

ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

SÝNIEINTAK
-má ekki fjarlægja

FRAMVINDUSKÆRSLA UM
RANNSÖKNIR AÐ LEIRA

Sverrir Þórhallsson
Þorsteinn Thorsteinsson
Gestur Gíslason

ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

FRAMVINDUSKYRSLA UM
RANNSÖKNIR AÐ LEIRA

Sverrir Þórhallsson
Þorsteinn Thorsteinsson
Gestur Gíslason

EFNISYFIRLIT

0. Inngangur
1. Dæling og vatnsstöðumælingar
 - 1.1 Dæling
 - 1.2 Vatnsstöðumælingar
2. Efnasamsetning borholuvatnsins
 - 2.1 Inngangur
 - 2.2 Útreikningar á kalkmettun
 - 2.3 Niðurstöður mælinga
3. Tilraunastöð
 - 3.1 Inngangur
 - 3.2 Útfellingar
 - 3.3 Ferskvatn
 - 3.4 Málmtæring
 - 3.5 Alyktun

4. Lokaorð

Tafla 3: Efnagreiningar á sýnum úr borholum við Leirá

Myndir:

1. Tæki notuð við dæluprófun
2. Holur 1,2 og 4 við Leirá, Melasveit
Dæluprófun 76.02.11 - 76.02.19
3. Upplýsanleiki kalsíts (CaCO_3) og
upplýsanleikamargfeldi CaCO_3 í sýnum frá Leirá

0. Inngangur

Dagana 76.02.11 - 76.02.19 var að ósk bæjarstjórnar Akranesskaupstaðar dælt til reynslu úr holu L4 að Leirá.

Megintilgangur dælingarinnar var tvíþættur. Í fyrsta lagi könnun á vatnsmagni, niðurdretti og hitastigi holu L-4 og í öðru lagi könnun á aðferðum til nýtingar vatnsins með tilliti til kalk- og kísilútfellinga við mismunandi þrýsting og hitastig. Jafnframt var reynt að afla upplýsinga um víðáttu og rennsliseiginleika jarðhitakerfanna við Leirá með vatnsstöðumælingum í holum L-1, L-2 og L-3 meðan dælt var úr L-4.

Upphaflega hafði verið gert ráð fyrir að 2 - 4 vikna samfellda dælingu þyrfti til tilraunanna, en þeim varð að hætta eftir 7 daga ósleitna dælingu vegna útfellinga í leiðslu að Leirárskóla og vegna verkfalla.

1. Dæling og vatnsstöðumælingar

1.1 Dæling

Dælingin var framkvæmd með 25 l/s djúpdælu Jarðhitadeildar úr 85 m dýpi. Frá dælunni var vatnið leitt í gufuskilju og síðan mælt í yfirfallsmælikeri. Vatnsstaða holunnar var mæld með þrýstipípu í 73 m dýpi. Lögn var tekin úr skiljunni í leiðslu Leirárskóla (teikn. 1).

Teikning 2 sýnir vatnsmagn holu L-4, l/s mælt í mælikeri, hita í °C og vatnsstöðu í m frá fódurrörsbrún. Við mælda vatnsmagnið þarf að bæta 5.5% vegna gufunnar, sem ekki kemur fram í magnmælingunni. Teikn. 2 sýnir einnig viðbrögð vatnsstöðu hola L-1 og L-2 við dælingunni og auk þess

loftþyngd í Reykjavík, en sveiflur hennar orsaka lækun og lækun vatnsstöðunnar (+ 1 mb \approx - 0.5' cm).

Fyrst var dælt í 2 klst. að kvöldi 76.02.11 en frá kl. 10⁰⁰ 76.02.12 til kl. 18.00 76.02.19 var síðan dælt óslitið samtals um 5000 m³ af 122 - 128 °C heitu vatni, lengst af með afköstunum 7.4 - 9.0 l/s og 45 - 65 m niðurdrætti.

