

R3265A Trölladyngja

Viðauki 64 af 92 við skýrslu Orkustofnunar OS-2015/02

Virkjunarkostir til umfjöllunar í 3. áfanga rammaáætlunar

Virkjanakostir til umfjöllunar í þriðja áfanga Rammaáætlunar

R3265A Trölladyngja



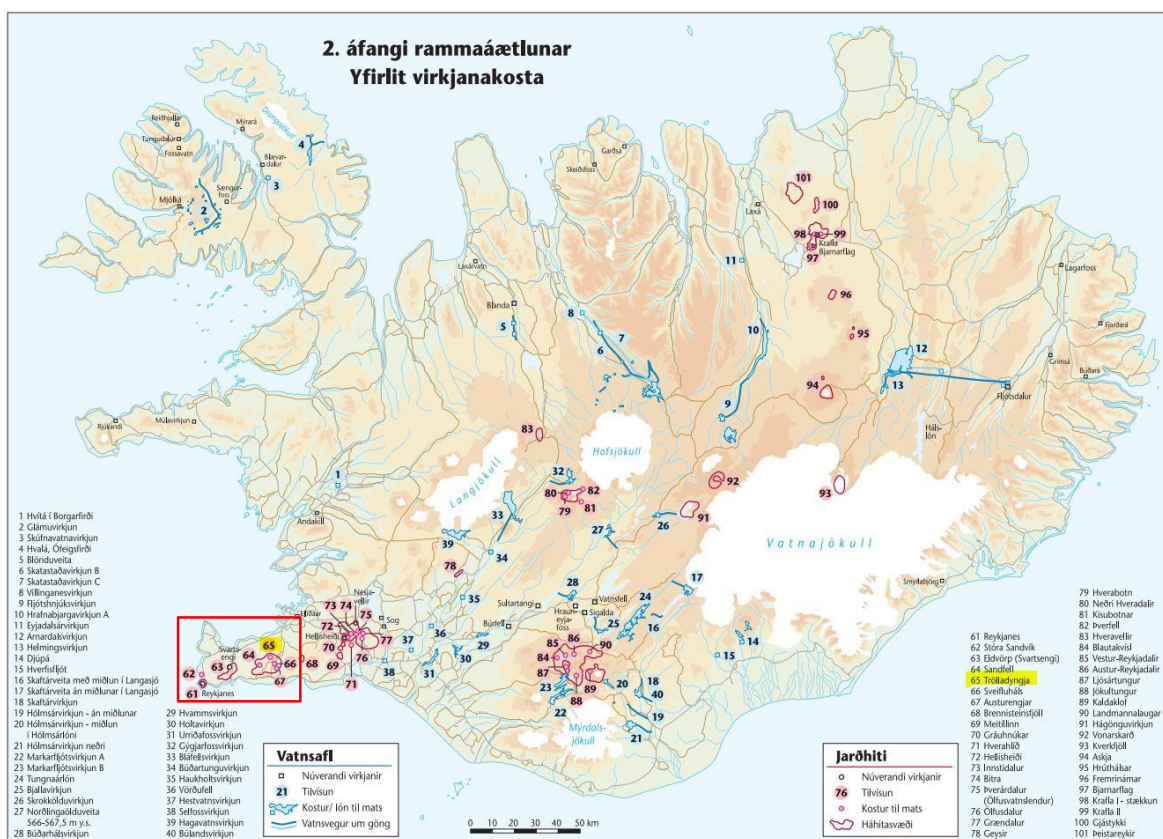
HS ORKA



1 Inngangur

Trölladyngja er hluti af mjög stóru jarðhitasvæði sem kennt hefur verið við Krýsuvík. Frá 2006 hefur HS Orka haft rannsóknarleyfi á öllu svæðinu til 10 ára. Margt konar yfirborðsrannsóknir má heita lokið. Trölladyngjusvæðið var flokkað í biðflokk í Rammaáætlun 2, valkostur nr. 65 sbr. kort Rammaáætlunar (mynd 1) þrátt fyrir að þar hafi verið boraðar tvær djúpar rannsóknarholur, 2001 og 2006, á vegum Jarðlindar ehf. og Hitaveitu Suðurnesja. Holurnar gáfu nauðsynlegar forsendur til að meta orkugetu og eðli jarðhitakerfisins, og er sú fyrri þeirra vel nýtanleg án breytinga (4-5 MW), en sú síðari þarfnast einhvers konar aðgerða áður en til nýtingar kæmi. Bora verður 1-2 stefnuboraðar djúpar rannsóknarholur, staðsettar á sömu borteigum og holurnar sem fyrir eru, áður en hentugasta form virkjunar verður ákveðið. Vel kemur til greina að stefnubora út úr annarri djúpu holunni.

Trölladyngja var flokkuð í biðflokk í Rammaáætlun 2, valkostur nr. 65 sbr. kort Rammaáætlunar (mynd 1). Borun rannsóknarholna er ekki möguleg meðan þessi kostur er í biðflokki sbr. *Lög nr. 48 16. maí 2011, 5. gr.*



Mynd 1: Virkjunarkostir HS Orka hf. eru innan rauða rammans á Reykjanesi; Trölladyngja er nr. 65 í Rammaáætlun 2.

2 Helstu kennistærðir

HS Orka gerir ráð fyrir að nýta jarðvarma Trölladyngjusvæðisins fyrir jarðvarmavirkjun til framleiðslu á rafmagni og mögulega einnig heitu vatni. Gert er ráð fyrir að svæðið verði virkjað í áföngum, byggt á niðurstöðum jarðfræði- og jarðeðlisfræðirannsóknunum, rannsóknarborunum og auðlindamati. Áætlaðar helstu kennistærðir slíkrar virkjunar eru í töflu 1.



