

ALKALÍHITI SKEIÐARÁRHLAUPA OG UNDAFARI ELDSUMBROTA Í GRÍMSVÖTNUM

Sigurður Steinþórsson og
Niels Óskarsson
Raunvísindastofnun Háskólans
101 Reykjavík

INNGANGUR

Þetta greinarkorn má líta á sem framhald ritgerðar sem sömu höfundar birtu í Jökli 1983 [1] þar sem tekin voru fyrir tvö Grímsvatnahlaup, 1972 og 1982, og reynt að túlka til hins ítrasta vatnsefnagreiningar á sýnum, sem tekin voru þegar hlaupin voru í hámarki.

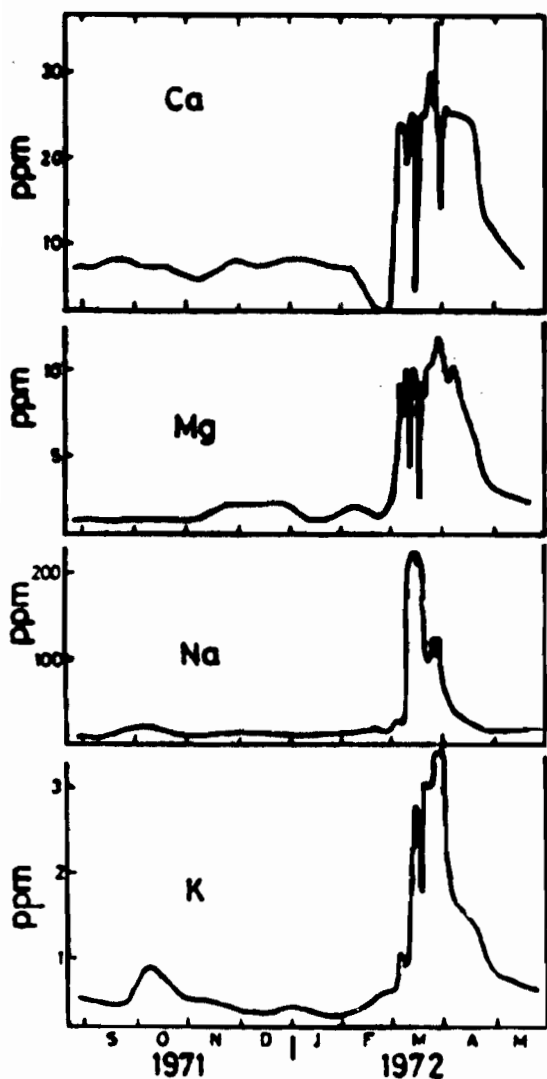
Undir Grímsvötnum er öflugt jarðhitasvæði. Orka þess hefur verið metin allt að 5000 MW [2,3]. Heitt vatn, og hugsanlega gufa, streymir upp í öskjuvatnið og bræðir íshelluna sem liggur yfir því. Vatnið í öskjunni er þess vegna sambland af jarðhitavatni og bræðsluvatni. Tilgangur okkar var sá að reyna að reikna út hitastig jarðhitapáttarins og samsetningu hans með aðferðum jarðefnafræðinnar, og fá þannig óháð mat á afl svæðisins.

Efnahitamælir, sem byggir á *hlutfalli* uppleystra efna, eins og Na/K, er óháður síðari þynningu vatnsins. Hins vegar er hluti af uppleystum efnunum í Skeiðarárhlaupum kominn frá framburði og þarf að leiðrétta efnasamsetningu hlaupvatnsins lítillga til að fá Na/K-hlutfall jarðhitavatnsins. Að þeirri leiðréttingu gerðri er efnahitamælirinn kvarði á hitastig jarðhitakerfisins burtséð frá því hversu stór hlutur jarðhitavatnsins er í heildarflaumi jökulhlaupsins.

