



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

ÚTFELLINGAR Í HITAVEITUM TUM

Hrefna Kristmannsdóttir

Erindi flutt á vetrarfundum Sambands Íslenskra rafveitna
og Sambands Íslenskra hitaveitna 27. - 28. október 1988

OS-88067/JHD-34 B

Desember 1988



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

ÚTFEILINGARHITAVEITUM

Hrefna Kristmannsdóttir

Erindi flutt á vefráðunefni Sambands Íslenskra rafveitna
og Sambands Íslenskra hitaveitna 27. - 28. október 1988

OS-88067/JHD-34 B

Desember 1988
Desember 1988

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	1
2. EFNASAMSETNING JARÐHITAVATNS	1
3. ÚTFELLINGAR ÚR JARÐHITAVATNI	8
3.1 Nýting háhitavatns	9
3.2 Nýting lághitavatns	9
4. ÚTFELLINGAR Í UPPHITUÐU VATNI	12
5. ÚTFELLINGAR VEGNA BLÖNDUNAR Á FERSKVATNI OG JARÐHITAVATNI	13
6. NIÐURSTÖÐUR - LEIÐIR TIL ÚRBÓTA HEIMILDIR	14

ÚTFELLINGAR Í HITAVEITUM

Hrefna Kristmannsdóttir

Orkustofnun

1. INNGANGUR

Eitt þeirra vandamála, sem kunna að koma upp við vinnslu jarðhita, er að föst efni falla út úr jarðhitavatninu í vinnslurásinni, með þeim afleiðingum að pípur eða lokar geta stíflast, tregða orðið á varmaflutningi og dælur og aðrir hreyfanlegir hlutir staðið á sér eða eyðilagst. Við mat á vinnslueiginleikum jarðhitasvæðis er þetta einn af þeim meginþáttum sem þarf að meta og jafnframt taka tillit til við hönnun virkjunar.

Sumar gerðir útfellinga eru vel þekktar svo og þeir þættir sem valda þeim. Þá er hægt að meta og reikna fyrirfram við hvaða aðstæður þær myndast og jafnvel í hve miklum mæli. Í öðrum tilfellum skortir vitneskju til að reikna þetta út og oftast er einungis hægt að segja til um hvort útfelling gæti orðið, en ekki hvort hún verður né í hve miklum mæli. Þetta er vegna þess að þeir þættir sem áhrif hafa á hraða efnahvarfa eru yfirleitt lítið þekktir og aðferðir til að reikna hraðann eru ófullkomnar.

Þar sem jarðhitanyting er enn að þróast, hafa fram á síðustu ár verið að finnast nýjar gerðir útfellinga, sem ekki voru fyrirséðar. Vandamál hafa líka oft fallið í gleymsku og komið upp síðar og viðeigandi lausn þá ekki verið á takteinum. Einnig hefur brunnið við að ráðist hafi verið í framkvæmdir án þess að leitað væri tæknilegrar aðstoðar og því komið upp útfellingavandamál sem sjá hefði mátt fyrir.

Sams konar vandamál geta hrjád fleiri jarðhitanotendur án þess að þeir viti hver um annan og geti sameinað krafta sína til lausnar þeirra. Mjög mikilvægt er því að upplýsa bæði núverandi og væntanlega notendur jarðhita um mikilvægi þess að kanna þennan þátt fyrirfram.

Jarðhitadeild Orkustofnunar hefur um árabil haft með höndum ráðgjöf og stundað rannsóknir á sviði jarðefnafræði, sem beinast að því að finna lausnir á vandamálum vegna útfellinga við jarðhitanytingu. Á deil'dinni er talsverð reynsla vegna vandamála sem komið hafa upp við jarðhitanytingu á Íslandi á síðustu áratugum.

Hér á eftir verður gefið yfirlit um útfellingar sem þekktar eru frá jarðhitanytingu á Íslandi og skýrðar helstu orsakir útfellinga sem verða í hitaveitum og hvaða leiðir eru til úrbóta.

