



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

**JARÐHITASVÆÐIÐ VIÐ ÁSHILDAR-  
HOLTSVATN Í SKAGAFIRÐI**

**Rennslisprófun og mat á afkastagetu**

Guðni Axelsson

Unnið fyrir Hitaveitu Sauðárkróks

OS-92019/JHD-08 B

Apríl 1992



**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 610511

**JARÐHITASVÆÐIÐ VIÐ ÁSHILDAR-  
HOLTSVATN Í SKAGAFIRÐI**

**Rennslisprófun og mat á afkastagetu**

Guðni Axelsson

Unnið fyrir Hitaveitu Sauðárkróks

OS-92019/JHD-08 B

Apríl 1992

## EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	3
2. PRÓFUN SUMARIÐ 1991	5
3. TÚLKUN GAGNA ÚR PRÓFUNINNI SUMARIÐ 1991	14
3.1 Iðustreymistap í vinnsluholum	14
3.2 Seinasti hluti prófunarinnar	15
3.3 Túlkun prófunar í heild	15
4. LANGTÍMAVIÐBRÖGÐ JARÐHITAKERFIS	22
5. SPÁR UM AFKÖST OG FRAMTÍÐARVIÐBRÖGÐ	27
6. NIÐURSTÖÐUR OG LOKAORÐ	31
HEIMILDIR	32

## TÖFLUSKRÁ

1. Vinnslu- og eftirlitsholur við Áshildarholtsvatn	3
2. Rennslisprófunin sumarið 1991	5
3. Heildarrennsli í rennslisprófun 1991 skv. mælum í dælustöð og á yfirfalli	10
4. Iðustreymistap í vinnsluholum	15
5. Eiginleikar þjappaðs líkans af jarðhitakerfinu skv. prófun 1991	17
6. Samanburður á eiginleikum innstu hluta nokkurra jarðhitakerfa skv. rennulkani	19
7. Áætlað meðalrennsli og þrýstingur á jarðhitasvæðinu frá upphafi vinnslu	22

## MYNDASKRÁ

1. Staðsetning borhola við Áshildarholtsvatn	4
2. Rennsli úr holum við Áshildarholtsvatn í prófun sumarið 1991	6
3. Samanburður á heildarrennsli mældu af gagnasöfnunarbúnaði og samkvæmt mælum í dælustöð og á yfirfalli	6
4. Þrýstingur á holum 9, 12 og 13 í prófun	7
5. Heildarrennsli og svæðisþrýstingur (hola 9) í prófun	7
6. Þrýstingur og rennsli holu 12 í prófun ásamt heildarrennsli	8
7. Þrýstingur og rennsli holu 13 í prófun ásamt heildarrennsli	8

8. Gögn úr seinni hluta prófunar sumarið 1991	9
9. Rennsli úr holum í prófun, lógaritmískur tímaás	12
10. Heildarrennsli og svæðisþrýstingur (hola 9) í prófun, lógaritmískur tímaás	12
11. Samband heildarrennslis og svæðisþrýstings í prófun	13
12. Þrýstingur í seinasta hluta prófunar, lógaritmískur tímaás	13
13. Mældur og reiknaður þrýstingur holu 9 í seinasta hluta prófunar	16
14. Þjappað líkan af jarðhitakerfinu við Áshildarholtsvatn	16
15. Mældur og reiknaður svæðisþrýstingur í prófun.	18
16. Einingamiðurdráttur jarðhitakerfis skv. prófun	18
17. Einingamiðurdráttur jarðhitakerfis skv. prófun, lógaritmískur tímaás	20
18. Einingamiðurdráttur jarðhitakerfis og reiknuð viðbrögð rennulíkans	20
19. Einfalt þjappað líkan af jarðhitakerfinu við Áshildarholtsvatn og nærliggjandi vatnskerfum	23
20. Áætlaður og reiknaður þrýstingur frá 1960 til 1991	23
21. Þrýstingur holu 9 og vinnsla árið 1990	25
22. Mældur og reiknaður þrýstingur árið 1990	25
23. Einingamiðurdráttur jarðhitakerfis skv. prófun og vinnslugögnum	26
24. Áætlaður og reiknaður þrýstingur frá 1960 til 1991	26
25. Spár um svæðisþrýsting við Áshildarholtsvatn fyrir vinnslutilfelli A, B, C og D	29
26. Spár um svæðisþrýsting við Áshildarholtsvatn fyrir vinnslutilfelli A, E og F	29
27. Áætluð umframgeta vinnsluhola við Áshildarholtsvatn fyrir vinnslutilfelli B	30
28. Áætluð umframgeta vinnsluhola við Áshildarholtsvatn fyrir vinnslutilfelli D	30

## 1. INNGANGUR

Hitaveita Sauðárkróks nýtir eitt af öflugri lágheitsvæðum Íslands, jarðheitsvæðið í Borgarmýrum við Áshildarholtsvatn. Á tímabilinu 1948 - 1981 voru alls boraðar 14 holur á svæðinu (mynd 1). Fyrsta holan (SK-0), sem aðeins var 17½ m djúp, er nú ónýt og steipt hefur verið í næstu átta holur (SK-1 - SK-8), sem allar voru innan við 250 m djúpar. Í töflu 1 eru birtar upplýsingar um þær borholur sem ekki hefur verið steipt í, en þær eru jafnframt yngstu holurnar á jarðheitsvæðinu. Holur SK-10 - SK-13 eru nýttar sem vinnsluholur, en hola SK-9 sem eftirlitshola. Ómar B. Smárason og Ragna Karlsdóttir (1987) hafa fjallað um jarðfræði svæðisins.

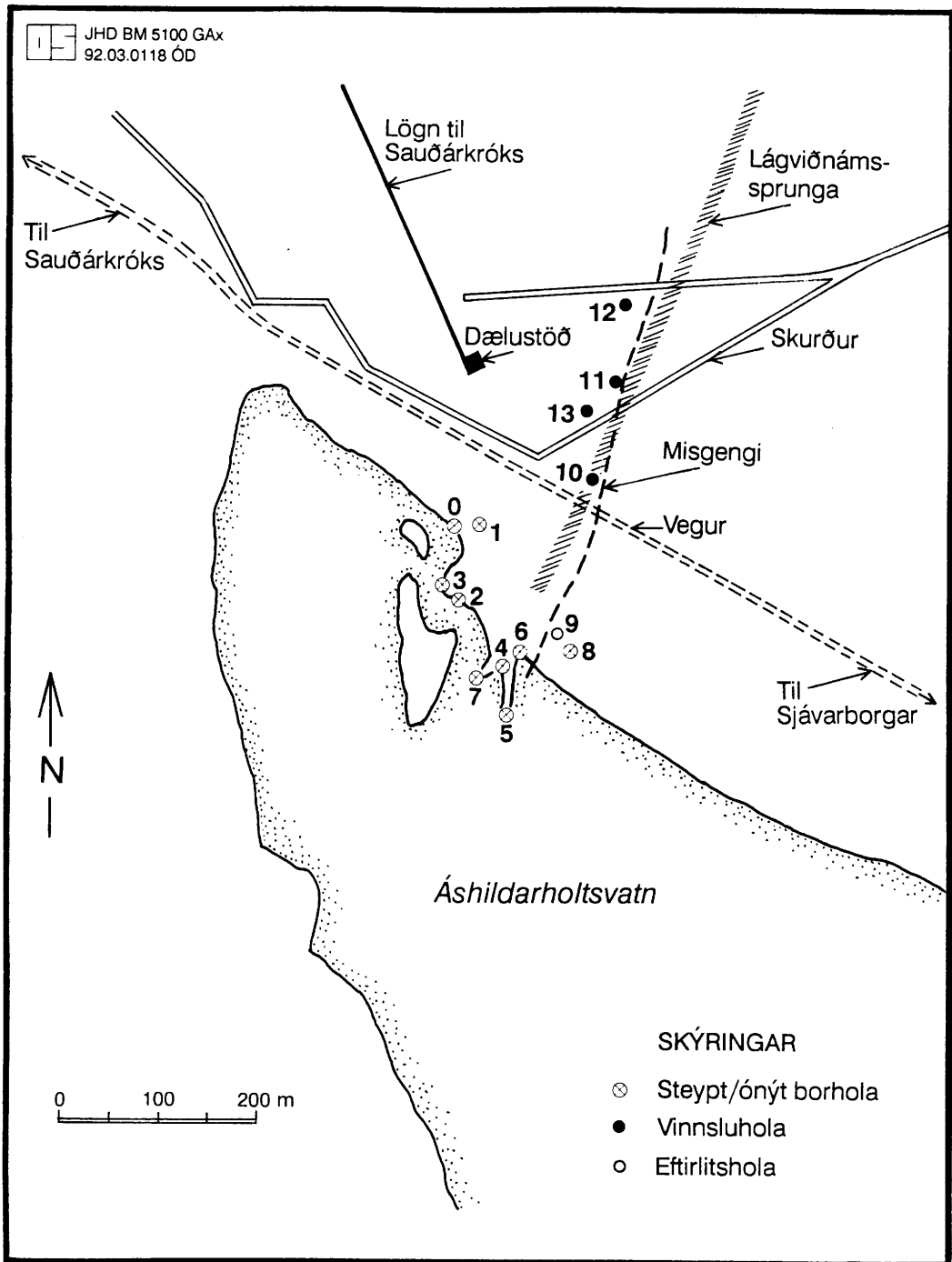
Frá upphafi vinnslu hefur sjálfrennsli úr borholum á svæðinu uppfyllt þarfir Hitaveitu Sauðárkróks. Undanfarin ár hefur ársmeðalvinnslan verið á bilinu 75 - 80 l/s og mesta vinnsla að vetri til farið upp í 100 l/s (Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1990). Vinnsluholurnar fjórar afkasta þó mun meiru, allavega til skamms tíma. Í átta daga prófun í ágúst 1984, sem fór þannig fram að holur 9 - 13 voru opnaðar til fulls og rennsli úr þeim mælt, gaf svæðið 148 - 161 l/s (Þorsteinn Thorsteinsson og Ragna Karlsdóttir, 1986). Eftir þá prófun var áætlað að auka mætti afköst svæðisins í 190 - 220 l/s með borun nýrrar víðrar vinnsluholu og dælingu úr henni og nokkrum eldri holum.

Fyrri hluta sumars 1991 var gerð 17 daga prófun á jarðheitsvæðinu við Áshildarholtsvatn, sem er sambærileg við prófunina í ágúst 1984. Holur 10 - 12 voru opnaðar til fulls og fylgst með rennsli og viðbrögðum svæðisins. Í lok prófunarinnar var holum 12 og 13 lokað. Tilgangur þessarar prófunar var að kanna viðbrögð jarðheitsvæðisins og bera þau saman við viðbrögð svæðisins í ágúst 1984 ásamt því að meta hámarks afkastagetu þess. Í prófuninni var notaður sjálfvirkur gagnasöfnunarbúnaður Hitaveitu Sauðárkróks, en það einfaldaði mjög framkvæmd hennar og hélt kostnaði í lágmarki.

Í þessari skýrslu er fjallað um niðurstöður rennslisprófunarinnar, sem ásamt vinnslusögu jarðheitsvæðisins eru notaðar til þess að áætla afkastagetu svæðisins og breytingar á þrýstiástandi þess í framtíðinni. Í köflum 2 og 3 er fjallað um prófunina og úrvinnslu hennar. Í kafla 4 er fjallað um úrvinnslu tiltækra gagna um langtíma viðbrögð jarðheitsvæðisins. Í kafla 5 eru að síðustu birtar spár um afköst og viðbrögð jarðheitsvæðisins í framtíðinni, byggðar á niðurstöðum kafla 3 og 4.

Tafla 1. Vinnslu- og eftirlitsholur við Áshildarholtsvatn.

Hola	Borun lokið	Dýpi (m)	Bor	Fóðring		Holuvídd (m)	Ath.
				þvermál (m)	dýpi (m)		
SK-09	1965	384,0	Ýmir	0,11	181,9	0,12	Eftirlitshola
SK-10	1972	557,5	Ýmir	0,20	24,0	0,13	Vinnsluhola
SK-11	1971	554,3	Ýmir	0,20	33,3	0,13	Vinnsluhola
SK-12	1976	524,4	Narfi	0,25	118,0	0,20	Vinnsluhola
SK-13	1981	666,8	Glaumur	0,30	222,6	0,22	Vinnsluhola



Mynd 1. Staðsetning borhola við Áshildarholtsvatn.

## 2. PRÓFUN SUMARIÐ 1991

Jarðhitasvæðið við Áshildarholtsvatn var prófað dagana 25. júní til 8. júlí 1991. Prófunin fór þannig fram að vinnsluholurnar SK-10, SK-11, SK-12 og SK-13 voru opnaðar til fulls um kl 9:00 þann 25. júní og þær hafðar opnar til kl 16:00 þann 6. júlí. Þá var holu 12 lokað og tæpum sólarhring síðar, um kl 9:30 þann 7. júlí, var holu 13 einnig lokað. Prófuninni lauk síðan um kl 10:00 þann 8. júlí með því að hola 13 var opnuð á ný. Gangur prófunarinnar er sýndur í töflu 2.

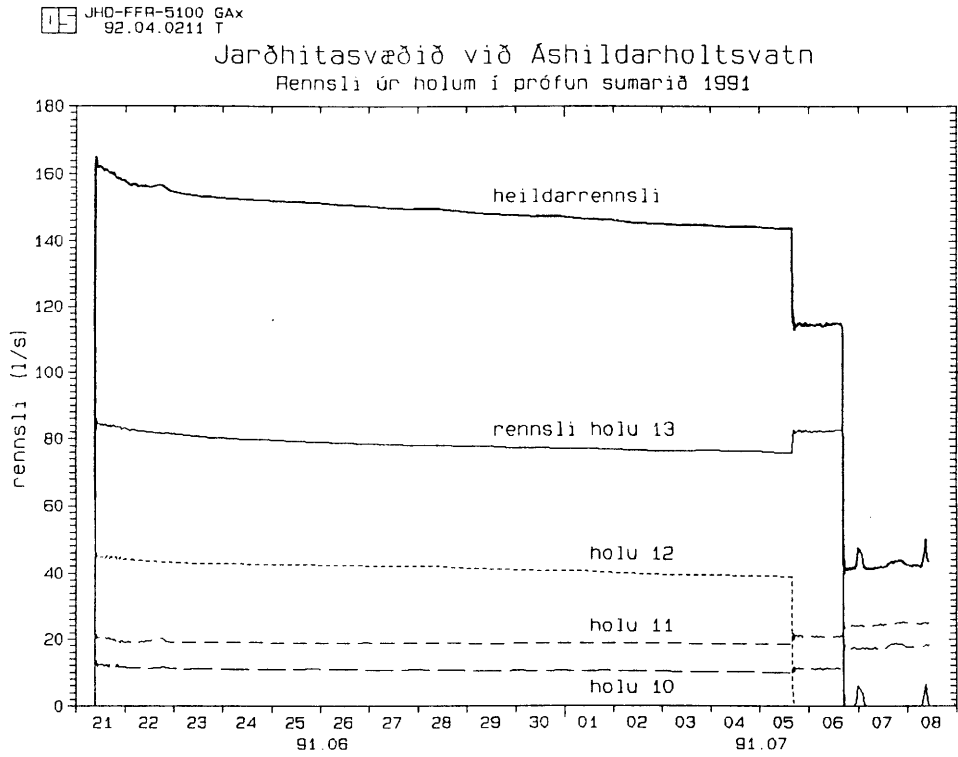
Meðan á prófuninni stóð safnaði gagnasöfnunarbúnaður Hitaveitu Sauðárkróks upplýsingum um rennsli úr holunum fjórum, toppþrýsting þeirra og hita vatnsins sem rann úr holu 13. Einnig safnaði búnaðurinn gögnum um þrýsting á holu 9, sem ætti að endurspeglar þrýsting í jarðhitakerfinu. Auk þess var heildarrennslið af svæðinu mælt til samanburðar með aflestrum af rennslismæli í dælustöð og rennslismæli á yfirfalli, en um það fór það vatn sem hitaveitan nýtti ekki meðan á prófuninni stóð.

