



ORKUSTOFNUN
Rannsóknasvið

Verknr.: 8-630350

Ragna Karlsdóttir
Sverrir Þórhallsson

Torfajökull

Greinargerð með umsókn Hitaveitu
Suðurnesja um leyfi til jarðhitarannsóknna

Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja

OS-2002/Grg-RK/SP-01

Júlí 2002

ORKUSTOFNUN – RANNSÓKNASVIÐ

Reykjavík: Grensásvegi 9, 108 Rvk. – Sími: 569 6000 – Fax: 568 8896

Akureyri: Háskólinn á Akureyri, Sólborg v. Norðurslóð, 600 Ak.

Sími: 463 0559 – Fax: 463 0560

Netfang: os@os.is – Veffang: <http://www.os.is>

EFNISYFIRLIT

1.	INNGANGUR.....	3
2.	TILGANGUR RANNSÓKNA OG NÝTINGAR.....	4
3.	AFMÖRKUN RANNSÓKNARSVÆÐA.....	4
4.	LÍKLEG ÁHRIF NÝTINGAR Á NÆRLIGGJANDI SVÆÐI.....	5
5.	YFIRLIT UM FYRRI RANNSÓKNIR Á SVÆÐINU.....	5
	<i>Jarðefnafræði</i>	6
	<i>Jarðeðlisfræði</i>	7
	<i>Landmælingar</i>	8
6.	RANNSÓKNARÁÆTLUN.....	8
	<i>Samtúlkun gagna</i>	9
	<i>Jarðfræði- og jarðhitaskýrsla</i>	9
	<i>Sprungukortlagning vesturhluta öskjunnar</i>	9
	<i>Rannsókn á gossögu</i>	9
	<i>Vatnafar og grunnvatn</i>	9
	<i>Þétting TEM-viðnámsmælinga á rannsóknasvæði</i>	9
	<i>MT-viðnámsmælingar</i>	10
	<i>Rannsókn á skjálftavirkni</i>	10
	<i>Þyngdarkort af Torfajökulssvæði</i>	10
	<i>Þyngdar- og GPS-mælingar til eftirlits með massatöku</i>	10
	<i>Þétting gassýna</i>	11
	<i>Eftirlit með gufuaugum</i>	11
	<i>Eftirlit með afrennsli</i>	11
	<i>Gas í andrúmslofti</i>	11
	<i>Gasstreymi</i>	11
7.	TÍMASETNING RANNSÓKNANNA.....	11
8.	RANNSÓKNARBORANIR, FRÁGANGUR BORHOLNA OG MANNVIRKJA.....	12
9.	HEIMILDIR.....	14
10.	KORT.....	14
	<i>Jarðhitakort í 1:40.000 ásamt útlínum rannsóknarsvæðis, sem sótt er um.</i>	14

1. INNGANGUR

Jarðhitasvæðið, sem kennt er við Torfajökul í Rangárvalla- og Vestur Skaftafellssýslum er líklega stærsta og öflugasta jarðhitakerfi á Íslandi að Grímsvötnum undanskildum. Í skýrslu Iðnaðarráðuneytis 1994 var áætlað að svæðið væri um 140 km² og gæti það skilað um 385 TWst í raforkuframleiðslu (960 MW í 50 ár), að því tilskildu að um 70% af svæðinu teldist aðgengilegt til vinnslu (Iðnaðarráðuneytið; 1994). Rannsóknir Orkustofnunar undanfarinn áratug benda til þess að svæðið sé mun umfangsmeira (um 400 km²) og öflugara.

Jarðhitasvæðið við Torfajökul nær yfir allt Torfajökulshálendið sem er afar stórskorið og helstu ummerki jarðhita eru í 800-1100 metra hæð yfir sjávarmáli. Það nær frá Álftavatni í suðri til Frostastaðavatns í norðri og frá Laufafelli og Rauðfossafjöllum í vestri austur fyrir Torfajökul. Á Torfajökulssvæðinu er megineldstöð og 2-3 öskjur. Meginaskjan er sú stærsta á Íslandi, um 12 km í þvermál, og er megnið af jarðhitaummerkjum innan hennar. Einnig eru merki um eina eða tvær yngri smærri öskjur, 4-5 km í þvermál, vestan í meginöskjunni (Kristján Sæmundsson og Guðmundur Ómar Friðleifsson; 2001). Fjölbreyttari yfirborðsmerki er að finna á svæðinu en á flestum öðrum háhitasvæðum á Íslandi, svo sem gufu-, vatns- og leirhveru, laugar og fleira. Gashitamælar benda til djúphita um 300°C víðast hvar á svæðinu en allt að 350°C á heitustu svæðunum í sunnan- og suðaustanverðri öskjunni og í vestanverðum Reykjadölum (Jón Örn Bjarnason og Magnús Ólafsson; 2000). Viðnámsmælingar gefa til kynna flóknari viðnámsskipan en sést hefur í mælingum á háhitasvæði á Íslandi til þessa og eru erfiðar í túlkun. Jarðhitasvæðið undir Torfajökli virðist mega greina í sundur í nokkur undirkerfi svo sem háhitasvæðið kennt við Hrafninnusker, háhitasvæðið í Reykjadölum, háuhveru nær Torfajökli svo og Landmannalaugar (Ragna Karlsdóttir; 2001). Jarðhitakort í mælikvarðanum 1:40.000 fylgir með rannsóknar-áætluninni.

Jarðhitasvæðið í Torfajökli hefur verið talsvert rannsakað, þótt enn vanti nokkuð uppá að það sé fullrannsakað með tilliti til hugsanlegrar virkjunar jarðhitans til raforkuframleiðslu eða iðnaðarnota. Orkustofnun hefur staðið fyrir rannsóknarátaki frá árinu 1992, sem er hluti verkefnis undir heitinu *Rannsókn jarðhita til raforkuvinnslu* (Valgarður Stefánsson; 1992). Segja má að lokið sé frumathugun á svæðinu, þ.e. búið að kanna útlínur svæðisins eða stærð, búið að gera jarðfræði og jarðhitakort af svæðinu og kanna hitastig í jarðhitakerfunum með efnagreiningum gufu- og gassýna. Á grundvelli frumrannsókna er síðan hægt að velja svæði til nákvæmari rannsóknar með virkjun og nýtingu í huga.