2. EFNASAMSETNING JARÐHITAVATNS

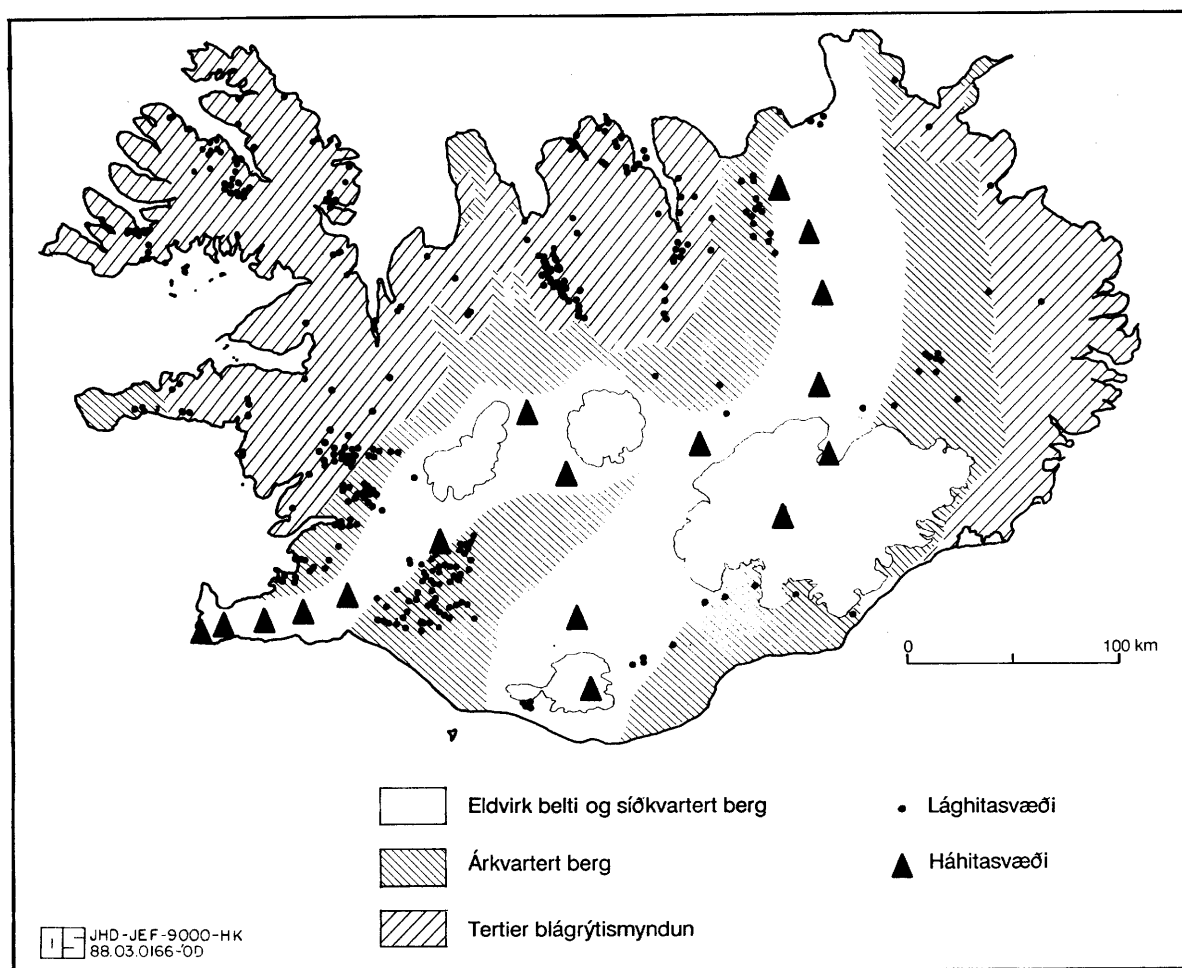
Jarðhitasvæði á Íslandi skiptast í háhita- og lághitasvæði. Háhitasvæðin eru öll innan virku gosbeltanna (mynd 1) og í þeim er hitastig yfir 200°C á 1 km dýpi. Lághitasvæðin eru á jöðrum gosbeltanna og í eldra bergi (> 3 M ára) einkum á Norðurlandi og á Vestfjörðum. Í jarðhitavatni eru uppleyst steinefni og gastegundir. Styrkur flestra efna er háður hitastigi og hækkar yfirleitt með hækkandi hita. Vatnið leysir efni úr bergi þegar það rennur um það ens það nær mettun með tilliti til viðkomandi efnis. Við kólnun vatnsins verður það svo yfirmettað af efninu og hefur þá tilhneigingu til að falla aftur út. Suða eða afloftun vatns getur einnig raskað efnajafnvægi vatnsins þannig að það verði yfirmettað með tilliti til ákveðinna efna. Vatn á háhitasvæðunum inniheldur miklu meira af efnum, bæði uppleystum og rokgjörnum (tafla 1) en á lághitasvæðunum. Mjög mikil hætta er á útfellingu og einnig tæringu við nýtingu þess. Í töflu 1 er sýndur efnastyrkur heildarflæðis úr borholum á nokkrum háhitasvæðum og einnig

TAFLA 1. Efnasemsetning jarðhitavatts á nokkrum háhitavæðum.
(Styrkur efna í mg/kg).

Jarðhita- svæði	Dagsetn.	Varma- innihald H ₀ kJ/kg	SiO ₂	Na	K	Ca	Mg	SO ₄	Cl	F	Al	Fe	Heildar- styrkur uplest	CO ₂	H ₂ S	H ₂	CH ₄	N ₂	Söfnunar- þýstingur P _a bör
Námafjall BJ-12	a	2248	162	35	5.0	0.1	0.0	1.7	9	0.19	0.4	<0.025	229	815	975	62	1.38	12.3	19.2
	b		619	135	19.0	0.4	0.01	6.5	34	0.73	1.47	<0.025	862	22.2	108	0.02	0.0	0.0	
Krafla KJ-7	a	1973	313	83	14.2	1.4	0.05	55.5	38	0.31	0.5	0.01	489	48597	478	40	42	0.0	12.4
	b		787	209	35.8	3.5	0.13	139	95	0.78	1.23	0.02	1229	255	9.4	0.01	0.01	0.0	
Svartsengi SG-6	a	1029	437	6478	935	938	0.57	28.1	13925	0.19	0.50	0.13	21404	662	6.2	0.0	0.09	2.8	14
	b		504	7468	1078	1082	0.66	32.4	16052	0.22	0.62	0.15	24675	16.5	0.3	0.0	0.0	0.01	
Reykjanes Rn-9	a	1317	587	9079	1388	1526	0.93	16.2	17749	0.15	0.80	0.7	30927	1523	48	0.10	0.05	3.9	43
	b		812	12564	1920	2112	1.28	22.4	24558	0.21	1.2	0.9	42797	14.2	1.0				
Hveragerði NLF-2	a	850	242	149	11.4	1.7	0.0	39.4	126	1.62	0.50	<0.025	701	448	46	0.3	0.33	11.5	7.1
	b		254	156	11.9	1.8	0.003	41.2	132	1.69	0.51	<0.025	734	71	20	0.0	0.0	0.02	

a: Heildarfærði

b: Vatn soðið við 180°C



Mynd 1. Jarðhitasvæði á Íslandi. Kortið sýnir einfalda mynd af jarðfræði Íslands og tengslum jarðhita við jarðfræðilega byggingu landsins.

reiknaður efnastyrkur í vatninu eftir suðu við 180°C til að fá sambærilegri tölur. Efnastyrkur er langhæstur í Svartsengi og á Reykjanesi þar sem vökvinn er að hluta sjór að uppruna og því mjög saltur. Í háhitavæðum þar sem vatnið er regnvatn að uppruna er efnastyrkur líka miklu hærri en í lághitavatni (tafla 2) af sama uppruna.

