

Brautryðjendur í jarðhitaramsóknunum á Íslandi

Hér er ætlunin að gefa yfirlit yfir rannsóknir á jarðhitunum frá upphafi og fram um 1950-60 og nefna þá sem þar voru í fararbroddi. Umfjöllunin verður þó að mestu bundin við rannsóknir á jarðhitunum sem náttúrufræðingur fremur en rannsóknir á nýtingu hans. Um hið síðarnefnda hefur verið fjallað ítarlega í bók Sveins Þórðarsonar, Auður úr iðrum jarðar, sem kom út 1998.

Nauðsynlegt að takmarka umfjöllunina í tíma og verður hér miðað við að þeir sem nefndir eru hafi lokið untalsverðu verki á sjötta tug tuttugustu aldar, þ.e. 1950-60. Eftir þann tíma tóku jarðhitaumsvif að aukast mjög með tilkomu afkastameiri kortækja og fjölgun starfsmanna að jarðhitamálum.

Um þekkingu á jarðhitunum á 18. og 19. öld

Vísindalegar rannsóknir á jarðhita hófust fyrst um miðja 18. öld. Á þeim tíma litu flestir á jarðhitann sem fylgifisk eldgosavirkinnar þótt sambandið þar á milli væri ekki ljóst, einkum að því er tekur til laugasvæðanna. Hér á landi var þekking á jarðfræði landsins enn mjög ófullkomin og miðboik landsins að verulegu leyti ókannað, terra incognita. Úti í Evrópu voru hugmyndir manna um uppruna basalts mjög óljósar. Töldu sumir að það væri upprunalega myndað sem setlög í sjó neptúnistar), en aðrir að það yrði til í eldgosum plútónistar). Á þessum tíma voru það ekki síður guðfræðingar en náttúru-heimspekingar sem fjölluðu um jarðfræðileg viðfangsefni vegna þess að kenningar Biblíunnar um sköpun heimsins og syndaflóðið áttu rík itök í hugum manna, einkum kirkjunnar þjóna. Þessi sjónarmið voru þó að vika smátt og smátt á 18. og 19. öld eftir því sem vísindalegum vinnubrögðum óx fiskur um hrygg.

Þau jarðhitafyrirbærir hér á landi sem einkum vöktu áhuga erlendra ferða- og vísindamanna á þessum tíma voru goshverimír og þá einkum Geysir í Haukadal. Slík fyrirbærir, í því umfangi sem þau eru hér á landi, voru fram yfir miðja nítjándu öld nánast óþekkt meðal Evrópumanna. Allt frá dögum Eggerts og Bjarna og langt fram á tuttugustu öld töldu útlendingar sem sóttu landið heim sér skylt að fara austur að Geysi og skoða þetta einstæða náttúrufræðingur. Var skrifaður fjöldi greina og bóka um þessar ferðir og þær athuganir sem þar voru gerðar. Sumu af því sem þar voru gerð skil er lýst nánar hér á eftir.

Í þessum ferðum voru gerðar ýmsar athuganir á jarðhitunum auk Geysis, m.a. fyrstu efnagrein-

ingamar á heitu vatni, og einnig létu menn gera fyrstu greiningar á útfellingum kringum hveru og sýndu fram á að þar væri aðallega um kísil-útfellingar að ræða.

Á þessum árum voru hugmyndir manna um uppruna hveravatns mjög óljósar. Allt fram undir aldamótin 1900 munu flestir hafa talið að heita vatnið væri að uppruna úrkona. Þá fór að heyrast sú skoðun suður í Evrópu að heita vatnið væri að verulegu leyti komin úr kviku, væri s.k. juvenilt vatn eða nývatn eins og Trausti Einarsson kallaði það. Þessar hugmyndir voru til umræðu í allmörgum erlendum greinum upp úr aldamótunum 1900, en þær áttu hins vegar litlu fylgi að fagna hér á landi og voru að lokum afsannaðar laust eftir miðja síðustu öld.

Allt frá landnáms tíð hafa Íslendingar séð breytingar verða á hverum og laugum við jarðskjálfta. Orsakimar voru þeim hins vegar ekki augljósar, og þegar þekkinguna skorti var gripið til yfirlitum eða trúarlegra skýringa á slíkum fyrirbærum.

Laugar hafa frá upphafi Íslandsbyggðar verið notaðar til baða og þvotta. Ekki eru þó mikil merki þess að bústöðum hafi fyrr á öldum verið valinn staður nær slíkum laugum en fjær þrátt fyrir notagildi þeirra. Og ekki kunnur menn neinar aðferðir til að nýta heita vatnið til hitunar hýbýla fyrr en eftir aldamótin 1900.

Margvíslegan fróðleik um hveru og laugar, notkun þeirra og sagnir tengdar þeim er að finna í ferðabók Konrads Maurers sem kom út í íslenskri þýðingu 1997. Maurer ferðaðist um hér á landi 1858.

Eggert Ólafsson (1726-68) og Bjarni Pálsson (1719-79)

Þeir Eggert og Bjarni lögðu upp í rannsóknarför sína til Íslands 1752, fáum árum eftir að Eggert lauk háskólaprófi í Kaupmannahöfn. Næstu 6 árin ferðuðust þeir um landið og sendu jafnöldum skýrslur um ferðina til Vísindafélagsins í Kaupmannahöfn. Ferðirnar voru kostaðar af stjórnvöldum í Kaupmannahöfn og voru undir umsjón Vísindafélagsins. Ferðabókin kom út árið 1772, fjórum árum eftir dauða Eggerts, og var að mestu rituð af honum. Bjarni varð landlæknir 1760 og hafði eftir það lítinn tíma til að sinna skrifunum. Rannsóknir þeirra félaga á náttúru landsins voru hinar merkustu sem gerðar höfðu verið til þess tíma. Þeir gengu m.a. fyrstir manna á Heklu og Snæfellsjökul sem þótti hið mesta glæfraspil á þeim tíma. Þeir lýstu einnig hverum,

brennisteinsnánum og ölkeldum víða um land. Eggert komst að þeirri niðurstöðu að Ísland væri allt myndað af jarðeldum, og verður það að teljast hin merkasta niðurstaða miðað við þekkingu manna á jarðfræði almennt á þessum tíma.

Til að meta rétt framlag þeirra Eggerts og Bjarna og annarra á svipuðum tíma er nauðsynlegt að hafa í huga í hvaða umhverfi þeir lifðu og störfuðu. Iðnbyltingin á Bretlandi var varla hafin, vélvæðing nánast engin og allur tækjabúnaður mjög frunstaður. Gufuafli var lítt þekkt og James Watt hafði enn ekki fundið upp gufuvélina (hún er talin fundin upp 1765).

Skilningur manna á jarðfræði landsins um miðja 18. öld kemur vel fram í riti um myndun Íslands af eldi sem Eggert sandi á latínu og kom út 1749, ári eftir að hann lauk prófi (sjá Þorv. Thoroddsen, Landfræðissaga III, 18). Eggert taldi þar og ályktaði út frá hvernig og eldfjöllum að eldur hlýti að vera innan í jörðinni. Honum væri haldið við af lofti sem komst niður í jörðina. Auk þess komst vatn niður í holur í jörðinni og samlagast þar eldi og eykur þar hvort annars afl. Í jarðskjálftum springur jarðskorpan og eldur brýst út og bræðir jarðlög og kletta. Í þessari mynd er ljóst að Eggert álitur hveravatnið að uppruna yfirborðsvatn sem sigið hefur niður í jörðina og hitnað þar. Annars eru þessar hugmyndir að venulegu leyti hinar sömu og Fom-Grikkir gerðu sér um eldgos og jarðhita og höfðu lítt breyst í meira en tvö þúsund ár. Á þessum árum mótuðu einnig frásagnir Biblíunnar af sköpun heimsins og syndaflóðinu mjög hugmyndir manna um jörðina og tilurð hennar.

Ferðir þeirra Eggerts og Bjarna hafa greinilega breytt skoðunum Eggerts á því hvernig Ísland væri myndað. Í ferðabókinni kemur fram að Eggert lítur svo á að Ísland sé mest allt myndað af jarðeldi. Hann greindi á milli ungs jarðelds, þ.e. hrauna, og foms, þ.e. gamla hraunlagastafans. Fjöllum skipti hann í regluleg og óregluleg og er þar fyrsti vísir að skiptingu í tertíerar og kvarterar jarðmyndanir sem síðar kom fram. Í ljósi þáverandi þekkingar á jarðfræði landsins verður að telja þessa niðurstöðu um uppruna bergsins hina merkustu, jafnvel á mælikvarða alþjóðlegra jarðvísinda á þeim tíma. Berggöngum eða tröllahlöðum er lýst í ferðabókinni, en ekki áttu menn þá til skýringu á tilurð þeirra.

Þeir félagar fengu sendan jarðnafar eða bor að láni frá Konunglega danska vísindafélaginu sem hafði verið stofnað 1742. Með honum boruðu þeir fyrstu holur á jarðhitasvæðum á Íslandi, í Laugamesi og í Krýsuvík. Ekki er ljóst hvers konar bor var um að ræða því að honum er ekki nánar lýst. Nafnið jarðnafar gæti bent til þess að um snigilbor hafi verið að ræða, eitthvað í líkingu við þá sem notaðir eru til að kanna undirstöður

undir mannvirki. Hann var fluttur á hestum að Laugamesi og væntanlega til Krýsuvíkur líka. Ekki er ólíklegt að hestafli hafi verið beitt til að snúa bornum. Jarðlögum þeim sem borað var í gegnum er lýst allvel og þykkt hvers um sig gefin upp á fjórðung úr feti. Borun í Laugamesi hófst 12. ágúst 1755, og varð fyrsta holan 13 3/4 fet (um 4,5 metrar). Tilgangurinn var einkum að kanna jarðlögina. Eggert og Bjarni töldu í ferðabók sinni að jarðhitinn ætti upptök sín í jarðlögum grunnt í jörðu við e.k. gerjun, en ekki neðar „eins og almennt hefur verið haldið“.

Boranir í Krýsuvík sumarið eftir hófst 1. júlí og voru boruð 32 fet. Önnur hola varð 9 fet en þá kom gos í holuna og varð að hætta við svo búid.

Hitamæla hafa þeir Eggert og Bjarni haft með sér, en oft lýstu þeir hita hvera og lauga með lýsingarorðunum: volgur, heitur, sjóðandi. Þeir mældu hita hvera t.d. í Ölfusi, á Reykhólum og í Reykjahverfi í Þingeyjarsýslu. Þeir gerðu sér grein fyrir því að útfellingar kringum hveru eru komnar frá efnunum sem eru uppleyst í heita vatninu (sbr. lýsingu á Áttver á bls. 74 í fyrna bindinu). Þá voru þeir fyrstir manna til að mæla breidd skálar Geysis og dýpt goshpunnar.