Jarðhitasvæðið við Torfajökul er innan *Friðlands að fjallabaki*, sem friðlýst var af Náttúruvernd ríkisins (Auglýsing í Stjórnartíðindum B, nr. 354/1979). Svæðið er að mestu innan Rangárvallasýslu en austasti hluti þess tilheyrir Skaftafellssýslu. Í svæðisskipulagi fyrir miðhálendi Íslands 2015 er *Friðland að fjallabaki* skilgreint sem náttúruverndarsvæði.

Hitaveita Suðurnesja hefur hug á að sækja um leyfi til áframhaldandi rannsókna með frekari áherslu á hugsanlega virkjun jarðhitans.

Greinargerð þessi er tekin saman fyrir Hitaveitu Suðurnesja og fylgir umsókn þeirra

um leyfi til rannsókna á Torfajökulssvæði. Umsóknin tekur til rannsókna á jarðhita, grunnvatni og yfirborðsvatni innan tiltekins rannsóknarreits til 10 ára með fyrirheiti um forgang að nýtingarleyfi á þeim hlutum reitsins sem rannsóknir gefa til kynna að geti verið vænlegir til virkjunar jarðhita. Við gerð greinargerðarinnar er farið eftir Minnisblaði Orkustofnunar til Iðnaðarráðuneytis: *Gögn, sem fylgja þurfa umsóknum um rannsóknarleyfi* (Valgarður Stefánsson og Freysteinn Sigurðsson; 1998).

2. TILGANGUR RANNSÓKNA OG NÝTINGAR

Tilgangur með fyrirhuguðum rannsóknunum er að ljúka yfirborðsrannsóknum sem staðið hafa yfir undanfarin ár og bora rannsóknarholur til að fá úr því skorið hvort nýta megi jarðhitasvæðið á Torfajökulshálendinu til raforkuframleiðslu og/eða annarra nota eftir atvikum. Rannsóknir Orkustofnunar benda til þess að virkja megi jarðhita á nokkrum stöðum á Torfajökulssvæðinu. Niðurstöður rannsókna verða nýttar til að gera langtímaáætlun um hugsanlega áfangaskipta virkjun jarðhitans á vestanverðu svæðinu.

Verkfræðiáætlanir verða unnar á síðari stigum og þá mun fara fram mat á umhverfisáhrifum virkjunar, eins og lög gera ráð fyrir. Stefnt er að því að virkja í tiltölulega litlum einingum og að áhrif vinnslunnar eftir hvern áfanga verði notuð til að meta orkugetu og eiginleika jarðhitakerfisins af meiri nákvæmni. Ákvörðun um næstu áfanga ræðst því af viðbrögðum kerfisins.

3. AFMÖRKUN RANNSÓKNARSVÆÐI

Sótt er um leyfi til rannsókna með fyrirheiti um forgang að nýtingarleyfi á vesturhluta jarðhitasvæðisins við Torfajökul. Sá reitur sem umsókn um rannsóknarleyfi tekur til er í vesturhluta Torfajökulssvæðisins, eða þau svæði, sem eru kennd við Reykjadal og Hrafninnusker. Viðnámsmælingar gefa í skyn að Torfajökulssvæði sé ekki eitt samfellt háhitakerfi, heldur tvö eða jafnvel fjögur kerfi. Sjá kafla 5 hér á eftir. Miðað við þau gögn, sem nú liggja fyrir, sker kerfið undir Torfajökli sig frá hinum kerfunum. Skilin á milli hinna kerfanna eru ekki eins glögg og má vera að þau séu tengd að einhverju leyti. Hvert kerfi er síðan kennt við það svæði á yfirborði, sem ber mesta jarðhitavirkni.

Rannsóknarreiturnar, sem sótt er um, nær yfir vesturhluta Torfajökulssvæðis eða þau svæði, sem kennd eru við Reykjadal annars vegar og Hrafninnusker hins vegar. Nyrðri hluti rannsóknarreitsins tilheyrir Holta- og Landssveit en syðri hlutinn heyrir til Rangárvallahrepps. Svæðið allt er í almenningi og fara sveitastjórnir Rangárvallahrepps og Holta- og Landsveitar með stjórnarsýsluforræði, en samstarfsnefnd um *Friðland að fjallabaki* er ráðgefandi um stjórn Friðlandsins.

Afmörkun svæðisins er sýnd á meðfylgjandi korti í samkvæmt hnitum í töflu 1. Hornpunktunum er gefið nafn af þekktu kennileiti í næsta nágrenni punktsins.

HORNPUNKTAR	X-hnit*	Y-Hnit*
1 RAUÐUFOSSAFJÖLL	5 75,6	70 96,7
2 HELLISKVÍSL	5 80,7	71 02,4
3 KLUKKUGILSFIT	5 85,6	71 00,0
4 LITLIHÖFÐI	5 86,0	70 97,5
5 STÓRA HÁMRAGIL	5 94,0	70 93,0
6 REYKJAFJÖLL	5 91,7	70 89,5
7 ÚTIGÖNGUHÖFÐI	5 91,9	70 80,0
8 HVANNGIL	5 89,0	70 80,0
9 LJÓSÁRTANGI	5 82,7	70 86,7
10 LAUFAFELL	5 77,8	70 87,6

Tafla 1: Afmörkun rannsóknarsvæðis UTM-Hnit. (Hjörsey, sóna 27)

4. LÍKLEG ÁHRIF NÝTINGAR Á NÆRLIGGJANDI SVÆÐI

Vegna legu Torfajökulssvæðis fjarri öðrum jarðhitakerfum eru engar líkur á áhrifum nýtingar jarðhita á Torfajökulssvæðis á önnur svæði. Um áhrif kerfa innbyrðis innan Torfajökulssvæðisins er ekki hægt að segja fyrir en að loknum rannsóknaborunum, þó verða þær líkur að teljast hverfandi sökum stærðar undirkerfanna.