Í töflu 2 er sýnd efnasamsetning helstu gerða vatns á íslenskum lághitasvæðum einkum vatns, sem nýtt er í hitaveitum. Aftast í töflunni er sýnd efnasamsetning upphitaðs vatns úr þrem hitaveitum þar sem ferskvatn er hitað með jarðhita. Lághitavatninu er skipt í þrjá meginflokka: ferskt vatn, ísalt vatn og saltvatn.

Vatnið sem notað er í flestum stærri hitaveitum landsins er í fyrsta flokkinum, þ.e. ferskt lághitavatn. Ferska lághitavatnið hefur mjög lágt efnainnihald og er alveg ósalt. Súrustig (pH) er hátt. Vatnið er í efnajafnvægi við kísil, kalk og ýmsar aðrar steindir. Sumt vatn af þessari gerð inniheldur nokkurt brennisteinsvetni (H_2S), sem er hagstætt þar sem það binst súrefni í vatninu og virkar sem innbyggð tæringarvörn. Þetta efni er þó óæskilegt ef styrkur þess verður of hár. Sumt vatn í þessum flokki er snautt af brennisteinsvetni og í því er jafnvel súrefni. Styrkur flúoríðs (F) er yfirleitt innan marka fyrir drykkjarvatn (1 mg/kg), en sums staðar eins og t.d. á Blönduósi, er hann langt ofan þeirra marka.

TAFLA 2. Efnasamsetning lághitavats og upphitaðs vats, sem nýtt er í hitaveitum.
(Sýrkar efna í mg/kg).

Staður	Ferskt vatn				Ísalt vatn						Saltvatn			Upphitað vatn		
	Eyjafj.	Reykjav.	Siglufj.	Blönduós	Dalvík	Laugarás	Borgarfj. Laugarholt H-1	Selfoss (Porteifiskot) H-10	Hrisey H-10	Bakki H-1	Seltj. nes Sn-6	Staður Reykjanesi H-2	Hitav. Suðurn.	Hitav. Reykjahl.	Hitav. Hverag.	
	LJ-7	G-5	H-11	H-6	H-10											
Dags.	850205	800528	860226	871013	851019	871117	770920	850115	880224	850115	880118	880325	871118	871103	821109	
Hit ^o C	95	143	74	75	64	98	91	84	79	116	117	71	100	96	85	
Sýrustig (pH/°C)	9.80/21	9.46/25	10.02/22	9.70/20	10.29/21	9.67/21	9.16/22	8.55/22	9.58/22	8.71/22	8.44/22	7.30/22	9.09/22	8.80/18	7.55/20	
Kísill (SiO ₂)	97	142	93	108	64	112	116	76	69	133	123	69	12.5	25.9	118.5	
Natríum (Na)	52	65	43	67	47	79	108	158	224	386	597	11041	30	8.6	73	
Kalí (K)	1.4	3.1	0.9	1.8	0.7	1.9	3.3	5.6	4.3	19	14	399	1.7	1.2	6.0	
Kalsíum (Ca)	2.9	3.2	1.5	3.2	2.0	3.8	15	24	57	74	523	1915	7.1	9.0	6.9	
Magnesium (Mg)	<0.05	0.001	0.013	0.02	0.001	0.002	0.02	0.092	0.0	0.015	0.38	109	6.3	4.9	1.9	
Heildar karbónat sem (CO ₂)	18	23	19	29	14	17	13	24	6	8	10	40	9.6	45	62	
Súlfat (SO ₄)	41	24	9.3	60	13	53	75	57	48	121	305	1535	9.7	5.6	47	
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	<0.03	0.5	<0.05	1.4	<0.05	0.64	0.50	<0.05	<0.03	0.29	0.10	<0.03	<0.03	1.03	4.0	
Klóríd (Cl)	11	43	8.4	10	9.5	47	125	226	389	634	1617	19880	64	3.3	60	
Flúor (F)	0.39	1.0	0.38	5.5	0.52	1.9	2.0	0.27	0.28	0.50	0.67	0.04	0.06	0.12	0.75	
Járn (Fe)	0.0	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	-	0.0	0.025	1.1	-	-	-	
Uppleyst efni	240	339	204	291	203	349	438	586	804	1470	3484	36690	154	87	357	

- ekki mælt

Ísalta vatnið er eins og nafnið gefur til kynna dálítið salt og heildarefnainnihald þess er hærra en ferska vatnsins. Klóríðstyrkur (Cl) fersks jarðhitavatns er að jafnaði 10-20 mg/kg, en efri mörkin eru hér sett við u.þ.b. 50 mg/kg. Jarðhitavatnið er yfirleitt regnvatn að uppruna og hefur því að jafnaði lægri seltu eftir því sem fjær dregur ströndinni. Hækkuð selta stafar annað hvort af því að vatnið rennur um jarðlög með háa seltu, súrt berg eða setlög, eða að það er sjóblandað. Í jarðhitasvæðum nálægt strönd getur sjór náð að renna inn í kerfið og oft eykst innrennslið við nýtingu og þrýstingslækkun samfara dælingu.

Klóríðstyrkur í sjó er um 19800 mg/kg. Fullsalt lághitavatn (70°C) hefur fengist með borun á Stað við Grindavík og er þar notað við fiskeldi. Það ísalta vatn sem notað er í hitaveitum hefur allt vel innan við 10% af sjávarseltu. Dæmi eru um að selta hafi aukist verulega með nýtingu eins og t.d. á Seltjarnarnesi.

Selta hefur hvetjandi áhrif á efnahvörf í vatninu, þar á meðal súrefnistæringu og útfellingar og því er óæskilegt að hitaveituvatn sé mjög salt. Þar sem ísalt vatn er notað í hitaveitum hafa oft komið upp alvarlegri vandamál vegna slíks heldur en þar sem ferskt vatn er notað. Nægir þar að benda á Hitaveitu Hríseyjar og Hitaveitu Seltjarnarness. Ísalta vatnið er mettað með tilliti til sömu steinda og það ferska, en útfellingahætta er miklu meiri þar sem hvörfunarhraði er meiri en í ferska vatninu. Í saltvatninu eru fleiri efni sem geta fallið út, en slíkt vatn er ekki notað í hitaveitum hérlendis. Ef nýta ætti vatn af þessari gerð í hitaveitu væri ráðlegt að setja upp varmaskiptastöð og hita upp ferskvatn fyrir hana vegna þess hversu tærandi vatnið er og talsverð útfellingahætta einnig.