Í stuttu máli var aðferðin þessi: Á árunum 1970 til 1972, nefnilega í tvö ár fyrir hlaupið 1972, höfðu verið tekin sýni úr Skeiðará nokkuð reglulega og

uppleyst efni greind í þeim (1. mynd). Þær greiningar voru síðan notaðar til að meta "bakgrunns-samsetningu" árinna, þegar áhrifa frá Grímsvötnum gætir ekki. Meðal niðurstaðna var sú, að styrkur Na^+ væri rúm 10 mg/l en K^+ um 1/2 mg/l. Jafnframt gerðum við tilraun, þar sem gróft efni úr framburði Skeiðarár var malað í eimuðu vatni, sem síðan var greint, og fengum svipaðan styrk uppleystra efna í vatninu. Þessi gildi notuðum við síðan til að "leiðrétta" Na- og K-gildi hlaupvatnsins og nota síðan hið leiðrétta Na/K-hlutfall á jöfnu alkali-jarðhitamælisins [4] til að meta hitastig djúpvatnsins í Grímsvötnum.

Þegar hitastigið var þannig fengið, var kísilstyrkur í jarðhitavatninu reiknaður með hjálp kísilhitamælisins [5], og með samanburði hans og mældrar samsetningar hlaupvatnsins fékkst þynning jarðhitapáttarins með bræðsluvatni. Ýmsa fleiri útreikninga gerðum við og komumst m.a. að þeim niðurstöðum, að jarðhitakerfið undir Grímsvötnum er mjög kolsýruríkt, með útleystum CO_2 -bólum líkt og vatnið á Lýsuhóli á Snæfellsnesi; í öðru lagi að jarðhitakerfið hafi hitnað um tæpar 100°C frá 1972 til 1982, og að afl þess sé um 5000 MW, eins og Helgi Björnsson [2] hafði reiknað út áður með alls óskyldum aðferðum.



MYND 1. Breytingar í styrk nokkurra efna í Skeiðarárhlaupinu 1972. Utan jökulhlaupa er meðalgildi Na^+ 1,11 mg/l og K^+ 0,46 mg/l (tafla 1). Yfirvofandi hlaup kemur fram í uppleystum efnum í ánni u.þ.b. einni viku áður en vaxa tekur í henni [1].

GILDIR ALKALÍMÆLIRINN Í GRÍMSVÖTNUM ?

Áður en lengra er haldið er ástæða til að ræða stuttlega réttmæti þessarar aðferðar. Því hefur verið haldið fram að súrt vatn í Grímsvatnalóninu leysi alkali- og jarðalkalímálma úr hvarfgjörnu gleri á botni lónsins þannig að útilokað sé að nota alkálhitamælinn til að reikna hitastig í jarðhitakerfinu [6].

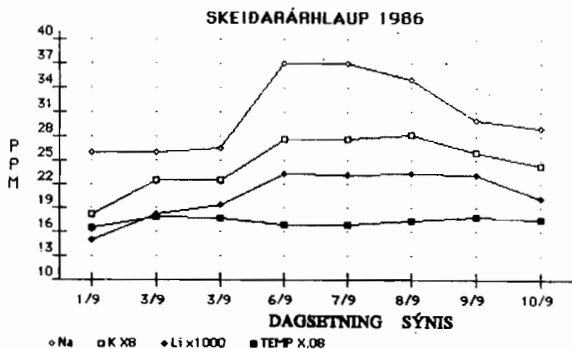
Þótt alkunna sé, t.d. af rannsóknum Stoibers og Rose [7] á súru þéttvatni á eldfjallasvæðum, að efnaáverkar bergs í súrri lausn feli í sér að alkalmálmur leysast í *hlutföllum bergsins*, má færa enn frekari rök fyrir sanngildi alkálhitamælisins í Skeiðarárhlaupum:

