

**Jarðsjór og gufa á Reykjanesi: Mat á
efnaflæði úr borholum**

Jón Örn Bjarnason

Greinargerð JÖB-98-01

**JARÐSJÓR OG GUFU Á REYKJANESI:
MAT Á EFNAFLÆÐI ÚR BORHOLUM**

Hitaveita Suðurnesja hefur nú um hríð haft á prjónunum áform um að bora fleiri holur á jarðhitasvæði sínu á Reykjanesi og auka þannig vinnslu þar. Hafa þessar fyrirætlanir tengst hugmyndum um stóriðju. Áður en ráðist verður í þessar framkvæmdir er nauðsynlegt að áhrif þeirra á umhverfið verði metin.

Meðal þeirra upplýsinga sem leggja verður til grundvallar slíku mati eru tölur um losun efna úr svæðinu. Hér á eftir skal því reynt að áætla væntanlegt efnaflæði úr fyrirhuguðum holum. Verður þá byggt á vitneskju um efnasamsetningu jarðsjávar á Reykjanesi svo og á gefnum forsendum um vinnslu úr holunum.

Á undanförunum þremur áratugum hafa tvær háhitaholur verið nýttar á Reykjanesi. Hóla 8 var boruð árið 1969 og stóð ein undir vinnslu úr svæðinu þar til hóla 9 var boruð árið 1983. Eftir það var unnið úr báðum holum um sinn, en þó var tekið helmingi meira úr holu 9 en holu 8. Gekk svo fram á árið 1987, en þá var holu 8 lokað. Stóð hún lokuð fram til 1993, en þá var holan dæmd ónýt og vinnslufóðring hennar fyllt af steypu. Þorri vinnslu úr svæðinu undanfarinn einn og hálfan áratug hefur þannig verið úr holu 9.

Samtals hafa 20 heilsýni verið tekin til efnagreiningar úr holu 9 frá því henni var hleypt í blástur haustið 1983. Heilsýni er það kallað þegar holurennið er skilið með svonefndri gufuskilju, sem skrófuð er á holutoppinn, og öllu síðan safnað, vatnsfasa, þéttivatni og gasi. Þessir fasar eru svo efnagreindir, hver í sínu lagi. Til þess að finna efnasamsetningu djúpvökva þarf loks að „reikna saman vatn og gufu,“ eins og það er kallað.

Lengi framan af voru sýni tekin óreglulega, en eftir að rekstur jarðhitasvæðisins færðist til Hitaveitu Suðurnesja hefur meiri festa verið á vöktun svæðisins. Frá 1992 hafa efnasýni verið tekin tvisvar á ári, vor og haust. Sýni ársins 1997 eru ekki að fullu frágengin þegar þetta er ritað og verður því litið til gagna frá árunum 1992 - 1996. Frá þessu fimm ára tímabili eru tíu sýni á skrá, og verður meðaltal þeirra lagt til grundvallar mati á væntanlegu efnaflæði úr fyrirhuguðum holum á Reykjanesi.

Meðalstyrkur helstu efna í djúpvatni holu 9, eins og hann reiknast úr niðurstöðum greininga áður nefndra sýna, er skráður í annan dálk töflu 1. Í töflunni tákna „Uppleyst“ heildarstyrk uppleystra steinefna, en hann er fundinn með þurreimingu sýnis, CO₂ tákna heildarkarbonsat reiknað til koldíoxíðs og H₂S tákna heildarsúlfíð reiknað til brennisteinsvetnis. Rétt er að leggja áherslu á, að allar tölur í þessum dálki eiga við vökva djúpt í holunni, áður en hann hefur soðið af sér gufu. Selta þessa vökva er áþekk seltu sjávar, þótt innbyrðis hlutföll katjóna hafi raskast svolítið. Því má bæta hér við, að efnasamsetning djúpvatns í holu 9 hefur alla tíð verið mjög stöðug.

MÁ EKKI FJARLÆGJA

Tafla 1. Áætlað efnaflæði úr fyrirhuguðum borholum á Reykjanesi: Helstu efnaþættir.

Efni	Styrkur (mg/kg)	Vinnsla (Mtonn/ár)	Efnaflæði (tonn/ár)
Líþíum (Li)	3,48	6,725	23
Natríum (Na)	9380	6,725	63000
Kalíum (K)	1370	6,725	9200
Magnesíum (Mg)	0,90	6,725	6
Kalsíum (Ca)	1600	6,725	10800
Strontíum (Sr)	6,65	6,725	45
Flúoríð (F)	0,16	6,725	1
Klóríð (Cl)	18400	6,725	124000
Brómíð (Br)	65,2	6,725	440
Súlfat (SO ₄)	17,4	6,725	120
Ál (Al)	0,071	6,725	0,5
Mangan (Mn)	2,66	6,725	18
Járn (Fe)	0,33	6,725	2
Kísill (SiO ₂)	640	6,725	4300
Bór (B)	7,64	6,725	50
Uppleyst	33140	6,725	220000
Karbónat (CO ₂)	1330	6,725	9000
Súlfíð (H ₂ S)	39	6,725	260

