



ORKUSTOFNUN

Rannsóknasvið

Lambanesreykir í Fljótum Prufudæling borholu

**Þórólfur H. Hafstað
Guðni Axelsson**

Unnið fyrir Byggðastofnun

1998

OS-98030



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 610 515

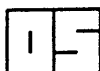
Pórólfur H. Hafstað
Guðni Axelsson

LAMBANESREYKIR Í FLJÓTUM PRUFUDÆLING BORHOLU

Unnið fyrir Byggðastofnun


OS-98030

Júní 1998

**ORKUSTOFNUN**

Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Lykilsíða

Skýrsla nr.: OS-98030	Dags.: Júní 1998	Dreifing: <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: LAMBANESREYKIR Í FLJÓTUM Prufudæling borholu	Upplag: 20	
	Fjöldi síðna: 16	
Höfundar: Þórólfur H. Hafstað Guðni Axelsson	Verkefnisstjóri: Þórólfur H. Hafstað	
Gerð skýrslu / Verkstig: Úttekt, prófun á borholu	Verknúmer: 610 515	
Unnið fyrir: Byggðastofnun		
Samvinnuaðilar: Hitaveita Skagafjarðar		
Útdráttur: Í skýrslunni er gerð grein fyrir athugun á því hversu mikið vatn er unnt að fá úr vinnsluholum á jarðhitasvæðinu á Lambanesreykjum í Fljótum. Athugunin var gerð fyrir Byggðastofnun á Sauðárkróki í tengslum við hugmyndir um að koma rekstri fiskeldisstöðvar Miklalax af stað á ný. Á Lambanesreykjum eru tvær vinnsluholur, en fullnægjandi upplýsingar um afkastagetu þeirra hafa ekki legið fyrir. Til stóð að dæla samfellt vikum saman úr jarðhitakerfinu svo í ljós kæmi hversu mikill niðurdráttur yrði í því sem gerði kleyft að meta afkastagetu þess. Vegna bilana var ekki hægt að dæla nema í tíu daga, og jafnframt þurfti að sleppa styttri þrepaprófun sem gera átti til að ákvarða áhrif mismikillar dælingar. Af þessum sökum urðu niðurstöður takmarkaðri en stefnt var að, en eru samt sem áður taldar sæmilega öruggar. Þær helstu eru: Vinnsla 17 l/s úr holu LN-14 mun væntanlega valda vatnsborðslækkun niður á tæplega 40 m dýpi, og ekkert virðist til fyrirstöðu að vinnslan fari yfir 20 l/s stuttan tíma í senn. Vatn virðist eiga greiða leið úr jarðhitakerfinu inn í holuna. Áhrifa dælingar úr holu LN-14 gætir nær samtímis í LN-13 svo dæling úr henni eða annarri vinnsluholu í grenndinni myndi litlu sem engu bæta við það vatn sem nú fæst. Hugsanlegt er að dýpra niðri í jarðhitakerfinu sé eitthvað heitara vatn en það sem nú fæst. Frekari niðurstöðum er lýst í skýrslunni.		
Lykilorð: Fljót, jarðhitasvæði, vinnsluholur, prufudæling, vatnsborðsspár, efnagreiningar, hitamælingar	ISBN-númer:	
	Undirskrift verkefnisstjóra: 	
	Yfirfarið af: GAX, PI	

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	3
2. JARÐHITI Í FLJÓTUM	3
3. FYRRI ATHUGANIR	5
4. DÆLINGIN	7
5. VATNSBORÐSSPÁR	9
6. EFNAGREININGAR OG HITAMÆLINGAR	13
7. NIÐURSTÖÐUR	15
HEIMILDIR	16

1. INNGANGUR

Í skýrslunni er gerð grein fyrir athugun á því hversu mikið vatn væri að hafa úr vinnsluholunum á jarðhitasvæðinu á Lambanesreykjum í Fljótum. Athugunin var gerð að undirlagi Byggðastofnunar á Sauðárkróki, en stofnunin er aðaleigandi mannvirkja fiskeldisstöðvar Miklalax á Lambanesreykjum og Hraunum. Könnunin var undirbúin í samráði við Jón Magnússon hjá Byggðastofnun á Sauðárkróki, en að framkvæmd hennar kom einnig Guðmundur Ingólfsson, forsprakki Máka hf, sem hefur í hyggju að koma rekstri í fiskeldisstöðinni af stað á ný. Þá átti Halldór Jónsson, starfsmaður Hitaveitu Skagafjarðar, drjúgan hlut að máli, en hann sá um uppsetningu mælitækja og sinnti öllu því brasi, sem varð vegna endurtekinna bilana á dælubúnaði. Alfreð Hallgrímsson á Lambanesreykjum sá um daglegt eftirlit og mælingar á vatnshæð og rennsli meðan dælingin varði.

Á Lambanesreykjum hafa verið boraðar tvær vinnsluholur; LN-13 og LN-14. Upplýsingar um afkastagetu þeirra eru engan veginn fullnægjandi, þrátt fyrir að þær hafði verið í notkun um árabil. Áður en hægt er að taka stöðvarnar í notkun og hefja rekstur í þeim að nýju, þarf að fá úr því skorið, hver afköstin eru. Ekki var hjá því komist að framkvæma reynsludælingu úr annarri hvorri holunni og mæla viðbrögð jarðhitakerfisins við henni. Til þess arna var ráðist í þá prófun, sem hér er lýst.

Ef vel á að vera þarf að dæla samfelld vikum saman svo niðurdráttur vatnsborðsins í jarðhitakerfinu komi í ljós, þegar til lengri tíma er litið. Þetta átti að reyna nú í vetur, en vegna endurtekinna bilana í dælumótor var ekki hægt að dæla nema í tíu daga. Einnig þurfti að sleppa styttri þrepaprófum, sem fyrirhugaðar voru til að ákvarða áhrif mismikillar dælingar. Af þessum sökum urðu niðurstöður takmarkaðri en að var stefnt en samt sem áður er talið að þær séu sæmilega öruggar.

2. JARÐHITI Í FLJÓTUM

Áður en borað var á Lambanesreykjum var kunnugt um jarðhitavott á fjórum stöðum neðan við bæjarhúsin. Þessi jarðhitaaugu eru á línu, sem stefnir norður - suður. Hitinn virðist ekki tengjast berggöngum, sem þarna eru, að minnsta kosti ekki beint (Guðmundur I. Haraldsson 1986). Árið 1986 voru boraðar 12 rannsóknarholur til að staðsetja jarðhitauppstreymið sem best. Í framhaldinu var vinnsluholan LN-13 boruð, en hún var 165 m djúp. 1990 var síðari vinnsluholan boruð, LN-14, en hún varð rúmlega 400 m djúp. Vinnsluholurnar virðast vera í mjög nánu innbyrðis sambandi og draga vatn hvor frá annarri.

Jarðhita er að finna á allmörgum stöðum í Fljótum og er lauslegt yfirlit yfir hann birt í töflu 1 hér á eftir. Alls hafa verið boraðar 31 hola í hreppnum, langflestar eftir jarðhita. Holurnar eru af ýmsum stærðum og gerðum, en flestar eru þær þó frekar grunnar og grannar, enda boraðar í rannsóknarskyni. Vinnsluholur hafa verið boraðar á fimm stöðum, alls staðar með góðum árangri og er jarðhiti nokkuð víða nýttur til upphitunar.