Tafla 2. Rennslisprófunin sumarið 1991.

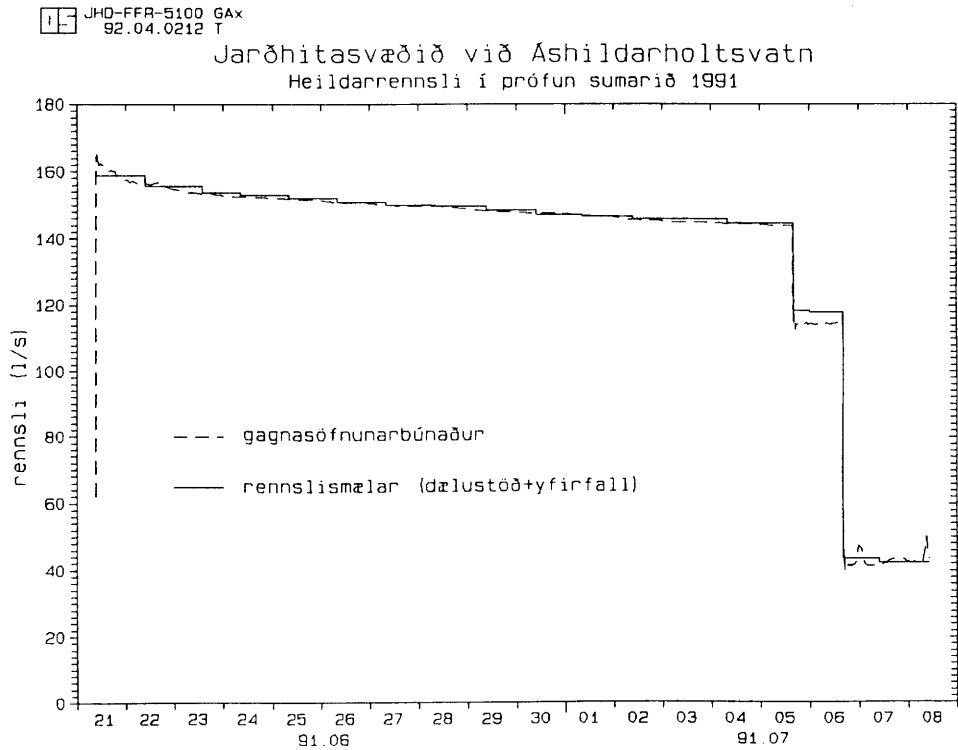
Tímabil	Rennsli (l/s)			
	holu 10	holu 11	holu 12	holu 13
21.06-05.07	12 → 10	21 → 19	45 → 39	86 → 76
05.07-06.07	11	21	0	82
06.07-08.07	17	25 → 24	0	0

Gögnin úr prófuninni eru birt á myndum 2 til 8 hér á eftir. Mynd 2 sýnir rennsli úr einstökum holum ásamt heildarrennsli, en mynd 3 sýnir samanburð á heildarrennsli eins og það var mælt af gagnasöfnunarbúnaðinum og heildarrennsli samkvæmt mælum í dælustöð og á yfirfalli. Þarna á milli er mjög gott samræmi og því virðist hægt að treysta mælingum gagnasöfnunarbúnaðarins á rennsli úr einstökum holum. Þó ber að geta þess að smávægileg skekkja virtist vera í mælingum gagnasöfnunarbúnaðarins á rennsli úr holu 12 fyrstu dagana, sem hefur verið leiðrétt á myndunum til samræmis við mæla í dælustöð og á yfirfalli. Mynd 4 sýnir þrýsting á holum 9, 12 og 13, en litlar þrýstibreytingar urðu á holum 10 og 11 þar sem þær voru fullopnar. Mynd 5 sýnir þrýsting á holu 9 og heildarrennsli af svæðinu, en eins og áður segir endurspeglar þrýstingur á holu 9 þrýsting í jarðhitakerfinu, sem aftur ræðst af heildarrennsli úr jarðhitakerfinu. Myndir 6 og 7 sýna síðan þrýsting og rennsli hola 12 og 13 ásamt heildarrennsli til samanburðar. Að lokum sýnir mynd 8 gögn úr síðasta hluta prófunarinnar er holum 12 og 13 hafði verið lokað.

Hitaskynjarar á holum 10, 11 og 12 voru í ólagi í prófuninni, en í lagi á holu 13 og í dælustöðinni. Engar vísbendingar sáust um breytingar á hita vatns úr holunum meðan á prófuninni stóð, en hann er á bilinu 68 - 71 °C.

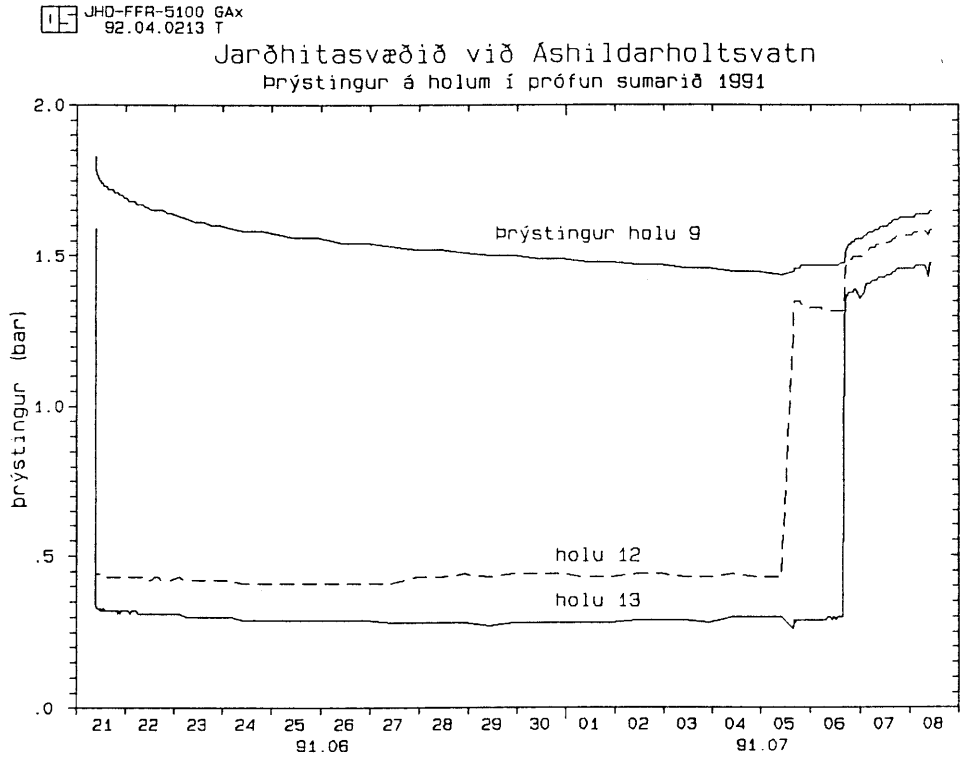


Mynd 2. Rennsli úr holum við Áshildarholtsvatn í prófun sumarið 1991.

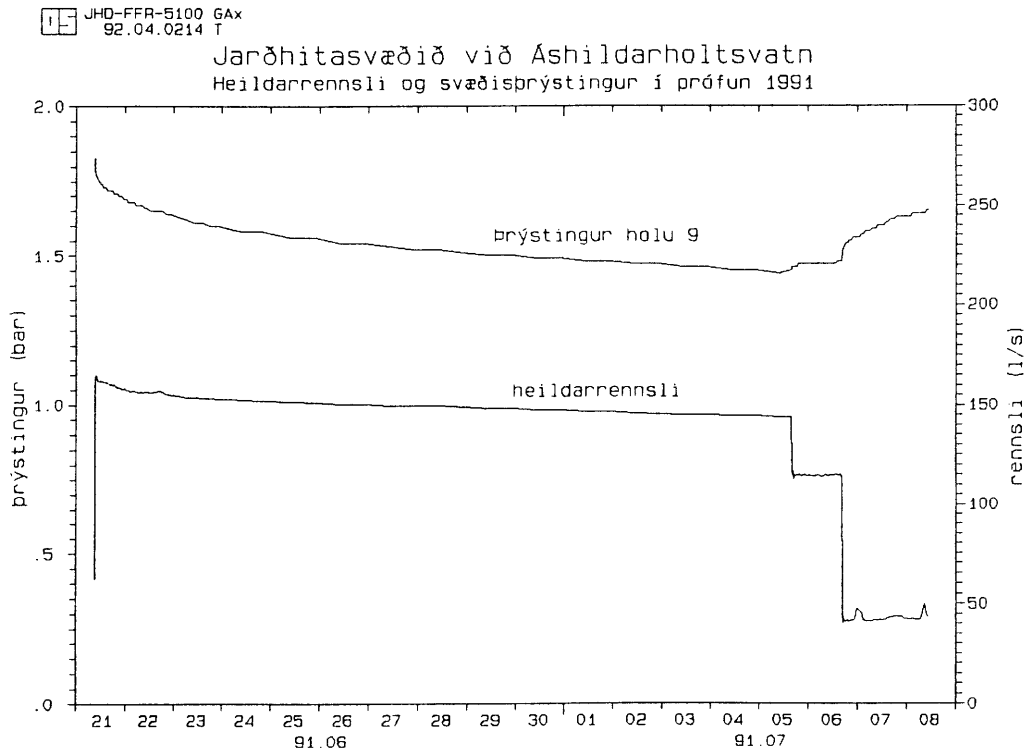


Mynd 3. Samanburður á heildarrennsli mældu af gagnasöfnunarbúnaði og samkvæmt mælum í dælustöð og á yfirfalli.

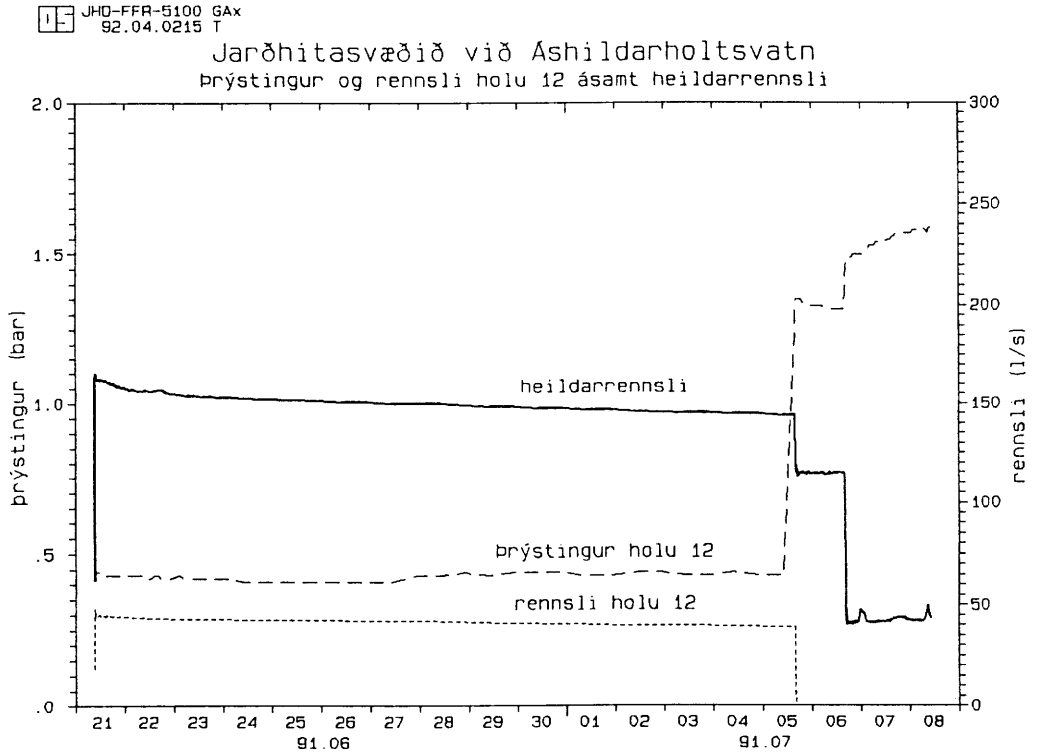




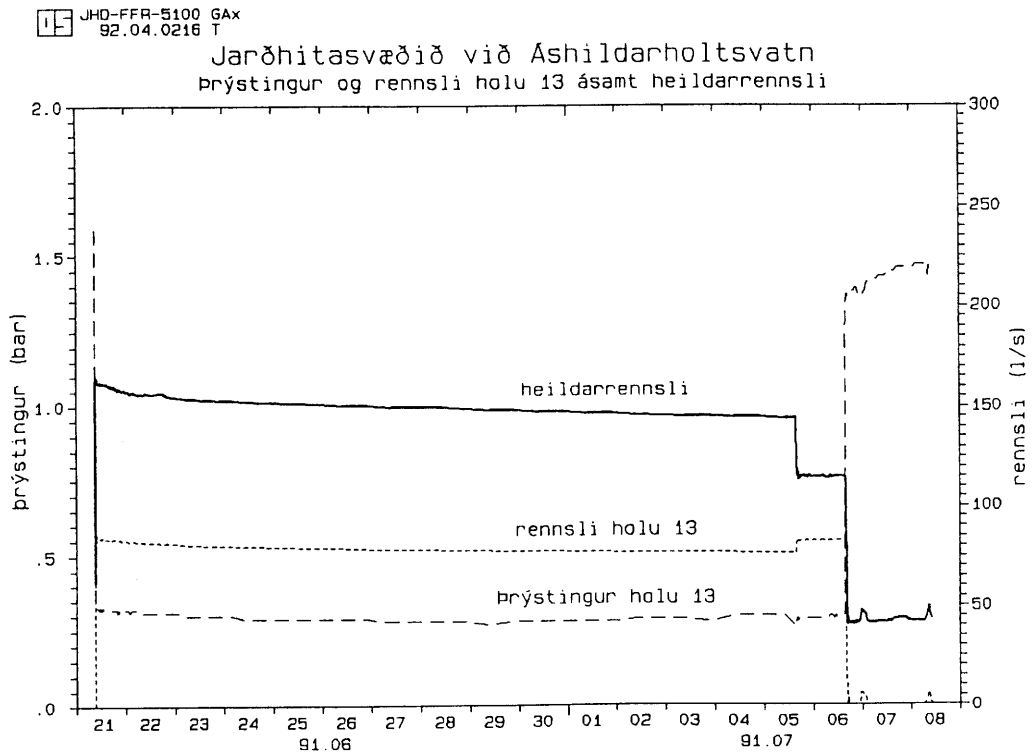
Mynd 4. Þrýstingur á holum 9, 12 og 13 í prófun.