Um það bil 20 árum eftir boranir þeirra Eggerts og Bjarna voru aftur gerðar tilraunir með boranir í Krýsuvík til að kanna myndun brennisteins. Þaðvar ungur nemandi við námuskólann í Königsberg í Noregi, Ole Henschel (1750-1824), sem hafði fengið þetta viðfangsefni hjá stjórnvöldum í Kaupmannahöfn. Sumarið 1775 lét hann bora 3 holur í Krýsuvík, 10-15 feta djúpar. Niðurstöðurnar voru svipaðar og hjá Eggerti og Bjarna, og er skýrsla hans til prentuð aftan við ferðabók Ólafs Olavíusar sem kom út 1780.

Uno von Troil (1746-1803)

Uno von Troil var sænskur hirðprestur og síðar erkibiskup sem kom hingað til lands með leiðangri Sir Joseph Banks í ágúst 1772. Ferðasaga hans er skrifuð í formi bréfa og kom út í Uppsölum 1777. Hún birtist miklu síðar í íslenskri þýðingu, Bréf frá Íslandi, 1961. Í tveimur bréfa hans er fjallað um heitar uppsprettur. Þar ber hann saman heitar uppsprettur í Evrópu og íslensku hverina og segir m.a.:

„... þegar hverimír á Ítalíu eru undan skildir, veit ég þess engin dæmi, að vatnið nái suðu-marki, og hvergi í öllum hinum kunna heimi gjósa hverir svo hátt að jafnist við íslensku hverina.“ Þá ræðir hann einnig manngerða gosbrunna í Evrópu og segir þá ekki komast í neinn samjöfnuð við íslensku goshverina.

Uno von Troil dvaldist við Geysi í þrettán tíma 27. september 1772 og gerði ýmsar athuganir á

gosunum, skráði m.a. tíma, hæð og goslengi. Hverinn hefur verið fremur líflegur þennan dag og gosið a.m.k. einu góðu gosi, um 28 m háu.

Von Troil hreifst mjög af hverunum, einkum Geysi, en af einu bréfa hans má ráða að Íslendingar hafi ekki deilt skoðunum hans að öllu leyti. Þar segir hann „... mig furðar hreint ekki, þó að hjátrúarfull þjóð eins og Íslendingar haldi að hér séu dyr Helvítis. Þeir ganga líka sjaldan fram hjá slíkum hver án þess að spýta í hann eða eins og þeir komast að orði, í *ginið á fjandanum*.“

Uno von Troil tók með sér til Svíþjóðar sýni af útfellingum frá hverasvæðum sem hann afhenti læriföður sínum efnafraðingnum Torbern Bergman (1735-1784) til rannsóknar. Reyndust þau vera kísilútfellingar. Voru þetta fyrstu efnagreiningamar sem gerðar voru á útfellingum frá íslenskum hverasvæðum.

Sir John Thomas Stanley og Dr. Joseph Black (1728-1799)

Stanley kom til Íslands 1789 og skoðaði m.a. hveru á Geysissvæðinu og á Reykjum í Ölfusi. Lýsti hann þeim heimsóknum í tveimur bréfum til Josephs Black sem síðar birtust á prenti í Edinborg.

Strokkur var nýfarinn að gjósa um þessar mundir, hafði lifnað við í jarðskjálftum í júní 1789 að sögn Stanleys. Gaus hann nú hærra en Geysir, hæsta gos úr honum mældist 132 fet, en úr Geysi 96 fet.

Þess má geta hér að Kristján Sæmundsson telur að Strokkur hafi lifnað við í jarðskjálftum 1784 fremur en 1789.

Stanley tók með sér sýni af vatni frá báðum þessum svæðum og afhenti þau Joseph Black. Hann var læknir og efnafraðingur, prófessor við háskólann í Glasgow 1756-66 og Edinborg 1766-97. Hann er aðallega þekktur fyrir rannsóknir sínar í vamafræði og fyrir að hafa fyrstur manna uppgötvað koltvísýringinn (CO₂) sem hann kallaði bundið loft (*fixed air*).

Black efnagreindi fyrstur manna vatn úr íslenskum hverum 1792, m.a. úr Geysi og frá Reykjum í Ölfusi. Niðurstöðum var birtar í grein sem kom út árið eftir.

Edinborg var á síðari hluta 18. aldar og fram á 19. öldina ein af helstu menningarborgum Evrópu og miðstöð vísinda, sambærileg við París og aðrar stórborgir á meginlandinu. Þar voru m.a. að gerjast hugmyndir manna um uppruna basalts og e>li eldgosa. Deilan milli neptúnista og plútónista um uppruna basalts stóð sem hæst um þessar mundir. Aðalstöðvar plútónista voru í Skotlandi en neptúnista á meginlandinu (Þýskalandi).

Það var því ekki að undra að frá Skotlandi sæktu forvitnir vísindamenn til Íslands þar sem goshverir og þá einkum Geysir voru furðuleg náttúrufrýrbæri sem ekki voru kunn annars staðar í Evrópu á þeim tíma.

Sveinn Pálsson (1762-1840)

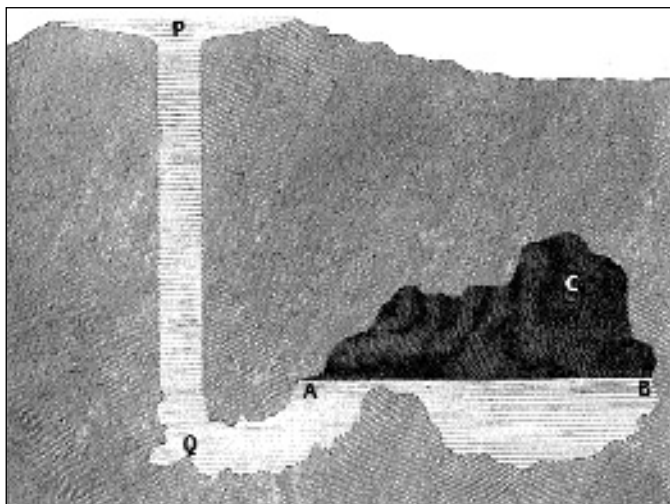
Sveinn Pálsson dvaldist við Geysi 17.-20. ágúst 1797 og fylgdist með allmörgum gosum bæði í Geysi og Strokki. Lýsti hann þeim og mældi vídd og dýpt skálar og gospípu bæði Geysis og Stroks. Í ferðabók sinni, sem rituð var á árunum 1791 til 1797 og kom út á íslensku 1945 hallaðist Sveinn greinilega að skoðunum Eggerts Ólafssonar um að orsakir jarðhitans lægju grunnt í jörðu. Dýpra væri eldur, vatn og loft. Hann lýsti gosunum á Geysissvæðinu á þann veg að upp kæmi vatn og vindur (vatns- og vindhverir). Gos Geysis áttu sér nokkum aðdraganda, en Stroks ekki.

Hugmyndir Sveins um orsakir jarðhitans hnugu mjög í sömu átt og Eggerts, að hann kviknaði í grunnum setlögum úr brennisteins- og rauðajámsmengudum leirsteini (*stratum caloricum*). Sé leirsetið þunnt kemur vatnið upp sem laug, en sé það þykkt sprettur upp hver eða jafnvel verða til brennisteinsnáur. Lýsti hann því síðan hvernig hann teldi hveragos verða þegar vatn safnaðist undir vama laginu og brytist að lokum út með afli. Hér örlar á hugmyndinni um vatnspétt einangrandi lag (*self-sealing layer*) ofan á því sem nú er kallað jarðvamageymir.

Sir George Steuart Mackenzie (1780-1848)

Skotinn Sir George S. Mackenzie ferðaðist hér á landi árið 1810 ásamt tveimur öðrum vísindamönnum. Ritaði hann bók um ferð sína og kom hún út í Edinborg 1811. Hann rannsakaði einkum jarðmyndanir, en framlag hans til jarðhitaramsóknar var aðallega það að koma fyrstur manna fram með tilgátu til að skýra orsakir Geysisgosa. Mynd 2-1 er úr bók hans og sýnir hvernig hann hugsaði sér gosferlið. Holrúmið þar sem gufa getur safnast kemur fyrir í ýmsum fleiri myndum í síðari umfjöllun um Geysisgos og sýndist sitt hverjum hvort slík holrúm væru nauðsynleg til að skýra gosferlið.

Mackenzie furðaði sig á því að Íslendingar skyldu ekki nýta heitu hverina til að hita upp vistarvenur sínar þegar mikill skortur var á orku til slíkra hluta. Á þessum tíma stóð iðnbyltingin í Bretlandi sem hæst og voru Skotar þar framarlega í flokki á mörgum sviðum. Það var því kannski ekki að undra þótt Mackenzie kæmi auga á og vekti máls einmitt á þessum nýtingarfærum.



2-1. Hugmynd Mackenzies um orsakir Geysisgosa. Hann gerði ráð fyrir að undir Geysi væri holrúm á nokkru dýpi þar sem vamaaðstreymi myndaði gufupúða C fyrir ofan vatnsborðið AB og byggði smám saman upp þrýsting sem að lokum þrýsti vatninu upp úr goshvípunni PQ og kæmi af stað gosi. Úr Ferðabók Mackenzies 1811.

Það leið hins vegar um það bil öld þangað til Íslendingar fóru sjálfir að gera tilraunir með að hita upp hús sín með heitu vatni.

Ebenezer Henderson (1784-1858)

Skoski presturinn og trúboðinn Ebenezer Henderson ferðaðist um hér á landi í tvö ár 1814 og 1815 á vegur breska Biblíufélagsins. Hann ritaði ágæta ferðabók um land og þjóð sem kom út 1818 og í íslenskri þýðingu 1957. Hann hafði lært nokkuð í íslensku áður en hann kom til



2-2. Ferðamenn skera torfhnausa og kasta ofan í gosrás Strokks. Þetta var um tíma algeng aðferð til að fá hann til að gjósa. Heimild?

landsins og hefur því vantanlega átt auðveldara með samskipti við landsmenn en flestir aðrir útlendingar á þessum tíma.

Í ferðabók sinni lýsti Henderson ítarlega nokkrum jarðhitasvæðum, einkum goshverasvæðum í Haukadal og í Reykja hverfi í Þingeyjarsýslu. Hann lýsti þeim af hrifningu ferðamannsins, en hafði ekki margt nýtt til þekkingar að leggja.

Otto Ludwig Krug von Nidda (1810-1885)

Þýski jarðfræðingurinn O. Krug von Nidda ferðaðist um Ísland 1833 og ritaði grein um heitar lindir 1836 sem kom út í enskri þýðingu ári síðar. Hann virðist hafa gert sér grein fyrir því að hverir væru mestir í virku eldgosabelti þvert yfir landið frá suðvestri til norðausturs. Hann ræðir m.a. allítarlega um goshverina á Geysisvæðinu.

