



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

SÝNIEINTAK
-má ekki fjarlægja

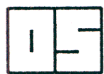
SÝNIEINTAK
má ekki fjarlægja

JARÐHITAVATN Á ÍSLANDI
Efnafræði og nýting til heilsubaða

Hrefna Kristmannsdóttir

OS-94002/JHD-01 B

Janúar 1994



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 570 200

JARÐHITAVATN Á ÍSLANDI

Efnafræði og nýting til heilsuþaða

Hrefna Kristmannsdóttir

OS-94002/JHD-01 B

Janúar 1994

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	3
2. EFNAINNIHALD VATNS	3
3. LÁGHITAVATN	7
4. HÁHITAVATN	8
5. ÖLKELDUVATN	9
6. ÁHUGAVERÐIR STAÐIR	10
7. TILVITNANIR	11

TÖFLUR

Tafla 1. Dæmigerð efnasamsetning jarðhitavatns úr nokkrum borholum	7
Tafla 2. Efnasamsetning vatna á völdum háhitasvæðum	8
Tafla 3. Efnasamsetning ölkelduvatns	9

MYNDIR

Mynd 1. Tengsl jarðhitavirkni og jarðmyndana	4
Mynd 2. jarðhiti á Íslandi	5

1. INNGANGUR

Jarðhita er víða að finna á Íslandi (mynd 2) og hefur hann verið notaður til þvotta og baða frá landnámsöld. Íslensku jarðhitasvæðunum er venjulega skipt niður í háhitasvæði og lághitasvæði. Háhitasvæðin eru öll innan virku gosbeltanna og nátengd eldstöðvakerfum, en lághitasvæðin eru flest utan þeirra og finnast í eldri jarðmyndunum. Hitastig háhitasvæðanna er, samkvæmt skilgreiningu, meira en 200 °C á 1 km dýpi, en lághitasvæðanna minna en 150 °C á sama dýpi.

