

Mat á verndargildi jarðminja á háhitasvæðum

Helgi Torfason og Kristján Jónasson

Unnið fyrir Orkustofnun vegna 2. áfanga rammaáætlunar

NÍ-0610

Reykjavík, september 2006



NÁTTÚRUFRAEÐISTOFNUN ÍSLANDS

	Hlemmi 3 105 Reykjavík Sími 590 0500 Fax 590 0595 http://www.ni.is ni@ni.is	Borgum við Norðurslóð 602 Akureyri Sími 460 0500 Fax 460 0501 http://www.ni.is nia@ni.is
Skýrsla nr. NÍ-0610	Dags, Mán, Ár september 2006	Dreifing Almenn
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill Mat á verndargildi jarðminja á háhitasvæðum	Upplag 25	
	Fjöldi síðna 33	
Höfundar Helgi Torfason og Kristján Jónasson	Verknúmer R0411004 Málsnúmer 2004100001	
Unnið fyrir Orkustofnun		
Samvinnuaðilar		
Útdráttur <p>Verndargildi jarðminja hefur ekki verið metið á háhitasvæðum landsins. Jarðminjar sem teljast verðmætar eru algengar á slíkum svæðum, s.s. jarðhitaummerki, gígar, hraun, og brýn ástæða er til að meta þær áður en lengra er farið í virkjun svæðanna. Mat á jarðminjum er grunnur að mati á verndargildi háhitasvæða, enda eru þau jarðfræðilega einstök á heimsmælikvarða.</p> <p>Fjögur svæði voru valin til að athuga hvernig auðveldast væri að meta verndargildi jarðminja á háhitasvæðum. Farið um þrjú þeirra, Reykjanes, Krísuvík (Seltún) og Hengil (Grændal) en fyrirliggjandi og óbirt gögn voru notuð til að leggja mat á Hveravelli. Lagt er til að grunneining í slíku mati verði flákar þar sem jarðhiti og/eða ummyndun er samfelld eða landslag auðveldar skiptingu landsvæðis í viðráðanlega hluta.</p> <p>Rakin eru þau atriði sem þarf að kanna, svo sem tíðni fyrirbæra, varðveislugildi, sveigjanleiki, (þ.e.a.s. hvort fyrirbrigði jafni sig aftur sé þeim eytt tímabundið), fagurfræðilegt og vísindalegt gildi ásamt gildi fyrir ferðaþjónustu og útivist. Einnig þarf að meta rask á svæðunum, a.m.k. lauslega. Til að unnt sé að meta verndargildi háhitasvæða á landinu þurfa sambærilegar upplýsingar og mat á tíðni o.fl. að vera til frá þeim öllum.</p>		
Lykilorð Jarðhiti, háhitasvæði, hverir, laugar, verndargildi, jarðminjar	Yfirfarið PH, ÁI.	

EFNISYFIRLIT

1 INNGANGUR	7
2 JARÐHITI – SKILGREININGAR Á JARÐMINJUM HÁHITASVÆÐA	10
3 KORTLAGNING OG MAT JARÐMINJA Á HÁHITASVÆÐUM	11
3.1 Flokkun, skilgreiningar og lýsing fyrirbrigða	12
4 ATHUGARNIR Á EINSTÖKUM SVÆÐUM	20
4.1 Reykjanes	20
4.2 Krísuvík	23
4.3 Grændalur	24
4.4 Hveravellir	26
4.5 Samantekt	27
5 UMRÆÐA	27
5.1 Yfirborðsummerki jarðhita tengd vatni og gufu	28
5.2 Landslag og landform	29
5.3 Rask vegna mannvirkjagerðar	29
5.4 Niðurstaða	30
6 HEIMILDIR	31
1. VIÐAUKI. Flokkun jarðhita á Nýja-Sjálandi	32

MYNDASKRÁ

1. mynd. Jarðhitasvæðið á Reykjanesi, yfirlitskort	21
2. mynd. Jarðhitasvæðið á Reykjanesi, goshverinn 1918, ljósmynd frá 1979	22
3. mynd. Athugunarsvæði við Seltún í Krísuvík, yfirlitskort	23
4. mynd. Seltún í Krísuvík er fjölsóttur ferðamannastaður með göngustígum	24
5. mynd. Jarðhitasvæðið í Grændal, yfirlitskort	25
6. mynd. Jarðhitasvæðið í Grændal við Grændalsá	26

TÖFLUSKRÁ

1. tafla. Háhitasvæði til mats í 2. áfanga rammaáætlunar	9
2. tafla. Atriði sem tengjast mati á verndargildi hverasvæða	17
3. tafla. Yfirborðsummerki á vatns- og gufuríkum háhitasvæðum	28
4. tafla. Landslag á háhitasvæðum, atriði sem tengjast jarðhitavirkni	29
5. tafla. Rask á háhitasvæðum á Íslandi	30

1 INNGANGUR

Vegna Rammaáætlunar II, er fjallar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma, var sett af stað vinna við að meta verndargildi jarðminja á háhitasvæðum landsins. Ekki eru öll háhitasvæðin sett í þetta ferli þar sem nokkur þeirra eru undir jöklum og því erfitt að meta þau; enda verða þau seint virkjuð. Þar sem verndargildi jarðminja og mat á mikilvægi þeirra er fremur skammt á leið komið hér á landi miðað við nágrannalöndin var byrjað á að finna viðmið sem unnt er að nota til að geta sett mælistiku á jarðminjar háhitasvæða hér á landi, og er þá bæði átt við fyrirbrigði sem tengjast jarðhitnum sjálfum og einnig aðrar jarðminjar.

Orðið jarðminjar er myndað eins og fornminjar og felur sem slíkt ekki í sér mat á mikilvægi jarðminja. Jarðminjar eru frábrugðnar lífminjum (gróður og dýr) á þann hátt að ekki er unnt að endurheimta þær með ræktun sé þeim spillt. Því er mikilvægt vegna verndunarsjónarmiða að draga fram þau atriði sem gera háhitasvæðin sérstök og frábrugðin öðrum jarðhita og einnig meta verndargildi þeirra, bæði hvers um sig og einnig reyna að raða þeim upp á einhvern hátt eftir mikilvægi. Til að unnt sé að raða svæðum eða meta þau er nauðsynlegt að fá fyrst fram yfirlit yfir þau fyrirbrigði sem þar finnast og hve algeng þau eru. Því er ekki unnt að meta svæðin eða raða þeim fyrr en talsverðar upplýsingar liggja fyrir. Þessi skýrsla fjallar um hvaða atriði þarf að meta og einnig er reynt að raða nokkrum svæðum eftir því hve algeng jarðhitafyrirbrigði eru á þeim.

Hér á landi hafa verndunarsjónarmið átt á brattann að sækja vegna þeirrar stefnu stjórnvalda að nýta orkulindir landsins til framleiðslu á ódýrri og vistvænni orku. Rammaáætlun er ætlað að vera vegvísir til þess að samþætta mismunandi nýtingarsjónarmið, raða svæðum upp þannig að orkugeta þeirra og verndargildi verði ljós og á þann hátt taka ákvarðanir um nýtingu þeirra í framtíðinni. Mat á verndargildi jarð- og lífminja er því mjög mikilvægt til að unnt sé að raða orkuríkum svæðum upp á þann hátt að þau verðmætustu komi í ljós og þá hvort vegi meira verðmæti þeirra til orkuvinnslu, til nýtingar sem útivistarsvæði eða verndun til framtíðar.

Fáar skýrslur og rit eru til sem fjalla um verndargildi jarðminja og færri er fjalla um verndargildi jarðhita. Þó hefur verið vakin athygli á mikilvægi jarðhitaminja (sjá m.a. Sigurður Þórarinnsson 1978; Jón Jónsson 1980; Helgi Torfason 1994, 1998) en lítið verið gert til að lögvernda jarðhitasvæði eða einstaka jarðhitastaði. Vegna náttúruverndaráætlunar 2004–2008 var unnin skýrsla um verndun jarðminja á Íslandi (Helgi Torfason og Ingvar Atli Sigurðsson 2002) og var þar fjallað um jarðhitaminjar án þess að þeim væri lýst sérstaklega.

Á vegum Orkustofnunar, nú á dótturstofnun hennar, Íslenskum Orkurannsóknnum (ÍSOR), hefur jarðhiti landsins verið rannsakaður í áratugi og þar hefur verið unnið mikið og gott starf við að kortleggja jarðhitasvæði landsins. Tilgangur þessara rannsókna hefur verið virkjun jarðhitans til orkuvinnslu og er bæði mikill og góður árangur af því starfi. Eðli málsins samkvæmt hafa þeir aðilar sem vinna að virkjun orkulinda landsins lagt litla áherslu á að skilgreina eða lýsa verndargildi jarðminja, enda er það ekki þeirra hlutverk. Nokkrar skýrslur hafa komið út þar sem jarðminjum er lýst s.s. lýsing með jarðhitakorti af Íslandi (Helgi Torfason 2003) en þar eru skilgreiningar á flestum yfirborðsfyrirbrigðum sem finnast á jarðhitasvæðum og listi yfir öll jarðhitasvæði sem þá voru þekkt. Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson (2005) hafa tekið saman lista yfir fyrirbæri og hugtök sem lengi hafa verið notuð um jarðhitaminjar á háhitasvæðum og birt ljósmyndir af þeim, sem er mikill kostur. Þeirra sýn á jarðhitasvæðin er víðari en hér er lagt upp með á þann hátt að virkjanir, affallslón o.þ.h. mannvirki eru talin hluti af jarðhitafyrirbærum. Í þeirri vinnu sem hér er lýst

er aðallega litið til náttúrulegra minja, þó manngerðar opnur, eins og til dæmis námur og vegskurðir, geti flokkast sem jarðminjar í ákveðnum tilvikum.

Erlendis eru háhitasvæði ekki algeng og þess vegna er verndargildi þeirra mikið. Verndargildi jarðhita hefur víða verið metið svo sem á Nýja-Sjálandi og í Bandaríkjunum. Sem dæmi má nefna Yellowstone Park, en það háhitasvæði var fyrsti þjóðgarðurinn sem stofnsettur var í heiminum. Við mat á verndargildi á Íslandi er hentugt að styðjast við vinnu Nýsjálendinga við mat á háhitasvæðum þar, enda eru þar í landi oft sambærilegar aðstæður og hér. Þau rit sem einkum hefur verið stuðst við, auk innlendra rita, eru skilgreiningar á jarðhitaminjum og verndargildi þeirra á Nýja-Sjálandi (Keam o.fl 2005; Wildland Consultants Ltd. 2004, Waikato Regional Council 2004).

Tilgangur þeirrar vinnu sem hér er skýrt frá er að taka saman atriði sem þarf að kanna á sem flestum háhitasvæðum svo hægt sé að bera þau saman og meta verndarþörf einstakra þátta eða fyrirbrigða. Kanna þarf tíðni, útbreiðslu, varðveislugildi, sveigjanleika (þ.e.a.s. hvort fyrirbrigði jafni sig aftur ef þeim er eytt tímabundið eða afli þeirra breytt), fagurfræðilegt og vísindalegt gildi ásamt gildi fyrir ferðapjónustu, útivist og orkunýtingu. Til þess að unnt sé að meta verndargildi háhitasvæða landsins þurfa sambærilegar upplýsingar að vera til frá þeim öllum. Einnig þarf að meta hvaða ógnir stöðja að þeim og er þá átt við virkjanir, ferðamenn, skógrækt o.þ.h., og hvernig bregðast megi við þeim.

Til að prófa þær aðferðir sem lagt er til að leggja til grundvallar á mati á verndargildi háhitasvæða voru könnuð fjögur jarðhitasvæði: Reykjanes, Krísuvík, Hengill og Hveravellir, sum svæðin voru þó aðeins könnuð að hluta. Hveravellir voru ekki heimsóttir heldur var þar notast við upplýsingar sem eru tiltækar (Helgi Torfason 1997; Árni Hjartarson og Magnús Ólafsson 2005b).