Á 2. mynd er sýndur styrkur þriggja alkalmálma í hlaupinu 1986, Na efst, þá K og loks Li. Neðsti ferillinn sýnir svo reiknaðan alkálhita. Hér er ýmislegt athyglisvert: Í fyrsta lagi helst hið reiknaða alkálhitastig tiltölulega stöðugt þótt styrkur efnanna breytist allmikið meðan á hlaupinu stendur. Breytingar í styrk eru þess vegna af völdum mismunandi þynningar með hreinu vatni, því efnahlutföllin haldast óbreytt. Í annan stað fylgjast Li og K nákvæmlega að. Styrkur Li í vatni er mjög hitastigsháður [8]: Í köldu vatni er hann mjög lítill, en í heitu vatni stærðargráðu meiri. Li getur alls ekki hafa skolest út úr gleri á köldum botni Grímsvatna, og fyrst K og Li fylgjast að eins og myndin sýnir, er sú ályktun dregin að öll efnin þrjú, Na, K og Li, séu upprunnin í jarðhitakerfinu og hlutföll þeirra séu fall af hitastiginu í kerfinu. Í þriðja stað eru á 2. mynd tvær greiningar á vatnssýnum frá 3. sept.; annað þeirra var síað um leið og það var tekið, hitt var geymt í nokkra daga ósíað áður en það var greint. Enginn munur kemur fram á efnageiningum, sem bent gæti til hvarfa milli vatns og sets.

JARÐHITAKERFIÐ Í GRÍMSVÖTNUM

Grundvallarforsenda þeirra útreikninga, sem hér er lagt út af, er að alkálhitamælirinn gefi rétta mynd af meðalhitastigi þess jarðhitavatns sem streymir inn í Grímsvötn að neðan. Helgi Björnsson og Hrefna Kristmannsdóttir [6] hafna þeirri forsendu, og gefa sér staðinn að hiti vatnsins í jarð-

hitakerfinu fylgi suðuferli vatns, enda Grímsvötn háhitasvæði. Þeirra vandi er því ekki sá að skýra breytingar í hitastigi kerfisins, heldur styrk ýmissa efna sem ekki er í samræmi við hið útreiknaða hitastig.



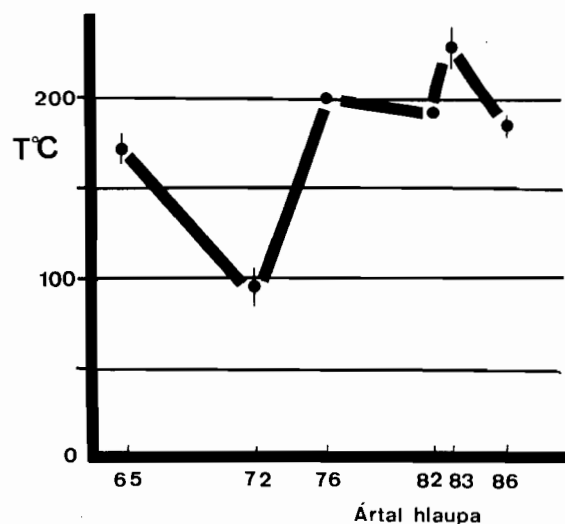
MYND 2. Styrkur Na^+ , K^+ og Li^+ í nokkrum sýnum sem tekin voru yfir 10 daga tímabil í hlaupinu 1986. Neðsti ferillinn (fylltir ferningar) er reiknaður alkálíhiti. Þótt styrkur efna breytist verulega, haldast hlutföllin söm. Tvö sýni voru tekin 3/9 1986: Annað þeirra var stíð á sýnatöku-stað en hitt geymt í nokkra daga fyrir greiningu. Enginn munur kemur fram í styrk efnanna. Takið eftir mismunandi kvarða fyrir efnin þrjú og alkálíhitann.

Greiningarnar þrjár lengst til hægri í töflu 1 bera reiknaða samsetningu jarðhitavatsins í Grímsvötnum fyrir hlaupið 1982 saman við tvö kolsýrurík jarðhitakerfi, Lýsuhól á Snæfellsnesi og Kverkfjöll. Styrkur alkálí- og jarðalkalímálma (Na, K, Ca, Mg) í Kverkfjalla- og Grímsvatnagreiningunum reynist vera mjög svipaður, enda er alkálíhiti sýnanna einnig svipaður. Kísill í Kverkfjallasýninu er hins vegar óeðlilega lágur vegna þess að sýnið var tekið úr læk sem hverahrúður var að falla út úr. Þessi samanburður styrkir enn réttmæti útreikninganna: Að efnagreiningarnar í töflu 1 gefi í aðalatriðum rétta mynd af samsetningu jarðhitavökvans í Grímsvötnum.