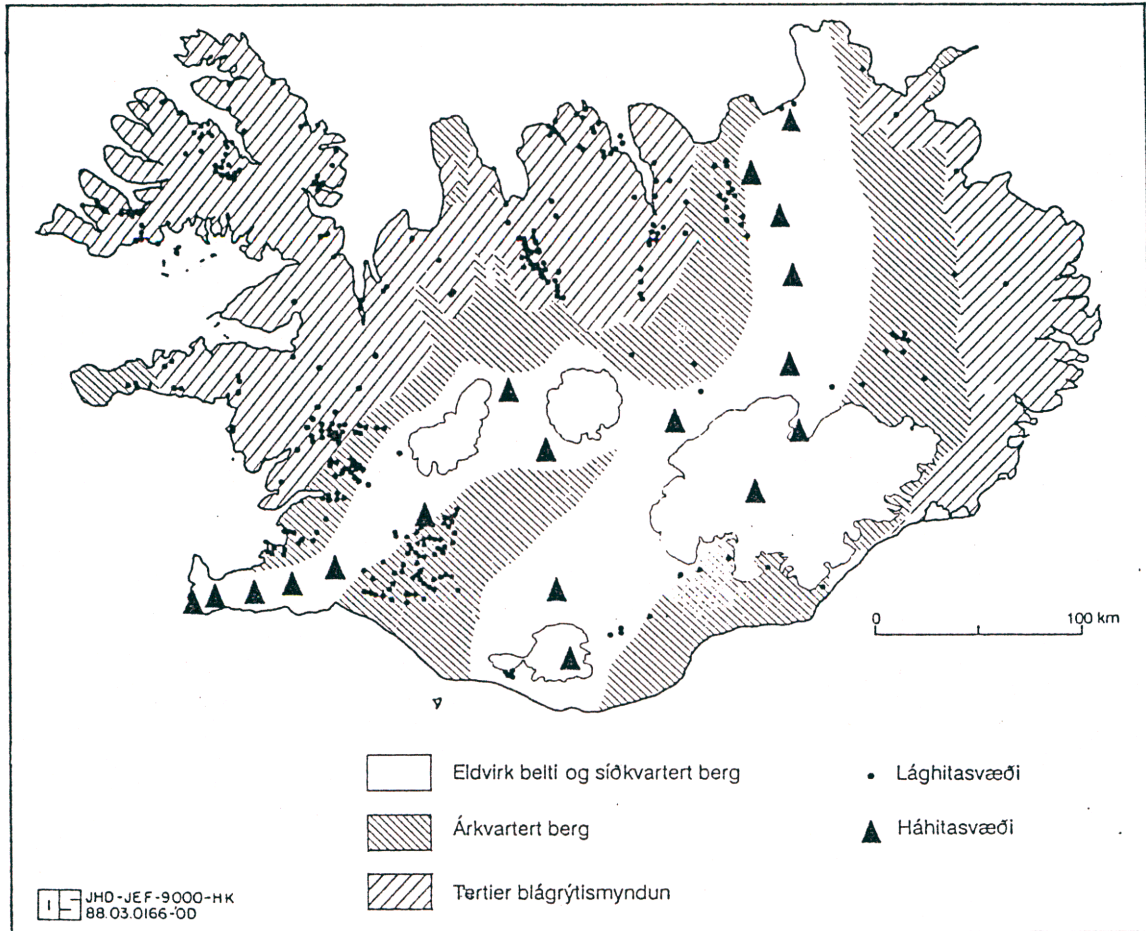
Á Orkustofnun hefur um áratuga skeið verið safnað gögnum um jarðhitavirkni á Íslandi. Ekki er þó til nein nýleg heildarskýrsla, þar sem þessi gögn eru dregin saman. Á stofnuninni eru geymdar upplýsingar um allar jarðhitaboranir á Íslandi, og næstum allar jarðhitarannsóknir í landinu hafa verið framkvæmdar af Orkustofnun. Þar eru jafnframt varðveitt gögn um efnainnihald uppsprettuvatns, gass og gufu frá gufuhverum og vatns úr borholum frá flestum jarðhitasvæðum á landinu. Gögnin spanna langt tímabil og eru af mismunandi gæðum. Á flestum þeim svæðum þar sem jarðhiti er unninn, hefur að meira eða minna leyti verið fylgst samfellt með efnasamsetningu jarðhitavatnsins á vinnslutíma, vegna þess að efnabreytingar eru oft undanfari kólnunar og geta gefið viðvörðun og tóm til fyrirbyggjandi aðgerða (Kristmannsdóttir og Ármannsson, 1992). Þessi gögn hafa verið gefin út í nokkrum skýrslum, en sem fyrr er ekki til nein ein heimild sem dregur saman þessi gögn. Í sambandi við áætlanir um að byggja upp meiriháttar fiskeldisiðnað á Íslandi, hafa verið unnin mörg rannsóknarverkefni sem hafa aukið þekkingu okkar á auðlegð Íslands á köldu, volgu og heitu vatni á öllu landinu.

2. EFNAINNIHALD VATNS

Jarðhitavatn á Íslandi er í flestum tilvikum að stofni til úrkomuvatn. Í fáeinum tilvikum er það þó upprunnið úr sjó. Vatn lághitasvæðanna hefur yfirleitt lágan styrk, 200-400 mg/l, af uppleystum steinefnum og gösum, en styrkurinn eykst með auknum hita berggrunns á jarðhitasvæðunum. (Hrefna Kristmannsdóttir, 1990). Í ósöltu háhitavatni fer heildarstyrkur uppleystra efna gjarna yfir 1000 mg/l. Til eru fáein sjóblönduð svæði sem hafa enn hærri styrk steinefna. Selta þessa vatns er yfirleitt minni en 10% af seltu sjávar, en á Reykjanesi og í Öxarfirði finnst þó vatn með mun hærri seltu, sem jafnvel nálgast seltu sjávar (Kristmannsdóttir og Ólafsson, 1989). Algengustu berglög á íslensku jarðhitasvæðunum eru basalhraunlög og móbergsmýndanir og vökvar sem þróast hafa við hvörf við slíkt berg við háan hita hafa hátt sýrustig. Sýrustig (pH) lághitavatns er venjulega á bilinu 9-10, en lægra hjá háhitavatni vegna meiri styrks súrra gasa. Súrt gosberg er víða innan megineldstöðva, en það samanstendur þó aðeins af um 10% af heildarrúmmáli bergs á Íslandi.