Þau svæði sem áætlað er að taka til athugunar vegna annars áfanga rammaáætlunar eru í 1. töflu og er sumum skipt í undirsvæði. Í töflunni er þess getið hvort svæðin eru virkjuð eða ósnortin og kemur fram að yfir helmingur þeirra er ósnortinn eða því sem næst. Í töflunni eru nöfn háhitasvæða og undirsvæða en nafngiftir eru dálítið breytilegar. Sum heitanna hafa öðlast nokkuð fastan sess og verið notuð í fjölda rita, þó að hér séu nokkur endurnefnd, auk þess sem óvíst er um tilvist sumra svæðanna.

- Prestahnúkur, Hróthálsar og Gjástykki hafa lengi verið nefnd „óviss háhitasvæði“ þar sem staða þeirra sem slík hefur ekki verið staðfest. Einn gufuhver og nokkrar laugar eru við Prestahnúk og köld ummyndun er í Hróthálsum en enginn hiti. Enginn hiti er á yfirborði í Gjástykki.
- Köldukvísjarbotnar eru hér nefndar upp á nýtt Hágöngur.
- Hengli hefur verið skipt upp á nýtt og er það miður að Grændalur og Hveragerði séu spyrnt saman. Heppilegra væri að greina þau að.
- Torfajökli er skipt í sex undirsvæði.
- Kröflu er skipt upp í fjögur undirsvæði, en Krókóttuvötn eru nokkuð vestan við svæði með jarðhita á yfirborði.
- Nokkur fleiri háhitasvæði eru á landinu en eru ekki talin með í töflunni s.s Katla og Grímsvötn.

1. tafla. Háhitasvæði til mats í 2. áfanga rammaáætlunar.

	Háhitasvæði	Undirsvæði	Athugasemdir
1.	Reykjanes		virkjað
2.	Svartsengi–Eldvörp		virkjað
3.	Krísuvík	a. Seltún–Sveifluháls, Austurengjahver b. Trölladyngja c. Sandfell	borun hafin borun hafin ósnortið
4.	Brennisteinsfjöll		ósnortið
5.	Hengill	a. Hverahlíð b. Hellisheiði c. Nesjavellir–Þverárdalur d1. Hveragerði d2. Grændalur e. Ölkelduháls	virkjað virkað virkað virkað ósnortið borun hafin
6.	Prestahnúkur		ósnortið
7.	Geysir		raskað að hluta
8.	Kerlingarfjöll	a. Hveradalir b. Efri- Hveradalir c. Hverabotn (Kerlingardalur)	ósnortið ósnortið ósnortið
9.	Hveravellir		lítt snortið
10.	Hágöngur		undir lóni
11.	Vonarskarð		ósnortið
12.	Torfajökull	a. Blautakvísl b. Vestur- Reykjadalir c. Austur- Reykjadalir d. Ljósártungur e. Kaldaklof f. Landmannalaugar	ósnortið ósnortið ósnortið ósnortið ósnortið ósnortið
13.	Kverkfjöll		ósnortið
14.	Askja		ósnortið
15.	Hrúthálsar		ósnortið
16.	Fremrinámar		ósnortið
17.	Námafjall (Bjarnarflag)		virkað
18.	Kröflusvæði	a. Krafla b. Leirhnúkur c. Vestursvæði (d. Krókóttuvötn)	virkað virkað ósnortið ósnortið
19.	Gjástykki		ósnortið
20.	Þeistareykir		borun hafin

2 JARÐHITI – SKILGREININGAR Á JARÐMINJUM HÁHITASVÆÐA

Í skýrslu Hauks Jóhannessonar og Kristjáns Sæmundssonar (2005) er jarðhitafyrirbærum á háhitasvæðum skipt í 8 flokka og 47 undirflokka. Flokkarnir eru:

1. Djúpvatn – hverir með klórríku vatni
2. Gufuhverasvæði
3. Sprengigíggar
4. Kolsýruhverir, kolsýrulaugar og ölkeldur
5. Afrennsli
6. Hverasvæði undir jöklum
7. Mannaverk á hverasvæðum
8. Útkulnuð fyrirbrigði

Flokkur 6 (jöklar) er dálítið erfiður viðfangs þar sem ekki er unnt að komast að háhitasvæðum undir jöklum til rannsókna, en til þessa flokks eru talin tvö atriði, sigkatlar og göt eða hellar, sem tengjast afrennsli. Flokkur 7 (undirflokkar nr. 29–39) tengist mannvirkjum og skiptir ekki máli þegar verndargildi náttúulegra jarðhitaminja eru skoðuð, þó atriði eins og t.d. námur og aðrar manngerðar opnur geti skipt máli. Hluti af þessum flokki tengist því sem oft er nefnt „menningarminjar“ og er það þá að hluta til aldur minjanna sem segir til um verðmæti þeirra, s.s. brennisteinsnámur.

Munurinn á því sem nefnist rask og því sem nefnt er menningarminjar virðist oft vera meira vegna aldurs en annars og gætir þar ef til vill dálítills tvískinnungs, því minjar t.d. um brennisteinsnám fyrr á öldum eru taldar verndarvirði en borholur síðustu áratuga eru oft taldar rask eða eyðilegging. Hér er farin sú leið að geta þessara minja án mats á verndargildi þeirra.

Á Nýja-Sjálandi er jarðhita skipt í jarðhitaforða (*geothermal resource*), jarðhitakerfi (*geothermal system*) og yfirborðsfyrirbrigði (*geothermal surface feature*) og hentar sú flokkun einnig vel á Íslandi. Einkenni á þessum flokkum jarðhitafyrirbæra eru sett fram á ensku í 1. viðauka og eru ekki mikið frábrugðin því sem gerist á Íslandi (Waikato Regional Council 2004).

Keam o.fl. (2005) birta þrjár töflur, eina um hve sjaldgæf jarðhitafyrirbrigði eru, aðra um náttúrulegar breytingar og þá þriðju um hversu viðkvæm þau eru fyrir raski manna, bæði raski á jarðhitakerfinu sjálfu og einnig á raski á yfirborði.

Skilgreiningar á yfirborðsummerkjum eru mjög líkar milli landa, enda um svipuð fyrirbrigði að ræða þó mismunandi náttúrufar geti skapað ólíkt yfirbragð staða, t.d. er gróður og dýralíf mun fjölskrúðugara á Nýja-Sjálandi og í Bandaríkjunum en hérlendis.

Þegar verndargildi er metið skiptir stærð svæðanna máli og einnig hversu algeng yfirborðsfyrirbrigðin eru, hversu sveigjanleg þau eru vegna breytinga á t.d. rennsli, aldri og fleiri þátta. Keam o.fl. (2005) benda á að til lítills sé að telja gufuaugu og hverir á víðáttumiklum jarðhitasvæðum þar sem þau breytast ört í tímans rás. Til að fá mat á hversu algeng fyrirbrigðin eru þarf þó að fá mat á fjölda og stærð og á Nýja-Sjálandi var jarðhita skipt í stök (*intensive entities*) og samfelld svæði eða breiður (*extensive entities*).

Í skýrslu um jarðhitakort af Íslandi (Helgi Torfason 2003) var jarðhiti flokkaður upp eftir stærð í reiti, hópa og augu. Tilgangur þeirrar skiptingar var að byggja upp gagnasafn yfir

jarðhita og til að geta metið og haldið utan um upplýsingar um jarðhita á yfirborði á sem sambærilegastan hátt. Þessi skipting hentar vel fyrir lághitasvæði en í skýrslunni var bent á að ekki er eins auðvelt að beita henni við háhitasvæði sem eru mjög misstór og misöflug. Þar er lagt til að nota flokk sem kallaður er „fláki“ eða „skiki“ og hefur ekki fasta stærð eins og hinir flokkarnir. Þessi skilgreining er sambærileg við samfeld svæði eða breiður (*extensive entities*) hjá (Keam o.fl. 2005). Til að geta lýst svæðunum er nauðsynlegt að beita skipulegum aðferðum til að meta og halda utan um gögn, og varðandi útbreiðslu henta „flákar“ vel á háhitasvæðum.

3 KORTLAGNING OG MAT JARÐMINJA Á HÁHITASVÆÐUM

Tveimur aðferðum var beitt í tilraunaskyni við að kortleggja og meta yfirborðsfyrirbrigði á þeim háhitasvæðum sem skoðuð voru (Reykjanes, Seltún, Grændalur og Hveravellir). Notuð voru fyrirbyggjandi gögn og einnig voru svæðin skoðuð með athugunum í náttúrunni:

A. Fyrst var beitt skilgreiningum á reit, þ.e. svæði með um 500 m radíus (Helgi Torfason 2003) og því með nokkuð ákveðnu flatarmáli. Raunar væri réttara að nota sexhyrninga sem falla alveg hver að öðrum, en stífl flatarmálsfræði hentar yfirleitt illa í náttúrunni. Þessi nálgun reyndist ágætlega, en fellur ekki alltaf að víðáttumiklum svæðum. Einnig getur verið erfitt að finna eða skilgreina mörk milli reita – einkum úti í náttúrunni.

B. Síðar var beitt skilgreiningunni „fláki“ þ.e. samhangandi breiða jarðhita og ummerkja um jarðhita. Mun fljótlegri og auðveldara er að vinna með þessa skilgreiningu, einkum þar sem notast er við jarðhitakort sem þegar eru til og því unnt að merkja svæðin áður en farið er út til rannsókna. Þó er sá galli á að þegar notast er við fláka er stærð þeirra misjöfn og því getur hún haft meiri áhrif á hvernig þeir eru metnir heldur en fjölbreytni innan þeirra. Þannig getur fláki sem er 100x100 m innihaldið mun fleiri ummerki en helmingi minni fláki. Því er betra að gróft mat á flatarmáli fylgi með þegar á að meta niðurstöður og meta t.d. fjölda hvera á hektara eða fermetra.

Þeir þættir sem notaðir eru til að greina sérkenni og verndargildi jarðminja og jarðhita á háhitasvæðum eru settir fram hér á eftir og í 2. töflu. Sumum þáttum má ef til vill sleppa og aðrir þarfnast betri útfærslu. Við mat á fjölda úti í náttúrunni getur verið hentugra að áætla fjölda fyrirbrigða (staka) t.d. 1–10, 10–50, 50–100, >100, því talning á fyrirbrigðum er oft óframkvæmanleg. Einnig má nota breiður og þá gefa upp flatarmál í t.d. hekturum (1–10 ha, >10 ha), svo sem um samhangandi breiður af gufuaugum eða ummyndun. Hiti var ekki mældur nema á fáeinum stöðum þannig að hitamælingar eru fremur til stuðnings, enda er gert ráð fyrir að jarðhitakort af svæðunum liggja fyrir. Þar sem ekki er verið að kanna mannvirki er óþarft að sundurgreina þau nákvæmlega, þótt það sé gert þar sem það tefur ekki. Litir á ummyndun og útfellingum eru breytilegir og getur verið erfitt að greina steindir eða leir til tegundar án efna- eða röntgengreininga.

Virkum jarðhitafyrirbærum sem finnast á háhitasvæðum er gróflega skipt eftir því hvort orkan kemur fram sem vatn eða gufa, þó að þar á milli séu ekki alltaf skörp skil. Þá skiptir máli hvort og hvernig ummyndun og útfellingar koma fram við hverri og laugar á svæðunum. Ýmis önnur atriði skipta einnig miklu máli s.s. hveraörverur sem eiga stóran þátt í myndun hverahrúðurs, menningarminjar eins og örnefni, tengsl við þjóðsögur, gömul mannvirki s.s. baðlaugar eða heilsulindir og fleira. Þá er fyrirbærum skipt eftir því hvort um er að ræða samfelldar breiður, t.d. gufur, eða hvort um er að ræða stök, s.s. vatnshveri, goshveri o.þ.h.

