Á mynd 11 eru sýnd mæld og reiknuð viðbrögð holu 2 við vinnslu úr holu 10, en á mynd 12 eru mæld og reiknuð viðbrögð við vinnslu úr holu 11 sýnd. Hér eru notuð klukkustundar meðaltöl og vatnsborðshæð í lok hverrar klukkustundar. Hin reiknuðu viðbrögð eru viðbrögð tveggja þjappaðra líkana. Annað er líkan af þeim hluta jarðhitakerfisins, sem svarar vinnslu úr holu 10 þann tíma sem prófunin stóð yfir, en hitt er samsvarandi líkan fyrir holu 11. Í töflu 3 er skrá yfir eiginleika þessara líkana, sem fela í sér upplýsingar um eiginleika jarðhitakerfisins. Nánar verður fjallað um eðli kerfisins í kafla 3.5 hér á eftir.

Ef gögnin úr holu 2 eru skoðuð (mynd 3) sést að ekki er mjög mikill munur á vatnsborðsbreytingum vegna vinnslu úr holu 10 annars vegar og vegna vinnslu úr holu 11 hins vegar. En til þess að skoða þetta atriði betur eru þjöppuðu líkönin tvö notuð til þess að reikna svokallaðan einingarniðurdrátt fyrir holu 2 vegna dælingar úr hvorri holu fyrir sig. Einingarniðurdráttur er

einfaldlega viðbrögð kerfis við stöðugri dælingu á einni massa- eða rúmmálseiningu á tímaeiningu, t.d. einu kg/s. Þannig hverfa áhrif breytilegrar dælingar og einnig áhrif þess að dælingunni var ekki háttáð á nákvæmlega sama hátt úr báðum holunum. Niðurstöðurnar eru síðan birtar á myndum 13 og 14 í lok kaflans, og er mynd 14 með lógaritmískum tímaskala.

Á þessum myndum sést að munurinn er eins og áður sagði lítill, eða um 10%. Hann stafar væntanlega af því að vinnsla úr holu 11 hefur að einhverju leyti áhrif á annan hluta kerfisins en vinnsla úr holu 10. Er hér sennilega um austari hluta svæðisins að ræða. En þegar dælingu er haldið áfram til lengri tíma ná áhrif hvorrar holu fyrir sig væntanlega smátt og smátt yfir sama hluta kerfisins. Þannig má búast við að munurinn á áhrifum þessara tveggja hola hverfi við langtímadælingu. Þessar niðurstöður sýna að ef hola 11 tengist áður ónýttum eða óþekktum hluta jarðhitakerfisins þá er það aðeins að óverulegu leyti.

3.3 Gögn úr holu 10

Þegar vatni er dælt úr vinnsluholu þá er niðurdráttur í holunni yfirleitt töluvert meiri en niðurdráttur í jarðhitakerfinu utan hennar. Er þetta vegna þrýstifalls sem verður vegna iðustreymis í vinnsluholunni, og e.t.v allra næst henni, og oft er nefnt iðustreymistap. Þetta þrýstifall (niðurdráttur) er ekki línulega háð dælingu eins og þrýstifallið í jarðhitakerfinu, en má nálga með jöfnunni

$$(1) \quad \Delta p = C Q^2,$$

þar sem Δp er iðustreymistapið og Q dælingin. Á hinn bóginn kemur þetta iðustreymistap yfirleitt fram strax og dæling hefst eða breytist, en þrýstifallið í jarðhitakerfinu breytist smátt og smátt með tíma. Því þarf til viðbótar við upplýsingar um breytingar á vatnsborði í jarðhitakerfinu (hola 2) með tíma að meta hve mikið iðustreymistapið er í vinnsluholunum (holum 10 og 11), svo hægt sé að spá fyrir um dýpi á vatnsborði í vinnslu.

Á mynd 7 sést vel að niðurdráttur er töluvert meiri í holu 10, þegar hún er í vinnslu, en í öðrum holum á svæðinu. Er það vegna áður nefnds iðustreymistaps, sem er reiknað á eftirfarandi máta: Niðurdráttur í holu 10, að frátöldu iðustreymistapinu, er reiknaður með þjöppuðu líkani og síðan er iðustreymistapi samkvæmt jöfnu (1) bætt við þann niðurdrátt. Stuðullinn C er síðan áætlaður þannig að frávik milli mældra og reiknaðra gilda sé í lágmarki. Þó er miðað við að niðurdrátturinn, að frátöldu iðustreymistapinu, sé ekki minni en niðurdrátturinn í kerfinu (hola 2). Minnst frávik fékkst ef $C = 0,0027 \text{ m}/(1/\text{s})^2$ var notað og eru mældar og reiknaðar niðurstöður sýndar á mynd 15. Mynd 17 sýnir svo reiknaðan niðurdrátt í holu 10 vegna þessa iðustreymistaps.

3.4 Gögn úr holu 11

Ef vatnsborðsgögnin úr holu 11 eru skoðuð (mynd 8) sést að niðurdráttur er einnig töluvert meiri þegar hún er í vinnslu, en í öðrum holum á svæðinu. Þó er niðurdrátturinn nokkru minni en niðurdráttur í holu 10 við sambærilega vinnslu. Iðustreymistap er því minna í holu 11 en í holu 10 og er það væntanlega vegna þess að hola 11 er nokkru víðari, og einnig eru aðalæðar grynna í holu 11 en í holu 10.

Iðustreymistapið í holu 11 var áætlað á sama hátt og í holu 10. Minnst frávik fékkst ef $C = 0,0015 \text{ m}/(1/\text{s})^2$ var notað og eru mældar og reiknaðar niðurstöður sýndar á mynd 16. Mynd 17 sýnir síðan reiknaðan niðurdrátt í holu 11 vegna iðustreymistapsins.

3.5 Gerð og eðli jarðhitakerfisins

Nú verður fjallað lítillega um gerð og eðli jarðhitakerfisins út frá þeim niðurstöðum, sem fjallað hefur verið um hér að framan. En eins og áður segir þá var úrvinnslan takmörkuð af þeim tíma sem ætlaður var í þessa forðafræðilegu athugun. Í kafla 4 hér á eftir verður einnig fjallað nokkuð um gerð og eðli jarðhitakerfisins.

Ef einingarniðurdráttur jarðhitakerfisins (skv. holu 2), vegna dælingar úr holum 10 og 11, er skoðaður má sjá að áhrifa einhverra takmarka gætir fljótt (myndir 13 og 14). Til þess að kanna þetta atriði nánar, og til þess að áætla lekt í jarðhitakerfinu, var reynt að fella viðbrögð tveggja mjög einfaldra vatnafræðilegra líkana að einingarniðurdrættinum. Eins og áður segir stjórnar lekt því hve greiðlega vatn streymir um kerfi. Annars vegar var um að ræða líkan af einsleitu (homogeneous), einsátta (isotropic) óendanlegu hálfúmi lokuðu fyrir vatnsstreymi við yfirborð. Það líkan er því ótakmarkað. Hins vegar var um að ræða líkan af einsleitri, einsátta, lóðréttri rennu lokaðri fyrir vatnsstreymi um hliðar og yfirborð. Rennulíkan hermir tvívítt vatnsstreymi t.d. í ganga- eða sprungusveim eða milli tveggja ganga. Ætti það líkan að vera í nokkru samræmi við jarðfræðilegar aðstæður í jarðhitakerfinu að Hamri.

Niðurstöður reikninga fyrir einingarniðurdrátt vegna holu 11 eru sýndar á mynd 18. Þar sést að einungis var hægt að fella viðbrögð hálfúmslíkansins að fyrstu 18 klukkustundunum. Er það vegna þess að ekki er gert ráð fyrir neinum takmörkunum í því líkani eða minnkandi lekt er fjær dregur miðju kerfis. Eiginleikar hálfúmslíkansins gefa okkur þó hugmynd um eiginleika innsta hluta jarðhitakerfisins. Eiginleikar líkansins eru:

$$k = 0,27 \times 10^{-12} \text{ m}^2$$

$$c_t = 5,1 \times 10^{-11} \text{ Pa}^{-1},$$

þar sem k er lekt líkansins, en c_t þjappanleiki bergs og vatns í kerfinu. Þjappanleikinn er í samræmi við poruhluta $\phi = 0,06$. Poruhluti er hlutfall holrýmis af heildarrúmmáli bergsins. Hér er um mjög mikla lekt að ræða, en hafa verður í huga að lektin á aðeins við um innsta hluta kerfisins. Matið á poruhlutanum er ekki ósennilegt.

Viðbrögð rennulíkansins falla betur að einingarniðurdrættinum. Þó var aðeins hægt að fella þau viðbrögð að fyrstu 30 klst. Enn frekari takmörk eru því í jarðhitakerfinu en gert er ráð fyrir í rennulíkaninu. Eiginleikar

rennulíkansins eru:

$$bk = 610 \times 10^{-12} \text{ m}^3$$

$$bc_t = 1,9 \times 10^{-8} \text{ mPa}^{-1},$$

þar sem b er breidd rennunnar og aðrar skilgreiningar eins og áður. Ef gengið er út frá því að poruhlutinn sé $\phi = 0,06$ eins og hálfrúmslíkanið gaf, þá fæst að breidd rennunnar sé tæpir 400 m. Lágviðnáms svæðið að Hamri er einnig um 400 m að breidd (Ragna Karlsdóttir og Guðni Axelsson, 1986). Hér er því um mjög gott samræmi að ræða.

Ekki var hægt að fella viðbrögð hálfrúmslíkansins með góðu móti að einingarniðurdrætti vegna holu 10. Á hinn bóginn fékkst að eiginleikar rennulíkans, sem einnig var hægt að fella að fyrstu 30 klst. einingarniðurdráttar vegna holu 10 væru:

$$bk = 530 \times 10^{-12} \text{ m}^3$$

$$bc_t = 6,8 \times 10^{-9} \text{ mPa}^{-1}$$

Samkvæmt þessu er lekt þess hluta jarðhitakerfisins, sem dæling úr holu 10 hefur áhrif á (fyrstu 30 klst.), svipuð og lekt þess hluta sem hola 11 hefur áhrif á. En hins vegar virðist breiddin vera minni. Hugsanleg skýring á því gæti verið að hola 11 sé í betri tengslum við kerfið austan gangs B (mynd 1), en lektin í kerfinu sé þó mest milli ganga A og B.

Vegna takmarka jarðhitakerfisins nær rennulíkan ekki að herma viðbrögð þess nema að hluta til. Á hinn bóginn gera þjöppuð líkөн það, eins og sést á myndum 11 og 12. Eiginleikar þjöppuðu líkananna (tafla 2) ættu því að geta sagt okkur eitthvað frekar um stærð kerfisins. Í þeirri stuttu prófun, sem hér er fjallað um, stjórnast viðbrögð jarðhitakerfisins væntanlega eingöngu af vatnsrýmd vegna þjappanleika bergs og vatns. Þá gildir um rýmd geymis í þjöppuðu líkani að $\kappa = V\rho c_t$, þar sem V er rúmmál þess hluta kerfisins sem geymirinn hermír, ρ eðlismassi vatns og c_t þjappanleiki bergs og vatns eins og hér að framan. Ef við göngum út frá $\phi = 0,06$ eins og áður má áætla stærðir þeirra hluta jarðhitakerfisins,

sem geymarnir í þjöppuðu líkönunum líkja eftir, og eru niðurstöðurnar birtar í töflu 3.

Hafa ber í huga að í töflu 3 er aðeins um mjög grófar áætlanir að ræða. Þær byggja á ágiskunum bæði hvað varðar poruhluta og þykkt. Þó er hægt að segja eftirfarandi um niðurstöðurnar í töflu 3. Í fyrsta lagi virðist svæðið sem hola 11 hefur áhrif á (þessa fáu daga sem prófunin stóð yfir) vera nokkru stærra en svæðið sem hola 10 hefur áhrif á. Eins og áður segir er mögulegt að tengsl holu 11 við austari hluta jarðhitakerfisins séu greiðari en tengsl holu 10. Í öðru lagi þá benda flatarmálgildin í töflu 3 til þess að geymir 1 (í báðum líkönunum) svari til innsta hluta kerfisins, þ.e. þess hluta sem er milli ganga A og B og í næsta nágreppi þeirra. Í þriðja lagi er áætlað flatarmál geymis 2 svipað og flatarmál lágviðnáms svæðisins við Hamar. Í fjórða lagi svarar geymir 3 sennilega til þess hluta vatnskerfisins, sem er utan lágviðnáms svæðisins. Geymar 1 og 2 virðast því svara til heita hluta jarðhitakerfisins, en geymir 3 að einhverju leyti til kaldara vatnskerfis þar fyrir utan. Geymir 3 gæti þó að einhverju leyti einnig svarað til hluta jarðhitakerfisins djúpt í jörðu.