Jarðhitavatnið er í jafnvægi við kísilsteindir, nokkur alkálí-, járn- og álsfliköt, kalsíum karbónat og málm-súlfíð og -oxíð (Arnórsson et al., 1983). Kísilstyrkur vatnsins hækkar með hita, karbónatstyrkurinn lækkar með hita, það er súrefnissnautt, inniheldur vetnissúlfíð og er mjög snautt af magnesíum, jafnvel við vægan hita.

Ölkeldur eru til á Íslandi, bæði heitar og kaldar og eru algengastar á Snæfellsnesi (Arnórsson og Barnes, 1983). Efnainnihald jarðhitavatns þessarar gerðar er verulega frábrugðið efnainnihaldi annars jarðhitavatns á Íslandi.

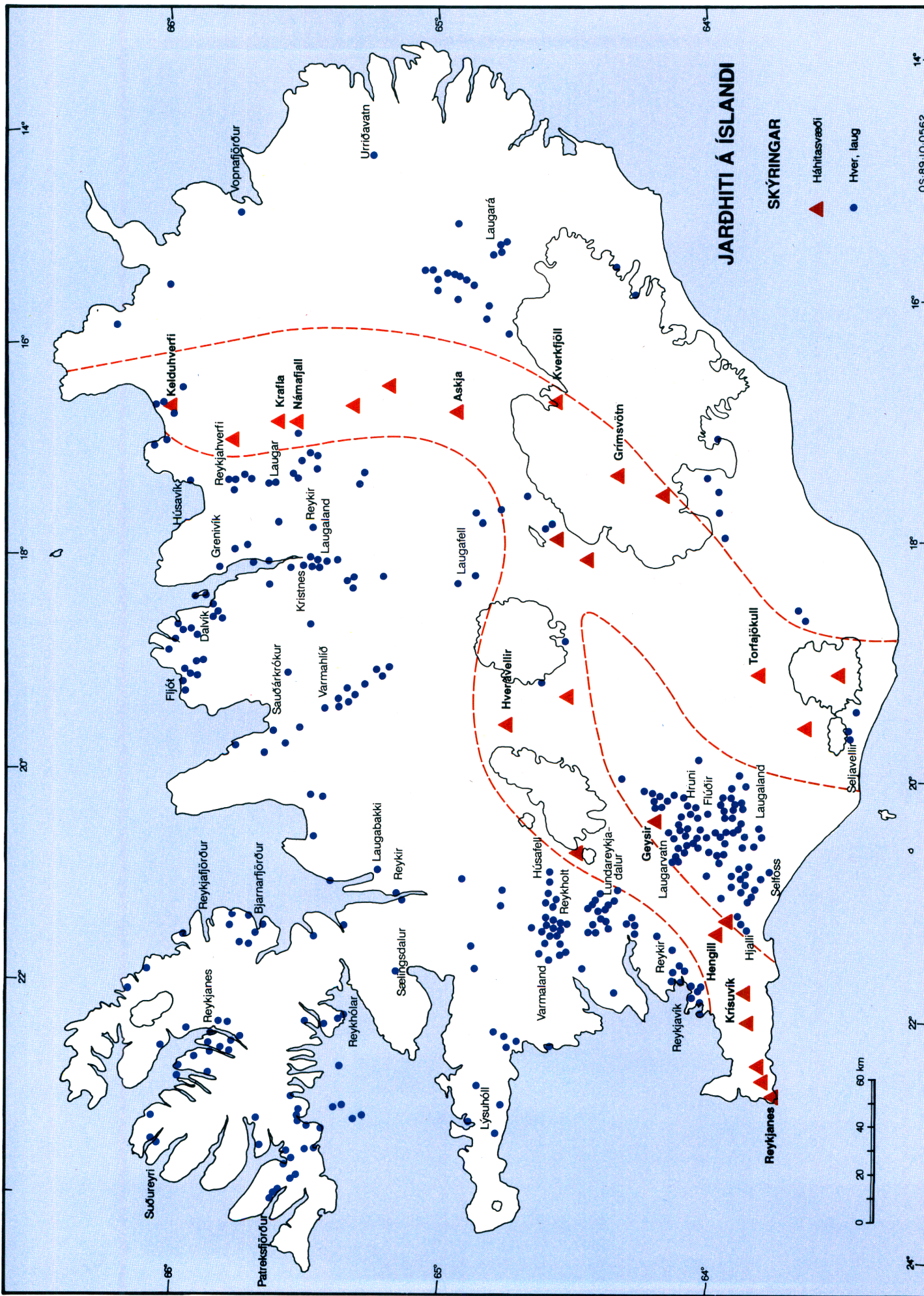


Mynd 1. Tengsl jarðhitavirkni og jarðmyndana.