Um nokkurt skeið hafa verið á lofti hugmyndir um magnesíumvinnslu á Reykjanesi. Ein af forsendum hennar er sú að á svæðinu megi fá, á ári hverju, 1,2 milljónir tonna af gufu við 20 bar-a. Til að mæta töpum við skiljur og í flutningi verður hér gert ráð fyrir því að borholurennið verði skilið við 25 bar-a, sem samsvarar u.þ.b. 224°C. Þá verður hér gert ráð fyrir því, að hiti innstreymis í holur, sem boraðar kunna að verða til afla gufunnar, verði 290°C eins og í holu 9. Gufuhluti rennisins yrði þá 0,1784, eða 17,8%, við 25 bar-a skiljuþrýsting, og vatnshlutinn því 82,2%. Til þess að afla 1200 þúsunda tonna af gufu þyrfti árleg vinnsla úr svæðinu því að nema 6,725 milljónum tonna alls. Þessi tala er sýnd í þriðja dálki töflu 1.

Sé gengið út frá því, að efnasamsetning djúpvökva í fyrirhuguðum holum verði hin sama og meðalsamsetning djúpvatns í holu 9, má meta væntanlega efnaupptekt úr svæðinu á einfaldan hátt. Aftasti dálkur töflu 1 sýnir árlegt efnaflæði úr svæðinu, fundið með margföldun næstu tveggja dálka á undan. Samtals er hér um að ræða u.þ.b. 220 þúsund tonn uppleystra efna.

Langmestur hluti þessara efna helst uppleystur í skiljuvatninu og mun fylgja því hvert sem það kann að verða leitt til förgunar. Í raun er það aðeins kísill sem hverfur úr upplausn, svo og lofttegundirnar koldíoxíð og brennisteinsvetni. Þessi efni þarf að athuga sérstaklega.

Sé vökvinn í töflu 1 hvellsoðinn og skilinn við 25 bar-a hverfur mest af uppleysta gasinu úr lausn og yfir í gufuna. Aðeins lítill hluti helst í upplausn og fylgir skiljuvökvanum. Reikningar sýna, að styrkur koldíoxíðs í gufu yrði naumlega 7300 mg/kg við þessar aðstæður, en styrkur brennisteinsvetnis um 200 mg/kg. Tafla 2 sýnir losun þessara lofttegunda þegar tekið er mið af 1200 þúsund tonna gufuvinnslu árlega.

Tafla 2. Áætluð gaslosun úr fyrirhuguðum borholum á Reykjanesi: Fyrri skiljuþrep, 25 bar-a.

Efni	Styrkur (mg/kg)	Vinnsla (Mtonn/ár)	Losun (tonn/ár)
Koldíoxíð (CO ₂)	7300	1,2	8760
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	200	1,2	240

Vökvinn sem eftir verður, þegar gufa hefur verið skilin frá við 25 bar-a, er því tiltölulega snauður af gasi. Sé þessi vökvi hvellsoðinn og skilinn aftur, en nú við lægri þrýsting og hita en áður, t.d. 1 loftþyngd og 100°C, færast úr vökvanum í gufuna mest af því gasi sem eftir varð í fyrri skiljuþrepinu. Styrkur koldíoxíðs í þessari gufu yrði u.þ.b. 150 mg/kg og styrkur brennisteinsvetnis nálægt 10,8 mg/kg, en gufuhlutinn 0,2406 eða 24,1%. Árleg gufuvinnsla í þessu skiljuþrepi yrði 1330 þúsund tonn, sé miðað við sömu vinnsluforsendur og áður, og sýnir tafla 3 losun gass í þrepinu.

Tafla 3. Áætluð gaslosun úr fyrirhuguðum borholum á Reykjanesi: Seinna skiljuþrep, 100°C.

Efni	Styrkur (mg/kg)	Vinnsla (Mtonn/ár)	Losun (tonn/ár)
Koldíoxíð (CO ₂)	150	1,33	200
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	10,8	1,33	14

Samanburður á töflum 2 og 3 við töflu 1 sýnir að nær allt uppleyst súlfíð og karbónat í djúpvatninu mun skila sér í gufu, og þá væntanlega út í andrúmsloftið eftir að varminn úr gufunni hefur verið nýttur.

Vökvinn sem til fellur eftir seinna skiljuþrep nemur $(1 - 0,1784) \cdot (1 - 0,2406) \cdot 6,725$ eða 4,2 milljónum tonna á ári. Þetta er aðeins um 62,4% þess sem áætlað er að vinna úr holunum. Mismunurinn er gufan sem skilin er frá í tveimur þrepum. En þetta þýðir að selta vökvans hefur aukist um 60% vegna afsuðu.