5. YFIRLIT UM FYRRI RANNSÓKNIR Á SVÆÐINU

Hér á eftir er lýst helstu niðurstöðum rannsókna á Torfajökulssvæði, sem unnar hafa verið á Orkustofnun á undanförunum árum

Jarðfræði

Jarðlögum á Torfajökulssvæðinu er skipt í átta meginsyrpur auk myndana frá nútíma. Áætlað er að þau spanni í aldri mest allt Brunhes-segulskeiðið (næstum 800.000 ár). Aðalbergtegundin er líparít, ýmist myndað í jökli eða runnið sem hraun. Elstu myndanirnar eru með mismiklum jarðlagahalla. Lok Barmsmyndunar, sem er elst, markast af öskjusigi, en Brandgilsmyndun fyllir í öskjuna. Snörunin, sem einkennir þessar myndanir, er álitin hafa orðið vegna innskots á litlu dýpi eftir að askjan fylltist. Móberg er talsvert útbreitt, bæði innan um setlög og túff í fyllingu öskjunnar, en einnig í miklu yngri lögum og hryggjum frá síðasta jökulskeiði. Brotakerfi svæðisins,

sem fram koma í stefnu misgengja og gossprungna, einkennast af bogsprungum, tengdum öskjumyndun; gömlu kerfi af NV-SA sprungum og ungunum NA-SV sprungum. Jarðhiti er mestur um miðbik Torfajökulssvæðisins í yngsta hluta öskjunnar. Gömul ummyndun einkennir austursvæðið þar sem rof er mest, og töluvert er þar enn um hveru. Fylgni við sprungur og misgengi er víða sýnileg, einkum norðaustantil á svæðinu.

Rúmlega 600 bergsýnum af ýmsu tagi hefur verið safnað úr eldstöðinni. Af þeim hafa 260 verið efnagreind, og sýna greiningarnar að alkalískar bergtegundir eru yfirgnæfandi. Efnagreiningarnar eru úr bergi sem safnað var á árunum 1992-1994. Höfuðtilgangur með greiningunum var að kanna hvort bergfræðileg þróun hefði átt sér stað frá elsta berginu til þess yngsta. Aldursröðun berggerða tók hins vegar stakkaskiptum eftir því sem á kortlagninguna leið og sýndi að elsta berg á svæðinu var mun eldra en áður hafði verið talið. Nokkuð hefur verið unnið í úrvinnslu á efnagreiningunum, en henni er hvergi nær lokið, auk þess sem bæta þyrfti við efnagreiningum á bergsýnum, sem safnað var á árunum 1998-2000, og mörg hver eru úr lykilsniðum milli bergeininga.

Jarðfræði og jarðhitakortin voru öll unnin í mælikvarðanum 1:20.000. Alls eru 4 slík kort af hvorri gerð. Yfirlitskort af hvorri gerð eru jafnframt birt í mælikvarðanum 1:40.000, og auk þess eru birt tvö sérkort af jarðhitasvæðunum vestan og austan megin á rannsóknasvæðinu í mælikvarðanum 1:15.000. Jarðfræðikortin sýna allar berggerðir, aldursafstöðu, helstu misgengi og bergganga, en jarðhitakortin aðgreina virkan jarðhita frá eldri jarðhitavirkni á nútíma og frá ennþá eldri jarðhitaummyndun, sem einkum sést á rofnum hlutum rannsóknasvæðisins. (Kristján Sæmundsson og Guðmundur Ómar Friðleifsson; 2001)

Jarðefnafræði

Sýnum af jarðgufu og vatni til efnagreininga var safnað í fimm ferðum um Torfajökulssvæðið á árunum 1994 -1997. Alls náðust 68 sýni af ýmsu tagi.

Af efnum í jarðgufu og heitu vatni má ýmislegt ráða um ástand jarðhitakerfis. Efnastyrkur og efnahlutföll veita t.d. vísbendingar um hita djúpt í jörðu þar sem jarðhitavökvinn var síðast í jafnvægi við berg. Þá geta samsætuhlutföll gefið upplýsingar um uppruna vatns.

Styrkur gass í gufu á jarðhitasvæðinu við Torfajökul er mjög mismikill, og mælist hann allt frá 20 mmól/kg upp í 25.000 mmól/kg, ef frá er talið eitt firna gasríkt sýni. Meginþáttur gassins er koldíoxíð, en hlutur þess er meiri en 75 af hundraði í þorra sýna og meiri en 90 af hundraði í liðlegum helmingi. Hlutur vetnis í gasinu er víðast á bilinu 0,5-15 af hundraði, en hlutur brennisteinsvetnis 0,5-7 af hundraði. Köfnunarefni, metan og argon finnast í mun minna mæli. Styrkur koldíoxíðs í gufu er mjög misdreifður. Langmestur er hann sunnan- og suðaustantil á svæðinu, einkum á boga sem liggur norðan Kaldaklofsfjalla og teygir sig frá hálendisbrúninni vestan Háskerðings allt austur að jaðri íshettu Torfajökuls. Mikið koldíoxíð er einnig vestast í Reykjadölum og sums staðar í nágrenni Landmannalauga. Vetni og brennisteinsvetni fylgja sama mynstri, en dreifing þeirra er þó jafnari en koldíoxíðs. Styrkur kvikasilfurs og bórs í gufu er einnig mestur á téðum hlutum svæðisins. Allt eru þetta taldar vísbendingar um að hiti í jörðu sé þar hærri en annars staðar.