Aðstæður og tími leyfðu ekki þrepadælingu til könnunar á hlutfallslegri hlutdeild iðustreymis og lagstreymis í niðurdrættinum. Iðustreymismótstöðuna má þó gróflega áætla 0.7 m/(l/s)² út frá lækun og lækun vatnsstöðunnar við mismunandi vatnsmagn dagana 76.02.12 og 76.02.17. Niðurdráttur yrði þá 90 - 100 m vegna 10.5 - 11.0 l/s dælingar í vikutíma og er þá miðað við svipaða lagstreymisstuðla neðan við 700 m í L-4 og mælst hafa milli hola L-1 og L-2, ofan við 300 m dýpi. Samanburður á áhrifum dælingar úr L-4 og rennslis úr L-1 á vatnsstöðu holu L-2 benda til að um 53% vatnsmagns L-4 sé úr efra vatnskerfinu ofan við 700 m. Er þetta í samræmi við hita vatnsins, 127 °C, sem var nokkurn veginn jafn á dælutímabilinu. Hann lækkaði að vísu fyrst eftir að dregið var úr dælingu, en náði sér fljótlega aftur í 127 °C, þegar efri hluti holunnar hafði náð að hitna.

Ofangreind afköst eru mun lakari en gert var ráð fyrir eftir þrepadælingu og dælingu í dýptarbilið 231 - 477 m að borun lokinni. Samkvæmt þeim var lækun vegna iðustreymis ástluð um 0.1 m/(l/s)². Vera má að orsök misræmisins séu stíflur vegna vatnsrennslis neðan úr holunni-eða kæfingarvatnsins. Óeðlilega mikil lækun, sem verður í holu L-4 76.02.18, eftir að opnað var fyrir 2.2 - 4.2 l/s rennslis úr holu L-1 í 5 klst., má e.t.v. skýra með iðustreymi vegna stíflaðs aðrennslis í efra vatnskerfinu í nánunda við L-4. Hins vegar getur líka verið að afköstin hafi verið ofmetin að borun lokinni og að þrýstingur vatnsins, sem þá var dælt niður,

hafi myndað vatnsgengar sprungur við neðri enda fóðurrörs, sem síðan hafi lokast aftur að aðgerðinni lokinni. Mælingar gerðar á sjálfrennsli L-4 fyrir og eftir dælingu 75.10.10 og 76.03 gáfu svipað vatnsmagn. Hugsanlegt er þó að auka megi afköst holu L-4 úr efra vatnskerfinu með þrýstidælingu, 40 - 50 l/s, á topp hennar, því að tiltölulega litlu vatnsmagni var dælt í dýptarbílið 231 - 477 m að borun lokinni.

1.2 Vatnsstöðumælingar

Viðbrögð vatnsstöðu hola L-1, L-2 og L-3 við dælingu úr L-4 voru þau sömu og komu fram við rennslismælingu í sept.-okt. 1975, nema hvað lítils háttar lökkun, 0.2 - 0.3 m, kom fram í holu L-3 meðan dælt var. Dælingin varð of skammvinn og ójöfn til þess að veita fullnægjandi upplýsingar um rennsliseiginleika heiltavatnskerfanna neðan við 700 m í L-4, né frekari óvatnsgengar afmarkanir efra kerfisins í L-1, L-2 og L-4, sem gætu minnkað afköst kerfisins frá því sem gert er ráð fyrir með einum óvatnsgengum skilum.

Tveggja til þriggja vikna dælingu þarf til að einhver von sé til að hægt sé að segja fyrir um vatnsgæfni jarðhita-kerfanna við holu L-4.

2. Efnasamsetning borholuvatnsins

2.1 Inngangur

Athuganir á vatni úr borholunum við Leirá sýna, að veruleg hættu er á kísilútfellingu, ef vatnið kólnar eins og t.d. í miðstöðvarlögnum. Hið háa innihald kolsýru og lága sýrustig (pH) gerir það að verkum, að vatnið er tærandi á venjulegt járn. Mælikvarði tæringareiginleika er styrkur svokallaðrar frírrar kolsýru, en hann nemur um 60 - 70 ppm, en leyfilegur hámarksstyrkur í heitu vatni er talinn 0.2 ppm. Hætta af kísilútfellingu og tæringareiginleikar vatnsins gera það að verkum, að vatnið telst óhæft til beinnar notkunar í hitaveitu.

Efnagreiningar á vatni úr borholunum við Leirá sýna, að hér er um að ræða ölkelduvatn og inniheldur það mikið af kolsýru (CO_2) (tafla 3). Önnur einkenni vatnsins eru þau, að það inniheldur nokkuð mikið af kalsíum (Ca^{++}) og sýrustig (pH) þess er fremur lágt. Styrkur uppleysts kísils er fremur hár, einkum í holu L-4, en eftir því sem vatnið er heitara hækkar styrkur uppleysts kísils. Við suðu á ölkelduvatni eins og við Leirá, hækkar sýrustig vatnsins eins og sést í töflu 3. Eins og búast má við, veldur suðan miklum kalkútfellingum. Þessar útfellingar eru svo örur, að vatnið er ekki nýtanlegt nema komið sé í veg fyrir suðu með því að halda vatninu undir nægilegum þrýstingi.

