

61. Reykjanes¹

Á Reykjanesi kemur gliðnunarbelti Reykjanes hryggjarins úr sjó. Brot, gígaraðir og önnur ummerki um eldvirkni sjást þar ágætlega.



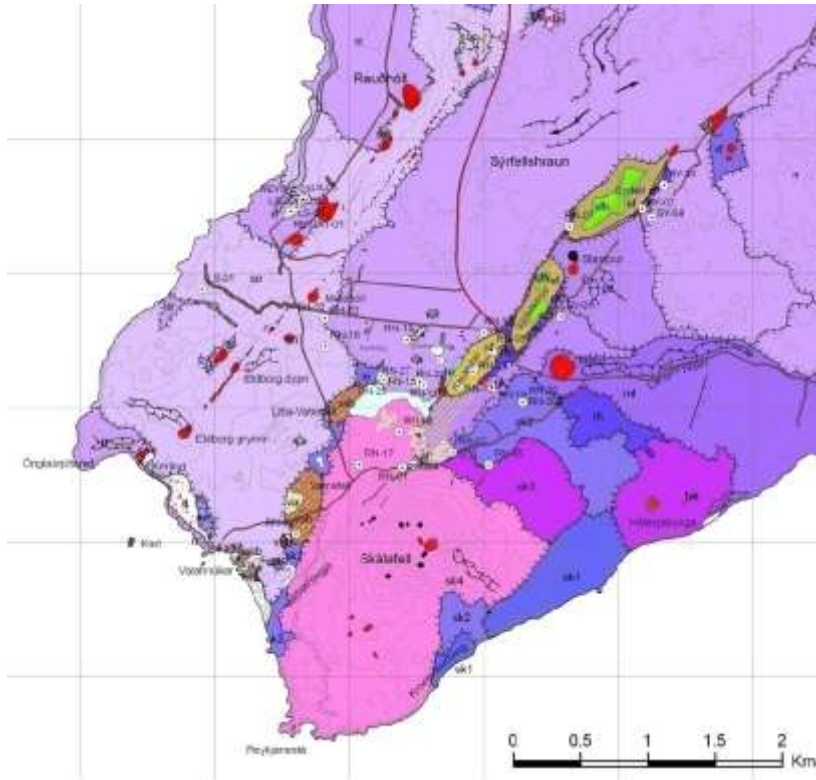
Dæmi um gígaraðir eru Stampar. Háleyjabunga er dyngja sem gaus snemma á nútíma og e.t.v. ásamt neðsta hluta Skálafells, en þar hefur jafnframt gosið a.m.k. tveimur gosum síðar, fyrir um 3000 árum og fyrir um 2000 árum. Nútímahraun þekja svæðið. Eystri hluti Reykjanesins er klofinn af misgengjum og opnum gjám, en vestari hlutinn að mestu hulinn yngri hraunum úr Stamparöðinni, en úr henni hefur gosið 3-4 sinnum á síðustu 5 þúsund árum, síðast 1226. Á undanförunum áratugum hefur HS Orka hf fjármagnað nákvæma jarðfræði- og jarðhitakortlagningu af Reykjaneskaganum frá Reykjanestá austur fyrir Fagradalsfjall og er hluti af því korti frá Kristjáni Sæmundssyni, jarðfræðingi (ÍSOR) sýndur á mynd 21.1.

¹ VSÓ Ráðgjöf 2009. *Stækkun Reykjanesvirkjunar og frekari nýting jarðhitavökva. Frummatsskýrsla.* Unnið fyrir HS Orku. Skýrsla 07280. Mars 2009.

Ísor 2009. *MT-mælingar á Reykjanesi 2008.* Guðni Karl Rosenkjær og Ragna Karlsdóttir. Unnið fyrir HS Orku hf. ÍSOR-2009/002. Febrúar 2009. ISBN 978-9979-780-80-9.

Ísor 2005. *TEM-mælingar á Reykjanesi 2004.* Ragna Karlsdóttir, ÍSOR-2005/002.

Ísor 2004. *Háhitakerfið á Reykjanesi. Jarðfræði- og jarðhitalíkan.* Hjalti Franzson. Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja. ÍSOR-2004/012.



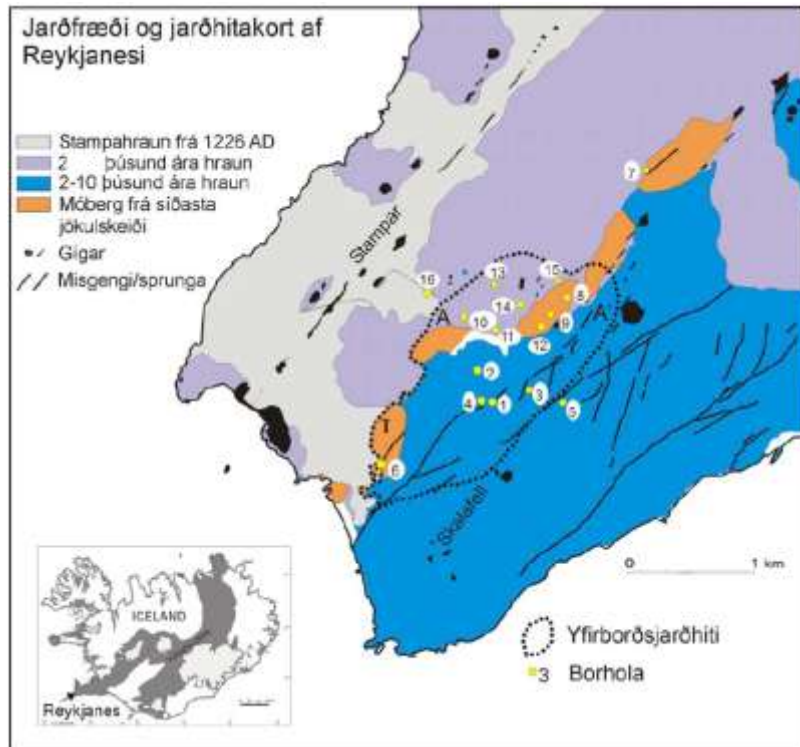
Mynd 21.1 Jarðfræðikort af Reykjanesi gert af Kristjáni Sæmundssyni, ÍSOR. Á kortinu má sjá gíga (rauðir), hraun frá mismunandi tímum (fjólublá, bleik og blá) og hrauntraðir misgengi. Hvítir punktar sýna borholur á Reykjanesi.