Geislavirkni jarðhitavatns hefur ekki verið rannsökuð nákvæmlega. Í ljósi þess hve geislavirk efni eru í litlu magni í íslensku bergi (Poliakov og Sobornov, 1975, Stefánsson, Guðmundsson og Emmermann, 1982) og í úrkomu (Guðmundur S. Jónsson, Bragi Árnason og Páll Theodórsson, 1968) er talið að geislavirkni vatnsins sé hverfandi. Nokkur rannsóknarverkefni hafa verið unnin í sambandi við radon í íslensku jarðhitavatni með það að markmiði að segja fyrir um jarðskjálfta (Hauksson og Goddard, 1981) og einnig til að kortleggja flæðimynstur í jarðhitakerfum (Ármannsson et al., 1982).

Jarðhitavatn í öðrum löndum hefur venjulega mun hærri styrk uppleystra efna en jarðhitavatn á Íslandi, þrátt fyrir að á fáeinum stöðum finnist hér steinefnaríkur, heitur jarðsjór. Jarðhitavatn í Mið Evrópu er t.d. miklu steinefnaríkara en venjulegt lághitavatn á Íslandi. Jarðhitavatn í Japan er mismunandi að samsetningu, en sumt af því er sambærilegt við íslenskt vatn. Einkum eru aðstæður svipaðar á háhitavæðum á Íslandi og í Japan.

Mynd 2. Jarðhiti á Íslandi (Axel Björnsson ofl. 1990). (Á næstu síðu).



3. LÁGHITAVATN

Á töflu 1 má sjá efnasamsetningu lághitavatns úr nokkrum borholum á landinu, sem flestar eru notaðar af hitaveitum. Uppsprettuvatn er að mestu innan sama styrktarsviðs og vatn úr borholum, en er breytilegra vegna efnahvarfa sem verða við uppflæði og blöndun við kalt vatn nálægt yfirborði. Ástæða þess að velja eingöngu vatn úr borholum er sú að fyrir alla meiriháttar nýtingu er nauðsynlegt að bora til að ná nægilega miklu vatni.

Tafla 1. Dæmigerð efnasamsetning jarðhitavatns úr nokkrum borholum á Íslandi. (Styrkur í mg/l).

Staður	Ferskvatn					Saltmengið jarðhitavatn			Salt jarðhitavatn
	H-Rey G-5	H-Gaúp h-1	H-Ak LJ-5	H-Ól h-4	H-Reykh h-5	H-Selt h-6	H-S.Skeið h-2	H-Hrís h-10	Staður Reykjanes STG-2
Númer	820070	820097	890061	880182	910174	880004	870191	830020	880049
Hitast.°C	130	67	93	60	112	117	75	79	71
pH°C	9.3/23	9.9/22	9.8/23	10.1/20	9.7/23	8.4/22	9.7/21	9.6/22	7.3/22
Kísill (SiO ₂)	146.2	70.8	98.2	71.7	126	122.9	69.0	69.2	69.0
Natrium (Na)	62.2	54.8	53.0	35.1	61	597	344	224	11041
Kalíum (K)	2.9	0.8	1.2	0.5	2.0	14.0	4.7	4.4	399
Kalsíum (Ca)	3.1	2.3	3.0	2.4	3.1	522.9	35.6	56.9	1915
Magnesium (Mg)	0.007	0.012	0.003	0.007	0.003	0.380	0.001	0.007	109.2
Heildar karbónat (CO ₂)	20	15	21	13	18	9.8	6.4	6.0	40
Súlfít (SO ₄)	28.6	39.4	40.8	5.4	28.9	304.4	117.5	47.8	1534
Brennist.vetni (H ₂ S)	0.22	0	0.07	<0.03	0.21	0.10	0	0	0
Klóríð (Cl)	46.3	24.9	13.5	7.9	28.9	1617	501.4	388.8	19950
Flúoríð (F)	1.13	1.52	0.364	0.150	0.47	0.667	1.29	0.279	0.039
Heildarstyrkur upp.efna (TDS)	331	239	256	183	288	3484	1113	804	36690
Járn (Fe)	<0.025	-	<0.025	<0.025	<0.025	0.025	<0.025	<0.025	1.1
Mangan (Mn)	-	-	-	-	<0.005	-	0	-	1.8
Súrefni (O ₂)	0	<0.005	0	0.200	0	0	0.020	0.005	-
Ál (Al)	-	-	0.132	-	0.141	0.025	-	-	-