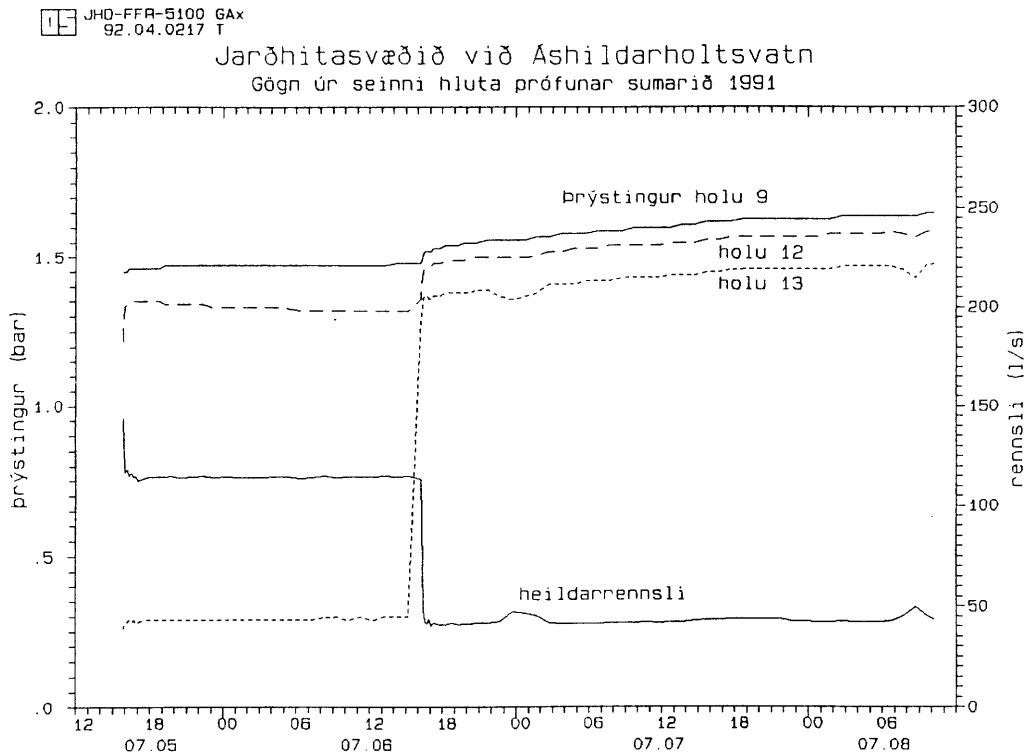
Mynd 5. Heildarrensli og svæðisþrýstingur (hola 9) í prófun.



Mynd 6. Þrýstingur og rennsli holu 12 í prófun ásamt heildarrennsli.



Mynd 7. Þrýstingur og rennsli holu 13 í prófun ásamt heildarrennsli.



Mynd 8. Gögn úr seinni hluta prófunar sumarið 1991.

Í töflu 3 eru birtar upplýsingar um heildarrennsli í prófuninni samkvæmt rennslismælunum í dælustöðinni og á yfirfallinu. Um yfirfallið fóru um  $150.000 \text{ m}^3$ , sem samsvarar um 23 daga notkun miðað við 75 l/s ársmeðalvinnslu eða um 39 daga notkun miðað við 45 l/s sumarvinnslu. Í upphafi prófunarinnar mældist heildarrennslið mest um 170 l/s (augnabliksrennsli), en það minnkaði fljótlega. Eftir tvo daga var rennslið komið niður í 154 l/s, eftir fimm daga í 151 l/s, eftir átta daga í 148 l/s og eftir fjórtán daga, er lokað var fyrir holu 12, var rennslið um 144 l/s. Í prófuninni 1984 minnkaði heildarrennslið niður í 148 l/s á átta dögum. Ekki virðast því afköst jarðhitasvæðisins hafa dalað á þeim sjö árum sem liðu milli prófananna.

Einni klst. eftir lokun holu 13 mældist prýstingur á holunni 1,37 bar. Í lok prófunarinnar, eftir 42 klst. lokun holu 13, mældist prýstingur á holunni 1,48 bar, en 1,65 bar á holu 9 og 1,59 bar á holu 12. Í ágúst 1984 (Þorsteinn Thorsteinsson og Ragna Karlsdóttir, 1986) mældist lokunarprýstingur holu 13 um 1,3 bar. Prýstingur í jarðhitakerfinu virðist því ekki hafa lækkað á þeim sjö árum sem liðu milli prófananna. Þess má geta að mánuðinn fyrir prófunina var meðalrennslið úr vinnsluholunum um 62 l/s og að skömmu fyrir prófunina var prýstingur á holu 9 um 1,83 bar (borið saman við 60 l/s rennsli fyrir prófunina 1984).

Fjallað verður um úrvinnslu gagna úr prófuninni í kafla 3. Þó má benda á nokkur atriði sem sjá má á gögnunum án frekari úrvinnslu. Til þess að auðvelda það er hluti gagnanna endurteiknaður á myndum 9 - 12. Myndir 9 og 10 eru með lógaritmíska tímaása, því þannig sjást hægfara breytinga með tíma betur en ella. Mynd 9 sýnir rennsli úr holum 12 og 13 ásamt samanlögðu rennsli úr holum 10 og 11. Mynd 10 sýnir heildarrennsli af

Tafla 3. Heildarrennslí í rennslisprófun 1991 skv. mælum í dælustöð og á yfirfalli.

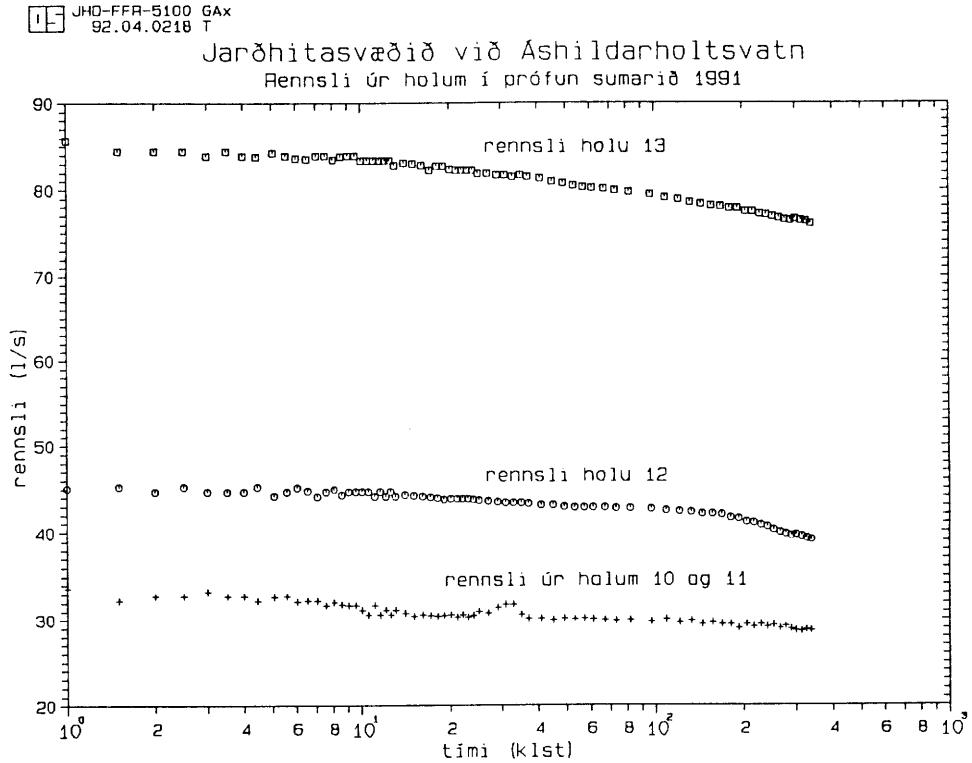
Tímabil	Rennslí (l/s)
21/6 08:54 - 22/6 09:38	158,8
22/6 09:38 - 23/6 13:42	155,7
23/6 13:42 - 24/6 08:31	153,7
24/6 08:31 - 25/6 08:06	153,0
25/6 08:06 - 26/6 08:07	152,1
26/6 08:07 - 27/6 08:07	150,8
27/6 08:07 - 28/6 08:21	150,0
28/6 08:21 - 29/6 09:23	149,6
29/6 09:23 - 30/6 09:28	148,5
30/6 09:28 - 01/7 08:18	147,1
01/7 08:18 - 02/7 09:06	146,7
02/7 09:06 - 03/7 08:11	145,8
03/7 08:11 - 04/7 08:06	145,9
04/7 08:06 - 05/7 15:58	144,6
05/7 15:58 - 05/7 23:52	118,6
05/7 23:52 - 06/7 16:04	117,9
06/7 16:04 - 07/7 09:26	43,6
07/7 09:26 - 08/7 10:06	42,3

svæðinu og þrýsting á holu 9. Mynd 11 sýnir samband heildarrennslis og þrýstings á holu 9 og að lokum sýnir mynd 12 þrýsting í seinasta hluta prófunarinnar, þ.e. eftir að holu 13 hafði verið lokað, með lógaritmískum tímaskala. Eftirfarandi atriði vekja mesta athygli:

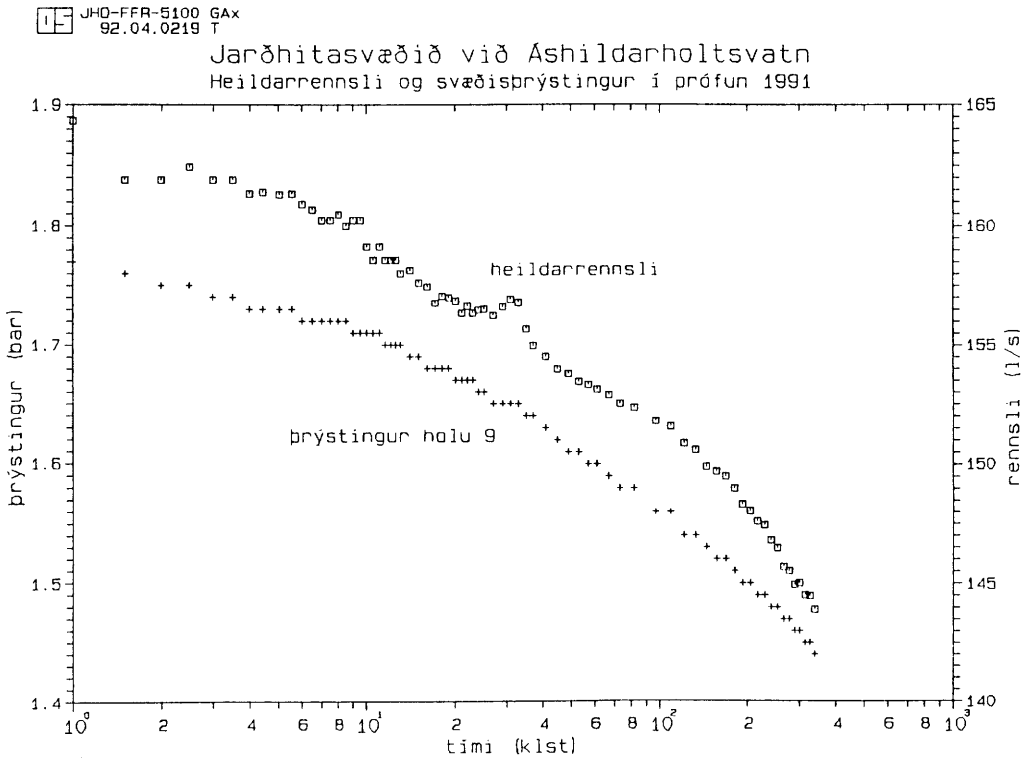
- Mjög lítil þrýstingslækkun (0,4 bar) verður í jarðhitakerfinu við mikla aukningu í vinnslu (90 l/s). Þetta samsvarar því að til skamms tíma (1 - 2 vikur) sé niðurdráttur í jarðhitakerfinu um 0,045 m/(l/s). Þetta er með því minnsta sem gerist fyrir íslensk lághitakerfi. Af þeim jarðhitasvæðum sem nýtt eru hefur aðeins jarðhitasvæðið í Mosfellssveit minni skammtímaniðurdrátt, um 0,01 m/(l/s) (Mica Martinovic, 1990). Lítil skammtímaniðurdráttur endurspeglar mjög mikla lekt innan jarðhitakerfisins. Prófunin við Áshildarholtsvatn stóð þó yfir í skamman tíma miðað við vinnslusögu svæðisins, en langtímaviðbrögð jarðhitakerfisins ráðast af stærð þess frekar en lekt.
- Búast mætti við því að rennslí og þrýstingur minnkuðu línulega á lógaritmískum tímaskala ef jarðhitakerfið við Áshildarholtsvatn væri mjög stórt. Á mynd 10 sést hins vegar að minnkun rennslis og þrýstings er hraðari en væri hún línuleg. Það bendir til þess að í prófuninni hafi tekið að gæta áhrifa einhverra takmarka í jarðhitakerfinu, eða minnkandi lektar er fjær dregur vinnsluholunum.
- Brot kemur fram í rennslisferlinum fyrir holu 12 á mynd 9 eftir að 160 klst. eru liðnar af prófuninni. Þetta brot sést einnig í heildarrennslinu á mynd 10. Brot eins og hér um

ræðir gæti bent til einhvers konar lektarskila í jarðhitakerfinu, sem sennilega eru næst holu 12 af vinnsluholunum. Rétt er að benda á að þetta brot sást ekki í prófuninni árið 1984 þar sem hún stóð aðeins yfir í 8 daga (190 klst.).

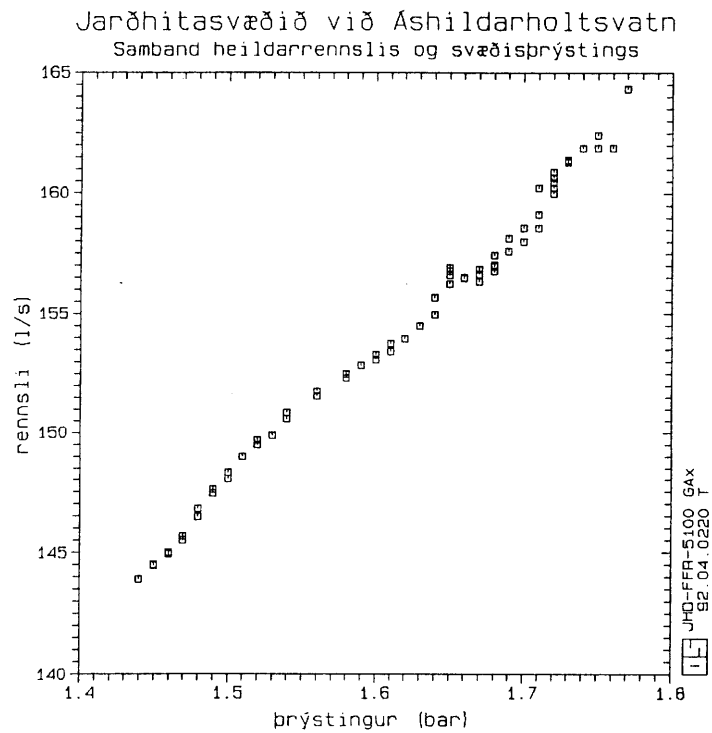
- Mjög skýrt samband er milli heildarrennslis og þrýstings á holu 9 (mynd 11). Þetta samband, ásamt mynd 10, mætti nota til þess að spá fyrir um minnkun rennslis og þrýstings í framtíðinni.
- Brot kemur fram í þrýstingi á holum 9, 12 og 13 eftir að um 10 klst. eru liðnar af seinasta hluta prófunarinnar. Þetta brot bendir einnig til lektarskila í jarðhitakerfinu, sem eru enn nær en skilin sem sjást í rennsliferli holu 12. Ef vel er að gáð má einnig sjá slíkt brot á myndum 9 og 10 um 10 klst. eftir að rennslisprófunin hefst.



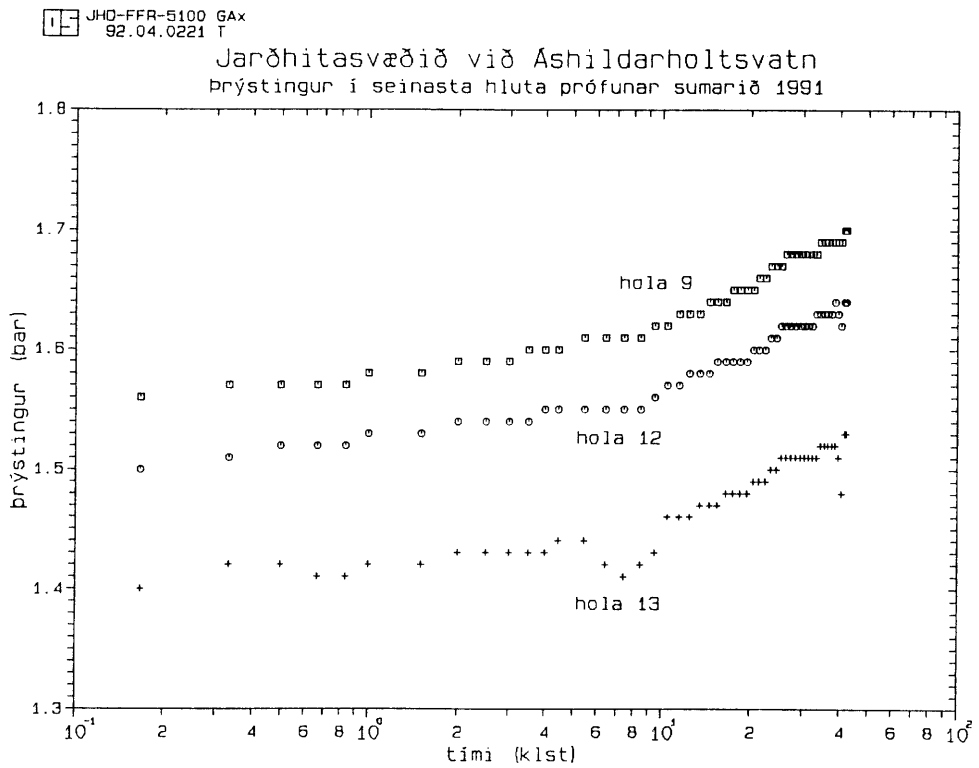
Mynd 9. Rennsli úr holum í prófun, lógaritmískur tímaás.