Þessi tvö þjöppuðu líkөн ná þó aðeins yfir hluta þess vatnskerfis, sem svarar vinnslu úr vinnsluhölnunum að Hamri. Í næsta kafla verður fjallað um þann hluta kerfisins sem svarar langtíma vinnslu og ræður langtíma viðbrögðum þess.

Ekki verður hér fjallað nánar um viðbrögð jarðhitakerfisins við vinnslu úr holum 10 og 11, meðan á prófuninni í júlí stóð, að undanskildum eftirfarandi athugasemdum:

- Við dælingu úr holu 10 virðist vatnsborð í holu 11 falla eitthvað meira en vatnsborð í öðrum holum. Þó ber að hafa í huga að mælingar á vatnsborði í holu 11 eru frekar ónákvæmar og sennilega er nákvæmnin minni en 0,2 m. Það hve munurinn reynist vera lítill er í samræmi við góða lekt í innsta hluta jarðhitakerfisins. Munurinn virðist jafnframt hverfa við langtímadælingu. Sést það á gögnum

um vatnsborðsbreytingar í holu 11, sem safnað hefur verið síðan í september 1987 (mynd 25, kafla 4).

- Lítið er hægt að segja um vatnsborðsbreytingar í holu 10 við dælingu úr holu 11. Er það vegna kólnunar vatnssúlunnar í holunni. Skekkjan sem kólnunin veldur getur verið á bilinu 0,5 - 1,0 m og því aðeins hægt að segja að vatnsborðsbreytingar í holu 10 vegna dælingar úr holu 11 virðast ekki verulega meiri en vatnsborðsbreytingar í holu 2. Það er einnig í samræmi við góða lekt í innsta hluta jarðhitakerfisins.
- Sárálítt munur er á vatnsborðsbreytingunum í holum 2, 4, 5 og 7. Þetta er eðlilegt þar sem stutt er á milli þessara hola miðað við dýpi æða í holum 10 og 11.
- Við dælingu úr holu 11 lækkar vatnsborð í holu 5 eitthvað minna en í holum 2, 4 og 7 (sjá mynd 20). Hins vegar er munurinn óverulegur þegar dælt er úr holu 10 (mynd 19). Því virðist hola 11 hafa minni áhrif til norðurs en hola 10, á svæðinu milli ganga A og B.

3.6 Áhrif dælingar úr holu 9

Í síðasta hluta prófunarinnar, frá kl. 9:55 til kl 17:12 þann 24. júlí 1988, var vatni dælt úr holu 9. Gögnin úr þeim hluta eru birt á mynd 9. Þar eru birt vatnsborðsgögn úr holum 2, 5, 10 og 11. Vatnsborðsbreytingar í holum 4 og 7 voru nokkurn veginn þær sömu og í holu 2. Eins og sést á myndum 3, 5 og 9 þá var niðurdráttur í holum 2 og 5 a.m.k. stærðargráðu meiri vegna dælingar úr holu 9 en vegna dælingar úr holum 10 og 11. Er það vegna þess að hola 9 er í mjög tregu sambandi við uppstreymisrás jarðhitakerfisins, sem holur 10 og 11 virðast aftur á móti í góðum tengslum við. Hola 9 tekur vatn á 230 - 250 m dýpi og virðist vatnsleiðni (lekt) mun minni í grynnri hluta jarðhitakerfisins og sá hluti vera í tregu sambandi við dýpri og vatnsgæfari hluta kerfisins.

Til þess að meta lekt í efsta hluta kerfisins voru viðbrögð hola 2 og 5, við dælingu úr

holu 9 túlkuð á grundvelli hálfbrúmslíkansins, sem áður hefur verið notað. eru mæld og reiknuð viðbrögð sýnd á mynd 21. Annars vegar gefa viðbrögð holu 5:

$$k = 0,047 \times 10^{-12} \text{ m}^2$$

$$c_t = 1,2 \times 10^{-10} \text{ Pa}^{-1},$$

þar sem k er meðallekt líkansins, en c_t þjappanleiki bergs og vatns. Þjappanleikinn er í samræmi við poruhluta $\phi = 0,21$. Viðbrögð holu 2 gefa hins vegar:

$$k = 0,066 \times 10^{-12} \text{ m}^2.$$

Ekki var hægt að áætla þjappanleikann útfrá viðbrögðum holu 2 af sæmilegri nákvæmni, því hola 2 er mjög nálægt holu 9 og gæti einhvers iðustreymis gætt milli holanna. Áætluð meðallekt samkvæmt viðbrögðum þessara tveggja hola er mjög sambærileg. Lektin í efsta hluta kerfisins virðist vera um stærðargráðu minni en lekt í dýpri og vatnsgæfari hluta þess.

Einnig má herma viðbrögð efri hluta kerfisins, t.d. holu 2, með þjöppuðu líkani eins og sýnt er á mynd 10. Hér er þó aðeins þörf á tveim geymum vegna þess að aðeins er um 7 klst. dælingu að ræða. Niðurstöður hermi-reikninganna eru birtar á mynd 22 og eiginleikar líkansins eru eftirfarandi:

$$\kappa_1 = 0,067 \text{ ms}^2$$

$$\kappa_2 = 36,9 \text{ ms}^2$$

$$\sigma_1 = 0,000063 \text{ ms}$$

Ef gengið er útfrá poruhluta $\phi = 0,06$, eins og hér að framan, og að þykkt efsta hluta kerfisins sé um 300 m þá virðist geymir 1 (κ_1) svara til svæðis sem er um 70 m \times 70 m að flatarmáli, eða vinnslusvæðisins sjálfs. Ef gengið er útfrá sama poruhluta og 1000 m þykkt fyrir geymi 2 (κ_2) má áætla að sá geymir svari til hluta kerfisins sem er um 0,76 km² að flatarmáli. Sá geymir virðist því svara nokkurn veginn til lágviðnáms-svæðisins við Hamar. Leiðnin milli geymanna (σ_1) er mjög lág. Efsti hluti kerfisins, sem hola 9 vinnur úr, virðist því að einhverju leyti í tengslum við þá hluta kerfisins sem holur 10 og 11 eru einnig í tengslum

við. En hinn mikli niðurdráttur vegna vinnslu úr holu 9 stafar af því hve efsti hluti kerfisins er lítill (κ_1) og tengsl (lekt) þess hluta við aðra hluta kerfisins (κ_2) eru léleg.

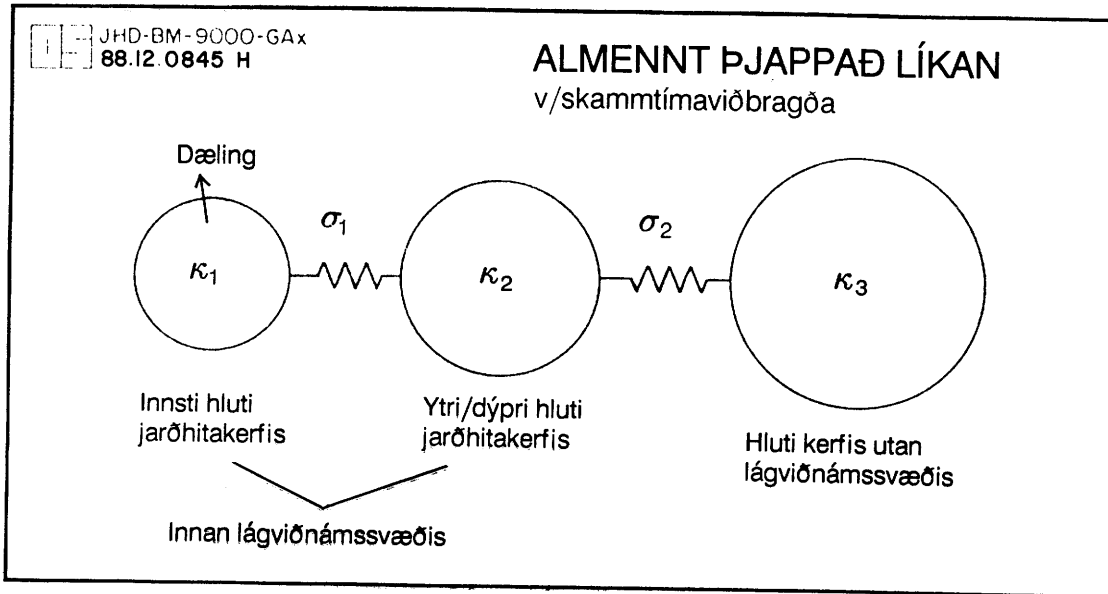
Eins og sést á mynd 9 eru áhrif dælingar úr holu 9 á holur 10 og 11 miklu minni en áhrifin á holur 2 og 5. Á mynd 23 eru þessi gögn um viðbrögð hola 10 og 11 við vinnslu úr holu 9 birt aftur, en þau hafa þá verið leiðrétt fyrir þeirri vatnsborðshækkun sem verður í holunum eftir að slökkt er á dælu í holu 11. Eðlilegt er að vatnsborðslækkunin í holum 10 og 11 sé töluvert minni en í efsta hluta kerfisins (holur 2 og 5), því fjarlægðin milli æðanna í holum 10 og 11 annars vegar og æða í holu 9 hins vegar er miklu meiri en fjarlægðin milli æða í holum 2 og 5 og æða í holu 9. Þó er vatnsborðslækkunin í holum 10 og 11 svipuð þeirri lækkun sem verður í kerfinu (þó ekki vinnsluholunum sjálfum) við sambærilega vinnslu úr holu 10 eða 11. Þetta bendir til þess að ef frá er talinn efsti hluti kerfisins, milli ganga A og B, þá séu áhrif vinnslu úr holu 9 á aðra hluta jarðhitakerfisins svipuð og áhrif hola 10 og 11. Það þýðir aftur á móti að vatnið, sem fæst úr holu 9, sé að töluverðu leyti einnig komið úr þeim hlutum jarðhitakerfisins sem holur 10 og 11 fá vatn úr. Þess ber að geta að sennilega er niðurdráttur meiri í holu 11 en í holu 10 vegna þess að aðalæðar holu 11 eru á nokkru minna dýpi en aðalæð holu 10.

Tafla 2. Eiginleikar þjappaðra líkana sem byggð eru á vatnsborði í holu 2.

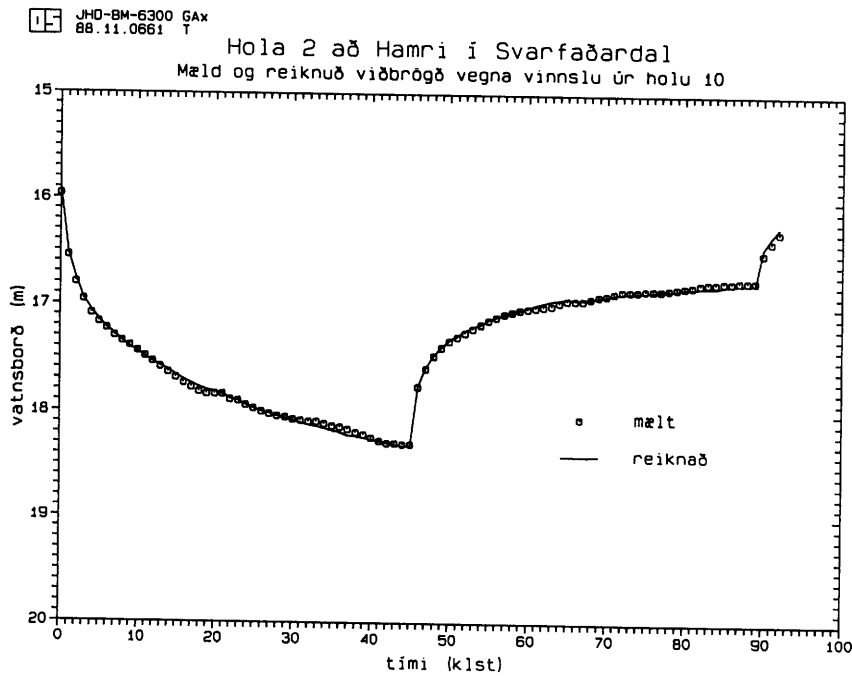
	Hluti kerfis sem svarar vinnslu úr	
	a) holu 10	b) holu 11
Rýmd:		
κ_1 (ms ²)	1,64	2,14
κ_2 (ms ²)	30,9	36,8
κ_3 (ms ²)	156	248
$\Sigma\kappa_i$ (ms ²)	188	287
Leiðni:		
σ_1 (ms)	0,0098	0,0105
σ_2 (ms)	0,0041	0,0038

Tafla 3. Áætlaðar stærðir geyma í þjöppuðum líkönum.