Landslag á Reykjanesi einkennist öðru fremur af mjög fjölbreyttum og merktum jarðmyndunum og um leið afmörkun þess af sjávarströnd. Gróðurfar á svæðinu ber þess merki að þar er jarðhiti, gosaska, sandur eða hraun, grasflákar, melar og/eða ógróið land, lítils háttar mólendi og mosavaxin svæði. Við hverasvæðið sem gjarnan er kennt við Gunnuhver, er að finna sjaldgæfar plöntutegundir sem aðeins geta lifað í nánd hvera.

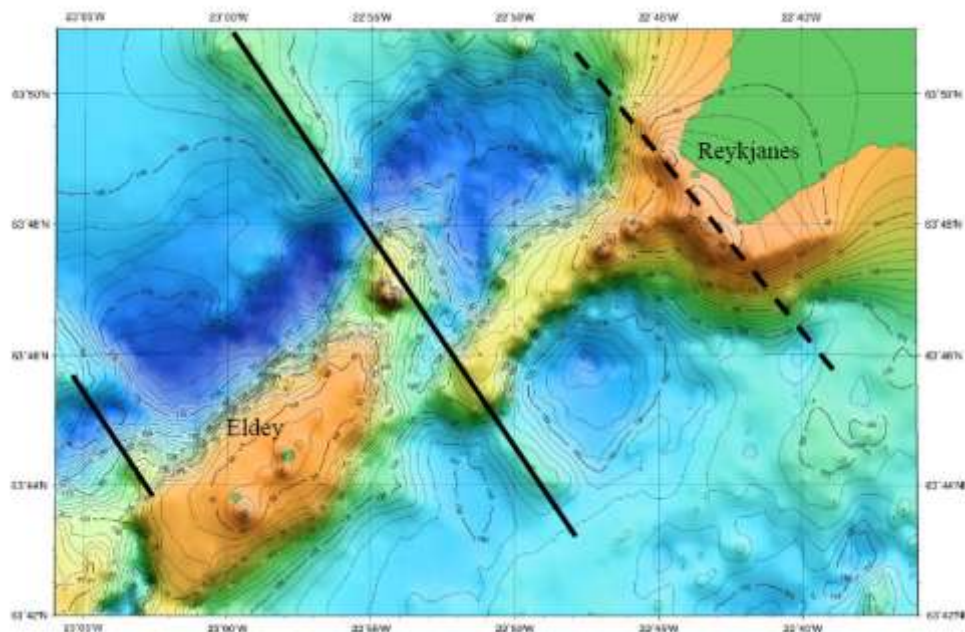
Í nágrenni framkvæmdasvæðisins er stórt kríuvarp og er krían að öllu jöfnu algengasti fuglinn á svæðinu (Ólafur Einarsson og María Harðardóttir, 1998). Kríuvarpið er óvenjulegt að því leyti að nokkur hluti þess er á gróðurlitlum, leirbornum jarðvegi á hverasvæði. Undanfarin ár hefur varpið dregist verulega saman og er það rakið til fæðuskorts. Einnig er talsvert máfavarp á svæðinu (Kristbjörn Egilsson o.fl., 2002).

Reykjanes er vinsælt svæði til náttúruskoðunar og fjölsóttur ferðamannastaður. Það má m.a. rekja til hinna fjölbreyttu jarðmyndana en einnig nálægðar við Keflavíkurlflugvöll og höfuðborgarsvæðið. Fræðslusýningin Orkuverið Jörð er í stöðvarhúsi Reykjanesvirkjunar. Ekki hefur verið lagt í mikla uppbyggingu á aðstöðu fyrir ferðafólk en stígar og slóðar liggja víða um svæðið. HS hefur unnið að uppbyggingu auðlindagarðs í tengslum við orkuvinnslu á svæðinu.

Segja má að eiginlegar rannsóknarboranir hefjist á Reykjanesi árið 1968 og á tæpum tveim árum voru boraðar þar 7 holur. Flestar voru þessar holur tiltölulega grunnar, en þó náðu þrjár þeirra yfir 1.000 m dýpi og varð hola 8 dýpst þeirra, 1.754 m. Hún var síðar nýtt fyrir sjóefnavinnsluna, ásamt holu 9 sem boruð var 1983. Holurnar dreifðust um Rauðhóla, við suðurjaðar virkasta hverasvæðisins og að Vatnsfelli. Allar þessar holur hafa verið aflagðar. Boranir fyrir könnun á raforkuframleiðslu á svæðinu hófust árið 1998 með holu RN-10. Hönnun Reykjanesvirkjunar grundvallaðist á útfellingarrannsóknnum og rekstri þeirrar holu ásamt rekstrarreynslu frá fyrri holum. Á árunum 2002-2006 voru boraðar holur RN-11 til 24 til að afla virkjuninni háþrýstigufu. Þessar holur voru boraðar á rúmlega 1,5 km langri vestur-austur línu um Rauðhóla og takmarkaðist dreifing þeirra við iðnaðarsvæði sem hafði í upphafi verið afmarkað fyrir sjóefnavinnsluna um 20 árum áður.



Mynd 21. Einfaldað jarðfræðikort af háhitakerfinu á Reykjanesi og umhverfi þess.

