

554.91  
öld

# ELDUR ER Í NORÐRI

AFMÆLISRIT

HELGAÐ

SIGURÐI ÞÓRARINSSYNI

SJÖTUGUM

8. JANÚAR 1982

SÖGUFÉLAG

REYKJAVÍK

1982

## Hagnýting hraunhita

Eftir reynslu þá, sem fékkst af kælingu hrauns með vatni í Heimaeyjargosinu 1973 og síðari reynslu af hraunhitaveitunni í Vestmannaeyjum, hefur sú spurning gerst æ áleitnari, hvort unnt sé að nota vatn til að hraða kælingu hraunkviku djúpt í jörðu, ekki í þeim tilgangi að hindra eldgos, heldur til að framleiða verðmæta jarðgufu. Ástand Kröflusvæðisins, þar sem skortur er á gufu til raforkuvinnslu þótt vítað sé um hraunkviku á 3000 metra dýpi, hlýtur að hvetja til þess að leitað verði svara við þessari spurningu.

### *Afköst hraunkælingar í Vestmannaeyjum*

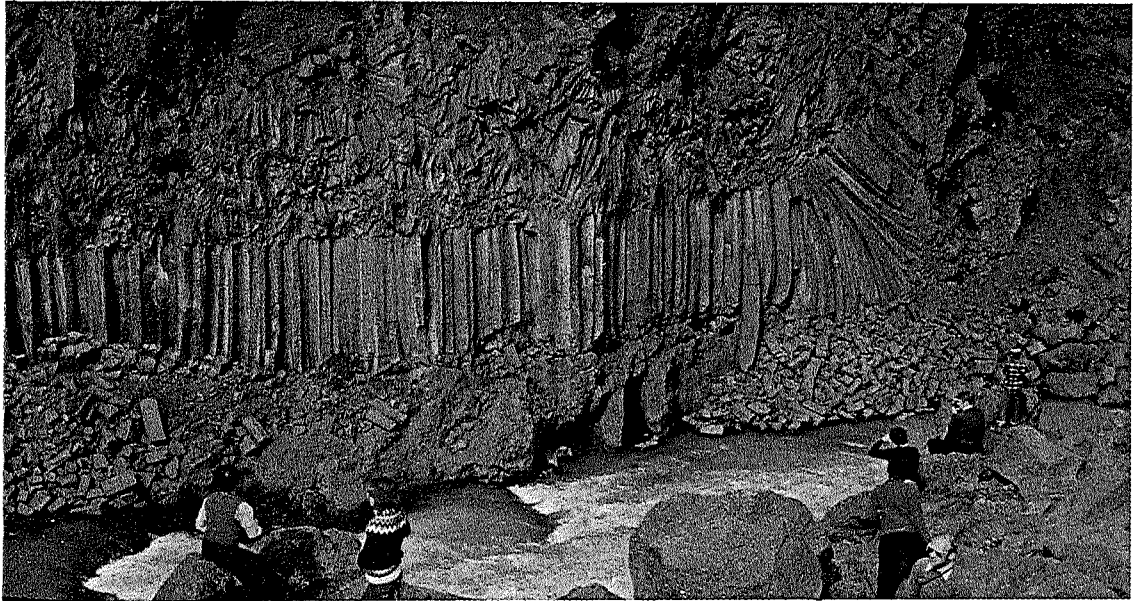
Hinar miklu vatnsveituf framkvæmdir í Vestmannaeyjargosinu<sup>1</sup> leiddu í ljós að með því að veita vatni á bráðið hraun má fá mjög hraða kælingu, jafnvel eftir að þykk kápa af einangrandi bergi hylur hið bráðna hraun. Hin storknaða kápa er ekki vatnsheld, heldur kurlsprungin af völdum samdráttar bergsins við kælinguna, og vatnið sígur niður sprungurnar þar til það hefur hitnað og breyst í gufu, sem streymir upp um þessar sömu sprungur. Meginhluti storknaða hraunsins verður því um 100 gráðu heitur og mörkin við bráðna hraunið mjög skörp. Þó er ekki þess að vænta að vatn og vatnsgufa komi í beina snertingu við bráðið hraun, heldur skilur þar á milli þunnt, ósprungið lag af heitu storkubergi, sem ekki hefur kólnað nóg til að springa. Storkuberg er mjög slæm-