Jarðhiti háhitasvæðanna kemur upp í mismunandi umhverfi, þ.e.a.s. í mismunandi hæð yfir sjó, ýmist á þurrlendi eða í votlendi, í hlíðum, hraunum, ám og vötnum, undir jöklum og víðar og stjórnast útlit jarðhitafyrirbæranna nokkuð af því. Þegar litið er til gróðurs og dýralífs skiptir umhverfið miklu máli, einkum hvort um er að ræða rennandi vatn eða votlendi.

3.1 Flokkun, skilgreiningar og lýsing fyrirbrigða

Þeir þættir sem einkum er talið að þurfi að skoða vegna mats á verndargildi háhitasvæða eru settir fram í 2. töflu. Sá fyrirvari er þó gerður að fleiri atriði kunna að koma í ljós er farið verður að skoða svæðin skipulega. Þeim þáttum sem þarf að gera skil er skipað í nokkra hópa, A–G, og til samanburðar er flokkun Hauks Jóhannessonar og Kristjáns Sæmundsonar (2005) og númer þeirra (flokkar og undirflokkar) er sett í sviga í umfjöllun hér á eftir og í 2. töflu.

A) Vatnshverir, laugar og volgrur: Orka kemur til yfirborðs að mestu leyti með heitu vatni. Staður þar sem vatn rennur til yfirborðs, hvort sem um er að ræða vatn eða blöndu vatns, gufu og gasa ásamt uppleystum efnum. Jarðhiti telst almennt vera þar sem vatn eða gufa kemur upp og hiti er yfir meðalhita viðkomandi staðar; hér er miðað við að jarðhiti sé yfir 10°C. Stundum er rennsli lítið og nánast ekkert t.d. þegar gufa sýður upp gegnum grunnvatn sem liggur rétt undir yfirborði (stundum fölsku grunnvatni). Slík fyrirbrigði eru lík leirhverum en vatn er tært í þeim og eru þau talin með gufuhverum (sjá síðar). Ekki eru allir sáttir við skiptingu í hverir, laugar og volgrur eftir hitastigi en hér er miðað við eftirfarandi (Helgi Torfason og Jóna Finndís Jónsdóttir 2001, Helgi Torfason 2003):

Hver >70°C
Laug 25–70°C
Volgra 10–25°C

Vatnshverir geta haft stöðugt rennsli eða óstöðugt, gosið, ólgað og soðið. Suðuhverir eru þannig við suðumark og ólga yfirleitt, stundum er mikið af gasi eða gufu í hvernum þannig að ólgan helst nokkra cm yfir vatnsborð hversins. Vatnshverir ná yfirleitt ekki hæra hitastigi en suðumarki.

Djúpvatn nefnist það vatn sem kemur djúpt að úr berggrunni og ber með sér uppleyst efni sem falla út sem útfellingar. Gufa hitar stundum upp yfirborðsvatn og þar falla litlar sem engar útfellingar við hverir og laugar. Blanda djúpvatns og yfirborðsvatns eða grunnvatns á litlu dýpi getur myndað hverir og laugar þar sem efni falla út í mismiklu magni eftir blöndu vatnsgerða.

- Hver, laug eða volgra þar sem efni falla út:
 - Djúpvatnsblandaðar laugar (2) eru hluti þessara fyrirbrigða.
 - Hver, laug eða volgra með hrúðurhelli – miðað er við að hrúðurhella sé meira en skán við hverina eða læki frá þeim.
- Efnaríkir hverir og laugar:
 - Kísilhverir (1).
 - Rauðlitaðir (járnríkir) hverir og laugar.
 - Brennisteinsmengaðir hverir og laugar.
 - Hver með bráðnum brennisteini (>119°C) – sennilega ekki til héraendis.
 - Sortulækir (13) – Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson (2005) telja þessa hverir eða frárennsli með gufuhverum.
- Hver, laug eða volgra án útfellinga (>10°C) – afrennsli eða hitað af gufu.

- Djúpvatnsblandað afrennsli (25) – hér er þetta atriði nefnt afrennsli, og er þá átt við afrennsli frá jarðhita, stundum gufuhitað og er ekki alltaf blandað djúpvatni.
- Volg votlendi – hveramýrar – þ.e. votlendi þar sem jarðhiti kemur upp sem volgrur eða hverir án tillits til hitastigs.
- Ölkelda >300 ppm CO₂ (24).
- Kolsýruhverir (21).
- Kolsýruhverir og laugar með kalkútfellingum (22).
- Kolsýrugoshver – sennilega ekki til hérlendis.

Afrennsli frá háhitasvæðum er þekkt á nokkrum stöðum þar sem laugasvæði og/eða hverir tengjast þeim auðsjáanlega, en hafa annað yfirbragð en inni á svæðunum sjálfum. Þekkt eru t.d. hverir og laugar við Mývatn sem eru afrennsli frá Námaskarði.

Goshverir eru bæði á há- og lághitasvæðum og eru með sjaldgæfustu fyrirbrigðum á jarðhitasvæðum. Goshver er hver við suðumark þar sem vatn þeytist öðru hvoru upp í loftið en er kyrrt þess á milli. Ekki eru settar hæðartakmarkanir á goshveri, en stundum er miðað við að vatnið lyftist a.m.k. 30 cm.

- Goshverir (3).
- Lækjargosar (16) (Kristján Sæmundsson og Guðmundur Ómar Friðleifsson 2001, skilgr. á bls. 108).
- Skrykkjöttur hver (crypto-geyser) – jarðhiti þar sem vatn eða gufa kemur óreglulega til yfirborðs, frárennsli kemur í mis- reglulegum púlsum eða hviðum (talið tengjast „goshverum eða gosum“ neðanjarðar) Keam o.fl. (2005).

B) Gufa: Á þessum stöðum kemur orka til yfirborðs aðallega með heitri gufu. Gufa getur komið djúpt úr jarðhitakerfum og þá gjarnan með ýmsum gastegundum s.s. brennisteinsvetni (H₂S) og koldíoxíði (CO₂). Djúpgufa er súr og við op á yfirborði falla ýmis efni út s.s. brennisteinn, gifs og ýmis sölt. Gufur á háhitasvæðum mynda annað hvort breiður eða staka hverir sem eru viðvarandi á sama stað í langan tíma, ár eða áratugi. Gufur leggur einnig upp af afrennsli frá háhitasvæðum og er þá ekki um að ræða mikið af gösum og því fellur lítið sem ekkert út af efnum þar.

- Gufuhverir (9) – eingöngu gufa kemur til yfirborðs.
- Gufuhitað yfirborðsvatn: Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson (2005) nefna þesssa staði „Soðstampa (12a) og soðpönnur (12b)“ eftir því hvort um er að ræða vatn sem stendur í bollum eða í grunnu vatni. Oft er um að ræða sjóðandi yfirborðsvatn og koma engar útfellingar úr vatninu og lítið afrennsli. Gufuhitaðar laugar (17) eru sams konar fyrirbrigði, þ.e.a.s. laugar og hverir á yfirborði sem er grunnvatn hitað upp af gufu og eru litlar sem engar útfellingar eru við slíka staði þó rennsli geti verið mikið.
- Brennisteinsþúfur (4).
- Rauðþúfur (6).
- Gufuaugu í sandi (7), geta breyst í rauðþúfur.
- Heit jörð eða skellur (8).
- Volg jörð (14) – afbræðslur.
- Heit leirflög (15) – óljós munur er á þessu fyrirbrigði og „heit jörð eða skellur (8)“.
- Gufur af heitu grunnvatni (26).

Yfirhitaðir hverir (hverir með hitastig sem er yfir suðumarki sem er eðlilegt á viðkomandi stað) eru jafnan gufuhverir. Hérlendis eru fáir gufuhverir yfirhitaðir, en slíkir hverir hafa fundist t.d. í Kerlingarfjöllum (Árni Hjartarson og Magnús Ólafsson 2005a)

- Yfirhitaðir gufuhverir (10)

Leirhverir myndast þar sem gufa streymir upp gegnum grunnvatn og súr vökvinn leysir upp berg og myndar leir sem oft sýður og vellur. Leirhverir eru oft afrennslislausir, en þó ekki alltaf. Lækki grunnvatnsborð geta leirhverir breyst í gufuhveru. Stundum ná slettur gufuhveranna að hlaða upp strýtum við hveraopin og nefnast slík fyrirbrigði *mudvolcano* á ensku, gætu nefnst leirdrili á íslensku.

- Leirhverir (11).
- Gjósandi leirhver.
- Leirdrili.

C) Útfellingar og ummyndun: Útfellingar af kísli, brennisteini og kalki eru algengustu útfellingar á háhitasvæðum, en einnig koma fyrir gifs, ýmis hverasölt og fleira. Hróðurhellur myndast þar sem mikið er af uppleystum efnum í vatni og rennsli mikið. Hróður og útfellingar hafa hærra verndargildi þar sem jarðhita gætir ekki lengur og útfellingar myndast því ekki. Virkjun jarðhitasvæða hefur áhrif á rennsli vatns og því skiptir nýmyndun hrúðurs miklu máli á jarðhitasvæðum. Á Nýja-Sjálandi er hverahrúðri skipt eftir aldri og er hrúður sem myndast hefur eftir aldamótin 1900 nefnt „ungt“ hrúður (recent) og talið hafa hærra verndargildi (Keam o.fl. 2005). Hér á landi er ekki hefð fyrir að skipta hrúðri eftir aldri.

Berggrunnur leysist gjarnan upp í súru og heitu umhverfi jarðhitasvæðanna og þar myndast ýmsar leirtegundir s.s. kaolín, járnoxíð og fleira. Litir ummyndunar á háhitasvæðum eru oft mjög fjölskrúðugir og skipta miklu máli þegar verndargildi þessara svæða er metið. Þótt jarðhitasvæði sé virkjað heldur gufa og hiti áfram að ummynda berggrunn og yfirborð þar sem jarðhita gætir og því hafa heit ummyndunarsvæði yfirleitt lægra verndargildi en þau sem eru orðin köld og gildir það sama um útfellingar.

Virk ferli á yfirborði:

- Kísilhrúður.
- Kalkhrúður.
- Kísil-, kalkstallar (terraces).
- Skánir, skæni við vatnshveru (myndast á börmum hvera), einkum úr kísli og vaxa útyfir vatnsflötinn.
- Kísilþófar (lily pad), útfelling á steinum, einkum kísill, vex oft lárétt við vatnsflöt.
- Brennisteinn.
- Hverasölt (5) (pickeringít, halotrichít, alunogen o.fl.).
- Hverajárn (hematít).
- Gifs.
- Ummyndunarbreyður – heitar eða volgar með breiðum af hveraleir (grár [brennisteinsríkur], rauður [járnnoxíð], hvítur, gulur).

Óvirk ferli – kulnuð fyrirbrigði:

- Kísilhrúður (41).
- Kalkhrúður (23).
- Kísil-, kalkstallar (terraces).
- Gifshellur og -kristallar (40).
- Hverajárn (hematít) (42).
- Klórít (grænleit ummyndun).
- Köld leirflög – ummyndunarbreyður (45).
- Ummyndun á rofsvæðum (46).
- Yfirborðsummyndun við hærri hita en 250°C – þ.e. þar sem epidót finnst á yfirborði (47).

D) Hveraörverur: Örverur sem lifa í heitu vatni og við gufuhveri á háhitasvæðum eiga mikinn þátt í myndun hrúðurs og ef til vill einnig í ummyndun bergs. Hitapolnir þörungar lifa upp að 60°C hita en við hærri hita lifa aðeins bakteríur (upp að 110°C) (Jakob Kristjánsson og Guðni Axelsson 1986). Þörungar og bakteríur mynda gjarnan þræði eða samhangandi mottur í hverum og laugum þar sem kísill og stundum kalk fellur út og eiga þannig þátt í að mynda hrúðurbreiður. Auk þess að hafa veruleg áhrif á myndun hrúðurs og útfellinga eru hveraörverur oft litskrúðugar og hafa því einnig mikil áhrif á ásýnd svæðanna.