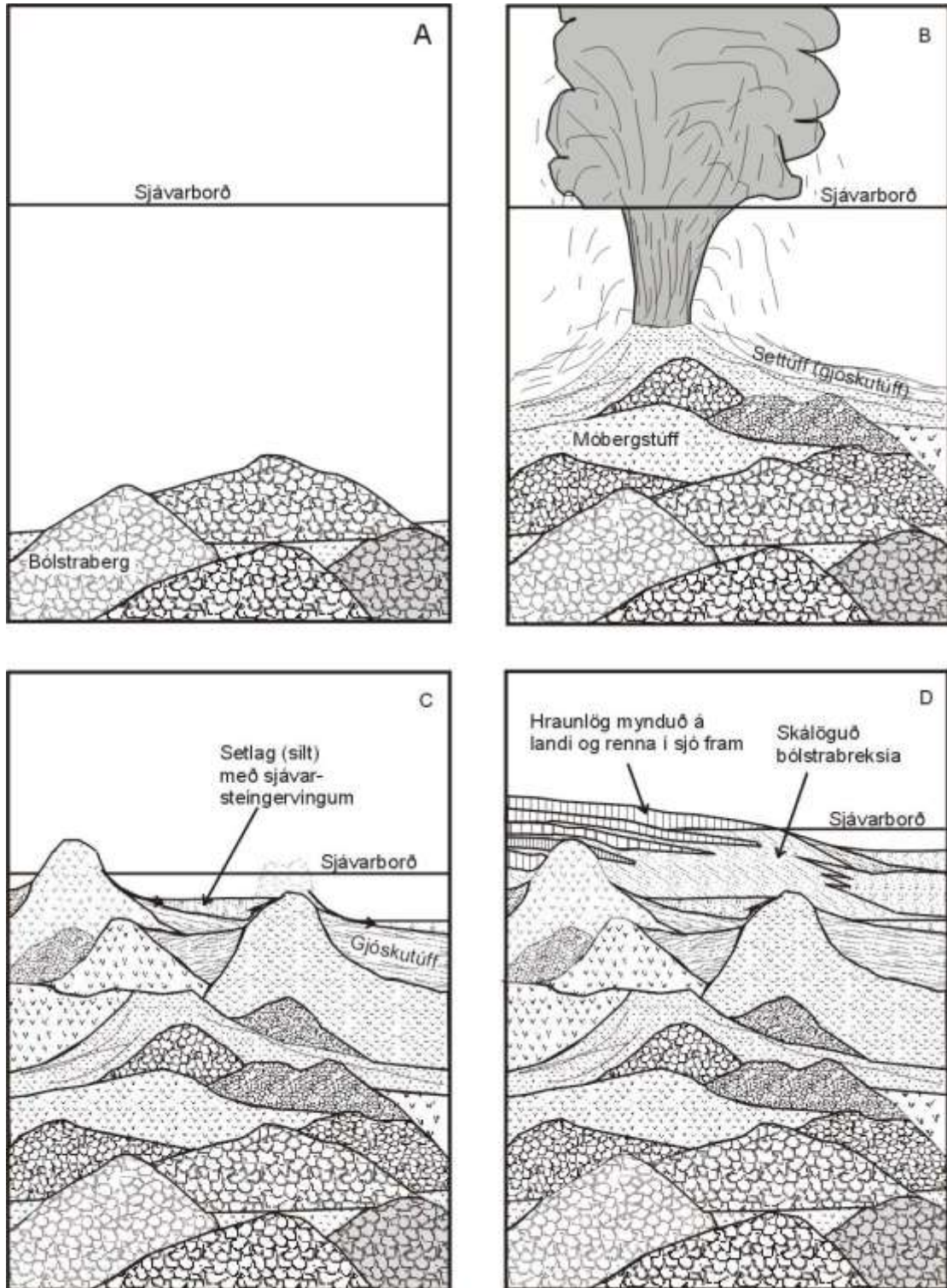


Mynd 23. Dýptarkort af sjávarbotninum vestan og sunnan Reykjaness (Ármann Höskuldsson o. fl. 2004). Á myndinni sjást greinilega norðaustlægu sprungu og upphleðslureinarnar og jafnframt eru NV hryggirnir (sniðgengi) merktir inn á myndina.