Mynd 10. Heildarrennsli og svæðisprýstingur (holu 9) í prófun, lógaritmískur tímaás.



Mynd 11. Samband heildarrennslis og svæðisprýstings í prófun.



Mynd 12. Prýstingur í seinasta hluta prófunar, lógaritmískur tímaás.

### 3. TÚLKUN GAGNA ÚR PRÓFUNINNI SUMARIÐ 1991

Úrvinnsla gagna úr prófuninni sumarið 1991 var þrífætt. Í fyrsta lagi var iðustreymistap í vinnsluholunum við Áshildarholtsvatn áætlað, en það veldur því að niðurdráttur er meiri í þeim, þegar þær eru í vinnslu, en í öðrum holum á svæðinu. Í öðru lagi voru gögnin úr seinasta hluta prófunarinnar, eftir að holu 13 hafði verið lokað, túlkuð til þess að áætla eiginleika innsta hluta jarðhitakerfisins. Við þá túlkun var beitt einföldum grundvallar-aðferðum. Í þriðja lagi var prófunin í heild sinni túlkuð. Við þá túlkun var notað þjappað líkan, bæði til þess að sjá í gegnum áhrif breytilegs rennslis í prófuninni og til þess að afla upplýsinga um eiginleika jarðhitakerfisins.

Þeir eiginleikar sem um er að ræða eru lekt og vatnsrýmd. Lektin stjórnar því hve greiðlega vatn streymir um vatnskerfi og þar af leiðandi hve miklar þrýstibreytingar verða í því við vinnslu. Ef lekt kerfis er mikil getur vatnsstreymi verið mikið og þrýstibreytingar litlar. Rýmd kerfis stjórnar því hve mikið vatn fæst úr kerfinu við ákveðna þrýstingsbreytingu (sbr. hugtakið geymslustuðull). Ef rýmd er mikil þá er kerfið gjöfult og þrýstibreytingar í því hægar. Rýmd vatnskerfis ræðst af stærð þess, poruhluta og annað hvort af þjappanleika bergs og vatns eða breytingum á frjálsum vatnsborði (þ.e. stöðu grunnvatnsborðs). Rýmd að völdum frjáls vatnsborðs er að öllu jöfnu um tveimur stærðargráðum meiri en rýmd af völdum þjappanleika.

#### 3.1 Iðustreymistap í vinnsluholum

Þegar vatn rennur úr vinnsluholum verður meira þrýstifall í þeim en í jarðhitakerfinu utan þeirra. Það er vegna þrýstifalls sem verður vegna iðustreymis (e. turbulence) í holunum og sprungum næst þeim, og nefnt er iðustreymistap. Þetta þrýstifall er ekki línulega háð vinnslu eins og þrýstifallið í jarðhitakerfinu, en má nálga með

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

þar sem  $\Delta p$  er iðustreymistapið,  $C$  er iðustreymisstuðull viðkomandi holu og  $Q$  er vinnslan. Iðustreymistap kemur fram strax og rennslí úr vinnsluholu hefst eða breytist, en þrýstingur í jarðhitakerfinu breytist smátt og smátt með tímanum. Ef áætla á þrýstibreytingar fyrir vinnsluholu þarf því að meta iðustreymistap í holunni auk þess að áætla breytingar í jarðhitakerfinu.

Fyrir vinnsluholurnar við Áshildarholtsvatn var iðustreymistap í fyrsta lagi áætlað út frá þeim mun sem reyndist á þrýstingi vinnsluholanna og þrýstingi holu 9 í prófuninni. Í öðru lagi var iðustreymistapið fyrir holur 12 og 13 áætlað út frá hækkun þrýstings í holunum er þeim var lokað í lok prófunarinnar. Í þriðja lagi var stuðst við eldri áætlanir Þorsteins Thorsteinssonar og Rögnu Karlsdóttur (1986) á iðustreymistapi í holum 10 - 12.

Samandregnar niðurstöður eru birtar í töflu 4. Þar sést að iðustreymistap er langmest í holu 10, en minnst í holu 13. Hér endurspeglar iðustreymistapið fyrst og fremst vídd holanna og er iðustreymistapið því meira sem holurnar eru grennri. Það skýrir hvers vegna grennstu holurnar eru afkastaminnstar. Þorsteinn Thorsteinsson og Ragna Karlsdóttir (1986) benda á það að iðustreymisstuðlar vinnsluholanna við Áshildarholtsvatn séu nokkurn veginn sambærilegir við stuðla fyrir rennslisviðnám í pípum með sömu lengdir og þvermál og holurnar.



Tafla 4. Iðustreymistap í vinnsluholum.

Hola	Vídd (m)	Iðustreymis- stuðull ( $m/(l/s)^2$ )	Óvissa ( $m/(l/s)^2$ )
10	0,13	0,1000	0,0100
11	0,13	0,0290	0,0030
12	0,20	0,0053	0,0003
13	0,22	0,0013	0,0001

### 3.2 Seinasti hluti prófunarinnar

Gögn úr seinasta hluta prófunarinnar í júní 1991 (myndir 8 og 12) voru túlkuð ein sér áður en gögnin úr prófuninni í heild sinni voru túlkuð. Er það vegna þess að þau gögn gefa upplýsingar um eiginleika innsta hluta jarðhitakerfisins auk þess að vera einföldust í túlkun. Ef gögnin á mynd 12 eru skoðuð sést að þrýstingurinn hækkar línulega með lógaritmískum tímaás fyrstu 10 klst. Þetta bendir til þess að í fyrstu stjórnist viðbrögð jarðhitakerfisins af tvívíðu rennsli að borholunum, e.t.v. í láréttu plani. Síðan kemur fram brot í þrýstingshækkuninni, sem hugsanlega bendir til þéttra skila í jarðhitakerfinu, eins og áður hefur verið bent á. Á grundvelli þessarar hugmyndar var áætlað að í innsta hluta jarðhitakerfisins væri

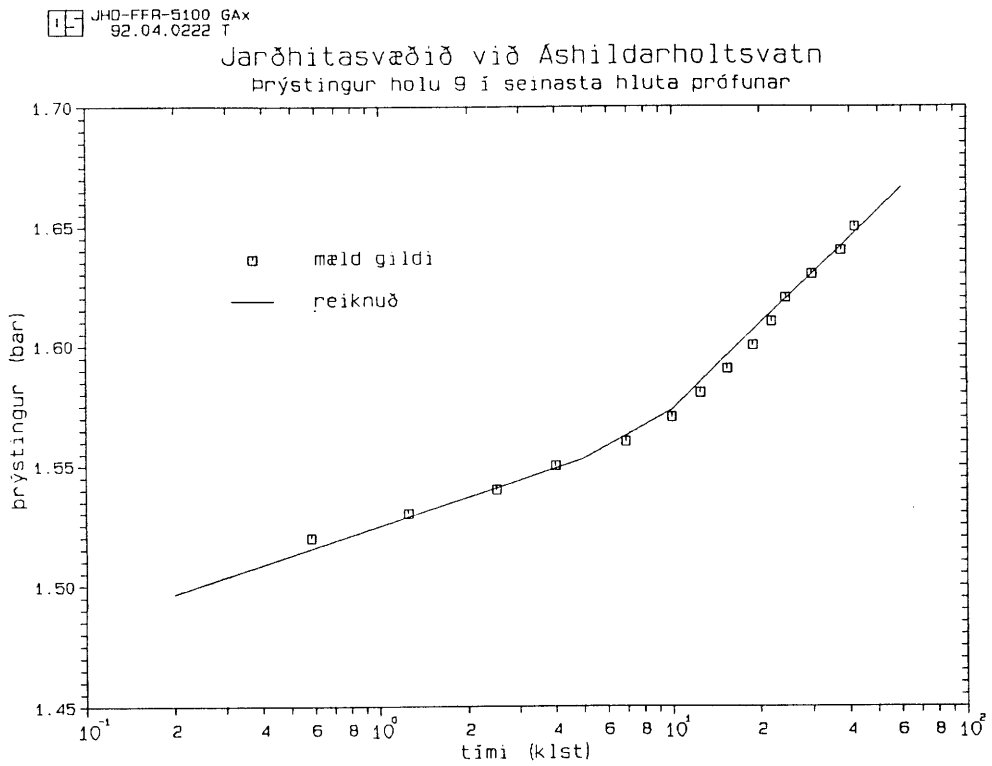
$$Dk = 1,4 \times 10^{-9} m^3$$

$$Dc_t = 4,2 \times 10^{-8} m/Pa$$

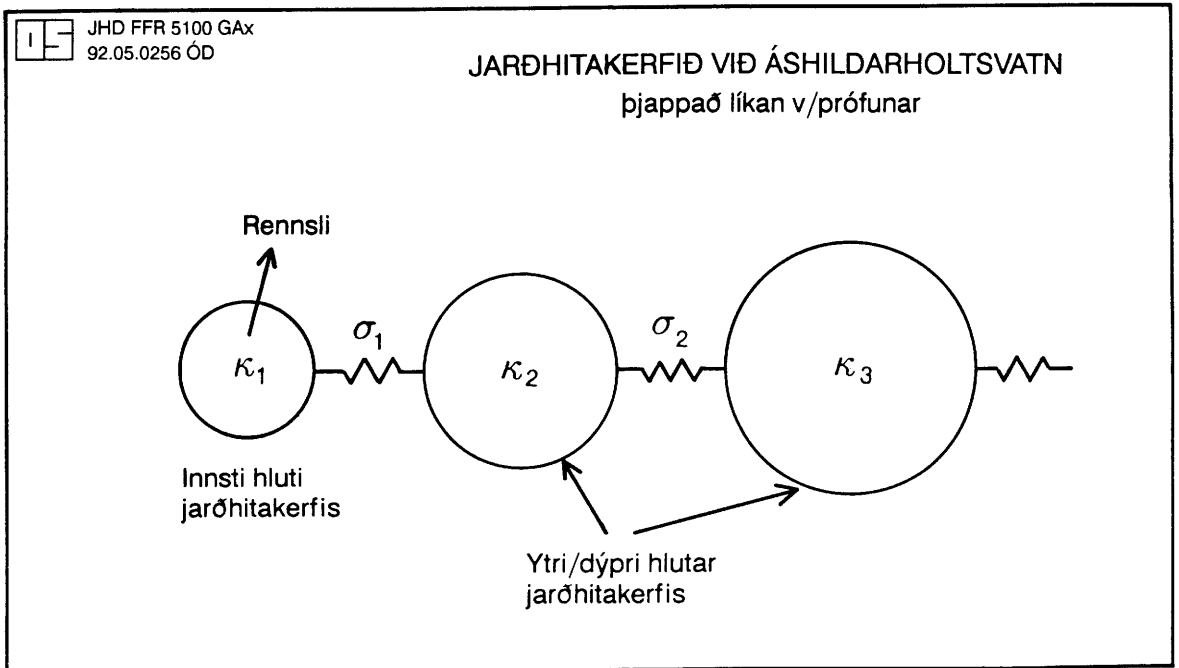
þar sem  $D$  er þykkt jarðhitakerfisins,  $k$  lekt þess og  $c_t$  þjappanleiki bergs og vatns í kerfinu, sem stjórnast af poruhluta þess ( $\phi$ ). Ef gengið er út frá því að þykkt kerfisins sé um 1000 m fæst að lekt bergsins sé  $k = 1,4 \times 10^{-12} m^2$  og að poruhluti þess sé  $\phi = 4,6\%$ . Hér er um mjög háa lekt að ræða, en eðlilegan poruhluta. Vegna þessarar háu lektar stjórnast skammtímaafköst vinnsluhola við Áshildarholtvatn fyrst og fremst af vídd þeirra. Á mynd 13 eru sýndar mældar þrýstibreytingar í holu 9 í seinasta hluta prófunarinnar ásamt reiknuðum þrýstibreytingum miðað við ofangreinda eiginleika. Auk þess er gert ráð fyrir þéttum skilum í rúmlega 1 km fjarlægð frá holunum. Þess má geta að áður höfðu Þorsteinn Thorsteinsson og Ragna Karlsdóttir (1986) áætlað að margfeldið  $Dk$  væri um 0,4 til  $0,8 \times 10^{-9} m^3$  út frá tveimur ca. 1 klst. löngum prófunum.

### 3.3 Túlkun prófunar í heild

Næsta skref í túlkun gagnanna frá sumrinu 1991 fólst í túlkun á allri rennslisprófuninni með notkun svokallaðs þjappaðs líkans. Var það gert þannig að fræðileg viðbrögð líkansins voru felld sjálfvirkt að mældum breytingum á þrýstingi í holu 9 (mynd 5). Þjöppuð líkön hafa verið notuð með góðum árangri við hermireikninga fyrir mörg lághitakerfi á Íslandi (Guðni Axelsson, 1989b). Þau eru mjög gagnleg ef einungis þrýstibreytingar í viðkomandi kerfi eru til athugunar, en of einföld ef jafnframt þarf að túlka breytingar í efnainnihaldi eða hitastigi.



Mynd 13. Mældur og reiknaður þrýstingur holu 9 í seinasta hluta prófunar. Reiknað með tvívíðu rennsli og þéttum skilum í rúmlega 1 km fjarlægð.



Mynd 14. Þjappað líkan af jarðhitakerfinu við Áshildarholtsvatn.

Í sem stystu máli þá er þjappað líkan byggt upp af nokkrum vatnsgeymum, sem eru innbyrðis tengdir með viðnámmum (mynd 14). Geymarnir líkja eftir vatnsrýmd viðkomandi vatnskerfis, en viðnámin eftir straumviðnámi eða lekt þess. Ekki er hægt að segja að geymarnir á mynd 14 svari til tiltekinna jarðfræðilega afmarkaðra hluta jarðhitakerfisins. Fremur ber að líta á geymana og viðnámin sem líkan er svarar vinnslu vatns eins og jarðhitakerfið við Áshildarholtsvatn. Fyrsti geymirinn er þó hliðstæður þeim hluta kerfisins, sem er næstur borholunum. Vatni er dælt úr þeim geymi og hermir þrýstingur í honum þrýsting í mæliholu (holu 9). Annar og þriðji geymirinn svara til þeirra hluta jarðhitakerfisins sem eru utan við og dýpra en nánasta umhverfi holanna. Þjappaða líkanið á mynd 14 er síðan í tengslum við þá hluta jarðhitakerfisins og önnur vatnskerfi, sem liggja enn fjær holunum, og stjórna viðbrögðum jarðhitakerfisins við langtímavinnslu. Um þá verður fjallað í kafla 4 hér á eftir.