E) Jarðmyndanir – landslag: Háhitasvæði landsins eru öll á eða við virk gosbelti. Því eru gosmyndanir hluti af sömu heild og jarðhitamyndanir, enda er jarðhitinn nátengdur eldvirkni. Jarðmyndanir hafa mismikið verndargildi og því þarf að flokka jarðmyndanir til að geta metið á verndargildi þeirra. Helstu flokkar eru hraun, gígar, gígaraðir, berggrunnur, berggerðir, innskot, misgengi og brot. Einnig skiptir máli hvernig þessar myndanir móta landslag á viðkomandi svæði.

Tengt jarðhita:

- Sprengigígar (18).
- Minniháttar hverasprengigígar (19).
- Kolsýrusprengigígar (20).
- Sigspildur á hverasvæðum – oft tengt jarðskjálftum.
- Göt og hellar (28).
- Kulnaðir hverabollar (43).
- Útkulnaðir goshverir (44).

Aðrar jarðminjar:

- Gígar, gígaraðir.
- Sprengigígar, öskjur.
- Hraun (nútimahraun) – t.d. söguleg eða aldursgreind hraun.
- Hrauntraðir og niðurföll (pitcraters).
- Innskot.
- Berggerðir.
- Bergásýndir.
- Framhlaup.
- Misgengi, sprungur, gjár.
- Laus jarðlög s.s. foksandar, vatnshjallar, vatnsrásir, jökulmyndanir.

F) Menningartengdar minjar – námur, sögur, nöfn hvera. Ekki er reynt hér að gera þessum flokki tæmandi skil en stiklað á því sem skiptir mestu máli. Nöfn hvera og hverasvæða tengjast oft þjóðsögum, atburðum úr sögunni eða öðrum atriðum sem eru hluti af menningu þjóðarinnar. Þá geta trúmál skipt máli þótt það sé sennilega í fáum tilvikum á háhitasvæðum hérlandis. Vísindalegar rannsóknir flokkast hér undir en sumir staðir skipta máli í vísindalegu tilliti, bæði er varðar jarðhita og einnig ýmsar aðrar jarðminjar.

Brennissteinsnámur voru á nokkrum háhitasvæðum og hafa fremur sögulegt gildi en vísindalegt. Orkunám er nú á dögum mikið á háhitasvæðunum og þau skipta því vaxandi máli í efnahagslegu tilliti og einnig eru þau mikilvæg vegna sívaxandi ferðamannaþjónustu. Minjar sem tengjast t.d. borunum á fyrri hluta 20. aldar teljast sennilega til menningarminja nú fremur en að þær flokkist sem rask. Þau atriði sem þarf að hafa í huga eru t.d.:

- Vísindarannsóknir – vísindasögulegir staðir.
- Baðstaðir (37).
- Þvottastaðir.

- Matsuða – matseld – brauðgerð.
- Merki um brennisteinsvinnslu (38).

G) Rask og verndargildi. Rask á háhitasvæðum skiptir ekki alltaf miklu máli við mat á verndargildi og færð hafa verið rök fyrir því að t.d. góður vegslóði milli staða innan háhitasvæðis geti verið kostur fremur en galli, því það minnki hættu á utanvegaakstri og skemmi því hlutfallslega minna. Hins vegar skiptir staðsetning orkuvers með tilheyrandi borplönnum, leiðslum og lögnum miklu máli og unnt er að draga úr skaða af slíkum framkvæmdum. Á undanförunum árum hefur nýting háhitasvæðanna aukist og fyrirsjáanlegt er að sú aukning haldi áfram. Nokkur dæmi eru um að það hefur gleymst að háhitasvæði eða hlutar þeirra eru vernduð sem náttúruvætti, fólkvangar eða friðuð á annan hátt. Þá eru önnur svæði sem sett hafa verið á náttúruminjasrá. Atriði sem huga þarf að þegar meta skal rask á háhitasvæðum er m.a.:

- Virkjanir (29).
- Borholur, borteigar.
- Leiðslur (gufa eða vatn) og línur (raflínur).
- Vegir og slóðar.
- Sýningarholur (30).
- Blásandi þurrufuholur (31).
- Gufusprengingar frá borholum (32).
- Lífgaður goshver (33).
- Tilbúinn goshver (34).
- Kolsýruvinnsla (35).
- Affallslón (36).
- Kísilstallar (39), (orðið paldrar er í skýrslu Hauks Jóhannessonar og Kristjáns Sæmundssonar (2005) notað um útfellingar úr affallsvatni frá gufuafsvirkjunum.

2. tafla. Verndargildi hverasvæða. Atriði sem tengjast mati á verndargildi hverasvæða. Dæmi um reiti á Reykjanesi og fláka í sunnanverðum Grændal í Hengli, Krísuvík og Hveravöllum. Í dálki NR. er númer flokka og undirflokka í umfjöllun Hauks Jóhannessonar og Kristjáns Sæmundssonar (2005).

Jarðhitasvæði	Reitur – raddius Fláki	NR.	Reykjanes		Krísuvík	Hengill	Hveravellir	Tíðni Samt
			500 m Skálafell	500 m Gunnhver	Seltún	Grændalur	Hveravellir	
A Vatn ríkjandi			0	0	0	1	1	2
Vatnshverir - sjóðandi hverir			0	0	0	1	1	2
fjöldi >10			0	0	0	1	1	2
rennsli – ekkert frárennsli = 0			0	0	0	1	1	2
kraftur í suðu			0	0	0	1	1	2
Soðstampar		12a	0	0	1	1	1	3
Soðpönnur		12b	0	0	1	1	1	3
Kísilhverir		1	0	0	0	1	1	2
Djúpvatnsblandaðar laugar		2	0	0	1	1	1	3
Gufuhitaðar laugar		17	0	0	1	1	1	3
Djúpvatnsblandað afrennsli		25	0	0	1	1	1	3
Vatnshverir m. frárennsli >70°C			0	0	1	1	1	3
fjöldi >10			0	0	0	1	1	2
rennsli – ekkert frárennsli = 0			0	0	1	1	1	3
Útfellingar – + eða –			0	0	0	1	1	2
Laugar 25–70°C			0	0	1	1	1	3
fjöldi >10			0	0	0	1	1	2
rennsli – ekkert frárennsli = 0			0	0	1	1	1	3
Útfellingar +/-			0	0	0	1	1	2
Volgrur 5–25°C			0	0	1	1	1	3
fjöldi >10			0	0	0	1	1	2
rennsli – ekkert frárennsli = 0			0	0	1	1	1	3
Útfellingar +/-			0	0	0	0	0	0
Goshverir		3	0	0	0	0	1	1
fjöldi >10			0	0	0	0	0	0
hæð goss >0,3 m			0	0	0	0	1	1
Lækjargosar		16	0	0	0	0	0	0
Leir-goshverir			0	0	0	0	0	0
Kolsýruhverir		21	0	0	0	0	0	0
Kolsýrulaugar >5°C		22	0	0	0	1	0	1
fjöldi >10			0	0	0	0	0	0
rennsli – ekkert frárennsli = 0			0	0	0	1	0	1
Útfellingar +/-			0	0	0	1	0	1
Ölkeldur <5°C		24	0	0	0	0	0	0
fjöldi >10			0	0	0	0	0	0
rennsli – ekkert frárennsli = 0			0	0	0	0	0	0
Útfellingar +/-			0	0	0	0	0	0
Sortulækir		13	0	0	0	0	0	0
B Gufa ríkjandi			1	1	1	0	0	3
Soðstampar		12a	0	0	1	1	0	2
Soðpönnur		12b	0	0	1	1	0	2
Gufustrókar í öllum veðrum			0	1	1	1	1	4
Gufueimur			1	1	1	1	1	5
Lykt af gufu +/-			0	1	1	1	0	3
Yfirhitaðir hverir – gufuhverir		10	0	0	0	0	0	0
Hverir með >100°C			0	0	0	0	0	0
fjöldi >10			0	0	0	0	0	0
Gufuhverir >10 cm, stakir hverir		9	1	1	1	1	1	5
fjöldi >10			1	1	1	1	1	5
þekja >1 ha			1	1	1	1	1	5
kraftur í suðu			0	1	1	1	1	4
hljóð			0	1	1	1	1	4
Gufuaugu <10 cm, hverabreiður			1	1	1	1	1	5
þekja >1 ha			1	1	1	0	1	4
kraftur í suðu			0	1	1	1	1	4
hljóð			0	1	1	0	1	3
Leirhverir		11	0	1	1	1	0	3
Breiður			0	1	1	0	0	2
rennsli – ekkert frárennsli = 0			0	1	0	1	0	2
Leirdryli			0	1	0	0	0	1

Jarðhitasvæði	NR.	Reykjanes	Reykjanes	Krísuvík	Hengill	Hveravellir	Tíðni
Heit jörð	8	0	1	1	1	1	4
þekja >1 ha		1	1	1	1	1	5
Brennisteinsþúfur	4	0	1	1	0	1	3
Rauðþúfur	6	0	0	0	0	0	0
Gufuauðu í sandi	7	0	0	0	0	0	0
Volg jörð – gróinn jarðvegur	14	1	1	1	1	1	5
Heit leirflög	15	1	1	1	1	1	5
Gufur af heitu grunnvatni	26	1	1	0	0	1	3
C Útfellingar		0	1	1	1	1	4
Kaldar – heitar, í myndun/rofi	45	0	1	1	1	1	4
þekja >1 ha		0	0	0	0	1	1
þekja < ha		0	1	1	1	0	3
Kísill	41	0	1	1	1	1	4
Kalk	23	0	0	0	0	0	0
Brennisteinn		0	1	1	1	1	4
Gífs	40	0	1	1	1	0	3
Epidót		0	0	0	0	0	0
Hverasölt	5	0	1	0	1	1	3
Hematít (hverajárn) – járnfrauð	42	0	0	0	0	0	0
Hveraskánir við vatnshveri		0	0	0	0	1	1
Kísilþófar, skánir í frárennsli (lilypads)		0	0	0	0	0	0
Kísilstallar (terrassar)		0	0	0	0	1	1
Hólar, þúfur		0	1	0	0	0	1
Lægðir, trektlaga op		0	1	0	0	1	2
Holufyllingar		0	0	0	0		0
C Ummyndun		0	1	1	1	1	4
Heit		0	1	1	1	1	4
Köld		0	1	1	1	1	4
Heit og köld	46	0	1	1	1	0	3
þekja > 1 ha		0	1	1	1	1	4
Berggrunnur: Móberg		0	0	1	1	0	2
Berggrunnur: Basalt		0	1	1	1	1	4
Berggrunnur: Líparít		0	0	0	0	0	0
Leir – ósundurgreint		0	0	1	1	1	3
Smektít		0	0	0	0	0	0
Klórít		0	0	0	1	0	1
Kaólínít		0	1	0	0	1	2
Mikil litabrigði		0	1	1	1	0	3
Yfirborðummyndun v.> 250°C	47	0	0	0	0	0	0
D Hveraörverur		0	1	1	1	1	4
Rauðar		0	0	0	1	0	1
Grænar		0	1	0	1	0	2
Gular		0	1	0	0	0	1
Gráar		0	1	0	1	0	2
Brúnar		0	1	0	1	0	2
Mastigocladus		0	0	1	1	1	3
Cyano		0	0	0	1	0	1
E Sérstakar jarðminjar á svæði, fláka		1	1	1	1	1	5
Gígar		1	0	0	0	0	1
Nútímahraun		1	1	0	0	1	3
Söguleg gos		0	0	0	0	0	0
Gjár, sprungur, misgengi á nútíma		1	1	0	1	0	3
Sprengigígar		0	0	0	0	0	0
E Landslag – sérstakt		0	0	1	1	0	2
Gróið		1	1	1	1	1	5
Litríkt v. ummyndunar		0	1	1	1	1	4
Sérstakt vegna útfellinga		0	1	0	0	1	2
Vötn – tjarnir		0	0	0	1	0	1
Rennandi vatn		0	0	1	1	1	3
Votlendi með hita <100 m ²		0	0	1	0	1	2
Votlendi með hita >100 m ²		0	0	0	1	0	1
Sig á hverasvæðum		0	1	0	1	0	2
Sprengigígar	18	0	0	0	0	0	0
Minniháttar sprengigígar	19	0	0	0	1	0	1
Kolsýrusprengigígar	20	0	0	0	0	0	0
Sigkatlar í jöklum	27	0	0	0	0	0	0
Hellar og göt við jökla	28	0	0	0	0	0	0
Kulnaðri hverabollar	43	0	1	1	0	0	2
Útkulnaðir goshverir	44	0	1	0	0	0	1