Flest bendir til að heita vatnið fylgi sprungum með norðlæga stefnu. Efnahitamælingar benda til, að hæstur sé hitinn nyrst og vestast, á Reykjarhóli á Bökkum og við Barðslaug. Innanvert í Austurfljótum er hitinn talinn vera mun minni, eða 60 - 65°C. Þar hafa mestar jarðhitalíkur verið taldar vera milli Reykjarhóls og Gilslaugar (Kristján Sæmundsson 1990). Efnagreiningar benda til að hitinn djúpt í jarðhitakerfinu á Lambanesreykjum sé 70 - 80°C.

Tafla 1. Jarðhitastaðir í Fljótahreppi.

Bær	Staður	Hiti °C	Holuskrá; OS-númer	Notkun
Reykjarhóll á Bökkum	bæjarhóll (líka í sjó)	76,0	5 holur #49941 til #49945	upphitun og fiskeldi
Laugaland		52,8		upphitun
Dæli		64,5		
Akrar		60,0		
Barð	Barðslaug	65,0	#49810	upphitun
Stórureykir		56,0		upphitun
Langhús	borhola	80,0	#49841	upphitun
Lambanesreykir	laug	51,6	14 holur #49901 til #49914	upphitun og fiskeldi
Stórabrekka		30,0		
Reykjarhóll	ofan bæjar ofan bæjar	61,4 17,0	1 hola #49940	upphitun
Hólar	Hólavellir Hólavellir Hólavellir	39,6 36,0 36,0	2 holur #49831 og #49832	
Hólakot		47,5		
Gil	nyrðri laugar nyrðri laugar syðri laugar syðri laugar	42,0 60,5 13,5 34,0	2 holur #49811&49812	
Skeið		17,5		
Skeiðfossvirkjun	í tjörn	9,0		

Þessi yfirlitstafla er unnin upp úr borholuskrá og öðrum gagnasöfnum Orkustofnunar um jarðhita og hitaveitur. Hún er ekki tæmandi.

3. FYRRI ATHUGANIR

Áður en ráðist var í boranir hafði jarðhitinn á Lambanesreykjum verið nýttur í sundlaug og síðar til upphitunar á bænum. Hitasvæðið var kortlagt vorið 1986 og voru þá í því sambandi gerðar segulmælingar á svæðinu og fundin lega berggangs, sem hitinn virtist tengjast. Í framhaldi af þessu voru boraðar tólf grunnar borholur með loftbor til að finna uppstreyni heita vatnsins (Guðmundur I. Haraldsson 1986). Flestar eru holurnar 40 - 60 m djúpar og leiddu í ljós að hitinn fór vaxandi í átt að Miklavatni og í síðustu holunni, LN-12, mældist hann 62°C á 56 m dýpi. Úr holunni runnu þá um 12 l/s, en lausleg áætlun benti til þess að ef halda ætti því rennsli, mundi niðurdráttur vatnsborðsins verða 10 - 20 m þegar frá liði (Guðni Axelsson 1986). Steypt hefur verið upp í allar rannsóknarholurnar nema LN-12. Þegar litlu vatnsmagni er dælt úr vinnsluholunum er þrýstingur á henni, en hún hefur að nokkru sigið saman og hún nýtist því ekki sem mælingahola.

Sama ár (1986) var svo boruð vinnsluhola (LN-13) á bakka Miklavatns. Hún varð 165 m djúp og sker vatnsæðar á nokkrum stöðum. Úr henni fékkst sjálfrennandi vatn, en engar prófanir voru gerðar á vatnsgæfni hennar. Mynd 7 sýnir þær hitamælingar, sem gerðar hafa verið í henni.

Árið 1990 var svo enn á ný ráðist í borun. Holan, LN 14, varð 406 m djúp og í lok borunar voru gerðar stuttar loftdælingar og niðurdráttur mældur í LN-13. Niðurstöður bentu til að búast mætti við verulegum niðurdrætti ef meira en 20 l/s yrði dælt til langframa úr holunni (Ómar Sigurðsson 1990).

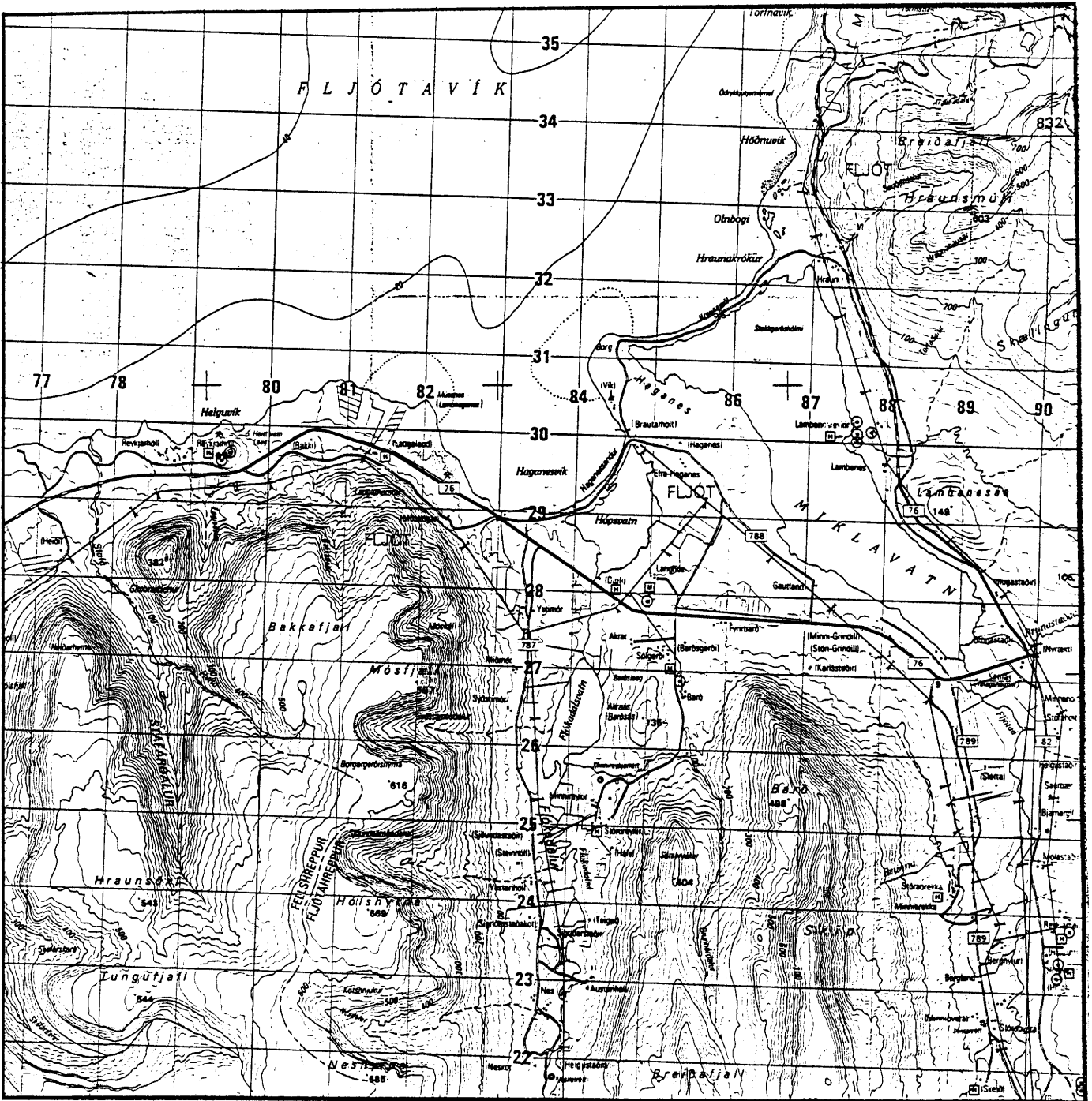
Meðan stöðin var í fullum rekstri var að staðaldri dælt úr holu LN-14 en LN-13 höfð til vara. Vatninu var miðlað á tvo staði og notað við rekstur Miklalax á Hraunum og Lambanesreykjum. Ljóst er að fánlegt vatnsmagn var í járnum til reksturs beggja stöðvanna. Eftir að rekstri Miklalax var hætt, gleymdust tölur um vinnanlegt vatnsmagn og niðurdrátt fljótt. Rennslismælingar voru reyndar aldrei nákvæmar, enda erfitt að koma þeim við, en góður búnaður var til að fylgjast með niðurdrætti í dæluholunni.

