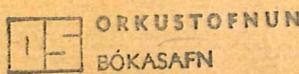


1 hillu

1



Skýrslu



[1950]

Trausti Einarsson:

Um orsakir jarðhitans.

Í eftirfarandi greinargerð eru tekin til athugunar nokkur at-riði er snerta orsakir jarðhitans og er hún einskonar viðbætir við ritgerð mína frá 1942 (über das Wesen der heissen Quellen Islands). Síðan sú ritgerð var saman hafa farið fram viðtækjar rannsóknir á jarðhitum og eru helstu niðurstöður þeirra nú að koma á prent. Vil ég athuga hér á eftir hvaða ljósi þessar rannsóknir varpi á kjarnaspurninguna um jarðhitann, sem sé orsakir hans, og auka við það eftir fögnum.

Jarðhitinn hefir verið flokkaður í tvennt, í súran og alkaliskan eða basiskan jarðhita. Vatn og gufa í súrum hverum sýnir súra svörun (reaktion), en í hinum basiska. Svörun vatnsins er gefin til kynna með svonefndu PH - gildi, sem er 7 fyrir hreint vatn, lægri fyrir súra og hærri fyrir basiska svörun.

Ýmsir hafa gengið lengra í flokkun jarðhitans, en það skiftir minna málí fyrir þau sjónarmið, sem hér verða rædd, og mun ég aðeins gera greinarmun á hinum tveimur flokkum þar sem rætt verður um sam- band þeirra á milli.

Í fyrrnefndri ritgerð komst ég að eftirfarandi niðurstöðum. Alkaliski jarðhitinn á Norðurlandi, Vestfjörðum, undirlendi Borgarfjarðar og að minnsta kosti að einhverju leyti á Suðurlands- undirlendinu er þannig til kominn, að yfirborðsvatn rennur sem almennur straumur um jarðlögin, frá hálendi til láglendis. Hluti þessa vatnsstraums nær miklu dýpi og hitnar af hinum almenna hita jarðlaganna sem hann fer um, og leysir upp nokkuð af efnun bergsins. Þar sem djúpar sprungur eru á láglendi, aðallega sem basaltgangar, getur orðið um söfnun á hinum dreifða vatnsstraumi í berGINU að ræða og ört rennsli heits vatns upp til yfirborðsins.

Eldleðja, sem / ^{eldsumbrot} landsins vitna um, hefur engin sein áhrif á þennan jarðhita, hvorki sem hitagjafi né sem efnisgjafi.

Eldsumbrot og basiskan jarðhita ber að líta á sem óháð fyrirbrigði og hið síðara byggist á möguleikum til djúprar vatnshringrásar í efstu kílómetrum jarðskorpunnar.

Viðvíkjandi hinum súra jarðhita taldi ég, að hugsanlegt væri að skýra hann á sama hátt, enda væri það staðreynd, sem ekki yrði gengið fram hjá, að súr jarðhiti sem eftirstöðvar þekktra eldgosa hér á landi væri mjög skammlífur.

Alveg sérstök leiðsluskilyrði hlytu því einnig að valda hinum súra jarðhita, enda er hann miklu greinilegar tengdur við all-gamlar (ekki post-glacialar) brotlínur landsins, en ungar eldfjallaraðir.

Nánar fór ég ekki inn á þessa hluti á þáverandi stigi málsins.

Síðan þessar skoðanir voru látnar í ljós hefur jarðhitinn verið rannsakaður mikið og er nú hægt að rökstyðja ýms atriði betur en áður.

Rannsóknarráð ríkisins lét safna vatnssýnishornum af mörgum jarðhitasvæðum, en Trausti Ólafsson hefur ákvæðið, Ph - gildi, kísil-sýrumagn, heildarsteinefni og klórmagn á þessum sýnishornum.

Jarðboranir ríkisins hafa látið gera heildaranalýsu af mörgum vatnssýnishornum, svo og af köldu yfirborðsvatni til samanburðar, og Gunnar Böðvarsson hefur útfært margskonar reikninga um hitaleiðslu í jarðlögum, sem sérstaklega leiða í ljós hve miklir, eða öllu heldur hve litlir möguleikar eru á því að jarðhitinn geti verið af beint magmatiskum uppruna.

Allar þessar athuganir veita nýja möguleika til að skýra jarðhitann nákvæmar en áður.

Í skýrslu sinni "On thermal activity in Iceland" kemst Gunnar Böðvarsson að þeirri niðurstöðu, að áðurnefnd skýring á alka-iska jarðhitum sé rétt, að því er snertir Norðurland og Vestfirði,

hann sé þar óháður eldsumbrotum.

Í Borgarfirði og á Suðurlandsundirlendinu er vatnsmagn hins-vegar miklu meira en norðan og vestanlands, og ef skýringin ætti að gilda fyrir þau svæði, yrði vatnið að safnast til hveranna af svo stóru svæði neðanjarðar, að Gunnar er mjög hikandi við að álíta, að slikt geti átt sér stað.

Á hinn bóginн fellst hann á, að jarðhitinn í Borgarfirði, með einum 4-500 l/sek af sjóðandi vatni, sé frá-leitt að reyna að skýra með magma-intrusiv eða yfirleitt með magmatiskum áhrifum.

Hann fer þá leið, að telja vatnið hitað með almennum berglagahita eins og á Norðurlandi, en telur eitt af tvennu nauðsynlegt: Annaðhvort er hinn almenni hitagradient undir Borgarfirði mun hærri en almennt gerist í öðrum löndum þar sem mælingar hafa verið gerðar, eða jarðhitinn er mjög ungt fyrirbrigði.

Ef hinn mikli jarðhiti Borgarfjarðar hefði hafist fyrir fáum árapúsundum og ætti mjög skamman aldur framundan er jarðhitinn auð-skýrður sem taming eða tæring á upprunalegum eða almennum hita jarðlaganna.

Eins og Gunnar bendir á er hitamagn jarðlaganna á tiltölulega litlu svæði mjög mikið, og staðbundin vatnshringrás gæti yfir vist ára bil flutt þennan hita til yfirborðs í formi mikils jarðhita. En kæling bergsins hlyti að eiga sér stað og fyrirbrigðið að verða tíma-bundið.

Þessa hugmynd um lágan aildur jarðhitans og mjög tímabundna tilveru má telja nýtt atriði í málínu, sem ekki hefur verið lögð á áherzla áður.

Við athugun á Norðurlandi komst ég að þeirri niðurstöðu, að sum jarðhitasvæðin þar, t.d. í Fljótum og Hjaltadal, væru mjög gömul

og mundu hafa staðið af sér síðustu ísöld.

Þetta festi hjá mér þá trú, að í eðli sínu væri jarðhitinn stöðugt fyrirbrigði, sem fyrst og fremst þéttun jarðlaganna á jarðfræðilegu tímabili gæti ráðið niðurlögum á. Á hinn bóginn var nér þó vel kunnugt um það, að allar hverahrúðursbreiður landsins hafa orðið til á löngu liðnum tíma og þær bentu til/um eitt skeið hefði magn hins heita vatns verið sérstaklega mikið. Ennfremur var það vitað, að jarðskjálftar höfðu oft breytt jarðhitanaum. Þannig er getið um myndun nýrra hvera í Haukadal í jarðskjálftum 1294. Nýir hverir komu fram, en aðrir hurfu er fyrir voru. Það var hugsanlegt að þarna hafi í rauninni horfið jarðhitinn í sjálfum Haukadal, þar sem hverahrúður sýnir að mikill jarðhiti hefur verið áður fyrr, en komið fram á Geysissvæðinu. Geysir, Strokkur og fleiri hverir, sem sennilega hafa áður verið goshverir og liggja allir á sömu línu, hafa vafalítið myndast samtímis, og vatnsflóðið frá þeim hefur skapað hina miklu hverahrúðursbreiðu á Geysissvæðinu, er nær allt austur að Beiná. Mér þykir nú harla sennilegt, að þessir hverir hafi einmitt myndast 1294 eins og annállinn gefur bindingu um.