Á vissum svæðum á landinu finnst mjög kolsýruríkt vatn, bæði lághitavatn og vatn sem er á mörkum háhita- og lághitavatns. Slíkt vatn er notað til upphitunar en hvergi í stærri hitaveitur enda eru sérstök vandamál tengd nýtingu þess. Dæmi um efnasamsetningu kolsýruríks vatns eru í töflu 3.

TAFLA 3. Kolsýruvatn. Styrkur í mg/kg

Staður	Eyvík H-1	Klausturhólar H-6	Lýsuhóll H-6	Hæðarendi H-2
Dagsetn.	820624	870319	790811	830803
Hiti °C	69	73	60	-
Sýrustig pH/°C	8,00/23	7,02/20	6,88/11	6,18/23
Kísill (SiO ₂)	156	167	178	209
Natríum (Na)	157	255	486	640
Kalí (K)	5,6	9,2	37	36
Kalsíum (Ca)	4,4	27	80	33
Magnesíum (Mg)	0,09	2,98	20,8	3,92
Heildararþónat sem (CO ₂)	116	446	1358	1760
Súlfat (SO ₄)	65	65	43	143
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	<0,05	0,055	0,020	1,58
Klóríð (Cl)	115	99	70	291
Flúoríð (F)	2,0	1,5	4,8	1,5
Járn (Fe)	-	0,6	0,8	-
Uppleyst efni	601	904	1412	1914

Efnasamsetning jarðhitavatns getur breyst með tímanum einkum vegna áhrifa vinnslu og þar með geta eiginleikar vatnsins breyst. Því er mjög nauðsynlegt að fylgjast reglulega með efnasamsetningu jarðhitavatnsins, auk þess sem breytingar á henni gefa oft til kynna eðlisbreytingar á jarðhitakerfinu.

Upphitað vatn er talsvert ólíkt jarðhitavatni hvað varðar efnasamsetningu. Kalda vatnið, sem notað er til upphitunar í Svartsengi, er svolítið ísalt og því er upphitaða vatnið (sjá töflu 2) það einnig. Styrkur allflestna efna er lægri en í jarðhitavatni, en þó er magnesíum margfalt herra, eins og það er í köldu grunnvatni. Magnesíum er eitt fárra efna, sem fellur út þegar vatn er hitað (sbr. Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 1983) þar sem leysanleiki margra magnesíumsambanda lækkar með hækkandi hitastigi. Kalk er reyndar annað efni sem svo er ástatt um eins og vikið verður nánar að síðar.

Í upphitaða vatnið í Hitaveitu Reykjahlíðar er bætt gufu og lækkar það sýrustigið og hækkar styrk brennisteinsvetnis (H_2S) og koldíoxíðs (CO_2). Sýnið úr hitaveitu Hveragerðis, sem er í töflunni, er blanda af upphituðu vatni og jarðhitavatni, en það var notað um árabíl í veitunni. Nú er notað þar nær eingöngu upphitað vatn í vatnshitaveituna, en farið hefur verið meira og meira út í gufuhitaveitu vegna útfellingavandamála í vatnshitaveitunni.

3. ÚTFELLINGAR ÚR JARÐHITAVATNI

Eins og bent var á í kaflanum hér á undan er heita vatnið mettað af ýmsum steindum og efnasamböndum. Við eðlisbreytingar á vatninu svo sem kælingu, afloftun við suðu eða jafnvel upphitun, getur það orðið yfirmettað. Við yfirmettun er hætta á að efnið falli út úr vatninu uns mettun er náð að nýju við hinar breyttu aðstæður.

TAFLA 4. Helstu gerðir útfellinga sem þekktar eru frá jarðhitanytingu á Íslandi

Gerðir útfellinga	Háhitavatn	Lághitavatn	Upphitað vatn	Útfellingastaður	
				Í holu	Á yfirborði
Kalk (kalsít, aragónít)	x	x		x	x
Kísill	x			x	x
Magnesíum-silikat		x	x		x
Járn-silikat	x			x	
Siliköt				x	
Járn-magnesíum-silikat	x				
Zink-silikat		x			x
Ál-silikat	x				x
Járnsúlfíð				x	x
FeS_2 (pyrít markasít)	x			x	x
FeS (pyrrótít)	x	x		x	x
Járnnoxíð				x	x
Fe_3O_4 (magnetít)	x				
Fe_2O_3 (hematít)	x	x			x
Járnklóríð	x				x
$FeCl_3$	x				x
Önnur				x	x
málmsúlfíð	x				
Kalsíum sulfat (anhydrit)	x			x	

Í töflu 4 er yfirlit yfir helstu gerðir útfellinga, sem þekktar eru við jarðhitanytingu á Íslandi. Hér verður einungis fjallað um útfellingar sem orðið hafa í hitaveitum, en varðandi hinar

vísast til erindis sem haldið var s.l. sumar á alþjóðlegri ráðstefnu í Reykjavík (Hrefna Kristmannsdóttir, 1988)

3.1 Nýting háhitavatns

Reynt hefur verið í nokkrum tilvikum að nýta háhitavatn beint í hitaveitur, en það hefur gefist illa, aðallega vegna útfellinga. Vatnið er tærandi og leysir upp járn úr stálpípum sem binst brennisteinssamböndum og fellur út aftur sem járnsúlfíð. Járnúlfíðið myndar húð innan á pípunum og hindrar þar með frekari tæringu þeirra. Útfelling af þessari gerð veldur því sjaldan verulegum vandkvæðum. Mikil hætta er hins vegar á kísilútfellingum og útfellingum málmsilikata við kælingu háhitavatns. Einnig er hætta á kalkútfellingum þegar vatnið sýður vegna þrýstiléttis.