Þegar áhugi vaknaði á að hefja rekstur á ný í stöðvunum, þóttu upplýsingar um afkastagetu jarðhitasvæðisins á Lambanesreykjum ekki fullnægjandi. Til að fá úr því skorið, hver hann væri, varð ekki komist hjá reynsludælingu á holu LN-14. (Guðni Axelsson og Kristján Sæmundsson 1997). Talið var að annars vegar þyrfti að dæla samfelt úr holunni í einn til þrjá mánuði til að geta spáð um niðurdrátt til lengri tíma litið. Hins vegar þyrfti að gera styttri þrepapróf svo betur mætti ákvarða áhrif mismikillar dælingar á jarðhitakerfið.

Áætlunin miðaðist við að gera reynsludælingu á holu LN-14 með þeim dælubúnaði sem í holunni var. Þannig átti að fást mat á hve mikið holan gæti gefið af vatni eins og frá henni er gengið núna. Með því fengist einnig nokkuð gott mat á hver afköst jarðhitasvæðisins á Lambanesreykjum eru.

Afkastamikil dæla var í holu LN-14 og aðgengi að henni gott, þannig að vandræðalaust er að mæla vatnsborð milli dælurörs og fóðringar. Rennslismælir, eða annar búnaður til að fylgjast með rennslinu, var hins vegar enginn. Vatn frá Lambanesreykjum er notað þar á staðnum og fiskeldisstöðinni á Hraunum. Þar sem gera þurfti reynsludælinguna um miðjan vetur, var áriðandi, að vatn færi ekki af dreifikerfinu nema sem allra styst, því annars hefði mátt búast við frostskeimmdum. Því þótti nauðsynlegt að setja elektrónískan rennslismæli á lögnina frá LN-14.

Enginn fiskur er í stöðvunum, hvorki á Hraunum né Lambanesreykjum. Um nokkurra mánaða skeið hefur heitavatnsvinnslan verið nokkuð stöðug, um 6 l/s, og miðuð við að halda húsum og öðrum mannvirkjum heitum. Áður en prófanir gætu háfist, var reiknað með að láta vatnsborð í jarðhitakerfinu jafna sig nokkra stund, hitamæla í þeim holum sem í yrði komist og taka vatns-sýni til efnagreininga.



□ jarðhitastaður (sjá töflu 1) ○ borholur 0 1 2 km

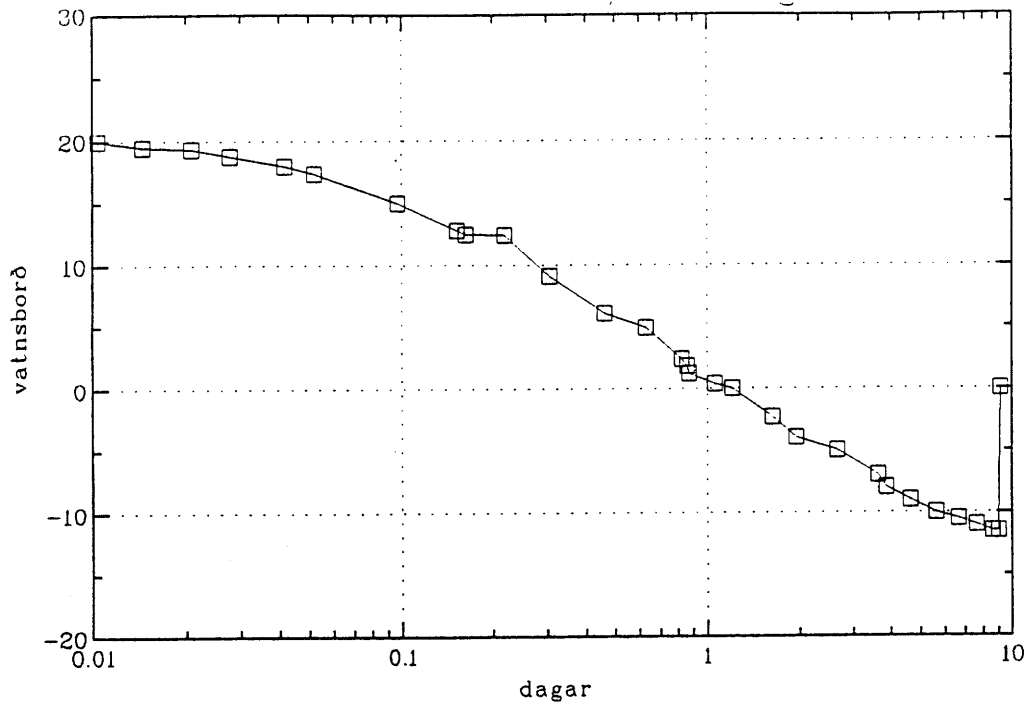
Mynd 1. Afstöðumyndin sýnir helstu jarðhitastaði sem þekktir eru í grennd við Lambanesreyki í Fljóttum, en þeir eru raktir í töflu 1 hér að framan.

4. DÆLINGIN

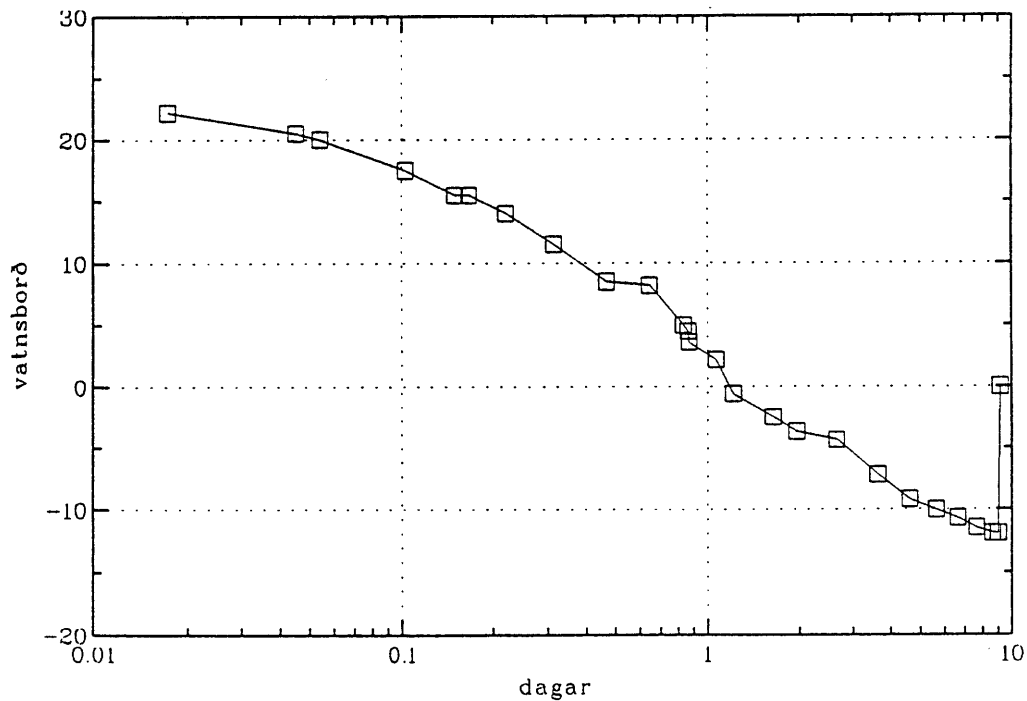
Í febrúarmánuði 1998 var hafist handa við þrúfudælingu á holu LN-14, en hún er seinni vinnsluholan, sem boruð var á Lambanesreykjum fyrir Miklilax. Í aðalatriðum gekk athugunin fyrir sig á eftirfarandi hátt og er hún hér að mestu rakin eftir dagbók:

- **9. febrúar.** Ekið norður með þau áhöld, sem til þurfti, en þau voru helst rennslismælir, vatnsborðsmælar, loftdæla, hitamælar og sýnatökubúnaður.
- **10. febrúar.** Aðstæður kannaðar á vettvangi. Dælt er úr holu LN-13 og vatnið notað til upphitunar á Hraunum og á Lambanesreykjum. Yfirþrústingur er í holum LN-12, LN-13 og LN-14. Gera þarf töluverðar breytingar á frárennli holu LN-14 svo unnt sé að mæla það án þess að hiti fari af stöðinni úti á Hrauni, því frost er úti.
- **11. febrúar.** Mæld dæling úr holu LN-13. Það var gert með því að loka fyrir rennslid út að Hraunum og mæla rennslisaukningu sem við það varð gegnum seiðastöðina. Haldið var sama þrústingi á dreifikerfinu; um 8 bar. Rennslid hefur verið hið sama um nokkurra mánaða skeið og mældist $Q = 6,0$ l/s Milli LN-14 og LN-13 eru 88 m. Rennslismæli var komið fyrir á lögn frá LN-14, hann prófaður og stilltur. Komið fyrir loftpumpu og öðrum búnaði til að mæla vatnsborðshæð í holunum. Dæla í LN-14 var svo ræst en mótör bilar eftir skamma stund. Ákveðið að skipta um hann. Biðstaða.
- **16. febrúar.** Lánsmótör fenginn frá Siglufirði, honum komið fyrir og hann reyndur.
- **17. febrúar.** Frágangur og gert klárt fyrir dælingu. Tekið vatnssýni til efnagreiningar úr LN-14. Slökkt á dælu í LN-13. Þrústingur í vatnskerfinu er 2,2 bör þegar dæla í LN-14 er ræst kl. 17:30. Hiti 62°C . Rennslid haldið í 17 l/s og fer hluti þess út að Hraunum til að halda stöðinni þar frostfríri. Obbinn af vatninu fer í gegnum seiðastöðina heima á Lambanesreykjum. Fylgst er með lækkun þrústings í vatnskerfinu og er hann kominn niður í um 1 bar um miðnætti. Mælt er í LM-14, LM-13 og LM-12.
- **18. febrúar.** Lækkaður mótþrústingur uppi í seiðastöð svo hægt sé að halda 17 l/s dælingu. Þrústingslækkun (niðurdráttur) er samstiga í dæluholu (LN-14) og mæliholu (LN-13). Vatnsborð í kerfinu fer niður fyrir jörð um kveldið, sjálfrennslid hættir úr athugunarholunum og niðurdráttur hefst.
- **19. febrúar.** Hitamælt í holu LN-13; hitinn er $64,2^{\circ}\text{C}$ í botni holunnar, sem er á 125 m dýpi. Vatnsborð í kerfinu mælist um 4 m undir jörð í LN-14 um kveldið.
- **20. febrúar.** Alfreð Hallgrímsson mælir daglega. Vatnsborð er um 5 m undir jörð í LN-14.
- **21. febrúar.** Lækkaður mótþrústingur uppi í seiðastöðinni og haldið jafnri 17 l/s dælingu. Vatnsborð um 5 m undir jörð í LN-14.
- **23. febrúar.** Vatnsborð er um 10 m undir jörð í LN-14. Hiti 63°C . Smám saman dregur úr hraða vatnsborðslækkunar.
- **26. febrúar.** Vatnsborð er $11\frac{1}{2}$ m undir jörð í LN-14. Vatnshiti 63°C . Dælumótör bilar og dælingin stöðvast kl. 17:45 eftir að hafa staðið samfleytt í 10 sólarhringa. Vatnsborð fer þegar að stíga á ný og nær til yfirborðs fyrir kl. 21:00. Þá er dæling hafin á ný úr holu LM-13 og úr henni dælt svipuðu magni og gert var áður en mælingar þessar hófust.

Auk þessa var segulmælt á tveim stöðum í grennd við jarðhitasvæðið þegar stund gafst milli mælinga í holunum. Þá var líka mælt hita- og seltusnið gegnum ís á tveim stöðum á Miklavatni, sem nú er að mestu súrefnismettaður sjór með einungis örþunnu ferskvatnslagi ofan á.



Mynd 2. Gangur vatnsborðslækkunarinnar í dæluholunni (LM-14) 17. til 26. febrúar 1998.



Mynd 3. Gangur vatnsborðslækkunarinnar í athugunarholunni (LM-13) dagana 17. til 26. febrúar 1998.

Vakin er athygli á að lárétti ásinn (tíminn) hefur lógaríthmískan skala á myndunum.

Niðurdrátturinn í holunum virðist fylgjast mjög vel að og verður ekki betur séð en að afar náið samband sé milli þeirra. Ef grannt er skoðað sést, að vatnsborðslækkunin er örlítið seinna á ferðinni í LN-13, sem vonlegt er. Ljóst er að töluvert vantar á að fullum niðurdrætti sé náð þegar móturinn bilar og dæling stöðvast. Verulega er þó farið að draga úr hraða vatnsborðslækkunarinnar.