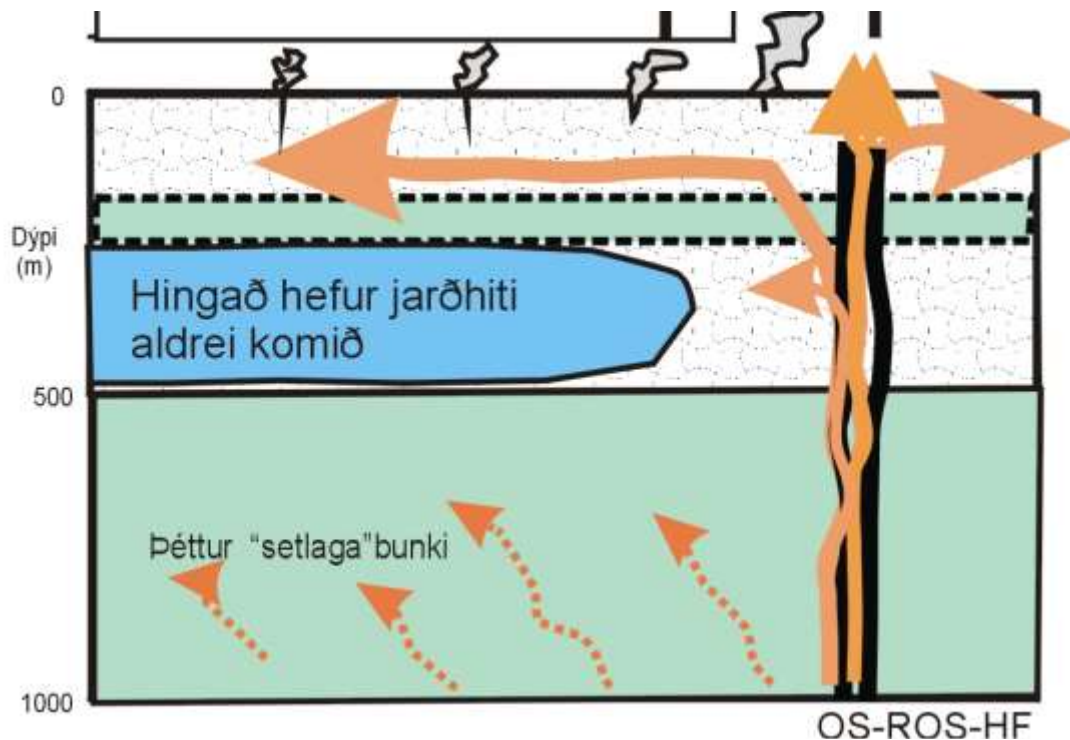
Líklegt er að tvær aðskildar sprungureinar séu á Reykjanestá, og að háhitakerfið sé tengt þeirri eystri en nái ekki yfir í þá sem vestar liggur, þ.e. Stampareinina. Jarðlagastaflinn neðan um 1200 m dýpis í holunum er að mestu leyti talinn gerður úr bólstrabergsmyndunum. Þar ofan við taka við túffríkari myndanir með sjávarsetlögum með skeljaleifum inni á milli móbergmyndana sem bendir til grunnsævis. Hraunlög runnin ofan sjávarborðs sjást fyrst með vissu á um 100 m dýpi. Jarðlagastaflinn ber yfirbragð af upphleðslu bólstrabergs sem hefur hafist á tiltölulega miklu dýpi, en er gosvirknin færðist nær sjávarborði breyttist hegðun gosanna yfir í túffríkari myndanir, og fer þá að bera á setlagamyndun sem tengist sjávarrofi nærri strandlínu. Land nær líklegast upp yfir sjávarmál á Reykjanestánni við upphaf nútíma. Mikill munur á eðli upphleðslu á Reykjanesi og svo Eldvörpum og Svartsengi þar sem á þeim síðartöldu hefur jarðlagastaflinn öll ummerki um að hafa hlaðist upp ofan sjávarmáls, og engin merki finnast um upphleðslu í sjávarumhverfi. Hugsanlegt er að NV-SA „plötuskil“ liggi milli þessara svæða þar sem skilur á milli þessara mismunandi aðstæðna. Dýptarkort af sjávarbotni vestan Reykjanes, bendir einnig til að NV-SA sniðgengi („plötuskil“) sé rétt vestan strandlínu Reykjanes.

Innskot eru eingöngu úr basalti, og eru gangar ráðandi. Þeir eru yfirleitt fínkorna í efstu 1500 metrunum en virðast verða grófkristallaðri neðan um 2000 m dýpis. Hlutfall innskota í jarðlagastaflanum virðist heldur hærra um miðbik jarðhitasvæðisins en annars staðar og er það talið merki um að þar sé miðja gangasvarms þess sem gosrein háhitakerfisins tilheyrir. Sú forsenda er gefin að stefna ganganna sé NA-SV. Gögn um vatnsæðar sýna að æðar tengjast jöðrum innskota og að hluta jarðlagaskilum milli goseininga. Dýptarkort af hitaháðum ummyndunarsteindum sýnir skarpar útlínur jarðhitakerfisins til norðurs og vesturs. Kerfið er aflangt í NA-SV stefnu og nær frá holu RN-8 í norðri og til holu RN-6 við Reykjanesvita. Við norðvesturmörk svæðisins, þar sem flestar holur hafa verið boraðar, kemur fram áberandi N-S jarðhitastrúktúr. Meginjarðhitasvæðið á yfirborði fellur saman við líklegan krossskurð NA-SV stefnunnar og áður nefnds N-S strúktúrs, og er þar að finna eina af meginuppstreymisrásum jarðhitakerfisins. Grynnt er á háhitaummyndun í holu RN-6 og er mögulegt að þar í grennd sé önnur uppstreymisrás jarðhitakerfisins. Þriðju uppstreymisrásina væri mögulegt að finna í grennd við gosstöðvar Skálafells, því jarðhitagufur ná til yfirborðs allt upp undir gígasvæði þess. Austurmörk jarðhitakerfisins eru enn sem komið er óljós.

Athugun á tímavenslum útfellinga bendir til að háhitakerfi Reykjanes sé tiltölulega ungt og engin umtalsverð merki um kælingu eru í kerfinu. Vökvabólurannsóknir sýna gott jafnvægi ummyndunar og berghita og einnig afar breytilega seltu, frá jafngildi ferskvatnskerfis yfir í seltu svipað og finna má í sjó. Jaðrar háhitakerfisins taka mið af þrýstingi grunnvatnskerfisins í kring. Þannig myndar grunnt afrennsli frá jarðhitakerfinu útfellingaríka kápu sem virkar sem þakberg jarðhitakerfisins. Neðar mynda þétt setlög jaðar eða skil milli grunnvatns- og jarðhitakerfis, og á því svæði er grunnvatnskerfið auðsjáanlega með hærri þrýsting en jarðhitakerfið.



Mynd 4. Einfölduð túlkun á eðli upphleðslu jarðlagastaflans. (Hjalti Franzson¹).