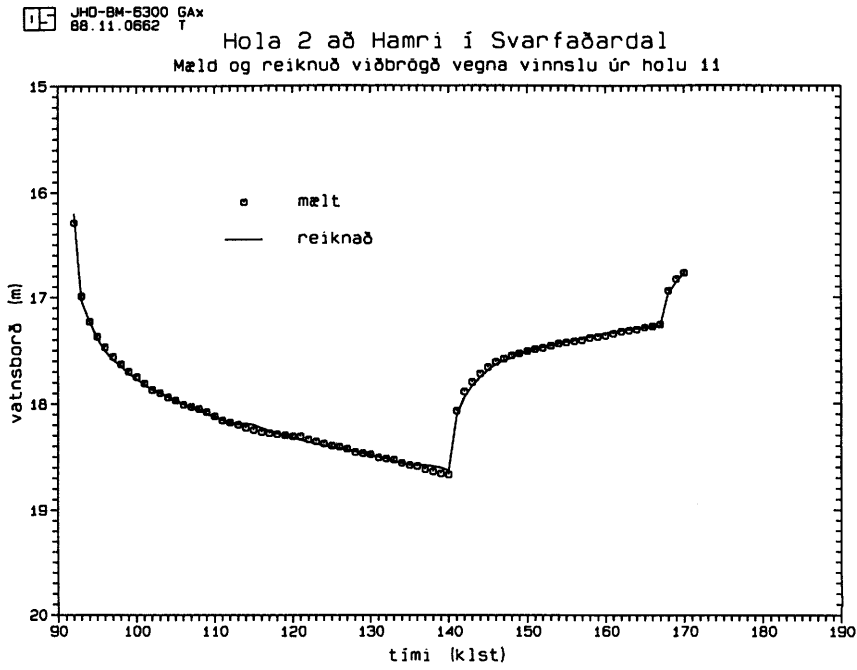
	Hluti kerfis sem svarar vinnslu úr	
	a) holu 10	b) holu 11
κ_1 :		
V, rúmmál	0,034 km ³	0,044 km ³
h, þykkt	800 m	800 m
a, flatarmál	0,043 km ²	0,056 km ²
κ_2 :		
V, rúmmál	0,64 km ³	0,76 km ³
h, þykkt	1500 m	1500 m
a, flatarmál	0,43 km ²	0,51 km ²
κ_3 :		
V, rúmmál	3,2 km ³	5,2 km ³
h, þykkt	2000 m	2000 m
a, flatarmál	1,6 km ²	2,6 km ²



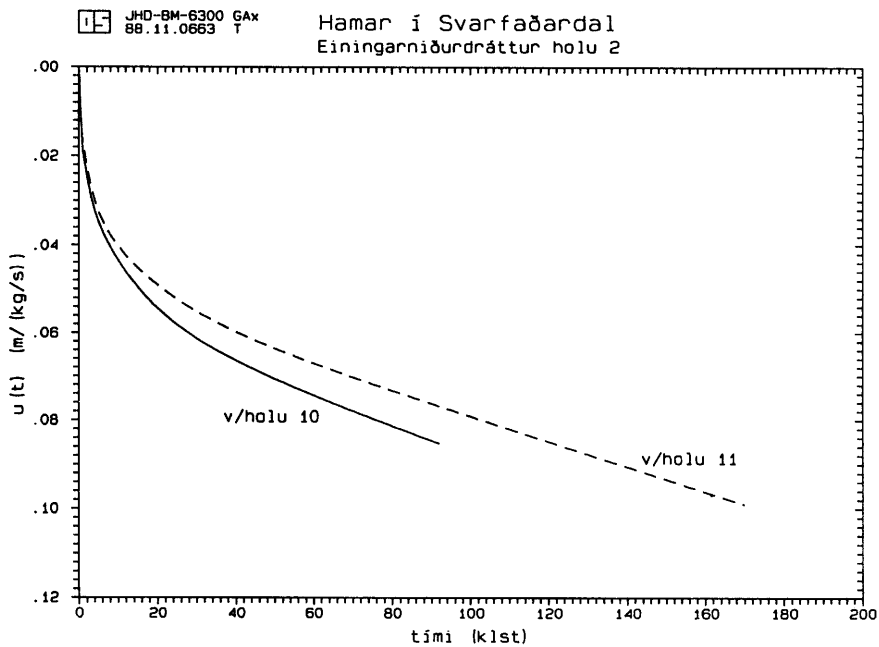
MYND 10. Almenn þjappað líkan



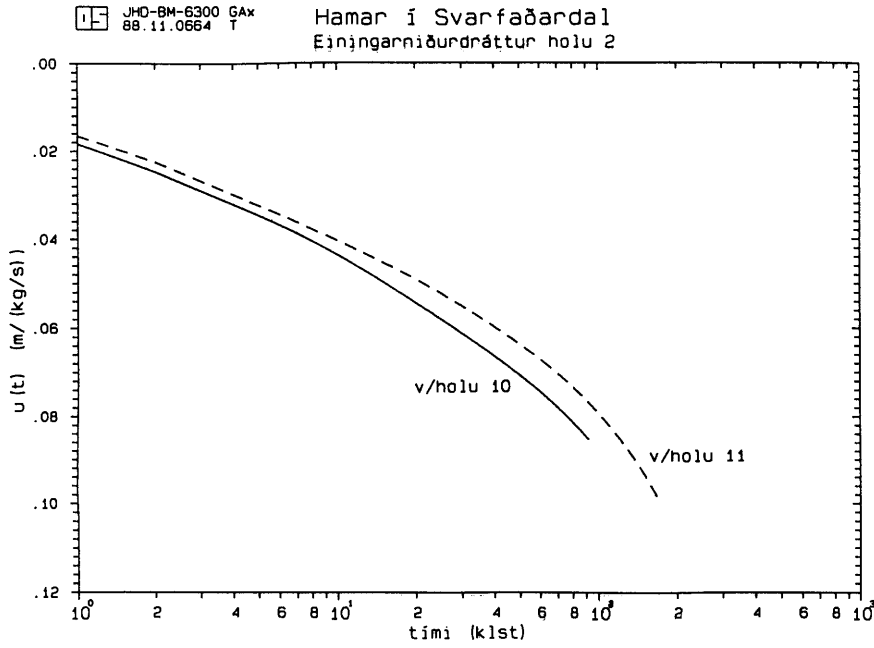
MYND 11. Mæld og reiknuð viðbrögð holu 2 vegna vinnslu úr holu 10



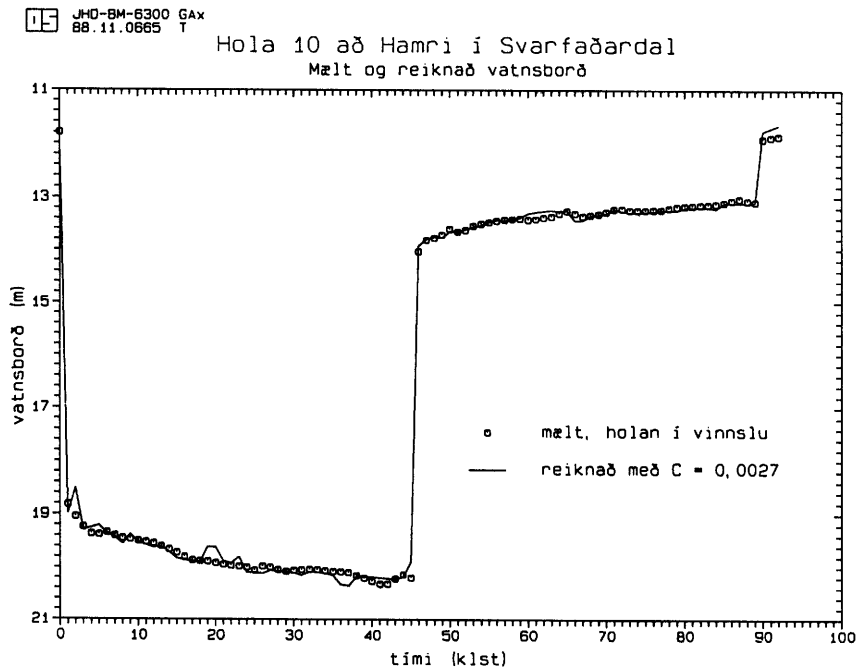
MYND 12. Mæld og reiknuð viðbrögð holu 2 vegna vinnslu úr holu 11



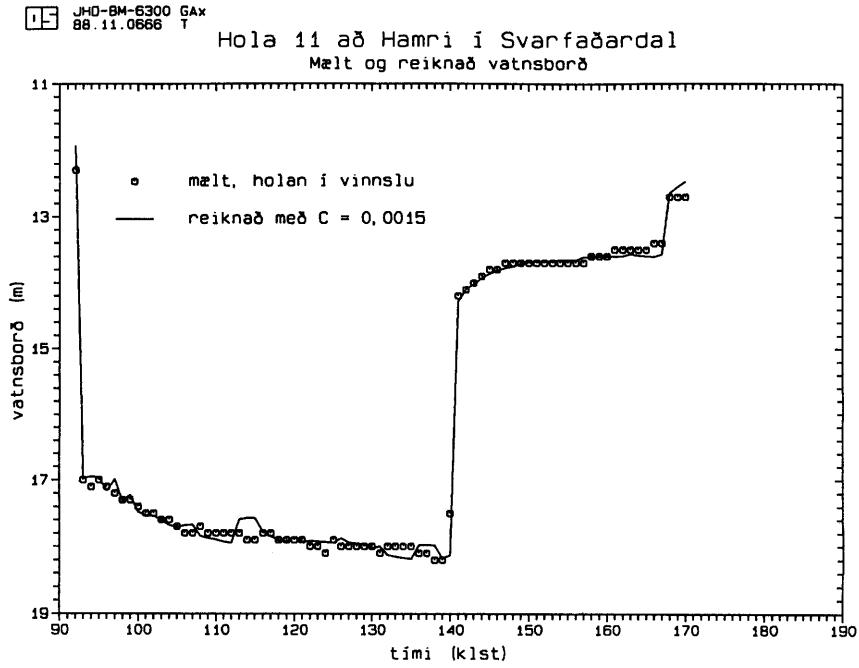
MYND 13. Einingarniðurdráttur holu 2



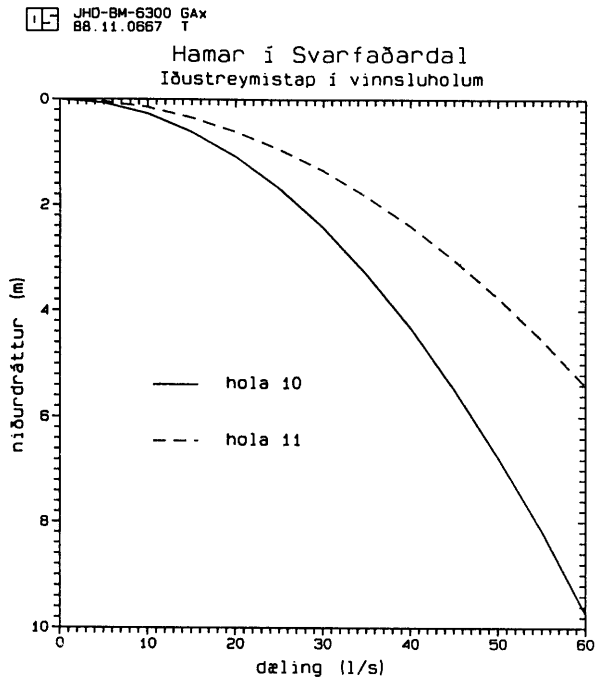
MYND 14. Einingarniðurdráttur holu 2, lógaritmískur tímaskali