Sé vilji til þess af hálfu sveitafélags eða sveitarfélaga sem fara með skipulagsvald á svæðinu mætti gera ráð fyrir því í hönnun virkjunar að upphitun grunnvatns yrði möguleg fyrir staðbundna hitaveitu t.d. fyrir stóran notanda og/eða smærri notendur sem kysu nálægð við orkuver.

Umræða um heildstæða nýtingu Krýsuvíkursvæðisins hefur m.a. snúist um að á því væri unnt að byggja upp virkjanakerfi sem gæti framleitt heitt vatn fyrir notendur á höfuðborgarsvæðinu þ.e.a.s. því svæði sem Nesjavalla- og Hellisheiðavirkjun sjá fyrir heitu vatni. Með þessu fyrirkomulagi yrði afhendingaröryggi heits vatns aukið til muna komi t.d. til umbrota á Hengillssvæðinu.

Tafla 1: Helstu kennistærðir fyrir jarðvarmavirkjun við Trölladyngju.

Helstu kennistærðir		Eining
Uppsett rafafli	100	MW _e
Uppsett varmaafli	<100	MW _{th}
Raforka	820	GWh/ári
Nýtingartími	8200	klst./ári
Flatarmál lágviðnámskápu	19	km ²
Flatarmál háviðnámskjarna	15	km ²
Flatarmál nýtingarsvæðis	20	km ²
Flatarmál framkvæmdasvæðis	7	km ²

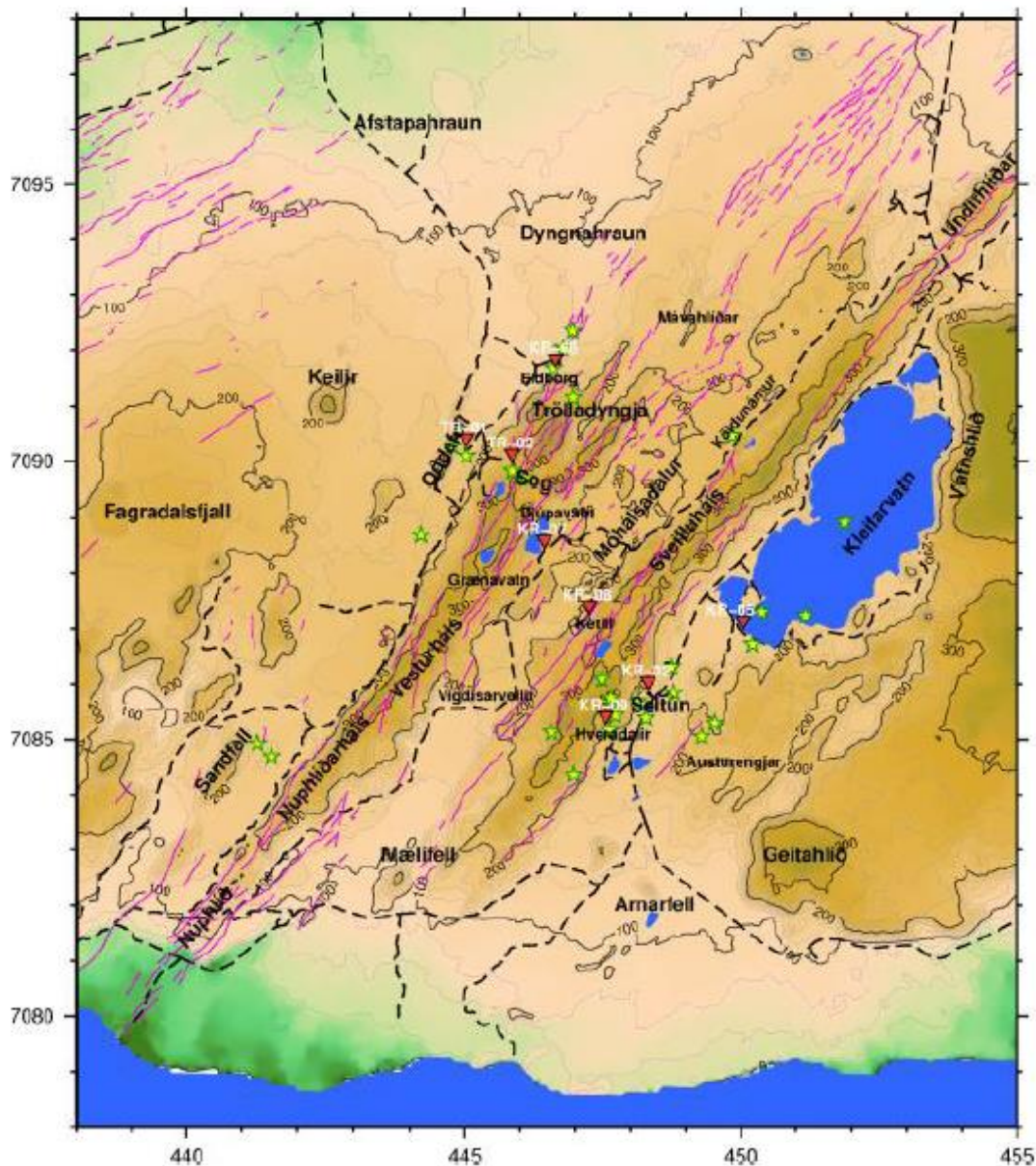
3 Staðhættir og skipulag

Trölladyngjusvæðið er norðvestanvert á Krýsuvíkursvæðinu (mynd 2) og er í lögsögu tveggja sveitarfélaga, Grindavíkur sunnan til en Voga norðan til.

Vegtenging er inn á svæðið frá Reykjanesbraut um Afstapahraun inn á Höskuldarvelli að nýlegum djúpum borholum sunnan Höskuldarvalla, en þess utan eru á svæðinu nokkrir slóðar frá gamalli tíð.