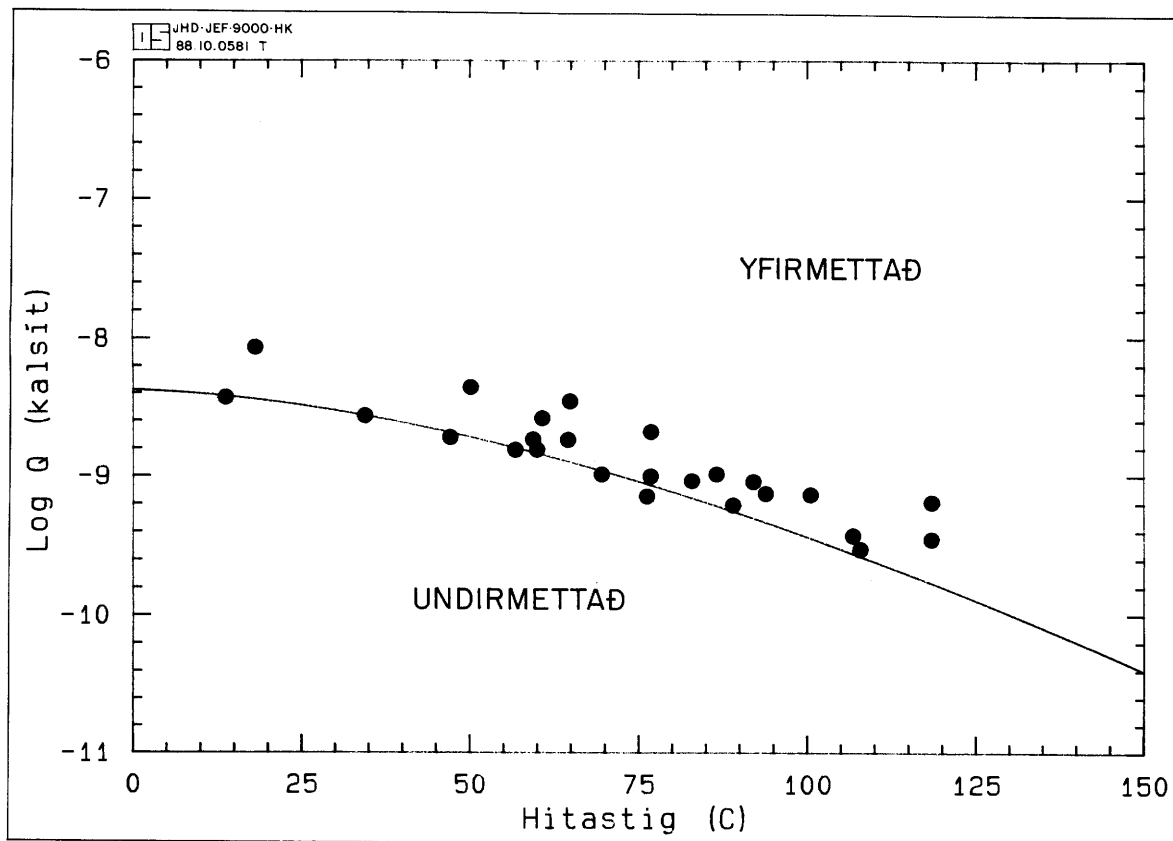
Þekkt er að mikil hætta er á kísilútfellingum eftir að yfirmettun verður í vatninu á kísilsambandinu ópál (SiO_2), sem er ókristölluð kísilsteind. Háhitavatnið er hins vegar mettað með tilliti til kísilsteindarinnar kvars (SiO_2), en hún fellur ekki út úr vatninu þótt það yfirmettist. Yfirmettun með tilliti til ópals verður við hitastig á bilinu 100-200°C eftir því hversu heitt vatnið var í upphafi (venjulega 200-320°C), en kísilstyrkur er háður hitastigi vatnsins.

Reynt var að reka Hitaveitu Reykjahlíðar með háhitavatni á árunum 1973-1974. Settir voru upp forhitarar í hverju húsi og var reiknað með að ekki yrðu verulegar útfellingar nema í þeim. Hins vegar féll ókristallað álsilikat út úr vatninu og dró úr flutningsgetu aðveituæðar á skömmum tíma. Þetta efnasamband var ekki þekkt fyrir og ekki hafði verið búist við útfellingum af þessu tagi. Um svipað leyti var sett upp hitaveita í Hveragerði, sem byggði á sömu útfærslu og samkvæmt útreikningum var ekki talin hætta á kísilútfellingum þar fyrr en við um 80°C. Þar urðu hins vegar miklar álsilikatútfellingar af sömu gerð og í Reykjahlíð. Þá var farið út í blöndun við kalt vatn og síðar nær einungis upphitun á köldu vatni. Engar stærri hitaveitur hafa verið reknar með beinni notkun háhitavatns eftir þetta. Þessar tvær veitur og Hitaveita Suðurnesja nýta háhitavatn til upphitunar á köldu vatni og sama mun Hitaveita Reykjavíkur gera á Nesjavöllum.

3.2 Nýting lághitavatns

Lághitavatn sem inniheldur brennisteinsetni (H_2S) getur myndað járnsúlfíðhúð innan á stálörum á sama hátt og háhitavatn. Súrefni í vatninu getur líka tært rörin og myndað ryð. Í galvaniseruðum rörum og messing hnjám í koparrörum hafa fundist útfellingar af zinksilikati, sem stafa af upplausn zinks úr rörunum sem binst kísli í vatninu og fellur út sem torleyst zinksilikat. Slíkar útfellingar eru ekkert stórvandamál, en valda því að rétt er að sneiða hjá þeim pípuendum sem valda útfellingunum. **Þær útfellingar sem valda mestum vandamálum við nýtingu lághitavatns eru kalkútfellingar.**

