



Sjálfbærni jarðhitans á Reykjanesi

Guðmundur Ómar Friðleifsson, Ómar Sigurðsson, Albert Albertsson, Geir Þórólfsson og Ásbjörn Blöndal

HS Orku hf, Brekkustíg 36, 260 Reykjanesbæ.

Ágrip

Í matsskýrslu HS Orku hf vegna fyrirhugaðrar stækkunar Reykjanesvirkjunar kemur fram að varmaforðinn í berginu er margfaldur umfram varmaforðann í jarðhitavökvanum. Um Reykjaneskagann endilangan liggur virkt gosbelti Atlantshafshryggjarins og teygir það sig áfram um þvert Ísland. Virkjunarsvæði á Reykjanesi og í Svartsengi eru í miðju gosbeltisins þar sem jarðskjálftar eru tíðir vegna gliðunar Atlantshafshryggjarins. Gliðnunin á sér stað vegna þess að djúpt að neðan þrengir sér heitur deigur bergmassi upp í veilur jarðskorpunnar. Smáskjálftarnir stafa af bergbroti þ.e.a.s. samgrónar bergglufur opnast og nýjar myndast, berglekt viðhelst og jafnvel eykst og því á nýr og gamall jarðhitavökvi (á Reykjanesi sjór) stöðugan og greiðan aðgang að nýjum og ferskum varmagjöfum. Stærri skjálftar brjóta svo berg enn frekar og hefur jákvæð virkni þeirra sannanlega greinst í Svartsengi. Jarðskjálftarnir, smáir sem stórir, viðhalda þannig og auka berglekt sem tryggir vökva stöðugan aðgang að heitu bergi. Á þennan hátt endurnýjast jarðhitaforðinn stöðugt og nýting auðlindarinnar telst sjálfbær. Nokkrar raddir í þjóðfélaginu gerast æ háværi nú í upphafi vinnslu Reykjanesvirkjunar, sem fullyrða að HS Orka hf hyggist tæma jarðhitaforðann á landreksplötumótum Reykjaneskagans. Það er fjarri sanni og því er nú brýnt og tímabært að upplýsa fólk um hið rétta í því máli.

Borholusaga.

Í upphafi máls er rétt að fara nokkrum orðum um rannsóknarholur á Reykjanesi. Sú fyrsta var boruð 1956 og sú síðasta árið 2008. Rannsóknaráttak var í gangi rétt fyrir 1970 (Sveinbjörn Björnsson o.fl. 1971), síðan var ein viðbótarhola (hola 9) boruð 1983 og sá hún Sjóefnavinnslunni fyrir orku og jarðefnum lengst af. Fyrsta hola á vegum HS Orku hf var hins vegar boruð 1999 (hola 10) og sú síðasta (28) á síðasta ári. Yfirlit um borholurnar er synt í listanum hér að neðan. Engin af gömlu holunum 1 til 9 er í notkun og eru flestar þeirra ónýtar. Þær fyrstu voru flestar grunnar, en síðustu tvær voru nýttar af Sjóefnavinnslunni og stífluðust í lokin af útfellingum.

Listi yfir jarðhitaborholur á Reykjanesi	
RN-1	1956
RN-2 til RN-8	1968-1969
RN-9	1983
RN-8 í notkun til 1993	Steypt í holuna 1993
RN-9 í notkun til 2004	Notkun hætti (holan dó) vegna útfellinga og var holunni lokað og urðað yfir toppinn
Massataka frá upphafi til júlí 1998 er 43.000.000 tonn eða um 50 kg/s á tímabilinu sem samsvarar um 1.500.000 tonn á ári	
RN-10	1998-1999 – hleypt upp/gangsett 2003
RN-11 til RN-24	2002-2006- Holur 11 og 12 boraðar lóðrétt niður. Holur 13, 14, 22, 23 stefnuboraðar til að skera sem flesta lekastaði.
RN-25 og RN-26	2006-2007 Djúpar stefnuboraðar holur 2-2,5 km langar
RN-27 og RN-28	2008. Grunnar stefnuboraðar holur (1200 m) í gufupúðann
Massataka frá 2006 til 2009: 57.000.000 tonn; 600 kg/s á ári eða um 19.000.000 tonn á ári	

