

**Efnasamsetning og nýtingarhæfni sýna úr
vatnsbóli Stykkishólmsbæjar og
heitavatnsholu H0-01**

Hrefna Kristmannsdóttir, Vigdís Harðardóttir

Greinargerð HK-VH-99-03

EFNASAMSETNING OG NÝTINGARHÆFNI SÝNA ÚR VATNSBÓLI STYKKISHÓLMSBÆJAR OG HEITAVATNSSHOLU H0-01

Efnasamsetning jarðhitavatns

Í töflu 1 eru efnagreiningar á sýnum, sem tekin voru í nóvember 1998 úr heitavatnsholu H0-1 á Hofsstöðum og úr ferskvatnsbóli Stykkishólms. Sýnið úr heitavatnsholunni var tekið til að fylgjast með hugsanlegum breytingum á efnasamsetningu vatnsins með tíma en liðið var um hálf tveggja ár síðan tekið var sýni úr holunni í lok vinnsluprófana. Því er til samanburðar tekið með í töflunni efnasamsetning síðasta sýnis úr henni.

Eins og fram hefur komið í fyrri skýrslum og greinargerðum er selta heita vatnsins of há til að unnt sé að nýta það beint í hitaveitukerfi vegna hvetjandi áhrifa seltu á öll efnahvörf m.a. tæringu og útfellingu. Vatnið er einnig óhæft til neyslu vegna hárrar seltu. Kalkmettun vatnsins er nokkuð há og reyndar nálægt þeim efri mörkum þar sem hættu er talin á útfellingu kalks. Ekki varð vart við neina útfellingu í tæringarprófun, sem gerð var samhliða dæluþrófun holunnar, en breytingar í sýrustigi, hvirfilstreymi eða örlitil íblöndun kalds vatns gætu hugsanlega hrundið þeim af stað. Vegna hárrar seltu er enn meiri ástæða til að gæta varúðar við hönnun veitunnar með þetta í huga og fylgjast einnig vel með eftir að vinnsla hefst.

Selta vatnsins er svipuð og í sýnum frá dæluþrófun. Athygli vekur að pH er nokkru lægra en í fyrri sýnum, en ekki sést nein augljós ástæða þess. Jafnframt er styrkur járnstærðargráðu hærri en í fyrri efnagreiningum, sem bendir til stáltæringar í núverandi uppsetningu eða jafnvel við sýnatöku. Þessi atriði verða athuguð en vekja ekki sérstakar áhyggjur að svo stöddu.

Efnasamsetning kalds vatns

Sýnið úr kaldavatnsbólinu var tekið til þess að meta efnisval, tæringarhættu og æskilega meðhöndlun vatnsins í fyrirhugaðri hitaveitu bæjarins. Ekki voru til eldri upplýsingar um efnasamsetningu vatnsins. Ákvað Stykkishólmsbær að fá jafnframt nákvæma úttekt á efnasamsetningu vatnsins með tilliti til neyslueiginleika og sem grunn fyrir vatnsgæða og mengunareftirlit. Í því voru því mæld öll helstu sporefni og þungmálmar auk þátta sem máli skipta fyrir tæringareiginleika vatnsins og þörf á meðhöndlun í hitaveitukerfinu.

Niðurstöður þeirra mælinga eru í töflu 1, en það eru flestöll aðalefni og efni sem máli skipta varðandi tæringareiginleika vatnsins. Vatnið er fremur dæmigert kalt grunnvatn, en þó er sýrustigið (pH), sem er 7,2, lægra en algengast er í grunnvatni á Íslandi, eða 8-9. Íslenskur berggrunnur er að mestu basalt, en á upprunasvæði þessa vatns er talsvert um súrt berg og því er ekki óvænt að pH sé lægra en almennt gerist. Það er þó ekki svo lágt að það vekir sérstakar áhyggjur, en þó er styrkur frírrar kolsýru um 5-6 sem gerir vatnið nokkuð tærandi og verulega tærandi þegar búið er að hita það upp í 85 °C eins og fjallað verður um

síðar í greinargerðinni. Á þessu svæði er ölkelduvatn ekki óalgengt en þetta vatn er ekki þeirrar gerðar. Styrkur kalsíums og magníums er lágur miðað við það sem algengt er í íslensku grunnvatni eins og reyndar má vænta í vatni upprunnu úr súru gosbergi.