2.2 Útreikningar á kalkmettun

Vegna útfellinga á kalsíti og aragóníti úr vatni úr holu L-4 við Leirá voru gerðar mælingar og útreikningar á uppleysanleikamargfeldi CaCO_3 , en það segir til um, hvort vatnið er mettað af CaCO_3 eða ekki. Á mynd 3 er sýnd lína mettunar CaCO_3 . Ef uppleysanleikamargfeldið við ákveðið

hitastig lendir á línunni, er vatnið mettað með tilliti til CaCO_3 . Svæðið ofan við línuna sýnir undirmettun, en neðan við hana er svæði yfirmettunar. Ef uppleysanleikamargfeldi CaCO_3 fyrir vatnssýni lendir á því svæði, leiðir það til útfellingar.

Uppleysanleikamargfeldi CaCO_3 er fundið með því að margfalda saman virkni (aktivitet) Ca^{++} og CO_3^{--} , en virkni er margfeldi styrks (concentration) og virknistuðuls (activity coefficient).

$$K_{\text{CaCO}_3} = (\text{Ca}^{++})(\text{CO}_3^{--}) \quad (1)$$

$$(\text{Ca}^{++}) = \gamma_{\text{Ca}^{++}} [\text{Ca}^{++}] ; (\text{CO}_3^{--}) = \gamma_{\text{CO}_3^{--}} [\text{CO}_3^{--}] \quad (2)$$

Styrkur Ca^{++} fæst beint úr efnagreiningu en styrk CO_3^{--} verður að reikna út frá sýrustigi (pH) og CO_2 (tot) með því að leysa saman eftirfarandi jöfnur:

$$[\text{CO}_2(\text{tot})] = [\text{H}_2\text{CO}_3] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{--}] \quad (3)$$

$$K_{\text{H}_2\text{CO}_3} = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-] \gamma_{\text{HCO}_3^-}}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \quad (4)$$

$$K_{\text{HCO}_3^-} = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{--}] \gamma_{\text{CO}_3^{--}}}{[\text{HCO}_3^-] \gamma_{\text{HCO}_3^-}} \quad (5)$$

$[\text{CO}_2(\text{tot})]$ er mælt gildi, (H^+) er $10^{-\text{pH}}$, $K_{\text{H}_2\text{CO}_3}$ og $K_{\text{HCO}_3^-}$ eru kleyfnistuðlar háðir hita og $\gamma_{\text{H}_2\text{CO}_3}$ og $\gamma_{\text{HCO}_3^-}$ eru virknistuðlar.

Ef jöfnur (3), (4) og (5) eru leystar saman með tilliti [til CO_3^{--}] fæst:

$$\begin{aligned}
 & \frac{K_{\text{H}_2\text{CO}_3} \cdot K_{\text{HCO}_3^-} \cdot [\text{CO}_2(\text{tot})] \cdot \gamma_{\text{HCO}_3^-}}{([\text{H}^+]^2 \gamma_{\text{HCO}_3^-} \gamma_{\text{CO}_3^{--}}) + (K_{\text{H}_2\text{CO}_3} \cdot [\text{H}^+] \gamma_{\text{CO}_3^{--}}) + (K_{\text{H}_2\text{CO}_3} \cdot K_{\text{HCO}_3^-} \gamma_{\text{HCO}_3^-})} \quad (6)
 \end{aligned}$$

Styrkur er reiknaður í mólum, en í töflu 1 er styrkur sýndur í ppm (g/tonn). Samband styrks í mólum og ppm er sýndur í jöfnu (7).

$$\text{mól}_1 = \frac{\text{ppm}_1}{\text{mól. þungi}_1} \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

2.3 Niðurstöður mælinga

Við rannsóknir á jarðhitavatni hefur komið í ljós, að það er stíð kalsítmettað. Á mynd 3 sést, að sýni BORV11750173 og BORVO2760017, sem var safnað undir það miklum þrýstingi, að vatnið sauð ekki, fellur innan skökkjumarka á þá línu, sem sýnir kalsítmettun.