Þróun vinnslu og áhrif á jarðhitakerfið

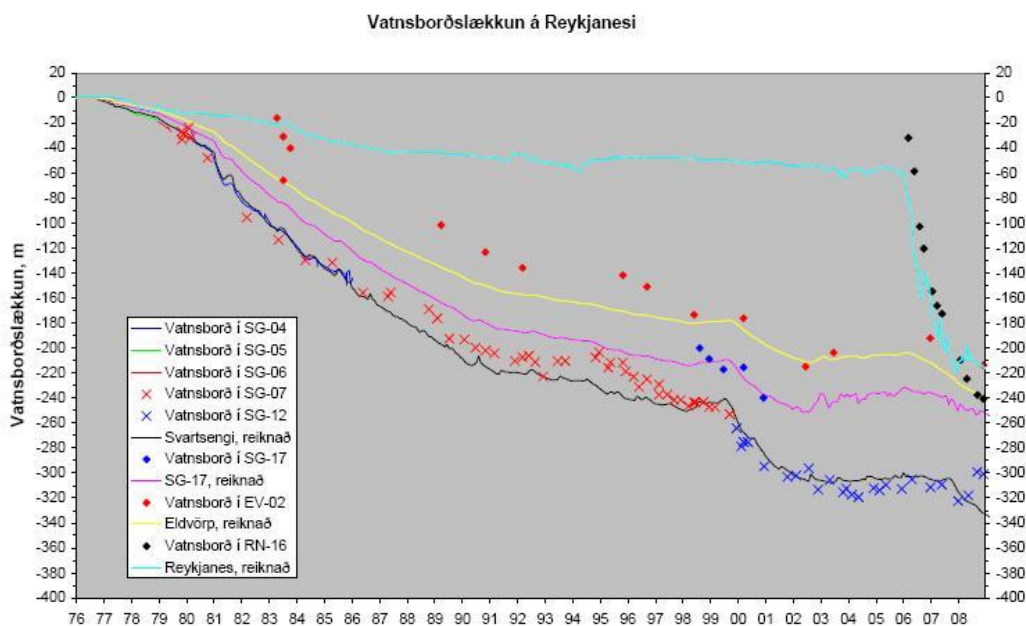
Hér að neðan er getið nokkurra atriða sem varða umræðuna um sjálfbærni.

Jarðhitakerfið á Reykjanesi bregst við vinnslu á líkan hátt og jarðhitakerfið í Svartsengi sem hefur verið í rekstri í yfir 30 ár eða frá árinu 1976. Í fyrstu var jarðhitavökvanamið (vatn og gufa) í Svartsengi tiltöluleg lítið, en hefur síðan vaxið með tilkomu nýrra orkuvera. Þar er framleiðslugetan nú um 75 MW af raforku og um 150 MW af varmaorku til hitaveitu. Miðað við upphaflega vökvastöðu í jarðhitakerfinu í Svartsengi nemur mæld vatnsborðslækkun rúmum 300 m, eða um 30 bar í þrýstingi. Á mynd 1 er sýnd mæld vökvaborðslækkun með rauðum (SG-7) og bláum (SG-12) x-táknum, frá árinu 1976 til þessa árs, og reiknaður hermiferill sýndur með svartri línu. Vökvaborðsmælingar í fyrstu niðurdælingaholunni (SG-17) eru sýndar með bláum punktum, og reiknaður ferill með fjólublárrí línu. Mæld vökvaborðslækkun í rannsóknarholu í Eldvörpum (EG-2), sem aldrei hefur verið í notkun og er í um 5 km fjarlægð frá Svartsengi, er sýnd með rauðum punktum og gulri reiknaðri línu. Það sem helst fangar augað í mynd 1, er að árinu 2000 eða þar um bil, verða ferlarnir þrír, sá svartí, fjólublái og sá gúlí, nær láréttir, þrátt fyrir að orkuver 5 (30 MWe) og orkuver 6 (30 MWe) í Svartsengi hafi verið gangsett, það fyrri 1999 og hið síðar í lok árs 2007. Ástæða þessarar hegðunar er af tvennum toga, í fyrsta lagi var farið að dæla umtalsverðu magni af jarðhitavökva niður í holu SG-17 um síðustu aldamót, og hins vegar var í stórauðnum mæli farið að nýta svokallaðar þurrufuholur, sem eru grunnar og ganga ekki á vökvafórðann í jarðhitakerfinu í sama mæli og þær djúpu, sem sækja vökva djúpt í jarðhitageyminn. Skýringin er sú að hvert kíló af þurri gufu hefur að geyma um ferfalt orkumagn djúpvökvans og er þá miðað við að gufan og vökvinn séu við sama hitastig. Í dag eru um 420 kg/s tekin úr Svartsengiskerfinu en um 240 kg/sek dælt niður aftur.

VATNASKIL

SVARTSENGI

HITAVEITA SUÐURNESJA



Mynd 1. Vatnsborðbreytingar jarðhitakerfa á utanverðum Reykjaneskaga 1976-2010 (Verkfræðistofan Vatnaskil, 2009)

Vegna vinnslu úr jarðhitakerfinu á Reykjanesi fyrir núverandi 100 MWe virkjun hefur þrýstingur í því lækkað sem nemur að meðaltali um 19 bar, eða um 190 m (um 240 m miðað við þrýstingshæð í Svartsengi). Á mynd 1 er mæld lækkan vökvaborðs í holu RN-16 sýnd með svörtum tíglum, og reiknaður vatnsborðsferill með ljósblárrí línu. Fyrri möguleg vatnsborðslækkun tengdist Sjóefnavinnslunni. Upp úr Reykjaneskerfinu eru nú um stundir

tekin um 615 kg/sek en engu dælt niður í geyminn enn sem komið er. Fyrirhugað er að dæla niður jarðhitavökva á Reykjanesi eftir að nokkur reynsla hefur fengist af rekstrinum og hefst marktæk niðurdæling í júní 2009. Að sama skapi á fyrirhuguð stækkun Reykjanesvirkjunar fyrst og fremst að byggjast á nýtingu þurrufu sem þegar hefur safnast fyrir efst í jarðhitakerfinu. Einnig verður framleidd 4 bar lágþrýstigufa úr 18 bar jarðhitavökva, sem nú streymir frá skiljustöð virkjunarinnar. Lágþrýstigufan krefst sem sé ekki frekari upptöku jarðhitavökva úr jarðhitageyminum. Stækkun Reykjanesvirkjunar krefst því lágmarks viðbótar vökvatöku úr jarðhitageyminum, sem þegar lengra liður og eftir því sem reynslan eykst verður unnt að mæta að hluta með aukinni niðurdælingu.