Jarðhitasvæði	NR.	Reykjanes	Reykjanes	Krísuvík	Hengill	Hveravellir	Tíðni
F Menningartengsl		0	1	0	0	1	2
Nafnkunnir hverir		0	1	0	0	1	2
Átrúnaður		0	0	0	0	0	0
Lækningar		0	0	0	0	0	0
Baðstaðir	37	1	0	0	0	1	2
Námur – gamlar brennisteinsnámur		0	0	0	0	0	0
Þjóðsögur		0	1	0	0	1	2
Myndlist, kvæði, sögur		0	1	0	0	1	2
F Áhugavert fyrir ferðamenn		0	1	1	1	1	4
Núverandi ferðamannastaður		0	1	1	0	1	3
Mikið		0	1	1	1	1	4
Í meðallagi		1	0	0	0	0	1
Lítið		0	0	0	0	0	0
Ekkert		0	0	0	0	0	0
F Verndargildi		1	1	1	1	1	5
Friðlýst skv. lögum eða sérlögum		0	0	0	0	1	1
Friðland		1	1	1	0	0	3
Náttúruvætti		0	1	0	0	1	2
Á náttúruminjaskrá		1	1	0	1	1	4
Á Náttúruverndaráætlun 2004–2008		1	1	0	0	0	3
Verndargildi skv fjölbreytni, fágætis							
Mikið		1	1	0	1	1	4
Í meðallagi		0	0	1	0	0	1
Lítið		0	0	0	0	0	0
Ekkert		0	0	0	0	0	0
G Rask		1	1	1	0	1	4
Óraskað		0	0	0	1	0	1
Raskað að hluta		1	0	1	0	1	3
Mjög raskað		0	1	0	0	0	1
Eyðilagt		0	0	0	0	0	0
Vegir		1	1	1	0	0	3
Borholur, borplön		1	1	1	0	0	3
Leiðslur		0	1	1	0	1	3
Byggingar		0	1	0	0	1	2
Ræktun – Skógrækt		0	0	0	0	0	0
Virkjanir	29	0	0	0	0	0	0
Sýningarholur	30	0	0	0	0	0	0
Blásandi þurrufuholur	31	0	0	0	0	0	0
Gufusprenningar frá borholum	32	0	0	1	0	0	1
Lifgaður goshver	33	0	0	0	0	0	0
Tilbúinn goshver	34	0	0	0	0	0	0
Kolsýruvinnsla	35	0	0	0	0	0	0
Affallslón	36	0	1	0	0	0	1
Kísilstallar (paldrar)	39	0	1	0	0	0	1
Námur	38	0	1	0	0	0	1
Summa		28	77	70	85	84	

4 ATHUGARNIR Á EINSTÖKUM SVÆÐUM

Háhitasvæði landsins eru misjafnlega stór og því er þeim stærstu oft skipt í undirsvæði. Undirsvæði á Torfajökulssvæði eru stærri en t.d. bæði Reykjanes og Hveravellir og því þarf að hluta svæðin upp svo verið sé að bera saman svæði af líkri stærð. Til að ná utan um þær upplýsingar sem þarf að safna af háhitasvæðunum svo unnt sé að bera þau saman og meta verndargildi þeirra var svæðum sem athuguð voru fyrst skipt í reiti og síðan í fláka og borið saman hvernig það reyndist að vinna upplýsingar á mismunandi mælikvarða. Reitir og flákar voru merktir út á kort áður en farið var út í náttúruna og þeir settir þanning niður að sem fæstar einingar þyrfti til að ná yfir svæðin.

Athuganir voru gerðar síðsumars og haustið 2005 í Seltúni við Krísuvík og í Grændal inn af Hveragerði, en vorið 2006 á Reykjanesi. Ekki voru gerðar athuganir á staðnum á Hveravöllum heldur stuðst við fyrri athuganir þaðan. Vinna fór þannig fram að fyrst var unnið með fyrirbyggjandi gögn og eigin þekkingu á þessum svæðum, rannsóknarsvæði afmörkuð og síðan voru þau þrjú fyrstnefndu heimsótt. Tilgangur þessarar vinnu var að reyna aðferðir við að safna gögnum og að kanna og meta jarðminjar. Gögn sem safnað var eru sett fram í 2. töflu í einu lagi, en auk þess er svæðunum lýst stuttlega í undirsköflum. Ekki er reynt hér að gera svæðunum endanleg skil, enda er eingöngu verið að leggja fram tillögur að aðferðum við að skoða svæðin, hvað eigi að meta og hvernig unnt sé að gera það þannig að um sem sambærilegast mat verði að ræða.

4.1 Reykjanes

Jarðhitasvæðið á Reykjanesi er eitt minnsta háhitasvæðið á landinu og er það raunar einn samfelldur hitafláki (1. mynd). Svæðið er ágætlega þekkt og áður en farið var þangað í maí 2006, voru tiltæk jarðfræðkort af svæðinu skoðuð og tveir reitir afmarkaðir (Jón Jónsson 1978, Halldór Ármannsson 1997). Í Náttúruverndaráætlun fyrir 2004–2008 (Umhverfisstofnun 2003) var mælt með að Reykjanes yrði friðað:

Reykjanes – Eldvörp – Hafnaberg.

Það svæði sem lagt er til að vernda yst á Reykjaneskaga er um 113 km² að stærð og er innan marka sveitarfélaganna Grindavíkur og Reykjanesbæjar. Svæðið hefur verið á náttúru-minjaskrá nokkuð lengi (svæði 106) vegna jarðfræðilegs mikilvægis þess en einnig vegna lífríkis. Mjög mikilvægt er talið að vernda svæðið á grundvelli jarðfræði og eldvirkni, m.a. vegna Atlantshafshryggjarins. Lagt er til að svæðið verði verndað sem náttúruvætti vegna jarðfræðilegs mikilvægis.

Mörk: Mörk liggja úr Mölvík, um 2 km austan við Háleyjarbungu, í Þorbjarnarfell og um Lágur og Vörðugjá í Stapafell. Þaðan bein lína í vestur að eyðibýlinu Eyrarbæ við norðurenda Hafnabergs. Karlinn og aðrir stapar fyrir ströndu eru innan svæðisins. Iðnaðarsvæðið á Reykjanesi telst ekki til fyrirhugaðs verndarsvæðis.

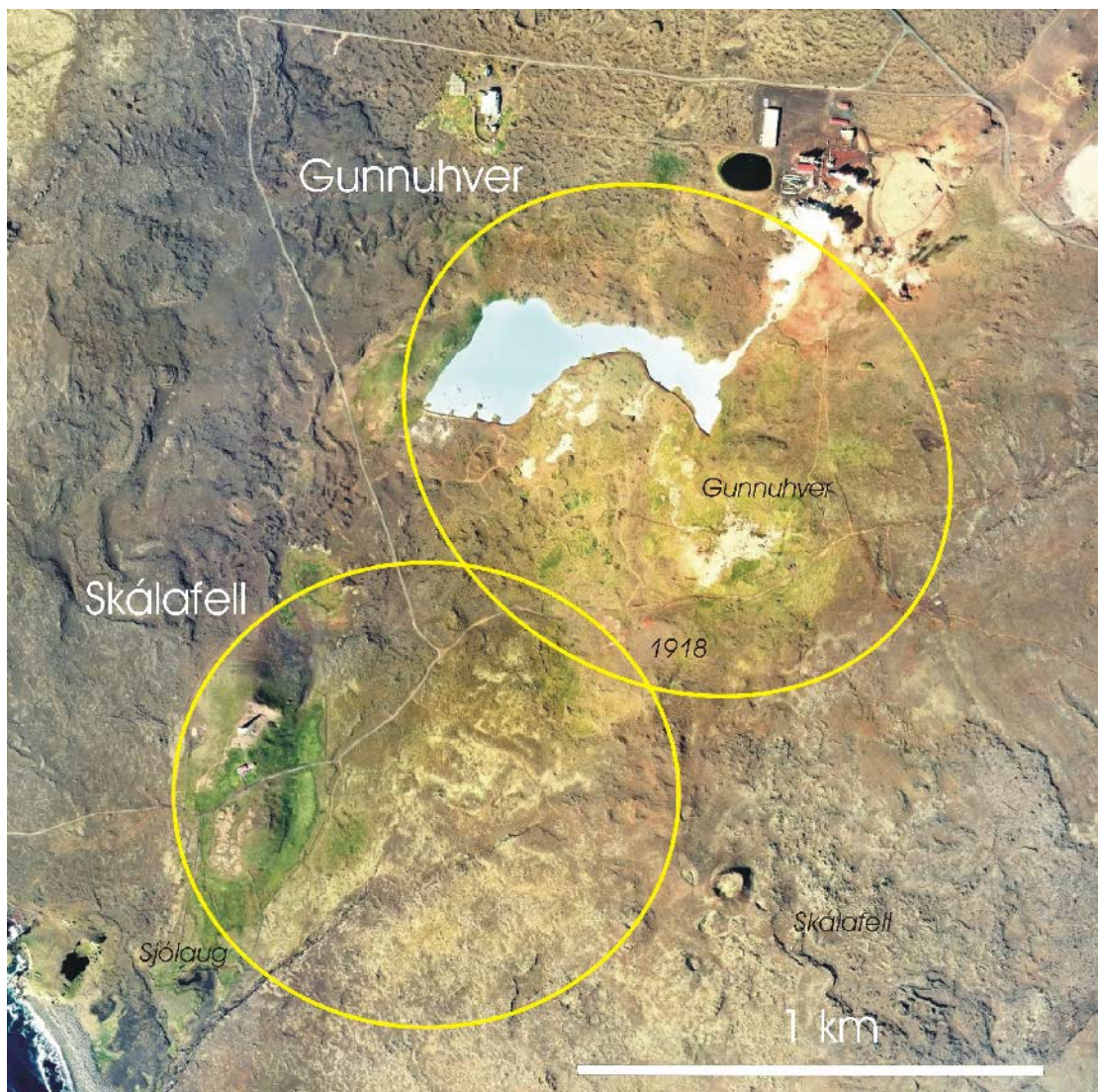
Mörk svæðisins eru sett fram með fyrirvara og líta ber á þau sem tillögur að mörkum sem nánar verður fjallað um við undirbúning friðlýsingar.

Svæðislýsing: Reykjaneshryggurinn, nyrsti hluti Mið-Atlantshafshryggjarins, sem klýfur Atlantshafið í tvær úthafsplötur kemur á land á Reykjanesi. Ísland er eini staðurinn á jörðinni þar sem skoða má virkan úthafshrygg ofansjávar og hvergi er tengingin skýrari en á Reykjanesi. Aðrir hlutar hryggjarins (rekbeltanna) á Íslandi eru undir meiri áhrifum frá heita reitnum undir Íslandi og að því leyti ólíkari venjulegum úthafshryggjum. Á Reykjanesi sjást glögglega merki gliðunar í sprungubeltum og sigdölum. Þar eru fallegar gígaraðir (t.d. Eldvörp og Stampar) og dyngjur (Skálafell, Háleyjarbunga og Sandfellshæð). Háleyjarbunga er úr pikriti sem er sjaldgæf bergtegund. Þar er öflugt og sérstætt jarðhitasvæði með fjölskrúðugum hveragróðri og volg sjávartjörn. Reykjanes er

einstakt svæði til jarðfræðirannsókna og hefur mikið fræðslugildi. Í Hafnabergi er fjölskrúðug bjargfuglabýggð með fjölmörgum tegundum bjargfugla. Hafnaberg er aðgengilegt til fuglaskoðunar og því tilvalið til fræðslu.