Mældur þrýstingur í holu 9 og reiknuð viðbrögð þjappaða líkansins eru sýnd á mynd 15. Sést þar að reiknuðu gildin falla mjög vel að þeim mældu. Eins og áður segir voru viðbrögð líkansins felld sjálfvirkt með tölvu að gögnunum og er aðferðinni lýst af Guðna Axelssyni (1989a). Í þeirri aðferð er þó gert ráð fyrir jöfnum tímabilum milli mældra gilda, en hér eru tímabilin höfð mislöng, styst er mestar breytingar verða, en síðan sífellt lengri eins og sést á mynd 15. Til að taka tillit til þessa þurfti að breyta aðferðinni lítils háttar. Í töflu 5 eru birtir eiginleikar líkansins, en þeir endurspeglar eiginleika jarðhitakerfisins.

Tafla 5. Eiginleikar þjappaðs líkans af jarðhitakerfinu skv. prófun 1991.

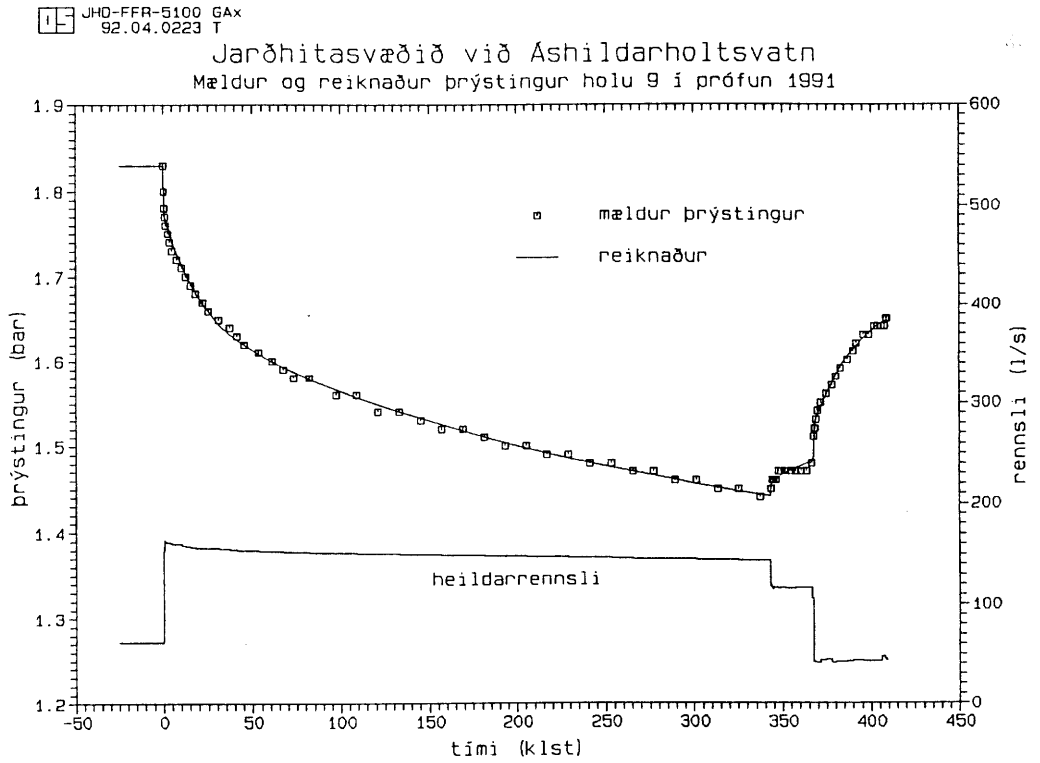
geymir, i	rýmd, $\kappa_i$ ( $\text{ms}^2$ )	leiðni, $\sigma_i$ (ms)	rúmmál <sup>1)</sup> ( $\text{km}^3$ )	yfirborðs- flatarmál <sup>2)</sup> ( $\text{km}^2$ )
1	18,9	0,0140	0,28	
2	553	0,0050	8,3	
3	3300	0,0022		0,32

1) rýmd vegna þjappanleika,  $\phi = 10 \%$

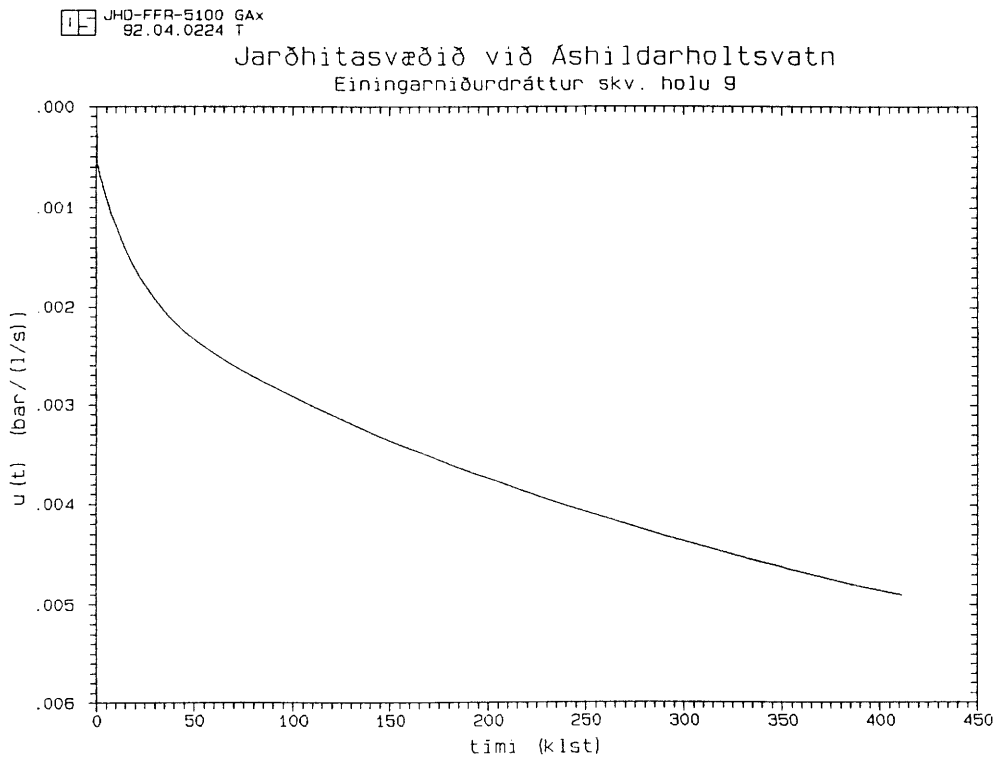
2) rýmd vegna frjáls vatnsborðs,  $\phi = 10 \%$

Til þess að túlka og skoða viðbrögð jarðhitakerfisins í prófuninni enn frekar var svokallaður einingarniðurdráttur jarðhitakerfisins reiknaður með þjappaða líkaninu. Einingarniðurdráttur er einfaldlega viðbrögð kerfis við stöðugri vinnslu á einni massa- eða rúmmálseiningu á tímaeiningu, t.d. einum l/s. Þannig sést í gegnum áhrif breytilegrar dælingar. Niðurstöðurnar eru birtar á myndum 16 og 17, og er mynd 17 með lógaritmískum tímaás.

Á myndunum sést að þrátt fyrir það að einingarniðurdráttur jarðhitakerfisins sé lítill þá vex hann nokkuð hratt fyrstu 400 klst. (lengd prófunarinnar). Á mynd 17, sem er með lógaritmískum tímaás, vex bratti einingarniðurdráttarins auk þess stöðugt. Þessi vaxandi bratti bendir til einhverra takmarka og minnkandi lektar er utar dregur í jarðhitakerfinu.



Mynd 15. Mældur og reiknaður svæðisþrýstingur í prófun. Þrýstingur reiknaður með þjöppuðu líkani (mynd 14).



Mynd 16. Einingarniðurdráttur jarðhitakerfis skv. prófun.

Til þess að áætla meðallekt stærri hluta jarðhitakerfisins, en innsta hluta þess eingöngu, var reynt að fella viðbrögð nokkurra einfaldra vatnafræðilegra líkana að einingarniðurdrættinum. Það líkan sem best hermdi einingarniðurdráttinn var líkan af einsleitri (e. homogeneous), einsátta (e. isotropic), lóðréttri rennu lokaðri fyrir vatnsstreymi um hliðar en með frjálsum vatnsborði við yfirborð. Rennulíkanið hermíur tvívítt vatnsstreymi t.d. í sprungubelti. Óvenjulegt er að frjálst vatnsborð sé farið að stjórna þrýstingsbreytingum í ekki lengri prófun, en væntanlega veldur óvenju góð lekt greiðum tengslum til yfirborðs.

Niðurstöður þessara reikninga eru sýndar á mynd 18, en eiginleikar líkansins eru

$$bk = 8,1 \times 10^{-10} \text{ m}^3 \quad b\phi = 3,3 \text{ m}$$

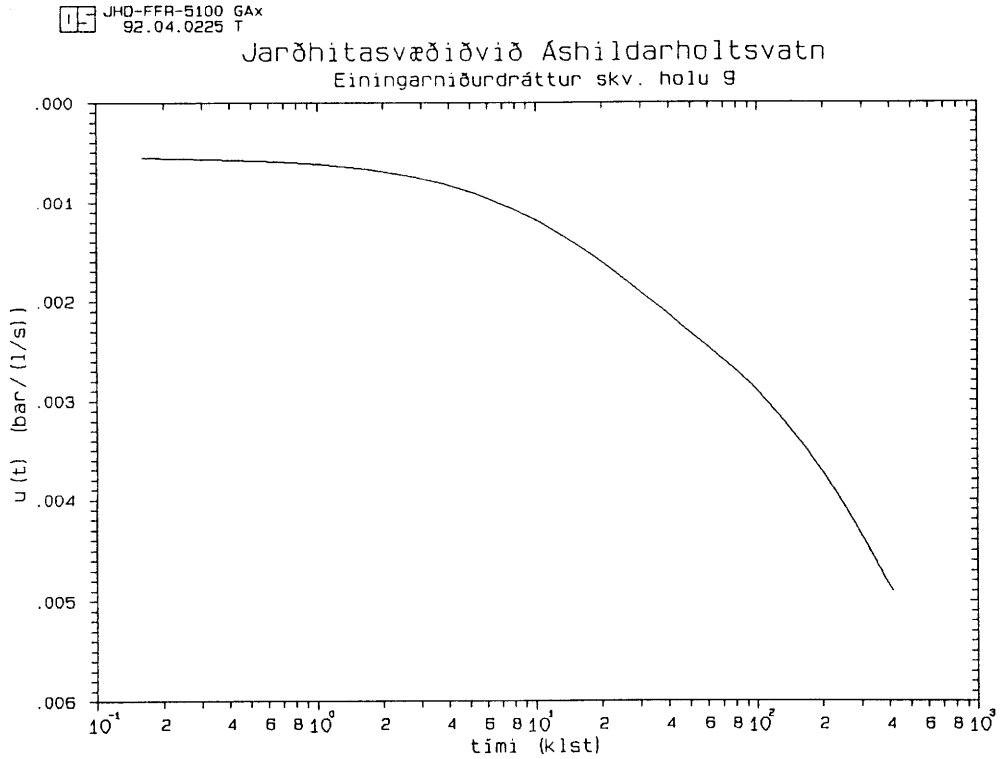
þar sem  $b$  er breidd rennunnar,  $k$  lekt hennar og  $\phi$  poruhluti. Margfeldi lektar og breiddar er nokkru minna en áætlað var fyrir innsta hluta kerfisins, sem er eðlilegt ef lekt minnkar er utar dregur í jarðhitakerfinu. Margfeldi breiddar og poruhluta er hins vegar mjög lítið væntanlega vegna þess að líkanið gerir aðeins ráð fyrir rýmd af völdum frjáls vatnsborðs, en ekki af völdum þjappanleika.

Í töflu 6 hér á eftir er ofangreint margfeldi breiddar og lektar borið saman við sama margfeldi fyrir innri hluta nokkurra annarra jarðhitasvæða á Íslandi sem prófuð hafa verið á líkan hátt. Þar sést að margfeldi lektar og breiddar er töluvert hærra fyrir jarðhitakerfið við Áshildarholtsvatn en hin kerfin í töflunni. Þó er margfeldið svipað fyrir jarðhitakerfið við Hamar, en það sem veldur mun meiri afköstum jarðhitasvæðisins við Áshildarholtsvatn er að vatnsrýmd þess er a.m.k. tveimur stærðargráðum meiri en vatnsrýmd jarðhitasvæðisins við Hamar.

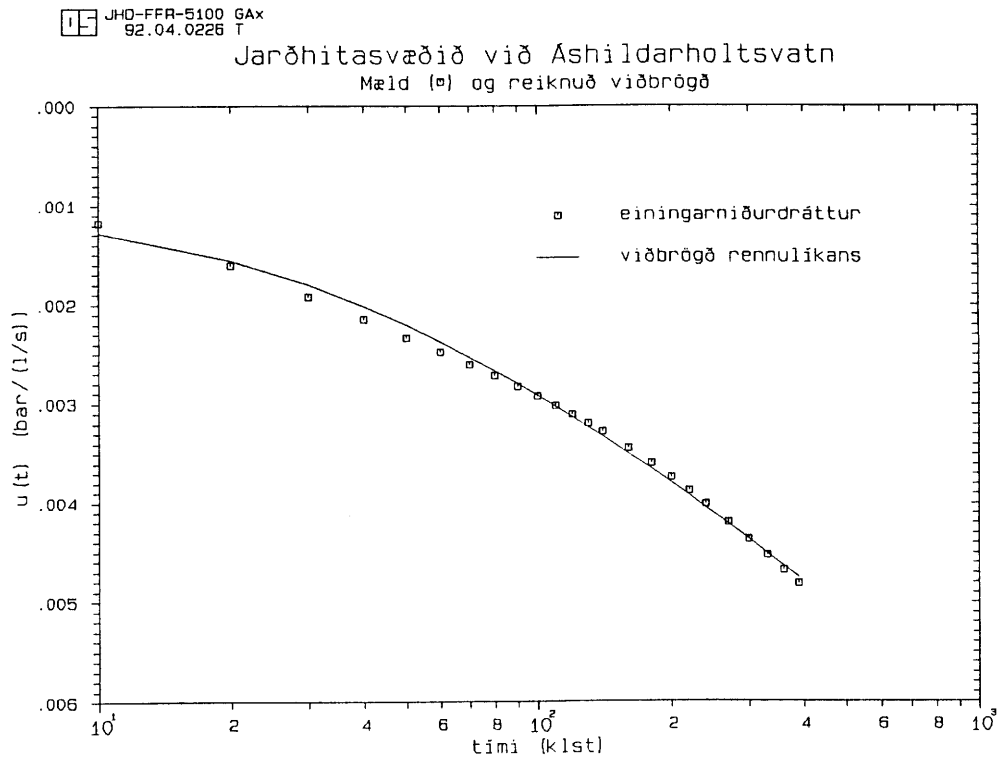
Tafla 6. Samanburður á eiginleikum innstu hluta nokkurra jarðhitakerfa skv. rennulíkani (Guðni Axelsson, 1991).

Svæði	$bk \text{ (m}^3\text{)}$
Áshildarholtsvatn	$810 \times 10^{-12}$
Hamar (Dalvík)	$530 \times 10^{-12}$
Urriðavatn (Egilsst.)	$110 \times 10^{-12}$
Laugarengi (Ólafsfirði)	$47 \times 10^{-12}$
Botn (Eyjafirði)	$3,8 \times 10^{-12}$

Eiginleikar þjappaða líkansins (tafla 5) fela einnig í sér upplýsingar um gerð og eiginleika jarðhitakerfisins við Áhildarholtsvatn. Í fyrsta lagi benda leiðnigildin til mikillar lektar, en þó minnka þau er utar dregur í kerfinu. Í öðru lagi er vatnsrýmd jarðhitakerfisins mjög mikil og er talið að það sé að einhverju leyti vegna þess að frjálst vatnsborð grunnvatnskerfisins ofan hins eiginlega jarðhitakerfis hafi áhrif í prófuninni. Nota má rýmdargildin í töflu 5 til þess að áætla stærðir þeirra hluta jarðhitakerfisins, sem þrýstíáhrif náðu til í prófuninni, og þrír geymar þjappaða líkansins svara til. Eru niðurstöðurnar birtar í sömu töflu. Þar hefur verið gengið út frá því að rýmd fyrstu tveggja geymanna ráðist af þjappanleika bergs og vatns, en að rýmd þriðja geymisins ráðist af frjálsum vatnsborði.