Gashitamælar sýna að jafnaði allt að 350°C hita sunnan- og suðaustantil á svæðinu, svo og vestast í Reykjadölum og við Reykjakoll hjá Landmannalaugum. Annars staðar á svæðinu er gashiti lægri, víðast um eða rétt undir 300°C.

Um miðbik svæðisins liggur rein, frá Landmannalaugum að kalla í norðaustri og suðvestur fyrir Hrafninnusker. Minna gas mælist í gufu á reininni en víðast utan hennar. Þessi rein fylgir meginstefnu gossprungna sunnanlands, og kann hún að tengjast höggun og eldvirkni á svæðinu.

Nokkrar skýringar koma þá til álita á því hvers vegna hiti virðist lægri á reininni en utan hennar. Í fyrsta lagi má vera að jarðhitavökvinn á reininni hafi kólnað eitthvað vegna mikillar afsuðu gufu. Í annan stað kann greiðara innstreymi af köldu vatni vegna meiri lektar að hafa kælt þennan hluta svæðisins umfram aðra. Þriðja skýringin er þó e.t.v. sennilegust. Sé aðrennsli að uppstreymisrásum gufunnar tiltölulega trekt utan reinarinnar, t.d. í Kaldaklofi nyrðra, má vænta þess að suðuborð í þessum rásum hafi smám saman færst neðar, í heitara berg, og liggi því dýpra en á svæðum þar sem bergið er lekara. Þannig gætu gashitamælarnir einfaldlega verið vísbending um suðu á mismiklu dýpi, og færi hiti lækkandi með dýpi, eins og títt er.

Samsætuhlutföll vetnis og súrefnis í gufu spanna fremur breitt bil, en fylgjast þó vel að. Leitni gagnanna er skýrð með þéttingu vatns úr gufu í uppstreymisrásum.

Efnahiti vatns úr hverum og laugum er á bilinu 100-200°C. Efnasamsetning þessa vatns er hins vegar ekki talin gefa rétta mynd af djúpvatni í jarðhitakerfinu og þessi gildi eru ekki álitin trúverðugt mat á djúphita.

Sunnantil á svæðinu er vatn í laugum og vatnshverum karbónatríkt, en styrkur klóríðs yfirleitt lítill. Í nágrenni Landmannalauga er klóríðstyrkur hins vegar mikill, og styrkur karbónats hóflegur. Styrkur flúoríðs í vatni virðist stjórnað af efnajafnvægi við steindina flúorít. Samsætuhlutföll vetnis og súrefnis benda til þess að uppruna vatns í hverum og laugum jarðhitasvæðisins megi rekja til úrkomu sem fellur á Torfajökulshálendið.

Meginniðurstaða rannsóknar á efnunum í jarðgufu og vatni er þessi: Gashitamælar benda til þess að hiti jarðhitakerfisins í Torfajökli sé víðast naumlega 300°C, eða þar um bil. Þó kann hitinn að vera allt að 350°C þar sem heitast er, en það er einkum á suður- og suðausturhluta svæðisins. (Jón Örn Bjarnason og Magnús Ólafsson; 2000)

Jarðeðlisfræði

TEM-viðnámsmælingum var beitt á Torfajökulssvæðinu til að kanna umfang jarðhitakerfisins niður á um kílómeters dýpi. Mælingar hófust 1993 og þeim lauk vorið 2000. Farið var í fimm vetrarferðir til mælinga, 10–12 daga langar svo og eina stutta haustferð. Alls urðu mælingarnar 123.

Ástæða þess að viðnámsmælingum er beitt við jarðhitarannsóknir er sú, að berg mettað heitu vatni leiðir betur rafstraum en þurrt kalt berg. Eðlisviðnám í vatnsmettuðu bergi er auk þess háð poruhluta bergsins, viðnámi vatnsins, hita og ummyndun bergsins. Þessir þættir spila saman á flókinn hátt og er það samspil ekki skilið að fullu. Samanburður gagna úr rannsóknum á Nesjavöllum leiddi í ljós góða fylgni milli hitastigs, ummyndunar og eðlisviðnáms. Þar sem ríkir jafnvægi á milli ummyndunar og berghita kemur fram ákveðin beltaskipting í ríkjandi ummyndunarsteindum.

Ljóst er að viðnámsmælingarnar gefa mynd af ummyndun kerfisins. Einkennandi viðnámsmynd af háhitakerfi er háviðnámskjarni með utanaliggjandi lágviðnámskápu. Ytri mörk lágviðnámskápunnar marka það svæði sem orðið hefur fyrir ummyndun vegna háhitans. Í háhitakerfum þar sem basískar bergtegundir eru ríkjandi er hitastig yfir 240°C í háviðnámskjarnanum. Samsvörun á milli eðlisviðnáms og berghita er því aðeins fyrir hendi að jafnvægi ríki milli ummyndunar og berghita. Samsvarandi

rannsóknir á öðrum háhitakerfum gefa sömu niðurstöður, en rétt er að hafa hugfast að í öllum tilfellum er um háhitakerfi að ræða þar sem ríkjandi bergtegundir eru basískar. Minna er vitað um samband ummyndunar og viðnáms í jarðhitakerfum þar sem ríkjandi bergtegundir eru súrar. Athugun sem gerð var á viðnámsgögnum frá Berlin-jarðhitasvæðinu í El Salvador benda til samsvarandi viðnámsmyndar á súrum háhitavæðum. Torfajökulssvæðið er í raun fyrsta háhitasvæðið á Íslandi, þar sem viðnámsmælingum er beitt á landssvæði, þar sem súrar bergtegundir eru mjög ráðandi. Niðurstöður viðnámsmælinganna á Torfajökulssvæðinu eru talsvert flóknari en áður hefur sést.