ur varmaleiðari, en hér étur vatnið sig inn í bergið eftir sprungunum og sækir varmann án þess að varmaleiðni komi þar mikið við sögu. Kæliflöturinn færast stöðugt neðar og þar með kemst vatnið í snertingu við það hraun, sem áður var bráðið.

Í Vestmannaeyjum var kæliflöturinn kominn 12 metra niður í hraunið eftir háls mánaðar vatnskælingu, en það samsvarar um 40 kílovatta varmastraumi frá hverjum fermetra hraunflatar að meðaltali, sem er sambærilegt við varmaflæði frá heitri eldavélarhelli.

### *Hagnýting hraunhitans*

Hraunhitaveitan í Vestmannaeyjum beitir þessari sömu aðferð til að vinna varma úr hrauninu sem enn er að nokkrum hluta bráðið. Áveitu vatns er stillt í hóf svo gufumyndun verði hæfilega ör, en varmaþörf bæjarins er fullnægt af fjórum reitum, sem eru 60 metrar á kant, og hver um sig gefur frá sér allt að 10 megavöttum af varmafli eða 3 kílóvött á fermetra. Með þessari kælingu má búast við að kæliflöturinn færast niður allt að 20 metra á ári. Þar sem hraunið er þykkast má búast við að enn sé um 40 metra þykkt lag af bráðna hrauni. Vonir standa því til að hver reitur geti enst a. m. k. tvö ár, en þá þarf að flytja vökvunina og taka fyrir nýjan reit til gufuöflunar. Á meðan eitthvað er eftir af bráðna hrauni, sem hindrar að vatnið gangi niður í gegnum hraunlagið, má vinna varmaorkuna á þennan hátt, en



1. mynd. sprungur í hrauni. Efri hluti hraunsins er kældur af vatni, sem sigið hefur niður í sprungurnar. Lóðréttu stuðlarnir hafa myndast við kælingu frá botni hraunsins. Við efri mörk stuðlanna mætist hröð storknun ofanfrá og hægfare storknun neðanfrá. (Ljósmynd úr gljúfri við Aldeyjarfoss. Sigurgeir Þorbjörnsson).

senn kemur að því að allt hraunið storknar og springur og er þá vandséð hvernig nýta megi varmann.

Enda þótt losa megi varmann úr hrauninu með vökvun, þá getur reynst erfitt að safna saman gufunni, sem myndast við kælinguna. Í Vestmannaeyjum eru aðstæður sérstaklega hagstæðar, þar sem þykkt lag af ösku og öðrum lausum gosefnum liggur ofan á hrauninu. Gufunni er safnað á leið sinni upp í gegnum þetta lag með því að grafa í það 5 metra djúpa brunna með 20 metra millibili og þekja svæðið á milli þeirra með plastþynnu. Gufan er svo leidd í víðum rörum frá brunnunum inn í gufukistur, þar sem varmaskiptar flytja varmann yfir í miðstöðvarkerfi bæjarins. Um helmingur varmans, sem tekinn er frá hrauninu, skilar sér inn í miðstöðvarkerfið.

Í rauninni er nýtingu varmans í hraunhitaveitunni ábótavant, ekki fyrst og fremst vegna varmataps, heldur vegna þess að háhitavarma hraunsins, sem er yfir 1000 gráður, er safnað

sem lághitavarma í gufu, sem er undir 100 gráðum. Þetta kemur ekki að sök þegar gufan er notuð til húshitunar, en öðru máli gegnir ef nota á hana til raforkuframleiðslu. Þá er 100 gráðu heit gufa gagnslítill.