Mynd 17. Einingarniðurdráttur jarðhitakerfis skv. prófun, lógaritmískur tímaás.



Mynd 18. Einingarniðurdráttur jarðhitakerfis og reiknuð viðbrögð rennulíkans.

Fyrsti geymirinn svarar því væntanlega til jarðhitakerfisins umhverfis borholunar, annar geymirinn til ytri og dýpri hluta jarðhitakerfisins og þriðji geymirinn að einhverju leyti til grunnvatnskerfisins ofan jarðhitakerfisins.

Þjappaða líkanið, sem hér hefur verið til umfjöllunar, nær aðeins yfir hluta þess vatnskerfis sem verður fyrir áhrifum langtímaþvinnslu við Áshildarholtsvatn. Langtímaviðbrögð jarðhitakerfisins stjórnast að hluta til af vatnskerfum sem eru enn utar en sá hluti sem þjappaða líkanið hermir. Fjallað verður um langtímaviðbrögð jarðhitakerfisins í kafla 4.

#### 4. LANGTÍMAVIÐBRÖGÐ JARÐHITAKERFIS

Mikilvægustu gögnin, sem nýtast til þess að meta afkastagetu jarðhitakerfis, fást þegar fylgst er nákvæmlega með viðbrögðum þess við langtímavinnslu árum eða áratugum saman. Þó jarðhitasvæðið við Áshildarholtsvatn hafi verið nýtt í meira en fjóra áratugi eru einungis til mjög takmörkuð gögn um langtíma viðbrögð svæðisins. Í skýrslu Þorsteins Thorsteinssonar og Rögnu Karlsdóttur (1986) eru birtar grófar áætlanir á rennsli úr hol- um á jarðhitasvæðinu til ársins 1984 og nokkrar mælingar á lokunarþrýstingi hola. Þessi gögn eru birt í töflu 7 ásamt gögnum um meðalvinnslu árána 1985 - 1990.

Tafla 7. Áætlað meðalrennsli og þrýstingur á jarðhitasvæðinu frá upphafi vinnslu (m.a. byggt á Þorsteini Thorsteinssyni og Rögnu Karlsdóttur, 1986).

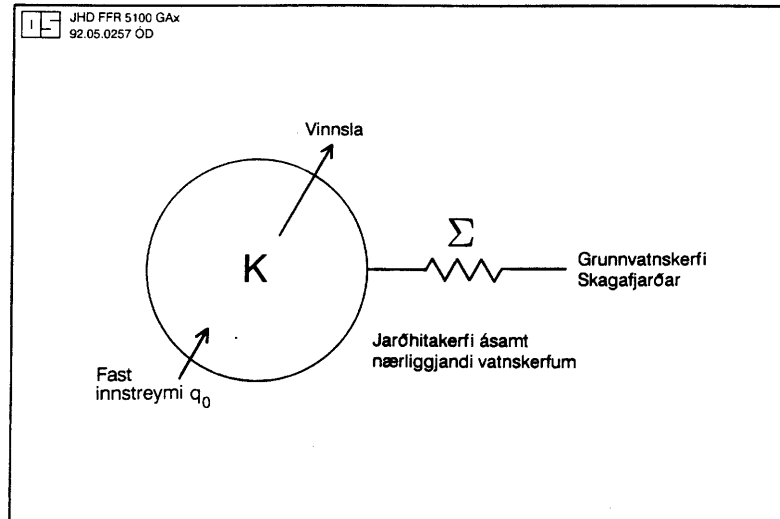
Tímabil	Meðal- rennsli (l/s)	Tími (ár)	Lokunar- þrýstingur (bar)
1948 - 1952	5,5		
1953 - 1957	16,0		
1958 - 1960	21,0		
1961 - 1965	25,0		
1966 - 1971	57,0		
1972 - 1984	85,0	1972	4,4 - 6,0
1985	87,0 <sup>1)</sup>	1976	3,3
1986	78,5 <sup>1)</sup>	1980	1,7
1987	77,0 <sup>1)</sup>	1981	1,5
1988	79,5 <sup>1)</sup>	1984	1,3
1989	78,5 <sup>1)</sup>		
1990	75,0 <sup>1)</sup>	1990	1,7 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> skv. Guðna Axelssyni og Guðrínu Sverrisdóttur (1991)

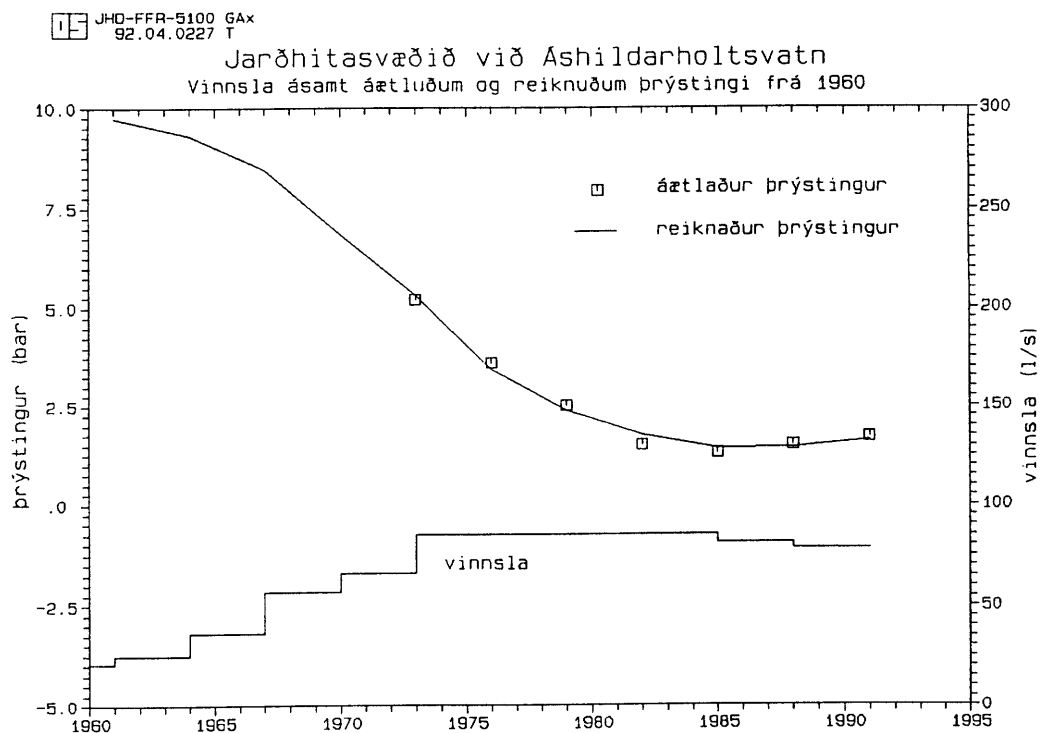
Til þess að herma þessi gögn var notað mjög einfalt þjappað líkan (mynd 19). Vegna þess hve langtímagögnin eru takmörkuð er það mun einfaldara en líkanið sem hermdi viðbrögð jarðhitakerfisins í prófuninni (mynd 14). Þó er það mun stærra enda inniheldur það líkanið á mynd 14 ásamt þeim vatnskerfum sem utar eru og einnig svara langtímavinnslu úr jarðhitakerfinu. Í líkaninu á mynd 19 er gert ráð fyrir föstum yfirþrýstingi fyrir vinnslu ( $p_0$ ) og föstu innstreymi í líkanið ( $q_0$ ). Líkanið tengist grunnvatnskerfi Skagafjarðar og er gengið útfrá því að þrýstingur þess haldist óbreyttur þrátt fyrir vinnsluna við Áshildarholtsvatn.

Reiknuð viðbrögð þjappaða líkansins ásamt áætluðum þrýstingi og vinnslu skv. töflu 7 (umreiknuð sem 3ja ára meðalgildi) eru sýnd á mynd 20. Eins og sést á myndinni þá falla reiknuðu gildin þokkalega að þeim áætluðu. Eiginleikar líkansins eru:





Mynd 19. Einfalt þjappað líkan af jarðhitakerfinu við Áshildarholtsvatn og nærliggjandi vatnskerfum.



Mynd 20. Áætlaður og reiknaður þrýstingur frá 1960 til 1991, þrýstingur reiknaður með þjöppuðu líkani (mynd 19).

$$p_0 = 10,0 \text{ bör}$$

$$K = 12.900 \text{ ms}^2$$

$$q_0 = 14,5 \text{ l/s}$$

$$\Sigma = 0,000076 \text{ ms}$$

þar sem  $K$  er rýmd geymisins og  $\Sigma$  leiðni viðnámsins. Geymirinn í líkaninu svarar væntanlega til jarðhitakerfisins ásamt grunnvatnskerfinu ofan þess. Rétt er að benda á það að

hvorki upphafsþrýstingurinn né fasta innstreymið eru þekkt. Í reynd er hægt að hækka (lækka) upphafsþrýstinginn og minnka (auka) innstreymið, innan vissra marka, án þess að breyta samræmi áætlaðra og reiknaðra gilda. Það er mat höfundar að hér sé um nokkuð eðlileg gildi að ræða.

Mun nákvæmari gögn eru til um viðbrögð jarðhitakerfisins og vinnslu eftir að sjálfvirk gagnasöfnun hófst við Áshildarholtsvatn. Gögn um þrýsting holu 9 og heildarvinnslu árið 1990 eru sýnd á mynd 21. Til þess að herma þau einnig þurfti að endurbæta þjappaða líkanið á mynd 19 lítilsháttar. Niðurstöður reikninganna eru sýndar á mynd 22. Ekki verður fjallað um endurbætta líkanið hér enda hermunin aðeins framkvæmd til þess að brúa bilið milli prófunarinnar og langtímaþrýstibreytinganna (sjá umfjöllun um einingarniðurdrátt hér á eftir).

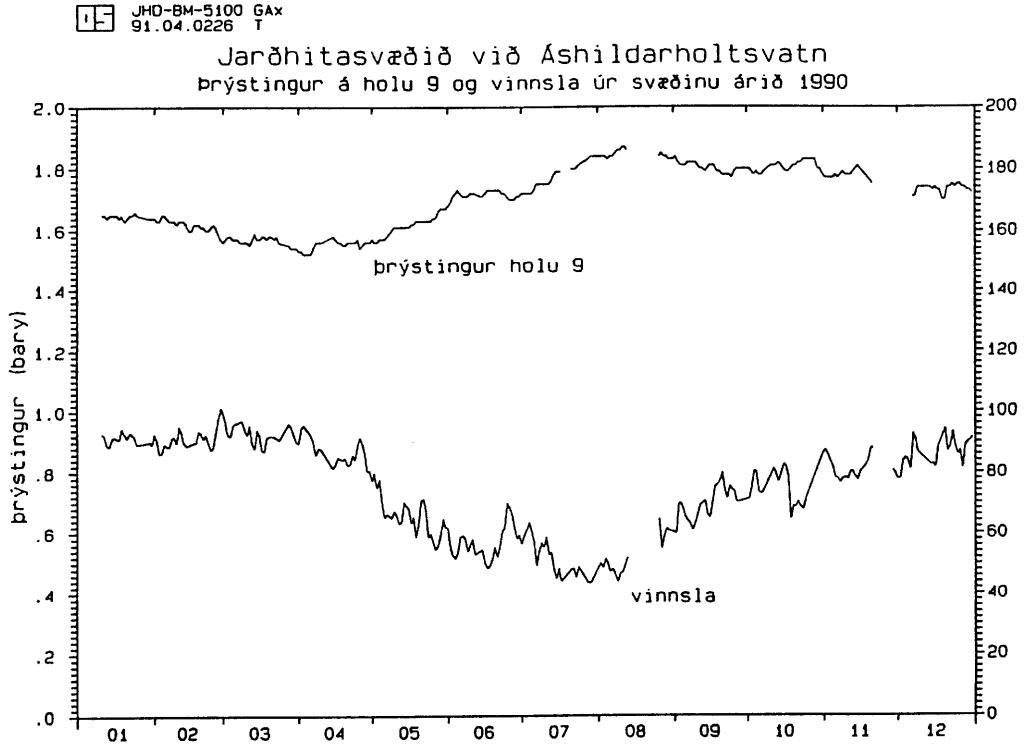
Þar sem erfitt er að greina langtímaviðbrögð jarðhitakerfisins nákvæmlega í gögnunum, sem hér hafa verið til umfjöllunar, var einingarniðurdráttur þess reiknaður líkt og í kafla 3. Mynd 23 sýnir niðurstöðurnar. Í fyrsta lagi sýnir myndin tvo ferla reiknaða skv. niðurstöðum prófunarinnar og framlengda til nokkurra ára. Annar ferillinn er fyrir lokað kerfi (neðri heildregni ferillinn) og hinn fyrir opið kerfi (efri heildregni ferillinn). Þessir tveir ferlar sýna glöggst hvers vegna erfitt er að áætla langtímaviðbrögð út frá skammtímaprófunum, því ekki er hægt að ákveða hvor er nær raunverulegum viðbrögðum kerfisins á grundvelli prófunarinnar einnar.

Í öðru lagi sýnir mynd 23 einingarniðurdrátt reiknaðan skv. ársveiflunni árið 1990 (mynd 22) og framhald hans reiknað skv. vinnslusögunni á mynd 20. Eins og sést á myndinni þá er gott innbyrðis samræmi milli niðurstaðna fyrir hin mismunandi tímabil. Einnig sést að bratti einingarniðurdráttarins vex stöðugt (eftir lógaritmískum tímaás) til 10 ára, en eftir það nær hann jafnvægi. Stöðugt vaxandi bratti bendir til minnkandi lektar og/eða einhverra takmarka er fjær dregur vinnsluholunum. Einingarniðurdrátturinn sýnir auk þess að jafnvægi næst ekki milli innstreymis í jarðhitakerfið og vinnslu úr því fyrr en eftir um 20 ár.