Tafla 1. Efnasamsetning vatns úr holu H0-1 og úr vatnsbóli Stykkishólms. em = ekki mælt

Staður	H0-1	H0-1	Vatnsbóli
Sýnanúmer	1997-0404	1998-0578	1998-0577
Dagsetning	97-06-25	98-11-12	98-11-12
Hitastig °C	87	80,2	3,7
pH/°C	8,45/23	8,06/21	7,21/21
Heildar karbónat(CO ₂)	9,0	11,5	27,6
Brennist. vetni (H ₂ S)	0,07	0,06	<0,03
Bór (B) mg/l	0,11	0,10	<0,03
Leiðni μS/cmV. 25°C	8940	8860	60
Kísill (SiO ₂) mg/l	72,9	72,9	11,3
Heildar uppl. mg/l	4260	5840	
Súrefni (O ₂)mg/l	0	0	10
Natríum (Na) mg/l	731	734	6,5
Kalíum (K) mg/l	13,9	14,1	0,66
Magnesium (Mg) mg/l	0,51	0,51	1,5
Kalsíum (Ca) mg/l	1150	1220	2,2
Fluoríð (F) mg/l	1,07	1,11	0,07
Klóríð (Cl) mg/l	2920	2940	7,9
Brómíð (Br) mg/l	9,9	9,6	em
Súlfat (SO ₄) mg/l	325	338	1,72
Nítrat (NO ₃) mg/l	<0,05	em	0,12
Fosfat (HPO ₄) mg/l	<0,05	em	
Al (Al) mg/l	0,003	0,006	0,004
Járn (Fe) mg/l	0,010	0,138	0,0016
Mangan (Mn) mg/l	0,023	0,0164	<0,0001
Króm (Cr) mg/l	em	em	<0,0001
Kopar (Cu) mg/l	0,0005	em	0,0001
Sínk (Zn) mg/l	0,0005	em	0,0206
Kvikasilfur (Hg) mg/l	<0,000005	em	<0,000002
Blý (Pb) mg/l	<0,0005	em	<0,0002
Arsen (As) mg/l	em	em	<0,0001
Kadmíum (Cd) mg/l	<0,00005	em	<0,00005
δ ¹⁸ O ‰	-11,1	-11,08	-8,76
Efnasamsetning gass	Rúmmáls%		
Heildar karbónat(CO ₂)	0,09		
Brennist. vetni (H ₂ S)	0		
Súrefni (O ₂) + Argon(Ar)	1,38		
Köfnunarefni (N ₂) *	98,36		
Metan (CH ₄)	0,17		

* Köfnunarefni var notað við niðurdráttarmælingu og gæti það hugsanlega skekkst niðurstöðu.

Vatnið er almennt séð mjög efnasnautt og í því eru engin efni sem gera það óæskilegt til neyslu. Ekki er heldur talið líklegt að vatnið valdi neinum vandræðum við fyrirhugaða nýtingu til upphitunar í dreifikerfi hitaveitu Stykkishólms en þó þarf að sníða meðhöndlun þess að gerð og eiginleikum vatnsins.

Meðhöndlun kalda vatnsins

Áður en gengið er frá endanlegri hönnun hitaveitu þarf að meta áhrif meðhöndlunar vatns, bæði heits og kalds, á metnun efnasambanda og hugsanlega útfellingu í kjölfarið. Jafnframt þarf að kanna hvort hætta sé á málmtæringu við áætlaða meðhöndlun vatnsins.

Til að meta líkur á því hvort útfellingar gætu orðið í kalda vatninu voru gerðir efnafræðilegir líkanreikningar á því annars vegar að hita það upp og kæla og hins vegar að hita vatnið upp að suðu og aflofta það síðan. Til að herma breytingar á mettnarástandi vatnsins var notað forritið WATCH, sem reiknar efnasambönd í vatninu og jafnvægisástand við mismunandi hitastig og með því er unnt að herma breytingar á þessum þáttum og þau ferli sem vatnið fylgir við hitun, suðu, afloftun og kælingu.