Eins og bent hefur verið á hér að framan sýnir taflan að steinefnastyrkur vatnsins er mjög lítil í vatninu. Í sumum tilvikum verður vart aukinnar seltu vegna inndráttar sjávar eða vegna vatnsleiðni í gegnum setlög sem rík eru af sjávarsalti. Vatn sem hvarfast hefur við súrt berg inniheldur einnig eitthvað meira af klóríði en vatn sem hvarfast hefur við basískt berg. Vatn þetta mun einnig hafa meiri styrk efna eins og flúoríðs, bórs, líþíums og geislavirkra frumefna. Almenn má segja að öll þau efni, sem ekki bindast í steindir basíks bergs, safnist saman í súru bergi. Önnur frumefni eins og járn, mangan, kopar, kóbalt og sink eru í ríkari mæli í basalti og þar af leiðandi einnig í vatni sem hvarfast við þesskonar berg. Steinefnasamsetning vatnsins er einnig mjög háð aldri, veðrunar- og ummyndunarstigi bergsins. Ungt, glerríkt basalhraun er hvarfgjarnara en eldra og meira ummyndað basalt og væri því væntanlega með hærri styrk þungmálma og annarra snefilefna. Litlar rannsóknir hafa þó farið fram hingað til á slíkum efna-skiptum vatns og bergs. Aðal breytileiki lághitavatns, fyrir utan seltuna, sést í flúoríðstyrk, sem venjulega er 0,2-1,5 mg/l, en er staðbundið miklu hærri (5-15 mg/l). Vatn með mjög hátt sýrustig (pH), 10-11, er einnig til, sérstaklega á Vestfjörðum og við jaðar gosbeltanna á Suðvestur og Norðausturlandi.

4. HÁHITAVATN

Vatn háhitasvæða er miklu steinefnaríkara en vatn lághitasvæða vegna aukinnar leysni flestra steinda með hækkandi hitastigi, sem aftur ræðst af jafnvægi vatns við berg í jarðhitakerfunum. Í töflu 2 má sjá einkennandi efnasamsetningu jarðhitavatns nokkurra háhitasvæða. Af sömu ástæðu og fyrir lághitavatn eru aðeins valin sýni úr borholum. Í töflunni er fyrst sýndur styrkur í heildarflæði úr holunni, en síðan efnasamsetning vatns, sem soðið hefur verið við 180 °C. Suða við lægri hita gæfi af sér vatn með hærri efnastyrk.

Eins og á lághitasvæðum finnst heitur jarðsjór á háhitasvæðum á Reykjaneskaga og í Öxarfirði. Sama röksemdarfærsla gildir einnig fyrir háhitavatnið og lághitavatnið hér að framan um hvörf við basalt og súrt berg.

Á háhitasvæðum getur myndast vatn með mjög breytilega efnasamsetningu með blöndun gufu við annað hvort soðið og kælt jarðhitavatn eða kalt ferskvatn.

Með breytileika í þessum þáttum má þannig búa til vatn með mjög mismunandi sýrustigi og efnastyrk. Á háhitasvæðum eru venjulega til staðar jarðhitaleir, kísill og ýmsar aðrar jarðhitaútfellingar, sem nýst geta til heilsuáða.

Tafla 2. Efnasamsetning vatns á völdum háhitasvæðum (styrkur í mg/l).