Afrennsli er sennilega til suðurs og suðvesturs og leggur volgar gufur upp úr hraunum í norðurhlíðum Skálafells. Mikil ummyndun er á hverasvæðinu og talsvert er af útfellingum.

Nafngreindir hverir eru tveir, Gunnuhver og 1918 sem er kulnaður (ranglega nefndur 1919 á skilti við hveraskálina). Gunnuhver eða Gunna mun hafa verið öflugur gufuhver norðan við kísilhól sem er aftur norðan við vegslóða sem liggur um hverasvæðið frá vestri til austurs (Jón Jónsson 1978). Gunnuhversnafnið er í dag nafn á öflugu gufu- og leirhverasvæði. Jón Jónsson (1978) nefnir að hverinn 1918 hafi um 1960 verið kyrrstæður pollur en í jarðskjálftum 30. sept. 1967 hafi hann hitnað og eflst. Gos voru í hvernnum og náðu um 12 m hæð veturinn eftir. Árið 1979 gaus hverinn enn og var svo í nokkur ár (2. mynd). Er farið var að bora vegna gufuöflunar fyrir saltverksmiðju hvarf hverinn og er þar nú mosagróin laut. Hver þessi mun hafa horfið 1983 (Halldór Ármannsson 1997). Sjólaug er skammt sunnan og neðan við Reykjanesvita. Þar var yfir 20°C hiti í byrjun 20. aldar en nú er sjólaugin köld.



1. mynd. Jarðhitasvæðið á Reykjanesi. Jarðhiti er á samfelldu svæði en því var skipt í tvo reiti (gulir hringir) sjá einnig 2. töflu.

Hverasvæðið er vinsæll ferðamannastaður en merkilegustu jarðminjar á svæðinu, auk jarðhitans, eru ungar gosminjar við vesturströndina, norðan gamla vitans. Þar eru ungar gígaraðir sem hafa gosið á sögulegum tíma. Nútímahraun þekja allt svæðið, klofin af ungum misgengjum og opnum gjám. Reykjanes er merkilegt fyrir þær sakir að þar liggur Mið-Atlantshafshryggurinn upp á land, og eini staður á jarðarkringlunni þar sem unnt er að skoða slíkt ofansjávar. Brot, berggangar, gígaraðir og annað sem tengist eldvirkni sést óvída betur en einmitt hér og því er þetta svæði einstakt. Virkjun jarðhita hefur óbein áhrif á jarðminjar svæðisins, þ.e. virkjun hefur sjónræn áhrif, en leiðslur og vegir slíta sundur samhengi jarðmyndana. Merkar jarðmyndanir hafa ekki verið eyðilagðar með virkjun svæðisins en sjónrænt gildi þeirra hefur minnkað.

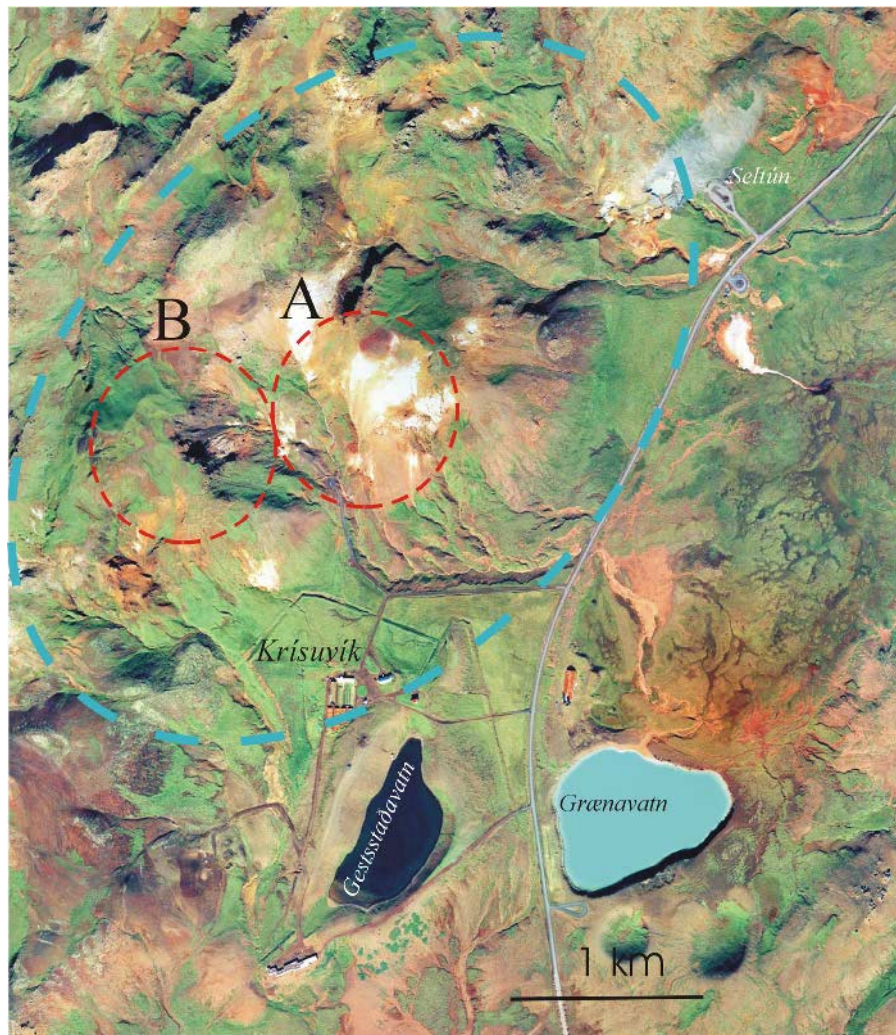
Við skoðun svæðisins var því skipt í tvo reiti og er annar kenndur við Skálafell, unga dyngju sunnan jarðhitans, en gufur leggur þar upp úr hraunum í norðurhlíðinni. Hinn reiturinn var nefndur Gunnuhver eftir öflugu hverasvæði, sem eitt sinn var afmarkaður gufuhver (1. mynd). Niðurstöður eru í 2. töflu.



2. mynd. Jarðhitasvæðið á Reykjanesi haustið 1979, hverinn 1918 vestan við Gunnuhver. Í baksýn er ummyndun á samfelldu svæði sem nú er nær algróið. Þessi hver hvarf 1983 eftir boranir og lækkun grunnvatns. Saltvinnslan í baksýn (ljósm. Helgi Torfason 1979).

4.2 Krísuvík

Krísuvík er eitt af stærri jarðhitasvæðum landsins, talið þekja um 60 km² á yfirborði (Guðmundur Pálmason o.fl. 1985) og er innan Reykjanesfólkvangs. Talsvert hefur verið reynt að virkja jarðgufu á svæðinu en gengið illa. Kleifarvatn markar austurjaðar svæðisins og er Seltún þar skammt suðvestan við. Við Seltún og við húsín í Krísuvík er jarðhiti á nokkuð stóru svæði og var því fyrst skipt í tvo reiti (3. mynd) en í 2. töflu er verndargildi sett fram fyrir flákann í heild, svæði frá Hveradal og að hveragilinu við Seltún. Reitir voru aðallega settir út skv. dreifingu jarðhita á jarðfræðikorti Jóns Jónssonar (1978) og gögnum frá Orkustofnun. Á svæðinu er gufa ríkjandi en fáeinar volgrur með fremur litlu rennsli eru á nokkrum stöðum, aðallega upphitað kalt grunnvatn ofarlega í berggrunni. Stór leirhver er austan vegar við Seltún.



3. mynd. Athugunarsvæði við Krísuvík. Rauðir hringir marka reiti með um 500 m radius en allt svæðið er einn samhangandi „fláki“ (afmarkaður með blárrí brotalínu). Ummýndunarskellur eru hvítar á myndinni. Sprengigígarnir Grænavatn og Gestsstaðavatn eru neðst á myndinni og sunnan Grænavatns eru tveir sprengigígar.

Litauðgi er mikil, en ekki meiri en algengt er á öðrum háhitasvæðum landsins. Fallegar gífsæðar eru í bergi austan við kvos sem nefnist Baðstofa. Ummýndun er mikil enda er berggrunnur móberg sem er fljótara að brotna niður en hraunlög.

Fallegir gufusprengigígar eru sunnan flákans, Grænavatn og Gestsstaðavatn. Við þessa gíga hafa komið upp gabbró-hnyðlingar og er slíkt fátítt hérlendis.

Rask er talsvert, bæði eru borholur við Baðstofu og einnig í gilinu við Seltún, þar sprakk reyndar gömul hola árið 1999 og myndaðist dálítill gígur, nú volgur pollur. Vegslóðar liggja að svæðinu á nokkrum stöðum og er jarðhiti úr borholu nýttur til upphitunar í Krísuvík.

Berggrunnur er móberg og á stöku stað hafa runnið basalhraun á síðasta jökulskeiði, en engin nútímahraun eru á þeim fláka sem hér er lýst, og ekki heldur nútíma eldgígar. Ekkert súrt berg er í Krísuvík. Svæðið er fjölsótt af ferðamönnum og þar hafa verið lagðir göngustígar (4. mynd).



4. mynd. Seltún í Krísuvík er fjölsóttur ferðamannastaður og hafa verið lagðir stígar um það (ljósm. Helgi Torfason 2001).

4.3 Grændalur

Grændalur heitir fallegur dalur austan í Hengli, skammt ofan við Hveragerði. Hann er á skrá yfir svæði sem lagt hefur verið til að friða vegna óvenjulegs og fjölbreytilegs hverasvæðis og tilheyrandi lífríkis (Umhverfisstofnun 2003). Svæðið einkennist af miklum framhlaupum sem hafa flest runnið úr vesturhlíðum dalsins og liggja yfir öflugum jarðhitasvæði (5. mynd). Framhlaupin mynda náttúrulegan vatnsgeymi og blandast gufa og djúpvatn við kalt grunnvatn þannig að fjölskrúðugar volgar og heitar lindir koma fram í dalnum. Volg votlendi eru fá á landinu og er Grændalur sennilega einstakur í sinni röð vegna fjölbreytni og grósku, og ekki spillir nálægð við byggð. Dalurinn er rofinn í gamla megineldstöð og hafa gil skorist niður í ummyndaðan berggrunn og eru því góðar opnur í ummyndaðan hluta eldra jarðhita-kerfis. Slíkt er nær einstakt á landinu á virku háhitasvæði. Berggrunnur er basalt, bæði hraun

sem runnið hafa á hlýskeiðum og móbergsmýndanir frá jökulskeiðum. Brot eru áberandi í landslagi dalsins og hafa þau oft hreyfst á nútíma.

Grændalsá rennur um dalinn og er volg, en vatnshverir og fallegar útfellingar eru víða við hana. Mikið er af örverum í vatnshverum og litabrigði mikið. Heitt votlendi er einkum vestan megin í dalnum og er gróður gróskulegur (6. mynd). Engir slóðar eða vegir liggja inn á svæðið og hestaumferð er lítil, en vaxandi.

Jarðhita í dalnum var skipt í reiti og metið í heild hvaða fyrirbrigði er þar að finna (2. tafla)



5. mynd. Jarðhitasvæðið í Grændal. Sporbaugur afmarkar svæði sem tekið var til athugunar til að reyna aðferðir við mat jarðminja. Gular línur marka gróðursvæði sem tekin voru til athugunar 2005 (Olga Kolbrún Vilmundardóttir o.fl. 2006). Jarðhiti kemur fram í framhlaupum sem runnið hafa vestan megin í dalnum. Framhlaupin safna í sig vatni og þar eru volg votlendissvæði, mýrar, volgir lækir og talsvert öflugir hverir með fallegum útfellingum eru við Grændalsá.