Borðar voru 2 djúpar rannsóknarholur milli Oddafells og Soga áður en núgildandi rannsóknarleyfi tók gildi, sú fyrri 2001, TR-01, 2307 m djúp, og sú síðari 2006, TR-02, 2280 m djúp (sjá töflu 2). Ein 842 m djúp hola (KR-06) hafði áður verið boruð norðan undir Trölladyngju 1971. Þessar djúpu rannsóknarholur gefa grundvallar upplýsingar um hitaástand og lekt á Trölladyngjusvæðinu og er þekking því betri þar en á öðrum hlutum Krýsuvíkursvæðisins. Boraðar voru grunnar grunnvatnsholur við norðurenda Oddafells árið 2000 í þeim tilgangi að afla skolvatns til háhitaborana. Ljóst er að þar sem og á svæðinu norður af Trölladyngju er umtalsverður grunnvatnsstraumur.

Aðgengi að austurhluta Trölladyngjusvæðisins er um vegslóða frá Undirhlíðum suður um Móhásadal að Djúpatvatni (mynd 2). Slóðinn er rútfær en þarfnast styrkingar til að flytja stærri tæki, s.s. bor. Afla mætti vatns til rannsóknarborana annað hvort úr Djúpatvatni eða með 150-200 m djúpum grunnvatnsholum á völdum stöðum norðanvert í Móhásadal. Ein Hola, KR-07, var boruð við Djúpatvatn 1973, niður á 931 m dýpi (tafla 2).



Mynd 2: Yfirlitskort af Krýsuvíkursvæðinu sem sýnir helstu örnefni og vegi (brotalínur). Svæðið sem hér er til umfjöllunar er kennt við Trölladyngju. Þar voru tvær djúpar rannsóknarholur boraðar árin 2001 og 2006. Vegur liggur inn á svæðið frá Reykjanesbraut um Afstapahraun.

Á gildandi aðalskipulagi Grindavíkur 2010 til 2030 er skilgreint svæði á Trölladyngjusvæðinu fyrir jarðhitaboranir.

Trölladyngjusvæðið er að hluta til innan marka Reykjanesfólkvangs. Í reglum um Reykjanesfólkvang sbr. Stjórnartíðindi B, nr. 520/1975, segir m.a.:

„Allt jarðrask er bannað innan fólkvangsins nema leyfi Umhverfisstofnunar komi til. Undanskilin er hagnýting jarðhita, t.d. í Krýsuvík, og mannvirkjagerð í því sambandi“.

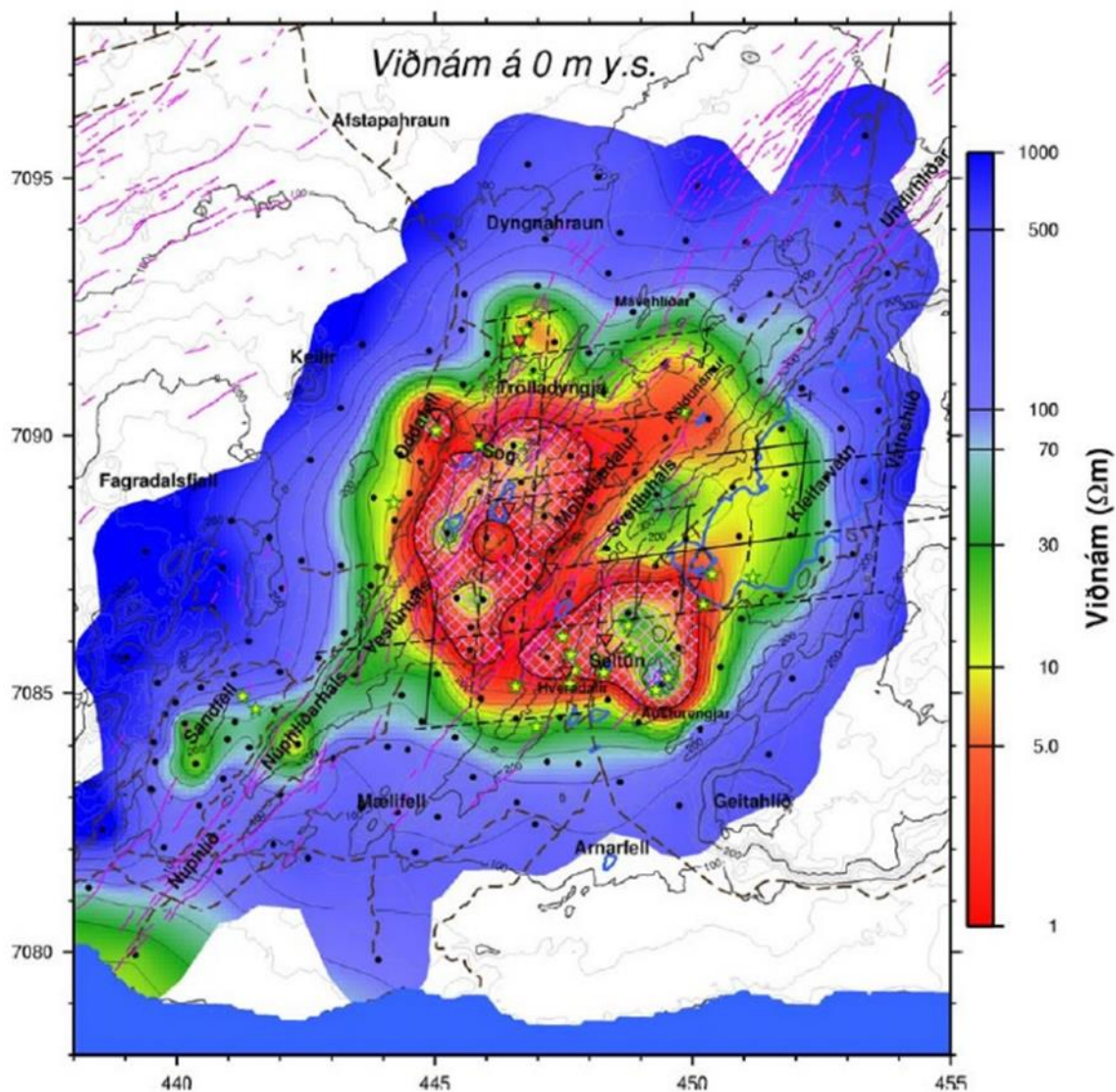
Stjórn fólkvangsins hefur látið vinna ágætis lýsingar á almennri jarðfræði, gróðurfari, dýralífi, mannvistarleifum og fleira innan fólkvangsins og er vísað til þeirra hér (Sigrún Helgadóttir, 2004; Hildur A. Gunnarsdóttir, ritsj. 2008). Grindvíkingar nýta afgirtan hluta Trölladyngjusvæðisins til fjárbeitar. Höskuldarvellir og svæðið suður af Selsvöllum er ágætlega gróið graslendi, utan hrauna, en megin hluti