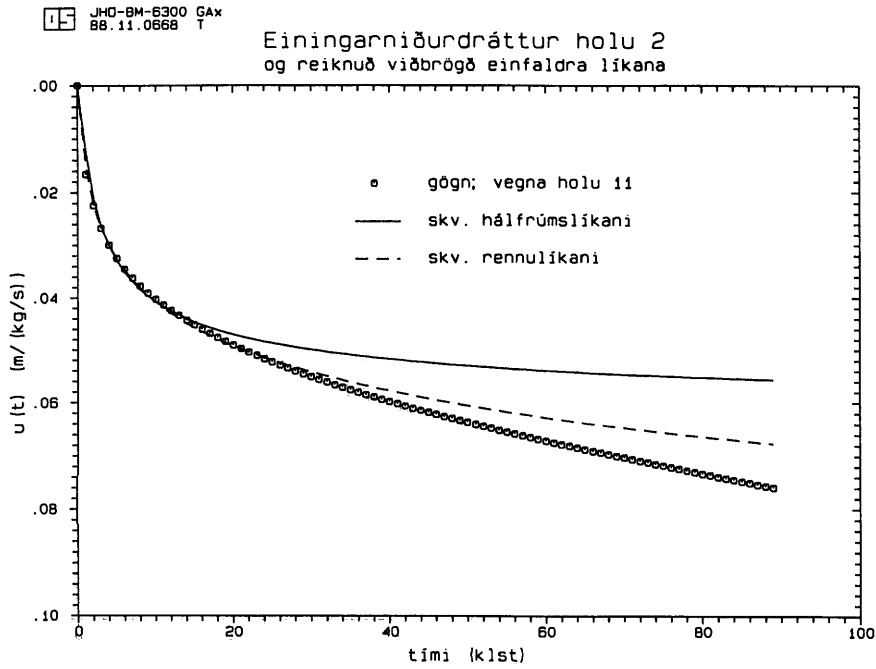
MYND 15. Mælt og reiknað vatnsborð holu 10



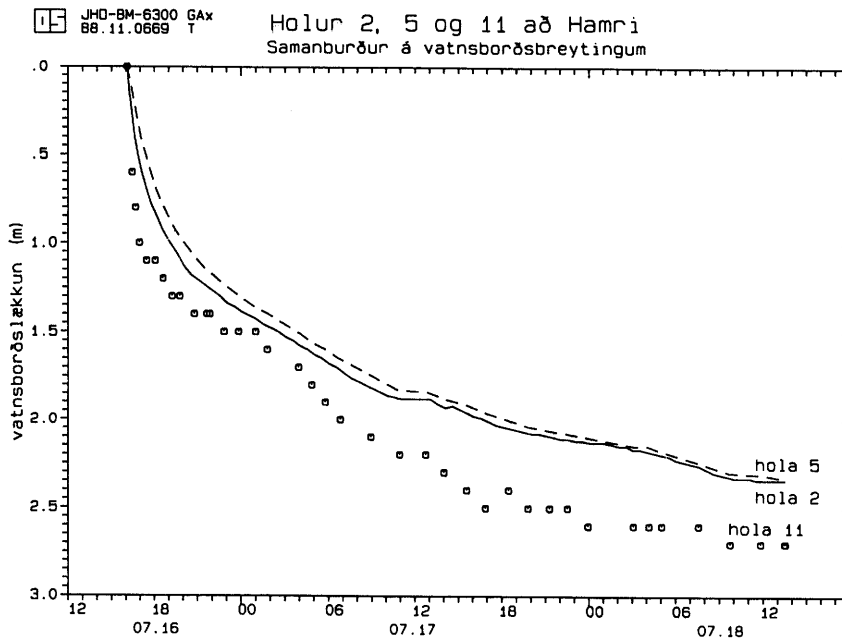
MYND 16. Mælt og reiknað vatnsborð hola 11



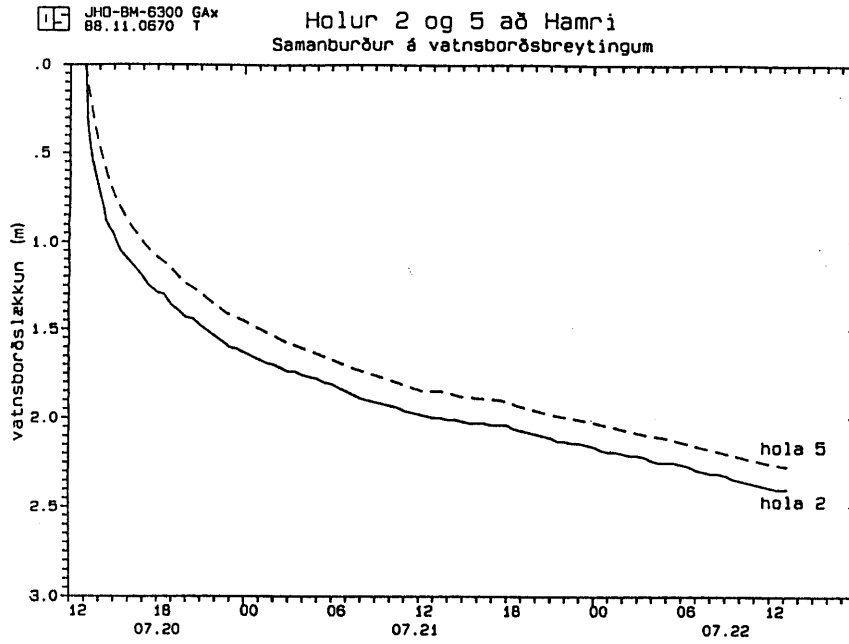
MYND 17. Íðustreymistap í vinnsluholum



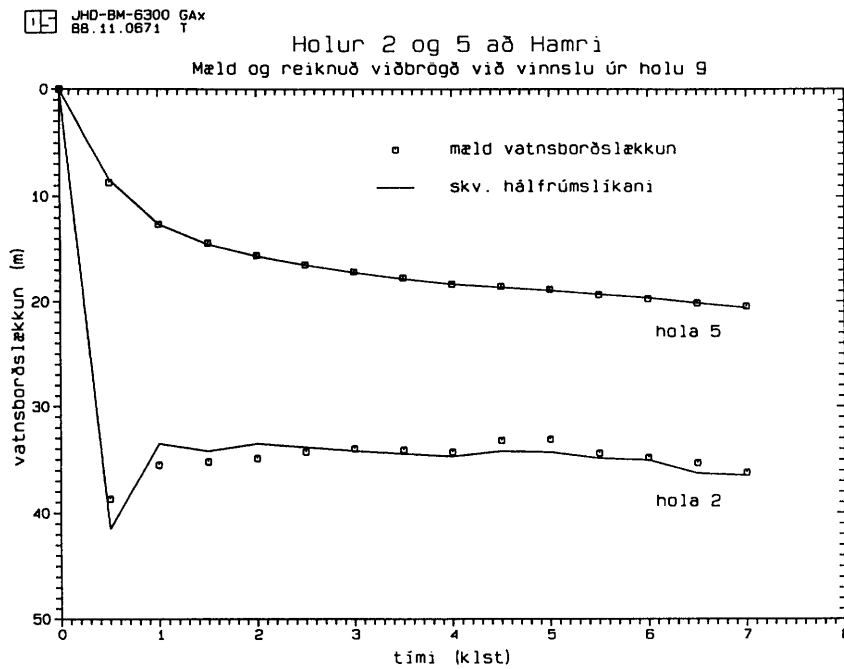
MYND 18. Einingarniðurdráttur holu 2 og reiknuð viðbrögð einfaldra líkana



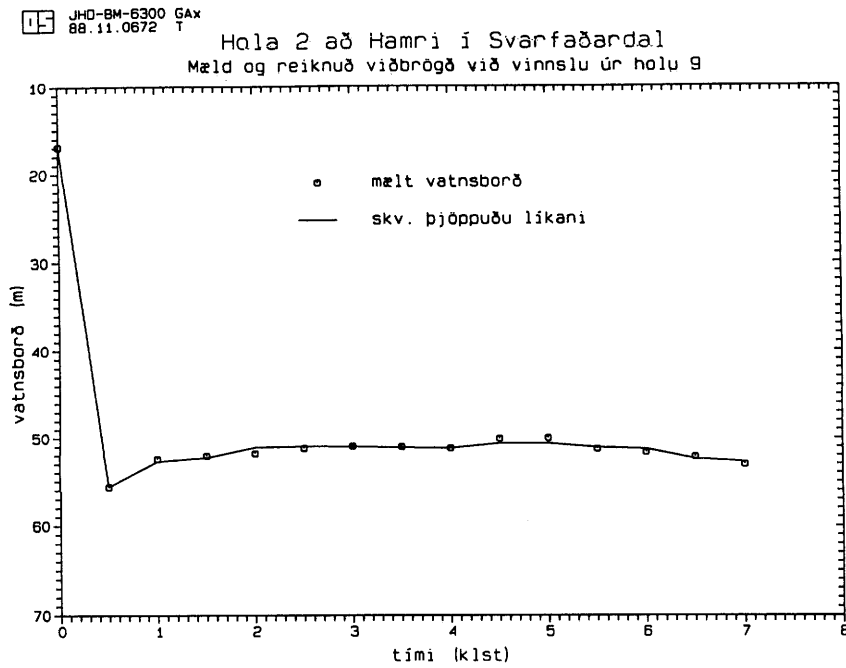
MYND 19. Vatnsborðsbreytingar í holum 2, 5 og 11



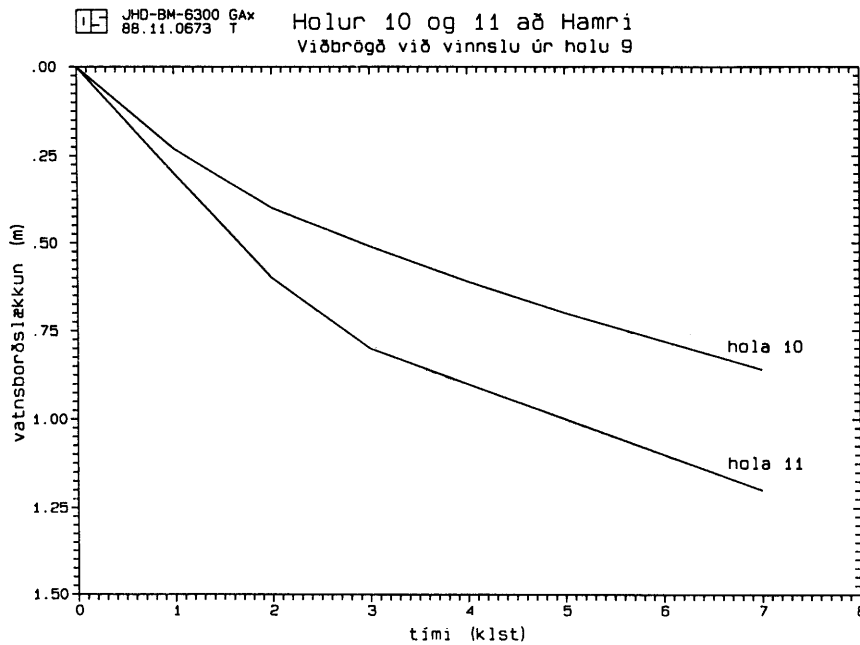
MYND 20. Vatnsborðsbreytingar í holum 2 og 5



MYND 21. Mæld og reiknuð viðbrögð hola 2 og 5 við vinnslu úr holu 9



MYND 22. Mæld og reiknuð viðbrögð holu 2 við vinnslu úr holu 9



MYND 23. Viðbrögð hola 10 og 11 við vinnslu úr holu 9

4. VINNSLUSAGA TIL OKTÓBER 1988

Árið 1986 var gerð úttekt á vinnslusögu jarðhitasvæðisins við Hamar til ársloka 1985 (Ragna Karlsdóttir og Guðni Axelsson, 1986), en þá hafði verið fylgst með vatnstöku úr svæðinu og vatnsborði í holu 2 (þrýstiviðbrögð kerfis) í tæp fjögur ár. Á grundvelli þeirrar úttektar var síðan sett fram einfalt vatnafræðilegt líkan af jarðhitakerfinu ásamt spá um vatnsborðsbreytingar næstu áratugi, fyrir nokkur mismunandi vinnslutilfelli.

Nú hafa bæst við gögn tveggja ára til viðbótar ásamt því að heita vatnið er nú selt samkvæmt magnmælum. Því þótti ástæða til að endurskoða hið einfalda líkan og setja fram vinnsluspár, bæði fyrir holur 10 og 11, sem væru byggðar á því líkani ásamt niðurstöðum úr kafla 3 hér að framan.

4.1 Gögnin

Gögnin sem stuðst var við eru í fyrsta lagi birt á mynd 24, en það eru gögn um meðalvinnslu hvers mánaðar ásamt gögnum um vatnsborð í holu 2 um hver mánaðarmót. Þetta eru gögn sem Hitaveita Dalvíkur hefur safnað. Rennslismælir að Hamri var þó bilaður í rúmt hálf t. ári, frá árslokum 1985. Vinnslan fyrir þann tíma var áætluð útfrá vatnsborðsbreytingum í holu 2 og eru þær tölur birtar í töflu 4. Í öðru lagi var stuðst við grófa áætlun á vinnslu úr jarðhitakerfinu fram til 1981, sem byggð var á vatnssólu hitaveitunnar. Er sú áætlun birt í töflu 5 (sjá einnig Rögnu Karlsdóttur og Guðna Axelsson, 1986).