Þrýstingslækkunin á Reykjanesi veldur því að á 800-1.200 m dýpi er að þróast gufusvæði líkt og gerst hefur á 250-400 m dýpi í Svartsengi. Í dýpra æðabeltinu á Reykjanesi eru æðar áfram vökvafylltar, en geta orðið tvífasa (blanda vökva og gufu) næst holunum. Mælingar í geyminum sýna að dregið hefur úr hraða þrýstilækkunar/niðurdráttar á Reykjanesi frá því sem var í byrjun vinnslu og með aukinni gufumyndun og tvífasaástandi hefur dregið úr þeim vökvamassa sem upp er tekinn og þar með þrýstilækkuninni-/niðurdrættinum. Niðurdæling jarðhitavökva frá skiljum niður í jarðhitageyminn mun einnig hjálpa til við að sporna gegn niðurdrætti í jarðhitakerfinu. Allar þessar breytingar eru afturkræfar ef til þess kæmi að vinnsla jarðhita úr kerfinu yrði stöðvuð eins og stutt verður með rökum hér á eftir. Í umhverfismatsskýrslu lagði HS Orka hf fram 3 valkosti um hvernig standa bæri að aukinni vinnslu og mati á mismunandi áhrifum þeirra á jarðhitageyminn og mælti með þeim kosti sem talinn er skynsamlegastur að mati sérfræðinga fyrirtækisins.

Um endurnýjanleika jarðhitans

Jarðhitakerfið á Reykjanesi er virkt í svipuðu formi í tugi þúsunda ára en framkvæmdin sem slík varir einungis í nokkra tugi ára. Afskriftatími virkjunar er um 30 ár og líftími virkjunar e.t.v. tvöfaldur sá tími. Ef virkjun yrði hætt að þeim tíma liðnum myndi jarðhitasvæðið leita fyrra jafnvægis, e.t.v. eilítið kaldara sem varmanáminu næmi. Sé það dæmi tekið að einhverjum tækist að tæma allan vökva úr berginu með vinnslu, þá væri samt um eða yfir 90 % af upprunalega varmanum bundinn í berginu, sem myndi þá hita upp „nýjan“ vökva. Á síðustu ísöld – sem lauk fyrir u.þ.b. 12-14 þúsund árum, og hafði þá varað í um 100.000 ár frá síðasta hlyskæði – þá var ferskvatn í djúpa jarðhitakerfinu á Reykjanesi, þar sem ísröndin var langt úti á landgrunninu og jarðhitakerfið svipað því sem er t.d. í Krýsuvík í dag. Það ferskvatn er að sjálfsögðu löngu horfið, nema hvað brotabrot af því finnst í gömlum ummyndunarsteindum, og í staðinn hefur yngri sjór tekið varmanámið yfir. Á sama tíma hafa svo nýir hitagjafar bæst í kerfið, í formi kvikuinnskota sem storknuðu sem berggangar í rótum jarðhitakerfisins og náðu öðru hvoru til yfirborðs í eldgosum. Öll hraunin á yfirborði Reykjanes eru mynduð á síðustu 12.000-14.000 árum, það síðasta á sögulegum tíma, 1226. Í fyllingu tímans munu ný hraun renna á Reykjanesi, ekki er spurning hvort heldur hvenær. Goshrinur á Reykjaneskaganum verða á u.þ.b. 1000 ára fresti, svo e.t.v. verða goshrinur á Reykjanesi eftir 2200. Að ofansögðu er ljóst að þær fullyrðingar um að hægt sé með vinnslu að eyðileggja varanlega jarðhitakerfi í eða við gosbeltið eru rangar, hvort heldur sem lítið er á mannlegan eða jarðfræðilegan tímakvarða. Hvort kynslóðir framtíðarinnar munu þá sækjast eftir jarðhitanýtingu á Reykjanesi skal ósagt látið, en það er ljóst að næga jarðhitaorku verður þar að hafa.