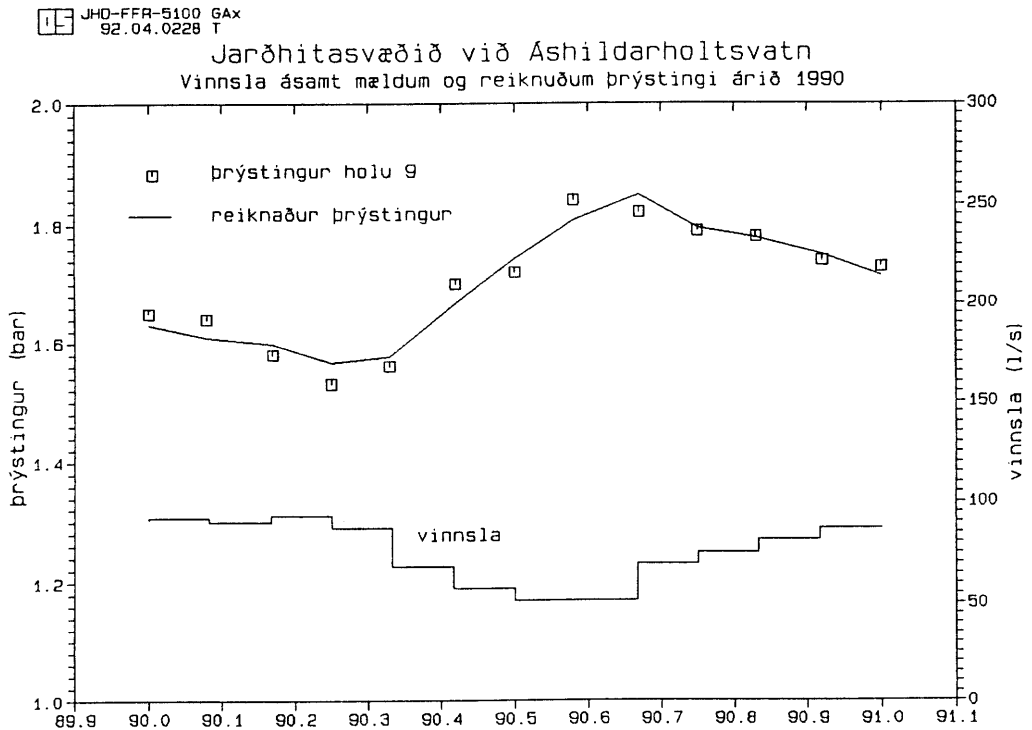
Að lokum voru viðbrögð einfalds hálfórúmslíkans felld að langtímaviðbrögðum jarðhitakerfisins til þess að meta meðaleiginleika þess og vatnskerfanna sem stjórna langtímaviðbrögðum vinnslusvæðisins við Áshildarholtsvatn. Hér er um að ræða líkan af einsleitu, einsátta, óendanlegu hálfórúmi með frjálsum vatnsborði (grunnvatnskerfið). Í líkaninu er aðeins gert ráð fyrir rýmd af völdum frjáls vatnsborðs því langtímaviðbrögð jarðhitakerfisins stjórnast nokkuð örugglega af þess háttar rýmd. Niðurstöður reikninganna eru sýndar á mynd 24. Eiginleikar líkansins gefa mat á meðaleiginleikum vatnskerfanna, en þeir eru:

$$k = 8,5 \times 10^{-15} \text{ m}^2$$
$$\phi = 5,5 \%$$

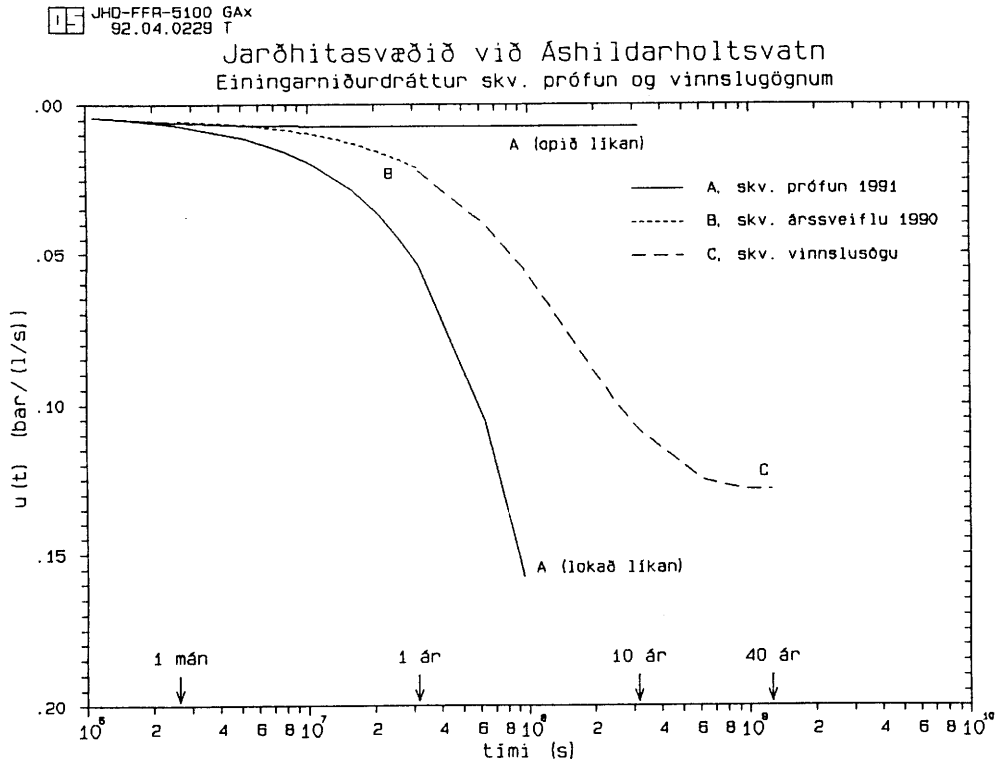
Þar sem  $k$  er lekt líkansins og  $\phi$  poruhluti þess. Meðallektin er til muna lægri en lekt innsta hluta jarðhitakerfisins (sjá kafla 3). Er það í samræmi við það sem áður hefur verið sagt um minnkandi lekt er fjær dregur innsta hluta þess. Meðallektin er sambærileg við meðallekt annarra sæmilega afkastamikilla jarðhitakerfa á Íslandi, en um stærðargráðu meiri en meðallekt afkastalítilla kerfa (sjá t.d. Guðna Axelsson, 1988; Lúðvík S. Georgsson og fl., 1987). Poruhluti líkansins er eðlilegur, sem staðfestir að rýmd vatnskerfanna við Áshildarholtsvatn stjórnast af frjálsum vatnsborði.



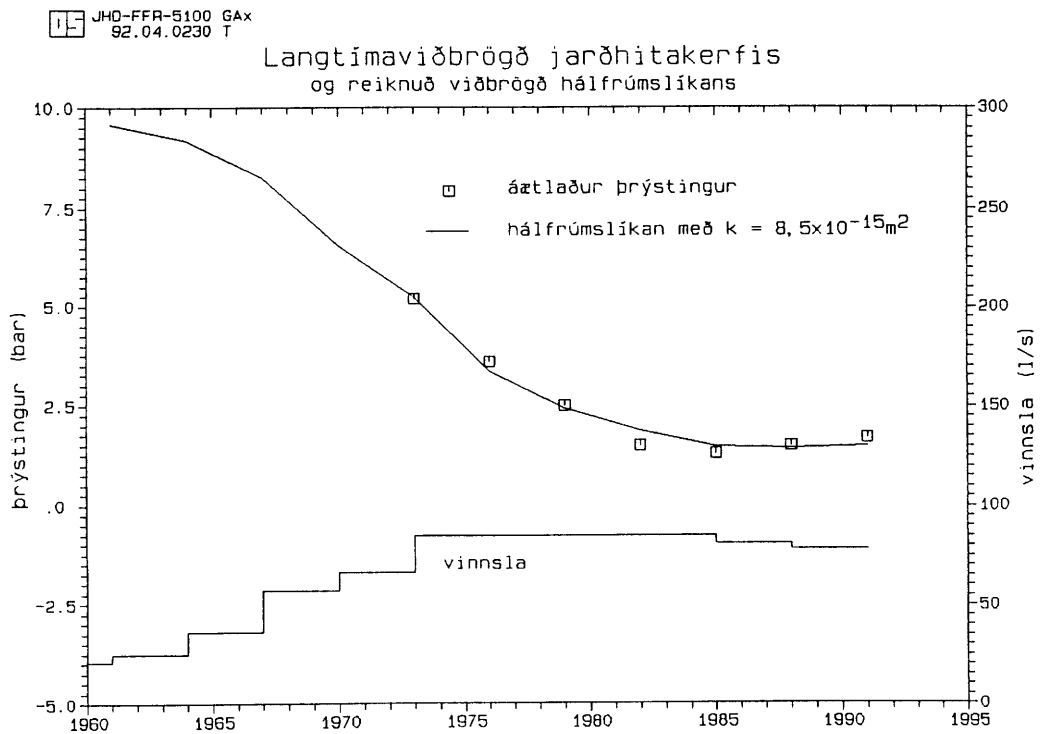
Mynd 21. Þrýstingur holu 9 og vinnsla árið 1990.



Mynd 22. Mældur og reiknaður þrýstingur árið 1990. Þrýstingur reiknaður með þjöppuðu líkani.



Mynd 23. Einingarniðurdráttur jarðhitakerfis skv. prófun og vinnslugögnum.



Mynd 24. Áætlaður og reiknaður prýstingur frá 1960 til 1991. Prýstingur reiknaður með hálfbrúmslíkani með frjálsu vatnsborði.

## 5. SPÁR UM AFKÖST OG FRAMTÍÐARVIÐBRÖGÐ

Að síðustu var þjappaða líkanið úr kafla 4, ásamt niðurstöðum úr kafla 3, notað til þess að spá fyrir um þrýstingsbreytingar í jarðhitakerfinu fram til ársins 2015. Reiknaðar voru þrýstingsspár fyrir sex mismunandi tilfelli:

- A. Í þessu tilfelli er gert ráð fyrir því að meðalvinnsla síðustu ára, 78 l/s, haldist óbreytt út spátímabilið.
- B. Orkuspárnefnd (1987) gerir ráð fyrir 1,1 % árlegum vexti í nýtingu jarðhita á Norðurlandi fram til ársins 2015. Hér er gert ráð fyrir örlítið meiri árlegum vexti í vinnslu, eða 1,5 % á ári út spátímabilið. Ársmeðalvinnslan eykst því úr 78 l/s árið 1991 í 110 l/s árið 2014.
- C. Hér er gert ráð fyrir breytingu á sölukerfi Hitaveitu Sauðárkróks árið 1993. Gert er ráð fyrir að í kjölfar hennar minnki ársmeðalnotkun niður í 60 l/s, sem síðan haldist óbreytt út spátímabilið. Bent hefur verið á að orka heita vatnsins er illa nýtt á Sauðárkróki og að væntanlega má draga verulega úr orkunotkun með því að selja vatn samkvæmt mælum og jafnframt bæta stillingar ofnakerfa (Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1991)
- D. Í þessu tilfelli er gert ráð fyrir að vinnsla við Áshildarholtsvatn minnki í 60 l/s í kjölfar sölukerfisbreytingar árið 1993, en að eftir það aukist vinnslan árlega um 1,5 % eins og í tilfelli B.
- E. Í þessu tilfelli er gert ráð fyrir verulega aukinni vinnslu vegna einhverrar óskilgreindrar stórnokunar. Gert er ráð fyrir aukningu í 140 l/s ársmeðalvinnslu, sem síðan haldist óbreytt út spátímabilið.
- F. Hér er gert ráð fyrir 200 l/s ársmeðalvinnslu vegna óskilgreindrar stórnokunar eins og í tilfelli E og að ársmeðalvinnslan haldist óbreytt út spátímabilið. Vinnsluaukning, eins og gert er ráð fyrir í tilfellum E og F, krefst væntanlega nýrrar vinnsluholu.

Niðurstöðurnar eru sýndar á myndum 25 og 26. Þær sýna meðalþrýsting hvers árs í jarðhitakerfinu (holu 9), en ekki er tekið tillit til árssveiflu í vinnslu. Ekki er gerður greinamunur á því hvort vinnslan fer fram sem sjálfrennsli eða með dælingu. Þó er ljóst að þegar svæðisþrýstingurinn fer að nálgast 0 bar, eða fer niður fyrir 0 bar, er þörf á dælingu. Þetta á sérstakleg við um tilfelli B á mynd 25 og tilfelli E og F á mynd 26.

Til þess að athuga nánar hvenær sjálfrennsli úr núverandi vinnsluholum við Áshildarholtsvatn hættir að nægja Hitaveitu Sauðárkróks var svokölluð umframgeta holanna reiknuð fyrir ofangreind tilfelli. Umframgetan er mismunur mesta sjálfrennslis úr holunum, til skamms tíma, við lægsta þrýsting að vetri og hámarksvinnslu viðkomandi árs. Hana má áætla með eftirfarandi jöfnu:

$$(2) \quad Q_{umf} = \sum_{holur} ((p_m - \Delta p - p_0) / C_{hola})^{1/2} - Q_{max}$$

þar sem  $Q_{umf}$  er umframgetan,  $p_m$  er meðalþrýstingur ársins,  $\Delta p$  er hálf þrýstisveifla ársins sem áætla má sem  $2,1 \times 10^{-3}$  bar fyrir hvern l/s í ársmeðalvinnslu (mynd 21),  $p_0$  er holutoppþrýstingur viðkomandi vinnsluholu eða þrýstingur á safnæð (0,3 bar),  $C_{hola}$  er

iðustreymisstuðull holunnar (sjá töflu 4) og  $Q_{\max}$  er hámarksvinnsla ársins sem nálga má sem 133% ársmeðalvinnslunnar. Þegar umframgetan verður minni en 0 l/s hættir sjálfrennsli að nægja Hitaveitu Sauðárkróks og grípa þarf til dælingar.

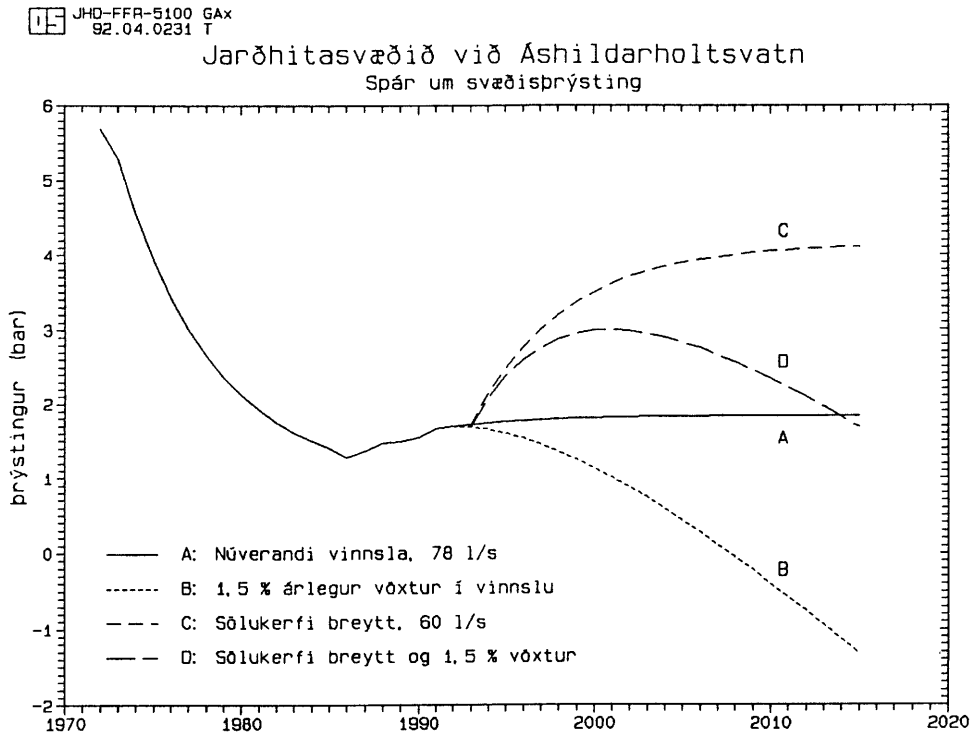
Myndir 27 og 28 sýna niðurstöður þessara reikninga fyrir vinnslutilfelli B og D til ársins 2015. Ásamt umframgetunni sýna myndirnar hámarks sjálfrennsli og mestu vinnslu að vetri til. Fyrir vinnslutilfelli A og sérstaklega tilfelli C er umframgetan alltaf töluverð.