Á mynd 24 kemur vel fram hve vinnslan að Hamri hefur minnkað eftir að farið var að selja vatnið samkvæmt magnmælum í stað hemla. Þetta sést einnig í töflu 6 hér á eftir, en þar eru birtar tölur um ársmeðalvinnslu undangenginna 7 ára. Ársmeðalvinnslan hefur minnkað úr um 41 l/s í um 27 l/s síðustu tvö árin. Er þar um 34 % minnkun í vatnsnotkun að ræða. Minnkandi notkun endurspeglar einnig í vatnsborði holu 2, en meðalvatnsborð hefur hækkað um 7 m.

Eftir að hola 11 kom til sögunnar hefur einnig verið fylgst með vatnsborði í henni og kemur í ljós að vatnsborð í holunni hefur fylgt vatnsborði í holu 2 nokkuð nákvæmlega. Samanburður á vatnsborði í þessum tveimur holum er sýndur á mynd 25. Sýnir þetta að sá munur sem virtist vera á vatnsborðsbreytingum í holu 11 og holu 2 í prófuninni í júlí 1988 hverfur við langtímadælingu. Hola 11 er því einungis fljótari en hola 2 að svara breytingum á dælingu úr holu 10, en til langs tíma virðast áhrifin hin sömu.

4.2 Líkanið

Til þess að reikna (herma) viðbrögð jarðhitakerfisins að Hamri eins og þau eru mæld í holu 2 við vinnslu, er notað þjappað líkan. Þjappað líkan var notað í úttektinni 1986 (Ragna Karlsdóttir og Guðni Axelsson, 1986), en það hefur nú verið endurbætt þannig að það nái einnig að herma nákvæmlega þau gögn sem bæst hafa við. Þjöppuðum líkönum er lýst í kafla 3 hér að framan, en þjöppuð líkön voru einnig notuð til þess að herma viðbrögð jarðhitakerfisins í prófuninni í júlí 1988. Þau líkön náðu þó aðeins yfir lítið brot af því vatnskerfi sem svarar langtíma vinnslu úr jarðhitakerfinu.

Áður en fjallað verður um endurskoðað líkan af jarðhitakerfinu að Hamri er rétt að athuga hversu gott samræmi reynist á milli mældra vatnsborðsbreytinga frá árslokum 1985 og vatnsborðsbreytinga reiknaðra með gamla líkaninu (Ragna Karlsdóttir og Guðni Axelsson, 1986), útfrá vinnslunni eins og hún hefur verið þessi þrjú ár. Niðurstöðurnar eru sýndar á mynd 26 í lok kaflans. Þar sést að samræmið er nokkuð gott, en mismunurinn er þó orðinn um 2 m árið 1988.

Hið þjappaða líkan af jarðhitakerfinu er sýnt á mynd 27 og mæld og reiknuð viðbrögð þess á mynd 28. Eins og áður segir fara hermireikningarnir þannig fram að fræðileg viðbrögð þjappaða líkansins eru felld sjálfvirkt með tölvu að mældum breytingum á vatnsborði í viðkomandi holu. Eiginleikar þessa líkans eru síðan birtir í töflu

7. Ef þessir eiginleikar eru bornir saman við eiginleika gamla líkansins (sjá viðauka E í Rögnu Karlsdóttur og Guðna Axelssyni, 1986) sést að munurinn er ekki mikill. Vatnsrýmd (κ) geyma 2 og 3 er mjög mikil, og í reynd svo mikil að ef rýmdin væri eingöngu af völdum þjappanleika bergs og vatns í vatnskerfinu þyrfti kerfið gróflega áætlað að vera um 1000 km² að flatarmáli. Ekki virðist það vera mögulegt. En langtíma viðbrögð jarðhitakerfa virðast oft stjórnast af vatnsrýmd vegna frjáls vatnsborðs, t.d. í grunnvatnskerfi ofan eða utan jarðhitakerfis. Ef rýmd geymis í þjöppuðu líkani stjórnast af frjálsu vatnsborði gildir að $\kappa = a\phi/g$, þar sem a er yfirborðsflatarmál þess hluta kerfis sem geymirinn hermir, ϕ poruhluti hans og g þyngdarhröðunin. Í töflu 8 eru birtar áætlanir á stærðum geymanna í líkaninu, þar sem gengið hefur verið út frá því að rýmd geymis 1 sé af völdum þjappanleika bergs og vatns, en rýmdir geyma 2 og 3 af völdum frjáls vatnsborðs.

Þjappaða líkanið virðist mega túlka þannig að geymir 1 svari til þess hluta jarðhitakerfisins, sem er innan lágviðnáms svæðisins ásamt litlum hluta þess utan lágviðnáms svæðisins. Geymir 2 svarar sennilega fyrst og fremst (þ.e. hvað varðar rýmd) til þess hluta grunnvatnskerfisins, sem er innan lágviðnáms svæðisins, en einnig til hluta jarðhitakerfisins sem er utar og dýpra en sá hluti er geymir 1 hermir. Geymir 3 virðist svara til grunnvatnskerfisins í nágrenni Hamars. Sá hluti grunnvatnskerfisins, sem vinnsla að Hamri hefur haft áhrif á, er hér gróflega áætlaður um 8 km² að flatarmáli. Það samsvarar svæði sem er um 3 km í þvermál. Til samanburðar má geta þess að fjarlægðin milli Hamars og Dalvíkur er um 3 km. Þessari túlkun til stuðnings má benda á að Guðmundur Árnason hitaveitustjóri hefur tekið eftir því að svæðið umhverfis Hamar hefur þornað töluvert upp síðustu ár, væntanlega vegna lækkunar grunnvatnsborðs. Þess ber að geta að líkanið, sem hér er sett fram, er að nokkru leyti frábrugðið líkaninu frá 1986 (Ragna Karlsdóttir og Guðni Axelsson, 1986), og þá sérstaklega

hvað varðar hlut grunnvatnskerfisins í jarðhitakerfinu.

Samkvæmt ofanskráðu virðast töluverðar líkur á því að jarðhitakerfið að Hamri sé lítið og í tengslum við grunnvatnskerfið ofan þess. Þess vegna er hætta á því að kaldara vatn streymi inn í jarðhitakerfið og að vatn úr vinnsluholunum gæti farið kólnandi einhvern tímann í framtíðinni. Því er afar mikilvægt að fylgst verði vel með hitastigi vatnsins og efnainnihaldi þess næstu árin, en oft má sjá fyrirboða kólnunar í breytingum á efnainnihaldi vatns.

Í næsta kafla verður þjappaða líkanið notað, ásamt niðurstöðum úr kafla 3, til þess að reikna vatnsborðsspár fyrir holur 10 og 11. Áður en fjallað verður um spánnar eru birtar á mynd 29 niðurstöður reikninga sem sýna glögglega þá breytingu sem breytt sölufyrirkomulag mun hafa í för með sér í framtíðinni. Gengið er út frá því að hola 10 verði áfram vinnsluhola. Á myndinni eru birtir tveir ferlar. Ferill A sýnir reiknuð viðbrögð holu 10 fyrir núverandi aðstæður, þ.e. vatnssölu samkvæmt magnmælum og 27 l/s ársmeðalvinnslu. Ferill B sýnir reiknuð viðbrögð holu 10 ef sölufyrirkomulagi hefði ekki verið breytt og ársmeðalvinnslan því haldist um 41 l/s. Samkvæmt þessu verður vatnsborð í holu 10 um 20-25 m hærra næstu tvo áratugina heldur en ella hefði verið.

4.3 Einingarniðurdráttur

Erfitt er að greina nákvæmlega viðbrögð jarðhitakerfisins í vinnslugögnunum (mynd 28) vegna þess hve vinnslan er breytileg. Til þess að skoða langtíma viðbrögð kerfisins nánar er því gripið til þess ráðs að nota þjappaða líkanið til þess að reikna einingarniðurdrátt kerfisins, en eins og áður hefur verið lýst þá er einingarniðurdráttur einfaldlega viðbrögð kerfis við stöðugri dælingu á einu kg/s. Í kafla 3 var birtur einingarniðurdráttur fyrir u.þ.b. fyrstu 100 klukkustundirnar, en hér verður einingarniðurdráttur nokkurra ára til umfjöllunar. Einingarniðurdráttur holu 2, vegna vinnslu undangenginna ára, er birtur á myndum 30

og 31 í lok kaflans, og er mynd 31 með lógaritmískum tímaskala. Einnig eru birtir saman á mynd 32 einingarniðurdráttur samkvæmt prófuninni í júlí 1988 og einingarniðurdráttur vegna langtímavinnslu.

Einingarniðurdrátturinn bendir til þess að jarðhitakerfið sé töluvert takmarkað fyrir aðstreymi, þá sennilega að einhverju leyti þannig að vatnsleiðni minnki töluvert er fjær dregur innsta hluta kerfisins. Hér er jafnt átt við heita hluta kerfisins sem kaldari hluta þess eins og grunnvatnskerfi. Vísbendingar um takmörk komu þegar fram í prófuninni í júlí 1988 (sjá kafla 3), og hér að ofan hefur þegar verið lagt mat á stærð jarðhitakerfisins á grundvelli þjappaða líkansins. En til þess að meta meðallekt stærri hluta kerfisins, en gert var í kafla 3, voru viðbrögð einfalds hálfbrúmslíkans felld að einingarniðurdrættinum. Hér er um að ræða líkan af einsleitu, einsátta, óendanlegu hálfbrúmi með frjálsum vatnsborði við yfirborð, þ.e. tengslum upp í grunnvatnskerfi. Í þessu líkani er aðeins gert ráð fyrir rýmd af völdum frjáls vatnsborðs, en eins og kom hér fram að framan virðast langtíma- viðbrögð kerfisins stjórnast af þess háttar rýmd. Niðurstöður þessara reikninga eru sýndar á mynd 33. Þar sést að hægt er að fella viðbrögð hálfbrúmslíkansins að fyrstu 7 árunum. Eftir þann tíma fara takmörk kerfisins að vera ráðandi. Eiginleikar hálfbrúmslíkansins gefa okkur þó hugmynd um meðaleiginleika jarðhitakerfisins, en eiginleikar líkansins eru

$$k = 9,6 \times 10^{-15} \text{ m}^2$$

$$\phi = 0,01,$$

þar sem k er lekt líkansins og ϕ poruhluti þess. Meðallektin er til muna lægri en lekt innsta hluta kerfisins, sem áætluð var í kafla 3. Er það í samræmi við það að takmörk kerfisins felist að hluta í minnkandi lekt er fjær dregur innsta hluta kerfisins. Þó er meðallektin þökkalega mikil og sambærileg við lekt í sennilega afkastamiklu jarðhitakerfi eins og Laugarnessvæðinu í Reykjavík (Orkustofnun og Verkfræðistofan Vatnaskil, 1986). Meðallektin er um stærðargráðu meiri en meðallekt í afkastalítlu kerfi eins og Laugalandi í Holtum (Lúðvík S. Georgsson og fl., 1987). Lektin virðist einnig um stærðargráðu meiri en lekt í jarðhitakerfum frammi í Eyjafirði. Hugsanlegt er að í nágrenni Hamars séu jarðskorpuhreyfingar, sem viðhalda þökkalegri lekt í kerfinu, tíðari en þar og má í því sambandi minna á Dalvíkurskjálftann 1934. Poruhluti líkansins er töluvert minni en gert var ráð fyrir í töflu 8. Er það vegna þess að í hálfbrúmslíkaninu er gert ráð fyrir því að áhrif dælingar (niðurdráttur) nái yfir stærra svæði en gert er ráð fyrir í þjappaða líkaninu.

TAFLA 4. Mánaðarmeðalvinnsla áætluð útfra vatnsborði í holu 2

Mánuður	Meðalvinnsla (l/s)
11.85	42,6
12.85	44,8
01.86	45,9
02.86	46,1
03.86	43,0
04.86	37,7
05.86	33,2
06.86	22,5
07.86	20,8
08.86	18,4

TAFLA 6. Ársmeðalvinnsla að Hamri frá 1982

Ár	Meðalvinnsla (l/s)
1982	42,0
1983	41,1
1984	40,0
1985	40,8
1986	32,2
1987	26,4
áætlað:	
1988	27,2

TAFLA 5. Áætluð ársmeðalvinnsla að Hamri fram til 1981.