Trölladyngjusvæðisins er í móbergsfjallendi umgirt hraunum. Engir vegslóðar eru yfir fjallendið og þarf því að nálgast austurhluta svæðisins um vegslóða frá Undirhlíðum (sjá mynd 2).

4 Jarðvarmi

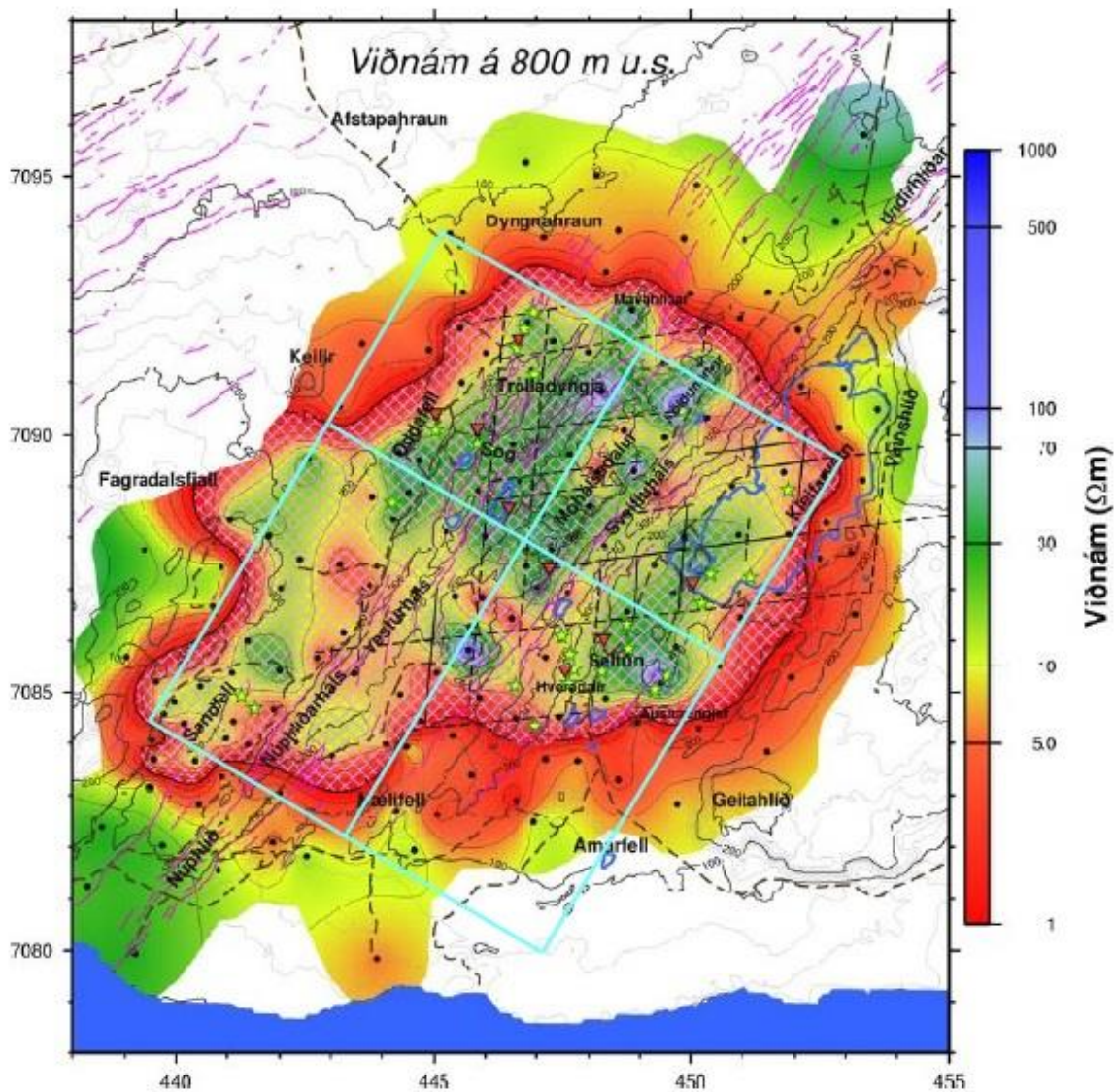
Mynd 3 sýnir útlínur lágviðnáms á Krýsuvíkursvæðinu við sjávarmál. Myndin sýnir jafnframt að háviðnámsvæði er talsvert útbreitt við sjávarmál á tveimur stórum flekkjum, annars vegar milli Vesturháls og Trölladyngju og hins vegar undir Seltúni austan Sveifluháls og austur undir Austurengjar. Hátt viðnám undir lágviðnámi gefur til kynna að berghiti hafi þar náð allt að 240°C hita Gamlar borholurannsóknir leiða í ljós að berghiti var mun hærri á ísaldartíma en er í dag, en nokkur hundruð metra þykkt jökulfarg getur skýrt að 240°C berghiti hafi getað verið við sjávarmál undir stórum hluta svæðisins. Um 400 m langa vökvasúlu á suðmarksferli þarf til að ná 240°C hita, og eitthvað styttri ef hluti vökvasúlunnar er kaldari.