Það sem helst er talið hugsanlegt að gæti fallið út úr slíku vatni eru kalksteindir og magnesíumsilíkött en litið var þó á alla möguleika í þeim efnunum. Sérstaklega voru athugaðar kalksteindin kalsít (CaCO_3) og magnesíumsilíkatsteindirnar talk ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) og krísótíl ($\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_9$), sem til eru varmafræðileg gögn um. Þau magnesíumsilíkött sem falla út við upphitun á köldu vatni eða blöndun á jarðhitavatni og köldu vatni eru oftast myndlaus en varmafræðileg gögn vantar fyrir þau. Reynslan hefur hins vegar sýnt að kristölluðu magnesíumsilíköttin eru nokkur mælikvarði á útfellingahættu myndlausu efnanna, en yfirmettun með tilliti til þeirra er þó ávallt mikil áður en útfellingar verða. Í tilraunum sem gerðar voru hjá Hitaveitu Reykjavíkur á útfellingum úr blöndu af jarðhitavatni og upphituðu vatni frá Nesjavöllum var áætlaður leysnifasti fyrir myndlaust magnesíumsilíkat með $\text{Mg}:\text{Si}=1:1$. Þótt aðstæður þar hafi verið nokkuð frábrugðnar var þetta jónamargfeldi reiknað út fyrir Stykkishólmsvatnið við mismunandi aðstæður til samanburðar.

Þær aðstæður sem voru hermdar við líkanreikningana voru:

- 1) Kaldavatnssýnið, nr. 1998-0577, var tekið og hitað upp í 87°C úr 3.7°C og kælt í þrepum frá 85°C , 65°C og 45°C .
- 2) Kaldavatnið var síðan hitað upp í 100°C og afloftað í þrepum niður í 98°C og síðan kælt í þrepum (tafla 2).
- 3) Í þriðja lagi var pHinu í kalda vatninu eftir suðu breytt í 8.6, 8.8, 9.0, 9.2, 9.4, 9.6 og 9.8 og kælt síðan (tafla 3)
- 4) Reiknað var út í fjórða lagi lg Q ($(\text{Mg}^{+2})(\text{H}_3\text{SiO}_4)(\text{OH}^-)$) fyrir soðna vatnið við 98°C , bæði fyrir rétt og breytt pH (tafla 4).

Tafla 2. Kalda vatnið hitað upp í 100°C og afloftað. Mettun og undirmettun steindanna krísótíl, kalsís og talks við ákveðið hitastig og pH.

Hiti°C	pH	Heildar karbónat	Log(Q/K)krísótíl	Log(Q/K) kalsít	Log(Q/K)talk
3.7	7.3	27.6	-10.897	-2.461	-7.534
100	7.1	27.6	-1.105	-1.187	-0.53
99.8	7.5	24.33	1.23	-0.811	1.789
99.6	7.8	22.61	2.72	-0.58	3.259
99.4	7.9	21.44	3.59	-0.452	4.108
99.2	8.0	20.56	4.151	-0.372	4.654
99.0	8.2	19.83	4.551	-0.319	5.041
98.8	8.2	19.21	4.856	-0.28	5.336
98.6	8.2	18.67	5.1	-0.251	5.57
98.4	8.3	18.19	5.3	-0.226	5.764
98.2	8.3	17.75	5.473	-0.207	5.929
98.0	8.3	17.35	6.622	-0.191	6.071
kælt í þrepum					
85	8.5	17.35	5.549	-0.211	6.218
65	8.8	17.35	5.446	-0.216	6.511
45	9.2	17.35	5.289	-0.198	6.845
35	9.3	17.35	5.163	-0.184	7.015

Eins og sést í töflunni er kalda vatnið talsvert undirmettað með tilliti til magnesíumsilikatanna og er enn undirmettað eftir hitun, en fer strax yfir í yfirmettun þegar vatnið er afloftað. Yfirmettun eykst svo stöðugt með aukinni afloftun og verður veruleg fyrir bæði efnin.