Nú er vatnið mjög þorrið í kringum Geysi, en sunnar og neðar, í svonefndum Þykkuhverum, hefur það á ný brotist fram og grafið sundur hverahrúðurshelluna frá "Geysis- tímabilinu".

Þessar breytingar túlkaði ég þannig, að uppstreymisrásir heita vatnsins gæti færst til verulega í jarðskjálftum. Þær gætu einnig lokast og þannig bæri að skilja tilveru mikilla hverahrúðursbreiða þar sem jarðhiti er nú líttill (Leirá, Laugavalladalur o.fl.), en ekki þannig að vatnsrásin hefði þorrið vegna skorts á hitaorku. Og þannig lít ég enn á þetta mál.

Eigi að síður tel ég hugmynd Gunnars Böðvarssonar um jarðhita Borgarfjarðar og Suðurlands, sem mjög tímatakmarkaðan af orkulegum ástæðum, athyglisverða. Hún lækkar vissulega þær kröfur, sem gera verður til hitagjafans.

Ef hugmynd Gunnars er rétt mundi málíð liggja þannig fyrir: Hinn mikli jarðhiti á sumum stöðum hefur staðið stutt og á það er engin reynsla komin hvort hann gæti verið stöðugur af orkulegum ástæðum. Úr því yrði heldur ekki skorið í náinni framtíð. Rannsókn á því, hvort hinn mikli jarðhiti gæti af orkulegum ástæðum verið stöðugur hefði þá harla litla þýðingu.

Ef nú er litið á hinum gömlu hverahrúðursbreiður með þetta í huga, þá mætti túlka þær þannig: Á vissum tíma, fyrir nokkrum þúsundum ára, varð landið fyrir mikilli almennri áreynslu og sprakk víða. Við það opnuðust víða rásir fyrir uppstreymi heits vatns. Það stóð þó víða stutt, annaðhvort vegna þess að hitaorkuna þraut eða vegna lokunar sprungnanna af völdum jarðskjálfta eða útfellinga.

Á þeim stöðum, þar sem jarðhiti er enn mikill verður að telja hann mjög ungan.

Það er eitt sem styrkir þessa hugmynd verulega, en það eru gjárnar, sem nær eingöngu koma fyrir í gömlum hraunum. Þessar gjár benda ákveðið til þess, að á vissu tímabili fyrir nokkrum árapúsundum, hafi landið víða rifnað. Þannig gæti það vel verið rét að fyrir fáum árapúsundum hefðu hin vatnsmiklu hverasvæði orðið til og aðeins jarðhiti hinna vatnsminni svæða eins/margra svæðanna norðan og vestanlands, væri stöðugt fyrirbrigði.

Atriði sem því ber að leggja áherzlu á er, að reyna að ákveða sem bezt aldur helztu hverahrúðursbreiða og aldur gjánna, en vonir standa til, að það mætti takast með jarðvegs- og öskulaga rannsóknum

Óháð niðurstöðum slíkra rannsókna er nú á hinn bóginн ástæða til að gera sér fyllri grein fyrir möguleikum á rennsli grunnvatnsins neðanjarðar.

Í hveraritgerð minni gekk ég út frá þeirri forsendu, að í mjög mishæðóttu landi hljóti að fara fram grunnvatnsrennsli frá háum stöðum til hinna lægri. Hér var ekki átt við hið ótvíráða rennsli yfirborðsvatns heldur þess vatns sem fyllir allar glufur og smugur djúpt niðri í öllu bergi.

Undir hálendi er þrýstingur í þessu vatni hærri en í sömu sjávarhæð undir láglendinu og útjöfnun hlýtur að fara fram, svo framarelega sem bergið verður ekki talið fullkomlega vatnspétt.

Þessi útjöfnunarstraumurgæti að verulegu leyti farið fram í lögum er lægju jafn hátt eða herra en láglendið, en almennt séð hlýtur hann að ná eitthvað niður fyrir yfirborð láglendisins. Jarðhitinn verður vart öðruvísi skilinn en svo, að útjöfnunarstraumurinn fari raunverulega fram að talsverðu. leyti á nokkurra kílómetra dýpi. Og alkaliska jarðhitann hefi ég skilið þannig, að mjög dreift og hægt vatnsrennsli fari fram gegnum undirgrunnsbergið, uns það mætir sprungum undip láglendi, er safna saman vatni af verulegu svæði og leiða það greiðlega til yfirborðs.

Gunnar Böðvarsson hefur útfært reikninga á orkumagni með aðrar myndir af vatnsstraumnum í huga. Hann hugsar sér að vatnið renni eftir víðum sprungum í jörðinni, þ.e. aðallega meðfram göngum. Kalt vatn streymi niður í slíka sprungu á einum stað, renni síðan langs eftir henni á vissu dýpi, t.d. 3 km, og streymi lokks upp eftir að hafa hitnað í hinum heitu berglögum. Vatnið væri samkv. útreikningu Gunnars orðið snarþeitt eftir 10-15 km langt lárétt rennsli í sprungu eins og hann gengur út frá, ef straunurinn jafn

gilti nokkrum sekundu lítrum. Jarðhitann á Norður og Vesturlandi telur Gunnar að mætti skýra á þessum grundvelli. Niðurstöður okkar verða hinar sömu, enda þótt mismunandi leiðir séu farnar og ólíkar myndir hafðar í huga.

Þar sem Gunnar ræðir hið mikla vatnsmagn í Borgarfjarðarhverum, virðist mér hann fráhverfur þeirri hugmynd, að þetta mikla hveravatn geti hafa safnast saman af mjög stóru svæði, er t.d. næði yfir vestanvert miðhálendi Íslands. Í þess stað ræðir hann möguleika á því að hitagjafinn hafi tiltölulega litla útbreiðslu.

Hvað snertir jarðhitann á Hengilsvæðinu er viðhorf Gunnars hið sama. Hitamagnið, sem þar kemur fram er svo mikið, að jafnast mundi á við hið almenna hitauppstreymi gegnum jarðskorpuna á allt að 2.000 km^2 stóru svæði. Gunnar er vantrúaður á, að vatnið sem flytur hitann til Hengilsvæðisins geti hafa safnast saman af svo stóru eða stærra svæði.

Í þess stað hefur hann framkvæmt viðtæka reikninga til að fá hugmyndir um magn og dýpi hraunleðju er gæti gefið frá sér þennan hita. Þessir reikningar gefa góðar hugmyndir um það hvers hraunleðja er megnug í þessu sambandi, og eru niðurstöðurnar mjög athyglisverðar.

Útkoma reikninganna er sú, að gera verður ráð fyrir 1000°C heitu hraunlagi er lægt undir ^{meðum} þessum hluta Hengilsvæðisins og væri að minnsta kosti 30-40 rúmkílómetrar að stærð. Það má ekki liggja dýpra en um $2,5 \text{ km}$ og þarf að vera allt að 500 m á þykkt. Hámarksaldur þess er nokkur þúsund ár. Þetta þykka og viðáttumikla hraunlag verður þá að hafa þrengt sér þenna inn á milli laga löngu eftir ísöld.