Mynd 3: Viðnám við sjávarmál samkvæmt túlkun TEM mælinga. Hverir eru merktir með grænum/gulur stjörnum og gjár og misgengi með bleikum línun. Brot og brotabelti eru merkt með svörtum línun, heilum og brotnum.



Háviðnámskjarninn þekur stærra en 100 km² svæði, og lágviðnámskápan sem umlykur kjarnann nær til um 230 km² (mynd 4). Veruleg skjálftavirkni hefur verið á Krýsuvíkursvæðinu allt frá síðustu aldamótum og þaðan af fyrr. Umtalsvert landris og sig með miðju í Móhálsadal hafa orðið. Skjálftarnir koma í hrinum sem vara í nokkra dag, en fjöldi þeirra hefur verið meiri austan til á svæðinu. Þar af voru nokkrir skjálftar yfir 5 að stærð. Nokkur virknibreyting hefur sést á hverasvæðum á Krýsuvíkursvæðisins, einkum austan til, en litlar við Trölladyngju nema hvað gufusvæði í Sogum kulnaði með öllu, þó ekki sæjst breytingar á öðrum hverasvæðum þar. Ekki hefur tekist að tengja landris eða skjálfta við bráðið berg eða kvikuinnskot undir svæðinu.

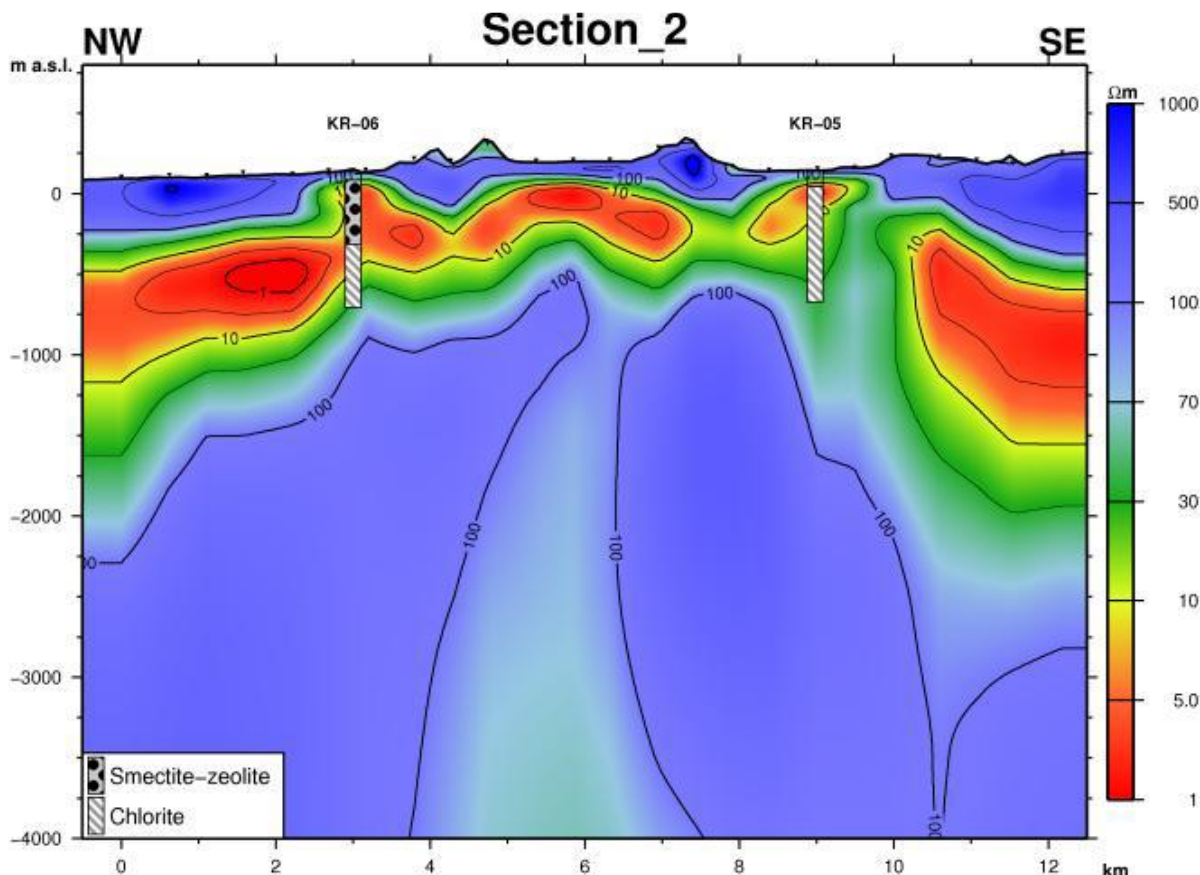


Mynd 4: Viðnám 800 m neðan sjávarmáls samkvæmt túlkun TEM mælinga. Hverir eru merktir með grænum/gulum stjörnum og gjár og misgengi með bleikum línum. Brot og brotabelti samkvæmt dreifingu skjálfta eru merkt með svörtum línum, heilum og brotnum. Borholur eru merktar með rauðum fylltum þríhyrningum. Brotalínur tákna vegi og slóða. Gróf skipting nýtingarsvæða er sýnd með ljósbláum ferhyrningum. Trölladyngjusvæðið er í norðvestri.