Einnig voru tekin sýni af vatni, sem hafði soðið. Sýni BORV11750177 er sama vatn og BORV11750173, en hefur soðið úr 122 °C í 100 °C. Sýni BORVO2760021 er sama vatn og BORVO2760017, en hefur soðið úr 128 °C í 100 °C. Á mynd 3 er sýnt hvernig uppleysanleikamargfeldi CaCO_3 vatnsins breytist við suðuna, þannig að vatnið verður verulega yfirmettað. Afleiðing þess verður sú, að kalk fer að falla út úr vatninu sem kalsít og aragónít, eins og gerðist, þegar dælt var úr holu L-4.

Gerðir voru reikningar á fyrrnefndum sýnum þar sem gert var ráð fyrir kólnun vatnsins án suðu, svo sem verða mundi í varmaskipti, ef vatninu væri dælt inn á hann undir nægilegum þrýstingi, þannig, að engin suða yrði. Á mynd 3 er sýndur ferill uppleysanleikamargfeldis CaCO_3 við þessa kólnun. Þar sést, að við slíka kælingu yrði ósoðna vatnið verulega undirmettað og því engin hættu á útfellingu kalsíts í varmaskiptinum. Sama konar reikningar á soðna vatninu sýna hins vegar, að þó það væri kælt í 20°C væri það enn verulega yfirmettað af CaCO_3 og útfellingar úr því vatni því alltaf óhjákvæmilegar.

3. Tilraunastöð

3.1 Inngangur

Samtímis dæluþrófuninni og rannsókn á efnasamsetningu vatnsins var gerð tilraun með nýtingu vatnsins í varmaskiptum. Tilraunastöð var reist við holuna og var holuvatnið kælt í tveimur plötuvarmaskiptum. Tilgangurinn með varmaskipta-tilrauninni var að kanna vandamál útfellinga á nýtingu holuvatnsins í hitaveitu. Annars vegar var vatnið soðið úr 128 °C í 100 °C og síðan kælt, en því svipar til kerfis þar sem holuvatnið yrði notað beint til hitaveitu. Hins vegar var vatn leitt undir þrýstingi að varmaskiptinum, en þannig kerfi yrði fyrir valinu, ef holuvatnið reyndist óneysluhæft og hita þyrfti ferskvatn til hitaveitunnar.

Í upphafi var gert ráð fyrir að dæluþrófun stæði í allt að þrjár vikur, en vegna útfellingavandamáls og tregðu, sem það orsakaði á rennslí til Leirárskóla, varð að hætta dæluþrófun að átta dögum liðnum. Tilraun með varmaskipta varð að stöðva fyrr, því á þremur dögum hafði lögn frá gufuskilju að tilraunastöð stíflast af kalkútfellingum.

3.2 Útfellingar

Í kafla 2 er vikið að kalkútfellingum, sem verða við suðu á vatninu. Athugun á tækjum, sem tóku við vatninu að suðu lokinni, leiddi í ljós miklar útfellingar og varð reyndar að hætta dæluþrófuninni af þeim sökum. Í kverkplötu, þar sem vatnið sýður, var mjög hörð útfelling, 10 mm að þykkt. Sama er að segja um gufuskilju. Úr gufuskilju var 100 °C heitt vatn leitt í Leirárskóla, í rennslisker og í varmaskipti. Í öllum þessum tækjum var mikil útfelling, en þó minni eftir því sem fjær dró frá gufuskiljunni.

I meðfylgjandi töflum er þykkt útfellingar skráð eftir "aldri" vatnsins, þ.e. tíma frá því það sauð í kverklötunni.

TAFLA 1

I röri að Leirarskóla

Þvermál rörs 3" - Rennslí 5-6 l/s

"Aldur" frá suðu	Þykkt útfellingar- hrúðurs	Fjarlægð frá inntaki í rör
sek	mm	m
60	16	1
66	8	6
71	5	11
77	1	17

TAFLA 2

Útfellingar í rennsliskari

"Aldur" vatnsins	Útfelling
sek	mm
120	11
210	9
280	4

Af ofangreindu er ljóst, að útfellingin er mjög hröð, og minnkar því yfirmettunin og útfellingin með "aldrinum".

Þar sem vatninu var haldið undir þrýstingi, var útfelling ekki sjáanleg í lögn að varmaskipti.