Þegar pH er breytt eins og sýnt er í töflu 3 eykst yfirmettunin mjög ört. Varðandi þau gildi ber þó að athuga að einungis pH var breytt í forritinu en ekki beinlínis reiknuð innblöndun lúts. Því eru reikningarnir ekki eins nákvæmir. Hefði það verið gert hefði þurft tímafrekar breytingar á líkanforritinu, sem kveðið var að biða með þar sem þetta á að gefa góðar ábendingar um þær breytingar sem verða einkum við fremur litlar breytingar á pH.

Í töflu 2 er auk mettnarstuðuls, Log Q/Log K, fyrir magnesíumsíkikötin og kalsít sýndur heildarstyrkur karbónats í sýnunum en í töflu 3 er sýndur styrkur frírrar kolsýru í hverju tilviki.

Í töflu 4 er reiknað út Log Q/Log K fyrir myndlaust magnesíumsilikat fyrir ýmsar aðstæður og einnig er sýnd frí kolsýra við sömu aðstæður. Þessi gildi eru síðan teiknuð upp á mynd 1, sem sýnir þá annars vegar hættu á kolsýrutæringu og hins vegar hættu á útfellingu magnesíumsilíkata.

Tafla 3. Kalda vatnið soðið og afloftað í 98°C, breytt pH og kælt í þrepum. Frí kolsýra Mettun og undirmettun steindanna krísótil, kalsís og talks við ákveðið hitastig og pH.

Hiti°C	pH	H ₂ CO ₃	Log(Q/K)Chrysotil	Log(Q/K)kalsít	Log(Q/K)talk
pH sett 8.6					
98	8.6	0.14	7.083	0.058	7.398
85	8.8	0.08	7.042	0.042	7.553
65	9.1	0.03	6.989	0.037	7.855
45	9.5	0.01	6.903	0.052	8.22
35	9.7	0.01	6.829	0.064	8.423
pH sett 8.8					
98	8.8	0.09	8.071	0.226	8.243
85	9.0	0.05	8.045	0.209	8.389
65	9.3	0.02	8.023	0.201	8.682
45	9.7	0.01	8.003	0.209	9.066
35	9.9	0.00	7.988	0.217	9.3
pH sett 9.0					
98	9.0	0.05	8.982	0.38	8.966
85	9.2	0.03	8.966	0.359	9.094
65	9.6	0.01	8.975	0.341	9.368
45	10.0	0.00	9.034	0.336	9.766
35	10.2	0.00	9.094	0.338	10.033
pH sett 9.2					
98	9.2	0.03	9.804	0.515	9.9549
85	9.4	0.02	9.796	0.487	9.656
65	9.8	0.01	9.836	0.454	9.908
45	10.2	0.0	9.98	0.429	10.315
35	10.4	0.0	10.114	0.419	10.603
pH sett 9.4					
98.0	9.4	0.02	10.528	0.628	9.988
85	9.1	0.01	10.53	0.591	10.075
65	10.0	0	10.604	0.538	10.308
45	10.4	0	10.822	0.488	10.713
35	10.7	0	11.012	0.465	11.001
pH sett 9.6					
98	9.6	0.01	11.153	0.717	10.284
85	9.8	0	11.168	0.668	10.356
65	10.2	0	11.279	0.593	10.572
45	10.7	0	11.551	0.519	10.959
35	10.9	0	11.766	0.484	11.227
pH sett 9.8					
98	9.8	0.01	11.681	0.78	10.444
85	10.0	0	11.712	0.719	10.504
65	10.4	0	11.855	0.622	10.7
45	10.9	0	12.153	0.527	11.043
35	11.2	0	12.371	0.482	11.272

Tafla 4. Kalda vatnið hitað upp í 85°C (1), soðið og afloftað í 98°C, óbreytt (2) og breytt pH (3), kælt í þrepum (4) , frí kolsýra og útreiknuð metnun og yfirmettun myndlauss magnesíum-silíkats.