Miðja jarðhitasvæðisins er í Móhálsadal. Mynd 5 sýnir viðnámsþversnið frá yfirborði niður á 4 km dýpi, vestan frá Höskuldarvöllum undir Trölladyngju, Móhálsadal, Sveifluháls og sunnanvert Kleifarvatn. Holur KR-06, við Trölladyngju, og KR-05, við Hverahlíð sunnan Kleifarvatns, eru sýndar í sniðinu. Myndin gefur ágæta hugmynd um miðju háhitasvæðisins undir Móhálsadal, sem lágviðnámskápan



hvelfist yfir. Allar fyrirbyggjandi tillögur HS Orku um rannsóknarholur eru enn sem komið er utan miðjunar, enda er aðgengi þar torveldara en út með jöðrunum.



Mynd 5: Viðnámsþversnið niður á 4 km dýpi frá Höskuldarvöllum, undir Trölladyngju, Móhálsadal, Sveifluháls og austur fyrir Kleifarvatn. Miðja háhitasvæðisins er undir Móhálsadal.

Jarðhitavirkni á Krýsuvíkursvæðinu öllu síðastliðin 10.000 ár hefur verið mest í Hveradölum og Seltúni, en jarðhitavirkni í Sogum á Trölladyngjusvæðinu kann þó að hafa verið öllu mikilvirkari áður fyrr. Hún er talsvert eldri og var trúlega mikilvirkust seint á síðustu ísöld fyrir 20-30 þúsund árum. Rannsóknir og boranir á Krýsuvíkursvæðinu hafa verið talsverðar gegnum tíðina og er þeim lýst nánar í lýsingu HS Orku á Sveifluháls svæðinu.

Eitt af því sem einkenddi hitamælingar í mörgum þeirra holna sem boraðar voru fyrr á árum var viðsnúningur hitaferla. Holurnar voru heitastar á 200-500 m dýpi en kaldari þar fyrir neðan og því ekki fýsilegar til virkjunar. Mælingarnar benda til að jarðhitakerfið hitni aftur þegar neðar dregur, einkum nær miðju uppstreymisrása. Djúpu holurnar á Trölladyngjusvæðinu (sjá töflu 2), eru >330°C heitar nærri botni, neðan 2 km dýpis, en sýna þó einnig örlítt viðsnúning á miðsvæði þeirra.

Tafla 2: Borholur á Krýsuvíkursvæðinu

Verklok	Verkkaupi	Nafn	Dýpi	Staðsetning
17.8.1971	Jarðhitadeild OS	KR-06	843.5	Eldborg í Trölladyngju
23.9.1971	Jarðhitadeild OS	KR-07	931.2	Hjá Djúpavatni
30.6.2001	Jarðlind ehf.	TR-01	2.307	Trölladyngja
2.7.2006	HS	TR-02	2.280	Trölladyngja
6.9.2007	HS	SA-1	235	Sandfell



5 Nýting

Mynd 6 sýnir nýtingarsvæði hugsanlegrar virkjunar í Trölladyngju. Nýtingarsvæði er skilgreint sem áhrifasvæði virkjunar á auðlindina undir yfirborði jarðar, með öðrum orðum, svæði þar sem áhrifa vinnsla kann að gæta. Nýtingarsvæði Trölladyngju liggur að áætluðum nýtingarsvæðum Austurengja í austri og Sandfells í suðri. Innan nýtingarsvæðisins við Trölladyngju er stærð lágviðnámssvæðis á um 1000 m dýpi (800 m.u.s.) áætluð um 19 km² og útbreiðsla háviðnámsskjarna um 15 km² (mynd 4). Iðnaðarsvæði og framkvæmdasvæði yrðu innan nýtingarsvæðisins og staðsetning þeirra háð samþykki skipulagsyfirvalda. Ekki er hægt að afmarka framkvæmda- og iðnaðarsvæði á þessu stigi, þar sem það ræðst af niðurstöðum frekari rannsóknarboranna.

Sveitarfélög með skipulagsyfirvald á svæðinu geta skapað skilyrði fyrir starfsemi á svæðinu, eða nærsvæðum, sem á beinan hátt getur nýtt sér auðlindastrauma sem tengjast jarðhitavinnslu virkjunar líkt og í Auðlindagarði í Svartsengi og á Reykjanesi og stuðlað þannig að fjölbreyttri atvinnuuppbyggingu. Eins og getið er um í kafla 2, gæti hugsanleg virkjun jarðvarma á Krýsuvíkursvæðinu gert kleift að framleiða heitt vatn fyrir höfuðborgarsvæðið. Framleiðsla stuðlar að auknu afhendingaröryggi heits vatns fyrir höfuðborgarsvæðið, t.d. ef til umbrota kæmi á Hengillssvæðinu. Við gerð virkjanaáætlana yrði þetta gaumgæft, því varaaflossvæði til varmavinnslu skiptir verulegu máli til framtíðar litið.

Áður en til jarðhitavinnslu kæmi yrði gert reiknilíkan fyrir jarðhitakerfið í Trölladyngju, byggt á þeirri þekkingu sem þá liggur fyrir. Spár yrðu gerðar um þrýstingslækkun í jarðhitakerfinu fyrir áætlaða vinnslu. Þær spár síðan bornar undir leyfisveitendur, eins og Orkustofnun varðandi gildandi kröfur, til dæmis um sjálfbærni. Mögulegar mótvægisáðgerðir yrðu reifaðar í mati á umhverfisáhrifum, umsókn um nýtingar- og virkjunarleyfi og samráð haft við leyfisveitendur. Jarðhitavökvi á Trölladyngjusvæðinu er að uppruna ferskvatn og samsvarar því þeim jarðhitavökva sem algengur er á öðrum jarðhitasvæðum. Þá má búast við að hluti skiljuvatns verði hærri en á heitari jarðhitasvæðum og því þurfi niðurdæling að vera veruleg. Þannig þarf mestur hluti affallsvatns að fara til niðurdælingar, en afgang affallsvatni mætti farga í grynri förgunarholur sem væru fóðraðar niður fyrir ferskvatnslag. Ekki yrði myndað lón við Trölladyngju, en trúlega þyrfti pró á iðnaðar- og framkvæmdasvæði virkjunar sem gæti tekið við affalli við stýringu, prófanir eða bilun virkjunar.