Von Nidda mældi hita á yfirborði Geysis og ályktaði út frá gufubólum sem stigu upp að hitinn færi vaxandi niður eftir gosrásinni. Hann sá bæði gos Geysis og Strokks og fannst jafnvel meira til koma gosa úr hinum síðamefnda. Hann tók einnig eftir þeim mun á hegðun þeirra að Strokur var sífellt í suðu, en Geysir hvíldist milli gosa. Hann benti á að gos Geysis eru tvenns konar. Annars vegar lítil gos, 5-6 m há, og hins vegar stærri gos, allt að 30 m á hæð. Hann taldi nauðsynlegt að gera ráð fyrir holrúmunum neðanjarðar til að skýra gos-hegðun Geysis.

Krug von Nidda rakti heimsóknir erlendra manna til Geysis fram að þeim tíma og í fáum orðum hvað þeir höfðu séð. Hann lýsti einnig helstu hverasvæðum landsins, en ekki er ljóst hve mörg þeirra hann sá sjálfur. Hann ræddi sérstaklega um Snæfellsnes og undraðist hvers vegna ekki voru þar gufuhverir í ljósi þess hve eldvirkni er þar mikil.

Victor Charles Lottin (1795-1858)

Victor Lottin, franskur sjóliðsforingi og eðlisfræðingur, var í leiðangri Pauls Gaimard hingað til lands 1836. Hann kom að Geysi, lýsti honum og hverunum í kring, gerði kort af hverasvæðinu, mældi goshæð Geysis og Strokks og hita í hverunum. Hann mældi 124°C

2-3. Strokkur var mjög öflugur goshver þegar Mackenzie kom í Haukadal 1810. Að sögn Stanleys sem kom þangað 1789 hafði Strokkur þá nýlega lifnað við og gaf Stanley honum nafnið Nýi Geysir (New Geysir) sem Mackenzie notaði einnig. Á myndinni má sjá moldarhnausa og grjót sem kastað hafði verið í hverinn fljúga upp með gufusúlunni. Úr ferðabók Mackenzies 1811.

hita á 18 m dýpi í Geysi og 112°C á 12 m dýpi í Strokki. Var skýrsla Lottins hin nákvæmasta sem til var um þetta svæði á þessum tíma. Hún var prentuð í Úr ritsafni Gaimards um ferðina til Íslands. Lottin mældi einnig hita í Laugarneslaug.

Jónas Hallgrímsson (1807-1845)

Jónas Hallgrímsson ferðaðist um landið á vegum stjórnsvalda í Kaupmannahöfn til þess m.a. að skoða skilyrði til brennisteinsvinnslu. Jónas kom að Geysi í ágúst 1837 og dvaldist þar í 22 stundir. Dagbókabrot hans um dvölinna við Geysi og Strokk voru birt í *Naturhistorisk Tidsskrift* 1838-39 og hafa verið þýdd á íslensku, síðast í Ritverkum Jónasar Hallgrímssonar 1989.

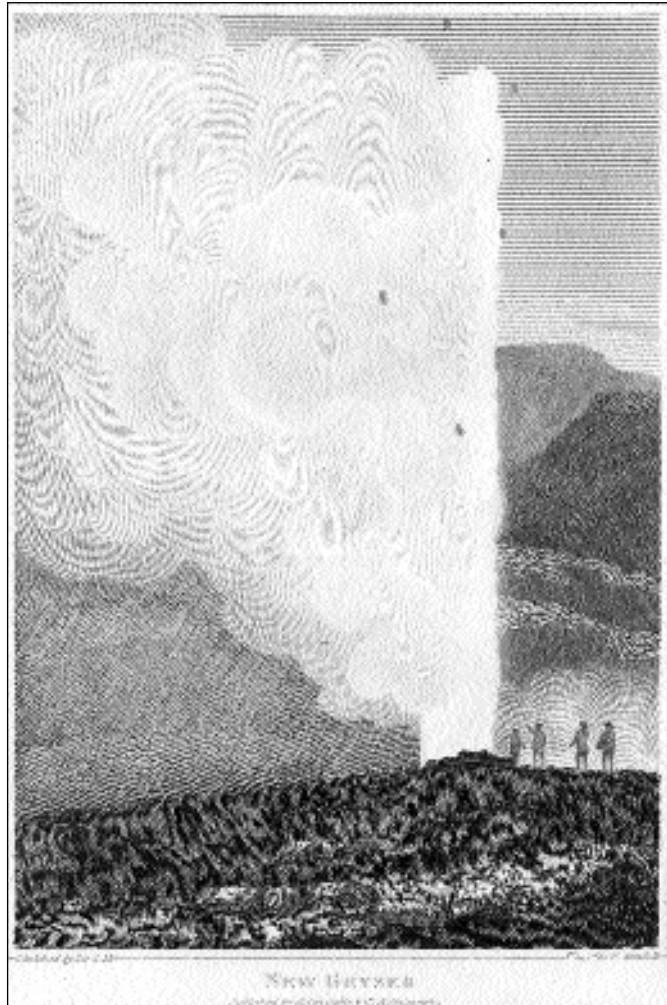
Jónas mældi hita með hámarksmæli við yfirborð Geysis (77 °R = 96 °C) og á botni (96 °R = 120 °C). Hann mældi einnig hita í öðrum hverum á svæðinu, en þegar hann ætlaði að mæla hita í Strokki brotnaði mælirinn við átökin svo að engin marktæk mæling fékkst í honum.

Jónas mældi einnig hita í kaldaværmslum víða um land og velti fyrir sér sambandi hans við meðallofthita á sama stað.

Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) og Alfred L. O. Descloizeaux (1817-1897)

Robert Bunsen var þýskur efnafræðingur sem varð þekktur aðallega fyrir að endurbæta aðferðir og tæki til nota í efnarannsóknastofum. Hann varð síðar prófessor við háskólann í Heidelberg. Hann kom til Íslands með rannsóknarleiðangri sem farinn var að frumkvæði danskra stjórnsvalda í tilefni af Heklugosi 1845-46. Meðal annarra sem voru í þessum hópnum voru franskir steindafraeðingurinn Alfred Descloizeaux og þýski jarðfræðingurinn Sartorius von Waltershausen. Kristján 8. konungur sendi tvö herskip með hóp vísindamanna til Reykjavíkur og beið annað skipið meðan þeir stunduðu rannsóknir sínar hér.

Þeir Bunsen og Descloizeaux dvöldust í tvær vikur við Geysi og sáu tíu meiri háttar gos með að

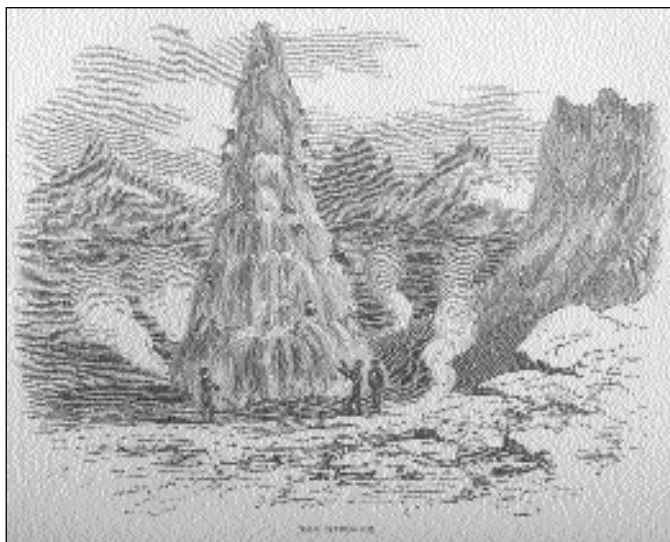


meðaltali 28 klst. millibili. Bunsen og Descloizeaux skrifuðu greinar hvor í sínu lagi og eina saman um niðurstöður rannsókna sinna.

Bunsen og Descloizeaux mældu hita í Geysis-pípurni á allmörgum stöðum. Bunsen dró eftirfarandi ályktanir af mælingum þeirra félaga í Geysi:

1. Hitinn í pípurni fer lækkandi frá botni til yfirborðs.
2. Á hverjum stað í pípurni fer hitinn vaxandi milli gosa ef frá er talin minni háttar óregla.
3. Hitinn í súlunni nær hvergi suðumarki við þann þrýsting sem þar er, jafnvel líka rétt fyrir gos.
4. Í miðri goshvélunni kemst hitinn næst því að ná suðumarki.

Bunsen taldi að suðan sem olli gosi ætti sér stað í goshvélunni sjálfri fremur en úti í berginu neðan hennar. Gufustreymi væri þó að neðan og hitaði vatnsúluna. Hann gerði einfalda tilraun með að hengja nokkur hundruð gramma steinvölur í bönd og láta þær vera á mismunandi dýpi þegar hverinn gaus. Í ljós kom að þær sem lágu á botninum hreyfðust ekki í gosi, en þær



2-4. Strokkrur gjóssandi. Sjá má moldarhnausana kastast upp úr gossípum hversins. Úr Browne 1867.

sem hingu miðsvæðis í pípunni á um 10 m dýpi köstuðust upp við gosið. Þetta styður mjög hugmyndir hans um eðli gosanna.

Þeir félagar mældu einnig hita í gossípum Strokks og töldu að ekki væri hægt að skýra gos hans á nákvæmlega sama hátt og gos í Geysi.

Bunsen taldi engan vafa á að heita vatnið í hvenum og laugum atti uppruna sinn að rekja til úrkunnar sem seytleði niður í jarðlögin eftir laganótum. Sterk rök fyrir þessu taldi hann köfnunarefnið í vatninu sem ekki gæti átt uppruna sinn í eldgosavirkninni. Hann taldi sprungur í gosbeltinu (gosbeltið með ungum hraunum kallaði hann 'die fünfte Periode der plutonischen Hebungen') trufla rennsli vatnsins niður á við meðfram hallandi jarðlögum og veita því heitu til yfirborðs. Varmagjafinn var að hans áliti eldvirkni „... unter dem Einflusse der vulkanischen Bodenwärme eine Erhitzung und Dampfbildung erfolgt“. Þetta eru svipaðar hugmyndir og Trausti Einarsson varpaði fram öld síðar til að skýra laugamar á Norðurlandi, nema þar gegndu berggangarnir sama hlutverki og gossprungumar hjá Bunsen við að leiða vatnið til yfirborðs, og varmagjafinn var hið náttúrulega varmastreymi til yfirborðs jarðar.

Bunsen ræddi mikið um útlit bergsins kringum gufuhveri. Hann taldi að þar mætti skýra flest með útstreymi og áhrifum brennisteinsvetnis. Ef því væri ekki til að dreifa liti bergið umhverfis hverina allt öðruvísi út.

Rit Bunsens og Descloizeaux virðast að einhverju marki hafa verið misskilin eða illa skýrð af enskumælandi mönnum í kennslu-bókum. Til að leiðrétta slíkan misskilning skrifaði m.a. William H. Sherzer grein í Journal of Geology 1933 sem hann kallaði „An interpretation of

Bunsen's geyser theory“. Þar reynir hann að skýra fyrir enskumælandi lesendum meginatriðin í kenningum Bunsens um orsakir og eðli Geysisgosa. Þessar kenningar voru fljótlega viðurkenndar af vísindamönnum eftir að þær voru settar fram og eru í meginatriðum í fullu gildi enn þann dag í dag.