Jarðhitasvæðið í Torfajökli er stærsta jarðhitasvæði sem til þessa hefur verið rannsakað með viðnámsmælingum á Íslandi. Land umhverfis Torfajökulshálendið er víðast í 500-600 metra hæð en uppi á hálendinu innan Torfajökulsöskjunnar er land í 800-1100 metra hæð. Ef miðað er við sjávarmál er flatarmál þess svæðis sem orðið hefur fyrir háhitaummyndun tæplega 400 ferkílómetrar. Kort af viðnámi á 200 m.y.s. sýnir að lágviðnámskápan og háviðnámskjarninn undir sjálfum Torfajökli eru aðskilin frá hinu svæðinu. Að hluta til er það vegna háviðnámsvæðisins sem fleygast inn frá austri inn í miðja öskjuna og einnig er haft á milli við Háskerðing að vestanverðu. Vestara lágviðnámsvæðið með nokkuð samfelldum háviðnámskjarna undir, nær yfir allan vestur og norðurhluta öskjunnar og vel út fyrir hana. Á grundvelli viðnámsgagnanna er eðlilegt að skipta jarðhitasvæðinu í 3-4 jarðhitakerfi. Jarðhitakerfið undir Torfajökli virðist skera sig greinilega frá hinu svæðinu. Hinu svæðinu má svo skipta í þrennt, Reykjadali, Hrafninnusker og Landmannalaugar, en þau eru samvaxin að einhverju leyti. Flatarmál svæðanna miðað við viðnám á 200 m.y.s. er:

Reykjadalir	um 110 km ²
Hrafninnusker	um 110 km ²
Landmannalaugar	um 90 km ²
Torfajökull	um 100 km ²

Meðfylgjandi kort sýnir skiptingu Torfajökulssvæðis á grundvelli viðnámsmælinga á 200 m.y.s..

Reiturinn, sem Hitaveita Suðurnesja sækir um rannsóknarleyfi á, telur svæðin, sem kennd eru við Reykjadali og Hrafninnusker. (Ragna Karlsdóttir; 2001)

Landmælingar

Vegna rannsókna á Torfajökulssvæðinu var lagt í mikla vinnu við gerð grunnkorta fyrir athugunarsvæðið í mælikvarðanum 1:20.000.

6. RANNSÓKNARÁÆTLUN

Á síðastliðnum áratug hafa safnast mikið af gögnum um Torfajökulssvæðið. Helstu niðurstöður eru komnar í hverjum flokki fyrir sig, en eftir stendur þó að bera saman gögnin og samtúlka til að fá betri skilning á eðli og uppbyggingu jarðhitakerfanna. Í jarðfræðinni á eftir að skrifa um jarðhitann þ.e. tengja hann jarðfræðinni. Einnig væri æskilegt að aldurs- og efnagreina fleiri bergsýni til að öðlast betri skilning á

jarðsögunni. Skjálftavirkni er talsverð á svæðinu og því er nauðsynlegt að skoða skjálftagögn sem Veðurstofan hefur safnað og bæta við þau. Ef til vill mætti sjá í þeim hvar virkar sprungur liggja, en það gefur mikilsverðar upplýsingar um jarðhitageyminn. Þetta þarf net gassýnatökustaða á rannsóknarsvæði svo og fylgjast með breytingum í efnasamsetningu og gufustreymi úr einstökum hverum. Þetta þarf net TEM-viðnámsmælinga á rannsóknarsvæði og beita auk þess MT-viðnámsmælingum til að skyggjast dýpra í jarðhitageyminn. Þyngdarkort af Torfajökulssvæði yki mönnum skilning á uppbyggingu svæðisins og yrði auk þess grunnur að nákvæmari eftirlitsmælingum með massatöku síðar. Frekari rannsóknir þurfa að taka mið af þeim reit sem Hitaveita Suðuresja hefur óskað eftir að rannsaka með nýtingu í huga þegar fram líða stundir. Áætlaðar rannsóknir taka mið af því.

Samtúlkun gagna

Samtúlkun þeirra gagna, sem aflað var á síðasta áratug vegna rannsókna á Torfajökulssvæðinu, er fyrirhugað að vinna á þessu ári. Auðlindadeild Orkustofnunar mun vinna það verk sem lokaskýrslu um rannsóknarverkefnið.

Jarðfræði- og jarðhitaskýrsla

Lokaskýrsla um jarðfræði og jarðhita. Í jarðfræðinni á eftir að skrifa um jarðhitann þ.e. tengja hann jarðfræðinni. Verkið gæti hafist í ár og gæti þá lokið 2003.

Sprungukortlagning vesturhluta öskjunnar

Nákvæm sprungukortlagning á fyrirhuguðu rannsóknarsvæði er talin geta varpað skýrara ljósi á brotasögu eldstöðvarinnar og geta gagnast við staðsetningar borholna. Hægt er að vinna verkið 2003.

Rannsókn á gossögu

Hluti nútíma gossögu er þekktur og þörf á að fylla þar upp í, sérstaklega norðan til (Dómadalsgosreinin) og suðvestan til á svæðinu. Hægt er að vinna verkið 2003.

Aldurs- og efnagreining bergsýna

Aldurs- og efnagreiningar eru taldar geta varpað skýrara ljósi á þróunarsögu eldstöðvarinnar, sem um flest er ólík öðrum íslenskum megineldstöðvum. Hægt er að vinna verkið 2003.

Vatnafar og grunnvatn

Skoða nánar vatnafar og þá sérstaklega rennsli í ám nærri líklegustu vinnslusvæðunum. Útbúa grunnvatns- og lindakort af vestursvæðinu.

Kanna vetrarrennsli ofan og neðan við Dalamót. Hægt er að vinna verkið 2003.