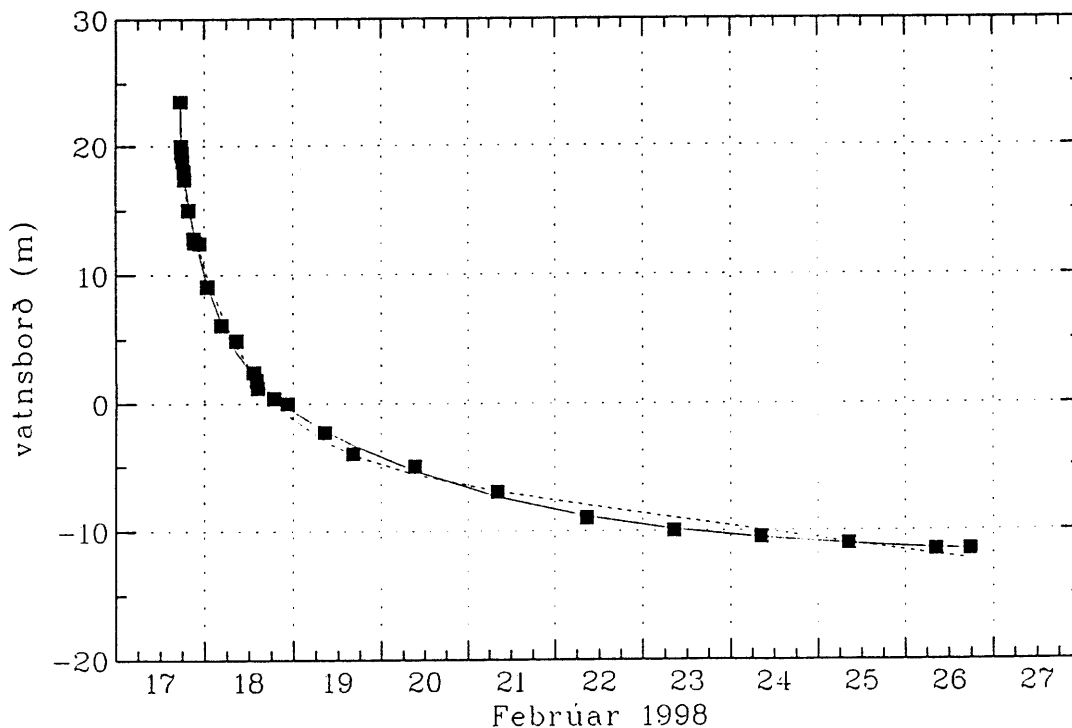
5. VATNSBORÐSPÁR

Meiningin var að dæla fyrirfram ákveðnu vatnsmagni sleitulaust úr holu LN-14 og fylgjast grannt með vatnsborði, rennsli og hita, í dæluholunni sjálfri og öðrum, sem í yrði komist. Gert var ráð fyrir að þessi langtímadæling tæki allt að einn mánuð. Dælingunni átti svo að ljúka með nokkrum þrepum, sem hvert um sig stæði fáeinar klukkustundir. Þar með átti að fá mat á iðu-streymistap í holunni, en upplýsingar um það er yfirleitt forsenda fyrir öruggum niðurdráttar-spám. Eftir að slökkt væri á dælu var meiningin að fylgjast með því hvernig vatnsborðið í athug-unarholunum jafnaði sig á ný. Í dælingarlok skyldi tekið sýni til efnagreiningar og hitamælt.

Þegar að upp var staðið reyndist framkvæmdin verða töluvert frábrugðin því sem áætlað var í upphafi og dregur úrvinnslan að nokkru dóm af því.

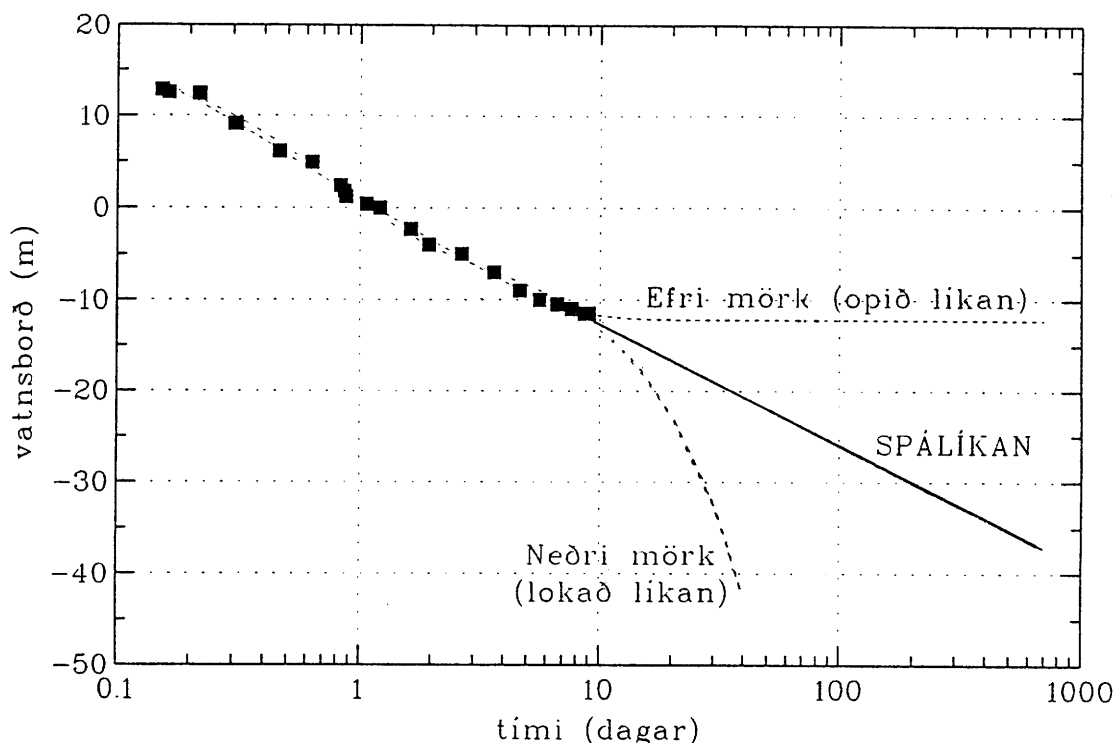
Svokölluð þjöppuð líkön voru notuð til þess að herma vatnsborðsbreytingarnar í prófuninni og spá vatnsborðsbreytingum við mismikla framtíðarvinnslu. Þjöppuð líkön eru grundvölluð á vatnsgeymum og rennslisviðnánum, sem herma viðbrögð vatnskerfa við dælingu úr þeim. Þess háttar líkön hafa verið notuð með góðum árangri til þess að herma vatnsborðsbreytingar fyrir fjölda jarðhitakerfa á Íslandi (Guðni Axelsson, 1994).

Vatnsborðsgögnin úr holu LN-14 voru hermd með bæði opnu og lokuðu þriggja geyma líkani. Í opnu líkani næst jafnvægi milli vinnslu og innstreymis, og hættir vatnsborð fljótlegra að lækka við stöðuga vinnslu. Í lokuðu líkani lækkar vatnsborð hinsvegar jafnt og þétt við stöðuga vinnslu. Vatnsborðsspár, sem reiknaðar eru með þessum tveimur líkönum, gefa því efri og neðri mörk, eða eru með öðrum orðum bjartsýnis- og svartsýnisspár. Mynd 4 sýnir samanburð mældra og reiknaðra vatnsborðsbreytinga. Tekið skal fram að í reikningunum er gert ráð fyrir þeim áhrifum, sem 6 l/s dæling úr LN-13 um nokkurra mánaða skeið fyrir fyrir prófunina hefur haft á jarðhitakerfið.



Mynd 4. Samanburður mælds og reiknaðs vatnsborðs í holu LN-14 í prófun í febrúar 1998. Kassar sýna mæld gildi, heildregin lína viðbrögð opins þjappaðs líkans og brotin lína viðbrögð lokaðs líkans.