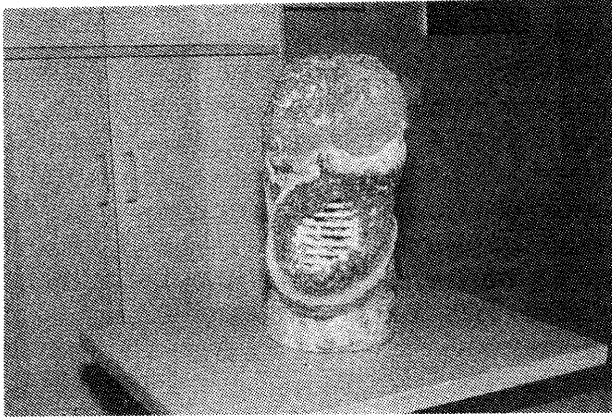
Allt jarðhitavatn á Íslandi er við náttúrulegar aðstæður nær nákvæmlega mettað af kalki eins og sýnt er á mynd 2 þar sem jónamargfeldi kalsíums og karbónats í hitaveituvatni eru teiknuð inn en ferillinn er fræðilegt lausnarmargfeldi kalksteindarinnar kalsíts á móti hitastigi. Þar sem uppleysanleiki kalks hækkar með lækkuðu hitastigi þá veldur kæling jarðhitavatns við nýtingu alls ekki útfellingu. Uppleysanleikinn er mjög háður sýrustigi, og loftun vatnsins (og hækkun pH) veldur því oft yfirmettun með tilliti til kalks og sömuleiðis suða vatns. Blöndun misheits vatns leiðir einnig oft til yfirmettunar á blöndunni. Þannig verða sums staðar alvarlegar útfellingar kalks í djúpdælum í borholum (sjá mynd 3), sem taka inn misheitt vatn eins og þekkt er í einstaka holum t.d. hjá Hitaveitu Reykjavíkur, Hitaveitu Suðureyrar og Hitaveitu Selfoss.



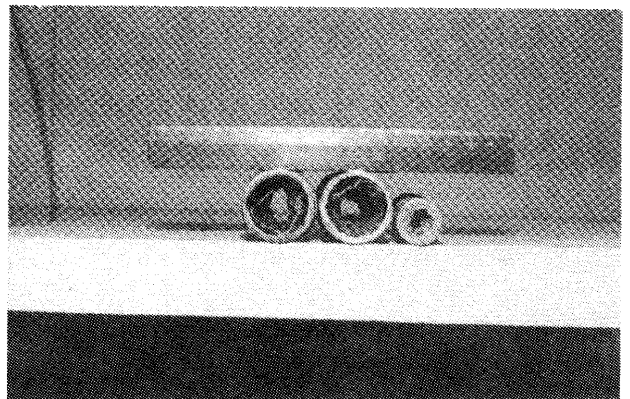
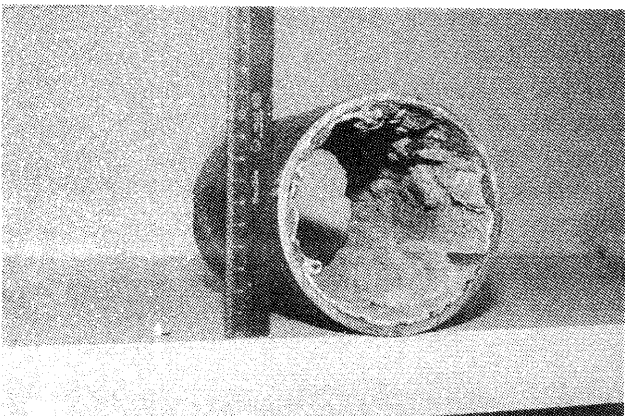
Mynd 2 Kalkmettun jarðhitavatns. Ferillinn sýnir fræðilegt lausnarmargfeldi kalksteindarinnar kalsíts í jafnvægi við hitastig: $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{CaCO}_3$. Punktarnir sýna jónamargfeldi kalsíums (Ca^{2+}) og karbonats (CO_3^{2-}) í hitaveituvatni.

Útfellingar eru þó yfirleitt ekki til vandræða í hitaveitum þar sem vatnið er ósalt. Flestar hitaveitur þar sem veruleg útfellingavandamál hafa komið upp, eiga það sameiginlegt að nýta ísalt vatn eins og hjá tveim fyrrnefndu veitunum og t.d. Hitaveitu Hríseyjar (mynd 4). Hitaveita Þorlákshafnar er ein þeirra hitaveitna, sem nýtir ísalt vatn (sjá töflu 2) og þar verða nokkrar kalkútfellingar í forhiturum húsa, sem þarf að hreinsa á einhverra ára bili. Í þeirri veitu hefur tekist að sneiða hjá meiriháttar vandræðum vegna útfellinga með réttri hönnun veitunnar og góðu eftirliti með rekstri hennar.

Verulegar kalkútfellingar verða við nýtingu kolsýruríks vatns, sem reyndar er oft líka ísalt, en það er hvergi notað í stærri hitaveitum. Vatnið á Leirá í Borgarfirði er af þessari gerð og var hætt við nýtingu þess fyrir hitaveitu Akraness og Borgarness eftir að úttekt var gerð á vinnslueiginleikum þess.



Mynd 3. Kalkútfellingar í inntaki djúpdælu hitaveitu Suðureyrar.



Mynd 4. Kalkútfellingar í aðveituað og í heimæðum úr Hitaveitu Hríseyjar. Yst er ryðskán vegna súrefnistæringar.