Varmaskiptaplöturnar voru athugaðar að lokinni þriggja daga keyrslu og var útfelling ekki sjáanleg. Þetta er allt of stuttur tími til að slíkt komi í ljós, t.d. hvað kísilútfellingu snertir.

Við dælingu reyndist kísilinnihald holuvatnsins vera 265 ppm. Við kólnun yrði vatnið mettað kísil, með tilliti til opals, ef það færi niður fyrir 65 °C. Þetta táknar, að við nýtingu holuvatnsins yrðu kísilútfellingar í varmaskiptinum, ef vatnið yrði kælt niður fyrir 65 °C.

Djúpdælan hefur enn ekki verið tekin upp til að kanna útfellingar í henni.

3.3 Ferskvatn

Ferskvatn til tilraunastöðvarinnar var tekið úr Leirá.

Ferskvatn til varmaskiptastöðvar yrði að taka úr melunum vestan Leirár, eða uppsprettum, sem undan þeim renna. Í skýrslu, sem Orkustofnun gerði í október 1973; "Leið til framtíðarlausnar á neysluvatnsmálum Akraness" kemur fram, að hámarks vatnsmagn, sem nýta má úr melum vestan Leirár, séu 300 - 400 l/s. Auðsýnt er, að þessi staður er hentugastur til neysluvatnsöflunar fyrir Akranes.

Varmaskiptastöð fyrir hitaveituna þyrfti í dag um 100 l/s af fersku vatni. Slík ferskvatnsnotkun gengur verulega á auðnýtanlegt vatn í melunum, og hefur því áhrif á kostnað við neysluvatnsöflun fyrir Akranes.

3.4 Málmþæring

Ekki fór fram tæringarprófun á holuvatninu, en vegna háðs innihalds frírrar kolsýru er það tærandi á stál. Hátt innihald klóríðs (273 ppm) í holuvatninu veldur því, að vafasamt er að nota venjulegt ryðfrítt stál, og yrðu því varmaskiptar líklega að vera úr títanmálmi.

3.5 Alyktun

Efnagreiningar og þær takmörkuðu tilraunir, sem fóru fram á nýtingu vatnsins sýna, að vatnið úr holu L-4 er ónothæft til beinnar notkunar í hitaveitu, og fyrirsjáanlegt er, að notkun þess í varmaskiptum er örðugleikum háð vegna fyrirsjáanlegra kísilútfellinga og tæringarvandamáls. Rétt er að geta þess, að öllu erfiðari vandamál hafa ekki komið upp hér á landi fyrr, við nýtingu jarðhita, og er ekki kunnugt um að tekist hafi að nýta jafn slæmt vatn annars staðar. Nú standa t.d. yfir svipaðar tilraunir í Tyrklandi og er óvíst um árangur.

Frekari rannsókna er því þörf til að segja fyrir um nýtingu vatnsins að Leirá. Fela þær meðal annars í sér langtíma-prófun á notkun varmaskipta, og verður að gera ráð fyrir að þessi þáttur rannsókna taki a.m.k. hálf t.ár.

4. Lokaorð

Eins og meðfylgjandi framvinduskýrsla ber með sér, hefur árangur dæluþrófunar og rannsókna orðið sá, að afmarka þau vandamál, sem leysa þarf, áður en nýting jarðhitasvæðisins að Leirá getur orðið að raunveruleika. Áfram verður unnið að því verkefni á Orkustofnun.

Tregt rennsli og útfellingavandamál gera það að verkum, að öflun og nýting vatnsins að Leirá er dýr.

Á þessu stigi málsins er ekki hægt að spá um hver meðalafköst djúpra hola á Leirársvæðinu verða. Djúpkerfið á eystra svæðinu er enn óreynt. Þar sem vatnsæðar finnast allt niður undir botn í holu L-4 er æskilegt að bora dýpra en í 2000 m, en til þess þarf Jötun. Til greina kæmi einnig að dýpka holu L-4 með Jötni í von um að finna kröftugar vatnsæðar neðar. Við nákvæma staðsetningu næstu djúpu holu verður stuðst við segulmælingar, viðnámsmælingar og niðurstöður langtímadælingar. Jarðeðlisfræðilegar mælingar verða framkvæmdar á Leirársvæðinu í byrjun mælingavertíðar þessa árs.