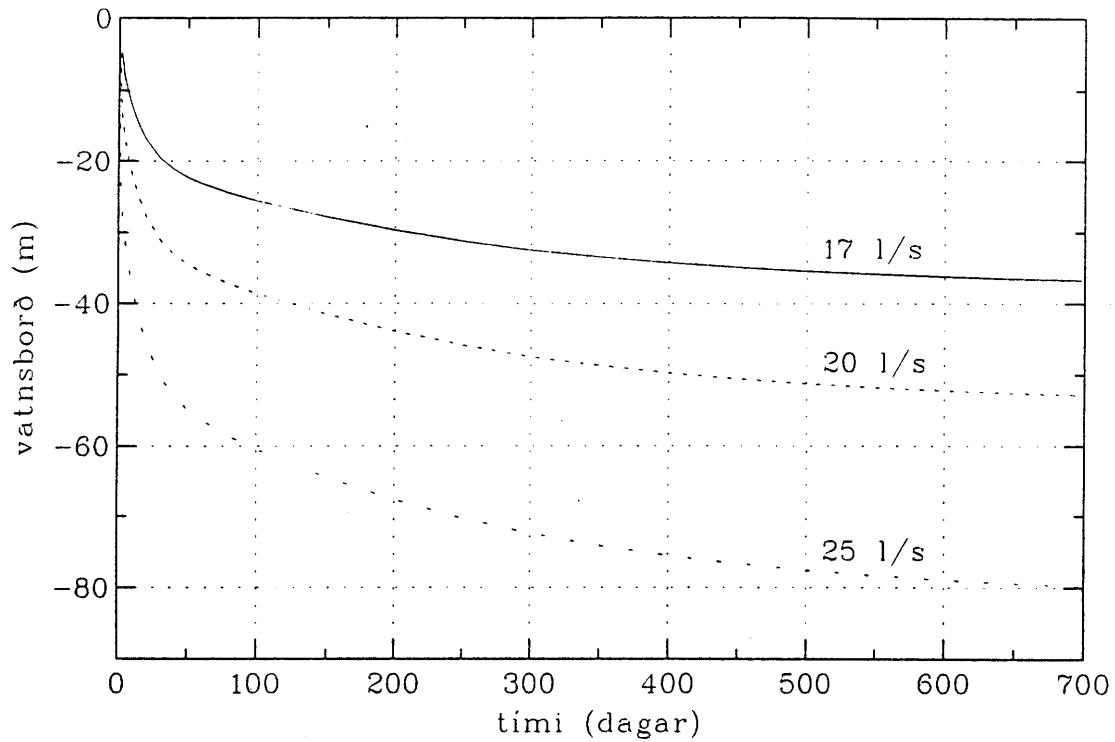
Mynd 5 sýnir framreiknuð viðbrögð beggja líkana næstu tvö árin, við 17 l/s stöðuga dælingu. Hinn mikli munur á efri og neðri mörkunum sýnir fyrst og fremst þá óvissu sem er tengd því að spá til langs tíma á grundvelli stuttrar prófunar. Raunveruleikinn liggur einhvers staðar þarna á milli, en ljóst er að vatnsborð mun ekki fylgja neðri mörkunum, því holan hefur verið í notkun árum saman, við nokkuð stöðuga dælingu. Það hefði ekki gengið ef jarðhitakerfið væri lokað. Öllu líklegra er að viðbrögð kerfisins liggi nær efri mörkunum. Lengri prófun hefði þrengt þessi mörk til muna



Mynd 5. Reiknuð viðbrögð opins og lokaðs þjappaðs líkans við tveggja ára stöðugri 17 l/s vinnslu. Einnig eru viðbrögð spálíkansins sýnd.

Til þess að spá vatnsborðsbreytingum nokkur ár fram í tímann, og þar með meta langtímaafköst holu LN-14, var þróað nýtt líkan sem segja má að sé hálfopið. Það hefur víðáttumikla lárétta útbreiðslu, en er lokað jafnt að ofan sem neðan. Viðbrögð líkansins fylgja miðlínunni á mynd 5 (merkt spálíkan). Líklegt verður að telja að viðbrögð jarðhitakerfisins liggi nálægt þessari línu, eða ofan hennar. Stærð líkansins er um $1,2 \text{ km}^3$, og ef gengið er útfrá 200 - 500 m þykkt er yfirborðsflatarmál þess 2,4 - 6,0 km^2 . Margfeldi þykktar og lektar líkansins (kh) er $7,1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$, en fjallað verður nánar um það hér á eftir.

Spálíkanið var að lokum notað til þess að spá vatnsborðsbreytingum í holu LN-14 næstu tvö árin fyrir þrjú gildi fastrar vinnslu: 17, 20 og 25 l/s. Mynd 6 sýnir niðurstöðurnar. Tekið skal fram að gert er ráð fyrir 6 l/s dælingu um alllangan tíma úr jarðhitakerfinu áður en prufudælingin hefst og einnig að iðustreymistap sé hverfandi í holunni. Ætla má að spáin fyrir 17 l/s vinnslu sé nokkuð áreiðanleg, en að spáin fyrir 20 og 25 l/s vinnslu séu ónákvæmari. Er það annars vegar vegna þess að holan var ekki þrepaprófuð nú í prófuninni, til þess að ákvarða iðustreymistap, eins og áformað hafði verið. Þó er talið ólíklegt að iðustreymistap sé mikið, einkum vegna þess hve lítill munur er á dýpi á vatnsborð í holum LN-13 og LN-14. Hins vegar eru spáin fyrir 20 og 25 l/s vinnslu ónákvæmari vegna þess að ekki er víst að líkanreikningarnir taki fullkomlega tillit til áhrifa vinnslunnar úr kerfinu fyrir prófunina.



Mynd 6. Tveggja ára spá um niðurdrátt vatnsborðs holu LN-14 við mismikla dælingu.

Dælan í holu LN-14 er nú á 52 m dýpi, þ.e. við enda fóðringar holunnar. Mynd 5 sýnir að við 17 l/s vinnslu, næstu tvö árin, muni vatnsborð haldast ofan 40 m, en að við 20 l/s vinnslu muni það fara niður fyrir 50 m. Því virðist sem afköst holunnar séu á bilinu 18-19 l/s, miðað við núverandi dælubúnað. Hóla LN-14 var hins vegar rýkmuð allt niður í 85 m, og sýnir mynd 5 að vatnsborð muni haldast ofan þess dýpis við 25 l/s dælingu. Því má segja að afköst holunnar, með dælubúnað á 85 m dýpi, geti verið allt að 25 l/s. Ef ætlinin er að auka vinnslu úr holunni verulega umfram 17 l/s þarf að prófa hana á ný, undir meira álagi.

Gögnin um vatnsborðsbreytingarnar í holu LN-13 (mynd 3) hafa verið túlkuð á grundvelli líkans af viðáttumiklu láréttu vatnskerfi, lokuðu að ofan og neðan. Þannig má meta eiginleika jarðhitakerfisins, þ.e. leiðnistuðul þess $T = khg/v$ og vatnsrýmdarstuðul $S = c_t h \rho g$. Hér gildir að k er lekt vatnskerfisins, h er þykkt þess, g er þyngdarhröðunin, v er eðlissegja vatnsins, ρ er eðlismassi þess og c_t er þjappanleiki kerfisins skilgreindur sem $c_t = c_w \phi + c_b(1-\phi)$ með c_w þjappanleika vatns, c_b þjappanleika bergsins og ϕ poruhluta þess. Niðurstöðurnar eru birtar í töflu 2 ásamt eiginleikum spálíkansins og niðurstöðum Ómars Sigurðssonar (1990).

Tafla 2. Niðurstöður mismunandi áætlana á eiginleikum jarðhitakerfisins.

Samkvæmt	$T = khg/v$ (m^2/s)	$S = c_t h \rho g$ (-)
gögnum á mynd 3	$1,47 \times 10^{-4}$	$1,23 \times 10^{-4}$
spálíkani	$1,55 \times 10^{-4}$	$0,71 \times 10^{-4}$
Ómari Sigurðssyni (1990)	$0,9 - 1,8 \times 10^{-4}$	$0,4 - 0,6 \times 10^{-4}$

Eins og sést á töflunni þá er bæði innbyrðis samræmi milli gildanna sem nú fengust og allgott samræmi við gildin sem fengust á grundvelli loftdælingar holu LN-14 í borlok. Sú dæling stóð þó aðeins yfir í nokkra klukkutíma. Þessi góða samsvörun milli mismunandi mælinga og reiknilíkana gefur ástæðu til að ætla að niðurstöðum spálíkansins sé sæmilega treystandi.