Þétting TEM-viðnámsmælinga á rannsóknarsvæði

Í frumrannsóknum á háhitasvæði er þekja TEM-viðnámsmælinga það gisin að mælingarnar gefa aðeins grófa mynd af svæðinu. Gengið er út frá því að hæfileg dreifing sé nálægt því að vera ein mæling á km² á rannsóknarsvæði, sem skoðað er með virkjun í huga. Því þarf að bæta við 40 mælingum á rannsóknarsvæðinu til að þetta núverandi mælinet. Torfajökulssvæðið er mjög erfitt yfirferðar og búið er að mæla á mörgum þeirra staða sem aðgengilegir eru á snjósleða að vetri. Því er lagt til að mælt yrði að sumri með aðstoð þyrilu. Hægt er að hefja mælingar árið 2003 og

reiknað með að verkið taki 2 ár. Æskilegt er að mælingum og úrvinnslu sé að mestu lokið áður en til borunar kemur.

MT-viðnámsmælingar

Með MT-viðnámsmælingum má kortleggja eðlisviðnám jarðlaga dýpra en með TEM mælingum. Með TEM mælingum má skyggjast ofan í jörðina niður á allt að 1 km dýpi, en með MT mælingum má sjá mun dýpra niður í jarðhitageyminn. Þar sem vinnsludýpi háhita er yfirleitt neðan eins km dýpis er líklegt að eftir talsverðu sé að slægjast með því að kortleggja viðnám neðan mælisviðs TEM mælinga. Þar með fæst betri þekking á jarðhitageyminum og betri líkur á vel heppnuðum rannsóknar- og vinnsluholum. Nauðsynlegt er að komast á mælistaði á ökutæki þannig að þessar mælingar yrðu einungis unnar síðla sumars. Reiknað er með einni MT mælingu á hverja 4 km². Því yrði um 20-25 mælistöðvar að ræða. Áætlað er að mælingar tækju tvö ár og að hægt væri að hefja verkið 2003.

Rannsókn á skjálftavirkni

Allmikið skjálftavirkni er á Torfajökulssvæði. Mælinet Veðurstofunnar er hins vegar of fjarri svæðinu til þess að hægt sé að staðsetja skjálftana nægilega vel til að skoða virkar sprungur í jarðhitageyminum. Hægt er að setja upp færanlega skjálftamæla í tengslum við net Veðurstofunnar um lengri eða skemmri tíma. Veðurstofan er með einn slíkan á Torfajökulssvæði sumarið 2002. Æskilegt væri að skoða gögnin frá honum og taka síðan ákvörðun um fleiri mæla til að skoða skjálftavirknina um a.m.k. tveggja ára skeið. Verkið gæti hafist 2003.

Þyngdarkort af Torfajökulssvæði

Þyngdarkort (Bouguer-kort) af Torfajökulssvæðinu er mikið verk, en getur gefið miklar upplýsingar um innri gerð og uppbyggingu svæðisins. Fjöldi mælipunkta yrði um 1000 á öllu Torfajökulssvæðinu. Mælt yrði á snjósleða eftir föngum en síðan ekið/gengið á aðra mælistaði, því hægt er að bera mælinn með sér. Vinna gæti hafist árið 2003 og tekur 2-4 ár að fullgera kortið. Reikna má með um 200 mælipunktum á áætluðu rannsóknarsvæði.

Þyngdar- og GPS-mælingar til eftirlits með massatöku

Við nýtingu háhitakerfa má búast við að land sígi vegna þrýstilækkunar í jarðhitakerfinu, jafnframt því sem þyngdarviðið lækki vegna massatöku. Eftirlit með hæðarbreytingum er því mikilvægt til að fylgjast með þrýstibreytingum á vinnslusvæðinu. Eftirlit með þyngdarbreytingum gefur hins vegar mikilvægar upplýsingar um heildarmassatöku úr jarðhitageyminum og með samanburði við vinnslumagnið, má reikna út náttúrulega endurnýjun kerfisins. Hæðar- og þyngdarmælingar eru því gerðar á nokkra ára fresti eftir að vinnsla hefst. Áður en vinnsla hefst er mikilvægt að vita grunnástand kerfisins og eins hvort náttúrulegar breytingar eiga sér stað. Því þarf að mæla hæð og þyngd áður en vinnsla hefst, helst á tveim tímabilum með u.þ.b. 5 ára millibili. Hæðar- og þyngdarmælingar eru gerðar í föstu mælineti (fastpunktum), og er nokkur vinna við að koma því fyrir í upphafi. Hæðarmælingarnar eru gerðar með GPS tækni, en notuð er radar tækni (SAR) til að fylgjast með breytingum á stórum skala.

Þétting gassýna

Rannsóknarreiturinn sem til umfjöllunar er þekur um 75 km². Í þeim tilgangi að fá glögga mynd af hita (gashita) í jarðhitakerfinu (-kerfunum) er lagt til að fjórum (4) gassýnum verði safnað á hverjum km² af virkum jarðhita. Í öllum sýnum verði greint gas og í helmingi þeirra samsætur vetnis og súrefnis auk kvikasilfurs. Hægt er að hefja verkið 2003.

Eftirlit með gufuaugum

Lagt er til að á rannsóknareitnum verði valin þrjú (3) gufuaugu þar sem fylgst verður með efnasamsetningu og gufustreymi a.m.k. einu sinni á ári. Í sýnum verði greint gas, samsætur vetnis og súrefnis og kvikasilfur og að auki efni eins og bór og klóríð. Reynt verður að mæla eða leggja mat á gufustreymi.

Sömuleiðis er lagt til sjónrænt eftirlit með náttúrlegum breytingum á yfirborðsvirkni hvera. Sömu svæði verða til skoðunar og þar sem eftirlit verður með gufuaugum. Svæðin verða ljósmynduð árlega til að auðvelda samanburð. Hægt er að hefja verkið 2003.

Eftirlit með afrennsli

Í þeim tilgangi að afla upplýsinga um efnasamsetningu og magn þess vatns sem af rannsóknareitnum rennur er lagt til að sýni úr ám og lækjum verði tekin tvisvar á ári, við mikið og lítið rennsli og rennsli mælt.