TAFIA 3

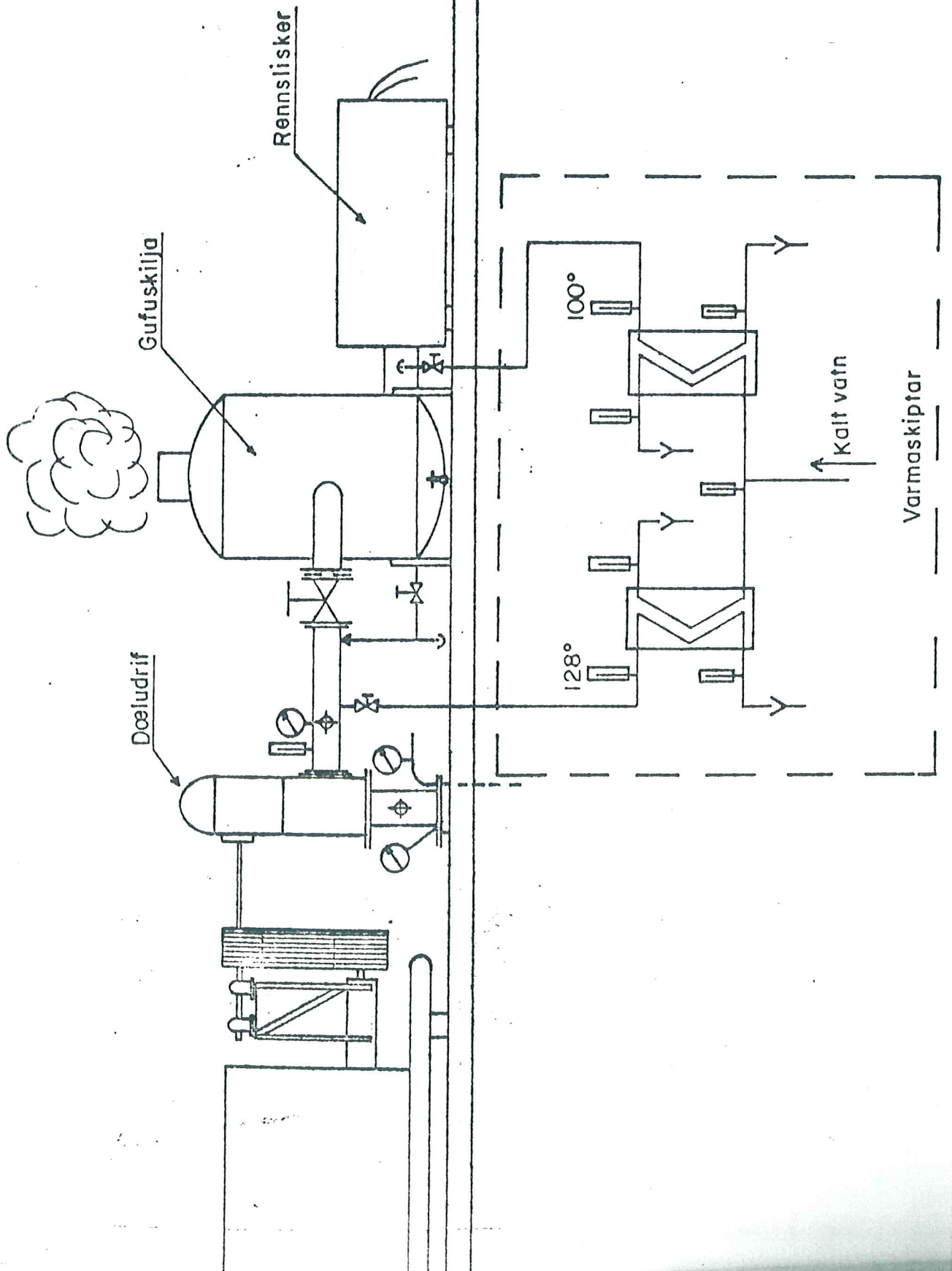
Efnagreiningar á sýnum úr borholum við Leirá - Styrkur efna í ppm