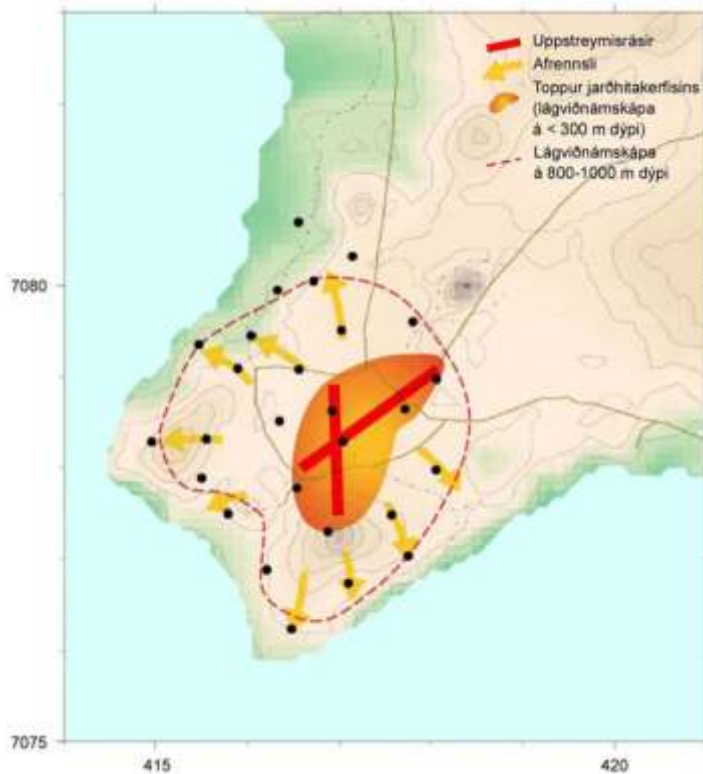


Mynd 17. Túlkun á ummyndunarhita í bergi í þversniði sem liggur frá holu 12 í miðbiki jarðhitakerfisins yfir til holu 13 með tilliti til berglaga og flæðis grunnvatnskerfa.

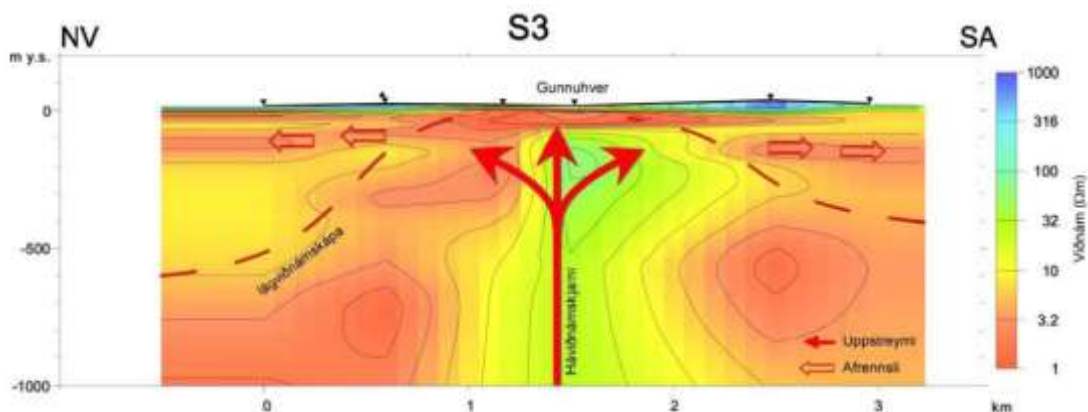
Í sjávarkerfi, eins og á Reykjanesi, fellur út anhýdrít við innstreymi kaldari jarðsjávar inn í heitara berg. Steindin finnst víða en gjarnan í sprungum. Áberandi er að anhýdrítútfellingar eru oftast eina steindin í sprungunni. Það gefur til kynna háan útfellingahraða steindarinnar, beint í kjölfar sprungumyndunar. Tengsl lekra sprungna við innskot og síðan anhýdríts við þær, gefur þá mynd að gangar geta tengst bæði jarðhitakerfinu og kalda sjávarkerfinu. Sjórinn flæðir eftir sprungunni inn að jarðhitakerfinu og fellir út anhýdrítið við hitnun. Þar sem slíkar sprungur eru oftast án annarra útfellinga, merkir það einn atburð sem tekur „skamman“ tíma. Sprunga sem er stífluð af anhýdríti við jaðra háhitakerfisins getur verið opin inni í kerfinu.

Þessi atriði gefa nokkuð einhlíta mynd af jöðrum háhitakerfisins. Í efsta hluta kerfisins stjórnast það af útrennsli jarðhitavökvans, kælingu hans og miklum útfellingum. Þannig einangrar kerfið sig frá vel leku grunnvatnskerfinu í kring. Þétt setkennt túff neðan 500 m dýpis virðist einnig mynda þétt þak á jarðhitakerfinu. Grunnvatn við jaðra og utan kerfisins hreyfist lítið (stagnant) þrátt fyrir háan poruhluta og líklega tiltölulega háa lekt. Um þetta vitnar lítil bergummyndun og takmörkuð fylling holrýmis. Ef lekt eykst vegna nýrrar sprungulektar veldur það skammvinnri innrás sjávarkerfisins inn að jarðhitakerfinu, en áhrif anhýdrítútfellinga ná lítt inn í sjálft jarðhitakerfið. Hærri þrýstingur grunnvatnskerfis, kemur í veg fyrir að jarðhitakerfið nái að breiða úr sér út frá uppstreymisrásinni. Slíkt getur þó gerst ef ný lekaleið einskorðast við jarðhitakerfið og nær ekki tengingu við grunnvatnskerfið fyrir utan.

TEM-mælingar á Reykjanesi (Ragna Karlsdóttir, 2005) gefa til kynna að jarðhitakerfið sé bundið við þrönga uppstreymisrás eða sprungu og heitt afrennsli út frá henni á 2–300 m dýpi í allar áttir.



Mynd 20.1 Stærð jarðhitakerfisins á Reykjanesi. Svartir punktar eru mælipunktur TEM-viðnámsmælinga (Ragna Karlsdóttir, 2005).



Mynd 20.2 Skýringarmynd af jarðhitakerfinu á Reykjanesi eftir viðnámsniði sem liggur NV-SA í gegnum Gunnuhver (Ragna Karlsdóttir, 2005).

MT-mælingar sýna að djúpstætt lágviðnámslag er ekki til staðar á Reykjaneskaga. Þegar rýnt er í viðnámsmyndina neðan lágviðnámskápunnar niður á 5 km dýpi má sjá svæði eða strók með lægra viðnámi en umhverfis.