Niðurstöðurnar í töflu 2 má nota til þess að áætla nánar eiginleika jarðhitakerfisins. Gengið er útfrá því að $h = 200$ m, auk þess sem $g = 9,8$ m/s², $v = 4,5 \times 10^{-7}$ m²/s, $\rho = 980$ kg/m³, $c_w = 5 \times 10^{-10}$ 1/Pa og $c_b = 2 \times 10^{-11}$ 1/Pa. Þannig fæst að $k = 34 \times 10^{-15}$ m² og $\phi = 9,2\%$. Þetta verða að teljast sennileg gildi, lektin er í lægri kantinum sem skýrir það að vatnsborð lækkaði töluvert hratt í prófuninni.

6. EFNAGREININGAR

Tafla 3. Efnagreiningar á vatni á Lambanesreykjum.

Staður	LN-13	LN-13	LN-14	LN-14	Sauðárkrókur
Dagsetning	86.10.18	91.02.27	91.02.27	9 8.02.17	96.11.18
Númer	86-0165	91-0058	91-0057	91-0044	96-0346
Hiti °C	62.5	62.3	68.5	62	68.4
pH/°C	10.0/19	10.08/17	10.04/16	10.06/19	10.10/16
Leiðni µS/°C	-	297/23	290/23	321/25	-
Kísill SiO ₂	93.1	97.0	97.3	98.6	69.9
Natríum Na	64.4	64.57	62.39	67.4	56.1
Kalíum K	1.0	1.03	1.03	0.99	0.74
Kalsíum Ca	1.8	1.8	1.8	1.70	3.4
Magnesium Mg	0.01	0.0004	0.0004	0.007	0.002
Karbonsat CO ₂ (t)	22.6	15.1	13.-	21.17	13.8
Súlfat SO ₄	33.2	30.55	30.36	33.3	40.6
Brennist.vetni H ₂ S	0.6	0.64	0.65	0.80	0.43
Klóríð Cl	26.1	24.2	24.3	23.5	19.8
Flúoríð F	0.52	0.534	0.512	0.53	1.48
Járn Fe	0.02	0.0024	0.0017	0.014	0.0016
Súrefni O ₂	-	0.0	0.0	-	0.0
Mangan Mn	-	0.00025	0.0	0.0005	0.003
Ál Al	-	0.066	0.07	0.028	0.071
Kopar Cu	-	0.0005	0.0001	-	-
Bróm Br	-	0.075	0.074	-	-
Bór B	-	0.06	0.05	-	0.15
Zink Zn	-	0.025	0.0	-	-
Uppleyst efni	-	242.6	258.5	282	241

Þessar greiningar benda ekki til að umtalsverðar breytingar hafi orðið á efnasamsetningunni síðan farið var að nota vatn úr holunum. Vakin er athygli á háu pH-gildi og hlutfallslega miklu magni brennisteinsvetnis (H₂S) og kísils (SiO₂). pH-gildið gerir efnahitamælingu (kísilhita) heldur ónákvæma, en almennt séð þykir að svo mikill kísill og brennisteinsvetni, eins og hér greinist, benda til að heitara vatns megi vænta á meira dýpi. Heita vatnið virðist ekki vera blandað kaldara vatni; að öðrum kosti væri magn brennisteinsvetnis ekki svona mikið.

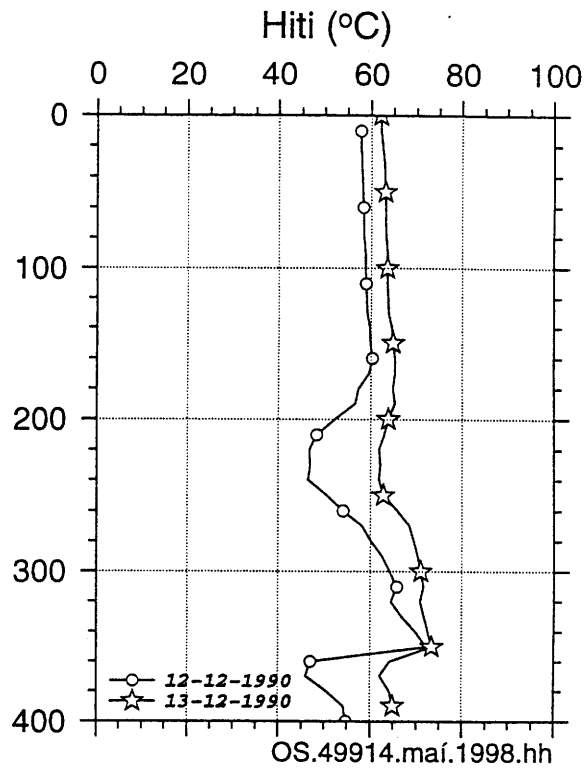
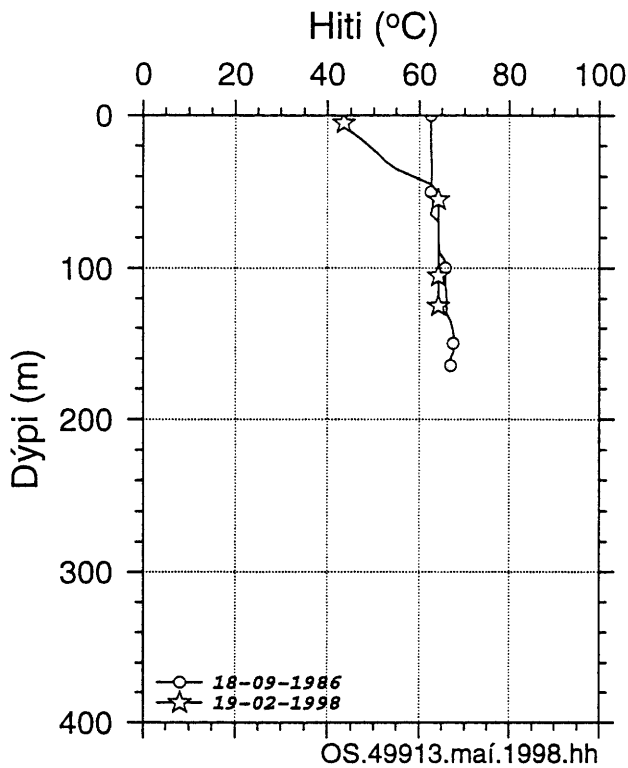
Mikið brennisteinsvetni kemur alla jafnan í veg fyrir tæringu af völdun súrefnis. Tæringarhætta fer þó að mestu leyti eftir því í hvers konar vökva þessu vatni er blandað. Sjórinn í Miklavatni mældist vera súrefnismettaður núna í vetur og ferskvatnið, sem notað er í seiðastöðinni er það efalaust líka.

Miðað við hitastig er vatnið tiltölulega kísilríkt. Við blöndun við annan vökva gæti það orsakað útfellingu á magnesíumsamböndum.

Til samanburðar við greiningarnar frá Lambanesreykjum er hér sýnd nýleg efnagreining á vatni úr dælustöð hitaveitunnar á Sauðárkróki. Þetta vatn er á margan hátt áþekkt Lambanesreykjavatninu, til dæmis hvað varðar magn uppleystra efna og sýrustig (pH) og einnig er brennisteinsvetni í hærri kantinum á báðum stöðum. Kísillinn er hins vegar mun lægri á Sauðárkróki.

Lambanesreykir LN-13 Fljótahreppur Skagafjarðarsýsla

Lambanesreykir LN-14 Fljótahreppur Skagafjarðarsýsla



Mynd 7. Hitamælingar, sem gerðar hafa verið í vinnsluholunum á Lambanesreykjum.