6. mynd. Jarðhitasvæðið í Grændal liggur frá Grændalsá upp í hliðar dalsins. Hér er horft suður dalinn og sjást hverir og laugar á árbakkanum. Laugavætlur koma undan grónum framhlaupum og gufuhverir eru í baksýn ofan framhlaupa (ljósm. Helgi Torfason 2005).

4.4 Hveravellir

Hveravellir á Kili eru lítið svæði en fjölsóttur ferðamannastaður. Svæðið er friðlýst sem náttúruvætti og er friðaða svæðið 170 ha að stærð. Á Hveravöllum má greina tvo eða þrjá reiti en í 2. töflu er lítið til svæðisins í heild, þá sem samhangandi fláka. Á syðri hluta svæðisins eru gufuhverir og ummyndunarblettir í Kjalhrauni, en nyrðri hlutinn er í hraunjaðrinum og þar eru fallegir gos- og suðuhverir. Mikið er af uppleystum kísli í vatninu og því eru miklar hrúðurbreiður á svæðinu og eru þær með þeim stærstu á landinu. Margir nafnfrægir hverir eru á svæðinu s.s. Öskurhóll, Bræðrahver, Fagrihver og fleiri. Svæðið var kortlagt 1996 og því lýst (Helgi Torfason 1997). Við hverasvæðið er einn gangnamannakofi, tveir skálar sem Ferðafélag Íslands reisti og þar er hlaðin sundlaug. Hverasvæðinu hefur lítið verið spillt, nema einum 2–3 hverum vestan á svæðinu þar sem veðurathugunarstöð tekur vatn til upphitunar. Hveravellir eru þrátt fyrir smæð sína eitt af margbreytilegustu hverasvæðum landsins og nær einstakt vegna hrúðurbreiðanna. Svæðið er lítið en skiptir miklu máli fyrir ferðaþjónustu.

4.5 Samantekt

Í 2. töflu eru teknar saman athuganir á fjórum háhitasvæðum. Niðurstöður sem þar eru settar fram gefa mynd af þeim gögnum sem safna þarf áður en unnt er að gera samanburð og mat á jarðminjum háhitasvæða landsins. Þegar farið verður að safna gögnum um háhitasvæðin er ekki ósennilegt að einhver ný atriði bætist við sem talið verður nauðsynlegt að safna. Þessari skýrslu er ekki ætlað að meta verndargildi jarðminja á háhitasvæðum heldur setja fram leiðir til þess og þá hvaða gögn þarf til þess. Grundvöllur mats á verndargildi er að fyrir liggi góð og sambærileg gögn. Í skýrslum þeirra aðila sem hafa rannsakað háhitasvæðin eru til upplýsingar um almenna jarðfræði og dreifingu jarðhita en nákvæmari sundurgreiningu vantar yfirleitt. Eins og fram kemur í 2. og 3. töflu eru t.d. gufuhverir á öllum svæðunum og raunar er það algengasta fyrirbrigðið á háhitasvæðum landsins ásamt ummyndunarflákum. Vatn er sjaldgæfara og ýmis atriði sem tengjast vatni, svo sem hveramýrar (volg votlendi), goshverir og breiður útfellinga (>1 ha). Slík atriði er stundum unnt að finna í skýrslum og ritum en litabrigðum, samspili jarðhita og landslags, magni mismunandi hveragerða, litabrigðum, örverum og þætti þeirra í jarðhitunum, öðrum jarðminjum s.s. gerðum gíga og ýmsum öðrum fyrirbrigðum er yfirleitt ekki unnt að ná út úr ritum sem unnin hafa verið með virkjun svæðanna í augnamiði. Þessum gögnum þarf að safna með því að fara á svæðin.

5 UMRÆÐA

Niðurstöður athugana á verndargildi jarðmyndana á háhitasvæðum velta mikið á gæðum gagna sem liggja fyrir. Í 3. töflu er listi yfir flest háhitasvæði landsins og er gögnum raðað eftir því hve algeng þau fyrirbrigði eru sem tengjast vatni og gufu. Þótt um sé að ræða fremur lauslegt mat á algengi fyrirbæranna er ljóst að vatn skiptir miklu máli og einnig að vatnsrík svæði eru færri en svæði þar sem gufa er ríkjandi. Þá skiptir miklu máli að fyrirbrigði séu vel skilgreind. Gögn í töflum 3–5 eru byggð á eigin athugunum og gögnum skv. töflu aftast í skýrslu Hauks Jóhannessonar og Kristjáns Sæmundssonar (2005). Nöfn háhitasvæðanna og skipting eru skv. Guðmundi Pálmasyri o.fl. (1985).

Í þeirri vinnu sem þarf að fara fram vegna mats á verndargildi jarðminja á háhitasvæðum er fljótlegra að miða við fláka af óreglulegri stærð en reiti með 500 m radíus, en báðar aðferðirnar voru reyndar. Eðlilegt er að miða fláka við samhangandi jarðhita á yfirborði eða skírt afmörkuð svæði s.s. dali eða bungur. Með því að nota reiti af fastri stærð fæst nákvæmara mat á svæðunum, en slíkt mat tekur mun lengri tíma og ekki er víst að það myndi skila mikið betri niðurstöðum. Nauðsynlegt er að nýta þau gögn og þekkingu sem til er áður en farið er út í náttúruna að skoða svæðin sem á að meta.

Nauðsynlegt er að skoða öll háhitasvæðin með mat á verndargildi fyrir augum og kortleggja og skilgreina þær jarðminjar sem eru til staðar og meta hvort þær eru sjaldgæfar og hætt sé við að þær skaðist ef svæðin verða virkjuð eða nýtt á annan hátt svo sem til ferðaþjónustu. Þegar sambærileg gögn liggja fyrir um öll svæðin er unnt að leggja mat á verndargildi þeirra og þá fyrst er eðlilegt að ákveða hvort og hvernig best sé að nýta þessar auðlindir. Þó bera að geta þess að aukinn ferðamannastraumur inn á háhitasvæðin getur einnig verið til skaða ef ekkert er að gert, eins og t.d. á Geysissvæðinu.

Í töflum 3–5 er farið yfir helstu háhitasvæði landsins og sýnt hvernig fyrirliggjandi gögn yfir jarðminjar má nota til að meta aðstæður eftir svæðum. Lagt er til að samsvarandi gögnum verði safnað á háhitasvæðunum en á mun nákvæmari hátt og einnig að svæðin verði ljósmynduð til samanburðar síðar meir. Náttúrulegur breytileiki er mikill á háhitasvæðunum

og breytast þau bæði smám saman og einnig snögg t.d. við jarðskjálfta. Í töflunum hér á eftir er Seltún hluti af Krísuvík–Sveifluháls og Grændalur fellur undir Hengill–Hveragerði.

5.1 Yfirborðsummerki jarðhita tengd vatni og gufu

Í 3. töflu eru tekin saman atriði sem tengjast vatni og gufu og er töflunni raðað eftir því hversu algeng þessi atriði eru. Samkvæmt yfirborðsummerkjum er Ölkelduháls í Hengli, Krísuvík og Torfajökulssvæðið einna fjölbreyttustu jarðhitasvæðin.

3. tafla. Dreifing og tíðni yfirborðsummerkja á vatnsríkum (blátt) og gufuríkum (gult) háhitasvæðum. Öftustu dálkarnir sýna annars vegar á hve mörgum af 29 svæðum fyrirbrigðin koma fyrir og hins vegar sýnir aftasti dálkur á hve mörgum prósentum svæðanna fyrirbrigðin eru til staðar. Töflunni er raðað eftir því hvar fyrirbrigði koma oftast fyrir.

	Mýrdalsjökull	Gjástykki	Krísuvík – Sandfell	Svartsengi	Brennisteinsfjöll	Grimsvötn	Köldukvíslarbotnar	Fremrinámur	Askja	Axarfjörður	Kverkfjöll	Reykjanes	Peistareykir	Krafla	Hveravellir	Námafjall	Hengill – Hengladalur	Hengill – Nesjavelir	Krísuvík – Trölladyngja	Torfajökull I – Reykjadalir	Vonarskarð	Geysir	Hengill – Hveragerði	Kerlingarfjöll	Torfajökull II – Hrafninnusker	Hengill – suðvestur Hengill	Krísuvík – Sveifluháls	Torfajökull III – Jökulgil	Hengill – Ölkelduháls	Summa	Prósenta		
Sortulækir	?	0	0	0	?	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3		
Kolsýruhverir	?	0	0	0	0	?	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3		
Rauðþúfur	?	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	
Goshverir	?	0	0	0	0	?	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7
Lækjargosar	?	0	0	0	0	?	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	7	
Kolsýrulaug >5°C	?	0	0	0	0	?	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	?	0	0	0	0	0	1	2	7	
Ölkeldur <5°C	?	0	0	0	0	?	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	7	
Yfirhitaðir hverir	?	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	7	
Leirdryli	?	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7	
Sjóðandi vatnshv.	?	0	0	0	0	?	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	3	10	
Vatn ríkjandi	?	0	0	0	0	?	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	5	17	
Gufuaugu í sandi	?	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	17	
Soðstampar	?	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	9	31	
Soðpönnur	?	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	9	31	
Kísilhverir	?	0	0	0	0	?	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	52	
Djúpvatnsbls laug	?	0	0	0	0	?	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	52	
Vatnshver >70°C	?	0	0	0	0	?	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	52	
Leirhverir	?	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	15	52	
Brennisteinsþúfur	?	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	15	52	
Gufur af grunnv.	?	1	?	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	15	52	
Laugar 25–70°C	?	0	0	0	0	?	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16	55	
Volgrur 5–25°C	?	0	0	0	0	?	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	59	
Djúpvatnsbl. afr.	?	0	0	1	0	?	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	66	
Gufuhit. laugar	?	0	0	0	0	?	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20	69	
Gufa í öllu veðri	?	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20	69	
Stakir gufuhverir	?	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	76	
Gufa ríkjandi	?	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	23	79		
Gufueimur	?	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	83		
Heit leirflög	?	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	83		
Gufur - afbræðslur	?	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	25	86		
Heit jörð	?	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27	93		
Volg jörð	?	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27	93		
	0	2	6	7	8	8	8	9	9	12	12	12	12	13	17	17	18	18	18	18	18	18	19	19	19	19	20	20	20	22			

5.2 Landslag og landform

Í 4. töflu er farið yfir atriði sem tengjast landslagi og eru t.d. volg votlendi (hveramýrar), sem eru yfir 1 ha að stærð, eitt þeirra atriða sem skiptir verulegu máli vegna lífríkis, en slík svæði eru ekki mörg á landinu og eru viðkvæm fyrir lækun grunnvatnsborðs. Litadýrð á ummyndunarsvæðum er algeng á háhitasvæðum, en á landsvísu eru slík svæði þó ekki mörg. Þá eru ummyndunarflákar mjög misstórir og miklu máli skiptir hvernig slíkir flákar eru staðsettir innan svæðanna og hvernig þeir hafa áhrif á landslagsheildir.

4. tafla. Landslag á háhitasvæðum, atriði sem tengjast jarðhitavirkni. Næstaftasti dálkur sýnir á hve mörgum svæðum fyrirbrigðin koma fyrir og aftasti dálkur sýnir á hve mörgum prósentum svæðanna fyrirbrigðin eru til staðar.