Líklegt er að byggt verði upp í áföngum og holufjöldi því algerlega háður stærð hvers áfanga. Miðað er við að unnt verði að reisa allt að 100 MW_e virkjun og reiknað er með að bora þurfi minnst 20 vinnsluholur og 4 niðurdælingarholur fyrir virkjun með þessu afli. Ef gert er ráð fyrir að einhverjar holur geti ekki nýst virkjun gæti holufjöldinn í byrjun hækkað um 3-5 holur miðað við almenna tölfræði fyrir rannsóknarboranir á Íslandi. Ómögulegt er að segja fyrirfram til um fjölda uppbótarholna, sem þyrfti til að halda fullu afli virkjunar yfir ætlaðan líftíma hennar, því hann byggir á rekstrarforsendum virkjunar og viðbrögðum viðkomandi jarðhitakerfis. Þannig reikningar verða hins vegar gerðir þegar niðurstöður rannsóknarborana liggja fyrir og sótt verður um nýtingar og virkjanaleyfi.



6 Heimildir

- Anette K. Mortensen, Sigurður S. Jónsson, Bjarni Richter, Ómar Sigurdsson, Kjartan Birgisson, Tisk A. Karim Mahmood, Jón Gíslason, 2006: Trölladyngja, hola TR-02, 3. áfangi: Borun 12 ¼" vinnsluhluti frá 800 til 2280 m dýpis. ÍSOR, Reykjavík, ÍSOR-2006/060, 75 bls.
- Bjarni Reykr Kristjánsson, Ómar Sigurdsson, Annette K. Mortensen, Bjarni Richter, Sigurður S. Jónsson, og J.A. Jónsson, 2006: *Forborun og 1. og 2. áfangi, borun fyrir 22½" yfirborðsfóðringu í 85.5 m, 18% öryggisfóðringu í 354 og 13% vinnslufóðringu í 800 m dýpi*. ÍSOR, Reykjavík, ÍSOR-2006/051, 96 bls.
- Flóvenz, Ó.G., Fridleifsson, G.Ó., Johnsen, G.V., Kristmannsdóttir, H., Georgsson, L.S., Einarsson, S., Thórhallsson, S., and Jónsson, S.L., 1986: *Vatnsleysa-Trölladyngja, freshwater and geothermal investigation. 3 Geothermal exploration*. Orkustofnun, Reykjavík, report OS-86032/JHD-10 B, 39-92.
- Guðmundur Ómar Fridleifsson, Bjarni Richter, Grímur Björnsson og Sverrir Þórhallsson, 2002: Trölladyngja, HOLA TR-01. Orkustofnun, Reykjavík, OS-2002/053, 52 bls.
- Guðmundur Ó. Friðleifsson og Kristján Sæmundsson, 2015. Krýsuvík-Jarðhitakort, í vinnslu.
- Gylfi Páll Hersir, Arnar Már Vilhjálmsson, Guðni Karl Rosenkjær, Hjálmar Eysteinnsson og Ragna Karlsdóttir (2010). *Jarðhitasvæðið í Krýsuvík. Viðnámsmælingar 2007 og 2008*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2010/025. Unnið fyrir HS Orku hf. 263 s.
- Gylfi Páll Hersir, Knútur Árnason og Arnar Már Vilhjálmsson (2011). *3D Inversion of MT Data from Krýsuvík, SW Iceland*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2011/072. Unnið fyrir HS Orku hf. 165 s.
- Gylfi Páll Hersir, Knútur Árnason og Arnar Már Vilhjálmsson (2013). *3D Inversion of magnetotelluric (MT) resistivity data from Krýsuvík high temperature area in SW Iceland. Proceedigs, 38th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, California, Feb 11-13, 2013, SGP-TR-198*, 14 bls.
- Hildur Arna Gunnarsdóttir ritsj., 2008. Ferðaþjónustumöguleikar í Reykjanesfólkvangi. Skýrsla unnin fyrir Stjórn Reykjanesfólkvangs, ýmsir höfundar, 48 bls.
- Mbogoni, G. J., 2008: Geological study of the sedimentary sequence of lithology, depositional history and hydrothermal alteration at Sog in Trölladyngja area, SW-Iceland. UNU-GTP, Iceland, report 24, 20 bls.
- Sigríður Kristjánsdóttir (2013). *Microseismicity in the Krýsuvík Geothermal Field, SW Iceland, from May to October 2009*. Master thesis at the University of Iceland, 50 p.
- Sigrún Helgadóttir 2004. Reykjanesfólkvangur - Upphaf, markmið, framtíð. Skýrsla unnin fyrir stjórn Reykjanesfólkvangs, 43 bls.
- Sverrir Þórhallsson, Benedikt Steingrímsson, Halldór Ármannsson, Knútur Árnason og Kristján Sæmundsson (2006). *Krýsuvík - Rannsóknarsvæði og næstu rannsóknarboranir*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-06170. Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja hf. 5 s.



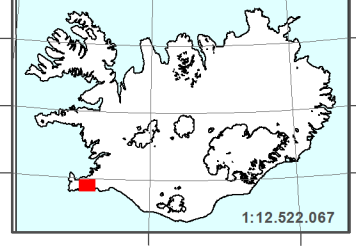
Yohannes Lemma Didana (2010). *Multidimensional Inversion of MT data from Krýsuvík High Temperature Geothermal Field, SW Iceland, and study of how 1D and 2D inversion can reproduce a given 2D/3D resistivity structure using synthetic MT data*. Master's thesis at University of Iceland, 119 p.