Tvær mælingar eru til úr LN-13; sú fyrri gerð 1986 og var þá sjálfrennandi vatn upp úr holunni, 62½°C. Innrennsli virðist vera á 65 m og á 90 m dýpi og neðar.

Mælingin 1998 var gerð meðan dælt var úr LN-14 og var vatnsborðið í LN-13 komið niður á 2½ m dýpi, þannig að ekki rann úr holunni. Kalt var í veðri og gætir kuldans frá yfirborði niður á 50 m dýpi. Þar er vatnið rúmlega 64°C og helst sá hiti til botns á 125 m. Eitthvað hrun virðist hafa orðið í holunni, því upphaflega var hún 165 m.

Í LN-14 hefur ekkert verið hitamælt síðan rétt eftir að hún var boruð. Myndin sýnir tvær síðustu mælingarnar sem gerðar eru meðan holan er að hitna upp. Skolvatnið hefur kælt hana verulega, sérstaklega á 200 - 250 m dýpi og aftur niður undir botni. Við borun varð vart við töluvert hrun á þessum sömu dýptarbilum og er líklegt að þar sé borað í vatnsgefandi, sprungið berg. Vegna dælnnar, sem nú er ofan í holunni, var ekki unnt að hitamæla veturinn 1998. Hitinn á vatninu uppkomnu í dælingunni var þá 62½°C.

7. NIÐURSTÖÐUR

Samandregnar niðurstöður þessarar dælingar úr holu LN-14 á Lambanesreykjum eru í stórum dráttum eftirfarandi:

- Vinnsla 17 l/s úr holunni mun væntanlega valda vatnsborðslækkun niður á tæplega 40 m dýpi, þegar til langs tíma er litið. Núna er dæla á rúmlega 50 m dýpi.
- Ekkert virðist til fyrirstöðu um að vatnsvinnsla fari upp fyrir 20 l/s stuttan tíma í senn, án þess að dælan dragi loft, svo framarlega að meðalvinnslunni sé haldið innan við 20 l/s.
- Vinnsla 25 l/s úr holunni dregur vatnsborðið niður á 80 m dýpi. Þar fyrir neðan er hún órýmuð og of grönn til að rúma dælu.
- Iðustreymistap virðist vera lítið í holunni. Vatn virðist eiga greiða leið úr jarðhitakerfinu inn í hana.
- Áhrifa dælingar úr holu LN-14 gætir nær samtímis í LN-13. Dæling úr holunum samtímis myndi sennilega litlu sem engu bæta við heildarvatnsmagnið.
- Ekki er líklegt að ný og álíka djúp vinnsluhola í grennd við þær sem fyrir eru mundi nokkru bæta við það vatn sem nú fæst.
- Hins vegar er hugsanlegt, að vatn dýpra niðri í jarðhitakerfinu sé eitthvað heitara en það sem nú fæst úr borholunum.
- Ekki er útilokað að hægt sé að nota jarðhitavatnið að einhverju leyti beint til fiskeldis (án varmaskipta); það fer að mestu leyti eftir samsetningu ferskvatns og sjávar sem við það blandast.
- Þegar skipt verður um dælu í holu LN-14, er rétt að hún verði hitamæld; með því fást einnig upplýsingar um hvort hrun hafi orðið í holunni.
- Þá er einnig rétt að þræpa dæla holuna til að kanna áhrif iðustreymis og vinnslu umfram 20 l/s á jarðhitakerfið.
- Nauðsynlegt er að hafa gott eftirlit með vatnsvinnslu, vatnsborði, hita og efnainnihaldi þegar vinnsla hefst á ný. Með því verður hægt að endurskoða afkastamatið.

HEIMILDIR

Úr gögnum Orkustofnunar um jarðhita og ferskvatn í Fljótum.

- Árni Hjartarson, 1986: Lambanesreykir fish farming station. Orkustofnun, greinargerð ÁH-86/01.
- Guðni Axelsson, 1986: Lambanesreykir í Fljótum. Rennslisprófun á holu 12. Orkustofnun, greinargerð GAx-86/01.
- Guðni Axelsson, 1994: Forðafræði jarðhitans. Eðlisfræði á Íslandi VII. Ráðstefna Eðlisfræðifélags Íslands á Nesjavöllum 8.-9. október 1994, 69-84.
- Guðni Axelsson og Kristján Sæmundsson, 1997: Lambanesreykir í Fljótum. Afköst holna 13 og 14. Orkustofnun, greinargerð GAx/KS-97/04.
- Guðni Axelsson og Magnús Ólafsson, 1997: Hitaveita Sauðárkróks. Eftirlit með jarðhitavinnslu við Áshildarholtsvatn árið 1996. Orkustofnun, OS-97051 B.
- Guðmundur I. Haraldsson, 1986: Jarðhitaathuganir og boranir á Lambanesreykjum í Fljótum. Orkustofnun, greinargerð GIH-86/04.
- Kristján Sæmundsson, Stefán Arnórsson, Valgarður Stefánsson og Stefán Sigurmundsson, 1973: Jarðhitaathuganir við Barðslaug í Fljótum. Orkustofnun, OS-JHD-7326.
- Kristján Sæmundsson, 1984: Skáholuborun fyrir Fljótalax. Orkustofnun, greinargerð KS-84/11.
- Kristján Sæmundsson, 1986: Borun eftir heitu vatni fyrir Fljótalax. Orkustofnun, greinargerð KS-86/03,
- Kristján Sæmundsson, 1990a: Borun á Lambanesreykjum og Hraunum á Fljótum fyrir fiskeldisstöð Miklalax. Orkustofnun, greinargerð KS-90/12.
- Kristján Sæmundsson, 1990b: Jarðhitinn í Fljótum í Skagafirði. Orkustofnun, greinargerð KS-90/14.
- Kristján Sæmundsson, 1991: Jarðhitaborun við Gilslaug og á Reykjarhóli í Austur-Fljótum. Orkustofnun, greinargerð KS-91/21.
- Magnús Ólafsson, 1987a: Reykjahóll á Bökkum - Fljótalax. Efnasamsetning heits vatns. Orkustofnun, greinargerð MÓ-87/07
- Magnús Ólafsson, 1987b: Miklilax í Fljótum. Efnasamsetning heits vatns. Orkustofnun, greinargerð MÓ-87/11.
- María Jóna Gunnarsdóttir, 1980: Athugun á hagkvæmni hitaveitu í Holtshreppi Fljótum, Orkustofnun, greinargerð MJG-80/10.
- Ómar Sigurðsson; 1990: Miklilax í Fljótum. Loftdæling holu 14, Lambanesreykjum. Orkustofnun, greinargerð Ómar-90/02.
- Ragna Karlsdóttir, 1978: Jarðhitakönnun í Vestur-Fljótum. Framvinduskýrsla. Orkustofnun, OS-JHD-7857.
- Ragna Karlsdóttir, 1995: Viðnámssniðsmælingar að Reykjarhóli í Austur-Fljótum. Orkustofnun, OS-95052/JHD-33 B. Unnið fyrir Holtshrepp og Rafmagnsveitur ríkisins.
- Vigdís Hjaltadóttir, 1986: Efnasamsetning jarðhitavatns á nokkrum stöðum í Vestur- og Austur-Fljótum, Skagafjarðarsýslu. Orkustofnun, greinargerð VHj-86/01.
- Þórólfur H. Hafstað 1997: Lambanesreykir í Fljótum. Lausleg áætlun um athugun á vinnsluhölu. Minnisblað á Orkustofnun.