Saga og viðbrögð jarðhitakerfisins á Reykjanesi

Í upphafi var jarðhitakerfið við Rauðhól (við holu RN-9) við lítið eitt lægri þrýsting en grunnvatnið og sjórinn á yfirborði. Vökvinn sauð og var suðuborð á um 100 m dýpi og hitastig fór hækkandi með dýpi, nærri suðumarksferli niður á um 900 m dýpi (280-290°C) og nálgast síðan 300°C á 2000 m dýpi. Ofan 900 m stigu strjálur gufubólur upp í vatnsmettað bergið, gufubólurnar þéttust og sigu síðan niður sem vökvi. Jarðhitakerfið var þannig í jafnvægi og vatnsmassi slapp ekki til yfirborðs nema á nokkrum stöðum á hverasvæðinu, og þar vegna áhrifa mikillar suðu á afmörkuðum stöðum. Eðli jarðhitakerfa er að „skelja“ sig af með kristalútfellingum (kalsít, anhydrít, leir), loka sig af og varðveita þannig varmann. Neðan 900 m og niður í dýpstu lög jarðhitavökvakerfisins var engin suða, heldur hrærðist vatnið þar tiltölulega greiðlega í lóðréttum og skáskotnum sprungum og vel leku bergi. Vökvakerfið sækir varma úr heitara bergi, og þá vísast að neðan þó varmanám í heitum berggöngum innan jarðhitakerfisins eigi sér líka stað öðru hvoru á líftíma jarðhitakerfisins.

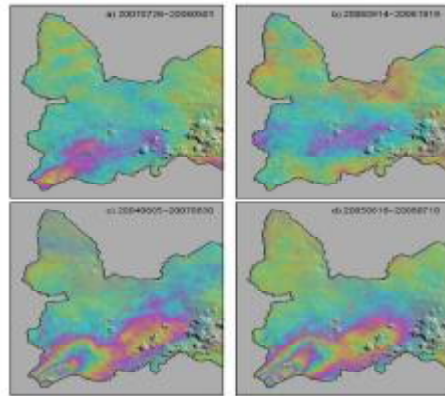
Þó jarðhiti hafi ekki verið á yfirborði við Rauðhól í upphafi vinnslu, sýnir ummyndun að þar var mikil yfirborðsvirkni fyrr á nútíma, en jarðhitakerfið hefur náð að þétta sig af og kólna næst yfirborði. Öðru hvoru, svo sem í kjölfar jarðskjálftans 1967, rífa jarðskjálftar jörð á misgengjum og við það fellur vatnsborð og mikil suða fylgir þrýstlækkuninni, gufa berst upp til yfirborðs, hitar þar grunnvatn og jarðsjó og fjörug hveravirkni fer í gang þar til kerfið hefur aftur náð nýju jafnvægi; og dregur þá smám saman úr yfirborðsvirkninni. Nýtt jafnvægi var komið á árið 2006 er Reykjanesvirkjun tók til starfa. Hveravirkni var með minna móti, t.d. miðað við það sem mælt var og skoðað á árunum eftir 1967. Enn sem komið er, í maí 2009, vantar talsvert upp á að hitaútbreiðsla á yfirborði vegna þrýstlækkunar í jarðhitakerfinu og aukinnar suðu þar nálgist það sem var í kjölfar skjálftahrinunnar 1967. Hins vegar er jafnljóst að yfirborðsvirkni nálgast það sem þá var og verður svo um hríð þar til kerfið hefur að nýju náð jafnvægi. Munurinn á þessu nýja jafnvægi og því gamla er hins vegar sá að suðuborðinu verður viðhaldið nokkur hundruð metrum neðar í jarðhitakerfinu en er í náttúrulegu umhverfi og suða djúpt í kerfinu mun því viðhalda svokölluðum gufupúða.

Eðli jarðhitakerfisins

Berglög Reykjanes eru þannig að í efstu tugum metranna eru hraunlög frá nútíma, þar neðan við taka við móbergsmýndanir og setlög sem ná allt niður á um 900 m dýpi. Þar neðan við eru bólstrabergssyrpur, myndaðar á hafsbotni, og innskot sem troðist hafa inn í bólstrabergið á löngum tíma, og eru þessar berggerðir ráðandi niður í a.m.k. 3 km dýpi. Setlöggin skilja að efsta hluta vökvakerfisins og þann neðri, mynda einskonar pottlok á jarðhitapottinn. Jarðhitakerfið sem unnið er úr, 270-300°C heitt, er allt neðan við 800-900 m dýpi, þ.e.a.s. niðri í pottinum sem nær a.m.k. niður á 3 km dýpi. Efri hlutinn er allur fódraður af í vinnsluhöllum með steiptum stálörum (fóðringum).

Sé litið á mynd 1, er ljóst að orkuvinnsla í Svartsengi hefur ekki haft sjáanleg áhrif á Reykjaneskerfið í 12 km fjarlægð, sem gefur til kynna að þrýstingslækkun frá Svartsengi er nær horfin þar. Þó má geta þess að nýfengin úrvinnsla á tímaröðuðum myndum úr gervitunglum gefur til kynna að öll jarðhitakerfin á Reykjaneskaganum séu tengd. Myndaröðin á mynd 2 sýnir úrvinnslu úr gervitunglamyndum frá mismunandi tímabilum. Um það bil 3 cm eru á milli lína með sama lit. Þannig sýnir t.d. mynd 2d, sem nær frá 16. júní 2005 til 10. júlí 2008, um 9-12 cm sig langs eftir Reykjanesinu í norðausturstefnu og heldur minna sig við Svartsengi. Niðurstöður sem þessar, sem og fleiri tímaráða, gefa ótvírætt til kynna að sjáanlegar breytingar á landhæð á yfirborði tengjast jarðhitavinnslunni á Reykjanesi og í Svartsengi. Aðalatriðið er jafnframt það að þær gefa ótvírætt til kynna að Reykjaneskerfið sé umtalsvert víðfeðmara með vaxandi dýpi en varkár ágiskun hefur gefið til kynna til þessa, og jafnvel svo, að jarðhitakerfin langs eftir landreksplötumótunum séu meira og minna samtengd, þó vatngengd geti verið misgreið milli spildna.