Út frá myndum 25 til 28 má áætla að:

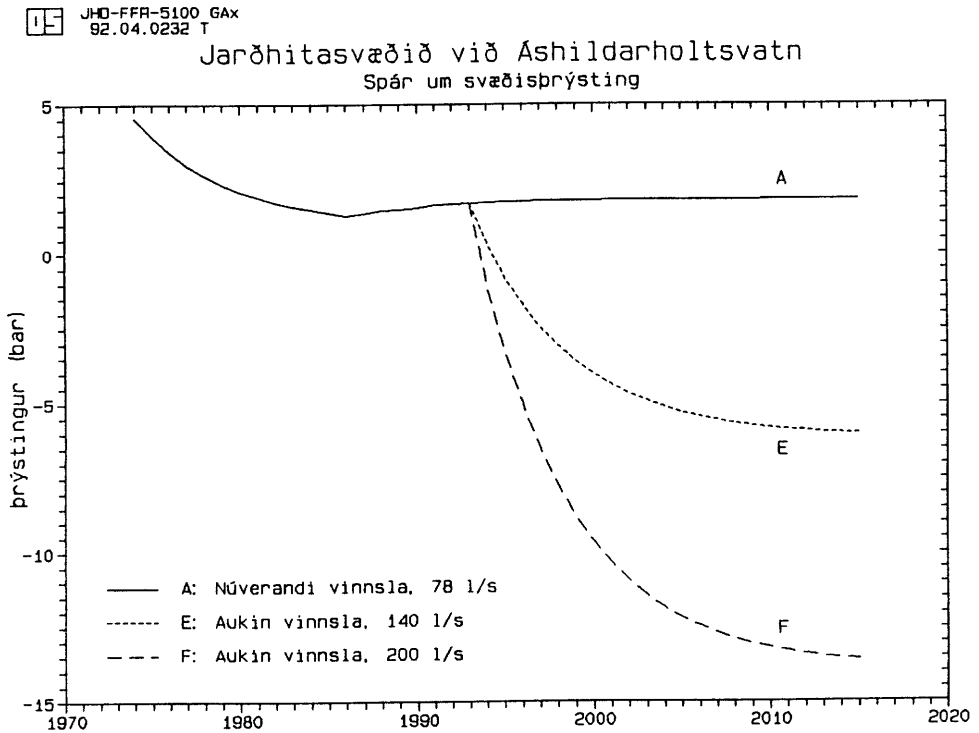
- Ef ársmeðalvinnslan helst óbreytt, um 78 l/s, er því spáð að svæðisþrýstingur lækki ekki í framtíðinni og að sjálfrennsli úr núverandi vinnsluholum nægi Hitaveitu Sauðárkróks.
- Ef ársmeðalvinnslan eykst um 1,5 % á ári að jafnaði mun svæðisþrýstingur lækka verulega í framtíðinni. Samkvæmt reikningum á umframgetu má búast við því að sjálfrennsli úr núverandi vinnsluholum hætti að anna þörf hitaveitunnar í kringum aldamót.
- Ef hægt verður að draga úr ársmeðalvinnslu með sölukerfisbreytingu má búast við töluverðri hækkun svæðisþrýstings auk þess að umframgetan vaxi verulega. Ef vinnslan eykst síðan aftur um 1,5 % á ári má búast við því að sjálfrennsli muni anna þörf hitaveitunnar a.m.k. fram til ársins 2015.
- Ef vinnsla við Áshildarholtsvatn eykst verulega, eins og gert er ráð fyrir í tilfellum E og F, þarf að setja dælur í holur 12 og 13. Með því að gera ráð fyrir iðustreymistapi í holunum og eðlilegri árssveiflu í þrýstingi, auk þrýstifallsins á mynd 26, má áætla að í tilfelli E fari vatnsborð niður fyrir 80 m dýpi, er líða tekur á spátímabilið, og niður fyrir 180 m í tilfelli F.

Þess ber að geta að spárnar sem hér hefur verið fjallað um eru mjög háðar upphaflegum þrýstingi í kerfinu ( $p_0$ , sjá kafla 4) og fasta innstreyminu ( $q_0$ ), en þessar stærðir eru illa þekktar. Því eru spárnar frekar ónákvæmar þó meginniðurstöðurnar séu væntanlega nærri lagi. Þegar samfelldum og nákvæmum gögnum um vinnslu og þrýsting hefur verið safnað um nokkurra ára skeið gefst tækifæri til þess að endurreikna spárnar með auknum áreiðanleika.

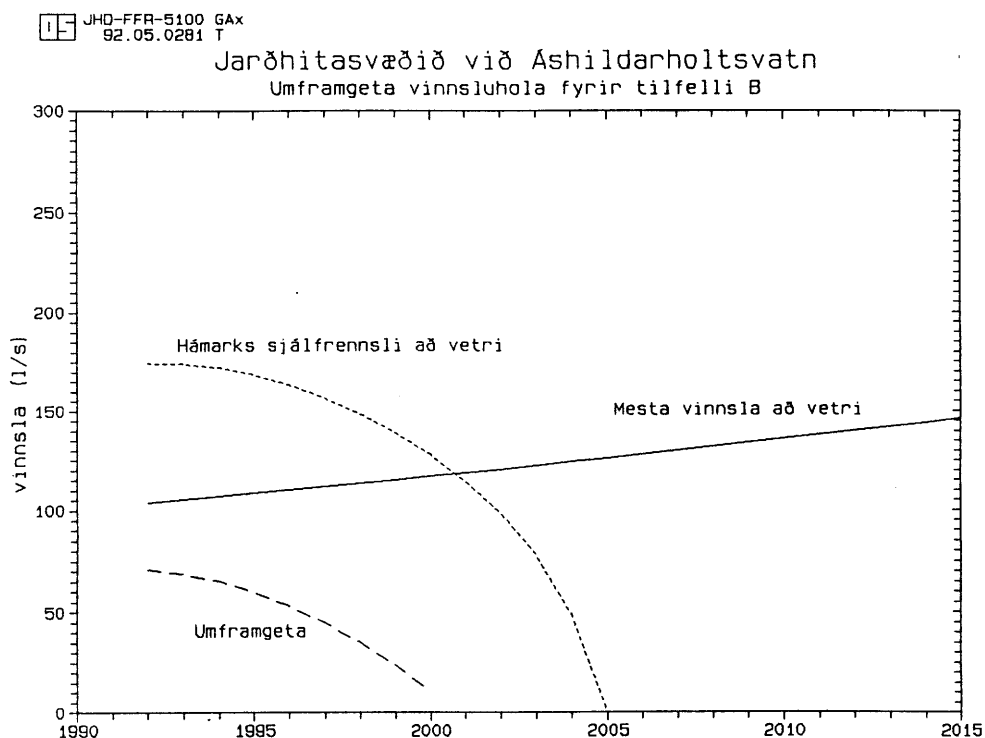
Einnig er rétt að geta þess að í spátífellum E og F verður mikill niðurdráttur í jarðhitakerfinu. Mikill niðurdráttur mun væntanlega valda miklu innstreymi vatns úr kaldari vatnskerfum utan og ofan jarðhitakerfisins. Slíkt innstreymi gæti kælt jarðhitakerfið tiltölulega hratt niður. Því gæti eins mikil vinnsla og gert er ráð fyrir í tilfellum E og F styttingartíma jarðhitakerfisins verulega.



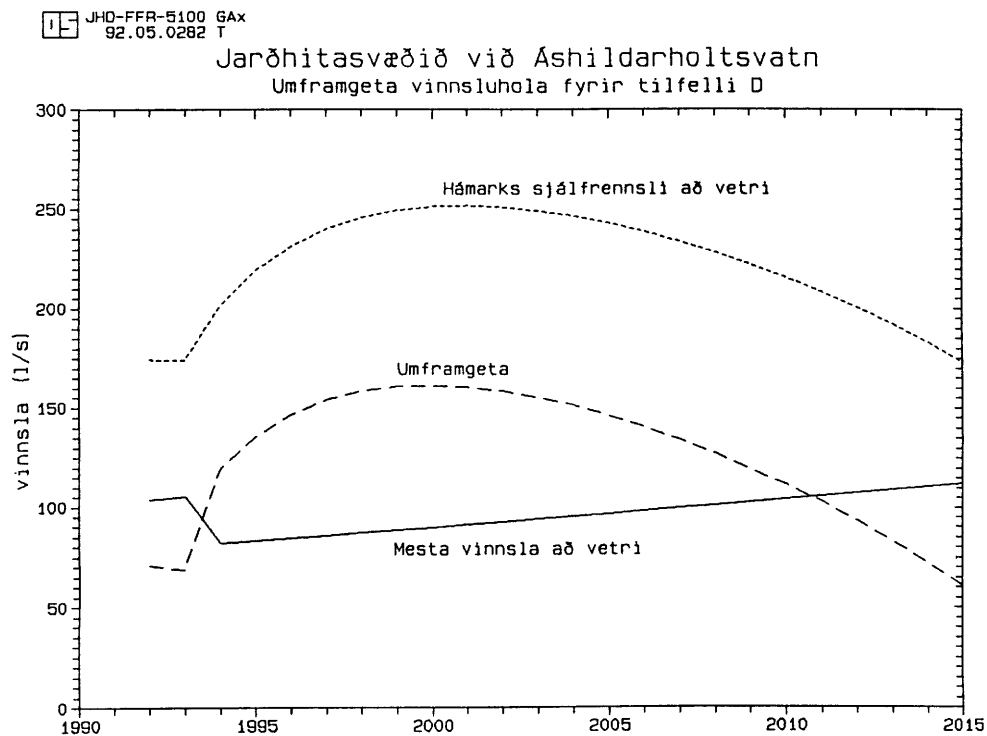
Mynd 25. Spár um svæðisprýsting við Áshildarholtsvatn fyrir vinnslutilfelli A, B, C og D.



Mynd 26. Spár um svæðisprýsting við Áshildarholtsvatn fyrir vinnslutilfelli A, E og F.



Mynd 27. Áætluð umframgeta vinnsluhola við Áshildarholtsvatn fyrir vinnslutilfelli B.



Mynd 28. Áætluð umframgeta vinnsluhola við Áshildarholtsvatn fyrir vinnslutilfelli D.



## 6. NIÐURSTÖÐUR OG LOKAORÐ

Helstu niðurstöður þessarar úttektar eru eftirfarandi:

- Í rennslisprófun, sem gerð var fyrri hluta sumars 1991 á jarðhitasvæðinu við Áshildarholtsvatn, minnkaði heildarrennsli úr 170 l/s í 144 l/s á 14 dögum. Á sama tímabili lækkaði þrýstingur í jarðhitakerfinu (skv. holu 9) úr 1,83 bar í 1,44 bar.
- Lekt innsta hluta jarðhitakerfisins er mjög mikil, eða um  $1,4 \times 10^{-12} \text{ m}^2$  ef gert er ráð fyrir tvívíðu rennsli. Skammtímaafköst vinnsluhola við Áshildarholtsvatn takmarkast fyrst og fremst af iðustreymistapi í holunum sem aftur ræðst af vídd þeirra.
- Með einföldu þriggja geyma þjöppuðu líkani tókst að herma þrýstingsbreytingar í prófuninni mjög nákvæmlega og með enn einfaldara, en stærra, eins geymis líkani tókst að herma takmörkuð gögn um langtíma viðbrögð jarðhitakerfisins. Niðurstöðurnar benda til minnkandi lektar og/eða einhverra takmarka er fjær dregur innsta hluta jarðhitakerfisins. Jarðhitakerfið virðist tengt nærliggjandi vatnskerfum, þ.á.m. grunnvatnskerfinu ofan þess. Meðallekt jarðhitakerfisins og nærliggjandi vatnskerfa er áætluð um  $8,5 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ .
- Í þjöppuðu líkani af jarðhitakerfinu og nærliggjandi vatnskerfum er gert ráð fyrir því að áður en vinnsla hófst hafi þrýstingur í kerfinu verið 10,0 bar. Einnig er gert ráð fyrir föstu 14,5 l/s innstreymi í jarðhitakerfið. Þessar stærðir eru ekki nákvæmlega ákvarðaðar. Samkvæmt líkaninu er langtíma niðurdráttur í jarðhitakerfinu 0,13 bar fyrir hvern l/s sem unnin er til langs tíma.
- Ef ársmeðalvinnsla við Áshildarholtsvatn helst óbreytt frá því sem verið hefur undanfarin ár (78 l/s) er því spáð að sjálfrennsli úr núverandi vinnsluholum muni nægja Hitaveitu Sauðárkróks næstu áratugi. Ef ársmeðalvinnslan eykst hins vegar um 1,5 % á ári í framtíðinni mun sjálfrennsli úr núverandi vinnsluholum hætta að anna þörfum hitaveitunnar í kringum aldamót.
- Með sölukerfisbreytingu er væntanlega hægt að draga verulega úr ársmeðalvinnslu við Áshildarholtsvatn. Þá mun sjálfrennsli úr núverandi vinnsluholum halda áfram að nægja Hitaveitu Sauðárkróks næstu tvo til þrjú áratugi, jafnvel þó gert sé ráð fyrir 1,5 % árlegum vexti eftir sölukerfisbreytingu.
- Ef vinnsla við Áshildarholtsvatn eykst verulega vegna einhverrar óskilgreindrar stórnotkunar þarf að setja dælur í holur 12 og 13 og jafnvel bora nýja vinnsluholu. Ef reiknað er með 140 l/s ársmeðalvinnslu er því spáð að vatnsborð í holum 12 og 13 fari jafnvel niður fyrir 80 m dýpi. Ef reiknað er með 200 l/s ársmeðalvinnslu er því spáð að vatnsborð í holunum fari niður fyrir 180 m dýpi. Þetta mikil vinnsla verður væntanlega óæskileg fyrir jarðhitakerfið, vegna ótímabærrar kólnunar þess af hennar völdum.
- Spár um framtíðarviðbrögð jarðhitakerfisins við Áshildarholtsvatn eru frekar ónákvæmar því upphafsþrýstingur og innstreymi eru illa ákvörðuð. Mögulegt verður að endurbæta spárnar eftir nokkur ár þegar meiru hefur verið safnað af nákvæmum gögnum um viðbrögð jarðhitakerfisins við vinnslu.

## HEIMILDIR

- Guðni Axelsson, 1991: *Jarðhitasvæðið á Laugarengi í Ólafsfirði. Prófun og Vatnsborðs-  
spár.* Orkustofnun, OS-91012/JHD-03, 38 s. Unnið fyrir Hitaveitu Ólafsfjarðar.
- Guðni Axelsson, 1989a: Simulation of pressure response data from geothermal reservoirs  
by lumped parameter models. Proceedings, 14th Workshop on Geothermal Reservoir  
Engineering, Stanford, California, janúar 1989, 257 - 263.
- Guðni Axelsson, 1989b: *Forðafræði jarðhitans. Vinnslueftirlit, hermireikningar og  
vinnsluspár.* Erindi flutt á aðalfundi Sambands íslenskra hitaveitna, Egilsstöðum, júní  
1989, 9 s.
- Guðni Axelsson, 1988: *Jarðhitasvæðið að Hamri í Svarfaðardal. Um afköst vinnsluhola  
Hitaveitu Dalvíkur.* Orkustofnun, OS-88053/JHD-11, 38 s. Unnið fyrir Hitaveitu Dal-  
víkur.
- Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1991: *Hitaveita Sauðárkróks. Eftirlit með jarð-  
hitavinnslu við Áshildarholtsvatn árið 1990.* Orkustofnun, OS-91021/JHD-08 B, 10 s.  
Unnið fyrir Hitaveitu Sauðárkróks.
- Lúðvík S. Georgsson, Auður Ingimarsdóttir, Guðni Axelsson, Margrét Kjartansdóttir og  
Þorsteinn Thorsteinsson, 1987: *Laugaland í Holtum. Hóla GN-1 í Götu og vatns-  
vinnsla á Laugalandssvæðinu 1982-1987.* Orkustofnun, OS-87022/JHD-04, 65 s.  
Unnið fyrir Hitaveitu Rangæinga.
- Mica Martinovic, 1990: *Lumped and distributed parameter models of the Mosfellssveit  
geothermal field, SW-Iceland.* UNU Geothermal Training Programme, Report 9/1990,  
Reykjavík, 47 s.
- Orkuspárnefnd, 1987: *Jarðvarmaspá 1987-2015. Spá um vinnslu og notkun jarðhita.*  
Orkustofnun, OS-87045/OBD-01, 178 s.
- Ómar B. Smáráson, og Ragna Karlsdóttir, 1987: *Hitaveita Sauðárkróks. Jarðfræði jarð-  
hitakerfisins við Áshildarholtsvatn og staðsetning nýrrar holu.* Orkustofnun, OS-  
87041/JHD-24 B, 25 s. Unnið fyrir Hitaveitu Sauðárkróks.
- Þorsteinn Thorsteinsson og Ragna Karlsdóttir, 1986: *Hitaveita Sauðárkróks. Aukning  
vatnsvinnslu við Áshildarholtsvatn.* Orkustofnun, OS-86072/JHD-32 B, 31 s. Unnið  
fyrir Hitaveitu Sauðárkróks.