Jarðhitasvæði	Námafjall BJ-12		Krafla KJ-7		Svartsengi SG-6		Reykjanes Rn-9		Hveragerði NLF-2	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Dags.	830525		771029		810220		831024		820618	
Yermi H ₂ kJ/kg	2248		1973		1029		1317		850	
Kísill (SiO ₂)	162	619	313	787	437	504	587	812	242	254
Natríum (Na)	35	135	83	209	6478	7468	9079	12564	149	156
Kalíum (K)	5.0	19.0	14.2	35.8	935	1078	1388	1920	11.4	11.9
Kalsíum (Ca)	0.1	0.4	1.4	3.5	938	1082	1526	2112	1.7	1.8
Magnesium (Mg)	0.0	0.01	0.01	0.13	0.57	0.66	0.93	1.28	0.0	0.003
Heildar karbonat (CO ₂)	815	22.2	48597	255	662	16.5	1523	14.2	448	71
Súlfít (SO ₄)	1.7	6.5	55.5	139	28.1	32.4	16.2	22.4	39.4	41.2
BrennisLvetni (H ₂ S)	975	108	478	9.4	6.2	0.3	48	1.0	46	20
Vetni (H ₂)	62	0.02	40	0.01	0.0	0.0	0.10		0.3	0.0
Klóríð (Cl)	9	34	38	95	13925	16052	17749	24558	126	132
Flúoríð (F)	0.19	0.73	0.31	0.78	0.19	0.22	0.15	0.21	1.62	1.69
Heildarst. uppl.efna (TDS)	229	862	489	1229	21404	24675	30927	42797	701	734
Járni (Fe)	<0.025	<0.025	0.01	0.02	0.13	0.15	0.7	0.9	<0.025	<0.025
Ál (Al)	0.4	1.47	0.5	1.23	0.50	0.62	0.80	1.2	0.50	0.51
Metan (CH ₄)	1.38	0.0	42	0.01	0.09	0.0	0.05		0.33	0.0
Köfnunarefni (N ₂)	12.3	0.0	0.0	0.0	2.8	0.01	3.9		11.5	0.02
Söfnunarþrýst. P ₁ bars	19.2		12.4		14		43		7.1	

a: heildarflæði

b: vatn soðið við 180°C

5. ÖLKELDUVATN

Eins og nefnt var í inngangi finnst ölkelduvatn á þó nokkrum stöðum á landinu (Stefán Arnórsson, 1982), bæði kalt og sem jarðhitavatn.

Koltvísýringurinn, bæði í kalda vatninu og jarðhitavatninu er talinn hafa annan uppruna en vatnið sjálft. Hann er líklega upprunninn í djúpstæðum innskotum í jarðskorpunni eða jafnvel möttlinum. Þetta aðkomugas hefur annað hvort blandast við vatnið nálægt yfirborði til að mynda kaldar ölkeldur, eða á töluverðu dýpi eins og í tilviki jarðhitavatsins. Ölkelduvatni má skipta niður í fjóra meginflokka (Arnórsson og Barnes, 1983):

1. Kalt vatn með árstíðarbundnum breytileika í hitastigi
2. Kalt grunnvatn með jafnan hita allt árið
3. Lághitavatn
4. Blanda af gufu og háhita jarðhitavatni eða gufu.

Í töflu 3 má sjá íslensk dæmi um þessa flokka af ölkelduvatni. Sameiginlegt með þeim öllum er lágt sýrustig og mikill styrkur karbónats, en aðrir þættir eru þó nokkuð mismunandi. Í fyrsta flokknum er yfirborðsvatn sem blandast hefur, á litlu dýpi, við koltvísýringsgas sem upprunið er úr iðrum jarðar.

Tafla 3. Efnasamsetning ölkelduvatns (mg/l) (Stefán Arnórsson, 1982).

Place	Rauðamels- ölkelda ^a	Ólafsvík ^a	Ölkelda ^b	Bjarnar- fosskot ^b	Lýsuhóll ^c	Leirá ^c	Landmanna- laugar ^d	Strútslaug Torfajökull ^d
Hitast. °C	4	4	5	6	60	128	82	67
(pH)	4.66	4.54	6.21	6.22	6.88	6.94	6.10	6.60
Kísill (SiO ₂)	5	10	77	77	178	237	258	138
Natríum (Na)	5.1	12.2	660	171	486	244	253	318
Kalíum (K)	0.4	2.2	26.8	9.7	36.5	27.6	35.3	41.0
Kalsíum (Ca)	1.6	3.9	256.1	216.8	79.9	15.4	10.9	4.2
Magnesíum (Mg)	0.95	4.2	60.5	177.8	20.8	0.66	2.28	7.3
Heildar carb. (CO ₂)	616	1356	4100	2846	1358	157	280	449
Súlfít (SO ₄)	3.0	5.8	125.4	3.0	43.1	55.3	70.0	40.9
Brennist. vetni (H ₂ S)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.02	5.40	0.07	0.10
Klóríð (Cl)	7.7	22.3	239.0	29.5	69.5	264	307	30.2
Flúoríð (F)	0.03	0.06	0.61	0.08	4.79	2.97	7.15	2.00
Heildarst. uppl. efna (TDS)	21	53	2584	1124	1412	971	1031	1223
Járn (Fe)			3.3		0.83	0.27	0.04	0.66
Bór (B)			0.90		0.48	0.21	1.72	1.41