Reykjanesvirkjun hóf að framleiða 100 MWe í maí 2006 frá tveimur 50 MWe tvístreymis-hverflum með sjókældum eimsvölum. Á árunum 2007-2008 voru holur RN-25 til 28 boraðar til viðbótar innan sama svæðis og mun hluti þeirra nýtast til stækkunar virkjunarinnar. Í dag er Reykjanesvirkjun knúin með orku úr 12 borholum. Massataka úr jarðhitakerfinu á Reykjanesi árið 2007 var um 730 kg/s og vermið að meðaltali um 1.335 kJ/kg sem svarar til þess að hrávarmavinnslan hafi verið um 975 MWt. Nýtingarleyfi fyrir jarðhitasvæðið á Reykjanesi gerir ráð fyrir allt að 1.000 MWt upptöku hrávarma. Framkvæmdasvæðið er á skilgreindum iðnaðar- og orkuvinnslusvæðum skv. Aðalskipulagi Reykjanesbæjar 1995-2015. Með Reykjanesvirkjun er verið að afla dýrmætrar reynslu og þekkingar á virkjun og rekstri saltra háhitakerfa á plötuskilum, sem m.a. eykur við takmarkaða þekkingu manna á jarðhitakerfum á

djúpsævi (Black Smokers). Glíman við flókna og erfiða efnafræði jarðhitavökvans hefur aukið verulega við þekkingu og færni íslenskra vísinda- og tæknimanna og gert íslenskan jarðhitaiðnað hæfari til að takast á við flókin verkefni innanlands og utan.



Mynd 6.1 Deiliskipulag fyrir iðnaðarsvæði á Reykjanesi. Dökkbrúnn litur sýnir hvar skipulagi var frestað, þ.e. byggingamagn og stærð lóða ákveðin síðar. Ljósbrúnn litur táknar borsvæði, gulur er orkuvinnsla eða iðnaður, rauðar og svartar línur sýna lagnir.

Orkuvinnsla á vegum HS Orku hf fer fram innan iðnaðarsvæðisins. Þar er land mikið raskað frá fyrri tíð og vegna virkjunarinnar. Á svæðinu eru vegir og slóðar, borteigar, lagnir og mannvirki. Athafnasvæðin eru einkum við sjónámssvæði, ferskvatnssvæði austan Sýrfells, vinnslusvæði jarðhitans í grennd Rauðhóls og við affall frá virkjuninni. Á milli sjónámssvæðis og iðnaðarsvæðis liggja lagnir í jörðu og steiptur bunustokkur frá stöðvarhúsi til sjávar. Iðnaðarsvæðið á Reykjanesi er í um 11 km fjarlægð í hásuður frá byggð í Höfnum og í u.þ.b. sömu fjarlægð í vestur frá byggð í Grindavík. Þéttbýli í Reykjanesbæ er í tæplega 16 km fjarlægð norðnorðaustur frá iðnaðarsvæðinu.

Mat á umhverfisáhrifum núverandi virkjunar hefur farið fram. Fallist var á jarðhitanytingu á Reykjanesi með úrskurðum skipulagsstjóra ríkisins frá 17. maí 2000, úrskurði umhverfisráðherra frá 30. ágúst 2000 og úrskurði Skipulagsstofnunar frá 27. September 2002. Eftirfarandi skilyrði voru sett í úrskurði Skipulagsstofnunar:

- Tryggt verði að stærð og vatnsborð Gráalónsins verði óbreytt.
- Affallsvatn sem til fellur á meðan borun og prófunum hola í 3. áfanga stendur verði leitt í Gráalónið.
- Tryggt verði að ekki myndist útfellingar eða tjarnir vegna affallsvatns við borun og prófun hola í 2. áfanga.

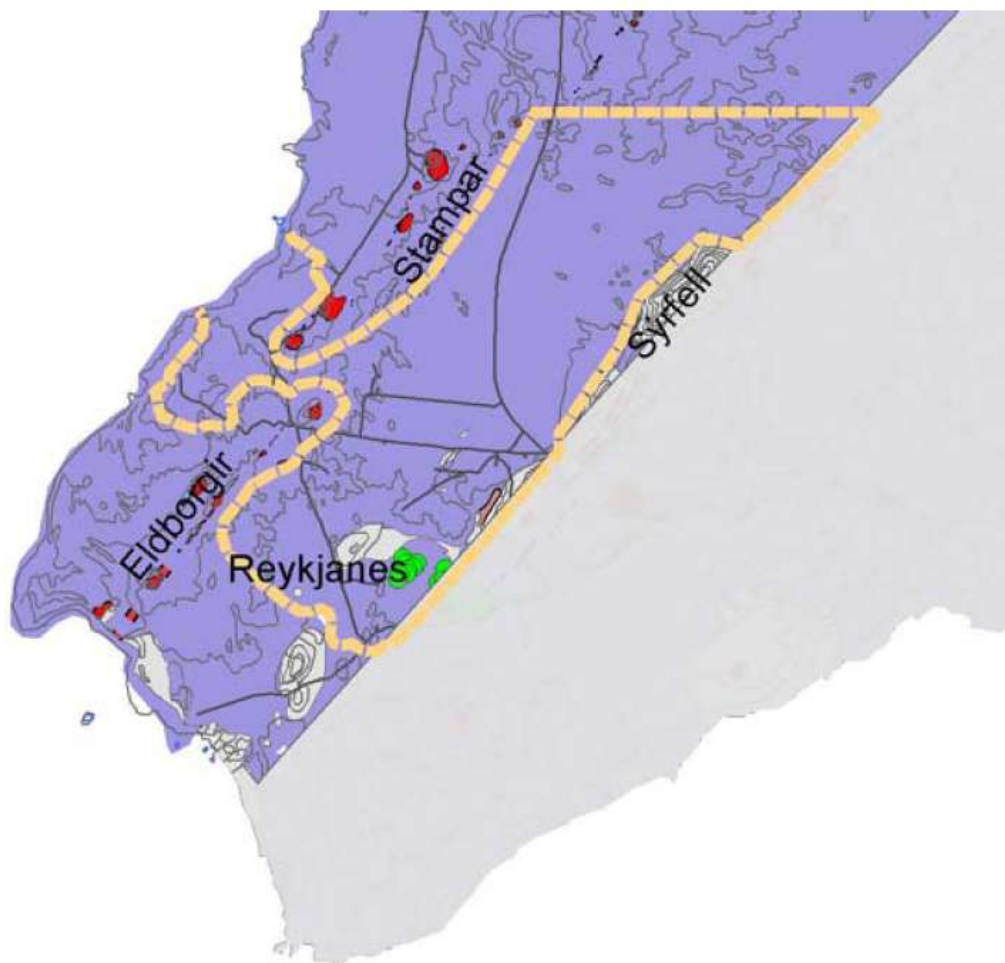
HS Orka áformar nú stækkun Reykjanesvirkjunar um 80-100 MWe í tveimur áföngum, með (a) 50 MWe háprýstihverfli, og (b) með 30-50 MWe lágprýstihverfli. Fyrirhugaðar virkjanir og borholur eru innan skilgreinds iðnaðarsvæðis og orkuvinnslusvæða á Reykjanesi skv. gildandi aðalskipulagi Reykjanesbæjar 1995-2015 og aðalskipulagi Grindavíkurbæjar 2000-2020. Reykjanesbær samþykkti 27. maí 2004 að gera breytingu á aðalskipulagsuppdrætti, sem