Gas í andrúmslofti

Lagt er til að gas í andrúmslofti verði mælt. Í fyrsta lagi verði brennisteinsvetni mælt um allan rannsóknarreitinn. Í öðru lagi verði mælistöð til að mæla brennisteinsvetni, brennisteinstvíoxíð og kvikasilfur komið fyrir á nokkrum stöðum og mælt í 5 sólarhringa. Hægt er að hefja verkið 2003.

Gasstreymi

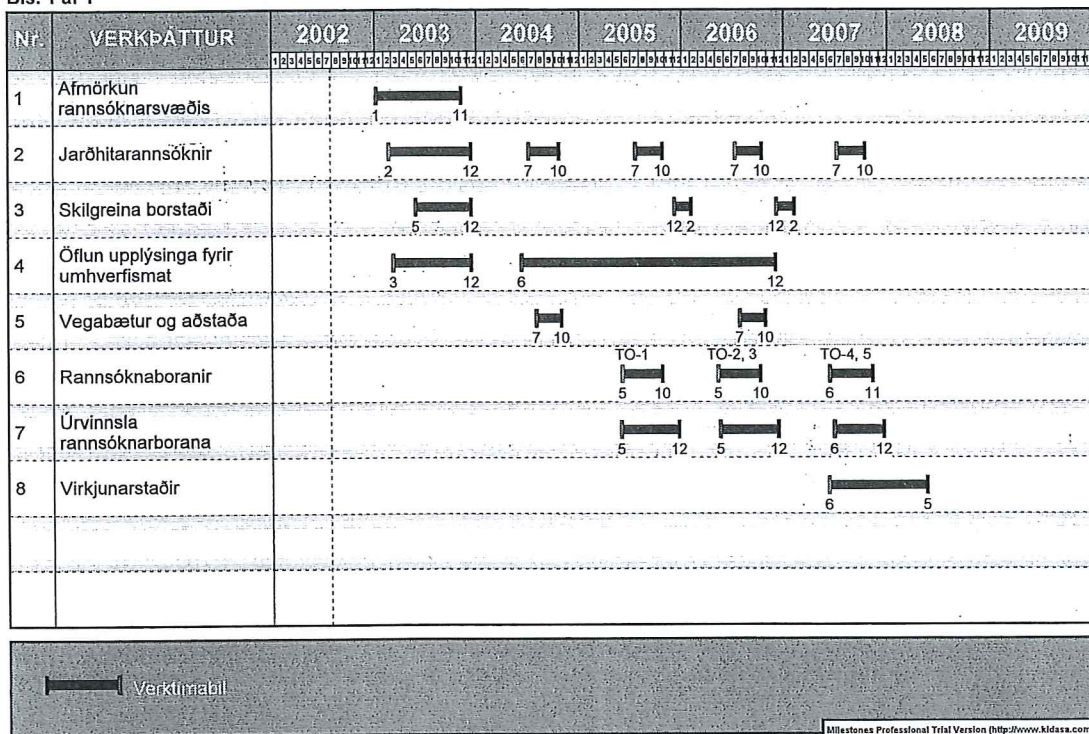
Lagt er til að gasstreymi úr gufuaugum og -hverum verði mælt og/eða metið. Að auki verði kannað hvort unnt er að mæla/meta CO₂ streymi úr jarðvegi og berggrunni ("soil gas emanations").

7. TÍMASETNING RANNSÓKNANNA

Samantekt yfir alla helstu þætti rannsóknarferilsins og tímasetningu þeirra er sett fram í töflu 2 hér að neðan.

TORFAJÖKULL
Áfangaskipting Jarðhitarannsóknna

Bls. 1 af 1



Tafla 2: Tímaáætlun yfir fyrirhugaðar rannsóknir á jarðhitasvæðinu við Torfajökul 2002-2010.

8. RANNSÓKNARBORANIR, FRÁGANGUR BORHOLNA OG MANNVIRKJA

Lokaáfangi rannsóknanna er borun fimm rannsóknarholna. Ætla má að af borun fyrstu rannsóknarholu geti orðið 2005, ef aðrar rannsóknir geta hafist 2003. Í framhaldi af því er eðlilegt að þora tvær rannsóknarholur á ári næstu tvö ár eða alls fimm holur. Staðsetning þeirra liggur ekki fyrir nú, en ákvarðast endanlega af niðurstöðum TEM-mælinganna, sprungukortlagningarinnar, gasgreininganna og skjálftamælinganna fyrst og fremst.

Þau mannvirki sem reiknað er með að gerð verði í sambandi við rannsóknir sem sótt er um eru eingöngu vegir að fyrirhuguðum borsvæðum, borteigar og borholur. Gert er ráð fyrir að notast verði við vegarslóða, sem fyrir eru inn á rannsóknarsvæðinu eins og hægt er en þá þarf að styrkja og jafna til að koma þangað bortækjum inn á rannsóknarsvæðið, auk þess sem útbúa þarf borplön og vegarslóða að þeim. Einhver röskun er því óhjákvæmileg en leitast verður við að halda henni í lágmarki. Leitað verður að efni sem samræmist landslagi.

Meðan á borun stendur þarf skolvatn/kælivatn, sem dælt er niður í holu og flytur það borsvarf til yfirborðs jafnframt því að kæla borinn. Gert er ráð fyrir að um 40 l/s af

vatni þurfi að vera tiltækir. Við borun efsta hluta holunnar er oft notuð borleðja úr náttúrlegum leirtegundum. Borsvarf er skilið frá leðjunni á yfirborði og leðjunni dælt aftur í holuna og tapast venjulega lítið af henni. Þegar borað er með vatni, flytur vatnið borsvarfið til yfirborðs. Þar sest borsvarfið til í svarfþró og er leitast við að nota vatnið aftur. Það vatn sem frá bornum fer er litað af fingerðu gruggi. Þegar æðar hafa verið skornar við borun tapast skolvatn út í þær ásamt því svarfi sem hefur verið losað. Gert er ráð fyrir að vatni frá bornum verði veitt í lækjarfarvegi, þar sem það á við, en í vatnsvegi þar sem þeir eru. Borsvarf frá bornum safnast í svarfþró eins og áður sagði. Svarfið úr venjulegu ummynduðu bergi og getur haft annan lit en umhverfið. Sú venja hefur skapast að urða borsvarfið. Gert er ráð fyrir að svo verði einnig gert við fyrirhugaðar rannsóknaboranir á Torfajökulsvæðinu.