Allen og Day (1935) telja að kenning Bunsens um orsakir Geysisgosa eigi með nokkrum breytingum við um goshveri í Yellowstone þjóðgarinum. Þeir telja að Bunsen skýri ekki hvers vegna gosin hætta og byrja aftur. Til þess þurfi holrúm neðanjarðar.

Þorvaldur Thoroddsen (1855-1921)

Þorvaldur skrifaði tvær megingreinar um hinn alkalíska jarðhita á Íslandi sem birtust 1910 (eða þar um bil) í riti danska Vísindafélagsins. Þær eru efnislega birtar aftur í ritverki Þorvalds „Die Geschichte der isländischen Vulkane“ sem kom út eftir hans dag (1925). Titill þeirrar bókar, sem ekki er frá Þorvaldi kominn, sýnir því miður ekki nægilega vel að þar séu merkar heimildir um jarðhita á Íslandi, og því varð þetta verk Þorvalds ekki fyrst í stað eins þekkt meðal jarðhitamanna utanlands og það verðskuldaði. Í þessum ritum eru raktar ítarlega heimsóknir og skrif erlendra manna um jarðhita á Íslandi og þá ekki síst um Geysi, en á 18. og 19. öld skrifuðu fjölmargir útlendingar bækur um ferðir sínar til Íslands.

Í riti Þorvalds er listi yfir helstu alkalíska jarðhitasvæðin með mælingum á hæsta hita á hverju svæði. Margar þessar mælingar gerði Þorvaldur sjálfur. Er þetta því untalsverð viðbót við þekkingu manna á jarðhitasvæðum landsins á þessum tíma. Hann lýsti einnig öllum þessum hverasvæðum og heimildum um þau sem hann hafði kannað ítarlega. Á þessum tíma var ekki farið að mæla rennsli úr hvenunum, og því voru umræður um afl og orku ekki komnar af stað.

Þorvaldur lýsti vel þekkingu manna á jarðhitatum um aldamótin 1900. Flestir töldu að jarðhitavatnið væri að mestu úrkoma sem hefði seytleð niður í jarðlögin, hitnað þar á 2-3 km dýpi og síðan leitað aftur upp til yfirborðs vegna þess að heita vatnið er léttara en það kalda. Hann greindi frá skoðunum Eduards Suess (1831-1914), austurríska jarðfræðingsins, sem taldi að varmagjafi og vatnsgjafi jarðhitasvæðanna væri heitar vatnsgufur sem streymdu út við afgösun jarðarinnar. Væri þetta ferli sem hefði ekki breyst frá upphafi og m.a. myndað heimshöfin. Þorvaldur rakti síðan þau rök sem færð hafa verið

fyrir því að heita vatnið hér væri yfirborðsvatn. Þar á meðal er gasinnihald vatnsins sem á alkalískum svæðum er aðallega köfnunarefni attað úr andrúmsloftinu. Þorvaldur neitaði því ekki að einhver lítill hluti heita vatnsins geti átt rætur sínar að rekja til kvikugasa, en taldi þann hlut óvenulegan.

Þorvaldur rakti þekktar breytingar sem orðið hafa á hverum í tengslum við jarðskjálfta í gegnum tíðina. Þá ræddi hann um tengsl hvera og brotlína sem jarðfræðingar hefðu veitt eftirtækt. Meðal annars ræddi hann sérstaklega um Vestfirði og tengsl jarðhitans þar við brotlínur og ganga.

Þótt Þorvaldur fari ekki út í það í ritum sínum að ræða margvíslegar kenningar um Geysisgos lýsti hann hverunum á svæðinu og rakti ítarlega athugasir manna á þeim. Fyrst voru goshverir í Haukadal nefndir í annálum 1294 í tengslum við breytingar sem urðu á þeim við eldgos í Heklu það ár og jarðskjálfta sem því fylgdu. Geysis var fyrst getið með því nafni í lýsingu Brynjólfs biskups Sveinssonar frá 1647. Þá virðist hann hafa hagað sér svipað og oft síðar og gosið einu sinni á sólarhring. Strokkur lá í dái fyrir 1789, en vaknaði til lífsins í jarðskjálftum það ár og var mjög virkur framan af 19. öldinni. Hann hætti að mestu að gjósa í jarðskjálftunum 1896, en var vakinn aftur með borun í botn hans 1963.

Walther von Knebel (-1907)

Von Knebel var þýskur jarðfræðingur sem var hér við rannsóknir í byrjun síðustu aldar. Hann druknaði í Öskjuvatni 1907 ásamt félagamönnum sínum er þeir voru þar við rannsóknir.

Von Knebel skrifaði eina grein um jarðhitann á Íslandi sem kom út 1906 og ræddi þar m.a. um hugsanlegan uppruna vatnsins úr kviku eins og E. Suess hafði sett fram tilgátu um á grundvelli rannsókna á laugum í Bæheimi (Marianske Lazne, Karlovy Vary og Teplice) og ítölskum eldfjöllum. Von Knebel taldi að bæði nývatn og jarðvatn kæmi upp á hverasvæðum og réði hlutfallið milli þeirra því hvort úr yrðu laugar (jarðvatn) eða gufuhverir (nývatn).

Karl Schneider (um 1913)

Dr. Karl Schneider fæddist í Bæheimi og ólst upp í nágrenni við hið tertíera eldfjall Duppau. Hann ferðaðist um Ísland 1905 og næstu tvö ár einnig um Suður-Ítalíu og Mið-Frakkland. Schneider skrifaði grein 1913 um eðli jarðhita þar sem hann fjallar bæði um jarðhitann á Íslandi, Nýja-Sjálandi og í Bæheimi. Hann gat m.a. um kenningar E. Suess og lagði þar áherslu á að engin gögn bentu til þess að vatnsgufa kæmi

með kvikunni úr iðrum jarðar þótt ýmsar gastegundir væru sennilega þaðan komnar. Því væri grunnurinn að kenningu Suess afar hæginn og ekki mætti beita henni á alla hver. Þá benti hann á að hvorki væri rennsli hvera stöðugt né hiti þeirra eftir því sem best væri vitað, en slíkur stöðugleiki væri ein helsta röksend fyrir kenningunni um kvikuuppruna vatnsins. Niðurstaða Schneiders var því sú að gastegundir á gufusvæðum væru sennilega komnar frá kviku, en vatnið væri 'vadost', þ.e. jarðvatn.

Schneider vitnaði mikið í von Knebel og einnig í Þorvald Thoroddsen um heimildir. Hann ræddi mjög samband gufuhvera, brennisteinshvera, leirhvera og vatnshvera þar sem nú eru kölluð háhitasvæði eða jarðgufusvæði. Hann taldi gufuhverina vera hina upprunalegu en hina hverina afbrigði sem yrðu til fyrir áhrif jarðvatns og ummyndunar palagónitbreksíu sem auðveldlega myndaði leirhverir með hæfilegu aðgengi að jarðvatni. Slík umyndun yrði síður þar sem jarðvegurinn væri sendinn, t.d. í nágrenni Geysis. Yfirleitt hefði aðgengi að jarðvatni mikil áhrif á það hvernig hverir litu út. Hann vitnaði í von Knebel þar sem lýst var tiltölulega litlu svæði í Krýsuvík þar sem allar þessar gerðir hvera komu fyrir á litlu svæði. Höfðu menn gert tilraunir með að stífla ýmis útstreymisop og kanna áhrifin á önnur op. Á Reykjanesi vitnaði hann til þess að sjá mætti á útfellingum að flóð og fjara réði miklu um gosvirkni hvera á því svæði, enn eitt dæmi um áhrif jarðvatnsins á hegðun hveranna. Þá hafði hann eftir K. Sapper að á Reykjanesi hefð hver gosið saltvatni á flóði en hvílt sig þegar fjara var. Von Knebel sagði einnig frá öðrum goshver um það bil kílómetra frá ströndinni sem greinilega var undir áhrifum flóðs og fjöru.

Schneider vék líka að tengslum hvera og lauga við brotlínur og taldi fram ýmis dæmi þar sem ekki væri greinilega um slík tengsl að ræða. Fremur mætti víða sjá að uppsprettumar tengdust ákveðnum svæðum, en ekki endilega línur.

Þá benti Schneider á það í ritgerð sinni að hægt væri að auka virkni Geysis með því að lækka vatnsborðið í skálinni eins og Trausti Einarsson gerði tuttugu árum síðar. Vitnaði hann í heimildir frá Nýja-Sjálandi 1891 þar sem sagt var frá slíkum tilraunum sem leiddu til aukinnar gosvirkni.

Heimild Schneiders mun vera Malfroy (1891) þar sem rætt var um gosvirkni á Rotorua-svæðinu. Þess má einnig geta í þessu sambandi að Bogi Þórðarson í Hveragerði breytti sjóðandi hver í goshver 1934 með því að lækka vatnsborð hans um 2,5 metra. Var það gert með því að leiða vatnið út um lárétta pípu frá upprennslisrás hversins. Þetta var hægt af því að

hverinn stóð í brekku. Svipuðum hugmyndum hafði Bogi varpað fram til að fá Geysi til að gjósa við konungskomuna 1907.

1/2orkell 1/2orkelsson (1876-1961)

Þorkell var eðlisfræðingur að mennt frá Kaupmannahafnarháskóla (1903). Hann var fyrsti forstöðumaður Löggildingarstofunnar og fyrsti veðurstofustjórninn frá 1920 til 1946, en Veðurstofan tók til starfa 1. janúar 1920.

Þorkell ferðaðist um landið sumarið 1906 með styrk frá Carlsberg-sjóðnum í Kaupmannahöfn til að rannsaka jarðhitann, einkum gasinnihald og geislavirkni vatns- og gufuhvera. Fyrstu meiri háttar grein sína um jarðhita birti Þorkell 1910 í riti konunglega danska vísindafélagsins. Þar skýrði hann frá niðurstöðum sínum af rannsóknum á gasi í heitu vatni á allmörgum jarðhitasvæðum norðanlands og sunnan, bæði háhita- og lághitasvæðum eins og þau eru nú kölluð. Þetta voru yfirgripsmestu rannsóknir á gasi í heitu vatni og gufu sem gerðar höfðu verið á þeim tíma. Auk mælinga á hinum venjulegu gastegundum, brennisteinsvetni, koltvísýringi, vetni, súrefni og köfnunarefni, gerði hann sér sérstakt far um að mæla innihald gassins af geislavirku lofttegundinni radon.