snýr að breytingu á lögun iðnaðar- og orkuvinnslusvæðis á Reykjanesi, breytingu á affallsleið og nýju svæði fyrir sjónám. Umhverfisstjórn hefur staðfesti breytinguna 19. ágúst 2004 og staðfestingin birtist í B-deild Stjórnartíðinda 20. ágúst 2004.

Í aðalskipulagi Reykjanesbæjar segir m.a.: „Reykjanesið er jarðfræðilega það einstakt að vel mætti huga þar að þjóðgarði. Gætt verði að því að sá iðnaður, sem er innan svæðis á Náttúru-minjaskrá spilli ekki frábærum möguleikum svæðisins sem aðdráttarafli fyrir ferðamenn.“

Fyrirhuguð stækkun Reykjanesvirkjunar er í samræmi við Aðalskipulag Reykjanesbæjar og Grindavíkurbæjar.

Í drögum að aðalskipulagi Reykjanesbæjar 2008-2024 er mörkuð stefna um stækkun iðnaðarsvæðis á Reykjanesi fyrir orkuvinnslu (mynd 7.1). Markmið með stækkun iðnaðar-/orkuvinnslusvæðis er m.a. að dreifa vinnslu úr jarðhitageyminum yfir stærra svæði og auka möguleika á niðurdælingu jarðhitavökva. Einnig er líklegt að gerðar verði tilraunir með borun djúphola til vinnslu djúpvökva með yfirmarkshitastig á Reykjanesi og leita þarf heppilegrar staðsetningar fyrir slíka borun.



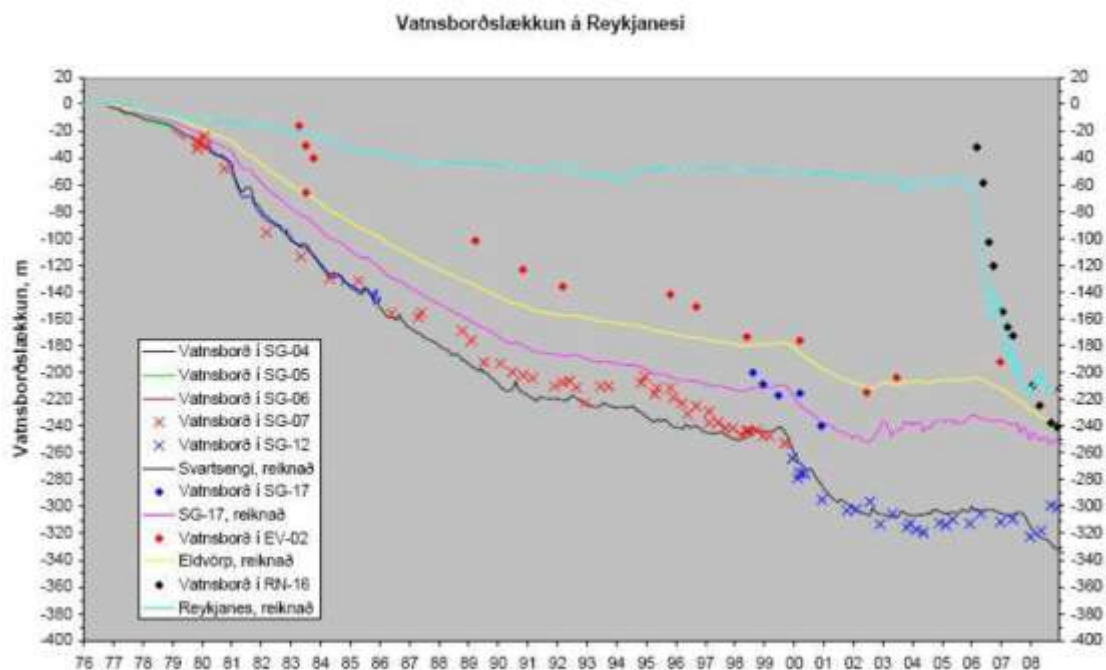
Mynd 7.1 Tillaga að stækkun iðnaðarsvæðis á Reykjanesi skv. drögum að aðalskipulagi Reykjanesbæjar 2008-2024. Punktalína sýnir tillögu að nýrri legu.