Jarðhitakerfið á Reykjanesi hefur á grundvelli viðnámsmælinga, sem aðeins „sjá“ þó um 1 km niður frá yfirborði, verið talið ná yfir um 10 km² stórt svæði. Túlkun gervitunglamyndanna á mynd 2 bendir hins vegar til að jarðhitakerfið gæti verið umtalsvert víðfeðmara með vaxandi dýpi langs eftir sprungureininni. Jafnframt gætu stórir hlutar jarðhitakerfisins verið undir hafsbotni langt suður af Reykjanesinu svo sem gosreina myndin (mynd 3) hér að neðan gæti gefið til kynna. Boranir á holu 6 við Reykjanesvíta, langt suður af vinnslusvæðinu, svo og holu RN-17 niður í 3 km dýpi fyrst, og síðan skáholu RN-17B nánast útundir sjó á 2,8 km dýpi, gefa engan veginn til kynna að jarðhitakerfið endi við fjörumörk Reykjanesins, heldur miklu fremur að það sé mun útbreiddara. Trúlega er kerfið á 2-3 km dýpi því a.m.k. þrefalt stærra en viðtekin ágiskun, þ.e. ná yfir a.m.k. 30 km² svæði.



a: 26. júlí 2007 – 1. maí 2008

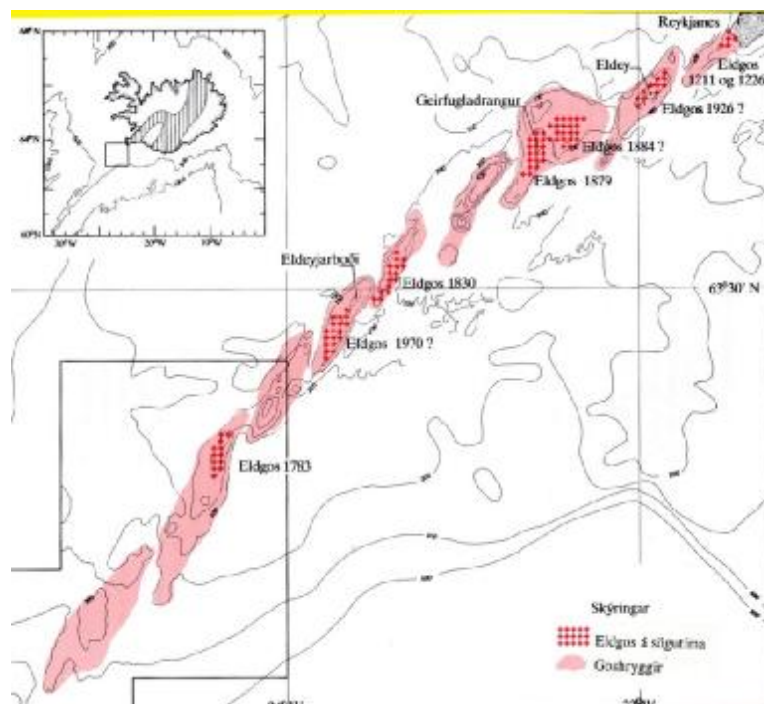
b: 14. sept 2006 – 19. okt. 2006

c: 5. ágúst 2004 – 30. ágúst 2007

d: 16. júní 2005 – 10. júlí 2008

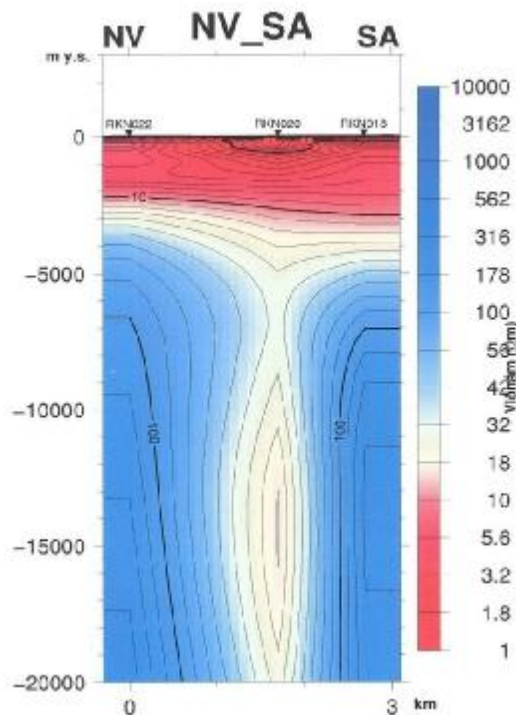
Figur 9. Fjórir áhrifslögir (MS) af jarðvegna þryggingum frá 26. ágúst 2004 – 2. maí 2008. (a) frá 26. ágúst 2007 – 1. maí 2008, (b) 14. september 2006 – 19. október 2006, (c) 5. ágúst 2004 – 30. ágúst 2007 og (d) frá 16. júní 2005 – 10. júlí 2008.