ALKALÍHITI SKEIÐARÁRHLAUPA

Tafla 1 sýnir efnagreiningar vatns úr öllum Skeiðarárhlaupum síðan 1965. Reiknaður alkálíhiti er sýndur neðst í töflunni. Í sumum tilfellum er hann aðeins reiknaður út frá einni greiningu, á sýni sem tekið var þegar hlaupið var í hámarki, en í öðrum liggja fleiri greiningar að baki, svo sem sýnt er. Staðalfrávik hinna ýmsu greininga svarar samt aldrei meira en 10°C , þótt sýnataka spanni marga daga.

3. mynd sýnir alkálíhita hinna ýmsu hlaupa sem fall af tíma. Myndin er frábrugðin grafinu í útdráttabókinni [9] að tvennu leyti: Greiningum Guðmundar Sigvaldasonar frá 1965 [10] hefur verið bætt framan við, og í staðinn fyrir greiningu frá Orkustofnun af hlaupinu 1983 (sem gaf 280°C) [6] er komið meðaltal 4ra sem Níels Óskarsson hefur gert. Samkvæmt þeim er alkálíhitinn $229 \pm 10^\circ\text{C}$.



MYND 3. Reiknaður alkálíhiti í Grímsvötnum fyrir sex Skeiðarárhlaup. Samkvæmt ferlinum fór jarðhitakerfið í Grímsvötnum kólnandi fram yfir hlaupið 1972 en hitnaði verulega milli 1972 og 1976. Síðan hefur það farið kólnandi, fyrir utan tímabundna upphitun samsfara gosinu 1983.

TAFLA 1. Upplýst efni í Skeiðará (1-7) og í þremur jarðhitakerfum (8-10)

N: fjöldi greindra sýna. T(Na/K): reiknaður alkalihiiti.

SKEIÐARÁ										
	normal" 1	1965 2	1972 3	1976 4	1982 5	1983 6	1986 7	Kverkfjöll 8	Lýsuskarð 9	Grímsvötn 10
SiO ₂	11.2	56	44	50.5	76.3	73	55.5	89	219	244
Ca	7.2	45.4	28	45.6	13.9	34.8	44	26.5	86.8	25.3
Mg	1.4	5.8	10	9.9	11.9	14.1	10.2	28.1	20.7	39.9
Na	11.1	42.5	89	43	60.6	49.9	40	175	452	186
K	0.46	3.8	3.02	3.8	5.24	6.6	3.4	21	34.2	18
Cl	3.09	12.5	11	13.5	7.6	22	13	34	80	16.9
F	-	0.05	-	-	-	0.5	0.01	0.08	-	-
SO ₄	6.36	25.1	13	23.5	18.2	88	31	61	41.2	44.4
HCO ₃	35	303.8	640	-	355	183	1952	1830	1500	1204
Fe						(4.4)	(2.3)			
pH	7.6	6.35	7.5	-	7.1	8.3	6.41	8.25	6.7	5.7
Na/K	24.1	15.2	29.5	11.3	11.6	7.6	11.8	8.3	13.2	10.3
N	1	5	8	1	1	4	7	1	1	1
T(Na/K)	∞	173±10	96±10	199.7	192	299±10	184±4	219	168	192

1. Skeiðará utan hlaupa (tafla 3 í [1])
2. Hlaupið 1965 (4.9.65) [10]
3. Hlaupið 1972 (23.3.72) (tafla 3 í [1])
4. Hlaupið 1975 (tafla 2 í [5])
5. Hlaupið 1982 (13.2.82). Greining: Niels Óskarsson
6. Hlaupið 1983 (15.12.83). Greining: N.Ó.
7. Hlaupið 1986 (3.9.86). Greining: N.Ó.
8. Kverkfjöll, 28.9.86. Sýni: Karl Grönvold; greining N.Ó.
9. Lýsuhóll (tafla 3 í [1])
10. Reiknuð samsetning jarðhitavökva Grímsvatna fyrir hlaupið 1982 (tafla 3 í [1]).