Fótt megináhersla Þorkels í ritgerðinni 1910 væri á því að rannsaka lofttegundirnar í heita vatninu, þá ræddi hann einnig um varmastreymi jarðhitasvæðanna og bar það saman við hið náttúrulega varmastreymi til yfirborðs jarðar með varmaleiðingu. Hann ályktaði að varmagjafi súru gufusvæðanna (háhitasvæðanna) hlyti að vera kvika neðanjarðar og þaðan væru einnig brennisteinsvetnið og koltvísýringurinn ættuð. Einnig taldi hann að alkalísku laugarnar sæktu varma sinn í heitt berg djúpt í jörðu með varmaleiðingu. Allt er þetta í góðu samræmi við hugmyndir manna nú um varmagjafa jarðhitasvæðanna og þá tvískiptingu jarðhitasvæða í háhitasvæði og lághitasvæði sem af henni leiðir.

Þorkell ræddi í grein sinni frá 1910 um kenningu Bunsens um orsakir Geysisgosa. Hann taldi að orsaka gosanna væri ekki að leita í gospípurni sjálfri eins og Bunsen áleit, heldur í rásum utan pípunnar. Þessu var Trausti Einarsson ekki sammála eins og síðar verður að vikið, hann hallaðist að kenningum Bunsens.

Þorkell veitti því einnig athygli að hverir og laugar raða sér oft eftir línun og dró af því þá ályktun að brotlínur í jörðinni væru farvegir fyrir vatnið og réðu því hvar heitar lindir mynduðust á yfirborði. Þessu hafði Þorvaldur Thoroddsen og fleiri einnig veitt eftirtækt. Þorkell ályktaði ennfræmur að algengast væri að lindirnar kæmu fram þar sem tvö sprungukerfi skerast.

Síðasta meiri háttar ritgerð Þorkels um jarðhita kom út 1940. Þar rakti hann sumar af fyrri niðurstöðum sínum og bætti við ýmsu í ljósi nýrra gagna sem hann og aðrir höfðu safnað.

Ein af niðurstöðum Þorkels var að í öllu heitu vatni væru uppleystar gastegundir sem í höfuðatriðum væru af tvennum toga. Annars vegar köfnunarefni og argon sem komin væru úr andrúmsloftinu með vatni sem síast hefði með regnvatni niður í djúpri jarðlög eða blandast heitara vatni. Hins vegar væru koltvísýringur, brennisteinsvetni og vetni sem komin væru annað hvort beint úr kviku eða úr berginu sem vatnið léki um. Þessar ályktanir dró Þorkell af fjöldamörgum greiningum sem hann hafði gert og skýringum hans á því hvers vegna mismikil væri af gasinu í hinum ýmsu hverum og laugum. Sankvænt þessu taldi Þorkell vatn í alkalískum laugum vera jarðvatn að uppruna (vadost), en tók ekki afstöðu til þess hvort eitthvað af vatninu á gufusvæðum gæti verið nývatn, þ.e. ættað úr kviku, taldi að fleira gæti komið þar til.

Þorkell veitti því athygli að hverir geta soðið þótt hiti vatnsins sé nokkuð undir suðumarki. Hann skýrði þetta svo að gasþrýstingur í suðubólunum í vatninu legðist við gufuþrýstinginn svo að samanlagt næðist ytri þrýstingur loftþyngdar.

Í einstaka laugum mældi Þorkell mikið súrefni í vatninu og taldi það tilkomið við blöndum grunnvatns. Nefndi hann sérstaklega Breiðholtslaugar sem dæmi um þetta. Þær voru á því svæði sem nú tilheyrir s.k. Elliðaáa-lághitasvæði og er eitt af vinnslusvæðum Orkuveitu Reykjavíkur. Þær hefur kæling af völdum aðstreymis kalds vatns komið í ljós við langvarandi nýtingu.

Í ritgerð sinni frá 1940 rakti Þorkell ýmsar tilraunir sem hann gerði árið 1929 í borholu nr. 10 við Þvottalaugarnar í Reykjavík ásamt Steingrími Jónssyni rafmagnsstjóra. Meðal annars dældu þeir lofti niður í holuna og mældu þrýstingsáhrif þess í vatninu neðan við loftrörið. Tvennt kom í ljós við þetta. Annars vegar lækkaði þrýstingurinn neðarlega í holunni og rennsli jókst úr henni sjálfri, og hins vegar minnkaði rennsli úr nálægum holum. Önnur tilraun sem þeir félagar gerðu fólst í því að loka holu 10 sem annars runnu úr um 10 l/s og fylgjast með því hvernig þrýstingurinn við holutoppinn hækkaði. Þarna sýnast vera á ferðinni fyrstu forðfræðitilraunir í borholum á Íslandi.

Hér má einnig nefna að Þorkell gerði tilraun til að áætla heildarorkustreymi frá jarðhitasvæðum landsins 1927 og fékk út 100.000 hestöfl (um 70 MW). Ekki var þessi tala þó byggð á neinum mælingum. Hann tók líka fram að margfalda mætti þetta afl með borunum.

Í erindi í Verkfræðingafélaginu 1938 hvatti 1/2orkell mjög til ítarlegra mælinga á náttúrulegum

laugum áður en boranir hæfust og á borholum þegar þær hefðu verið boraðar. Hann gerði sér skýra grein fyrir því gildi sem slík gögn gætu haft fyrir frekari boranir og vinnslu. Að þessu hafði ekki verið nægjanlega hugað við boranimar á Reykjum undir stjórn Hitaveitu Reykjavíkur, aðmati Þorkels.

Þess má og geta að Þorkell stakk fyrstur manna upp á því að nota hitastigulsmælingar í grunnum borholum til að kanna rennsli heits vatns neðanjarðar. Slíkar mælingum voru síðar notaðar við staðarval fyrstu borholna Gufuborsins á Laugarnessvæðinu í Reykjavík.

Tom. F. W. Barth (1899-1971)

Norski jarðfræingurinn Tom. F. W. Barth ferðaðist hér á landi á fjórða tug tuttugustu aldar og rannsakaði eldfjöll og jarðhita. Rit hans, *Volcanic Geology, Hot Springs, and Geysers of Iceland* kom út í Washington 1950 og er þar að finna bæði eigin rannsóknaniðurstöður hans og samantekt og heimildalista um eldri rannsóknir. Áður hafði Barth birt sérstaka grein um Geysi (Barth 1940).

Barth lagði áherslu á mikilvægi berggerðarinnar á jarðhitasvæðum til að skýra ýmis útlitseinkenni sem stöfuðu af ummyndun og útfellingum nálægt yfirborði á jarðhitasvæðum. Taldi hann að þessi tengsl væri auðveldara að rannsaka á Íslandi en víða annars staðar.

Barth hafði einnig skoðun á eðli og orsökum Geysisgosa og virtist þar fylgjandi kenningum Þorkels Þorkelssonar um mikilvægi gasuppstreymisins við að koma af stað gosum. Hann orðaði það þannig að grunnorsök gosanna væri sú að þegar orkustreymi að neðan inn í Geysispípuna nær ekki að streyma út um yfirborð hversins þá safnast orkan saman í pípunni og leiðir til óstöðugleika og útrásar vatnsins upp úr pípunni. Þetta eru tiltölulega einföld sannindi, en segja ekki mikið um það hvemig gosin fara af staði einstökum atriðum. Um það snerist hins vegar gagnrýni Trausta á kenningar Þorkels.

S.L. Tuxen (1908-1983)

Tuxen var danskur dýrafræingur og kom hingað til lands a.m.k. tvisvar, 1934 og 1937, og kom í fyrna skiptið á Hveravelli og í síðara skiptið að Geysi í Haukadal. Hann skrifaði tvær greinar um þessi svæði, þá fyrri um Hveravelli ásamt Johs. Humlum.

Hveravallasvæðinu lýstu þeir félagar allitarlega og báru saman við eldri heimildir. Þeir ræddu einnig uppruna vatnsins og hölluðust að skoðunum Suess o.fl. um að hveravatnið væri að hluta til juvenilt (úr kviku) og að hluta til vadbst

(upphitað jarðvatn). Kvikuvatnið flytur með sér brennisteinsvetni, en jarðvatnið ekki. Það vakti þó eftirtækt þeirra að þótt vatnið væri víðast alkalískt þá voru samt brennisteinsútfellingar við suma hverina.

Í síðari grein Tuxens í riti Vísindafélags Íslendinga fjallaði hann um Geysi og kenningar um orsakir gosanna. Hann ræddi sérstaklega kenningar Trausta Einarssonar um orsakir Geysisgosa. Trausti taldi sig hafa sýnt fram á það með því að fylgjast með hækkun vatnsborðsins í Geysi eftir gos að ekkert benti til þess að meiri háttar holrúm væru undir Geysi eins og t.d. Mackenzie hafði gert ráð fyrir. Tuxen gagnrýndi þessa niðurstöðu Trausta og taldi mælingar hans alls ekki afsanna að holrúm gæti verið til staðar. Þar með var hann þó ekki sjálfur að halda því fram að um slík holrúm væri að ræða.

Tuxen ræddi hitamælingar Trausta í Geysi og taldi þær í meginatriðum staðfesta ályktanir Bunsens um það bil einni öld áður. Hann virtist ekki sannfærður um að sú áhersla sem Trausti lagði á yfirhitunina sem orsök gosanna væri réttmæt.

Tuxen ræddi áhrif sápunnar á gosin og taldi að hún hefði fyrst og fremst þau áhrif að lækka yfirborðsspennu vatnsins. Ekki væri hægt að halda því fram að hún auðvelldaði yfirhitun vatnsins eins og Trausti hélt fram. Þá benti hann á að gas- og gufubólustreymi upp eftir súlunni og sú hræring sem því væri samfara auðvelldaði ekki yfirhitun vatnsins, heldur virkaði hvetjandi á suðuna.

Að lokum ræddi Tuxen um endurlífgun Geysis 1935 og orsakir hennar. Hann hafði eftir Trausta og eftirlitsmanni að gosin hegðuðu sér öðruvísi en áður, líka þegar rennan væri lokað. Einnig að upp hefðu komið grjóthnullungar og annað rusl með gosunum. Þetta benti til þess að orsakir hinnar nýju gosvirkni væru ekki aðeins lækun vatnsborðs og minna kælingarflatarmál, heldur væru einnig á ferðinni ástaður dýpra undir Geysi sem e.t.v. gætu tengst hugsanlegum holrúnum. Í öllum ofangreindum atriðum vitnaði Tuxen til greinar Trausta frá 1937.