Mynd 2. Viðbrögð við jarðhitavinnslu koma fram á gervitunglmyndum sem landsig (frá Sigurjóni Jónssyni, 2009).



Mynd 3. Eldgos á hafsbotni á sögulegum tíma, suðvestur af Reykjanesi (Samanteknar upplýsingar frá Ármanni Höskuldssyni o.fl., 2007,).

Hin almenna regla við umfjöllun jarðhitakerfa er að reikna sig út frá einhverskonar þekktu lágmarksrúmtaki, sem í þessu tilfalli nær þá yfir um 10 km² svæði. Það er svæðið sem viðnámsmælingar hafa afmarkað á 800 m dýpi. Ljóst er að við munum ekki bora á hafsbotni í nánustu framtíð, og á yfirborði er HS Orku þröngur stakkur sniðin með athafnasvæði fyrir vinnsluboranir. Því væri eðlilegt að fyrirtækið fengi að nokkru að njóta vafans um það hvort jarðhitakerfið stendur undir aukinni vinnslu eða ekki. Svo sem fram kemur í matsskýrslu HS Orku hf er talið nær öruggt að ekki sé unnt að tæma náttúrulegan jarðhitaforða úr Reykjanesinu, því varmaforðinn í berginu er margfaldur umfram varmaforðann í heita jarðhitavökvanum. Í þeim skilningi er auðlindin því sjálfbær. Eins og getið er í inngangi hefur heyrst, bæði frá lærdum sem leikum, sú skoðun að nú í upphafi vinnslu Reykjanesvirkjunar, stefni HS Orka hf í að tæma jarðhitaforðann á landreksplötumótum Reykjaneskagans, og skilja þar með ekkert eftir fyrir komandi kynslóðum. Þessi fullyrðing er einfaldlega röng og í því samhengi er nauðsynlegt að velta fyrir sér hvað átt er við með sjálfbærni jarðhitakerfa? Fyrst er þó rétt að bæta við nýjum upplýsingum frá svokölluðum MT-mælingum sem HS Orka hf fékk ÍSOR til að vinna fyrir sig í tilraunaskyni (Guðni Karl Rosenkjær og Ragna Karlsdóttir, 2009). Tilgangurinn með MT-mælingunum var að kanna djúpvíðnám jarðskorpunnar undir Reykjanesi, en slíkar mælingar hafa hingað til verið taldar nokkrum vandkvæðum bundnar vegna truflana í nálægð sjávar. Engu að síður skiluðu mælingar marktækum og áhugaverðum niðurstöðum sem í framtíðinni þyrfti að fylgja eftir með fjölgun mælipunkta. Mynd 4 sýnir djúpvíðnám undir Reykjanesinu langs eftir NV-SA sniðlínu þvert yfir nesið og vinnslusvæðið. Myndin gefur til kynna að jarðhitasvæðið sjálft nái a.m.k. niður á 5 km dýpi og jafnframt að einhverskonar hitastilkur nær niður úr jarðskorpunni niður fyrir 20 km dýpi.



Mynd 4. NV-SA viðnámsþversnið yfir Reykjanesi, um jarðhitavinnslusvæðið, allt niður á 20 km dýpi. Lágviðnámið gefur til kynna að jarðhitasvæðið (tunnan sjálf),gæti náð allt niður á 5 km dýpi, og hitastilkurinn niður úr – í reynd, niður úr jarðskorpunni niður í möttul jarðar sem jarðskjálftamælingar gefa til kynna að séu á u.þ.b. 15 km dýpi undir Reykjanesinu (G.Ó. Friðleifsson o.fl. 2003)

Ítarefni um sjálfbærni og jarðhitavirkjanir

Endurnýjanleiki fer eftir tímaskala sem miðað er við og hvernig jarðhitakerfi er skilgreint. Þannig leit Guðmundur Pálmason (2005), forstöðumaður Jarðhitadeildar Orkustofnunar á að jarðhiti væri ekki endurnýjanlegur (nema kannski á gosbeltunum) og væri nýting hans líkari námuvinnslu. Valgarður Stefánsson, einn helsti jarðhitasérfræðingur Orkustofnunar til áratuga, var á öndverðum meiði við Guðmund, og tóku fleiri sérfræðingar undir þann málsstað og voru skrifaðar margar vísindagreinar því til stuðnings.