Samkvæmt myndinni hefur kerfið farið kólnandi fram til 1972; reiknað afl þess fyrir hlaupið 1972 var um 4200 MW miðað við meira en 5000 MW fyrir hlaupið 1982 [1]. Óneitanlega virðist 100°C (1972) vera æði lágt hitastig fyrir háhitasvæði. Hins vegar eru aðstæður í Grímsvötnum óvenjulegar, þar sem há grunnvatnsstaða utan vatnanna hlýtur að auka innstreymi og uppstreymi í jarðhitakerfinu [1]. Enda er það í samræmi við aðrar mælingar að kerfið hafi farið kólnandi fram til þess tíma. Sú skýring kemur því helst til greina, að vegna mikillar vatnsgengdar kólni efri hlutar jarðhitakerfisins tiltölulega hratt ef ekki kemur til ný orka með sprungumyndun eða innskotum.

Milli 1972 og 76 varð veruleg upphitun í kerfinu og síðan hefur það farið frekar kólnandi fyrir utan

skyndilega og skammæja upphitun tengda gosinu 1983. Sambærilegar breytingar koma fram í rúm máli hlaupanna, þ.e. hraða vatnssöfnunar í Grímsvötnum fyrir hvert hlaup (tafla 1, bls. 76 í [1]).

Líkleg skýring á þessu ferli er sú, eins og fyrr sagði, að innskotavirkni og sprungumyndun í Grímsvatnaöskjunni hafi valdið upphituninni milli 1972 og 76, undanfari gossins 1983, en að upphitunin milli 1982 og 83 sé beinlínis tengd gosinu sjálfu, og fjari þess vegna út fljótt. Niðurstöðurnar benda enn fremur til þess að gosið 1983 hafi verið "sekúndert", nefnilega að það hafi ekki tengst meiriháttar aðfærslu ferskrar kviku til Grímsvatna, heldur miklu fremur að slíkt hafi gerst milli áranna 1972 og 1976. 1983-gosið hefur þá orðið vegna sprungumyndana í efri lögum öskjubotnsins sem

aukið hafa lekt jarðlaganna niður að grunnstæðu kvikuhólfi. Slíkt mundi leiða til gufusprengingar sem gæti opnað kvikuleif leið til yfirborðs. Samsetning gosefna frá 1983 styður þá tilgátu, þar sem meginhluti efnisins var ummyndað berg en ekki ferskt gler [11].

HEIMILDIR

1. Sigurður Steinþórsson og Níels Óskarsson 1983: Chemical monitoring of jökulhlaup water in Skeiðará and the geothermal system in Grímsvötn, Iceland. *Jökull* 33: 73-86.
2. Helgi Björnsson 1974: Explanation of jökulhlaups from Grímsvötn, Vatnajökull, Iceland. *Jökull* 24: 1-26.
3. Helgi Björnsson, Sveinbjörn Björnsson og Þorbjörn Sigurgeirsson 1982: Grímsvötn: Penetration of water into hot rock boundaries of magma. *Nature* 295: 580-581.
4. Stefán Arnórsson 1980: Efnahitamælar. *Náttúrufr.* 50: 121-138.
5. R. O. Fournier 1977: Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics* 5: 41-50.
6. Helgi Björnsson og Hrefna Krismannsdóttir 1984: The Grímsvötn geothermal area, Vatnajökull, Iceland. *Jökull* 34: 25-50.
7. R. E. Stoiber and W. I. Rose, Jr. 1970: The geochemistry of Central American volcanic gas condensates. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 81: 2891-2912.
8. C. Fouillac and G. Michard 1981: Sodium/lithium ratio in water applied to geothermometry of geothermal reservoirs. *Geothermics* 10: 55-70.
9. Sigurður Steinþórsson og Níels Óskarsson 1987: Alkalíhiti Skeiðarárhlaupa og undanfari eldsumbrotá í Grímsvötnum. *Vatnið og landið*. Ágrip erinda fluttra á vatnafræðiráðstefnu tileinkaðri Sigurjóni Rist, Reykjavík 22. og 23. okt. 1987, s. 88-89.
10. Guðmundur E. Sigvaldason 1965: The Grímsvötn thermal area. Chemical analysis of jökulhlaup water. *Jökull* 15: 125-128.
11. Karl Grönvold og Haukur Jóhannesson 1984: Eruption in Grímsvötn 1983; course of events and chemical studies of tephra. *Jökull* 34: 1-11.