^a Kaldar ölkeldur með breytilegu hitastigi eftir árstíðum. ^b Kaldar ölkeldur með jöfnu hitastigi allt árið.

^c Heitt ölkelduvatn á lágheatavæðum. ^d Ölkelduvatn í útjaðri háheatavæða.

Þetta vatn sýnir árstíðabundinn breytileika í hitastigi og efnasamsetningu. Í öðrum flokknum er kalt grunnvatn, sem myndað hefur einhverskonar jafnvægi við grannbergið áður en að blöndun hefur orðið við koltvísýringsgas. Vatnið sýnir því engan árstíðabundinn breytileika, hvorki í hitastigi né í efnasamsetningu. Í þriðja flokknum er vatn af lághitasvæðum sem blandast hefur koltvísýringsgasi á meira dýpi en vatnið í flokkum 1 og 2. Það hvarfast því við bergið neðanjarðar og myndar jafnvægi við steindirnar í berginu við það hitastig sem þar er ríkjandi. Þar af leiðandi hefur vatn þetta miklu meiri styrk kísils, magnesíums, kalsíums og annarra málma en venjulegt lághitavatn hefur. Ölkeldur af flokki fjögur koma fyrir á jaðri margra háheatavæða. Þær myndast annað hvort við blöndun á heitu og köldu vatni eða við gufuhitun á köldu grunnvatni á litlu dýpi.

6. ÁHUGAVERÐIR STAÐIR

Ef velja á staði til byggingar heilsuþaðstaða, sem sérstaklega eru áhugaverðir frá jarðhitasjónarmiði, þarf að líta á nokkur atriði. Meginatriðin virðast vera vatnsgerð og magn ákjósanlegra og heilsusamlegra hráefna svo sem ölkelduvatns til drykkjar, jarðhitaleirs til leirbaða og kísils og annarra útfellinga úr jarðhitavatni og þéttri gufu. En það hversu mikið vatn er aðgengilegt og kostnaður við að nema það eru augljóslega mikilvæg atriði.

Á háhitasvæðum eru miklu fleiri möguleikar á samsetningu drykkjarvatns og baða þar sem blöndun gufu eða þéttivatns við heitt vatn, eða jafnvel kalt, gefur mikla möguleika á breytilegri efnasamsetningu. Á háhitasvæðum er einnig venjulega töluvert magn af jarðhitaleir og útfellingum.

Fjölmargir staðir koma til greina til byggingar heilsuþaðstaða. Hér á eftir er bent á nokkra staði, þar sem aðstæður virðast ákjósanlegar, en sú upptalning er fjarri því að vera tæmandi hvað varðar staði, sem til greina koma. Einkum er hér horft til staða þar sem vatnið er efnaríkt og þar sem ofgnótt er af vatni og það jafnvel tiltækt nú þegar.

Áhugaverðir háhitastaðir nálægt þéttbýli eru m.a. Krýsuvík, Reykjanessvæðið, Svartsengisvæðið og Hveragerði. Í Svartsengi er jarðhitavatnið salt og þar er þegar kominn vísir að heilsuþaðum, og þar væri unnt að byggja upp verulega umfangsmeiri heilsuþaðstað.

Á Reykjanessvæðinu er heitur jarðsjór, enn saltari en í Svartsengi. Þar hefur verið borað eftir vatni, sem hingað til hefur aðeins verið notað að litlu leyti.