### Orkufordí kvikuhleifa

Í Vestmannaeyjum leyfa aðstæður ekki vinnslu háhitagufu, en öðru máli gegnir þar sem hraunbráð er djúpt í jörðu undir miklum þrýstingi. Ætla má að slíkar kvikuþrær séu hér víða á gosstöðvum, enda þótt aðeins ein þeirra hafi verið staðsett með mælingum enn sem komið er.<sup>2</sup> Það er við Kröflu, en þar hafa jarðskjálftamælingar gefið til kynna hraunkviku 3–7 kílómetra undir yfirborði jarðar og með um 8 ferkílómetra útbreiðslu í láréttum fleti. Líklegt er að þessi kvikuhleifur hafi að geyma nokkra tugi rúmkílómetra af bráðnu hrauni og orkufordinn gæti svarað til 1000 megavatta vinnslu í 1000 ár.

Forðabúr þetta virðist vel varið ef dæma má eftir náttúrulegum varmastraumi jarðhitasvæðisins, sem ofan á því liggur. Ætla má að eftir 100 aldir væri þar enn bráðið hraun þó ekkert nýtt bættist við. Sterkar líkur benda þó til þess að ekki séu allir kvikuhleifar svona vel varðir gegn varmatapi, og skal þar fyrst og fremst bent á Grímsvötn í Vatnajökli. Í Grímsvötnum er mesta jarðhitasvæði landsins, en varmastraumur þess er 5000 megavött<sup>3</sup>. Engar mælingar liggja fyrir, sem sanna tilvist kvikuhleifs undir Grímsvötnum á sama hátt og við Kröflu, en hér er um að ræða mjög virkt eldgosasvæði í sigkatli, og verður því tilgátan um kvikuhleif undir Grímsvötnum að teljast trúverðug. Kvikuhleifur á borð við Kröfluhleifinn mundi hins vegar ekki nægja til að viðhalda hinum mikla varmastraumi nema örfáar aldir.

En hvað veldur hinum mikla mun í varmaeinangrun kvikuhleifanna í Kröflu og Grímsvötnum? Þar kemur fyrst í hug mismunandi vatnsbúskapur þessara svæða. Kröflusvæðið er þurr, lítil úrkoma og lítið yfirborðsvatn, en í Grímsvötnum er enginn skortur á vatni. Grímsvötn hafa líka þá sérstöðu að vatnið í þeim hækkar og lækkar um 100 metra á nokkurra ára fresti. Ætla má að vatnsbotninn sígi niður þegar hátt er í vötnunum og þrýstist upp þegar vatnsborðið er lágt. Þessi hreyfing getur haldið opnum sprungum, sem gefa vatni greiðan aðgang að hraunkvikunni.

### *Hvernig má vinna orku kvikuhleifa?*

Með Kröfluvirkjun er þegar hafin hagnýting á orku kvikuhleifa, en þó aðeins á óbeinan hátt. Með borunum í jarðhitasvæðið er safnað saman þeirri orku, sem lekið hefur á löngum tíma úr hinu mikla orkuforðabúri, sem undir liggur. Æskilegt væri að geta gengið beint í forðabúrið, en lykilinn að því er ef til vill að finna í því, sem lýst var hér að framan. Við ályktum að kvikuhleifur án öflugs jarðhitasvæðis sé vísbending um að vatn komist ekki að kvikunni í veruleg-

um mæli. Á slíkum stöðum ætti að mega framleiða gufu í stórum stíl með því að bora niður að kvikunni og veita vatni í holuna.