Trausti var ekki ýkja hrifinn af skrifum Tuxens, og taldi hann ekki hafa vit á eðlisfræði Geysisgosa. Hann sagði m.a. um skrif Tuxens (*Náttúrufraðingurinn*, 1949): „... jafnvel dýrafræðingur einn úti í Danmörku, sem skrifaði langa ritgerð til þess að sýna, hve ósýnt mér væri um að draga réttar ályktanir um eðlisfræðileg fyrirbrigði. Þessi ágæti maður kom því næst með sína eigin skýringu á hlutunum. En ekki mundi af veita, að eitthvert furðudýr væri niðri í Geysi til að stjórna svo gangi mála, að það gerðist á þann hátt, sem honum þótti skiljanlegast.“

Á öðrum stað skrifar Trausti og er þá ekki að vísa sérstaklega til Tuxens „Gos Geysis eru eðlisfræðilegt fyrirbrigði en um þau hefur fjallað fjöldi manna sem lítið skyn bar á eðlisfræð. Og því verða Geysisbókmenntimar hið dásamlegasta sýnishorn þess hvemig rangar niðurstöður verða til.“

Trausti Einarsson (1907-1984)

Trausti var stjómfræðingur að mennt frá háskólanum í Göttingen í Þýskalandi en rannsóknir hans beindust einkum að jarðfræði og jarðeðlisfræði. Hann var prófessor í eðlisfræði og aflfræði við Háskóla Íslands 1945-1977.

Eitt fyrsta viðfangsefni Trausta á sviði jarðhita var að reyna að skýra eðli og orsakir Geysisgosa. Hann þekkti að sjálfsgöðu kenningu Bunsens, en taldi hana ekki skýra fyrirbærið nægilega vel. Trausti stóð að því 1935 ásamt nokkrum öðrum að endurvekja hverinn til lífsins með því að gera rauf í skálarbarminn og lækka þannig vatnsborð hans um 0,6 metra. Raufin var gerð 28. júlí og næstu dagana gerði Trausti ýmsar mælingar í tengslum við gosin, m.a. ítarlegri hitamælingar á mismunandi dýpi en þeir Bunsen og Descloizeaux höfðu gert. Trausti gagnrýndi líkan Bunsens í grein sem hann birti 1937 og þá einkum að þær hitamælingar sem lágu til grundvallar væru ófullnægjandi. Er þap einkum ályktun 2 hjá Bunsen (sjá hér að framan) sem Trausti telur ekki nægilega rökstudda. Að öðru leyti er ekki að sjá að Trausti hafi hrakið líkan Bunsens.

Það sem mælingar Trausta sýndu umfram mælingar þeirra Bunsens og Descloizeaux var að mikil hræring á sér stað í gossípunni eftir lítið gos þannig að hitinn jafnast nokkuð út, þ.e. hækkar efst í sípunni og lækkar neðst. Báðir töldu að það sem kæmi gosunum af stað væri súða í sípunni um það bil miðri þar sem hitaferillinn nálgast suðumarksferilinn mest. Bunsen fór ekki út í það í einstökum atriðum hvemig súðan atti sér stað, en Trausti lagði á það áherslu að yfirhitnun um allmargar gráður yfir suðuhita yrði fyrst og síðan kæmi sprengisúða sem setti stóru gosin af stað. Minni gos geta hins vegar orðið án verulegrar yfirhitunar. Þegar öllu er á botninn hvolft virðist skoðanamunur Trausta og Bunsens á orsökum Geysisgosa vera meira stigsmunur en eðlismunur.

Strokkur lá í dái á þeim tíma sem Trausti vann að rannsóknum sínum. Hann hætti að mestu að gjósa í jarðskjálftunum 1896 (var þó lítið eitt virkur 1907), en var vakinn með borun í botn hans 1963.

Trausti ritaði allmargar greinar um Geysi. Hann var á öndverðum meiði við Þorkel Þorkelsson og

taldi að gasið í vatninu væri óvenulegt og hefði ekki veruleg áhrif sem gosvaldur. Yfirhitnun væri lyklatríðið og leiddi til sprengisúðu. Sþugjöf auveldaði yfirhitnunina samkvæmt tilraunum Trausta og gæti valdið allt að 10-12°C yfirhitun, en ósá það vatn hitnaði aðeins um um það bil 4 °C yfir suðumark áður en sprengisúða hefist.

Þekktastur er Trausti fyrir kenningar sínar um orsakir og eðli jarðhitans. Hann birti grein 1937 um tengsl lauga og bergganga í eldri (tertíeru) bergmyndun landsins og taldi þar að gangamir mynduðu stíflu gegn rennsli vatns eftir millilögum hrauna í gömlum bergmyndunum landsins. Vatnið leitaði meðfram göngunum upp til yfirborðs af óþekktu dýpi.

Í grein sem Trausti skrifaði 1939 og birtist 1942 í riti Vísindafélags Íslendinga mótaði hann hugmyndir sínar frekar og byggði þar fyrst og fremst á jarðfræðiathugunum sínum á tertíeru svæðunum á Norðurlandi sem hann hafði rannsakað ítarlega meðan hann var kennari á Akureyri, m.a. mælt fyrstur manna hita og rennsli lauga á þessu svæði á kerfisbundinn hátt. Á þessum tíma voru menn almennt þeirrar skoðunar að jarðhiti, bæði alkalískur og súr eins og svæðin voru kölluð þá, staði í tengslum við eldvirkni og væru tengslin nánari við súnu svæðin en hin alkalísku.

Í grein sinni 1942 færði Trausti rök fyrir því að jarðhiti á Norðurlandi gæti ekki verið í tengslum við tiltölulega unga eldvirkni og gilda þau rök flest enn þann dag í dag. Hann áleit að allt jarðhitavatn væri „vadost“ og studdi það reikningslegum rökum. Hann taldi að grunnvatnið sigi niður í berggrunninn eftir hallandi hraunlögum og taldi sig sjá samband milli halla jarðlagastafans og hita lauga sem þar væru. Öðru hverju stífluðu gangar þetta rennsli og veittu því til yfirborðs. Þótt gangamir væru vatnsleiðandi að vissu marki taldi hann þá sjálfa ekki vera meginvatnsleiðara til yfirborðs. Basaltstaflarn taldi hann vera nálægt 3.000 m þykkur og þar fyrir neðan tækju við þéttari jarðlög sem vatnið kæmist ekki niður í.

Trausti velti fyrir sér hugsanlegum heitum innskotum sem varmagjafa laugasvæðanna á Norðurlandi og komst að þeirri niðurstöðu að þau gætu ekki viðhaldið afli laugasvæðanna í þær milljónir ára sem hann taldi að jarðhitans hefði gætt og því yrði að leita annarra skýringa. Hann hélt því einnig fram að jafnvel í gosbeltinu stafaði him mikli jarðhiti ekki frá eldvirkninni, heldur öðrum hringrásaraðstæðum, væntanlega á meira dýpi en annars staðar.

Því er oft haldið fram að líkan Trausta af lágheitsvæðum, og reyndar öðrum svæðum líka, felist aðeins í því að almennur vatnsstraumur sé frá hálendi til láglandis og laugasvæðin séu afrennsli frá þessum straumi. Eldri skrif Trausta

er tæplega hægt að lesa á þennan hátt. Þótt grunnvatn seytili jafnan undan halla lagði hann áherslu á að halli jarðlaga réði því hvemig grunnvatni bærst niur í dýpri jarðlög og hitnaði ½ar. ½etta eru svipaðar hugmyndir og Bunsen setti fram um hundrað árum áður. Halli jarðlaga er sem kunnugt er býsna óreglulegur víða á landinu og alls ekki alltaf frá hálandi til sjávar. Berggangar sem víða skerast gegnum hraunlagastaflann mynduðu að mati Trausta stíflur sem veittu vatninu til yfirborðs.

Í síðari grein Trausta 1950 sem reyndar var ekki prentuð fyrr en 1966 lagði hann hins vegar meiri áherslu á hið almenna vatnsstreymi frá hálandi til láglandis sem gæti verið á mismunandi dýpi. Þar ræddi hann einnig um samband hins súra jarðhita og alkalíska og rakti skoðanir margra erlendra jarðfræðinga á undanföllum áratugum sem töldu súran jarðhita nátengdan eldleðu í jarðskorpunni. Sjálfur taldi hann þarft að gera ráð fyrir öðru en víðtakari vatnshringrás undir Hengilssvæðinu en almennt gerist á vatnshverasvæðum. Hann taldi að hafna bæri hugmyndinni um uppruna jarðhitans í Hengli í eldleðju.

Á einum stað ýjaði Trausti að því að útfellingar úr vatninu gætu lokað rásum til yfirborðs og þá gæti myndast lokað hringrás vatnsins sem gæti haldið áfram þangað til rásir lokaðust að fullu eða jarðlagabyltingar lokuðu þeim. Þessi hugmynd er svipuð því sem menn aðhyllast nú sem skýringu á lágheatasvæðum landsins. Gunnar Böðvarsson setti hana fram 40 árum síðar en þá voru skrif Trausta um þetta gleymd.

Það er athyglisvert að tæpum 10 árum áður en Trausti skrifaði grein sína 1942 hafði danski landfræðingurinn Niels Nielsen skrifað grein þar sem hann komst að þeirri niðurstöðu að eldvirkni landsins og einkum sprungugosin væru best skýrð með því að gera ráð fyrir landreki í anda Wegeners þar sem landið væri að rifna eftir gosbeltinu og hraunkvika leitaði upp um rifumar. Trausti hefur hvergi svo mér sé kunnugt vitnað í þessa grein Nielsens en þar hefði hann kannski fundið eðlilega skýringu á kvikuinnskotum í gosbeltinu. Hann hafði hins vegar allt aðrar hugmyndir um myndunarsögu landsins.

Helsti veikleiki Trausta í tilraunum sínum til að skýra jarðhitann var að hann slegpti því nánast að rannsaka háhita- eða gufusvæðin eins rækilega og hann rannsakaði laugasvæðin á Norðurlandi. Hann lét sér nægja að vísa til dýpra rennslis vatnsins. Á einhvern óljósan hátt átti vatnið að taka í sig gastegundirnar koltvísýring og brennisteinsvetni og skila þeim til yfirborðs í gufu-hverum. Í þessu sambandi verður að taka fram að á þessum tíma voru ekki til neinar mælingar á

hita í gufuborholum á gufusvæðum og því ekki á miklu að byggja þar að lútandi.

Eftir að raforkumálaskrifstofan og jarðborunar-deild hennar var sett á fót 1947 var Trausti einatt fenginn sem ráðgjafi í jarðhitamálum. Þannig urðu nán skoðanaskipti hans og Gunnars Böðvarssonar um þau mál og koma þau fram í skýrslum og prentuðum greinum þeirra. Í skýrslu sem Trausti skrifaði fyrir raforkumálaskrifstofuna 1950 virtist hann jafnvel tilbúinn að líta á allan jarðhita sem afrennsli djúps rennslis yfirborðsvatns undan hallanum frá miðbiki landsins. Fljótt kom í ljós að þótt Gunnar samfærðist um að skýringar Trausta á alkalíska jarðhitannum og vamaðgjafa hans væru réttar, þá gat hann ekki samfærst um að háhitasvæðin væru af sömu rótum. Trausti hafði áður fært rök fyrir því að jarðhiti væri fyrirbæri sem hefði verið til á Íslandi í milljónir ára. Gunnar reyndi að meta náttúrulegt orkuústreymi frá Hengilssvæðinu og fékk út að óhugsandi væri að hinn náttúrulegi vamastraumur gæti staðið undir þessu orkuústreymi í þann tíma sem talið var að jarðhitans hefði gætt. Trausti mun hafa metið orkuústreymi frá háhitasvæði talsvert lægra en Gunnar, en þarna skorti tilfinnanlega mælingar.