Hiti °C	pH	Frí kolsýra	LogQ((Mg ⁺²)(H ₃ SiO ₄ ⁻)(OH ⁻))
85 (1)	7.1	5.55	-15.31
98 (2)	8.3	0.27	-12.733
98 (3)	8.6		-12.27
85 (4)	8.9	0.08	-12.24
65 (4)	9.1		-12.237
45 (4)	9.5		-12.262
35 (4)	9.7		-12.333
98	8.8		-11.914
85	9.0	0.05	-11.933
65	9.3		-11.928
45	9.7		-11.981
35	9.9		-12.036
98	9.0		-11.672
85	9.2	0.03	-11.663
65	9.6		-11.654
45	10.0		-11.693
35	10.2		-11.73
98	9.2		-11.458
85	9.4	0.02	-11.43
65	9.8		-11.42
45	10.2		-11.444
35	10.4		-11.465
98	9.4		-11.264
85	9.6	0.01	-11.239
65	10.9		-11.226
45	10.4		-11.237
35	10.7		-11.249
98	9.6		-11.1097
85	9.8	0.00	-11.086
65	10.2		-11.07
45	10.7		-11.07
35	10.9		-11.09
98	9.8		-11.00
85	10.0	0.00	-10.97
65	10.4		-10.90
45	10.9		-10.96
35	11.2		-10.98

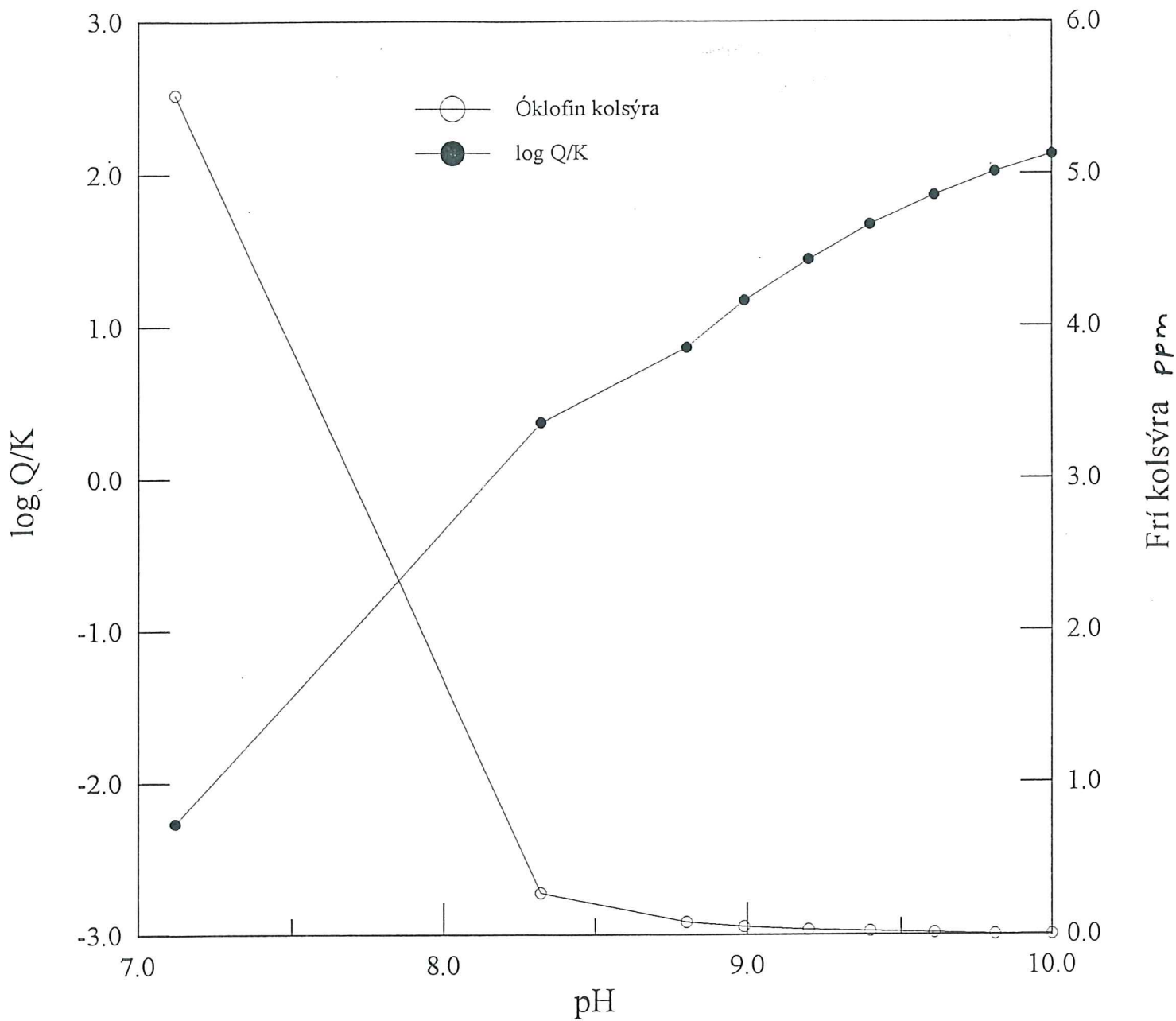
Helstu niðurstöður eru :