Frágangur umhverfis rannsóknarholur verður með svipuðum hætti og við borholur Hitaveitu Suðurnesja. Að borunum loknum verður hreinsað til á borstæðunum og þau snyrt. Ef jarðgufuvirkjun verður reist á svæðinu í framtíðinni mun hún verða með svipuðu sniði og nýjustu jarðvarmavirkjanir landsins og virkjanamannvirki hönnuð til að falla inn í umhverfið með lágmarks jarðraski. Á þessu stigi er ekki hægt að segja til um hvar á svæðinu mannvirki koma til með að vera, ef af verður.

Að borunum loknum eru holur blástursprófaðar og má þá búast við að nokkuð vatn streymi frá þeim. Þó ekki sé útilokað að hluti háhitasvæðisins sé svokallað þurrgefusvæði. Meðan á blæstri stendur fer blanda af gufu og vatni í hljóðdeyfi. Gufan fer til loftis en vatnið rennur niður í jörðina eða í læk. Búast má við að hiti í lækjum næst útrennslinu hækki á meðan blástursprófanir standa yfir. Jafnframt má búast við að styrkur uppleystra efna í lækjunum aukist, einkum kísils. Því má búast við smávægilegum útfellingum kísils í lækjarfarvegum næst holunni.

Ekki er búist við að rannsóknaboranir hafi áhrif á jarðhitageyminn eða virkan jarðhita á svæðinu, þar sem afkastamælingar koma til með að taka skamman tíma. Reikna má með einhverjum hávaða við borunina, en hann fer þó sjaldnast yfir 80 dB(A). Hávaði frá holum í blæstri getur verið allt að 110 dB(A), eftir hlutfalli gufu og vatns. Í því sambandi má geta þess, að náttúrulegur hávaði við gufuhverinn "Hvínandi" nærri Jónsvörðu við Hrafninnusker, er á við blásandi meðal borholu án hljóðdeyfis.

Gufan sem holan blæs af sér fer frá hljóðdeyfi út í andrúmsloftið eins og útstreymi úr gufuaugum á svæðinu. Ef holan verður mjög öflug, má gera ráð fyrir að einhver vatnsúði berist með gufustróknum næst holunni. Reiknað er með að helstu gastegundirnar í gufunni verði koldíoxíð (CO_2), brennisteinsvetni (H_2S), vetni (H_2) og köfnunarefni (N_2). Reiknað er með að þetta gas fari út í loftið frá hljóðdeyfi meðan á blæstri holunnar stendur.

Gera má ráð fyrir að hveralykt finnist á svæðinu umhverfis holurnar meðan holur eru blástursprófaðar, einkum þegar veður er þurr og vindur hægur.

Ef rannsóknaholur verða ekki virkjaðar, koma þær til að gagnast vel til eftirlits með jarðhitageyminum við mælingar á hita og þrýstingi. Ef hola verður ekki nýtt sem mælihola vegna ófyrirséðra atburða, verður steipt í hana og ummerki afmáð af yfirborði. Efni verður fjarlægð úr borstæði eins og mögulegt er þannig að sem minnst ummerki verði um framkvæmdina.

9. HEIMILDIR

1. Auglýsing um friðland að Fjallabaki. Úr Stjórnartíðindum B. nr. 354/1979, sérprentun nr. 382. Heimasiða Náttúruverndar ríkisins, www.natturuvernd.is. 21. desember 2001
2. *Innlendar orkulindir til vianslu Raforku*; 1994: Skýrsla unnin af Iðnaðar-ráðuneytinu. Reykjavík.
3. Jón Örn Bjarnason og Magnús Ólafsson. Í Torfajökli; 2000: *Í Torfajökli: Efni í jarðgufu og heitu vatni*. Skýrsla OS-2000/030 unnin af Rannsóknarsviði Orkustofnunar fyrir Auðlindadeild Orkustofnunar. Reykjavík og Akureyri.
4. Kristján Sæmundsson og Guðmundur Ómar Friðleifsson; 2001. *Í Torfajökli: Jarðfræði- og jarðhitakort af Torfajökulssvæðinu*. Skýsla OS-2001/036 unnin af Rannsóknarsviði Orkustofnunar fyrir Auðlindadeild Orkustofnunar. Reykjavík og Akureyri.
5. *Miðhálandi Íslands: Svæðisskipulag 2015*; 1999: Greinargerð unnin af Umhverfis-ráðuneytinu og Skipulagi Ríkisins. Kópavogi.
6. Ragna Karlsdóttir; 2001: *Í Torfajökli: TEM-Viðnámsmælingar*. Skýsla OS-2001/031 unnin af Rannsóknarsviði Orkustofnunar fyrir Auðlindadeild Orkustofnunar. Reykjavík og Akureyri.
7. Valgarður Stefánsson; 1992: Jarðhiti til raforkuvinnslu. Greinargerð með fjárlagatillögum fyrir árið 1993. Orkustofnun, grg. VS-92/05.
8. Valgarður Stefánsson; 1998: *Gögn, sem fylgja þurfa umsóknum um rannsóknarleyfi*. Minnisblað Orkustofnunar. VS/FS-98/10.

10. KORT

Jarðhitakort í 1:40.000 ásamt útlinum rannsóknarsvæðis, sem sótt er um.