Skrif Trausta um 1950 voru til orðin vegna rannsókna sem þá fóru fram á vegum raforkumálaskrifstofunnar með virkjun jarðhitans í Hengli til raforkuvinnslu í huga. Trausti komst að þeirri niðurstöðu út frá hugmyndum sínum um uppruna jarðhitans í Hengli að bestu virkjunarsvæðin væru í jaðri Hengilssvæðisins, en ekki inni á því miðju. Samkvæmt hugmyndum þeirra sem vildu skýra orsakir jarðhitans í eldleðju áttu hins vegar bestu virkjunarskilyrðin að vera nálægt miðju svæðisins. Nú upp úr aldamótunum 2000 standa yfir miklar virkjunarfrankvæmdir á Hengilssvæðinu, og verður þá e.t.v. úr því skorið hvað er réttast í þessu máli.

Þegar horft er á þessi mál um aldamótin 2000 er ljóst að ófullkomnar hugmyndir manna á þessum tíma um orsakir eldgosa á Íslandi gerðu Trausta erfitt fyrir með að finna skýringu á því hvers vegna kvikuinnskot gætu orðið til í ríku mæli í gosbeltinu. Landreks- eða flekakenningin, sem Trausti viðurkenndi aldrei, hefur í raun gert innskotamyndun í gosbeltinu auðskiljanlega og þar með bæði myndun háhitasvæða og hinn tiltölulega háa hitastigul í jarðskorpu landsins utan gosbeltanna. Gunnar Böðvarsson ritaði ásamt G.P.L. Walker merka grein 1964 um landrek á Íslandi. Hann átti ekki í neinum erfiðleikum með að gera ráð fyrir kvikuinnskotum í gosbeltinu sem vamaðgjafa háhitasvæðanna.

Gunnar Böðvarsson (1916-1989)

Árið 1945 var Rafmagnseftirliti ríkisins undir stjórn Jakobs Gíslasonar falið að taka við jarðborunum á vegum ríkisins af Ramnsóknarráði ríkisins. Gunnari Böðvarssyni sem hafði lokið verkfræðiprófi í Þýskalandi og starfaði í Danmörku var boðið starf á þessu sviði sem hann þáði. Hann kom heim með fyrstu skipsferð frá Norðurlöndum eftir stríðið.

Gunnari var falin yfirstjórn jarðborana og gufuranáskana hjá Rafmagnseftirlitinu. Þegar Raforkunáskrifstofan var sett á fót 1947 varð hann yfirverkfræðingur Jarðborana ríkisins og gegndi því starfi til 1961. Hann var einnig forstöðumaður Jarðhitadeildar Orkustofnunar frá stofnun hennar 1956 til 1964.

Hann fór í ársleyfi til Bandaríkjanna 1964, en ílentist þar og var prófessor við Oregon State University frá 1964.

Gunnar skrifaði fjölda greina um jarðhita bæði í innlend og erlend tímarit. Hann var um margt langt á undan sinni samtíð. Frjócasti tími hans sem jarðhitavísindamaður var á þeim árum sem hann starfaði hér á landi, enda efnisföng öll auðveld hér. Ein víðamesta grein hans frá þessum tíma var skrifuð í tengslum við jarðhitaramsóknir í Hengli á árunum rétt fyrir 1950 og birtist í Tímariti Verkfræðingafélagsins 1951. Þar fjallaði hann um jarðhitann almennt frá eðlisfræðilegu og verkfræðilegu sjónarmiði. Þessi grein var mikið framfaraspor í þekkingu og skilningi á jarðhitinum og eiginleikum hans sem orkulindar. Hún var skrifuð á íslensku og varð því ekki eins kunn erlendis og hún verðskuldaði þó sagnir séu um að hún hafi verið þýdd á ensku af Ný-Sjálendingum. Á þeim tíma sem Gunnar dvaldist í Bandaríkjunum vann hann áfram úr gögnum frá íslenskum og birti fjölmargar greinar sem hafa haft gildi fyrir þekkingu og skilning á íslenskum jarðhitasvæðum.

Meðal nýrra hugmynda sem fram komu í skrifum Gunnars má nefna skiptingu jarðhitasvæða í háhita- og lághitasvæði. Áður hafð verið til svipuð skipting í súr og alkalísk svæði eða skipting eftir hveralofti í vatninu. Gunnar gerði sér hins vegar grein fyrir því að hitinn í neðri hluta jarðhitakerfanna var mishár og eftir því fóru ýmsir aðrir eiginleikar. Frá hagnýtu sjónarmiði var rökrétt að innleiða skiptingu eftir hita vegna mismunandi nýtingarmöguleika sem hvor tegundin fyrir sig býður upp á. Þessi skipting í háhita- og lághitasvæði er nú notuð í meginatriðum um allan heim.

Gunnar velti einnig fyrir sér efnainnihaldi heita vatnsins og orsökum þess. Hann tók fyrstur manna eftir því sambandi sem virðist ríkja milli kísilinnihalds vatnsins og hita þess djúpt í

jarðhitakerfunum og bjó til reynsluformúlu um þetta samband. Með því má spá fyrir um djúphita jarðhitavatns áður en boranir fara fram. Þessi aðferð hefur verið þróuð áfram af jarðefnafræðingum, einnig fyrir önnur uppleyst efni en kísil, og er nú mikið notuð til að áætla hita í jarðhitakerfum áður en boranir fara fram.

Á fyrstu árum hitaveitna hér á landi komu oft upp vandamál vegna útfellinga í rörum og öðrum búnaði. Gunnar gerði úttekt á þessum vandamáli og birti grein um athuganir sínar 1950. Hann taldi sig sjá samband milli ryðmyndunar í rörum og útfellinganna og fann þannig út að súrefni í vatninu ylli því. Þarna var um hönnunargalla að ræða hjá hitaveitunum, og málið leystist með því að koma í veg fyrir að súrefni kæmist að vatninu. Heita vatnið er súrefnisnautt þegar það kemur úr jörðinni ef það blandast ekki köldu grunnvatni.

Gunnar safnaði sýnum af laugavatni á Reykjavíkursvæðinu og í Eyjafirði um 1960 og lét ísótópagreina þau í Bandaríkjunum til að kanna uppruna vatnsins. Í ljós kom að vatnið var að mestu úrkomuvatn og innihélt að mati Gunnars sáralítið ef nokkuð af nývatni úr kviku. Þetta voru fyrstu greiningar á ísótóphlutföllum í heitu vatni hérlendis.

Gunnar mun fyrstur manna hafa lagt á það áherslu að jarðhitaorkan væri að venulegu leyti takmörkuð auðlind sem væri bundin að mestu í heitu bergi. Reyndi hann að meta gróft orkuforða helstu háhitasvæða landsins. Hann taldi vinnslu jarðhitaorkunnar að mörgu leyti sambærilega við námavinnslu á því leyti að hún eyddist þegar af væri tekið. Frá nýtingarsjónarmiði var mjög mikilsvert að gera sér grein fyrir þessu. Gunnar skrifaði fjölda greina um hagkvæma nýtingu þessa orkugeymis. Þegar leið á tuttugustu öldina og tölvutæknin hélt innreið sína af fullum þunga fóru menn að gera flókna líkanreikninga á jarðhitageymum og draga af þeim viðtækar ályktanir. Gunnar var talsvert gagnrýninn á sum þessa reikninga og taldi af þeim dregnar meiri ályktanir en efni stóðu til. Hvað sem um það má segja er ljóst að þessi tækni hefur hjálpað til að auka skilning manna á því flókna samspili bergs og vatns sem á sér stað í jarðskorpunni á jarðhitasvæðum.

Eins og nefnt var hér að framan var Gunnar með þeim fyrstu sem reyndu að meta orkuforða og orkugetu helstu háhitasvæða landsins. Það er ástæða til að geta þess að hann var alla tíð mjög varkár í slíku mati og vissi að bjartsýnisáætlanir kynnu að verða misnotaðar af þeim sem minna þekktu til. Í grein sem hann skrifaði 1948 ásamt Steingrími Jónssyni og Jakobi Gíslasyni reyndi hann að meta heildarorkustreymi frá jarðhitasvæðum landsins. Í ljósi núverandi

vitneskju um þetta, sem m.a. er fengin með útreikningum á orkulosun í Skeiðarárhlaupum frá Grímsvötnum, hefur Gunnar farið ótrúlega nærri um náttúrulega orkulosun frá háhitasvæðunum, en hana er mun erfiðara að mæla en frá lág-hitasvæðunum. Niðurstöður hans voru þessar (umreiknað í MW):

- Lág-hitasvæði: 440 MW
- Gufa á háhitasvæðum: 700 MW
- Anna> á jarðhitasvæðum: 1750 MW

Alls eru þetta 2.890 MW eða um 0,7 milljarðar cal/s. Lengi vel notaði Gunnar tölur 1 milljarð cal/s fyrir háhitasvæðin og 0,1 milljarð cal/s fyrir lág-hitasvæðin. Á grundvelli ofangreindra mælinga á Grímsvötnum virðist besta núverandi mat á náttúrulegri varmalosun allra háhitasvæða landsins vera nálægt 9.000 MW.

Í tveimur af síðustu greinum sínum frá 1982-83 tók Gunnar fyrir sérstaklega eðli lág-hitasvæðanna á Íslandi, rennslisleiðir vatnsins og varmajafa þeirra. Þar sýndi hann fram á að þau gögn sem fyrir liggja, hita- og rennslismælingar lauga, hitamælingar í borholum, samsætumælingar Braga Ámasonar o. fl., samræmast þeirri hugmynd að staðbundin hræring vatns eigi sér stað undir lág-hitasvæðum. Þar sé í gangi vamanám þar sem hringrás vatnsins flytji vana frá dýpri jarðlögum til hinna grynri. Þetta er önnur mynd af rennsli vatnsins en Trausti hugsaði sér, en engu að síður nokkuð líkleg, a.m.k. fyrir sum lág-hitasvæði. Með þessu líkani er hægt að skýra hið mikla afl sumra laugasvæða, t.d. Deildartunguhvers. En jafnframt felur þetta líkan í sér að jarðhitinn á þessum svæðum er tímabundið fyrirbæri, ekki síst ef rennslið er aukið verulega með borunum og dælingu úr borholum.

Þorbjörn Sigurgeirsson (1917-1988)

Þorbjörn var framkvæmdastjóri Rannsóknarráðs ríkisins 1949-1957 og prófessor í eðlisfræði við Háskóla Íslands frá 1957 til 1987.