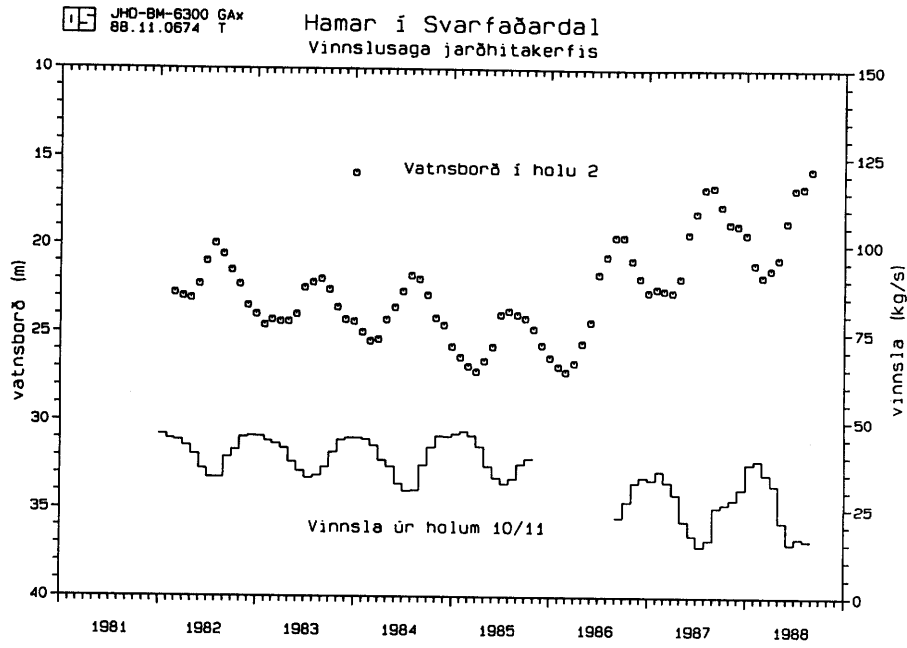
Ár	Meðalvinnsla (l/s)
1971	22,5
1972	22,5
1973	22,5
1974	23,5
1975	29,1
1976	29,9
1977	31,2
1978	33,0
1979	38,0
1980	39,0
1981	41,5

TAFLA 7. Eiginleikar þjappaðs líkans af jarðhitakerfinu að Hamri.

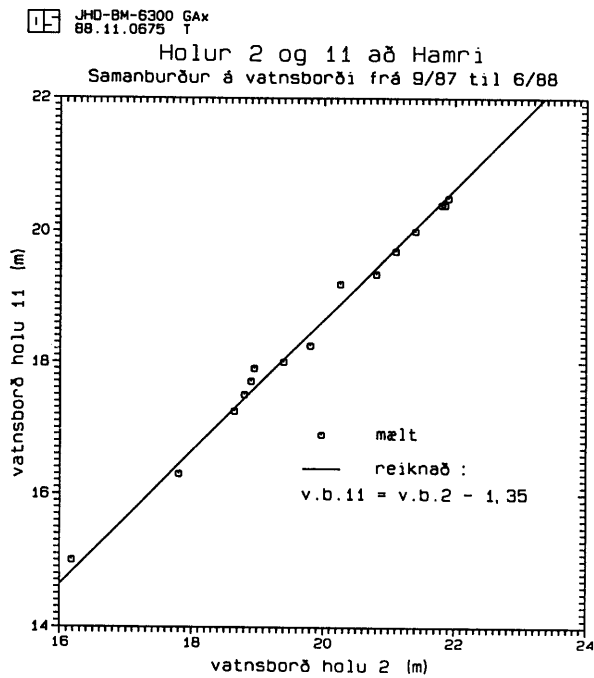
Rýmd:	
κ_1 (ms ²)	70,0
κ_2 (ms ²)	6220
κ_3 (ms ²)	124000
$\Sigma\kappa_i$ (ms ²)	130000
Leiðni:	
σ_1 (ms)	0,000513
σ_2 (ms)	0,000185

TAFLA 8. Áætlaðar stærðir geyma í þjappaða líkaninu.

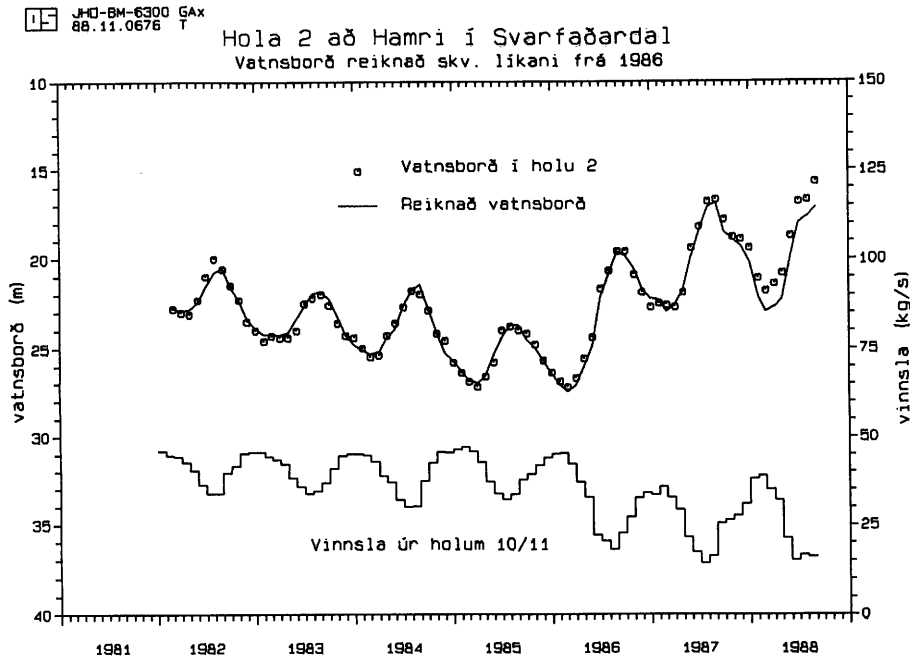
κ_1 :	
ϕ , poruhluti	0,06
V, rúmmál	1,5 km ³
h, þykkt	2000 m
a, flatarmál	0,97 km ²
κ_2 :	
ϕ , poruhluti	0,15
a, flatarmál	0,41 km ²
κ_3 :	
ϕ , poruhluti	0,15
a, flatarmál	8,0 km ²



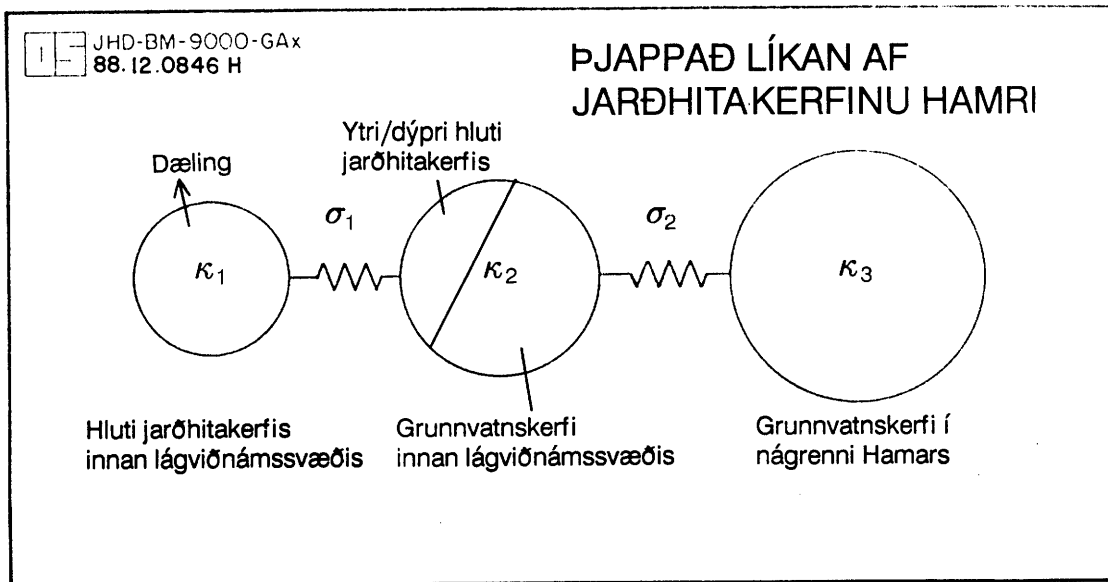
MYND 24. Vinnslugögn frá Hamri í Svarfaðardal



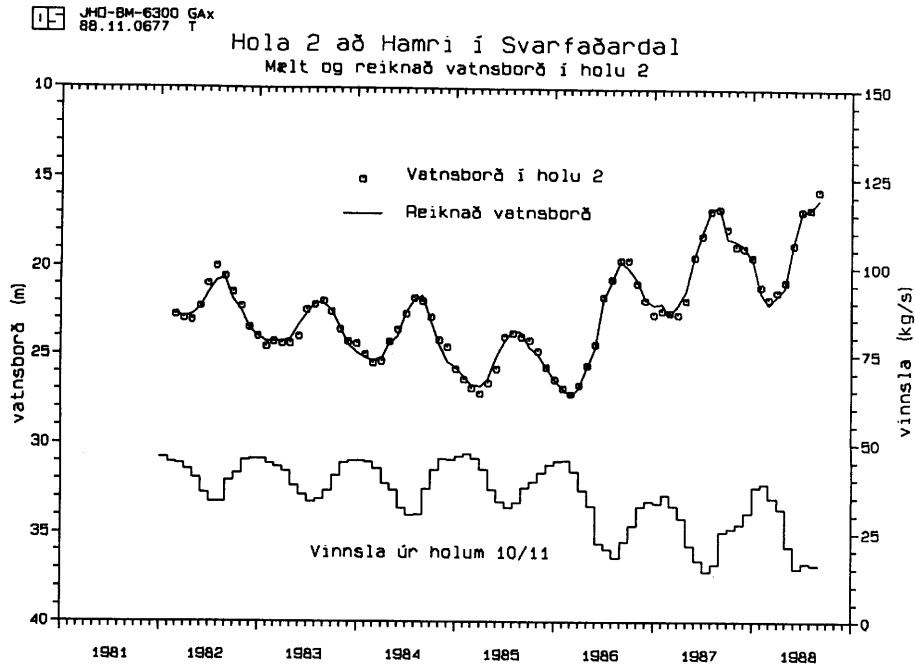
MYND 25. Samanburður á vatnsborði í holum 2 og 11



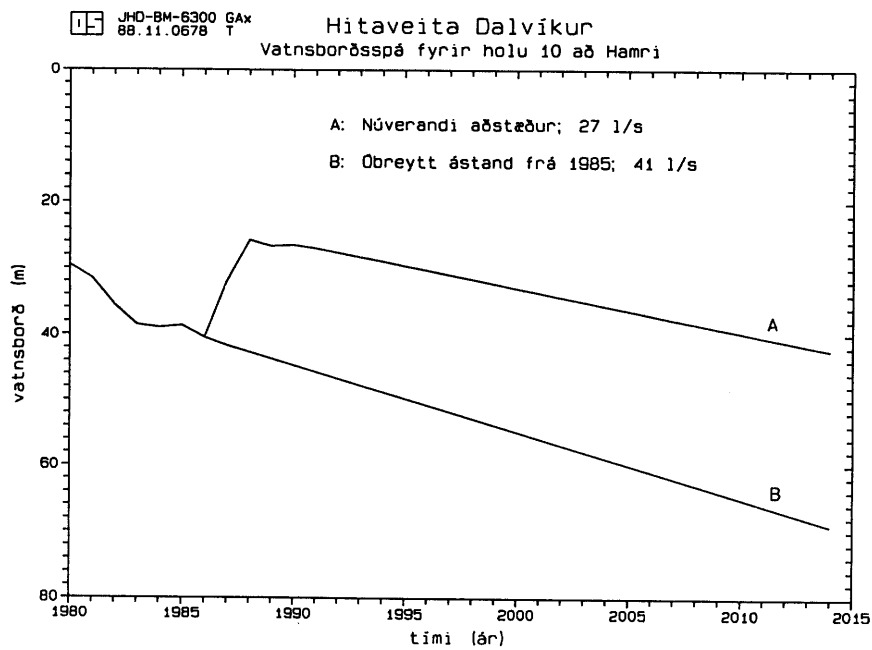
MYND 26. Vatnsborð holu 2 reiknað skv. líkani frá 1986