En þetta inniskot hraunsins hefði vart getað átt sér stað án

stórkostlegra byltinga á yfirborði svæðisins. Á þeim tíma sem hér um ræðir er hinsvegar víst, að engar súkar byltingar hafa átt sér stað. En jafnvel þetta regin-intrusif er ekki nægilegt til að hafa viðhaldið jarðhitum nema fáar árapúsundir. Ef tryggja á háan aldur verður intrusifið að vera miklu þykkara en 500 m og Gunnar telur sennilegt, að um sé að ræða botnlausum batholýt undir öllu Hengilsvæðinu. En intrusionin verður að vera jarðfræðilega séð mjög ung og verður þá all-torskilin frá sjónarmiði jarðfræðingsins.

Mér virðast þessar niðurstöður reikninga sýna eins ljóslega og á verður kosið, hve alvarlegir erfiðleikar mæta þeirri hugmynd að jarðhiti Hengilsvæðisins sé af magmatiskum uppruna.

Það sem hér hefur verið rætt leiðir í ljós nauðsyn þess að fá gleggrí hugmyndir um möguleika á almennum jarðvatnsstraum í gegnum undirgrunnsbergið, möguleikana á því, að vatn hinna miklu jarðhita-svæða sunnan og vestanlands geti verið safnað saman af víðáttumiklum svæðum, og yrði þá að hafa í huga heila landshluta.

Þetta skal nú rannsakað nánar og loks vikið að skyldleika hins alkaliska og súra jarðhita og bent á, að báðar tegundirnar megi skýra á sama hátt.

1) Kyrstætt jarðvatn.

Í efstu kílómetrum jarðskorpunnar eru allar glufur og holrúm bergsins fylltar vatni. Þetta vatn kalla ég hér bergraka eða jarðvatn. Fyrra heitið ætti bezt við þar sem bergið er með þéttasta móti en hið síðara í gljúpara bergi eða lausum setlögunum. Jarðvatnið er auðvitað mest ofan til, einkum í lausum yfirborðslögum. En eftir því sem neðar dregur verður bergið þéttara, ýmist fyrir aldurs sakir og útfellinga í holrúmum, eða

vegna þrýstings jarðlaganna. Til er basalt, sem renna mundi plast-
iskt á 2-3 km. dýpi, en yfirleitt mun mega gera ráð fyrir opnum
holrúmum talsvert neðar. Þó hlýtur það porositet og permeabilitet
bergsins að minn. ka með dýpinu.

Bergrakinn er ofan til í fljótandi ástandi og má gera ráð fyrir,
að svo sé þar til kritiskum hita vatnsins er náð, en það er á ca
10 km dýpi með normal gradient ($1^{\circ}/30$ m). Neðan við þessi takmörk
er rakinn í loftformi, en eðlisþungi yfirkri tiskrar gufu á þessu
dýpi er mjög nærrí einum.

Ég ætla nú fyrst að gera ráð fyrir, að jarðrakinn í heild sé
kyrrstæður og hafi verið það í langan tíma. Þannig mætti gera ráð
fyrir að ástandið væri í flatlendi, sem lægi rétt yfir sjávarborði.
Jarðrakinn hefur þá á hverjum stað það hitastig, sem leiðir af dýpinu
og gefnum hitagradient. Hitagradientinn reikna ég hér á eftir alls-
staðar 1° á 30 m. Í niðurstöðunum má þá breyta honum, ef ástæða
þykir til.

Hvað myndi nú leiða af því, að rás opnaðist frá yfirborði niður
á nokkurra km dýpi? Í fyrsta lagi það, að heitt vatn streymdi frá
öllum hliðum inn í rásina. Ef innstreymið væri jafnt á öllu dýpi
myndi vatnsþrýstingurinn vera jafn á hverjum stað í pípunni og í
berginu í sömu dýpt. Ef rásin væri þróng myndi vatnið vera kyrrstætt

En að öðrum kosti myndi fara fram konvektion sem jafnaði hit-
ann meira eða minna. En uppstreymi úr rásinni myndi ekki eiga sér
stað.

En ef innstreymi í pípuna væri ekki allsstaðar jafnt, fari á
aðra leið, einkum ef heits vatns gætir meir en kalds. Þá verður
vatnið í pípinni að meðaltali léttara en í samskonar súlu í berginu.

Afleiðingin verður uppstreymi vatns um rásina.

Ef rásin eða pípan er 3 km. djúp, og í henni allri stendur 100°C heitt vatn, getur það vatn stigið 25-30 m upp yfir yfirborð flatlendisins.

Nú er vafalaust, að engin þurrð yrði á hinum djúplæga jarðraka fyrir smávægilegt uppstreymi um pípuna.

Miklu meira vatn gæti streymt niður til hinna heitu svæða en frá þeim streymir inn í pípuna. Slíkur straumur gæti því verið stöðugur og hann flytti hita til yfirborðs af nokkru svæði kringum pípuna.

Til þess að straumurinn verði stöðugur þurfa þó viss skilyrði að vera uppfyllt.

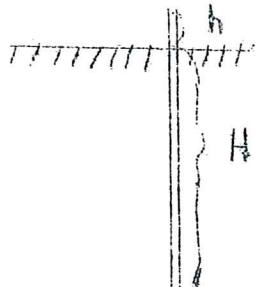
Í fyrsta lagi verður vatnsstraumurinn sýnilega þeim mun meiri sem pípuvatnið er heitara.

Blöndun með köldu vatni á uppleið er og þeim mun hættuminni fyrir stöðugleik straumsins, sem vatnið er í upphafi heitara.

Þar við bætist enn þetta:

Heita vatnið hefur yfirþrýsting yfir jarðvatnið við yfirborð sléttunnar. Þessum yfirþrýsting gæti verið viðhaldið þannig, að vatnið rynni út á stað, er liggur yfir sléttunni, eða mótsstaða er í útstreyminu þegar vatnið rennur út jafnhátt sléttunni. En auk þess gæti, þrátt fyrir engan yfirþrýsting í útstreymi á sléttunni, verið yfirþrýstingur í pípunni yfir það sem er í kyrrstæðu vatnsins í bergen til hliðar, vegna hreyfingar vatnsins. Prýstingur í pípunni gæti því á hverju dýpi verið meiri en í bergen og hindrar það innstreymi kalds vatns.

Til þess að fá nokkra hugmynd um þennan yfirþrýsting hugsa ég mér heita vatnið standa stagnant í pípunni, en ná eins hátt upp yfir sléttuna og eðlisbungi þess leyfir. Vatnshítinn sé jafn í allri pípunni.



Dýpi pípunnar er H , rishæð yfir sléttuna h , þrýstingur í rásinni á dýpi r undir sléttufirborði P_r og í stagnant rakanum í berginu P_o á sama dýpi. Þá er

$$P_r - P_o = \frac{G_o - G}{4H} (H - r)^2,$$

Þar sem G , = eðlisþungi kalds vatns yfirborðs vatns á staðnum, G = eðlisþungi heita vatnsins í pípunni.

Formúlan sýnir, að í alíri pípunni er yfirþrýstingur yfir bergrakann, og því meiri sem ofar dregur og vatnið, sem gæti blandast pípuvatninu, er kaldara.

Hér er um að ræða atriði, sem stuðlar mjög að stöðugleik vatnsstraumsins eftir að hann hefði einu sinni komist á.