- (1) Ef vatnið er hitað upp og kælt í þrepum eru talk, kalsít og krísótíl undirmettuð við öll þrjú hitastigin og því trúlega lítil hætta á útfellingum á þessum steindum.
- (2) Ef vatnið er hitað í 100°C og afloftað í þrepum niður í 98.0°C og þá kælt í þrepum niður í 35°C verður lítil breyting fyrst í stað. Smá saman verður metnun hjá krísótíli og talki, en hún er óveruleg og ekki er talin hætta á útfellingum fyrr en á síðari þrepunum. Kalsít er enn undirmettað.
- (3) Við breytingu á pHinu verður veruleg breyting á mettnarstigi ($\log Q/K$) hjá steindunum þremur. Yfirmettun er all veruleg hjá krísótíli og talki og eru miklar líkur á því að þær falli út við hækkan pH. Kalsít er enn undirmettað.
- (4) Útreiknað $\log Q ((Mg^{+2})(H_3SiO_4^-(OH^-)))$ fyrir soðna vatnið við 98°C sýnir nokkra yfirmettun miðað við leysnifastann (u.þ.b. -13,1), sem ákvarðaður var fyrir myndlaust magnesíumsilikat í fyrrnefndum tilraunum í blönduðu upphituðu vatni og jarðhitavatni. Þegar pH er hækkað í 9,4 hækkar yfirmettun um stærðargráðu og aðra þegar pH fer í 9,8.

Þessar niðurstöður sýna að ekki ætti að vera hætta á kalkútfellingum í dreifikerfi veitunnar við svipaða meðhöndlun og þarna er hermuð. Ekki ætti heldur að vera mjög mikil hætta á útfellingu magnesíumsilikata við upphitun og suðu vatnsins, en þó þyrfti að fylgjast með þeim þætti og vera tilbúinn að grípa inn. Hins vegar þarf að sýna verulega aðgát verði farið út í að hækka pH með íblöndun og fara ekki hærra en í um 8,8 í pH .

Til að meta tæringarhættu var athugaður útreiknaður styrkur frírrar kolsýru í vatninu við allar fyrrgreindar aðstæður (tafla 3 og 4). Helstu niðurstöður eru þær að við þrepasuðu og afloftun í 98 °C er styrkur frírrar kolsýru um 0,4, sem er tæplega ásættanlegt. Við pH 9,4 er hins vegar öll frí kolsýra horfin úr vatninu. Þarna þarf að fara bil beggja og fara með pH það hátt að frí kolsýra sé óveruleg í vatninu en hins vegar ekki það hátt að fari að falla út magnesíumsiliköt. Við kælingu í 85 °C á vatni, þar sem pH er hækkað í 8,6 eftir þrepasuðu verður pH 8,9 og frí kolsýra er nær engin. Að halda pH um 8,8-8,9 virðist því geta verið ákjósanlegt val á aðstæðum, en engu að síður þarf að prófa sig áfram og fylgjast með því að hvorki sé nein tæring að ráði og ekki sé að falla út úr vatninu.