Það er einkum fermt sem Þorbjörn hefur lagt til jarðhitarannsóknna. Hann tók þátt í rannsóknunum á Hengilssvæðinu rétt fyrir 1950 og mældi þá m.a. geislavirkni íslensks bergs og sýndi fram á að hún er lítil og getur ekki skipt máli sem orkugjafi jarðhitasvæðanna.

Um svipað leyti gerði Þorbjörn nákvæmar mælingar á hita í Geysi í Haukadal og sýndi fram á að hitasveiflur í gossípurni valda öðru hverju yfirhitnun vatnsins sem getur leitt til gufsprenginga og goss. Þetta leit Trausti Einarsson á sem sönnun á hugmyndum sínum um orsakir Geysisgosa.

Í þriðja lagi setti Þorbjörn fram hugmyndir um vamanám vatns úr heitu bergi sem byggðust á

reynslu hans af hraunkælingu í Vestmannaeyjum meðan eldgosið þar stóð yfir. Þessar hugmyndir birti hann ásamt fleinum í grein í Nature 1982.

Að lokum er svo að geta umfangsmikilla flugsegulmælinga Þorbjörns sem sýndu m.a. að sterkar segulóreglur eru yfir sumum háhitasvæðum, og eru þær taldar stafa af eyðingu segulmögnunar bergsins vegna hita og ummyndunar. Dæmi um skýra mynd af þessu tagi er segulsviðið yfir Námfjallssvæðinu sem sýnir áberandi lægð í segulsviðinu yfir háhitasvæðinu.

Heimildir

- Allen, E.T. and A.L. Day, 1935. Hot Springs of the Yellowstone National Park. Carnegie Institution of Washington; 525 pp.
- Barth, Tom. F.W., 1940. Geysir in Iceland. Am. J. Sci., 238; 381-407.
- Barth, Tom. F.W., 1950. Volcanic Geology, Hot Springs, and Geysers of Iceland. Publ. 587 of the Carnegie Institution of Washington; 174 pp.
- Black, J. 1791. An analysis of the waters of some hot springs in Iceland. Transactions of the Royal Society. Edinburgh, III part 2; 95-126.
- Browne, J.Ross, 1867. The Land of Thor. Harper & Brothers, New York, VIII; 542 bls.
- Bunsen, R., 1847. Über den inneren Zusammenhang der pseudovulkanischen Erscheinungen Islands. Wöhlers und Liebigs Annalen der Chemie und Pharmacie, 62; 1-59.
- Descloizeaux, A.L.O., 1847. Observations physiques et géologiques sur les principaux geysirs d'Islande. Annales de Chimie et de Physique, 3. serie, tome XIX; 444-470.
- Eggert Ólafsson. Ferðabók Eggerts Ólafssonar og Bjarna Pálssonar um ferðir þeirra á Íslandi árin 1752-1757, I-II. Útg. Haraldur Sigurðsson og Helgi Hálfðánarson 1943; 434+317 bls. Frumútgáfa á dönsku 1772.
- Eggert Ólafsson, 1805. Travels in Iceland. London, Richard Phillips, 162 pp. (Stytt þýðing). Endurútgefin 1974 af Emi og Örlygi, Reykjavík.
- Gunnar Böðvarsson, Steingrímur Jónsson og Jakob Gíslason, 1948. Jarðhiti á Íslandi og áhrif hans á vinnslu og notkun raforku í landinu (síðari hluti). Tímarit V.F.Í., 33; 78-85.

- Gunnar Böðvarsson, 1950. Súrefni í laugarvatni og tæring pípukerfa. *Tímarit V.F.Í.*, 35; 70-72.
- Gunnar Böðvarsson, 1951. Skýrsla um rannsóknir á jarðhita í Hengli, Hveragerði og nágrenni, árin 1947-1949. Fyrri hluti. *Tímarit V.F.Í.*, 36; 1-48.
- Gunnar Böðvarsson, 1954. Terrestrial heat balance in Iceland. *Tímarit V.F.Í.*, 39; 69-76.
- Gunnar Böðvarsson, 1962. The use of isotopes of hydrogen and oxygen for hydrological purposes in Iceland. *Jökull*, 12; 49-54.
- Gunnar Böðvarsson og G.P.L. Walker, 1964. Crustal drift in Iceland. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 8; 285-300.
- Gunnar Böðvarsson og D.E. Eggertsson, 1972. The exergy of thermal water. *Geothermics*, 1; 93-95.
- Gunnar Böðvarsson, 1974. Geothermal resource energetics. *Geothermics*, 3; 83-92.
- Gunnar Böðvarsson, 1982. Terrestrial energy currents and transfer in Iceland. In: *Continental and Oceanic Rifts* (ed. G. Pálmason), *Geodynamics Series*, vol. 8. Am. Geophys. Union - Geol. Soc. Am., Washington D.C.; 271-282.
- Gunnar Böðvarsson, 1983. Temperature/flow statistics and thermomechanics of low-temperature geothermal systems in Iceland. *J. Volcanol. Geoth. Research*, 19; 255-280.
- Helgi Björnsson, Sveinbjörn Björnsson og Þorbjörn Sigurgeirsson, 1982. Penetration of water into hot rock boundaries of magma at Grímsvötn. *Nature*, 295; 580-581.
- Helgi Torfason, 1985. *The Great Geysir*. Útg. Geysisnefnd; 24 bls.
- Henchel, Ole, 1780. Underretning om de islandske Svovel-Miner samt Svovel-Raffineringen sammesteds, 30. Januar 1776. Prentað aftan við ferðabók Ólafs Olavíusar frá 1780.
- Henderson, E., 1818. *Iceland; or the journal of a residence in that island during the years 1814 and 1815*, I-II. Edinborg. Snæbjörn Jónsson þýddi og gaf út 1957; 456 bls. + myndir.
- Jónas Hallgrímsson, 1838-39. Gjeísir og Strokur. *Naturhistorisk Tidsskrift*; 209-222. Kaupmannahöfn.
- Knebel, W. von, 1906. Studien in den Thermengebiete Islands. *Naturwissensch. Rundschau*, 21 (12); 1-15.
- Konrad Maurer, Íslandsferð 1858. Baldur Hafstað þýddi. Útg. Ferðafélag Íslands 1997; 453 bls.
- Krug von Nidda, O., 1836. Ueber die Mineralquellen auf Island. C.I.B. Karsten's Archiv für Mineralogie, Geognosie, Bergbau und Hüttenkunde, IX, Berlin; 247-284.
- Krug von Nidda, O., 1837. On the mineral springs of Iceland. *The Edinburgh New Philos. Journal*, v. 22, 90-110 & 220-226.
- Mackenzie, G.S., 1811. *Travels in Iceland*. Chambers, Edinburgh.
- Malfroy, C., 1891. On Geyser-action at Rotorua. *Transactions New Zealand Institute*, XXIV; 579-590 + 3 myndasíður.
- Nielsen, N., 1933. Contributions to the physiography of Iceland, with particular reference to the highlands west of Vatnajökull. D. Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Skrifter, Naturv. og Matemat. Afd., Række IV. 5; 105 bls. +32 myndasíður + 9 kort.
- Schneider, K., 1913. Beiträge zur Theorie der heissen Quellen. *Geol. Rundschau*, IV; 65-104.
- Sherzer, William H., 1933. An interpretation of Bunsen's geyser theory. *J. Geology*, 41; 501-512.
- Stanley, J. T., 1793. An account of the hot springs near Rykum in Iceland. *Trans. Roy. Soc. Edinburgh*, 3 (2); 127-137.
- Stanley, J. T., 1793. An account of the hot springs near Haukadal in Iceland. *Trans. Roy. Soc. Edinburgh*, 3 (2); 138-153.
- Suess, Eduard, 1902. Ueber heisse Quellen. *Verhandl. der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte* 1902; 2-20.
- Sveinn Pálsson. *Ferðabók, dagbækur og ritgerðir 1791-1797*. Jón Eypórsson bjó til prentunar 1945; 813 bls.
- Sveinn Þórðarson, 1998. Auður úr iðrum jarðar. Saga hitaveitna og jarðhitanýtingar á Íslandi. Hið íslenska bókmenntafélag; 656 bls.
- Trausti Einarsson, 1937. Über eine Beziehung zwischen heissen Quellen und Gängen in der isländischen Basaltformation. *Vís. Ísl., Greinar I.2*; 135-145.
- Trausti Einarsson, 1937. Über die neuen Eruptionen des Geysir in Haukadalur. *Vís. Ísl., Greinar I.2*; 149-166.

- Trausti Einarsson, 1942. Über das Wesen der heißen Quellen Islands. *Vís. Ísl.*, XXVI; 91 pp.
- Trausti Einarsson, 1949. Gos Geysis í Haukadal. *Náttúrufræðingurinn*, 19; 20-26.
- Trausti Einarsson, 1966. Um orsakir jarðhitans. *Tímarit V.F.Í.*, 51; 23-32.
- Trausti Einarsson, 1967. The Great Geysir. Útg. Geysisnefnd, Reykjavík; 30 bls.
- Tuxen, S.L., 1938. Bemerkungen über die erneuerte Aktivität des Grossen Geysir in Haukadalur. *Vís. Ísl.*, XXIII; 25 pp.
- Forbjörn Sigurgeirsson, 1949. Hitamælingar í Geysi. *Náttúrufræðingurinn*, 19, 27-33.
- Forbjörn Sigurgeirsson, 1951. Skýrsla um mælingar á geislamagni íslenskra bergtegunda, gerðar sumarið 1948. *Tímarit V.F.Í.*, 36; 60-63.
- Forbjörn Sigurgeirsson, 1970. Aeromagnetic survey of SW Iceland. *Science in Iceland*, 2; 13-20.
- Forkell Forkelsson, 1910. The hot springs of Iceland. *D. Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Skrifter*, 7, Række, Naturvidensk. og Matem. Afd. 8, No 4, Kaupmannahöfn; 179-265 + 13 myndasíður.
- Forkell Forkelsson, 1927. Afl hvera og lauga hjer á landi. *Tímarit V.F.Í.*, 12; 41-43.
- Forkell Forkelsson, 1940. On thermal activity in Iceland. *Vís. Ísl*, Greinar XXV; 139 bls.
- Forvaldur Thoroddsen, 1892-1904. Landfræðisaga Íslands I-IV. Kaupmannahöfn; 1372 bls.
- Forvaldur Thoroddsen, 1910. De varme kilder paa Island, deres fysikalisk-geologiske forhold og geografiske udbredelse. *Kgl. Danske vidensk. Selsk. Forhandling*, No. 3; 183-257.
- Forvaldur Thoroddsen, 1925. Die Geschichte der isländischen Vulkane. *Kgl. danske vidensk. Selsk. Skrifter*, ser. 8, No. 9; 463 bls.
- Von Troil, U., 1777. Bref rörande en resa til Island MDCCCLXXII. Upsala. Kom út í íslenskri þýðingu árið 1961.