Árleg upptekt kísils er áætluð 4300 tonn, eins og fram kom í töflu 1. Þetta er umtalsvert magn og má til samanburðar nefna að holurnar í Svartsengi hafa undanfarin ár skilað um 3200 tonnum á ári. Þessi kísill fellur þó ekki allur út, a.m.k ekki strax. Reynslan hefur sýnt, að styrkur kísils í upplausn fellur fljótlega að mettunarmörkum ópals, en þau eru nálægt 130 mg/kg við stofuhita. Eftir það fellur kísillinn mun hægar út. Þannig má gera ráð fyrir u.þ.b. 3750 tonnum af kísilútfellingum árlega. Þetta magn er nálægt 2000 m³ að rúmtaki.

Um þungmálma og önnur snefilefni í jarðsjó á Reykjanesi er fremur lítið vitað. Jón Ólafsson og J.P. Riley birtu á sínum tíma tölur um efnastyrk nokkurra málma í jarðsjó úr holu 8 á Reykjanesi (Chemical Geology, **21**, bls. 219-237, 1978). Þessar tölur eru sýndar í töflu 4, eftir umreikning til djúpvatns, ásamt áætlun um efnaflæði sem miðuð er við sömu forsendur og áður. Bent skal á að einingar efnastyrks og -flæðis eru þúsund sinnum smærri en í fyrri töflum.

Tafla 4. Áætlað efnaflæði úr fyrirhuguðum borholum á Reykjanesi: Nokkrir málmar.

Efni	Styrkur ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Vinnsla (Mtonn/ár)	Efnaflæði (kg/ár)
Nikkel (Ni)	8,5	6,725	57
Kopar (Cu)	10	6,725	67
Sink (Zn)	65	6,725	440
Arsen (As)	105	6,725	700
Selen (Se)	0,3	6,725	2
Molybden (Mo)	4,5	6,725	30
Kadmíum (Cd)	0,78	6,725	5
Antimón (Sb)	0,4	6,725	2,7
Wolfram (W)	0,67	6,725	4,5

Arsen getur myndað rokgjörn efnasambönd og því ekki útilokað að nokkuð af efninu skili sér í gufunni. Reynsla úr Kröflu og Námafjalli bendir til þess að styrkur arsens í gufu geti verið um tíu af hundraði þess sem mælist í vatnsfasa. Ef hið sama á við á Reykjanesi gæti áætluð losun arsens hækkað um 30-50 kg á ári.

Af málmunum í töflu 4 er það aðeins sink, auk arsens, sem fram kemur í teljandi magni. Af öðrum málmum er miklu minna. Sink er saklaust og þarf væntanlega litlar áhyggjur af því að hafa. Arsen er hins vegar eitrað, en ætti tæplega að verða að meini hér, því styrkur þess í þæklinum á yfirborði er aðeins u.þ.b. þrefalt hærri en mörk þau sem Alþjóðaheilbrigðismálastofnunin setur fyrir drykkjarvatn, og raunar mjög nærri styrk í Bláa lóninu í Svartsengi.

Hugsanlega er styrkur ýmissa málma í djúpvatni nokkru meiri en tölurnar í töflu 4 gefa til kynna. Eftir tveggja ára vinnslu úr holu 9 varð þess vart að þrenging var komin í leiðslu frá holutoppi, neðanstreymis við blöndu þar sem þrýstingur féll úr 43 í 18 bör. Við eftirgrennslan kom í ljós mikil útfelling í leiðslunni, svört og hörð sem grjót. Útfellingin reyndist blanda brennisteinssambanda ýmissa málma. Átti þar sink stærstan hlut, en mjög mikið var einnig af kopar og járn. Þá fannst talsvert af blýi og mangani og nokkurt magn silfurs. Margir aðrir málmar greindust, en í minna mæli.

Við hreinsun holu 9 árið 1993 komu fram vísbendingar um harða útfellingu niðri í sjálfri holunni, en þá hafði hún um hríð verið rekin við lægri þrýsting en lengst af áður. Sýnist því sem ýmsir málmar falli auðveldlega út við suðu jarðhitavökvans, og þarf ekki að koma á óvart því málmsúlfið eru yfirleitt harla torleyst. Af þessum sökum kunna greiningar vökva á yfirborði að vanmeta nokkuð styrk ýmissa málma í djúpvatninu. Þetta kemur þó ekki að sök hér því útfellingin verður við fremur afmörkuð skilyrði, og líklegt að takmarka megji hana við holu- og skiljubúnað. Þá er magn hennar hóflegt, en eftir tveggja ára vinnslu úr holu 9 nam hún aðeins einu hlasi vörubifreiðar eða svo.

Jón Örn Bjarnason