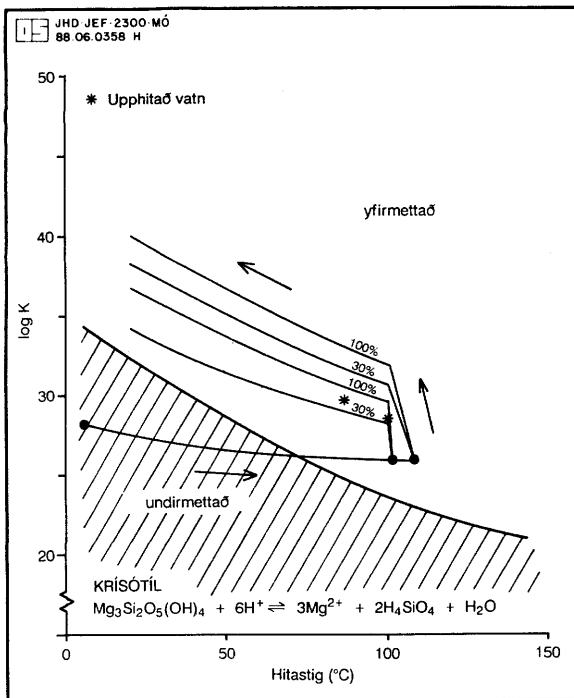
4. ÚTFELLINGAR Í UPPHITUÐU VATNI

Ferskvatn á Íslandi er mjög efnasnautt, en þó hafa komið upp einhver vandamál vegna magnesíumsilikat útfellinga í þeim hitaveitum sem nota upphitað ferskvatn. Orsökina er sú að magnesíumsiliköt eru torleystari í heitu vatni en köldu. Því er styrkur magnesíums hærrí í köldu vatni en því heita, þar sem það hefur þegar fallið út úr jarðhitavatninu við upphitun þess djúpt í jörðu. Vatnið er einnig notað aðeins einu sinni en ekki látið hringrás, og þótt ekki falli út nema fáein milligrömm úr hverjum vatnslítra þá safnast það fljótt saman því vatnsmagnið sem streymir um veiturnar er mikið. Auk hitastigs hefur sýrustig mikil áhrif á yfirmettun vatnsins. Meðhöndlun vatnsins við upphitun, suðu og afloftun ræður því sýrustigið verður. Fjallað var ítarlega um þetta vandamál í erindi á alþjóðlegri ráðstefnu um útfellingar s.l. sumar (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 1988) svo hér verður aðeins dregið lauslega á það hvernig kalt vatn verður **yfirmettað með tilliti** til magnesíumsilikatsins kísotíls við upphitun, suðu og afloftun og hvernig **yfirmettun helst svo** við eftirfarandi kælingu (mynd 5). Í þessu tilviki er við reikningana notuð **efnasamsetning** kalds vatns úr Svartsengi og hitun í 101°C og 108°C og afloftun höfð mismikil. **Að afloftun sé 100%** er skýrt þannig að þá hafi náðst jafnvægi í dreifingu rokgyrnra efna milli vatns og gufu. Við minni afloftun segir prósentuhlutinn til um hve hár hluti rokgyrnna efnanna hefur jafnast milli fasanna, en afgangurinn situr eftir í vökvasanum, sem hefur þá lægra pH gildi en ef jafnvægi hefði náðst. Eins og sést á mynd 5 er yfirmettun mun meiri sé hitað í hærra hitastig og því meira sem afloftað er. Til samanburðar er sýnd raunveruleg mettnargráða upphitaðs vatns úr Hitaveitu Suðurnesja. Vatnið þar er hitað í um 103°C. Gerðar voru tilraunir í þeirri veitu að hita vatnið meira, eða í 110 og 120°C (Trausti Hauksson, 1983), en það reyndist auka útfellingar svo mikið að ekki væri raunhæft að reka veituna þannig nema að lækka sýrustigið verulega með sýruíblöndun. Við núverandi rekstraráðstæður eru útfellingar í Hitaveitu Suðurnesja svo hægar að þær valda ekki verulegum vandamálum. Í bráðabirgðastöð sem rekin var 1976-1978 voru verulegar útfellingar, en þá var sýrustigi haldið mun hærra en nú er með íblöndun vítissóða.

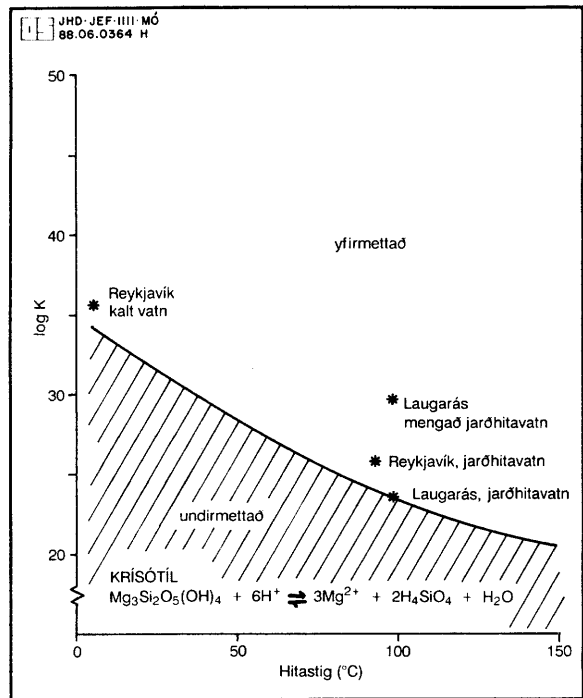
Útfellingar magnesíumsilikata voru talsvert miklar í Hitaveitu Reykjahlíðar á árunum 1975-1987. Þar var sett upp varmaskiptastöð og farið að nýta ferskvatn úr nýju vatnsbóli 1987. Það eitt hefði þó ekki dugað til að útiloka útfellingar í hitaveitunni, en með íblöndun þéttrar gufu er sýrustigið lækkað og heldur það útfellingunum í skefjum. Íblöndun varnar einnig súrefnistæringu, því þéttvatnið inniheldur allháan styrk brennisteinsvetnis (H_2S), sem eyðir súrefni sem kemst í vatnið gegnum plastlagnirnar í aðveitunni. Í Hitaveitu Hveragerðis er beitt svipaðri aðferð til að lækka sýrustigið, nema hvað þar er vatnið ekki hitað með forhitara heldur er gufunni spýtt beint í það og þegar vatnspörf er mest er jafnvel enn blandað háhitavatni saman við upphitaða vatnið. Sú útfærsla, sem er á þessu hjá Hitaveitu Reykjahlíðar byggir á niðurstöðum tilraunastöðvar sem Jarðhitadeild Orkustofnunar rak í Hveragerði 1984-1986 til rannsókna á magnesíumsilikatútfellingum.