Í Krýsuvík er selta vatnsins frekar lítil og tiltækt vatnsmagn af skornum skammti. Rannsóknunum þar er langt frá því að vera lokið og bora þarf eftir meiri gufu og vatni. Svæðið er talið vera töluvert stórt og það hefur alla þá kosti sem minnst er á fyrir háhitasvæði.

Í Hveragerði er vatnið einnig seltulítið, en þar er tiltækt mikið vatn og löng hefð er þar á heilsuþaðanotkun.

Af öðrum áhugaverðum háhitasvæðum, sem ekki eru langt frá byggð má nefna Námafjall/Hverarönd. Þar er jarðhitavatnið mjög ferskt.

Svæði sem hafa lághitajarðsjó þekkjast einungis á Reykjanesskaga og í Öxarfirði.

Nálægt Húsavík hefur saltmengað jarðhitavatn verið notað í tilraunaskyni í heilsuþað fyrir psoriasis sjúklunga. Þar mætti vafalaust nýta meira vatn.

Áhugaverður staður innan Stór-Reykjavíkursvæðisins er Seltjarnarnes, en þar er mikið magn saltmengaðs jarðhitavatns til staðar.

Til eru nokkur svæði sem hafa gnægð vatns auk annarra áhugaverðra kosta, eins og t.d. Reykhólasvæðið á Barðaströnd. Vatnið þar er ferskt, rétt rúmlega 100 °C og til í miklu magni. Á nokkrum eyjanna á Breiðafirði skammt sunnan við eru uppsprettur af missöltu heitu vatni, sem bjóða upp á ævintýralegar skoðunarferðir og jafnvel baðaðstöðu.

Á mörgum stöðum í Skagafirði er gnægð vatns. Það er allt ferskt.

Á Vestfjörðum og einnig á Suðurlandsundirlendi eru fjöldi staða þar sem gnægð er af fersku lághitavatni.

Svæði þar sem ölkelduvatn og jarðhitavatn finnast á sama stað eru óalgeng. Lýsuhóll á Snæfellsnesi er einn af fárra þesskonar svæða hér á landi.

7. TILVITNANIR

- Arnórsson, S. og Barnes I., 1983. The nature of carbon dioxide waters in Snæfellsnes, Western Iceland. *Geothermics*, 12, 171-176.
- Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E. og Svavarsson, H., 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland. II. Mineral equilibria and independent variables controlling water compositions. *Geochim. Cosmochim. Acta* 47,547-566.
- Axel Björnsson, Guðni Axelsson og Ólafur G. Flóvenz, 1990. Uppruni hvera og lauga á Íslandi., *Náttúrufræðingurinn*, 60, 15-38.
- Ármannsson, H., Gíslason, G. og Hauksson T., 1982. Magmatic gases in well fluids aid the mapping of the flow pattern in a geothermal system. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46,167-177.
- Guðmundur S. Jónsson, Bragi Árnason og Páll Theodórsson, 1968. Geislavirt úrfelli á Íslandi til ársloka 1967. *Geislavarnir ríkisins og Raunvísindastofnun Háskólans*. Nóvember, 1968, 21 s.
- Hauksson, E. og Goddard, J. G., 1992. Radon earthquake precursor studies in Iceland. *J. Geophys. Res.*, 86, 7037-7054.
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1990. Hitaveituvatn á Íslandi. Efnasamsetning og flokkun. *Orkustofnun*, OS-90042/JHD-23 B.
- Kristmannsdóttir, H. og Ólafsson, M., 1989. Manganese and iron in saline groundwater and geothermal brines in Iceland. *Proceedings of the 6th International Symposium on Water-Rock Interaction*, Malvern, 393-396.
- Kristmannsdóttir H. og Ármannsson, H., 1992. Chemical monitoring of Icelandic geothermal fields. An unpublished paper presented at the Symposium of Industrial uses of geothermal energy in Reykjavík, September 1992.
- Poliakov, A. I. og Sobornov, O. P., 1975. Uranium, thorium and potassium in volcanic rocks of Iceland. *Geochimica*, 9.
- Stefán Arnórsson, 1982. Ölkeldur á Íslandi. Eldur í Norðri (ritstj. Þórarinsdóttir o.fl.), 401-407, Sögufélag, Reykjavík.
- Stefánsson, V., Guðmundsson, Á. og Emmermann, R., 1982. Gamma ray logging in Icelandic rocks. *The Log Analyst*, 23, 11-16.