Vert er að benda á að kalda vatnið er nær metnun af súrefni ($O_2 = 10\text{ppm}$) og því verður að sjá til þess að afloftun sé nær algjör til að tæring eigi sér ekki stað í ofnum. Hugsanlegt væri að nota súrefniseyðandi íblöndunarefni í lokuðu rásina, en því fylgir kostnaður og fylgjast þarf reglulega og vandlega með uppsöfnun efna í kerfinu. Jafnframt þarf að hafa það í huga að kranavatnið inniheldur súrefni og þar á sér stað lítil afloftun, sem á væntanlega eftir að valda tæringu í vatnsleiðslum húsa. Þetta er hins vegar vandamál sem er ekki á neinn hátt sértækt fyrir þessa hitaveitu og er algengt þar sem kalt neysluvatn er hitað upp í húskerfum. Miðað við styrk frírrar kolsýru í vatninu er einnig líklegt að veruleg tæring sé í neysluvatnslögnum húsa í Stykkishólmi og meiri en víðast hvar annars staðar. Þar verður hins vegar engin breyting á við tilkomu hitaveitu.



Mynd 1. Yfirmettunargráða myndlauss magnesíumsilikats og styrkur óklofinnar (frírar) kolsýru á móti sýrustigi við fast hitastig (85°C).

Meðhöndlun jarðhitavatns

Fyrir jarðhitavatnið var athugað fyrst og fremst hvað gerðist við kælingu, þ.e. hvort og þá hvaða steindir yrðu yfirmettaðar. Við reikningana var notað sýni 1997-0404, en það var kælt í þrepum frá 87°C niður í 35°C. Þar voru steindirnar kalsít (CaCO_3), kalsedonít (SiO_2) og kvars (SiO_2) athugaðar sérstaklega (tafla 5). Þessar þrjá steindir eru allar yfir mettunar-mörkunum. Hætta á útfellingum kísilsteinda er talin óveruleg, en væri vatnið kælt mikið niður t.d. í snjóbræðslulögnum gæti hugsanlega fallið út álsilikat. Kalkmettun reiknast veruleg en hækkar óverulega við kælingu. Í vinnsluprófunum eftir borun varð ekki vart við neinar útfellingar og er því ekki talin veruleg hætta á útfellingum svo lengi sem pH hækkar ekki t.d. vegna afloftunar. Í svo söltu vatni þarf að gæta varúðar og þarf að fylgjast mjög nákvæmlega með þróun mála í framtíðinni.

Ekki þarf að áréttta það að komist súrefni í jarðhitavatnið þá verður það bráðtærandi fyrir stál. Styrkur brennisteinsvetnis er lágur í vatninu þannig að það nær einungis að eyða fremur litlu magni súrefnis úr vatninu. Eigi vatnið að vera í snertingu við stál í vinnslurásinni þarf það að vera alveg súrefnisfrítt.

Tafla 5. Jarðhitavatnið. Mettun og undirmettun steindanna kalsíts, kalsedónít og kvars við ákveðið hitastig og pH.

Hiti °C	pH	lg(Q/K)kalsít	lg(Q/K)kalsedonít	lg(Q/K)kvars
87	7.56	0.58	0.009	0.289
85	7.59	0.58	0.035	0.32
65	7.80	0.57	0.207	0.522
45	8.07	0.59	0.412	0.752
35	8.23	0.62	0.525	0.874

Heildarniðurstaða af þessari úttekt er sú að vegna tæringarhættu er tæplega unnt að nota upphitaða kalda vatnið beint á dreifikerfið nema með mikilli afloftun og væntanlega einnig efnaíblöndun til að hækka sýrustigið. Hins vegar má ekki hækka sýrustigið of mikið vegna aukinnar útfellingahættu. Að halda pHinu um 8,8 virðist geta verið ákjósanlegt, en þó þarf að fylgjast vel með kerfinu. Engin útfellingahætta ætti að vera því samfara að kæla heita vatnið niður í 35- 40 °C.

Hrefna Kristmannsdóttir



Vigdís Harðardóttir