En þetta er hægar sagt en gert og ráðlegt að reyna að átta sig á aðstæðum áður en hafist er handa. Borunin sjálf ætti að vera framkvæmanleg. 3000 metrar eru viðráðanlegt dýpi og bora má þótt berghitinn sé allt að bræðslumarki eins og sýnt hefur verið með borunum í hraunið í Vestmannaeyjum. Við skulum gera ráð fyrir að borað yrði þar til borinn væri aðeins 10 metra yfir kvikufletinum. Þarna væri væntanlega yfir 1000 gráðu heitt, algjörlega ósprungið storkuberg. Holan væri öll fódruð nema neðstu 100 metrarnir og algjörlega lokuð frá jarðhitalögum þeim, sem borað er í gegnum. Í upphafi væri holan algjörlega lokuð, en með því að halda áfram dælingu kælivatns í botn holunnar og láta það stíga upp hana má kæla ófóðraða holuvegginn, sem við það springur, en vatnið leitar út í sprungurnar og heldur kælingunni áfram. Ef til vill má örva vatnsrennslið í sprungunum með því að hækka og lækka þrýstinginn til skiptis. Búast má við að byrjunin verði erfiðust, en eftir að vatnið hefur náð að kæla nokkurt svæði má bora aðra holu, sem lendir strax í sprungnu bergi, og mundi þá kalt vatn renna niður aðra holuna en heitt vatn eða gufa upp um hina.

Önnur hugsanleg tilhögun er að fóðra holuna aðeins niður undir neðri mörk sprungna bergsins og láta kalda vatnið síga út í þær sprungur, sem þegar eru fyrir hendi. Kalda vatnið mundi þá smátt og smátt sprengja sig niður í ósprungna bergið og að lokum komast niður að hraunkvikunni. Vinnslusvæðið yrði þá í beinu sambandi við yfirliggjandi jarðhitasvæði, en vatnslekt vinnslusvæðisins yrði væntanlega miklu meiri en jarðhitasvæðisins.

Aðstæður allar eru þarna mjög ólíkar því, sem við eigum að venjast. Þrýstingur vatnsins gæti orðið yfir krítískum þrýstingi og er þá ekki um neina suðu að ræða, en slíkt myndi draga úr kælingu miðað við það, sem gerist á yfirborði

jarðar. Hins vegar er seigja vatnsins lítil nálægt krítíska ástandinu og auðveldar það rennsli um þröngar sprungur. (Vatn er í krítísku ástandi við 374°C og 218 loftþyngda þrýsting. Eðlis-massinn er þá 400 kg/m<sup>3</sup>). Hið mikla farg á jarðlögum vinnur gegn því að sprungur opn-ist í berginu og búast má við að engar láréttar sprungur opnast nema vatninu sé dælt niður í holuna með mjög háum þrýstingi. Hinsvegar ætti kælingin og samdrátturinn, sem henni fylgir, að mynda þarna lóðréttar sprungur. Þess má því vænta að vinnslusvæðið verði stuðlabergs-myndun með lóðréttum stuðlum, sem vaxa niður á við inn í kvikuhólfið. Ef bergið er kælt niður í 400 gráður gæti sprungurýmið orðið um 1% af rúmtaki bergsins. Slíkt sprungunet gerir bergið mjög vel vatnsgengt, líklega þúsundfalt betur en gerist og gengur í jarðhitasvæðinu við Kröflu.

Engin vandkvæði eru á því að reikna út orkuna, sem losnar úr hraunkvikunni þegar hún storknar og kólnar úr t. d. 1200 niður í 400 gráður. Hver rúmmetri hrauns gefur þá frá sér um eina megavattstund af varmaorku. Ef kæli-flöturinn færir niður um 10 metra á ári er orkuvinnslan 1 kílóvatt á fermetra eða 1000 megavött á ferkílómetra.

Því miður liggja önnur atriði ekki jafn ljóst fyrir og orkureikningarnir og eflaust þarf að endurskoða sumt af því, sem hér hefur verið sagt, áður en því sé treystandi. Vandamálin eru margvísleg og margar spurningar, sem svara þarf, svo sem:

Hvernig er háttáð styrkleika og spennu bergsins og hvernig springur það við kælinguna?