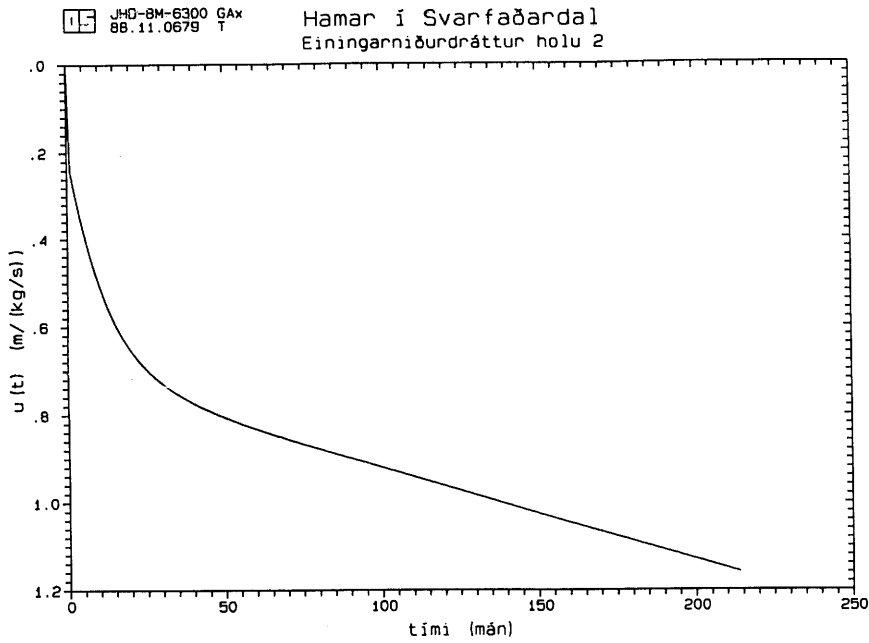
MYND 27. Þjappað líkan af jarðhitakerfinu



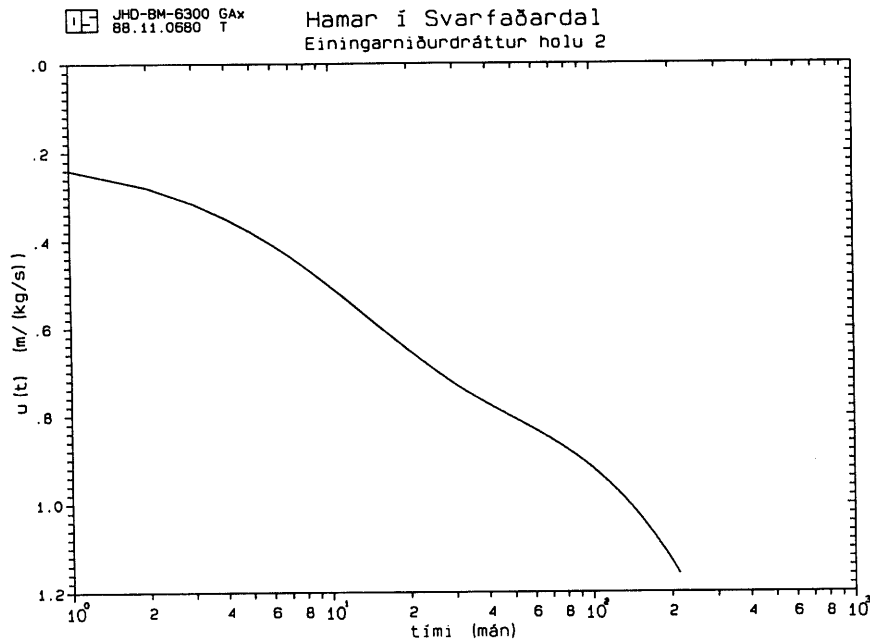
MYND 28. Mælt og reiknað vatnsborð holu 2



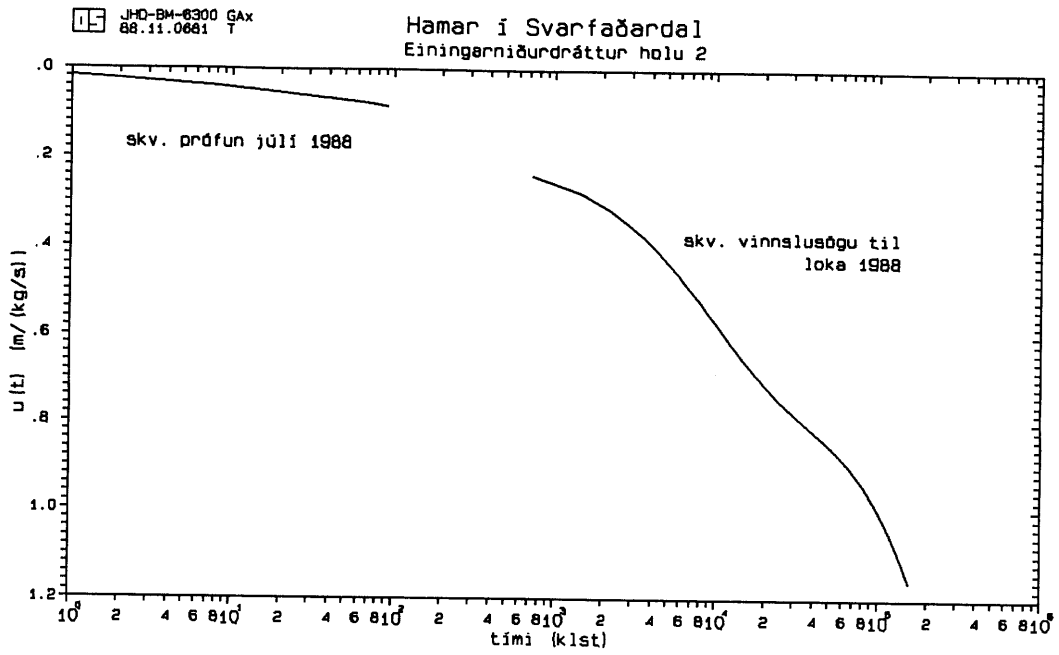
MYND 29. Áhrif breytts sölufyrirkomulags á jarðhitasvæðið



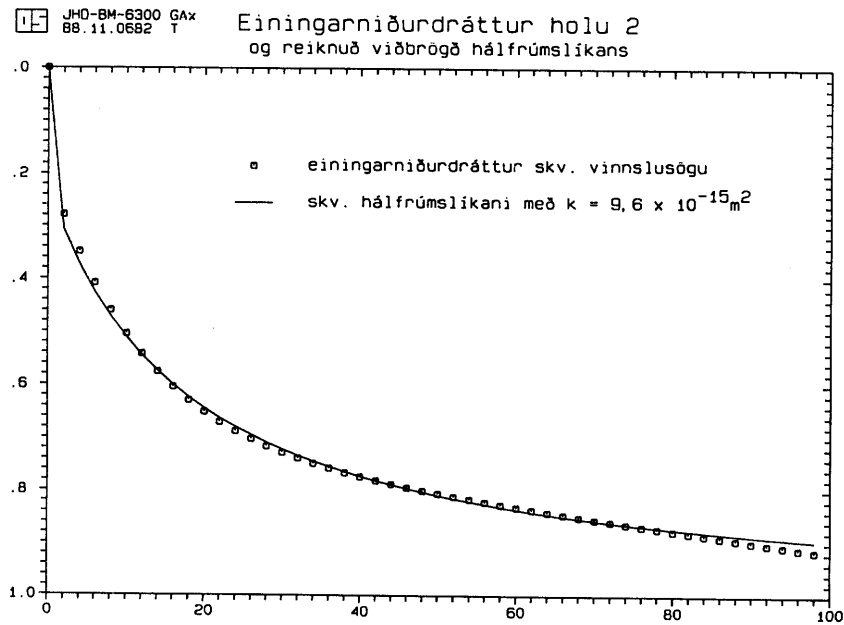
MYND 30. Einingarniðurdráttur holu 2



MYND 31. Einingarniðurdráttur holu 2, lógaritmískur tímaskali



MYND 32. Einingarniðurdráttur holu 2, skv. prófun og vinnslusögu



MYND 33. Einingarniðurdráttur holu 2 og reiknuð viðbrögð hálfvæðislikans

5. VATNSBORÐSSPÁR

Þjappaða líkanið, sem notað var til þess að herma vinnslugögnin frá jarðhitasvæðinu að Hamri (sbr. kafla 4), var að síðustu notað, ásamt niðurstöðunum úr kafla 3, til þess að spá fyrir um vatnsborðsbreytingar í vinnsluholunum. Mynd 34 sýnir vatnsborðsspá fyrir holu 10, ef hún yrði notuð sem aðalvinnsluhola, fyrir fjögur mismunandi vinnslutilfelli. Mynd 35 sýnir svo vatnsborðsspá fyrir holu 11, ef hún yrði notuð sem aðalvinnsluhola.

Myndirnar sýna áætlaða lægstu vatnsborðsstöðu hvers árs. Vatnsborðsspárnar eru reiknaðar þannig að í fyrsta lagi er vatnsborð í innsta hluta jarðhitakerfisins reiknað með þjappaða líkaninu úr kafla 4 út frá ársmeðalvinnslu. Í öðru lagi er bætt við það áætlaðri lækkun vatnsborðs vegna aukinnar vinnslu að vetri. Og í þriðja lagi þá er iðustreymistapi í viðkomandi vinnsluholu, við hámarksvinnslu, bætt við vatnsborðsspárnar. Iðustreymistapið var áætlað í kafla 3. Í vinnsluspánum er ekki gert ráð fyrir að hola 11 valdi minni niðurdrætti á svæðinu en hola 10. Er það samkvæmt þeirri niðurstöðu úr kafla 3 að hola 11 tengist áður ónýttum hluta jarðhitakerfisins aðeins að óverulegu leyti.

Um vatnsborðsspárnar má segja eftirfarandi:

- Vegna minna iðustreymistaps er hola 11 hagstæðari vinnsluhola en hola 10 (sbr. mynd 17). Sem dæmi má nefna að við núverandi ársmeðalvinnslu, 27 l/s, er hámarksvinnsla sennilega um 45 l/s og iðustreymistap því um 2,5 m meira í holu 10 en í holu 11. Við 40 l/s ársmeðalvinnslu verður hámarksvinnsla sennilega um 67 l/s og iðustreymistap því rúmlega 5 m meira í holu 10. Vegna þessa munar ætti raforkukostnaður að verða eitthvað minni þegar hola 11 er notuð, en þegar holu 10 er notuð.
- Dæla í holu 10 er nú á um 42 m dýpi. Ef hola 10 yrði notuð áfram sem aðalvinnsluhola og dæla ekki síkkuð í henni má reikna með að ársmeðalvinnsla geti

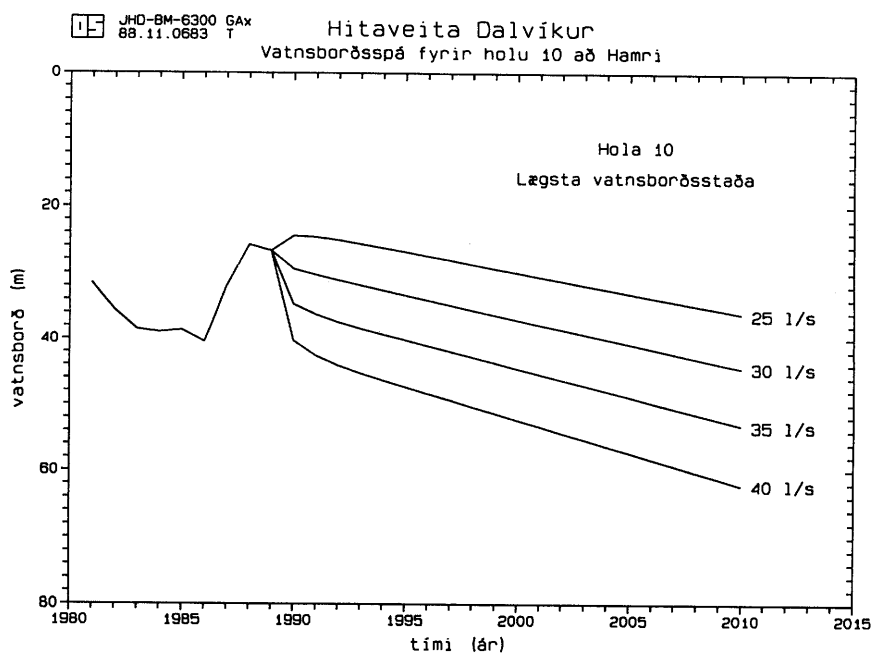
verið 27 - 28 l/s næstu 20 árin.