Almennt má orða þetta þannig: Ef rás opnast niður í heitæn jarðraka er til staðar tilhneiting til uppstreymis og hún því sterkari sem vatnið, sem til reiðu er, er heitara.

Afleiðingin af þessu er sú, að miklar líkur eru til þess, að á flatlendi, sem annað hvort væri skorið af göngum með opnum rás-um eða hefði riðnað mjög á postglaciölum tíma og væri ern að rifna, kæmi fram nokkur jarðhiti.

Það færi aðallega eftir permeabiliteti bergsins hve mikil orka gæti komið fram í slíkum jarðhita.

Atriði, sem talsverða þýðingu gæti haft í sambandi við jarðhita, en erfitt er að fá fulla vissu um, er konvektion bergvatnsins.

Leiðir ekki af vaxandi hita jarðrakans með dýpinu, að konvektionsstraumar fari fram í honum.

Ef gefið er venjulegt vatnslag (ekki jarðraki) með vaxandi hita niður á við þannig að hitagrdientinn sé 1° á 30 m , þá fer fram

konvektion í vatninu, ef lagið er þykkara en ca 2,8 cm. í öllum holrúnum í berginu, sem hefðu meiri vertikaldimension en þetta (og talsverða horizontala vídd) mundi fara fram konvektion, en ekki er sýnilegt, að þess gæti gætt verulega.

Hitt gæti haft verulega áhrif á gradientinn eða effektifa leiðslu bergins, ef jarðrakinn gæti orðið instabill.

Tveir Bandaríkjumenn, Horton og Rogers hafa nýlega rannsakað teoretiskt skilyrði fyrir konvektion í bergraka þar sem hitinn fer vaxandi með dýpinu. Þeim telst til að konvektion fari fram ef hitagradientinmer stærri en $\frac{4\pi^2 h^2 v}{k \cdot g \cdot G_0 \cdot a \cdot D^2}$

h^2 = hitadiffusivitet, sem hér verður jafnt hitaleiðslustuðli.

g = þyngdarakcellerationin

v = viskostet vatnsins

k = permeabilitet

a = kubiskur hitapennslustuðull vatns

G_0 = þéttleiki við 0°C

D = þykkt lagsins.

Höfundarnir telja að formúlan muni gefa of háan gradient.

Ef litið er á íslenzka basaltið sem eitt lag og notað það gildi á k sem síðar verður vikið að í þessari greinargerð $k = 3,0 \cdot 10^{-11}$ og ennfremur $h^2 = 2 \cdot 10^{-3}$, $g = 981$, $v = 0,003$,

$a = 8 \cdot 10^{-4}$, $G_0 = 1$, allt í c.g.s.- einingum, fæst, að konvektion fer fram samkvæmt formúlunni í lagi sem væri þykkara en 1700 m, ef gradientinmer 1° á 30 m.

Væntanlega ætti hér að reikna með hærri gradient og hærra k , en hvorttveggja minnkar D . Virðist þannig mögulegt að konvektion fari fram ef lagið er þykkara en ca 1 km og gæti hennar þá yfirleitt hér á landi.

Hve mikinn varmastraum megi skrifa á hennar kostnað er hins-vegar ekki auðvelt að gera sér grein fyrir. Verður því að nægja að taka fram að varmastraumurinn gegnum yfirborðið sé af þessum sökum meiri en reiknast mundi eftir hitagradient og leiðsluhæfni bergsins.

Nú má athuga afstöðu hins kyfrstæða jarðraka í marflötu eylandi til sjávarins í kring.

Hugsum okkur að neðansjávarhlíðar landsins væru þakktar vatns-heldu efni t.d. mjög þéttum leirlögum. Þá er ljóst, að jarðrakinn mundi fylla allan berggrunn út að leirlögunum.

Nú er sjávarbotninn vafalaust mjög þéttur, einkum fjær landi.

En nærri landi, einkum í flæðarmáli, er bergið opið fyrir sjónum.

Hann hlýtur því að komast niður í bergið og er raunar viða sjáanlegt hvernig sjór rennur um fjöru út undan ströndinni.

Það má því segja, að minnsta kosti við athugun hins kyrrstæða jarðvatns, sem hér er um að ræða, að leirlög séu engin vörn, sjór komist jafn auðveldlega inn í bergið til hlíðanna og vatnið kemst í það ofan frá yfirborði landsins.

Ég get ekki séð hér neinn mun á því, hvort um væri að ræða til-tölulega þétt berg eða gljúpan sand. Jafnvægisstaðan milli jarðvatns og sjávar hlýtur að verða hin sama.

Niðurstaðan verður þá sú hin sama og á sandeyjum, að jarðvatnið liggi í poka undir landinu og fljóti á sjó.

Ég hefi reiknað dýpi niður á sjó á hverjum stað sem funktion af hæð grunnvatnsspegils fyrir sjávarmáli, (landið þá talið herra en sjávarmál en vatnið kyrrstætt) og tekið tillit til hitabennslu sjávar og vatns svo og kompressibilitets vökvanna, Niðurstaðan er sú, að hinn vaxandi hiti með dýpinu hefur hverfandi lítil áhrif í

öllum venjulegum tilfellum. Ef h er hæð grunnvatnsspegils yfir normal sjávarmáli. H er dýpi niður á mörkin milli vatns og sjávar hvorttveggja í kílómetrum, þá fæst:

$$H \cdot 0,028 = h (1+10^{-4} (0,7-12,6 h -254 h^2))$$

Ef $h = 4$ km, fæst $H = 85$ km, en 143 km án hita korrektionar

$$h = 1 \quad H = 34,8 \quad 35,7 \quad " \quad " \quad "$$

Fyrir minna h má sleppa hita- og samþjöppunar-korrektion og setja $H \cdot 0,028 = h$.

Undir miðhálendi Íslands, með $h = 0,6 - 0,7$ km, fengist eftir þessum reikningi $H = 21,4 - 25$ km.

Um Borgarfjarðar- og Suðurlandsundirlendið, með $h = 0,025 - 0,1$ km, væri $H = 1,78 - 3,56$ km.

Hér er reiknað með eðlisþunga sjávar $1,028$ og gert ráð fyrir að sjórinn tapi ekki uppleystu efnunum við þau skilyrði er hann væri við undir landinu (þ.e. hár hiti, fyrst og fremst).

Nú er þess að gæta, að neðan við ca 10 km dýpi mundi sjór og vatn vera í loftkenndu ástandi. Ef saltið félli þá út yrði enginn munur á vatnsgufu og sjávargufu, þannig að homogent gufulag væri neðan við 10 km dýpi.

Ef svo væri mundi jafnvægi ekki geta hadist neðan við 10 km. dýpi, þrýstingurinn yrði jafnan hærri landmegin en sjávarmegin í sama láréttu lagi, og af því mundi leiða almennan straum frá landinu út til hafssins neðan við 10 km dýpi. Aðeins ef vatnspokinn væri þynnri en 10 km eða hæð grunnvatnsborðs lægri en ca. 300 m, gæti bergrakapokinn verið í jafnvægi. En falli saltið ekki út, sem hugsanlegt er þarf ekki að gera greinarmun á fljótandi og loftkenndu ástandi.

2. Streymandi jarðvatn.

Hér að framan var gert ráð fyrir grunnvatni í sléttlendi, eða því, að grunnvatnsborð væri alls staðar í sömu hæð yfir sjó, (þegar bláströndinni er sleppt) þá gat myndast kyrrstæður bergvatnspoki undir landinu ef það var eigi hærra en ca. 300 m yfir sjó.