Ein hugmynd Valgarðs var sú að rétt væri að virkja jarðhita í smáum skrefum (30-50 MWe) og þá fyrir almennan markað eða minni orkuiðnað. Var tilgangurinn sá að þannig mætti hraða virkjun svæða miðað við vatnsorkuvirkjun. Hugmyndin var sú að minnka mætti áhættu um leið og virkjunarferli væri stýtt, ekki þyrfti að álagsprófa svæði í langan tíma til að meta æskilega stærð (endanlega stærð) virkjunar (líkt og gert er fyrir vatnsafl, langar rennslisraðir) heldur væri það gert samhliða rekstri virkjunar sem um leið skilaði tekjum. Hugmynd hans var því að fá tekjur á móti stofnkostnaði við að afla nauðsynlegra upplýsinga og auka þannig hagkvæmni.

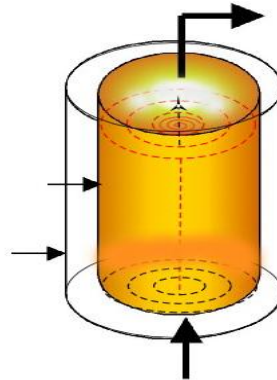
Fyrstu áfangar jarðhitavirkjunar eru almennt um tvisvar sinnum minni en sambærilegir áfangar vatnsorkuvirkjunar. Vegna rekstrarhagkvæmni/öryggis er það almennt svo að fyrsti virkjunaráfangi hefur tvær vélasamstæður (2x20 til 2x50 MWe) og er það huglægt hvort viðkomandi áfangar teljast stórir eða smáir. Ef fylgja ætti þróun almenns markaðar gætu skrefin verið í 5-10 MWe einingum og þá almennt séð ekki eins hagkvæmum og ef byggðar eru stærri rekstrareiningar. Það er hins vegar hægt að virkja bæði jarðhita og vatnsorku í smáum einingum (sbr. gámur á holutopp eða bæjarlækir), svo það er ekkert sem segir að einn virkjanakostur sé réttari en annar því það fer í hvert sinn eftir aðstæðum á hverjum stað og þeim nærmarkaði sem virkjuninni er ætlað að þjóna. Kostnaður, afhendingaröryggi og markaður ræður þessu á endanum.

Í stuttu máli þá snýst virkjun jarðvarmans og sjálfbær nýting hans um það að finna jafnvægi milli massatöku og aðstreymis vökva að vinnslusvæðinu (gengið er út frá því að varminn í berginu sé viðvarandi). Massatakan fer annars vegar fram úr djúpkerfi svæðisins og hins vegar úr gufupúða sem þróast með vinnslu og til að hámarka orkunýtni vinnslunnar er reynt að viðhalda afköstum gufupúðans sem lengst. Með niðurdælingu vinnsluvökva má síðan hjálpa upp á jafnvægið á milli massatöku og aðstreymis en gæta þarf þess að niðurdælingarvökvinn valdi ekki óþarfa kælingu á jarðvarmavökvanum. Náist að halda jafnvægi með aukinni vinnslu verður að álykta sem svo að ekki sé gengið á forða auðlindarinnar umfram getu og að hún muni geta nýst komandi kynslóðum. Á sama hátt og hringrás vatns er varanleg má líta á vinnslu jarðvarma á háhitasvæðum á Íslandi (í eða við gosbeltið) sem varanlega, þ.e. með umbrotum og afleiðingum þeirra fæst endurnýjun varmaforðans og aðstreymis vökva. Aukning afkasta á vinnslusvæðum sem þegar eru nýtt er nauðsynleg til að finna hámark nýtingar á viðkomandi svæði. Auk þess hefur það þann augljósa kost að um leið má fresta því að brjóta ný svæði undir virkjunarmannvirki og tengivirki.

Jarðhitatunnan á Reykjanesi

Nú er það svo að jarðhitavinnslan á Reykjanesi á sér einungis stað á um 10% af ætluðu lágmarksflatarmáli jarðhitakerfisins á vinnsludýpi, því vinnslusvæðið á yfirborði er rúmlega 1 km² og hugsanlega rétt um 3-5 % ef umfang jarðhitakerfisins er nær 30 km² sem vel er hugsanlegt þó ekki verði það fullrytt. Það er því ekki að undra að niðurdráttur sé með þeim hætti sem mynd 1 sýnir, því nánast er um punktálag að ræða fremur en flatarálag. Almenna reglan í jarðhitavinnslu er að dreifa álaginu.

Hér látum við þó nægja að hugsa okkur jarðhitakerfið sem tiltölulega þrönga tunnu, fyllta með svampi (ígildi bergsins) og svo heitu vatni. Tunnan þessi (mynd 5) væri kannski rétt um 1 km að þvermáli. Vatnsborð jarðhitakerfisins í tunnunni fullri væri þá á um 800 m dýpi og botninn a.m.k. 2 km neðar eða á um 2800 m dýpi.



Mynd 5. Tunnan góða – einfalt líkan af jarðhitageymi. Innstreymi af vatni og hita koma inn í tunnuna að neðan og frá hliðunum (táknað með örvunum). Með niðurdælingu utan við tunnuna sjálfa má auka við innstreymið. Vinnslu úr tunnunni er stillt í hóf með þeim hætti að ásættanlegt magn er tekið úr tunnunni og við það lækkar þá vatnsborð í henni miðri (synt sem niðurdráttarkeila efst í tunnunni). Við það myndast verðmætur nýtanlegur gufupúði efst í tunnunni (táknað með hvítu svæði ofan við keiluna). Slik þróun hefur þegar átt sér stað í Svartsengi og á Reykjanesi, sem og nýting á verðmætri hreinni gufunni úr gufupúðunum.