Tilraunir á rannsóknastofu og í nefndri tilraunastöð sýna að í vatni sem hitað er undir 105°C verða útfellingar svo hægar, eða ekki fyrr en eftir 4-6 klst., að þær valda ekki vandræðum í venjulegum hitaveiturekstri.

Útfellingar eru enn til talsverðra vandræða í Hveragerði og stafar það væntanlega mest af íblöndun kísilríks háhitavatns og ónógri stýringu á kerfinu.



Mynd 5. Mettunarferill fyrir magnesíumsilikatsteindina krísóttl á móti hitastigi. Punkturinn lengst til vinstri er tilsvarendi virknimargfeldi í ferskvatni úr Svartsengi. Ferillinn frá honum sýnir reiknaðar breytingar sem verða á því við hitun og suðsu í 101°C og 105°C og eftirfarandi mismikla afloftun (30% og 100%). Stjörnumar eru virknimargfeldi hitaveituvatns úr hitaveitu Suðurnesja.



Mynd 6. Myndin sýnir mettunarferil fyrir magnesíumsilikatsteindina krísóttl á móti hitastigi. Stjörnumar sýna tilsvarendi virknimargfeldi fyrir kalt neysluvatn í Reykjavík og jarðhitavatn í Reykjavík og einnig jarðhitavatn í Laugarási fyrir og eftir "mengun" þess vegna innrennsli af köldu vatni.

5. ÚTFELLINGAR VEGNA BLÖNDUNAR Á FERSKVATNI OG JARÐHITAVATNI

Bæði kalt vatn og jarðhitavatn er yfirleitt nákvæmlega mettað með tilliti til magnesíumsilikata (sjá mynd 6) en þau eru mun meira leysanleg í köldu vatni en heitu. Í nokkrum tilvikum hefur innstreymi kalds vatns í jarðhitavatn orsakað útfellingar á magnesíumsilikötum af svipaðri gerð og myndast við upphitun á köldu vatni. Þannig kom upp mjólkurhvítt vatn í borholu á Húsatóftum á Skeiðum þar sem kalt vatn lak inn í borholu. Liturinn stafaði af svífkornum af magnesíumsilikat útfellingu. Nýlega urðu óþægindi af völdum útfellinga í hitaveitu Laugaráss (Magnús Ólafsson, 1988). Þar hafði við útgröft haustið 1986 á Hildarhver, sem virkjaður er fyrir veituna, ekki verið gengið nógu vel frá, þannig að örlítið kalt vatn seytleði inn í brunninn. Engrar kælingar varð vart í veituvatninu og styrkur magnesíums jókst einungis í 0,1 mg/kg (úr 0,002 mg/kg, sbr töflu 2). Breytingin á mettunargráðu er sýnd á mynd 6 og er hún veruleg miðað við t.d. hitaveituvatn í Svartsengi. Ljóst er því að mjög lítið innrennsli þarf af köldu vatni í jarðhitavatn til að koma af stað útfellingu og full ástæða til að vera á varðbergi gagnvart breytingum sem gætu valdið slíkum vandræðum.

6. NIÐURSTÖÐUR - LEIÐIR TIL ÚRBÓTA

Eins og fram kemur í töflu 4 hafa margskonar útfellingar komið fram við jarðhitanytingu á Íslandi. Af umfjöllun minni má þó ljóst vera að það eru aðeins örfá efni eða efnasambönd, sem valdið hafa verulegum vandræðum í hitaveitum: kalk, kísill, magnesíumsiliköt og álsiliköt. Einnig er ljóst að aukin selta í jarðhitavatni eykur útfellingahættu að miklum mun. Kísilútfellingar og útfellingar álsilikata eru eingöngu til vandræða sé háhitavatn notað beint eða til að forhita vatn í húsakerfum. Kalkútfellingum má oft halda í lágmarki með því að gera góða úttekt á vinnslueiginleikum vatnsins og sníða hönnun veitu að niðurstöðum hennar. Einnig eru til íblöndunarefni sem hefta útfellingu kalks.

Útfellingu magnesíumsilikata úr upphituðu vatni má halda í lágmarki með rétttri hönnun og rekstri hitaveitunnar. Lítið innstreymi af köldu vatni, t.d. í gegnum bilaða fóðringu í jarðhita- borholu getur valdið magnesíumsilikatútfellingum. Slík blöndun gæti reyndar við óhagstæðar aðstæður auk þess valdið kalkútfellingu.

Vinnslueiginleikar vatns geta breyst með tímanum við áhrif nýtingar á viðkomandi svæði svo sem þrýstilækkun og niðurdrátt. Því er mjög nauðsynlegt að fylgjast vel með öllum efnabreytingum sem verða og meta áhrif þeirra á vinnslueiginleika vatnsins.

HEIMILDIR

Hrefna Kristmannsdóttir, Sverrir Þórhallsson og Karl Ragnars, 1983: *Magnesíumsilikatútfellingar í Hitaveitum*. Orkustofnun, OS-83051/JHD-10. 28 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, 1988: *Types of Scaling Occurring by Geothermal Utilization in Iceland*. Erindi flutt á Alþjóðlegri ráðstefnu í Reykjavík um útfellingar við jarðhitanytingu. Geothermics, í prentun.

Hrefna Kristmannsdóttir, Magnús Ólafsson og Sverrir Þórhallsson, 1988: *Magnesium Silicate Scaling in District Heating Systems in Iceland*. Erindi flutt á Alþjóðlegri ráðstefnu í Reykjavík um útfellingar við jarðhitanytingu. Geothermics, í prentun.

Magnús Ólafsson, 1988: Hitaveita Laugaráss. Útfellingar í dreifikerfi. Orkustofnun, Greinar-gerð MÓ-88/06, 5 s.

Trausti Hauksson, 1983: *Hitaveita Suðurnesja. Athugun á útfellingarhættu í Njarðvíkuræð*. Orkustofnun, OS-83076/JHD-14, 28 s.