Í hærra landi virtist þó geta verið um kyrrstætt bergvatn að ræða.

En stagnant vatnspoki er út ilokað ástand, ef landið, og þar með grunnvatnsborð, er mishátt.

Hér verður nú gengið út frá landi, sem er hringlaga skífa, þykkust um miðjuna.

Sem dæmi má hafa í huga land með 100 km radius, 600 m hátt í miðju en 0 m við ströndina og keilulaga. Gert er og ráð fyrir að grunnvatnsborð fylgi yfirborði landsins.

Nú fer vatnsþrýstingur í hverju láréttu lagi vaxandi inn til landsmiðju og af því leiðir nauðsynlega straum bergrakans út til hafssins. Þessi straumur verður þó vafalaust mjög hægur og yfirleitt virðist hann lítt geta raskað því jafnvægi á milli vatns og sjávar sem áður var rætt um. Aðeins nærri ströndinni hefur hann áhrúf á jafnvægið svo og, að minnsta kosti staðbundið, á lágt liggjandi svæðum og verður nánar vikið að því síðar. Við höfum þá í aðalatriðum til svarandi bergvatnspoka og í kyrrstæða tilfellinu. En nú er vatnið alls staðar streymandi radialt út til sjávar, og þó með vertikal ^p komponent, sem bæði er breytilegur að stærð og forteikni eftir því hvor er í straumsviðinu.

Í miðju landsins er straumstefnan lóðrétt niður og um miðbik landsins er straumurinn yfirleitt skáhallt niður og út. En út til jaðranna verður straumurinn upp og út.

Væri berggrunnurinn homogen og isotrop með tilliti til straumsins ætti að mega lýsa straumsvičinu til fulls reikningslega.

Hér liggur málid þó talsvert öðruvísi. Permeabilitet ætti allmennt að minnka með dýpinu, en auk þess er berggrunnurinn vafalítið anisotrop, því permeabilitet er annað við lárétt en lóðrétt rennsli. Bergið er byggt úr basaltlögum, sem í aðalatriðum liggja lárétt eða með litlum halla og á milli þeirra er jafnan gjall og aska.

Víða má sjá, að í fjallshlíðum raða dýin sér eftir lögunum og þar sem basaltið sjálft er harla sprungið reikna ég með, að í eldra basaltinu, en um það er jafnan að ræða á miklu dýpi, séu millilögin þéttari en hraunlögin. En hvor svo sem þéttari eru þá eru þau vafalaust misþétt og nægir það til þess að bergvatnið renni betur lárétt en lóðrétt undan sama þrýstingsgradient.

Af þessum ástæðum verður straumsvičið einfaldara en ella. Straumurinn fer mestallur fram í efstu kílómetrunum og þá í svo tiltölulega þunnu lagi miðað við víðáttu landsins að líta má á hann sem láréttan og radialan, að minnsta kosti við fyrsta reikning.

Ef síða væri rekin niður í vatnsstrauminn og vatnið staðnaði í henni í hæðinni z yfir sjávarmál þá fæst með samanburði tveggja staða í fjarlægðinni r_o og r frá landsmiðju

$$g(z_o - z) = \frac{q_o r_o}{s} \lg \frac{r}{r_o} = \frac{qr}{s} \lg \frac{r}{r_o}$$

Þar sem q er radiala straumamagnið á flatareiningu í fjarlægð r .

Ég nota nú þessa líkingu þannig, að ég segi:

Innan $r_o = 50$ km radius um landsmiðju er hæðin (á Íslandi) jöfn og nærri 700 m og þá set ég $z_o = 700$ m. Í $r = 100$ km fjarlægð frá miðju liggur neðanvert Suðurlandsundirlendið og Borgarfjörður framan við dalina. Þar er hæðin yfir sjávarmál 50-100 m en z getur

verið nokkuð hærri, ef ónormalt hár þrýstingur er á vatninu. Hér sleppi ég slíkum yfirþrýsting, en kem að honum síðar. Faktorinn $s = \frac{k}{v} \cdot G$ þar sem k = permeabilitet, G = eðlisþungi = 1, v = viscositat = 0,003 poises við 100°C.

k er verst viðureignar og er, mér vitanlega, ekkert til um það í basalti. Ég styðst því hér við mælingar á meðalhraða í þéttum leir og grófari eftum, ~~meldun in situ~~ (Tolman : Ground Water bls. 219) en á milli meðalhraðans V og q er sambandið $q = V \cdot p$ þar sem p er porostitet bergsins. Fyrir basaltið ætti að mega reikna með $p = 0,01-0,02$ og nota ég lægri takmörkin í þessum reikningi.

Þessar straummælingar eru, við hydrauliskan gradient 1% :

Black gumbo to clay 0.-0,001 fet/dag

Silt, finesand, loess 0,042 - -

Vera má, að basaltið sé ekki eins lekt og móhella (löss) en munurinn er líklega ekki mikill (basaltið er mjög sprungið) en það er vafalaust ekki eins þétt og leir sem yfirleitt er talinn pott-þéttur gagnvart grunnvatni.

Ég nota hér meðalhraðann 0,01 fet á dag. Þessi tala hækkar svo frá köldu vatni í heitt um faktorinn 3,33 og reiknast 0,033 fet á dag.

Eftir þessu má reikna k .

Með $z_0 - z = 600$ m fæst þá $q_0 r_0 = qr = 0,84 \text{ cm}^2/\text{sek}$. (q reiknað sem hraði á kompakt vatnsfronti) og heildarvatnsstraumurinn í 4 km þykku lagi frá miðju landsins til strandar væri 2,1 tonn/sek.

Ef aðeins væri tekinn straumurinn í hálfum hring, en það svarði til Suðurlandsundirlendis og Borgarfjarðar fengist 1 tonn/sek.

Niðurstaðan er því sú, að straumurinn sé nokkuð svipaður og heildarmagn þess heitavatns sem fram kemur á þessum svæðum, eða

réttara orðað, straumurinn er af sömu stærðargráðu og hveravatnið.

Nú var yfirleitt reiknað með lágmarkstölum og gæti því raunverulegur straumur verið einni stærðargráðu hærri.

Það má því segja, að mögulegt sé að skýra hveravatnið á meginjarðhitasvæðum landsins á þann hátt, að vatnið sé komið af svæði með 100 km radius um miðhálendið sem centrum.

Svæðið, sem eftir staðháttum mætti ganga út frá minnst til hitagjafar fyrir Borgarfjörð og Suðurlandsundirlendið væri 14000 km^2 . Normalt hitauppstreymi í Evrópu er reiknað um $2 \cdot 10^{-6} \text{ kal/sek cm}^2$.

Þetta gæf á svæðinu normalan hitastráum með leiðslu $2,8 \cdot 10^5 \text{ kg. cal/sek}$ á öllu svæðinu. Magn þessa hitastráums gæti verið hærra hér á landi.

Hitamagnið í 1 tonn /sek af 100°C heitu vatni, hitað frá 0°C væri $1 \cdot 10^5 \text{ kg cal/sek}$ og gæti almenni varmastraumurinn þá skýrt orkuna í jarðhitnum.

Niðurstaðan verður þá sú, að þeði að því er snertir magn bergvatnsstraumsins og hitaorku, þá er hann gæti flutt, sé stærðargráðan sambærileg við jarðhita Borgarfjarðar og Suðurlands og ef til vill riflega það.