Landslag	Krisuvík – Sandfell	Köldukvíslarbotnar	Svartsengi	Brennisteinsfjöll	Hengill – suðvestur Hengill	Mýrdalsjökull	Grímsvötn	Fremrinámar	Gjástykki	Axarfjörður	Kerlingarfjöll	Torfajökull II – Hrafninnusker	Askja	Torfajökull I – Reykjadalir	Torfajökull III – Jökulgil	Vonarskarð	Námafjall	Hengill – Nesjavellir	Hveravellir	Krafla	Þeistareykir	Krisuvík – Trölladyngja	Hengill – Hengladalur	Reykjanes	Hengill – Ölkelduháls	Kverkfjöll	Krisuvík – Sveifluháls	Geysir	Hengill – Hveragerði	Summa	Prósenta
Kolsýrusprengigígar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3
Sig á hverasvæðum	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	7
Útkulnaðir goshverir	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2	7	
Sigkatlar í jöklum	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	10	
Minni sprengigígar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	4	14	
Hellar og göt v. jökla	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	14	
Sprengigígar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	7	24
Kulnaðir hverabollar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	8	28	
Sérstakt v. útfellinga	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	9	31	
Vötn – tjarnir	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	9	31	
Volg votl. >100 m ²	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	10	34
Volg votl. <100 m ²	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	12	41
Rennandi vatn	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	16	55
Gróið	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	18	62
Litrikt v. ummynd.	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	19	66
Fjöldi pr. svæði:	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	7	7	7	9	9	10		

5.3 Rask vegna mannvirkjagerðar

Þegar athugað er hve mikið rask er á háhitasvæðum í dag (5. tafla) kemur í ljós að um helmingur þeirra hefur verið virkjaður að hluta og einu svæði hefur verið sökk í miðlunarlón. Þau svæði sem þegar hafa verið virkjuð eru yfirleitt röskuð að hluta, en ekkert þeirra hefur verið eyðilagt, Köldukvíslarbotnar (Hágöngur) eru að vísu megnið af árinu undir virkjunarlóni en svæðið kemur upp úr því síðla vetrar. Rask er mismikið og sumt af því raski skiptir ef til vill litlu máli varðandi friðun eða verndun svæðanna, hvort sem er að hluta eða öllu leyti. Þó þarf að skoða hvaða atriði það eru sem ógna svæðunum, t.d. er ekki víst að virkjun hluta svæðis þurfi að hafa áhrif á annan hluta þess sem talið er að rétt sé að vernda. Í 5. töflu er gerð tilraun til að meta rask á háhitasvæðum út frá þeim gögnum sem nú liggja fyrir, en með bættum gögnum verður unnt að fara nákvæmar yfir þau og meta einstaka hluta þeirra (vinnslusvæði).

5. tafla. Rask vegna mannvirkjagerðar á 29 háhitasvæðum og undirsvæðum. Næstaftasti dálkur sýnir á hve mörgum svæðum fyrirbrigðin koma fram og aftasti dálkur sýnir á hve mörgum prósentum svæðanna fyrirbrigðin eru til staðar.

Rask	Brennsteinsfjöll	Mýrdalsfjökull	Vonarskarð	Grímsvötn	Kverkfjöll	Fremrinámur	Gjástykki	Krísuvík – Sandfell	Kerlingarfjöll	Torfajökull I – Reykjadalir	Askja	Torfajökull II – Hrafninnusker	Hveravellir	Torfajökull III – Jökulgil	Krísuvík – Trölladyngja	Köldukvíslarbotnar	Axarfjörður	Hengill – Hengladalir	Peistareykir	Hengill – Ölkelduháls	Reykjanes	Svartsengi	Krísuvík – Sveifluháls	Geysir	Hengill – suðvestur Hengill	Hengill – Nesjavelir	Hengill – Hveragerði	Krafla	Námafjall	Summa	Prósenta		
Óraskað	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-14	48	
Lífgaður goshver	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	
Eyðil. að miklu leyti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	
Kísilstallar - paldrar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3		
Blásandi þurrufuh.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	
Gufuspreng. í borh.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2	7	
Tilbúinn goshver	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	2	7
Affallslón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	3	10	
Sýningarholur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	4	14		
Mjög raskað	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	6	21		
Námur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	6	21		
Virkjanir	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	7	24		
Baðstaðir	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	7	24		
Raskað að hluta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	8	28			
Ræktun – Skógrækt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8	28		
Leiðslur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	31		
Byggingar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14	48		
Borholur, borplön	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	52		
Vegir	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	76		
	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	1	2	2	3	3	3	4	4	5	8	8	8	8	8	9	10	10	10	11			

5.4 Niðurstaða

Miðað við þau gögn sem eru tiltæk er þegar byrjað að virkja rétt tæpan helming háhitasvæða landsins. Áður en lengra er haldið er rétt að ljúka mati á verndargildi jarðminja á háhitasvæðum landsins því þau eru einstök í sinni röð, engin önnur háhitasvæði er að finna ofansjávar á Mið-Atlantshafshryggnum. Orkumikil jarðhitasvæði, sem eru sambærileg við háhitasvæði landsins, eru á mörgum stöðum í heiminum, t.d. á Ítalíu, Bandaríkjunum, Nýja-Sjálandi, Japan og víðar. Þau svæði eru þó að ýmsu leyti ólík háhitasvæðum hérlendis, einkum er varðar gróður, dýralíf og ungar jarðmyndanir. Til þess að geta tekið upplýsta ákvörðun um hvort eigi að virkja eitthvert þeirra jarðhitasvæða sem í dag eru ósnortin þurfa næg gögn að liggja fyrir til þess að unnt sé að meta verndargildi viðkomandi svæðis og vega á móti verðmæti til orkuvinnslu.

6 HEIMILDIR

- Árni Hjartarson og Magnús Ólafsson 2005a. Kerlingarfjöll. Könnun og kortlagning háhitasvæðis. Íslenskar orkurannsóknir ÍSOR-2005/012, 60 bls. og kort.
- Árni Hjartarson og Magnús Ólafsson 2005b. Hveravellir. Könnun og kortlagning háhitasvæðis. Íslenskar orkurannsóknir ÍSOR-2005/014, 44 bls. og kort.
- Guðmundur Pálmason, Gunnar V. Johnsen, Helgi Torfason, Kristján Sæmundsson, Karl Ragnars, Guðmundur Ingi Haraldsson og Gísli Karel Halldórsson 1985. Mat á jarðvarma Íslands. Orkustofnun JHD OS-850076/JHD-10, 134 bls.
- Halldór Ármannsson 1997. Reykjanes. Forkönnun vegna mats á umhverfisáhrifum. Orkustofnun OS-97031, 58 bls.
- Haukur Jóhannesson og Krisján Sæmundsson 2005. Flokkun jarðhitafyrirbæra á háhitasvæðum. Íslenskar orkurannsóknir ÍSOR-2005/023, 22 bls.
- Helgi Torfason 1994: Abstract: Jarðhitasvæði og verndun þeirra. (Geothermal areas in Iceland and their conservation). Icel. Biol. Soc. 21. April 1994.
- Helgi Torfason 1997. Jarðhitarannsóknir á Hveravöllum 1996. Orkustofnun OS-97025, 85 bls. og kort.
- Helgi Torfason 1998. Jarðhitasvæði. Í Jón S. Ólafsson (ritstj.) Íslensk votlendi – verndun og nýting. Háskólaútgáfan, Reykjavík: 89–101.
- Helgi Torfason 2003. Jarðhitakort af Íslandi og gagnasafn um jarðhita. Náttúrufræðistofnun Íslands og Orkustofnun, NÍ-03016, 167 bls.
- Helgi Torfason og Jóna Finndís Jónsdóttir 2001. Vatn – flokkun á hugtökum er varða jarðhita og lindir. Orkustofnun, greinargerð HeTo–JFI–2001/05.
- Helgi Torfason og Ingvar Atli Sigurðsson 2002. Verndun jarðminja á Íslandi. Tillögur vegna náttúruverndaráætlunar 2002. Náttúrufræðistofnun Íslands og Náttúruvernd ríkisins, NÍ-02019, 47 bls.
- Jakob Kristjánsson og Guðni Axelsson 1986. Lífríki hveranna. Náttúrufræðingurinn 56 (2): 49–68.
- Jón Jónsson 1978. Jarðfræðikort af Reykjaneskaga. Orkustofnun OS-JHD 7831, 303 bls. auk mynda.
- Jón Jónsson 1980. Verndun hverasvæða. Náttúrufræðingurinn, 50: 309–313.
- Keam, Ronald F., Katherine M. Luketina, and Leonie Z. Pipe 2005. Definition and Listing of Significant Geothermal Feature Types in the Waikato Region. Proceedings World. Geoth. Congr. 2005, Anatalya, Turkey: 1–12.
- Kristján Sæmundsson og Guðmundur Ómar Friðleifsson 2001. Í Torfajökli. Jarðfræði- og jarðhitakort af Torfajökulssvæðinu Orkustofnun, Rannsóknarsvið, OS-2001/036, 118 bls.
- Olga Kolbrún Vilmundardóttir, Ásrún Elmarsdóttir, Sigurður H. Magnússon og Borgþór Magnússon 2006. Gróðurfar í Krísuvík, Grændal og á Hveravöllum. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-06007, 77 bls.
- Umhverfisstofnun 2003. Náttúruverndaráætlun 2004–2008, aðferðafræði. Umhverfisstofnun, UST-2003/14, 291 bls.
- Sigurður Þórarinnsson 1978. Hverir og laugar, ölkeldur og kaldavermsl. Náttúruverndarráð, Fjölrit 3, 13 bls.
- Waikato Regional Council 2004. Waikato Regional Policy Statement, Proposed Change No. 1: Geothermal Section. Environment Waikato Policy Series No. 2004/14, 38 bls.
- Wildland Consultants Ltd. 2004. Geothermal Vegetation of the Waikato Region – Revised 2004. Contract report No. 896, 238 bls.

1. VIÐAUKI. Flokkun jarðhita á Nýja-Sjálandi

Á Nýja-Sjálandi er jarðhita skipt í jarðhitaforða (*geothermal resource*), jarðhitakerfi (*geothermal system*) og yfirborðsfyrirbrigði (*geothermal surface feature*) og hentar sú flokkun einnig vel á Íslandi. Þessi skipting er fengin úr skýrslunni Waikato Regional Council (2004) og er sett fram til hliðsjónar við aðferðir sem nota má hérlendis. Eftirfarandi texti er sérfræðilegur og erfitt að þýða hann svo vel sé. Því er hann birtur hér á frummálinu.

The natural characteristics of the regional geothermal resource include:

- I. Thermal energy contained in rocks deep in the earth and carried by water*
- II. Mineralised fluids (containing e.g. silica, lithium, and boron)*
- III. Intrinsic [þ.e. eitthvað sem tengist öllum eða hluta af framtöldum atriðum/innskot höf.]*
- IV. The characteristics of all geothermal systems and features within it including the geophysical and biological features and processes associated with the surface expression of geothermal energy and fluids.*

The natural characteristics of a geothermal system may include:

- 1. A body of thermal energy contained in rocks deep in the earth and carried by water*
- 2. A convective inflow of cool, fresh water and a consequent outflow of heated mineralised fluids (containing e.g. silica, lithium, and boron)*
- 3. Surface discharges of geothermal heat and mineralised fluids, such as springs and steam features*
- 4. Land formations created by geothermal processes, such as hydrothermal eruption craters and sinter terraces*
- 5. Biodiversity (a variety and uniqueness in genes, species and populations of plants, animals and micro-organisms)*
- 6. Intrinsic*
- 7. The characteristics of all geothermal features within it.*

The natural characteristics of a geothermal surface feature may include:

- a. A surface discharge of steam, water, gases, and minerals*
- b. A flowing or standing body of water whose origin is either entirely or partly geothermal*
- c. Time-dependant behaviours such as intermittency of geysers*
- d. Infrequent or single eruptions such as hydrothermal eruptions and mud eruptions*
- e. Mineral depositions such as sinters and sulphur crystals*
- f. Mud volcanoes, mud flows, concentric mud ring patterns*
- g. Remnant geomorphological features such as hydrothermal eruption craters, geothermal collapse pits and associated caves*
- h. Heated or chemically altered ground*
- i. Terrestrial and aquatic geothermal ecosystems influenced by heat, humidity, water chemistry, flow and gases*
- j. Intrinsic*

The regional geothermal resource also has amenity and cultural values, as do most geothermal systems and surface features.

Geothermal features and ecosystems are important for several reasons. Not only are they rare and of much scientific interest, they are also extremely fragile and many are impossible or almost impossible to restore once damaged. Geothermal activity has high economic worth, and is an important tourist attraction. In 2001, there were two million visits to geothermal attractions in the Waikato Region (Waikato Regional Council 2004).