Framkvæmdasvæðið er innan svæðis á Náttúru-minjaskrá, Reykjanes, Eldvörp og Hafnaberg, ekki síst vegna merkilegra jarðmyndana, og er sá hluti þess sem er utan iðnaðarsvæðis tilgreindur sem svæði til friðlýsingar í Náttúruverndaráætlun 2004-2008. Einnig njóta jarðmyndanir á svæðinu sérstakrar verndar skv. 37. gr. náttúruverndarlaga nr. 44/1999. Það á við um nánast öll hraun á svæðinu, fjölda gíga eins og Stamparöðin og Skálafell og hverasvæðið við Gunnuhver. Í skýrslu um mat á verndargildi jarðminja á háhitasvæðum fjalla Helgi Torfason og Kristján Jónasson (2006) m.a. um Reykjanes. Þar segir m.a. að staðsetning orkuvers með tilheyrandi borplönnum, leiðslum og lögnum skipti miklu máli. Merkar

jarðmyndanir hafi ekki verið eyðilagðar með virkjun á Reykjanesi en sjónrænt gildi þeirra hafi minnkað.

Sjálfbærni jarðhitavinnslu

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. Um þetta er fjallað í greinargerð um sjálfbærni vinnslunnar². Miðað við upphaflega vökvastöðu í jarðhitakerfinu í Svartsengi nemur mæld vatnsborðslækkun nú rúmum 300 m, eða um 30 bar í þrýstingi.



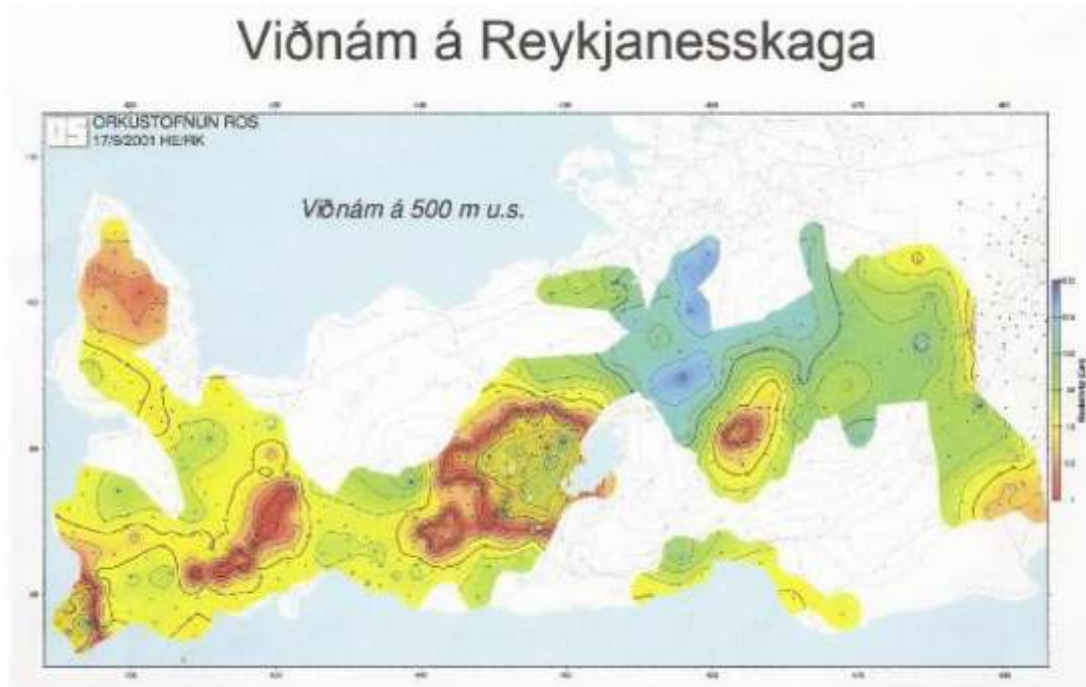
Mynd 1. Vatnsborðbreytingar jarðhitakerfa á utanverðum Reykjaneskaga 1976-2010 (Verkfræðistofan Vatnaskil, 2009)

Athyglisvert er að vökvaborð í rannsóknarholu í Eldvörpum (EG-2), sem aldrei hefur verið í notkun og er í um 5 km fjarlægð frá Svartsengi, fylgir lækkuninni í Svartsengi. Þetta er sýnt með rauðum punktum á mynd 1. Um árið 2000 verða ferlar í Svartsengi nær láréttir. Ástæða þess er niðurdæling jarðhitavökva í kerfið og aukin vinnsla úr þurrgefusvæðum. Í dag eru um 420 kg/s tekin úr Svartsengiskerfinu en um 240 kg/sek dælt niður aftur.

Vegna vinnslu úr jarðhitakerfinu á Reykjanesi fyrir núverandi 100 MWe virkjun hefur þrýstingur í kerfinu lækkað sem nemur að meðaltali um 19 bar, eða um 190 m (um 240 m miðað við þrýstingshæð í Svartsengi). 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 þrýstislækkunar/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. Mælingar á landsigi sýna að á árunum 2005 – 2008 varð um 9-12 cm sig langs eftir Reykjanesinu í norðausturstefnu og heldur minna sig við Svartsengi. Þetta landsig gefur til kynna að jarðhitakerfin á Reykjaneskaganum séu tengd eftir landreksplötumótunum og

² HS Orka 2009. *Sjálfbærni jarðhitans á Reykjanesi*. Guðmundur Ómar Friðleifsson, Ómar Sigurðsson, Albert Albertsson, Geir Þórólfsson og Ásbjörn Blöndal, Júní 2009.

umtalsvert víðfeðmara með vaxandi dýpi. Jarðhitakerfið á Reykjanesi hefur á grundvelli viðnámsmælinga, sem aðeins „sjá“ þó um 1 km niður frá yfirborði, verið talið ná yfir um 10 km² svæði.



Nánari heimildir um jarðhitakerfið á Reykjanesi er að finna í heimildum sem vitnað er til í frummatsskýrslu vegna stækkunar¹.