Og loks ef athugaðir eru möguleikar á því, að vatnið streymir að jarðhitasvæðunum og spretti þar upp eru aðstæður hagstæðar

í Borgarfirði hagar svo til, að miklar brotlínur eru á mótaum hálendis og láglendis. Þar ætti vatnið að hafa mikinn þrýsting og leita mjög til yfirborðs enda fossar þarna fram svo að segja allt vatn þessa svæðis, vatn sem gæti verið komið af svæði allt austur að Kili. Hvað Suðurlandsundirlendið snertir má skifta jarðhitnum í þrjú svæði.

1. Hreppasvæðið liggr á brotalöm milli hálendis og láglendis.

2. Lína frá Geysi suðvestur um Skálholt er jarðhita og brotalína. Má telja hana miðlinu undirlendisins og ætti til hennar að geta safnast verulegt vatnsmagn. Heildarrennsli á þessari línu er eitthvað um fjórði hluti af vatnsmagni Borgarfjarðarhvera og gæti það jafnvel að talsverðu leyti skýrst án sambands við streymandi bergvatn.
3. Hengilsvæðið er aðallega ung brotalína frá Nesjavöllum til Hveragerðis.

Allur Reykjanefjallgarðurinn er á sigspildu eða ræmu er nær allt inn til Langjökuls. Á yfirborði rennur mikið vatn eftir ræmunni (aðrennslissvæði Sogsins) og er ekki óeðlilegt að gera ráð fyrir, að hið mikla sprungukerfi ^{desi} sigdælynna beini einnig hinu dýpra bergvatni suðvestur eftir henni, og vatnið streymi upp á láglendi Mosfellssveitar og Ölfuss.

Klórmagn.

Við yfirlitsrannsókn Atvinnudeildar var klórmagn ákvarðað og fékkst þá gott yfirlit yfir útbreiðslu þess.

Fyrst skal gerður samanburður á köldu vatni og laugavatni í Eyjafirði eftir mælingum Jarðborananna. Í meðfylgjandi töflu er I typiskt kalt linda-^{og}/dýjavatn á Vaðlaheiði, 4-5° heitt, II. er

I.	II.		typiskt laugavatn í Eyjafirði með ca 60-70°C (Reykhús)
Ph 7,0	9,3		
P-alk 0,0	0,8 $\frac{mN}{l}$		Nú verður að ætla að II sé orðið til úr vatni, sem er mjög líkt I á yfirborði jarðar.
M-alk 1,15	0,75		
Cl 14,0	13 $\frac{mg}{l}$		Og skyldleiki virðist ótvíraður. Það er kemiskt verkefni, sem ætla má, að sé ekki mjög torleyst, að sýna fram á hvaða processar í rás vatnsins neðan- jarðar leiði til breytinga á I í II.
SO ₄ 10,0	49		
F 0,2	0,7		
Na ⁺ 14,0	55		
K 0	0		
Fe +++ 0,2	1,0		En það sem hér skal bent á er það, að klórið hefur mjög lítið aukizt í heita vatninu. Og mælingar A tvinnudeildar sýna að þetta er reglan. Yfirleitt er klórinnihaldið mjög svipað og í Eyjafirði.
Ca ++ 13,0	6,0		
Mg ++ 4,0	2,0		
SiO ₂ 25,0	110		
Uppleyst			
Samtals 147,4	275		

Ef til vill má segja að hár hiti virðist á sumum svæðum hafa í
förl með sér lítið eitt herra klórmagn. En fluktuationir á klóri í
því vatni, sem kalla mætti normalt hveravatn, eru ekki verulegar og
varla neitt athyglisverðar.

En frá reglunni eru undantekningar og sumar mjög athyglisverðar.
Í fyrsta lagi eru í Hrísey, Vestur-Húnavatnssýslu, á Ströndum
og í Ísafjarðarsýslu mörg hitasvæði með mjög klórmiklu vatni. Klór-
ið er þá 4-500 mg/l. Þarna er sýnilega um hreina íblöndun af sjó
að ræða og það nærri jarðaryfirborð. Sú skýring veldur sýnilega
engum erfiðleikum.

Í öðru lagi eru svo stór svæði, jafnvel langt inni í landi, með
óeðlilega miklu klóri, 100 mg/l og þar í kring. Hér er einkum um
tvö stór svæði að ræða.

Beina línan sem liggur framan við alla Borgarfjarðarmúlana, um það bil frá Síðumúla að Hesti, er mikil misjengislína og um hana skiftir um klórmagn. Ofan við línuna er klórmagnið á öllum jarðhitasvæðum normalt, utan við línuna er það viðast anomalit hátt.

Hitt svæðið er Ölfus, Flói og Skeið og suðaustan ["]ræma Grímsness. Hér er klórið hátt, en normalt í kring.

Loks er svo anomalit hátt klórmagn á Geysissvæðinu, á innsta svæði í Eyjafirði, Hólsgerði og á þremur innstu svæðunum í Skagafirði, Goðdöllum, Bakkakoti og Hofi og þó mest á innsta svæðinu, Hofi.

Petta anomala klórmagn verður ekki skýrt með venjulegri blöndun við sjó. Á hinn bóginn er klórmagnið tengt við tektonik landsins og þeði þess vegna og af almennum ástæðum verður vart séð, að gerð berggrunnsins geti valdið muninum. Og hitt virðist heldur ekki koma til greina, að klórið sé komið frá hraunleðju.

Mér virðast líkurnar mæla með því, að þrátt fyrir fjarlægð frá sjó sé þó um blöndun við sjó að ræða.

En þá er ekki öðru til að dreifa en sjó neðan við grunnvatnspokann, og þegar haft er í huga að sjór ætti eftir áður drégnun ályktunum að liggja á fárra kílómetra dýpi undir undirlendi Borgarfjarðar og Suðurlands, virðist ekkert eðlilegra en að slík blöndun komi fram í vatni, sem rís neðan af nokkurra kílómetra dýpi.

Klór anomalíán virðist því eðlilega skýrð á þennan hátt.

Við Geysi fáum við með 130°C hita aðkomudýpi vatnsins 3800 m með gradient $1/30$, og með hæð grunnvatnsfirborðs 110 m yrði dýpi niður að sjó 3900 m eða 4000 m dýpi frá jarðaryfirborði. Petta eru sambærilegar tölur.

Í Hveragerði bendir hitinn 215°C til 6400 m dýpis með sama gradient, en grunnvatnshæð gæfi aðeins ca 1500 m dýpi á sjó.

Hér er tvennt til;

1. Hitagradient er um 4 sinnum hærri en gert hefur verið ráð fyrir eða
2. Vatnið stendur undir mun hærri þrýsting en því sem grunnvatns-hæð svarar, sem gæti átt sér stað, þegar, eins og hér er gert ráð fyrir, heita vatnið stendur í leiðandi sambandi við hærri svæði. Þrýstingur á vatninu við sjávarmál ætti að tilsvara um 180 m vatnshæð eða 13-14 atmosphera yfirþrýsting. Pennan þrýsting ætti að mega leiða í ljós með mælingum, ef til staðar er.

Yfirlleitt má reikna með yfirþrýstingi í vatninu á láglendari svæðum og mundi sjór þar þá liggja dýpra en reiknað eftir grunnvatnsborði. Yfirþrýstingur í vatninu niður við strönd landsins gæti leitt til þess að angar úr grunnvatninu teygðust út undir hafsbótn. Það gæti skýrt jarðhita í Breiðafjarðareyjum og Hrísey.

Af ofangreindu virðist mega draga eftirfaranfi ályktun við-víkjandi virkjun í Hveragerði.