Í efstu 800 m tunnunnar er svampurinn aðeins volgur og rakur, en heitur og gegnsósa þar fyrir neðan. Síðan er sogröri komið fyrir í miðri tunnu og byrjað að sjúga af krafti - og hvað gerist? Vatnsborð í miðri tunnu fellur hratt niður í 1150 m næst rörinu en rétt niður í um 1000 m við jaðrana. Öllu meira er ekki hægt að ná upp um rörið og eftir tiltekinn tíma kemst á jafnvægi milli massatökunnar og innstreymis sem kemur fram í því að vatnsborð hættir að þokast neðar. Í reynd hvetur þrýstingslækkunin við massatökusvæðið til aukins aðstreymis að svæðinu til að skapa jafnvægisástand. Og hvað skyldi þá vera mikið eftir í miðri tunnu? Því er fljótsvarað - væntanlega eitthvað um 1650 m (2800m - 1150m). Það er því rökrétt að bæta við rorum (bora nýjar vinnsluholur) til að sækja meira af heitu vatni í tunnuna og t.d. draga vatnsborð niður um 200 m í viðbót, vitandi að enn verða þá eftir um 1450 m í tunnunni og af nógu að taka. Til að auka mögulegt aðstreymi er einnig rökrétt að bæta við rorum við jaðra tunnunnar og dæla notuðu vinnsluvatni þar niður (niðurdæling) því vitað er að svampurinn er heitur þar. Rís þá vatnsborðið upp um einhverja tugi til 100 m í miðri tunnu. Á einhverjum tímamarki yrði endamörkum náð og hámarks nýting auðindarinnar fengist með viðvarandi jafnvægi á milli massatöku og aðstreymis vökva. Hvað sem svona bollaleggingum líður, þá eru áform HS Orku hf þó mun hógværi. Við fyrirhugaða stækkun Reykjanesvirkjunar er ekki ætlunin að auka vatnsmassatöku úr „tunnunni“ góðu svo miklu nemi, heldur er fyrst og fremst fyrirhugað að nýta gufupúðann sem mest fyrir stækkun virkjunarinnar, og svo lágþrýstigufu (4 bar) úr þeim háþrýstivökva (18 bar) sem þegar hefur verið nýttur til að knýja gufuhverflana. Nýting lágþrýstigufu snýst því eingöngu um bættu nýtingu á því jarðhitavatni sem upp er tekið hvort sem er.

Niðurlag

Reynslan af um 33 ára rekstri jarðhitakerfisins í Svartsengi, um 3 ára rekstri jarðhitakerfisins á Reykjanesi og sannanlegum jákvæðum áhrifum skjálfta og tíðra smáskjálfta leiðir í ljós að jarðhitavinnsla fyrirtækisins er sjálfbær og að ekki hafi verið um ágenga vinnslu að ræða. Kynslóðir framtíðarinnar munu hafa feikna varmaforða í að sækja svo lengi sem jörð skelfur og gliðnar. Í svipinn eru einungis virkjanir á tveimur stöðum í gliðnunarbelti Reykjaneskagans og því margir staðir óvirkjaðir.

Heimildir

Ármann Höskuldsson, R. Hey, E. Kjartansson and G. Gudmundsson (2007). The Reykjanes Ridge between 63°10'N and Iceland. *Journal of Geodynamics*, 43, 73-86.

Guðmundur Ó. Friðleifsson, Halldór Ármannsson, Knútur Árnason, Ingi Þ. Bjarnason and Gestur Gíslason, 2003. The Iceland Deep Drilling Project: Drilling Targets for Supercritical Fluid. *Proceedings of the International Geothermal Conference IGC-2003 Reykjavik, September 2003, Session 6*, pp. 8-14.

Guðmundur Pálmason, 2005. *Jarðhitabók, Eðli og nýting auðlindar*, 298 bls.

Guðni Karl Rosenkjær og Ragna Karlsdóttir, 2009. MT mælingar á Reykjanesi 2008. ÍSOR 2009/002.

Sigurjón Jónsson, 2009. Subsidence around the Reykjanes and Svartsengi Power Plants during 1992-1999, and 2003-2008 observed by InSAR, Zurich, March, 2009, 42 p.

Sveinbjörn Björnsson, Birna Ólafsdóttir, Jens Tómasson, Jón Jónsson, Stefán Arnórsson, Stefán G. Sigmundsson, 1971. Reykjanes, Heildarskýrsla um rannsókn jarðhitasvæðisins, 122 bls. og 56 myndasíður.

Stækkun Reykjanesvirkjunar og frekari nýting jarðhitavökva. Frummatsskýrsla. Mars 2009. VSÓ ráðgjöf, Unnið með HS Orku hf., 143 bls.

Verkfræðistofan Vatnsskil, 2009. SVARTSENGI – REYKJANES, Vinnslueftirlit fyrir árið 2008. Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja, 51 bls.