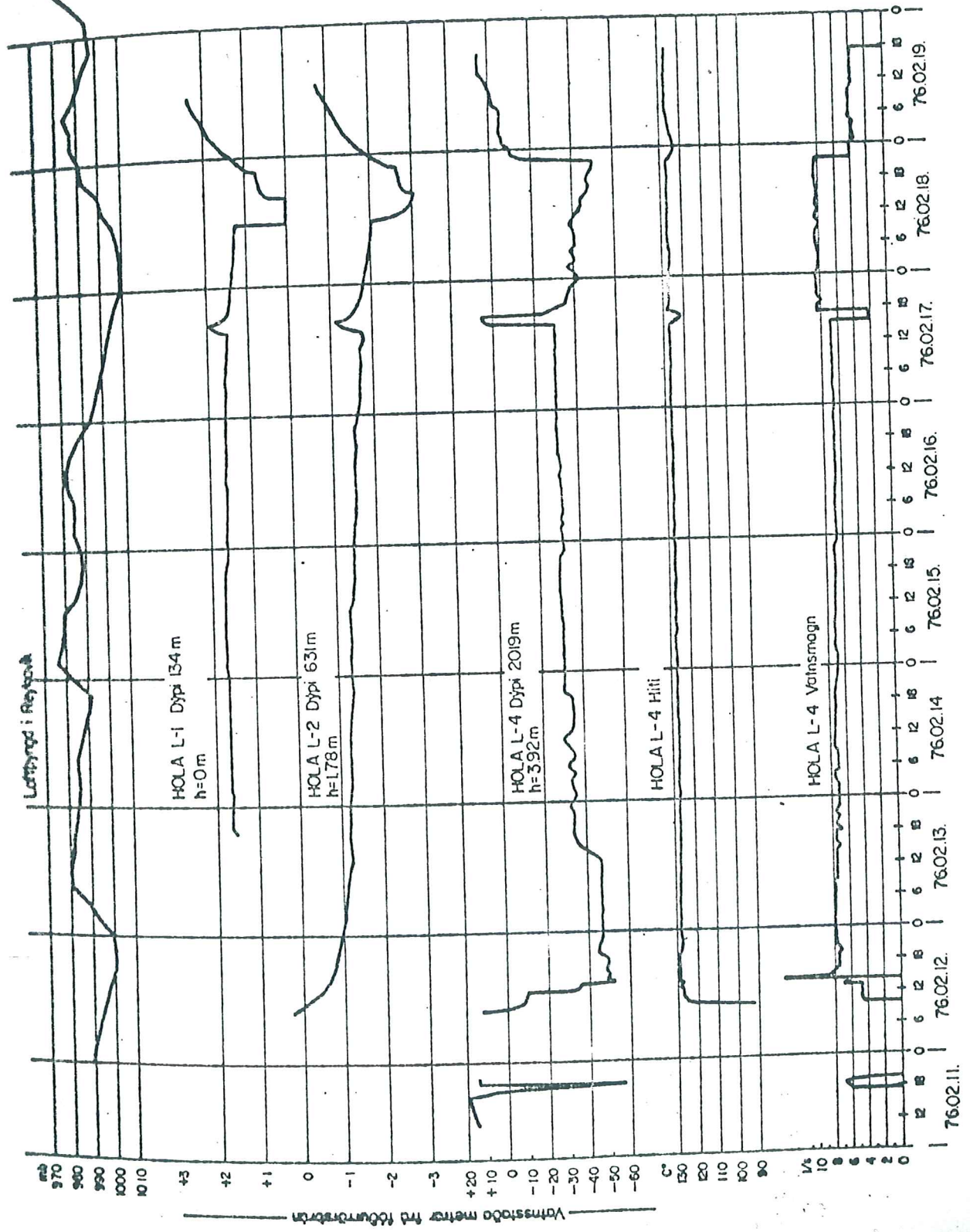
Sýni nr.	Hola nr.	Hiti °C	pH/°C	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	CO ₂ (tot)	SO ₄ ⁻⁻⁻	H ₂ S	Cl ⁻	F ⁻	Uppl. efni	Kfísilhiti Kalsédín/kvars °C
RV08730123	1	75	7.61/20	144	229	14.8	52.0	2.1	247	55.6	<0.1	186.7	2.1	938	134/148
RV10750164	2	65	7.02/21	158	206	14.3	64.8	2.9	256	225	<0.1	246.8	2.1	910	141/162
RV11750174	3	62	6.64/20	171	258	23.8	73.5		490		<0.1	302		1065	147/168
RV11750173	4	122	6.70/20	265	225	24.7	21.6		171		5.8	273		946	/198
RV11750177	4	100	8.40/20	270	25		25.1		186		0.6	286		1020	/191
RV02760017	4	128	6.29/20				30.9		279		0.3				
RV02760021	4	100	8.72/20				16.8		117		2.4				



Toekjauppsetning við dæluþrófun að Leirá

Mynd I







Mynd 3