Miklar boranir í Hveragerði munu lækka vatnsþrýstinginn og hækka sjóinn.

Vatnið yrði þó varla að ráði saltara af þeim sökum, þar eð hárföldispungin varnar því, að salt vatn stígi upp til yfirborðsins.

Þvert á móti virðist líklegast, að heitasta fáanlegt ferskvatn streymi upp, þ.e. vatn frá móturnum milli vatns og sjávar.

Þróunin yrði þá sú, að kaldara og kaldara vatn streymdi upp eftir því sem þrýstingurinn minnkaði.

Þessi þróun yrði þó vafalaust hæg, en um hana ætti að mega gera sér einhverjar hugmyndir.

Því má bæta við að lokum, að jarðrakinn er efðir reikningnum hér að framan 30 þús. ár að renna frá 50-100 km fjarlægðar frá landsmiðju. Ársfluktuationir vegna úrkomu á meginsvæðinu eru því úti-

lokaðar. Hvort úrkoma í nánasta umhverfi jarðhitasvæðis. gæti
valdið flukuationum í vatnsmagni þyfti þá sérstakrar rannsóknar við.

Samband milli alkaliska og súra jarðhitans.

Því var snemma veitt athygli, að á sama jarðhitasvæðinu eru
víða merki þess, að skiptst hafi á súr og basiskur jarðhiti. Lög
af hverahrúðri, sem myndast af basisku vatni og hveraleir sem er
merki súrs jarðhita skiptast víða á. Það er engan veginn svo að
súri jarðhitinn sé þar jafnan eldri en hinn basiski.

Ennfremur er það svo á sumum jarðhitasvæðum, að hæstu hverir
eru súrir en þeir neðri alkaliskir.

Betta bendileg til þess að grunnvatnið væri hin raunverulega
orsök mismunarins W Knebel og H Reck litu á vatnshveri sem gufu-
hveri (sem alla jafna eru súrir) er "drukknað" hefðu í grunnvatni
og áttu þá við yfirborðsgrunnvatn er gufan hefði hitað upp og gert
að alkalisku hveravatni. Síðari rannsóknarnar tóku yfirleitt í sama
strenginn.

Barth mældi sýrustig í hveravatni frá Hengli og niður til
Hveragerðis og fór Ph talan vaxandi, en áður var af loftrannsóknum
Þorkels Porkelssónar ljóst, að þessi munur var á hálandis- og låg-
lendishverum á þessu svæði.

Sonder jók við þessar athuganir á Hengilsvæðinu og bendir á ljós-
dæmi þess hve hæð hversins hefur mikið að segja. Af tveimur ná-
legum hverum getur annar, er liggur niðri við grunnvatnsborð verið
basiskur, en hinn súr er liggur nokkru ofar.

Pessir fræðimenn eru á einu máli um hið nána samband milli hins
alkaliska og hins súra jarðhita á svæði sem þessu.

Skoðun þeirra er á þessa leið. Upptök þessa jarðhita er við
Hengilinn sjálfan. Þar berst upp á yfirborð gufa og lofttegundir

frá þeirri hraunleðju, sem að þeirra hyggju skapar jarðhitann. Lofttegundirnar eru vulkanskar og sýna, að þeir álíta, magmatiskan uppruna jarðhitans. Gufan getur að miklu leyti verið yfirborðsvatn sem komist hefur í meira eða minna beina snertingu við magmað, en að einhverju leyti juvenil þ.e. vatn losnað úr sjálfu magmanu.

Í Henglinum nær grunnvatn ekki að kæfa þessa gufu, hún stígur frítt upp til yfirborðs.

En á láglendi gætir grunnvatnsins meir og þar þéttist gufan í grunnvatninu og hitar það og lofttegundirnar leysast upp í vatninu. Við þetta verður breyting frá súru í alkaliska reaktion.

Bein afleiðing af þessari skoðun er sú, að mestan hita sé að fá við Hengilinn sjálfan en í láglendinu hafi orðið kæling með blöndun gufunnar við grunnvatnið.

Líkurnar fyrir árangri stórvirkjunar ættu þá að vera mestar sem næst Henglinum.

Ofangreindar hugmyndir eru nú á hinn bóginn engan veginn eins öruggar og óhjákvæmilegar og í fyrstu mætti ætla.

Að vísu verður varla hróflað við því, að náið samþand sé milli alkalisks og súrs jarðhita á þessu svæði, en líkur mæla sterklega með því, að alkaliski jarðhitinn sé hinn upprunalegi og hinn súri leiddur af honum, enda er ljóst að orsök og afleiðinga má hér auðveldlega snúa við. Ef súr gufa, sem absorberast í vatni leiðir til alkalisks hveravatns þá má öfugt búast við því, að ef slíkt vatn er eimað komi fram súr gufa. Og í gufunni og vatninu verða hinrar sömu lofttegundir, aðeins í mismunandi hlutföllum og með mismunandi möguleikum til að oxyderast af súrefni andrúmsloftsins.

Þetta skal nú athugað nokkru nánar. Það er í fyrsta lagi at-hyglisvert, að við boranir á láglendinu kemur á litlu dýpi í yfirhitað vatn.

Boranir hafa þegar leitt í ljós yfir 200° heitt vatn í Reykjakoti og sprengigígir á því svæði sýna enn fremur að mikið vatn með extrem háum hita getur brotist fram í jarðskjálftum þegar sprungur opnast.

Á hinn bóginn kemst gufuhitinn í Henglinum aðeins lítið eitt yfir 100°C .

Segja mætti að gufan í Henglinum hafði expanderað áður en hún náði yfirborði. Það væri þá mjög alvarlegt frá sjónarmiði virkjunar, því varla mundu boranir koma í veg fyrir expansionina, heldur þvert á móti og til virkjunar fengist aðeins gufa með rétt yfir 100°C .

En þessi hugsaða expansion er ekki mjög sennileg og ef þarna brytist upp óhindrað su gufa sem í útjöðrum Hengilsvæðisins nægði til að framleiða, með upphitun á köldu grunnvatni, 100 l/sek af 200°C heitu vatni, þá væri það sannarlega furðulegt ef hvergi fyndist sá mótpröystingur í Hengli er tryggði það að gufa brytist fram með nokkur hundruð stiga hita.

Og hvílíkt gufumagn ætti ekki að koma fram í Hengli, ef það væri kjarni hitasvæðisins og þar drukknaði gufan ekki í grunnvatni. Sannleikurinn er hinsvegar sá að gufubunginn frá Hengli er harla óverulegur í samanburði við það vatnsmagn, sem flæðir fram á ýmsum alkaliskum svæðum.

Og þetta er raunar reglan um hin súru jarðhitasvæði. Það vakti athugli mína er ég fór um hitasvæði Torfajökuls, sem ýmsir álíta mesta súra hitasvæðið landsins, hvað gufumagnið er í rauninni óverulegt.

Almestu öskrandi gufuhverir framleiða gufu, sem að vatnsþunga jafngildir um 1 l/sek, en það svarar til einstakra hveraugna á daufari alkaliskum svæðum landsins. Og hitamagnið er ekki heldur imponerandi því að það sem kemur út úr gufuhverunum er að talsverðu leyti vatn.

Boranir hafa þegar leitt í ljós yfir 200° heitt vatn í Reykjakoti og sprengigígir á því svæði sýna ennfremur að mikið vatn með extrem háum hita getur brotist fram í jarðskjálftum þegar sprungur opnast.