Hvernig rennur vatnið um sprungurnar í berginu?

Hvaða efnaskipti eiga sér stað á milli bergs og vatns við þann mikla hita og þrýsting, sem þarna ríkir, og hve hratt ganga þau?

Hvað er það, sem hindrar vatnsrennsli að kvikuhleifnum við Kröflu?

Er hætta á að framkvæmdir þær, sem hér um ræðir geti valdið eldgos?

Svara við spurningum sem þessum má leita í tilraunastofum, þar sem líkt er eftir aðstæðum þrjá kílómetra í jörðu niðri og mælingar gerðar á grundvallareiginleikum efnanna. Fræðilegir útreikningar og vísindalegar tilgátur geta hjálpað til að brúa bilið á milli tilraunastofunnar og raunveruleikans, en endanlegt svar við því, hvort hagnýta megi orku kvikuhleifa, fæst þó varla fyrr en borað hefur verið niður að einhverjum þeirra til að sannprófa kenningarnar.

Nú þegar liggur fyrir margvísleg vitneskja um efniseiginleika við hátt hitastig og ýmsir hafa sett fram kenningar og gert fræðilega útreikninga á því, hvernig sambúð vatns og bergkviku sé háttáð djúpt í jörðu<sup>4</sup>. Tvær rannsóknastofnanir í Bandaríkjunum fást við tilraunir með að vinna orku úr heitu bergi og hraunkviku. Rannsóknir þessar tengjast einnig túlkun atburða þeirra, sem gerast í úthafshryggjum, þar sem stöðug nýmyndun jarðskorpunnar á sér stað.

Það virðist tímabært að Íslendingar taki að íhuga fyrir alvöru, hvernig nýta megi orku kvikuhleifa og geri sér ljóst, hvernig standa mætti að tilraunaframkvæmdum í því skyni. Að vísu verða slíkar framkvæmdir kostnaðarsamar, en það er eftir miklu að slægjast og áhugi erlendis fyrir verkefninu gæti orðið til þess að hægt væri að dreifa kostnaðinum.

#### HEIMILDIR:

<sup>1</sup> Valdimar K. Jónsson og Matthías Matthíasson 1974. Hraunkæling á Heimaey — verklegar framkvæmdir. *Tímarit V.F.Í.* 59: 70–81.

<sup>2</sup> Páll Einarsson 1978. S-wave shadows in the Krafla caldera in NE-Iceland, evidence for a magma in the crust. *Bull. Volcanol.* 41: 1–9.

<sup>3</sup> Helgi Björnsson 1974. Explanation of jökulhlaups from Grímsvötn, Vatnajökull, Iceland. *Jökull* 24: 1–26.

—, Sveinbjörn Björnsson og Þorbjörn Sigurgeirsson 1982. Grímsvötn: Penetration of water into hot rock boundaries of magma. *Nature* 295: 580–581.

<sup>4</sup> Gunnar Böðvarsson 1951. Skýrsla um rannsóknir á jarðhita í Hengli, Hveragerði og nágrenni. *Tímarit V.F.Í.* 36: 1–48.

C.R.B. Lister 1974. On the penetration of water into hot rock. *Geophys. J.R. astron. Soc.* 39: 465–509.

– 1976. Qualitative theory on the hot end of geothermal systems. *Proc. 2nd U.N. Symp. on Development and Use of Geothermal Resources*, 459–463.

– 1977. Qualitative models of spreading-center proces-

ses, including hydrothermal penetration. *Tectonophysics* 37: 203–218.

Trausti Einarsson 1978. Vatnsprýstingur í lóðrétum sprungum og gjám. Tæknileg og jarðfræðileg þýðing hans. *Tímarit V.F.Í.* 63: 17–25.

*Þorbjörn Sigurgeirsson*  
*Raunvísindastofnun háskólans*  
*Reykjavík*