KRÝSUVÍK - Jarðhitakort



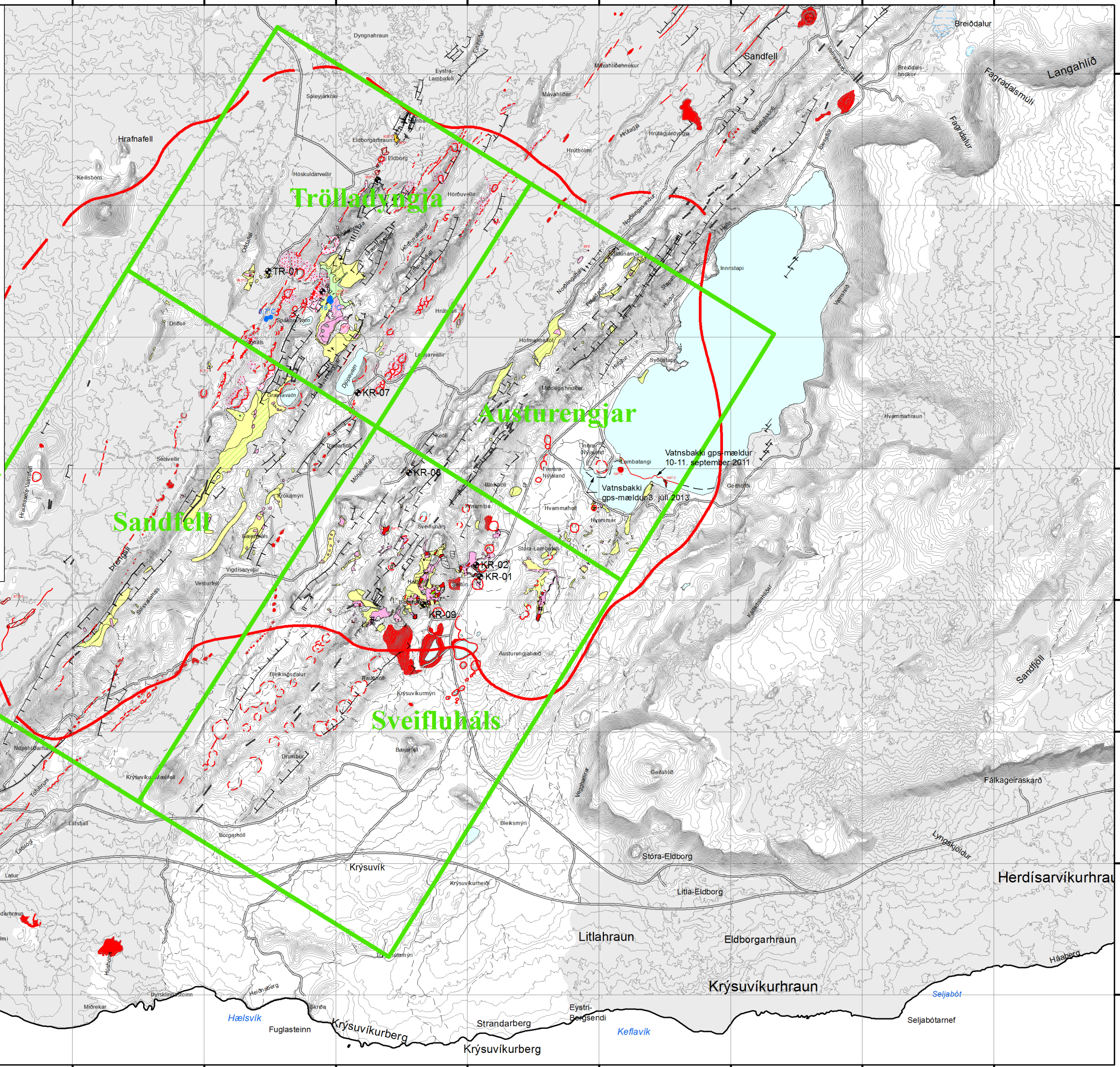
SKÝRINGAR:

- Hraun / Lava
- Gjóska / Tephra
- Set / Deposit
- Gufuhiti / Steam heat
- Þyrping gufu- og/eða leirhvera
Steaming ground
- Heit jörð / Hot ground
- Leir- og hveraskellur
Clayey alteration
- Mikil ummyndun, mikill leir
Highly altered ground, clayey
- Mikil ummyndun, vottur af leir
Highly altered ground, trace of clay
- Greinileg ummyndun
Alteration
- Væg ummyndun
Slightly altered ground
- Framhlaup / Landslide
- Háviðnáám á 800m
- Kísilhrúður / Silica sinter
- Kalkhrúður / Calcium scab
- Gífs útfellingar / Gypsum deposit
- Járn útfellingar / Iron deposit
- Borhola / Borehole
- Horfin borhola / Disappeared borehole
- Gígur / Crater
- Gígur í móbergi eða grágrýti, gamall
Crater, old
- Gígur í móbergi eða grágrýti, ungar
Crater, young
- Berggangur / Dyke
- Sprunga / Fracture
- Gjá / Fissure
- Misgengi / Fault
- Lind og hitastig
Spring and springwater temperature
- Vegur
- Slóð



Höfundar: Guðmundur Ó. Friðleifsson og Kristján Sæmundsson
 Kartið er unnið í landfræðilegu upplýsingakerfi ArcGIS
 Kartvörpun: Lambert Conformal Conic (ISN93)
 Háðæmningubili 5 m
 Viðmið: ISN93
 Kortagerð: Guðrún Sigríður Jónsdóttir

Authors: Friðleifsson, G. Ó. and Sæmundsson, K.
 Prepared in: ArcGIS
 Lambert Conformal Conic (ISN93)
 Contour interval 5 m
 Datum: ISN93
 Cartography: Guðrún Sigríður Jónsdóttir



Trölladyngja

Austurengjar

Sandfell

Sveifluháls

Vatnsbaki gps-mældur 10-11. september 2011
 Vatnsbaki gps-mældur 3. júlí 2013