Á hinn bóginn kemst gufuhitinn í Henglinum aðeins lítið eitt yfir 100°C .

Segja mætti að gufan í Henglinum hafði expanderað áður en hún náði yfirborði. Það væri þá mjög alvarlegt frá sjónarmiði virkjunar, því varla mundu boranir koma í veg fyrir expansionina, heldur þvert á móti og til virkjunar fengist aðeins gufa með rétt yfir 100°C .

En þessi hugsaða expansion er ekki mjög sennileg og ef þarna brytist upp óhindrað su gufa sem í útjöðrum Hengilsvæðisins nægði til að framleiða, með upphitun á köldu grunnvatni, 100 l/sec af 200°C heitu vatni, þá væri það sannarlega furðulegt ef hvergi fyndist sá mótbreytingur í Hengli er tryggði það að gufa brytist fram með nokkur hundruð stiga hita.

Og hvílíkt gufumagn ætti ekki að koma fram í Hengli, ef það væri kjarni hitasvæðisins og þar drukknaði gufan ekki í grunnvatni. Sannleikurinn er hinsvegar sá að gufuþunginn frá Hengli er harla óverulegur í samanburði við það vatnsmagn, sem flæðir fram á ýmsum alkaliskum svæðum.

Og þetta er raunar reglan um hin súru jarðhitasvæði. Það vakti athugli mína er ég fór um hitasvæði Torfajökuls, sem ýmsir álíta mestu súra hitasvæðið landsins, hvað gufumagnið er í rauninni óverulegt.

Almestu öskrandi gufuhverir framleiða gufu, sem að vatnsþunga jafngildir um 1 l/sec , en það svarar til einstakra hveraugna á daufari alkaliskum svæðum landsins. Og hitamagnið er ekki heldur imponerandi því að það sem kemur út úr gufuhverunum er að talsverðu leyti vatn.

Samanburður á vatns- eða hitamagni á miðbiki Hengilsvæðisins og í útjaðri þess í Hveragerði er því ekki í vil þeirri hugmynd að Hengillinn sé kjarni svæðisins og í nánustum tengslum við hraunleðju.

En hvernig mun svo vera umhorfs í sjávarhæð undir Henglinum? Mun þar vera þurrt berg?

Í því sambandi er það í fyrsta lagi að athuga, að í Henglinum er gljúpt berg og hripar úrkoman beint niður að talsverðu leyti.

Í öðru lagi liggur að Henglinum vestanverðum hraunsléttu þar sem grunnvatnsborð er allt að 300 m yfir sjó. Að norðan er Þingvallavatn 100 m yfir sjó, og að vestan er um 50 m hátt undirlendi fljótandi í vatni. Ef Hengillinn væri þurr í sjávarhæð og neðar, mundi grunnvatn sækja mjög að honum úr öllum áttum. Og sú gufa sem streymir upp í Henglinum, sem ef til vill jafngildir nokkrum sekundum lítrum af vatni, er vissulega minni en þetta vatnsaðsþreymi og það því fremur ef hún er að mestu komin neðan frá upptökum jarðhitans.

Þetta sýnir að Hengillinn neðanverður er gegnsósa af vatni. Gufa sem bærist neðan að mundi eins þéttast þar í vatni og utan svæðisins.

Gufan sem streymir út í Henglinum er því vafalítið mynduð við uppgufun frá heitu grunnvatnsborði er stendur undir Hengli í eigi minni hæð en um 100 m yfir sjó og varla hærra en svo sem 200 m.

En tilvera grunnvatns gefur enn frekari bindingu. Við hljótum að draga í efa að hitinn geti hafa borist neðan að í gufu formi. Sé upprunahitinn ofan við kritiskt mark, 375°C , er að vísu um gufu að ræða í fyrstu og hún myndi stíga upp sem gufa í almennu jarðvatni, sem telja má að nái nokkurra kílómetra dýpi. En brátt myndi hún kólna og þéttast og eftir það væri ekki fólgin í henni neitt updriftar afl. Að vísu kæmi fram tendens til konvektionar ef

vatnshitinn ykist með dýpinu, en á hinn bóginn verður að gera ráð fyrir svo þróngum vatnsleiðslum í bergenu að konvektionar gætti ekki að náiinu narki.

Það er því næsta torskilið hvernig magmareservoir sem framkall-aði gufu á miklu dýpi gæti valdið verulegu hitauppstreymi nema annað kemi til, nefnilega sérstök skilyrði fyrir hringrás grunnvatnsins þar sem uppstreymisrásin væri yfir magmafleignum.

Mér virðist þannig, að fram hjá viðtækari grunnvatns cirkulation verði alls ekki komist í Henglinum fremur en á alkalisku svæðum landsins.

En þá verður hugmyndin um magmafleig undir Hengilsvæðinu að því leyti þýðingarminni en áður, að verkefni hans verður nær eingöngu að snerpa hita vatnsins.

Þatnið sem/hann streymir hlýtur að vera heitt fyrir og þá kemur

loks að þeirri spurningu hvort yfirleitt sé nokkur minnsta ástæða til að gera ráð fyrir þessu magma. Eftir reikningum Gunnars Böðvarssonar yrði þetta magma að hafa ruðst inn í jarðskorpuna undir meginhluta Hengilsvæðisins fyrir fáum árapúsundum, liggja á 2-3 km dýpi og vera sjálft eigi þynnra horizontalt lag en ca. 500 m.

En jarðfræðilegar athuganir gefa ekki neina vísrendingu um að þetta stórkostlega innskot hafi átt sér stað.

Augljós afleiðing af þessu er sú að strika beri út hugmyndina um magmatskan uppruna jarðhitans í Hengli.

Hann er, að minni hyggju, af sömu rótum runninn og hinn almenni alkaliski jarðhiti, sem sé frá heitu alkalisku jarðvatni, er, sem liður í sterri jarðvatnscirkulation, streymir upp á þessu svæði. Á láglendi Hveragerðis streymir hið alkaliska jarðvatn fram óbreytt, en undir Hengli nær það aðeins vissri hæð yfir sjó og verður þar stagnant.

En frá yfirborði vatnsins streymir gufa upp í gegnum glufur fjallsins, sem að sjálfsögðu er að verulegu leyti þurrt ofan grunnvatnsborðs. Þarna fer fram destillation þannig, að nokkuð af gufunni mettast á leið til yfirborðs og rennur niður aftur, en lofttegundirnar, sem losnuðu úr vatninu, koncentrerast.

Við jarðaryfirborð er orðið um súra gufu að ræða, sem myndar leirþytti og annað sem er einkennandi fyrir svona svæði, þar sem hún þéttist í óverulegu yfirborðsvatni.

Þessi niðurstaða um hinn súra jarðhita í Hengli bendir til þess, að með borunum verði ekki hægt að fá jafnheita gufu í Henglinum sjálfum og niðri á láglendi Hveragerðis. Þrýstingur á yfirborði grunnvatnsins undir Hengli er væntanlega nærrí einni loftþyngd og gufa, sem myndast þá rétt um 100°C. Þó gæti skapast þrýstingur við ört útstreymi gufu um þróngar rásir, en það gæti verið staðbundið fyrirbrigði og virðist ólíklegt að suðumark vatnsins og þá hiti gufunnar, stigi mjög verulega við það. Þetta bendir til láglandanna við Nesjavelli og Hveragerði, og þó aðallega til síðara svæðisins, sem virkjunarsvæðis, auk þess sem það er af öðrum ástæðum langhagkvæmast til virkjunar.