- Dæla í holu 11 er á um 45 m dýpi. Ef hola 11 verður notuð sem aðalvinnsluhola og dæla ekki síkkuð í henni má reikna með að ársmeðalvinnsla geti verið 31 - 32 l/s næstu 20 árin.
- Ef hola 11 verður nýtt sem vinnsluhola og ársmeðalvinnslan aukin í 35 - 40 l/s má búast við að síkka þurfi dælu í holunni eftir um 10 - 15 ár. Hola 11 er fódruð í 254 m svo engin vandkvæði eiga að vera á því.
- Ef dæla í holu 11 væri t.d. síkkuð í 100 m má búast við að meðalafköst holunnar næstu 20 árin geti orðið allt að 60 - 65 l/s. En samfara aukinni vinnslu þá má búast við því að vatn úr holunni kólni fyrir en ella.
- Við hámarksvatnsnotkun að vetri má minnka niðurdrátt í vinnsluholunum ef dælt er úr báðum holum í stað einnar. Við t.d. 67 l/s hámarksnotkun (40 l/s meðalnotkun) mætti dæla um 29 l/s úr holu 10 og um 38 l/s úr holu 11 með aðeins rúmlega 2ja m iðustreymistapi í hvorri holu fyrir sig. Ef þessu magni væri aðeins dælt úr holu 11 yrði iðustreymistapið tæpir 7 m. Þennan möguleika er vert að hafa í huga þegar vatnsborð fer að nálgast dælurnar í holunum.

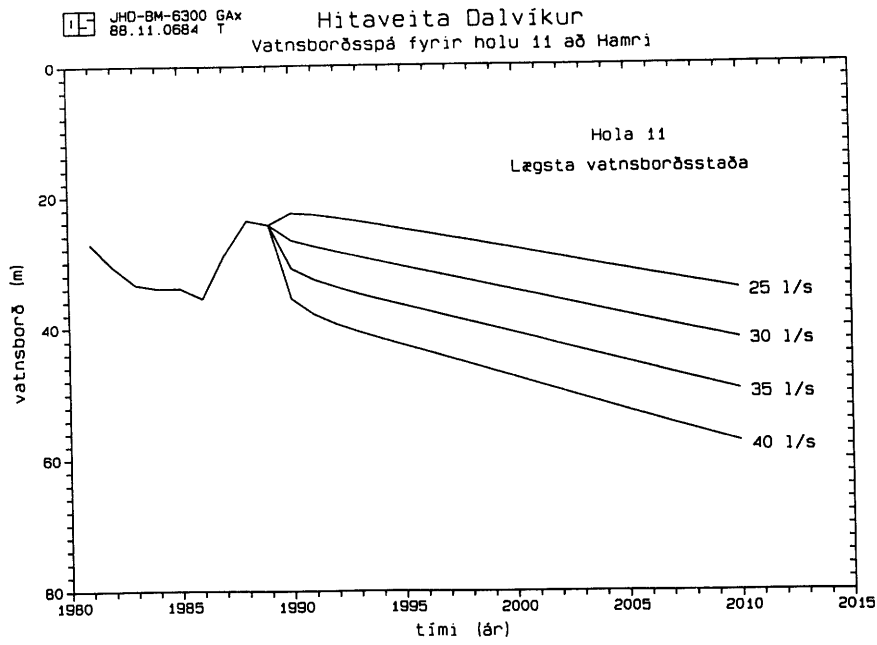
Ef gengið er út frá því að jarðhitasvæðið að Hamri nái yfir lágviðnámssvæðið í nágrenni Hamars, og að hitaástand sé svipað alls staðar innan þess og innan vinnslusvæðisins, má áætla náttúrulegt afl jarðhitakerfisins gróflega. Án þess að fara nákvæmlega út í hvernig það er gert þá fæst að aflíð sé um 0,2 - 0,4 MW. Þá hefur einnig verið tekið tillit til laugarinnar, sem var á svæðinu áður en vinnsla hófst þar. Náttúrulegt afl svæðisins svarar aðeins til um 1 - 2ja l/s af 64°C heitu vatni. Því er ljóst að með núverandi vinnslu er einnig verið að ganga á þá varmaorku sem safnast hefur upp innan jarðhitasvæðisins á líftíma þess. Þetta er í samræmi við þær niðurstöður úr kafla 4 að jarðhitakerfið að Hamri sé lítið og að það sé í

tengslum við grunnvatnskerfið ofan þess. Þess vegna er víst að **vatn úr vinnsluholum mun fara kólnandi** einhvern tímann í framtíðinni. Hvenær það verður er ómögulegt að segja að svo stöddu, en ef varmaforðinn innan lághitasvæðisins er áætlaður má giska á að jarðhitasvæðið að Hamri endist í 50 - 150 ár. Mikilvægt er að hafa í huga að hér er um mjög ónákvæmt mat að ræða og því er nauðsynlegt að fylgjast vel með hitastigi vatnsins, sem dælt verður, og efnainnihaldi þess í framtíðinni.

Í þessu sambandi er rétt að benda á tvennt. Annars vegar að ef vinnslan er aukin verulega stýttist endingartími svæðisins til muna. Hins vegar að á svæðinu eru margar gamlar holur, sem eru grunnt fóðraðar. Því er mögulegt að í gegnum einhverjar þeirra streymi kalt vatn úr efri jarðlögum og niður í jarðhitakerfið. Því væri rétt að steypa í holur, sem ekki munu verða nýttar. Í einhverjar þeirra væri rétt að steypa mælirör svo hægt verði að nýta þær áfram til mælinga.



MYND 34. Vatnsborðsspá fyrir holu 10



MYND 35. Vatnsborðsspá fyrir holu 11

6. HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Helstu niðurstöður þessarar úttektar eru eftirfarandi:

- Hóla 11 virðist að einhverju leyti í greiðari tengslum við þann hluta jarðhitakerfisins, sem er austan gangs B (sjá mynd 1), en hóla 10. Þó er ekki við því að búast að hóla 11 gefi til langframa neina viðbót við það sem hóla 10 gefur.
- Iðustreymistap er minna í hóla 11 en í hóla 10. Að því leyti er hóla 11 hagkvæmari vinnsluhóla. Fyrir hóla 10 er iðustreymisstuðull áætlaður $C = 0,0027 \text{ m}/(1/\text{s})^2$ en $C = 0,0015 \text{ m}/(1/\text{s})^2$ fyrir hóla 11.
- Ársmeðalvinnsla að Hamri hefur minnkað úr um 41 l/s í um 27 l/s, eða um 34 %, eftir að farið var að selja heita vatnið samkvæmt magnmælum í stað hemla. Samfara minnkandi notkun hefur vatnsborð í hóla 2 hækkað um 7 m. Ef vinnslan helst stöðug er ekki við því að búast að niðurdráttur í kerfinu verði orðinn jafn mikill og hann var í ársbyrjun 1986 fyrr en um eða eftir aldamót.
- Með einföldu þriggja geyma þjöppuðu líkani hefur tekist að herma þrýstiviðbrögð jarðhitakerfisins að Hamri nokkuð nákvæmlega. Byggt var á vatnsborðs- og vinnslugögnum, sem safnað hafði verið fram á seinni hluta árs 1988.
- Ársmeðalvinnsla næstu 20 árin getur sennilega verið um 31 - 32 l/s án þess að síkka þurfi dælu í hóla 11. Ef vinnslan verður aukin í 35 - 40 l/s þarf væntanlega að síkka dælu í hóla 11 eftir um 10 - 15 ár. Ef dæla er síkkuð í 100 m í hóla 11 má búast við því að dæla megi allt að 60 - 65 l/s (ársmeðalvinnsla) úr henni.
- Jarðhitakerfið að Hamri virðist vera lítið og aðstreymi að því takmarkað. Í innsta hluta kerfisins er lektin mikil, en lektin minnkar er utar kemur í kerfið. Því er niðurdráttur vegna vinnslu til skamms tíma lítill, en við langtímvinnslu eykst

hann stöðugt. Svo virðist sem jarðhitakerfið nái yfir lágviðnámssvæðið við Hamar, og eitthvað út fyrir það, en sé síðan í tengslum við grunnvatnskerfið á svæðinu. Náttúrulegt varmaafli kerfisins virðist lítið samanborið við núverandi vinnslu. Vegna þessa er hættu á því að kaldara vatn sé nú þegar tekið að streyma inn í jarðhitakerfið og að vatn úr vinnsluholunum muni fara kólnandi í framtíðinni.

- Eftirlit með jarðhitakerfinu að Hamri hefur verið í góðu horfi síðastliðin sjö ár. Mikilvægt er að því vinnslueftirliti verði haldið áfram. Nákvæmlega þarf að fylgjast með vinnslu úr kerfinu og vatnsborði á því. Vegna þess að kólnun vatns úr vinnsluholunum virðist yfirvofandi einhvern tímann á næstu áratugum er afar mikilvægt að fylgst verði vel með hitastigi vatnsins og efnainnihaldi þess, en oft má sjá fyrirboða kólnunar í breytingum á efnainnihaldi vatnsins.
- Lagt er til að steipt verði í þær borholur á vinnslusvæðinu við Hamar, sem ekki verða nýttar í framtíðinni. Í holur sem nýst gætu til hitamælinga, vatnsborðsmælinga eða annarra mælinga mætti steypa mælirör.
- Við vinnslu úr hóla 9 verður mikill niðurdráttur, eða um 1,7 m/(1/s), í efsta hluta jarðhitakerfisins. Þetta þýðir að lekt er lítil í efsta hluta kerfisins og að hóla 9 er í mun tregara sambandi við uppstreymisrás jarðhitakerfisins, en holur 10 og 11. Þó hefur hóla 9 áhrif á dýpri hluta kerfisins og því virðist að með vinnslu úr hóla 9 muni ekki sparast það vatn, sem annars væri dælt úr holum 10 eða 11.

HEIMILDASKRÁ

- Guðjón Guðmundsson, 1988: Dalvík, holur 10 og 11. Orkustofnun, greinargerð GjG-88/03, 9s.
- Guðni Axelsson, 1985: *Hydrology and Thermomechanics of Liquid-Dominated Hydrothermal Systems in Iceland*. PhD-Ritgerð, Oregon State Háskóli, Oregon, U.S.A., 291s.
- Kristján Sæmundsson, 1970: *Skýrsla um jarðhitarannsóknir á Dalvík í ágúst 1970*. Orkustofnun, JHD.
- Lúðvík S. Georgsson, Auður Ingimarsdóttir, Guðni Axelsson, Margrét Kjartansdóttir og Þorsteinn Thorsteinsson, 1987: *Laugaland í Holtum. Hóla GN-1 í Götu og vatnsvinnsla á Laugalandssvæðinu 1982-1987*. Orkustofnun, OS-87022/-JHD-04, 65s. Unnið fyrir Hitaveitu Rangæinga.
- Magnús Ólafsson, 1988: Hitaveita Dalvíkur. Af efnaeftirliti 1987. Orkustofnun, greinargerð MÓ-88/12, 4s.
- Orkustofnun og Verkfræðistofan Vatnaskil hf, 1986: *Laugarnessvæði. Vinnslusaga og framtíðarhorfur*. Hitaveita Reykjavíkur, 129s. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.
- Ómar Sigurðsson, Ragna Karlsdóttir og Margrét Kjartansdóttir, 1987: *Hitaveita Siglufjarðar. Mat á jarðhitasvæðinu í Skáitadal*. Orkustofnun, OS-87034/JHD-08, 71s. Unnið fyrir Hitaveitu Siglufjarðar.
- Ragna Karlsdóttir og Guðni Axelsson, 1986: *Vatnsöflun Hitaveitu Dalvíkur. Úttekt á jarðhitasvæðinu við Hamar*. Orkustofnun, OS-86044/JHD-12, 51s. Unnið fyrir Hitaveitu Dalvíkur.
- Ragna Karlsdóttir, Hjálmar Eysteinnsson, Ómar Bjarki Smáráson og Guðni Axelson, 1988: *Borun holu 11 við Hamar í Svarfaðardal*. Orkustofnun, skýrsla í handriti. Unnin fyrir Hitaveitu Dalvíkur.
- Valgarður Stefánsson og Kristján Sæmundsson, 1975: *Borholumælingar við Dalvík 1974*. Orkustofnun, JHD.
- Þorsteinn Thorsteinsson, Kristján Sæmundsson og Sigurður Benediktsson, 1972: *Heitavatnskerfið við Hamar í Svarfaðardal*. Orkustofnun, JHD.